

# Rückgang der Schmetterlinge in Bayern

von **Andreas H. Seeger**

**Keywords:** *Lepidoptera, Biodiversität, Insektensterben, Bestandsentwicklung, Ökosysteme, planetare Belastungsgrenzen, Massensterben, intensive Landwirtschaft, Flächenfraß, Flurbereinigung, Pestizide, Überdüngung, Habitatdegradierung, Habitatspezialisten, Habitatgeneralisten, Bundesartenschutzverordnung, Shifting Baselines.*

## Inhalt:

Zusammenfassung .....	16
1. Einleitung .....	16
2. Zum Stand der Schmetterlingsforschung in Bayern .....	17
3. Die Situation der Schmetterlinge in Bayern .....	22
3.1 Die alte Kulturlandschaft .....	22
3.2 Veränderungen in der Landnutzung .....	24
3.3 Biodiversitätsrückgang schon im 19. Jahrhundert .....	24
3.4 Entwicklung des Artenbestandes .....	26
3.5 Populationsentwicklung .....	31
4. Insekten weltweit auf dem Rückzug; Folgewirkungen auf die Ökosysteme .....	33
5. Wesentliche Ursachen .....	33
5.1 Zerstörung der alten Kulturlandschaft .....	35
5.2 Habitatdegradierung: Sukzession und Überdüngung .....	36
5.3 Pestizide .....	38
5.4 Habitatfragmentierung und genetische Isolation .....	39
5.5 Nachrangige Faktoren: Lichtverschmutzung, Verkehr, Windräder und Klimawandel ..	40
5.6 Jede/r kann sich davon überzeugen .....	41
6. Die Ambivalenz der Politik .....	44
6.1 Der Konflikt Ökologie vs. Ökonomie .....	44
6.2 Sammelverbote als Feigenblatt .....	45
6.2.1 Kollateralschäden I: Das Insektensterben geht weiter .....	47
6.2.2 Kollateralschäden II: „Entomologensterben“, Wissensverluste und Datenmangel ....	48
6.2.3 Kollateralschäden III: Beeinträchtigung von Lehre und Volksbildung .....	49
6.2.4 Kollateralschäden IV: Naturentfremdung und „Shifting Baselines“ .....	49
7. Faunistische Massenauslöschung: Insektensterben oder Insektenrückgang? .....	50
Danksagung .....	51
Literatur .....	51
Anschrift des Verfassers .....	58

**Allen Naturschutzbemühungen zum Trotz ist die Bestandssituation der Schmetterlinge in Bayern so schlecht wie nie zuvor. Ein zunehmend schneller voranschreitender Rückgang der Arten ist deutlich nachweisbar. Allgemeine Beobachtungen von Sammlern und einzelne, lokale Detailstudien belegen erwartungsgemäß auch den deutlichen Rückgang der Abundanz vieler noch vorhandener Arten.**

**Als viertgrößte Tiergruppe der Welt und international anerkannte Bioindikatoren sind sie einer von vielen Anzeigern für das so genannte „Insektensterben“, das sich in einem gravierender Rückgang von Abundanzen, Populationen und Arten äußert. Selbst Naturschutzgebiete sind davon nicht ausgenommen. Dabei handelt es sich nicht um ein nationales Phänomen, sondern den Teilaspekt einer globalen Biodiversitätskrise.**

**Die Ursachen hierfür sind multikausal und auch regional verschieden ausgeprägt, die wesentlichen Triebkräfte sind jedoch bekannt und wurden zum Teil schon vor über 150 Jahren identifiziert; in unseren Breiten handelt sich dabei vor allem um die kombinierten, unmittelbaren und mittelbaren Auswirkungen von industrieller, intensiver Landwirtschaft und sich ausdehnender Siedlungs- und Verkehrsflächen („Flächenfraß“).**

**Flurbereinigung, Monokulturen, intensive Mahd, steigender Anbau von Energiepflanzen sowie Flächenfraß vernichten Lebensräume unserer Falter. Aufgabe extensiver Nutzung und Überdüngung führen zur Degradierung natürlicher Habitats durch Sukzession und Eutrophierung, worunter insbesondere Habitat-Spezialisten zu leiden haben. Pestizide vernichten Futterpflanzen oder die Insekten selbst auf breiter Front. Artenreiche Lebensräume schrumpfen und mutieren zu Inselbiotopen in einer ausgeräumten, monotonen und chemisch belasteten Landschaft; dies stört den genetischen Austausch und führt zum Erlöschen von Populationen auch sesshafter Generalisten.**

**Lichtverschmutzung, Windkraftanlagen und zunehmender Verkehr liefern weitere Beiträge bisher nicht genau bekannten Ausmaßes zum Insektensterben, haben aber im Vergleich zu intensiver Landwirtschaft und Flächenfraß einen deutlich geringeren Impact. Ein Einfluss des Klimawandels auf Schmetterlinge ist im Flachland der gemäßigten Breiten bisher nicht evident. Der Anteil des Schmetterlingssammelns am Artensterben ist unmessbar klein.**

**Die bisherige Politik ist sich des Problems offensichtlich bewusst, hat aber bisher nichts Wesentliches zur Lösung des Problems beigetragen; sie ist vielmehr Teil desselben. Naturschutzgesetzliche Fehlkonstruktionen lassen die Hauptverursacher weitestgehend ungeschoren, errichten jedoch massive Hürden für die Biodiversitätsforschung. Nachwuchs- und Datenmangel, abnehmende Artenkenntnis, Defizite im Biologieunterricht und eine fortschreitende Entfremdung der Bevölkerung von der Natur sind die Folgen. Auf globaler Skala hat der Verlust an genetischer Vielfalt inzwischen die Charakteristika einer erdgeschichtlichen Massenauslöschung angenommen.**

## **I. Einleitung**

Seit Herbst 2017 macht in den Medien das Schlagwort vom „Insektensterben“ die Runde. Auslöser war eine hochrangig publizierte Studie über einen massiven Rückgang der Biomasse von Fluginsekten vorwiegend in Nordwestdeutschland (Hallmann et al. 2017). Nach Auswertung von Fallenfängen über einen Zeitraum von 27 Jahren hinweg stellte man eine Reduktion der Biomasse von > 76% fest, und das, obwohl die Messstellen (sog. Malaisefallen) in Schutzgebieten aufgestellt waren. Dieses

alarmierende Resultat erweckte endlich nachhaltiges Interesse bei den Medien; seither ist die Publikation als „Krefeld-Studie“ bekannt geworden und das Insektensterben in die Schlagzeilen geraten. Die Publikation fiel vor allem deshalb auf fruchtbaren Boden, weil bereits in den Jahren zuvor eine Sensibilisierung durch das „Bienensterben“ erfolgt war, thematisiert zum Beispiel im Dokumentarfilm „More than Honey“ (dt.: „Bitterer Honig“) von Markus Imhoof (2012).

Tatsächlich aber ist ein massiver Rückgang der Abundanz, Populationen und Arten von Insekten nicht nur durch die „Krefeld-Studie“ belegt, sondern durch zahlreiche weitere harte Fakten und, wie wir noch sehen werden, in seinen Anfängen schon vor über 150 Jahren beschrieben worden. Diese Erkenntnisse hatten bis zum Erscheinen der „Krefeld-Studie“ aber nie besondere Aufmerksamkeit erregt. Inzwischen fällt aber auch Laien auf, dass an blühenden Obstbäumen oder Sträuchern im Garten heute viel weniger Bienen, Schmetterlinge und andere Insekten zu beobachten sind, und dass die Windschutzscheibe des Autos gegenüber früher auch nach langen Überlandfahrten kaum noch durch Insektenschlag verunreinigt wird.

Das Phänomen des Insektensterbens manifestiert sich auf regionaler, nationaler, europäischer und globaler Ebene (Dirzo et al. 2014, Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019), auch sind erste Folgewirkungen auf die Nahrungsnetze bereits unübersehbar (vgl. z. B. Hallmann et al. 2014, Byholm et al. 2018, Segerer & Rosenkranz 2018).

Ein prägnantes Beispiel für den allgemeinen Arten- und Individuenschwund bieten die Schmetterlinge (Ordnung Lepidoptera Linnaeus, 1758). Nach den Hautflüglern (Hymenoptera Linnaeus, 1758), Zweiflüglern (Diptera Linnaeus, 1758) und Käfern (Coleoptera Linnaeus, 1758) repräsentieren Schmetterlinge die viertgrößte Tiergruppe aller höheren Lebewesen überhaupt. Weltweit wurden bisher ca. 175.000 Arten beschrieben (Kristensen 1999, Heppner 2008, van Nieukerken 2011), mit mindestens 100.000 weiteren ist zu rechnen. Schmetterlinge zogen schon seit den Anfängen der wissenschaftlichen Naturforschung im 18. Jahrhundert besondere Aufmerksamkeit auf sich, gehören daher zu den weltweit am besten untersuchten Insekten und sind international anerkannte Bioindikatoren. Aus ihrer Bestandsentwicklung lassen sich daher belastbare Erkenntnisse über Bestandsänderungen und deren Ursachen ableiten.

Nachfolgend wird die Bestandsentwicklung in Bayern vorgestellt und die Befunde in überregionalen Rahmen eingeordnet.

## **2. Zum Stand der Schmetterlingsforschung in Bayern**

In Bayern ist die Erforschung des Schmetterlingsbestandes eine über 200 Jahre zurückreichende Tradition. Zu den ersten erwähnenswerten größeren Werken zählen die „Insecten-Belustigungen“ des Rösel von Rosenhof (1746, 1755 und 1761) und die 280 handkolorierten Tafeln Regensburgischer Insecten aus der Hand des Superintendenten Jacob Christian Schäffer (1766).

Vor allem Eugen Johann Christoph Esper (1742–1810) in Erlangen, Jakob Hübner (1761–1826) in Augsburg und Gottlieb August Wilhelm Herrich-Schäffer (1799–1874) in Regensburg zählten zu den herausragenden bayerischen Schmetterlingsforschern ihrer Zeit. Sie waren selber nicht nur als Taxonomen, sondern auch als Faunisten tätig und dokumentierten den Bestand und die Verbreitung der Arten ihrer jeweiligen Heimat. Damit inspirierten sie schon sehr früh einzelne und später immer mehr Fachkollegen und Lokalsammler zur regionalen Durchforschung der Fauna. Auf der Grundlage ihrer zahlreichen Werke entstanden so die ersten faunistischen Artenlisten, unter anderem von Heinrich Gottlob Lang (1739–1809) aus den Jahren 1782 und 1789 für Augsburg sowie zahlreiche Arbeiten über die Schmetterlinge von Regensburg vom 18. bis ins 20. Jhd. (Übersicht bei Segerer 1997).

## Bildtafel I – Schmetterlinge unserer Heimat



**Abb. 1:** Schäffer's Urfafter (*Micropterix schaefferi*); **2:** Östlicher Birnen-Zwergminierfalter (*Stigmella stettinensis*) (Fraßbild/Blattmine); **3:** Scopoli's Langfühlerfalter (*Nemophora scopoli*); **4:** Wiesenknopf-Schopfstirnfalter (*Coptotriche szoecsi*); **5:** Anthrazitmotte (*Euplocamus anthracinalis*); **6:** Flatterulmen-Minierfalter (*Phyllonorycter agilella*); **7:** Schwarzgelber Faulholzfafter (*Oecophora bractella*); **8:** Salbei-Sackminierfalter (*Coleophora virgatella*).

(Alle Fotos: © Peter Lichtmanecker, Landshut).

## Bildtafel II – Schmetterlinge unserer Heimat



**Abb. 1:** Sonnentau-Federfalter (*Buckleria paludum*); **2:** Silberdistel-Spreizflügelfalter (*Tebenna bjerkan-drella*); **3:** Sibirischer Prachtwickler (*Olethreutes subtilana*); **4:** Blausieb (*Zeuzera pyrina*); **5:** Hornissen-Glasflügler (*Sesia apiformis*); **6:** Esparsetten-Widderchen (*Zygaena carniolica modesta*); **7:** Segelfalter (*Iphiclides podalirius*); **8:** Dukatenfalter (*Lycaena virgaureae*).

(Alle Fotos: © Peter Lichtmanecker, Landshut).

### Bildtafel III – Schmetterlinge unserer Heimat



**Abb. 1:** Großer Schillerfalter (*Apatura iris*); **2:** Berghexe (*Chazara briseis*); **3:** Halbroter Kleezünsler (*Oncocera semirubella*); **4:** Ginster-Fleckenzünsler (*Eurrhysis pollinalis*); **5:** Roseneule (*Thyatira batis*); **6:** Hecken-Wollafter (*Eriogaster catax*); **7:** Nachtkerzenschwärmer, Kleiner Oleanderschwärmer (*Proserpinus proserpina*); **8:** Stachelbeerspanner, Harlekin (*Abraxas grossulariata*).

(Alle Fotos: © Peter Lichtmanecker, Landshut).

## Bildtafel IV – Schmetterlinge unserer Heimat



**Abb. 1:** Großer Frostspanner (*Erannis defoliaria*) (Weibchen); **2:** Smaragd-Spanner (*Thetidia smaragdaria*); **3:** Großer Gabelschwanz (*Cerura vinula*) (Raupe); **4:** Schönbär (*Callimorpha dominula*); **5:** Großes Eichenkarmin (*Catocala sponsa*); **6:** Goldenes C (*Lamprotes c-aureum*); **7:** Vogelbeer-Eule, Gelber Hermelin (*Trichosea ludifica*); **8:** Malachiteule (*Staurophora celsia*).

(Alle Fotos: © Peter Lichtmanecker, Landshut).

Es ist zu betonen, dass es zum weit überwiegenden Anteil Privatgelehrte – Fachamateure im besten Sinn des Wortes – waren, die umfangreiches Wissen über Jahrhunderte hinweg zusammengetragen haben. Dieses Wissen wurde in Form zahlreicher Publikationen der Allgemeinheit zur Verfügung gestellt (Literaturüberblick: Bräu et al. 2013, Haslberger & Segerer 2016), außerdem ist viel historisches Material in Form von Sammlungsexemplaren der wissenschaftlichen Forschung und Überprüfung zugänglich. Beispielsweise beherbergt die Zoologische Staatssammlung München (ZSM) die größte Schmetterlings-Forschungssammlung der Welt, darunter viel Material aus Bayern (<https://www.zsm.mwn.de/sektion/lepidoptera-home/>).

Aus dem Vergleich der historischen Datenbasis mit rezent erhobenen Daten und Aufsammlungen lassen sich Erkenntnisse zu Veränderungen der Schmetterlingsbestände in Raum und Zeit gewinnen. Dazu ist allerdings anzumerken, dass die in den 1980er Jahren aus Gründen des Artenschutzes erlassenen Sammelverbote und die seither bestehenden bürokratischen Hemmnisse zur Erlangung von Sondergenehmigungen unmittelbar einen bis heute spürbaren Niedergang der Faunendurchforschung bewirkt und unseren Wissensstand um Jahrzehnte zurückgeworfen haben (Burmeister & Segerer 2015, Haslberger & Segerer 2016; Kap. 6.2).

So ist es kein Wunder, dass es mit Ausnahme einiger weniger, sehr artenarmer Gruppen (Microperigoidea (Urfalter): Fuchs 2014; Papilionoidea (Tagfalter: Ritterfalter, Weißlinge, Bläulinge und Edelfalter): Bräu et al. 2013) bis heute keine umfassende moderne Bearbeitung der Schmetterlingsfauna Bayerns gibt. Immerhin aber wächst die Datenbasis weiter, insbesondere auch dank Einzelinitiativen einiger unentwegter Fachamateure, die sich bisher nicht abschrecken ließen und gezielt Nachsuchen unternehmen, auch und gerade in bisher unzureichend untersuchten Naturräumen. Einen enormen Schub erhielt der Erkenntnisfortschritt durch zwei Forschungsprojekte zur molekulargenetischen Re-Identifikation heimischer Tierarten, die in 2018 allerdings zu Ende gingen: BFB (Barcoding Fauna Bavarica; <http://barcoding-zsm.de/>) und GBOL (German Barcode of Life; <https://www.bolgermany.de/>). Sie erlaubten eine Bestimmung des aufgesammelten Materials mit bis dahin unerreichter Objektivität und Schnelligkeit. So konnte in kurzer Zeit eine enorme Fülle neuer Erkenntnisse gewonnen werden, einschließlich der Entdeckung zahlreicher neuer Arten für Bayern, Deutschland oder gar Mitteleuropa (Haslberger & Segerer 2016).

### **3. Die Situation der Schmetterlinge in Bayern**

Insgesamt zeichnet die Auswertung der bisher vorhandenen Daten leider ein betrübliches, wenngleich für Fachleute wenig überraschendes Bild: Die Vielfalt von Bayerns Schmetterlingen ist stark rückläufig und der Beginn dieser Entwicklung lässt sich bereits im 19. Jahrhundert verorten. Sie ist derartig markant, dass sie keinesfalls durch natürliche Bestands- und Arealschwankungen oder als Artefakt unzureichender Erfassungsmethoden erklärt werden kann. Nicht-anthropogene Bestandsänderungen, die es immer schon gegeben hat, bilden in diesem Zusammenhang lediglich das statistische Hintergrundrauschen. Vor diesem Hintergrund manifestieren sich die durch Menschenhand verursachten Einflüsse, die eng an die Art und Weise der Landnutzung gekoppelt sind.

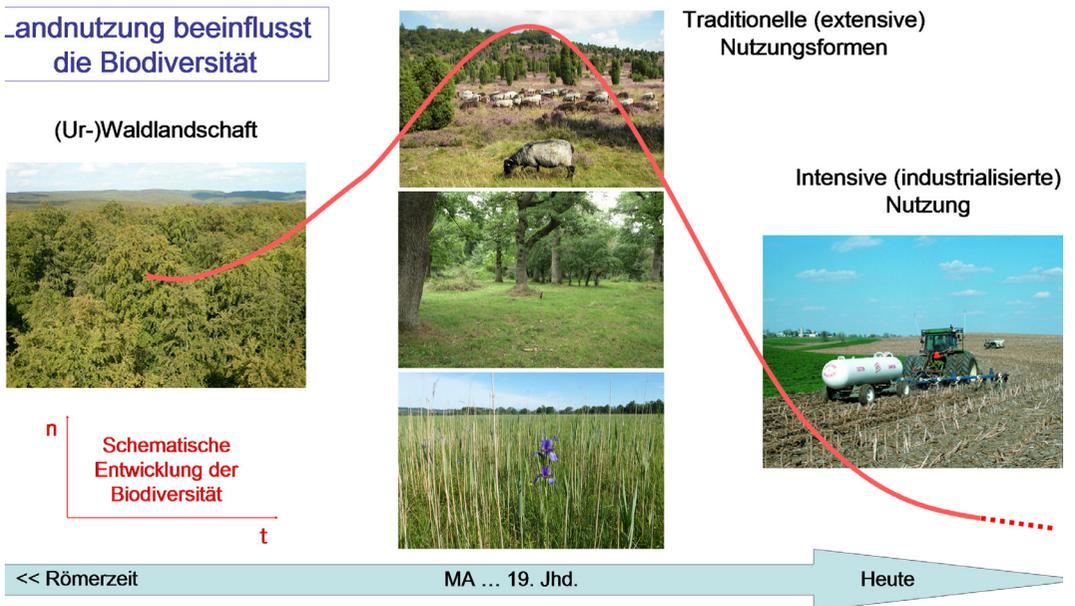
#### **3.1 Die alte Kulturlandschaft**

Eine wichtige Feststellung vorab: Die Biodiversität in Mitteleuropa, deren Rückgang wir heute beklagen, ist ein Produkt menschlicher Aktivitäten der vergangenen Jahrhunderte und Jahrtausende.

Das nacheiszeitliche Deutschland war von (Ur-)Wäldern und Sümpfen dominiert, nachzulesen im 5. Kap. der Germania des römischen Historikers Publius Cornelius Tacitus (um 58–120 n. Chr.). Daraus folgt, dass die Fauna seinerzeit schwerpunktmäßig Arten der Wälder und Feuchtgebiete umfasste. (Für eine detaillierte Beschreibung der postglazialen Faunengeschichte Mitteleuropas siehe den Artikel von W. Kunz in diesem Heft.)

Menschliche Aktivitäten veränderten die Landschaft seit der Römerzeit nachhaltig. Wälder wurden zurückgedrängt, Sümpfe trockengelegt, Weide- und Ackerflächen nahmen zu, Siedlungsgebiete und Straßen wuchsen. Nach und nach bildete sich ein Mosaik aus unterschiedlichsten Landschaftsbestandteilen heraus. Offenlandarten oder Kulturfolger, die in den ursprünglichen Waldlandschaften nur sehr lokal existieren konnten, fanden nun zahlreiche für sie günstige Habitate vor, andere konnten sich erst jetzt erfolgreich in Deutschland etablieren. Die durch Menschenhand entstandenen vielfältigen, unterschiedlichen Nischen der alten Kulturlandschaft führten zu einem Maximum der Biodiversität im 19. Jahrhundert (wahrscheinlich auch schon früher, jedoch fehlen hierzu Daten) (Abb. 1: links und Mitte).

Wälder und Feuchtgebiete waren zwar substantiell zurückgedrängt, aber immer noch ausreichend, um den dort ansässigen Arten hinreichend Lebensraum zu garantieren. Das Mosaik der alten Kulturlandschaft war noch vergleichsweise kleinteilig und zu einem hohen Grad vernetzt, so dass auch genetischer Austausch zwischen räumlich getrennten Populationen kein prinzipielles Problem war; auch die Siedlungs- und Verkehrsflächen der damaligen Zeit waren längst nicht so ausgedehnt wie heute und erst recht nicht durch Beton versiegelt (vgl. hierzu auch Abb. 11).



**Abb. 1:** Schematische Entwicklung der Biodiversität in Mitteleuropa. Artenvielfalt kommt und geht mit der Vielfalt an (chemisch unbelasteten) Lebensräumen und landschaftlichen Strukturelementen. (Bildnachweise: Links: Ramessos/Wikimedia; Mitte v. o. n. u.: Willow/Wikimedia, Sten Porse/Wikimedia, A. H. Segerer; Rechts: USDA NRCS/Wikimedia).

### 3.2 Veränderungen in der Landnutzung

Mit Beginn der industriellen Revolution und Agrarrevolution im 18. Jahrhundert gewann die anthropogene Umgestaltung der Landschaft zunehmend an Dynamik. Der an Profitmaximierung und Rentabilität orientierte Kapitalismus, der natürliche Ressourcen als frei und kostenlos verfügbar definierte, blühte auf. Bevölkerung, Verkehrs-, Siedlungs- und Agrarflächen wuchsen, natürliche Habitats wurden weiter zurückgedrängt, die Intensivierung der Landnutzung hielt Einzug und all das erzeugte in letzter Konsequenz die ausgeräumten und einfältigen Landschaften unserer Zeit. Speziell ab Mitte des 20. Jahrhunderts begann die Entwicklung für die heimische Biodiversität fatal zu werden: Flurbereinigung, die Anlage von Monokulturen, Beginn der Massentierhaltung und der rasant steigende Einsatz von Chemikalien (Kunstdünger, Pestizide) führten zu landschaftlich homogenen und chemisch stark belasteten Agrarwüsten. Auf solchen Flächen vermag nur noch ein Minimum an Arten zu existieren. Zudem verschwindet heute immer mehr Landschaft unter Beton, die Zersiedlung schreitet mit abenteuerlichem Tempo voran: Im 21. Jahrhundert wurden allein in Bayern täglich zwischen 15 und 20 ha in Siedlungs- und Verkehrsflächen umgewandelt (ab 2013 änderte man die Berechnungsgrundlage für diese Zahlen und seither schwanken sie zwischen 10 und 13%) (BayStMUV 2017).

Die landwirtschaftlich genutzte Flur und die Siedlungs-/Verkehrsgebiete waren und sind also Schauplatz einschneidender, großräumiger Änderungen in der Landnutzung. Sie machen zusammen fast 2/3 der Fläche Deutschlands aus (Tab. 1). Aufgrund der oben erläuterten engen Bindung der Biodiversität an die Landnutzung durch den Menschen ist es vollkommen klar, dass substantielle Veränderungen in den wesentlichen Landschaftsbestandteilen unvermeidlich auch substantielle direkte und indirekte Veränderungen bei den jeweiligen Lebensgemeinschaften nach sich ziehen.

**Tab. 1:** Flächennutzung in Deutschland (Stand 31.12.2016).  
(Quelle: Umweltbundesamt; [www.umweltbundesamt.de/](http://www.umweltbundesamt.de/)).

Fläche	Anteil
Landwirtschaftliche Nutzfläche	51%
Waldfläche	30%
Siedlungs- und Verkehrsfläche	14%
Wasserfläche	2%
Sonstige Flächen	3%

### 3.3 Biodiversitätsrückgang schon im 19. Jahrhundert

Die für sie optimalen Bedingungen, die die Insekten in der alten Kulturlandschaft und mit Einschränkungen noch bis etwa Mitte des 20. Jahrhunderts vorfanden, existieren inzwischen längst nicht mehr. Als logische Konsequenz ist die Biodiversität seither rückläufig und hat jetzt ein solches Ausmaß angenommen, dass heute von einem „Insektensterben“ die Rede ist (Abb. 1: rechts).

Dabei handelt es sich um alles andere als um ein überraschend aufgetauchtes Phänomen unserer Tage. Wissenschaftler registrierten schon vor über 150 Jahren die ersten Anfänge, erkannten die Zusammenhänge und wiesen auf die absehbaren Folgen hin.

Die exzellent erforschte Schmetterlingsfauna der Regensburger Umgebung unterstreicht diese Aussage geradezu lehrbuchmäßig. Bereits im Jahr 1854 stellten die Lepidopterologen Gottlieb August Wilhelm Herrich-Schäffer (1799–1874) und Ottmar Hofmann (1835–1900) einen Rückgang der Schmetterlingspopulationen fest (Hofmann & Herrich-Schäffer 1854); Herrich-Schäffer nahm dazu auf S. 102 wie folgt Stellung:

*„Ich glaubte es der Wissenschaft schuldig zu seyn, die Fundorte nicht zu verheimlichen. Ich glaube nicht, dass durch wirkliche Sammler Arten in einer Gegend ausgerottet werden können. Wenn die Frequenz einzelner durch sinnloses Zusammenraffen aller erreichbaren Exemplare auch auf Jahre hinaus merkbar vermindert werden kann, so denke ich doch, dass hiezu klimatische Verhältnisse und vor Allem die leidige Wuth der Oekonomen, jedes Fleckchen nutzbar zu machen, unverhältnissmässig mehr beitragen.“*

31 Jahre später musste der Lepidopterologe Anton Schmid (1809–1899) konstatieren, dass die Vernichtung von Lebensräumen in der Region weitergegangen ist und dass diese Entwicklung an demnorts bereits sogar zur Auslöschung von Populationen geführt hat (Schmid 1885: 22-23):

*„Die früher angeführten Fundstellen sind so ziemlich die alten geblieben, was wir wohl unseren Bodenverhältnissen zu verdanken haben; immerhin aber ist mancher Fleck Erde der Cultur, den Fabrik- oder Eisenbahnanlagen zum Opfer gefallen, nur nicht in dem Maasse, um, wie anderwärts, das gänzliche Verschwinden einzelner Species beklagen zu müssen. Bedauerlicher dagegen ist der Unverstand, mit welchem man fortwährend den Hecken durch vermeintlich begründetes oder muthwilliges Ausrotten zu Leibe geht und, dass alle mündlichen wie schriftlichen Auslassungen über die grossen allgemeinen Nachtheile kein Gehör finden wollen. Bietet ja in dieser Hinsicht dem Naturfreunde fast jedes Frühjahr eine neue, unliebsame Ueberraschung. Der vorhin erwähnte Ausfall von Arten der früheren Fauna findet sich übrigens reichlich gedeckt durch die Zurechnung der schönen Kelheimer Gegend, (...).“*

Man beachte, dass das Untersuchungsgebiet bereits im späten 19. Jhd. auf die jeweils 20 km entfernten Orte Kelheim und Würth an der Donau erweitert werden musste, um bestimmte Arten anzutreffen, die noch um 1850 in der unmittelbaren Regensburger Umgebung vorkamen. Der Untersuchungsradius wurde in moderner Zeit durch den Autor sogar auf 35 km ausgedehnt und selbst dann sind bisher knapp 400 Arten, die die alten Regensburger Entomologen noch kannten, nicht mehr wiederzufinden – ein Defizit von 15% (Datenbank A. Segerer / ZSM).

Der Begründer der modernen Ornithologie in Mitteleuropa, Johann Friedrich Naumann (1780–1857) schreibt in seiner Klage „Über Verminderung der Vögel in der Mitte von Deutschland“ (Naumann 1849: S. 140):

*„Solche Erfahrungen ... müssen uns endlich auch auf eine der mancherlei Ursachen leiten, welche am mehrsten die Abnahme der Vögelzahl bewirkt oder großen Antheil an deren Verminderung hat. Nur zu gewiß ist sie, als Folge der Vermehrung der Menschen und ihrer Bedürfnisse, in der gesteigerten Industrie und einer einträglichen Benutzung des Bodens zu suchen. Den Ackerbau zu fördern und seine Erzeugnisse zu vermehren, suchte man allerlei Mittel und Wege hervor, oft energische und künstliche sogar, und nur jenen im Auge wurde selbst manches trügerische Project, nicht selten mit Vernachlässigung aller Sorge für die Existenz kommender Geschlechter, sowie zum Schaden der Vögel durchgeführt. Dies wird namentlich in der Mitte unsers deutschen Vaterlandes überall bemerklich .... Striche, unterbrochen durch Wäldchen und Gebüsche mancherlei Art, die sonst unseren Fluren die liebliche Abwechslung gewährten, sind in*

*jüngster Zeit in eintönige Ackerflächen umgewandelt; ohne alle Schonung verfuhr man gegen jene, angeblich um der kleinen Sorge für ihre Erhaltung enthoben zu sein und zugleich eine erhöhte Nutzung der Fläche zu erzielen, die dennoch auch als Feld oft genug precair blieb, wovon eintretender Mangel an Nutzholz wol obenan steht, wie denn die verlorene Adhäsion der Gewitter- und Regenwolken, die Unterbrechung ausdörrender Winde, das Vertilgen schädlich werdender Insekten durch die Vögel nicht minder Erwähnung verdienen. Besonders haben unsere kleinen Singvögel durch rastloses, fast zur Monde gewordenes Ausroden wilder Gehölze, Feldhecken und abgesonderter Waldtheile, um für den Ackerbau Land zu gewinnen, so viele Aufenthaltsorte verloren ....“*

Bereits zur damaligen Zeit stellten unabhängige Zeitzeugen also einen klaren Zusammenhang zwischen der Intensivierung der Landnutzung und der Verarmung der Fauna fest, seien es Schmetterlinge oder Vögel. Mit höchst bemerkenswertem Scharfblick und Einsicht in die Zusammenhänge erkannte Naumann auch die heraufziehenden Kollateralschäden in Bezug auf Klima, Boden und Ökosystemfunktionen.

Leider erscheinen alle obigen Zitate von geradezu tragischer Zeitlosigkeit: Alle Mahnungen der Wissenschaft verhallen und verhallen bis heute weitgehend ungehört. Trotz Kenntnis der Zusammenhänge wurden notwendige *effektive* Gegenmaßnahmen zu keinem Zeitpunkt ergriffen. Deshalb konnte sich der Artenrückgang nicht nur bis heute ungebrochen fortsetzen; er beschleunigte sich auch durch ungebremstes Bevölkerungswachstum und etwa seit Mitte des 20. Jahrhunderts durch den zunehmenden Einsatz von Chemie in Form von Kunstdünger und Pestiziden. Die logische Konsequenz: Artenvielfalt befindet sich heute unabhängig von der Skalenlänge (regional, national, global) im freien Fall (Ceballos & Ehrlich 2018, Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). Anhand der Bestandsentwicklung der gut untersuchten Schmetterlinge lässt sich das eindrucksvoll nachvollziehen.

### **3.4 Entwicklung des Artenbestandes**

In jüngerer Zeit erhielt die Schmetterlingsfaunistik in Bayern, wie in Kap. 2 geschildert, einen deutlichen Schub. Zur Erlangung von frischem Material für genetische Untersuchungen erfolgten gezielte Begehungen mit gesteigerter Intensität. Soweit noch existent, wurden etliche bekannte historische Fundstellen wiederbegangen (oft nach jahrzehntelanger Pause, z. B. die Garchingener Heide bei München) und neue Fundstellen erschlossen (z. B. im Nationalpark Bayerischer Wald), oft mit sehr interessanten Ergebnissen in Bezug auf Verbreitung der Arten und auch zahlreichen Neu- und Wiederfunden. Dies, in Kombination mit der Evaluierung historischer Angaben, erlaubte uns schließlich erstmals, einen räumlich und zeitlich differenzierten Artenkatalog aller Schmetterlinge Bayerns („Checkliste“) auf neuestem taxonomischen und faunistischen Kenntnisstand zu erstellen (Haslberger & Segerer 2016). Dieser wird seither laufend aktualisiert. Die Datenbasis besteht zurzeit aus rund 450.000 Datensätzen (überprüfte Sammlungsbelege, evaluierte Literatur- und plausible Beobachtungsdaten), zeitlich zurückreichend bis in die zweite Hälfte des 18. Jahrhunderts, und erlaubt damit einen Blick zurück bis in die Frühphase der Agrarrevolution. Da Bayern einen Anteil von 20% der Fläche Deutschlands besitzt und knapp 90% aller deutschen Schmetterlingsarten (auch) aus Bayern bekannt sind, ist diese Studie sowohl räumlich, zeitlich als auch im Hinblick auf die Menge an Daten und Arten zweifellos aussagekräftig und über die Grenzen unseres Bundeslandes hinaus repräsentativ. Aus den Daten lassen sich eine Reihe wichtiger Erkenntnisse und Schlussfolgerungen zur Bestandsentwicklung der Schmetterlinge Bayerns auf Artebene gewinnen.

**Tab. 2:** Anzahl der Schmetterlingsarten in Bayern zum Zeitpunkt der Publikation der „Checkliste“ und auf aktualisiertem Stand (2.8.2018).

\*) publizierte Daten in der Checkliste Bayerns (Haslberger & Segerer 2016).

\*\*\*) gegenwärtiger Kenntnisstand (überwiegend bereits publiziert, teilweise noch nicht).

	Stand	
	März 2016 <sup>*)</sup>	August 2018 <sup>***)</sup>
Artenzahl insgesamt:	3243	3280
	$\xrightarrow[-3]{\text{Korrekturen}}$	$\xrightarrow[+40]{\text{Neufunde}}$
davon im 21. Jhd.:	2815	2905
	$\xrightarrow[+40 \text{ Neufunde}]{+50 \text{ Wiederfunde}}$	
Differenz (Defizit):	428 (13%)	375 (11%)

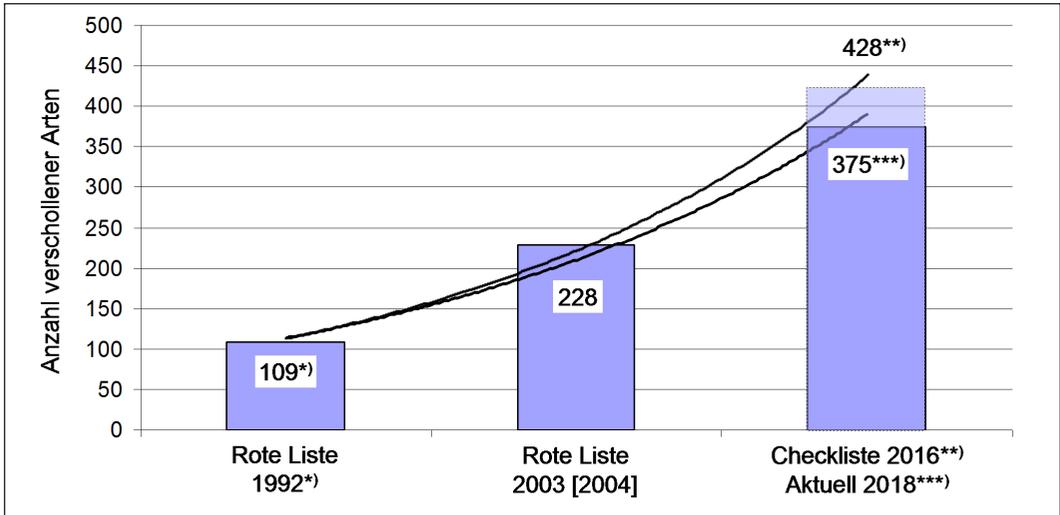
Zum Zeitpunkt der Publikation der Checkliste (2016) waren aus Bayern insgesamt 3243 Schmetterlingsarten bekannt und davon im 21. Jahrhundert 428 Arten (= 13% der Fauna) nicht mehr nachgewiesen, also ausgestorben oder verschollen (Tab. 2). Seither ist die Forschung allerdings nicht stehen geblieben. Die Checkliste gab Anlass für gezielte Nachsuchen nach verschollenen Arten, auch und gerade in weniger gut untersuchten Regionen. Dies hatte nicht nur die Wiederentdeckung von 50 verschollen geglaubten Arten zur Folge, sondern auch in dieser Größenordnung nicht erwartete Neufunde von 40 Arten, darunter teilweise Erstnachweise für Deutschland oder gar Mitteleuropa (AMIB 2017; Fuchs & Wolf 2016; Haslberger et al. 2017; Guggemoos et al. 2018 a-c; Segerer et al. 2016, 2017; und andere, teilweise noch unpublizierte Daten).

Aufgrund dessen könnte man sich eventuell zum Schluss verleiten lassen, dass die Situation der heimischen Schmetterlinge doch nicht so dramatisch sei, wie anfänglich propagiert. Doch dem ist (leider) nicht so! Denn auch die aktualisierten Zahlen belegen einen progredienten Artenverlust. Dies geht aus dem zeitlichen Vergleich der Entwicklung des Artenbestandes hervor, wie er in den Roten Listen Bayerns dokumentiert ist (Heusinger 1992, LfU 2003).

Die Analyse zeigt, dass die Artenverluste seit den 1990er Jahren nicht nur zugenommen haben, sondern beschleunigt anwachsen; an dieser Grundaussage ändert auch der aktuelle, im Vergleich zur Checkliste etwas günstigere Kenntnisstand nichts: der aktuelle Befund unterscheidet sich lediglich in quantitativer Hinsicht, nicht aber qualitativ (Abb. 2).

Dazu ist auch anzumerken, dass das Verschwinden von Arten nur den finalen Endpunkt einer vorausgegangenen kontinuierlich negativen Entwicklung ihrer Abundanz und ihrer Populationen markiert. Wenn jetzt also 50 von ihnen wiedergefunden wurden, lässt sich daraus keineswegs schließen, dass sich damit irgendetwas an der Gesamtsituation verbessert hätte oder das Insektensterben gar nicht so schlimm sei, wie ursprünglich befürchtet. Nur die Analyse der zeitlichen Entwicklung der Abundanzen, also der kurz- und langfristige Bestandstrends und die Zustandsentwicklung ihrer Lebensräume, kann darüber zuverlässig Auskunft geben (vgl. Kap. 3.5).

Die einzige erfreuliche Erkenntnis ist demnach, dass etliche Arten immerhin noch nicht ganz ausgestorben waren, sondern „um die Nachweisgrenze schwanken“ – das heißt, so selten (oder so selten



**Abb. 2:** Anzahl ausgestorbener oder verschollener Schmetterlingsarten in Bayern im zeitlichen Vergleich.

- \*) Die älteste verwertbare Rote Liste enthielt noch keine Angaben über die Zwergminierfliegen (Nepticulidae); deren damaliger Bestand wurde mit heutigem Wissen rekonstruiert und eingearbeitet.
- \*\*\*) Kenntnisstand zur Publikation der Checkliste im März 2016.
- \*\*\*\*) Aktueller Kenntnisstand vom August 2018.

geworden) sind, dass sie nur bei zeitlich und räumlich sehr ausgedehnter Suche noch gefunden werden können.

Nur eine Minderzahl der jüngst wiedergefundenen Arten besitzt offenkundig intakte Populationen in Regionen wie z. B. den Allgäuer Hochalpen (z. B. *Oreana* spp. („Hochalpenzünsler“, Karle-Fendt & Wolf 2016), die jahrzehntelang aus verschiedenen Gründen wenig oder gar nicht mehr untersucht worden sind; hier war also mangelnder Bearbeitungsstand, nicht negative Bestandsentwicklung die Ursache für den (scheinbaren) Rückgang (siehe dazu auch Kap. 6.2.2).

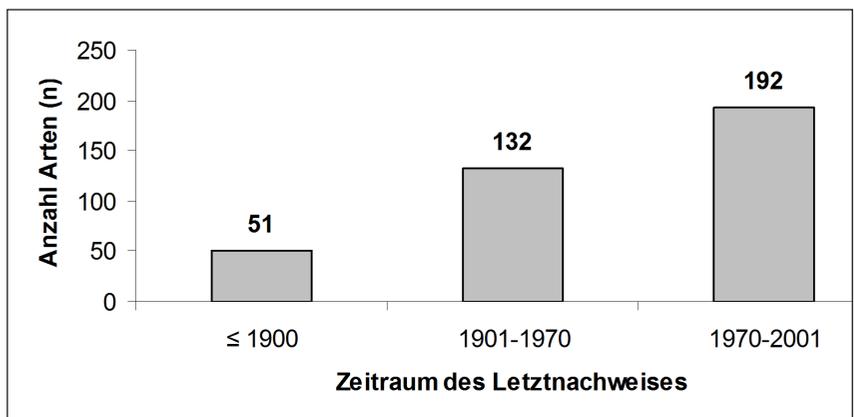
Unter den Wiederfunden imponiert bisher keine einzige Art durch irgendwelche signifikanten Bestandszunahmen. Im Gegenteil handelt es sich vielfach nur um Nachweise eines einzigen oder einiger weniger Exemplare.

Ein illustratives Beispiel hierfür ist Heyden's Prachtfalter (*Stigmatophora heydeniella*) (Abb. 3: links). Diese Art besaß noch in den 1990er Jahren im Naabtal (Oberpfalz) einige sehr lokale Populationen mit guten Beständen. Inzwischen sind diese bis auf eine einzige ganz erloschen und die letzte verbliebene ist so geschrumpft, dass erst nach acht Jahren gezielter, mühevoller Nachsuche im Jahr 2017 nochmals zwei Exemplare beobachtet werden konnten. Das Habitat, ein als Naturschutzgebiet ausgewiesener Trockenrasen (Abb. 3: rechts), verändert sich unter anderem durch rasante Ausbreitung stickstofftoleranter Gräser wie des Glatthafer (*Arrhenatherum elatius*) rapide, ein deutliches Anzeichen für Eutrophierung durch Luftdüngung (vgl. auch den Artikel von W. Kunz in diesem Heft); von den Schmetterlingen sind viele hier einst lebende Magerrasen-Spezialisten inzwischen nicht mehr nachweisbar, dafür haben stickstofftolerante „Allerweltsarten“ wie der Gitterspanner (*Chiasmia clathrata*) massiv zugenommen. Auch wenn wir nun immerhin wissen, dass es Heyden's Prachtfalter immer noch gibt: Es steht außer Frage, dass sich diese letzte bekannte bayerische Population in überkritischem Zustand befindet und in den nächsten Jahren infolge der Habitatdegradierung und vielleicht auch stochastischer populationsgenetischer Effekte gänzlich erlöschen wird (vgl. dazu auch Kap. 5.2 und 5.4).

**Abb. 3:** Die letzte, im Erlöschen begriffene bayerische Population von Heyden's Prachtfalter (*Stigmatophora heydeniella*) (oben) lebt in einem eutrophierenden Naturschutzgebiet im Naabtal bei Regensburg (unten). (Fotos: A. H. Segerer).



In der zeitlichen Aufschlüsselung zeigt sich, dass ab der Mitte des 20. Jahrhunderts ein besonders drastischer Rückgang der Schmetterlinge stattfand. Trotz der oben erwähnten Wiederfunde und Neuentdeckungen in den vergangenen zwei Jahren gilt die Aussage uneingeschränkt, dass allein in den letzten 30 Jahren des 20. Jahrhunderts mehr Arten in Bayern verschollen gingen ( $n = 192$ ) als in den gesamten 200 Jahren zuvor ( $n = 183$ ) (Abb. 4).



**Abb. 4:** Letztnachweis von Schmetterlingsarten in Bayern in zeitlicher Aufschlüsselung (nach Haslberger & Segerer 2016: S. 35, aktualisiert auf den Stand vom August 2018).

Eine Analyse der verschollenen bzw. ausgestorbenen Arten in Bezug auf ihre Habitatbindungen ist sehr aufschlussreich. Dabei sticht mit großer Deutlichkeit ein Befund ins Auge, der bereits in der Roten Liste der Kleinschmetterlinge Bayerns (Pröse et al. in LfU 2003) noch auf Grundlage einer wesentlich umfangärmeren Datenbasis abgelesen werden konnte: Die mit weitem Abstand meisten verschwundenen Arten sind solche des Offenlandes, insbesondere die an hohe Temperaturen, Trockenheit und nährstoffarme Bedingungen angepassten Spezialisten der Magerrasen und Felsfluren (n = 163) (Tab. 3).

**Tab. 3:** Relativer Anteil an verschollenen Arten pro Lebensraumtyp. Ein geringer Teil der bayerischen Schmetterlingsarten (n = 193) musste von dieser Analyse ausgeklammert werden, da entweder die Lebensansprüche zu komplex sind und/oder ihre Ökologie noch zu wenig erforscht ist.

Lebensraumtyp	Gesamtzahl Arten	davon verschollen	
Feuchtgebiete	249	21	8%
Hecken	359	29	8%
Ruderalflächen	140	14	10%
mesophile Wiesen	188	13	7%
Trockenrasen	864	163	19%
Säume	350	45	13%
Waldarten	937	61	7%
[Sonstige / Ubiquisten / nicht zugeordnet]	193	29	15%
<b>Summe</b>	<b>3280</b>	<b>375</b>	<b>11%</b>

Schließlich ist festzustellen, dass vom allgemein negativen Trend auch Naturschutzgebiete nicht ausgeschlossen sind. Die Faktoren des Insektensterbens wirken also selbst bis in diese „Hot Spots“ unserer Biodiversität hinein.

Speziell für den so genannten Keilberg in Regensburg lässt sich dies über einen Zeitraum von rund zwei Jahrhunderten im Detail belegen. Bei dieser, heute im nordöstlichen Stadtgebiet von Regensburg gelegenen Stelle handelt es sich um warmtrockene, zur Donau hin abfallende Südhänge mit thermophilem Steppenheide-Eichenwald und Resten von Magerrasen und Felsflur (Abb. 5).

In früheren Jahrhunderten war diese Stelle reines Offenland, welches als Viehtrift und Weinberge genutzt wurde (Hofmann & Herrich-Schäffer 1854); auch ein alter Merian-Stich aus dem 17. Jahrhundert zeigt diese Stelle weitgehend unbewaldet.

Wegen komplizierter Besitzverhältnisse sind zwischenzeitlich weite Teile der Fläche zugewachsen und nur kleine Teilstücke können dank Maßnahmen des amtlichen Naturschutzes und des Landschaftspflegeverbandes offen gehalten werden (Hannaleena Pöhler und Heidrun Waidele, pers. Mitteilungen). Bedingt durch die Tatsache, dass diese Stelle schon seit mehr als zwei Jahrhunderten halbbregelmäßig besammelt wurde, sehr artenreich ist (insgesamt 1452 bisher hier registrierte Arten) und die historische Datenbasis komplett evaluiert ist (Segerer 1997), können hier sehr aufschlussreiche Einsichten in die Entwicklung des Artbestandes genommen werden (Segerer 2012, Habel et al. 2016, 2019 a):



**Abb. 5:** Ausschnitt aus dem Naturschutzgebiet „Am Keilstein“ (NSG Nr. 300.08). Große Teile der schon im Jahr 1939 unter Schutz gestellten Fläche – seit 2004 auch Teilgebiet des FFH-Gebietes „Trockenhänge bei Regensburg“ (DE6938301) mit amtlich festgesetzter „Gebietsbezogener Konkretisierung der Erhaltungsziele“ ([https://www.lfu.bayern.de/natur/natura\\_2000\\_vollzugshinweise\\_erhaltungsziele/datenboegen\\_6020\\_6946/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/natur/natura_2000_vollzugshinweise_erhaltungsziele/datenboegen_6020_6946/index.htm)), dessen Managementplan allerdings noch fehlt (<http://natura2000.eea.europa.eu/Natura2000/SDF.aspx?site=DE6938301>) – sind inzwischen durch Büsche und Bäume zugewachsen, ein Teil wird durch Pflegemaßnahmen offen gehalten. Speziell am Hangfuß, zwischenzeitlich aber auch immer höher den Hang hinauf wachsend, imponieren üppig wachsende Gräser, darunter Glatthafer (*Arrhenatherum*) als Anzeiger für Eutrophierung. (Foto: A. H. Segerer/ZSM).

Insgesamt ist die Artenzahl heute auf einem Höchststand, was sich sehr einfach durch das gegenwärtig vorliegende Gemenge unterschiedlichster Sukzessionsstadien und hocheffektive Erfassungs- und Bestimmungsmethoden wie z. B. DNA Barcoding erklärt (Habel et al. 2019 a und b). Mesophile Arten und Arten der Gebüsch- und Wälder nehmen allgemein zu, thermophile Magerrasenspezialisten hingegen ab. Detailstudien an tagaktiven Lepidopteren ergaben einen Artenrückgang um 39% und eine Abnahme der Beta-Diversität; die meisten Rückgänge sind dabei im aktuellen Jahrzehnt zu verzeichnen und zu den Gewinnern dieser Entwicklung zählen Generalisten, die an nitrotoleranten oder gar nitrophilen Futterpflanzen leben (Habel et al. 2016). Integriert über alle Arten einschließlich Großschmetterlingen und Kleinschmetterlingen, wurden im 21. Jahrhundert nur noch 979 Spezies angetroffen, was einem Defizit von 473 Arten = 32% entspricht (Segerer, unpublizierte Daten; ausführliche Publikation in Vorbereitung).

### 3.5 Populationsentwicklung

Das Verschwinden einzelner Arten aus einem Gebiet ist lediglich der Endpunkt einer vorausgegangenen anhaltend negativen Entwicklung ihrer Bestände. Während die (beschleunigte) Abnahme der Artenzahl in Bayern sehr gut belegt, weil relativ leicht messbar ist, ist die Datenbasis in Bezug auf die Entwicklung der Abundanzen leider sehr überschaubar (auch und gerade bei heute noch

vorkommenden Arten). Dies kommt daher, dass in früheren Zeiten kaum jemand die Notwendigkeit für standardisierte, quantitative Langzeiterfassungen (Zählungen) von Arten *und* Individuen sah. Schmetterlingssammler berichten unisono, dass viele Arten (bevorzugt des Offenlandes) nach ihren Beobachtungen stark rückläufig sind, oft freilich ohne hierfür wissenschaftlich belastbare Statistiken erhoben zu haben. Bedingt durch die zahlreichen unabhängigen Beobachtungen an zahlreichen Stellen Deutschlands kann es sich aber wohl nicht um kollektive Wahrnehmungsstörungen handeln. Moderne Rote Listen, in denen die Analyse von Bestandstrends für die Einstufung obligatorisch sind (BfN 2011, Voith et al. 2016), und auch der Vergleich historischer Faunen aus gut untersuchten Gebieten (z. B. Regensburger Umgebung: Literaturübersicht bei Segerer 1997) lassen zumindest qualitative Aussagen zur Bestandsentwicklung zu. Dabei ist klar erkennbar, dass viele Arten, und insbesondere Habitatspezialisten des Offenlandes, stark negative kurz- und/oder langfristige Bestandstrends aufweisen. In Anbetracht des beschleunigten Charakters des Artenrückgangs (Kap. 3.4) überrascht dies nicht und lässt auch für die Zukunft keine Besserung erwarten. Auch der in der „Krefeld-Studie“ gemessene Rückgang der Biomasse an Fluginsekten belegt allgemein, dass Populationen auf breiter Front einbrechen; allerdings erfolgte hier keine Aufschlüsselung nach Artgruppen oder gar Arten (Hallmann et al. 2017).

Quantitative Langzeiterfassungen der Abundanzen auf Artebene gibt es für bayerische Schmetterlinge nur sehr wenige und auch dann oft nur für einzelne Arten und Regionen (z.B. Reichholf 2017). Das verbietet pauschalisierte Aussagen über die Gesamtfläche, lässt jedoch zumindest im regionalen Kontext einmal mehr erkennen, dass vor allem die Populationen von Arten der Flur stark im Rückgang sind. J. Reichholf (2017) belegte im unteren Inntal in Niederbayern einen starken Abfall der Abundanzen von Großnachtaltern (*Macroheterocera*) seit Ende der 1970er Jahre; bei den Tagfaltern des Offenlands um 73%. Sogar Generalisten sind betroffen (z. B. Reichholf 2008, 2017) und teilweise eklatant mit exponentiellem Rückgang um mehr als 90% eingebrochen, so etwa der Braune Bär (*Arctia caja*) oder der Kleine Weinschwärmer (*Deilephila porcellus*).

Bestandsentwicklungen können in unterschiedlichen Regionen Bayerns jedoch einen ganz anderen Verlauf zeigen. Während Reichholf (loc. cit.) am unteren Inn keine besondere Verschlechterung der Situation bei den allgemein verbreiteten „Nesselfaltern“ *Aglais io* und *Aglais urticae* konstatierte, diese auch am westlichen Standrand von Landshut noch allgemein häufig sind (Th. Grünwald, pers. Mitteilung), ist deren Abundanz im südlichen Stadtgebiet von Regensburg seit Anfang der 70er Jahre um mehr als 99% zusammengebrochen (Datenbank A. H. Segerer); dafür hat sich in Regensburg-Süd die Anzahl der Kleinen Weinschwärmer über den gesamten Zeitraum nicht signifikant verändert, also völlig konträr zur Situation am unteren Inn.

Wenn sich die Bestände derselben Arten regional derart unterschiedlich verhalten, deutet dies auf unterschiedlich ausgeprägte bestandsbestimmende Faktoren hin. Ein- und dieselbe Art kann in einem Gebiet z. B. dadurch verschwinden, weil ihr Brutbiotop einem Gewerbe- oder Neubaugebiet weichen musste (so die Nesselfalter im Süden Regensburgs), an anderer Stelle aufgrund des Einsatzes von landwirtschaftlicher Intensivierung der Flur (so die Kleinen Weinschwärmer am unteren Inn), wieder anderen Orts mag sie kaum durch negative Faktoren betroffen sein und schließlich an vierter Stelle durch irgendwelche günstigen Umstände sogar im Bestand zunehmen. Auf diese Weise zeigt sich ein im Detail sehr heterogenes Muster der Bestandsentwicklung, das zusätzlich noch überlagert wird durch natürliche, jährweise Schwankungen der Häufigkeit einzelner Arten. Solche lokalen Effekte stehen aber nicht im Widerspruch zu einem flächendeckenden Insektensterben. Nicht die lokale Perspektive, sondern der langfristige, über ein großes Gebiet und möglichst viele Arten gemittelte Trend ist entscheidend – und dieser ist leider eindeutig.

Zur Verbesserung der Befundlage auf Populations- und Abundanzebene wäre ein flächendeckendes oder zumindest in Bezug auf Flächen und Habitate repräsentatives Langzeitmonitoring nötig. Das hat es in dieser Form bisher nie gegeben, denn frühere Generationen von Entomologen hatten dazu keinen Anlass gesehen. Presseberichten zufolge wird inzwischen von der Regierung offensichtlich über ein bundesweites Insektenmonitoring nachgedacht. Das ist sehr zu begrüßen, doch sei angemerkt, dass diese Studien zwangsweise auf dem heutigen, bereits sehr niedrigen Bestandslevel ansetzen müssen, ohne auf ältere Vergleichswerte zurückgreifen zu können.

## 4. Insekten weltweit auf dem Rückzug; Folgewirkungen auf die Ökosysteme

Schmetterlinge gehen nicht nur in Deutschland zurück, sondern überall in Europa und auch weltweit (vgl. z. B. SBN 1987, Dirzo et al. 2014, Huemer 2016, Segerer & Rosenkranz 2018, Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019); auf globaler Ebene scheinen, so weit untersucht, andere Insektenordnungen sogar noch stärker betroffen als Schmetterlinge. Die Insektenbiomasse verringert sich derzeit weltweit um 2,5% pro Jahr (Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019).

Aufgrund ihrer wichtigen ökologischen Bedeutung (Segerer & Rosenkranz 2018) nimmt es nicht wunder, dass der Insektenschwund weitere ökosystemare Auswirkungen nach sich zieht, darunter einen Rückgang von Blütenpflanzen parallel mit ihren Bestäubern (Biesmeijer et al. 2006) oder das hervorragend dokumentierte Vogelsterben (Berthold 2017), das in ganz Europa zu beobachten ist. Monokausale Schlüsse, wie sie in unsachlicher Vereinfachung des Themas leider allzu oft dargeboten werden, verbieten sich allerdings. Die Vögel gehen europaweit natürlich *auch* wegen Insekten-, also Nahrungsmangel zurück – aber nicht ausschließlich deswegen. Zum Beispiel tragen auch der Verlust von Bruthabitaten, die hohe Zahl freilaufender Katzen, der Singvogelfang in Südeuropa, Infektionskrankheiten und vieles mehr dazu bei. Auch hier gilt also wie so oft in der Ökologie, dass viele Zusammenhänge komplex und multikausal sind.

## 5. Wesentliche Ursachen

Die entscheidenden, für das Insektensterben maßgeblichen Faktoren sind schon lange bekannt und wurden teilweise schon vor weit über 150 Jahren beschrieben (vgl. Kap. 3.3). Auf globaler Ebene gelten veränderte Landnutzung, Klimawandel, invasive Arten, Raubbau an natürlichen Ressourcen und Umweltverschmutzung zu den wesentlichen Auslösern der Biodiversitätskrise (MEA 2005, Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). Davon ist in Deutschland bzw. Mitteleuropa vor allem die veränderte Landnutzung samt starker chemischer Belastung maßgeblich (vergleiche Kap. 3.1 bis 3.3). Im Detail geht der Rückgang der Schmetterlinge, und allgemein der Flora und Fauna in Deutschland, vor allem auf das Konto der

- (1) zunehmend intensivierten und industrialisierten Landwirtschaft und
- (2) Ausweitung der Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsgebiete („Flächenfraß“).

Dies ist in der Literatur hinreichend belegt und Details können zum Beispiel bei Hock et al. (1997), Huemer (2016), SBN (1987) sowie Segerer & Rosenkranz (2018) nachgelesen werden. Dabei lassen sich vier prinzipielle Wirkungen identifizieren, die mit ihren Verursachern in Tab. 4 zusammengefasst sind.

**Tab. 4:** Überblick über die wesentlichen Ursachen und Verursacher des Insektensterbens in Deutschland; dessen (regional unterschiedliches) Ausmaß ist das Resultat des Zusammenwirkens der einzelnen Faktoren im Detail.

Wesentliche Ursachen/Wirkprinzipien	Wesentliche Verursacher
<p><b>I.</b> Vernichtung von artenreichen Habitaten und spezifischen Lebensgemeinschaften, Landschaftshomogenisierung</p>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Landschaftsausräumung (Flurbereinigung)</li> <li>- Monokulturen</li> <li>- Anbau von Energiepflanzen</li> <li>- Radikale und zu häufige Mahd</li> <li>- Flächenfraß</li> </ul>
<p><b>II.</b> Habitatdegradierung</p>	<p><i>a) regional:</i> - Aufgabe extensiver Nutzung → Sukzession</p> <p><i>b) überregional:</i> - Eutrophierung durch reaktive Stickstoffverbindungen aus Landwirtschaft (v. a. Kunstdünger, Gülle; Anteil ~ 60%) sowie Industrie und Verkehr (~ 40%); Zunahme der Belastung um den Faktor 20-100 im Vergleich zur vorindustriellen Zeit (vgl. auch Artikel von W. Kunz in diesem Heft) - Eutrophierung durch Phosphate (v. a.: Gewässer)</p>
<p><b>III.</b> Vergiftung von Insekten und ihren Futterpflanzen</p>	<p>Durch Verdriftung ebenfalls überregional wirksam und in der Umwelt akkumulierend:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Pflanzen- und Insektenvernichtungsmittel (Herbizide, Insektizide)</li> <li>- ? Fungizide</li> </ul>
<p><b>IV.</b> Habitatfragmentierung (Verinselung von Restflächen)</p> <p>mit der Folge: Genetische Verarmung (Generosion) von Inselepopulationen, bis hin zu deren Erlöschen; reduzierte bis fehlende natürliche Wiederbesiedlung</p>	<p>Ausweitung von intensiv bewirtschafteten Agrarflächen, sowie von Siedlungs-, Industrie- und Verkehrsflächen (Flächenfraß)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- statistische populationsgenetische Effekte, z.B. Gendrift als Folge der Verinselung</li> <li>- genetische Verarmung/Inzucht</li> <li>- Unterbrechung des Dispersionsflugs durch Straßenverkehr, Windkraftanlagen und Lichtverschmutzung</li> </ul>

Wie bereits erwähnt, beachte man, dass nicht alle genannten Faktoren zur selben Zeit am selben Ort und mit derselben Intensität wirken; andererseits aber auch mehrere von ihnen gleichzeitig am Werk sein und sich in ihrer Wirkung gegenseitig beeinflussen können. So erklären sich die beobachteten regionalen Unterschiede.

## 5.1 Zerstörung der alten Kulturlandschaft

Die Vernichtung von Lebensräumen fing wie in Kap. 3.3 gesehen bereits im 18. Jahrhundert an und fand bzw. findet ihren vorläufigen Höhepunkt in der industrialisierten Landwirtschaft und dem Flächenfraß von heute. Eine erste große Aussterbewelle erfolgte ab Mitte des 20. Jahrhunderts mit der Flurbereinigung, eine zweite parallel mit der Ausweitung des Maisanbaus („Vermaisung“) und des vermehrten Dünger- und Pestizideinsatzes in der Landschaft in den 1970ern (unter anderem mit der Folge steigender „Luftdüngung“ durch reaktiven Stickstoff und Akkumulation von Pestiziden in Umwelt und Nahrungsnetz). Heute sind über 50% der Landesfläche Deutschlands landwirtschaftliche Nutzfläche, nur auf einem kleinen Bruchteil davon wird Ökolandbau betrieben. Deutschlandweit verschwinden täglich 104 Hektar Land unter Asphalt und Beton (vgl. Segerer & Rosenkranz 2018). Die Situation in Europa unterscheidet sich dabei insofern von den meisten anderen Teilen der Welt, als hier die Mehrzahl der Arten durch die Transformation von historisch gewachsener *Kulturlandschaft* bedroht ist; anderenorts ist es hingegen primär die Vernichtung oder Degradierung *ursprünglicher Habitate* wie beispielsweise der tropischen Regenwälder (z. B. Abb. 6) (vgl. auch Artikel von W. Kunz in diesem Jahrbuch).

Der zunehmende, intensive Anbau von Energiepflanzen in Deutschland im Rahmen der „Energie- wende“, ebenso wie weitere Aspekte derselben (Epple 2017), sind mit dem Naturschutzgedanken weitgehend unvereinbar und befeuern den fortschreitenden Verlust an Biodiversität. Die beabsichtigte positive Wirkung auf die Erreichung der Klimaziele wird andererseits durch weiteren Verlust an natürlichen Habitaten, weitere Überdüngung und weiteren Pestizideinsatz (mehr als) wettgemacht.



**Abb. 6:** Zunehmender Kahlschlag primären Regenwalds im Bundesstaat Rondônia/Brasilien zwischen dem Jahr 2000 (links) und 2012. (Foto: NASA Earth Observatory ([earthobservatory.nasa.gov/](http://earthobservatory.nasa.gov/))).

## 5.2 Habitatdegradierung: Sukzession und Überdüngung

Eine der großen Herausforderungen für den Naturschutz stellt das Zuwachsen von Offenland dar (Sukzession), was im Endergebnis dazu führt, dass sich der frühere Mischwaldcharakter der mitteleuropäischen Landschaft wieder einstellt (Habel et al. 2019 a). Maßgeblich ursächlich ist auf regionaler Ebene die Aufgabe traditioneller, extensiver Landbewirtschaftung wie z. B. Wanderschärferei. Aktive Entbuschungsmaßnahmen und Mahd im Rahmen von Naturschutz- und Landschaftspflegeprogrammen sollen diesen Prozess aufhalten, was aber nur leidlich gelingen kann: denn der Kampf gegen die Sukzession erfolgt auch vor dem Hintergrund der Klimaerwärmung und einer flächendeckenden Überdüngung, was einerseits dem Pflanzenwachstum Vorschub leistet und andererseits zu einer massiven chemischen und strukturellen Veränderung in den Offenlandhabitaten führt: Düngewirksame Substanzen verbleiben (ebenso wie Pestizide, siehe Kap. 5.3) nicht am Ort ihrer Applikation, sondern verteilen sich im Rahmen der geochemischen Stoffkreisläufe und/oder durch Verdriftung und Auswaschung in der Landschaft. Sie besitzen dadurch Fernwirkung. Ihre Anwendung wurde Mitte des 20. Jahrhunderts signifikant und ist seither rapide gestiegen. Emissionen aus Mineraldünger und Gülle, sowie zu einem geringeren Anteil auch aus Industrie und Verkehr, führen zu einer massiven Eutrophierung von mageren Standorten über die Luft („Luftdüngung“), was sich insbesondere im Offenland, aber auch im Wald zeigt; das Verschwinden stickstoffempfindlicher Pflanzen (und der von ihnen abhängigen Insekten) ist eine direkte Folge, ebenso die erhöhte Anfälligkeit von Schmetterlingsraupen durch die Aufnahme gedüngten Futters (Reichholf 2017, Kurze et al. 2018).

Darüber hinaus führt Eutrophierung zu einer rasch voranschreitenden Veränderung der Pflanzengesellschaften. Magerrasen verwandeln sich in eine von hochwachsenden Gräsern (z. B. Glatthafer) dominierte Flur (vgl. auch Abb. 5); das wiederum führt unter anderem zu kühlerem und feuchterem Mikroklima in Bodennähe, was die an warmtrockene Bedingungen angepassten Magerrasenspezialisten unter den Insekten nicht zu tolerieren vermögen. Die geschilderten Abläufe sind überall und in allen Stadien der Klimax in Magerrasen nachweisbar und auch experimentell bestens belegt (z. B. Bobbink 1991; Galloway et al. 2003, 2004; Stevens et al. 2004; Lethmate 2005; Nordin et al. 2005; Öckinger et al. 2006).

Die Überfrachtung der Erde mit reaktiven Stickstoff- und auch Phosphorverbindungen übersteigt inzwischen die Belastungsgrenzen der Erde um ein Vielfaches und gehört neben dem Schwund an genetischer Vielfalt zu den stärksten Belastungen der planetaren Ökosysteme, noch vor der Vernichtung der Regenwälder und dem Klimawandel (Steffen et al. 2015).

Von Sukzession und Eutrophierung besonders betroffen sind unter den Schmetterlingen die hochgradig angepassten Habitatspezialisten, die eine nur geringe Toleranz gegenüber Umweltveränderungen aufweisen. Habitatgeneralisten hingegen, die so genannten „Allerweltsarten“, weisen diesbezüglich größere Resilienz auf. Luftdüngung ist einer der wesentlichen Gründe für den oben geschilderten Rückgang tagaktiver Schmetterlinge am Keilberg in Regensburg (Habel et al. 2016, 2019 a; vgl. Kap. 3.4 und Abb. 5).

Besonders interessant ist in diesem Zusammenhang das Schicksal zweier gegen Eutrophierung stark empfindlicher Kleinschmetterlingsarten, des Beifuß-Federfalters *Agdistis adactyla* und des Sandrasen-Wicklers *Aethes williana*. Beide kamen einst im „Naturschutzgebiet „Am Keilstein“ (Abb. 5) vor, starben dort aber trotz des bis heute hinreichenden Vorkommens ihrer Futterpflanzen schon vor vielen Jahrzehnten aus. Jedoch konnten wir kürzlich Reliktorkommen beider Arten inmitten eines angrenzenden Steinbruchgeländes belegen (Haslberger et al. 2015; Abb. 7). Während also in ihrem ursprünglichen Habitat – aller Schutzbemühungen einschließlich Pflegemaßnahmen zum Trotz –

**Abb. 7:** Der in Bayern nur sehr lokal vorkommende Beifuß-Federfalter (*Agdistis adactyla*) ist gegen Eutrophierung extrem empfindlich und verliert daher zunehmend Existenzmöglichkeiten (rechts). Standort einer Reliktpopulation ist ein Kalksteinbruch in Regensburg (unten).  
(Fotos: Peter Lichtmanecker (rechts), A. H. Segerer (unten)).



die für sie notwendigen Lebensbedingungen durch Habitatdegradierung verloren gingen, haben sie in einem anthropogenen Refugium bis heute überlebt, gut abgeschirmt gegen Immissionen aus der Umgebung inmitten einer extrem kargen „Mondlandschaft“ (Abb. 7 unten). Dort konnte selbst die allgegenwärtige Luftdüngung bisher keinen nennenswerten Schaden anrichten.

### 5.3 Pestizide

Breitbandherbizide wie Glyphosat vernichten sämtliche Ackerbegleitpflanzen und damit indirekt auch alle Falter, die von ihnen leben (z. B. Abb. 8). Insektizide, zum Beispiel die Neonicotinoide, sind heute potenter denn je und schädigen Insekten bereits in subletaler Dosis (Goulson 2013). Pestizide gelangen durch Verdriftung oder auf dem Wasserweg in die Umwelt und sind hier auf breiter Front nachweisbar, vielfach in Konzentrationen, die für Nicht-Zielorganismen schädlich sind. Sie entfalten damit – wie die Luftdüngung – Fernwirkung. Sekundäreffekte auf die Ökosysteme treffen dabei alle Arten gleichermaßen, Spezialisten wie Generalisten (Huemer & Tarmann 2001, Geiger et al. 2010, Di Prisco et al. 2013, Stokestad et al. 2013, Hallmann et al. 2014, Bonmatin et al. 2015, van der Sluijs et al. 2015, Borfás et al. 2016, Giorio et al. 2017, Mitchell et al. 2017, Pisa et al. 2017, F. Hofmann & Bär 2019). Die Stoffe verbreiten sich durch das Nahrungsnetz sogar bis hinauf zu den Prädatoren, wie jüngst auch für Neonicotinoide belegt (Byholm et al. 2018).



**Abb. 8:** Der Kornblumen-Plattleibfalter (*Agonopterix laterella*) ist in Bayern vom Aussterben bedroht (links). Er ist ein Opfer der Breitband-Herbizide und findet nur noch auf ökologisch bewirtschafteten Feldern mit ausgedehnten Vorkommen der Kornblume (*Centaurea cyanea*) (unten) oder in abgelegenen Bergtälern mit Beständen der Bergflockenblume (*Centaurea montana*) Überlebensinseln.

(Fotos: A. H. Segerer (links), Dellex/Wikimedia (unten)).





**Abb. 9:** Zersiedelte, hochgradig fragmentierte Landschaft des unterbayerischen Hügellands, rechts oben Mündung der Isar in die Donau (Satellitenbild). Die Fläche ist von Siedlungen, Straßen und intensiv bewirtschafteten Fluren geprägt. Artenreiches Offenland ist nur punktuell zu finden und aus dieser Perspektive kaum auszumachen. Auch Wälder und Gebüsche sind weitgehend verinselt, größere zusammenhängende Waldflächen selten. Entlang der Isar (von links unten nach rechts oben fließend) erkennt man die noch mehr oder minder zusammenhängenden Reste der Au, dabei als artenreicher „Leuchtturm“ herausragend das deltaförmige Naturschutzgebiet Isarmünd (im Bild rechts oben). (Quelle: Google Earth).

## 5.4 Habitatfragmentierung und genetische Isolation

Artenreiche Lebensräume, die (noch) nicht der Umwandlung in intensiv bewirtschaftetes oder bebautes Land anheimgefallen sind (unter anderem: Naturschutzgebiete), sind heute nur noch an vergleichsweise wenigen Stellen zu finden. Sie bilden so etwas wie „Inseln des Lebens“ inmitten einer weitgehend ausgeräumten, monotonen und artenarmen Agrar- und Betonwüste (Abb. 9). Verbindungskorridore oder „Trittsteine“, die noch in der alten Kulturlandschaft ein problemloses Überwechseln von A nach B ermöglichten, fehlen zunehmend.

Nur Generalisten („Allerweltsarten“) mit hohem Aktionsradius bzw. hoher Mobilität vermögen diese Art von Barriere problemlos zu überwinden und kommen daher in einer hochgradig fragmentierten Landschaft klar (Habel & Schmitt 2018); das ist allerdings die Minderzahl unserer Schmetterlinge (Beispiel: Gammaeule - *Autographa gamma*).

Für standorttreue Generalisten mit geringerer Mobilität wird der genetische Austausch zwischen benachbarten Populationen hingegen zunehmend erschwert oder gänzlich unmöglich. Dies führt zu genetischer Isolation, Generosion und Inzucht, was den vollständigen Kollaps ihrer Population nach sich ziehen kann. Habitatspezialisten mit ihrer eher geringen genetischen Diversität sind zwar generell weniger anfällig gegen Inzucht, haben dafür aber unter der allgegenwärtigen Habitatdegradierung zu leiden (vgl. Kap. 5.2); abgesehen davon, dass ihre meist kleinen Bestände schon durch zufallsbestimmte populationsgenetische Effekte zusammenbrechen können. (C. D.



**Abb. 10:** Der Große Diptam-Platt-leibfalter (*Depressaria dictamnella*) ist eine wenig mobile, hochspezialisierte Art. Ihre letzte deutsche Population bei Regensburg war hochgradig isoliert und erlosch um das Jahr 2000, vermutlich aus stochastischen Gründen ohne weiteres Zutun. In den Jahrzehnten zuvor besaß sie dort noch ein größeres, zusammenhängendes Verbreitungsgebiet, das in der Folge durch Straßen- und Siedlungsbau fragmentiert wurde. (Foto: A. H. Segerer).

Thomas 2000; J. A. Thomas et al. 2001; J. A. Thomas 2016; Habel & Schmitt 2012, 2018) (Abb. 10). Ist eine „Inselpopulation“ erst einmal erloschen, ist in der fragmentierten Landschaft die natürliche Wiederbesiedelung des Habitats zumindest sehr erschwert, wenn nicht gänzlich unterbunden.

## 5.5 Nachrangige Faktoren: Lichtverschmutzung, Verkehr, Windräder; Klimawandel

Die Auswirkungen der **Lichtverschmutzung** auf den Artenrückgang sind insgesamt noch wenig erforscht. Fakt ist, dass die nächtliche Beleuchtung massiv zugenommen hat und nachtaktive Insekten in großer Menge durch künstliche Lichtquellen angelockt und irritiert werden und dann dem Lichtkreis oft nicht mehr entweichen können; dort werden sie dann in großer Menge von Feinden gefressen oder kommen anderweitig zu Tode (Hausmann 1992; Die Helle Not 2001). Manche Kollegen sehen dies als einen weiteren signifikanten Beitrag zum Insektensterben an. Der Autor kann sich dem allerdings nicht ohne weiteres anschließen.

Erstens produzieren Insekten ohnehin auf Masse, weshalb ihre Rückgänge primär durch Verluste bzw. Beeinträchtigungen ihrer Habitate und erst nachrangig durch den Verlust einzelner Individuen verursacht werden. Zweitens kommt die Hauptmenge der Nachfalter-Weibchen erst im Rahmen ihres Dispersionsfluges zum Licht, *nachdem* der Hauptteil ihrer Eier in den Brutbiotopen abgelegt wurde. Drittens wurde, wesentlich befördert durch die Initiative „Die Helle Not“, nächtliche Beleuchtung vielfach schon auf gelbes Natriumlicht umgestellt, das für Nachfalter wenig attraktiv ist. Und viertens ist der Wirkradius künstlicher Lichtquellen auf Nachfalter überraschend klein (Truxa & Fielder 2012). Verschiedene Untersuchungen zeigen schließlich, dass tagaktive Schmetterlinge jedenfalls auf Artebene mindestens genauso rückläufig sind wie Nachfalter, wenn nicht sogar noch mehr (Haslberger & Segerer 2016; Habel et al. 2016, 2019 a).

Wenn, dann wirkt die Lichtverschmutzung vor allen Dingen dadurch negativ ein, dass sie einer Unterbrechung des Dispersionsfluges und damit der genetischen Isolierung von Populationen (vgl. Kap. 5.4) Vorschub leistet; außerdem sind durchaus negative ökosystemare Wirkungen beschrieben (Übersicht bei Grubisic et al. 2018). Sie vernichtet aber nicht direkt Lebensräume bzw. die Populationen in ihren Ursprungshabitaten.

Die jährliche Gesamtfahrleistung aller in Deutschland zugelassenen **Kraftfahrzeuge** ist, vor allem bedingt durch immer mehr Neuzulassungen, in den letzten Jahrzehnten stark angestiegen und betrug nach der Statistik des Kraftfahrtbundesamtes im Jahr 2017 fast 733 Milliarden Kilometer (<https://www.kba.de/>). Dies führt zwangsläufig zu einer steigenden Ausdünnung der Biomasse von Insekten durch den Verkehr.

Auch die Zunahme an **Windkraftanlagen** infolge der „Energiewende“ ist neuerdings als weitere Quelle des Insektensterbens in die Diskussion gebracht worden (Trieb et al. 2018), gleichwohl davon nur ein Bruchteil der Arten, in erster Linie das sog. Luftplankton betroffen ist (kleine bis winzige Arten, die häufig auch zu Massenvermehrung neigen wie Blattläuse, Blattflöhe, geflügelte Ameisen, kleine Mücken etc., daneben auch winzige Schlupfwespen und Jungspinnen im „Altweibersommer“) (Hardy & Milne 1938, Freeman 1945, Chapman et al. 2004).

Dennoch gilt auch in allen diesen Fällen, dass das Schicksal der Insektenbestände in erster Linie mit dem Erhalt ihrer Lebensräume und nicht dem Schicksal einzelner Individuen verknüpft ist. Autoverkehr und Windräder drücken wie das nächtliche Licht sicherlich die Abundanz, nicht aber den Artenbestand; sie sind Zusatzfaktoren, aber nicht die *maßgebenden* Ursachen des Insektensterbens.

Der viel zitierte **Klimawandel** ist differenziert zu betrachten. In unseren Breiten spielt er für die meisten Arten keine direkte Rolle, jedenfalls nicht zum Positiven. Die zunehmende Erwärmung sollte für die meisten unserer Insekten eher förderlich sein (von den vergleichsweise wenigen, spezifisch an kühleres Klima angepassten Spezies wie hochalpinen Arten und Glazialrelikten abgesehen). Doch das ist nicht der Fall: ausgerechnet die spezifisch Wärme liebenden Arten sind deutlich rückläufig (Segerer 2012, Fox et al. 2015, Habel et al. 2016). Der Grund hierfür ist, dass Klima nur einer von vielen bestandsbestimmenden Faktoren ist und sich andere, negative Einflüsse – wie die in Tab. 4 genannten – insgesamt stärker auswirken als jeder mögliche oder tatsächlich vorhandene Benefit durch die globale Erwärmung. Meist handelt es sich bei den thermophilen Arten gleichzeitig auch um Habitatspezialisten, die sensibel auf Eutrophierung und Nutzungsaufgabe reagieren (vgl. Kap. 5.2). Wenn, dann spielt der Klimawandel im Flachland dahingehend eine Rolle, dass er die Sukzession im Offenland beschleunigt, welche zusätzlich noch durch die allgemeine Luftdüngung angeheizt wird.

Es sei allerdings angemerkt, dass der Klimawandel in den Tropen, den Polarregionen und den Hochlagen der Gebirge sehr wohl gravierende, direkte negative Auswirkungen auf die spezifisch angepasste Fauna hat (MEA 2005, Menéndez et al. 2006, Lister & Garcia 2018, Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). Im Übrigen sind die tropischen Regenwälder durch Rodungen bereits so vorgeschädigt (vgl. Abb. 6), dass die verbliebenen Reste anfällig gegen Temperaturerhöhung und Austrocknung geworden sind. Das Kippen dieser artenreichsten terrestrischen Ökosysteme durch fortschreitende globale Erwärmung ist leider ein realistisches Szenario (Jones et al. 2009).

## 5.6 Jede/r kann sich davon überzeugen

Die Analyse in Tab. 4 und neue Metastudien belegen ganz klar, dass die Hauptursachen des Insektensterbens in einer Veränderung der Lebensräume zu suchen sind, die vor allen Dingen auf das Konto von intensiver Landwirtschaft und Flächenfraß geht (sowie, was die Überfrachtung mit reaktivem Stickstoff angeht, zu einem gewissen Anteil noch auf Verkehr und Industrie) (vgl. z. B. Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019). Das alles sind wirtschaftlich bedeutende Bereiche mit Milliar-

denumsätzen weltweit. Vor diesem Hintergrund ist verständlich, dass die Erkenntnisse der Wissenschaft für die Betroffenen eine unbequeme Wahrheit sind, die nicht gerne gehört wird – so wie seinerzeit (oder immer noch) die Erkenntnisse über die anthropogene Erderwärmung.

Und genau wie beim Klimawandel sind auch Zusammenhänge beim Insektensterben im wissenschaftlichen Detail hochgradig komplex: Eine Wirkung kann auf verschiedene Ursachen zurückzuführen sein, eine Ursache verschiedene Wirkungen, Folgewirkungen und Querverwirkungen entfalten, die Manifestationen des Insektensterbens sind räumlich und zeitlich sehr heterogen über die Fläche verteilt. Es geht hier um nicht-lineare, netzkausale Wechselwirkungen mit einem hohen Grad von Rückkopplungen. Deshalb wird das prinzipielle Bild umso unschärfer und schwerer zu fassen sein, je spezifischer man hinsieht.

Eine solche systemimmanente Unschärfe macht die Benennung und Quantifizierung von Einzelverantwortlichkeiten sehr schwierig und teilweise sogar unmöglich. Bei der geltenden Rechtslage ist das ein „gefundenes Fressen“ für Juristen und öffnet entsprechenden Interessensgruppen Tür und Tor, jede Art von Verantwortung strikt von sich zu weisen, sie anderen in die Schuhe zu schieben oder sogar das Insektensterben selbst strikt zu leugnen. Am Ende will es niemand gewesen sein. Bei Recherchen im Internet kann man sich davon überzeugen, wie interessierte Kreise den bisherigen Erkenntnissen heftig widersprechen, unter anderem mit dem Hinweis auf einen Mangel an flächendeckenden Studien und/oder mangelnde statistische Aussagekraft.

Die erbittert geführte Auseinandersetzung darüber, wer im Detail welchen Anteil am Insektensterben hat und ob überhaupt, wird deshalb noch lange weitergehen und man wird – in Wiederholung der Geschichte vom Klimawandel – versuchen, die Erkenntnisse von Wissenschaftlern zu relativieren, eventuell sogar zu diskreditieren und Zweifel in der Allgemeinheit zu streuen (Segerer & Rosenkranz 2018). Die mediale „Schlacht“ rund um das bayerische Volksbegehren Artenvielfalt („Rettet die Bienen“; <https://volksbegehren-artenvielfalt.de/>), welches im Januar/Februar 2019 für die Sache äußerst erfolgreich ablief, gab davon ein beredtes Zeugnis.

Vor dem Hintergrund teilweise gezielt gestreuter Desinformationen über Ausmaß, Ursachen und Verursacher des Insektensterbens in Deutschland ist es an dieser Stelle wichtig festzustellen, dass sich jede/r Bürger/in mit eigenen Augen selbst ein Urteil darüber bilden kann, ob und wie stark intensive Landwirtschaft und Flächenfraß unsere Biodiversität beeinflussen oder nicht. Dazu sind keineswegs Spezialkenntnisse in Biologie, Ökologie und Statistik nötig – ein Mindestmaß an Gefühl für Vielfalt in der Natur ist ausreichend.

Wer also mit offenen Augen eine intensiv bewirtschaftete bzw. bebaute Fläche mit ökologisch bewirtschafteten Flächen und Schutzgebieten vergleicht, wird ohne jede Schwierigkeit etwa die folgenden Feststellungen machen können:

- Auf einer Betonfläche ist die Anzahl an Arten um ein Vielfaches geringer als auf einer intensiv genutzten Grünfläche; diese geradezu triviale Feststellung untermauert die Wirkung von Flächenfraß.
- Eine intensiv gedüngte und womöglich sechsmal im Jahr gemähte Wiese ist ihrerseits eine „grüne Wüste“ im Vergleich zu einer ungedüngten Wiese, wie man sie in Schutzgebieten oder im Ökolandbau vorfindet; sie enthält nur einen Bruchteil an Pflanzenarten, insbesondere auch Blühpflanzen, und Insekten.
- In einer ökologisch bewirtschafteten Ackerfläche ist die Anzahl an Wildpflanzen und -tieren um ein Vielfaches höher als in einer ausgeräumten, intensiv gedüngten und begifteten Monokultur (Huemer & Tarmann 2001, Huemer 2016, Sanders & Heß 2019).



**Abb. 11:** Die Kulturlandschaft in Siebenbürgen ist noch immer ein kleinteiliges Mosaik mit geringer Belastung durch Dünger und Pestizide, wie es vor einigen Jahrzehnten auch bei uns noch üblich war. Die Artenvielfalt ist hier sehr hoch und entsprechende Gebiete können als Referenzflächen angesehen werden, wie arten- und struktureiche Lebensräume in der offenen Kulturlandschaft beschaffen sein sollten. (Foto: Laszlo Rakosy).

- Dasselbe gilt für Blühstreifen (falls vorhanden) am Rand eines stark gedüngten und mit Pestiziden behandelten Feldes, im Vergleich zu Blühstreifen am Rand eines Feldes, das wenig gedüngt und nicht mit Pestiziden behandelt wurde. (Vergleichbarkeit der Blühmischungen vorausgesetzt.)
- In einem Mischwald ist die Anzahl der Arten um ein Vielfaches höher als in einer forstlich intensiv genutzten Monokultur.
- Mit entsprechender Artenkenntnis lässt sich auch leicht nachweisen, dass größere Siedlungsgebiete (z. B. Städte) weniger Arten und insbesondere weniger Habitatspezialisten beherbergen als naturnahe ländliche Regionen.
- In Regionen mit extensiver, kleinteiliger Landnutzung, wie sie bei uns bis in die 1960er, 1970er Jahre üblich war (heute noch zu finden z. B. im rumänischen Siebenbürgen) ist die Artenzahl und -dichte um ein Vielfaches höher als in der inzwischen ausgeräumten Kulturlandschaft andernorts in Rumänien oder auch in Deutschland (Abb. 11).

Diese Liste könnte man noch fortsetzen. Selbstverständlich lassen sich die oben genannten Beispiele durch standardisierte Erhebungen, z. B. im Transektverfahren, auch statistisch sauber quantifizieren und belegen (z. B. Habel et al. 2019 b). Die Zusammenhänge zwischen Art der Flächennutzung und Artenvielfalt sind eindeutig und qualitativ für alle Bürger/innen klar erkennbar.

Kombiniert man diese Befunde mit den jeweiligen Anteilen der Flächennutzung in Deutschland (Tab. 1), ist vollkommen selbstverständlich und bedarf keiner weiteren Diskussion, dass die tief greifende Umgestaltung der Landschaft auf heute rund zwei Dritteln der Fläche Deutschlands einen erheblichen Impakt auf die Artenvielfalt hat, ja haben muss. Da inzwischen eine Kulturlandschaft entstanden ist, in der nicht mehr viele Arten leben können, sind Insektensterben und allgemein der Rückgang der Biodiversität kein Mirakel, sondern logische Konsequenz.

## 6. Die Ambivalenz der Politik

In Anbetracht der Tatsache, dass trotz bekannter prinzipieller Ursachen der Artenrückgang immer noch ungebrochen ist und sich offenbar sogar noch beschleunigt, ist noch eine weitere Kraft maßgeblich für die Situation verantwortlich zu machen: die Politik. Es ist außerordentlich bezeichnend, dass die Karten in Bezug auf Ursachen und Verursacher des Insektensterbens schon viele Jahrzehnte lang auf dem Tisch liegen (z. B. Rückgang der Schmetterlinge und dessen Ursachen: SBN 1987). Deshalb ist hier der schwere Vorwurf zu erheben, dass man schon vor langer Zeit von einer Biodiversitätskrise und ihren Folgen wusste, sich jedoch bis heute nicht gemüßigt sah und sieht, in der im wahrsten Wortsinn *Not-wendigen* Art und Weise darauf zu reagieren.

Ungeachtet der unbestrittenen Sinnhaftigkeit weiterer (Langzeit-)Studien zur detaillierten wissenschaftlichen Grundlagenforschung über das Insektensterben, ist schon längst die Befundlage in Bezug auf die *prinzipiellen* auslösenden Faktoren (Kap. 5) und notwendige Gegenmaßnahmen (Segeerer & Rosenkranz 2018) so klar, dass ein weiteres Hinauszögern entsprechender Gesetzesänderungen nicht zu verantworten ist.

### 6.1 Der Konflikt Ökologie vs. Ökonomie

Zu den großen Sündenfällen der Politik gehört ihr Kniefall vor den profitorientierten Interessen der Wirtschaft, welche von Beginn an auf Ausbeutung natürlicher Ressourcen zum Nulltarif setzte. Dies ist nie korrigiert worden; Mahnungen aus Reihen der Wissenschaft „über die großen allgemeinen Nachtheile“ (Schmid 1885, vgl. Kap. 3.3), die es schon seit weit über 100 Jahren gibt, wurden bisher im Großen und Ganzen ignoriert. Die Hauptverursacher der Biodiversitätskrise werden von Naturschutzgesetzen bisher nicht wirksam erfasst. Es sei an dieser Stelle deutlich betont, dass sich diese Kritik *nicht* gegen den amtlichen Naturschutz richtet, im Gegenteil: ohne ihn und seine zahlreichen Aktivitäten wie z. B. das Vertragsnaturschutzprogramm, Landschaftspflegeinitiativen und viele andere Maßnahmen sähe die Situation im Lande vollends düster aus. Die Kritik geht vielmehr an Politik und Gesetzgeber, die den amtlichen Naturschutz nicht mit hinreichenden Mitteln und Zuständigkeiten ausgestattet haben, um die *entscheidenden Ursachen* des Insektensterbens wirksam bekämpfen und dessen *Verursacher* so in die Pflicht nehmen zu können, wie es notwendig wäre. So aber ist es ein Kampf gegen Windmühlen und erlaubt nur, das Schlimmste zu verhindern.

Es besteht also bis heute ein eklatantes Ungleichgewicht zwischen ökologischen Notwendigkeiten und ökonomischen Interessen, das bestehende Abwägegebot der Politik wurde einseitig zu Lasten der Natur interpretiert (Segerer & Rosenkranz 2018). Biodiversitätsprogramme zum Erhalt der Artenvielfalt sind sowohl auf Bundes- als auch Länderebene (z. B. Bayern) formuliert und belegen, dass den Regierungen das Problem des Artenschwundes und auch der prinzipiellen Ursachen sehr wohl bewusst ist (BMUB 2007, BayStMUV 2017); dass aber der Rückgang an Biomasse und Arten dennoch beschleunigt weitergeht, ist vielsagend.

## 6.2 Sammelverbote als Feigenblatt

Aufgeschreckt durch immer mehr Meldungen über einen Rückgang von Tier- und Pflanzenarten, hat der Gesetzgeber bereits in den 1970er und 1980er Jahren zwar durchaus Gesetze und Verordnungen erlassen, die dem Naturschutz dienen sollen. In Bezug auf die Wirbellosen sind diese jedoch so formuliert, dass sie die Hauptverursacher des Rückgangs weitgehend außen vor lassen, dafür aber große Hürden für die Biodiversitätsforschung errichten; ausgerechnet jenen Personenkreis also massiv einschränken, der Basisdaten für den Naturschutz liefert und die Belege für ein flächendeckendes Insektensterben erbringt, selbst aber keinerlei messbaren Anteil am Artenrückgang hat.

Unter anderem ist im Bundesnaturschutzgesetz (BNatSchG) und in der Bundesartenschutzverordnung (BArtSchV) auch für Insekten und andere Wirbellose der Schutz einzelner Arten und Individuen (Artenschutz) festgeschrieben. Obwohl bereits zur damaligen Zeit schon lange bekannt war, dass bei Insekten aufgrund ihrer Reproduktionsbiologie nicht das Schicksal des Individuums, sondern des *Lebensraumes* entscheidend für den Erhalt der Art ist, wurde dieser wichtige Aspekt in der Gesetzgebung nicht einmal annähernd so stark gewichtet, wie es notwendig wäre. Der Protest der Wissenschaft verhalte, wie schon so oft, auch diesmal wirkungslos (z. B. Weidemann 1982, 1983 a-c, 1988).

Will man seither für Zwecke der Forschung und Lehre Insekten sammeln, müssen mit erheblichem bürokratischem Aufwand sorgfältig zu begründende Ausnahmegenehmigungen beantragt werden. Diese werden nach fachlicher und juristischer Prüfung dann selbst bei positivem Bescheid üblicherweise nur für einzelne Gebiete, mit zeitlicher Befristung, mit der Auflage ausführlicher Berichtspflicht und noch etlichen weiteren juristischen Auflagen erteilt. Staatlich bedienstete Biodiversitätsforscher, Universitäten, Schullehrer, nichtstaatliche Naturkundemuseen sind genauso betroffen wie alle Privatpersonen.

Die Auswirkungen der BArtSchV auf die Wissenschaft waren und sind bis heute gleichermaßen frustrierend. Der Gesetzgeber hat Aufsammlungen im Feld massiv erschwert und die Wissenschaft zum Bittsteller beim amtlichen Naturschutz degradiert. In die natürliche Partnerschaft zwischen Wissenschaft und Naturschutz wurde dadurch ein Keil getrieben. Nach mehr als vier Jahrzehnten fortschreitenden Rückgangs selbst streng geschützter Arten kann die Sinnlosigkeit dieser Form des Artenschutzes als empirisch belegt gelten, trotzdem hat es bisher keine Nachbesserungen an der völlig absurden und kontraproduktiven Gesetzeslage gegeben. Gegenüber natürlichen und anderen anthropogenen Ursachen ist der Beitrag von Insektenforschern und -sammelern am Artensterben verschwindend klein, wird dafür aber mit hohem Aufwand an Personal und Kosten penibel bürokratisch geregelt und überwacht; Verlierer sind dabei Natur, Naturschutz und Wissenschaft gleichermaßen (Hofmann & Herrich-Schäffer 1854; Weidemann 1982, 1983 a-c, 1988; Geiser 1996; Müller-Motzfeld 1997; Hausmann 2001; Burmeister & Segerer 2015) (vgl. auch unten, Kap. 6.2.1 bis 6.2.4).



**Abb. 12:** Die dealpinen Populationen des Apollofalters (*Parnassius apollo melliculus*) besaßen in den Felsfluren bayerischer Mittelgebirge im 19. Jahrhundert noch Dutzende von Populationen. Trotz höchstem Schutzstatus im BNatSchG und nach Anhang IV der FFH-RL sind diese Populationen heute bis auf zwei oder drei erloschen; unten an seiner alleinigen Raupennährpflanze Weißer Mauerpfeffer (*Sedum album*). (Fotos: E. Pfeuffer, dealpiner Standort in Bayern).

Um einmal die Relationen deutlich zu machen, um die es hier geht: In Bayern ist gerade einmal eine Handvoll hauptberuflicher Insektenforscher und wissenschaftlich arbeitender Privatsammler aktiv, vor denen die Natur nun mit deutscher Gründlichkeit geschützt ist; es mögen in summa 500 Personen sein, doch vermutlich ist diese Zahl noch viel zu hoch gegriffen.

Ihnen gegenüber steht ein Heer von Millionen und Abermillionen Kleintieren, die sich obligatorisch oder partiell von Insekten ernähren, diese also tagtäglich töten. Die Menge an Insekten, die Opfer für die Wissenschaft werden, steht dazu nicht einmal näherungsweise in irgendeinem relevanten Verhältnis.

Ganz zu schweigen von den gigantischen Zahlen toter Insekten, die vollkommen legal zu Lasten des Autoverkehrs gehen – sogar auch auf Straßen, die Schutzgebiete durchschneiden –, oder der Beleuchtungs- und Windkraftanlagen (vgl. Kap. 5.5). Obwohl jährlich Billionen von Tieren (Trieb et al. 2019) dadurch verenden, ist es aus Artenschutzgründen keineswegs verboten Auto zu fahren, die Nächte mit Licht zu verschmutzen oder Windparks zu betreiben. Obwohl jeder, der dies tut, der Logik der BArtSchV folgend aus Artenschutzgründen eigentlich dazu verpflichtet werden müsste, einen im Einzelfall sorgfältig zu begründenden Antrag auf Ausnahme bei den zuständigen Bezirksregierungen zu stellen...!

## 6.2.1 Kollateralschäden I: Das Insektensterben geht weiter

Bei dieser Ausgangslage ist vollkommen klar, dass die Bemühungen um den Erhalt unserer Artenvielfalt jedenfalls bei Wirbellosen weitestgehend ins Leere laufen, ja laufen müssen. Die Tatsache, dass die Roten Listen immer länger werden und selbst höchstgradig geschützte Schmetterlinge wie zum Beispiel die dealpinen Populationen des Apollofalters in Bayern (*Parnassius apollo melliculus*, Abb. 12) im freien Fall begriffen sind, ist der empirische Beweis für diese Feststellung.

Der Apollo hatte noch im 19. Jahrhundert Dutzende von Populationen in den Felsfluren des bayerischen Jura, im Fichtelgebirge und Frankenwald. Er steht in Deutschland seit 1936 unter Naturschutz (= Sammelverbot), ist seit 1977 Teil der internationalen CITES-Konvention und genießt bei uns seit 26.5.1987 sogar Höchstschutz, ist nach der FFH-Richtlinie von 1992 in Anhang IV als „streng zu schützende Tierart von gemeinschaftlichem Interesse“ gelistet (<https://ffh-anhang4.bfn.de/arten-anhang-iv-ffh-richtlinie/schmetterlinge.html>). Dennoch sind seine dealpinen Populationen heute bis auf zwei oder drei Reste erloschen (Segerer 2017) und auch die alpinen Bestände sind in deutlichem Rückgang. Nach der Roten Liste gefährdeter Tiere ist der Apollo in Deutschland und Bayern als stark gefährdet eingestuft (Reinhard & Bolz 2011, Voith et al. 2016); nach Einschätzung des Verfassers ist er im außeralpinen Bayern allerdings vom Aussterben bedroht. Ungezählte Schmetterlingssammler haben nicht zuwege gebracht, was die Aufgabe traditioneller extensiver Landnutzung wie Wanderschäfererei und die Intensivierung der Landwirtschaft, vor allem die Luftdüngung, schafften! Als Habitatspezialist und Zielart von beweideten felsdurchsetzten Magerasen ist der Apollo empfindlich gegen Beeinträchtigung seiner Lebensräume durch Sukzession und Eutrophierung (vgl. Kap. 5.1 bis 5.2); das, und nicht das Besammeln, ist Grund für seine negative Bestandsentwicklung. Kein Gesetz und keine Schutzverordnung haben ihn bisher davor bewahrt – jedoch die Dokumentation des Niedergangs künstlich erschwert.

## 6.2.2 Kollateralschäden II: „Entomologensterben“, Wissensverluste und Datenmangel

Der vernachlässigbare „Schaden“, den wissenschaftliche Sammler durch gezielte Entnahme einzelner Belegexemplare anrichten, steht in keiner Relation zum daraus resultierenden Erkenntnisgewinn (Burmeister & Segerer 2015). Die anhand der Belegexemplare nachprüfbare, gerichts feste Dokumentation des Vorkommens einer Art an einem bestimmten Ort zu einem bestimmten Zeitpunkt ist schließlich die Basisinformation, die u. a. die Analyse von Bestandstrends und damit elementare naturschutzfachliche Informationen ermöglicht macht. Im Übrigen ist die Entnahme von Belegen für die Forschung schon aus dem simplen Grund unvermeidbar, als gut die Hälfte unserer Insektenarten im Freiland unbestimmbar ist und die diagnostischen Merkmale in diesen Fällen nur durch Sektion bzw. genetisches Fingerprinting feststellbar sind.

Schon aufgrund der Tatsache, dass Insekten so artenreich sind und das Untersuchungsgebiet so riesig ist, ist die Wissenschaft in besonderem Maße auf die Kooperation mit Privatsammlern angewiesen. Vor allem diese haben sich aber infolge der gesetzlichen Vorschriften und bürokratischen Hürden frustriert anderen Ländern zugewendet oder ihr Hobby gleich an den Nagel gehängt. Ein immenser Verlust an Daten und Wissen setzte mit Inkrafttreten der BArtSchV ein, unter anderem besonders gravierend spürbar im Alpen- und Voralpengebiet sowie in Unterfranken (Haslberger & Segerer 2016). Damit spielt der Gesetzgeber bis zum heutigen Tag nicht nur Naturschutz und Wissenschaft gegeneinander aus (anstatt die vorhandenen Synergien systematisch zu nutzen und zu fördern), sondern auch dezidiert jenen Kräften in die Hände, die gar kein Interesse am Vorliegen allzu vieler naturschutzfachlich relevanter Daten über eine bestimmte Region haben (zum Beispiel aufgrund wirtschaftlicher Absichten).

Private entomologische Sammel- und Forschungstätigkeit hat sich heute auf einen sehr überschaubaren Kreis von (allerdings sehr engagierten) Fachamateuren reduziert. Nachwuchs in entomologischen Fachgesellschaften ist Mangelware. Also gibt es inzwischen nicht nur ein Insekten-, sondern auch ein „Entomologensterben“.

Interessant mutet in diesem Zusammenhang eine Feststellung im Biodiversitätsprogramm Bayern 2030 der Bayerischen Staatsregierung an (BayStMUV 2014); auf Seite 35 heißt es:

*„Für den gezielten Artenschutz sind Spezialisten unverzichtbar, die Tiere, Pflanzen oder Pilze sicher bestimmen können. Kenntnisse über die ökologischen Ansprüche ... sind die Voraussetzung für wirksame Hilfsmaßnahmen. Die gesellschaftlichen Trends lassen befürchten, dass die Zahl der Artenkenner weiter abnimmt, wenn nicht gegengesteuert wird.“*

Dazu sei ein wichtiger Kommentar erlaubt: Das Problem der abnehmenden Spezialisten ist nicht irgendeine gesellschaftliche Modeerscheinung unserer Zeit; es ist, aus den oben genannten Gründen, dezidiert hausgemacht! Die Abschaffung der Sammelverbote für Insekten für Zwecke der Forschung und Lehre würde die beklagte Situation schlagartig verbessern. In welcher Weise dem (selbstverschuldeten) Trend gegengesteuert werden könnte, liegt also auf der Hand.

### 6.2.3 Kollateralschäden III: Beeinträchtigung von Lehre und Volksbildung

Biologielehrer und andere in Bildung und Volksbildung beteiligte Personen unterliegen ebenfalls der BArtSchV. Auch sie müssen Anträge auf Ausnahmegenehmigungen stellen, um beispielsweise Kaulquappen oder Schmetterlingsraupen einzusammeln und im Unterricht weiterzuzüchten, damit die Schüler die Metamorphose anschaulich und live erleben können. Unter den zahlreichen Biologielehrern im Bekanntenkreis des Autors fand sich nur eine einzige Person, die den damit verbundenen Aufwand nicht scheut, alle anderen haben die Arbeit mit lebenden Tieren im Unterricht ad acta gelegt. Aber keine Skizze, kein Video und keine „App“ können das unmittelbare Naturerlebnis adäquat ersetzen – genauso wenig, wie ein Katzenvideo vermitteln kann, wie es sich wirklich anfühlt, eine junge Katze im Arm zu halten und zu streicheln!

Bezeichnend ist auch, dass einige Biologielehrer heute sogar davor zurückschrecken, Kindern Insektenansammlungen, also „aufgespießte, tote Tiere“ zu zeigen. Die Begründung hierfür lautet, dass so etwas in Zeiten des globalen Artensterbens ein falsches Signal an die Jugend wäre. Die wissenschaftlich irriige, in Gesetzesform gegossene Behauptung, Insektenansammeln hätte mit dem Insektensterben irgendetwas zu tun, wird somit immer mehr zur selbsterfüllenden Prophezeiung und ist inzwischen also auch schon in Köpfen solcher Personen zur subjektiven Realität (Hastorf & Cantil 1954) geworden, die es kraft ihrer Ausbildung besser wissen müssten und sollten; und die sich offenbar auch nicht in der Lage sehen, die tatsächlichen Zusammenhänge an die Kinder zu vermitteln. Dies zeigt, dass mittlerweile auch die Lehre an Universitäten in wichtigen Punkten der Lehrerbildung revisionsbedürftig ist.

### 6.2.4 Kollateralschäden IV: Naturentfremdung und „Shifting Baselines“

Dank BArtSchV ist es heute auch allen Privatpersonen, einschließlich Kindern nicht mehr erlaubt, direkte Naturerfahrungen durch Fangen und Sammeln von Insekten, Schnecken, Amphibien und anderen geschützten Kleintieren zu machen. Ein elementares Naturerlebnis, aus dem später vor allem Naturverständnis erwächst, wird ihnen damit verwehrt und es ist kaum noch möglich, auf diese Weise Natur begreifen zu können und zu dürfen. Es ist kein Wunder, dass ein Verlust an Artenkenntnis und allgemein eine Entfremdung von der Natur in der Bevölkerung immer weiter um sich greifen, zusätzlich gefördert durch reduzierten Biologieunterricht.

Der zunehmende Verlust an genetischer Vielfalt in Kombination mit politischem Fehlverhalten und naturschutzgesetzlichen Fehlkonstruktionen hat sogar generationenübergreifende Konsequenzen:

Ältere Generationen, die noch die Zeit relativ großen Artenreichtums in den 1950er und 1960er Jahren miterlebt haben, können einen direkten Vergleich mit dem heutigen Zustand ziehen und werden daher, sofern sie naturverbunden sind, nachdrücklich die einstige Vielfalt vermissen – eine Vielfalt, die nebenbei bemerkt nicht nur unter wissenschaftlichen und funktionalen Aspekten zu sehen ist, sondern auch der Seele gut tut.

Die heute heranwachsende Generation hingegen kennt aus eigener Anschauung nichts anderes mehr als eine ausgeräumte, monotone und artenarme Landschaft; für sie ist das der Normalzustand, die „Basislinie“. Sie werden nichts vermissen und ergo nichts einfordern. Der ohnehin bereits stark ausgeprägten Entfremdung der Bevölkerung von der Natur leistet dieses Phänom der sich verschiebenden Basislinie („Shifting Baselines“, ein von Daniel Pauly (1995) geprägter Begriff zur verzerrten

und eingeschränkten Wahrnehmung von Wandel) immensen Vorschub. Ein Geschenk für all jene Kräfte, denen Umweltbewegungen ein Dorn im Auge sind und die auf Aussetzen und ein „Weiter so“ setzen.

## 7. Faunistische Massenauslöschung: Insektensterben oder Insektenrückgang?

Aus globaler Perspektive ist festzustellen, dass der Rückgang unserer Schmetterlinge und allgemein das Insektensterben Teilaspekt einer noch viel umfassenderen ökologischen Katastrophe sind: eines Verlustes an genetischer Vielfalt von erdgeschichtlichem Ausmaß (MEA 2005; Steffen et al. 2015; Ceballos et al. 2015, 2017; Häussermann & Schrödl 2017; Segerer & Rosenkranz 2018):

Aus dem Fossilbefund lässt sich mit Hilfe der Geologischen Zeitskala die Aussterberate von (höheren) Organismen über die vergangenen 541 Millionen Jahre, die Ära des höheren Lebens (Phanerozoikum) rekonstruieren. Dabei ragen 19 markante Ereignisse aus dem natürlichen Hintergrund rauschen der Evolution hervor, die als Massenaussterben beschrieben und durch eine Kombination von kurz- und langfristig wirkenden, für die Lebewesen ungünstigen geologischen, geochemischen, klimatologischen oder astronomischen Ereignissen erklärt werden können (Bambach 2006, Arens & West 2008, Melott & Bambach 2014). Fünf dieser Massenaussterben (die „Big Five“; vgl. z.B. <http://www.oekosystem-erde.de/html/massenaussterben.html>) waren dabei besonders wirkmächtig und führten zum Aussterben zwischen 75 und 96% aller zum jeweiligen Zeitpunkt existierenden Arten (Barnosky et al. 2011); am bekanntesten davon ist der Asteroideneinschlag an der Kreide-Paläogen-Grenze vor 66 Millionen Jahren, dem (unter vielen anderen) die Dinosaurier zum Opfer fielen.

Die gegenwärtig beobachtete Aussterberate bei weltweit exzellent studierten Organismen (vorwiegend Wirbeltieren) ist derartig hoch, dass sie mit den „Big Five“ vergleichbar ist; die Befunde bezüglich der Insekten fügen sich lückenlos in dieses Szenario ein (Dirzo et al. 2014, Sánchez-Bayo & Wyckhuys 2019), allerdings muss hier zugestanden werden, dass der taxonomische und faunistische Bearbeitungsstand dieser größten Tiergruppe der Welt noch lange nicht mit dem von Wirbeltieren konkurrieren kann. Dennoch sind Forscher aufgrund der Befundlage inzwischen davon überzeugt, dass das sechste große Massenaussterben des Phanerozoikums in Gang ist und dass es diesmal nicht durch eine Naturgewalt, sondern anthropogen angetrieben ist; es wird in hochrangigen Wissenschaftsjournalen mit teils eindringlichen Begriffen wie „faunistischer Kahlschlag“ (Defaunation) oder „biologische Annihilierung“ beschrieben (MEA 2005, Dirzo et al. 2014, Ceballos et al. 2015, 2017).

Vor diesem Hintergrund einer globalen ökologischen Krise (MEA 2005, Ceballos & Ehrlich 2018) ist von nicht unerheblicher Bedeutung, welche Wortwahl man für die negative Bestandsentwicklung unserer Insekten anwendet. Während nach Erscheinen der „Krefeld-Studie“ das Wort „Insektensterben“ (in Anlehnung an das „Bienensterben“) durch die Medien publik gemacht wurde, möchte das Bundesamt für Naturschutz lieber von einem „Insektenrückgang“ sprechen ([www.bfn.de/themen/insektenrueckgang.html](http://www.bfn.de/themen/insektenrueckgang.html)).

Dem kann sich der Verfasser nicht anschließen. Der Begriff „Insektenrückgang“ klingt beinahe nach Euphemismus. Vor 66 Ma fand schließlich auch kein globaler Massenrückgang von Arten statt, sondern ein verheerendes Massenaussterben, wie es nur wenige Male in der Erdgeschichte bekannt geworden ist. Der Begriff „Insektensterben“ erscheint also sehr wohl angemessen und beschreibt die Situation treffend.

## Danksagung

Herzlich gedankt sei Prof. Dr. Ernst-Gerhard Burmeister (Gernlinden), Johannes Burmeister (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, Freising), Dr. Peter Huemer (Tiroler Landesmuseum, Hall), Dr. Theo Grünewald (Landshut), Dr. Hannaleena Pöhler (Umweltamt, Stadt Regensburg), Prof. Dr. Josef H. Reichholf (Neuötting), Prof. Dr. Gerhard Tarmann (Tiroler Landesmuseum, Hall) und Dipl.-Ing. (FH) Heidrun Waidele (Landratsamt und Landschaftspflegeverband Regensburg) für wichtige Informationen, sowie Peter Lichtmanecker (Landshut) und Prof. Dr. Laszlo Rakosy (Universitatea Babeş-Bolyai, Cluj/Rumänien) für die Überlassung von Fotos.

## Literatur

- AMIB = Arbeitsgemeinschaft Microlepidoptera in Bayern (2017): Neue Ergebnisse in der bayerischen Kleinschmetterlingsfaunistik - 5. Beitrag (Insecta: Lepidoptera). Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik 17: 61-72.
- Arens, N. C., West, I. D. (2008): Press-pulse: a general theory of mass extinction? *Paleobiology* 34: 456-471.
- Bambach, R. K. (2006): Phanerozoic biodiversity mass extinctions. *Annual Review of Earth and Planetary Science* 34: 127-155.
- BayStMUV = Bayerische Staatsregierung, Bayerisches Staatsministerium für Umwelt und Verbraucherschutz (2014): NaturVielfaltBayern. Biodiversitätsprogramm Bayern 2030.
- BayStMUV = Bayerisches Staatsministerium für Umwelt- und Verbraucherschutz (2017): Flächenverbrauchs-Bericht 2017 (Stand 31.12.2016). <https://www.stmuv.bayern.de/themen/boden/flaechensparen/verbrauchsbericht.htm> (aufgerufen am 11.7.2018).
- Barnosky, A. D., Matzke, N., Tomiya, S., Wogan, G. O. U., Swartz, B., Quental, T. B., Marshall, C., McGuire, J. L., Lindsey, E. L., Maguire, K. C., Mersey, B., Ferrer, E. A. (2011): Has the Earth's sixth mass extinction already arrived? *Nature* 471: 51-57.
- Berthold, P. (2017): *Unsere Vögel. Warum wir sie brauchen und wie wir sie schützen*. Ullstein (Berlin).
- BfN = Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (2011): Rote Liste gefährdeter Tiere, Pflanzen und Pilze Deutschlands 3: Wirbellose Tiere (Teil 1). *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (3).
- BfN = Bundesamt für Naturschutz (Hrsg.) (aufgerufen am 9.2.2019): Natura 2000. <https://www.bfn.de/themen/natura-2000.html>.
- Biesmeijer, J. C., Roberts, S. P. M., Reemer, M., Ohlemüller, R., Edwards, M., Peeters, T., Schaffers, A. P., Potts, S. G., Kleukers, R., Thomas, C. D., Settele, J., Kunin, W. E. (2006): Parallel declines in pollinators and insect-pollinated plants in Britain and the Netherlands. *Science* 313: 351-354.

- BMUB = Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit (2007): Nationale Strategie zur biologischen Vielfalt. Bonifatius GmbH (Paderborn).
- Bobbink, R. (1991): Effects of nutrient enrichment in Dutch chalk grassland. *Journal of Applied Ecology* 28: 28-41.
- Bonmatin, J.-M., Giorio, C., Girolami, V., Goulson, D., Kreuzweiser, D. P., Krupke, C., Liess, M., Long, E., Marzaro, M., Mitchell, E. A. D., Noome, D. A., Simon-Delso, N., Tapparo, A. (2015): Environmental fate and exposure; neonicotinoids and fipronil. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 35-67.
- Botías, C., David, A., Hill, E. M., Goulson, D. (2016): Contamination of wild plants near neonicotinoid seed-treated crops, and implications for non-target insects. *Science of the Total Environment* 566-567: 269-278.
- Bräu, M., Bolz, R., Kolbeck, H., Nunner, A., Voith, J., Wolf, W. (2013): Tagfalter in Bayern. Ulmer (Stuttgart).
- Burmeister, E.-G., Segerer A. H. (2015): Zur Bedeutung von zoologischen Sammlungen und Sammlern – Die Sammlung Dr. Heinz Fischer. In: Teichner, A., Zieher, Ch. (Hrsg.): Dr. Heinz Fischer: Leben und Werk eines Universalgelehrten Bd. 1, 167-181. Wissenschaftliche Schriftenreihe Begegnungsland Lechwertach 1, 2 Bände, Kessler Druck (Bobingen).
- Byholm, P., Mäkeläinen, S., Santangeli, A., Goulson, D. (2018): First evidence of neonicotinoid residues in a long-distance migratory raptor, the European honey buzzard (*Pernis apivorus*). *Science of the Total Environment* 639: 929-933.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R. (2018): The misunderstood sixth mass extinction. *Science* 360 (6393): 1080-1081.
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Barnosky, A. D., García, A., Pringle, R. M., Palmer, T. M. (2015): Accelerated modern human-induced species losses: Entering the sixth mass extinction. *Science Advances* 1:e1400253 (5 S.).
- Ceballos, G., Ehrlich, P. R., Dirzo, R. (2017): Biological annihilation via the ongoing sixth mass extinction signaled by vertebrate population losses and declines. *PNAS* (online), [www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1704949114](http://www.pnas.org/cgi/doi/10.1073/pnas.1704949114).
- Chapman, J. W., Reynolds, D. R., Smith, A. D., Smith, E. T., Woiwood, I. P. (2004): An aerial netting study of insects migrating at high altitude over England. *Bulletin of Entomological Research* 94: 123-136.
- Di Prisco, G., Cavaliere, V., Annoscia, D., Varricchio, P., Caprio, E., Nazzi, F., Gargiulo, G., Penacchio, F. (2013): Neonicotinoid clothianidin adversely affects insect immunity and promotes replication of a viral pathogen in honey bees. *PNAS* 110: 18466-18471.
- Die Helle Not (2001): <http://www.hellenot.org/home/> (Tiroler Umwelthanwaltschaft und Tiroler Landesmuseum (Hrsg.)).
- Dirzo, R., Young, H. S., Galetti, M., Ceballos, G., Isaac, N. J., Collen, B. (2014): Defaunation in the Anthropocene. *Science* 345: 401-406.
- Epple, W. (2017): Windkraftindustrie und Naturschutz sind nicht vereinbar. Naturschutzinitiative e. V. (Quirnbach).
- Fox, R., Brereton, T. M., Asher, J., August, T. A., Botham, M. S., Bourn, N. A. D., Cruickshanks, K. L., Bulman, C. R., Ellis, S., Harrower, C. A., Middlebrook, I., Noble, D. G., Powney, G. D., Randle, Z., Warren, M. S., Roy, D. B. (2015): The State of the UK's Butterflies 2015. Butterfly Conservation and the Centre for Ecology & Hydrology (Wareham, Dorset).

- Freeman, J. A. (1945): Studies in the distribution of insects by aerial currents. The insect population of the air from ground level to 300 feet. *Journal of Animal Ecology* 14: 128-154.
- Fuchs, G. (2014): Die bayerischen Urmotten – Verbreitung und Wissensstand (Insecta: Lepidoptera: Micropterigidae). *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* 14: 5-24.
- Fuchs, G., Wolf, W. (2016): Neue Ergebnisse in der bayerischen Kleinschmetterlingsfaunistik - 4. Beitrag (Insecta: Lepidoptera). *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* 16: 39- 54.
- Galloway, J. N., Aber, J. D., Erismann, J. W., Seitzinger, S. P. , Howarth, R. W., Cowling, E. B., Cosby, B. J. (2003): The nitrogen cascade. *BioScience* 53: 341-256.
- Galloway, J. N., Dentener, F. J., Capone, D. G., und viele weitere (2004): Nitrogen cycles: past, present, and future. *Biogeochemistry* 70: 153-226.
- Geiger, F., Bengtsson, J., Berendse, F., Weisser, W.W., Emmerson, M., Morales, M. B., Ceryngier, P., Liira, J., Tsharntke, T., Winqvist, C., Eggers, S. (2010): Persistent negative effects of pesticides on biodiversity and biological control potential on European farmland. *Basic and Applied Ecology* 11: 97-105.
- Geiser, E. (1996): Der Entomologe – ein Schädling oder Nutzung? Neue Überlegungen zu einem alten Problem. *Entomologisches Nachrichtenblatt* 3: 11-16.
- Giorio, Ch., Safer, A., Sánchez-Bayo, F., Tapparo, A., Lentola, A., Girolami, V., Bijleveld van Lexmond, M., Bonmatin, J.-M. (2017): An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 1: new molecules, metabolism, fate, and transport. *Environmental Science and Pollution Research*: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0394-3>.
- Goulson, D. (2013): An overview of the environmental risks posed by neonicotinoid insecticides. *Journal of Applied Ecology* 50: 977-987.
- Grubisic, M., van Grunsven, R. H. A., Kyba, C. C. M., Manfrin, A., Hölker, F. (2018): Insect declines and agroecosystems: does light pollution matter? *Annals of Applied Biology* 173: 180-189.
- Guggemoos, Th., Haslberger, A., Heindel, R., Grünewald, Th., Meerkötter, R., Segerer, A. H. (2018 a): Ergänzungen, Aktualisierungen und Korrekturen zur Checkliste der Schmetterlinge Bayerns (4. Beitrag) (Insecta: Lepidoptera). *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 67 (1/2): 22-35.
- Guggemoos, Th., Grünewald, Th., Haslberger, A., Heindel, R., Lichtmannecker, P., Lohberger, E., Segerer, A. H. (2018 b): Ergänzungen, Aktualisierungen und Korrekturen zur Checkliste der Schmetterlinge Bayerns (5. Beitrag) (Insecta: Lepidoptera). *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 67 (3/4): 68-85.
- Guggemoos, Th., Grünewald, Th., Heindel, R., Lichtmannecker, P., Seliger, R., Segerer, A. H. (2018 c): Sieben Erstfunde und fünf weitere signifikante Nachweise für die Schmetterlingsfauna Deutschlands (Lepidoptera, Nepticulidae, Psychidae, Tineidae, Argyresthiidae, Gracillariidae, Oecophoridae, Elachistidae). *Entomologische Nachrichten und Berichte* 62 (2018/1): 27-31.
- Habel, J. C., Schmitt, Th. (2012): The burden of genetic diversity. *Biological Conservation* 147: 270-274.
- Habel, J. C., Schmitt, Th. (2018): Vanishing of the common species: Empty habitats and the role of genetic diversity. *Biological Conservation* 218: 211-216.
- Habel, J. C., Segerer, A., Ulrich, W., Torchyk, O., Weisser, W. W. , Schmitt, Th. (2016): Butterfly community shifts over 2 centuries. *Conservation Biology* 30: 754-762.

- Habel, J. C., Segerer, A. H., Ulrich, W. & Schmitt, Th. (2019 a): **Succession matters: Community shifts in moths over three decades increases multifunctionality in intermediate successional stages.** *Scientific Reports* 9: 5586 (8 S.).
- Habel, J. C., Ulrich, W., Biburger, N., Seibold, S., Schmitt, Th. (2019 b): **Agricultural intensification drives butterfly decline.** *Insect Conservation and Diversity* 12 (4): 289–295.
- Häussermann, V., Schrödl, M. (2017): **BiodiversiTOT. Die globale Artenvielfalt jetzt entdecken, erforschen und erhalten.** Books on Demand (Norderstedt).
- Hallmann, C. A., Foppen, R. P. B., van Turnhout, Ch. A. M., de Kroon, H., Jongejans, Ee. (2014): **Declines in insectivorous birds are associated with high neonicotinoid concentrations.** *Nature* 511: 341-343.
- Hallmann, C. A., Sorg, M., Jongejans, Ee., Siepel, H., Hoffland, N., Schwan H., Stenmans W., Müller, A., Sumser, H., Hörren, Th., Goulson, D., de Kroon, H. (2017): **More than 75 per cent decline over 27 years in total flying insect biomass in protected areas.** *PLoS ONE* 12 (10): e0185809.
- Hardy, A. C., Milne, P. S. (1938): **Studies in the distribution of insects by aerial currents.** *Journal of Animal Ecology* 7 (2): 199-229.
- Haslberger, A., Segerer, A. H. (2016): **Systematische, revidierte und kommentierte Checkliste der Schmetterlinge Bayerns (Insecta: Lepidoptera).** *Mitteilungen der Münchner Entomologischen Gesellschaft* 106 (Supplement): 1-336.
- Haslberger, A., Guggemoos, Th., Lichtmanecker, P., Grünewald, Th., Segerer, A. H. (2015): **Bemerkenswerte Schmetterlingsfunde aus Bayern im Rahmen laufender Projekte zur genetischen Re-Identifizierung heimischer Tierarten (BFB, GBOL) - 7. Beitrag (Insecta: Lepidoptera).** *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 64: 34-47.
- Haslberger, A., Segerer, A. H., Grünewald, T., Lichtmanecker, P. (2017): **Ergänzungen, Aktualisierungen und Korrekturen zur Checkliste der Schmetterlinge Bayerns (2. Beitrag) (Insecta: Lepidoptera).** *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 66 (1/2): 16-29.
- Hastorf, A. H., Cantril, H. (1954): **They saw a game. A case study.** *Journal of Abnormal and Social Psychology* 49: 129-134.
- Hausmann, A. (1992): **Untersuchungen zum Massensterben von Nachtfaltern an Industriebeleuchtungen (Lepidoptera, Macroheterocera).** *Atalanta* 23: 411-416.
- Hausmann, A. (2001): **The Geometrid Moths of Europe 1.** Apollo Books (Stenstrup).
- Heppner, J. B. (2008): **Butterflies and Moths (Lepidoptera), S. 626-672.** In: Capinera, J. L. (Hrsg.): *Encyclopaedia of Entomology*, 2nd edition. Springer Science + Business Media B.V. (Dordrecht).
- Heusinger, G. (Hrsg.) (1992): **Beiträge zum Artenschutz 15. Rote Liste gefährdeter Tiere Bayerns.** *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* 111.
- Hofmann, F., Bär, K. (2019): **Vom Winde verweht. Messung von Pestiziden in der Luft im Vinschgau 2018.** *Bericht Umweltinstitut München*, 78 S.
- Hofmann, O., Herrich-Schäffer, G. A. W. (1854-1855): **Die Lepidopteren-Fauna der Regensburger Umgegend.** *Korrespondenz-Blatt des zoologisch-mineralogischen Vereines in Regensburg* (1854) 8: 101-109, 113-128, 129-144, 167-176, 177-190; (1855) 9: 57-72, 73-88, 133-136, 137-149.
- Hock, W., Kinkler, H., Lechner, R., Nippel, F., Pähler, R., Retzlaff, H., von der Schulenburg, H., Schulze, W., Schumacher, H., Vorbrüggen, W., Wasner, U., Weidner, A., Wittland, W. (1997): **Praxishandbuch Schmetterlingsschutz.** *LÖBF-Reihe Artenschutz* 1: 1-286.

- Huemer, P. (2016): Ausgeflattert. Der stille Tod der österreichischen Schmetterlinge. Blühendes Österreich & GLOBAL 2000.
- Huemer, P., Tarmann, G. (2001): Artenvielfalt und Bewirtschaftungsintensität: Problemanalyse am Beispiel der Schmetterlinge auf Wiesen und Weiden Südtirols. *Gredleriana* 1: 331-418.
- Imhoof, M. (2012): More than Honey. <http://www.morethanhoney.ch/>.
- Jones, Ch., Lowe, J., Liddicoat, S., Betts, R. (2009): Committed terrestrial ecosystem changes due to climate change. *Nature Geoscience* 2: 484-487.
- Karle-Fendt, A., Wolf, W. (2016): Aktuelle Vorkommen von *Oreanaia helvetica* (Herrich-Schäffer, 1851) und *Oreanaia lugubralis* (Lederer, 1857) in den Allgäuer Alpen (Lepidoptera: Crambidae: Glyphyriinae). *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* 16: 59-61.
- Kristensen, N.P. (Hrsg.) (1999): Handbook of Zoology IV: Lepidoptera, moths and butterflies. Vol.1: Evolution, systematics and biogeography. Walter de Gruyter (Berlin, New York).
- Kurze, S., Heinken, T., Fartmann, T. (2018): Nitrogen enrichment in host plants increases the mortality of common Lepidoptera species. *Oecologia* 188: 1227-1237.
- Lang, H. G. (1782): Heinrich Gottl. Lang's Verzeichniß seiner Schmetterlinge, meistens in den Gegenden um Augsburg gesammelt, und in drei Tafeln eingetheilt: mit den Linneischen, auch deutschen und französischen Namen, und Anführung derjenigen Werke, worin sie mit Farben abgebildet sind. Bey Eberhard Kletts sel. Wittwe und Franck (Augsburg).
- Lang, H. G. (1789): Verzeichnis seiner Schmetterlinge, in den Gegenden um Augsburg gesammelt, und nach dem Wiener systematischen Verzeichnis eingetheilt, mit den Linneischen, auch deutschen und französischen Namen, und Anführung derjenigen Werke, worin sie mit Farben abgebildet sind. Zweyte, verbesserte und stark vermehrte Auflage. Bey Eberhard Kletts sel. Wittwe und Franck (Augsburg).
- Lethmate, J. (2005): Stickstoff-Regen. Ein globales Eutrophierungs-Experiment. *Biologie in unserer Zeit* 35: 108-117.
- LFU = Bayerisches Landesamt für Umweltschutz (Hrsg.) (2003): Rote Liste gefährdeter Tiere Bayerns. Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz 166.
- Lister, B. C., Garcia, A. (2018): Climate-driven declines in arthropod abundance restructure a rainforest food web. *PNAS* 115 (44): E10397-E10406.
- MEA = Millennium Ecosystem Assessment (2005): Ecosystems and Human Well-being: Biodiversity Synthesis. World Resources Institute (Washington, DC).
- Melott, A. L., Bambach, R. K. (2014): Analysis of periodicity of extinction using the 2012 geological timescale. *Paleobiology* 40: 177-196.
- Menéndez, R., Megías, A. G., Hill, J. K., Braschler, B., Willis, S. G., Collingham, Y., Fox, R., Roy, D. B., Thomas, C. D. (2006): Species richness changes lag behind climate change. *Proceedings of the Royal Society B (Biological Sciences)* 273: 1465-1470.
- Mitchell, E. A. D., Mulhauser, B., Mulo, M., Mutabazi, A., Glauser, G., Aebi, A. (2017): A worldwide survey of neonicotinoids in honey. *Science* 358: 109-111.
- Müller-Motzfeld, G. (1997): Die Bedeutung der Insekten für den Natur- und Umweltschutz. *Biologie in unserer Zeit* 27: 330-339.
- Naumann, J. F. (1849): Beleuchtung der Klage: Über Verminderung der Vögel in der Mitte von Deutschland. *Rhea, Zeitschrift für die gesammte Ornithologie* 2: 131-144.

- Nordin, A., Strengbom, J., Witzell, J., Näsholm, T., Ericson, L. (2005): Nitrogen deposition and the biodiversity of boreal forests: Implications for the nitrogen critical load. *AMBIO* 34: 20-22.
- Öckinger, E., Hammarstedt, O., Nilsson, S. G. & Smith, H. G. (2006): The relationship between local extinctions of grassland butterflies and increased soil nitrogen levels. *Biological Conservation* 128: 564-573.
- Pauly, D. (1995): Anecdotes and the shifting baseline syndrome of fisheries. *Trends in Ecology and Evolution* 10 (10): 430.
- Pisa, L., Goulson, D., Yang, E.-Ch., Gibbons, D., Sánchez-Bayo, F., Mitchell, E., Aebi, A., van der Sluijs, J., MacQuarrie, Ch. J. K., Giorio, Ch., Yim Long, E., McField, M., Bijleveld van Lexmond, M., Bonmatin, J.-M. (2017): An update of the Worldwide Integrated Assessment (WIA) on systemic insecticides. Part 2: impacts on organisms and ecosystems. *Environmental Science and Pollution Research*: <https://doi.org/10.1007/s11356-017-0341-3>.
- Reichholf, J. H. (2008): Starker Rückgang des Rotrandspanners *Calothysanis amata* L. am unteren Inn. *Mitteilungen der Zoologischen Gesellschaft Braunau* 9 (4): 283-287.
- Reichholf, J. H. (2017): Das Verschwinden der Schmetterlinge und was dagegen unternommen werden sollte. *Deutsche Wildtierstiftung (Hrsg.), Zollenspieker Kollektiv, Hamburg*.
- Reinhard, R., Bolz, R. (2011): Rote Liste und Gesamtartenliste der Tagfalter (Rhopalocera) (Lepidoptera: Papilionoidea et Hesperioidea) Deutschlands. *Naturschutz und Biologische Vielfalt* 70 (3): 167-194.
- Rösel von Rosenhof, A. J. (1746): Der monatlich=herausgegebenen Insecten=Belustigung Erster Theil. Johann Joseph Fleischmann (Nürnberg).
- Rösel von Rosenhof, A. J. (1755): Der monatlich=herausgegebenen Insecten=Belustigung Dritter Theil. Johann Joseph Fleischmann (Nürnberg).
- Rösel von Rosenhof, A. J., Kleemann, C. F. C. (1761): Der monatlich=herausgegebenen Insecten=Belustigung vierter Theil. Johann Joseph Fleischmann (Nürnberg).
- Sánchez-Bayo, F., Wyckhuys, K. A. G. (2019): Worldwide decline of the entomofauna: A review of its drivers. *Biological Conservation* 232: 8-27.
- Sanders, J., Heß, J. (2019): Leistungen des ökologischen Landbaus für Umwelt und Gesellschaft. *Thünen Report* 65, 362 S.
- SBN = Schweizerischer Bund für Naturschutz (Hrsg.), Lepidopterologen-Arbeitsgruppe (1987): Tagfalter und ihre Lebensräume. Arten, Gefährdung, Schutz. K. Hollinger (Basel).
- Schäffer, J. C. (1766): *Icones Insectorum circa Ratisbonam indigenorum coloribus naturam referentibus expressae*. Natürlich ausgemahlte Abbildungen Regensburgischer Insecten. 3 Bände, Heinrich Gottfried Zunkel (Regensburg).
- Schmid, A. (1885-1887): Die Lepidopteren-Fauna der Regensburger Umgegend mit Kelheim und Wörth. *Correspondenz-Blatt des naturwissenschaftlichen Vereines in Regensburg* (1885) 39: 21-46, 75-95, 97-135, 151-201; (1886-87) 40: 19-58, 83-98, 101-164, 165-224.
- Segerer, A. H. (1997): Verifikation älterer und fraglicher Regensburger Lepidopterenmeldungen. *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* 2: 177-265.
- Segerer, A. H. (2012): Die physikalisch-geochemischen Grundlagen des planetaren Klimas und die Auswirkungen auf die öffentliche Diskussion – potenzielle Fallstricke für Ökofaunisten. *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 61: 32-45.

- Segerer, A. H. (2017): Schmetterlinge im Sturzflug - Erkenntnisse aus der Inventur der Lepidoptera Bayerns. *Entomologische Nachrichten und Berichte* 61: 169-174.
- Segerer, A. H., Rosenkranz, E. (2018): Das große Insektensterben. Was es bedeutet und was wir jetzt tun müssen. oekom verlag (München).
- Segerer, A. H., Haslberger, A., Hausmann, A., Loos, K. (2016): Ergänzungen, Aktualisierungen und Korrekturen zur Checkliste der Schmetterlinge Bayerns (1. Beitrag) (Insecta: Lepidoptera). *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 65 (3/4): 56-70.
- Segerer, A. H., Haslberger, A., Guggemoos, Th., Lichtmanecker, P. (2017): Ergänzungen, Aktualisierungen und Korrekturen zur Checkliste der Schmetterlinge Bayerns (3. Beitrag) (Insecta: Lepidoptera). *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* 66 (3/4): 78-93.
- Steffen, W., Richardson, K., Rockström, J. und viele weitere (2015): Planetary boundaries: Guiding human development on a changing planet. *Science* 347: 1259855 (10 S.).
- Stevens, C. J., Dise, N. B., Mountford, J. O., Gowing, D. J. (2004): Impact of nitrogen deposition on the species richness of grasslands. *Science* 303: 1876-1879. <http://dx.doi.org/10.1126/science.1259855>.
- Stokestad, E. (2013): Pesticides under fire for risks to pollinators. *Science* 340: 674-676.
- Thomas, C. D. (2000): Dispersal and extinction in fragmented landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London B* 267: 139-145.
- Thomas, J.A. (2016): Butterfly communities under threat. *Science* 353: 216-218.
- Thomas, J. A., Bourn, N. A. D., Clarke, R. T., Stewart, K. E., Simcox, D. J., Pearman, G. S., Curtis, R., Goodger, B. (2001): The quality and isolation of habitat patches both determine where butterflies persist in fragmented landscapes. *Proceedings of the Royal Society of London B* 268: 1791-1796.
- Trieb, F, Gerz, Th., Geiger, M. (2018): Modellanalyse liefert Hinweise auf Verluste von Fluginsekten in Windparks. *Energiewirtschaftliche Tagesfragen* 68 (11): 51-55.
- Truxa, C., Fielder, K. (2012): Attraction to light – from how far do moths (Lepidoptera) return to weak artificial sources of light? *European Journal of Entomology* 109: 77-84.
- van der Sluijs, J. P., Amaral-Rogers, V., Belzunces, L. P. und viele weitere (2015): Conclusions of the Worldwide Integrated Assessment on the risks of neonicotinoids and fipronil to biodiversity and ecosystem functioning. *Environmental Science and Pollution Research* 22: 148–154.
- van Nieukerken, E. J., Kaila, L., Kitching, I. J. u. *mult.* (2011): Order Lepidoptera Linnaeus, 1758, S. 212-221. In: Zhang, Z.-Q. (Hrsg.): *Animal biodiversity: An outline of higher-level classification and survey of taxonomic richness*. *Zootaxa* 3148: 1-237.
- Voith, J., Bräu, M., Dolek, M., Nummer, A., Wolf, W. (2016): Rote Liste und Gesamtartenliste der Tagfalter (Lepidoptera: Rhopalocera) Bayerns. Bayerisches Landesamt für Umwelt, [https://www.lfu.bayern.de/natur/rote\\_liste\\_tiere/2016/index.htm](https://www.lfu.bayern.de/natur/rote_liste_tiere/2016/index.htm).
- Weidemann, H.-J. (1982): Gedanken zum Artenschutz. 3. Über Biotopschutz. *Entomologische Zeitschrift* 92: 129-141.
- Weidemann, H.-J. (1983 a): Gedanken zum Artenschutz. 5. Sammeln und Pflücken verboten - Über Fehleinschätzungen und Mängel der derzeitigen Naturschutzbestrebungen. *Entomologische Zeitschrift* 93: 1-16.
- Weidemann, H.-J. (1983 b): Gedanken zum Artenschutz. 6. Artenschutz und Lebensraum. - Ein Beitrag zum Ökologie-Verständnis der Lepidopterologie und der Artenschutzbestrebungen. *Entomologische Zeitschrift* 93: 49-64.

Weidemann, H.-J. (1983 c): Kritische Anmerkungen zum heute praktizierten Artenschutz. Pharmazeutische Zeitschrift 128: 2338-2345.

Weidemann, H.-J. (1988): Gedanken zum Artenschutz. 8. Kurzer Überblick über die Gefährdungssituation der Schmetterlinge und Hinweise für wirksame Abhilfemaßnahmen. Entomologische Zeitschrift 98: 33-48.

## **Anschrift des Verfassers:**

Dr. Andreas H. Segerer  
Staatliche Naturwissenschaftliche Sammlungen Bayerns  
Zoologische Staatssammlung München  
Münchhausenstr. 21  
D-81247 München  
E-Mail: [segerer@snsb.de](mailto:segerer@snsb.de)