

Disparition des insectes en Suisse et conséquences éventuelles pour la société et l'économie

Berne, le 2 avril 2019

Le recul des insectes observé à grande échelle au cours des dernières décennies fait l'objet d'une large documentation scientifique. Les Listes rouges nationales révèlent qu'en Suisse aussi, une grande partie des espèces d'insectes sont en danger. La situation est particulièrement dramatique pour les insectes des zones agricoles et des milieux aquatiques. Les principales causes de ce déclin sont connues : l'exploitation intensive du sol avec l'emploi massif de pesticides et d'engrais, l'absence de structures dans le paysage, le développement du tissu urbain et des infrastructures ainsi que la pollution lumineuse. La disparition des insectes est préoccupante, car elle révèle des préjudices graves portés à l'environnement. Les insectes fournissent des services irremplaçables, ne serait-ce que par la pollinisation et le contrôle des nuisibles. Leur recul compromet également le maintien de ces services. De plus, ce recul produit des effets en cascade, tels que la diminution des populations d'oiseaux insectivores dans les zones agricoles, par exemple. Pour enrayer la disparition des insectes et réduire dans la mesure du possible les risques qui en découlent, il est indispensable de remédier rapidement aux causes connues du phénomène.

Au cours des dernières décennies, des régressions à grande échelle de populations d'insectes et de leur diversité ont été scientifiquement documentées. Le Conseil mondial pour la biodiversité IPBES¹ a abouti à la conclusion que tant la diversité que l'abondance des pollinisateurs ont décliné dans le Nord-Ouest de l'Europe. Les Listes rouges nationales montrent que, sur beaucoup de sites, plus de 40% des espèces sont en péril.¹ Une étude allemande menée sur le long terme, qui a eu un retentissement mondial, a mis en évidence que la biomasse des insectes avait accusé une baisse dramatique de 76% depuis 1989, et ceci dans des zones de protection de la nature.² Les zones protégées étudiées sont entourées de surfaces agricoles, une situation comparable à celle que l'on trouve sur le Plateau suisse. En Angleterre, un recul à large échelle a été observé chez des insectes essentiels à la pollinisation : chez un tiers des espèces étudiées, les effectifs ont diminué durant la période 1980–2013³.

La situation est également alarmante en Suisse. Les Listes rouges nationales évaluent le degré de menace pesant sur 1143 espèces d'insectes : 60% de ces espèces sont en danger ou potentiellement en danger (fig. 1). Hormis le besoin de compléter les connaissances lacunaires à propos de divers groupes d'insectes et de leur écologie ainsi que leur surveillance, il est désormais particulièrement urgent d'agir : il faut s'attaquer sans délai aux causes de la mise en péril des insectes.

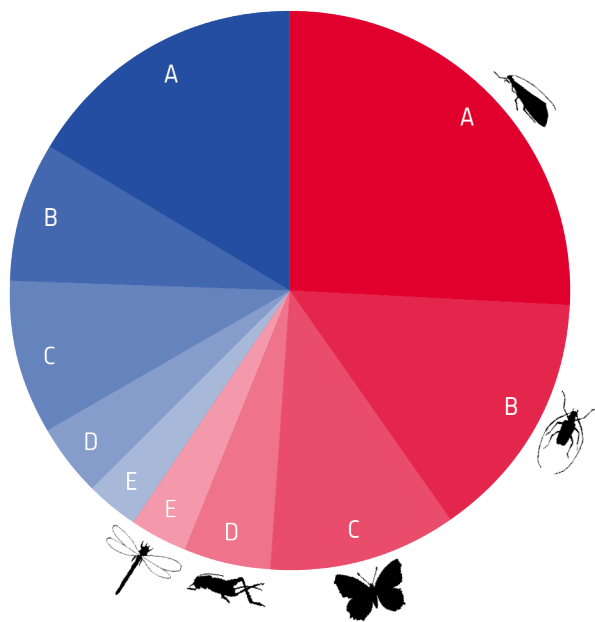


Figure 1. De nombreux insectes de Suisse sont menacés et figurent sur la Liste rouge des espèces en danger : 60% des espèces d'insectes évaluées sont menacées ou potentiellement menacées (682 espèces du groupe d'insectes A-E ; zones rouges), 40% ne sont pas en danger (461 espèces du groupe d'insectes A-E ; zones bleues). Les listes rouges existent pour les groupes d'insectes suivants :

- A** Éphémères, plécoptères et trichoptères.⁴ Ces insectes aquatiques sont des indicateurs de la qualité des eaux et sont notamment affectés par les apports de pesticides.
- B** Coléoptères xylobiontes.⁵ Ils fournissent une contribution importante au bon fonctionnement des écosystèmes forestiers et ont besoin de grandes quantités de bois mort et de vieux bois.
- C** Papillons diurnes et zygène.⁶ Bon nombre de ces papillons sont des pollinisateurs importants. Leur déclin est imputable à la perte d'habitats et à l'utilisation intensive du sol.
- D** Orthoptères.⁷ Leur déclin est également provoqué par la perte d'habitats et l'exploitation intensive du sol.
- E** Libellules.⁸ Elles sont considérées comme des indicateurs de la qualité des eaux et des zones humides. Le drainage, l'aménagement de petits milieux aquatiques et l'apport de fertilisants sont la cause de leur déclin.

Causes de la régression des insectes

Les causes de la régression des insectes sont connues :⁹ leurs habitats ont été et continuent d'être détruits, isolés les uns des autres ou endommagés. Ce phénomène est particulièrement marqué dans les régions vouées à une agriculture intensive. La diversité et la fréquence des insectes aussi bien terrestres qu'aquatiques y diminue.¹⁰⁻¹²

a) Destruction et fragmentation des habitats

Les insectes sont tributaires d'un paysage varié, doté de multiples structures, de milieux proches de la nature et de surfaces dotées d'une écologie intacte. Beaucoup d'espèces d'insectes de Suisse ont perdu leurs habitats au cours des dernières décennies et continuent de les perdre (régression de 95% des prés et pâturages secs depuis 1900, par exemple)¹³. Et ce dans la mesure où **le paysage est plus intensivement exploité** (agriculture, milieu bâti, transports p.ex.) et où **les structures ont été supprimées** presque intégralement (arbres isolés, haies, tas de pierres, zones rudérales etc.).¹⁴ Sur le Plateau suisse, les milieux propices aux insectes se sont raréfiés et sont souvent trop éloignés les uns des autres pour permettre les échanges d'individus (échanges génétiques).

La mise sous terre et la canalisation de cours d'eau ainsi que **les pesticides** ont détruit ou massivement endommagé de nombreux habitats d'insectes aquatiques.

b) Dégradation de la qualité des milieux

Les insecticides à large spectre (p. ex. néonicotinoides, chlorpyrifos, pyréthroides) et **les pesticides en général**, largement utilisés dans l'agriculture et, plus ponctuelles, dans les jardins privés et dans l'entretien des espaces verts, tuent non seulement les organismes ciblés, mais aussi d'organismes utiles (pollinisateurs, ennemis naturels des nuisibles).¹⁵⁻¹⁷ L'emploi excessif d'insecticides et d'autres pesticides est considéré comme une cause importante du recul des insectes.^{9,18} Des études menées en Suisse et ailleurs dans le monde ont montré que les insecticides étaient présents presque partout dans l'environnement et qu'ils s'accumulaient aussi chez les vertébrés.¹⁹⁻²¹

L'**apport d'azote**, élevé à l'échelle nationale, provenant en particulier de l'agriculture ainsi que de l'oxyde d'azote des véhicules à moteur et des chauffages, a pour effet que la végétation connaît partout une croissance plus dense, que les communautés végétales deviennent de plus en plus uniforme et que la diversité diminue. En raison des excès de nutriments, les mêmes plantes adaptées aux sols riches en nutriments poussent de plus en plus partout.²² Il en résulte aussi une diminution de la diversité des insectes.²³⁻²⁷ Cette **influence négative va bien au-delà de la surface agricole utile** et porte également préjudice aux forêts, aux eaux et aux milieux alpins.²⁸⁻³¹ De plus, sur les prairies de fauche, beaucoup d'insectes sont victimes de la large synchronisation **des dates, des intervalles et des techniques de fauche**, ainsi que **du traitement et du stockage (balles d'ensilage) de l'herbe fauchée** (selon la technique de fauche, jusqu'à 80% des insectes sont tués ou blessés)³². **Les microstructures sont nettoyées**, aujourd'hui de plus en plus au moyen de **fraises rotatives ou de gyrobroyeurs**.

En milieu urbain, la **pollution lumineuse** contribue également au recul des insectes.³³⁻³⁷ Beaucoup d'espaces verts, bords de routes, de jardins privés font l'objet d'un entretien excessif, de sorte que les insectes n'y trouvent pratiquement plus d'habitats.

Les habitats des insectes aquatiques sont également sous pression : canalisation et aménagement des rives et des lits des cours d'eau ainsi que **régimes non naturels** (éclusées). S'y ajoutent des **pollutions** provenant de sources diffuses. À cet égard, l'agriculture joue un rôle principal (le milieu urbain et les transports, un rôle secondaire).³⁸ **Les produits phytosanitaires** (insecticides, herbicides et fongicides) ainsi que les biocides parviennent dans les eaux et mettent en danger les insectes aquatiques de même que les oiseaux et poissons insectivores qui en dépendent³⁹⁻⁴¹ (fig. 2).

Tous les facteurs énumérés – souvent dans des combinaisons variées^{42,43} et dans une intensité variable selon la région – réduisent l'abondance et la diversité des insectes en Suisse.

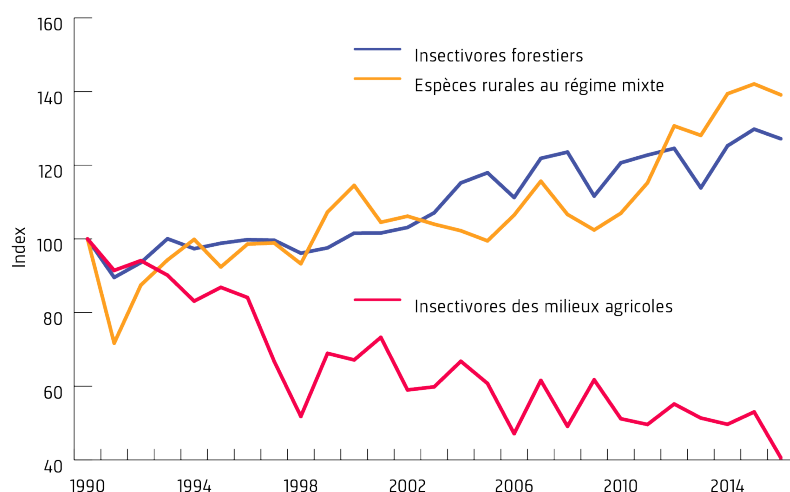


Figure 2. Les oiseaux insectivores des milieux agricoles comme le tarier des prés (au-dessus) ont trop peu à manger. Leurs effectifs ont régressé de 60% depuis 1990 (ligne rouge). Les populations d'oiseaux insectivores forestiers (ligne bleue) ainsi que les espèces rurales au régime mixte (ligne jaune) ont progressé en revanche. Adapté d'après l'Atlas des oiseaux nicheurs 2013-2016.⁴⁴

Photo : © Marcel Burkhardt

Conséquences de la disparition des insectes

Parmi tous les groupes d'organismes, ce sont les insectes qui ont développé la plus grande diversité de formes et d'espèces – une richesse naturelle fantastique qui suscite l'étonnement et le respect. Cette diversité mérite en soi d'être protégée. On sait aussi toutefois depuis longtemps que les insectes ont des services innombrables, souvent irremplaçables.⁴⁵ Leur déclin peut donc avoir des conséquences graves pour la société et l'économie. Par exemple :

- **Diminution de la pollinisation** : Pour beaucoup de plantes utiles, la pollinisation par les insectes est une condition *sine qua non* de leur productivité et de leur qualité. Plus les communautés pollinisatrices sont variées, plus la stabilité, la quantité et la qualité de la pollinisation sera élevée, et donc aussi la production de fruits et de graines.⁴⁶ Avec une réduction de la diversité et de la quantité d'insectes pollinisateurs, la quantité et la qualité des fruits et des légumes diminuent.⁴⁷⁻⁴⁹
- **Surcroît d'organismes nuisibles potentiellement envahissants** : Les espèces nuisibles sont souvent plus tolérantes que leurs antagonistes face à des influences environnementales négatives. La disparition d'espèces d'insectes libère des niches écologiques et la régulation naturelle des nuisibles décroît⁵⁰ (fig. 3), ce qui réduit également la stabilité (résilience) des écosystèmes.^{51,52}
- **Réduction du recyclage de la matière organique, de la fertilité du sol et de la formation d'humus** : Les microbes, les insectes et autres invertébrés jouent un rôle déterminant pour le recyclage de la matière organique (bois, feuilles, déjections, cadavres), la fertilité du sol et la formation d'humus. Ils améliorent l'absorption d'eau et de nutriments. Avec une réduction de la diversité et de l'abondance des insectes, la fertilité et le rendement du sol diminueront à long terme.⁵³⁻⁵⁶
- **Diminution de la base alimentaire des oiseaux, des poissons et d'autres groupes d'organismes** : Les insectes servent de base alimentaire à de nombreux êtres vivants. Si l'abondance et la diversité des insectes diminuent, de nombreux autres organismes de la chaîne alimentaire diminueront également.⁵⁷⁻⁵⁹

Conclusion

Les effectifs et la diversité des insectes de Suisse et d'autres régions d'Europe centrale sont en forte régression. Les espèces les plus touchées sont les insectes des zones agricoles, suivies par les espèces aquatiques. Les insectes sylvicoles sont moins affectés. Le déclin des insectes est préjudiciable à la robustesse des écosystèmes et à leur utilité pour l'être humain, par exemple à la pollinisation des plantes utiles. Les changements subis par la chaîne alimentaire se manifestent déjà. Les causes de la disparition des insectes sont en grande partie connues. Il importe de compléter, dans la mesure du possible, les connaissances là où elles sont insuffisantes. Pour enrayer la disparition des insectes et limiter autant que possible les risques qui y sont liés, il est désormais urgent de s'attaquer aux causes connues de ce phénomène.



Figure 3. Les insectes remplissent des fonctions vitales dans les écosystèmes. Ils contrôlent par exemple les espèces nuisibles et pollinisent des plantes utiles et sauvages. Les petites bêtes blanches (image de gauche) sont des larves de coccinelles (*Scymnus* sp.). Elles se nourrissent des espèces nuisibles comme p. ex. des acariens, des cochenilles, des aleurodes et des pucerons, comme montré ici. Les ichneumonidés (image de milieu ; *Coeloides* sp.) luttent contre les nuisibles dans la forêt. Ici, une femelle a planté son dard (ovipositeur) pour déposer un œuf dans une larve de scolytes qui mange le bois. De nombreux insectes, tels que les papillons, les abeilles sauvages, dont le bourdon sur l'image de droite (*Bombus sylvarum*), certains scarabées, les syrphes et beaucoup d'autres sont irremplaçables pour la pollinisation des plantes utiles et sauvages. Le rendement et la qualité de plus de 75% des principales plantes cultivées de notre planète dépendent au moins en partie des insectes.¹ Photos : Ivar Leidus (à droite) et Albert Krebs.

Édition

Académie suisse des sciences naturelles, Forum Biodiversité, Laupenstrasse 7, case postale, 3001 Berne

Experts

Florian Altermatt, professeur d'écologie aquatique, Université de Zurich et Eawag, président du Forum Biodiversité Suisse

Bruno Baur, professeur de biologie de la conservation, Université de Bâle, membre du curatorium du Forum Biodiversité Suisse

Yves Gonseth, responsable d'infofauna – Centre Suisse pour la cartographie de la faune (CSCF), membre du conseil scientifique du Forum Biodiversité Suisse

Eva Knop, Université de Berne, membre du conseil scientifique du Forum Biodiversité Suisse

Edward Mitchell, professeur de biodiversité du sol, Université de Neuchâtel, membre du conseil scientifique du Forum Biodiversité Suisse

Gilberto Pasinelli, vice-directeur scientifique de la Station ornithologique suisse de Sempach, membre du conseil scientifique du Forum Biodiversité Suisse

Daniela Pauli, directrice du Forum Biodiversité Suisse, Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT)

Loïc Pellisier, professeur d'écologie du paysage, EPF Zurich et WSL, membre du conseil scientifique du Forum Biodiversité Suisse

Rédaction

Ivo Widmer, collaborateur scientifique du Forum Biodiversité Suisse, Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT).

Contact

Florian Altermatt, président du Forum Biodiversité Suisse, 058 765 55 92, florian.altermatt@ieu.uzh.ch

Daniela Pauli, directrice du Forum Biodiversité Suisse, 031 306 93 40, daniela.pauli@scnat.ch

Proposition de citation

Académies suisses des sciences (2019) Disparition des insectes en Suisse et conséquences éventuelles pour la société et l'économie.

SCNAT – un savoir en réseau au service de la société

Forte de ses 35 000 expertes et experts, l'Académie suisse des sciences naturelles (SCNAT) s'engage à l'échelle régionale, nationale et internationale pour l'avenir de la science et de la société. Elle renforce la prise de conscience à l'égard des sciences naturelles afin que celles-ci deviennent un pilier central de notre développement culturel et économique. Sa large implantation dans le milieu scientifique en fait un partenaire représentatif pour la politique. La SCNAT œuvre à la mise en réseau des sciences, met son expertise à disposition, encourage le dialogue entre la science et la société, identifie et évalue les progrès scientifiques de manière à construire et à renforcer les bases de travail de la prochaine génération de chercheuses et de chercheurs. Elle fait partie des Académies suisses des sciences. Le Forum Biodiversité Suisse est le centre de compétence scientifique de la SCNAT pour la biodiversité en Suisse.

Bibliographie

1. IPBES. *The assessment report of the intergovernmental science-policy platform on biodiversity and ecosystem services on pollinators, pollination and food production*. (2016).
2. Hallmann, C. A. et al. More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. *PLoS One* **12**, (2017).
3. Powney, G. D. et al. Widespread losses of pollinating insects in Britain. *Nat. Commun.* **2019** **10**, 1018 (2019).
4. Lubini V., Knispel S., Sartori M., Vicentini H., W. A. Rote Listen Eintagsfliegen, Steinfliegen, Köcherfliegen. *Umwelt-Vollzug* **111** (2012).
5. Monnerat, C., Barbalat, S., Lachat, T. & Gonseth, Y. *Rote Liste der Prachtkäfer, Bockkäfer, Rosenkäfer und Schröter. Gefährdete Arten der Schweiz. Umwelt-Vollzug Nr. 1622* (2016).
6. Wermeille, E., Chittaro, Y. & Gonseth, Y. *Rote Liste Tagfalter und Widderchen. Gefährdete Arten der Schweiz, Stand 2012. Umwelt-Vollzug Nr. 1403* (2014).
7. Monnerat, C., Thorens, P., Walter, T. & Gonseth, Y. *Rote Liste der Heuschrecken der Schweiz. Umwelt-Vollzug 0719* (2007).
8. Gonseth, Y. & Monnerat, S. *Rote Liste der gefährdeten Libellen der Schweiz. Hrsg. BUWAL-Reihe Vollzug Umwelt*. (2002).
9. Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K. A. G. Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biol. Conserv.* **232**, 8–27 (2019).
10. Bernhardt, E. S., Rosi, E. J. & Gessner, M. O. Synthetic chemicals as agents of global change. *Front. Ecol. Environ.* **15**, 84–90 (2017).
11. Beketov, M. A., Kefford, B. J., Schäfer, R. B. & Liess, M. Pesticides reduce regional biodiversity of stream invertebrates. *Proc. Natl. Acad. Sci.* **110**, 11039–11043 (2013).
12. Ochsenbein, U., Berset, J., Scheiwiller, E. & Guthruf, K. Mikroverunreinigungen in Aaretalgewässern. Ein Risiko? *Aqua Gas* **11**, 68–79 (2012).
13. Lachat, T. et al. *Wandel der Biodiversität in der Schweiz seit 1900. Ist die Talsohle erreicht?* (Haupt, 2010).
14. Fischer, M. *Zustand der Biodiversität in der Schweiz 2014. Hrsg.: Forum Biodiversität Schweiz et al.* (2015).
15. Stanley, J. & Preetha, G. *Pesticide toxicity to non-target organisms: Exposure, toxicity and risk assessment methodologies. Pesticide Toxicity to Non-target Organisms: Exposure, Toxicity and Risk Assessment Methodologies* (2016).
16. van der Sluijs, J. P. et al. Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. *Environ. Sci. Pollut. Res.* **22**, 148–154 (2015).
17. Moschet, C., Vermeirssen, E. L. M., Seiz, R., Pfefferli, H. & Hollender, J. Picogram per liter detections of pyrethroids and organophosphates in surface waters using passive sampling. *Water Res.* **66**, 411–422 (2014).
18. Sánchez-Bayo, F., van den Brink, P. J. & Mann, R. M. *Ecological Impacts of Toxic Chemicals. Ecological Impacts of Toxic Chemicals* (2011).
19. Humann-Guilleminot, S. et al. A large-scale survey of house sparrows feathers reveals ubiquitous presence of neonicotinoids in farmlands. *Sci. Total Environ.* **660**, 1091–1097 (2019).
20. Munz, N. A., Fu, Q., Stamm, C. & Hollender, J. Internal Concentrations in Gammarids Reveal Increased Risk of Organic Micropollutants in Wastewater-Impacted Streams. *Environ. Sci. Technol.* (2018).
21. Mitchell, E. A. D. et al. A worldwide survey of neonicotinoids in honey. *Science* **358**, 109–111 (2017).
22. Gossner, M. M. et al. Land-use intensification causes multitrophic homogenization of grassland communities. *Nature* **540**, 266–269 (2016).
23. Schuldt, A. et al. Multiple plant diversity components drive consumer communities across ecosystems. *Nat. Commun.* **10**, 1460 (2019).
24. Nijssen, M. E., WallisDeVries, M. F. & Siepel, H. Pathways for the effects of increased nitrogen deposition on fauna. *Biol. Conserv.* **212**, 423–431 (2017).
25. Kunz, W. *Species conservation in managed habitats: The myth of a pristine nature*. (John Wiley & Sons, 2016).
26. Lethmate, J. Ein globales Eutrophierungsexperiment: Stickstoff-Regen. *Biol. unserer Zeit* **35**, 108–117 (2005).
27. Öckinger, E., Hammarstedt, O., Nilsson, S. G. & Smith, H. G. The relationship between local extinctions of grassland butterflies and increased soil nitrogen levels. *Biol. Conserv.* **128**, 564–573 (2006).
28. Stevens, C. J., David, T. I. & Storkey, J. Atmospheric nitrogen deposition in terrestrial ecosystems: Its impact on plant communities and consequences across trophic levels. *Funct. Ecol.* **32**, 1757–1769 (2018).
29. van der Linde, S. et al. Environment and host as large-scale controls of ectomycorrhizal fungi. *Nature* **558**, 243–248 (2018).
30. Gove, B., Power, S. A., Buckley, G. P. & Ghazoul, J. Effects of herbicide spray drift and fertilizer overspread on selected species of woodland ground flora: Comparison between short-term and long-term impact assessments and field surveys. *J. Appl. Ecol.* **44**, 374–384 (2007).

31. Hiltbrunner, E., Schwikowski, M. & Körner, C. Inorganic nitrogen storage in alpine snow pack in the Central Alps (Switzerland). *Atmos. Environ.* **39**, 2249–2259 (2005).
32. Humbert, J. Y., Ghazoul, J. & Walter, T. Meadow harvesting techniques and their impacts on field fauna. *Agric. Ecosyst. Environ.* **130**, 1–8 (2009).
33. Sullivan, S. M. P., Hossler, K. & Meyer, L. A. Artificial lighting at night alters aquatic-riparian invertebrate food webs. *Ecol. Appl.* **29**, (2019).
34. Knop, E. *et al.* Artificial light at night as a new threat to pollination. *Nature* **548**, 206–209 (2017).
35. Gaston, K. J., Bennie, J., Davies, T. W. & Hopkins, J. The ecological impacts of nighttime light pollution: A mechanistic appraisal. *Biol. Rev.* **88**, 912–927 (2013).
36. BAFU (Bundesamt für Umwelt). Auswirkungen von künstlichem Licht auf die Artenvielfalt und den Menschen. Bericht des Bundesrates in Erfüllung des Postulats Moser 09.3285. 1–22 (2012).
37. Hölker, F., Wolter, C., Perkin, E. K. & Tockner, K. Light pollution as a biodiversity threat. *Trends Ecol. Evol.* **25**, 681–682 (2010).
38. Burdon, F. J. *et al.* Agriculture versus wastewater pollution as drivers of macroinvertebrate community structure in streams. *Sci. Total Environ.* **659**, 1256–1265 (2019).
39. Weston, D. P., Schlenk, D., Riar, N., Lydy, M. J. & Brooks, M. L. Effects of pyrethroid insecticides in urban runoff on Chinook salmon, steelhead trout, and their invertebrate prey. *Environ. Toxicol. Chem.* **34**, 649–657 (2015).
40. Hallmann, C. A., Foppen, R. P. B., Van Turnhout, C. A. M., De Kroon, H. & Jongejans, E. Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations. *Nature* **511**, 341–343 (2014).
41. Baxter, C. V., Fausch, K. D. & Saunders, W. C. Tangled webs: Reciprocal flows of invertebrate prey link streams and riparian zones. *Freshw. Biol.* **50**, 201–220 (2005).
42. Fox, R. *et al.* Long-term changes to the frequency of occurrence of British moths are consistent with opposing and synergistic effects of climate and land-use changes. *J. Appl. Ecol.* **51**, 949–957 (2014).
43. Warren, M. *et al.* Rapid responses of British butterflies to opposing forces of climate and habitat change. *Nature* **414**, 65–69 (2001).
44. Knaus, P., S. Antoniazza, S. Wechsler, J. Guélat, M. Kéry, N. Strebel, T. S. *Schweizer Brutvogelatlas 2013–2016: Verbreitung und Bestandesentwicklung der Vögel in der Schweiz und im Fürstentum Liechtenstein. Schweizerische Vogelwarte Sempach*, 2018. (2018).
45. Noriega, J. A. *et al.* Research trends in ecosystem services provided by insects. *Basic Appl. Ecol.* **26**, 8–23 (2017).
46. Akademien der Wissenschaften Schweiz (2014). *Bienen und andere Bestäuber: Bedeutung für Landwirtschaft und Biodiversität. Swiss Academies Factsheets 9 (1)*. (2014).
47. Garibaldi, L. A., Aizen, M. A., Cunningham, S. A., Harder, L. D. & Klein, A. M. Incremental contribution of pollination and other ecosystem services to agricultural productivity. *Pollination Services to Agriculture: Sustaining and Enhancing a Key Ecosystem Service* (2016).
48. Aizen, M. A., Garibaldi, L. A., Cunningham, S. A. & Klein, A. M. How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. *Ann. Bot.* **103**, 1579–1588 (2009).
49. Klein, A.-M. *et al.* Importance of pollinators in changing landscapes for world crops. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **274**, 303–313 (2006).
50. Bommarco, R., Kleijn, D. & Potts, S. G. Ecological intensification: Harnessing ecosystem services for food security. *Trends Ecol. Evol.* **28**, 230–238 (2013).
51. Memmott, J., Waser, N. M. & Price, M. V. Tolerance of pollination networks to species extinctions. *Proc. R. Soc. B Biol. Sci.* **271**, 2605–2611 (2004).
52. Oliver, T. H. *et al.* Biodiversity and Resilience of Ecosystem Functions. *Trends Ecol. Evol.* **30**, 673–684 (2015).
53. Mäder, P. *et al.* Soil fertility and biodiversity in organic farming. *Science* **296**, 1694–1697 (2002).
54. Birkhofer, K. *et al.* Long-term organic farming fosters below and aboveground biota: Implications for soil quality, biological control and productivity. *Soil Biol. Biochem.* **40**, 2297–2308 (2008).
55. Pelosi, C., Barot, S., Capowiez, Y., Hedde, M. & Vandenbulcke, F. Pesticides and earthworms. A review. *Agron. Sustain. Dev.* **34**, 199–228 (2014).
56. Filser, J. *et al.* Soil fauna: Key to new carbon models. *Soil* **2**, 565–582 (2016).
57. Bowler, D. E., Heldbjerg, H., Fox, A. D., Jong, M. & Böhning-Gaese, K. Long-term declines of European insectivorous bird populations and potential causes. *Conserv. Biol.* **cobi.13307** (2019).
58. Hart, J. D. *et al.* The relationship between yellowhammer breeding performance, arthropod abundance and insecticide applications on arable farmland. *J. Appl. Ecol.* **43**, 81–91 (2006).
59. Wickramasinghe, L. P., Harris, S., Jones, G. & Jennings, N. V. Abundance and species richness of nocturnal insects on organic and conventional farms: Effects of agricultural intensification on bat foraging. *Conserv. Biol.* **18**, 1283–1292 (2004).