

Bericht (vs.2)

# Veränderung der Insektenbiomasse: Beurteilung der Relevanz verschiedener Einflussfaktoren

**Fuzzy-Modellierung, GIS-Evaluation – Verluste der Insektenbiomasse**

Anzahl Seiten: 100  
Interne Referenz: 281.11  
Basel, 8. August 2021

Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

## Danksagung

Das Thema dieses Projekts liegt vielen aufmerksamen Beobachter\*innen am Herzen. Wir möchten uns bei den beteiligten Interviewpartner\*innen für die Unterstützung, die investierte Zeit und die wertvollen Beiträge zu Beobachtungen und Beschreibungen von Zusammenhängen bedanken. Danken möchten wir auch den Mitarbeitenden von Biosfera für den Ideenaustausch und die Koordination der Gesprächspartner\*innen sowie den Mitarbeitenden des BAFU.

### Experten\*innen:

Matthias Albrecht, Agroscope; Sven Bacher, Universität Fribourg; Daniel Cherix, Schweizerisches Zentrum für die Kartografie der Fauna (CSCF); Yannick Chittaro, CSCF; Yves Gonseth, CSCF; Jean-Yves Humbert, Universität Bern; Christian Imesch, UNA Atelier für Naturschutz und Umweltfragen; Eva Knop, Agroscope und Universität Bern; Verena Lubini, gutwasser GmbH; Christian Monnerat, CSCF und Université de Lausanne; Daniela Pauli, SCNAT; Lukas Pfiffner, FiBL; Matthias Plattner, Hintermann&Weber/BDM; Christophe Praz, Université de Neuchâtel; Beat Wermelinger WSL; Ivo Widmer, SCNAT.

### Beobachter\*innen/lokale Stakeholder:

Region Method: Emilie Staub, Yves Gonseth und Jean-Yves Humbert

Region Güttingen: Manfred Hertzog, Roland Müller, Paul Rienth

Region Rothrist/Baar/Maschwanden: Jakob Treichler, Markus Bühlmann, Matthias Plattner

Val Müstair: Jörg Clavadetscher, David Conradin, Nicola Gaudenz, Hans-Ueli Grunder, Martin Hofer, Jachen Andri Planta, Valentin Pitsch.

## Impressum

Dieser Bericht wurde von der Carbotech AG mit Sorgfalt erarbeitet unter Verwendung aller uns zur Verfügung stehenden, aktuellen und angemessenen Hilfsmittel und Grundlagen, dies im Rahmen der vertraglichen Abmachung mit dem Auftraggeber unter Berücksichtigung der Vereinbarung bezüglich eingesetzter Ressourcen. Aus dem Inhalt dieses Berichtes hervorgehende Veröffentlichungen, welche Resultate und Schlussfolgerungen daraus nur teilweise und nicht im Sinne des Gesamtberichtes darstellen, sind nicht erlaubt. Insbesondere dürfen solche Veröffentlichungen diesen Bericht nicht als Quelle angeben oder es darf nicht anderweitig eine Verbindung mit diesem Bericht oder der Carbotech AG hergestellt werden können. Für Forderungen ausserhalb des oben genannten Rahmens lehnen wir jegliche Verantwortung gegenüber dem Auftraggeber sowie Dritten ab.

<b>Auftraggeber</b>	Bundesamt für Umwelt (BAFU), Abt. Biodiversität und Landschaft, 3003 Bern Das BAFU ist ein Amt des Eidg. Departements für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK).
<b>Auftragnehmer</b>	Carbotech AG, St. Alban-Vorstadt 19, 4052 Basel
<b>Autor*innen</b>	Cornelia Stettler, Flora Conte, Gavin Roberts, Livia Waldburger
<b>Begleitung BAFU</b>	Debora Zaugg, Glenn Litsios

Hinweis: Diese Studie/dieser Bericht wurde im Auftrag des Bundesamtes für Umwelt (BAFU) verfasst. Für den Inhalt ist allein der Auftragnehmer verantwortlich.

# Inhaltsverzeichnis

<b>Abkürzungen</b>	<b>5</b>
<b>Zusammenfassung</b>	<b>6</b>
<b>1 Ausgangslage</b>	<b>10</b>
<b>2 Ziel und Ansatz des Projekts</b>	<b>11</b>
<b>3 Methode</b>	<b>12</b>
3.1 Einführung Fuzzy Set Theorie (FST)	12
3.2 Einsatz der FST, Fuzzy-Modell Insektenbiomasse, Ausgangspunkt und Skalierung	13
3.3 Literaturrecherchen und Experteninterviews	14
3.4 Auswahl Pilotregionen	17
3.5 Aufbereitung der Resultate im GIS	17
<b>4 Ergebnisse</b>	<b>19</b>
4.1 Literaturrecherchen, Vorabklärungen	19
4.1.1 Zeitliche Entwicklung Insektenbiomasse/Abundanz	19
4.1.2 Studien zu Einflussfaktoren und Effekt auf Insekten	21
4.2 Interviews	26
4.2.1 Wahrnehmung zeitlicher Verlauf der Biomasse Insekten	26
4.2.2 Übersicht diskutierte Einflussfaktoren und Einordnung Relevanz	30
4.2.3 Intensität der Nutzung, Mechanisierung	32
4.2.4 Anteil naturnaher Flächen, Strukturen, Fragmentierung	35
4.2.5 Aussagen zum Einfluss Düngung und Bewässerung	38
4.2.6 Aussagen zum Einfluss Insektizide und andere Biozide	40
4.2.7 Aussagen zum Einfluss von künstlichem Licht	42
4.2.8 Klimawandel, indirekte Wirkungen Wasserknappheit	44
4.2.9 Aussagen zum Einfluss von Antennen	46
4.2.10 Aussagen zum Einfluss Hürden/Barrieren/Schranken	46
4.2.11 Aussagen zu Invasiven Arten	48
4.2.12 Aussagen zu Störung Mensch/Hund	49
4.3 Umsetzung Fuzzy-Modellierung	50
4.3.1 Illustration Wirkpfad, Beispiel Input «Intensität Nutzung»	51
4.3.2 Illustration Wirkpfad – Beispiel Input «Anteil naturnah»	52
4.3.3 Illustration Wirkpfad – Beispiel Input «Dünger» und «PSM»	53
4.3.4 Illustration Wirkpfad, diverse «Licht, Klima, Antennen, Mensch»	54
4.3.5 Skalierung, Output Biomasseverlust, Potential 100%	56
4.4 Fuzzy-Modellierung, Testanalysen Pilotregion	56
4.4.1 Inputparameter, Testanalysen Pilotregionen	56
4.4.2 Fuzzy Output; Resultate der Testanalysen von Pilotregionen	59
4.5 Auswertung GIS	61
4.5.1 Grundlage Landnutzung, Lokalisierung Pilotregionen	61
4.5.2 Einflussfaktoren	62
4.5.2.1 Intensität der Nutzung, Mechanisierung	62

4.5.2.2	Fragmentierung, Anteil naturnaher Flächen, Strukturen	65
4.5.2.3	Fragmentierung, Durchmischung Strukturen (Reservoir, Gegenstück zur Intensität)	66
4.5.2.4	Düngung/Überdüngung	67
4.5.2.5	Pestizide	67
4.5.2.6	Licht	69
4.5.2.7	Klimawandel, indirekte Wirkungen	69
4.5.3	Synthese: Gesamtdruck auf die Insekten, Einbusse Biomasse	72
4.5.4	Extrapolation Schweiz, Hotspots Druck auf Insekten	74
4.6	Stakeholderdiskussion der Pilotgebietanalysen	76
4.6.1	Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern im Val Müstair	76
4.6.2	Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern aus der Umgebung Rothrist AG	78
4.6.3	Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern aus der Umgebung von Güttingen TG	80
4.6.4	Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern aus der Umgebung von Method VD	82
4.7	Vergleich mit Literatur zu Felduntersuchungen	84
4.7.1	LANAG Studie Aargau, Monitoring Artenvielfalt	84
4.7.2	BDM Thurgau, Vögel und Tagfalter (Trend seit 2000)	85
4.7.3	Meta-Studie Europa und Ausprägung Verluste	85
<b>5</b>	<b>Schlussfolgerungen</b>	<b>87</b>
<b>6</b>	<b>Ausblick und Abgrenzungen</b>	<b>92</b>
<b>7</b>	<b>Literatur</b>	<b>94</b>
	<b>Anhang</b>	<b>A1</b>
<b>A1</b>	<b>Auszug Fuzzy Modellierung</b>	<b>A1</b>

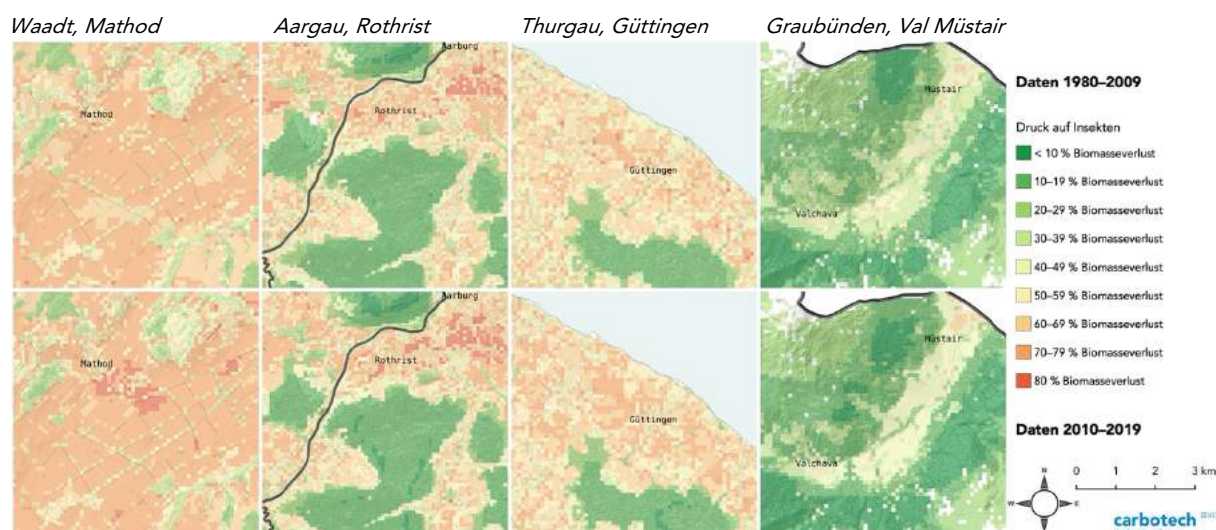
# Abkürzungen

ARA	Abwasserreinigungsanlage
BDM	Biodiversitätsmonitoring
EPT	Ephemeroptera, Plecoptera, Trichoptera
FST	Fuzzy Set Theorie
GIS	Geographische Informationssysteme
IP	Integrierte Produktion. Damit wird die «konventionelle» Landwirtschaft beschrieben.
PSM	Pflanzenschutzmittel. Im Text wird stellvertretend auch der Begriff «Pestizide» oder «Insektizide und Biozide» verwendet.

# Zusammenfassung

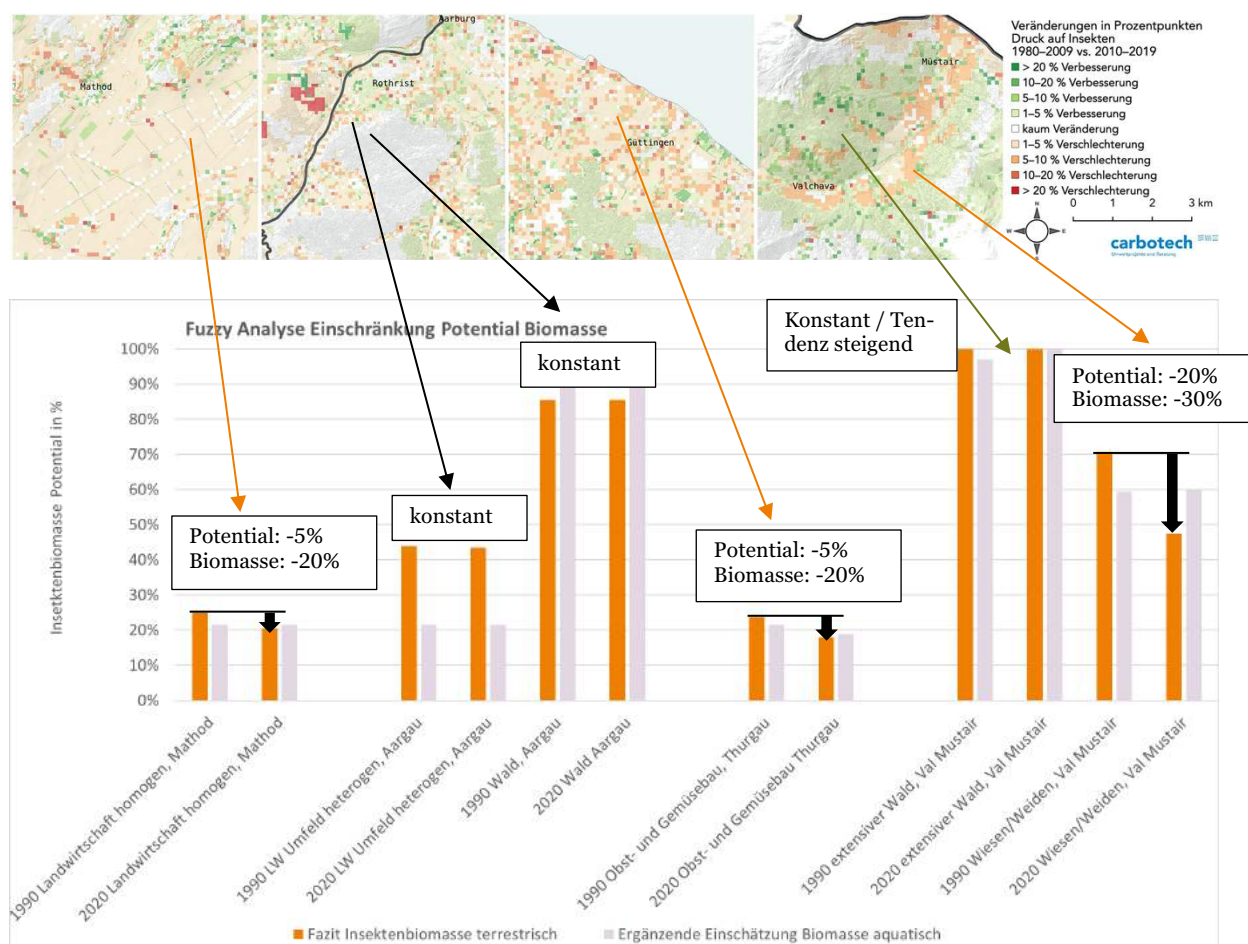
Eine Beurteilung der Gesamtsituation der Entwicklung der Insektenbiomasse fällt selbst Insektenspezialist\*innen mit langjähriger Erfahrung schwer, da sie mit ihren Schwerpunkten oft einen eng gefassten Ausschnitt im Blick haben. Nur selten sind Beobachtungen und Erhebungen auf das Thema Biomasse Insekten ausgerichtet. Seit den Schlagzeilen zum Verlust der Biomasse aus Untersuchungen von Seiten des Entomologischen Vereins Krefeld wird vermehrt versucht, bestehende Studien auf diesen Aspekt zu analysieren. Die Krefeld-Grundlagen führen zu einer Einschätzung, dass die Biomasse der «Fluginsekten» zwischen 1989 und 2016 in geschützten Gebieten Deutschlands um 75% gesunken sind (Hallmann u. a., 2017). In der Schweiz fehlen hingegen solche Studien für eine Einschätzung der langfristigen Entwicklung der Insektenbiomasse: Nur wenige Untersuchungen erlauben Rückschlüsse auf die zeitliche Entwicklung und Ausprägung in unterschiedlichen Regionen.

Die vorliegende Studie generierte ein Gesamtbild für die Schweiz in den letzten 30 Jahren und führt zum Schluss, dass der Verlust der Insektenbiomasse nicht überall gleich ausgeprägt ist. Zudem deutet sie daraufhin, dass, über den gleichen Zeitraum betrachtet, für die gesamte Biomasse der Insekten auf einem Grossteil der Flächen der Verlust weniger stark ausgeprägt ist als in den Krefeld-Untersuchungen. Das Gesamtbild wurde ausgehend von Beobachtungen und Einschätzungen von Entomolog\*innen und Stakeholdern mit Bezug zu Insekten erstellt. Eingesetzt wurde dazu die Methode der Fuzzy Set Theorie (FST) und Geoinformationssysteme (GIS). Mit diesen Methoden wurde die Einschränkung aufgrund unterschiedlicher Einflussfaktoren analysiert und die dadurch bedingte Einbusse zur Biomasse und deren Veränderung im Zeitraum der letzten 30 Jahre rekonstruiert. Dies ist mit den nachfolgenden Landschaftsausschnitten dargestellt. Der Druck auf die Insekten hat sich insgesamt leicht verstärkt gegenüber dem Zeitraum 1990-2009. Ein grosser Teil der Biomasseverluste ist bereits vor 1990 mit der Intensivierung der Nutzung erfolgt. Die Beobachtung der Windschutzscheibe von Busfahrern auf der Strecke zwischen Osteuropa und der Schweiz und die dabei abnehmende Mengen Insekten auf der Scheibe unterstützen die These, dass Verluste durch eine Intensivierung in der Schweiz möglicherweise früher erfolgt und durch eine dichtere Nutzung und weniger Buschland und Ruderalflächen zwischen den Landwirtschaftsflächen bedingt sind.



**Abbildung 1: Druck auf die Insekten für den Zustand 1990 und 2020, Einschätzung Verlust Biomasse im Vergleich zum Potential der Fläche (bewertet ausgehend von Karten 1980-2009 und Karten 2009-2019).** Beschreibung Auswahl Pilotregionen für Analysen: Method intensive Landwirtschaft, Rothrist heterogene Nutzung Wald/Landwirtschaft/Siedlung, Güttingen Obst-/Gemüsebau neben Wald und See, Val Müstair mehrheitlich extensive Wälder und Wiesen, intensive Nutzung Talboden

Die zeitliche Veränderung der Einflussfaktoren und des resultierenden Drucks auf Insekten im Zeitraum 1990 bis 2020 wurde ausgehend von der Analyse vorhandener älteren Kartengrundlagen und Expertenaussagen rekonstruiert. Die Differenz und Veränderung zwischen dem abgebildeten Zustand im Zeitraum 1980-2009 sowie 2010-2020 ist im nachfolgenden Bild aufgeführt. Dies führt zum folgenden Fazit einer zeitlichen Veränderung über die letzten 30 Jahre.



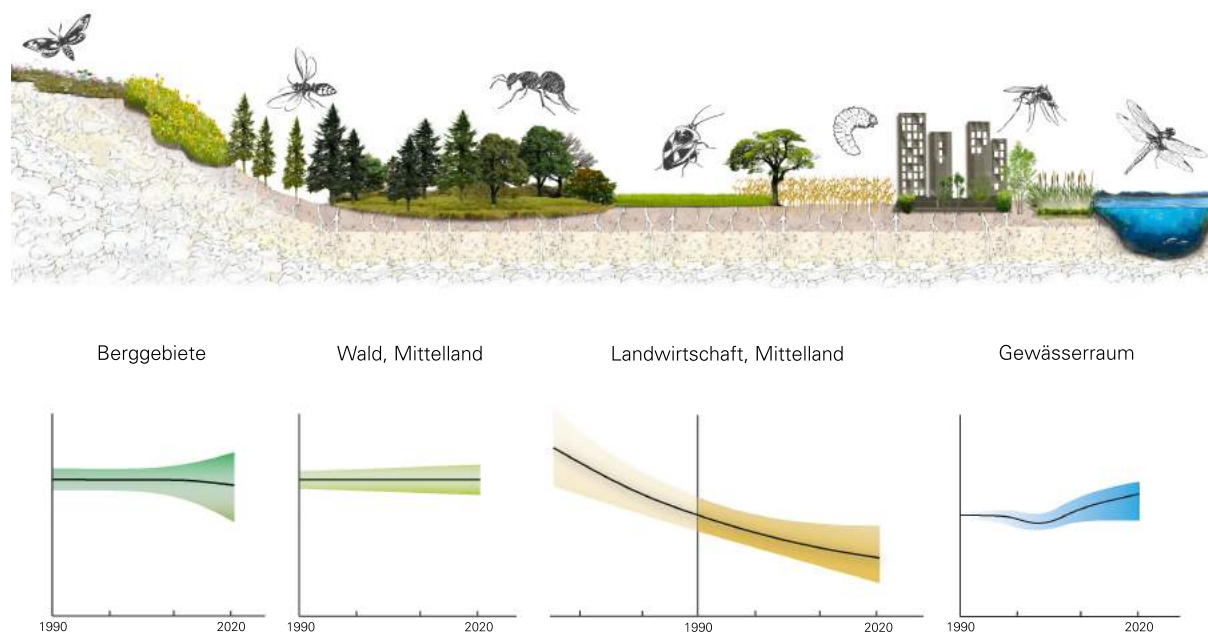
**Abbildung 2: Veränderungen beim Druck auf die Insekten im beobachteten Zeitraum von 30 Jahre, Einbuße beim Potential des Standortes sowie Fazit Verluste Insektenbiomasse, Differenz gegenüber dem Ausgangswert 1990**

Eine positive Veränderung beim Potential der Insektenbiomasse ist mit grün Schattierungen und ein negativer Trend mit roten Schattierungen dargestellt. Auf grauen Flächen wird keine wesentliche Veränderung erwartet. Ausschlaggebend für die resultierende negative Veränderung ist eine höhere Intensität der Nutzung. Hauptsächlich betroffen sind dabei die Landwirtschaftsflächen und Wiesen. Grund dafür ist die höhere Intensität des Managements zur Optimierung der Effizienz und zur Ertragssteigerung<sup>1</sup>. Relevant sind dabei auch die grösseren und effizienteren Landwirtschaftsmaschinen gefolgt von Veränderungen beim Einsatz von Dünge- sowie Pflanzenschutzmitteln. Dies betrifft Ackerland, Obst- und Gemüsebau und intensiv genutzte Wiesen. Eher konstant wird die Situation im Wald beurteilt. Für Wälder wurden die Effekte von Aufwertungsmaßnahmen und Schäden von grösseren Maschinen und höherer Intensität erwähnt, wobei hier die Intensität der Nutzung von angrenzenden Flächen auch eine relevante Rolle spielt. Vor allem in höheren Lagen auf

<sup>1</sup> Mögliche positive Einflüsse einer Effizienzsteigerung, zum Beispiel durch eine höhere Präzision Maschineneinsatz, wie im Fall eines punktuellen PSM-Einsatz wurden soweit in den Expertengesprächen nicht thematisiert und in der Summe ein Abwärtstrend mit der Intensivierung der Bewirtschaftung von Flächen verbunden.

Flächen mit einer wenig veränderten Nutzung wird der Effekt des Klimawandels diskutiert. Tendenziell wird mit höheren Temperaturen ein Trend zu mehr Biomasse erwartet. In höheren Lagen bewirkt der Klimawandel auch eine Veränderung der Vegetationsgrenze und Waldgrenze und begünstigt damit auch eine Zunahme der Insektenbiomasse.

Weniger gut sichtbar aus GIS-Kartengrundlagen sind Veränderungen in Fließgewässern und Siedlungen. Bei Gewässern wurden kleinräumig positive Effekte einer Renaturierung im Gespräch häufig erwähnt. Im Bereich der an Gewässern angrenzenden Schutzgebiete wurden eher die negativen Effekte der Entwässerung und Eintrag an Nährstoffen in Schutzgebiete genannt. Die Gewässerqualität wird weiterhin im Umfeld von Landwirtschaftsflächen mit Einträgen von Pestiziden und Düngern als kritisch beurteilt. Profiteure der Überdüngung sind mit den Optimierungen der Abwasserreinigungsanlagen (ARA) rückläufig und bedeuten für den Fall der Eintagsfliegen auch weniger Insektenbiomasse. Siedlungen wurden als die Flächen bezeichnet, bei denen auch wertvolle ungestörte Flächen für Insekten auffindbar sind und auch als solche gefördert werden, dies steht gegenüber einer zunehmenden Lichtverschmutzung und einem hohen Anteil versiegelter und stark genutzter Flächen. Die nachfolgende Darstellung zeigt das Fazit des Gesamttrends aufgrund der Interviews sowie den darauf basierenden Fuzzy- und GIS Analysen.



**Abbildung 3: Tendenzen der Entwicklung Insektenbiomasse gemäss Interviews und Modellierung.** Die absoluten Werte der Biomasse beim Ausgangspunkte 1990 sind zwischen den Gebieten nicht vergleichbar, sondern relativ zum Zustand im Jahr 1990 anzusehen.

Der vorliegende Bericht schliesst mit der Sammlung und Aufbereitung von Wissen über Insekten in der Schweiz eine Lücke. Er dient als Ergänzung zu - sowie als Zusammenführung von Feldstudien, Biodiversitätsmonitoring und Erhebungen von Roten Listen. Er erlaubt eine Einschätzung der Gesamtsituation basierend auf Expertenaussagen und ermöglicht eine transparente Diskussion und damit auch Antworten auf eine Palette von wichtigen Fragen zur Situation und Wirkung von Massnahmen. Die gewählte Auflösung und Darstellung des Gesamttrends werden dabei der einzelnen Fläche und dem dort relevanten Zeitpunkt einer Veränderung oder z.B. dem positiven Effekt der lokalen Förderung nicht gerecht. Einzelne Aspekte konnten zudem mit dem heute vorhandenen Kartenmaterial noch nicht vollständig erfasst werden. Hier könnten die

bestehenden Grundlagen mit geringem Aufwand ergänzt und die Analysen verbessert werden, u.a. für spezifische Fragen zur lokalen Situation durch eine Anpassung der Auflösung. Zudem könnten folgende Kartengrundlagen in Zukunft für die GIS-Analysen ergänzt und optimiert werden:

- Biolandbau: bis jetzt nicht erfasste Fläche biologischer Bewirtschaftung (für Beurteilung der Pestizide)
- Wiesen: Unterscheidung und Differenzierung nach Intensität und Lage
- Siedlungen: Typ Grünflächen und Einordnung Management
- Wald: Unterscheidung und Differenzierung nach Typ Waldmanagement
- Gewässer: Pestizideintrag aufgrund Einzugsgebiets
- Lücken der Kartengrundlagen, nicht überregional erfasste Reservate, Schutz- und Förderflächen

Für eine lokale vertiefte Analyse mit GIS könnten, anstelle der überregionalen Kartengrundlagen, stärker differenzierte Grundlagen zur lokalen Situation mit mehr Details zur Bewirtschaftung und Planung Flächenmanagement verwendet werden. Für ein einheitliches Gesamtbild und einen Vergleich zwischen den analysierten Pilotregionen wurde auf lokal verfügbare Karten verzichtet.

Die erarbeiteten Grundlagen der Fuzzy-Modellierung und GIS-Analysen können fortlaufend mit neuen Erkenntnissen aus Studien und Beobachtungen weiter justiert und verbessert werden. Die Fuzzy- und GIS-Analysen ermöglichen eine effektive Beurteilung nicht untersuchter Flächen und ermöglicht eine Übertragung der Erkenntnisse aus Felduntersuchungen auf andere Regionen und damit eine grössere Fläche.

# 1 Ausgangslage

Die Resultate zum Biomasseverlust der Insekten aus der Krefeld-Studie in Deutschland (Hallmann u. a., 2017) schrecken auf, insbesondere, weil man darin einschätzt, dass die Verluste ubiquitär sind und gemäss dieser Studie auch in Naturschutzgebieten in der Grössenordnung von 75% der Biomasse liegen. Diese Studie wird seither weltweit zitiert und international wird versucht, Datengrundlagen zur zeitlichen Entwicklung der Insektenbiomasse zusammenzutragen, um die Grössenordnung des Verlusts in verschiedenen Gebieten besser zu quantifizieren. Nur wenige der bestehenden Felduntersuchungen enthalten auch eine Auswertung der Biomasse oder Abundanz als Indikator. Die meisten Untersuchungen sind ausgerichtet auf Erhebungen spezifischer Arten oder die Vielfalt einer Gruppe und nicht auf ein Gesamtbild der Insektenbiomasse. Auch die Krefeld-Studie beschränkt sich auf Fluginsekten und gibt somit kein Gesamtbild der Taxa und Lebensstadien.

In der Schweiz werden regelmässig Untersuchungen und Erhebungen zur Artenvielfalt ausgewählter Taxa durchgeführt. Einerseits zur Beurteilung der roten Liste und andererseits im Rahmen des Biodiversitätsmonitorings (Nöthiger-Koch & Schmill, o. J.) . Diese Biodiversitäts-Erhebungen ermöglichen keine Beurteilung der Entwicklung der Insektenbiomasse, aber ergeben Hinweis auf Verluste bei bestimmten Gruppen und Arten. Im Zusammenhang mit Insekten werden auch Veränderungen bei Vögeln und Fischen mit dem Verlust an Insekten in Verbindungen gebracht. Beobachtungen von Vögeln in Wäldern und auf Agrarflächen lassen vermuten, dass unterschiedliche Gebiete nicht gleichermassen vom Verlust der Insektenbiomasse betroffen sind. So wird zum Beispiel eine Abnahme insektenfressender Vögel im Feld verzeichnet (Akademien der Wissenschaften Schweiz, 2019). Auch bei Fischen wird die fehlende Nahrung durch Insektensterben und damit verbunden auch der Einfluss von Dünger, Pestiziden und Wasserkraft diskutiert (Petri Heil Newsletter 2020). Um dies zu verifizieren und den gesamthaften Verlust an Insektenbiomasse in intensiv und extensiv genutzten Agrarlandschaften, in Naturschutzgebieten, in Wäldern sowie in Gewässern und Siedlungen aufzuzeichnen, liegen nur ungenügende Grundlagen vor. Vor Beginn dieses Projekts wurden Umfragen und Abklärungen geführt. Eine Zusammenfassung vorhandener Zeitreihen und möglichen Auswertungen der Insektenbiomasse hat die Vogelwarte Sempach erstellt. Das Fazit daraus war, dass es sechs Untersuchungsreihen mit Bezug zur Biomasse der Insekten gab und davon drei gut geeignet waren, um den standortspezifischen Verlust an Biomasse mit der Fortführung der Untersuchung zu analysieren<sup>2</sup>. Zudem stellte sich heraus, dass ältere Untersuchungen der Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (WSL) auf ihre Auswertbarkeit überprüft und eventuell analysiert und weitergeführt werden könnten (aus diesen Untersuchungen sind zum Zeitpunkt der Studie noch keine Resultate erhältlich; verschiedene Projekte haben begonnen). Auch mit all diesen Beispielen können voraussichtlich nur für einzelne Standorte eine Auswertung und Aussage gemacht werden. Es kann damit kein Gesamtbild zur Ausprägung des Biomasseverlusts in unterschiedlichen Habitaten und Regionen der Schweiz entstehen, sowie kein Fazit bezüglich der konkreten Beiträge der einzelnen Einflussfaktoren gezogen werden.

Sehr viele und unterschiedliche Einflussfaktoren werden für den Biomasseverlust der Insekten verantwortlich gemacht. In Bezug auf Agrarlandschaften wurden bis jetzt folgende Faktoren häufig genannt: der Eintrag von Pestiziden, der Stickstoffeintrag, die Bodenbearbeitung, das Regime Schnitt von Pflanzen, die fehlende Vielfalt der abiotischen und biotischen Struktur und damit verbunden die fehlenden Lebensräumen und die Vielfalt des Nahrungsangebots. Im Zusammenhang mit Siedlungs- und Strassenbau wird oft der Verlust von Le-

---

<sup>2</sup> Vogelwarte Sempach 2018: Rückgang der Insektenbiomasse in der Schweiz, Kurzfassung der Resultate aus Literaturrecherchen und Interviews mit Fachpersonen

bensraum, Pestizideinsatz in Gärten, künstliche Barrieren und das fehlende Nahrungsangebot sowie Lichtemissionen und Strahlung von Antennen genannt. Weiter werden die Klimaveränderung und invasive Arten als mögliche Faktoren diskutiert.

Eine der Hauptschwierigkeiten bei der Beurteilung der Einflussfaktoren und deren Wirkung in komplexen Systemen ist, dass das Wissen zu den verschiedenen Faktoren bei unterschiedlichen Spezialist\*innen verteilt ist und die damit einhergehenden divergierenden Aussagen zur Situation aus unterschiedlichen Perspektiven. Um die Einflussfaktoren und deren Wirkung mit Messungen besser zu erfassen ist der Aufwand enorm hoch. Die Komplexität und das verteilte Wissen, das oft nur auf Expert\*innenaussagen beruht, spricht für den Einsatz der Fuzzy Set Theorie (FST). Die Fuzzy-Methode erlaubt es, mit quantitativen und qualitativen Angaben zu arbeiten und gleichzeitig auch divergierende Aussagen zu verwenden. Eine Kombination mit GIS ermöglicht zudem, die so gewonnenen punktuellen Erkenntnisse auf verschiedene Standorte zu übertragen bzw. auf weiten Flächen darzustellen.

## 2 Ziel und Ansatz des Projekts

Diese Studie zielt darauf ab, basierend auf Expertenwissen aus langjährigen Beobachtungen und basierend auf vorhandenen Grundlagen aus der Forschung, die Relevanz und das Ausmass der einzelnen Faktoren, die die Insektenbiomasse beeinflussen, differenziert und transparent beurteilen zu können. Zudem soll der standortspezifische Beitrag dieser Einflussfaktoren auf die Entwicklung der Biomasse von Insekten über die letzten 30 Jahre eingeordnet werden.

Insgesamt soll ein Beitrag zur Beurteilung der nachfolgenden Fragen geleistet werden:

- wie hat sich die Insektenbiomasse an unterschiedlichen Standorten seit 1990 entwickelt?
- in welchem Ausmass tragen einzelne Einflussfaktoren zu dieser Entwicklung bei?
- welche Insektengruppen sind von welchen Faktoren in welchem Mass betroffen?
- über welche Entfernung und in welcher Kombination der Faktoren entfaltet sich eine Wirkung?
- wie stark sind Gebiete ausserhalb der Landwirtschaftsflächen betroffen?
- Wie weit ermöglichen einzelne Massnahmen, wie zum Beispiel ein Grünstreifen, den Trend umzukehren und die Förderung der Insekten voranzutreiben?

In dieser Studie wird der FST Ansatz verwendet. Damit soll vorhandenes Wissen bei Expert\*innen und Stakeholder abgeholt und dabei das Wichtigste zeitnah aufgezeigt werden, um gezielter und schneller handeln zu können. Denn Grundlagenforschung bei so einem komplexen Thema ist sehr aufwändig und es besteht das Risiko, dass Empfehlungen daraus zu spät entwickelt werden. Der Fuzzy-Ansatz wird mit Daten aus Geoinformationssystemen (GIS) kombiniert. Somit kommen für eine standortspezifische Analyse und Beurteilung des Schadensausmasses sowohl die Wirkmechanismen als deren zeitliche Veränderung ins Zentrum. Mit einer Analyse ausgewählter Pilotregionen wird eine möglichst gute Abdeckung unterschiedlicher Landschaftstypen mit typischen Belastungsprofilen angestrebt.

Aus der FST-Analyse und den dabei geführten Diskussionen mit Expert\*innen wird zudem folgender Nutzen erzielt:

- Einschätzung des Ausmasses des Insektenverlusts und zeitliche Entwicklung mit einer nachvollziehbaren Darstellung der Zusammenhänge und Wirkungen und strukturiert aufbereiteten Wissen.

- Glaubwürdigkeit der Ergebnisse dank Einbezug der Expert\*innen in der Modellierung, inkl. ihrer unterschiedlichen Meinungen
- FST-Modell für den weiteren Einsatz. Das Modell ist ausbaubar, wenn neue Studienergebnisse vorliegen.
- Hilfsinstrument für die Planung von Massnahmen und die Verbesserung von deren Akzeptanz
- Der Austausch im Rahmen von Interviews und Gesprächen führt erfahrungsgemäss zu neuen Erkenntnissen und erhöht die Akzeptanz von Massnahmen.

## 3 Methode

Die in diesem Projekt durchgeführte Modellierung und Analyse wurden anhand der FST-Methodik umgesetzt. Die Ergebnisse wurden mithilfe von Geo-Daten visualisiert.

Die FST eignet sich aus den folgenden Gründen für die Fragestellung der Insekten Biomasse:

- Die zeitliche Entwicklung der Insektenbiomasse kann trotz fehlender Felduntersuchungen rückwirkend abgeschätzt werden und damit fehlende Erhebungen ersetzt werden
- Komplexe Wirkzusammenhänge und divergierende Aussagen von Spezialist\*innen können einbezogen werden und die Zusammenhänge und Wirkweise der Einflussfaktoren diskutiert werden
- Vorhandenes Wissen - semi-quantitativ, quantitativ, aber auch qualitativ - kann einbezogen werden. So können auch Beobachtungen von Expert\*innen und ortskundigen Stakeholdern wie Förster\*innen, Bauer\*innen, oder Naturschützer\*innen integriert werden.

Die Ergebnisse der FST-Modellierung werden für die Analyse und Darstellung der Resultate mit GIS kombiniert, um das erarbeitete Wissen auf weitere Fläche zu übertragen und damit ein Gesamtbild für die Schweiz zu generieren. Dies ermöglicht es, das Ergebnis auf einfache Weise einem breiten Publikum zugänglich zu machen und das Modell für Analysen von weiteren Standorten ausgehend von Kartengrundlagen einzusetzen. Ausgehend von den lokalen Voraussetzungen, wird anhand von Geo-Daten eine Karte zum Ausmass der Einflussfaktoren und deren Wirkung auf die Insekten Biomasse erstellt.

Die Beschreibung der FST Methode und die wichtigsten Etappen des Projekts sind nachfolgend aufgeführt.

### 3.1 Einführung Fuzzy Set Theorie (FST)

Alltägliche Systeme sind oft so komplex, dass sie nur in den seltensten Fällen mathematisch exakt beschreibbar sind. Albert Einstein beschrieb diesen Sachverhalt folgendermassen: „So weit die Gesetze der Mathematik die Realität betreffen, sind sie unsicher. Und soweit sie sicher sind, beziehen sie sich nicht auf die Realität“. Je komplexer ein System ist, wie zum Beispiel die Umwelt oder Ökosysteme, umso wichtiger wird die Relevanz. Denn nur die Beschränkung auf die Relevanz erlaubt es, die notwendige Effizienz für eine Einschätzung zu erzielen. Die Voraussetzung dafür ist, die wesentlichen Zusammenhänge zu erkennen. Diese Fähigkeit ist eine der Stärken des Menschen, die ihn von einem Computer unterscheiden. Computer können enorme Datenmengen speichern, und diese zum Beispiel mit statistischen Methoden auswerten. Ob die damit gefundenen Korrelationen tatsächlich kausale Zusammenhänge darstellen, ist damit nicht gesagt.

Um diese Stärke der Sprache, Relevantes auszudrücken, auch wenn es nicht exakt definiert ist, auszunutzen, wurde in den sechziger Jahren die Fuzzy Set Theorie (FST), auch Fuzzy Logic genannt, entwickelt. Eine mathematische Disziplin, welche sprachliche Aussagen mathematisch beschreiben kann. Weiter wurden dafür alle mathematischen Rechenoperationen definiert, welche es gestatten, die unscharfen Grössen mit exakten mathematischen Grössen zu verrechnen. Dabei standen die folgenden Anforderungen im Vordergrund:

- Modellierung fließender Übergänge, z. B. Alter: Ab wann ist man nicht mehr jung, sondern alt?
- Einbezug von qualitativem Expert\*innenwissen mit Hilfe linguistischer Variablen – die meisten Menschen können ihr Wissen nicht in mathematischen Formeln ausdrücken; wertvolles subjektives Wissen soll so über sprachliche Aussagen integriert werden.
- Zusammenbringen von quantitativen und qualitativen Daten und Wissen auf eine mathematische Weise. Einbezug von klassischer, exakter Mathematik.

Das Vorgehen bei der Anwendung der FST umfasste die folgenden Schritte:

- Ermittlung der notwendigen Daten und Datenaufbereitung
- Die Bestimmung der relevanten Einflussgrößen.
- Definition der unscharfen Größen (Fuzzy Set) und Fuzzyifizierung. Die Eingangsgrößen werden als linguistische Variable dargestellt.
- Definition der Zusammenhänge mit Regelblöcken (Modellbildung) Die Zusammenhänge, welche als Expertenaussagen vorliegen, wie z. B. „Wenn die Intensität der Landnutzung hoch ist, gehen wichtige abiotische und biotische Strukturen verloren, das Angebot an Nahrung und Lebensräumen für Insekten sinkt“, werden in Regeln gefasst, welche die Eingangsgrößen mit den Ausgangsgrößen verknüpfen.
- Modellierung und Diskussion der Ergebnisse mit den Expert\*innen. Die Ergebnisse dieses Modells werden mit Feldstudien und Beobachtungen lokaler Stakeholder und Entomologen verglichen. Falls die Korrelation nicht genügend ist, werden mit den Expert\*innen mögliche Änderungen des Modells diskutiert. Dieser Vorgang wird so lange wiederholt, bis die Ergebnisse befriedigend sind. In diesem Projekt wurden die Fuzzy-Ergebnisse mit denen von Forschungsergebnissen zu einzelnen Faktoren oder Insektengruppen sowie von Beobachtungen in den Pilotregionen verglichen.

## **3.2 Einsatz der FST, Fuzzy-Modell Insektenbiomasse, Ausgangspunkt und Skalierung**

Entsprechend des oben beschriebenen Vorgangs wird die hier durchgeführte Beurteilung der Einflüsse auf die Insektenbiomasse in der Schweiz mithilfe eines FST-Instruments in folgenden Etappen durchgeführt:

1. In einem ersten Schritt werden existierende Methoden und Studien zusammengetragen und erste Zusammenhänge basierend auf dieser Literatur entworfen. Mehrheitlich erfasst wird in der Literatur die Abundanz (Anzahl Individuen) und nur selten das Gewicht (Biomasse). Die Abundanz wurde aus diesem Grund auch als Grösse für die Beurteilung der Biomasse verwendet.
2. Mit einer Kerngruppe von Insekten- und Ökologie-Expert\*innen wird die Fuzzy-Modellierung erarbeitet, bewertet, hinterfragt und angepasst. Relevanz unterschiedlicher Einflussfaktoren werden diskutiert und Regelblöcke zur Beschreibung von Zusammenhängen definiert.
3. Testauswertung für ausgewählte Pilotregionen werden durchgeführt und das Ergebnis dieser Analyse, das Zusammenspiel der Einflussfaktoren und die damit bedingten Verluste der Insektenbiomasse werden mit den Expert\*innen diskutiert.

4. Die Qualität des so erarbeiteten Modells und das Ergebnis der Analyse der Pilotregionen wird anhand bestehender Untersuchungen sowie Feldbeobachtungen von Expert\*innen und ortskundigen Stakeholdern geprüft und so das Modell weiter justiert, bis das Modell als zufriedenstellend für die verschiedenen Pilotregionen beurteilt wird. Auch nach Abschluss dieses Projekts kann das Modell mit neuen Erkenntnissen weiterhin justiert werden.
5. Daraufhin werden die Resultate zur Analyse und Illustration mit GIS-Daten kombiniert.

Der Fokus der Fuzzy- und GIS-Analysen liegt auf unterschiedlichen Standorttypen der Schweiz, zeitlich wird ein Zeitraum von 1990 bis 2020 ins Zentrum gestellt, weil die Aussagen der Experten und das Kartenmaterial vorwiegend diesen Zeithorizont beinhaltet. Weit vor 1990 sind mit dem Bau Siedlung, der Korrektur der Gewässer und der Umwandlung von Wald und Auen zu Landwirtschaftsflächen grosse Verluste erfolgt. Diese Faktoren sind nur beschränkt durch die aktuelle Nutzung beeinflussbar. Sie werden deshalb bei der Beurteilung nicht als Einbusse betrachtet. Stattdessen wird ausgehend vom heutigen Potential der Fläche eine Beurteilung gemacht. Die Skalierung des Ergebnisses über die Biomasseverluste erfolgt damit im Vergleich zur potentiell maximalen Insektenbiomasse im Wald, Offenland, Siedlungen und Gewässern unter besonders günstigen Bedingungen nach einer Umwandlung. 100% Insektenbiomasse entspricht damit dem Potential der Fläche in einem optimalen Zustand und die Differenz dazu die Einbusse im Vergleich.

### 3.3 Literaturrecherchen und Experteninterviews

Für ein möglichst umfassendes Bild wurden in einer ersten Phase Entomolog\*innen mit unterschiedlicher Fachexpertise sowie Spezialist\*innen für Monitoring und Artenschutz befragt und ergänzend Literaturrecherchen erstellt. Die Auswahl der Expert\*innen beruht auf einer Empfehlung des BAFU und SCNAT sowie Empfehlungen von bereits kontaktierten Interviewpartner\*innen und eigenen Recherchen.

Für die Interviews der Phase 1 wurde ein Fragebogen mit vier Schwerpunkten erarbeitet. Die dabei formulierten Fragen umfassen entsprechend die folgenden Punkte:

- Einordnung des vorhandenen Wissens und Kontext der Beobachtungen: Zeit, Ort und Hintergrund der Beobachtungen der Interviewpartner\*innen
- Beschreibung der beobachteten zeitlichen Veränderung der Insektenbiomasse für die Beobachtungsgebiete und die dabei im Fokus stehenden Insektenarten
- Einstufung der Relevanz unterschiedlicher Einflussfaktoren für die beobachteten Veränderungen
- Übertrag der Aussagen in ein Modell-Schaubild, Zuordnung der Einflussfaktoren zu Wirkmechanismen und linguistische Aussagen zu Zusammenhängen «wenn, dies...» und «dann erfolgt, das...»

Die nachfolgende Tabelle zeigt den unterschiedlichen Fokus der Interview Partner\*innen und deren thematischer Schwerpunkt.

**Tabelle 1: Interview Expert\*innen und Wissensträger Phase 1 (Aufbau Modellierung)**

<b>Interview</b>	<b>Insekten Fokus der Expert*innen</b>	<b>Landschaftlicher Fokus</b>	<b>Themen</b>	<b>Untersuchungen</b>
A	Biodiversitätsmonitoring Tagfalter/Schmetterlinge	Naturschutzgebiete, Monitoring Flächen	Biodiversität, Indikatoren-Arten BDM	Biodiversitätsmonitoring BAFU, Schwerpunkt Tagfalter
B	Wildbienen, Schwebefliegen, Laufkäfer, (Spinnen)	Agrarökosysteme (Wiesen Äcker, Obstbau), Mittelland. AG, BE, LU, ZH, TG	Prädatoren und Biodiversität	Agrarökosysteme: Einfluss Blühstreifen, Artenreiche Flächen, Hecken, Bewirtschaftungsformen und Einsatz Pestizide
C	Wald Entomologe, Waldinsekten allgemein, Schädling Borkenkäfer	Wald, Sturmflächen, Schadensflächen	Wechselwirkung Wirtsbäume-Insekten, Totholz	Waldinsekten auf Flächen mit Sturmschäden, Schadensflächen
D	Larven: Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen, Libellen	Fliessgewässer Mittelland	Makrozoobenthos, Gewässerökosystem	Revitalisierungen
E	Wildbienen, weitere Bestäuber	Wiesen mit hoher Biodiversität, Ausgleichsflächen	Evolution und Interaktion Wirtspflanzen, rote Listen	Interaktion Wirtspflanzen
F	Waldinsekten (Fokus Ameisen und Nekrophage)  Schmetterlinge, ausgewählte Familien Käfer Generalist «Insekten», Fokus Tagfalter, Wildbienen Libellen, Heuschrecken, einzelne Familien Käfer	Wald: Voralpen Jura Vaudois, Nationalpark  Trockenwiesen, qualitative hochwertige Wiesen Generalist "alle Habitats"	Naturpärke, Naturreserve  Rote Liste und Biodiversitätsmonitoring 400 Habitats (die meisten einmalig besucht) 250 km <sup>2</sup> Habitats	Waldameisen in regionalem Naturpark (Parc Jurassien Vaudois), Wirbellose in Schweizer Nationalpark  Rote Liste, BDM Rote Liste, Atlas der Schmetterlinge  Rote Liste, BDM
G	Insekten allgemein, nachtaktive Insekten,	Siedlung, Landwirtschaft	Licht	Einfluss von Licht auf nachtaktive Insekten, Biodiversität
H	Gewässerinsekten, EPT	Gewässer	Gewässerökologie. Makrozoobenthos	Artenbestimmung, Klimawandel, Einfluss von Wasserqualität
I	Laufkäfer, ausgewählte Herbivore «Schädlinge»	Agrarökosysteme Längere Beobachtungen BE	Schädlingsbekämpfung und invasive Arten.	Invasive Arten auf grösseren Skalen, Schädlinge
J	Laufkäfer «Schädlinge/ Nützlinge»	Agrarökosysteme, Fokus Bio-Landabu	Wirbellose Landwirtschaft	Einfluss ökologischer Landwirtschaftspraxen auf Arthropoden
K	Biomasse Insekten, u.a Heuschrecken, Herbivore Käfer, Wildbienen, Schwebfliegen	Agrarlandschaften Weiden/Wiesen/Naturnahes Grasland in Berggebieten	Fokus LW Intensität. Allgemeines Systemverständnis Ökologie.	Einfluss Mähregime und Mähetechnik, Stickstoff, Bewässerung. Versuche extensive Fläche mit Gülle und Bewässerung.
L	Gesamtbild Zustand Ökosysteme	Sammlung Wissen in verschiedenen Bereichen	Biodiversität und Verlust Insekten Biomasse	Laufende Recherchen Literatur Insekten Biomasse Verlust und Einfluss auf weitere Spezies

Die erarbeiteten Resultate und Darstellungen wurden im Rahmen eines Workshops beim BAFU im Februar 2020 sowie in der 2. Interviewphase mit lokalen Expert\*innen aus den Pilotregionen sowie Interviewpartner\*innen aus der ersten Phase diskutiert und damit die Grundlagen überarbeitet und verbessert.

**Tabelle 2: Interview Beobachter/lokale Stakeholder Phase 2 (Justierung Modellierung)**

<b>Pilotregion</b>	<b>Interview Partner*innen</b>	<b>Beschreibung Hintergrund</b>
VD Region Method	Person 1	Biologe mit Fokus auf Wiesen, Weiden und Landwirtschaft
	Person 2	Rote Liste CSCF. Intensität der Nutzung von offenen Gebieten.
	Person 3	Naturschutz, Alliance Vaudoise Pour la Nature AVPN, Beobachtung Gebiet um Method VD seit 3 Jahren
TG Region Güttingen	Person 1	Insektenbeobachter allgemein seit 40 Jahren Beobachtung der Seeregion im Thurgau. Mitarbeit Erhebungen Libellen, Tagfalter, Totholzkäfer und andere, Autodidakt
	Person 2	Landwirt (konventionell), Tafelobst und Milchwirtschaft, tägliche Arbeit auf dem Feld. Langjährige Beobachtungen, Hof von Vater übernommen. Erfahrungen Landwirtschaft, Blühstreifen
	Person 3	Förster, Forstinventare Schweiz 80er Jahre, Förster Thurgau seit über 30 Jahren, Diskussionen lokal mit Bauern und Förstern
AG Region Rothrist (plus Personen aus Baar ZG und Maschwanden ZH für Input zu AG Rothrist)	Person 1	Allmendbeauftragter und Bio-Bauer seit ca. 30 Jahren, bewirtschaftet ca. 40 ha, die Hälfte der Fläche ist Naturschutzgebiet (Maschwanden)
	Person 2	Langjähriger konventioneller Bauer, 4 Jahre Umstellung auf Bio-Bauer, heute nicht mehr landwirtschaftlich tätig (Baar)
	Person 3	BDM Biodiversität Monitoring, Erhebung LANAG Index Normalflächen Aargau
GR Val Mustair	Person 1	Arbeitet in der Forstwirtschaft, ist seit über 20 Jahren im Val Müstair tätig und beobachtet dabei passiv (Wald-)Insekten. Ist einmal pro Jahr am selben Standort. Hat verschiedene Wald-Typen beobachtet.
	Person 2	Imker seit über 30 Jahren, hat Honigbienen an verschiedenen Standorten beobachtet
	Person 3	In Fischzucht tätig, im Gebiet seit 11 Jahren. Passive Beobachtungen von Gewässerinsekten.
	Person 4	Interessiert an Biodiversität, Fokus Falter, beobachtet auch Heuschrecken und Käfer. Seit über 30 Jahren im Gebiet. Beobachtet Wald, Wiese, Acker, Tag/Nacht, extensiv.
	Person 5	Seit 30 Jahren Vogelbeobachter. Kennt das Gebiet seit ca. 25 Jahren. Beobachtet passiv Falter, Lauf- und Blattkäfer.
	Person 5	Seit 30 Jahren Vogelbeobachter. Kennt das Gebiet seit ca. 25 Jahren. Beobachtet passiv Falter, Lauf- und Blattkäfer.
	Person 6	Bio-Landwirt, besitzt Tiere. Pflügt seit 35 Jahren Biotop im Val Müstair. Einsatz von Mist statt Gülle auf seinem Land. Umgeben von intensiv betriebenen Flächen.
	Person 6	Bio-Landwirt, besitzt Tiere. Pflügt seit 35 Jahren Biotop im Val Müstair. Einsatz von Mist statt Gülle auf seinem Land. Umgeben von intensiv betriebenen Flächen.
Person 7	Seit 40 Jahren Naturbeobachter, Fokus auf Pflanzen Reptilien und seit 6 Jahren Fokus Insekten, insbesondere Falter. Viel in Biodiversitäts-Hot Spots	

## 3.4 Auswahl Pilotregionen

Für eine Auswertung wurden Pilotgebiete ausgewählt, die möglichst unterschiedliche Habitats und Gebiete mit möglichst unterschiedlichen Entwicklungen ins Zentrum entsprechen. Insgesamt sollen diese ein repräsentatives Bild der Schweizer Landschaften geben. Folgende Regionen wurden für die detailliertere Analyse mit FST und GIS ausgewählt und anschliessend das Resultat für eine grossflächige Extrapolation verwendet.

**Tabelle 3 Auswahl und Eigenschaften der Pilotregionen**

Typ Habitat	Auswahl Region	Beschreibung
Mittelland Landbau IP	Method VD	Intensives Management, Landbau grossflächig, viel Äcker
Obstbau IP	Güttingen TG	Intensives Management, Obst- und Gemüsebau
Weiden intensiv	Val Müstair GR	Kunstwiesen/Weiden, Biolandbau
Wald extensiv	Val Müstair GR	Schutzflächen, minimale Belastung.
Wald mässig intensiv	Rothrist AG	Wald im Umfeld gemischter Nutzung
Mittelland Landbau IP	Rothrist AG	Mischform Nutzung zwischen Wald und Siedlungen

Ziel dieser Spannweite ist eine Differenzierung der unterschiedlichen Änderungen der Insektenbiomasse und, damit verbunden, eine bessere Zuordnung Wirkfaktoren und Einordnung unterschiedlicher Beiträge in einem konkreten Umfeld.

## 3.5 Aufbereitung der Resultate im GIS

Für die verschiedenen in Interviews eruierten relevanten Einflussgrössen wurden bestehende und frei verfügbare Geo-Daten gesucht und für eine Verwendung im Rahmen der Fuzzy-Modellierung weiter aufbereitet. Für die Bearbeitung der Geo-Daten wurde QGIS verwendet.

Die Aufbereitung erfolgte ausgehend von den Aussagen aus den Interviews und den Ergebnissen der Fuzzy-Modellierung. Die Recherche des Kartenmaterials orientierte sich an folgenden Parametern:

- Bezug auf die erwähnten Einflussgrössen
- Geeignete Auflösung entsprechend den Aussagen zum Wirkradius
- Abdeckung von unterschiedlichen Zeitpunkten. Vorzugsweise 1990, 2000, 2020

Für jeden Einflussfaktor wurden die Daten in GIS eingelesen und eine geeignete Klassifizierung der Daten vorgenommen um die Aussagen der Expert\*innen möglichst präzise wiedergeben zu können. Im Ergebniskapitel werden jeweils zwei Zeitpunkte gegenübergestellt, um so die Veränderungen der einzelnen Einflussfaktoren über die Zeit qualitativ beurteilen zu können.

Die inhaltliche Übereinstimmung der Geo-Daten mit den einzelnen Einflussfaktoren ist nicht überall gleich stark. Während beispielsweise für die Lichtverschmutzung gute und direkt auf die Einflussgrösse bezugnehmende Geo-Daten existieren, musste die Intensität der Landwirtschaft indirekt über Daten zur jeweiligen Landnutzungsklasse abgeleitet werden. Die Zuordnung erfolgte aufgrund Aussagen zur Intensität unterschiedlicher Landnutzungstypen aus Interviews.

Auch die zeitliche Abdeckung umfasst nicht überall den gesamten Zeitraum von 1990 bis 2020 und es mussten entsprechend Abschätzungen gemacht werden. Insbesondere auf Satellitendaten basierende Daten sind,

aufgrund der Kurzlebigkeit von Satelliten, selten über grössere Zeiträume in konsistenter Qualität verfügbar. Des Weiteren haben unterschiedliche Datenquelle sehr unterschiedliche Aktualisierungszyklen. Teilweise gibt es für einzelne Jahre oder gar Monate Daten, während andere Quellen nur einen Datenpunkt pro Jahrzehnt generieren.

Zur Synthese wurden die jeweiligen GIS-Karten mit einem einfachen Python-Skript kombiniert. Dabei wurde einerseits eine Karte mit dem aktuellen Eignungsgrad für Insekten generiert sowie eine Karte mit älteren Daten generiert. Die Gewichtung der einzelnen Karten basierte dabei auf den Ergebnissen der Expert\*innen-Interviews. Dadurch lässt sich räumlich erkennen, wo die Hotspots des Drucks auf die Insektenpopulation aufgrund der Expertenaussagen zu erwarten sind. Zudem kann durch den Vergleich der beiden Karten der erwartete Trend zu einer Verbesserung oder Verschlechterung abgeleitet werden.

## 4 Ergebnisse

### 4.1 Literaturrecherchen, Vorabklärungen

Nachfolgende Literatur (Tabelle 4) wurde für den Aufbau der Modellierung und die Justierung des Modells verwendet. Die Referenzen decken Studien zur zeitlichen Entwicklung und Studien zu Einflussfaktoren ab.

#### 4.1.1 Zeitliche Entwicklung Insektenbiomasse/Abundanz

Die folgenden Literaturangaben ergeben Hinweise auf die Veränderung der Insektenbiomasse.

**Tabelle 4 Literatur zur Entwicklung der Insektenbiomasse**

<b>Referenz</b>	<b>Betroffene Gruppe/Landschaft</b>	<b>Aussage</b>
(Hallmann u. a., 2017)	Fliegende Insekten, Felduntersuchungen Naturschutzgebiete im Umfeld Landwirtschaft (Deutschland)	Mehr als 75% Verlust Biomasse fliegender Insekten in Malaisefallen in Naturschutzgebieten Deutschlands über 27 Jahre
(Seibold u. a., 2019)	Fliegende Insekten/Offenland und Wald	Grössenordnung 67% Verlust Biomasse im Offenland in Deutschland zwischen 2008 und 2017, mit eingeschlossen Naturschutzgebieten. 41% Verlust Biomasse in Wäldern.
(European Environment Agency (EEA), 2019)	Grasland Butterfly (Europa)	Verlust Populationen Schmetterlinge zwischen 1990 und 2015 in Europa im Bereich 20-40%, Mittelwert 30% (EU-28).
(Buse u. a., o. J.)	Wald, Laufkäfer	In europäischen Wäldern, kein signifikanter Rückgang Laufkäfer wurde festgestellt
(Schnabler, 2017)	Insektensterben «Licht ins Dunkle bringen – gibt es das Insektensterben wirklich?»	NABU Sammlung an Studien unter Unterlagen zum Thema Insektensterben. Erhebungen aus unterschiedlichen europäischen Ländern mit unterschiedlichem Ergebnis über die Einbussen an Insekten
(Francisco Sánchez-Bayo & Kris A.G. Wyckhuysb, 2019)	Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers.	Zusammenstellung der wichtigsten Treiber in Studien zu Insektenverlusten und statistische Auswertung gefährdeter Arten terrestrischer und aquatischer Taxa.
(Hintermann und Weber, 2019)	Tagfalter, Normallandschaft des Kantons Aargau	Veränderungen im Aargau im Zeitraum 2003 bis 2019, Karte mit Darstellungen regionaler Zu- und Abnahme des Kessler-Index (beinhaltet neben Tagfaltern auch Vögel, Pflanzen und Mollusken).
(Klink u. a., 2020)	Meta-Studie Insekten Verluste	Compilation of data from 166 long-term surveys across 1676 globally distributed sites: declines in terrestrial insects, albeit at lower rates than some other studies have reported. However, they found that freshwater insect populations have increased overall, perhaps owing to clean water efforts and climate change.
(Verein Schmetterlingsförderung im Kanton Zürich, 2012)	Tagfalter Inventar 2011-2012 und Vergleich mit Inventar 1990-1992	Darstellung der Veränderung Artenzahlen nach Gemeinden (10 abnehmend, 7 zunehmend, 20 stagnierend). Artenverluste bei Spezialisten und Zunahme bei Generalisten. Beschreibung von Einflussfaktoren mit daraus resultierenden Veränderungen (Klimaveränderung, Nährstoffeintrag, Intensität Nutzung, Fragmentierung/Isolation und fehlender Austausch der «Metapopulationen»)

Referenz	Betroffene Gruppe/Landschaft	Aussage
(Nöthiger-Koch & Schmill, o. J.) (BAFU, 2014)	BDM Biodiversitätsmonitoring Schweiz	Methodik BDM, seit 2010 Erhebungen Gewässerinsekten (Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen), seit 2003 Tagfalter. Basisdaten aus dem Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM, Indikator Z3. Entwicklung Artenzahlen Tagfalter, Libellen und Heuschrecken 1900 bis 2010.
(Dougoud, o. J.)(BAFU, 2017a)	BDM Biodiversitätsmonitoring Schweiz	Biodiversitätsmonitoring Entwicklung Tagfaltergemeinschaften 2007-2015 nach Regionen, abgesehen von Jura leicht abnehmend.

Ein Schwerpunkt bei den Meldungen zur Einbusse der Insektenbiomasse liegt bei Bestäubern bzw. Fluginsekten. Daneben ist eine deutlich stärkere Einbusse bei Spezialisten gegenüber Generalisten ein Thema, was auch die Unterschiede zwischen den Biodiversitäts-Verlusten und den Biomasse-Änderungen erklären kann. Ein Anhaltspunkte für Differenzen beim Ausmass der Betroffenheit zwischen Gruppen ergibt auch die nachfolgende Abbildung 4 aus der Publikation von (Francisco Sánchez-Bayo & Kris A.G. Wyckhuysb, 2019)(Francisco Sánchez-Bayo & Kris A.G. Wyckhuysb, 2019) mit einer statistischen Auswertung der Artenverluste verschiedener terrestrischer und aquatischer Taxa. Die Studie thematisiert auch die Relevanz von Einflussfaktoren dieser Veränderungen in einem grösseren länderübergreifenden Kontext.

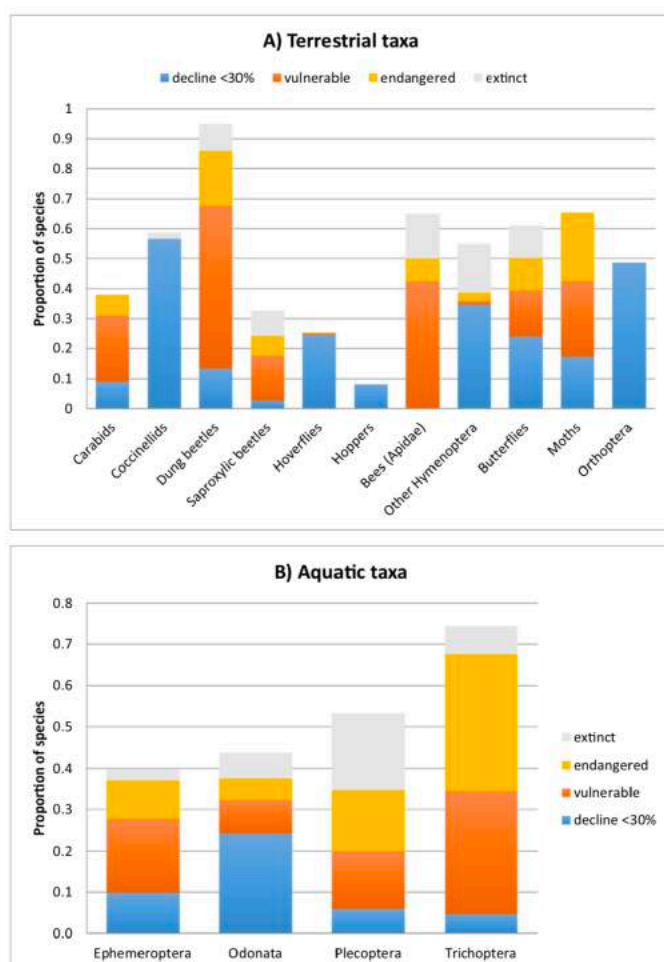


Fig. 3. Proportion of insect species in decline or locally extinct according to the IUCN criteria: vulnerable species (> 30% decline), endangered species (> 50% decline) and extinct (not recorded for > 50 years). A) terrestrial taxa; B) aquatic taxa.

**Abbildung 4: Änderung der Anzahl Spezies nach Taxa gemäss (Francisco Sánchez-Bayo & Kris A.G. Wyckhuysb, 2019)**

## 4.1.2 Studien zu Einflussfaktoren und Effekt auf Insekten

Verschiedene Faktoren wirken sich auf Insekten aus. Ihr Einfluss unterscheidet sich stark zwischen den einzelnen Arten und betroffenen Gruppen (z.B. nachtaktive Insekten und Licht, Heuschrecken und Bestäuber stärker abhängig vom Management Wiesen als Laufkäfer). Die nachfolgende Tabelle 5 fasst Studien zusammen, die den Effekt verschiedener Einflussfaktoren auf gewisse Insektengruppen beschreiben und in der Modellierung neben den Interviews für die Beurteilung der Relevanz und Wirkweise berücksichtigt wurden.

**Tabelle 5: Literatur Einflussfaktoren auf die Biomasse oder Abundanz verschiedener Insektengruppen**

<b>Referenz</b>	<b>Einflussfaktor</b>	<b>Fokus</b>	<b>Aussage</b>
(E. A. Martin u. a., 2019)	Fragmentierung / Vielfalt Landschaftstrukturen / Management Ränder (landscape composition (% habitats) and configuration (edge density))	Arthropoden, Agroökosysteme	"Overall, however, in landscapes with high edge density, 70% of pollinator and 44% of natural enemy species reached highest abundances"
(Colignon u. a., 2000)	Fragmentierung	Insekten, Agroökosysteme	11% mehr Insekten in einem Bohnenfeld, wenn Brachland in unmittelbarer Nähe
(Lichtenberg u. a., 2017)	Fragmentierung / Anteil naturnahes Habitat	Arthropoden, Agroökosysteme	"Both organic farming and higher in-field plant diversity enhanced arthropod abundance, particularly for rare taxa." "Overall, both organic farming and in-field plant diversification exerted the strongest effects on pollinators and predators"
(Zingg u. a., 2018) (Zingg u. a., 2019)	Fragmentierung / Anteil naturnahes Habitat	Gradient Intensität Landwirtschaft und Einfluss auf Vögel und Schmetterlinge	"Increasing the proportion and quality of land under agriculture promotes birds and butterflies at the landscape scale. We conclude that to further promote farmland biodiversity, natural areas, such as forests, hedges and waterbodies, should cover at least 20% of the agricultural landscapes and the proportion of BPA should be increased."
(Andrey u. a., 2016)	Düngung/Bewässerung	Heuschrecken	Zwei Jahresversuche mit Vergleichsflächen Heuwiesen Alpwirtschaft. Einfluss des Düngereinsatz und Bewässerung, höheren Biomasse Pflanzen und Biomasse Heuschrecken mit der Düngung und Bewässerung gegenüber Verlusten Biodiversität. Rückgang Spezialisten und Zunahme Generalisten.
(Haddad u. a., 2000)	Düngung	Insekten (Herbivore, Detrivore, Prädatoren, Parasitoide)	Langzeitbeobachtung Einfluss des Düngereinsatz, Biomasse Pflanzen und Biomasse Insekten. Durch Düngung höhere Biomasse Pflanzen und damit verbunden mehr Biomasse Detrivore und Herbivore Insekten. Rückgang Spezialisten und Zunahme Generalisten.
(Jansson u. a., 1991)	Düngung	Insekten Schädlinge	Zunahme Schädlinge mit Düngung

<b>Referenz</b>	<b>Einflussfaktor</b>	<b>Fokus</b>	<b>Aussage</b>
(Breitenmoser, 2019)	Intensität, Düngung	Käfer in Rapsfeldern	Artenzahl und Abundanz in Rapsfeldern. Relative hohe Individuenzahlen Käfer, aber sehr einseitige mit 98% Schädlingen.
(Birkhofer u. a., 2017)	Intensität, Düngung	Grasslands and Forests, 72 sites in Germany (Land use intensity gradient. Insekten: Auchenorrhyncha (Zikaden), Carabidae (Laufkäfer), Heteroptera (Wanzen)	“Our results suggest that gradients in management intensity across land-use types will not generally reduce trait diversity in multiple taxa, but will exert strong trait filtering within individual taxa. In contrast to above-ground arthropod communities, below-ground arthropod communities are assumed to be less sensitive to land-use change and intensification (..)However, anthropogenic disturbances to soils such as liming in forests or fertilization in grasslands directly alter major soil properties, with severe consequences for soil communities”
(BAFU, 2006)	Intensität, Wiesen	Rückgang artenreicher Trockenwiesen und Weiden	Faltblatt zum Schutz und Förderung Trockenwiesen und Weiden. Beurteilung Flächen Schweiz
(Balandier, 2014)	Intensität Nutzung	Biodiversität inkl. Insekten, Wald	Einfluss der Intensität der Bewirtschaftung, Veränderung Insektenreichtum abhängig von der Dichte und Homogenität Pflanzenbestand und Lichteinfall.
(Gossner u. a., 2019)	Intensität Waldmanagement und Totholz	Wald (Buchenwälder bis Nadelholzwälder), Holzborkenkäfer (Pheromone Trap)	“In general, we found decreasing abundance and attack probability by ambrosia beetles with increasing management intensity, which is most likely related to the availability of suitable breeding substrate” “In our study, however, the availability of dead wood suitable for ambrosia beetles decreased with increasing management intensity”
(Humbert u. a., 2018)	Intensität, Wiesen	Alternative Mähregime zur Förderung der Artenvielfalt Wiesen  Heuschrecken, Tagfalter und Hautflügler (Wespen und Wildbienen)	Sehr stark betroffen sind durch das Regime von Wiesen, den Zeitpunkt und die Häufigkeit des Mähens die Heuschrecken, Tagfalter und Hautflügler (Wespen und Wildbienen). Die Studie nennt eine Grössenordnung Veränderung der Heuschrecken mit einem Regimewechsel und mit einem späterem ersten Schnitt von rund fünfmal mehr Heuschrecken. Die Zahl war bei BFF-Wiesen mit Rückzugsstreifen doppelt so hoch. Die vor dem ersten Schnitt mit dem Streifnetz gesammelten Schmetterlingsraupen waren bei Wiesen mit Rückzugsstreifen 2,7 Mal häufiger als in den anderen Wiesen Nachtaktive Schmetterlinge hängen eher von der Umgebung ab, Waldrand günstig. Kaum ein Effekt durch Mähregime wurde festgestellt bei Laufkäfern und Kurzflüglern.
(Humbert u. a., 2010)	Intensität, Wiesen	Ernteprozess und Einfluss auf Insekten	Einfluss des Ernteprozesses auf Heuschrecken und Raupen
(Meyer u. a., 2017)	Intensität, Wiesen	Mähregime, Einfluss auf Insekten	Zeitpunkt erster Schnitt, Einfluss Mähregime auf Wildbienen und Schwebfliegen.
(Simons & Weisser, 2017)	Intensität, Wiesen	Wiesen Bewirtschaftung	Bewirtschaftung mit variabler Intensität zum Erhalt Biodiversität Insekten

<b>Referenz</b>	<b>Einflussfaktor</b>	<b>Fokus</b>	<b>Aussage</b>
(Leidinger u. a., 2019)	Intensität Waldmanagement	Wald / Käfer, Zikaden und Wanzen	<p>“Forest management intensity had opposing effects on herbivores in the two forest strata, with abundances tending to be negatively affected in the canopy layer but positively in the understory»</p> <p>“Stand developmental stage of beech forests mainly impacted plant suckers, with abundance increasing with stand age. However, a general positive effect of stand age on forest herbivores can be suggested”</p> <p>“First, long rotation periods combined with less dense canopies in mid and late developmental stages should be promoted because these are beneficial for herbivorous insects (in beech forests). Second, forest management should place special emphasis on the composition of tree species, in particular the contribution of oak, as well as on the age structure at the stand level and at a larger spatial scale.”</p>
(Grevé u. a., 2018)	Intensität Waldmanagement	Wald / Ameisen	<p>“Main direct effects of forest management on ant abundance and species richness were caused by tree species selection, measured as dominant tree species. The main positive indirect effect was mediated by a reduced canopy cover with an increasing proportion of oak and pine, resulting in a higher temperature amplitude.”</p>
(Umweltinstitut München eV, o. J.)	Pestizide	Allgemeine Daten zur Verfrachtung Pestizide	<p>“Die Ergebnisse zeigen, dass es im Vinschgau von Mitte März bis Ende August eine Dauerbelastung mit Pestiziden gibt, wobei immer mehrere verschiedene Wirkstoffe gleichzeitig in der Luft sind. Sie liefern zudem Hinweise, dass sich einige der Stoffe (Fluazinam, Captan, Phosmet, Chlorpyrifos- methyl, Dithianon und Imidacloprid) über mehrere Kilometer verbreiten.”</p>
(Greenpeace, 2019)	Pestizide	Allgemeine Daten zur Verfrachtung Pestizide	<p>Pestizide in der Schweizer Luft. Messungen Passivsammler von Mai bis November 2019. Auswahl Standorte biologischer Landbau.</p>
(Sponsler u. a., 2019)	Pestizide	Bestäuber	<p>“Our framework consists of three interlocking domains-pesticide use, pesticide exposure, and pesticide effects—each consisting of causally linked patterns, processes, and states.”</p> <p>“Pesticides can exert sublethal and lethal effects on individual pollinators, and the type and extent of these effects vary with exposure level, duration, and route (ingestion, contact, inhalation)”</p>
(Fox, 2018a)	Klimawandel	Allgemein /Pflanzen und ihre Bestäubung	<p>“...mutualistic networks, such as those between plants and their pollinators or seed dispersers, have been found to be more sensitive to climatically projected plant (rather than animal) extinctions”</p>
(Baranov u. a., 2020)	Wasser Temperatur, Abflussregime/Klimawandel	Gewässerinsekten, Gewässer	<p>“for a 42-year period (1969–2010). Overall, water temperature increased by 1.88 °C and discharge patterns changed significantly. These changes were accompanied by an 81.6% decline in insect abundance, but an increase in richness (+8.5%),”</p>

<b>Referenz</b>	<b>Einflussfaktor</b>	<b>Fokus</b>	<b>Aussage</b>
(Langevelde u. a., 2018)	Licht	«Moths» Nachtfalter in den Niederlanden	<p>“Therefore, we compared population trends of Dutch macromoth fauna over the period 1985–2015 between moth species that differ in phototaxis and adult circadian rhythm. We found that moth species that show positive phototaxis or are nocturnally active have stronger negative population trends than species that are not attracted to light or are diurnal species.”</p> <p>“The traits related to light, phototaxis and adult circadian rhythm, explain most variation in the PCA of eleven ecological traits of 481 moth species”</p> <p>“The negative population trends of moth species that are nocturnally active or have positive phototaxis agree with findings at the level of individuals, where moths show reduced foraging, pollen transport, dispersal and reproduction when subjected to artificial light compared to dark conditions”</p> <p>“The changes in lamp types should not only reduce the attractiveness of the lamps for nocturnal organisms, but also reduce the level of background illumination using lights that are better shielded so that large parts of rural areas are (more) dark. The negative effects on nocturnal organisms are then limited to the close proximity of light sources, and darkness will be restored over the greater part of rural areas in order to reverse the decline in moth populations.”</p>
(Knop u. a., 2017)	Licht	Grassland Schweizer Voralpen, Bestäuber	<p>“Our findings demonstrate that artificial light at night is a threat to pollination and that the negative effects of artificial light at night on nocturnal pollination are predicted to propagate to the diurnal community, thereby aggravating the decline of the diurnal community.”</p> <p>Rund 10% weniger Früchte bei Beleuchtung gegenüber keiner Beleuchtung</p>
(Fox, 2018b)	Licht	Nachtfalter	Shedding light on moth declines
(Sordello, 2017)	Licht	Review / Biodiversität allgemein, Differenzierung Insekten	Licht beeinflusst Insekten über ihre Orientierung und Phototaxis. Verschiedene Teile des Lichtspektrum haben andere Wirkungen (oranges und violette Spektrum hat weniger Einfluss).
(Grubisic u. a., 2018)	Licht	Agroökosysteme/ Insekten allgemein	<p>“For example, lights with strong emission of UV and short wavelengths such as mercury vapour and fluorescent lamps have long been known to attract the highest number and diversity of insects.”</p> <p>“Flight-to-light behaviour directly increases insect mortality as some insects are killed immediately in contact with the lamp, while many die of exhaustion or predation”</p> <p>“The radius of attraction reported in the literature varies from 3 m to 130 m depending on the species, light type (i.e. spectral composition) and environmental illumination”</p> <p>“LED lamps attract more flies, moths and butterflies (Pawson &amp; Bader, 2014), but less beetles (Wakefield et al., 2018).”</p>

<b>Referenz</b>	<b>Einflussfaktor</b>	<b>Fokus</b>	<b>Aussage</b>
(Hart u. a., 2006)	Pestizide	Arthropoden, UK	“The abundance of arthropods important in the diet of nestling yellowhammers increased between mid-May and the end of July. However, arthropod samples collected within 20 days of an insecticide application did not show this seasonal increase in abundance”
(AfU Kanton Thurgau, 2019)	Pestizide	Gewässer Thurgau	Belastung Gewässer, Diazinon häufig über der Grenze für chronische Toxizität.
(Spycher u. a., 2019)	Pestizide	Bäche in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft	Anhaltend hohe Pflanzenschutzmittel (PSM) Belastung in Bächen. Kleine Gewässer in Gebieten mit intensiver Landwirtschaft verbreitet betroffen. NAWA-SPEZ-Studie 2017 untersuchte fünf kleine Gewässer mit landwirtschaftlich genutzten Einzugsgebieten auf die Belastung durch PSM. Von 217 untersuchten PSM-Wirkstoffen wurden 145 nachgewiesen. In jeder Probe wurden im Durchschnitt 34 Wirkstoffe gemessen. In allen fünf Gewässern wurden chronische und akute ökotoxikologische Qualitätskriterien von insgesamt 31 Wirkstoffen überschritten. Mit Überschreitungen um einen Faktor 9 bis 30 bestanden in allen untersuchten Bächen hohe Risiken für die Gewässerorganismen.
(A. E. Martin u. a., 2018)	Barrieren	Fliegende Insekten, Strassen	„We found significantly fewer insects at the high-traffic roads than at the low-traffic roads as predicted. There was a 23.5% decline in the number of insects/km/vehicle on high-traffic relative to low-traffic roads.“

## 4.2 Interviews

In Expert\*inneninterviews wurde einerseits nach der beobachteten Entwicklung Insektenbiomasse und andererseits für den Aufbau der Fuzzy Modellierung auf die Frage nach Einflussgrößen, Wirkungsmechanismen und deren Relevanz ausgerichtet. Die so gewonnenen Informationen sind in den folgenden Kapiteln beschrieben. Aussagen wurden häufig für einen spezifischen Ort und mit einem Fokus auf bestimmte Artengruppen gemacht. Die unterschiedlichen und teilweise auch divergierenden Aussagen wurden mit Hilfe der Fuzzy Modellierung zu einem Gesamtbild zusammengefasst. Dies erlaubt einen adäquaten Umgang mit unterschiedlichen Aussagen zu einzelnen Einflussgrößen. In den nachfolgenden Kapiteln sind die Aussagen aus den Interviews thematisch aufgrund der Bedeutung und Wirkung der verschiedenen Einflussfaktoren sortiert. Wo möglich wurde bei der Diskussion Fokus-Insektengruppen und unterschiedliche Betroffenheit diskutiert. Die Interviews werden basierend auf den Interview-Protokollen zusammengefasst. Es werden dabei Beobachtungen, die subjektiv und ortsspezifisch sind, zusammengefasst. Dies erklärt, warum Aussagen nicht immer kohärent sind oder nicht immer möglichen Statistiken oder Studien entsprechen, die von anderen Personen an anderen Orten erstellt wurden. Zudem wurden Interviewpartner\*innen im Rahmen der Anwendung der FST-Methode aufgefordert, Schätzungen zu treffen und Regeln zu beschreiben, die sie vorher nicht bewusst formuliert hatten. Die Aussagen müssen also immer in ihrem Kontext und im Rahmen der Unsicherheiten betrachtet werden. Robuste Aussagen entstehen erst wenn alle Schätzungen mit der FST zusammengeführt werden.

### 4.2.1 Wahrnehmung zeitlicher Verlauf der Biomasse Insekten

Nachfolgend wird die zeitliche Entwicklung aus unterschiedlichen Perspektiven beschrieben.

#### *(A) Fokus: Wiesen und Schwerpunkt Tagfalter/Schmetterlinge*

Ein Verlust der Insektenbiomasse kam vor allem vor dem Jahr 2000 zu tragen. Heute geht dieser Verlustprozess allerdings in den Alpen aufgrund der Intensivierung der genutzten Flächen weiter. Auf der anderen Seite führt hier auch das Aufgeben und das Verbrachen von Weiden zu einem Verlust, d.h. nicht mehr genutzte artenreiche Flächen werden zu Wäldern. Abgesehen davon ist der Trend heute eher so, dass es in der Schweiz mit den Insektenbeständen, ausser im alpinen Raum, wieder etwas aufwärts geht.

#### *(B) Fokus: Agrarökosysteme und Schwerpunkt Laufkäfer, Wildbienen, Fluginsekten*

Während den letzten 17 Jahren, also seit dem Jahr 2003, konnten keine massiven Verluste von Wildbienen und Laufkäfern in Agrarökosystemen beobachtet werden. Es gibt einige spezialisierte Arten, vor allem fliegende Insekten, die weniger oft gesichtet werden. Bei weniger anspruchsvollen Arten konnte seit 2010 teilweise sogar eine Zunahme verzeichnet werden.

#### *(C) Fokus: Waldentomologie und Schwerpunkt Waldinsekten, Fotografie Insekten Wiesen/Alpwiesen*

In den letzten 20 bis 30 Jahren folgende Beobachtungen gemacht: In Wäldern sind weniger Holzinsekten zu finden. Zum Beispiel findet man auf Holzlagern weniger Käfer und Wespen. Totholz ist der Lebensraum von solchen Insekten. Einschätzung Insektenbestand in den letzten 30 Jahren um maximal 20 % zurückgegangen. Seit etwa 10 Jahren Trendwende, unter anderem, weil bereits seit 20 Jahren vermehrt Totholz in Wäldern liegen gelassen wird. Die Trendwende hat zum einen mit der Förderung der Biodiversität, aber auch mit wirtschaftlichen Gründen zu tun, wie es z.B. als nach dem Sturm Vivian, der 1990 im Bündnerland grosse Teile von Schutzwäldern zerstörte, Totholz liegen gelassen wurde. Heute wird dies häufiger so gemacht. Dadurch sind Insekten wie z.B. der als gefährdet eingestufte Hirschkäfer wieder vermehrt zu finden.

An den Waldrändern ging der Insektenbestand in den letzten 30 Jahren etwas mehr, schätzungsweise maximal um bis zu 25 % zurück bis vor 10 Jahren. In den letzten 10 Jahren wurde verstärkt auf die Artenvielfalt an Waldrändern Rücksicht genommen. So wurden Sträucher gepflanzt oder einfach stehen gelassen. Die landwirtschaftlichen Flächen, die an Wälder angrenzen, wurden teilweise weniger nahe an den Waldrand bewirtschaftet, d.h. es wurde da weniger Dünger verfrachtet und beim Mähen mehr Abstand zum Wald gelassen. Dadurch ist auch in diesem Ökosystem wieder eine Zunahme an Insekten festzustellen.

Allgemein persönlicher Eindruck durch Beobachtung, dass in den letzten 30 Jahren weniger Arten weniger häufig vorkommen: weniger Holzinsekten auf Holzlagern, weniger Ameisenhaufen, weniger fliegende Insekten und Pflanzendiversität in Wiesen.

#### *(D) Fokus Fließgewässer Mittelland und Schwerpunkt Eintags- und Steinfliegen*

Das Ausmass des Insektenbiomasse-Verlusts beträgt mindestens 50 % (Fokus auf EPT). Je nach Art und Spezialisierung der Insekten ist sogar ein Rückgang von bis zu 90 % anzunehmen. Eintagsfliegen und Steinfliegen z.B. kommen nur noch selten vor. Diese machten einen grossen Teil der Insektenbiomasse aus. Besonders stark zurückgegangen ist der Bestand an Steinfliegen. Diese brauchen sehr sauberes Wasser, was heute selten geworden ist. Die Verluste haben sicher vor dem Jahr 2000 begonnen, der Zeitpunkt und Verlauf kann aber nicht klarer definiert werden. Seit der Jahrtausendwende sind teilweise auch Verbesserungen zu erkennen.

#### *(E) Der Wildbienen spezialist beobachtet Insekten hauptsächlich im Wallis.*

Im Wallis wurden gezielt Wiesen mit hoher Biodiversität gesucht, um Insekten zu beobachten. Es wurde festgestellt, dass auf diesen ausgewählten Flächen weder eine Abnahme noch eine Zunahme von Wildbienen zu verzeichnen ist. Es ist aber sonst zu erkennen, dass Wildbienen vermehrt Schwächen aufweisen. Ebenfalls ist klar erkennbar, dass die Verfügbarkeit von idealen Habitaten für Wildbienen abnimmt. Die Wildbienen haben sich aber auch angepasst. So sind sie nun auch in trockneren Gebieten anzutreffen.

Erste Daten zu Wildbienen wurden 1870 erhoben. Seit da ist bis 2000 eine progressive Abnahme der Artenvielfalt festzustellen. 1915 wurde viel über Bienensterben geschrieben. Auch wird über eine massive Reduktion seit 140 Jahren berichtet. Durch Extrapolation der Wiesen-Typen (Farbcodes) kann geschätzt werden, dass 99 % der Wildbienen-Biomasse seit 1850 verschwunden ist. Das Management der Wiesen für Insekten ist seit 1880 ein Thema. Viel Veränderung gab es auch in den Jahren 1930-1960, besonders gross war der Verlust in den 1960er Jahren.

Auf einer menschlichen Skala war die Veränderung nicht sehr schnell. Generell sind keine klaren kurzfristigen Trends zu erkennen. Der grösste Verlust an Insekten Biomasse war im Schweizer Mittelland etwas früher als woanders, in den 70er-80er Jahren zu verzeichnen. In Berggebieten findet der Verlust jetzt statt.

#### *(F) Fokus allgemein Insekten (verschiedene Experten):*

Die Insektenbiomasse wurde zum einen an Ameisen beobachtet. Die Ameisenpopulation hat seit den 50er respektive 60er Jahren stark abgenommen. Es wird von einem Verlust von ca. 50 % der Ameisen im Mittelland in den letzten 40 Jahren ausgegangen. Dieser Verlust hätte jedoch schon vorher begonnen. In den alpinen Gebieten ist der Ameisenverlust weniger stark. Dies kann ein Zusammenhang damit haben, dass gewisse Ameisenarten Hitze nicht so gut ertragen. Im Allgemeinen ist die Situation jedoch zu wenig gut erforscht, um fundierte Aussagen machen zu können.

Es wurden auch Schmetterlinge beobachtet, sowohl im Mittelland als auch in alpinen Regionen. Im Mittelland war zu beobachten, dass sich eine seltene Schmetterlingsart im Kanton Zürich in 15-20 Jahren vor 2000 stark reduzierte und seit 2000 gar nicht mehr gefunden wird. Der Grund dafür war die Homogenisierung des Landwirtschaftsmanagements und der Einsatz neuer, moderner Landmaschinen. In den alpinen Regionen, ca. 1500 m ü. M. ist kein Unterschied der Insektenabundanz festzustellen. Dies liegt vermutlich daran, dass

die Flächen auch nicht anders genutzt werden und sich dadurch eine konstante Situation abzeichnet, was auch keine Änderung der Insektenabundanz in diesen Regionen verzeichnen lässt.

In einer weiteren Untersuchung über die Diversität der Insekten wurde z.B. festgestellt, dass während den 60er und 80er Jahren viele aquatische Insektenarten aufgrund der schlechten Wasserqualität vom Aussterben bedroht waren, während deren Biomasse hoch war. Seit die Wasserqualität wieder gestiegen ist, gibt es nicht mehr Wasserinsekten insgesamt, aber bedrohte Arten sind wieder vermehrt zu sehen. Nach Revitalisierungen von Gewässern sind jedoch mehr Insekten insbesondere Libellen anzutreffen.

Besonders auf Wiesen ist eine starke Abnahme von Bestäubern zu beobachten. Viele Wiesen haben sich seit mind. 30 Jahren zu intensiven Agro-Ökosystemen entwickelt, d.h. es gibt kaum mehr Blumen. Die Wiesen sind nur noch grün, was keine Lebensgrundlage für bestäubende Insekten bietet. Auf diesen Wiesen hat die Biodiversität stark abgenommen. Auch in Zusammenhang mit der Krefeld-Studie ist festzuhalten, dass heute kleinere Insekten (Diptera) eher überleben als Insekten mit grosser Biomasse (Orthoptera und Nachtfalter).

Auf der anderen Seite wurden seit 1850 90 % der Moore zerstört. Die verbleibenden weisen heute u.a. wegen Entwässerung eine schlechtere Qualität auf. Auch 90 % der Trockenwiesen sind seit dem 2. Weltkrieg verschwunden. Diese Faktoren führten unter anderem zu einem Rückgang der Insektenabundanz. Allgemein kann gesagt werden, dass die Entwicklung der Landschaft mit der Entwicklung der Insekten korreliert. Mittlerweile erhöht sich die Menge an Insekten teilweise wieder.

#### *(G) Fokus Biodiversität, Analyse von bestehenden Studien und eigenen Studien zum Lichteinfluss*

Es gibt einen Rückgang der Insektenvielfalt von schätzungsweise 25 % in den letzten 20 Jahren zu beobachten. Vor mehr als 30 Jahren hatte ein grosser Verlust an Insekten im Mittelland stattgefunden. Heute sind eher Berggebiete von Insektenverlust betroffen, was mit intensiverer Landwirtschaft in den Berggebieten im Zusammenhang steht. Dies bedeutet jedoch nicht unbedingt, dass die Insektenbiomasse insgesamt abgenommen hat. Hauptsächlich die Diversität hat gelitten.

Allerdings ist während den letzten 20-30 Jahren die Intensität der landwirtschaftlich genutzten Flächen mit Ausgleichsflächen und Umwandlung Siedlungsflächen auch zurück gegangen.

In der Stadt nehmen Generalisten zu und Spezialisten ab. Wahrscheinlich gibt es insgesamt mehr Individuen, mit im Durchschnitt weniger Biomasse, sowie eine homogenere Biodiversität und mehr invasive Arten.

#### *(H) Fokus Wasserinsekten*

Der zeitliche Verlauf der aquatischen Insektenabundanz hängt fast ausschliesslich von der Entwicklung der Gewässer und deren Qualität ab. Bereits vor den 60er Jahren änderte sich die Ökomorphologie massgebend durch die Kanalisierung der Fliessgewässer. In diesen kanalisierten Gewässern befand sich aber gleichzeitig viel Biomasse (bis zu einem Peak bedeutet mehr Nährstoffe auch mehr Pflanzen und Insekten Biomasse). Zum Beispiel häuften sich tote Eintagsfliegen an den Ufern. In den 60er Jahren kamen dann die ARA auf, worauf der Bestand an Insektenbiomasse in den Gewässern einbrach. Seit ca 15 Jahren gibt es einen leichten Aufwärtstrend, dank Renaturierungen und eventuell auch dank höherer Temperaturen. Vor 30 Jahren waren die Gewässer degradiert. Speziell im Kanton Aargau wurde die Qualität der ARA in den letzten 30 Jahren verbessert und kleinere ARA z.T. eingestellt. Dadurch wurde die organische Belastung der Gewässer reduziert. In den Gewässern konnten aber immer noch Spuren von Phosphat, Nitrat und Pestiziden nachgewiesen werden. Generell weisen die Gewässer zu viele chemische Stoffe auf, was auch mit den zu hohen Grenzwerten die in der Schweiz gelten, zu tun hat. Dies wurde durch Studien in Deutschland belegt.

*(I) Fokus Agrarökologie, invasive Arten und Schädlinge*

Seit Anfang der 1990er Jahre konnte keine grosse Änderung an der überirdischen Insektenbiomasse erkannt werden. Auffällig war jedoch, dass in Osteuropäischen Ländern wie Ungarn, Slowakei, Bulgarien und Tschechien in den 90er Jahren viel mehr Insekten gefunden werden konnten als in der Schweiz (dies trotz intensiver Bewirtschaftung und Einsatz von Pestiziden. Eine mögliche Erklärung dazu sind die viel grösseren Anteile Brachflächen in diesen Ländern).

Bei der Beobachtung von Laufkäfern auf Agrarflächen innerhalb von 11 Jahren konnte bezüglich der Insektenbiomasse nichts Auffälliges beobachtet werden. Die These von 80 % Biomasseverlust in diesen Jahren wäre auf keinen Fall unbemerkt geblieben, weshalb dies eher unwahrscheinlich ist.

*(J) Fokus: Agrarflächen und Biodiversitätsförderflächen, Laufkäfer, Schädlinge/ Nützlinge*

Die Beobachtungsphase hat erst um 1990 begonnen. Die Reduktion der Insektenbiomasse war aber schon vorher im Gange. Seit 1990 konnte eine Abnahme von fliegenden Insekten auf offenen landwirtschaftlichen Flächen im Mittelland von schätzungsweise 50 – 60 % beobachtet werden. Dieser Trend ist seit bereits vor 1990 bis heute anhaltend negativ. Auch die Lebensraumqualität für Laufkäfer ist mit dichterem Getreide und weniger Begleitfauna abnehmend. Im Jura ist der Verlust der Insektenbiomasse deutlich kleiner, weil es da mehr Förderflächen gibt und die Landwirtschaft weniger intensiv ist, als im Mittelland.

*(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsgebiete in Berggebieten*

In den letzten 30 Jahren hat sich die Landwirtschaft verändert. Heute ist der Viehbestand kleiner und das Vieh ist eher im Stall als auf der Weide. Durch diese Veränderung gibt es weniger Mist auf den Wiesen, was auch einen Einfluss auf die Insektenabundanz hat. Denn gerade auf Fliegen, Bremsen und Käfer hat das Vorhandensein von Mist eine sehr produktive Wirkung. Mit dem fehlenden Mist auf den Weiden, bleiben auch diese Insekten weg und ihre Reproduktionsrate sinkt.

**Fazit aus Interviews**

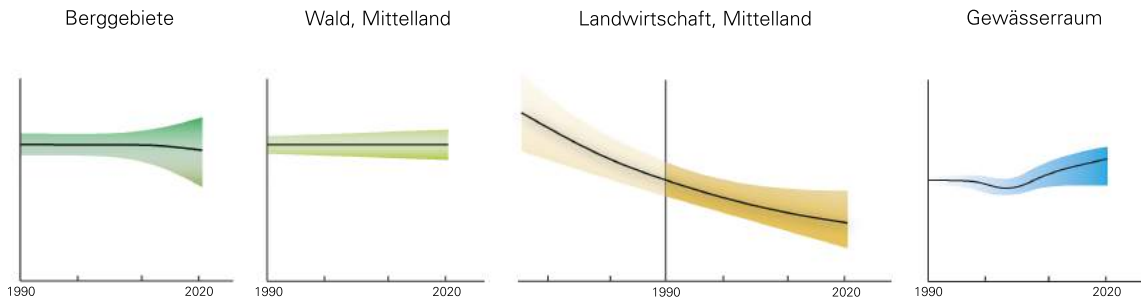
Zusammenfassend kann aus diesen Aussagen festgehalten werden, dass ein Verlust der Insektenbiomasse in der Schweiz hauptsächlich im 20. Jh. stattgefunden hat. Seit ca. 10 Jahren kann teilweise eine Trendwende und damit wieder ein Anstieg der Insektenbiomasse verzeichnet werden. Dies hat unter anderem damit zu tun, dass auf deren Habitate mehr Rücksicht genommen wird und Förderflächen geschaffen wurden. In Bergregionen und an Hanglagen sieht die Situation etwas anders aus. Dort findet der Insektenbiomasserückgang momentan statt, was darauf zurückzuführen ist, dass zunehmend auch Bergregionen und bisher weniger genutzten Flächen an Hanglage intensiver bewirtschaftet werden.

Wasserinsekten wurden massgeblich durch die Verbauung von Gewässern und Entwässerung von Flächen zurückgedrängt, was seit den 60er Jahren ein Thema ist. Heute wird dies weniger gemacht und auch teilweise Renaturierungen durchgeführt, was den Wasserinsekten zugutekommt.

Themen über die Zeit im Zusammenhang Intensivierung

Vor 1960	Gewässerkorrekturen
Vor 1960	Intensivierung erste Etappe, Flächen und Drainagen
1960 bis 1990	Intensivierung zweite Etappe (Einsatz Maschinen, Veränderung Viehhaltung, etc)
1990 bis 2020	Intensivierung dritte Etappe (Optimierung Management, Regime, neue Technologien)
2000 bis 2020	Zunahme Förderflächen, Bio-Ausgleichsflächen, Revitalisierung

Das folgende Bild wurde aufgrund der Interviews und den darauf basierenden FST-Analysen und Auswertungen mit GIS erstellt.



**Abbildung 5: Tendenzen der Entwicklung Insektenbiomasse gemäss Interviews und Modellierung.** Die absoluten Werte der Biomasse beim Ausgangspunkte 1990 sind zwischen den Gebieten nicht vergleichbar, sondern relativ zum lokalen Potential im Jahr 1990 anzusehen.

## 4.2.2 Übersicht diskutierte Einflussfaktoren und Einordnung Relevanz

In der nachfolgenden Zusammenstellung (Abbildung 6) sind die am häufigsten genannten und beschriebenen Einflussfaktoren aufgeführt. Die Zahl der Nennungen entspricht der Anzahl Zeilen. Die Farbe beschreibt den jeweils zugewiesenen Beitrag zum Schaden resp. Insektenbiomasseverlust. Die aufgezeigten Faktoren werden in den nachfolgenden Kapiteln einzeln beschrieben und die Inputs aus den Interviews werden dokumentiert.

<b>SEHR HOCH / TRÈS ÉLEVÉ</b>	<b>Intensität Nutzung/ Intensité gestion</b>	<b>Düngung / fertilisation</b>	<b>Anteil Habitat/Taille habitats naturels</b>	<b>Vielfalt Landschaftsstrukturen / Div. Struct. paysages</b>	<b>Insektizide+Biozide/ Insecticides+biocides</b>	<b>Entwässerung/ Drainage</b>	<b>Licht/ Pollution lumineuse</b>
<b>HOCH/ ÉLEVÉ</b>	Terrestrisch/terrestre	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Allgemein
<b>MITTEL/MOYEN</b>	Terrestrisch/terrestre	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert
	Terrestrisch/terrestre	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Bewässerung+Entwässerung	Terrestrisch/terrestre
<b>GERING - / FAIBLE -</b>	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Aquatisch (Verbauungen)	Wald, Waldrand	Terrestr. offen/ouvert	<b>Irigation+Drainage</b>	Terrestrisch/terrestre
<b>KEIN / AUCUN</b>	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Wald+Rand/ Forêt+bords	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert
<b>GERING +/FAIBLE +</b>	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Allgemein/Général	Terrestr. offen/ouvert	Wald+Rand/ Forêt+bords	Wald+Rand/ Forêt+bords	Terrestrisch/terrestre
	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	<b>Fragmentierung/-ation</b>	Aquatisch (Umfeld)	Insektizide	Bewässerung	Terrestrisch/terrestre
	Terrestr. offen/ouvert	Aquatisch	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	<b>Antibiotik+Pflanzenschutz</b>	<b>Irigation</b>	Wald+Rand/ Forêt+bords
	Aquatisch (Schwefel/Sauke, Entnahm)	Terrestr. offen/ouvert	Wald+Rand/ Forêt+bords	Terrestr. offen/ouvert	Terrestrisch/terrestre	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert
	Wald+Rand/ Forêt+bords	Wald+Rand/ Forêt+bords	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestrisch/terrestre	Aquatisch	Aquatisch
	Terrestrisch/terrestre	Aquatisch	Terrestr. offen/ouvert	Terrestr. offen/ouvert	Terrestrisch/terrestre		
	Terrestr. offen/ouvert		Aquatisch		Terrestrisch/terrestre		
	<b>Management Grünflächen und Strassenränder</b>				Andere Biozide		
	<b>Gestion espaces verts et bords de route</b>				<b>Autres biocides</b>		
	Siedlungen/ urbain				Terrestrisch offen		
	Siedlungen/ urbain				Aquatisch		
	Terrestrisch/terrestre						
	Aquatisch						
	Wald+Rand/ Forêt+bords						
	<b>Klimawandel</b>	<b>Störung durch Mensch</b>	<b>Insavie Arten</b>	<b>Antennen</b>	<b>Barrieren, Schranken</b>		
	<b>Changement climatique</b>	<b>Perturbations par humains</b>	<b>Espèces invasives</b>	<b>Antennes</b>	<b>Barrières, intersections</b>		
	Aquatisch (Sauerstoff)	Terrestrisch/terrestre	Terrestrisch Pflazen	Allgemein/Général	Terrestr. offen/ouvert		
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)	Siedlungen/ urbain	Terrestrisch Pflazen	Allgemein/Général	Terrestr. offen/ouvert		
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)	Allgemein/Général (+/-)	Terrestrisch Pfl (+)	Allgemein/Général	Wald+Rand/ Forêt+bords		
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)	Terrestr. offen/ouvert	Terrestrisch Pfl	Allgemein/Général	Terrestr. offen/ouvert		
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)	Aquatisch	Terrestrisch offen Pfl	Allgemein/Général	Aquatische Fließgewässer		
	Wald+Rand/forêt+bords (+)	Allgemein/Général	Allgemein Pfl	Allgemein/Général			
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)		Aquatisch	Allgemein/Général			
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)		Allgemein Insekten	Allgemein/Général			
	Terrestr. offen/ouvert(+/-)		Allgemein Insekten	Allgemein/Général			

**Abbildung 6: Häufigkeit und Gewichtung der Einflussfaktoren in den Interviews nach Habitat**

Die Beurteilung der Einflussfaktoren für die Schweiz zeigt Ähnlichkeiten mit Resultaten der nachfolgenden Publikation von (Francisco Sánchez-Bayo & Kris A.G. Wyckhuysb, 2019). Wobei ein Teil der Faktoren, wie zum Beispiel Feuer für die lokale Situation der Schweiz nicht relevant sind. Die Faktoren Veränderung Fließgewässer und Feuchtgebiete sind für den hier gewählten Beobachtungszeitraum von 30 Jahren weniger relevant, weil die Veränderungen mehrheitlich in einem früheren Zeitraum stattgefunden haben.

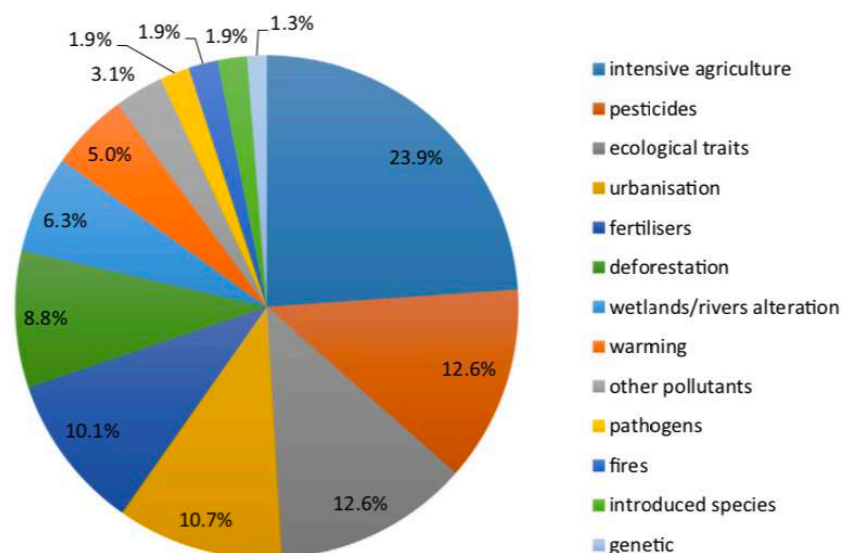


Fig. 6. Main factors associated with insect declines – see also Fig. 5.

**Abbildung 7: Hauptfaktoren, die für den Insektenschwund verantwortlich sind, gemäss (Francisco Sánchez-Bayo & Kris A.G. Wyckhuysb, 2019)**

Die folgenden Kapitel fassen in absteigender Relevanz die Ergebnisse für die genannten Einflussfaktoren aus den geführten Expert\*inneninterviews zusammen.

### 4.2.3 Intensität der Nutzung, Mechanisierung

Die Intensität der Nutzung wurde einheitlich als einer der wichtigsten Einflussfaktoren beurteilt. Unter dem Stichwort der Intensität wird vor allem die Häufigkeit und der Schweregrad mechanischer Einwirkungen und die dadurch bedingte Veränderungen biotischer und abiotischer Strukturen thematisiert. Bei der Landwirtschaft betrifft dies den Maschineneinsatz bei der Bewirtschaftung der Felder. Die Auswirkungen von Düngemitteln und Pflanzenschutzmitteln wurden separat diskutiert, aber oft in den Interviews zusammen mit der Intensität genannt. Ein Einsatz von Netzen, welcher den Zugang zu biotischen und abiotischen Strukturen einschränkt wird als ähnlich schädlich wie das Ausräumen von Strukturen betrachtet. Die nachfolgende Zusammenstellung umfasst die wichtigsten Aussagen zur Intensität der Nutzung aus den Interviews mit den Stichworten Intensität, Mechanisierung und Management von Wiesen.

#### *(A) Wiesen (Tagfalter/Schmetterlinge)*

Die Intensität der Landnutzung hat einen sehr grossen Einfluss auf die Insektenabundanz. Die Folgen von einer intensiven Landwirtschaft mit modernen Schnitttechniken und Düngemitteln sind weniger blumen- und artenreiche Wiesen und die Zerstörung von natürlichen Strukturen. Dies nimmt vielen Insekten die Lebensgrundlagen, sowohl Nahrungsmittel als auch Nistmöglichkeiten weg. Aus diesem Grund sind intensiv genutzte Flächen eine sehr hohe Belastung für die Insekten. Die Intensität der Bewirtschaftung der Wiesen hat sich zeitlich unterschiedlich entwickelt. Im Jahr 1990 im Aargau war im Flachland die Intensität bereits hoch. Im Verlauf der Zeit gab es mehr Förderflächen und Massnahmen zur Aufwertung. Umgekehrt verzögerte sich im Aargau die Intensivierung im Zeitraum 1990 bis 2020 an Hanglagen.

#### *(B) Agrarökosysteme (Laufkäfer, Wildbienen, Schwebefliegen, Prädatoren)*

Die Intensität der Nutzung - Pflügen, Silage, Mäharbeit und deren Zeitpunkt – haben einen grossen Einfluss auf die Qualität der Flächen und damit auf Nahrung, Lebensraum und Rückzugsflächen. Versuche mit Wildbienen auf Versuchsflächen mit «Blühstreifen» zeigen gegenüber einem «ausgeräumten Feld» rund 40 % mehr Nachkommen. Eine durch ein mangelndes Nahrungsangebot geschwächte Population hat weniger Nachkommen.

#### *(C) Wald (Waldinsekten)*

Das Wachstum der Landwirtschaft hat einen grossen Einfluss auf die Insektenabundanz in Wäldern<sup>3</sup>. Gerade auch Waldränder sind sehr wichtig für die Artenvielfalt im Ökosystem Wald. Viele Insekten benötigen neben ihrem Habitat Wald auch Blüten zur Ernährung, weshalb sie sich vermehrt an Waldrändern aufhalten. Durch die intensive Landwirtschaft bis nahe an die Waldgrenze werden Blüten verdrängt wodurch die Insekten keine Nahrungsquelle mehr haben und die mechanischen Schäden durch die Landwirtschaftsmaschinen bedeuten Verluste (z.B. Ameisen).

Auch intensiver bewirtschaftete Wälder haben einen negativen Einfluss auf die Waldinsekten. Maschinen, die zur Forstbewirtschaftung eingesetzt werden, verdichten durch ihr Gewicht den Boden, was negative Auswirkungen auf die unterirdische Insektenabundanz hat. Zudem sind Wälder für Nutzholz oftmals sehr dicht. Dies hat zur Folge, dass es weniger Licht in den Wäldern hat wodurch die Wälder weniger artenreich sind. Sonnigere Flächen sind viel artenreicher als dunkle Flächen. Dies ist gut auf Sturmflächen erkennbar. Der Einfluss von künstlichem Licht ist eher gering auf die Insektenvielfalt in Wäldern, da wenig Licht vorhanden ist.

---

<sup>3</sup> Statistisch gesehen gibt es heute mehr Wald als vor 30 Jahren, in der Schweiz hat die Umwandlung Wald zu Landwirtschaft früher stattgefunden.

Hohe Intensität im Wald bedeutet auch ein häufiger Holzschlag, z.B. alle 30 Jahre statt 100 Jahre. Länger nicht bewirtschaften führt damit zu selteneren Arten. In diesem Zusammenhang spielt auch die Habitatattraktion eine Rolle: Wie lange konnte sich Habitat entwickeln - 50 Jahre oder Jahrtausende? Eine geringe Tradition bedeute auch fehlende Möglichkeiten zum Beispiel für Urbaubewohner.

#### *(D) Fliessgewässer Mittelland (aquatische Insekten)*

Verbauung und Begradigungen von Fliessgewässern führen zu weniger Lebensraum und Strukturvielfalt für Gewässerinsekten. Schwall- und Sunk-Effekte von Kraftwerken führen dazu, dass Wasserinsekten weggespült werden, womit sie ihr Habitat verlieren. Der grösste negative Effekt auf aquatische Insekten in Fliessgewässern weist der Einsatz von Insektiziden in der Landwirtschaft auf. Dabei ist allerdings die Unsicherheit sehr gross, weil derzeit noch Forschung und Wissen fehlt in diesem Zusammenhang. Allerdings kann gesagt werden, dass im Mittelland die Insektizideinträge von der intensiven Landwirtschaft ihren Weg in die Fliessgewässer finden.

#### *(E) Wiesen (Wildbienen)*

Die Intensität der Nutzung von Flächen hat einen sehr hohen Einfluss auf die Wildbienen und andere Insekten. Das Nahrungsangebot auf Wiesen sind die Blumen. Durch die starke und grossflächige Düngung und auch die Bewässerung auf landwirtschaftlichen Flächen werden die nahrungsdienlichen Blumen für Wildbienen stets verdrängt. Auch die Evolution der Mähtechnik in landwirtschaftlichen Gebieten aufgrund des intensiveren Flächenmanagements erhöht den Druck auf Flächen und somit auf die Insektenvielfalt. Massnahmen wie genügend Blühstreifen kompensieren im Fall von Wildbienen und anderen Bestäubern die Verluste auf intensiven Flächen relativ gut.

#### *(F) Gewässer, Offenland (Insekten allg.)*

Für Gewässerinsekten ist einer der wichtigsten negativen Einflussfaktoren die Wasserkraftwerke. Bei terrestrischen Insekten gehen unter anderem durch die Mechanisierung in der Landwirtschaft Habitate Offenland verloren. Dieser Verlust hat einen sehr grossen negativen Einfluss auf die Insektenvielfalt. In den letzten Jahren war eine leichte Abnahme von diesem Phänomen zu beobachten.

#### *(G) Landwirtschaft und Siedlung (Insekten allg., Biodiversität)*

Auf den meisten intensiven Kulturlächen in der Schweiz besteht sehr wenig Potential für Insekten, sodass schlechte Entwicklungen dort nicht zu viel Einfluss auf die Insektenbiomasse haben. Intensive Landwirtschaft hat jedoch einen negativen Effekt auf die Insektenabundanz, besonders in den Bergregionen. Auch die Mechanisierung in der Landwirtschaft hat einen Einfluss auf die Insekten, die in landwirtschaftlich geprägten Gebieten leben. Heute gibt es mehr ökologische Ausgleichsflächen, aber auch mehr Urbanisierung respektive Versiegelung. Versiegelung ist ein Faktor, der alle Insekten gleichermassen betrifft. In urbanen Gebieten wird vermehrt auf Begrünung gesetzt, was die Biodiversität auch bei den Insekten fördert. In diesen Gebieten leben Insekten eher länger als auf dem Land, weil die dort wachsenden Pflanzen keine Nutzpflanzen sind und daher weniger produktiv sein müssen, was den Insekten zugutekommt. Allerdings ist in urbaner Umgebung die Lichtverschmutzung viel grösser, was wiederum Insekten stört und eher eine Abnahme der Insektenabundanz bedeutet. Es wird davon ausgegangen, dass dieses ein Nullsummenspiel ist. Generell ist jedoch festzuhalten, dass die Versiegelung der Böden immer weniger Biomasse bedeutet, weil es dadurch weniger Vegetationseinheiten gibt.

#### *(H) Gewässer (Wasserinsekten)*

Gewässer sind sowohl durch die Nutzung von Wasser in Kläranlagen als auch durch die intensive Landwirtschaft belastet. Insbesondere Fließgewässer sind davon betroffen. Dies wirkt sich auch negativ auf die Biodiversität darin aus. Die intensive Landwirtschaft wirkt sich indirekt auf die Insekten durch den Eintrag von Nährstoffen (teils positiver und teils negativer Effekt für Insekten) und Pestiziden (negativer Effekt) aus.

Direkt Effekt der intensiven Landwirtschaft auf Gewässerinsekten: Fast alle Wasserinsekten leben sowohl in wasserbenetzten Flächen wie am Ufer. Mit Zunahme der Landwirtschaftsfläche gelangt Kulturland immer näher an die Ufer. Die Ufersäume werden dadurch immer schmaler, was einen Rückgang des Lebensraums von Wasserinsekten bedeutet. Viele Insekten benötigen gerade um sich zu paaren ein genügend breiter Ufersaum mit ausreichender Biodiversität. Weil dies immer mehr abnimmt, nimmt auch die Population eher ab, weil die Insekten nicht mehr ihrem natürlichen Paarungsverhalten folgen können. Revitalisierungen schaffen mehr Raum und entsprechend mehr Insektenbiomasse. Es wird jedoch nicht genügend revitalisiert.

#### *(I) Landwirtschaft (Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten)*

Die Mechanisierung der Landwirtschaftsflächen hat eine sehr hohe Relevanz für den Insektenbestand. Als Mechanisierung wird der Trend bezeichnet, dass immer weniger Menschen, aber immer grössere Maschinen, grössere Flächen bearbeiten.

#### *(J) Landwirtschaft (Insekten allgemein, Tagfalter und Laufkäfer)*

Mit Feldversuchen konnte ganz klar festgestellt werden, dass intensiv bewirtschaftete Landwirtschaftsflächen eine deutlich geringere Insektenabundanz als biologisch bewirtschaftete Flächen aufweisen. Die Insektenabundanz auf intensiven Landwirtschaftsflächen beträgt nur ca. 50 - 60 % von biologisch bewirtschafteten Flächen. Dabei spielt die Vorgeschichte der jeweiligen Flächen ebenfalls eine Rolle.

Die Mechanisierung und Intensität der Bewirtschaftung einer Fläche wird als sehr wichtiger Einflussfaktor für die Insektenabundanz eingestuft.

#### *(K) Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten (Insekten allgemein)*

Die Intensität und die Landnutzung in der Landwirtschaft sind in den letzten 30 Jahren relativ konstant geblieben. Es gibt vereinzelte Aspekte, die sich in die eine oder andere Richtung entwickelt haben. Eine grosse Veränderung in dieser Hinsicht fand vor allem in den Jahren zuvor, in der Nachkriegszeit bis in die 80er Jahre statt. In dieser Zeit war das Wachstum der Intensität in der Landwirtschaft exponentiell.

Der Effekt der landwirtschaftlich genutzten Fläche auf die Insekten hat verschiedene Ursachen. Das Mähen von Wiesen ist eine davon. Je öfter eine Wiese gemäht wird, desto weniger Insekten leben in dieser Wiese. Die Verwendung von Aufbereitern verstärkt diesen negativen Effekt. Der Einsatz von Landwirtschaftsmaschinen hat eher einen negativen Einfluss auf die Bodeninsektenabundanz, denn durch das Gewicht der Maschinen verdichtet sich der Boden, wodurch die Bodeninsekten geeigneten Lebensraum verlieren. Ebenso weist die Produktion von Silage negative Effekte auf die Insekten auf, Insekten werden bei der Siloballenherstellung mit eingepackt.

Auf der anderen Seite kann die Nutzung von Flächen auch positive Auswirkungen auf die Insektenabundanz haben. So hat beispielsweise die Bewässerung von trockenen Gebieten eine neutrale bis positive Wirkung auf die Insekten.

#### *(Person 1, Phase 2, TG) Aufnahmen Insekten allgemein (Fokus Libellen, Totholzkäfer, Schmetterlinge)*

Der Obstbau entwickelt sich zu einer Industrie. Die Intensität hat stark zugenommen, Monokulturen werden mit Netzen eingepackt. Es bleibt kein Lebensraum und keine Nahrung für Insekten. Der Rhythmus von Einsatz an Pflanzenschutzmitteln ist sehr hoch. Dies führt zu einem starken Rückgang der Insekten und zeigt sich auch indirekt bei Arten, die auf Insekten angewiesen sind, wie Spinnen und Fische.

*(Person 2, Phase 2, TG) Forst-/Landwirtschaft, Insekten allgemein*

Der Obstbau ist intensiver geworden. Für Insekten wertvolle Hochstammbäume sind nicht mehr rentabel und haben deutlich abgenommen, stattdessen Monokulturen mit Netzen und hoher Intensität. Fehlender Lebensraum für Insekten.

### **Fazit**

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass mit einer weiter steigenden Intensität der Nutzung die negativen Effekte auf die Insektenbiomasse überwiegen, wie z.B. Verluste von Lebensräumen, Nistplätzen und Nahrungsangeboten, weniger Durchmischung der Vegetation, sowie die direkte Mortalität. Der Einflussfaktor der Intensivierung von Kulturlandschaften wird übereinstimmend von allen Expert\*innen als einer der wichtigsten Gründe für den Verlust von Insektenbiomasse genannt. Auch in Waldgebieten und Gewässern handelt es sich um relevante Faktoren. Intensivierung bedeutet in Kulturlandschaften auch eine Steigerung der Düngermenge und der PSM Einsatz, auf die in den Kapiteln 4.2.5 und 4.2.6 eingegangen wird.

Nach 1990 häufig erwähnt sind die folgenden Einflussfaktoren im Zusammenhang mit der Intensivierung und Einbussen Insektenbiomasse auf landwirtschaftlich intensiv bewirtschafteten Flächen:

- Höhere Produktivität der bewirtschafteten Fläche
  - grössere und potentere Maschinen
  - Zunahme Viehbestand und Änderung der Viehhaltung (verbunden mit Verfügbarkeit von Mist)
  - Düngung/Bewässerung (separates Kapitel)
- Zusätzlich bewirtschaftete Flächen
  - Bearbeitung bis an den Rand Felder und Waldrand
  - entfernen von Strukturen, Zusammenlegen Flächen
  - neue Technologien Rodungsfräsen
  - Bewirtschaftung Hanglagen
- Veränderung Mähregime und -technik
  - häufiger Mähen, früher Mähen, Silage
  - Verwendung von Aufbereitern
  - tiefer mähen, direkt abernten

Indirekt ergibt sich daraus eine weitere Einbusse auf Schutzflächen, unter anderem auch durch eine Entwässerung der Moore. Die Qualitätseinbussen sind dort abhängig von der Nutzungsintensität der Umgebung.

## **4.2.4 Anteil naturnaher Flächen, Strukturen, Fragmentierung**

Der Anteil naturnaher Flächen und die für die Vernetzung relevanten Aspekte «Strukturen» und «Fragmentierung» wurden einheitlich als wichtiger Faktor eingeordnet. Gesammelte Aussagen aus den Interviews sind nachfolgend aufgeführt.

*(A) Fokus: Wiesen und Schwerpunkt Tagfalter/Schmetterlinge*

Die Grösse der Habitate und die Vielfalt darin haben einen sehr grossen Einfluss. Von Bedeutung ist die Entfernung von natürlichen oder naturnahen Flächen und die mit der Entfernung verbundene Isolation. Wenige 100 m bis wenige Kilometer führen schon zu einer Isolation und damit fehlender Vernetzung mit anderen naturnahen Lebensräumen. Eine isolierte Fläche mit 2-3 ha wie z.B. die Reinacher Heide ist schon knapp.

### *(B) Fokus Agrarökosysteme und Schwerpunkt Laufkäfer, Wildbienen, allgemein*

Eine wichtige Frage ist, ab welcher Grösse eine natürliche/naturnahe Flächen als «Source» und, mit einer entsprechend hohen Reproduktion der Insekten, auf dieser Fläche als Ausgangspunkt für die Besiedelung von weiteren Flächen betrachtet werden kann. Ein wichtiger Faktor ist sowohl die Quantität als auch die Qualität von naturnahen Flächen. Es gibt zum Beispiel genug extensive Wiesen, aber deren Qualität ist nicht ausreichend, als dass es einen wirksamen positiven Einfluss auf die Insektenabundanz hätte. Wichtiger als die Grösse und die Anzahl von naturnahen Flächen ist die Vernetzung dazwischen zu einer möglichst grossen zusammenhängenden Fläche. Wildbienen beanspruchen bei optimalem Zustand nur eine Fläche von etwa 50 m x 50 m oder 100 m x 100 m. Falls der Bedarf an Nahrungsmitteln und Nistplätzen auf einer Fläche nur beschränkt gedeckt werden kann, braucht es eine deutlich grössere Fläche. Zudem sind Verbindungen zum nächsten Standort respektive zur nächsten Fläche nötig, damit eine Wiederbesiedelung möglich ist. Allgemein, u.a. genetisch betrachtet, ist für den Erhalt der Population eine kleine Fläche nicht ausreichend und führt vermutlich zu Aussterben, ohne Verbindungen zu anderen geeigneten Flächen (Metapopulationen). Optimal sind Wiesen mit Waldrand, Hecken und so weiter. Dies sind Lebensräume, die als «Source» wahrgenommen werden. Ohne eine Vernetzung ist auch der schönste Blühstreifen nicht viel wert. Denn mit einem Blühstreifen ohne nahegelegene Nistmöglichkeiten, d.h. kein Sand oder geeignete Struktur, fehlt den Insekten eine wichtige Lebensgrundlage.

Die Beobachtungen auf den Förderflächen zeigen eine doppelte bis zehnfache Insektenabundanz als sonst. Alle möglichen Insekten werden auf den Förderflächen angezogen, aber dies alleine erlaubt keine Aussage über die gesamte Insektenbiomasse. Die Untersuchung zeigt 40 % mehr Nachkommen Wildbienen an einem Standort nahe Flächen „mit Blühstreifen“ gegenüber einem Standort neben einer Fläche an einem „ausgeräumten Feld“. Es wurde auch gesehen, dass eine geschwächte Population weniger Nachkommen hat.

### *(C) Fokus Wald*

Es benötigt Totholz und verrottendes Holz, was zunehmend fehlt. Nicht bewirtschaftete Flächen sind wichtige Habitate für die Insektenabundanz. Grosse altersdurchmischte Flächen (Habitattradition) sind wichtig, eine einheitlicher und dichter Baumbestand ist ungünstig (weniger Licht und Vielfalt).

### *(D) Fokus Fliessgewässer*

Der Anteil an naturnahen Habitaten spielt für aquatische Insekten eine grosse Rolle. So wäre es Ideal bei kleinen Fliessgewässern ein natürlicher Uferbereich, mit Büschen und Sträuchern, von ca. 11 m und bei grossen Flüssen ein natürlicher Uferbereich von ca. 100 m vorzufinden.

### *(E) Fokus Wildbienen / Wiesen*

Förderliche Strukturen für Wildbienen in Wiesen sind braune, nicht bewachsene Flächen. Auch Sträucher und Steine sind förderlich für die Insektenabundanz. Magerwiesen, die spät im Jahr und in Mosaik-Struktur gemäht werden, sind sowohl für Wildbienen als auch für Schmetterlinge sehr förderlich. Mosaik bedeutet, dass nicht ganze Flächen gleichzeitig komplett gemäht, sondern jeweils Teile stehen gelassen werden. Damit ermöglicht man Insekten auf die stehen gelassenen Flächen auszuweichen, womit sie während des ganzen Jahres einen Lebensraum haben.

Neben landwirtschaftlichen Flächen Ökoausgleichsflächen zu errichten würde vielen Insektenarten helfen, zu überleben. Bereits 8 – 10 %, idealerweise 20% der gesamten Landwirtschaftsfläche als Ökoausgleichsflächen zu nutzen, wäre ein erheblicher Beitrag zum Erhalt der aktuellen Insekten. Einige Insektenarten benötigen jedoch grosse Flächen. Diese Arten sind zu einem grossen Teil bereits ausgestorben, weil es keine so grossen Flächen mehr gibt.

*(F) Fokus Insekten allg.*

Im Biolandbau ist ein geringerer Verlust und teilweise sogar eine leichte Verbesserung der Insektenvielfalt zu sehen. Dies ist nicht für alle Insekten gleich, bei einem Vergleich der Anzahl Individuen auf einer qualitativ hochwertigen Wiese konnte man sowohl Verlierer als auch Gewinner unter den Insekten feststellen.

Naturschutzgebiete werden nicht richtig organisiert. Beispielsweise liegt der Fokus viel zu sehr auf der Vegetation. Dadurch werden Habitats für Insekten vernachlässigt. Moore weisen z.B. einen zu niedrigen Wasserstand auf oder es gibt eine grosse Verbuschung in den Naturschutzgebieten. Was diese Gebiete zusätzlich belastet ist, wenn diese sehr nahe an Landwirtschaftszonen liegen.

*(G) Fokus Biodiversität*

Die Fläche des natürlichen Habitats Wald nimmt zu. In den Wäldern gibt es viel Platz für Insekten, d.h. vermutlich nimmt auch der Bestand an Waldinsekten zu. Auf der anderen Seite nehmen durch das Waldwachstum offene Habitats ab, was dort zu einem Insektenverlust führt.

*(H) Fokus Gewässerinsekten*

Eine intakte, naturnahe Ökomorphologie ist absolut entscheidend für die Förderung und den Erhalt der Gewässerinsektenbiomasse. Die Kanalisierungen der Fließgewässer in den 60er Jahren hat die Ökomorphologie völlig zerstört. Die Biodiversität ist in diesen Bereichen kaum vorhanden und auch die Biomasse ist nicht wirklich existent. Beispielsweise können stillgewässerliebende (limnophile) Pflanzen und Tiere in kanalisierten Flüssen nicht überleben. Heute werden die damals kanalisierten Flüsse vermehrt revitalisiert, um die Natur und die Biodiversität wieder zurück zu bringen. Die Biomasse nimmt dadurch zu, aber eine intakte Ökomorphologie konnte durch die meisten Revitalisierungen nicht erreicht werden. Viel weiter reichende Revitalisierungen könnten einen positiven Einfluss auch auf die Fließgewässerökomorphologie haben. Eine Flussrevitalisierung, die für die gesamte Ökomorphologie eine Wirkung haben soll, muss eine Länge von 200 m überschreiten. Ob die Struktur eines Gewässers intakt ist, kann am Bestand von Eintagsfliegen eruiert werden.

*(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Eine grössere Vielfalt in den Landschaftsstrukturen und grosse Habitats fördern das Wachstum der Insektenbiomasse. Dieser Faktor hat einen mittel grossen Effekt auf die Insektenabundanz.

*(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Der Anteil an natürlichen Habitats für Tagfalter und Laufkäfer ist hat eine grosse Relevanz für den Erhalt von deren Biomasseanteil. Auch die Vielfalt der Landschaftsstrukturen ist von grosser Wichtigkeit. Es werden Förderflächen, Waldränder, Räume und Säume benötigt, damit die Insekten genügend Lebensraum zur Verfügung haben.

*(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten*

Heute gibt es etwas mehr extensiv genutzte Landwirtschaftsfläche als noch vor 30 Jahren. Besonders im Mittelland gab es quasi keine extensiv genutzten Flächen. Der Effekt auf die Insektenabundanz findet verschoben statt. Deshalb konnte auch noch keine Wirkungen von der Förderung von Hochstammkulturen, die seit ca. 10 Jahren wieder am Aufkommen ist, festgestellt werden.

**Fazit**

Alle Experten sind sich einig, dass der Bestand und die Förderung von naturnahen Flächen einen essentiellen Faktor für die Insektenabundanz darstellt. Dabei geht es aber nicht primär um die Anzahl solcher Flächen,

sondern um die Qualität in Bezug auf Strukturen, Vielfalt, Vernetzung und Lage der Flächen. Dies gilt für alle Insekten. Der Einfluss von Düngemittel und Pestiziden wird im Vergleich weniger relevant eingestuft.

#### **4.2.5 Aussagen zum Einfluss Düngung und Bewässerung**

Der Einfluss von Düngung und Bewässerung, sowie der dadurch verursachte Nährstoffeintrag in Gewässer wird als relevanter Faktor eingestuft. Allerdings ist hier der Effekt eher so, dass vor allem die Biodiversität abnimmt (Verlust trifft vor allem Spezialisten), während die Biomasse bis zu einem bestimmten Grad mit einem höheren Pflanzenwachstum auch für verschiedene Insektengruppen ansteigen kann (siehe dazu auch Literatur unter Kapitel 4.1.2). Die nachfolgenden Information zum Thema wurden gesammelt in Interviews.

##### *(A) Fokus: Wiesen und Schwerpunkt Tagfalter/Schmetterlinge*

Düngung hat einen sehr grossen Einfluss. Die Nahrungsgrundlage von vielen Insekten geht durch die Düngung verloren. Wiesen sind viel weniger blüten- und artenreich, wenn sie gedüngt werden, also genau das, was viele Insekten brauchen, geht verloren.

##### *(B) Fokus Prädatoren und Biodiversität*

Die Düngung wird als mittlere bis hohe Belastung auf die Insektenabundanz eingestuft.

##### *(C) Fokus Wald*

Die Relevanz des Einflussfaktors Düngung im Wald ist eher tief. Allerdings ist der Eintrag von Düngemitteln von anderen Flächen in den Wald über die Luft ein Thema. Dies kann eine Veränderung der Waldzusammensetzung, respektive der Pflanzen im Wald mit sich bringen.

##### *(D) Fokus Fliessgewässer, aquatische Insekten*

Durch Düngung entsteht mehr pflanzliches Substrat, was teils positive Folgen für die Insekten in Fliessgewässern haben kann. Auf der anderen Seite nimmt der Sauerstoffanteil in Fliessgewässern mit zunehmendem Düngemiteleintrag ab, was ab einem gewissen Niveau negative Folgen für die aquatische Insektenabundanz hat.

##### *(E) Fokus Wiesen/ Wildbienen*

In gedüngten und bewässerten Wiesen findet man fast keine Wildbienen, höchstens 2-3 Arten. Die Düngung und auch das Management auf Wiesen, haben einen sehr grossen Einfluss auf die Insektenabundanz. Z.B. sind Esparsetten und Klee sehr wichtige Pflanzen für Bienen und Hummeln. Diese verschwinden immer mehr, auch in Bergregionen, wegen Stickstoff-Zufuhr respektive Düngung.

Auch wenn die Bewässerung losgelöst von der Düngung betrachtet wird, weist diese eine geringere bis mittlere, aber negative, Auswirkung auf Insekten auf. Beispielsweise können bei der Bewässerung Tropfen auf Falter fallen, was eine negative Wirkung auf deren Vitalität hat. Allgemein und global gesehen steigt jedoch der Biomasseanteil mit erhöhter Bewässerung.

##### *(F) Fokus Biodiversität, Insekten allg.*

Das Düngen hat einen sehr grossen Einfluss auf den Rückgang von Insekten. Dies sieht man sehr gut, da seit dem 2. Weltkrieg viel mehr gedüngt wird und auch seit da die Insektenvielfalt stark abgenommen hat. Ein weiteres Beispiel ist Ostdeutschland vor dem Mauerfall oder allgemein Osteuropa. Da herrschte eine grössere Biodiversität, weil die Menschen keine Ressourcen für Dünger, Pestizide und Landmaschinen hatten. Das

fürte zu einer weniger intensiven Landwirtschaft, wodurch die Biodiversität besser erhalten blieb. Inzwischen hat sich dies geändert. Auf die Gewässer haben Dünger heute weniger Einfluss als früher, stellen aber auch heute noch ein Problem für die aquatischen Insekten dar.

Was ebenfalls einen negativen Einfluss auf die Insektenvielfalt hat, ist nicht die Bewässerung, sondern die Entwässerung von Feuchtgebieten wie Mooren.

#### *(G) Fokus Biodiversität*

Dünger in Gewässern ist heute noch aktuell, weil es einen Einfluss auf die Gewässerinsekten hat. Es ist derzeit keine Abnahme von Düngemittel in Gewässern zu erwarten.

#### *(H) Fokus Gewässerinsekten*

Die sogenannte organische Belastung von Gewässern durch den Eintrag von Düngemitteln treibt die Biomasse in die Höhe. Ab einem gewissen Punkt der organischen Belastung nimmt die Biomasse jedoch wieder ab. Eine organische Belastung der Gewässer benötigt Sauerstoff während dem Abbau der Stoffe durch Mikroorganismen. Dies führt zu einer geringeren Sauerstoffmenge im Wasser<sup>4</sup>.

Die organische Belastung der Gewässer hat in den letzten 30 Jahren durch die Verbesserung der Kläranlagen abgenommen. Auch die Dosierung von Düngemittel wurde reduziert, weil gewisse Stoffe effektiver geworden sind. Was die organische Belastung für die Biomasse der Gewässerinsekten genau bedeutet, ist nicht klar. Die Belastung der Gewässer durch Düngemittel ist in alpinen Regionen geringer. Dabei ist klar zu erkennen, dass die Belastung grösser ist, wo Wasser aus Kläranlagen in die Gewässer geleitet wird, z.B. in St. Moritz. Dort ist z.T. die Biodiversität komplett eingebrochen.

#### *(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Durch angemessene und fachkundige Düngung von Feldern wachsen dort mehr Pflanzen, was den Insekten zu mehr Nahrung verhilft. Deshalb nimmt die Insektenbiomasse aufgrund des Einsatzes von Düngemittel tendenziell zu. Bei einer Überdüngung nimmt die Insektenbiomasse dann eher wieder ab, weil vor allem in den Gewässern dadurch ein Sauerstoffmangel auftritt und Gewässerinsekten vermehrt sterben. Das Problem der Überdüngung wird laufend reduziert. Zeitverschobene Folgeeffekte können nicht ausgeschlossen werden.

#### *(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Düngemittel haben einen grossen Einfluss auf die Fluginsektenabundanz.

#### *(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten*

In Wiesen, die mit mineralischem Düngemittel behandelt werden, ist die Insektenabundanz sehr gering. Bereits in den 60er Jahren wurden mineralische Dünger eingesetzt. Seit den 90er Jahren wird dies jedoch noch stärker praktiziert, was die Insektenabundanz auf den Wiesen noch heftiger unter Druck setzt, als in den Jahren zwischen 1960 und 1990.

Die Form des Düngers spielt eine wichtige Rolle: Mist bietet Nahrung und Lebensraum für viel fliegende Insekten, Gülle aber nicht. Der N-Eintrag aus der Atmosphäre darf nicht vergessen gehen. Dieser liegt im Mittelland so hoch, dass für Insekten optimal wäre, wenn gar nicht zusätzlich gedüngt wird.

In den Zentralalpen jedoch nimmt die Insektenbiomasse mit wenig Düngereintrag bis zu einem gewissen Punkt zu. Der maximale Stickstoffeintrag in Alpinen Regionen sollte für ideale Bedingungen der Insekten 20-40 kg / (ha \* a) nicht überschreiten. Danach nimmt die Insektenbiomasse wieder abnimmt.

---

<sup>4</sup> <http://www.wasser-wissen.de/abwasserlexikon/o/organischebelastung.htm#:~:text=Je%20nach%20Belastungsgrad%20wird%20der,organische%20Belastung%20%C3%BCber%20Summenparameter%20bestimmt.>

Allgemein kann gesagt werden, dass je mehr Stickstoff gedüngt wird, desto weniger Insekten sind vorhanden, denn es ist schon genug Stickstoff vorhanden.

### **Fazit**

Was die Düngung von Flächen betrifft, gehen die Meinungen der Expert\*innen auseinander. Einerseits kann es negative Folgen speziell für Bestäuber haben, weil auf gedüngten Flächen die Blütenvielfalt und -Menge viel niedriger ist als auf extensiven Flächen. Bestäuber sind auf Blüten als Nahrungsmittel angewiesen. Andererseits wird die pflanzliche Biomasse durch Düngereintrag erhöht. Dies bedeutet, dass gewisse Insekten mehr Nahrung zur Verfügung haben und somit die Insektenabundanz steigen kann. Auch Gewässerinsekten profitieren von mehr Pflanzenbiomasse, da sie mehr Substrat zur Verfügung haben. Hingegen sinkt der Sauerstoffanteil in Gewässern, wenn zu viel Dünger in die Gewässer gelangt, was wiederum negative Folgen für Wasserinsekten haben kann. In Wäldern hingegen ist die Düngung eher irrelevant, weil dort generell keine Düngung nötig ist und daher auch nicht praktiziert wird.

## **4.2.6 Aussagen zum Einfluss Insektizide und andere Biozide**

Der Einfluss von Insektiziden und anderen Bioziden wird unterschiedlich als wenig bis sehr relevanter Faktor eingestuft. Die Relevanz der direkten Wirkung von Insekten höher eingestuft als die indirekte Wirkung von anderen Bioziden (Fungizide und Herbizide). Die nachfolgenden Informationen fassen die Aussagen aus Interviews zusammen.

### *(A) Fokus: Wiesen und Schwerpunkt Tagfalter/Schmetterlinge*

Pestizide haben einen sehr grossen, aber nicht ganz so grossen Einfluss auf Insekten wie intensive Landnutzung und Verlust von Habitaten und Biodiversität. Dies ist vor allem deshalb so, weil tendenziell in der Schweiz immer weniger Pestizide eingesetzt werden, nicht zuletzt auch wegen diverser Verbote. Es gibt daher auch einen Unterschied zur EU zum Beispiel. Dort spielen Insektizide eine grössere Rolle beim Verlust von Insekten, weil dort vermehrt Insektizide grossflächig verwendet werden. Zum Teil werden die Gifte aus der Luft mit einem Helikopter auf die Felder verteilt (z.B. gegen Käfer und Zünsler), was einen grösseren Schaden für die Insekten bedeutet als wenn die Insektizide gezielt eingesetzt werden.

### *(B) Fokus Agrarökosysteme mit Schwerpunkten Käfer, Wildbienen*

Die Vielfalt, Grösse und Qualität von Habitaten hat einen grösseren positiven Einfluss auf die Insekten als Insektizide einen negativen haben. Wobei, ein frisch gespritztes Feld ist quasi tot, es gibt nur noch ein paar Prädatoren. Unter den verschiedenen Kulturen, bei welchen Pestizide eingesetzt werden, ist Mais am stärksten betroffen. Zuckerrüben und Raps sind auch eher stark betroffen, Weizen etwas weniger.

### *(C) Fokus Wald*

Pestizide sind im Wald nicht oder eher wenig relevant, weil diese in der Schweiz verboten und daher nicht eingesetzt werden.

### *(D) Fokus Fliessgewässer, aquatische Insekten*

Pestizide haben einen grossen Einfluss auf die aquatische Insektenabundanz. Allgemein führt die Verschmutzung der Gewässer durch Pestizide und Mikroverunreinigungen von beispielsweise Fassaden oder Beschichtungen zu Verlusten von Insekten.

### *(E) Fokus Wiesen/ Wildbienen*

Auch auf biologisch bewirtschafteten Flächen herrscht eine geringe Insekten-Abundanz, d.h. Pestizide sind weniger relevant für die Insektenvielfalt als andere Faktoren, wie zum Beispiel Dünger.

#### *(F) Fokus Insekten allg.*

Die negativen Auswirkungen davon auf die Insektenvielfalt sind gross. Der Einsatz von Insektiziden ist in den letzten Jahren leicht gesunken. Effekte von weiteren Bioziden in Bezug auf die Insektenpopulation wurden kaum gemessen. Deshalb kann nicht mit Sicherheit gesagt werden, dass auch diese einen negativen Einfluss auf die Insekten haben.

#### *(G) Fokus Biodiversität*

Der Einsatz von Pestiziden hat schätzungsweise eine hohe Relevanz für den Insektenbestand. Wie weit Pestizide einen Effekt auf die Insektenbiomasse haben, ist noch nicht ganz klar.

Die mechanische Intensivierung der Landwirtschaftsfläche ist ein viel grösserer Einflussfaktor als der Einsatz von Pestiziden. Ausserdem wirken Pestizide nur punktuell und da nur 20 % der offenen Habitate Kulturland sind, werden auch auf höchstens 20 % der offenen Habitate Pestizide eingesetzt.

Biozide weisen einen geringen Einfluss auf die Insektenabundanz auf, da diese sich nur indirekt auf die Nahrung und Reproduktion von Insekten auswirken.

#### *(H) Fokus Gewässerinsekten*

Die negativen Auswirkungen durch Pestizide auf die Gewässerqualität sind sehr gross. Stoffe in Pestiziden sind wasserlöslich, was sekundäre Effekte bedeuten kann. Das Spektrum an eingesetzten Mitteln ist gestiegen und das Problem, dass ein ganzer Cocktail an Stoffen sich in den Gewässern befindet, ist grösser und unvorhersehbarer geworden. Die Stoffe aus den Pestiziden haben in der Zwischenzeit eine grössere Bedeutung für die Wasserqualität als Düngemittel. In den letzten 5 bis 10 Jahren war eine leichte Verbesserung der Wasserqualität zu verzeichnen. Die Belastungen in den Gewässern sind allerdings immer noch zu hoch und die Wasserqualität entsprechend schlecht. Was direkt eine Belastung für die Insekten darstellt ist der Fakt, dass am meisten Pestizide im Frühjahr ausgetragen werden und genau in dieser Zeit auch die wichtigste Phase für die Entwicklung der Insekten stattfindet. Neben den bewusst eingesetzten Mitteln, die ihren Weg in die Gewässer finden, sind auch weiterhin Unfälle mit verschiedenen Stoffen die in Gewässer gelangen ein Problem.

#### *(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Aufgrund der Beobachtungen in Osteuropäischen Ländern, in welchen deutlich mehr und auch schädlichere Pestizide eingesetzt werden, wird der Einflussfaktor von Pestiziden auf die Insektenabundanz als weniger relevant geschätzt. In diesen Ländern wurden nämlich trotz der Belastung durch Pestizide mehr überirdische Bodeninsekten gefunden als in der Schweiz. Es wird angenommen, dass dies mit den grösseren natürlichen und ungestörten Habitaten abseits der Kulturfleichen in Osteuropa als in der Schweiz zusammenhängt.

#### *(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Insektizide haben eine direkte Wirkung, am meisten betroffen sind Blütenbesucher und blattfressende Herbivore. Am stärksten erkennbar ist die direkte, negative und sehr grosse Wirkung auf Fluginsekten. Die Mortalität nimmt auch durch den Einsatz von übrigen Pestiziden zu, was u.a. damit zu tun hat, dass verschiedene Pestizide zusammenkommen und einen regelrechten Cocktail ergeben. Zudem werden durch die Verwendung von Pestiziden Pflanzen verdrängt, die eine wichtige Rolle für die Ernährung besonders von Fluginsekten spielen. Eine Rolle spielt auch die Verfrachtung in wichtige Räume Waldränder, naturnahe Flächen, Bioflächen. Von einem kumulierten Schaden sind damit auch natürliche Flächen betroffen (Abdrift bis 10 km nachgewiesen ohne Barrieren).

#### *(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten*

Die Pestizide, die heute eingesetzt werden, sind weniger untersucht als diejenigen von früher. Den genauen Effekt auf Insekten kennt man deshalb noch nicht. Es wird aber davon ausgegangen, dass sie gefährlicher sind

als die Pestizide von früher, weil sie eine bessere Wirkung gegen Schädlinge haben. Mengemässig werden heute weniger Pestizide verwendet als früher. Pestizide werden aber nicht überall, sondern vorwiegend in Obst- und Gemüsebau, wie auch auf Kartoffel- und Zuckerrübenfeldern eingesetzt. Ein «Legacy-Effekt», also eine zeitliche Verzögerung, ist bei Pestiziden sowie anderen Faktoren möglich, aber noch nicht bekannt.

*(Person 1, Phase 2, TG): Beobachtung Insekten allgemein, Totholzkäfer*

Sichtbare Effekte in angrenzende Gebieten. Zum Beispiel Totholz im nahen Umfeld von intensiv bewirtschafteten Flächen mit Einsatz Dünger und Pestiziden nicht besiedelt. Einfluss auf Wald vor allem in den ersten 100 bis 200 m Abstand von intensiv bewirtschafteten Flächen.

### **Fazit**

Die Expert\*innen sind sich nicht alle einig über die Relevanz von Pestiziden im Zusammenhang mit der Insektenabundanz. Höher gewichtet werden Insektizide mit einer direkten Wirkung auf Insektizide gegenüber übrigen Bioziden (Herbiziden und Fungiziden). Die kann einerseits dadurch erklärt werden, dass die beobachteten Insektengruppen unterschiedlich betroffen sind. Andererseits werden Flächen, bei denen Pestizide aktiv im Einsatz sind, durch Entomolog\*innen weniger erforscht und damit sind Beobachtungen hierzu weniger vollständig. Entsprechend haben die Expert\*innen, abgesehen von Studien zur gezielten Schädlingsbekämpfung oder zum Effekt lokaler Aufwertungsmaßnahmen, weniger Beobachtungen zum Einfluss von Pestiziden auf Insekten machen können. Erschwerend für eine Beurteilung ist auch die Vielfalt eingesetzter Stoffe und die laufende Veränderungen der eingesetzten Mittel. Aktuelle Studien befassen sich mit Ausbreitungswegen und resultierenden Belastungen in Gewässern und über die Luft erfolgte Einträge auf benachbarte Flächen und Schutzgebiete. Gemäss der Einschätzung der Expert\*innen haben Pestizide durchaus einen negativen Einfluss auf die Natur und auch auf die Insekten. Wie gross aber diese Wirkung ist, kann aktuell nur schwer beurteilt werden. Ein Teil der Expert\*innen nehmen an, dass Pestizide einen weniger grossen Einfluss auf die Insektenabundanz haben als andere Faktoren. Diese Annahmen stützen sich auf Beobachtungen, dass die Insektenabundanz auf biologisch bewirtschafteten Flächen trotz der Einschränkungen PSM bei einer intensiven Bewirtschaftung gleichermassen klein ist, wie auf konventionell bewirtschafteten Flächen. Umgekehrt sehen andere Experten im Umfeld von intensiv bewirtschafteten Flächen mit Einsatz von Pestiziden auch Auswirkungen im angrenzenden Wald und auf Schutzflächen. Im Wald allgemein sind Pestizide fast gar kein Thema, weil diese dort verboten sind<sup>5</sup>.

Mit dem Einsatz von Insektiziden einen höheren Stellenwert haben Obst-/Gemüsebau im Vergleich zu Acker und Futterbau. Die Schweizer Kultflächen besteht mehrheitlich aus Futterbau, wo Pestizide ein weniger relevantes Thema sind. In den Gewässern wird der Einfluss von Pestiziden stärker gewichtet. Vor allem im Umfeld der Landwirtschaft wird angenommen, dass Pestizide eine grössere Rolle spielen. Die Stoffe reichern sich in den Gewässern zu einem Cocktail an, was zu einer kritischen Verunreinigung der Gewässer führt. Zudem werden Pestizide insbesondere im Frühling ausgetragen, also in der biologisch relevantesten Zeit für Gewässerinsekten.

## **4.2.7 Aussagen zum Einfluss von künstlichem Licht**

Der Einfluss von Licht wird je nach Perspektive als wenig bis sehr relevanter Faktor eingestuft. Die unterschiedliche Beurteilung hängt zusammen mit dem Fokus auf unterschiedliche Habitate und Gruppe Insekten.

*(A) Fokus: Wiesen und Schwerpunkt Tagfalter/Schmetterlinge*

Einordnung Relevanz Einflussfaktor Licht ist mittel bis hoch.

---

<sup>5</sup> In Ausnahmefällen Behandlung von Holzstapeln von Fichten, Massnahmen gegen Borkenkäferbefall (als wenig relevant beurteilt)

*(B) Agrarökosysteme, Laufkäfer*

Keine Aussage.

*(C) Fokus Wald, Waldinsekten*

Licht ist für Waldinsekten weniger relevant als in anderen Lebensräumen, da wenig vorhanden. Im Allgemeinen ist Licht wenig bis mässig relevant für die Insektenabundanz.

*(D) Fokus Fließgewässer, aquatische Insekten*

Die Lichtverschmutzung führt zu wenigen Insektenverlusten. Besonders betroffen davon sind die Köcherfliegen. Allgemein hat Licht jedoch einen eher geringen Einfluss auf Insekten in Fließgewässern.

*(E) Fokus Wiesen / Wildbienen*

Licht hat vor allem einen Einfluss auf Nachtfalter, welche einen grossen Teil der Insektenbiomasse ausmachen.

*(F) Fokus Insekten allg.*

Die Lichtemissionen bei urbanisierten Flächen haben einen mittel hohen Einfluss auf die Insektenabundanz. Das grössere Problem an der Urbanisierung ist das Verdrängen von Flächen mit Habitaten von Insekten und nicht die Lichtverschmutzung.

*(G) Fokus Biodiversität und Licht*

Nachtinsekten hatten in den letzten 30 Jahren höhere Biodiversitätsverluste zu verzeichnen als andere Insekten, weil die Lichtverschmutzung um etwa 70 Prozentpunkte zugenommen hat, d.h. 50 % der Schweiz ist beleuchtet. Lichtverschmutzung hat also für diese Gruppen einen sehr grossen Einfluss auf die Insektenabundanz. Neben der Zunahme an beleuchteter Fläche ist ein weiterer Unterschied zu früher die Art der Strassenbeleuchtung. So sind früher Insekten wegen der Hitze in Glühbirnen gestorben, heute sterben sie an Erschöpfung bei der neuen LED Strassenbeleuchtung. Eine Umstellung von LED mit weniger Blaulicht-Spektrum wäre für die Insektenabundanz förderlich.

Generell werden durch die Zunahme der Lichtemissionen Nachtinsekten vermehrt gestört, z.B. bei Paarungsverhalten, Orientierungssinn, phototaktisches Verhalten und allgemein ihre Vitalität. Denn Licht hat auch auf Hormone und auf das Reproduktionszeitfenster einen Einfluss. So sind z.B. Eintagsfliegen, Nachtfalter oder eventuell auch Mücken von einer Bestandesabnahme durch die Lichtverschmutzung betroffen. Der Einflussfaktor Licht betrifft alle Habitate.

*(H) Fokus Gewässerinsekten*

Vorwiegend Falter, Köcherfliegen und Eintagsfliegen sind sensibel auf Licht. Bei ihnen spielt in der Natur der Mond eine wichtige Rolle. Die Lichtverschmutzung durch den Menschen hat auch einen Einfluss auf ihr Verhalten, wovon auch ihr Überleben abhängen kann. Bei der Lichtverschmutzung durch den Menschen hat auch der UV-Anteil der Beleuchtung einen Einfluss.

Auch aquatische Insekten werden von Lichtemissionen gestört. Dies geschieht hauptsächlich dort, wo sich Gewässer in Städten befinden.

*(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Der Einfluss von Licht ist für alle Insekten relevant. Besonders die Störung durch Lichtemissionen ist bei der Partnerfindung verschiedener Insekten ein grosses Hindernis. Mit einer sinkenden Reproduktionsrate sinkt auch die Insektenbiomasse.

*(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Der Einfluss von Licht auf die Abundanz von Tagfalter und Laufkäfer wird als mässig relevant eingestuft.

*(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten*

Keine Aussage

**Fazit**

Der Einfluss von künstlichem Licht auf die Insektenabundanz ist im Vergleich zu anderen Einflussfaktoren weniger relevant. Durch Lichtemissionen sind vor allem einzelne Insektengruppen wie Nachtfalter betroffen, deren Bestand und Artenvielfalt dadurch in den letzten Jahren abgenommen hat. Sie werden bei ihrem Paarungsverhalten gestört, was zu einer geringeren Reproduktionsrate führt. Es wird angenommen, dass 50 % der Flächen in der Schweiz beleuchtet sind. Durch eine Veränderung des Lichtspektrums könnte eine Verbesserung für die betroffenen Insekten erlangt werden.

## **4.2.8 Klimawandel, indirekte Wirkungen Wasserknappheit**

Der Einfluss wird als relevanter Faktor eingestuft. Durch den Klimawandel verändern sich Lebensräume und damit auch die Zusammensetzung der Insekten. Die nachfolgenden Informationen wurden in Interviews gesammelt.

*(A) Fokus: Wiesen und Schwerpunkt Tagfalter/Schmetterlinge*

Der Klimawandel wirkt sich auf die Insektenabundanz nicht oder sogar positiv aus.

*(B) Fokus Agrarökosysteme mit Schwerpunkten Käfer, Wildbienen*

Die Klimaerwärmung hat sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf das eine oder andere Insekt. Insgesamt ist die Wirkung des Klimawandels auf die Insektenabundanz gering.

*(C) Fokus Wald*

Der Klimawandel kann auf die Insekten in Wäldern sowohl positive als auch negative Auswirkungen haben. Dieser Einflussfaktor wird deshalb als eher unwesentlich eingestuft.

*(D) Fokus Fliessgewässer*

Ein Temperaturanstieg führt zu einem geringeren Sauerstoffgehalt in den Gewässern. Dies kann zu Problemen bei der Sauerstoffversorgung von Fischen, aber auch bei Gewässerinsekten führen. Besonders davon betroffen ist die Steinfliege.

*(E) Fokus Wiesen / Wildbienen*

Klimawandel, d.h. Trockenheit und Wärme beeinflussen den Bestand der Wildbienen positiv, Arten werden durch andere Arten ersetzt. Aber diese Wirkung ist im Vergleich zur intensiven Landwirtschaft so klein, dass keine grössere Population entsteht.

*(F) Fokus Insekten allg.*

Eine Erwärmung kann sowohl einen positiven als auch negativen Effekt auf die einen oder anderen Insekten haben. Was Klimawandel allerdings auch bedeuten kann, sind Probleme bei Extremereignissen oder auch z.B. die Zunahme von invasiven Arten. Zum Beispiel im Hitzesommer 2003 wurde eine Art nekrophage Diptera fast ausgerottet. Auf der anderen Seite tauchte eine Art Sceliphron auf, dessen Population förmlich

explodierte und mittlerweile als invasiv ist. Auch Libellen und eventuell Heuschrecken scheinen vom wärmeren Klima mengenmässig zu profitieren. Insgesamt wird der Faktor Klimaerwärmung als mittelgrosse Belastung der Insektenwelt eingestuft. Jedoch ist das Phänomen noch nicht lange genug klar beobachtbar, um genügend Rückblick zu haben. Die Biomasse allerdings wird wegen den invasiven Arten als gleich gross geschätzt.

#### *(G) Fokus Biodiversität*

Der Einfluss des Klimawandels auf die Biodiversität, aber auch den gesamten Bestand von Insekten in der Schweiz ist mittelmässig gross. Andere Einflussfaktoren, z.B. Versiegelung des Bodens oder Lichtemissionen, haben eine viel grössere Bedeutung in diesem Zusammenhang. Der Klimawandel hat aber auf bestimmte Insekten einen positiven Einfluss, weil diese Wärme und Trockenheit bevorzugen. Dieses Phänomen kann seit ca. 10 – 20 Jahren beobachtet werden. Der Klimawandel betrifft alle Habitate.

#### *(H) Fokus Gewässerinsekten*

Durch den Klimawandel nimmt die gesamte Insektenbiomasse eher zu. Vermehrt werden auch mehr Insektenarten wahrgenommen. Besonders eurytherme Insektenarten sind bei höheren Temperaturen im Vorteil, weil sie nicht sensibel auf Temperaturschwankungen reagieren. Eine höhere Insektenbiomasse wird auch dadurch erreicht, weil gewisse Insekten mehrere Generationen in einem Jahr durchmachen können aufgrund der höheren Temperaturen.

Ein Nachteil des Klimawandels für Gewässerinsekten ist, dass es durch die Häufung an Trockenphasen weniger Wasser gibt, besonders in Fliessgewässern. Damit verschwindet ein Teil des Lebensraums für diese Insekten, was eine negative Auswirkung auf die Abundanz hat.

#### *(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Durch den Klimawandel wurde es in den letzten 30 Jahren im Durchschnitt ca. 1°C wärmer in der Schweiz. Für die Insekten ist dieser Temperaturanstieg grundsätzlich irrelevant. Vielmehr ist es für die Insekten wichtig, dass die Temperatur an ihrem Mikrostandort ihren Bedürfnissen entspricht. Zum Beispiel gibt es weniger Aktivität in kalten Frühlingsnächten und in warmen Frühlingsnächten eher viel Aktivität. Der Klimawandel beeinflusst aber die gesamte Biomasse durch Wetterextreme oder ausserordentliche Trockenphasen.

#### *(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Die Auswirkungen des Klimawandels können sowohl positive als auch negative Folgen für die einen oder anderen Insekten haben.

#### *(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten*

Keine Aussage

#### **Fazit**

Die Experten sind sich einig, dass der Klimawandel einen eher geringen Effekt auf die Entwicklung der Insektenabundanz der letzten 30 Jahre hat, da sich negative und positive Effekte aufheben, oder gewissen Arten profitieren, während andere verschwinden. Die Wirkung gewinnt jedoch an Bedeutung und wird für die Zukunft als sehr relevant eingestuft. Es wird beobachtet, dass die Insektenbiomasse soweit durch die höheren Temperaturen tendenziell steigt. In der Zukunft könnte die Biodiversität auch durch den Klimawandel abnehmen, insbesondere wegen der häufigeren extremen und unregelmässigen Wetterereignissen. Für Gewässerinsekten sind negative Effekte des Klimawandel am direktesten: mehr Trockenphasen und Wasser und wenig Sauerstoff im Wasser.

## 4.2.9 Aussagen zum Einfluss von Antennen

Aus der Perspektive der Experten haben Antenne eine unbekannte Wirkung oder keine Wirkung. Es ergeben sich keine Hinweise zu einer Wirkung auf Insekten aus Interviews.

*(A) Wiesen und BDM, Fokus Tagfalter/Schmetterlinge*

Einschätzung, nicht relevant

*(B) Keine Aussage*

*(C) Fokus Wald*

Der Einfluss von Antennen auf die Insektenabundanz in Wäldern wird als sehr tief eingestuft.

*(D) Fokus Fließgewässer*

Antennen und deren möglichen Wirkungen sind für Insekten in Fließgewässern gänzlich irrelevant.

*(E) Keine Aussage*

*(F) Fokus Insekten allg.*

Insekten reagieren weder positiv noch negativ auf Antennen.

*(G) Keine Aussage*

*(H) Keine Aussage*

*(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Über den Einfluss von Antennen auf Lebewesen gibt es eine grosse Debatte, die auch viele Unwahrheiten verbreitet, aber es gibt auch wissenschaftliche Literatur zu diesem Thema. So ist beispielsweise belegt, dass Mobiltelefonantennen Wärme produzieren, wodurch Bienen desorientiert sein können. Dieser Effekt hat auf die Biomasse einen negativen Einfluss. Bei anderen Insekten gibt es keine klaren Belege, dass Antennen einen Einfluss auf sie haben könnten.

*(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Die Wirkung von Antennen auf Insekten ist nicht bekannt.

### **Fazit**

Es herrscht Einigkeit, dass Antennen keine bekannte oder keine beobachtete relevante Wirkung auf Insekten haben. Die Mehrheit der Experten haben keine Auswirkungen beobachten können und deshalb keine Aussage dazu gemacht.

## 4.2.10 Aussagen zum Einfluss Hürden/Barrieren/Schranken

Expertenaussagen zum Thema Autobahnen oder Hindernisse, die nicht einfach überquert werden können.

*(A) Wiesen und BDM*

Autobahnen können ein Hindernis für laufende Insekten wie z.B. Ameisen darstellen.

*(B) Keine Aussage*

*(C) Fokus Wald*

Barrieren durch Bauten und Strassen für Insekten in Wäldern beeinflussen diese kaum.

*(D) Fokus Fliessgewässer*

Verbauungen und Begradigung von Fliessgewässern haben einen erheblichen Einfluss auf die Insekten in den Gewässern. Mit solchen Bauten bei Fliessgewässern wird Lebensraum und die Strukturevielfalt für die darin lebenden Insekten verdrängt. Barrieren wie z.B. Stauwehre sind für die Gewässerinsekten in Fliessgewässern keine Hindernisse. Allerdings sind Schwall und Sunk bei Kraftwerken vermehrt Ursachen dafür, dass Insekten weggeschwemmt werden und dadurch gestört werden, was einen z.T. sehr grossen negativen Einfluss auf sie haben kann.

*(E) Fokus Wiesen / Wildbienen*

Gut gestaltete Strassenränder können sich sehr positiv auf Insekten auswirken.

*(F) Keine Aussage*

*(G) Fokus Biodiversität und Siedlungen*

Die Versiegelung von Böden durch Überbauungen gilt als Hürde für Insekten. Durch diese verschwinden Habitate, was einen grossen negativen Einfluss auf die Biodiversität und auch die Insektenbiomasse hat.

Die Begradigung von Fliessgewässern, was Lebensräume von Gewässerinsekten zerstört, ist heute kein Thema mehr. Flussbegradigungen waren im 19. Jh. ein wichtiger Hochwasserschutz. Heute wird dies nicht mehr gemacht und sogar auf die Renaturierung von solch begradigten Fliessgewässern gesetzt.

*(H) Fokus Gewässerinsekten*

Kanalisierte Flüsse sind für Wasserinsekten insofern eine Hürde, dass sie dort keine Lebensgrundlage haben. Es gibt trotzdem gewisse Gewässerinsektenarten, für die bei guter Wasserqualität und natürlicher Sohle trotz Kanalisierung ein Leben möglich ist. Grosse Unterbrüche von Vernetzung z.B. durch Trittsteine wirken wie eine Röhre auf Gewässerinsekten. Insekten benötigen Korridore. Der Bau von Stauseen bewirkt eine Abnahme von Insekten und eine Zunahme von Muscheln etc.

*(I) Keine Aussage*

*(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Der Einfluss von Barrieren und Hürden wird als relevant eingestuft.

*(K) Keine Aussage*

**Fazit**

Insgesamt wird der Effekt von Barrieren als vergleichsweise nicht bis wenig relevant eingeschätzt. Barriertypen können sehr divers sein. Fliegende, mobile Insekten sind weniger durch Barrieren wie Strassen oder versiegelte Flächen beeinflusst. Für Gewässerinsekten stellen hauptsächlich kanalisierte Gewässer ein Problem dar, da sie dadurch ihren Lebensraum verlieren. Autobahnen können für laufende Insekten wie z.B. Ameisen eine Hürde darstellen.

## 4.2.11 Aussagen zu Invasiven Arten

Expertenaussagen zum Thema invasive Arten.

### *(A) Wiesen und BDM*

Keine Aussage.

### *(B) Fokus Agrarökosysteme mit Schwerpunkten Käfer, Wildbienen*

Keine Aussage.

### *(C) Fokus Wald*

Invasive Arten haben einen geringen bis grossen Einfluss auf die Insektenabundanz in Wäldern. Im Tessin ist der Einfluss gross und in der Schweiz insgesamt eher gering. Dabei wurde nicht spezifiziert, ob es sich eher um Neophyten oder Neozoen handelt.

### *(D) Fokus Fliessgewässer*

Für die Insektenabundanz in Fliessgewässern sind invasive Arten als solches nicht besonders relevant. Wenn jedoch durch invasive Arten Lebensräume in Fliessgewässern komplett verändert werden, kann dies durchaus negative Folgen auf die Insektenabundanz in Fliessgewässern haben.

### *(E) Fokus Wiesen / Wildbienen*

Invasive Pflanzen weisen einen eher geringen Störfaktor für Insekten auf. Invasive Insekten sind nicht Relevant in Bezug auf die Insektenabundanz.

### *(F) Fokus Insekten allg.*

Invasive Insekten sind anspruchslos und haben daher einen Vorteil zu überleben. Dies fördert das Wachstum der gesamten Insektenbiomasse. Neue invasive Insekten erreichen die Schweiz hauptsächlich durch die Grenzkantone Tessin, Genf und Basel. Im Allgemeinen wird der Einfluss von Invasiven Insekten als gering angesehen.

### *(G) Fokus Biodiversität*

Invasive Insekten ersetzen heute andere Arten. Insgesamt könnte dadurch sogar eine Zunahme der Insektenbiomasse verzeichnet werden. Die Relevanz von Invasiven Insekten oder Pflanzen ist für die Insektenabundanz im Allgemeinen als gering bis mittel hoch einzustufen.

### *(H) Fokus Gewässerinsekten*

In Seen sind vermehrt invasive Arten in Flora und Fauna anzutreffen (Veränderungen für Insekten nicht bekannt).

### *(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Insekten, die als invasiv gelten, haben auf die Insektenbiomasse in der Schweiz keinen Einfluss. Sie sind weder Konkurrenten noch sind sie speziell für die Verbreitung von Krankheiten verantwortlich. Invasive Pflanzenarten hingegen haben einen Effekt auf den Insektenbestand in der Schweiz. Denn diese verdrängen einheimische Pflanzen, die die Lebensgrundlage von Insekten bilden. Neophyten bieten nur selten Nahrung für Insekten. Besonders Spezialisten als hauptsächlich herbivore Insekten sind davon betroffen, was ihre Bio-

masse abnehmen lässt. Bestäuber Insekten werden aber von exotischen Pflanzen angezogen und können davon profitieren. Ob sich diese Effekte gegenseitig aufheben in Bezug auf den Bestand der Insektenbiomasse, kann nicht gesagt werden.

*(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Invasive Arten haben einen mässig relevanten Einfluss auf die Insektenabundanz.

*(K) Fokus: Wiesen, Weiden, Landwirtschaftsflächen in Berggebieten*

Keine Aussage

### **Fazit**

Invasive Pflanzen können sowohl einen positiven als auch einen negativen Effekt auf die Insektenabundanz in der Schweiz haben: mehr Pflanzenbiomasse, aber Verdrängung von spezifischen Pflanzen und entsprechende spezialisierten Insekten. Invasive Insektenarten sind sehr resistent und anspruchslos, was eher zu einer Zunahme der Insektenbiomasse führt.

## **4.2.12 Aussagen zu Störung Mensch/Hund**

Geringe oder keine Wirkung aufgrund der Aussagen in den Interviews

*(A) Wiesen und BDM*

Eher bescheidener Einfluss.

*(B) Fokus Agrarökosysteme mit Schwerpunkten Käfer, Wildbienen*

Die Insekten werden von Mensch und Hund kaum gestört.

*(C) Fokus Wald*

Der Einfluss von Hund und Mensch auf die Insektenabundanz im Wald ist von den Beobachtungen her als irrelevant einzustufen. Allerdings ist ein Einfluss von Mensch und Hund nicht ganz ausgeschlossen und kann deshalb nicht abschliessend als irrelevant für die Insektenabundanz im Wald angenommen werden.

*(D) Fokus Fliessgewässer*

Sowohl die Präsenz von Mensch als auch von Hund haben keinen Einfluss auf die Insektenabundanz in Fliessgewässern.

*(E) Fokus Wiesen / Wildbienen*

Die Störung durch den Menschen und evtl. durch Katzen sind für Insekten nicht relevant.

*(F) Fokus Insekten allg.*

Die grösste Störung der Insekten durch den Menschen geschieht auf einer höheren, auf der politischen Ebene. Politische Entscheide können zu Verlusten von Habitaten führen. Insgesamt wird gesagt, dass je mehr menschliche Aktivität in Landschaften und Flächen erfolgen, desto weniger Insekten gibt es. Eine direkte Störung der Insekten durch den Menschen wird als irrelevant angesehen.

*(G) Keine Aussage*

*(H) Keine Aussage*

*(I) Fokus Biomasseverlust überirdische Bodeninsekten*

Die Störung von Wildtieren durch die Anwesenheit des Menschen ist für Säugetiere erforscht. Für Insekten gibt es kaum Studien in diesem Zusammenhang. Es konnte jedoch festgestellt werden, dass Grashüpfer in der Nähe von Menschen still werden. Zudem ist die Insektenabundanz in Osteuropa schätzungsweise eher grösser als in der Schweiz, obwohl dort mehr Pestizide, Dünger und grosse Landwirtschaftsmaschinen eingesetzt werden. In Osteuropa sind jedoch die siedlungsfreien Flächen grösser. Das lässt vermuten, dass bei einer hohen Menschen-Bevölkerungsdichte weniger Insekten vorkommen aufgrund der Störung durch den Menschen und die dadurch verminderte Reproduktionsrate. Generell ist die Relevanz dieses Einflussfaktors als eher gering einzuschätzen.

*(J) Fokus Tagfalter und Laufkäfer*

Der Mensch hat mit seiner blossen Anwesenheit einen geringen Einfluss auf die Insektenabundanz.

*(K) Keine Aussage*

#### **Fazit**

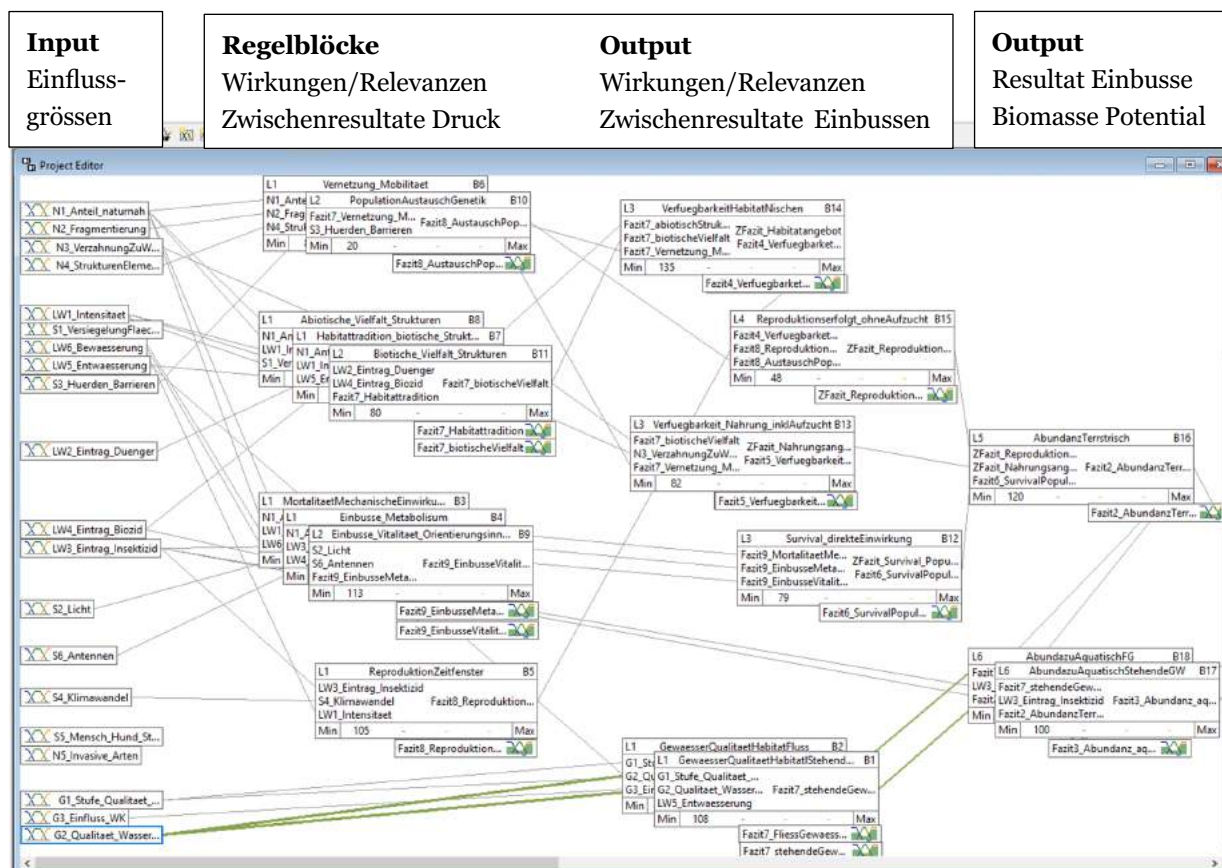
Die Insekten werden durch die blossen Anwesenheit von Mensch und/oder Hund nicht relevant gestört. Die Experten sind sich einig, dass Mensch und Hund auf die gesamthafte Insektenbiomasse keine bemerkbaren negativen Auswirkungen haben.

## **4.3 Umsetzung Fuzzy-Modellierung**

Auf Basis der durchgeführten Interviews wurden die besprochenen Einflussfaktoren als Inputgrössen für die Fuzzy-Modellierung definiert und die diskutierten Zusammenhänge und Wirkungen für die Erstellung der Regelblöcke und Outputgrössen verwendet. Damit wurde die Änderung der Insektenbiomasse modelliert. Das so erstellte Fuzzy-Modell und damit generierte Resultate wurden in einem iterativen Prozess mit Hilfe von Interviews und Resultaten aus Studien folgendermassen justiert und angepasst:

- Rückmeldungen zur Eingabe der Einflussgrössen auf die Veränderung der Biomasse
- Besprechung über Wirkpfade und Regelblöcke
- Diskussion über Outputgrössen zur Beschreibung der Biomasseverluste

Im Folgenden (**Abbildung 8**) ist der Aufbau des so erstellten Modells illustriert und in den nachfolgenden Kapiteln sind einzelne Elemente und Resultate dargestellt. Der Aufbau der Struktur für die Auswertung ist auf die Verwendung für die Fuzzy-Modellierung ausgerichtet. Vergleichbare Wirkschemen aus Literatur und Expert\*innengesprächen können die Verhältnisse teilweise in einer einfacheren Form zusammenfassen, sind aber für die Modellierung zu wenig stark aufgeschlüsselt (siehe dazu Beispiel Illustration Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) . Das Zusammenspiel der Wirkungen wird anhand ausgewählter Beispiele und den dazu erhaltenen Inputs im Folgenden diskutiert. Eine detaillierte Aufstellung Inputgrössen und Outputgrössen sowie weitere Details zum Fuzzy Modell sind in Anhang A1 aufgeführt.

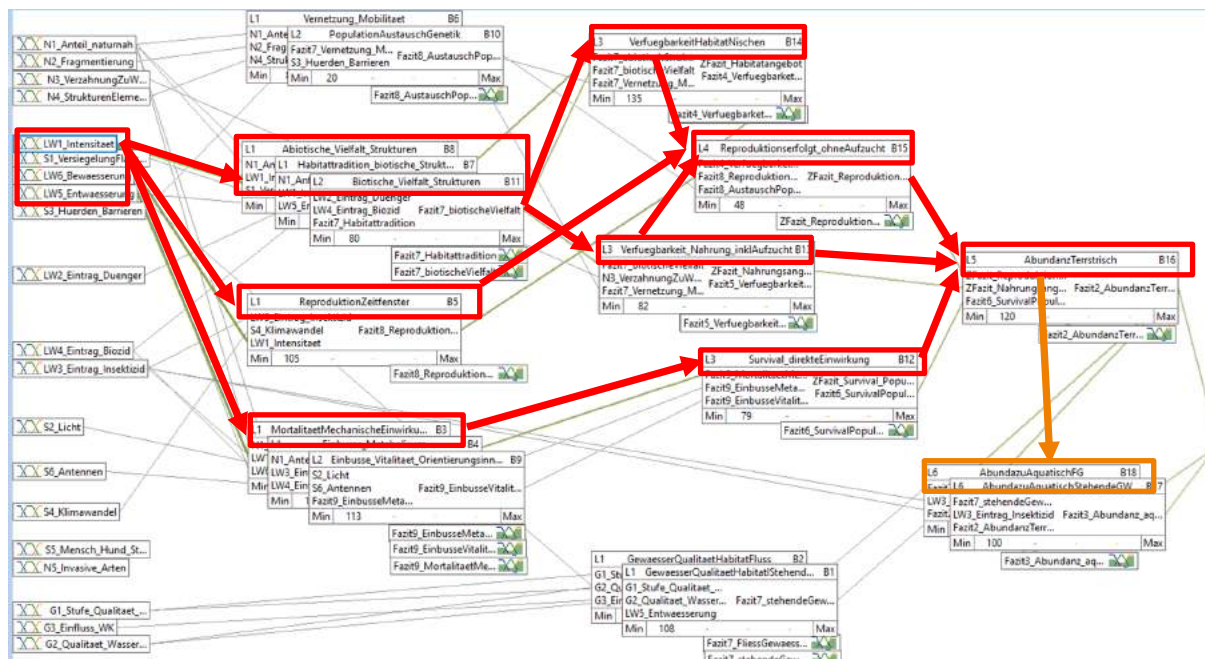


**Abbildung 8: Fuzzy-Modell für die Erfassung der Veränderung der Insektenbiomasse**

Die nachfolgenden Kapitel erläutern für einzelne Inputgrößen die darauf basierende Wirkpfade für die Beurteilung, mit Fokus auf die Faktoren mit hoher Relevanz. Die verwendeten GIS-Grundlagen für die Beurteilung der Inputgrößen und die Illustration Ergebnisse sind in Kapitel 4.5 dargestellt.

### 4.3.1 Illustration Wirkfad, Beispiel Input «Intensität Nutzung»

Die Intensität der Nutzung hat gemäss Aussagen der Expert\*innen eine sehr hohe Relevanz. Gemäss den Interviews werden mit der Intensivierung in der Landwirtschaft vor allem das Management der Kulturlächen bezeichnet, was auch verstärkte mechanische Einwirkungen miteinschliesst. Im Modell ist dies für die terrestrischen Insekten mit dem folgenden rot markierten Wirkfad (Abbildung 9) umgesetzt. Für die aquatischen Insekten wird der Effekt des Umfelds der Gewässer, wo sich die Adulten aquatischen Insekten aufhalten, direkt vom Ergebnis terrestrischer Insekten abgeleitet.



**Abbildung 9: Fuzzy-Wirkpfad der Nutzungsintensität auf die Insektenbiomasse**

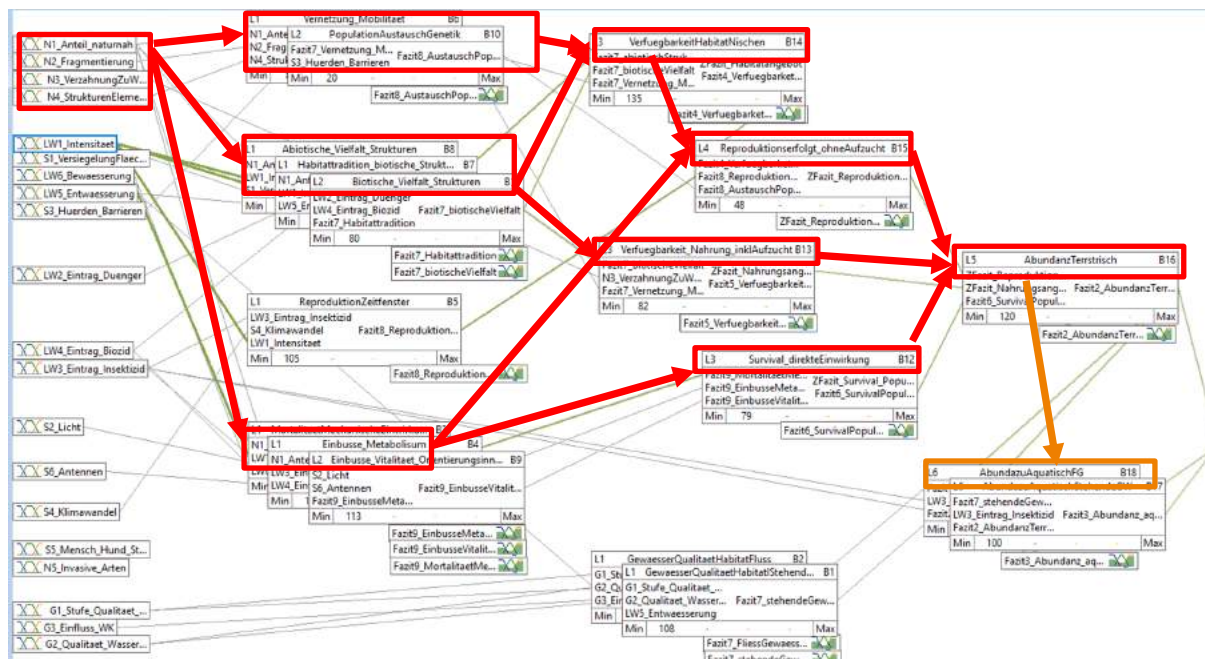
Folgende Wirkmechanismen und Ausmass der Wirkungen wurden beschrieben, wobei «---» eine sehr hohes negatives Ausmass und «+++» ein sehr hohes positives Ausmass darstellt:

- *Ausräumen der abiotischen und biotischen Strukturen: Verlust von Lebensraum/Nistplätzen*
- *Ausräumen der abiotischen und biotischen Strukturen: Verlust der Vielfalt an Nahrungsangeboten*
- *Verändertes Mähregime: Fehlendes Reproduktionszeitfenster, fehlendes Nahrung Bestäuber*
- *Mechanische Schädigung: direkte Einwirkung auf Larven/Adulte, höhere Mortalität*
- *Fehlende Habitat-Tradition: Eingeschränkte Entwicklungsmöglichkeiten*

Als stark korreliert und über die Intensität der Nutzung abgeleitet beurteilt wurden bei den GIS-Analysen die dazu gruppierten Grössen «Bewässerung» und «Entwässerung». Im Bereich der Siedlungen wurde der Grad der Versiegelung als Faktor für die Intensität der Nutzung betrachtet. Siehe dazu GIS-Analysen Intensität Kapitel 4.5.2.1.

### 4.3.2 Illustration Wirkpfad – Beispiel Input «Anteil naturnah»

Der Anteil der naturnahen Flächen zeigt, welcher Anteil Flächen nicht oder nur wenig von den verschiedenen Einflussfaktoren für eine Einbusse Insektenbiomasse betroffen ist. Die Intensität der Nutzung zeigt demgegenüber, wie weit ein Habitate von den natürlichen und naturnahen Flächen entfernt ist. Als naturnah wurden Gebiete mit keiner oder einer geringen Nutzung betrachtet. Als naturnah betrachtet wurden bei der Umsetzung im GIS aufgrund der Empfehlung der Expert\*innen Waldflächen, Magerwiesen, Ausgleichsflächen, Schutzflächen und Gewässer (siehe dazu Kapitel 4.5.2.2). Als weitere Faktoren für den Anteil naturnaher Flächen ist deren Vernetzung und Qualität wesentlich. Hierfür stehen als ergänzende Inputgrössen die aufwertenden Strukturen und die Fragmentierung naturnaher Flächen. Die Fragmentierung zeigt, wie stark die naturnahen Flächen isoliert und gleichzeitig wie abwechslungsreich deren Verteilung auf der Fläche ist. Vielfältige natürliche und naturnahe Flächen werden als «Sources» für Insekten betrachtet. Elemente und Strukturen wie Hecken und Gebüsch bieten Rückzugsmöglichkeiten und Brücken für eine Vernetzung. Im Modell ist dies für die terrestrischen Insekten mit dem folgenden Wirkpfad umgesetzt (Abbildung 10).



**Abbildung 10: Fuzzy-Wirkpfad der Faktoren «Anteil naturnah», «Fragmentierung», «Verzahnung» und «Strukturen Elemente» auf die Insektenbiomasse**

Folgende Wirkmechanismen und Ausmass der Wirkungen wurden beschrieben:

- Anteil naturnah tief, hohe Fragmentierung -> fehlende Rückzugsmöglichkeiten
- Anteil naturnah tief, hohe Fragmentierung -> Isolation, fehlender Austausch Populationen
- Anteil naturnah tief, hohe Fragmentierung -> höhere Distanz zu Nahrung -> weniger Nachkommen
- Anteil naturnah hoch, homogene nicht fragmentierte Fläche -> fehlende Vielfalt Habitat6
- + Anteil naturnah hoch, heterogene Fläche -> optimal für Insekten, Mischung Wald, Wiesen, Gewässer

Der Wirkmechanismus Anteil naturnah wird abgeschwächt oder verstärkt durch die weiteren Aspekte

- Versiegelung -> neben hoher Nutzung keine Vegetation im Lebensraum/keine Nahrung
- Barrierewirkung grösserer Bauten -> Zugang zu Lebensraum-Flächen erschwert
- + Strukturen -> Elemente Aufwertung Vernetzung

Kapitel 4.5.2.2 beschreibt die Beurteilung dieser Inputgrössen für die Standorte mit GIS.

### 4.3.3 Illustration Wirkpfad – Beispiel Input «Dünger» und «PSM»

Düngung und Pflanzenschutzmittel (PSM = Pestizide = Insektizide und andere Biozide) gehen häufig einher mit einer höheren Intensität der Nutzung und haben einen zusätzlichen Einfluss darauf, wie weit die Habitate vom Zustand natürlicher und naturnaher Flächen entfernt sind. Die Relevanz dieser Einflussfaktoren für die Einbusse der Insektenbiomasse wird von den Expert\*innen unterschiedlich eingeschätzt. Dies liegt unter anderem daran, dass die Wirkung auf einzelne Insektengruppen sehr unterschiedlich ist.

6 Durchmischung z.B. Waldflächen, es fehlen besonders wertvolle Übergänge Waldränder, viele Waldinsekten kommen bei der Nahrungssuchen zum Waldrand, brauchen auch Blüten.

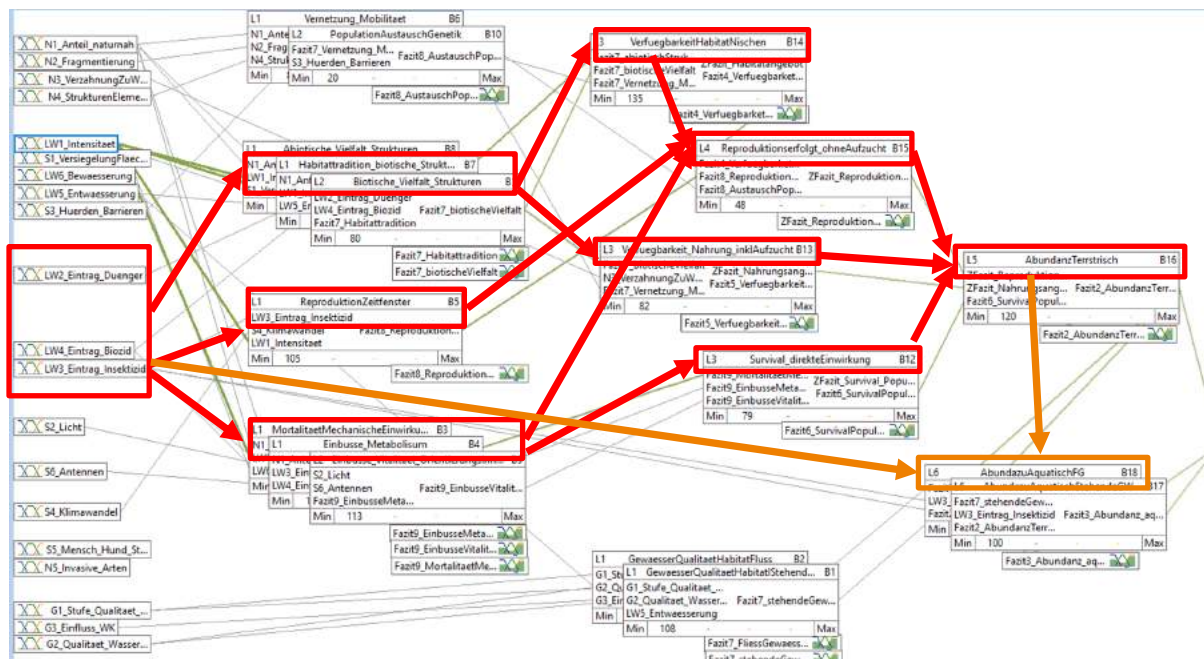


Abbildung 11: Fuzzy-Wirkpfad der Faktoren «Dünger» und «PSM» auf die Insektenbiomasse

Folgende Wirkmechanismen und Ausmass der Wirkungen wurden für Dünger beschrieben:

- Dünger -> weniger Vielfalt Vegetation Lebensraum/weniger Nahrung «Spezialisten»; weniger Blumen und Nahrung für Bestäuber auf Wiesen; dichte Vegetation und fehlendes Licht für bestimmte Insektengruppen (z.B. Ameisen und Bodenbrüter)
- ++ Dünger -> mehr Biomasse und mehr Nahrung «Generalisten»

Der Verlust an Biodiversität und an Resilienz ist damit bedeutender als der Verlust an Biomasse. Die Insektenbiomasse ist für verschiedene Gruppen mit mehr Pflanzensubstrat steigend. Dies gilt bis zu einem bestimmten Kippunkt auch für Gewässerinsekten.

Folgende Wirkmechanismen und Ausmass der Wirkungen gelten für Insektizide und andere Biozide:

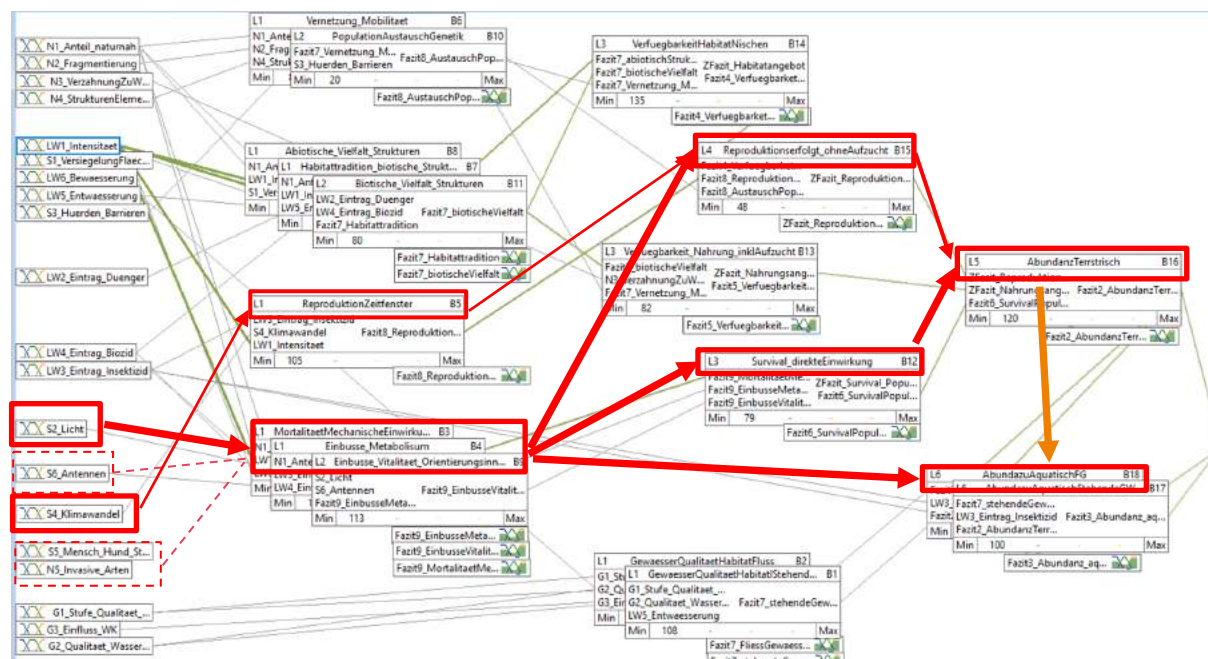
- Insektizide -> direkte Wirkung Mortalität und Veränderung Metabolismus u. Reproduktion Insekten
- Eintrag in Fließgewässer-> Mortalität und Veränderung Metabolismus und Reproduktion Insekten
- Verfrachtung via die Luft -> Eintrag auf angrenzende Flächen
- Biozide -> Veränderung von Vegetationszusammensetzung, Lebensraum und Nahrungsangebot
- Biozide ->, Veränderung Metabolismus -> geringere Vitalität Insekten

Die Einträge Dünger werden über GIS-Kartengrundlagen zum diffusen Stickstoffeinträgen und Pestizide über den Typ Landnutzung beurteilt. Eintrag Pestizide auf Nachbarflächen abhängig von der Distanz eingestuft (siehe dazu GIS Kapitel 4.5.2.5). Verschiedene Untersuchungen von Bächen in Gebieten intensiver Landwirtschaft ergeben einen Hinweis auf eine toxische Wirkung und höhere Werte im Bereich von Obstanlagen (siehe Literatur in Kapitel 4.1.2).

#### 4.3.4 Illustration Wirkpfad, diverse «Licht, Klima, Antennen, Mensch»

Weniger komplex und teilweise wenig oder weniger relevant sind die nachfolgend beschriebenen Faktoren (Abbildung 12). Vor allem für nachtaktive Insekten relevant ist der Faktor Licht. Für die meisten Insekten spielt auch der Klimawandel eine Rolle. Keine oder eine geringe Wirkung ist mit Barrieren, Besucher Mensch/Hund und Antennen verbunden. Aufgrund der Aussagen der Expert\*innen wurde deren Beitrag im

Modell vernachlässigt und die Wirkpfade dieser gestrichelt markierten Inputs sind im Folgenden nicht weiter beschrieben.



**Abbildung 12: Fuzzy-Wirkpfad der Faktoren «Licht» und «Klimawandel» auf die Insektenbiomasse**

Folgende Wirkmechanismen und Ausmass der Wirkungen wurden für Licht beschrieben:

-- *Licht -> für betroffene Gruppen direkte Mortalität, reduzierte Fitness, geringere Fortpflanzung, Orientierungsverlust*

Der komplexe Wirkungsmechanismus des Klimawandels mit positiven und negativen Folgen konnte nur vereinfacht erfasst und beurteilt werden. Die Unsicherheiten sind entsprechend gross. Vor allem für Zukunftsprognosen mit steigender Temperatur und Trockenzeiten sind hier Verbesserungen für die Verwendung Modell sinnvoll. Negative und positive Effekte auf die Biomasse terrestrischer Insekten werden als ähnlich gross beurteilt und halten sich in etwa die Waage. Tendenziell fällt eher der positive Effekt auf die Insektenbiomasse durch eine Zuwanderung wärmeliebender Insekten und Veränderungen der Wachstumsgrenze von Vegetation in Berggebieten ins Gewicht bei terrestrischen Insekten. In Fließgewässern spielt als zusätzlicher Faktor die Erwärmung und entsprechende Abnahme des Sauerstoffgehalts eine Rolle. Ab einem gewissen Niveau fällt auch Trockenheit für aquatisch und terrestrische Insekten ins Gewicht. Folgende Zusammenhänge wurden diskutiert und im Modell über eine Veränderung der Reproduktion als Effekt mit positiver oder negativer Wirkung erfasst:

- + + *Klimawandel -> Veränderung Wachstumsgrenze Vegetation, mehr Insekten in höheren Lagen*
- + *Klimawandel -> mehr Pflanzensubstrat und Nahrung für Insekten*
- + *Klimawandel -> mehrere Zyklen Fortpflanzung*
- /+ *Klimawandel -> Verluste kälteliebender und Einwanderung eurythermer Arten*
- *Klimawandel -> Negative Folgen allgemein, z.B. Trockenheit*
- *Klimawandel -> Negative Folgen Gewässer, weniger Sauerstoffgehalt*

Das Zusammenspiel positiver und negativer Faktoren des Klimawandels wurde über GIS bewertet via den Aspekt der Biomasseproduktion und der Wasserverfügbarkeit (siehe dazu Kapitel 4.5.2.7). Für die Lichtverschmutzung stehen Kartengrundlagen für eine Bewertung zur Verfügung (siehe dazu Kapitel 4.5.2.6).

### 4.3.5 Skalierung, Output Biomasseverlust, Potential 100%

Die Beurteilung des Drucks auf Insekten und der Einbusse auf deren Biomasse erfolgt im Vergleich zum optimalen Zustand/Biomassepotential im Wald, Offenland und Gewässern ausgehend vom Zeitpunkt 1990. Die grossen Veränderungen der Vegetation und Eingriffe vor 1990 werden damit nicht miteingeschlossen. Eine Ackerfläche wird in diesem Sinn nicht gegenüber dem Urzustand einer Auenlandschaft, sondern einer extensiven Form der Bewirtschaftung oder einer Ausgleichsfläche beurteilt.

Eine geringere Biomasse aufgrund der Höhenlage wird mit diesen Angaben nicht thematisiert. Der Druck und Verlust an Biomasse wird gegenüber dem optimalen Zustand der gleichen Fläche und Höhenlage beurteilt. 100% Insektenbiomasse entspricht damit dem optimalen Zustand einer Fläche. Die Differenz dazu ist die Einbusse im Vergleich.

## 4.4 Fuzzy-Modellierung, Testanalysen Pilotregion

Für ausgewählte Standorte wurden ausgehend von den GIS-Katengrundlagen in Kapitel 4.5.2 die Inputgrößen für die Beurteilung der Einflussfaktoren ermittelt und darauf basierend mit der Fuzzy Modellierung ein Fazit zum generierten Druck auf Insekten erstellt. Die so gewonnenen Erkenntnisse wurden anschliessend für die weitere grossflächige Auswertung und Darstellungen Resultate mit GIS verwendet (siehe dazu Kapitel 4.5.3).

### 4.4.1 Inputparameter, Testanalysen Pilotregionen

Die nachfolgenden Situationen unterschiedlich intensiver Nutzung von Offenland und Wald wurden analysiert. Diese zeigen unterschiedliche Ausprägungen der Einflussgrößen und der damit eingelesenen Inputparameter.

#### «Intensiv, Landwirtschaft homogen», Beispiele Testanalysen 1, Pilotregion Method

Inputparameter 2020 und Zustand 1990 für den im Bild markieren Standort

Variable Name	2020:	1990: Intensiv LW, Method
G1_Stufe_Qualitaet_Gewaess	0.75	0.75 im Umfeld künstliches Gewässer, stark verbautes Gewässer
G2_Qualitaet_Wasser_02_T	0.6	0.6 Annahme Umfeld intensiver Landwirtschaft stark belastet PSM/Dünger
G3_Einfluss_WK	0.2	0.2 Ungekannt, Annahme geringer Einfluss
LW1_Intensitaet	0.8	0.6 Effizienzsteigerung, hohe Intensität Ackerland
LW2_Eintrag_Duenger	0.75	0.75 hoher Eintrag, 60 kg/ha*a (Skala 0=kein, 1=sehr hoher Eintrag)
LW3_Eintrag_Insektizid	0.7	0.75 hoher Eintrag (Annahme konstant, minimale Veränderung Bio in der Region)
LW4_Eintrag_Biozid	0.7	0.75 hoher Eintrag (Annahme konstant, minimale Veränderung Bio in der Region)
LW5_Entwaessering	0.8	0.6 Annahme proportional zur Intensität und Verbauung Gewässer
LW6_Bewaessering	0.8	0.6 Annahme proportional zur Intensität Bewirtschaftung
N1_Anteil_naturnah	0.9	0.9 Naturnahe Fläche <10%. Anteil naturnaher Flächen (0=viel, 1=keine)
N2_Fragmentierung	0	0 Fragmentierung (0 zu stark, 1 zu wenig, optimal 0.75)
N3_VerzahnungZuWaldWiese	1	1 Keine Verzahnung am Standort
N4_StrukturenElemente	0.9	0.8 Kaum Strukturen, mit Intensität abnehmend
N5_Invasive_Arten	0	0 nicht relevant
S1_VersiegelungFlaeche	0.1	0.1 gering
S2_Licht	0.01	0.01 nicht relevant
S3_Huerden_Barrieren	0	0 nicht relevant
S4_Klimawandel	0.2	0.25 minimaler Effekt (0= positiver Effekt, 0.25= unverändert, 1= Einschränkungen)
S5_Mensch_Hund_Stoeren	0	0 nicht relevant
S6_Antennen	0	0 nicht relevant

Abbildung 13: Input der Testanalysen für Method VD, intensive Landwirtschaft

Veränderung im Verlauf der Zeit:

- Zunahme Intensität, Ertragssteigerung mit grösseren und effizienteren Maschinen
  - Verlust Strukturen Feldränder
  - + Weniger Anteil Verfrachtung PSM aus dem Umfeld, steigender Anteil Biolandbau (nicht lokalisiert)
- => Fazit Trend, Druck auf Insektenbiomasse steigend, abnehmender Trend Insektenbiomasse

## «Intensiv, Landwirtschaft heterogen», Beispiel Testanalyse 2, Pilotregion Rothrist

Inputparameter 2020 und Zustand 1990 für den im Bild markieren Standort

Variable Name	2020:	1990:	Landwirtschaft, heterogen Rothrist
G1_Stufe_Qualitaet_Ge	0.8	0.8	im nahen Umfeld eindohltes Gewässer
G2_Qualitaet_Wasser_0	0.6	0.6	PSM und Düngereintrag, Annahme stabil bis leicht abnehmend
G3_Einfluss_VK	0.0	0.0	kein Einfluss
LW1_Intensitaet	0.7	0.6	Steigerung Intensität Management Ackerland / Wiesen
LW2_Eintrag_Duenger	0.5	0.5	Eintrag Dünger mittel, 40-60 kg/ha*a
LW3_Eintrag_Insektizid	0.6	0.7	leicht rückläufig, wachsender Anteil Biolandbau, Ausgleichsflächen
LW4_Eintrag_Biozid	0.6	0.7	leicht rückläufig, wachsender Anteil Biolandbau, Ausgleichsflächen
LW5_Entwaesserung	0.7	0.6	Annahme proportional zur Intensität
LW6_Bewaesserung	0.7	0.6	Annahme proportional zur Intensität
N1_Anteil_naturnah	0.5	0.6	Anteil naturnaher Flächen (0=viel, 1=keine), mehr Ausgleichsflächen
N2_Fragmentierung	0.5	0.5	Fragmentierung (0 zu stark, 1 zu wenig, Optimum dazischen)
N3_VerzahnungZuWald	0.5	0.5	Verzahnung mittel, Entfernung Wald/Wiese, Übergänge
N4_StrukturenElemente	0.5	0.6	Strukturen, leicht aufgewertet
N5_Invasive_Arten	0.0	0.0	nicht relevant
S1_VersiegelungFlaeche	0.0	0.0	nicht relevant
S2_Licht	10.0	7.0	gestiegen (Skala bis 20)
S3_Huerden_Barrieren	0.3	0.3	gleich wie bisher, Umfeld Siedlungen und Strassen
S4_Klimawandel	0.2	0.25	nahezu unverändert (0= positiver Effekt, 0.25 unverändert, 1= Einschränkung)
S5_Mensch_Hund_Stoe	0.2	0.2	hohe Dichte Nutzung, wenig relevant
S6_Antennen	0.0	0.0	Annahme nicht relevant



Abbildung 14: Input der Testanalysen für Rothrist AG, Landwirtschaft

Veränderung im Verlauf der Zeit:

- Zunahme Intensität, Ertragssteigerung mit grösseren und effizienteren Maschinen
  - Lichtbelastung im Umfeld Siedlungsgebiet steigend
  - + Weniger Eintrag PSM aus dem Umfeld, steigender Anteil Biolandbau in der Region (nicht lokalisiert)
  - +++ Neue Strukturen, naturnahe Förder-/Ausgleichsflächen im Umfeld
- => Fazit, positive und negative Effekte halten sich die Waage, Druck auf Insekten Biomasse konstant

## «Nutzwald», Beispiel Testanalyse 3, Pilotregion Rothrist

Inputparameter 2020 und Zustand 1990 für den im Bild markieren Standort.

Variable Name	2020:	1990:	Wald, wenig intensiv Rothrist
G1_Stufe_Qualitaet_Ge	0	0	naturnah, wenig verbaut
G2_Qualitaet_Wasser_0	0	0	nicht beeinträchtigt
G3_Einfluss_VK	0	0	nicht beeinträchtigt
LW1_Intensitaet	0	0.1	Waldmanagement, leicht reduziert seit 1990
LW2_Eintrag_Duenger	0.05	0.1	Eintrag über Luft, gering 5 kg/ha*a
LW3_Eintrag_Insektizid	0.1	0.1	Verfrachtung, geringer Eintrag
LW4_Eintrag_Biozid	0.1	0.1	Verfrachtung, geringer Eintrag
LW5_Entwaesserung	0.3	0.3	Schätzwert Entwässerung Nutzwald
LW6_Bewaesserung	0	0	Annahme keine
N1_Anteil_naturnah	0.15	0.2	Naturnahe Fläche 80-90%. Anteil naturnaher Flächen (0=viel, 1=keine)
N2_Fragmentierung	0.8	0.8	Fragmentierung (0 zu stark, 1 zu wenig, Optimum dazischen)
N3_VerzahnungZuWald	0.4	0.3	Verzahnung vorhanden, harte Übergänge Wald/Wiesen
N4_StrukturenElemente	0.1	0.2	Förderung Totholz und Waldrand Aufwertung
N5_Invasive_Arten	0	0	nicht relevant
S1_VersiegelungFlaeche	0	0	nicht relevant
S2_Licht	0.5	0.1	Belastung steigend
S3_Huerden_Barrieren	0	0	nicht beeinträchtigt
S4_Klimawandel	0.1	0.1	unverändert (0= positiver Effekt, 1= Einschränkungen Wasser/Temperatur)
S5_Mensch_Hund_Stoe	0	0	nicht relevant
S6_Antennen	0	0	nicht relevant

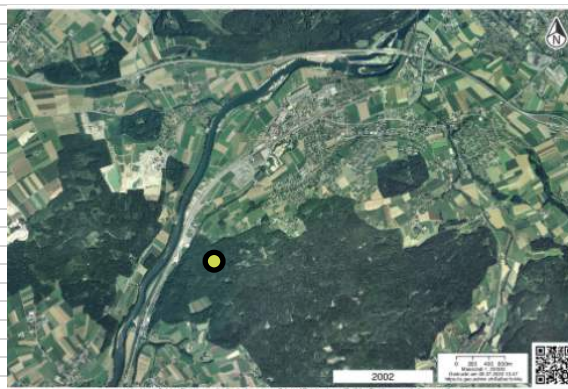


Abbildung 15: Input der Testanalysen für Rothrist AG, Wald

Veränderung im Verlauf der Zeit:

- + Intensität Waldwirtschaft leicht abnehmend, Reservate/Aufwertung im weiteren Umfeld
  - + Eintrag PSM leicht abnehmend, Zuwachs Biolandbau (nicht lokalisierbar, Effekt auf Distanz minim)
  - Intensität angrenzender Flächen steigend, Verzahnung mit Intensität Umfeld abnehmend
  - Lichtbelastung leicht steigend
- => Fazit, positive und negative Effekte halten sich die Waage, Druck auf Insekten Biomasse konstant

## “Intensiv, Obst-/Gemüsebau“, Beispiele Testanalysen 4, Pilotregion Güttingen

Inputparameter 2020 und Zustand 1990 für den im Bild markieren Standort

Variable Name	2020: Obs	1990: Obst/Gemüse, Güttingen	
G1_Stufe_Qualitaet_Gewaes	0.75	0.75	direktes Umfeld naturfremdes Gewässer, entfernte Gewässer besser
G2_Qualitaet_Wasser_02_T	0.7	0.8	stark belastete Bäche PSM/Dünger, Eintrag Dünger reduziert
G3_Einfluss_WK	0	0	kein Kraftwerk
LW1_Intensitaet	0.9	0.7	Zunahme Intensität, Mischwert Agrar/Obstbau, Intensität steigend
LW2_Eintrag_Duenger	0.5	0.5	Mittlerer Eintrag, 20-40 kg/ha*a
LW3_Eintrag_Insektizid	0.9	0.8	Hoher Eintrag, lokal zunehmend mit mehr Obstbau
LW4_Eintrag_Biozid	0.8	0.8	Hoher Eintrag, Obst-/Gemüsebau
LW5_Entwässerung	0.9	0.7	unbekannt, gleichgesetzt wie Intensität
LW6_Bewässerung	0.9	0.7	unbekannt, gleichgesetzt wie Intensität
N1_Anteil_naturnah	0.9	0.9	<10% im Umfeld 1 (Anteil naturnaher Flächen 0=viel, 1=keine)
N2_Fragmentierung	0	0	Fragmentierung (0 stark isoliert, 1 zu wenig durchmischt, optimal 0.8)
N3_VerzahnungZuWaldWiese	1	1	keine Verzahnung am Standort
N4_StrukturenElemente	0.9	0.9	kaum Strukturen in der Fläche/Umfeld
N5_Invasive_Arten	0	0	keine Informationen
S1_VersiegelungFlaeche	0.05	0.05	wenig
S2_Licht	0.2	0.2	gering, kleine Ortschaften, fast kein Licht
S3_Huerden_Barrieren	0	0	keine relevanten Hürden
S4_Klimawandel	0.2	0.25	nahezu unverändert (0= positiver Effekt, 0.25 unverändert, 1= Einschränkung)
S5_Mensch_Hund_Stoeren	0.0	0.0	Annahme nicht relevant
S6_Antennen	0.0	0.0	Annahme nicht relevant

Abbildung 16: Input der Testanalysen für Güttingen TG, Obst-/Gemüsebau

Veränderung im Verlauf der Zeit:

- Intensität Obstanbau steigend
  - zusätzliche Flächen Obst und damit steigender Einsatz von PSM
  - + Eintrag durch PSM Verfrachtung sinkend, Zuwachs Biolandbau Umgebung (nicht lokalisierbar)
- => Fazit Trend, Druck auf Insekten Biomasse steigend

## «Wald extensiv» Beispiele Testanalysen 5, Pilotregion Val Müstair

Inputparameter 2020 und Zustand 1990 für den im Bild markieren Standort

Variable Name	2020, Wald ex	1990, Wald extensiv, Val Müstair	
G1_Stufe_Qualitaet_Gewaesser	0	0	naturnah
G2_Qualitaet_Wasser_02_T	0	0	nicht beeinträchtigt
G3_Einfluss_WK	0	0	nicht beeinträchtigt
LW1_Intensitaet	0.1	0.2	geringe Intensität, Wald extensiv, Weiden, Trend abnehmend -> Verganden
LW2_Eintrag_Duenger	0.05	0.05	geringer Eintrag 5-10 g
LW3_Eintrag_Insektizid	0.05	0.1	geringer Eintrag Verfrachtung Umfeld, abnehmend mit Zunahme Biolandbau
LW4_Eintrag_Biozid	0.05	0.1	geringer Eintrag Verfrachtung Umfeld, abnehmend mit Zunahme Biolandbau
LW5_Entwässerung	0.1	0.1	unbekannt, Einschätzung = proportional zur Intensität Nutzung
LW6_Bewässerung	0.1	0.1	unbekannt, Einschätzung = proportional zur Intensität Nutzung
N1_Anteil_naturnah	0.15	0.15	Naturnaher Fläche 80-90%. Anteil naturnaher Flächen (0=viel, 1=keine)
N2_Fragmentierung	0.9	0.8	0 sehr stark isoliert, 1 homogen naturnah, 0.8 optimal gemischt
N3_VerzahnungZuWaldWiese	0	0	hoch
N4_StrukturenElemente	0	0	viele Elemente Vernetzung
N5_Invasive_Arten	0	0	nicht relevant, unbekannt
S1_VersiegelungFlaeche	0	0	nahezu 0%
S2_Licht	0.5	0.5	fast kein Licht (Skala bis 20)
S3_Huerden_Barrieren	0	0	keine grössere Hindernisse
S4_Klimawandel	0	0.25	positiver Effekt (0= positiver Effekt, 0.25=neutral, 1= grosse Einschränkungen)
S5_Mensch_Hund_Stoeren	0	0	nicht relevant, unbekannt
S6_Antennen	0	0	nicht relevant, unbekannt

Abbildung 17: Input der Testanalysen für Val Müstair GR, extensiver Wald

Veränderung im Verlauf der Zeit

- + Reduktion PMS Eintrag, geringere Verfrachtung aus Umfeld (Umstellung Biolandbau)
  - + Klimawandel, Vegetationsgrenze und Wachstum
  - + Neue Schutzflächen und Förderflächen im Umfeld
- => Fazit Trend, Druck auf Insekten Biomasse sinkend/Veränderungen tendenziell Biomasse fördernd

## «Weiden/Wiesen intensiv» Beispiel Testanalysen 6, Pilotregion Val Mustair

Inputparameter 2020 und Zustand 1990 für den im Bild markieren Standort

Variable Name	2020, Fettwiese Vj 1990, Fettwiese Val Mustair	
G1_Stufe_Qualitaet_Gewa	0.2	0.2 Gewässer im Umfeld: naturnah, teils verbaut
G2_Qualitaet_Wasser_02	0.3	0.4 mässig belastet Dünger/PSM, PSM abnehmend (Biolandbau)
G3_Einfluss_WK	0	0 keine Kraftwerk
LW1_Intensitaet	0.6	0.4 Intensität Bewirtschaftung Wiesen steigend
LW2_Eintrag_Duenger	0.25	0.25 20-30 kg/ha, mittlerer Eintrag Umfeld Fettwiesen
LW3_Eintrag_Insektizid	0.1	0.2 mässiger Eintrag aus Umfeld, Obstplantagen, weniger geworden mit steigendem Anteil Biolandbau
LW4_Eintrag_Biozid	0.1	0.2 Geringer Eintrag aus Umfeld, Obstplantagen, weniger geworden mit steigendem Anteil Biolandbau
LW5_Entwaeserung	0.6	0.4 unbekannt, Annahme proportional zu Intensität
LW6_Bewaeserung	0.6	0.4 unbekannt, Annahme proportional zu Intensität
N1_Anteil_naturnah	0.5	0.5 Anteil naturnaher Flächen (0=viel, 1=keine), ähnlich wie bisher, leicht mehr Ausgleichsflächen
N2_Fragmentierung	0.5	0.5 Fragmentierung (0 sehr stark isoliert, 1 zu wenig heterogen, Optimum 0.8)
N3_VorzahnungZuWaldW	0.5	0.5 Verzahnung mässig, Übergänge Wald/Wiese wenig (0=fließender Übergang, 1= scharfe Kante)
N4_StrukturenElemente	0.6	0.5 Mässig viele Strukturen in der Fläche, Trend abnehmend in bewirtschafteten Flächen
N5_Invasive_Arten	0	0 nicht relevant, keine Informationen
S1_VersiegelungsFlaecha	0.1	0.1 geringer Anteil Strassen/Ortschaften
S2_Licht	0.5	0.3 gering, kleine Ortschaften, leichte Zunahme Licht (Skala bis 20)
S3_Huerden_Barrieren	0	0 keine, keine grössere Hindernisse
S4_Klimawandel	0.25	0.25 eher stabil (0= positiver Effekt, 0.25=neutral, 1= negativer Effekt)
S5_Mensch_Hund_Stoere	0	0 nicht relevant, kein Effekt bekannt
S6_Antennen	0	0 nicht relevant, kein Effekt bekannt

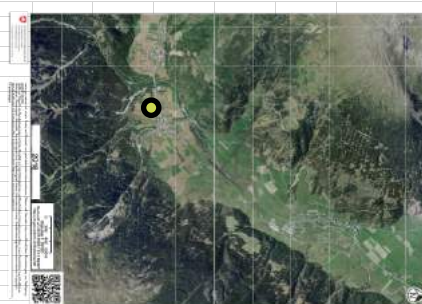


Abbildung 18: Input der Testanalysen für Val Münstair GR, intensive Wiesen

Veränderung im Verlauf der Zeit

- Höhere Intensität Bewirtschaftung Wiesen und Bewässerung Wiesen
  - Verlust Strukturen, Ränder und Böschungen durch Intensivierung
  - + Geringere Verfrachtung PSM Eintrag aus Umfeld (Umstellung Biolandbau)
  - + Klimawandel, tendenziell Wachstum fördernd
- => Fazit Trend, Druck auf Insekten Biomasse steigend

### 4.4.2 Fuzzy Output; Resultate der Testanalysen von Pilotregionen

Die mit den im vorgängigen Kapitel aufgelisteten Inputparametern ausgeführte Analyse führt zu folgenden Zwischenresultaten (Abbildung 20) und Gesamtergebnis (Abbildung 19) für die analysierten Gebiete und zeigt den Trend der dort aus den GIS-Kartengrundlagen abgeleiteten zeitlichen Veränderung.

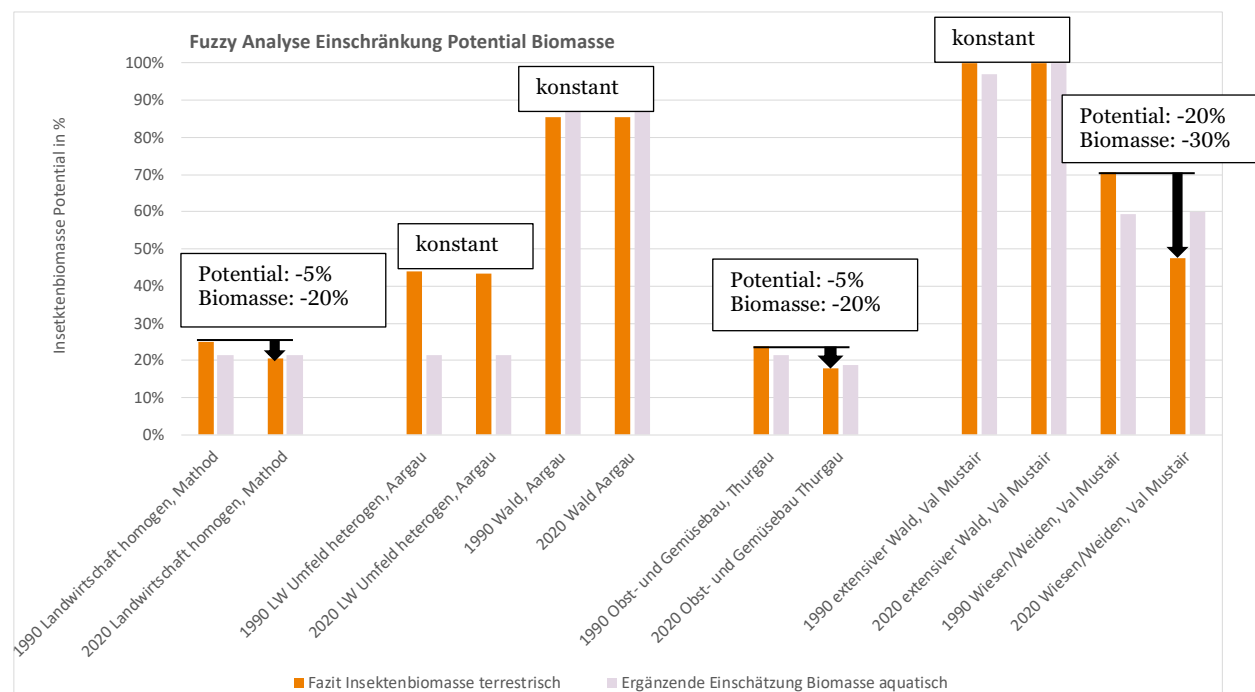
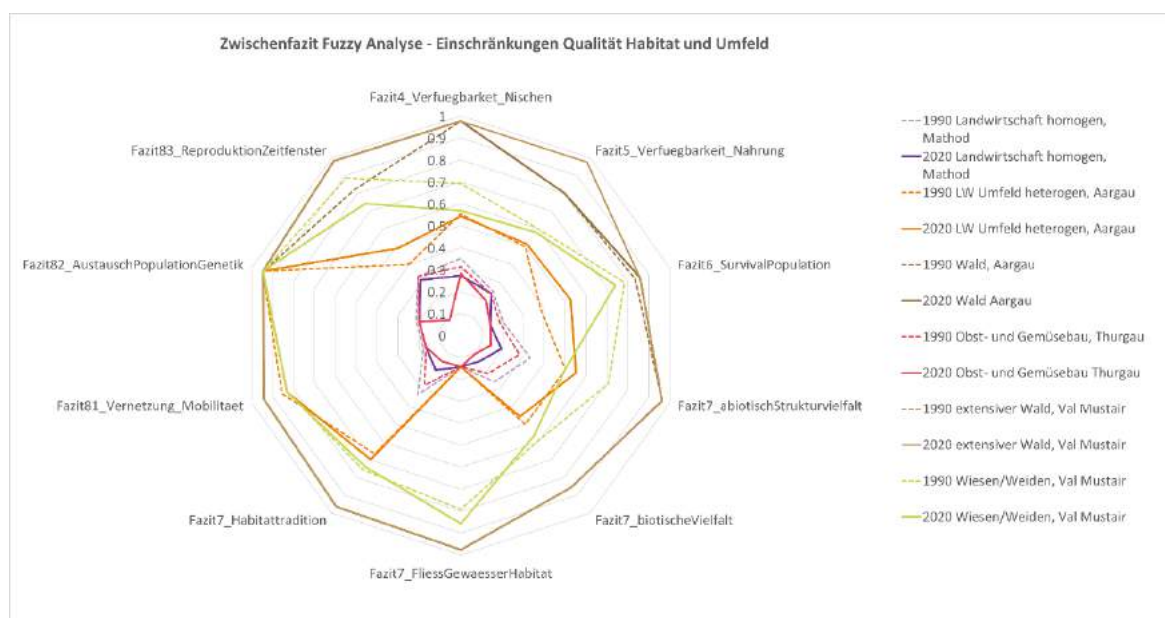


Abbildung 19: Resultate Fuzzy-Analyse ausgewählte Standorte in den Pilotgebieten, Einschränkung Potential und Veränderung Insektenbiomasse 1990 und 2020. Ein Wert von 100% entspricht der Einschätzung dem vollen Potential der Fläche. Bezogen auf ein bereits stark eingeschränktes Potential mit einem Ausgangswert von 25% beim Beispiel der intensiv bewirtschafteten Fläche in Mauthod bedeutet eine Einbusse Potential -5% ein Verlust von 20% Biomasse gegenüber 1990.

Die nachfolgende Graphik zeigt die Zwischenresultate, welche zu diesem Fazit führen. Die Verfügbarkeit und Vielfalt Nischen und Nahrung nimmt mit einem geringeren Anteil naturnaher Flächen und einer höheren Intensität der Bewirtschaftung ab. Method und Güttingen zeigen mit einem sehr geringen Anteil naturnaher Flächen auch eine geringere Vernetzung und Austausch Populationen auf. Ein intensives Management reduziert das Reproduktionszeitfenster.



**Abbildung 20: Profil der Zwischenresultate der analysierten Pilotgebiete.** 100% entspricht einer hohen Eignung für Insekten und eine geringe Prozentzahl einer geringen Eignung.

Das folgende Fazit zeigt die spezifische Auswertung der markierten Standorte in Abbildung 13 bis Abbildung 18. In einem folgenden Schritt wurden mit GIS Resultate auf ganze Regionen übertragen.

#### Standort 1: Pilotregion Waadt Method

- Intensive Landwirtschaft, VD Method: sehr hoher Druck -> Potential sinkt von 25% auf 20%  
➔ Gegenüber 1990 Einbusse 20% Insektenbiomasse

#### Standort 2/3: Pilotregion Aargau Rothrist

- Intensiv, heterogen Landwirtschaft, AG Rothrist: hoher Druck -> Potential konstant bei 40%  
➔ Keine Veränderung Biomasse, positive und negative Effekte halten sich die Waage
- Wenig intensiv, Nutzwald homogen, AG Rothrist -> Potential konstant bei 85%  
➔ Keine Veränderung Biomasse, positive und negative Effekte halten sich die Waage

#### Standort 4: Pilotregion Thurgau Güttingen

- Intensiv Obst-/Gemüsebau, TG Güttingen: sehr hoher Druck = Potential sinkt von 25% auf 20%  
➔ Gegenüber 1990 Einbusse 20% Insektenbiomasse

#### Standort 5/6: Pilotregion Graubünden Val Müstair

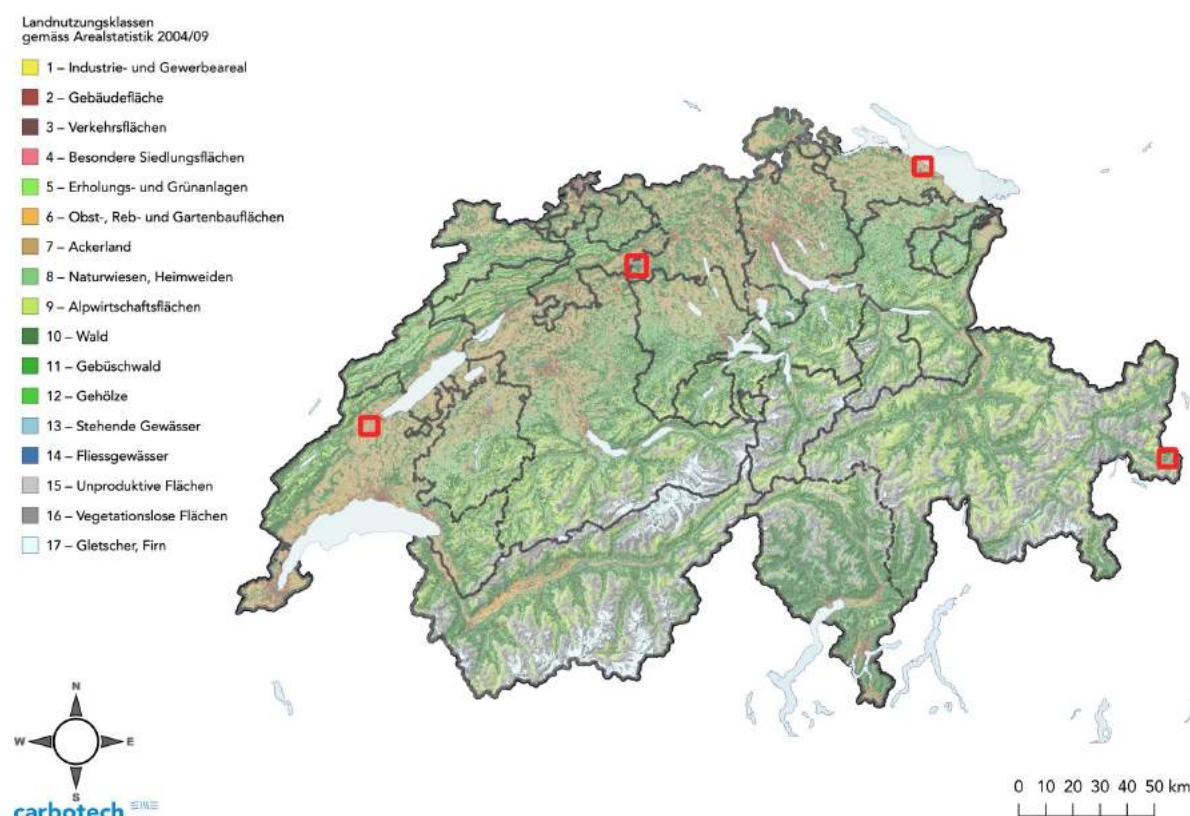
- Extensiv, Wald, GR Val Mustair: geringer Druck -> keine relevante Einbusse, Potential 100%  
➔ keine Veränderung oder leichte Zunahme
- Fettwiesen/intensive Weiden, GR Val Mustair -> hoher Druck = Potential sinkt von 70% auf 50%  
➔ Gegenüber 1990 Einbusse 30% Insektenbiomasse

## 4.5 Auswertung GIS

Dieses Kapitel beschreibt das Vorgehen (die Methode) und die Ergebnisse der GIS-Auswertung. Kapitel 4.5.1 und 4.5.2 beschreiben die verwendeten Grundlagen der Inputparameter und Kapitel 4.5.3 die darauf basierenden Outputs Druck auf Insekten und Einbusse der Biomasse und Veränderung zeitlich im Zeitraum 1990 bis 2020.

### 4.5.1 Grundlage Landnutzung, Lokalisierung Pilotregionen

Die wichtigste Grundlage dieser Studie bezüglich Landnutzung ist die Arealstatistik des Bundesamts für Statistik (BFS, 2014). Diese beinhaltet für die ganze Schweiz einheitliche Landnutzungskategorien für verschiedene Zeitpunkte. Die räumliche Auflösung beträgt dabei 100 mal 100 Meter. Zum Zeitpunkt der Analyse waren die neusten Daten noch nicht für die ganze Schweiz verfügbar. Deshalb mussten die schon etwas älteren Daten von 2004/09 verwendet werden. Es gibt zwar andere Datenquellen mit aktuelleren Daten zur Landnutzung, beispielsweise Corine Land Cover 2018 (European Environment Agency, 2020), jedoch ist hier die Vergleichbarkeit zwischen den Jahren nur bedingt möglich, da sich einerseits die genaue räumliche Lage der Pixel von Jahr zu Jahr verändert sowie andererseits die Klassifizierungen auf teilweise unterschiedlichen Sensoren beruhen.



**Abbildung 21:** Landnutzung 2004/09 gemäss Arealstatistik (BFS, 2014). Die Pilotregionen sind rot eingezeichnet.

Der zweite berücksichtigte Zeitpunkt ist die Arealstatistik 1979/85. Ein Vergleich dieser beiden Zeitpunkte zeigt, dass absolut gesehen sowohl die Waldflächen (+38'886 ha) als auch die Siedlungsflächen (+37'016 ha) zugenommen haben. Die stärksten Abnahmen gab es bei den Gletscher- und Firnflächen (-39'197 ha) sowie den Alpwirtschaftsflächen (-29'516 ha) und dem Ackerland (-29'514 ha). Die Erholungs- und Grünanlagen, Industrie und Gewerbeareale sowie die Gebäudeflächen haben sich relativ betrachtet mit einer Zunahme von

jeweils gut einem Drittel ausgedehnt. Bei der relativen Abnahme haben die Obst-, Reb- und Gartenbauflächen mit der Reduktion um knapp ein Drittel sowie die Gletscher- und Firnflächen um einen Viertel am meisten Fläche eingebüsst.

Abbildung 22 zeigt eindrücklich die sehr unterschiedlichen Landnutzungen in den einzelnen Pilotregionen. Während die Region um Method vor allem von Ackerland geprägt ist, dominieren in der Region um Güttingen die Obstflächen. Die Region um Rothrist umfasst zwar ausgedehnte Waldflächen, die übrigen Flächen sind jedoch stark von Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsflächen sowie Ackerland geprägt. In der Region Val Müstair wiederum sind grössere Waldflächen, Alpwirtschaftsflächen sowie Naturwiesen und Heimweiden vorhanden.



**Abbildung 22: Landnutzung gemäss Arealstatistik. Oben 1979/85; Unten 2004/09. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR. Daten (BFS, 2014).**

In allen Pilotregionen ist eine Zunahme der Siedlungsfläche festzustellen, am stärksten um Rothrist. Eine Ausdehnung der Waldfläche ist wiederum nur in der Region Val Müstair zu beobachten, hier insbesondere auf Kosten der Alpwirtschaftsflächen.

## 4.5.2 Einflussfaktoren

### 4.5.2.1 Intensität der Nutzung, Mechanisierung

Unter dem Aspekt Intensität wird die Häufigkeit und der Schweregrad Einwirkung mechanischer Einwirkungen thematisiert. Die Intensität in der Landwirtschaft wird höher beurteilt bei einer steigenden Frequenz und Zahl Eingriffe und andererseits bei besonders starken Veränderungen von Strukturen durch Maschinen. Zu diesem Einflussfaktor konnten keine Geodaten mit direkter Aussage bezüglich der Intensität der Landnutzung gefunden werden. Aus diesem Grund wurde die Intensität qualitativ über die Landnutzungsklasse abgeleitet. Dazu wurde den 17 Landnutzungsklassen der Arealstatistik (BFS, 2014) jeweils ein Wert zwischen 0 (sehr extensiv) und 1 (sehr intensiv) zugewiesen. Dies wurde für die Daten von 1979/85 und 2004/09 durchgeführt (vgl. Tabelle 6). Für die meisten Landnutzungsklassen wurde der Wert der Intensität bei beiden Zeiträumen gleich belassen, die Ausnahme sind die landwirtschaftlichen Flächen. Hier wurde aufgrund der Aussagen in Interviews angenommen, dass die Intensität in den letzten Jahrzehnten noch einmal zugenommen hat, beispielsweise durch den Einsatz von grösseren und schwereren Maschinen oder ein früheres Mähen von Wiesen.

Zusätzlich zu den Landnutzungsklassen der Arealstatistik wurden Schutzzonen und Biodiversitätsflächen als Flächen mit einer wenig intensiven Bewirtschaftung berücksichtigt (vgl. Abbildung 23). Diese beiden wurden als separate Layer über die Landnutzungstypen der Arealstatistik gelegt. Unter dem Layer Schutzzonen wurden folgende Geodaten zu besonders wertvollen Gebieten zusammengefasst:

- Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung (BAFU, 2017a)(BAFU, 2017b).
- Auengebiete ausserhalb Bundesinventar (BAFU, 2017d)(BAFU, 2017e).
- Alpine Auengebiete ausserhalb Bundesinventar (BAFU, 2019a).
- Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung (BAFU, 2017e)(BAFU, 2017f).
- Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung (BAFU, 2018).
- Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung (BAFU, 2017b)(BAFU, 2017c).
- Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung (BAFU, 2017c)(BAFU, 2017d).

Die Biodiversitätsförderflächen umfassen die beiden Geodatensätze zur Qualitätsstufe II und Vernetzung der Kantone Aargau, Solothurn, Thurgau und Waadt (Konferenz der Kantonalen Geoinformationsstellen, 2020) sowie des Kantons Graubünden (GeoGR AG, 2020).

Da nur schwer nachvollziehbar ist, wann welche Schutzzone oder Biodiversitätsfläche genau erstellt wurde, wurde pragmatisch davon ausgegangen, dass Schutzzonen generell schon länger existieren als Biodiversitätsförderflächen. Entsprechend wurden die Schutzzonen sowohl für die älteren als auch für die neueren Daten verwendet, während die Biodiversitätsförderflächen nur in den neueren Karten berücksichtigt werden.

**Tabelle 6: Bewertung der Intensität verschiedener Landnutzungsklassen; 0=extensiv, 1=sehr intensiv**

Landnutzungsklasse	Intensität (1979/85)	Intensität (2004/09)
Industrie- und Gewerbeareal	0.8	0.8
Gebäudefläche	0.5	0.5
Verkehrsfläche	1	1
Besondere Siedlungsflächen	1	1
Erholungs- und Grünanlagen	0.4	0.4
Obst-, Reb- und Gartenbauflächen	0.8	0.9
Ackerland	0.6	0.7
Naturwiesen, Heimweiden	0.3	0.6
Alpwirtschaftsflächen	0	0
Wald	0	0
Gebüschwald	0	0
Gehölze	0	0
Stehende Gewässer	0	0
Fliessgewässer	0	0
Unproduktive Flächen	0.2	0.2
Vegetationslose Flächen	0.9	0.9
Gletscher, Firn	1	1
Schutzzonen	0	0
Biodiversitätsförderflächen	-	0.3



**Abbildung 23: Schutzgebiete von nationaler Bedeutung und Biodiversitätsförderflächen in den Pilotregionen (oben 1979/85, unten 2004/09; von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Göttingen TG, Val Müstair GR).**

Wie Abbildung 24 zeigt, kommt es zwischen 1979/85 und 2004/09 vor allem in den landwirtschaftlich geprägten Regionen zu einer Steigerung der Bewirtschaftungsintensität. So nimmt die Intensität der Bewirtschaftung im Grossteil der Fläche in der Region Method zu. Es lassen sich aber auch die diversen Biodiversitätsförderflächen als grüne Inseln erkennen. Auch in der Region Rothrist lässt sich die Zunahme der Intensität der Ackerlandflächen erkennen. Zusätzlich führt aber auch die Ausdehnung der Siedlungsflächen zur allgemeinen Intensitätssteigerung. In der Region Göttingen wiederum sind es vornehmlich die Obstbauflächen, die zur Zunahme der Intensität beitragen. Allerdings sind gerade südlich und westlich vom Dorf auch einige Biodiversitätsförderflächen entstanden, die dieses Muster der Intensitätssteigerung etwas durchbrechen. In der Region Val Müstair schliesslich ist die Zunahme der Intensität auf den Talboden beschränkt. Hierfür ist vor allem der gesteigerte Faktor für die Weidenbewirtschaftung verantwortlich. Es gibt jedoch auch hier gerade in Waldesnähe und entlang des Bachbetts eine Vielzahl an Schutzzonen und Biodiversitätsförderflächen.



**Abbildung 24: Intensität der Landnutzung in den Pilotregionen (oben 1979/85, unten 2004/09; von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Göttingen TG, Val Müstair GR). Auswertung basierend auf Daten der Arealstatistik sowie Schutzzonen von nationaler Bedeutung und Biodiversitätsförderflächen.**

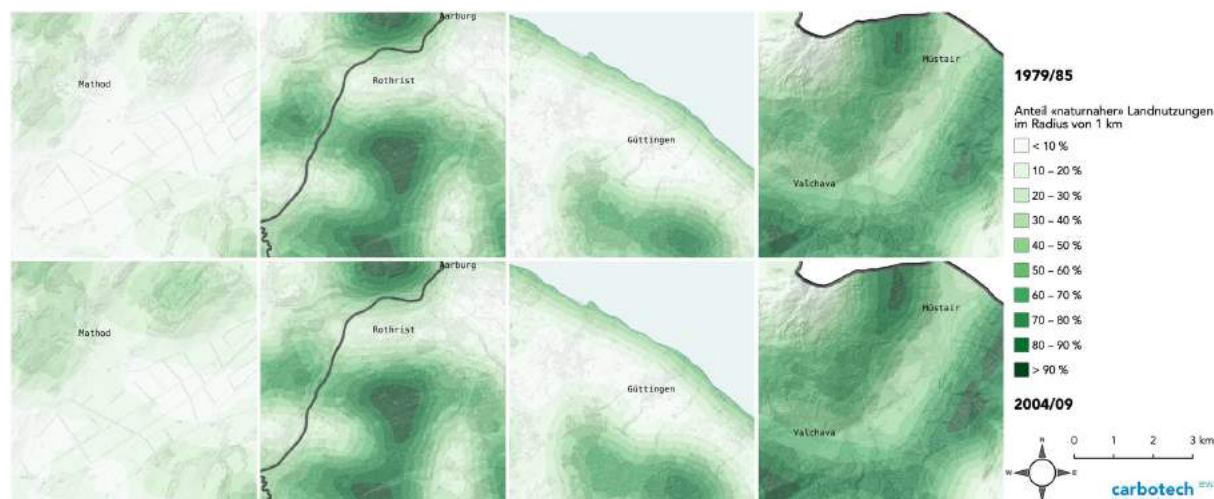
#### 4.5.2.2 Fragmentierung, Anteil naturnaher Flächen, Strukturen

Die Fragmentierung der Landschaft lässt sich über verschiedenste Grössen quantifizieren. Diese sind einerseits abhängig vom gewählten Massstab und andererseits vom gewählten Schwerpunkt. Für diese Studie wurden zwei verschiedene Arten der Fragmentierung betrachtet. Dabei wurden zunächst die Landnutzungskategorien gemäss Arealstatistik in die beiden Kategorien „naturnah“ und „naturfern“ eingeteilt, unter Berücksichtigung der Eignung für Insekten (siehe Tabelle 7).

**Tabelle 7: Einteilung der 17 Landnutzungskategorien der Arealstatistik sowie der Schutzzonen und Biodiversitätsförderflächen**

naturnah	naturfern
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Erholungs- und Grünanlagen</li> <li>• Wald</li> <li>• Gebüschwald</li> <li>• Gehölze</li> <li>• Stehende Gewässer</li> <li>• Fliessgewässer</li> <li>• Unproduktive Flächen</li> <li>• Schutzzonen</li> <li>• Biodiversitätsförderflächen</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Industrie- und Gewerbeareal</li> <li>• Gebäudefläche</li> <li>• Verkehrsfläche</li> <li>• Besondere Siedlungsflächen</li> <li>• Obst-, Reb- und Gartenbauflächen</li> <li>• Naturwiesen, Heimweiden</li> <li>• Alpwirtschaftsflächen</li> <li>• Gletscher, Firn</li> </ul>

Basierend auf dieser Einteilung wurde ein Layer erstellt und eine Nachbarschaftsanalyse durchgeführt. Dazu wurde mit der Funktion „r.neighbors“ der Durchschnitt im Radius von 1 Kilometer berechnet. Diese Funktion berechnet also, welcher Prozentsatz der Landnutzungen im Radius von 1 Kilometer um einen Punkt als natürlich kategorisiert wurde. Das Ergebnis dieser Analyse ist für die Pilotregionen in Abbildung 25 dargestellt.



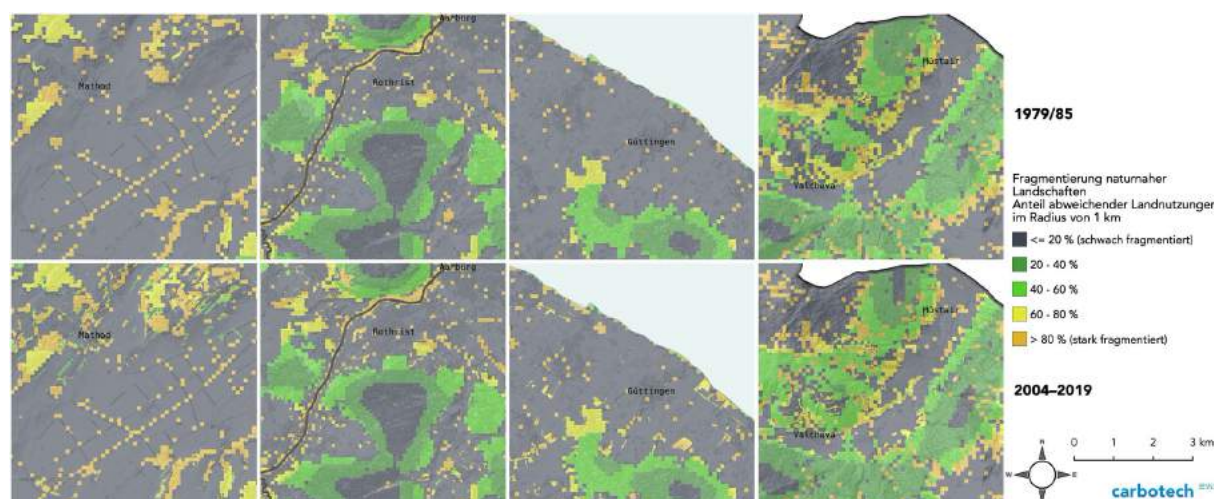
**Abbildung 25: Fragmentierung naturnaher Landschaften. Die Grüntöne geben an, welcher Prozentsatz im Radius von 1 Kilometer eine naturnahe Landnutzung gemäss Arealstatistik (BFS, 2014) aufweist. Oben 1979/85; Unten 2004/09. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR.**

Die Unterschiede zwischen den einzelnen Pilotregionen sind wesentlich grösser, als die zeitlichen Unterschiede innerhalb der einzelnen Pilotregionen. So weist der grösste Teil der Region Method äusserst tiefe Werte, und somit kaum Rückzugsmöglichkeiten für Insekten, auf. Durch die Einführung von Biodiversitätsförderflächen konnte der Anteil naturnaher Landnutzungen zwar etwas erhöht werden, er ist jedoch immer

noch vergleichsweise tief. Die Regionen Güttingen und Rothrist weisen ebenfalls Gebiete mit kaum naturnahen Landnutzungen im Radius von 1 km auf, es gibt jedoch in beiden Gebieten auch grössere zusammenhängende naturnahe Gebiete, insbesondere in den jeweiligen Waldgebieten. Die Region Val Müstair wiederum weist fast nur hohe Werte bezüglich Anteil naturnaher Gebiete auf. Die tiefsten Werte finden sich hier in den felsigen Gipfelregionen, gefolgt vom landwirtschaftlich genutzten Talboden.

#### 4.5.2.3 Fragmentierung, Durchmischung Strukturen (Reservoir, Gegenstück zur Intensität)

Für die zweite Kenngrösse der Fragmentierung wurden nur die naturnahen Landnutzungstypen berücksichtigt. Anschliessend wurde im GIS berechnet, welcher Anteil der im Radius von 1 km liegenden Pixel eine andere Landnutzung als das Zentrumspixel aufweist. Ein Pixel Wald, das nur von anderen Waldpixeln umgeben ist, kommt also auf einen Wert von 0 %. Weisen hingegen alle umgebenden Pixel eine andere Landnutzung (beispielsweise Siedlungsfläche oder Naturwiese) auf, dann bekommt dieses Pixel den Wert 100 %. Handelt es sich beim Zentrumspixel um eine „naturferne“ Landnutzung, dann resultiert immer der Wert 0 %. Grundsätzlich kann man bei Werten nahe 100 % von einer starken Fragmentierung sprechen, d. h. diverse Landnutzungen, während Werte gegen 0 % auf eine schwache Fragmentierung, d. h. gleichförmige Landnutzung, hinweisen. Idealerweise liegt die Fragmentierung irgendwo dazwischen. Entsprechend sind mittlere Fragmentierungswerte in Abbildung 26 in Grüntönen dargestellt, während hohe Fragmentierungswerte („verstückelt“) in Orangetönen und sehr tiefe Fragmentierungswerte („monoton“) in Grautönen dargestellt sind.



**Abbildung 26: Fragmentierung naturnaher Landschaften.** Dargestellt ist der Anteil im Umkreis von 2 km, der eine andere Landnutzung als das Zentrumspixel aufweist gemäss Arealstatistik (BFS, 2014). Oben 1979/85; Unten 2004/09. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR.

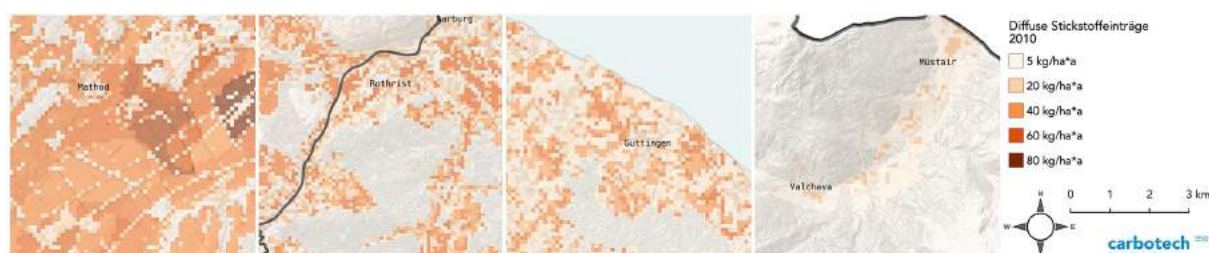
Die Regionen Method und Güttingen weisen beide einerseits grosse Flächen mit niedrigen Werten auf – vorwiegend Siedlungs- und Ackerbauflächen, auf der anderen Seite aber auch kleine Flächen mit hohen Werten – beispielsweise Wiesen umgeben von grossen Ackerbauflächen. Die Region Rothrist hingegen weist neben Flächen mit niedriger Fragmentierung auch grosse Zonen mit mittlerer Fragmentierung auf. Also beispielsweise Waldränder. Dafür kehrt sich in dieser Region in den grossen homogenen Waldstücken die Fragmentierung wiederum in einen eher kontraproduktiven niedrigen Wert um. Die diverseste Region ist das Val Müstair. Hier findet sich eine vielfältige Landschaft, die trotzdem genügend grosse, aber wiederum auch nicht zu grosse Stücke naturnaher Landschaft bietet.

Die Einführung von Biodiversitätsförderflächen führt in allen Regionen zu einer diverseren Landschaft. Diese spiegelt sich meist in einer positiven Entwicklung Fragmentierung wider.

#### 4.5.2.4 Düngung/Überdüngung

Eine schweizweit vergleichbare Datengrundlage zur Düngung ist die Modellrechnung zur diffusen Stickstofffracht (BAFU, 2015). Diese Modellrechnung stellt die Situation im Jahr 2010 dar. Als Grundlage diente einerseits die Landnutzungsklassifizierung gemäss Arealstatistik 2004/09 (BFS, 2014) sowie das Stoffflussmodell MODIFFUS, welches diffuse Eintragsquellen (Ackerland, Dauergrünland, Wald, Gletscher, Siedlungsgrünflächen etc.) und Eintragspfade (Bodenerosion, Auswaschung, Abschwemmung, Drainage, atmosphärische Deposition etc.) berücksichtigt (BAFU, 2015).

Abbildung 27 zeigt, dass im alpinen Val Müstair die Stickstoffbelastung vor allem entlang des Talbodens erhöht ist. In den Hanglagen finden sich nur vereinzelt erhöhte Werte. Demgegenüber liegen die Stickstoffwerte in der Region um Rothrist durchgehend in einem hohen Bereich. Sogar im Wald findet sich kaum eine Stelle ohne erhöhte Stickstofffracht.



**Abbildung 27: Diffuse Stickstoffeinträge 2010 in Kilogramm pro Hektar und Jahr. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR. Daten (BAFU, 2015).**

Ob die Gesamtmenge an Stickstoff im Laufe der letzten Jahrzehnte zu- oder abgenommen hat, wird kontrovers diskutiert. Aus diesem Grund wurde auf eine zeitliche Extrapolation der Daten verzichtet und stattdessen der Wert von 2010 sowohl für die älteren als auch für die neueren Daten als Input verwendet.

#### 4.5.2.5 Pestizide

Zum Einsatz von Pestiziden konnten keine Geodaten gefunden werden. Der Einsatz und die Verbreitung von Pestiziden, mit Fokus auf Insektizide, wurde daher qualitativ bestimmt. Dazu wurde als Ausgangspunkt die Landnutzungsklassifizierung der Arealstatistik verwendet (BFS, 2014). Jeder Landnutzung wurde ein Wert von 0 (kein Insektizideinsatz) bis 1 (starker Insektizideinsatz) zugewiesen. Tabelle 8 zeigt, welchen Landnutzungen ein Wert grösser als 0 zugewiesen wurde.

**Tabelle 8: Modellierter Insektizidausbringung; 0 = kein Insektizideinsatz; 1 = hoher Insektizideinsatz**

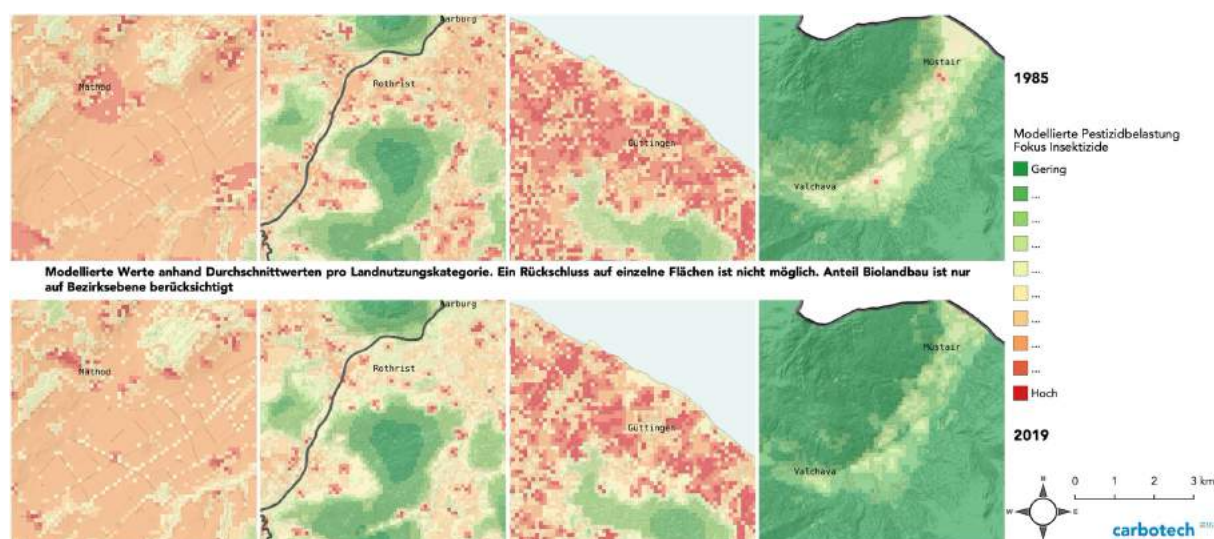
Landnutzungs-kategorie	Bewertung Insektizideinsatz
Industrie- und Gewerbeareal	0.4
Gebäudefläche	0.4
Verkehrsfläche	0.4
Besondere Siedlungsflächen	0.4
Erholungs- und Grünanlagen	0.4
Obst-, Reb- und Gartenbauflächen	1
Ackerland	0.8
Naturwiesen, Heimweiden	0.2

Ausgehend von dieser Bewertung wurden die beiden Zeitpunkte der Arealstatistik ausgewertet. Dabei wurde zunächst der Wert pro Pixel (d. h. pro 100x100 m) bestimmt. Anschliessend wurde ermittelt, welcher Wert im Radius von 100 m am höchsten ist. Dies entspricht dem unmittelbar anschliessenden Pixel und soll berücksichtigen, dass sich die intensivste Pestizidbelastung nicht nur auf die unmittelbar behandelte Fläche beschränkt, sondern, dass nach Aussagen der Expert\*innen, maximale Werte auch noch in 50 m Entfernung gemessen werden. Anschliessend wurde die Verbreitung so modelliert, dass im Radius von 1 km nur noch tiefe Pestizidbelastungs-Werte und ab 5 km keine Werte mehr entstehen.

Für die neueren Daten wurde zudem der Anteil der biologisch bewirtschafteten Fläche berücksichtigt. Diese Daten standen nur auf Bezirksebene zur Verfügung, d.h. als Summe für einen Bezirk ohne konkreteren Flächenbezug (BFS, 2019)(BFS, 2019). Da diese Daten deshalb keinen Rückschluss auf konkrete einzelne Flächen zulassen, wurde dieser Wert verwendet, um die gesamte Ausbreitung linear zu extrapolieren. Ein Anteil an biologisch bewirtschafteten Flächen von beispielsweise 20 % führt entsprechend zu einer 20 % geringeren Insektizidbelastung im gesamten Bezirk. Umgekehrt wurden die Punktemissionen gleichbelassen, da in den Datengrundlagen nicht eindeutig ist, ob beispielsweise Obsthain X bespritzt wird und Obsthain Y nicht. Es kann deshalb aus der Karte nicht von einzelnen Punkten rückgeschlossen werden, ob diese Fläche biologisch bewirtschaftet wird oder nicht.

Bei den neueren Daten wurde ebenfalls berücksichtigt, dass in den Schutzzonen und Biodiversitätsförderflächen keine Insektizide ausgebracht werden sollten.

Aufgrund der gewählten Modellierung zeigen sich die höchsten Werte in der vom Obstbau geprägten Region um Güttingen (Abbildung 28). Die Region um Method weist ebenfalls erhöhte Werte auf. Dahingegen beschränkt sich die höchste Insektizidbelastung in der Region um Rothrist auf einzelne Punkte. Die Region Val Müstair wiederum weist sehr tiefe Insektizidbelastungen auf. Hierbei wurde berücksichtigt, dass im Tal selbst nicht mehr gespritzt wird, während im grenznahen Österreich noch Insektizide im Obstbau verwendet werden, welche sich im Tal nachweisen liessen.



**Abbildung 28: Modellierte Insektizidbelastung in den Pilotregionen (oben 1979/85, unten 2004/09; von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR).** Die Flächen Biolandbau konnten nicht eindeutig identifiziert werden, entsprechend sind geringere Belastung dieser Flächen aus dieser Darstellung nicht ersichtbar und nur bei der Verfrachtung über einen Faktor Anteil Biolandbau angerechnet.

Mit diesem Ansatz in der GIS-Auswertung wird eine Verfrachtung auf das Umfeld berücksichtigt. Ein weiterer Verbreitungs- und möglicher Eintragsweg von Pflanzenschutzmitteln sind Niederschläge. Dies ist soweit mangels Datengrundlagen zu Verbreitungswegen und Eintragsmengen nicht berücksichtigt.

#### 4.5.2.6 Licht

Die nächtliche Lichtverschmutzung kann via Satellitendaten abgeleitet werden. Dabei besteht jedoch die Herausforderung, die künstliche Beleuchtung (z. B. von Strassenlampen) von der natürlichen (bspw. Mondlicht) zu trennen. Von der National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA, USA) gibt es derart aufbereitete Daten mit globaler Abdeckung (Earth Observation Group, NOAA/NCEI, 2019). Die Daten reichen zwar von 2012 bis 2019, jedoch stehen bisher lediglich für 2015 und 2016 bereinigte und über das ganze Jahr gemittelte Daten zur Verfügung. Aus diesem Grund wurde der Durchschnitt für 2016 für die aktuelleren Karten verwendet. Für die älteren Karten wurden die Daten anhand der Bevölkerungszahl 1980 im Vergleich zu 2016 (BFS, 2020)(BFS, 2020) linear extrapoliert. Die Auflösung von 15 Bogensekunden entspricht in der Schweiz einer Pixelgrösse von ca. 320x460 m.

Die Lichtverschmutzung in den Pilotregionen ist stark abhängig von der grossräumlichen Lage (Abbildung 29). Die Region um Rothrist ist stark lichtverschmutzt – sogar Teile des Waldes weisen eine erhöhte Lichtverschmutzung auf. Dahingegen weist die Region um Güttingen eine beinahe so tiefe Lichtverschmutzung wie das Val Müstair auf.



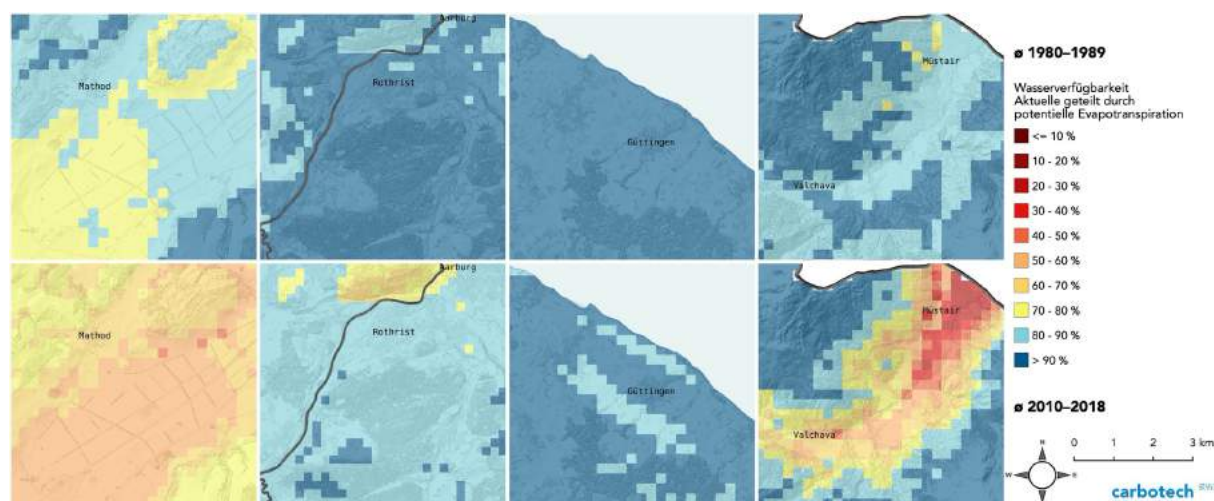
**Abbildung 29:** Lichtverschmutzung durch künstliche Beleuchtung in den Pilotregionen. Oben 1980, unten 2016. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR. Daten (Earth Observation Group, NOAA/NCEI, 2019).

#### 4.5.2.7 Klimawandel, indirekte Wirkungen

Der Klimawandel hat eine ganze Reihe an Auswirkungen auf die Umwelt. Die Veränderung des Transpirationsverhältnisses ist dabei für Pflanzen besonders relevant. Dieses beschreibt, wie viel Wasser den Pflanzen zur Verfügung steht, wobei neben der Temperatur und der Niederschlagsmenge, auch die Wasserspeicherkapazität des Bodens berücksichtigt wird. Daraus wird einerseits die aktuelle Evapotranspiration berechnet, d. h. wie viel Wasser durch Pflanzen an die Atmosphäre, unter Berücksichtigung der aktuellen Verhältnisse, abgegeben wird. Die potentielle Evaporation hingegen beschreibt, wie viel Wasser bei ausreichender Wassernachlieferung potentiell verdunstet würde. Die aktuelle geteilt durch die potentielle Evapotranspiration ergibt

die Wasserverfügbarkeit. Ab einem Wert von unter 80 % wird von einer Beeinträchtigung des Pflanzenwachstums ausgegangen. Die berechneten Werte für die einzelnen Jahre von 1981 bis 2018 standen zur Verfügung (BAFU, 2019b). Aus diesen Werten wurde jeweils ein Durchschnitt pro Dekade berechnet.

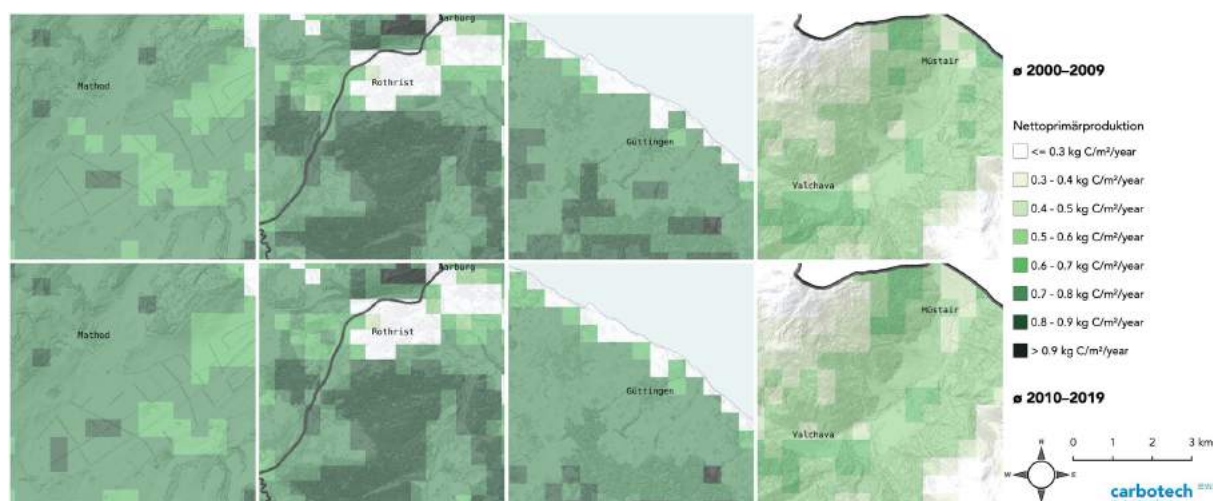
In allen vier Pilotregionen hat die Wasserverfügbarkeit zwischen den Perioden 1980-1989 und 2010-2018 abgenommen (Abbildung 30). Am stärksten ist diese Abnahme in der alpinen Region Val Müstair – insbesondere entlang des Talbodens. In der Region Güttingen liegt die Abnahme noch im unbedenklichen Bereich.



**Abbildung 30: Entwicklung der Wasserverfügbarkeit in den Pilotregionen. Oben: Durchschnitt 1980 bis 1989. Unten Durchschnitt 2010 bis 2018. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR. Daten (BAFU, 2019b). Hintergrund (Swisstopo, 2020).**

Ob dieser Trockenstress auch eine Auswirkung auf das Pflanzenwachstum – und damit potentiell auf die Insektenpopulation – hat, lässt sich über den Kennwert der Nettoprimärproduktion erahnen. Dazu gibt es einen Datensatz der Terra MODIS Satellitenmission (S. Running, 2019). Diese Daten stehen global in einer räumlichen Auflösung von 500 m zur Verfügung. Die Daten basieren auf der Berechnung der durchschnittlichen Photosyntheseproduktion während 8 Tagen. Diese werden wiederum zu einem jährlichen Durchschnitt der Nettoprimärproduktion zusammengerechnet, welche ab dem Jahr 2000 zur Verfügung stehen und angeben, wie viel Kilogramm Kohlenstoff durchschnittlich pro Quadratmeter und Jahr von Pflanzen aus der Luft absorbiert wird. Um die Schwankungen aufgrund der klimatischen Bedingungen auszugleichen, wurde für diese Studie der Durchschnitt für die beiden Dekaden 2000–2009 und 2010–2019 berechnet.

Der Blick in die Pilotregionen zeigt kein eindeutiges Bild (Abbildung 31). Die höchsten Werte finden sich bevorzugt, aber nicht ausschliesslich, in den Waldgebieten. Auch der Vergleich der beiden Jahrzehnte ergibt keinen eindeutigen Trend. Die Unterschiede zwischen den 2000er und den 2010er Jahren in den Regionen Rothrist und Val Müstair sind minimal, während in der Region Güttingen eine Abnahme der Nettoprimärproduktion zu beobachten ist. Am ehesten ist noch in der Region um Method eine Abnahme der Flächen mit geringer Nettoprimärproduktion feststellbar.



**Abbildung 31: Nettoprimärproduktion der Vegetation in Kilogramm Kohlenstoff pro  $m^2$  und Jahr in den Pilotregionen. Oben: Durchschnitt der Jahre 2000–2009; Unten: Durchschnitt der Jahre 2010–2019. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR. Daten (S. Running, 2019).**

Um einen brauchbaren Input für die Gesamtbeurteilung der Insektenpopulation zu haben, wurden die beiden Datensätze zur Wasserverfügbarkeit und Nettoprimärproduktion zu einer Karte zur Klimaeignung zusammengeführt. Beide Karten wurden dabei gleich stark gewichtet. Bei beiden Karten entspricht ein Wert von 0 einer absoluten Einschränkung. Bei der Nettoprimärproduktion wurde angenommen, dass Werte über  $1 \text{ kg C/m}^2/\text{a}$  keine Einschränkungen bedeuten, während bei der Wasserverfügbarkeit Werte über 80 % keine Einschränkung bedeuten.

Wie aus Abbildung 32 ersichtlich ist, stellt die Klimaeignung in den meisten Regionen noch keine starke Einschränkung dar bzw. ist mit steigenden Temperaturen im Bereich der grünen Flächen eher Biomasse fördernd. Anders ist die Situation im Val Müstair. Hier finden sich einerseits in den hohen Lagen weiterhin Einschränkungen, weil hier das Pflanzenwachstum aufgrund der Temperaturen eingeschränkt ist, während im Talboden die zunehmende Trockenheit zu Einschränkungen führt.



**Abbildung 32: Inputkarte Klimaeignung für die Pilotregionen. Kombination aus Wasserverfügbarkeit (BAFU, 2019b) und Nettoprimärproduktion (S. Running, 2019). Oben 1980-2009, unten 2010-2019. Von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR.**

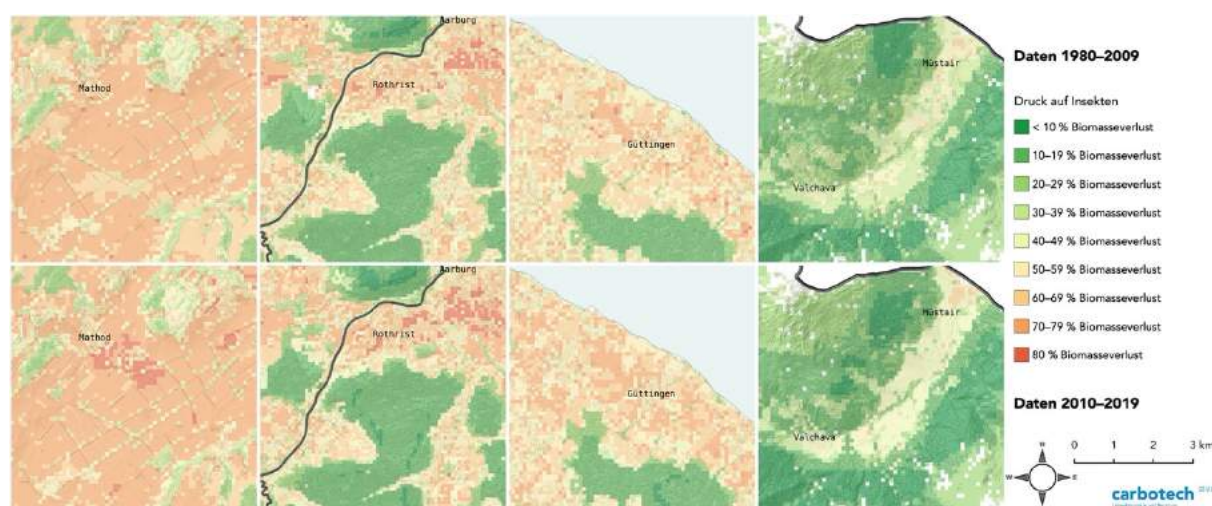
### 4.5.3 Synthese: Gesamtdruck auf die Insekten, Einbusse Biomasse

Insgesamt wurden sieben Karten zu Einflussfaktoren auf die Insektenpopulation generiert. Um diese einzelnen Faktoren zu einem Gesamtbild zusammenfügen zu können, wurden alle Faktoren in einem ersten Schritt auf Werte zwischen 0 und 1 normiert. Anschliessend wurden sie anhand der Gewichtung in Tabelle 9 zusammengerechnet. Die Gewichtung orientiert sich an der Häufigkeit und Einschätzung bezüglich der Wichtigkeit der einzelnen Einflussfaktoren in den Interviews und beschriebenen Zusammenhänge Fuzzy Modellierung.

**Tabelle 9: Gewichtungsfaktoren der für die Gesamteignung verwendeten Inputkarten**

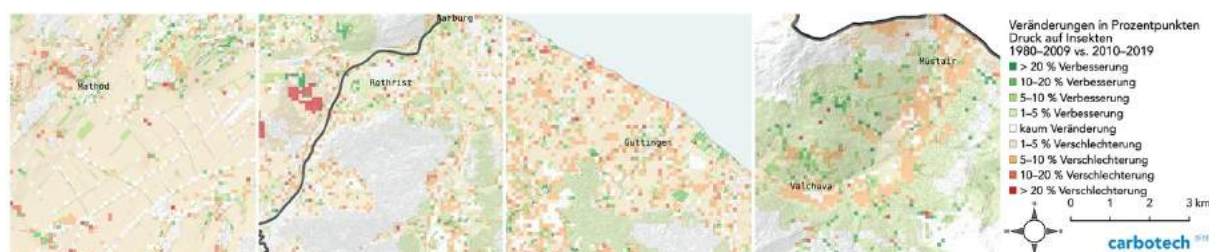
Inputkarten	Gewichtung
Intensität	1
Düngung	0.8
Anteil Habitat	0.6
Fragmentierung/Vielfalt Landschaftsstrukturen	0.3
Insektizid (+andere Pestizide)	0.4
Lichtverschmutzung	0.2
Klimawandel	0.2

Abbildung 33 zeigt ein sehr diverses Bild des modellierten Drucks auf die Insektenbiomasse. In der Region Method ist dieser Druck sehr stark und fast über die ganze Region die Einschätzung einer Einbusse beim Potential der Biomasse in einem hohen Bereich. Die Region Göttingen weist Zonen hohen Drucks auf, aber auch Waldflächen, welche als eine Art Refugium dienen können. Auch in der Region Rothrist sind es vor allem die Waldflächen, welche einen geringen Druck auf die Insektenbiomasse ausüben. Dahingegen ist die Region Val Müstair grösstenteils im wortwörtlich grünen Bereich. Die grössten Einschränkungen finden sich hier im Talboden, erreichen aber nicht die hohen Werte der anderen Pilotregionen.



**Abbildung 33: Druck auf die Insekten für den Zustand 1990 und 2020, Einschätzung Verlust Biomasse im Vergleich zum Potential der Fläche (bewertet ausgehend von Karten 1980-2009 und Karten 2009-2019).** Beschreibung Auswahl Pilotregionen für Analysen: Method homogen intensive Landwirtschaft, Rothrist heterogene Nutzung Wald/Landwirtschaft/Siedlung, Göttingen Obst-/Gemüsebau neben Wald und See, Val Müstair mehrheitlich extensive Wälder und Wiesen, intensive Nutzung Talboden

Auch die zeitliche Entwicklung ist regional sehr differenziert. So haben Wälder tendenziell an Qualität gewonnen, während sich in den stark landwirtschaftlich geprägten Flächen der Druck erhöht hat. Allerdings zeigt sich auch hier, dass gerade Bemühungen wie Biodiversitätsförderflächen diesen Druck etwas mildern können. Abbildung 34 zeigt die Differenz dieser zeitlichen Entwicklung. Diese wurde ermittelt, indem die Ergebnisse zum Druck auf die Insektenbiomasse der alten Karte 1980-2009 von den Werten der neueren Karte 2010-2019 subtrahiert wurde.



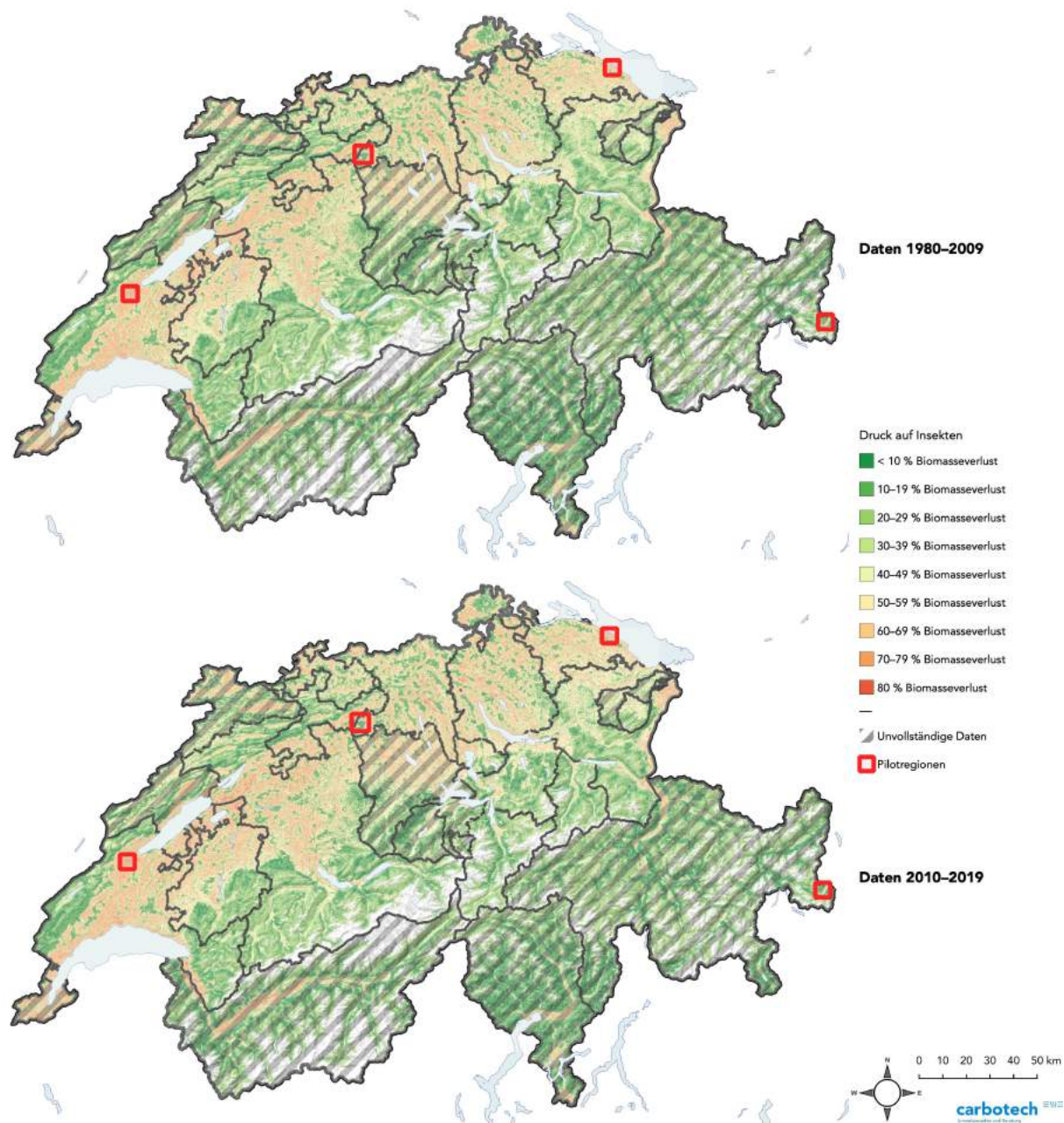
**Abbildung 34: Differenz des Drucks auf die Insektenbiomasse, Veränderung des Potentials der Flächen.** Grüne Bereiche bedeuten eine Verringerung des Druckes, rote eine Verstärkung des Druckes und dadurch bedingte Einbusse beim Potential. Die Beurteilung Einbusse Insektenbiomasse erfolgt ausgehend vom Ausgangswert Potential 1990. Pilotregionen von links nach rechts: Method VD, Rothrist AG, Güttingen TG, Val Müstair GR.

Die grossflächigen Veränderungen beim Potential der Fläche im Zeitraum seit 1990 spielen sich im Bereich von  $\pm 5\%$  ab, durch eine Erhöhung oder Reduktion beim Druck auf die Insektenbiomasse. Grössere Veränderungen betreffen einzelne Punkte, wo sich beispielsweise die Siedlungsflächen ausgedehnt haben oder umgekehrt wo Ackerflächen in Biodiversitätsförderflächen umgewandelt wurden. Grossflächige Verschlechterungen finden sich in den Regionen Method und Güttingen auf Landwirtschaftsflächen sowie im Val Müstair im Bereich Talboden bedingt durch die Intensivierung beim Anbau. Etwas stärker ins Gewicht fällt dabei die zunehmende Intensität der Nutzung von Wiesen. Gemessen am Zustand 1990 mit einem Ausgangswert von 25% beim Potential von Landwirtschaftsflächen in der Region von Method bedeutet eine Abnahme des Potentials um 5% eine Einbusse Insektenbiomasse in der Grössenordnung von 20%. Ein ähnlich abnehmendes Potential und Verlust Insektenbiomasse zeigen auch die Flächen mit Obst- und Gemüsebau beim Beispiel Güttingen. Die Abnahme um 10-20% des Potentials im Bereich von intensiv genutzten Wiesen im Bereich des Talbodens im Val Müstair bedeutet gegenüber einem Ausgangswert von 60% eine Einbusse Insektenbiomasse in der Grössenordnung von 20-30%. Gebiete mit einer leichten Erhöhung des Potentials und einer Zunahme der Insektenbiomasse zeigen sich in höheren Lagen beim Beispiel der Bergregionen im Val Müstair. Einerseits bedingt durch den Klimawandel und dessen Biomasse fördernde Wirkung in diesem Gebiet und andererseits mit einem lokalen Zuwachs in neuen Schutzzonen und Biodiversitätsförderflächen. Daneben reduzieren sich in diesem Gebiet auch Einträge an PSM durch die Umstellung der Landwirtschaft auf Bio im Tal.

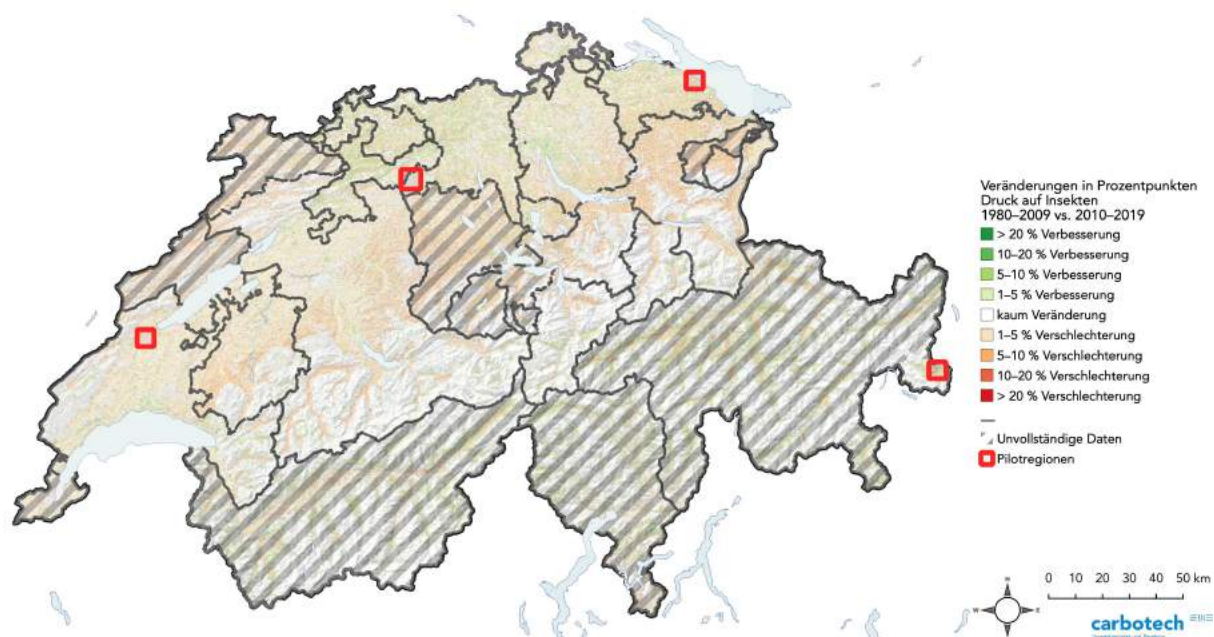
Die vorliegende Modellierung ist eine gute Ausgangsbasis, um potenzielle Hot-Spots des Drucks auf Insekten zu identifizieren und Optimierungspotential zu diskutieren. Die Analysen können weiter vertieft und mit neuen Erkenntnissen ergänzt werden. So ist die Auflösung von 100x100 m für einzelne Faktoren eher zu grob. Beispielsweise sind die häufig ökologisch wertvollen Umgebungsbereiche von kleinen Fliessgewässern teilweise schmaler als diese Auflösung. Auch die Einteilung der Landnutzungskategorien in 17 Klassen führt bei einzelnen Landnutzungstypen zu einer zu starken Verallgemeinerung. Mit der Kategorie „Naturwiesen, Heimweiden“ werden unterschiedlich stark bewirtschaftete Landschaftstypen gleichbehandelt, auch eine unterschiedliche Einstufung der Hanglagen wäre hier ein Thema. Bei Waldflächen wäre eine weitere Differenzierung der Nutzung und Reservate hilfreich. Biolandbau-Flächen sind abgesehen von Ausgleichsflächen soweit nicht dokumentiert. Für die Einschätzung des Pestizideinsatzes wäre eine Unterteilung der Flächen nach Pflanzensorte hilfreich, da, z.B. mehr PSM für Mais oder Kartoffeln als für Weizen notwendig sind. Diese Unterteilung ist jedoch zu dynamisch, um im GIS grossflächig für die Schweiz abbildbar zu sein.

#### 4.5.4 Extrapolation Schweiz, Hotspots Druck auf Insekten

Die nachfolgenden Karten zeigen ausgehend von dem erarbeiteten Ansatz und GIS-Modell einen provisorischen Stand der Einschätzung der Druck auf die Insekten in der Schweiz. Die Abbildung auf der folgenden Seite zeigt eine Bilanz der Veränderungen seit 1990 ausgehend von älteren und neueren Karten. In einzelnen Kantonen fehlen die Grundlagen für die Beurteilung, das Ergebnis ist deshalb schraffiert dargestellt. Die empfohlene Weiterentwicklung dieser Analyse mit zusätzlichen Grundlagen für eine höhere Differenzierung ist auch hier gültig (Differenzierungen Intensität Wiesen und Wald, fehlende Karte Biolandbau, Kantone mit fehlenden Grundlagen Förderflächen).



**Abbildung 35: Druck auf die Insekten für den Zustand 1990 und 2020, Einschätzung Verlust Biomasse im Vergleich zum Potential der Fläche (bewertet ausgehend von Karten 1980-2009 und Karten 2009-2019).**



**Abbildung 36: Differenz des Druckes auf die Insektenbiomasse, Veränderung des Potentials der Flächen.** Grüne Bereiche bedeuten eine Verringerung des Druckes, rote eine Verstärkung des Druckes und dadurch bedingte Einbusse beim Potential. Die Beurteilung der Einbusse der Insektenbiomasse erfolgt ausgehend vom Ausgangswert und Potential 1990.

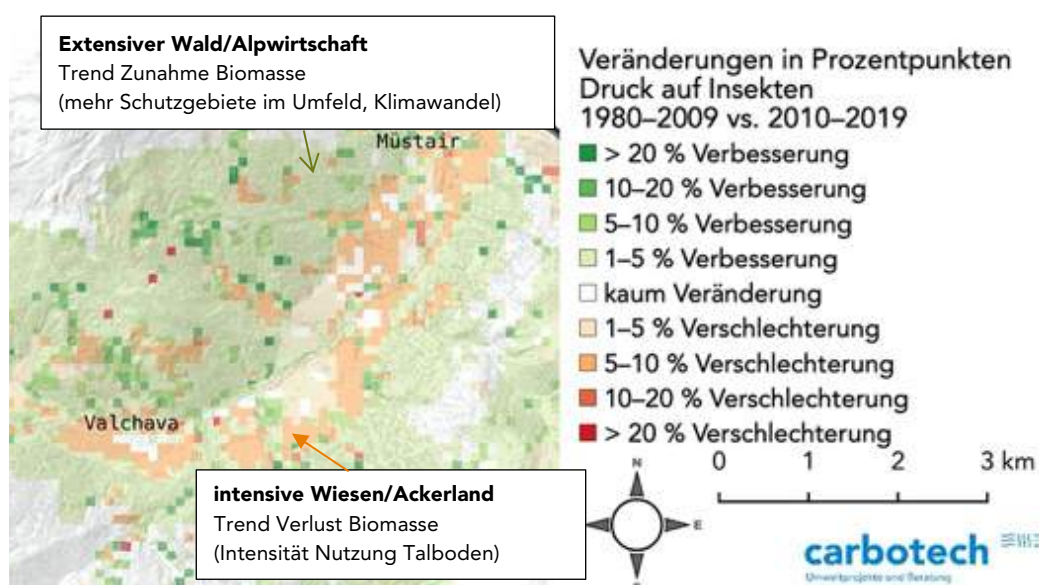
Ein Abwärtstrend ergibt sich auf Flächen mit einer Zunahme der Intensität der Bewirtschaftung. Davon stärker betroffen sind Wiesen, die erst nach 1990 intensiver genutzt wurden. Für eine Verbesserung der Grundlagen wäre eine höhere Differenzierung der Kartengrundlagen mit einer Unterteilung Typ Wiesen und Intensität der Bewirtschaftung wertvoll. Ein Aufwärtstrend gibt sich im Bereich Aufwertungsmassnahmen und in höheren Lagen mit klimatisch bedingten Veränderungen und einem höheren Pflanzenwachstum. Eine ausführliche Diskussion ist im Kapitel 5 aufgeführt.

## 4.6 Stakeholderdiskussion der Pilotgebietanalysen

Die nachfolgenden Interviews wurden in den verschiedenen Pilotgebieten geführt, dabei die Übereinstimmung von Fuzzy- und GIS-Ergebnissen mit Beobachtungen im Feld besprochen und die Modellierung damit weiter justiert. Details dazu sind in den folgenden Kapiteln 4.6.1 bis 4.6.4 beschrieben.

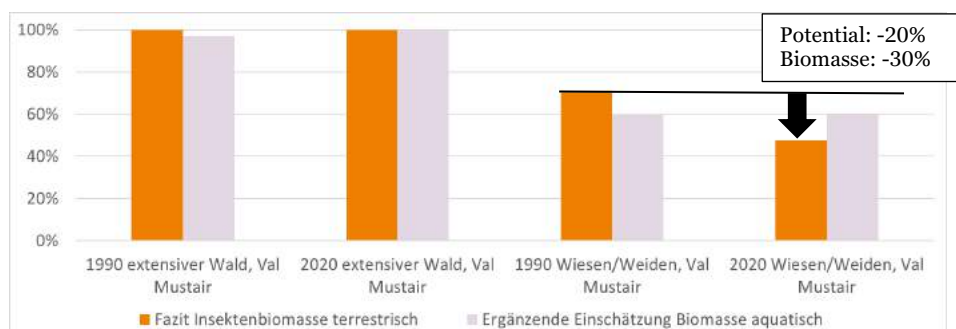
### 4.6.1 Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern im Val Müstair

Die Ergebnisse einer ersten Auswertungsrunde wurden mit Stakeholdern im Val Müstair diskutiert. Dabei wurden Feldbeobachtungen den Einschätzungen Biomasseverlusten aus der Fuzzy/GIS-Analyse gegenübergestellt und damit das Bild der Veränderungen und Zustand der Modellierung weiter verbessert. Die nachfolgende Karte zeigt das so erstellte Endergebnis der Veränderung im Val Müstair und die nachfolgende Darstellung mit der Illustration der Veränderung gegenüber dem Ausgangswert 1990 die Grössenordnung der Einbusse Insektenbiomasse. Die dazu eingeholten Beobachtungen und deren Übereinstimmung mit den Modell-Ergebnissen sind im Anschluss (Tabelle 10) aufgeführt.



**Abbildung 37: Veränderung beim Druck auf die Insekten und Potential der Biomasse im Val Müstair der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die Veränderung)

Im Bereich der intensiven Wiesen führt der steigende Druck auf die Insekten zu einem 10%, teilweise bis zu 20% geringeren Potential. Gegenüber dem Ausgangswert von 60% im Jahr 1990 entspricht die Abnahme Potential um 10-20% einem Rückgang der Insektenbiomasse von 20-30%.



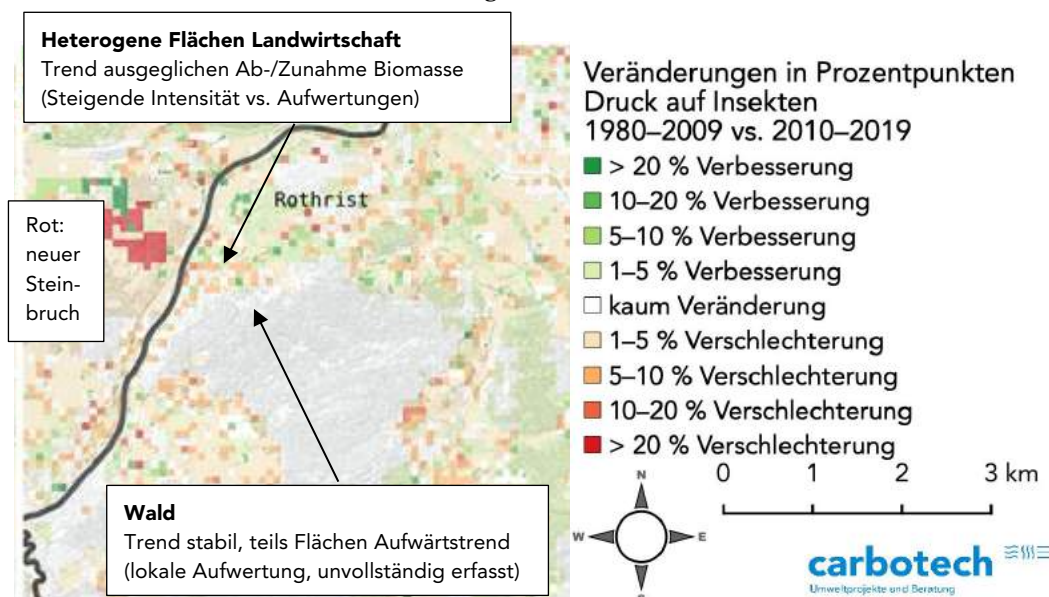
**Abbildung 38: Veränderung Druck auf die Insektenbiomasse im Val Müstair der letzten 20-30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung)

**Tabelle 10 Auswertungen der Ergebnisse Interviews Phase 2 im Val Müstair**

<b>Beobachtungen und Schlussfolgerungen zur Insektenbiomasse von Seite der Stakeholder</b>	<b>Trend in Fuzzy-GIS Ergebnissen und Übereinstimmung mit den Aussagen</b>
<p><u>Person 1:</u>  <i>a) Wald allgemein:</i> In Waldgebieten ist die Insektenpopulation gleich gut geblieben, eventuell leicht besser. Dort, wo passende Massnahmen getroffen wurden, gibt es mehr Insekten.  Die Mechanisierung im Wald ist insektenschonend.  <i>b) Spezifische Insekten:</i> Gefühlt mehr Fliegen und Rossbremsen im Wald. Der Borkenkäferbestand konnte reduziert werden (Massnahmen). Holzkäfer wahrscheinlich mehr, da mehr Totholz. Eventuell mehr Zecken. Viele Mücken in der Nähe vom Fluss. Glühwürmchen wieder erschienen. Ameisen und Falter stabil.  <i>c) Landwirtschaft:</i> Landwirtschaftszonen deutlich weniger Schmetterlinge. Interaktion Wald-LW schlechter geworden.</p>	<p>a) Trend aufwärts im Wald: übereinstimmend.  b) Aussagen zu Gewässer- und Waldinsekten: Übereinstimmung, sofern man von einzelnen Arten auf Gesamtheit extrapoliert wird.  c) Trend abwärts: übereinstimmend.</p>
<p><u>Person 2:</u>  Bei Honigbienen gibt es keine grossen Abweichungen. Entscheidend ist das Wetter im Frühling und Sommer, der Parasitenbefall und die Anzahl Imker.  Allgemein Eindruck, dass die Umwelt seit den 60er-70er Jahren besser geworden ist. Weniger künstlicher Dünger, Wasserqualität, Abfallmanagement. Jedoch mehr Düngung allgemein. Mähen hat aus zeitlichen Gründen wenig Einfluss auf Honigbienen. Mehrere mögliche Pestizid-Unfälle beobachtet, in dem viele Völker gestorben.</p>	<p>Honigbienen sind nicht Teil des Modells. Die allgemeinen Aussagen zur Umwelt sind mit Modellergebnissen vereinbar (mehr Düngung, kürzlich Aufwertung der Habitate).</p>
<p><u>Person 3:</u>  <i>Gewässerinsekten:</i> Wasserinsekten in den letzten 10 Jahren stabil, obwohl N-Einträge ins Wasser etwas zugenommen haben. Abfluss und Temperatur im Pilotgebiet stabil geblieben. Wo Gewässer Revitalisierung, mehr Larven. Fischpopulation stabil. In anderen Gegenden mit mehr Erosion/Geschiebe und weniger Restwasser hat sich die Situation verschlechtert</p>	<p>Trend stabil: übereinstimmend (lokale Effekte Aufwertungen Auflösung GIS nicht ausreichend).</p>
<p><u>Person 4:</u>  <i>a) Extensive Trockenwiesen/alpine Weiden:</i> In beobachteten, extensiv bewirtschafteten Gebieten (Trockenwiesen) keine Abnahme beobachtet. Weniger Schnitt hat klaren Einfluss auf Insekten. In Blumenwiesen entscheidet der Faktor Gülle. In alpinen Gebieten kaum Änderung (hängt von Kühen ab).  <i>b) Intensive Bewirtschaftung:</i> In Intensiven Gebieten (Fuldera) massive Verschlechterung (50-100%). Im Acker: Getreide tendenziell besser, Mais ca. 50% Abnahme.  <i>c) Wald:</i> Stabil geblieben oder leichte Verbesserung.</p>	<p>a) Trend gleich: Übereinstimmung. Flächen mit Trend aufwärts mit mehr Schutzflächen und Klimawandel: Übereinstimmung unklar, nicht besprochen  b) Trend abwärts Intensität Nutzung: Übereinstimmung, weniger ausgeprägt  c) Trend gleich oder aufwärts: Grösstenteils übereinstimmend</p>
<p><u>Person 5:</u>  <i>Landwirtschaft:</i> Bei Vögeln gab es dort eine eindeutige Reduktion, wo Düngung und intensive Landwirtschaft stattfinden. Sonst keine grossen Änderungen. Analogie Insekten: In alle Güllewiesen gab es starke Reduktion, «Bis Valchiava ist es mehrheitlich überdüngt. Fuldera bis Tschivri ist bzgl. Düngung besser.» Fettwiesen tendenziell eine Reduktion. Aber nicht klar ob dies die Biomasse gleich wie die Biodiversität trifft, ob dort immer dieselben wenigen Insekten oder tatsächlich weniger. In Äckern auch nicht klar, ob tatsächlich ein starker Verlust in den letzten 30 Jahren.</p>	<p>Übereinstimmung der Analogie mit Vögeln und Biodiversität mit dem Fuzzy-GIS Trend auf den Wiesen. Unterscheidung Äcker und Wiesen im GIS weniger differenziert.</p>
<p><u>Person 6:</u>  <i>a) Landwirtschaft:</i> Allgemein weniger Insekten als vor 30 Jahren. Der Verlust konzentriert sich auf die intensiv bewirtschafteten Flächen. 90% der gemähten Flächen werden, seit 15 Jahren steigend und mit dem Kreiselmäher gemäht. Heuschrecken sieht und hört man weniger. Ameisen gibt es wieder mehr. Schmetterlinge kann man schwer sagen. Fliegen ähnlich geblieben. Mit dem Klimawandel neuerdings Zecken und Mücken in Fuldera.  <i>b) Wald:</i> Im Wald tendenziell mehr Insekten als früher.  <i>c) Wasserinsekten:</i> tendenziell gleichgeblieben.</p>	<p>a) Übereinstimmung Trend: allgemein Abnahme in intensiven Wiesen, mit punktuellen positiven Effekten. Das Modell kann jedoch nicht nach einzelnen Insektengruppe differenzieren.  b) Übereinstimmung  c) Übereinstimmung</p>
<p><u>Person 7:</u>  In «unberührten» oder extensiven Standorten ist die Menge an Insekten gleichgeblieben, eventuell sogar leicht positiv. In intensiv genutzten Wiesen gibt es eine konstante Abnahme. Wald und Gewässer gleichgeblieben.</p>	<p>Übereinstimmung der Trends aller erwähnten Gebiete Abnahme nicht auf die einzelnen Insektengruppe differenziert.</p>

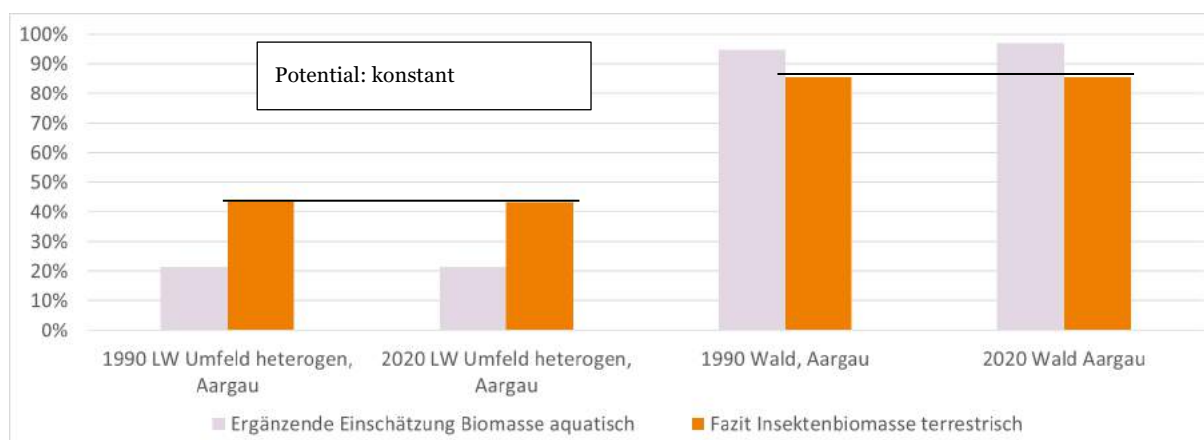
## 4.6.2 Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern aus der Umgebung Rothrist AG

Ergebnisse der Umgebung Rothrist wurden mit lokalen Stakeholdern sowie Beobachtungen aus vergleichbar bewirtschafteten Gebieten im Kanton Zug und Zürich diskutiert. Dabei wurden Feldbeobachtungen eingeholt und anschliessend Einschätzungen der Biomasseverluste aus der Fuzzy/GIS Analyse gegenübergestellt. Die nachfolgende Karte zeigt das so erstellte Endergebnis der Veränderung und die nachfolgende Darstellung mit der Illustration der Veränderung gegenüber dem Ausgangswert 1990 die Grössenordnung der Einbusse Insektenbiomasse. Die dazu eingeholten Beobachtungen und deren Übereinstimmung mit den Modell-Ergebnissen sind im Anschluss in Tabelle 11 aufgeführt.



**Abbildung 39: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung Rothrist der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990–2009 und 2009–2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die Veränderung)

Im Bereich der heterogenen Landwirtschaftsflächen führt die steigende Intensität der Bewirtschaftung teilweise zu einem steigenden Druck auf die Insekten und Biomasseverlusten und umgekehrt zeigt sich mit einem wachsenden Anteil Förder- und Ausgleichsflächen ein Aufwärtstrend. Die Veränderungen liegen im Bereich  $-/-5\%$ . Im Bereich der Markierung halten sich positive und negative Veränderung die Waage.



**Abbildung 40: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung Rothrist der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990–2009 und 2009–2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung)

**Tabelle 11 Auswertungen der Ergebnisse in der Umgebung von Rothirst AG (und ZG, ZH)**

**Beobachtungen und Schlussfolgerungen zur Insektenbiomasse**

**Trend in Fuzzy-GIS Ergebnissen und Übereinstimmung des Modells mit den Aussagen**

Person 1: Allmendbeauftragter / Bio-Bauer

a) *Naturschutzflächen:* Vor 30 Jahren gab es 20-30 % mehr sichtbare Insekten. Verbesserung, seitdem das Mähregime schonender ist und mit weniger Überschwemmungen weniger Stickstoffeintrag stattfindet. Direkt beobachtet. Libellen, Wildbienen und Heuschrecken. (Verwendung von Pestiziden um das Gebiet sehr selten).

b) *Landwirtschaft:* Ca. 30% weniger Insekten als vor 30 Jahren. Der Trend ähnelt dem in der angrenzenden Naturschutzfläche. Allgemein gibt es in einem Landwirtschaftsbetrieb mit mehr Tieren weniger Insekten, da Mähregime intensiver.

c) *Wald:* Wenig direkt beobachtet. Tendenziell weniger Ameisen und mehr Borkenkäfer. Er schätzt die Abnahme von Ameisenhaufen auf 90 % innert der letzten 50 Jahre.

d) *Gewässer:* Der Libellenbestand ist sich am Erholen, weil es heute mehr Teiche gibt. Der Bestand der Libellen ist in den letzten 30 Jahren zuerst um 50 % zurück gegangen und beträgt nach einer Verbesserung heute noch ca. 30%.

a) Kein direkter Vergleich mit Karte möglich.  
b) Trends übereinstimmend: Abnahme mit intensiver Nutzung Landwirtschaftsflächen  
c/d) Trend konstant: Beobachtung Ameisen und Libellen beschränkt übereinstimmend und vergleichbar mit Einschätzung Insekten Biomasse.

Person 2:

a) *Allgemeine Wahrnehmung:* Es gibt heute weniger Falter und insgesamt ca. halb so viel fliegende Insekten.

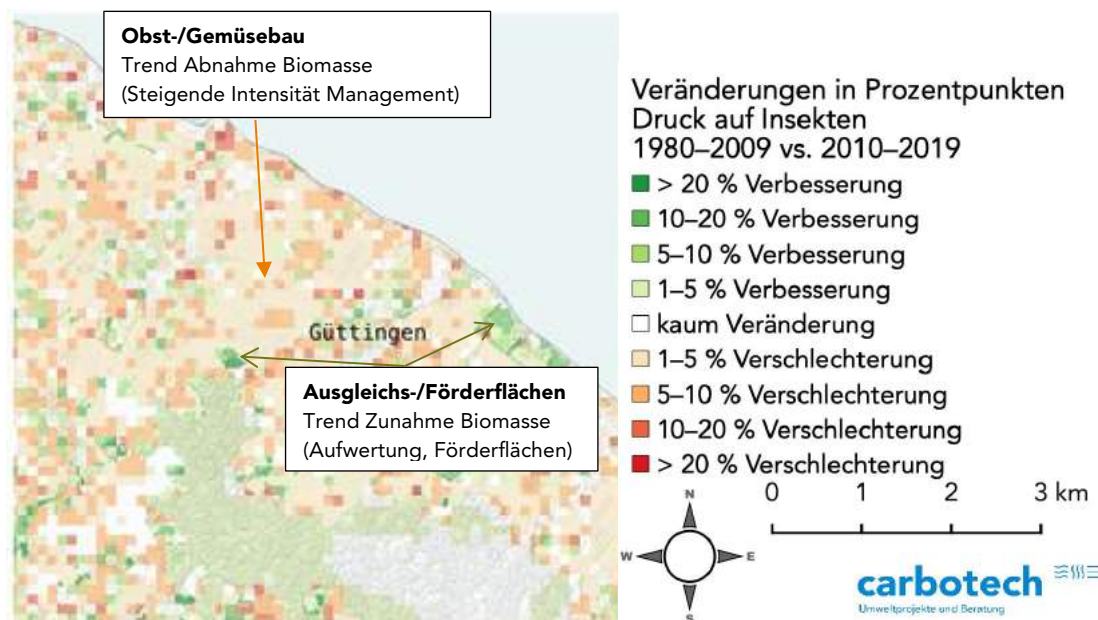
b) *Insekten in und um den Stall:* Heute gibt es eher mehr Fliegen, vor allem Stech- und Güllefliegen als früher (Rückblick ca. 40 Jahre). Im Gegensatz dazu gibt es heute klar weniger Rossbremsen, Ameisen und Mistkäfer (weniger Kuhfladen auf den Weiden) als früher. Wildbienen auf dem Hof sind ähnlich häufig geblieben. Bei der Umstellung von konventioneller Landwirtschaft auf biologische wurde in Bezug auf die Insektenabundanz keine Veränderung festgestellt.

c) *Wald:* im Wald wurde kein starker Rückgang angenommen.

a/b) Kein direkter Vergleich mit Karte möglich. Allgemeiner Abwärtstrend Offenland jedoch übereinstimmend beschrieben. Kein Vergleich mit einzelnen Insektenarten möglich.  
c) übereinstimmend mit Einschätzung stabiler Entwicklung

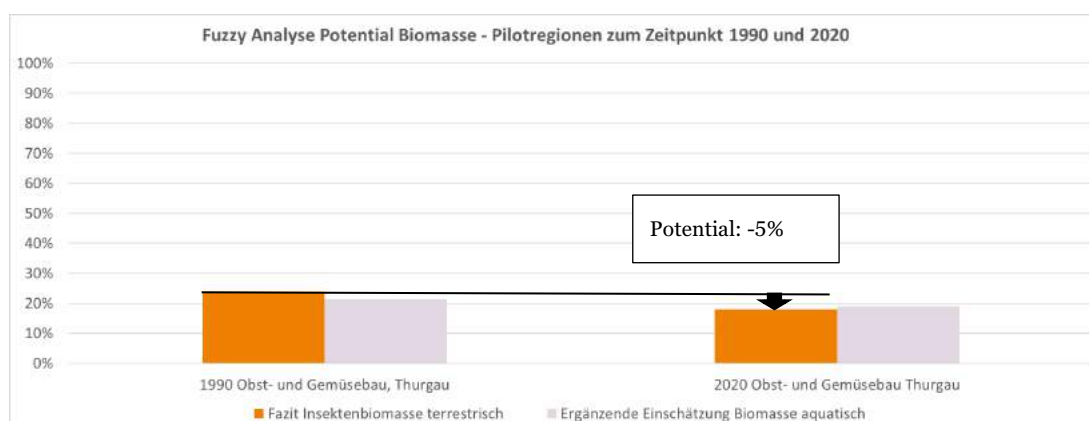
### 4.6.3 Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern aus der Umgebung von Güttingen TG

Die Ergebnisse der Modellierung der Region Güttingen mit einen hohen Anteil Obstbauflächen wurden mit Stakeholdern aus der Umgebung diskutiert. Dabei wurden wiederum Feldbeobachtungen den Einschätzungen Biomasseverlusten aus der Fuzzy/GIS-Analyse gegenübergestellt. Die dazu eingeholten Beobachtungen und deren Übereinstimmung mit den Modell-Ergebnissen sind im Anschluss in Tabelle 12 aufgeführt.



**Abbildung 41: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung von Güttingen der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung).

Das Ergebnis zeigt die seit 1990 erfolgten zusätzlichen Einbußen und umgekehrt den Effekt von Massnahmen der Aufwertung und mehr Ausgleichsflächen. Für die im Bild markierte Fläche mit Abwärtstrend ist das Ergebnis der Fuzzy Analyse im Folgenden dargestellt. Ein Rückgang von 25% auf 20% beim Potential, entspricht einer Einbuße Insektenbiomasse im Zeitraum 1990 bis 2020 von 20%.



**Abbildung 42: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung Güttingen der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung)

**Tabelle 12 Auswertungen der Ergebnisse in der Umgebung von Güttingen TG**

**Beobachtungen und Schlussfolgerungen zur Insektenbiomasse**

**Trend in Fuzzy-GIS Ergebnissen und Übereinstimmung des Modells mit den Aussagen**

Person 1:

a) *Landwirtschaft*: Die Insektenabundanz in Landwirtschaftsgebieten, besonders an Seeufnern ist stark, schätzungsweise zwischen 40 % und 50 % zurückgegangen in den letzten 40 Jahren. Die Verluste nach der Jahrtausendwende waren grösser als die Verluste in den Beobachtungsjahren von 1980 bis 2000.

b) *Obstbau/Wiesen*: Durch die Intensivierung der Landwirtschaft mit zunehmender Verwendung von Insektiziden in Obst- und Beerenanbau, Siloballen und Gülle und der Einsatz von Netzen bei Obstplantagen, um die Früchte zu schützen, verlieren diverse Insekten ihre Lebensgrundlagen. Das Mähregime auf landwirtschaftlichen Flächen ist relevant für die Eiablage und das Überleben von Insektenlarven. Ein Schonstreifen stehen zu lassen bringt für die Insekten grosse Vorteile.

c) *Fliessgewässer*: Einige Bäche in der Region wurden renaturiert und ausgedohlt, was den Insekten zugutekommt. Die Belastung der Gewässer durch Pestizide ist jedoch immer noch ein grosses Problem.

a/b) Übereinstimmung Abwärtstrend, zeitliche Ausprägung geringer.  
c) Fliessgewässer konnten mit der gewählten Auflösung nicht genau dargestellt und beschränkt verglichen werden.

Person 2:

a) *Landwirtschaft allgemein*: Die Landwirtschaft ist seit er Landwirt ist eher intensiver geworden. Ansonsten wurden keine grossen Veränderungen beobachtet. Die Art der Düngerverwendung (Gülle) ist konstant geblieben. Da die Erträge höher wurden, ist der N-Eintrag wahrscheinlich um 5-10% gestiegen. Maschinen sind aggressiver geworden. Mehr Förderflächen als vor 30 Jahren. In Blühstreifen auf seinem Land sind viele Insekten zu finden. Diese Blühstreifen macht er erst seit 3 Jahren und kann dort eine deutlich höhere Insektenbiomasse beobachten. Jedoch sind Blühstreifen allgemein im Gebiet selten.

b) *Obstbau*: Bei den Obstbäumen werden hauptsächlich Fungizide, welche keinen Einfluss auf Insekten hätten, eingesetzt und kaum noch Insektizide. Heute werden häufiger Pheromone anstatt Pestizide verwendet. Diese verwirren gezielt die schädlichen Insekten, damit diese sich nicht vermehren können. Pheromone auch im Biolandbau verwendet. Sensibilität für Pestizide erhöht. Es werden mehr Netze verwendet, die einem Teil der Insekten den Zugang zum Lebensraum verhindert.

c) Annahme, dass sich die im Modell genannten Einflussfaktoren für die Insekten insgesamt wenig verändert haben und der Verlust nicht sehr hoch ist. Trotzdem viel weniger Insekten auf der Windschutzscheibe beobachtet.

a) Verluste durch Intensivierung und positive Effekte Aufwertung übereinstimmend mit Karten. Ausprägung nur bedingt vergleichbar. Annahmen zum N-Eintrag im GIS unterscheiden sich leicht von den Aussagen.  
b) Fazil Verluste nicht eindeutig und damit nicht vergleichbar mit Karten  
c) Das Ausmass des Verlusts wurde im Interview als geringer beschrieben als auf der Karte. Umgekehrt sind Aussagen zur Abnahme auf Windschutzscheibe sind hingegen stärker als auf der Karte.

Person 3:

a) *Wald*: Keine grossen Veränderungen bezüglich Insektenbiomasse. Die Struktur des Waldes hat sich aber verändert durch Stürme und dadurch, dass in der Nachkriegszeit keine Zeit war, um den Wald aufzuräumen. Im Wald gibt es mehr offene Flächen und dort gibt es mehr Insekten. Durch die wärmeren Jahre hat der Bestand an Zecken zugenommen. Auch Borkenkäfer gibt es nach Hitzeereignissen wie im Jahr 2018/2019 mehr, Borkenkäfer waren auch früher schon ein grosses Thema, zum Beispiel nach dem Krieg, da der Wald nicht gut aufgeräumt. Maienkäferplagen hingegen gibt es kaum mehr.

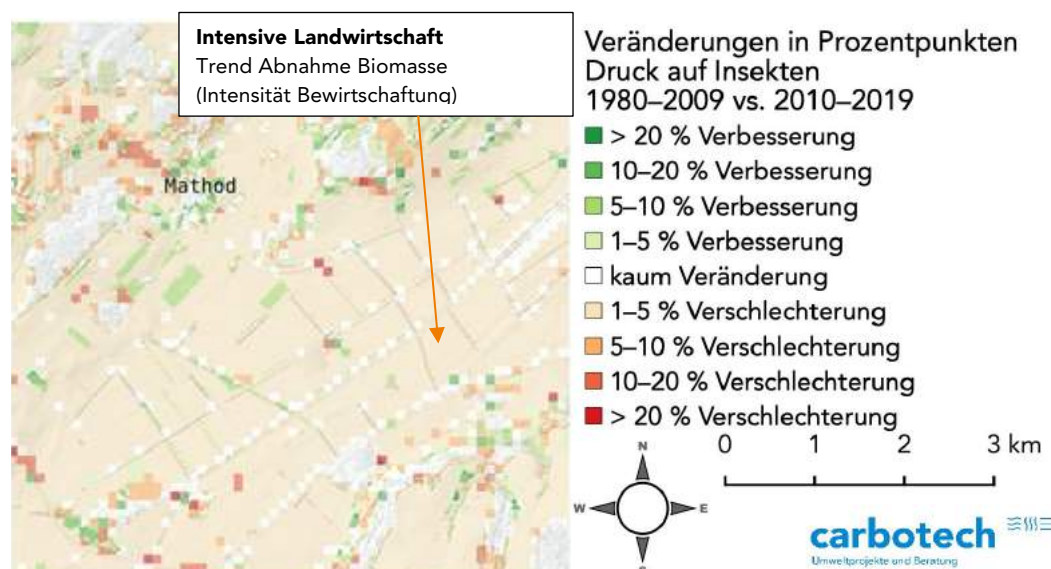
b) *Landwirtschaft*: Die Intensivierung Obstbau ist eine relevantes Thema. Anstelle von Hochstamm Bäumen Plantagen mit Netzen. Dies bietet weniger Lebensraum für Insekten.

a) Stabiler Zustand Wald übereinstimmend mit Karten. Übereinstimmung, Auflösung zu wenig genau für konkrete Aussagen

b) Abnehmender Trend: übereinstimmende Aussagen

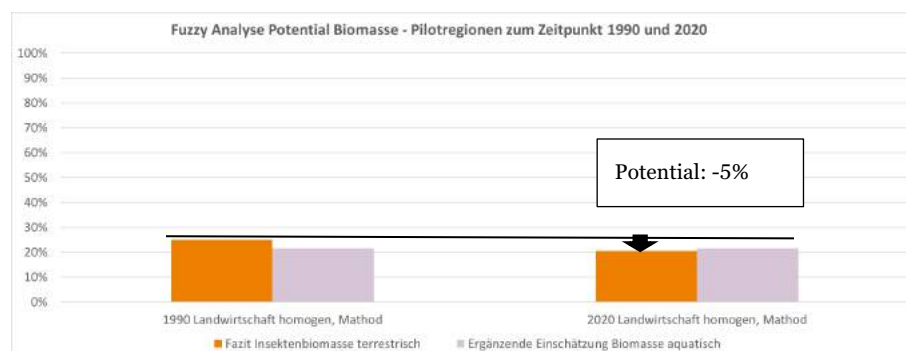
#### 4.6.4 Diskussion der Ergebnisse mit Stakeholdern aus der Umgebung von Method VD

Die Ergebnisse der Modellierung der Region Method wurden mit Stakeholdern aus der Umgebung sowie Experten aus der ersten Phase diskutiert (CSCF und Biologin). Dabei wurden wiederum Feldbeobachtungen den Einschätzungen Biomasseverlusten aus der Fuzzy/GIS-Analyse gegenübergestellt. Die dazu eingeholten Beobachtungen und deren Übereinstimmung mit den Modell-Ergebnissen sind im Anschluss in Tabelle 12 aufgeführt.



**Abbildung 43: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung von Method der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung).

Das Ergebnis zeigt die seit 1990 erfolgten zusätzlichen Einbußen durch die Intensivierung der Landwirtschaft. Für die im Bild markierte Fläche mit Abwärtstrend ist das Ergebnis der Fuzzy Analyse im Folgenden dargestellt. Ein Rückgang von 25% auf 20% beim Potential, entspricht einer Einbusse Insektenbiomasse im Zeitraum 1990 bis 2020 von 20%.



**Abbildung 44: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung Method der letzten 30 Jahre** (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung)

**Tabelle 13 Auswertungen der Ergebnisse in der Umgebung von Method VD**

**Beobachtungen und Schlussfolgerungen zur Insektenbiomasse**

**Trend in Fuzzy-GIS Ergebnissen und Übereinstimmung des Modells mit den Aussagen**

Person 1:

a) *Landwirtschaft:* Allgemein sollte es im untersuchten Auszug von Method VD heute um die Insektenabundanz leicht besser stehen als in den 90er Jahren. Feldränder, die in der Landwirtschaft wichtige Lebensräume für Insekten bilden, sind heute qualitativ besser als früher. LW-Maschinen haben heute einen höheren Schaden als vor 30 Jahren – das Ausmass ist jedoch schwierig zu quantifizieren. Die Autobahn auf der Karte wurde mit GIS nicht berücksichtigt-Strassen betreffen nur einen Teil der Insekten als negativer Faktor.

b) *Fliessgewässer:* Die GIS-Karten zeigen bei Gewässern nicht den positiven Effekt der 3-6 Meter breiten Banden neben den Bächen.

c) *Vernetzung/Förderflächen:* Seit der Jahrtausendwende wurden ökologische Netzwerke vermehrt gefördert, was in Method relevant ist, da das Gebiet sehr intensiv bewirtschaftet wird. In der Umgebung Method, wie auch im Mittelland, gibt es heute ca. 11 % - 13 % Biodiversitätsförderflächen (davon ist die Hälfte qualitativ hochwertig), gegenüber ca. 3% um 1990.

d) *Wald:* Der Fokus des Modells ist stark auf Landwirtschaft. Dies ist vertretbar, solange die Veränderungen der Einflussfaktoren im Wald viel geringer sind.

a) Übereinstimmung des Gesamtergebnisses mit den Aussagen, obwohl gewisse Aspekte nicht dargestellt werden konnten.

b) Auflösung GIS-Karten zu gering, Effekt zu wenig sichtbar

c) Positiver Effekt in Karten dargestellt, übereinstimmend

d) Stabile Bedingungen für Trend vertretbar

Person 2:

*Allgemein:* Die Diversion der Insektenhabitate ist zwischen 1880 und dem 2. Weltkrieg (1945) am stärksten zurückgegangen. Heute werden weniger, aber andere Pestizide eingesetzt. Im Endeffekt stimmen deshalb die Aussagen des Modells mit der Realität überein. Die Abnahme von 50 % Biomasse ist auf den Karten etwas hoch eingestuft. Es hat sich in den letzten 30 Jahren nicht viel verändert. Eine Verbesserung der Insektenabundanz ist nicht erkennbar.

Der Aspekt Bewässerung wurde in der Karte nicht miteinbezogen.

Übereinstimmung im Trend, aber das Ausmass des Verlusts wurde als geringer eingeschätzt als auf der Karte und wurde im Anschluss im Modell und GIS reduziert

Person 3:

a) *Landwirtschaft:* Die Veränderung des Standorts Method gemäss den Karten ist plausibel. Allerdings ist die Beobachtungsphase erst seit 3 Jahren.

b) *Naturnahe Fläche:* Eine Verbesserung der naturnahen Flächen ist möglich. Es kann aber auch sein, dass ein Teil davon neu als Biodiversitätsförderfläche deklariert wird und deshalb in den Karten eine Verbesserung eingetragen ist, obwohl deren Zustand gleich geblieben ist.

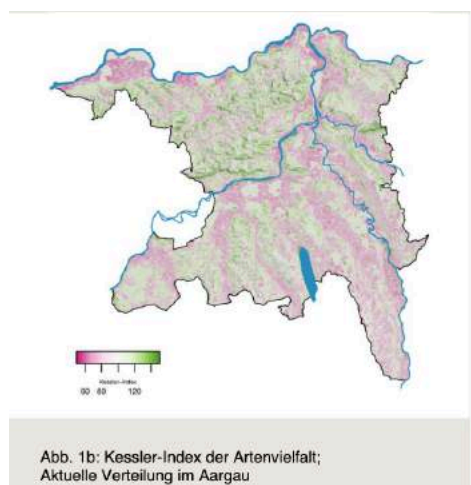
a/b) Trend Abwärts LW und Aufwärts Förderflächen scheinen plausibel.

## 4.7 Vergleich mit Literatur zu Felduntersuchungen

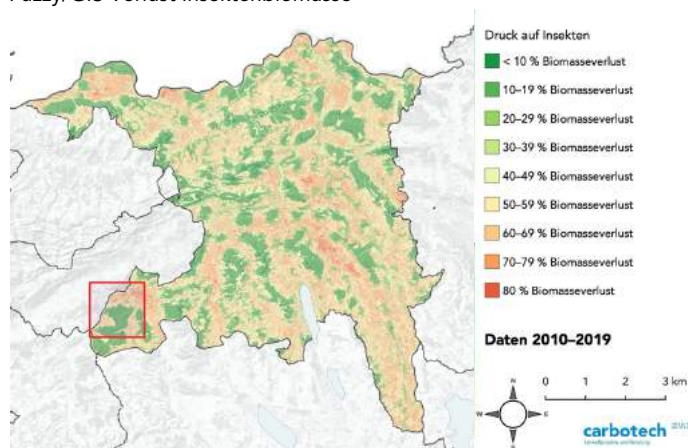
### 4.7.1 LANAG Studie Aargau, Monitoring Artenvielfalt

Im Kanton Aargau liegen Ergebnisse aus einer Langzeitstudie mit dem Kessler-Index zur Beurteilung der Artenvielfalt vor. Der Kessler-Index umfasst eine Erhebung Tagfalter, Mollusken, Pflanzen und Vögel. Eine Untersuchung Normalflächen erfolgt systematisch über die gesamte Fläche mit einem Raster für die Untersuchung. Die nachfolgende Karte zeigt die so erfolgte Bewertung der Artenvielfalt der Flächen im Aargau anhand der Ergebnisse Kessler-Index für den Stand 2019. Fläche mit geringer Artenzahl sind rosa und Flächen mit höheren Artenzahl grün dargestellt. Rechterhand ist das Ergebnis für den Zustand Insektenbiomasse für das gleiche Jahr aus der hier durchgeführten GIS-Analyse dargestellt, wobei eine kritische Einbusse Biomasse mit roten Farbtönen und ein Zustand keiner oder einer geringer Einbussen mit grünen Farbtönen dargestellt ist. Die Karten zeigen eine hohe Übereinstimmung der Ausprägung der Beeinträchtigung Artenvielfalt und Insektenbiomasse.

Felduntersuchung Kessler-Index



Fuzzy/GIS Verlust Insektenbiomasse



**Abbildung 45: Felduntersuchung Kessler-Index der Artenvielfalt, aktuelle Verteilung im Aargau** (Hintermann und Weber, 2019) **im Vergleich zum Ergebnis GIS-Analysen aktueller Zustand Insektenbiomasse im Aargau** (siehe auch Kapitel 4.5 als Ausgangsbasis für die hier dargestellten Ergebnisse)

Die zeitlichen Veränderungen beider Kenngrößen im Verlauf der letzten 20 bis 30 Jahren ist in der nachfolgenden Abbildung dargestellt. Der Kessler-Index als Indikator für die Artenvielfalt im Allgemeinen zeigt im Aargau im Bereich von Wiesen an Hanglagen seit 1998 deutliche Verluste auf (stark rote Flächen). Dieser Verlust fällt deutlicher aus, als eine Einschätzung einer geringen Einbusse Insektenbiomassen in den GIS-Analysen am gleichen Standort. Auch auf den übrigen Flächen gibt es Differenzen. Während beim Kessler-Index eher eine konstante Situation oder Verbesserung gegenüber 1998 auf Landwirtschaftsflächen und in Wäldern verzeichnet wird, zeigt die Beurteilung Insektenbiomasse im Bereich Landwirtschaft einen Abwärtstrend gegenüber 1990 und mehrheitlich konstante Werte bei Wäldern auf. Diese Differenz kann teilweise durch den längeren Betrachtungszeitraum erklärt werden. Teilweise besteht hier jedoch auch ein Bedarf Verbesserung der verwendeten Kartengrundlagen, was Elemente von Aufwertungsmassnahmen für die GIS-Analyse betrifft. Trotz dieser Differenzen bezüglich der Veränderungen führen beide Grundlagen zu einem ähnliche durchmischten Bild, was die Ausprägung Abnahme und Zunahme Insektenbiomasse und Arten betrifft.

Felduntersuchung Kessler-Index

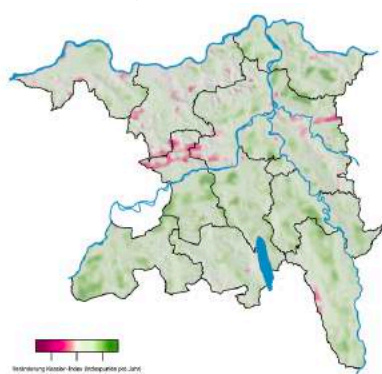
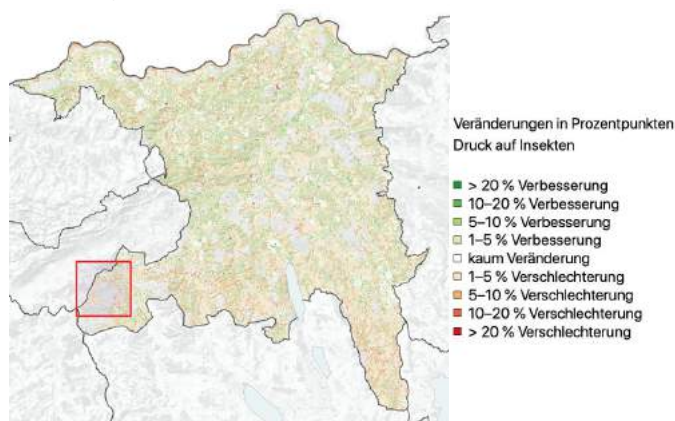


Abb 2a: Veränderung Kessler-Index 1998-2019

Fuzzy/GIS Verlust Insektenbiomasse



**Abbildung 46: Veränderung der Artenvielfalt gemäss der Erhebung Kessler-Index (Hintermann und Weber, 2019) im Vergleich zur Einschätzung Veränderung Insektenbiomasse aus der GIS-Analysen Aargau 1990-2020, Markierung für die Pilotregion Rothrist (siehe auch Kapitel 4.5 als Ausgangsbasis für die hier dargestellten Ergebnisse).**

#### 4.7.2 BDM Thurgau, Vögel und Tagfalter (Trend seit 2000)

Literaturangaben zur Entwicklung der Tagfalter liegen im BDM Thurgau und Schweiz für den Zeitraum seit 2000 vor. Im Folgenden wird das Ergebnis dieser Auswertungen zu Artenzahlen den Ergebnissen der Einschätzung Insektenbiomasse aus der Fuzzy- und GIS-Analyse gegenübergestellt:

- BDM Thurgau: die Entwicklung der Tagfalter ist im Zeitraum seit dem Jahr 2000 in einem grossen Teil der Flächen stabil und damit besser als das FST-Fazit zu den Verlusten Insektenbiomasse für die Regionen Güttingen. Nicht geklärt werden konnte die Frage lokaler Unterschiede der Resultate BDM, um den Trend in Güttingen besser zu erfassen und vergleichen zu können.
- BDM Thurgau: Aufwärtstrend für Vögel im Wald passt zum Aufwärtstrend der Insektenbiomasse in den Waldflächen aus der Analyse Fuzzy/GIS Auswertung im Thurgau.

Die Zeitspanne, Umfang und Darstellungsform kann nicht eins zu eine verglichen werden, eine Einordnung ist deshalb nur qualitativ erfolgt.

#### 4.7.3 Meta-Studie Europa und Ausprägung Verluste

Im Rahmen einer Meta-Studie ([Klink u. a., 2020](#)) wurde die Ausprägung der Insektenbiomassen-Verluste in verschiedenen Regionen und klimatischen Zonen analysiert<sup>7</sup>. Dies kommt zum Ergebnis: weltweit -9% Insektenabundanz (nicht Biomasse) pro Jahrzehnt für terrestrische Insekten weltweit (-27% auf 30 Jahre hochgerechnet) und weltweit +11% Insektenabundanz pro Jahrzehnt in Frischwasser-Gewässern (+33% auf 30 Jahre hochgerechnet). Dabei war der Verlust in Nordamerika besonders stark, gefolgt von Europa ab ca. dem Jahr 2000. Bei terrestrischen Insekten in Europa verstärkte sich der Verlust mit der Zeit - was in unserem Modell nicht ganz widerspiegelt wird. Im Vergleich dazu kommt die vorliegende Studie zu einer ähnlichen Einschätzung und unterschiedlichen Ausprägung abhängig von der Höhenlage und Art der Gebiete. In den

<sup>7</sup> Die Ergebnisse der Krefeld-Studie waren Teil dieser Meta-Studie. Gesamthaft war der Insektenverlust deutlich schwächer als in Letzterer.

Interviews der vorliegenden Studie wurde jedoch mehrmals erwähnt, dass die Intensivierung der Flächennutzung in der Schweiz früher passierte als in anderen Ländern mit weniger Druck auf Flächen. Die Differenzierung klimatischer Zonen zeigt in der Meta-Studie eine Zunahme in borealen/alpinen Gebieten, was mit den Ergebnissen Val Müstair für höhere Lagen übereinstimmt.

Der Trend in Naturschutzgebieten war in der Meta-Studie schwächer als in anderen Flächen. Der terrestrische Insektenbiomassenverlust wurde mit dem Faktor Urbanisierung negativ korreliert, wobei der Habitatverlust als ein Grund angegeben wird. Gemäss Interviews in der vorliegenden Studie ist der Habitatsverlust durch Urbanisierung in der Schweiz wenig relevant, da durch Urbanisierung meistens bereits sehr intensiv genutzte Fläche ersetzt wird und mit gesetzlichen Regeln eine Bebauung Waldflächen und Schutzgebiete weitgehend ausgeschlossen sind. Für Gewässer sind die Erkenntnisse der Meta-Studie zur besseren Wasserqualität in der Nähe der LW-Flächen ähnlich wie in der vorliegenden Studie.

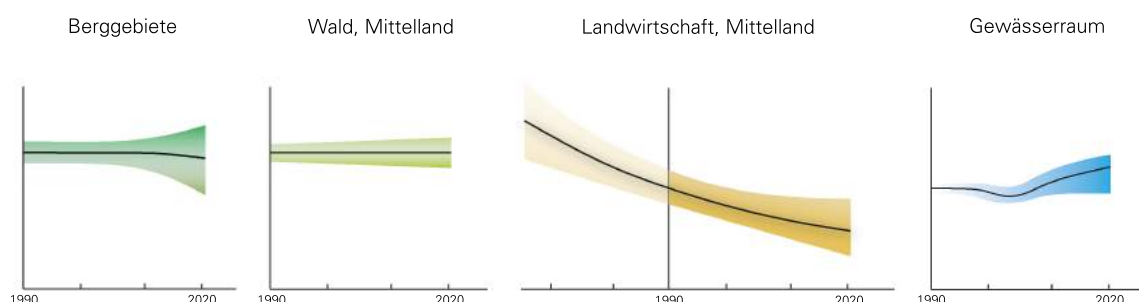
Renaturierungen und Schutzflächen wurden als effektive Strategien für den Erhalt der Insekten angegeben.

## 5 Schlussfolgerungen

Aus den Fuzzy- und GIS-Analysen und den Interviews ergeben sich zusammengefasst die folgenden Schlussfolgerungen zu den eingangs formulierten Fragestellungen.

### Wie hat sich die Insektenbiomasse an unterschiedlichen Standorten seit 1990 entwickelt? Wie weit ermöglichen einzelne Massnahmen, wie zum Beispiel ein Grünstreifen, den Trend umzukehren?

Die ausgeführten Analysen und Interviews führen zu folgendem Gesamtbild der Entwicklung in verschiedenen Gebieten. Dieser Gesamttrend kann lokal stark abweichen, je nach dort getroffenen Massnahmen der Aufwertung und Anpassungen beim Management.



**Abbildung 47: Tendenzen der Entwicklung Insektenbiomasse gemäss Interviews und Modellierung.** Die absolute Menge Biomasse beim Ausgangspunkte 1990 sind zwischen den Gebieten nicht vergleichbar, sondern relativ zum lokalen Potential im Jahr 1990 anzusehen.

Die Intensität und Effizienz der Maschinen in der Landwirtschaft haben seit 1990 noch einmal stark zugenommen. Dies wird mit folgenden Beobachtungen beschrieben:

- **Agrarökosysteme:** Der letzte Meter bis zum Rand wird abgeerntet; wertvolle und bisher wenig genutzte Strukturen wie Böschungen werden ausgeräumt und die Fläche bewirtschaftet. Vor allem Wiesen sind von der weiteren Intensivierung stark betroffen. Deren Mähregime ist strenger mit häufigeren und früheren Schnitten, entsprechend angepassten Pflanzenarten, und mit für die Insekten gefährlichen Technologien und Maschinen. Es bleibt weniger Rückzugsmöglichkeit, weniger Blühendes und stattdessen dauergrüne Wiesen. Die zeitliche Entwicklung in höheren Lagen und in Hanglagen der Intensivierung hat später eingesetzt und ist heute ein hochaktuelles Thema, dessen Konsequenzen über ein längeres Zeitfenster noch nicht so häufig beobachtet wurden wie im Mittelland. Auf der Ebene ist teilweise die Intensivierung bereits vor 1990 erfolgt. Ab 1990 verbreiten sich Förderflächen allgemein und Wiesen mit angepasstem Mähregime. Dies bringt erste Erfolge für eine Umkehr beim Trend. Es wird dabei ein idealer Anteil von 20% Ausgleichsfläche in Agrarökosystemen angesprochen. Die im Ackerland höhere Intensität und die Optimierung der Bewirtschaftung, die zu einem Abwärtstrend führt, stabilisiert sich in den letzten Jahren.
- **Wald:** Im Wald wird die Situation für Insekten eher als konstant betrachtet, punktuell sind aber auch Schäden durch grössere Maschinen und eine höhere Intensität der Bewirtschaftung entstanden. Umgekehrt werden positive Wirkungen von Totholz, Reservate und Aufwertung der Waldränder angesprochen. Besonders kritisch ist für die Wälder das Regime der angrenzenden landwirtschaftlichen Fläche, weil die Waldränder für einen grossen Teil der Waldinsekten relevant sind. Wenn bis zum Waldrand intensiv bewirtschaftet wird, gehen hier für die Waldinsekten wichtige Strukturen verloren oder im Fall von Ameisen auch deren Lebensraum direkt betroffen und beeinträchtigt. Bei der Beurteilung der Insekten in bewaldeten Flächen soll beachtet werden, dass Wälder längere Wachstumszyklen haben als Agrarökosysteme und deshalb die zeitlichen Entwicklungen im Wald anders bewertet werden müssen. Ausserdem



- *Licht* betrifft vor allem nachtaktive Insekten im Umfeld von Siedlungen.
- Sowohl positive als auch negative Auswirkungen auf die Biomasse hat der *Klimawandel*.
- Der Effekt von *Störungen durch Menschen und Tiere* sowie Barrieren werden vergleichsweise als gering eingestuft.

Erste Erfolge sind sichtbar und zeigen für die Beobachtenden deutlich spürbar einen Effekt von Massnahmen:

- Neu geschaffene Schutz-, Förder- und Ausgleichsflächen und die Erhöhung ihrer Qualität.
- Mehr Bio-Landwirtschaftsbetriebe, höhere Anteile an Ausgleichs- und Förderflächen.
- Renaturierung vom Gewässerraum, Verbesserung der Ökomorphologie von Fliessgewässern
- Totholz, Waldreservate und Durchmischung im Wald wurden erwähnt, sind aber komplex zu beurteilen.
- Achtsamere Mähregimes und Mähtechnologien in Wiesen und Schutzflächen

Die rote Farbe in Abbildung 48 zeigt die von den Expert\*innen als besonders ausschlaggebend beurteilten Faktoren. Alle Expert\*innen sind sich einig, dass im Offenland die Intensität der Bewirtschaftung der grösste Treiber ist und umgekehrt der in der Umgebung verbleibende Anteil natürlicher Habitate für die meisten Insekten entscheidend ist. Auch die Düngung wurde als sehr wichtiger Faktor mit grosser Übereinstimmung benannt, wobei einzelne Gruppen auch vom Wachstum profitieren und sich stärker vermehren und an Biomasse gewinnen können. Licht erhält weniger Bedeutung, da nicht alle Standorte und nicht alle Arten betroffen sind. Die grössten Unterschiede und Unsicherheiten in der Bewertung ergeben sich bei den Pflanzenschutzmitteln. Unter anderem auch, weil die beobachteten Arten sehr unterschiedlich betroffen sind. Höher eingestuft wird der Faktor vor allem bei Insekten Fliessgewässern und bei Bestäubern.

### **Welche Insektengruppen sind von welchen Faktoren, in welchem Mass betroffen?**

Die Erkenntnisse in Studien und Interviews haben einen starken Fokus auf spezifische Taxa und zeigen je nach Untersuchungsgebiet einen anderen Fokus. Auch werden mit unterschiedlichen Fallen und Zeitpunkt der Beobachtungen unterschiedliche Schlussfolgerungen gezogen. Die nachfolgende Liste zeigt die am stärksten betroffenen Insektengruppen mit jeweils Erklärungen auf Grund der Beobachtungen und Literatur:

- *Bestäuber/fliegende Insekten*: weniger Blumen durch Düngung und verändertes Mähregime, stärker betroffen von Pestiziden auf Kulturen mit behandelten Blüten
- *Bodenbrüter (z.B. Bienen und Hummeln)*: dichte Vegetation mit Management und Düngung, negative Wirkung durch mechanische Einwirkungen.
- *Ameisen*: Zerstörung von Ameisenhaufen durch Maschineneinsatz, fehlendes Licht durch eine dichte Vegetation bedingt durch die Düngung von Wiesen oder einen dichten homogenen Baumbestand im Wald
- *Totholz- und Mistkäfer*: weniger Mist und Totholz
- *Spezialisierte Arten*: fehlender Lebensraum, fehlende biotische/abiotische Strukturen, fehlende Nahrung, fehlendes Zeitfenster Reproduktion (alles in allem Folgen einer intensiven und homogenen Bewirtschaftung)
- *Steinfliegen und Köcherfliegen/Gewässer Insekten*: mangelnde Wasserqualität, Belastung durch Dünger/Pestizide
- *Larven*: Mähregime und -technologien
- *Nachtaktive Insekten*: Licht, Urbanisierung.

Gewisse Insektenarten gelten als Indikatorarten für eine hohe Biodiversität und werden deshalb häufiger beobachtet. Andererseits stehen gewisse Insektenarten als «Schädlinge» oder «Nützlinge» mehr im Fokus von Beobachtungen als andere Arten. Auch eine besonders hohe Biodiversität, praktische- und ästhetische Aspekte können erklären, dass gewissen Taxa häufiger beobachtet werden. Dies sind Gründe weshalb in den

Interviews zum Beispiel Schmetterlinge, Wildbienen, Ameisen, Libellen und Heuschrecken häufiger thematisiert wurden. Als Gruppen zusammengefasst werden dabei auch «Biodiversitäts-Indikatorenarten», «Bestäuber» oder «Nützlinge». Unter dem Stichwort «Schädlinge» wurden Beispiele wie Borkenkäfer oder für bestimmte Kulturen typische Insekten wie der Maiszünsler genannt und diskutiert. Eine Beurteilung häufiger und manchmal als lästige wahrgenommenen Insekten wie Mücken, Bremsen, Fliegen ist in Studien über die im Modell aufgeführten Einflussfaktoren weniger oft ein Thema, hingegen im Gespräch mit Landwirt\*innen prominenter. Für ein Gesamtbild wurde bei der Diskussion und Literaturrecherche auf ein möglichst breites Spektrum an Taxa geachtet.

### ***Über welche Entfernung und in welcher Kombination der Faktoren entfaltet sich eine Wirkung? Wie stark sind Gebiete ausserhalb der Landwirtschaftsflächen betroffen?***

Aufgrund der Aussagen von Expert\*innen aus den geführten Interviews und Literaturangaben ergibt sich das folgende Fazit zur Reichweite der Einflussfaktoren:

- *Die Intensität der Bewirtschaftung* einer Fläche wirkt sich direkt auf die betroffene Fläche aus. Bereits ein kleiner Streifen dazwischen bewirkt eine Entlastung und gibt eine Rückzugsmöglichkeit. Ein hoher Anteil intensiv bewirtschafteter Flächen wirkt sich auch auf die verbleibenden naturnahen Flächen in der Umgebung aus. Die Konsequenz davon ist nachfolgend mit dem Aspekt «Anteil naturnaher Flächen» beschrieben.
- *Die Grösse und der Anteil naturnaher Flächen* ist ein wichtiger Faktor, ein hoher Anteil wirkt sich auch auf die Umgebung positiv aus. Ein Grossteil der Insekten ist in ihrer Entwicklung auf naturnahe Flächen angewiesen. Ein Anhaltspunkt für eine Mindestgrösse naturnaher Fläche ist die Erkenntnis, dass ein naturnahes Gebiet von der Grösse der Reinacher Heide, wegen der Isolation durch die städtische Umgebung, bereits unter der fehlenden Vernetzung leidet und für einen Teil Insektenpopulationen nicht ausreichend ist. Ein Hinweis zur Mindestgrösse für die Entwicklung einer Insektenpopulation ergeben umgekehrt Versuche mit Blühstreifen. Eine Fläche 50x50 Metern reichen für einen Teil der Arten bereits aus für die Entwicklung einer Population.
- *Dünger und Pestizide* werden vor allem bei kleineren Schutzflächen im Umfeld Landwirtschaft thematisiert und eine Beeinträchtigung wird auch bei Fliessgewässern thematisiert. Neben der Veränderung des Biotopes durch den Düngereintrag und Pestizide ist auch die Entwässerung Schutzgebiete wie Moorlandschaften ein Thema.
  - Ein starker Effekt einer Verfrachtung von Pestiziden wird auch auf den ersten 100-200 Metern im Wald angesprochen, mit einer fehlenden Besiedelung von Totholz.
  - Studien zur Verfrachtung zeigen eine relativ weite Reichweite von bis 10 km, allerdings stark abnehmende Einträge nach innerhalb der ersten 100 bis 200m. Ab 5 km wurde der Eintrag in dieser Studie als vernachlässigbar eingestuft.
- *Licht* wirkt sich in erster Linie im Umfeld von Siedlungen und Strassenbeleuchtung aus.

Die weiteren genannten Einflussfaktoren sind zu wenig relevant für eine weitere Diskussion. Die Kombination verschiedener Faktoren kann zu einer stärkeren Wirkung einzelner Faktoren führen, wenn zum Beispiel die Insekten bereits durch ein geringes Angebot an Nahrung geschwächt sind und zusätzlich weitere Stressfaktoren wie Licht oder Pestizide überwinden oder Licht als Störfaktor dazu kommen.

### ***Wie weit ermöglichen einzelne Massnahmen, wie zum Beispiel ein Blühstreifen, den Trend umzukehren und die Förderung der Insekten voranzutreiben?***

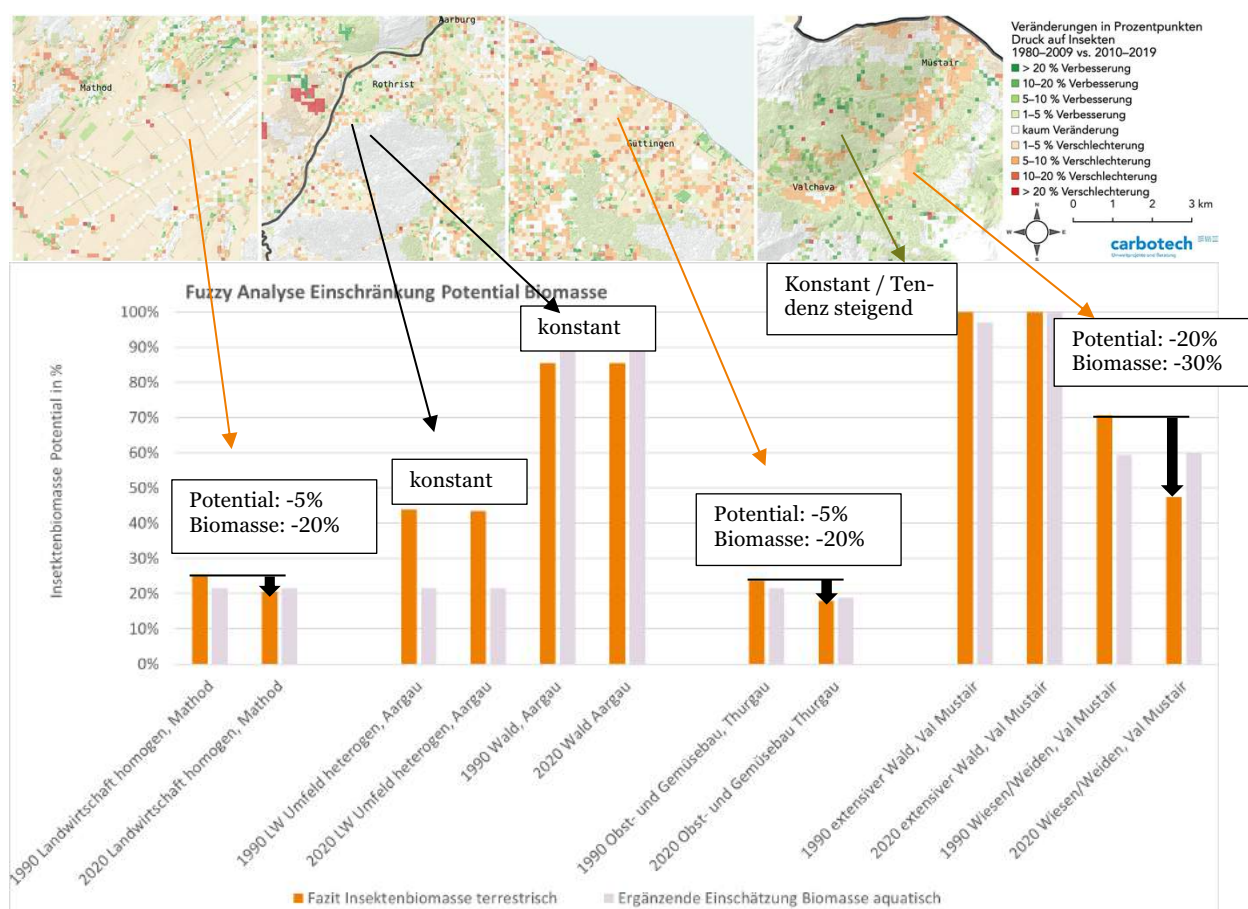
Abhängig von der Grösse und vom Standort kann eine einzelne Massnahme bereits einen grossen Beitrag leisten. Beobachtungen zeigen 40% grössere Populationen von Wildbienen, durch eine Förderung mit Blühstreifen. Die Massnahmen führen für die Beobachtenden in relativ kurzer Zeit zu positiven Effekten. Auf einem Blühstreifen lassen sich bis zu 5x mehr Bestäuber als auf der intensiv bewirtschafteten oder qualitativ

armen Nachbarfläche finden, wobei hier auch der Effekt reinspielt, dass viele Nahrungssuchende aus der Umgebung zum Zeitpunkt der Blüte diesen Streifen besuchen. Ein stark isolierter Blühstreifen ohne Vernetzung und mit einer zu kleinen Fläche für eine Ansiedelung von Insekten hat eher wenig Erfolg.

Positive Effekte werden erwartet durch Strukturen, welche eine Vernetzung fördern und Rückzugsmöglichkeit in bewirtschafteten Flächen bieten. Erwähnt werden hier Feldränder, Böschungen, Hecken, Hochstamm-bäume und Schutzflächen entlang der Gewässer als wichtige Elemente. Bereits mit 3 bis 6 Metern geschützter Fläche entlang der Gewässer kann gemäss Aussagen von Expert\*innen ein signifikanter Effekt erzielt werden.

### Ergebnis aus der Fuzzy- und GIS-Analyse: Wie ausgeprägt sind die Veränderungen Verluste Insektenbiomasse und wie stark unterscheiden sich die analysierten Pilotregionen?

Die mit Fuzzy- und GIS im Folgenden illustrierten Endergebnisse führen zur Einschätzung, dass die Einbusse der Insektenbiomasse nicht gleichermassen auf die verschiedenen Habite übertragbar sind und für die Mehrheit der Flächen weniger ausgeprägt als die in der Krefeld-Studie im selben Zeitraum berichteten 76% Verlusten Biomasse der Fluginsekten in Deutschland. Ein wesentlicher Verlust ist in der Schweiz bereits vor 1990 erfolgt und könnte ein Grund sein für einen weniger ausgeprägten Verlauf gegenüber den Werten aus Deutschland im Zeitraum nach 1990. Die Situation der Beobachtungen, die Bewirtschaftung der Naturschutzgebiete und des Umfeld in Krefeld sind nur beschränkt mit den Analysen der Pilotregionen dieser Studie vergleichbar. Plausibel ist auch, dass der Schaden bei der beobachteten Gruppe der fliegenden Insekten grösser ist.



**Abbildung 49: Veränderung beim Druck auf die Insektenbiomasse in der Umgebung in den analysierte Pilotgebieten im Verlauf der letzten 30 Jahre. Abnahme Potential und Verluste Biomasse gegenüber dem Jahr 1990 (siehe auch Analysen zum Zustand 1990-2009 und 2009-2020 in Abbildung 33, als Ausgangsbasis für die hier beschriebene Veränderung).**

Ein Abwärtstrend ergibt sich auf Agrarflächen und Wiesen durch die Intensivierung der Bewirtschaftung, in Bergregionen setzt dieser Trend später ein und betrifft aktuell den Teil der intensiver genutzten Wiesen. Lokale Aufwärtstrends ergeben sich im Bereich einer Aufwertung sowie teilweise in Bergregionen durch den Klimawandel und damit für die Insektenbiomasse begünstigende Veränderungen. Demgegenüber wird die Situation im Wald als konstant betrachtet, teilweise leicht besser mit dort erfolgten Massnahmen zur Aufwertung.

Die Ausprägung, Ausmass und Muster der Verluste aus Fuzzy- und GIS-Analysen stimmen im Wesentlichen mit Beobachtungen von befragten lokalen Stakeholdern und mit Felderhebungen der entsprechenden Region überein. Kleinräumig sind die Aussagen nicht ausreichend präzise und könnten mit ergänzenden Informationen und Kartengrundlagen zum betroffenen Gebiet verfeinert werden.

## 6 Ausblick und Abgrenzungen

Die Fuzzy-GIS Auswertung ist gedacht als Ergänzung zu Felduntersuchungen über Arten und Biodiversität. Sie erlaubt eine Extrapolation zu einem Gesamtbild aller Insekten in der Schweiz ausgehend von Wissen aus Felduntersuchungen und -Beobachtungen. Das verwendete Modell und GIS-Analysen können mit neuen Erkenntnissen und neuen Kartengrundlagen erweitert und für Analysen in spezifischen Regionen weiterentwickelt und angepasst werden.

### **Potential Weiterentwicklung**

Bezüglich der GIS-Analyse gibt es zwei Weiterentwicklungsmöglichkeiten. Da die Datengrundlage der einzelnen Pilotregionen relativ ähnlich ist, könnte eine Analyse der gesamten Schweiz durchgeführt werden. Es könnte so ermittelt werden, wie sich der Druck auf die Insekten in der ganzen Schweiz entwickelt hat und wo noch potenzielle Hot-Spots unentdeckt sind. Grösstes Hindernis ist hier, dass die Biodiversitätsförderflächen noch nicht für alle Kantone in einem vergleichbaren GIS-Format verfügbar sind.

Die andere Möglichkeit wäre, die GIS-Analyse auf einem kleinräumigen Gebiet, bspw. eine Gemeinde, zu verbessern. Vor allem bei den Wiesen und Wäldern sowie lokalen Förderflächen könnte damit eine bessere Differenzierung der Bewirtschaftungsform erfolgen und dafür wesentlich mehr GIS-Daten einbezogen werden. Es könnten beispielsweise mehr Landnutzungen unterschieden und insgesamt die Auflösung der Analyse verbessert werden.

### **Biomasse und Erhebungen Biodiversität und rote Listen**

Veränderungen der Biodiversität und die Erhebungen der Roten Liste werden häufig als Hinweis für Einbusen der gesamten Insektenbiomasse verwendet. Gemäss der Einschätzung der Expert\*innen stimmen die Entwicklung Biodiversität und Biomasse teilweise, aber nicht vollständig überein. Ein Verlust einzelner Arten ist nicht direkt mit einem Verlust der Biomasse gleichzusetzen, da andere Arten die Nische besetzen können. Dafür spricht, dass Verluste spezialisierter Arten und Generalisten nicht gleich ausgeprägt sind. Thematisiert wird aktuell eine Verschiebung, in dem Sinn, dass ein Teil der Nische von Spezialisten mit der monotoner werdenden Vegetation durch Generalisten ersetzt wird. Trotzdem wird davon ausgegangen, dass bei einer Arten-übergreifenden Einbusse an Biodiversität, welche die Mehrheit der Arten betrifft, auch die Biomasse insgesamt abnehmend ist.

### **Klimawandel und Folgen, Prognosen**

In der vorliegenden Studie wurde der Einfluss des Klimawandels gemäss Fragestellung rückblickend bewertet. Da das Phänomen jünger ist als zum Beispiel der Faktor «Intensivierung der Landwirtschaft» war hier die Länge der Beobachtung und allgemein das Wissen über Wirkmechanismen geringer. Die im Fuzzy-Modell aufgeführten Wirkmechanismen in Verbindung mit dem Klimawandel können für eine zukünftige Verwendung des Modells oder für die Verwendung für Prognosen weiter angepasst werden. Eine Aufteilung in verschiedene Faktoren wie z.B. «extreme Wetterereignisse», «Durchschnittstemperatur» und «Mikroklima» wären eventuell notwendig, sofern diese mit der kommenden Erfahrung als relevant eingeschätzt werden. Auch ein klimatisch bedingt verändertes Mähregime und Flächenmanagement und die damit verbundene Veränderungen der Zusammensetzung der Pflanzen können die Schweizer Landschaften in Zukunft stark prägen, und damit auch die Abundanz, Biodiversität wie Biomasse der Insekten in der Schweiz.

## 7 Literatur

- AfU Kanton Thurgau. (2019). Gewässerqualität im Thurgau. Abgerufen 10. Januar 2021, von <https://umwelt.tg.ch/public/upload/assets/12830/Gewaesserqualitaet-im-Thurgau.pdf>
- Akademien der Wissenschaften Schweiz. (2019). Faktenblatt Insekten.pdf. Abgerufen 6. Januar 2021, von [https://portal-cdn.scnat.ch/asset/c4c7f276-c58d-57cc-89d7-fo894focd59b/Faktenblatt%20Insekten?b=c5e07310-9bbb-5173-95ea-eaf44d80efe4&v=2b9d6f2c-b01d-53be-892c-3e326a24e763\\_0&s=I4eRtYgZGiRYg5ClzVZAgm\\_YBmg9ImA2osVdGyPV5dWLJR4aIjMDnlnJXn8kyNW7HC7FoFpBchn-a\\_JXp2-UCp6XsKr61-L1rYnz2Vj4LTolcLJoy2T3seU9sNOgesJYdJUCaVE9UazapLtCXegumPoe9NDK1VAGy\\_4tOniAM](https://portal-cdn.scnat.ch/asset/c4c7f276-c58d-57cc-89d7-fo894focd59b/Faktenblatt%20Insekten?b=c5e07310-9bbb-5173-95ea-eaf44d80efe4&v=2b9d6f2c-b01d-53be-892c-3e326a24e763_0&s=I4eRtYgZGiRYg5ClzVZAgm_YBmg9ImA2osVdGyPV5dWLJR4aIjMDnlnJXn8kyNW7HC7FoFpBchn-a_JXp2-UCp6XsKr61-L1rYnz2Vj4LTolcLJoy2T3seU9sNOgesJYdJUCaVE9UazapLtCXegumPoe9NDK1VAGy_4tOniAM)
- Andrey, A., Humbert, J.-Y., & Arlettaz, R. (2016). Functional response of leaf- and planthoppers to modern fertilisation and irrigation of hay meadows. *Basic and Applied Ecology*, 17(7), 627–637. <http://doi.org/10.1016/j.baae.2016.07.002>
- BAFU. (2006). Trockenwiesen und -weiden Schweiz. Abgerufen 4. Dezember 2020, von <https://www.news.admin.ch/newsd/message/attachments/7211.pdf>
- BAFU. (2014). Z3\_Basisdaten\_2013.
- BAFU. (2015, Juli 1). Diffuse Stickstoffeinträge in die Gewässer, modellierte Werte. Abgerufen 19. Oktober 2020, von [https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full\\_view/9b7dc233-813b-490b-b13c-3b3ab787e11f/tab/complete](https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/9b7dc233-813b-490b-b13c-3b3ab787e11f/tab/complete)
- BAFU. (2017a, Oktober 30). Bundesinventar der Auengebiete von nationaler Bedeutung.
- BAFU. (2017b, Oktober 30). Bundesinventar der Hoch- und Übergangsmoore von nationaler Bedeutung.
- BAFU. (2017c, Oktober 30). Bundesinventar der Trockenwiesen und -weiden von nationaler Bedeutung.
- BAFU. (2017d, November 1). Auengebiete ausserhalb Bundesinventar. Abgerufen 30. November 2020, von [https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full\\_view/feff7d50-4917-40d0-bcbe-675680d4aa0e/tab/complete](https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/feff7d50-4917-40d0-bcbe-675680d4aa0e/tab/complete)
- BAFU. (2017e, November 1). Bundesinventar der Flachmoore von nationaler Bedeutung. Abgerufen 30. November 2020, von [https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full\\_view/c98723f6-4c76-480b-bada-c8a5ce3d20d8/tab/complete](https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/c98723f6-4c76-480b-bada-c8a5ce3d20d8/tab/complete)
- BAFU. (2018, Januar 16). Bundesinventar der Amphibienlaichgebiete von nationaler Bedeutung.
- BAFU. (2019a, Juli 4). Alpine Auengebiete ausserhalb Bundesinventar. Abgerufen 30. November 2020, von [https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full\\_view/ecee1c92-9d66-41c7-af14-900902f54527/tab/complete](https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/ecee1c92-9d66-41c7-af14-900902f54527/tab/complete)
- BAFU. (2019b, August 13). Wasserverfügbarkeit von Pflanzen (Transpirationsverhältnis). Abgerufen 16. Oktober 2020, von [https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full\\_view/668e4c81-5926-4457-9097-b362244b2660/tab/complete](https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/668e4c81-5926-4457-9097-b362244b2660/tab/complete)
- Balandier, P. (2014). IMPACT DE L'INTENSITE DES PRELEVEMENTS FORESTIERS SUR LA BIODIVERSITE IMPACT OF WOOD HARVEST INTENSITY ON FOREST BIODIVERSITY. Irstea.
- Baranov, V., Jourdan, J., Pilotto, F., Wagner, R., & Haase, P. (2020). Complex and nonlinear climate-driven changes in freshwater insect communities over 42 years. *Conservation Biology*. <http://doi.org/10.1111/cobi.13477>
- BFS. (2014, November 20). Arealstatistik nach Nomenklatur 2004 – Standard. GEOSTAT-Datenbeschreibung.

- BFS. (2019). Statistischer Atlas der Schweiz. Biologische Landwirtschaft, 2019 [Bezirke]. Abgerufen 1. Dezember 2020, von [https://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/de/15315\\_5884\\_5872\\_4801/24086.html](https://www.atlas.bfs.admin.ch/maps/13/de/15315_5884_5872_4801/24086.html)
- BFS. (2020, August 27). Bilanz der ständigen Wohnbevölkerung, 1861-2019. Abgerufen 30. November 2020, von </content/bfs/de/home/statistiken/bevoelkerung/stand-entwicklung.assetdetail.13707405.html>
- Birkhofer, K., Gossner, M. M., Diekötter, T., Drees, C., Ferlian, O., Maraun, M., u. a. (2017). Land-use type and intensity differentially filter traits in above- and below-ground arthropod communities. *Journal of Animal Ecology*, 86(3), 511–520. <http://doi.org/10.1111/1365-2656.12641>
- Breitenmoser, S. (2019). Vielfalt der Käfer in Raps in Changins (VD). *Agrarforschung Schweiz*, 10.
- Buse, J., Boutaud, E., Dieker, P., Drees, C., Homburg, K., Zumstein, P., u. a. (o. J.). Insektensterben im Wald? – Ergebnisse von Langzeit-untersuchungen an Laufkäfern, 28.
- Colignon, P., Hastir, P., Gaspar, C., & Francis, F. (2000). Effet de l'environnement proche sur la biodiversité entomologique en culture maraîchère de plein champ. *Parasitica*, (56 (2–3)), 59–70.
- Dougoud, J. (o. J.). Biodiversität in der Schweiz: Zustand und Entwicklung, 60.
- Earth Observation Group, NOAA/NCEI. (2019). Version 1 VIIRS Day/Night Band Nighttime Lights. Abgerufen 16. Oktober 2020, von [https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download\\_dnb\\_composites.html](https://ngdc.noaa.gov/eog/viirs/download_dnb_composites.html)
- European Environment Agency. (2020). Corine Land Cover (CLC) 2018, Version 2020\_20u1 [Land item]. Abgerufen 29. Oktober 2020, von <https://land.copernicus.eu/pan-european/corine-land-cover/clc2018>
- European Environment Agency (EEA). (2019). European Grassland Butterfly Indicator. Abgerufen von <https://www.eea.europa.eu/data-and-maps/figures/european-grassland-butterfly-indicator>
- Fox, R. (2018a, März 27). Cold Comfort. Abgerufen von [https://butterfly-conservation.org/news-and-blog/cold-comfort?dm\\_t=0%2Co%2Co%2Co%2Co&utm\\_campaign=9202928\\_Science%20News%20March%202018&utm\\_medium=email&utm\\_source=Dotmailer](https://butterfly-conservation.org/news-and-blog/cold-comfort?dm_t=0%2Co%2Co%2Co%2Co&utm_campaign=9202928_Science%20News%20March%202018&utm_medium=email&utm_source=Dotmailer)
- Fox, R. (2018b, März 27). Shedding light on moth decline. Abgerufen von [https://butterfly-conservation.org/news-and-blog/shedding-light-on-moth-declines?dm\\_t=0%2Co%2Co%2Co%2Co&utm\\_campaign=9202928\\_Science%20News%20March%202018&utm\\_content=Moth%20Declines&utm\\_medium=email&utm\\_source=Dotmailer](https://butterfly-conservation.org/news-and-blog/shedding-light-on-moth-declines?dm_t=0%2Co%2Co%2Co%2Co&utm_campaign=9202928_Science%20News%20March%202018&utm_content=Moth%20Declines&utm_medium=email&utm_source=Dotmailer)
- Francisco Sánchez-Bayo, & Kris A.G. Wyckhuysb., (2019). Worldwide decline of the entomofauna\_ A review of its drivers. Elsevier Enhanced Reader |. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2019.01.020>
- GeoGR AG. (2020). Direktzahlungsvollzug. Abgerufen 30. November 2020, von [https://geogr.mapplus.ch/shop/prod\\_lw\\_dzv](https://geogr.mapplus.ch/shop/prod_lw_dzv)
- Gossner, M. M., Falck, K., & Weisser, W. W. (2019). Effects of management on ambrosia beetles and their antagonists in European beech forests. *Forest Ecology and Management*, 437, 126–133. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.034>
- Greenpeace. (2019). Pestizide in der Schweizer Luft. Abgerufen von [https://www.greenpeace.ch/static/planet4-switzerland-stateless/2020/11/40588670-pestizide\\_de\\_web\\_05\\_11\\_20.pdf](https://www.greenpeace.ch/static/planet4-switzerland-stateless/2020/11/40588670-pestizide_de_web_05_11_20.pdf)
- Grevé, M. E., Hager, J., Weisser, W. W., Schall, P., Gossner, M. M., & Feldhaar, H. (2018). Effect of forest management on temperate ant communities. *Ecosphere*, 9(6), e02303. <http://doi.org/10.1002/ecs2.2303>

- Grubisic, M., Grunsven, R. H. A. van, Kyba, C. C. M., Manfrin, A., & Hölker, F. (2018). Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology*, 173(2), 180–189. <http://doi.org/10.1111/aab.12440>
- Haddad, N. M., Haarstad, J., & Tilman, D. (2000). The effects of long-term nitrogen loading on grassland insect communities. *Oecologia*, 124(1), 73–84. <http://doi.org/10.1007/s004420050026>
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, E., Siepel, H., Hofland, N., Schwan, H., u. a. (2017). More than 75 per cent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLOS ONE*, 12(10), e0185809. <http://doi.org/10.1371/journal.pone.0185809>
- Hart, J. D., Milsom, T. P., Fisher, G., Wilkins, V., Moreby, S. J., Murray, A. W. A., u. a. (2006). The relationship between yellowhammer breeding performance, arthropod abundance and insecticide applications on arable farmland: Insecticides, arthropods and yellowhammer productivity. *Journal of Applied Ecology*, 43(1), 81–91. <http://doi.org/10.1111/j.1365-2664.2005.01103.x>
- Hintermann und Weber. (2019). LANAG\_Faktenblatt\_2019. Kanton Aargau. Abgerufen von [https://www.ag.ch/media/kanton\\_aargau/bvu/dokumente\\_2/umwelt\\_\\_natur\\_\\_landschaft/naturschutz\\_1/arten\\_und\\_lebensraeume/erfolgskontrolle\\_und\\_dauerbeobachtung/LANAG\\_Faktenblatt\\_2019\\_def1\\_20200424.pdf](https://www.ag.ch/media/kanton_aargau/bvu/dokumente_2/umwelt__natur__landschaft/naturschutz_1/arten_und_lebensraeume/erfolgskontrolle_und_dauerbeobachtung/LANAG_Faktenblatt_2019_def1_20200424.pdf)
- Humbert, J.-Y., Buri, P., Unternährer, D., & Arlettaz, R. (2018). Alternative Mähregimes zur Förderung der Artenvielfalt von Wiesen. *Agrarforschung Schweiz*, 8.
- Humbert, J.-Y., Richner, N., Sauter, J., Walter, T., & Jaboury, G. (2010). Wiesen-Ernteprozesse und ihre Wirkung auf die Fauna (No. 724). Agroscope Reckenholz-Tänikon Research Station ART, Swiss Centre for Life Cycle Inventories.
- Jansson, R. K., Leibee, G. L., Sanchez, C. A., & Lecrone, S. H. (1991). Effects of nitrogen and foliar biomass on population parameters of cabbage insects. *Entomologia Experimentalis et Applicata*, 61(1), 7–16. <http://doi.org/10.1111/j.1570-7458.1991.tb02390.x>
- Klink, R. van, Bowler, D. E., Gongalsky, K. B., Swengel, A. B., Gentile, A., & Chase, J. M. (2020). Meta-analysis reveals declines in terrestrial but increases in freshwater insect abundances. *Science*, 368(6489), 417–420. <http://doi.org/10.1126/science.aax9931>
- Knop, E., Zoller, L., Ryser, R., Gerpe, C., Hörler, M., & Fontaine, C. (2017). Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature*, 548(7666), 206–209. <http://doi.org/10.1038/nature23288>
- Konferenz der Kantonalen Geoinformationsstellen. (2020). Datenbezug: Landw. Bewirtschaftung: Biodiversitätsförderflächen, Qualitätsstufe II und Vernetzung. Abgerufen 30. November 2020, von [https://www.geodienste.ch/downloads/lwb\\_biodiversitaetsfoerderflaechen](https://www.geodienste.ch/downloads/lwb_biodiversitaetsfoerderflaechen)
- Langevelde, F., Braamburg-Annegarn, M., Huigens, M. E., Groendijk, R., Poitevin, O., Deijk, J. R., u. a. (2018). Declines in moth populations stress the need for conserving dark nights. *Global Change Biology*, 24(3), 925–932. <http://doi.org/10.1111/gcb.14008>
- Leidinger, J., Seibold, S., Weisser, W. W., Lange, M., Schall, P., Türke, M., u. a. (2019). Effects of forest management on herbivorous insects in temperate Europe. *Forest Ecology and Management*, 437, 232–245. <http://doi.org/10.1016/j.foreco.2019.01.013>
- Lichtenberg, E. M., Kennedy, C. M., Kremen, C., Batáry, P., Berendse, F., Bommarco, R., u. a. (2017). A global synthesis of the effects of diversified farming systems on arthropod diversity within fields and across agricultural landscapes. *Global Change Biology*, 23(11), 4946–4957. <http://doi.org/10.1111/gcb.13714>

- Martin, A. E., Graham, S. L., Henry, M., Pervin, E., & Fahrig, L. (2018). Flying insect abundance declines with increasing road traffic. *Insect Conservation and Diversity*, 11(6), 608–613. <http://doi.org/10.1111/icad.12300>
- Martin, E. A., Dainese, M., Clough, Y., Báldi, A., Bommarco, R., Gagic, V., u. a. (2019). The interplay of landscape composition and configuration: new pathways to manage functional biodiversity and agroecosystem services across Europe. *Ecology Letters*. <http://doi.org/10.1111/ele.13265>
- Meyer, S., Unternährer, D., Arlettaz, R., Humbert, J.-Y., & Menz, M. H. M. (2017). Promoting diverse communities of wild bees and hoverflies requires a landscape approach to managing meadows. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 239, 376–384. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2017.01.037>
- Nöthiger-Koch, U., & Schmill, J. (o. J.). Biodiversitätsmonitoring Schweiz BDM, 106.
- Schnabler, A. (2017). Tübinger Straße 15 70178 Stuttgart. . . September, 99.
- Seibold, S., Gossner, M. M., Simons, N. K., Blüthgen, N., Müller, J., Ambarlı, D., u. a. (2019). Arthropod decline in grasslands and forests is associated with landscape-level drivers. *Nature*, 574(7780), 671–674. <http://doi.org/10.1038/s41586-019-1684-3>
- Simons, N. K., & Weisser, W. W. (2017). Agricultural intensification without biodiversity loss is possible in grassland landscapes. *Nature Ecology & Evolution*, 1(8), 1136–1145. <http://doi.org/10.1038/s41559-017-0227-2>
- Sordello, R. (2017). POLLUTION LUMINEUSE : LONGUEURS D'ONDES IMPACTANTES POUR LA BIODIVERSITE, Exploitation de la synthèse bibliographique de Musters et al. (2009) (No. 2017–117). UMS 2006 Patrimoine naturel AFB-CNRS-MNHN.
- Sponsler, D. B., Grozinger, C. M., Hitaj, C., Rundlöf, M., Botías, C., Code, A., u. a. (2019). Pesticides and pollinators: A socioecological synthesis. *Science of The Total Environment*, 662, 1012–1027. <http://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2019.01.016>
- Spycher, S., Teichler, R., Vonwyl, E., Longrée, P., Stamm, C., Singer, H., u. a. (2019). ANHALTEND HOHE PSM- BELASTUNG IN BÄCHEN. *AQUA & GAS*, No 4(4), 12.
- Swisstopo. (2020, Oktober 16). swissBOUNDARIES3D Landesgrenzen. Abgerufen 16. Oktober 2020, von [https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full\\_view/c5bd42e6-033f-4d43-a398-320b42538798](https://www.geocat.ch/geonetwork/srv/ger/md.viewer#/full_view/c5bd42e6-033f-4d43-a398-320b42538798)
- UmweltInstitut München eV. (o. J.). Vom Winde verweht Messung von Pestiziden in der Luft im Vinschgau 2018.
- Verein Schmetterlingsförderung im Kanton Zürich. (2012). Bericht Tagfalterinventar 2011\_2012.pdf. Zürich: Kanton Zürich. Abgerufen von [http://www.xn--schmetterlingsfrderung-8hc.ch/images/stories/inventar/Bericht%20Tagfalterinventar%202011\\_2012.pdf](http://www.xn--schmetterlingsfrderung-8hc.ch/images/stories/inventar/Bericht%20Tagfalterinventar%202011_2012.pdf)
- Zingg, S., Grenz, J., & Humbert, J.-Y. (2018). Landscape-scale effects of land use intensity on birds and butterflies. *Agriculture, Ecosystems & Environment*, 267, 119–128. <http://doi.org/10.1016/j.agee.2018.08.014>
- Zingg, S., Ritschard, E., Arlettaz, R., & Humbert, J.-Y. (2019). Increasing the proportion and quality of land under agri-environment schemes promotes birds and butterflies at the landscape scale. *Biological Conservation*, 231, 39–48. <http://doi.org/10.1016/j.biocon.2018.12.022>

# Anhang

## A1 Auszug Fuzzy Modellierung

### 1 Fuzzy System

#### .1 System Structure

The system structure identifies the fuzzy logic inference flow from the input variables to the output variables. The fuzzification in the input interfaces translates analog inputs into fuzzy values. The fuzzy inference takes place in rule blocks which contain the linguistic control rules. The output of these rule blocks are linguistic variables. The defuzzification in the output interfaces translates them into analog variables.

The following figure shows the whole structure of this fuzzy system including input interfaces, rule blocks and output interfaces. The connecting lines symbolize the data flow.

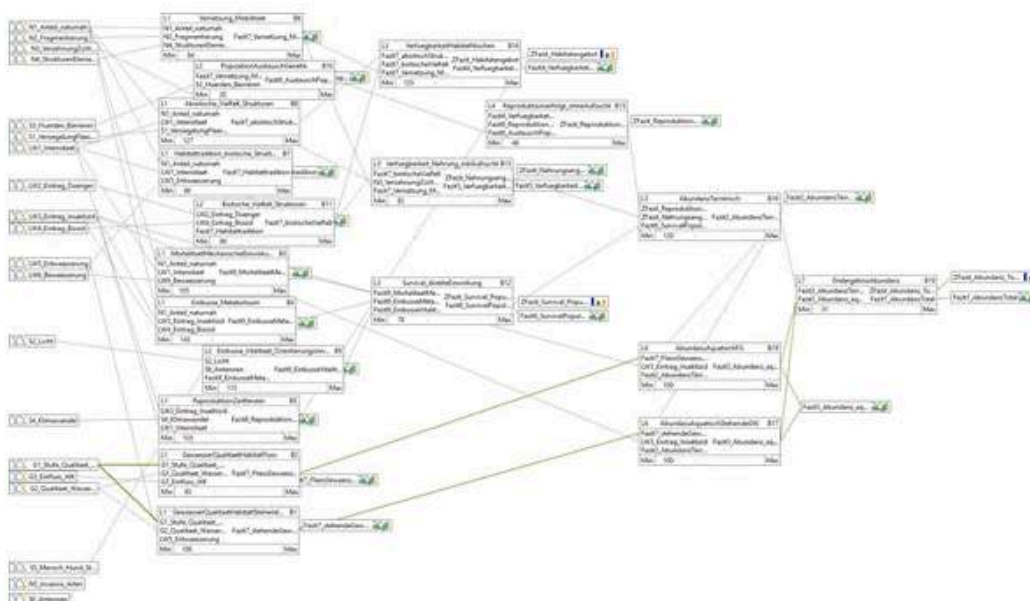


Figure 1: Structure of the Fuzzy Logic System

Fi

## 4.2 Variables

This chapter contains the definition of all linguistic variables and of all membership functions. Linguistic variables are used to translate real values into linguistic values. The possible values of a linguistic variable are not numbers but so called 'linguistic terms'.

The following tables list all variables of the system as well as the respective fuzzification or defuzzification method. Also the properties of all base variables and the term names are listed.

### .1 Inputs

#	Variable Name	Type	Unit	Min	Max	Default
1	G1_Stufe_Qualitaet_Gewaesser	XXX		-0.1	1.1	0
2	G2_Qualitaet_Wasser_02_T	XXX		-0.125	1.125	0
3	G3_Einfluss_WK	XXX		-0.125	1.125	0
4	LW1_Intensitaet	XXX		-0.1	1.1	0
5	LW2_Eintrag_Duenger	XXX		0	1	0
6	LW3_Eintrag_Insektizid	XXX		-0.1	1.1	0
7	LW4_Eintrag_Biozid	XXX		-0.125	1	0
8	LW5_Entwaesserung	XXX		-0.125	1	0
9	LW6_Bewaesserung	XXX		0	1	0
10	N1_Anteil_naturnah	XXX	Prozent	-0.1	1.1	0
11	N2_Fragmentierung	XXX	AusmassZerstueckelung	-0.125	1.125	0
12	N3_VerzahnungZuWaldWiese	XXX	IndexInProzent	-0.125	1.125	0
13	N4_StrukturenElemente	XXX	Index	-0.125	1.125	0
14	N5_Invasive_Arten	XXX	Index	-0.2	1.2	0
15	S1_VersiegelungFlaeche	XXX		0	1	0
16	S2_Licht	XXX		-0.125	20	0
17	S3_Huerden_Barrieren	XXX		-0.125	1	0
18	S4_Klimawandel	XXX		-0.125	1	0
19	S5_Mensch_Hund_Stoeren	XXX		0	1	0
20	S6_Antennen	XXX		-0.125	1	0

Table 1: Variables of Group "Inputs"

Fuzzification Methods

XXX Compute MBF

## .2 Outputs

#	Variable Name	Type	Unit	Min	Max	Default
21	Fazit1_AbundanzTotal			-0.1	1.1	0
22	Fazit2_AbundanzTerrestrisch			-0.1	1.1	0
23	Fazit3_Abundanz_aquatisch			-0.1	1.1	0
24	Fazit4_Verfuegbarket_Nischen			-0.1	1.1	0
25	Fazit5_Verfuegbarkeit_Nahrung			-0.1	1.1	0
26	Fazit6_SurvivalPopulation			-0.1	1.1	0
27	Fazit7_abiotischStrukturvielfalt			-0.125	1.125	0
28	Fazit7_biotischeVielfalt			-0.1	1.1	0
29	Fazit7_FliessGewaesserHabitat			-0.1	1.1	0
30	Fazit7_Habitattradition			-0.125	1.125	0
31	Fazit7_stehendeGewaesserHabitat			-0.125	1.125	0
32	Fazit7_Vernetzung_Mobilitaet			-0.125	1.125	0
33	Fazit8_AustauschPopulationGenetik			-0.1	1.1	0
34	Fazit8_ReproduktionZeitfenster			-0.255	1.255	0
35	Fazit9_EinbusseMetabolismus			-0.1275	1.1275	0
36	Fazit9_EinbusseVitalitaet			-0.125	1.125	0
37	Fazit9_MortalitaetMechanisch			-0.125	1.125	0
38	ZFazit_Abundanz_Total		-	-	-	-
39	ZFazit_Habitatangebot		-	-	-	-
40	ZFazit_Nahrungsangebot			0	1	0
41	ZFazit_Reproduktionsrate			0	1	0
42	ZFazit_Survival_Populationen		-	-	-	-

Table 2: Variables of Group "Outputs"

### Defuzzification Methods

Fast CoA

Fuzzy Output

The default value of an output variable is used if no rule is firing for this variable. Different methods can be used for the defuzzification, resulting either in to the 'most plausible result' or the 'best compromise'.

The 'best compromise' is produced by the methods:

- CoM (Center of Maximum)
- CoA (Center of Area)
- CoA BSUM, a version especially for efficient VLSI implementations

The 'most plausible result' is produced by the methods:

- MoM (Mean of Maximum)
- Categorical MoM (Categorical Mean of Maximum)
- MoM BSUM, a version especially for efficient VLSI implementations