

# Prognosen zum Insektenschwund und zum Veganismus im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit

Claudia Erbar & Peter Leins

Centre for Organismal Studies (COS) Heidelberg, Universität Heidelberg

**Zusammenfassung** Zahlreiche vergleichende Beobachtungen belegen zweifelsfrei, dass in vielen Gebieten auf unserem Globus ein signifikanter Schwund von Insekten und anderen Gliederfüßern (Arthropoden) sowohl auf der Ebene der Artenzahl als auch der Populationsgröße zu verzeichnen ist. Damit verbunden sind die bekannten katastrophalen Prognosen, sollte der Insekten/Arthropoden-Schwund weiter anhalten oder sich sogar beschleunigen. Neben der Bedeutung der Insekten im schwierig zu überschauenden Netz eines Ökosystems, wird in der vorliegenden Studie vor allem auf die möglichen Ursachen eingegangen und schließlich die Frage aufgeworfen, was die Gesellschaft, die Politik und jeder Einzelne von uns zur Schadensminderung bzw. -vermeidung tun kann. Zu den Verursachern des Insektensterbens gehören vielfach Chemie-Konzerne, die beispielsweise durch teilweise auch für den Menschen gefährliche Zusatzstoffe u. a. das Getreide-Saatgut „versauen“. Als Reaktion setzt man mehr und mehr auf den Biologischen Landbau. Das ist sicherlich von großem Nutzen und könnte in Zukunft all unsere Nahrungsmittel gesünder auf den Markt bringen. Für „über das Ziel hinaus geschossen“ halten die beiden Autoren zwar einen konsequenten Veganismus, aber die Auswirkungen einiger sich aus ihm ergebende Prognosen, soweit sie auf soliden Fakten basieren, zeichnen sich schon heute ab. Zu den positiven Auswirkungen der Prognosen zählen die Einschränkung der Massentierhaltung und damit für die „Omnivoren“ eine Qualitätssteigerung bei der Fleischgewinnung. Die sich ergebenden gesundheitlichen Probleme sowie die Vernachlässigung des nicht zu unterschätzenden Kulturgutes „Speisen“ zählen beim „reinen“ Veganismus zu den negativen Prognosen.

# 1 „Wenn die Biene einmal von der Erde verschwindet, hat der Mensch nur noch vier Jahre zu leben.“

In der medialen Berichterstattung zu dem fast ungebremst stattfindenden Insektenrückgang taucht gerne dieses Albert Einstein zugeschriebene Zitat auf. Es wurde Mitte der 1960er Jahre von Imkern in zwei französischen und einer irischen Zeitschrift „erfunden“ (Abb. 1a), um ihrem Anliegen mehr Nachdruck zu verleihen. Seitdem kursieren die erfundenen Zitate (in verschiedenen Sprachen und Formulierungen) in unzähligen Artikeln (oftmals ergänzt um: „Keine Bienen mehr, keine Bestäubung mehr, keine Pflanzen mehr, keine Tiere mehr, keine Menschen mehr.“ – siehe z. B. BMELV 2011). In den 1960er Jahren war der Physiker Einstein als Koryphäe in der Öffentlichkeit bekannter als der Vater der Blütenökologie, Christian Konrad Sprengel, und auch als Charles Darwin, die in ihren grundlegenden Werken (Abb. 1b) auf die Bedeutung der Insekten für die Bestäubung eingegangen waren.

<p>"Einstein a calculé que si toutes les abeilles du monde étaient exterminées il ne faudrait pas plus de quatre ans à l'homme pour disparaître du globe." Pierre Pascaud, "La Vie des Bêtes et l'Ami des Bêtes" (May 1965)</p> <p>"Et Einstein, le grand Einstein, a calculé que si toutes les abeilles du monde étaient exterminées, il ne faudrait pas plus de quatre ans à l'homme pour disparaître du globe." Alin Caillas, "Abeilles et Fleurs" (June 1965)</p> <p>"Professor Einstein, the learned scientist, once calculated that if all bees disappeared off the earth, four years later all humans would also have disappeared." "The Irish Beekeeper" (1966)</p>	<p>"Der Gewinn an Honig und Wachs ist nicht der Hauptzweck der Bienezucht, sondern nur eine Nebensache, ein bloßes Accidens. Der Hauptzweck ist die Befruchtung der Blumen und die Förderung reicher Ernten." "Der Staat muss ein stehendes Heer von Bienen haben." "Zu den Insekten, welche die Saftblumen besuchen, gehören Fliegen, Schnaken, kleine Käfer, die äußerst kleinen Blasenfüße, Schmetterlinge, Wespen, vornehmlich aber Bienen, von denen die größten Arten Hummeln genannt werden, vor allen andern aber die Honigbienen." Christian Konrad Sprengel, Die Nützlichkeit der Bienen und die Nothwendigkeit der Bienezucht (1811)</p> <p>"Hence I have very little doubt, that if the whole genus of humble-bees became extinct or very rare in England, the heartsease and red clover would become very rare, or wholly disappear." Charles Darwin, On the Origin of Species (1859)</p>
<p><b>a</b></p> <p>"So important are insects and other land-dwelling arthropods that if all were to disappear, humanity probably could not last more than a few months. Most of the amphibians, reptiles, birds, and mammals would crash to extinction about the same time. Next would go the bulk of the flowering plants and with them the physical structure of most forests and other terrestrial habitats of the world. The land surface would literally rot." Edward O. Wilson, "The Diversity of Life" (1992)</p> <p>So wichtig sind Insekten und andere landbewohnende Arthropoden, dass die Menschheit, wenn alle verschwinden würden, nicht länger als ein paar Monate überleben könnte. Die meisten Amphibien, Reptilien, Vögel und Säugetiere würden etwa zur gleichen Zeit aussterben. Als nächstes würde der Großteil der Blütenpflanzen und mit ihnen die physische Struktur der meisten Wälder und anderer terrestrischer Lebensräume der Welt verschwinden. Die Landoberfläche würde buchstäblich verrotten.</p> <p><b>c</b></p>	<p><b>b</b></p>

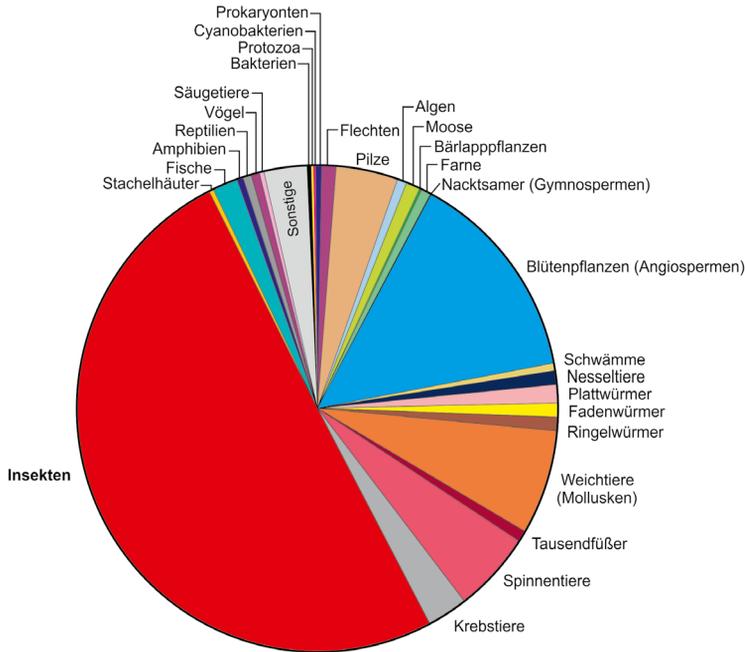
Abbildung 1: Zitate zum Insektenschwund. 1a. Albert Einstein zugeschriebene Zitate (<https://quoteinvestigator.com/2013/08/27/einstein-bees/>), 1b. Zitate von Christian Konrad Sprengel (1811) und Charles Darwin (1859), 1c. Zitat von Edward O. Wilson (1992).

Sprengel leitete von seinen blütenökologischen Beobachtungen (1793) in seinem zweiten Buch (1811) die Notwendigkeit der Bienenzucht für die Absicherung der menschlichen Nahrungsgrundlage ab (obwohl er auch andere Insekten als Bestäuber angab). Charles Darwin, der in seinem bahnbrechenden Werk (1859) den Grundstein gelegt hat für unser heutiges Verständnis zur Evolution der Organismen, äußerte in diesem Werk auch, er habe kaum Zweifel daran, dass, wenn die gesamte Gattung der Hummeln aussterben oder sehr selten werden würde, dann würden auch das Wilde Stiefmütterchen und der Wiesen-Klee sehr selten werden oder ganz verschwinden (Abb. 1b). 133 Jahre später beschrieb der renommierte Entomologe und Biodiversitätsforscher Edward O. Wilson (1992) ein apokalyptisches Szenario, in dem die Menschheit in nur wenigen Monaten dem Untergang geweiht wäre, aber auch Wirbeltiere und Blütenpflanzen, wenn nicht nur die Bienen, sondern alle Insekten bzw. Arthropoden (d. h. Gliederfüßer, zu denen neben Insekten auch Krebstiere, Tausendfüßer und Spinnentiere gehören) aussterben würden (Abb. 1c).

Insektensterben kann man in einem größeren Zusammenhang sehen, nämlich im Zusammenhang mit dem Artensterben ganz allgemein und damit der Abnahme der Biodiversität. Aber Insektensterben ist, vor allem was die Masse betrifft, leichter zu beobachten und kann als Indikator dienen.

**Was ist Biodiversität?** Der Begriff wird seit den 1980/90er Jahren in umweltpolitischen Diskussionen benutzt (Wilson machte ihn 1986 zum Titel eines Buches). Eine Definition finden wir in Artikel 2 der Konvention zum Schutz der biologischen Vielfalt (verabschiedet auf der UN-Konferenz 1992 in Rio de Janeiro; CBD: *Convention on Biological Diversity*): „Die Variabilität unter lebenden Organismen jeglicher Herkunft, darunter unter anderem Land-, Meeres- und sonstige aquatische Ökosysteme und die ökologischen Komplexe, zu denen sie gehören; dies umfasst die Vielfalt innerhalb der Arten und zwischen den Arten und die Vielfalt der Ökosysteme.“ Und damit ist klar: Biodiversität ist mehr als nur Artenvielfalt! Es geht um drei Ebenen von Diversität: 1. **Ökosystem-Diversität** (Vielfalt an Lebensräumen), 2. **Arten-Diversität** (Anzahl der Arten), 3. **Individuen-Diversität** (Vielfalt der Gene innerhalb einer Art (genetische Variabilität).

Wie viele Arten gibt es überhaupt auf der Erde? Über alle Organismengruppen hinweg gibt es nur grobe Schätzungen; die Schätzwerte bewegen sich zwischen 5 Millionen und 50 Millionen, wobei heute Werte zwischen 11 und 14 Millionen als wahrscheinlich angesehen werden (Mutke & Barthlott 2008, Chapman 2009). Der weitaus größte Teil der auf unserer Erde lebenden Arten ist also noch unentdeckt. Bekannt, d. h. wissenschaftlich beschrieben, sind knapp 2 Millionen Arten; 50 % davon sind Insekten (Abb. 2).



**Abbildung 2:** Kreisdiagramm zur rezenten Artenvielfalt. Der Artenreichtum der einzelnen Gruppen ist sehr unterschiedlich. Die Sektorengröße bezieht sich auf die Anzahl der beschriebenen Arten. Die Insekten sind nicht nur die artenreichste Klasse der Tiere, sondern der Lebewesen überhaupt. Eigene Abbildung nach Zahlen von Chapman (2009).

Apokalyptische Prognosen nicht nur zum Insektensterben, sondern auch zu dessen Konsequenzen gibt es also schon länger. Woran liegt es dann, dass die Prognosen zum Insektensterben nicht ernst genommen werden? Im Alltag werden viele Insekten meist als lästig empfunden. Aus menschlicher Sicht werden die Insekten gerne in „Nützlinge“ und „Schädlinge“ unterteilt. Als Bestäuber von Blüten werden sie in der Regel positiv wahrgenommen. Mehr als 80% aller Blütenpflanzen werden von Insekten bestäubt (Buchmann & Nabhan 1996), auch die meisten unserer Nutzpflanzen-Arten (Corbet et al. 1991, Aizen et al. 2009); aber alle Süßgräser (Getreide, Reis, Mais) sind windbestäubt und daher nicht auf Insekten angewiesen. Aber Insekten sind auch für den Stoffumsatz in allen terrestrischen Ökosystemen (mit-) verantwortlich. Sie können regelrecht als Regulatoren der Nährstoff- und Energieflüsse bezeichnet werden. So sind sie (mit-) verantwortlich für den Abbau von Blättern und totem Holz; auch Kadaver und Kot werden von spezialisierten Insekten wie Schmeiß- und Fleischfliegen und Aaskäfern besiedelt und verwertet. Ohne die Arbeit dieser Insekten hätten wir keine Freude an einem Waldspaziergang, weil alles voll mit Tierkadavern wäre. Fehlen die Insekten/Arthropoden, dann sind auch Nahrungsketten in Gefahr. 60% der heimischen Vögel

ernähren sich hauptsächlich von Insekten/Arthropoden. Außerdem stellen Insekten die Hauptnahrung für Fledermäuse, Spinnen und viele Amphibien und Reptilien. Werden Blüten nicht mehr bestäubt, dann gibt es keine Früchte und Samen mehr, die die Nahrungsgrundlage für viele Tiere bilden. Dann fehlen neue Pflanzen als Lebensraum für Tiere. Im Unterwuchs des Buchenwaldes spielen Ameisen als Ausbreiter von Samen und Früchten eine große Rolle (mehr als 30 % der Pflanzen im Unterwuchs werden von Ameisen ausgebreitet).

Einige Insekten kann man regelrecht als Nutztiere bezeichnen, allen voran die Honigbiene. Honigbienen werden vom Menschen seit Jahrtausenden als „Haustiere“ gehalten und längst auch züchterisch bearbeitet. Die Haltung der Honigbiene durch den Menschen (heute das drittwichtigste Nutztier) ist in etwa so alt wie die Kultivierung von Olivenbäumen (in Olivenhainen) für die Gewinnung von Öl (seit etwa 6000–7000 Jahren im Ost-Mediterranraum). Zu nennen wären auch Schlupfwespen zur biologischen Schädlingsbekämpfung oder die Raupen des Seidenspinners zur Seidengewinnung; in letzter Zeit vermehrt in den Fokus gekommen sind die Speiseinsekten, von denen schon etwa 500 Arten weltweit für die menschliche Ernährung genutzt werden (derzeit gibt es als alternative Proteinquelle in der EU vier zugelassene Insekten für den Lebensmittelbereich). Auch nicht zu vergessen sind die Schildläuse zur Produktion von Farbstoffen (Karmin aus der Cochenilleschildlaus) und Lacken (Schellack aus der Lackschildlaus). Als negativ werden natürlich die Schädlinge unter den Insekten wahrgenommen, etwa als Parasiten am Menschen oder an seinen Haustieren, als Überträger von Krankheiten (z. B. Anopheles-Mücke: Malaria, Tsetse-Fliege: Schlafkrankheit) oder als „Ungeziefer“ an Nutz- und Zierpflanzen.

Durch die Corona-Pandemie und weitere weltweite Krisen ist der Insektenschwund im Bewusstsein der Menschen etwas in den Hintergrund getreten, er findet aber weiter mehr oder weniger ungebremst statt und wird das Leben auf unserer Erde beeinflussen. Haben wir genauere Zahlen zum Insektenschwund?

## 1.1 Zahlen zum Insektenschwund

Lassen Sie uns mit den Zahlen aus einer Veröffentlichung beginnen (Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019), zu der die Autoren mehr als 70 Studien auswerteten. Ihre Hauptaussage ist: Fast die Hälfte der Insektenpopulationen weltweit ist im steten Schwinden begriffen. Die Gesamtzahl der Insekten nimmt um 2,5 Prozent pro Jahr ab. Die genannten Autoren schlussfolgern, dass, falls die Verluste nicht aufgehalten werden können, dies nicht nur katastrophale Folgen für die Ökosysteme weltweit, sondern auch für das Überleben der Menschheit haben werde. Aus den vorgelegten Zahlen lässt sich die, etwas provokante, Frage ableiten: Sind alle Insekten in 100 Jahren ausgestorben?

Damit politische Entscheidungsträger (und auch eine interessierte Öffentlichkeit) sich leichter mit der Datenlage vertraut machen können, wurde 2012 der Weltbiodiversitätsrat IPBES (*Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*)<sup>1</sup> als ein zwischenstaatliches Gremium gegründet, mit der Aufgabe der wissenschaftlichen Beratung der Politik in den Bereichen biologische Vielfalt und Ökosystemleistungen. Kernergebnisse des ersten thematischen Berichts (IPBES 2016) mit dem Schwerpunkt Bestäuber, Bestäubung und Nahrungsmittelproduktion waren beispielsweise, dass einerseits die Produktion vieler hochwertiger pflanzlicher Lebensmittel, insbesondere Obst und Gemüse, von der Blütenbestäubung abhängt, andererseits aber seit einigen Jahren in vielen Regionen der Welt ein dramatischer Rückgang der Blütenbestäuber zu verzeichnen ist. Im ersten globalen Bericht (IPBES 2019), der Biodiversität und Ökosystemleistungen zum Inhalt hatte, wurden auf globaler Ebene die in den vergangenen fünfzig Jahren eingetretenen Veränderungen der Biodiversität bewertet. Kernaussagen waren beispielsweise: „Die biologische Vielfalt und die Leistungen von Ökosystemen<sup>2</sup> wie Nahrung, sauberes Wasser und Medizin sind für das Überleben der Menschheit essenziell.“ Rund eine Million Tier- und Pflanzenarten gelten als vom Aussterben bedroht. Für mehr als 500.000 Arten wird der Begriff „*dead species walking*“ geprägt für Arten, die noch nicht ausgestorben sind, aber deren stark veränderten und/oder verkleinerten Lebensräume langfristig keine Chance zum Überleben bieten, so dass sich diese Arten am Rande des Aussterbens befinden. Schon ausgestorben sind seit dem 16. Jahrhundert mindestens 680 Wirbeltierarten. Laut IPBES-Bericht (2019) bestehe aber Unsicherheit bei den Insekten, es lasse sich der Anteil der bedrohten Arten schlecht „abschätzen“. Aber ist es an dieser Stelle wichtig, die Artenzahl zu kennen? Ist die Artenzahl von Bedeutung? Oder geht es nicht vielmehr um die Gesamtheit der Insekten? (siehe weiter unten).

Aber interessant ist, dass es letztlich dann doch um die Ökonomie geht. Wenn es an den eigenen Geldbeutel geht, dann horchen alle auf. Der IPBES-Bericht (2019) greift nämlich Zahlen auf, die schon im Jahr zuvor durch die Presse gingen. Man hat (für das

- 1 Der Sitz des Sekretariats ist in Bonn; Deutschland ist der größte Geldgeber; aktuell sind fast 140 Staaten Mitglied von IPBES. „Der Weltbiodiversitätsrat sammelt weltweit wissenschaftliche Daten, analysiert diese und zeigt politische Handlungsmöglichkeiten zum Schutz der biologischen Vielfalt auf. Der Rat selbst führt keine eigenen Forschungsarbeiten durch. Seine Kernaufgabe ist die Erstellung von Berichten über den aktuellen Zustand und Wissensstand zur biologischen Vielfalt und der Leistungen, die Ökosysteme für die Menschen erbringen.“ (siehe <https://www.bmu.de/WS4356>).
- 2 Der Begriff der Ökosystemleistung (es wird auch von Ökosystemdienstleistung gesprochen) bezeichnet die „Nutzenstiftungen“ oder Vorteile („*benefits*“), die Menschen von Ökosystemen beziehen (*Millennium Ecosystem Assessment 2003*); er ist ein Schlüsselbegriff an der Schnittstelle von natur- und sozialwissenschaftlicher Umweltforschung.

Jahr 2015) errechnet, dass der Verlust von bestäubenden Tieren<sup>3</sup> die Nahrungsmittelproduktion im Wert von 235 bis 577 Milliarden US-Dollar pro Jahr bedroht (die große Spanne ergibt sich aus Datenlücken vor allem in den Entwicklungsländern). Auch für die EU und Deutschland<sup>4</sup> ist der Geld-Wert der bestäubungsabhängigen Produktion (Bestäubung von Kulturpflanzen durch Insekten) hochgerechnet worden: für die EU jährlich 14,6 Milliarden EUR (entspricht einem Anteil von 12 % des durchschnittlichen Jahresgesamtgewinns aus der Ernte von Kulturpflanzen), für Deutschland 1,13 Milliarden Euro (Leonhardt et al. 2013).

Als Datengrundlage für den Insektenschwund in Deutschland wird immer wieder die sog. „Krefelder Studie“ (Sorg et al. 2013) herangezogen. Ehrenamtliche Entomologen haben zwischen 1989 und 2015 an über 60 Standorten Insekten mit automatischen Fallen gesammelt und ausgewertet: Es ist ein Verlust an Biomasse bei Fluginsekten von mehr als 75 Prozent zu verzeichnen. Eine wissenschaftliche Auswertung der Erhebungen zur Entwicklung der Insektenbestände hat die Ergebnisse bestätigt (Hallmann et al. 2017). Die drastischen Biomasseverluste bei Fluginsekten gehen einher mit den bekannten Rückgängen von Artengruppen wie Wildbienen, Tag-Schmetterlingen und Nachtfaltern; sie betreffen nicht nur seltene und gefährdete Arten, sondern alle Insekten. Eine weitere Studie (Seibold et al. 2019) zeigte, dass der Insektenrückgang noch weitreichender ist als vermutet. Standardisiert wurden 150 Grünlandflächen und 140 Waldflächen in 3 Regionen Deutschlands (Thüringen, Brandenburg, Schwäbische Alb) untersucht. Auf vielen Flächen fanden sich nach zehn Jahren etwa ein Drittel weniger Insektenarten als zuvor. Der Rückgang wurde sowohl im Wald als auch im Grünland beobachtet. Die Biomasse der Insekten ist seit 2008 in den untersuchten Wäldern um 40 %, im Grünland um 60 % zurückgegangen. Der größte Schwund war auf von Ackerland umgebenen Grünlandflächen zu verzeichnen (Seibold et al. 2019).

Es ist schwierig, verbindliche Aussagen zum globalen Insektenschwund zu treffen, da die Datenlage regional sehr unterschiedlich ist. Die Autoren der oben zitierten Studie (Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019) rechnen den weltweiten Rückgang hoch, aber sie legen auch dar, dass die meisten Studien aus Europa und den USA stammen. Für Australien und China gibt es nur Studien zur Honigbiene. Aus den Daten für Deutschland (Hallmann et al. 2017) errechnen die Autoren einen durchschnittlichen Verlust an

- 3 Achtung: Der Original-Bericht spricht von „*animal pollination*“, also Tierbestäubung, die nicht gleichzusetzen ist mit Insektenbestäubung, obwohl letztere den größten Anteil stellt. In den Medien wurde dann einfach von „Bestäuberinsekten“ gesprochen/geschrieben, oder sogar nur von „Bienen“.
- 4 Der ökonomische Nutzen ist vermutlich aber noch weit höher als angenommen. Nach neuen Schätzungen beträgt der volkswirtschaftliche Nutzen erzielt durch die Bestäubung durch Tiere im Mittel in Deutschland 3,8 Milliarden Euro pro Jahr, weltweit 1 Billion US-Dollar (Lippert et al. 2021).

Insektenbiomasse von 2,8 % pro Jahr. Ähnliche Werte wurden auch in Regenwäldern auf Puerto Rico gefunden: Biomasseverluste von 61 % bis 98 % für am Boden und in den Baumkronen lebende Arthropoden über einen Zeitraum von 36 Jahren (Lister & Garcia 2018). Hier zeigten sich in denselben Gebieten parallele Rückgänge bei Vögeln, Fröschen und Eidechsen als Folge von Nahrungsknappheit durch fehlende Arthropoden. Eine Länder übergreifende Studie bestätigt zwar den Trend des Insektenschwunds, aber es gibt regional große Unterschiede. Außerdem gibt es auch einen positiven Trend: Vor allem im Süßwasser lebende Insekten wie Libellen und Köcherfliegen haben sich etwas erholt (teilweise Zunahme der Abundanz um 1,08 % pro Jahr). Zurückgeführt wird dies auf verschärfte Wasserschutzmaßnahmen (van Klink et al. 2020).

Besorgniserregend aber bleibt, dass die deutsche Langzeitstudie einen stetigen Abwärtstrend über fast drei Jahrzehnte aufzeigt. Es reicht also nicht, die fehlenden Daten aus anderen Ländern alleine zu ermitteln und über die Komplexität der Nahrungsketten weiter zu forschen, sondern parallel muss dem stattfindenden Insektenschwund zeitnah entgegengearbeitet werden. Um den Nutzen von Maßnahmen zu erfassen, ist dann natürlich auch ein fortwährendes Monitoring erforderlich.

## 1.2 Gründe für den Insektenschwund

Aus vielen Beiträgen zu diesem Thema kristallisieren sich einige Haupttreiber für den Insektenschwund heraus (siehe z. B. IPBES 2016, 2019, Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019), die sicherlich unterschiedlich stark zum Insektensterben beitragen (Abb. 3).

### 1.2.1 Intensive Landwirtschaft

Dass die intensiven Formen der Landbewirtschaftung wie monotone Agrarlandschaften, der hohe Düngereinsatz und der Einsatz von Pestiziden (Substanzen, die unerwünschte Organismen in der Landwirtschaft beseitigen) negative Folgen für die Insekten haben, ist unbestritten. Monokulturen bieten oft keine Nahrungsangebote und auch keine Nistangebote für Insekten. Aber auch im naturnahen und im städtischen Bereich werden Fehler gemacht. Zu häufiges Mähen oder Mulchmähen sind ein großes Problem. Rasen, Grünstreifen, Wiesen und Parkanlagen werden ständig beschnitten, die Blühpflanzen zu früh abgemäht. In diesen ausgeräumten Landschaften finden Insekten oft nicht mehr genügend Nahrung. Auch der hohe Düngereinsatz macht Probleme: Je mehr Dünger eingesetzt wird, desto weniger Wildkräuter kommen auf. Dies gilt auch

für die Biodüngung durch Gülle. Auch sie verändert die Nährstoffzusammensetzung im Boden und dadurch ändert sich die Pflanzenzusammensetzung.

In besonderem Maße beeinflussen Herbizide die Qualität der Lebensräume. Großflächig und häufig eingesetzte Breitbandherbizide wie Glyphosat vernichten die Ackerwildkrautvegetation und damit die Nahrungsgrundlage für viele Insekten. Glyphosat, das wohl meistverkaufte Pestizid, vernichtet alle Pflanzen, die nicht gentechnisch so verändert wurden, dass diese den Einsatz überstehen.<sup>5</sup> Glyphosat (aus der Gruppe der Phosphonate) galt als ein insektenschonendes Unkrautvernichtungsmittel: Es greift ein Enzym an, das es nur in Pflanzen und Bakterien gibt, weshalb es Tiere nicht schädigen könne – so die Argumentation der Hersteller. Aber im Bienendarm gibt es Darmbakterien, und die Darmflora der Bienen wird durch Glyphosat angegriffen: Die Zahl der Bakterien geht unter der Einwirkung von Glyphosat zurück, und die Bienen werden dadurch anfälliger für tödliche Infektionen (Motta et al. 2018).

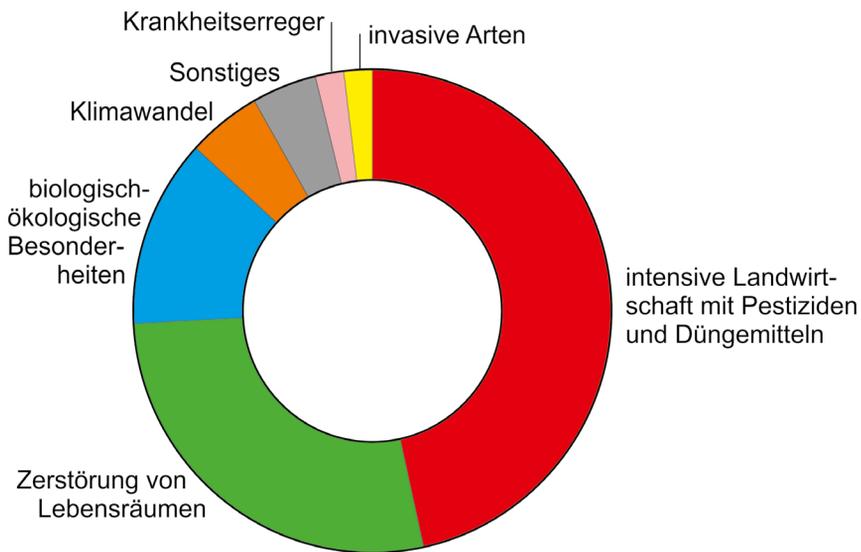


Abbildung 3: Kreisdiagramm der wesentlichen Faktoren, die zum Insektenschwund beitragen (eigene vereinfachte Darstellung basierend auf den Daten von Sanchez-Bayo & Wyckhuys 2019).

- 5 Die EU-Kommission hat die Zulassung von Glyphosat letztes Jahr um weitere zehn Jahre verlängert (es ist damit bis Dezember 2033 zugelassen, obwohl laut WHO wahrscheinlich krebserregend beim Menschen; diese Aussage wird wissenschaftlich aber kontrovers diskutiert).

## 1.2.2 Bedeutung der Insektizide, besonders der Neonicotinoide

Neonicotinoide („neue Nicotin-artige Insektizide“) sind eine Gruppe von hochwirksamen, synthetisch hergestellten Insektiziden zur Kontrolle von bohrenden Schädlingen wie Blattläusen, Mottenschildläusen, Zwergzikaden, Spitzkopfizikade und Fransenflüglern und beißenden Schädlingen wie Käfer und die Raupen von Kleinschmetterlingen. In den 1990er Jahren erstmalig eingesetzt, sind die Neonicotinoide heute die am weitesten verbreitete Insektizid-Klasse der Erde. In mehr als 120 Ländern zugelassen, lag der weltweite Umsatz 2018 bei 56,5 Milliarden Euro – Tendenz steigend (Insektenatlas 2020).<sup>6</sup>

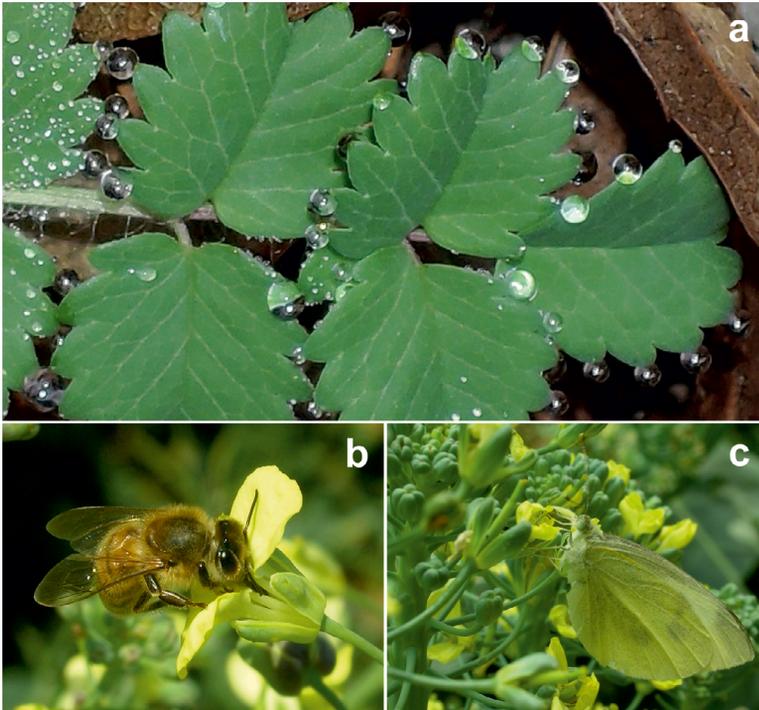
Obwohl in der EU inzwischen vier Neonicotinoide (Clothianidin, Imidacloprid, Thiamethoxam, Thiacloprid) für den Einsatz im Freiland verboten sind (sie dürfen künftig nur noch in dauerhaften Gewächshäusern verwendet werden; seit 2023 hat der Europäische Gerichtshof auch Notfallzulassungen untersagt), gibt es keine Entwarnung, da die chemische Industrie nicht schläft. Mittlerweile gibt es andere Neonicotinoide (z.B. Acetamiprid), die ohne Einschränkung eingesetzt werden dürfen. Es sind auch neue Stoffgruppen entwickelt und zugelassen worden, die ebenfalls als bienengefährlich gelten. Nun ist die Wissenschaft wieder gefordert, die Schädlichkeit eindeutig zu belegen, um Verbote einzuleiten (Cyantraniliprol: Chandrakmara et al 2022, Flupyradifuron: Boff & Ayasse 2023, Sulfoxaflor: Capela et al 2022).

Neonicotinoide wirken in der Pflanze systemisch. Was bedeutet das? Von einer Pflanze aufgenommen, werden sie in alle Teile der Pflanze verteilt. Sie finden sich dann in den Wurzeln, Blättern, Blüten sowie in den Pollenkörnern und im Nektar und schließlich auch im Wasser, das Pflanzen über ihre Blätter durch Guttation abgeben (Abb. 4a). Alle Tiere, die Blätter der behandelten Pflanze fressen, deren Guttationswasser und Nektar trinken oder Pollenkörner sammeln (dadurch kommen Neonicotinoide auch in den Honig!), kommen mit dem Gift in Kontakt und haben es später in ihrem Körper. So kann zum Beispiel eine Rapsblüte, die gar nicht direkt mit dem Gift behandelt wurde, zur Gefahr für Bestäuber werden (Abb. 4 b–c), wenn der Rapsamen vor der Aussaat mit Neonicotinoiden gebeizt<sup>7</sup> wurde. Hinzu kommt noch ein anderer Aspekt. Es werden der Pflanze bei der Beize eigentlich viel zu viel von den Neonicotinoiden mitgegeben. Da diese wasserlöslich sind, gelangen üblicherweise 95% der Neonicotinoide direkt in den Boden und in das Grundwasser. Studien zu

6 Weltweit werden in Asien pro Hektar die meisten Pestizide ausgebracht, insbesondere in China (das Dreifachen des globalen Durchschnitts). Auf Asien folgt Amerika (USA, Brasilien, Argentinien). In Afrika sind es nur etwa zwei Prozent der weltweiten Menge (Insektenatlas 2020).

7 Beim Beizen werden schon die Samen mit den Neonicotinoiden überzogen. Neben Getreide-, Mais- und Rapssaatgut werden auch Kartoffelknollen und das Saatgut einiger Gemüsearten (Möhren, Zwiebeln) gebeizt.

Halbwertszeiten von Neonicotinoiden im Boden haben gezeigt, dass sie bis zu vier Jahren, stark abhängig von Wirkstoff und Bodentyp, im Boden verbleiben können (Goulson 2013). Es hat sich auch gezeigt, dass sich die Neonicotinoide im Boden anreichern können und noch Jahre nach einem letztmaligen Ausbringen in den Pollenkörnern auch von Wildpflanzen präsent sind (Zioga et al. 2023).

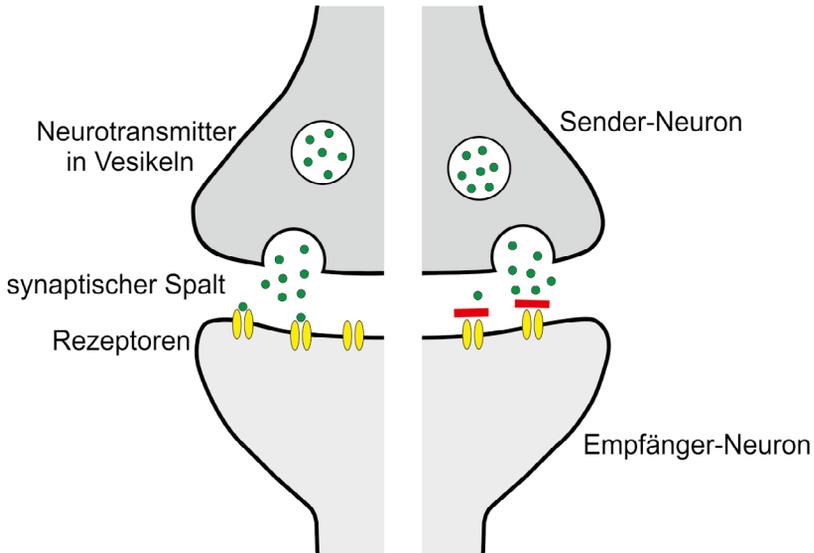


**Abbildung 4:** Flüssige Pflanzenausscheidungen, die von Tieren aufgenommen werden, können mit Neonicotinoiden kontaminiert sein. – a, Guttationstropfen an den Fiederblättchen des Kleinen Wiesenknopfs (*Sanguisorba minor*, Rosaceae; näheres zu Guttation siehe Erbar & Leins 2022). – b–c, Honigbiene (*Apis mellifera*, b) und Kleiner Kohlweißling (*Pieris rapae*, c) beim Nektarsaufen an Brokkoli-Blüten (*Brassica oleracea* convar. *botrytis* var. *italica*).

**Bildquellen:** Eigene Aufnahmen.

Neonicotinoide sind Nervengifte, die an den nikotinischen Acetylcholin-Rezeptor (nAChR)<sup>8</sup> binden und so die Weiterleitung von Nervenreizen stören (Abb. 5).

8 nAChR sind Rezeptoren in der Membran von Nervenzellen und Muskelfasern, die den Neurotransmitter Acetylcholin (Ach) binden. Die Aktivierung kann aber auch durch Nikotin und ähnliche, sog. nikotinerge Substanzen erfolgen.



**Abbildung 5:** Schematische Darstellung einer Synapse. Synapsen sind die Kontaktstellen zwischen den Nervenzellen (auf Erregungsleitung und -übertragung spezialisierte Zellen), den Neuronen. Eine Synapse besteht aus dem Ende eines Sender-Neurons und dem synaptischen Spalt, der das Sender- von einem Empfänger-Neuron trennt. In den Synapsen werden die Signale in Form von Botenstoffen (Neurotransmitter) auf andere Nervenzellen übertragen. Dabei werden die aus dem Sender-Neuron eintreffenden elektrischen Impulse in chemische Signale umgewandelt: Die Signalmoleküle, die in kleinen Membranschlüsseln Vesikeln gespeichert sind, werden in den synaptischen Spalt ausgeschüttet. Auf der anderen Seite des synaptischen Spaltes treffen die Botenstoffe auf jeweils passende Andockstellen in der Membran des Empfänger-Neurons, die die elektrischen Eigenschaften dieser Membran verändern (linke Seite der Schema-Zeichnung). Ein häufiger Transmitter ist das Acetylcholin. Neonicotinoide blockieren irreversibel die Acetylcholin-Rezeptoren in der Membran des Empfänger-Neurons (im rechten Schema-Teil als rote Balken dargestellt) und unterbrechen damit die Signalübertragung zwischen den Nervenzellen. Bildquelle: Eigene Zeichnung.

Sehr gut bekannt sind mittlerweile die Folgen der Neonicotinoid-Aufnahme im Insektenhirn (Menzel et al. 2012, Degen et al. 2015, 2016, Menzel & Tison 2019). Die blockierende Wirkung hält lange an, weil sie nicht vom Enzym Acetylcholinesterase abgebaut werden, sondern über langsamer arbeitende andere Enzyme. Die komplexen Verhaltenssteuerungen finden im Insektengehirn über nikotinsche Acetylcholin-Rezeptoren in den sog. Pilzkörpern statt. Bei höheren Dosen sind die Neonicotinoide sogar tödlich (~ vier Milliardenstel Gramm pro Biene; 1 Teelöffel mit 5 g Imidacloprid reicht, um 1,25 Milliarden Bienen zu töten; siehe z.B. Pestizidatlas 2022). Niedrige, ja sogar sehr niedrige Dosen stören die Gehirnprozesse wie Wahrnehmen, Lernen, Erinnern,

Orientieren, Navigieren und Kommunizieren. Der Neurobiologe Randolph Menzel (2018) spricht von „Insekten-Alzheimer“. Die Störungen sind vielfältig: Honigbienen unternehmen weniger Sammelflüge, brauchen länger um in den Bienenstock zurückzufinden oder kehren gar nicht mehr heim, die Tanzkommunikation wird gestört (z.B. Menzel & Tison 2019). Es gibt immer mehr Hinweise darauf, dass viele wildlebende Insekten sogar noch empfindlicher reagieren als Honigbienen (Hayward et al. 2019). Wir dürfen nämlich nicht außer Acht lassen, dass Biene nicht mit Honigbiene gleichzusetzen ist. In Deutschland gibt es aktuell etwas mehr als 560 Wildbienen-Arten, weit mehr als die Hälfte gilt als gefährdet (Scheuchl et al. 2023). Viele sind als Bestäuber effizienter als die Honigbiene. Bei Hummeln wurden Störungen des Paarungsverhaltens und der Fortpflanzungsfähigkeit nachgewiesen (Baron et al. 2017, Wintermantel et al. 2018). Sie werden sogar abhängig von Neonicotinoiden, vergleichbar mit der Nicotin-Abhängigkeit von Rauchern: Im Wahlversuch wählen sie den mit Neonicotinoid versetzten Nektar (Arce et al. 2018). Außerdem lassen Neonicotinoide die Hummeln zu langsam mit den Flügeln schwirren (Whitethorn et al. 2017). Dies beeinträchtigt etwa die Vibrations-Bestäubung von Tomatenblüten.<sup>9</sup> Vögel sind nicht nur durch fehlende Insekten-Nahrung betroffen, sondern Neonicotinoide sind auch direkt für den Rückgang von Singvögeln verantwortlich (Eng et al. 2019). Auch Spatzenfedern sind mit Neonicotinoiden belastet (Humann-Guilleminot et al. 2019). Und die Liste der Schädigungen könnte noch verlängert werden.

Umstritten war lange, ob Neonicotinoide auch für Wirbeltiere und den Menschen giftig sind. Immer wieder wurde angegeben, dass sie auf die Nervenzellen von Insekten weit stärker wirken sollen als auf die Nerven von Wirbeltieren (z. B. Tomizawa et al. 2000, Casida 2018). Einige Untersuchungen zeigten dann auf, dass Säugetiere auch Schädigungen aufwiesen (z. B. Abou-Donia et al. 2008, Burke et al. 2018, Berheim et al. 2019, Thompson et al. 2020). Nun hat sich in Zellkulturtests gezeigt, dass auch menschliche Nervenzellen auf die Neonicotinoide reagieren (Imidacloprid und vor allem dessen Abbauprodukte binden an nikotinische Acetylcholinrezeptoren; Loser et al. 2021a, b). Für negative Effekte reichen die Konzentrationen, wie sie durch Verzehr von behandeltem Obst und Gemüse im Körper entstehen können. Zwar ist das Neonicotinoid selbst inzwischen in der EU verboten, aber importierte Nahrungsmittel (für Äpfel, Tomaten, Auberginen und Kartoffeln nachgewiesen) können jedoch weiterhin belastet sein (Loser et al. 2021b).

9 In Tomaten-Blüten stehen Poren-Antheren (Staubbeutel) eng zusammen und bilden einen herabhängenden Streukegel; aus diesen werden Pollen effektiv nur bei einer bestimmten Schwingung freigesetzt. (Wild-) Bienen und Hummeln (aber nicht die Honigbiene) können mit der Flugmuskulatur Vibrationen erzeugen und diese Schwingungen mit ihren Beinen auf die Staubbeutel übertragen.

Dabei stehen Alternativen zur Verfügung. Als Ersatz für das chemische Beizen von Getreide-Saatgut mit Neonicotinoiden kommt z.B. die sichere und nachhaltige Elektronenbehandlung in Frage (z.B. Fraunhofer Institut 2022). Zur Reduzierung von Schädlingen werden bei der biologischen Schädlingsbekämpfung lebende Organismen eingesetzt, was aber auch nicht immer unproblematisch ist. Das Einbringen einer fremden Art in ein Ökosystem kann zu dessen Störung beitragen, wie der Asiatische Marienkäfer (*Harmonia axyridi*) eindrucksvoll belegt. Als dafür eingebrachtes „biologisches Insektizid“ verspeist er zwar mehr Blattläuse am Tag als der heimische Siebenpunkt-Marienkäfer (*Coccinella septempunctata*), ist aber zur invasiven Art geworden (siehe weiter unten zur Problematik unter 1.2.5), die den heimischen Verwandten verdrängt. Das am meisten eingesetzte Biospritzmittel überhaupt ist ein Boden-Bakterium (*Bacillus thuringiensis*). Seine Sporen produzieren ein Protein, das im Darm bestimmter „Schädlingsraupen“ (z.B. des Kohl-Weißlings) als tödliches Gift wirkt. Einige Stämme dieses Bakteriums aber können sog. „Darmgifte“ produzieren, die beim Menschen starke Durchfälle verursachen (Donner 2014). Auch bei der biologischen Schädlingsbekämpfung muss mit Augenmaß vorgegangen werden.

### 1.2.3 Zerstörung und Fragmentierung von Lebensräumen

Neben der Intensivierung der Landwirtschaft mit Pestiziden und Düngemitteln ist die Vergrößerung von Flächen für Siedlungen, Industrie und Verkehr ein entscheidender Grund (Abb. 3) für die Zerstörung von Lebensräumen für Insekten und Pflanzen. Hecken und artenreiche Wiesen, Bäume und Sträucher, Ackerränder und Brachen gehen verloren.<sup>10</sup> Neben der Nahrungsgrundlage fehlen dann Versteck- und Nistmöglichkeiten (nicht nur für die Bienen). Manche Solitärbiene benötigen etwa löchriges Totholz oder unbewachsene, sandige Stellen am Boden für ihre Nester. Viele Spezialisten sind auf eine oder wenige bestimmte Pflanzenarten als Nahrungsquelle angewiesen.

Zu der Zerstörung von Lebensräumen und dem Flächenverbrauch kommt noch ein weiteres, verstärkendes Problem hinzu, nämlich die Fragmentierung von Lebensräumen. Fragmentierung von Lebensräumen bedeutet Landschaftszerschneidung etwa durch eine Autobahn oder eine Agrarwüste oder im Wald durch eine Windkraftanlage

<sup>10</sup> In Deutschland betrug von 2014 bis 2017 der tägliche Flächenverbrauch für Siedlungs- und Verkehrszwecke 58 Hektar (entspricht rund 81 Fußballfeldern). Das Ziel für 2020 waren 30 Hektar (42 Fußballfelder pro Tag). Aber es waren 55 Hektar, die 2021 verbraucht wurden (Statistisches Bundesamt 2023). Auf unter 30 Hektar pro Tag soll der Flächenverbrauch bis 2030 reduziert werden, spätestens bis 2050 soll der Übergang zur Flächenkreislaufwirtschaft, d.h. das Netto-Null-Ziel, erreicht werden (Die Bundesregierung 2017: Deutsche Nachhaltigkeitsstrategie).

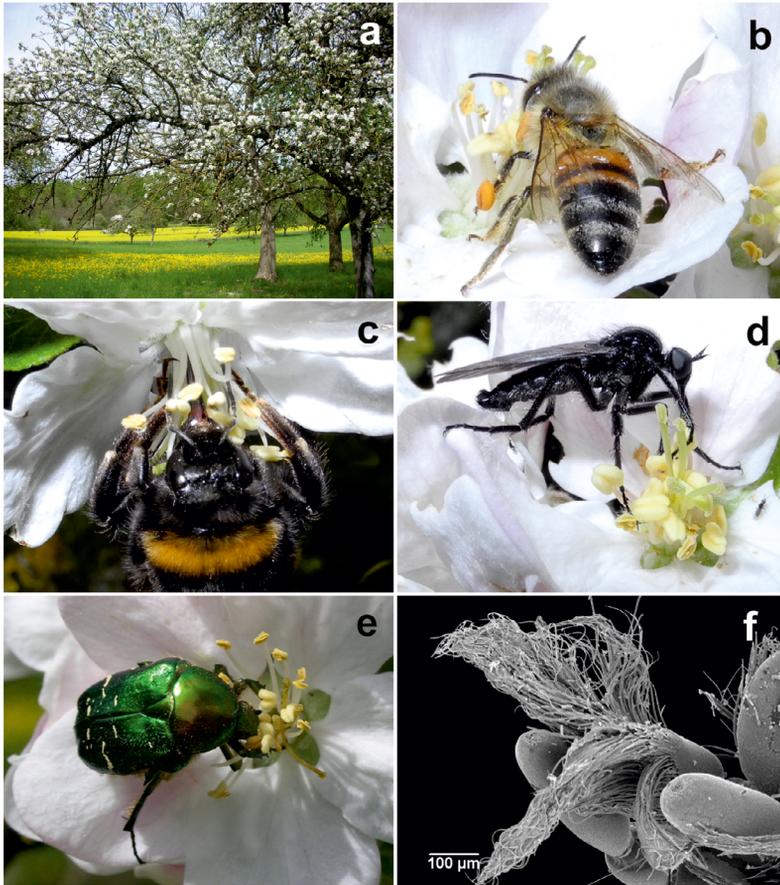
(die zudem auch viele Fluginsekten direkt tötet). Solche Schneisen wirken für viele Tier- und Pflanzenarten als „Barrieren“ und verkleinern, zerteilen und isolieren deren Lebensräume. Diese „Barrieren“ behindern den genetischen Austausch zwischen getrennten Populationen einer Art. Letztlich verkleinert sich der Genpool, d.h. eine genetische Verarmung tritt ein. Das führt dann wiederum zu einer sinkenden Anpassungsfähigkeit und gefährdet letztlich die Biodiversität.

Auch durch Lichtschneisen werden Insekten in ihrer Ausbreitung gebremst und dadurch wird der genetische Austausch zwischen Insektenpopulationen ebenfalls eingeschränkt (Grubisic et al. 2018). Durch die Lichtverschmutzung sind natürlich hauptsächlich nachtaktive Insekten betroffen, die auf das natürliche nächtliche Licht von Mond und Sternen angewiesen sind zur Orientierung, Nahrungssuche, Vermeidung von Räubern und bei der Suche nach Fortpflanzungspartnern. Eine künstlich erhellte Nacht stört das natürliche Verhalten. Fluginsekten werden von künstlichen Lichtquellen angezogen, regelrecht im Licht gefangen gehalten und sterben dann an Erschöpfung oder als leichte Beute von Fressfeinden (z. B. Grubisic et al. 2018).

#### 1.2.4 Klimawandel

Klimawandel und Verlust an biologischer Diversität sind schwerwiegende Folgen unserer Eingriffe in die Natur. Auf das große Thema Klimawandel möchten wir nur mit einigen wenigen Beispielen aus dem Bereich der Blütenökologie eingehen.

Die Erwärmung führt unter anderem dazu, dass viele Pflanzen früher blühen als noch vor wenigen Jahrzehnten (Abb. 6). Die Auswertung über einen längeren Zeitraum zeigt, dass der phänologische Frühling in Deutschland im Jahr 2012 fast zehn Tage früher einsetzte als im Jahr 1951. Seit Ende der 1980er Jahre häufen sich besonders frühe Eintrittstermine. Da im Gegenzug der Winter später einsetzt, verlängerte sich die Vegetationsperiode im Zeitraum von 1951 bis 2012 um 15 Tage (Holz et al. 2011). Eine verlängerte Vegetationsperiode kann verschiedene Auswirkungen auf die Pflanzen- und Tierwelt haben, die wir in ihrer Komplexität aber noch nicht verstehen. Die phänologischen Verschiebungen könnten das zeitliche Zusammenspiel zwischen Organismen beeinflussen, beispielsweise Wechselwirkungen zwischen Pflanzen und ihren Bestäubern oder Räuber-Beute-Beziehungen. Durch die frühere Blühzeit vieler Pflanzen passen die Rhythmen von Insekten und Pflanzen eventuell nicht mehr zueinander.



**Abbildung 6:** Der Beginn der Blüte des Kultur-Apfels (*Malus domestica*) markiert den Beginn des Vollfrühlings. – a, Apfelblüte auf einer Streuobstwiese im Kraichgau. – b–e, Bestäuber der Apfelblüten. – b, Honigbiene (*Apis mellifera*), die aber gerne von reichlich blühenden Raps-Feldern (a) abgelenkt wird. – c, Wildbienen und Hummeln (im Bild die Dunkle Erd-Hummel *Bombus terrestris*) sind aber weitere effiziente Bestäuber von Apfelblüten. Speziell die Hummeln fliegen auch bei wesentlich ungünstigeren und kälteren Witterungsbedingungen aus als Bienen. – d, Die auf Wiesen lebende Schwarze Tanzfliege (*Empis ciliata*) ernährt sich von Pollen und Nektar und kommt vielfach als Bestäuber in Frage. – e–f, Goldglänzender Rosenkäfer (*Cetonia aurata*). – e, Der Rosenkäfer kann mit seinen beißend-kauenden Mundwerkzeugen auch Blüten beschädigen und scheint mit seiner glatten Außenseite weniger für einen Pollentransport geeignet (obwohl klebrige Pollenkörner auch an glatten Oberflächen haften können). – f, Die rasterelektronenmikroskopische Aufnahme eines Teils der Mundwerkzeuge zeigt, dass der Rosenkäfer an Fortsätzen des Unterkiefers (Galeae) einen regelrechten Pollenbesen besitzt. Da die Haare von einer Flüssigkeit überzogen sind, kann der Rosenkäfer mit seinem „feuchten Wischmopp“ nicht nur effektiv Pollenkörner aus den Staubbeutel für den Eigenbedarf herauskehren, sondern auch – zufällig – auf die Narben der Fruchtblätter abstreifen.

Bildquellen: Eigene Aufnahmen.

Die Insekten finden dann nicht mehr die gewohnte Nahrung. Zusätzlichen Stress für die Insekten bringen milde Winter und lange Trockenperioden im Frühjahr und Sommer. In den Trockenphasen ist auch das Nahrungsangebot geringer. Klimaveränderungen lösen aber auch immer Zu- und Abwanderungen von Arten aus.



**Abbildung 7:** Graue Fleischfliege (*Sarcophaga carnaria*). – a–c, Auf dem Borstgras (*Nardus stricta*) nimmt sie mit ihrem Tupfrüssel Pollenkörner von den Narben (a–b) und den Halmen (c) auf. – d, Auf der Wald-Engelwurz (*Angelica sylvestris*, Apiaceae) erreicht die Fliege leicht den offen präsentierten Nektar. N = Narbe, Pfeile weisen auf den Tupfrüssel. Bildquellen: Eigene Aufnahmen.

In dem in Südtirol sehr heißen und trockenen Sommer 2022 konnten wir auf der Schwemmalm (oberhalb der Ortschaft Kuppelwies im Ultental) eine aufregende Beobachtung machen. Die sonst prächtig bunten Bergwiesen (auf etwa 2200 mNN) hatten sich Ende Juli regelrecht in ein Grau-Grün verwandelt. Es trotzten lediglich einige robuste Gräser (beispielsweise das Borstgras *Nardus stricta*) den trockenen Verhältnissen. In die unscheinbar blühenden Gräser „flüchteten“ immer wieder zahlreiche Fliegen (z.B. Fleischfliegen der Gattung *Sarcophaga*), die mit ihren leckenden Mundwerkzeugen die Pollenkörner auf den feuchten Narben (durch den Wind dorthin verfrachtet) aufnehmen (Abb. 7a, b). Auch an den Halmen und Spelzen im Bereich der Blütenstände befindet sich reichlich Pollen, der den Fliegen geboten wird (Abb. 7c).

Man kann von einer „Notversorgung in Krisenzeiten“ sprechen. Für die Gräser allerdings wird sich ein solches Zusammentreffen eher nachteilig aus. In normalen Zeiten finden wir Fleischfliegen, oft in großer Zahl, auf Blüten bzw. Blütenständen mit frei zugänglichen Nektarien (z.B. von Doldenblütlern, Apiaceae, Abb. 7d).

Nicht unerwähnt soll bleiben, dass seit der Entstehung der Erde vor ca. 4,6 Milliarden Jahren das Klima sich immer wieder änderte. Vor rund zweieinhalb Millionen Jahren begann eine Abkühlung der Erde und seitdem wechselten sich Warm- und Kaltzeiten in Zyklen ab. Klimaveränderungen verursachten immer Aussterben von Arten, lösten aber auch Tier- und Pflanzenwanderungen aus und führten zu Angepasstheiten an neue Umweltbedingungen und damit zur Entstehung neuer Arten. Aber der menschliche Anteil am momentanen Klimawandel beschleunigt die natürlichen Vorgänge und stellt für die Organismen einen zusätzlichen Stressfaktor dar.

### 1.2.5 Invasive Arten

Neben Landnutzungswandel, Lebensraumzerstörung durch Umweltverschmutzung und Klimaänderung gilt die Ausbreitung invasiver Arten global als eine Bedrohung heimischer Arten (Abb. 3). Laut IPBES-Berichten (2019, 2023) gibt es weltweit mehr als 37000 gebietsfremde Arten, mehr als 3500 davon gelten als invasiv. Eine eingeschleppte Art gilt nur dann als invasiv, wenn sie sich im neuen Gebiet fest etabliert hat und einheimische Arten und Ökosysteme bedroht.

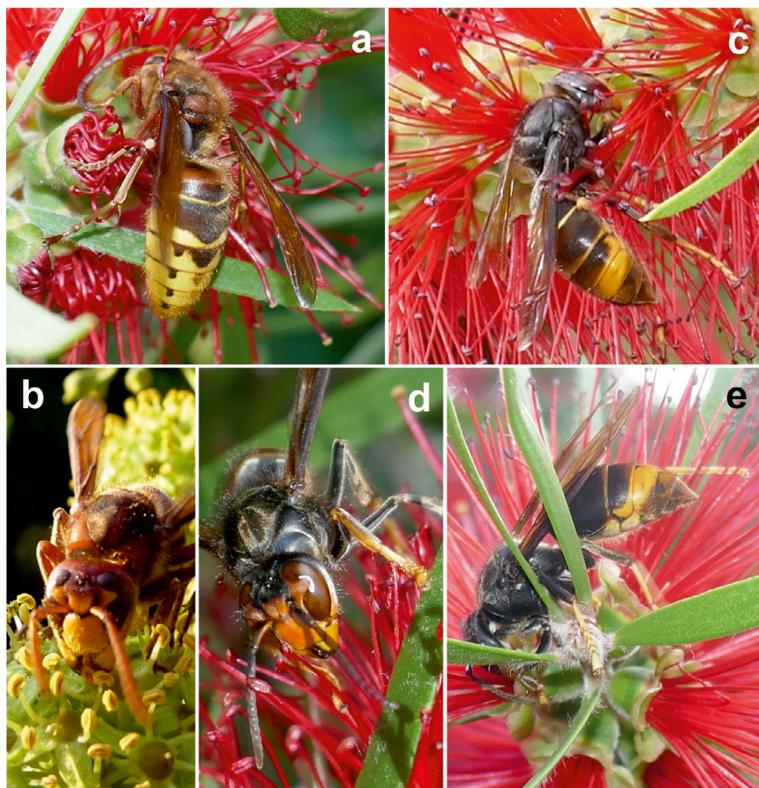
Als gebietsfremde Arten (Neobiota), Pflanzen (Neophyten)<sup>11</sup> und Tiere (Neozoa), bezeichnet man Arten, die nach 1492 (das Datum wurde als Zäsur gewählt, da die Entdeckung Amerikas durch Columbus den globalen Handel einleitete) in Deutschland bzw. Europa, beabsichtigt oder unabsichtlich, eingeführt wurden und sich aufgrund geeigneter Umweltbedingungen in der freien Natur ansiedeln und ausbreiten konnten.

Nicht alle neu eingebürgerten Pflanzen sind problematisch. Die meisten Neophyten leben in friedlicher Koexistenz mit den heimischen Pflanzen und vergrößern sogar die Artenvielfalt. Ein Problem aber sind die sog. invasiven Neophyten. Sie sind so konkurrenzstark (oft stärker als in ihrem Herkunftsgebiet), dass sie heimische Pflanzen verdrängen. Man kann grob sagen, dass etwa 10 % der in Deutschland etablierten Neophyten invasiv sind.<sup>12</sup> Beispiele sind der Japanische Staudenknöterich (*Reynoutria*

11 Gebietsfremde Pflanzen aus früheren Zeiten, die etwa mit dem Beginn des Ackerbaus in der Jungsteinzeit (z. B. Klatsch-Mohn, Kornblume, Kornrade) oder durch den Handel der Römer (z. B. Esskastanie) zu uns kamen, werden als Archäophyten („Alt-Pflanzen“) bezeichnet.

12 In Deutschland kommen 3546 Blütenpflanzen-Arten vor; hinzu kommen etwa 400 etablierte Neophyten (Buttler et al. 2018).

*japonica*, Polygonaceae) und das Drüsige Springkraut (*Impatiens glandulifera*, Balsaminaceae), die jeweils großflächige, stark durchwurzelte, dichte Bestände bilden. Das Drüsige Springkraut findet an feuchten, nährstoffreichen Standorten optimale Bedingungen und verdrängt dann heimische Arten wie das Echte Mädesüß (*Filipendula ulmaria*, Rosaceae) und den Gewöhnlichen Blutweiderich (*Lythrum salicaria*, Lythraceae).



**Abbildung 8:** Europäische Hornisse (*Vespa crabro*) und Asiatische Hornisse (*Vespa velutina*) im Vergleich. – a–b, Die etwas größere Europäische Hornisse hat einen rötlich-braunen Vorderkörper, auf dem Hinterleib eine schwarze Zeichnung auf gelben Grund (wie bei vielen Wespenarten) und ein gelbes Kopfschild (Clypeus). – c–e, Die Asiatische Hornisse hat einen schwarzen Vorderkörper, einen dunklen Hinterleib mit gelben bis orangefarbenen Banden, ein orangefarbenes Kopfschild (d) und schwarze Beine mit gelben Füßen (Tarsen). Daher wird sie auch Gelbbeinige Hornisse genannt. – a, c–e, Beide Hornissen-Arten waren gleichzeitig im Botanischen Garten Heidelberg (8.10.2023) auf den Blütenständen des aus Australien stammenden Schmalblättrigen Zylinderputzers (*Melaleuca linearis*, Myrtaceae) auf Nektarsuche. – b, Die Europäische Hornisse auf den Blütenständen des Efeus (*Hedera helix*, Araliaceae), auf dem wir im Herbst 2023 auch die Asiatische Hornisse im Handschuhshheimer Feld beobachten konnten. Bildquellen: Eigene Aufnahmen.

Es wird befürchtet, dass von dem Klimawandel wärmeliebende, südliche (mediterrane) Arten sowie frostempfindliche (atlantische) Arten profitieren (Sittaro et al. 2023). Als Gartenpflanze neigt derzeit der Kirschlorbeer (*Prunus laurocerasus*, Rosaceae) in stadtnahen Wäldern zu verwildern. Als immergrüne Pflanze behindert er dann die lichtbedürftigen Frühjahrsblüher. Auch heimische Pflanzenarten wie die Große Brennnessel (*Urtica dioica*) können durch veränderte Standortbedingungen (gestört, nitratreich) eine ähnlich starke Verdrängungswirkung auf andere heimische Arten haben wie invasive Neophyten.

Als tierisches Beispiel wählen wir die in den letzten Jahren besonders in den Fokus geratene Asiatische Hornisse (*Vespula velutina*; Abb. 8c–e), die weniger mit unserer heimischen Europäischen Hornisse (*Vespula crabro*; Abb. 8 a–b) in Konkurrenz tritt, aber als opportunistischer Jäger eine Vielzahl anderer Insekten erbeutet (die Arbeiterinnen ernähren sich hauptsächlich von kohlenhydratreichen Quellen wie Nektar, reifen Früchten und Baumsäften, während die Larven mit proteinreicher Nahrung gepflegt werden). Beim aktuellen Insektenschwund wird sie als weiterer Stressfaktor bewertet, besonders für die Honigbiene, da diese die bevorzugte Proteinquelle darstellt. Häufig werden jagende Hornissen in Lauerstellung vor Bienenstöcken beobachtet, wo sie gezielt an- und abfliegende Honigbienen abfangen (Villemant et al. 2011, Monceau et al. 2014).

## 1.3 Maßnahmen gegen den Insektenschwund

### 1.3.1 Forderungen an die Politik

Wissenschaftler, speziell Entomologen, haben mit ihren Forschungen das Insektensterben mit Zahlen dokumentiert und auch die Gründe teilweise schon wissenschaftlich erforscht. Im Rahmen eines Internationalen Insektenschutz-Symposiums 2018 in Stuttgart haben die Vortragenden einen Neun-Punkte-Plan gegen das Insektensterben aufgestellt („1. Einschränkung des Pestizideinsatzes in der Landwirtschaft, 2. Extensivierung der Landwirtschaft, 3. Erhöhung der Artenvielfalt des Grünlands, 4. Pflege von Naturschutzgebieten, 5. Mehr Natur im öffentlichen Raum, 6. Gegen Lichtverschmutzung angehen, 7. Forschungs- und Bildungsoffensive, 8. Förderung von Wildbestäubern, 9. Öffentlichkeitsarbeit“) und geben in den Abschnitten, kurz formuliert, der Politik sehr dezidiert Vorgaben, was zu tun ist, um gegen das Insektensterben anzugehen (Krogmann et al. 2018).

Einen Punkt nur möchten wir herausgreifen und mit Zahlen untermauern. Unter Punkt 2a schreiben die Autoren: „Die EU-Agrarsubventionierungen sind dahingehend zu ändern, dass Direktzahlungen an ökologische Leistungen gekoppelt werden.“ Wenn

es um die Förderung der Landwirtschaft durch die EU geht, so reden wir von Zuschüssen von jährlich 60 Milliarden Euro. Von diesem Geld für die europäische Landwirtschaft wird kaum etwas „für gesunde Lebensmittel, den Schutz von Umwelt, Klima und Biodiversität oder den Erhalt von kleinen und mittleren Betrieben verwendet. Im Gegenteil, von 80 Prozent der Gelder profitieren nur 20 Prozent der Betriebe.“ (<https://www.boell.de/de/agraratlas>; siehe auch Agrar-Atlas 2019). Diese Fördergelder könnten besser für den Umbau zu einer nachhaltigen Landwirtschaft Verwendung finden.

Natürlich ignoriert die Politik die Problematik des Insektensterbens nicht. In der derzeit gültigen Pflanzenschutzanwendungsverordnung von 2021, beispielsweise, ist ein vollständiges nationales Anwendungsverbot von Glyphosat ab dem 1. Januar 2024 festgeschrieben. Aber durch die erneute Wirkstoffgenehmigung (um 10 Jahre) durch die EU-Kommission, die auch durch die deutsche Enthaltung bei der Abstimmung erst möglich wurde, ist dieses nationale Verbot nun europarechtswidrig. Es sind jetzt wohl nur noch kleinere Teilverbote möglich. Fazit: Die Politik reagiert auch hier zu langsam.

### 1.3.2 Was wir selbst gegen das Insektensterben tun können

Es gibt vom Bundesumweltministerium (BMUV), dem Bundesamt für Naturschutz (BfN) und diversen Umweltverbänden Broschüren, Flyer und Plakate zum Thema „Insektenförderung“. Jeder kann sich leicht informieren. Es gibt auch eine Reihe von Initiativen, die man mit einer Unterschrift oder Spende unterstützen kann (z.B. das Volksbegehren „Rettet die Bienen“ oder die europaweite Initiative „*Save bees and farmers*/Bienen und Bauern retten“), durch die aber letztlich doch wieder Forderungen an die Politiker gestellt werden.

Aber ist nicht ein wichtiger Baustein in dem gesellschaftlichen Gesamtkomplex auch das eigene direkte Handeln? Sollten die Prognosen (und Fakten) nicht zu einer tatsächlichen sinnvollen Aktion führen? Da wir glauben, dass weder mit strengen Verboten und Geboten noch mit zu drastischen Änderungen eine breite Bevölkerung mitgenommen und zum Handeln überzeugt werden kann, haben wir seit Herbst 2019 in Vorlesungen und öffentlichen Vorträgen unsere „Sieben Goldenen Regeln“ vorgestellt und in gedruckter Form ausgeteilt (Abb. 9). Die Regeln erklären sich eigentlich von selbst. Da wir in den Diskussionen zu dem Thema einerseits viel guten Willen wahrnehmen, aber andererseits auch erfahren, dass aus Nichtwissen oft falsch gehandelt wird, wollen wir einen Aspekt etwas genauer beleuchten, nämlich die insektenfreundlichen Balkone, Terrassen und Gärten. Dass die immer noch „geliebten“ Schottergärten nicht nur insekten- und biodiversitätsfeindlich sind, sondern auch für das Stadtklima nicht förderlich sind, sollte mittlerweile Allgemeinwissen sein, aber diese „ökologischen Wüsten“ sind dennoch immer noch weit verbreitet.



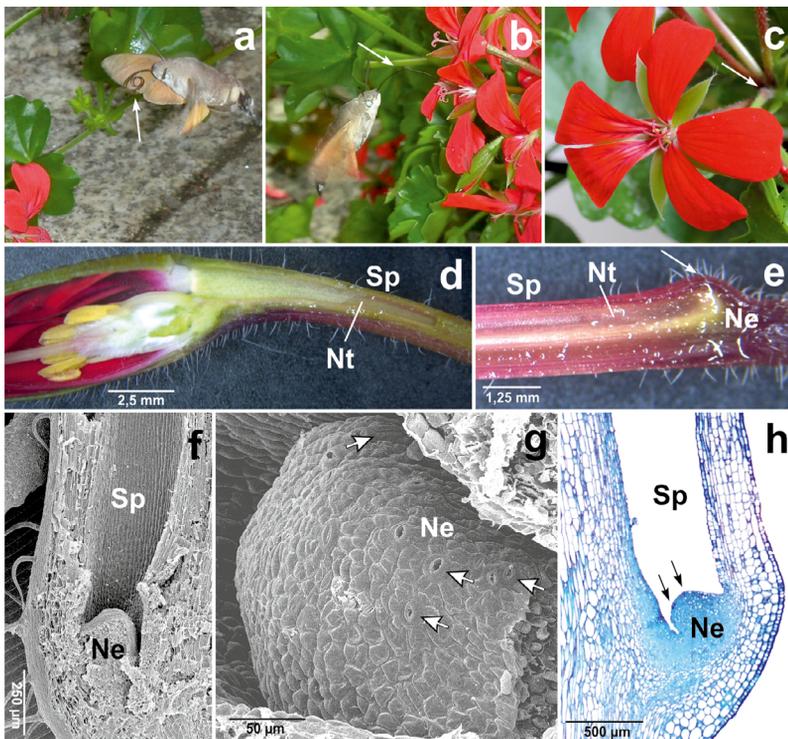
## Was wir selbst gegen das Insektensterben tun können

### Sieben Goldene Regeln

- Einstellung zu den Insekten differenzieren: Insekten auch als Nützlinge und nicht nur als Schädlinge begreifen. Nicht nach Insekten schlagen! Wespen können dabei durch Stechen Allergikern erheblichen Schaden zufügen.
- Balkone, Terrassen und Gärten insektenfreundlich gestalten. Weg mit den unökologischen (und hässlichen) gefüllten (pollen- und nektarlosen) Blüten. Mehr heimische Blütenpflanzen (vor allem Sträucher!). Monotone Rasenflächen oder mit Kies versiegelte Gärten als Problem einer ökologischen Verarmung unserer Städte und Gemeinden sehen.
- Den Bestäubern unterschiedlich gestaltete Blüten anbieten: Pollen und Nektar offen oder versteckt präsentiert (teller- und becherförmige Blüten für Käfer, Fliegen und Wespen, kurzröhrige Blüten und Lippenblumen für Bienen, tief schmalröhrige Blüten für Schmetterlinge).
- Mehr Natur in der Stadt fordern: strukturreiche Flächen (Hecken) und Biotopverbund zwischen Nutzflächen sowie geeignete Insektenbrutplätze (Fachleute fragen).
- Sich wehren gegen unsinnige "Kahlschläge" auf öffentlichen (städtischen) Grünanlagen! Sich wehren gegen insuffiziente Argumentationen seitens der Verantwortlichen!
- Vermehrt regionale und saisonale Produkte aus ökologischem oder zumindest integriertem Landbau in der Küche verwenden! Möglichst industriell hergestellte verzehrfertige Lebensmittel ("Convenience-Produkte") vermeiden. Selber kochen mit "sauberen" Ausgangsprodukten kann zudem zur Entschleunigung beitragen (Esskultur!).
- Stärkung von Bildung und wissenschaftlicher Aufklärung auf den Gebieten der biologischen Vielfalt (Arten- und Ökosystemkenntnis), der ökologischen Zusammenhänge und der Organismischen Evolution in Elternhaus, Kindergärten, Schulen und Universitäten! Schule schwänzen ist kontraproduktiv! Vorschlag: freitags den Unterricht auf Umwelt-relevante Themen ausrichten.

Abbildung 9: Insektenvielfalt – eine Auswahl. Was wir selbst gegen den Insektenschwund tun können. Erbar & Leins 2019.

Aber wer sich für eine insektenfreundliche Gestaltung entscheidet, sollte folgendes bedenken: Um die Bestäubervielfalt zu fördern, sollte man entsprechend den Erfordernissen der Insekten und ihren Fähigkeiten zur Aufnahme von Pollenkörnern und Nektar heimische Gewächse anbieten, die sich in Form, Farbe und Düften unterscheiden (man kann sich dabei gut an den verschiedenen Insektenblumen-Syndromen orientieren: Abb. 11 und 12 in Erbar & Leins 2023; siehe auch Leins & Erbar 2008). Natürlich gibt es auch nicht-heimische Blüten, die unseren Insekten Nahrung geben wie z.B. verschiedene Salbei-Arten oder der Lavendel. Und wenn man auf exotische Pflanzen nicht verzichten möchte, kann man ja kompensieren, indem parallel Nahrung liefernde Blüten angeboten werden.



**Abbildung 10:** *Pelargonium peltatum*-Kulturvarietäten. – a–b, Taubenschwänzchen (*Macroglossum stellatarum*) vor (a) und bei (b) der Nektaraufnahme (Pfeile weisen auf den langen Saugrüssel; in a eingerollt). – c, Einzelne Blüte: Pfeil weist auf das untere Ende des Achsensterns (der als Besonderheit mit dem Blütenstiel vereinigt ist); siehe auch Pfeil in e. – d–e, Blüte längs aufpräpariert: Nektar im Sporn sichtbar. – f–h, Nektarium im unteren Spornende im rasterelektronenmikroskopischen (f–g) und histologischen Bild (h): Pfeile weisen auf Saftspalten, durch die der Nektar herausfließt. Ne= Nektarium, Nt = Nektar, Sp = Sporn. Bildquellen: a–e, eigene Aufnahmen; f–h, Präparate stammen aus der Bachelor-Arbeit von Vera Joedecke (2014), die von der Erstautorin betreut wurde.

Keinen Kompromiss machen wir bei den „gefüllten Blüten“, die aus der Sicht von Blütenökologen zum Abgewöhnen sind. In „gefüllten Blüten“ sind die Elemente der Blütenhülle über die natürliche Zahl hinaus züchterisch vermehrt, meist auf Kosten der Staubgefäße. In „gefüllten Köpfchen“ der Köpfchenblütler (Asteraceae) treten an die Stelle der zwittrigen Röhrenblüten weibliche (oder sterile) Zungenblüten. Bei den „gefüllten Blumen“ handelt es sich in der Natur um eine Sackgasse, da keine Samenbildung erfolgt. Daher verschwinden diese Formen schnell wieder, es sei denn, der Mensch züchtet diese Sorten aus Gründen des „Zierwertes“. Heutzutage sollten diese Sorten aber ganz aus den Gärten und Parks verbannt werden, da sie wenig oder gar keinen Pollen hervorbringen und damit für die Insekten keine Nahrung bieten (siehe Erbar & Leins 2019). Also entscheiden wir uns für ungefüllte Pelargonien – aber Vorsicht! Bei den meisten Sorten der ungefüllten Pelargonien-Hybriden sind die Staubgefäße steril und zudem ist der Nektar weggezüchtet worden. Aber es gibt zum Glück immer noch genetisch gesunde Formen, auf denen häufig das Taubenschwänzchen zu beobachten ist (Abb. 10).

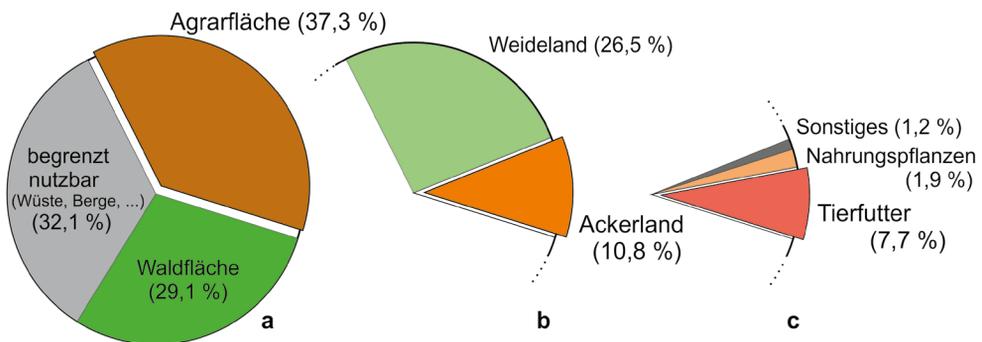
## 2 Veganismus

Wie kommen wir vom Thema Insektensterben zum Thema Ernährungsweise? Eigentlich ganz einfach. Eine der wichtigsten Ursachen des Insektensterbens liefern uns ethisch entkernte Chemiekonzerne (siehe weiter vorne unter 1.2.2), die immer noch „giftige“ Insektizide (hauptsächlich Neonicotinoide) oder Herbizide zum Versprühen und Beizen von Saatgut vertreiben. Es ist daher ratsam, wo nötig, auf Bio-Produkte umzusteigen. Und schon sind wir beim Thema gesunde Ernährung im Zusammenhang mit Nachhaltigkeit (ein Slogan des ökonomischen Umgangs mit den Ressourcen). Weit „über das Ziel hinausgeschossen“ halten wir die vegane Ernährungsweise, wenn wir unterschiedliche Parameter in Betracht ziehen.

Eine vegane Ernährungsweise, die auf sämtliche Produkte tierischen Ursprungs verzichtet, wird schon seit einigen Jahren propagiert und scheint sich heutzutage sogar zu einer Art „Religion“ zu entwickeln. Wir wollen in dieser Studie uns einige Gedanken zur Nachhaltigkeit des veganen Lebensstils im Zusammenhang mit der Problematik der vom Menschen verursachten rasanten Beschleunigung der Klimaveränderung machen. Spätestens jetzt wird klar, dass wir in einem höchst komplexen Netz von (z. T. widersprüchlichen) Faktoren gefangen sind. Oft sind wir auf Statistiken angewiesen, um Prognosen zu wagen.

Wie solide ist die Aussage: **Die vegane Welt kann die CO<sub>2</sub>-Emissionen um 68 % senken?**

Die Zahl bezieht sich auf eine Studie (Eisen & Brown 2022), die auf einem Gedankenexperiment sowie Computersimulationen und Klima-Modellierungen beruht. Die Autoren gehen davon aus, dass alle Menschen innerhalb der nächsten 15 Jahre auf eine 100 % ig pflanzenbasierte Nahrung umstellen, dass die vorhandenen Nutzpflanzen tierische Proteine und Fette völlig ersetzen können (man beachte, dass der Zweitautor jener Studie Biochemiker und Gründer einer Firma ist, die pflanzliche Fleisch- und Milch-Ersatzprodukte entwickelt) und dass auf den etwas mehr als 30 % der Erdoberfläche, die durch die Tierhaltung frei würden (Summe aus Weideland + Ackerland für Futtermittel; siehe Abb. 11) sich eine natürliche Vegetation einstellt, die dann erhebliche Mengen an CO<sub>2</sub> speichert. Die Autoren räumen selber ein, dass ihre Studie keine Machbarkeitsstudie ist. Es ist also letztlich ein Gedankenexperiment, dass die Menschheit dazu bringen soll, in der Beendigung der Tierhaltung ein großes Potential zu sehen, um die Werte der Treibhausgase erheblich zu reduzieren und so sollte, so die Autoren, die Abschaffung der Tierhaltung an erster Stelle der Strategien zur Vermeidung eines katastrophalen Klimawandels stehen.

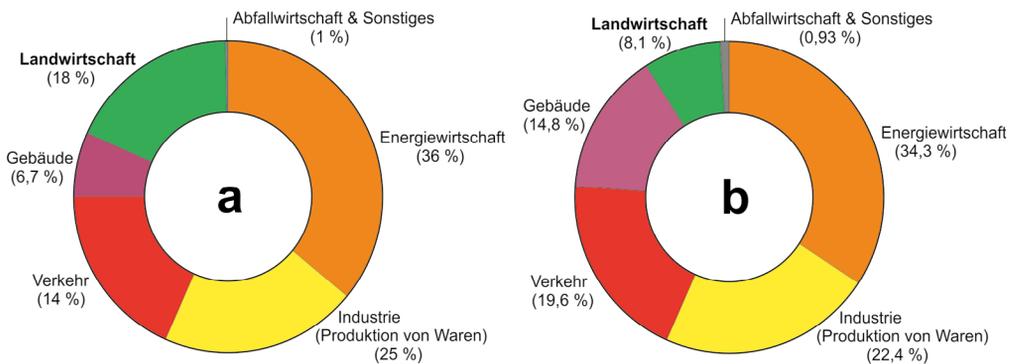


**Abbildung 11:** Globale Flächennutzung für Nahrung (nach Daten des Umweltbundesamtes 2013). – a, An der Gesamtfläche der Erde (13,4 Milliarden Hektar) nimmt die Agrarfläche 37,3% ein. – b, Von dieser Fläche entfällt der größere Teil auf Weideland (71%); auf die Gesamtfläche der Erde bezogen nimmt das Ackerland (29% an der Agrarfläche) 10,8% ein. – c, Von der Ackerlandfläche entfallen 18% auf die Nahrungsmittelproduktion (= 1,9% der Erdoberfläche), 71,3 % auf die Produktion von Futtermitteln (= 7,7% der Erdoberfläche); der Rest (=Sonstiges; 10,7%) beinhaltet die stoffliche Nutzung (z.B. Baumwolle) und Bioenergiepflanzen (1,2% der Erdoberfläche).

Aber erfüllt die hinsichtlich der Durchführung (und auch Annahmen) unrealistische Prognose ihren Zweck? Regt sie zum Nachdenken und Handeln an oder schreckt sie eher ab? Mit dem Wissen, dass die Tierhaltung unbestritten schädliche Auswirkungen hat und andererseits eine weltweite rein vegane Ernährung unrealistisch ist, wollen wir die Prognose nutzen, um die Aufteilung der Treibhaus-Emissionen näher zu beleuchten (um eventuell auch andere Stellschrauben auszumachen) und die Frage nach der Nachhaltigkeit der Ernährungsformen zu stellen.

## 2.1 Zahlen und Hintergründe zu den Treibhausgas-Emissionen

Global gesehen sind durch die unterschiedliche Lebensweise und Ernährung in den einzelnen Erdteilen/Ländern die Treibhausgas-Emissionen nicht einheitlich. Deshalb wollen wir uns neben der weltweiten Aufteilung der Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2022 auch die Aufteilung in Deutschland ansehen.



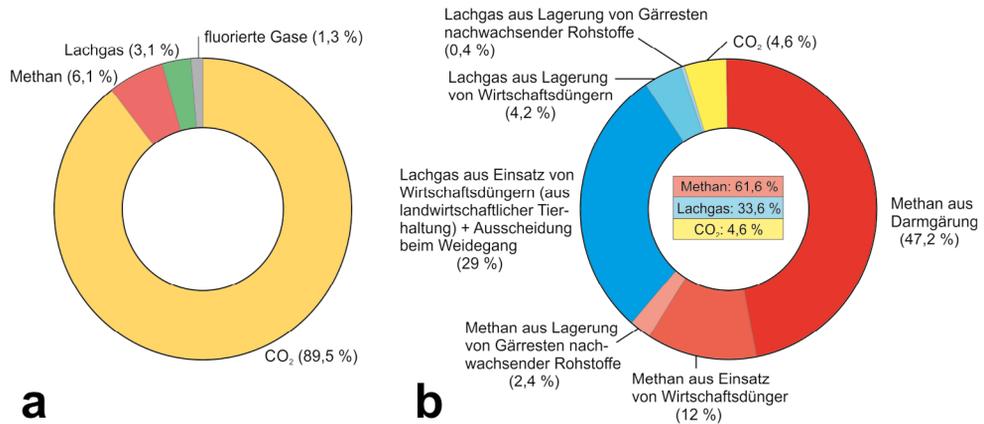
**Abbildung 12:** Treibhausgas-Emissionen (Definition der Sektoren entsprechend dem Klimaschutzgesetz). – a, Aufteilung der weltweiten Treibhausgas-Emissionen im Jahr 2022 (insgesamt rund 57,4 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Diagramm erstellt nach Zahlen von UNEP (2023). – b, Aufteilung der Treibhausgas-Emissionen (insgesamt rund 750 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente) in Deutschland im Jahr 2022 (Diagramm erstellt nach Zahlen des Umweltbundesamtes 2024a).

Global gesehen ist die Landwirtschaft (im Jahr 2022) mit 18 % der drittgrößte Verursacher von Treibhausgas-Emissionen (Abb. 12a), in Deutschland sind die Emissionen mit 8 %

am Gesamtausstoß geringer (Abb. 12b). Der größte Anteil kommt jeweils aus energetischer Nutzung (36 % bzw. 34,27 %) und industriellen Prozessen (25 % bzw. 22,4 %).<sup>13</sup>

**Treibhausgase/Treibhauseffekt/CO<sub>2</sub>-Äquivalente.** Neben den Hauptbestandteilen Sauerstoff und Stickstoff enthält die Atmosphäre auch die sog. Treibhausgase Wasserdampf (H<sub>2</sub>O), Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>), Methan (CH<sub>4</sub>) und Lachgas (Distickstoffoxid, N<sub>2</sub>O). Diese Gase haben die physikalische Eigenschaft, die von der Erdoberfläche abgegebene langwellige Wärmestrahlung aufzunehmen und wieder abzugeben. Ein Teil dieser Strahlung wird zur Erdoberfläche zurückgestrahlt und bewirkt dort eine Temperaturerhöhung, indem die Abkühlung durch Wärmeabstrahlung vermindert wird. Dieser natürliche Treibhauseffekt ermöglicht das heutige Leben auf der Erde. Denn durch das natürliche Vorkommen der Treibhausgase Wasserdampf und Kohlendioxid ergibt sich eine Temperaturdifferenz von 33°C. Ohne Treibhausgase würde die Durchschnittstemperatur auf der Erde bei etwa -18°C liegen: die Erde und das Leben auf ihr hätten sich nicht in den heutigen Zustand entwickeln können (Roedel & Wagner 2011; siehe auch <https://www.myclimate.org/de-ch/informieren/faq/faq-detail/was-ist-der-treibhauseffekt>). Der Ausstoß von Treibhausgasen durch den Menschen seit Beginn der Industrialisierung verstärkt diesen natürlichen Effekt. Wasserdampf ist das wichtigste natürliche Treibhausgas. Sein Beitrag zum natürlichen Treibhauseffekt ist zwei- bis dreimal größer als der von CO<sub>2</sub>; Wasserdampf hat aber nur eine sehr kurze atmosphärische Verweilzeit von ca. 10 Tagen. Für den direkten Einfluss auf den Klimawandel sind vermutlich die Gase CO<sub>2</sub> (dient als Referenzwert), Methan, Lachgas und die fluorierten Gase (Fluorkohlenwasserstoff HFC, Perfluorkohlenwasserstoff PFC, Schwefelhexafluorid SF<sub>6</sub>, Stickstofftrifluorid NF<sub>3</sub>) verantwortlich. Die Treibhausgase haben eine unterschiedliche Wärmeabsorptions-Wirkung und auch Abbaugeschwindigkeit. Methan ist 25 mal schädlicher als CO<sub>2</sub>, Lachgas sogar um den Faktor 298; die fluorierten Gase liegen zwischen 17 und 22800. Um die Vergleichbarkeit der einzelnen Treibhausgase zu gewährleisten, wurden daher CO<sub>2</sub>-Äquivalente errechnet und diese werden in den Zusammenstellungen berücksichtigt.

13 Aber nicht nur durch unseren Konsum, sondern auch durch unseren eigenen Stoffwechsel (der mit der Nahrung aufgenommene, chemisch gebundene Kohlenstoff wird als CO<sub>2</sub> ausgeatmet) setzen wir – je nach Aktivität, Körpergewicht und Alter – zwischen 168 und 2.040 kg CO<sub>2</sub> pro Jahr frei (<https://www.cozonline.de/service/klima-orakel/beitrag/wieviel-co2-atmet-der-mensch-aus-8518/>).



**Abbildung 13:** Treibhausgas-Emissionen. – a, Anteil der einzelnen Treibhausgase an der Gesamt-Emission (insgesamt rund 750 Millionen Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente) in Deutschland im Jahr 2022 (nach Zahlen des Umweltbundesamtes 2024b). – b, Anteil der Treibhausgase an den Emissionen der Landwirtschaft im Jahr 2022 (nach Zahlen des Umweltbundesamtes 2023).

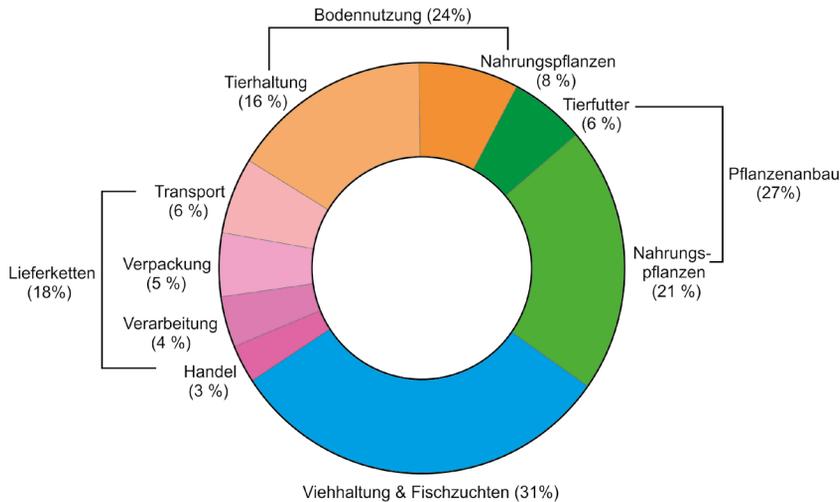
In Deutschland dominiert Kohlendioxid (CO<sub>2</sub>) mit 89,5% die Treibhausgas-Emissionen (Abb. 13a). CO<sub>2</sub> ist ein elementarer Bestandteil des globalen Kohlenstoffzyklus. Er ist bei Lebewesen (auch bei den Pflanzen) ein Produkt der Zellatmung. Pflanzen (inklusive Algen) entziehen der Atmosphäre CO<sub>2</sub>, da sie bei der Photosynthese mit Hilfe des Sonnenlichts aus CO<sub>2</sub> und Wasser Zucker bilden können, die zum Aufbau der Biomasse genutzt werden. Für Pflanzen wirkt CO<sub>2</sub> als „Dünger“. Durch menschliche Aktivitäten wie die Verbrennung fossiler Energieträger (Kohle, Erdöl, Gas) und Abholzen von Wäldern besonders durch Brandrodung steigt der Anteil von CO<sub>2</sub> in der Erdatmosphäre kontinuierlich.<sup>14</sup> Die übrigen Emissionen verteilen sich in Deutschland hauptsächlich auf Methan mit 6,1% und Lachgas mit 3,1% (Abb. 13a), wobei diese hauptsächlich aus der Landwirtschaft stammen. Methan, der Hauptbestandteil von Erdgas, entsteht durch biologische Prozesse bei der Fäulnis oder Gärung und auch bei Verdauungsprozessen. Bei der Zersetzung von als natürlichem Dünger ausgebrachtem Mist und Gülle wird Methan freigesetzt. Wiederkäuer wie Rinder, Schafe und Ziegen können in ihrem Magensystem faserreiches Futter wie Gras und Heu mit einem hohen Anteil an Cellulose aufschließen (für uns ist dieses Kohlenhydrat nur ein Ballaststoff). Als Nebeneffekt dieses besonderen Verdauungsvorgangs, der Darmgärung, wird dabei als Nebenprodukt Methan frei, das beim Wiederkäuen „ausgerülpt“ (und auch „ausgepupst“ wird).

<sup>14</sup> Die globale Konzentration von Kohlendioxid in der Luft ist seit Beginn der Industrialisierung im späten 18. Jahrhundert um gut 50% gestiegen, von 280 ppm auf 419 ppm im Jahr 2022 (CenCO<sub>2</sub>PIP 2023).

Methan entweicht auch aus undichten Erdgas-Bohrlöchern und -leitungen sowie aus Mülldeponien und natürlicherweise aus auftauenden Permafrostböden und feuchten Böden besonders der Tropen (so auch aus Reisfeldern). Auch Lachgas-Emissionen entstehen durch Verbrennungsprozesse, vor allem aber aus landwirtschaftlich genutzten Böden als Folge der (mineralischen und organischen) Stickstoffdüngung. Bei fluorierten Gasen (1,3 %; Abb. 13a) handelt es sich um nicht natürlich vorkommende Gase, die in verschiedenen industriellen Anwendungen zum Einsatz kommen.

Sehen wir uns die Emissionen nur im Landwirtschaftssektor an (Abb. 13b), so zeigt sich, dass die Methan-Emissionen mit 61,9 % den Hauptteil ausmachen und hier wiederum die Gase aus den Verdauungsprozessen dominieren. Lachgas-Emissionen haben einen Anteil von 33,6 % und entstehen hauptsächlich beim Ausbringen von mineralischen und organischen Düngern auf landwirtschaftliche Flächen. Wenn bei zu viel Stickstoffdünger-Einsatz der Stickstoff von den Nutzpflanzen nicht vollständig aufgenommen werden kann, wird er in Form von Lachgas in die Atmosphäre freigesetzt. Methan- und Lachgas-Emissionen entstehen nicht nur bei der Tierhaltung, sondern auch bei der Nahrungspflanzen-Produktion. Der Reisanbau beispielsweise verursacht zehn Prozent des weltweit emittierten Methans. Von allen Nutzpflanzen hat Reis die schlechteste Klimabilanz: Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck von Reis ist fast dreimal größer als der von Weizen und sogar deutlich größer als der von Milch (Poore & Nemecek 2018). Reisfelder werden in der Regel temporär mit Wasser geflutet, um „Unkraut“ zu unterdrücken. Dabei entsteht durch den Sauerstoffentzug und mikrobielle Prozesse im Boden Methan.

Wenn auch die Viehhaltung unbestritten einen großen Anteil an der Emission klimaschädlicher Gase hat, so entstehen diese jedoch auch beim Anbau von Nahrungspflanzen für den menschlichen Gebrauch. Schon die reine Nutzung von Böden als Acker- oder Grünland und erst recht die Umwandlung und die Art und Weise der Bewirtschaftung kann Auswirkungen auf das Klima haben. Klimawirksame Veränderungen im Kohlenstoffhaushalt der Atmosphäre resultieren auch aus Eingriffen in die Wälder (Bewirtschaftung, Rodung, Aufforstung). Hinzu kommt der nicht zu vernachlässigende Sektor der Lieferketten (Abb. 14).



**Abbildung 14:** Verteilung der durch unsere Ernährung verursachten globalen Treibhausgas-Emissionen (entspricht 26% der Gesamt-Emission bezogen auf 52,3 Milliarden Tonnen CO<sub>2</sub>-Äquivalente). Eigene Abbildung nach Zahlen von Poore & Nemecek (2018) und Ritchie (2019).

## 2.2 Nachhaltigkeit der Ernährungsweisen

Der wohl wichtigste Effekt einer vegetarischen oder veganen Ernährung ist die Reduzierung von Treibhausgas-Emissionen durch den Verzicht auf Fleisch. Konsumaktivitäten allgemein und insbesondere die Ernährungssysteme gehören heute zu den Themen der Nachhaltigkeitsdiskussion. Veganismus wird meist als die nachhaltigste Ernährungsform bezeichnet. Aber stimmt das?

Bei der „Nachhaltigen Ernährung“ (Abb. 15) kommt zu den drei Dimensionen für ökologische, soziale und wirtschaftliche Ziele als vierte Dimension die „Gesundheit“ dazu (Koerber & Kretschmer 1999; später – Koerber et al. 2012 – wurde die „Kultur“ als fünfte Dimension dazu genommen). Sie beleuchtet vor allem die ernährungsphysiologischen Aspekte der Ernährung. Wie beim Dreisäulenmodell sind diese Aspekte nicht isoliert, sondern gemeinsam zu betrachten. Trotzdem versuchen wir, das komplexe Netz in einzelnen Teilen zu beleuchten. Wiederum hilft uns Hintergrundwissen bei unseren Entscheidungen.

**Was ist Nachhaltigkeit?** Der Begriff „Nachhaltigkeit“ wurde historisch nachweisbar erstmals im Kontext der Forstwirtschaft gebraucht (Carlowitz

1713). Hinter dem Konzept einer nachhaltigen Entwicklung („Eine nachhaltige Entwicklung befriedigt die Bedürfnisse der Gegenwart, ohne zu riskieren, dass künftige Generationen ihre eigenen Bedürfnisse nicht befriedigen können“; siehe, z. B. UN-Konferenz für Umwelt und Entwicklung in Rio de Janeiro 1992) steht die „Erkenntnis, dass wirtschaftliche Effizienz, soziale Gerechtigkeit und die Sicherung der natürlichen Lebensgrundlagen gleichwertige überlebenswichtige Interessen sind, die sich gegenseitig ergänzen.“ Im Rahmen der Nachhaltigkeitsdiskussion werden diese drei Dimensionen „Ökologische Nachhaltigkeit“ (schonender Umgang mit der Umwelt, Regeneration muss gegeben sein), „Ökonomische Nachhaltigkeit“ (Wirtschaftsweisen so anlegen, dass sie dauerhaft eine tragfähige Grundlage für Erwerb und Wohlstand bieten, Schutz wirtschaftlicher Ressourcen vor Ausbeutung) und „Soziale Nachhaltigkeit“ (Lebensgrundlage der Mitglieder einer Gemeinschaft wird generationenübergreifend sichergestellt, Konflikte werden friedlich gelöst) zum sog. Dreisäulenmodell zusammengefasst. Kurz gesagt: eine Umwelt- und Sozialverträglichkeit bei wirtschaftlichem Erfolg realisieren.

### 2.2.1 Gesundheitlicher Aspekt

Die Ernährungsform, wie sie heutzutage vor allem in den westlichen Ländern immer noch üblich ist, kann nicht als gesund bezeichnet werden: Der (teilweise sehr) hohe Verzehr von Fleisch kann zu sog. „Zivilisationskrankheiten“ wie Übergewicht, Diabetes und Herz-Kreislauf-Erkrankungen führen (z. B. Westhoek et al. 2014, Springmann et al. 2016). Eine nachhaltige Ernährung gilt als gesund, wenn die Lebensmittelauswahl eine optimale Nährstoffversorgung gewährleistet und der Prävention ernährungsbedingter Erkrankungen dient (z. B. Breidenassel et al. 2022). Bei einer eingeschränkten Lebensmittelauswahl wie beim Veganismus kann es zu Nährstoffdefiziten kommen, vor allem bei der Versorgung mit Proteinen, Omega-3-Fettsäuren, den Vitaminen B<sub>2</sub>, B<sub>12</sub> und D; auch Mineralstoffe, vor allem Calcium, Eisen, Jod, Selen und Zink, können aufgrund der geringeren Nährstoffdichte und schlechteren Verfügbarkeit in veganen Lebensmitteln häufig nicht in ausreichender Menge über diese aufgenommen werden (z. B. Richter et al. 2016, Dörr 2021). Es gibt Hinweise, dass sich eine vegane Ernährung negativ auf die Knochengesundheit auswirken kann (Tong et al. 2020, Menzel et al. 2021) und keine ausreichenden Mengen an Cholin (wichtiger Nährstoff bei der Zellentwicklung und die Produktion des Neurotransmitters Acetylcholin) liefern kann (Zeisel 2013, Wallace et al. 2018). Ob aber eine längerfristige vegane Ernährung Einfluss auf die Gehirnleistung hat, ist noch nicht ausreichend untersucht (Medawar et al. 2019). Ein

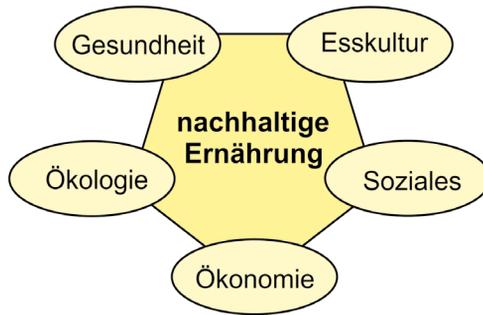


Abbildung 15: Die fünf Dimensionen einer nachhaltigen Ernährung. Eigene Darstellung.

adäquater Vitamin B12-Spiegel ist aber für eine optimale physiologische und neurologische Funktion des Gehirns unerlässlich (Kennedy 2016).<sup>15</sup>

Vegane Ernährung ist, auch bei Supplementierung von Vitaminen und Mineralstoffen, nicht in jedem Fall gesund, wenn nämlich im Supermarkt zu Convenience-Produkten und Fleischersatzprodukten gegriffen wird. Verglichen mit Vegetariern und Omnivoren haben Veganer den höchsten Anteil am Verzehr hoch verarbeiteter Produkte: Rund 53 % der Veganer kaufen industriell verarbeitete Lebensmittel (Gallagher et al. 2021, Gehring et al. 2021, Haider et al. 2023). Vegane Fleischersatzprodukte sind Lebensmittel, die als Analogprodukte im Aussehen, der Farbe, der Form, dem Geschmack und in der Textur tierischem Muskelfleisch ähneln, jedoch aus pflanzlichen Produkten hergestellt werden. Diese Fleischersatzprodukte sind aber „ultraverarbeitet“ (nicht anders als die Fertiggerichte für Omnivore!) und weisen im Vergleich zu unverarbeitetem Fleisch tendenziell hohe Mengen an Natrium auf und enthalten Zusatzstoffe wie Geschmacksverstärker, Aromen, Farbstoffe und Bindemittel, die als Stabilisatoren, Geliermittel, Verdickungsmittel und Emulgatoren wirken (Bohrer 2019, Santo et al. 2020). Alternativprodukte wie Burger, Schinken und Nuggets enthalten 20 bis 30 Zusatzstoffe (Bohrer 2019)! Für den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck<sup>16</sup> dieser chemisch hergestellten Stoffe gibt es unseres Wissens keine (publizierten) Untersuchungen und auch der gesundheitliche Aspekt ist nur wenig untersucht. Bei der Hochtemperaturverarbeitung von eiweißhaltigen Lebensmitteln können toxische und krebserregende Stoffe entstehen, wie beispielsweise heterozyklische aromatische Amine (Barzegar et al. 2019, Sha & Xiong 2020). Pflanzliche Fleischersatzprodukte weisen im Vergleich zu tierischen

15 Für Menschen über 65 konnte gezeigt werden, dass ein Vitamin-B12-Mangel zu einer Einschränkung der kognitiven Fähigkeiten und sogar zu einer Schrumpfung des Gehirns (und zu Demenz) führt (Vogiatzoglou et al. 2008, Tangney et al. 2011).

16 Der CO<sub>2</sub>-Fußabdruck ist ein Maß für die Emissionen aller Treibhausgase, die entlang der Produktionskette eines Erzeugnisses entstehen.

Fleischprodukten eine eingeschränktere Varianz von essenziellen Aminosäuren auf (Meade et al. 2005). Darüber hinaus ist die Verdaulichkeit von pflanzlichen Proteinen im Vergleich zu tierischen schlechter. Sojaprotein ist das am häufigsten verwendete Protein in Fleischersatzprodukten. Verarbeitete Sojaproteine sind vergleichbar mit Lebensmitteln tierischen Ursprungs, weisen aber eine niedrigere Konzentration von essenziellen Aminosäuren auf (insbesondere Methionin und Lysin). Zu den verwendeten Lipidquellen gehören Rapsöl, Kokosnussöl, Sonnenblumenöl, Maisöl, Sesamöl, Kakaobutter und Palmöl (letzteres mit all seinen negativen ökologischen Auswirkungen). Insgesamt gilt bei Fertigprodukten immer noch: zu viel Zucker, Salz, Fett und gesättigte Fettsäuren (Gréa et al. 2022).

Eine Gruppe der Veganer wird gerne etwas abfällig als „Puddingveganer“ bezeichnet. Sie verzichten zwar auf tierische Produkte, ändern aber ansonsten ihre oft ungünstigen Ernährungsgewohnheiten nicht. Fertigprodukte und Süßigkeiten stehen eher auf dem Speiseplan als Vollkornprodukte und Gemüse, so dass gesundheitliche Probleme auftreten können (Haider et al. 2023).

### 2.2.2 Ökonomischer Aspekt

In den letzten Jahren hat sich ein völlig neues Segment in der Lebensmittelbranche etabliert, welches heute das Bild eines jeden Supermarktes prägt: das Segment der veganen Lebensmittelsubstitute – gefühlt wird dieser Bereich im Supermarkt jeden Monat größer. Der europäische Markt für vegane Fleisch- und Milchalternativen hat einen Wert von 1,7 Milliarden Euro (Haider et al. 2023).

Mit der Zunahme des Umweltbewusstseins verändert sich die Lebensmittelindustrie in der Weise, dass sie bei der Vermarktung von Produktmarken mit Nachhaltigkeit wirbt. Nahezu jedes größere Unternehmen führt in seinem Unternehmensleitbild die Nachhaltigkeit als Strategie auf. Aber aufgepasst: Das sog. „*Greenwashing*“ führt oft zu einer Irreführung der Verbraucher in Bezug auf die Umweltpraktiken eines Unternehmens. Dabei geht es nicht nur um irreführende Behauptungen, sondern hinzu kann eine irreführende Bildsprache kommen durch etwa grüne Verpackungen und naturbezogene Bilder. Entgegen der Attribute „Bio“/„aus biologischem Anbau“ und „Öko“/„aus ökologischen Anbau“ sind Formulierungen wie „umweltfreundlich“ und „nachhaltig“ nicht gesetzlich durch die EG-Öko-Verordnung geschützt und können daher frei verwendet werden. Außerdem vermarkten große Lebensmittelkonzerne über die „Gesundheitsschiene“ überteuerte Produkte an gesundheitsbewusste, wohlhabendere Verbraucher (Sexton et al. 2022) – vegane Convenience-Produkte werden gelegentlich auch von solchen Verbrauchern gekauft, die „nur“ ihren Fleischkonsum reduzieren möchten.

### 2.2.3 Ökologischer Aspekt

Über die negativen Aspekte von Tierhaltung und intensiver Landwirtschaft ist in den vorigen Kapiteln schon berichtet worden. Aber auch hier gibt es nicht nur ein Schwarz-Weiß (z. B. Rubach 2020): Pflanzliche Nahrung ist nicht per se nachhaltig. Karotten und Weißkohl weisen den niedrigsten CO<sub>2</sub>-Abdruck auf (Reinhardt et al. 2020). Heimische Äpfel, Erdbeeren und Pfirsiche zählen als Frischware zum klimafreundlichen Obst. Als importierte Äpfel aus Neuseeland, Winter-Erdbeeren oder Dosen-Pfirsiche haben sie dagegen eine schlechte Klimabilanz. Auch importierte Avocados und mit dem Flugzeug transportierte Ananas und Maracuja weisen einen hohen CO<sub>2</sub>-Abdruck auf. Auch „Bio“ ist nicht unbedingt gleichzusetzen mit „nachhaltig“. So kann ein Bio-Lebensmittel einen weiten Transportweg hinter sich haben und dadurch eine große Menge an Treibhausgasen verursachen. Auch Bio-Lebensmittel aus nicht-saisonalen Anbau können viel Energie verbrauchen, wenn sie in geheizten Treibhäusern angebaut werden.

### 2.2.4 Sozialer Aspekt

Vegane Ernährung könnte das Problem des Welthungers lösen – eine weitere Prognose, die man oft in den Medien hört/liest. Die Produktion tierischer Lebensmittel verbraucht ca. 83 % der weltweiten landwirtschaftlichen Nutzfläche, liefert aber nur 37 % unserer Proteine und 18 % unserer Kalorien (Poore & Nemecek 2018). Würden die Menschen die pflanzlichen Produkte selber konsumieren, statt sie an Tiere zu verfüttern, wäre genug Nahrung für alle da. Klingt auf den ersten Blick gut. Wäre da nicht das Problem der Cellulose-Verwertung! Der Mensch besitzt nämlich keine Verdauungsenzyme für den Abbau von Cellulose; sie dienen uns als Ballaststoffe, liefern uns aber keine Energie. Einige Mikroorganismen jedoch – dazu gehören die im Pansen der Wiederkäuer vorhandenen – sind durch ihre Enzyme in der Lage, Cellulose abzubauen. Die mikrobiellen Prozesse im speziellen Verdauungssystem der Wiederkäuer (gekennzeichnet durch vier Mägen: Pansen, Netzmagen, Blättermagen, Labmagen) ermöglichen es Rindern und anderen Wiederkäuern, ganze Pflanzen mit einem hohem Cellulose-Anteil aufzuschließen. Das klimaschädliche Methan (s. o.) ist übrigens kein direktes Produkt der Cellulose-Vergärung, sondern entsteht durch eine anaerobe Carbonat-Atmung von methanbildenden Bakterien (Archaeobakterien). Durch die Fütterung von Zusätzen wie Tanninen, Seetangen, ätherischen Ölen oder Hefen können die Methan bildenden Mikroorganismen im Pansen gehemmt und die Methan-Emissionen im Darm verringert werden (Beauchemin et al. 2022).

Zur sozialen Dimension gehört natürlich auch die Chancengerechtigkeit. Ist eine pflanzenbasierte Ernährung für einkommensschwache Familien realisierbar? Das

Ergebnis möchten vielleicht nicht alle hören: Eine frisch zubereitete omnivore oder eine frisch zubereitete pflanzliche Ernährung sind (bei gleicher Kalorienzufuhr) ungefähr gleich teuer, aber weniger kostspielig als der Konsum von stark verarbeiteten tierischen Produkten. Die vegane Ernährung allerdings war um 23 % teurer als die günstigen Ernährungsvarianten (Kabisch et al. 2021). Geht man von realen Rezepten aus (verglichen wurden 311 Rezepte aus sechs verschiedenen deutschen omnivoren, vegetarischen und veganen Kochbüchern), so ergibt sich hinsichtlich der Preise<sup>17</sup>, dass die ovo-lacto-vegetarischen Rezepte am günstigsten ausfallen. Aufgrund der Kosten für Fleisch- und Milchersatzprodukte sind vegane Rezepte im Durchschnitt etwa 45 % teurer als vegetarische Rezepte (Kolbe 2020).

## 2.2.5 Esskultureller Aspekt

„Kultur“ wurde als fünfte Dimension der nachhaltigen Ernährung erst vor etwas mehr als 10 Jahren dazu genommen (zunächst nur als Erwähnung: Koerber et al. 2012, dann als „losgelöstes Oval“ im Blasensystem der vier Dimensionen: Abb. 1 in Koerber 2014). Wir verstehen die Esskultur als wichtige fünfte Dimension einer nachhaltigen Ernährung (Abb. 15). Koerber et al. (2012) betonen, dass in einem sozio-kulturellen Kontext – global gesehen – verschiedene Norm- und Wertesysteme zu recht diversen Esskulturen geführt haben. Essgewohnheiten und Essmöglichkeiten haben sich in neuerer Zeit verändert. „Fast Food“ (aber auch „Slow-Food“ als Gegenbewegung) und „Erlebnis-Gastronomie“ sind Schlagworte zu diesem Thema. Auch die Beziehung zum Essen hat sich gewandelt: Fremdversorgung steht im Vordergrund (Koerber 2014). Das Wissen um die Herkunft der Lebensmittel (was essen wir eigentlich? wo stammen die Zutaten her?) und die Zubereitungsweisen geht verloren. Auch das Umfeld, in dem Nahrung aufgenommen wird, hat sicherlich einen Einfluss. Essen in angenehmer Atmosphäre am gedeckten Tisch und in Ruhe und mit angenehmen Gesprächen oder aber Essen auf der Hand im hektischen Gehen in der Fußgängerzone oder im Stehen wartend an der Bushaltestelle – was ist wohl gesünder? Und unter Betrachtung des Ressourcenverbrauchs (Herstellung, Verpackung etc.) nachhaltiger? „Fast Food“ und auch hochverarbeitete Fertiggerichte führen nicht nur zu einer Vereinheitlichung des

17 In dieser Studie (Kolbe 2020) wurden auch die Treibhausgasemissionen untersucht. Bei gleichem Kalorienkonsum weisen vegane Rezepte im Durchschnitt im Vergleich zu vegetarischen Rezepten eine Reduktion der Emissionen um 10% auf, im Vergleich zu fleischreichen Rezepten um 65%. Insgesamt sind die Treibhausgas-Emissionen von veganen Rezepten nur geringfügig niedriger als die von vegetarischen Rezepten, da in veganen Rezepten im Vergleich zu ovo-lacto-Rezepten häufiger exotische Zutaten auftauchen, die zu einem Anstieg der CO<sub>2</sub>-Emissionen führen.

Geschmacks, sondern weisen auch einen hohen Energieaufwand auf für Herstellung, Verpackung und Transport.

## 2.2.6 Flexible Flexitarier

Welcher Ernährungsstil ist denn nun der nachhaltigste? In einer Studie zu diesem Thema wurden in einer Simulation (basierend auf Daten aus den USA) zehn Ernährungsweisen<sup>18</sup> miteinander verglichen: Vom konventionellen, sehr Fleisch lastigen Lebensstil über vegetarische Mischformen bis hin zu Veganismus wurden verschiedene Szenarien durchgespielt (Peters et al. 2016). In der Kalkulation wurde ausgerechnet, wie viel landwirtschaftliche Fläche die verschiedenen Ernährungsstile benötigen. Dabei wurden die Landflächen nicht gleichwertig behandelt, sondern sie wurden gewichtet (hinsichtlich Weideland und Anbauflächen für verschiedene Ansprüche von Kulturpflanzen). Wenig überraschend, dass der gegenwärtige Ernährungsstil der Amerikaner am wenigsten nachhaltig ist. Aber der Gegenentwurf, die vegane Ernährung, schnitt in Sachen Nachhaltigkeit nicht am besten ab. Er landete auf Platz 5. Deutlich nachhaltiger waren im Test die lacto- und ovo-lacto-vegetarische Ernährung sowie eine Mischernährung mit nur geringen Mengen Fleisch (20% omnivor, 80% ovo-lacto-vegetarisch). Sogar eine weitere Mischernährung (40% omnivor, 60% ovo-lacto-vegetarisch) lag noch vor der veganen Ernährungsform (Peters et al. 2016).

Warum schneidet eine vegane Ernährung hinsichtlich der Nachhaltigkeit schlechter ab? Bei einem veganen Ernährungsstil bleiben einige landwirtschaftlichen Flächen ungenutzt. Denn für den Anbau verschiedener Pflanzen werden unterschiedliche Arten von Nutzflächen benötigt. Beispielsweise sind die Böden von Weideland oftmals nicht für den Anbau von Nutzpflanzen geeignet. Ein geringer Fleischanteil in der Nahrung widerspricht also nicht der Nachhaltigkeit. Das betrifft aber nicht nur den Flächenverbrauch. So erzeugen auch vegane Lebensmittel große Mengen an nicht-essbarer Biomasse. Beim Getreide etwa ist nicht einmal die Hälfte der geernteten Biomasse als Lebensmittel geeignet (Körner versus Stroh). Als primäre Futtergrundlage macht die Biomasse aus Grünland, nicht-essbaren Zwischenkulturen und Ernterückständen knapp die Hälfte des global gehandelten Mischfutters aus (Windisch & Flachowsky 2020). Übrigens: Außerdem trifft die Aussage, dass Vieh nur 18% der Kalorien liefert (Poore & Nemecek 2018, siehe zu Anfang des Kapitels 2.2.4), die Sache nicht im Kern, denn

18 1. momentane Haupt-Ernährungsweise, 2. wie 1 aber zucker- und fettreduziert, 3. 100% omnivor, 4. 80% omnivor, 20% ovo-lacto-vegetarisch, 5. 60% omnivor, 40% o-l-v, 6. 40% omnivor, 60% o-l-v, 7. 20% omnivor, 80% o-l-v, 8. ovo-lacto-vegetarisch, 9. lacto-vegetarisch, 10. vegan.

Vieh wird nicht gehalten, um Kalorien zu liefern, sondern um Cellulose reiche, für uns nicht verwertbare Pflanzen in hochwertiges Eiweiß mit essentiellen Aminosäuren umzuwandeln, die wir aus Pflanzen nur bedingt gewinnen können.<sup>19</sup> Probleme entstehen eigentlich erst bei intensiver Tierhaltung. Eine Reduktion des Fleischkonsums führt zu einer Reduktion des Viehbestands. Dadurch müsste dann eigentlich kein Viehfutter mehr importiert werden, was auch das Problem der Waldrodung in Südamerika für den Soja-Anbau löst! Wenn nur regional generiertes Tierfutter verwendet würde, dann wäre auch das Problem der Massentierhaltung gelöst. Auch der agrarwissenschaftliche Beirat der Bundesregierung zitiert in seinem Gutachten (WBAE 2020), „dass die Unterschiede zwischen einer veganen und einer flexitarischen Diät (letztere mit ungefähr einem Viertel des heutigen Konsumniveaus tierischer Lebensmittel) im Hinblick auf wichtige Umweltindikatoren (Treibhausgas-Emissionen, Anbaufläche, Süßwasser, Stickstoff, Phosphor) gering sind“ (siehe dazu Springmann et al. 2016).

Ein gewisser Fleischverbrauch ist also aus bioökonomischen als auch gesundheitlichen Gründen erwünscht und bei moderater Viehhaltung ist dies auch ökologisch vertretbar. Wenn Massentierhaltung ausgeschlossen wird, ist dies natürlich mit höheren Preisen verbunden. Die höheren Kosten durch die Qualitätssteigerung von Fleisch und dessen Produkte kann von einem flexiblen Flexitarier dahingehend kompensiert werden, die Fleischportionen bei entsprechenden Gerichten zu minimieren, was ihm natürlich ganz im Sinne einer gesunden Ernährung entgegenkommt: Wenig Fleisch an reichlich Gemüse und Salaten! Noch genießbare Lebensmittel wegzuwerfen, ist mit dem Prinzip der Nachhaltigkeit auch nicht vereinbar! Wir brauchen aber mehr, nämlich den flexiblen Flexitarier. Denn: Nicht jede Frucht, jedes Gemüse oder Getreide ist nachhaltig, nur weil es kein tierisches Produkt ist. Da Nachhaltigkeit im Kontext der Ernährung viele Facetten hat, sollten die Herkünfte der Nahrung auch möglichst regional und saisonal sein!

**Fleischkonsum unter evolutionärem Blickwinkel.** Evolutionsbiologisch betrachtet ist der Mensch ein Allesesser (wenn auch in den Medien in letzter Zeit anderes behauptet wird). Er verträgt grundsätzlich Fleisch, Milch, Eier, Honig, Fisch, viele Pflanzen (unterirdische Teile, Blätter, Früchte, Samen): Gebiss und Magen-Darm-Trakt zeigen entsprechende Anpasstheiten. Schnittspuren an fossilen Tierknochen (Domínguez-Rodrigo et al. 2005) zeigen, dass der frühe Mensch (*Homo habilis*, *H. erectus*) seit etwa

19 Auf die Wasserproblematik wird in dieser Arbeit nicht näher eingegangen. Die Lebensmittel-Produktion sowohl pflanzlichen als auch tierischen Ursprungs benötigt Wasser. Wieviel Wasser eingesetzt wird, um welches Wasser es sich handelt (Trink-, Regen- oder Brauchwasser) und welche ökologischen Folgen sich ergeben, hängt auch davon ab, in welcher Region der Erde die Lebensmittel produziert werden.

2,5 Millionen Jahren tierische Nahrung zu sich nimmt und mit einfachen Werkzeugen bearbeitet (Zink & Liebermann 2016). Auffallend ist, dass in den letzten 2 Millionen Jahren die Gehirnmasse in der Gattung *Homo* zugenommen hat (im Gegenzug wurde der Darm kleiner). In der Zeit zwischen 1,9 Millionen und 200.000 Jahren vor heute hat sich die Größe des Gehirns der Vorfahren des heutigen Menschen verdreifacht. Es wird angenommen, da Fleisch eine hohe Nährstoffdichte mit vielen Proteinen und vor allem Fetten aufweist, dass es dieser Nährstoff-Überschuss war, der eine gute Voraussetzung für das Wachstum des Gehirns war (z. B. Aiello & Wheeler 1995, Reichholf 2001, Pobiner 2016). Zeitlich passen die Aufnahme tierischer Nahrung und die Gehirnvergrößerung gut zusammen.

Der Mensch war in seiner Evolution nie ein reiner Fleischfresser, sondern Fleisch diente nur als zusätzliche Nahrung. Aber eine so deutliche Gehirnvergrößerung konnte mit Sicherheit nicht stattfinden, bevor eine energiereichere Ernährung seine Versorgung gewährleistete. Unser heutiges Gehirn, obwohl es nur wenige Prozent der Körpermasse ausmacht, verbraucht bei Erwachsenen etwa 20% der benötigten Gesamtenergie.

Bei Regionalität ist der Zusatz „möglichst“ wichtig. Als Beispiele sollen nur die „Nüsse“<sup>20</sup> aufgeführt werden. Laut „*Planetary Health Diet*“, dem weltweiten Referenzrahmen für eine gesunde und umweltgerechte Ernährungsweise, sollen wir 50 g Nüsse pro Tag verzehren (Willett et al. 2019). Das sind 18 kg pro Jahr (aktuell verzehren wir 4 g pro Tag, d. h. 1,5 kg pro Jahr, Breidenassel et al. 2022). Der Selbstversorgungsgrad in Deutschland liegt für Nüsse aber bei unter 5% (WWF 2022). Durch den Import ist die Ökobilanz also nicht immer günstig!

In Regionen mit einem Jahreszeitenklima spielt auch die Saisonalität eine Rolle. Die pflanzlichen Lebensmittel sind nicht das ganze Jahr über verfügbar und daher ändert sich der Speiseplan mit den Jahreszeiten. Eine spannende Herausforderung für den flexiblen Flexitarier!

Entsprechend den „Sieben Goldenen Regeln: Was wir selbst gegen das Insektensterben tun können“ (Abb. 9) haben wir auch „Regeln“ für den Flexitarier aufgestellt

20 Was in den Ernährungsplänen als „Nuss“ bezeichnet wird, ist seltener auch botanisch gesehen eine Nuss (zu den Definitionen siehe Leins & Erbar 2008, 2010). Gegessen werden immer nur die ernährungsrelevanten Samen. Die Haselnuss ist auch botanisch eine Nuss; Cashew, Mandel, Pistazien und Walnüsse sind Steinfrüchte; die Macadamia hat eine Balgfrucht (die sehr harte und dicke Samenschale ist hier eine Besonderheit). Pinienkerne sind Samen, die offen in den holzigen Zapfen dieses Nacktsamers sitzen.

(Abb. 16), die das nachhaltige Leben etwas einfacher machen sollen, da es uns fast unmöglich erscheint, für alle Lebensmittel dauernd den CO<sub>2</sub>-Fußabdruck zu ermitteln.

Unsere beiden Hauptthemen – Insektenschwund/Biodiversitätsverlust und nachhaltige Ernährung – werden z. T. von ähnlichen Faktoren beeinflusst (von nicht ungefähr gibt es Überschneidungen in den „Regeln“ (Abb. 9 + Abb. 16). Lebensmittelproduktion, -verarbeitung, -verpackung, -transport, -verwendung und -abfall haben soziale, ökonomische und gesundheitliche Effekte, aber eben auch bedeutende Umweltauswirkungen, die u.a. auch die Biodiversität betreffen. Aber nicht nur jedes Lebensmittel, sondern unser gesamter Konsum hinterlässt einen ökologischen Fußabdruck. Die gute Nachricht: Wir brauchen nicht auf andere Akteure (Politiker, Landwirte, Händler ...) warten – wir als Verbraucher haben mit jedem Einkauf die Wahl!

### 3 Abschließende Bemerkungen

Unsere Prognosen den Insektenschwund betreffend sind durch zahlreiche Beobachtungen, wissenschaftliche Studien sowie exakte Analysen ökologischer Vernetzungen so gut fundiert, dass diese Anlass bieten, viel schneller zu handeln als dies momentan seitens der Politik geschieht. Die Gründe hierfür liegen natürlich in den unterschiedlichsten individuellen Interessen. Auf der einen Seite sind es kurzfristige egoistische Ziele ethisch entkernter Konzerne, auf der anderen Seite ist die Fürsorge für die zukünftige Entwicklung unserer Menschheit im Fokus. Wir dürfen aber diejenigen mit einer ungenügenden Ausbildung nicht vergessen: Gleichgültigkeit ist bei jenen an der Tagesordnung. Es wird daher schwierig sein voranzukommen.

Noch schwieriger wird es wohl mit dem Umgang des Veganismus sein. Für viele strenge Veganer ist Veganismus zu einem „Lifestyle“, ja zu einer Art Religion geworden. Nun haben, das ist ja wirklich nichts Neues, Religionen im Allgemeinen ein hohes Konfliktpotential (siehe Erbar & Leins 2023). Der Veganismus bezieht sich vielfach rein emotional auf das unversehrte Leben der Tiere und den Zugriff auf das, was sie für ihre Jungen produzieren (die „schönen Augen der Tiere“, das „Kindchenschema“ sind, nach eigenen Umfragen, vielfach die Beweggründe).

Verfechter einer derartigen Einstellung mögen vielleicht die ständigen kriegerischen Auseinandersetzungen unter den „Völkern“ ignorieren. Aber genau die Vermeidung von Morden in einem Krieg sollte unser aller Anliegen sein. Ist ein Mensch weniger wert als die seit alters her für eine gesunde Nahrung (flexible Flexitarier!) „dienenden“ Tiere? Im Augenblick sehen wir noch keine große Gefahr. Sollte aber der Veganismus überhandnehmen und sich Reglementierungen breit machen, ergibt sich die Frage, ob dann die Leistungsfähigkeit unseres Denkvermögens ausreichen wird (Vogiatzoglou et al. 2008, Tangney et al. 2011, Kennedy 2016, Medawar et al. 2019), die



## Was wir bei einer nachhaltigen und genussvollen Ernährung beachten können

### Sieben Goldene Regeln

- Ausgewogen ernähren, aber mit weniger Fleisch und mehr Gemüse, Salat und Obst: tierische Produkte ergänzen die pflanzliche Vielfalt! Nicht jeden Tag Fleisch essen; manchmal werden aus vegetarischen Gerichten sogar zufällig vegane!
- Wenn immer möglich Lebensmittel aus ökologischem oder zumindest integriertem Landbau kaufen (Erhaltung der Biodiversität und Bodenfruchtbarkeit): bei Fleisch und Fisch auf Herkunft und Haltung achten.
- Bei ökologisch und bei konventionell angebauten pflanzlichen Lebensmitteln, wenn immer es geht, auf Regionalität und Saisonalität achten. Aus ökologischen Gründen kann konventionell-regional-saisonal besser sein als ökologisch-importiert (Verpackung und Transportwege beachten).
- Vermeiden von stark verarbeiteten Lebensmitteln (viele Zusatzstoffe!). Regelmäßiger Konsum von Fertiggerichten verdirbt den Geschmackssinn. Convenience-Produkte (im Sinne von teilfertigen Lebensmittelzubereitungen) kann man – nach einem Blick auf die Zutatenliste und die Herkunft – mit frischen Zutaten aufwerten.
- Billig und schnell sollte beim Essen nicht die Hauptmotivation sein. Aber leckeres Essen muss nicht teuer sein, wenn es regional und saisonal aus Grundzutaten gekocht wird. Aus frischen Ausgangsprodukten selber kochen! Zur Geschmacksvielfalt mit Kräutern und Gewürzen experimentieren!
- Ess-Kultur zelebrieren: Bewusst die Lebensmittel auswählen, die verarbeitet werden, kreativ werden und selbst Gerichte ausprobieren, Zeit haben für die gemeinsame Mahlzeit. Nahrungsaufnahme sollte nicht als nebensächlich betrachtet werden, sondern als fester (genussvoller) Bestandteil des Tages.
- Wertschätzung für Lebensmittel: Weggeschmissen wird nichts! Ressourcenschonend einkaufen und aus den Resten einer Mahlzeit neue Speisen kreieren. Eine Pasta-Soße, eine Frittata, ein Auflauf oder eine Suppe geht oft noch aus den Resten!

**Abbildung 16:** Vielfalt heimischer Nahrungsmittel – eine Auswahl. Hinweise für eine nachhaltige und genussvolle Ernährung. Erbar & Leins 2024.

existentiellen Welt-Probleme zufriedenstellend zu lösen. Unverantwortlich finden wir, wenn die eigenen Kinder (die ja nicht gefragt werden können), vegan ernährt werden. Um Datenlücken zu schließen, sind umfangreiche Langzeitstudien erforderlich. So hat die gerade begonnene COPLANT-Studie (2023) zum Ziel, die gesundheitliche Wertigkeit, aber auch die ökologischen, sozialen und ökonomischen, und damit nachhaltigen, Auswirkungen pflanzenbasierter Ernährungsweisen zu beleuchten.

Im Zusammenhang mit der Nachhaltigkeit konnten wir unter Abwägung vieler (bisher bekannter) Parameter zeigen, dass die flexitarische Ernährungsweise ganz vorne steht. Ihre Befolgung würde die große Diversität an Nahrungsmittel retten: Was ist ein Tofu im Vergleich zu den hunderten von Käsesorten auf unserem Planeten. Speisen und deren Zubereitungsarten gehören unseres Erachtens zur Kultur, die wir den Wissenschaften, Künsten und literarischem Schrifttum ebenbürtig zur Seite stellen wollen.

Als Fazit ergibt sich – schon heute angedeutet – für den Flexitariet durch den Veganismus (sofern dieser auf Reglementierungen verzichtet) nach dem Prinzip „der Zweck heiligt die Mittel“ eine positive Prognose: Es wird sich mehr und mehr eine Massentierhaltung vermindern und dadurch die Qualität sämtlicher tierischer Produkte sich steigern. Die negativen Prognosen betreffen nur den rein veganen Lebensstil. Es sind gesundheitliche Probleme und die Stärkung einer Nahrungsmittelindustrie, die jetzt auch mit ihren (überwiegend chemischen und damit nicht gesunden) veganen Fertiggerichten ihren (Wachstums-) Markt gefunden haben.

## Literatur

- Abou-Donia, M.B., Goldstein, L.B., Bullman, S., Tu, T., Khan, W.A., Dechkovskaia, A.M. & Abdel-Rahman, A.A. 2008: Imidacloprid induces neurobehavioral deficits and increases expression of glial fibrillary acidic protein in the motor cortex and hippocampus in offspring rats following in utero exposure. – *J. Toxicol. Environ. Health A* 71: 119–130.
- Agrar-Atlas 2019: *Daten und Fakten zur EU-Landwirtschaft*. 2. Aufl. – Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- Aiello, L.C. & Wheeler, P. 1995: The expensive-tissue hypothesis: the brain and the digestive system in human and primate evolution. – *Curr. Anthropol.* 36: 199–221.
- Aizen, M.A., Garibaldi, L.A., Cunningham, S.A. & Klein, A.M. 2009: How much does agriculture depend on pollinators? Lessons from long-term trends in crop production. – *Ann. Bot.* 103: 15791–1588.
- Arce, A.N., Ramos Rodrigues, A., Yu, J., Colgan, T.J., Wurm, Y. & Gill, R.J. 2018: Foraging bumblebees acquire a preference for neonicotinoid-treated food with prolonged exposure. – *Proc. R. Soc. B* 285: 20180655.
- Baron, G.L., Jansen, V.A., Brown, M.J. & Raine, N.E. 2017: Pesticide reduces bumblebee colony initiation and increases probability of population extinction. – *Nat. Ecol. Evol.* 1: 1308–1316.

- Barzegar, F., Kamankesh, M. & Mohammedi, A. 2019: Heterocyclic aromatic amines in cooked food: A review on formation, health risk-toxicology and their analytical techniques. – *Food Chem.* 280: 240–254.
- Beauchemin, K.A., et al. 2022: Invited review: Current enteric methane mitigation options. – *J. Dairy Sci.* 105: 9297–9326.
- Berheim, E.H., Jenks, J.A., Lundgren, J.G., Michel, E.S., Grove, D. & Jensen, W.F. 2019: Effects of neonicotinoid insecticides on physiology and reproductive characteristics of captive female and fawn white-tailed deer. – *Sci. Rep.* 9: 4534.
- BMELV (Bundesministerium für Ernährung, Landwirtschaft und Verbraucherschutz) 2011: Bienen. [https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/bmelv\\_bienen.pdf](https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/1/dokumente/bmelv_bienen.pdf)
- Boff, S. & Ayasse, M. 2023: Exposure to sublethal concentration of flupyradifurone alters sexual behavior and cuticular hydrocarbon profile in *Heriades truncorum*, an oligolectic solitary bee. – *Insect Science* (online version) <https://doi.org/10.1111/1744-7917.13268>
- Bohrer, B.M. 2019: An investigation of the formulation and nutritional composition of modern meat analogue products. – *Food Sci. Hum. Wellness* 8: 320–329.
- Breidenassel, C., Schäfer, A.C., Micka, M., Richter, M., Linseisen, J. & Watzl, B. 2022: The Planetary Health Diet in contrast to the food-based dietary guidelines of the German Nutrition Society (DGE). A DGE statement. – *Ernaehr.-Umsch.* 69: 56–72.
- Buchmann, S.L. & Nabhan, G.P. 1996: *The Forgotten Pollinators*. – Washington D.C.: Island Press.
- Burke, A P., et al. 2018: Mammalian susceptibility to a neonicotinoid insecticide after fetal and early postnatal exposure. – *Sci. Rep.* 8: 16639.
- Butler, K.P., May, R. & Metzging, D: 2018: *Liste der Gefäßpflanzen Deutschlands*. – BfN Schriften 519. – doi 10.19217/skr519
- Capela, N., Sarmiento, A., Simões, S., Azevedo-Pereira, H.M. & Sousa, J.P. 2022: Sub-lethal doses of sulfoxaflor impair honey bee homing ability. – *Sci. Total Environ.* 837: 155710.
- Carlowitz, H.C. von 1713: *Sylvicultura oecconomica. Anweisung zur wilden Baumzucht*. – Leipzig: F.J. Braun.
- Casida, J.E. 2018: Neonicotinoids and other insect nicotinic receptor competitive modulators: progress and prospects. – *Annu. Rev. Entomol.* 63:125–44.
- CenCO<sub>2</sub>PIP (The Cenozoic CO<sub>2</sub> Proxy Integration Project Consortium) 2023: Toward a Cenozoic history of atmospheric CO<sub>2</sub>. – *Science* 382: eadi5177.
- Chandrakumara, K., Kiran Kumar, G.N., Srinivas, K., Anil Kumar S.T. & Hadimani, B.N. 2022: Cyantranilprole toxicity to Indian honey bees, *Apis cerana indica* F. – *J. Pharm. Innov. SP-11*: 556–558.
- Chapman, A.D. 2009: Number of Living Species in Australia and the World, 2nd ed. – Canberra: Department of the Environment, Water, Heritage and the Arts, Australian Government.
- COPLANT-Studie 2023: *Forschung zu pflanzenbasierter Ernährung*. – Berlin: Bundesinstitut für Risikobewertung (BfR); Kooperationsprojekt mit versch. Institutionen, u.a. Universitätsklinikum Heidelberg. <https://www.bfr.bund.de/de/coplant-studie.html> (zuletzt aufgerufen 28.2.2024).
- Corbet, S.A., Williams, I.H. & Osborne, J.L. 1991: Bees and the pollination of crops and wild flowers in the European Community. – *Bee World* 72: 47–59.
- Darwin, C. 1859. *On the Origin of Species by Means of Natural Selection, or the Preservation of Favoured Races in the Struggle for Life*. – London: John Murray. [http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1859\\_Origin\\_F373.pdf](http://darwin-online.org.uk/converted/pdf/1859_Origin_F373.pdf)
- Degen, J., et al. 2015: Exploratory behaviour of honeybees during orientation flights. – *Anim. Behav.* 102: 45–57.

- Degen, J., et al.** 2016: Honeybees learn landscape features during exploratory orientation flights. – *Curr. Biol.* 26: 2800–2804.
- Deutsche Gesellschaft für Ernährung (DGE)** 2017: Vollwertig essen und trinken nach den 10 Regeln der DGE. – <https://www.dge.de/fileadmin/dok/gesund-ernaehrung/ernaehrungsempfehlung/10-regeln/10-Regeln-der-DGE.pdf>
- Domínguez-Rodrigo, M., Pickering, T.R., Semaw, S. & Rogers, M. J.** 2005: Cutmarked bones from Pliocene archaeological sites at Gona, Afar, Ethiopia: implications for the function of the world's oldest stone tools. – *J. Hum. Evol.* 48: 109–121.
- Donner, S.** 2014: Bio ist nicht immer besser. – *bdw* 51 (6): 10–17.
- Dörr, B.** 2021: Vegetarische/vegane Ernährungstrends bei jungen Mädchen – was sind die Risiken? – *Der Gynäkologe* 54: 658–664.
- Eisen, M.B. & Brown, P.O.** 2022: Rapid global phaseout of animal agriculture has the potential to stabilize greenhouse gas levels for 30 years and offset 68 percent of CO<sub>2</sub> emissions this century. – *PLoS Clim.* 1: e0000010.
- Eng, M.L., Stutchbury, B.J. & Morrissey, C.A.** 2019: A neonicotinoid insecticide reduces fueling and delays migration in songbirds. – *Science* 365: 1177–1180.
- Erbar, C. & Leins, P.** 2019: Ästhetische Ökonomie in der Gestalt der Pflanzen. – *HDJBO* 4: 39–90.
- Erbar, C. & Leins, P.** 2022: Erde, Luft, Wasser und Feuer – Wie Pflanzen diese Elemente nutzen. – *HDJBO* 7: 57–110.
- Erbar, C. & Leins, P.** 2023: Schöpferischer Kampf und Kooperation im Licht der Organismischen Evolution. – *HDBJO* 8: 29–73.
- Fraunhofer Institut** 2022: Desinfektion von Saatgut – sicher und nachhaltig durch Elektronenbehandlung. – *Forschung Kompakt* 5/2022.: 1–3. <https://www.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2022/mai-2022/desinfektion-von-saatgut-sicher-und-nachhaltig-durch-elektronenbehandlung.html>
- Gallagher, C.T., Hanley, P. & Lane, K.E.** 2021: Pattern analysis of vegan eating reveals healthy and unhealthy patterns within the vegan diet. – *Public Health Nutr.* 25: 1310–1320.
- Gehring, J., et al.** 2021: Consumption of ultra-processed foods by pescovegetarians, vegetarians, and vegans: associations with duration and age at diet initiation. – *J. Nutr.* 151: 120–131.
- Goulson, D.** 2013: An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. – *J. Appl. Ecol.* 50: 977–987.
- Gréa, C., et al.** 2022: *Ergebnisbericht Produktmonitoring 2021*. – Karlsruhe: Max Rubner-Institut.
- Grubisic, M., van Grunsven, R.H., Kyba, C.C., Manfrin, A. & Hölker, F.** 2018: Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? – *Ann. Appl. Biol.* 173: 180–189.
- Haider, S., Sima, A., Kühn, T. & Wakolbinger, M.** 2023: The association between vegan dietary patterns and physical activity - cross-sectional online survey. – *Nutrients* 15: 1847.
- Hallmann, C.A., et al.** 2017: More than 75 percent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas. – *PLoS one* 12: e0185809.
- Hayward, A., et al.** 2019: The leafcutter bee, *Megachile rotundata*, is more sensitive to N-cyanoamide neonicotinoid and butenolide insecticides than other managed bees. – *Nat. Ecol. Evol.* 3: 1521–1524.
- Holz, I., Franzaring, J., Böcker, R. & Fangmeier, A.** 2011: *Eintrittsdaten phänologischer Phasen und ihre Beziehung zu Witterung und Klima*. – Karlsruhe: LUBW.
- Humann-Guillemot, S., Clément, S., Desprat, J., Binkowski, Ł.J., Glauser, G. & Helfenstein, F.** 2019: A large-scale survey of house sparrows feathers reveals ubiquitous presence of neonicotinoids in farmlands. – *Sci. Total Environ.* 660: 1091–1097.

- Insektenatlas** 2020: *Daten und Fakten über Nütz- und Schädlinge in der Landwirtschaft*. – Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- IPBES** 2016: *The assessment report of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services on pollinators, pollination and food production*. – Bonn: IPBES Secretariat. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3402856>
- IPBES** 2019: *Global assessment report on biodiversity and ecosystem services of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. – Bonn: IPBES Secretariat. <http://doi.org/10.5281/zenodo.3831673>
- IPBES** 2023: *Thematic assessment report on invasive alien species and their control of the Intergovernmental Science-Policy Platform on Biodiversity and Ecosystem Services*. – Bonn: IPBES Secretariat. <http://doi.org/10.5281/zenodo.7430682>
- Joedecke, V.** 2014: The nectaries in representatives of the Geraniaceae in adaptation to different pollinators. – Bachelor Thesis, Fakultät für Biowissenschaften Heidelberg, unpubl.
- Kabisch, S., Wenschuh, S., Buccellato, P., Spranger, J. & Pfeiffer, A.F.** 2021: Affordability of different isocaloric healthy diets in Germany - an assessment of food prices for seven distinct food patterns. – *Nutrients* 13: 3037.
- Kennedy, D.O.** 2016: B Vitamins and the Brain: mechanisms, dose and efficacy- A review. – *Nutrients* 8: 68.
- Koerber, K. von** 2014: Fünf Dimensionen der Nachhaltigen Ernährung und weiterentwickelte Grundsätze - ein update. – *Ernährung im Fokus* 14: 260–266.
- Koerber, K. von & Kretschmer J.** 1999: Der Anspruch auf Nachhaltigkeit im Ernährungsbereich – Wie zukunftsfähig ist unser Ernährungsstil? *aid-Verbraucherdienst* 44: 88–95.
- Koerber, K. von, Männle, T. & Leitzmann, C.** 2012: *Vollwert-Ernährung: Konzeption einer zeitgemäßen und nachhaltigen Ernährung*. – Stuttgart: Haug Thieme.
- Kolbe, K.** 2020: Mitigating climate change through diet choice: Costs and CO<sub>2</sub> emissions of different cookery book-based dietary options in Germany. – *Adv. Clim. Change Res.* 11: 392e400
- Krogmann, L., et al.** 2018: Neun-Punkte-Plan gegen das Insektensterben – Die Perspektive der Wissenschaft. – *Entomologische Zeitschrift* 128: 247–249.
- Leins, P. & Erbar, C.** 2008: *Blüte und Frucht. Morphologie, Entwicklungsgeschichte, Phylogenie, Funktion und Ökologie*. 2. Aufl. – Stuttgart: Schweizerbart'sche Verlagsbuchhandlung.
- Leins, P. & Erbar, C.** 2010: *Flower and Fruit. Morphology, Ontogeny, Phylogeny, Function and Ecology*. – Stuttgart: Schweizerbart Science Publishers.
- Leonhardt, S.D., Gallai, N., Garibaldi, L.A., Kuhlmann, M. & Klein, A.-M.** 2013: Economic gain, stability of pollination and bee diversity decrease from southern to northern Europe. – *Basic Appl. Ecol.* 14: 461–471.
- Lippert, C., Feuerbacher, A. & Narjes, M.** 2021: Revisiting the economic valuation of agricultural losses due to large-scale changes in pollinator populations. – *Ecol. Econ.* 180: 106860.
- Lister, B.C. & Garcia, A.** 2018: Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. – *PNAS* 115: E10397–E10406.
- Loser, D., et al.** 2021a: Functional alterations by a subgroup of neonicotinoid pesticides in human dopaminergic neurons. – *Arch. Toxicol.* 95: 2081–2107.
- Loser, D., et al.** 2021b: Acute effects of the imidacloprid metabolite desnitro-imidacloprid on human nACh receptors relevant for neuronal signaling. – *Arch. Toxicol.* 95: 3695–3716.
- Meade, S.J., Reid, E.A. & Gerrard, J.A.** 2005: The impact of processing on the nutritional quality of food proteins. – *J. AOAC Int.* 88: 904–922.
- Medawar, E., Huhn, S., Villringer, A. & Witte, A.V.** 2019: The effects of plant-

- based diets on the body and the brain: a systematic review. – *Transl. Psychiatry* 9: 226.
- Menzel, J., et al.** 2021: Vegan diet and bone health - Results from the cross-sectional RBVD study. – *Nutrients* 13: 685.
- Menzel, R.** 2018: Wenn Bienen an Alzheimer erkranken. – [https://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/neurobiologie/ag\\_menzel/talks/Res/2017-12-19-PM-Interview-Menzel\\_me\\_cw.pdf](https://www.bcp.fu-berlin.de/biologie/arbeitsgruppen/neurobiologie/ag_menzel/talks/Res/2017-12-19-PM-Interview-Menzel_me_cw.pdf)
- Menzel, R. & Tison, L.** 2019: Wie Neonicotinoide das Verhalten von bestäubenden Insekten beeinträchtigen. Mit den Waffen der Chemie gegen Insekten. – *Biol. Unserer Zeit* 49: 198–206.
- Menzel, R., Lehmann, K., Manz, G., Fuchs, J., Koblösky, M & Greggers, U.** 2012: Vector integration and novel shortcutting in honeybee navigation. – *Apidologie* 43: 229–243.
- Millennium Ecosystem Assessment** 2003: *Ecosystems and Human Well-Being: A Framework for Assessment*. – Washington, D.C.: Island Press.
- Monceau, K., Bonnard, O. & Thiéry, D.** 2014: *Vespa velutina*: a new invasive predator of honeybees in Europe. – *Pest Sci.* 87: 1–16.
- Motta, E.V., Raymann, K. & Moran, N.A.** 2018: Glyphosate perturbs the gut microbiota of honey bees. – *PNAS* 115: 10305–10310.
- Mutke, J. & Barthlott, W.** 2008: Biodiversität und ihre Veränderungen im Rahmen des globalen Umweltwandels: Biologische Aspekte. – In: Lanzerath D., Mutke, J., Barthlott, W., Baumgärtner, S., Becker, C. & T.M. Spranger (eds.), *Biodiversität*. pp. 25–74. – Freiburg: C. Alber Verlag.
- Pestizidatlas** 2020: *Daten und Fakten zu Giften in der Landwirtschaft*. – Berlin: Heinrich-Böll-Stiftung.
- Peters, C.J., Picardy, J., Darrrouzet-Nardi, A.F., Wilkins, J.L., Griffin, T.S. & Fick, G.W.** 2016: Carrying capacity of US agricultural land: Ten diet scenarios. – *Elem. Sci. Anth.* 4: 000116.
- Pobiner, B.** 2016: Meat-eating among the earliest humans. – *Amer. Sci.* 104: 110–117.
- Poore, J. & Nemecek, T.** 2018: Reducing food's environmental impacts through producers and consumers. – *Science* 360: 987–992.
- Reinhardt, G., Gärtner, S. & Wagner, T.** 2020: *Ökologische Fußabdrücke von Lebensmitteln und Gerichten in Deutschland*. – Heidelberg: ifeu.
- Richter, M., et al.** 2016: Vegan diet. Position of the German Nutrition Society (DGE). – *Ernaehr.-Umsch.* 63: 92–102.
- Ritchie, H.** 2019: Food production is responsible for one-quarter of the world's greenhouse gas emissions. – <https://ourworldindata.org/food-ghg-emissions>
- Roedel, W. & Wagner, T.** 2011: *Physik unserer Umwelt: Die Atmosphäre*. 4. Auflage. – Berlin, Heidelberg: Springer.
- Reichholf, J.H.** 2001: *Das Rätsel der Menschwerdung. Die Entstehung des Menschen im Wechselspiel der Natur*. 5. Aufl. – München: dtv.
- Rubach, M.** 2020: *Die Ökobilanz auf dem Teller: Wie wir mit unserem Essen das Klima schützen können*. – Stuttgart: Hirzel.
- Sánchez-Bayo, F. & Wyckhuys, K.A.** 2019: Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. – *Biol. Conserv.* 232: 8–27.
- Santo, R.E., et al.** 2020: Considering plant-based meat substitutes and cell-based meats: a public health and food systems perspective. – *Front. Sustain. Food Syst.* 4:134.
- Scheuchl, E., et al.** 2023: Die Wildbienenarten Deutschlands – Kritisches Verzeichnis und aktualisierte Checkliste der Wildbienen Deutschlands (Hymenoptera, Anthophila). – *Anthophila* 1: 25–38.
- Seibold, S., et al.** 2019: Arthropod decline in grasslands and forests is associated with drivers at landscape level. – *Nature* 574: 671–674.
- Sexton, A.E., Garnett, T. & Lorimer, J.** 2022: Vegan food geographies and the

- rise of Big Veganism. – *Prog. Hum. Geogr.* 46: 605–628.
- Sha, L. & Xiong, Y.L.** 2020: Plant protein-based alternatives of reconstructed meat: Science, technology, and challenges. – *Trends Food Sci. Technol.* 102: 51–61.
- Sittaro, F., Hutengs, C. & Vohland, M.** 2023: Which factors determine the invasion of plant species? Machine learning based habitat modelling integrating environmental factors and climate scenarios. – *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* 116: 103158.
- Sorg, M., Schwan, H., Stenmans W. & Müller, A.** 2013: Ermittlung der Biomassen flugaktiver Insekten im Naturschutzgebiet Orbroicher Bruch mit Malaise Fallen in den Jahren 1989 und 2013. – *Mitt. Ent. Ver. Krefeld* 1: 1–5.
- Sprengel, C.K.** 1793: *Das entdeckte Geheimnis der Natur im Bau und in der Befruchtung der Blumen.* – Berlin: Vieweg.
- Sprengel, C.K.** 1811: *Die Nützlichkeit der Bienen und die Nothwendigkeit der Bienezucht, von einer neuen Seite dargestellt.* – Berlin: Vieweg. (Nachdruck: 1918, Berlin: Pfenningstorff).
- Springmann, M., Godfray, H. C. J., Rayner, M. & Scarborough, P.** 2016: Analysis and valuation of the health and climate change cobenefits of dietary change. – *PNAS* 113: 4146–4151.
- Statistisches Bundesamt** 2023: *Erläuterungen zum Indikator „Anstieg der Siedlungs- und Verkehrsfläche“ 2021.* – Wiesbaden: Statistisches Bundesamt.
- Tangney, C.** et al. 2011: Vitamin B12, cognition, and brain MRI measures: a cross-sectional examination. – *Neurology* 77: 1276–1282.
- Thompson, D.** et al. 2020: A critical review on the potential impacts of neonicotinoid insecticide use: current knowledge of environmental fate, toxicity, and implications for human health. – *Environ. Sci. Process Impacts* 22: 1315–1346.
- Tomizawa, M., Lee, D.L. & Casida, J.E.** 2000: Neonicotinoid insecticides: molecular features conferring selectivity for insect versus mammalian nicotinic receptors. – *J. Agric. Food Chem.* 48: 6016–6024.
- Tong, T.** et al. 2020: Vegetarian and vegan diets and risks of total and site-specific fractures: results from the prospective EPIC-Oxford study. – *BMC medicine* 18: 1–15.
- Umweltbundesamt** 2013: *Globale Landflächen und Biomasse nachhaltig und ressourcenschonend nutzen.* – <https://www.umweltbundesamt.de/publikationen/globale-landflaechen-biomasse>
- Umweltbundesamt** 2023: *Beitrag der Landwirtschaft zu den Treibhausgas-Emissionen.* – <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas>
- Umweltbundesamt** 2024a: *Detaillierte Treibhausgas-Emissionsbilanz 2022.* – [www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/detaillierte-treibhausgas-emissionsbilanz-2022](http://www.umweltbundesamt.de/presse/pressemitteilungen/detaillierte-treibhausgas-emissionsbilanz-2022); ausgegeben am 15.1.2024
- Umweltbundesamt 2024b: Treibhausgas-Emissionen in Deutschland.** – <https://www.umweltbundesamt.de/daten/land-forstwirtschaft/beitrag-der-landwirtschaft-zu-den-treibhausgas#treibhausgas-emissionen-aus-der-landwirtschaft>; ausgegeben am 23.1.2024
- UNEP (United Nations Environment Programme)** 2023: *Emissions Gap Report 2023.* – [doi.org/10.59117/20.500.11822/43922](https://doi.org/10.59117/20.500.11822/43922)
- van Klink, R., 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: 417–420.
- Villemant, C., Barbet-Massin, M., Perrard, A., Muller, F., Gargominy, O., Jiguet, F. & Rome, Q.** 2011: Predicting the invasion risk by the alien bee-hawking Yellow-legged hornet *Vespa velutina nigrithorax* across Europe and other

- continents with niche models. – *Biol. Conserv.* 144: 2142–2150.
- Vogiatzoglou, A. et al.** 2008: Vitamin B12 status and rate of brain volume loss in community-dwelling elderly. – *Neurology* 71: 826–832.
- Wallace, T.C., Blusztajn, J.K., Caudill, M.A., Klatt, K.C., Natker, E., Zeisel, S.H. & Zelman, K.M.** 2018: Choline: the underconsumed and underappreciated essential nutrient. – *Nutrition Today* 53: 240–253.
- WBAE** (Wissenschaftlicher Beirat für Agrarpolitik, Ernährung und gesundheitlichen Verbraucherschutz beim BMEL) 2020: **Politik für eine nachhaltigere Ernährung: Eine integrierte Ernährungspolitik entwickeln und faire Ernährungsumgebungen gestalten.** Gutachten. – Berlin. [www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/\\_Texte/](http://www.bmel.de/DE/Ministerium/Organisation/Beiraete/_Texte/)
- Westhoek, H., Lesschen, J. P., Rood, T., Wagner, S., De Marco, A., Murphy-Bokern, D. & Oenema, O.** 2014: Food choices, health and environment: Effects of cutting Europe's meat and dairy intake. – *Glob. Environ. Change* 26: 196–205.
- Whitehorn, P.R., Wallace, C. & Vallejo-Marín, M.** 2017: Neonicotinoid pesticide limits improvement in buzz pollination by bumblebees. – *Sci. Rep.* 7: 15562.
- Willett, W., et al.** 2019: Food in the Anthropocene: the EAT-Lancet Commission on healthy diets from sustainable food systems. – *Lancet* 393: 447–492.
- Wilson, E.O.** 1986: *Biodiversity*. – Washington, D.C.: National Academy Press.
- Wilson, E.O.** 1992: *The Diversity of Life*. – Cambridge, MA: Belknap.
- Windisch, W. & Flachowsky, G.** 2020: Tierbasierte Bioökonomie. – In: Thrän, D. & Moesenfechtel, U. (Hrsg.), *Das System Bioökonomie*. pp. 69–86. – Berlin: Springer Spektrum.
- Wintermantel, D., et al.** 2018: Field-level clothianidin exposure affects bumblebees but generally not their pathogens. – *Nat. Commun.* 9: 5446.
- WWF** 2022: So schmeckt Zukunft: Ernährung und biologische Vielfalt. – [www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Landwirtschaft/kulinarische-kompass-klima.pdf](http://www.wwf.de/fileadmin/fm-wwf/Publikationen-PDF/Landwirtschaft/kulinarische-kompass-klima.pdf)
- Zeisel, S.H.** 2013: Nutrition in pregnancy: the argument for including a source of choline. – *Int. J. Womens Health* 5: 193–199.
- Zink, K.D. & Liebermann, D.E.** 2016: Impact of meat and Lower Palaeolithic food processing techniques on chewing in humans. – *Nature* 531: 500–503.
- Zioga, E., Blánaid, W. & Stout, J.C.** 2023: Honey bees and bumble bees may be exposed to pesticides differently when foraging on agricultural areas. – *Sci. Total Environ.* 896: 166214.

## Über die Autoren

**Prof. Dr. Claudia Erbar** wurde nach ihrem Biologie- und Chemiestudium, das sie mit dem 1. Staatsexamen in beiden Fächern abschloss, an der Universität Bonn zum Dr. rer.nat. promoviert. Für ihre Staatsexamensarbeit erhielt sie den Preis der Konrad-Adenauer-Stiftung für Studierende der Botanik. Seit 1983 war sie Wissenschaftliche Mitarbeiterin an der Universität Heidelberg. Nach der Habilitation im Fach Botanik 1993 hatte sie seit 2000 eine apl. Professur und war Forschungsgruppenleiterin für das Gebiet „Blütenbiologie und Evolution“ am *Centre for Organismal Studies* (COS) Heidelberg. Seit 2022 ist sie im forschenden und lehrenden „Ruhestand“. Ihre Forschungsschwerpunkte

liegen in den Bereichen der Blütenentwicklungsgeschichte vor dem Hintergrund morphologisch-funktioneller Fragestellungen, Blütenökologie (Blütenfunktionen bei Bestäubung und Befruchtung und der Interaktion mit Insekten) und Verwandtschaft und Evolution der Blütenpflanzen. In der Lehre vertritt sie auch die Pflanzengeographie.

**Prof. Dr. Peter Leins** studierte Biologie, Chemie und Philosophie an den Universitäten Tübingen, Freiburg und München. In München wurde er zum Dr. rer.nat. promoviert. Anschließend war er Assistent, später Oberassistent, am Institut für Systematische Botanik bei Prof. Dr. Hermann Merxmüller. Zwischendurch erlernte er die Methodik der Pollenkunde bei Prof. Dr. Gunnar Erdtman in Stockholm. Er habilitierte sich im Fach Botanik mit einer pollensystematischen Forschungsarbeit an einer Compositengruppe. Danach erhielt er einen Ruf auf eine Professur am Botanischen Institut der Universität Bonn. Drei weitere Rufe folgten: FU Berlin, Uni Heidelberg, Uni Kiel (FU Berlin und Uni Kiel nicht angenommen). An der Universität Heidelberg war er zunächst Direktor des Instituts für Systematische Botanik und Pflanzengeographie und des Botanischen Gartens (später Abteilung Biodiversität und Pflanzensystematik des neu gegründeten Heidelberger Instituts für Pflanzenwissenschaften; heute in COS integriert). Seit 2002 ist er im forschenden und lehrenden „Ruhestand“. Seine Forschungsschwerpunkte liegen in den Bereichen der Blütenmorphologie und -entwicklungsgeschichte, Blütenökologie, Blütenpflanzen-systematik, Pollenkunde, Ausbreitungsbiologie, Evolutionsbiologie und Biophilosophie. Er ist seit vielen Jahren Mitherausgeber der Zeitschrift „*Plant Diversity and Evolution*“ (früher „Botanische Jahrbücher“) sowie von „*Bibliotheca Botanica*“.

## Korrespondenzadresse

Prof. Dr. Claudia Erbar, Prof. Dr. Peter Leins  
erle@urz.uni-heidelberg.de

[www.cos.uni-heidelberg.de/de/forschungsgruppen/forschungsgruppen/apl-prof-claudia-erbar](http://www.cos.uni-heidelberg.de/de/forschungsgruppen/forschungsgruppen/apl-prof-claudia-erbar)

[www.cos.uni-heidelberg.de/de/forschungsgruppen/professoren-im-ruhestand/prof-dr-peter-leins](http://www.cos.uni-heidelberg.de/de/forschungsgruppen/professoren-im-ruhestand/prof-dr-peter-leins)