

Die physikalisch-geochemischen Grundlagen des planetaren Klimas und die Auswirkungen auf die öffentliche Diskussion – potenzielle Fallstricke für Ökofaunisten

Andreas H. SEGERER

**Beitrag zum 49. bayerischen Entomologentag 2011 am 12. März 2011
„Entomologie und Klimawandel“**

Abstract

The physical and geochemical principles of the planetary climate system including the highly complex, non-linear interactions of climate factors within and between the geospheres are elucidated, and reasons for the heterogeneous, often inadequate perception of the issue in the public – even so within the entomological community – are derived therefrom. On the basis of long-term observations on the domestic species inventory the question is challenged whether Lepidoptera can be used as suitable indicators for climate change in Bavaria. In conclusion, a plea is made for using of the modern buzzword "climate change" in a critical and sophisticated way in entomofaunistic publications, being well aware of the pitfalls of selective perception and scientific opportunism.

1. Einleitung

Wir Entomologen bleiben vor den Folgen des heiß diskutierten rezenten Klimawandels nicht verschont, und diese Feststellung ist durchaus in doppeldeutigem Sinne gemeint:

- Auf der einen Seite ist Klima bekanntlich ein bedeutender Faktor für Arealveränderungen von Organismen (DE LATTIN 1967, KINZELBACH 2011) und mithin erhebt sich die interessante Frage, ob und wie sich durch die gegenwärtig beobachtete Erderwärmung Faunenveränderungen bei uns in Bayern ergeben, und inwieweit sich dies überhaupt objektiv belegen lässt.
- Auf der anderen Seite existiert eine systemimmanente Unschärfe hinsichtlich der Ursachen und prognostizierten Auswirkungen: Klima ist nicht direkt erfahrbar, sondern eine statistische Beschreibung relevanter Faktoren über lange Zeiträume, typischerweise 30 Jahre (IPCC 2001). An Stelle einfach messbarer, linearer Abhängigkeiten (Ursache → Wirkung) liegen nicht-lineare Netzkausalitäten vor, die in aufwendigen Verfahren modelliert werden müssen. Notwendiger Weise treten deshalb Szenarien und Wahrscheinlichkeitsaussagen an Stelle einfach durchschaubarer Zusammenhänge. Das lässt Spielraum für Interpretationen und kontroverse Ansichten. Sofern wir in unseren Projekten, Förderanträgen und Publikationen Bezug zum Klimawandel nehmen, bewegen auch wir Entomologen uns in diesem Spannungsfeld.

Bei Durchsicht der Literatur, anlässlich von Manuskriptbegutachtungen, Vorträgen, Diskussionen und persönlichen Gesprächen fiel dem Verfasser ein steigendes Interesse von Fachkollegen an der Klimaproblematik auf; er stieß dabei häufig aber auch auf ausgeprägte Unkenntnis der Mechanismen und der tatsächlichen Komplexität des Geschehens, was sich mitunter in pauschalisierten oder schlichtweg nicht belegten Schlussfolgerungen und Behauptungen, z.B. in faunistischen Arbeiten, niederschlägt.

Diese Arbeit möchte daher zum besseren Verständnis und zur Objektivierung des Themas „Klimawandel“ bei Entomologen, Naturschutz- und Forstfachleuten beitragen und dabei speziell auf Fakten, Fiktionen und potenzielle Fallstricke hinweisen. Dazu werden zunächst kurz die physikalisch-geochemischen Grundlagen des planetaren Klimas erläutert (2.-4.), die Gründe für die Interpretationsspielräume und deren Niederschlag in der Gesellschaft genannt (4.-5.), und schließlich soll am Beispiel der Schmetterlinge Bayerns die Frage untersucht werden, ob und in welchem Ausmaß sich die rezente Erderwärmung bisher in der bayerischen Fauna abbildet (6.) und welche Schlussfolgerungen daraus abgeleitet werden können (7).

2. Planetares Durchschnittsklima - Grundlagen

Nach den Strahlungsgesetzen errechnet sich die irdische Durchschnittstemperatur im Strahlungsgleichgewicht (aufgenommene Energie = abgestrahlte Energie) nach

(1)

$$T_{\text{Planet}} = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha) \cdot T_*^4 \cdot R_*^2}{4a^2 \cdot \varepsilon_1}} = \sqrt[4]{\frac{(1-\alpha) \cdot F_{\text{S,E}}}{4\sigma \cdot \varepsilon_1}}$$

mit

 α = Reflexionsvermögen (geometrische Albedo) der Erde $\approx 0,3$ T_* = effektive Oberflächentemperatur der Sonne = 5778 K R_* = mittlerer Sonnenradius = $6,96 \cdot 10^8$ m a = große Halbachse der Erdbahn = mittlerer Abstand Erde–Sonne $\approx 1,50 \cdot 10^{11}$ m σ = Stefan-Boltzmann-Konstante = $5,68 \cdot 10^{-8}$ W m⁻² K⁻⁴ $F_{\text{S,E}}$ = mittlerer solarer (S) Strahlungsfluss (F) = „Solarkonstante“ auf Höhe der Erdbahn (E) ≈ 1366 W m⁻² ε_1 = Emissivität ($0 \leq \varepsilon_1 \leq 1$)

Nebenbemerkung: Diese Gleichung gilt auch allgemein für vergleichsweise rasch rotierende planetare Himmelskörper inner- und außerhalb unseres Sonnensystems, die die aufgenommene Wärme rechnerisch über ihre gesamte Oberfläche $O = 4\pi R^2$ abstrahlen. Bei langsam und gebunden rotierenden Himmelskörpern erfolgt die Abstrahlung rechnerisch über die Querschnittsfläche $A = \pi R^2$, so dass in diesem Fall der Faktor 4 im Nenner zu streichen ist. Für andere Gestirne als die Erde sind natürlich auch die oben genannten Werte von a und ggf. T_* und R_* entsprechend anzupassen.

In dieser Gleichung sind verschiedene wichtige astrophysikalische, astronomische und terrestrische Parameter explizit oder implizit enthalten, deren Größe und Variation das irdische Klima beeinflussen.

2.1 Sonnenleuchtkraft, Sonnenaktivität und Solarkonstante

Nach Gleichung (1) kommt der Effektivtemperatur der Sonnenoberfläche ein ganz erheblicher Einfluss zu (RIND 2002). Tatsächlich schwankt sie in Abhängigkeit vom ca. elfjährigen solaren Aktivitätszyklus; sie ist zur Zeit des Aktivitätsmaximums leicht erhöht, und umgekehrt. Kontinuierliche, seit Beginn des Raumfahrtzeitalters durchgeführte Satellitenmessungen (aktuell z.B. SORCE: <http://lasp.colorado.edu/sorce>) zeigen eine an den Fleckenzklus gekoppelte quasiperiodische Schwankung der Solarkonstanten $F_{\text{S,E}}$ um etwa $\pm 0,5$ W/m² (WILLSON & MORDVINOV 2003). Die Korrelation zwischen der Sonnenfleckenrelativzahl und dem Betrag der Solarkonstante erlaubt eine glaubhafte Rekonstruktion der solaren Aktivitätsschwankungen bis in die Zeit der ersten Fernrohre (17. Jahrhundert) hinein (**Abb. 1**), die Korrelation mit anderen Proxies wie ¹⁴C ($\tau = 5730$ a) und ¹⁰Be ($\tau = 1,51$ Mio. Jahre) sogar bis in die ferne Vergangenheit (BEER et al. 1994; HOYT & SCHATTE 1998 a, b).

Eine genauere Betrachtung zeigt, dass die Sonnenaktivität durchaus nicht einer *exakten* Periodizität von ~ 11 a folgt, und dass das Ausmaß der Aktivitätsmaxima erheblich variiert und sich dem solaren Zyklus überlagert (GLEISSBERG 1944; DEWITTE et al. 2004; FRÖHLICH & LEAN 2002, 2004). Während vor allem in der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts eine überdurchschnittlich starke Aktivität zu verzeichnen war („Modernes Maximum“), so gab es in der Vergangenheit länger dauernde Phasen mit deutlich bis stark reduzierter Aktivität, die allesamt mit ausgeprägten Kälteperioden korrelieren und vermutlich auch kausal verknüpft sind (MATTHES 2011). Sehr bekannt ist z.B. die so genannte „Kleine Eiszeit“ zwischen ~ 1550 und ~ 1850 , in der namentlich das Maunder- und Dalton-Minimum imponieren, mit einer weiteren nachgeschalteten, allerdings vulkanisch ausgelösten Kälteperiode zwischen ~ 1870 und 1930) (**Abb. 1**).

Dem modernen Maximum wird ein durchaus signifikanter Beitrag an der rezenten Erderwärmung zugesprochen, das Ausmaß derselben ist also sicher nicht *allein* auf anthropogene Einflüsse zurückzuführen (STOTT et al. 2003, SCAFETTA & WEST 2006). Weiterhin ist festzustellen, dass sich die Sonne seit dem letzten, durchaus normal ausgeprägten Maximum nun durch eine außergewöhnlich geringe Aktivität auszeichnet, wie schon seit fast 200 Jahren nicht mehr beobachtet (CLARK 2010). Dieses höchst unerwartete Verhalten könnte bei anhaltendem Trend in eine Phase gänzlicher Inaktivität münden, uns die „Kleine Eiszeit“ zurückbringen und damit die bisherige Klimaerwärmung konterkarieren. Gleichwohl sind die direkten Beiträge der solaren Aktivitätsschwankungen zum rezenten Klimawandel umstritten; sie sind schwierig zu messen, interagieren stark mit anderen Klimateffekten (siehe auch unten, 4.), und auch die Modellierung der künftigen Entwicklung der Sonnenaktivität steckt in den Anfängen (DEWITTE et al. 2004, FOUKAL et al. 2006, FEULNER & RAHMSTORF 2010, HAIGH et al. 2010, INESON et al. 2011).

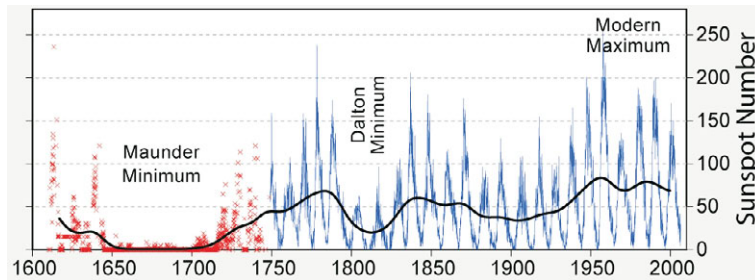


Abb. 1: Entwicklung der Sonnenfleckenrelativzahlen in den letzten ~400 Jahren. Verschiedene historische Temperaturminima und -maxima sind ebenfalls angegeben. (Grafik: R.A. ROHDE).

2.2 Himmelsmechanische Parameter

Regelmäßige jahreszeitliche Klimateffekte auf die Erde resultieren (1) aus der Exzentrizität ihrer Bahnellipse ($e = 0,017$), die zu einer Änderung der Solarkonstanten $F_{S,E}$ zwischen 1412 W/m^2 im Januar und 1321 W/m^2 im Juli führt, sowie (2) aus der Achsneigung der Erde um gegenwärtig $23,44^\circ$.

Gezeitenwirkungen von Sonne, Mond und großen Planeten, sowie ein durch die Allgemeine Relativitätstheorie beschriebener Effekt bewirken periodische Veränderungen der Bahnexzentrizität, der räumlichen Lage der Erdachse (Achsen-Präzession), der Erdbahn relativ zur Ekliptik (Apsiden-Präzession) sowie des Neigungswinkels der Erdbahn (Inklination). All diese Effekte haben gewisse Einflüsse auf das Erdklima (MILANKOVIĆ 1930, HAYS et al. 1976, IMBRIE & IMBRIE 1980, ROE 2006), allerdings nur auf sehr langen Zeitskalen (größenordnungsmäßig 10-100 ka). Sie können daher im Zusammenhang mit unserem Thema vernachlässigt werden.

2.3 Rückstrahlvermögen (Albedo)

Die mittlere geometrische Albedo der Erde beträgt $\alpha \approx 0,3$, mit starken regionalen, jahreszeitlichen und auch täglichen Schwankungen (GOODE et al. 2001, WIELICKI et al. 2005). Die Rückstrahlung entsteht hauptsächlich durch Reflexion in der Atmosphäre, daneben wirken sich vor allem die Ozeane, Eisflächen, der freiliegende Gesteinsuntergrund und der Vegetationswechsel aus. Die Albedo beeinflusst nach Gleichung (1) die globale Durchschnittstemperatur signifikant (siehe auch LI et al. 2006, DONOHOE & BATTISTI 2011) und Variationen derselben können einen sich selbst verstärkenden Charakter annehmen:

Dunkle Flächen absorbieren mehr Strahlung und erwärmen sich daher stärker als helle. Aus dem Stefan-Boltzmann-Gesetz,

(2)

$$F = \sigma \cdot T^4$$

wird ersichtlich, dass schon geringe Temperaturunterschiede eine signifikante Veränderung des Strahlungsflusses F (ausgedrückt in W/m^2) bewirken. Die mitunter drastischen Folgen einer daraus resultierenden positiven Rückkopplung lassen sich am Beispiel des atmosphärelosen Eismondes Iapetus eindrucksvoll demonstrieren: Dessen einzigartige Albedo-Dichotomie (0,5-0,6 vs. 0,03-0,05) entstand durch sich selbst verstärkende Eissublimation, ausgelöst durch einfallenden Staub aus Saturns Phoebe-Ring (DENK et al. 2010, SPENCER & DENK 2010) (**Abb. 2a**). Dieses Beispiel ist besonders illustrativ um aufzuzeigen, weshalb sich die Folgen der globalen Erwärmung so auffallend deutlich in den arktischen Gebieten und den Gletscherregionen der Gebirge manifestieren (z.B. MOTE 2007, TEDESCO et al. 2011): Sind erst einmal dunklere Flächen durch Abtauen entstanden, setzt sich der Prozess progressiv fort (**Abb. 2b**). In genau umgekehrter Weise würde die Kryosphäre bei einer hypothetischen globalen Abkühlung reagieren, ein wichtiger Faktor bei der Genese von Eiszeiten.

Neben den Eisflächen spielen die Wolken eine wichtige Rolle für das Erdklima und sie stellen eine besondere Herausforderung für Klimamodellierungen dar. Je nach Zusammensetzung und Höhe wirken sie eher reflektierend für einfallendes Sonnenlicht, oder absorbierend und reflektierend für abgehende Wärmestrahlung im Sinne des Treibhauseffektes (siehe unten) (RAPP 2008: 234, HEINTZENBERG & LUPP 2011).

2.4 Komplikation durch planetare Atmosphären

Die Emissivität, eine dimensionslose Größe, ist definiert als das Abstrahlungsvermögen eines Körpers relativ zum Abstrahlungsvermögen eines physikalisch schwarzen Körpers ($\epsilon = 1$). Für atmosphärelose Himmelskörper im Strahlungsgleichgewicht kann näherungsweise $\epsilon = 1$ angenommen werden. Durch Einsetzen der relevanten Größen in Gleichung (1) wäre demnach eine Durchschnittstemperatur der Erde von rund 255 K $\approx -18^\circ\text{C}$ zu erwarten, also ein vollständig vereister Planet. Der tatsächlich gemessene Wert liegt jedoch bei rund 288 K $\approx +15^\circ\text{C}$. Der wesentliche Grund liegt in der Anwesenheit und der konkreten Zusammensetzung einer Atmosphäre: hier spielt die wellenlängenabhängige spektrale Emissivität eine wichtige Rolle. Sie schwankt in Abhängigkeit von der Wolkendecke und der Konzentration von klimawirksamen Gasen. Diese werden aufgrund ihrer Molekularstruktur durch thermische Infrarotstrahlung im Wellenlängenbereich zwischen 8 und 14 μm energetisch angeregt; sie sind auch als sog. „Treibhausgase“ bekannt und verdienen in diesem Zusammenhang eine gesonderte Betrachtung.

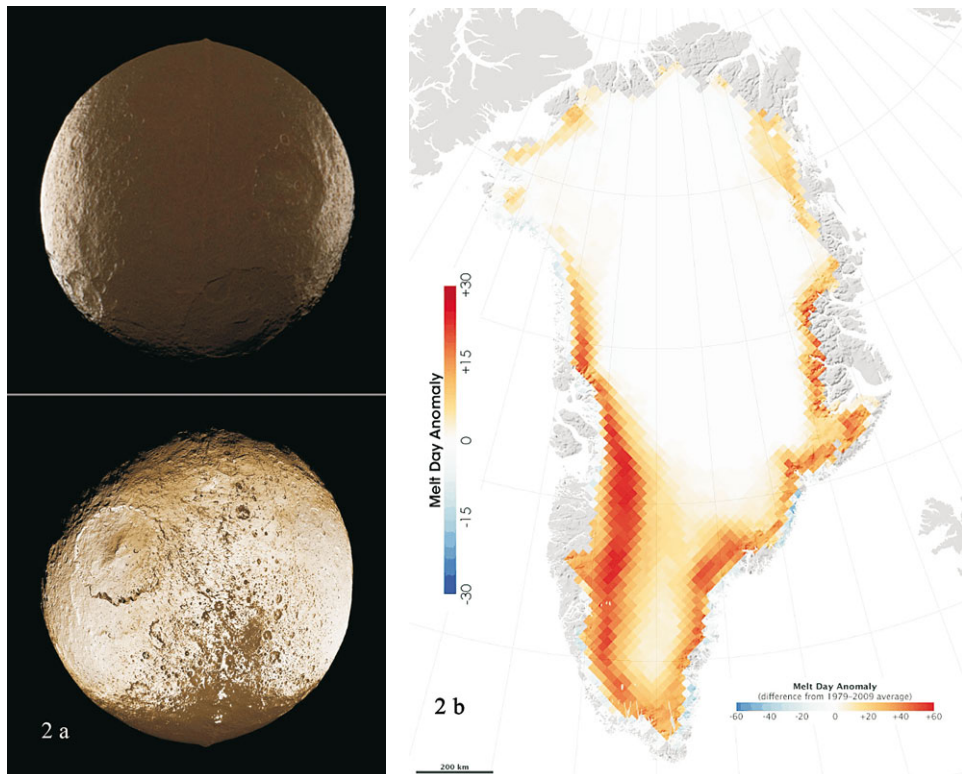


Abb. 2: Albedotriebene Klimaeffekte. **a:** Albedodichotomie des Saturnmondes Iapetus auf der nachfolgenden (unten) und vorausseilenden Hemisphäre (oben). **b:** Schmelztage auf Grönland im Jahr 2010, bezogen auf den Vergleichszeitraum 1979-2009. Bildnachweis a: CASSINI Mission, NASA/JPL/Space Science Institute; b: NASA Earth Observatory, Robert SIMMON/Marco TEDESCO.

3. Der Treibhaus-Effekt

Eine einfache Übersicht der Zusammenhänge findet sich bei BENNETT et al. (2010), eine detaillierte Abhandlung bei RAPP (2008: 211). Klimawirksame Gase absorbieren und reemittieren thermische Strahlung der Erdoberfläche, der Wolken und der von ihnen selbst reemittierten IR-Strahlung. Die Reemission der IR-Photonen erfolgt ungerichtet. Ihre Anwesenheit macht die Atmosphäre selektiv (d.h. wellenlängenabhängig) transparent für Strahlung; sie führt zu einer verzögerten Wärmerückstrahlung in den Weltraum, mithin also einer verringerten Emissivität der Atmosphäre. Als direkte Wirkung resultieren eine lokale Überwärmung der Troposphäre und der Erdoberfläche, und Kühlung der Stratosphäre. Die

Wirkung wird mit der selektiven Transparenz von Glasscheiben, z.B. eines Autos oder Treibhauses illustriert; daher ist dieser Effekt als „Treibhauseffekt“ in die Literatur eingegangen.

3.1 Klimawirksame Gase

Irdische Klimagase sind (mit Ausnahme von H₂O) Spurengase, deren Konzentration im Promille- bis ppm-Bereich liegt (**Tab. 1**). Ihre Wirkung hängt ab von der Konzentration, ihren stoffspezifischen Absorptionseigenschaften, der Verweildauer (Halbwertszeit) in der Atmosphäre und ihrer Wechselwirkung mit anderen klimarelevanten Faktoren (indirekte Effekte, z.B. die Förderung der Ozonbildung durch Methan: SHINDELL 2005). Sie wird durch das sog. Treibhauspotenzial ausgedrückt (engl. *global warming potential*, GWP) (IPCC 2001). Die Literaturangaben zum Beitrag der jeweiligen Gase zur rezenten Erderwärmung sind durchaus unterschiedlich, so dass die entsprechenden Werte in **Tab. 1** nur als Richtwerte zu verstehen sind. Unabhängig davon ist das anteilmäßige mit Abstand wichtigste Klimagas Wasser; dessen atmosphärische Konzentration ist nicht direkt beeinflussbar und sein Verhalten ist schwer modellierbar (HEINTZENBERG & LUPP 2011). Die Schlüsselstellung für die Temperaturregulierung des Planeten kommt hingegen dem Kohlendioxid (CO₂) zu.

Tab. 1: Konzentration und ungefährender Wirkungsbeitrag der wichtigsten Klimagase in der Erdatmosphäre (nach KIEHL & TRENBERTH 1997, RAPP 2008, BENNETT et al. 2010, WILLIAMS 2010, GROTZINGER & JORDAN 2010, WMO 2011).

Gas	Konzentration	Beitrag zum Treibhauseffekt (ca.)
Wasser (H ₂ O)	1%	60%
Kohlendioxid (CO ₂)	0,04% / 389 ppm	26%
Methan (CH ₄)	1,8 ppm	5%
Lachgas (N ₂ O)	0,3 ppm	5%
Ozon (O ₃)	0,03 ppm	5%

3.2 Abiotischer Kohlenstoffzyklus; globaler Thermostat

Die Tatsache, dass auf der Erde über Jahrmilliarden hinweg eine relativ ausgeglichene Durchschnittstemperatur herrscht, die in der Regel nie mehr als wenige Grad abweicht, ist einem ausgeklügelten Verteilungsgleichgewicht zu verdanken, bei dem Plattentektonik, Vulkanismus, Atmosphäre, Hydrosphäre und Lithosphäre zusammenwirken (abiotischer Kohlenstoffzyklus; vgl. GROTZINGER & JORDAN 2010, BENNETT et al. 2010): CO₂ entsteht als natürliche Ausgasung von Vulkanen; ein Teil davon verbleibt in der Atmosphäre, ein anderer löst sich im Wasser, und davon präzipitiert ein weiterer Teil in Form von karbonatitischen Sedimenten, namentlich CaCO₃; die Sedimente gelangen irgendwann durch Subduktion in den Erdmantel, werden aufgeschmolzen und das CO₂ wird schließlich durch Vulkanismus wieder in die Atmosphäre entlassen – damit ist der Zyklus geschlossen. Die globale Temperatur wird maßgeblich vom konkreten Verteilungsgleichgewicht des CO₂ zwischen den relevanten Geosphären bestimmt. Heute stecken über 99% des irdischen CO₂ als Karbonat im oberen Gesteinskörper (Lithosphäre), und nur der geringste Anteil in der Atmosphäre. Natürlich ist auch die Biosphäre in die Bilanz mit eingebunden (biotischer Kohlenstoffzyklus). Das System ist in sich rückgekoppelt, so dass die atmosphärische CO₂-Konzentration größenordnungsmäßig stabil bleibt, und zu extreme Ausschläge der Temperatur nach oben oder unten vermieden werden. Der natürliche Thermostat ist durchaus auch in der Lage, die anthropogene Überproduktion von CO₂ zu kompensieren, allerdings reagiert er auf der geologischen Zeitskala und ist dadurch in der akuten Situation nicht hilfreich.

4. Netzkausalitäten; Klimamodelle und Szenarien

Tatsächlich tragen nicht nur die unter 2. und 3. dargestellten Parameter für sich allein zum Erdklima bei. Vielmehr stehen sie mit allen Bereichen der Geosphäre in intensiver, hochgradig vernetzter, nicht-linearer Wechselwirkung, durch die letztendlich die Emissivität beeinflusst wird (**Abb. 3**). Anders als Gleichung (1) suggerieren mag, würde eine fiktiv angenommene Verdopplung der Sonnentemperatur T_* durchaus nicht zu einer Verdopplung der irdischen Durchschnittstemperatur führen! Manche Faktoren verstärken sich selbst oder sich gegenseitig in ihrer Nettowirkung; dazu gehören z.B. Albedo-Effekte (siehe oben, 2.3) oder die Methan-Ozon-Wechselwirkung (SHINDELL 2005). Andere Faktoren wirken in sich selbst oder auf andere antagonistisch: Vulkanausbrüche produzieren zum Beispiel vermehrt die Klimagase CO₂ und SO₂, letzteres führt aber auch zur Bildung von vulkanischem Smog (Vog), der die Sonneneinstrahlung verringert (SUTTON et al. 2000). Wieder andere, wie die konkreten

Wirkungen des atmosphärischen Wassers, sind bisher nicht mit wünschenswerter Auflösung zu modellieren (HEINTZENBERG & LUPP 2011). Insgesamt besteht ein in äußerstem Maße in sich verwobenes Netzwerk aus Wechselwirkungen und Seiteneffekten, die zahllose Freiheitsgrade haben (Abb. 3). Derartige Netzkausalitäten sind nur mit großem Aufwand in Modellen abzubilden. Zusätzlich kommen noch weitere innere und äußere Klimafaktoren hinzu, die in keinem Modell zur künftigen Klimaentwicklung seriös berücksichtigt werden können; hierzu zählen namentlich verheerende Vulkanausbrüche, Einschläge großer Himmelskörper, extrem energiereiche Sternexplosionen und Aktivitätsänderungen der Sonne, natürlich auch die Prognose der Entwicklung der CO₂-Ausstoßrate aus fossilen Brennstoffen.

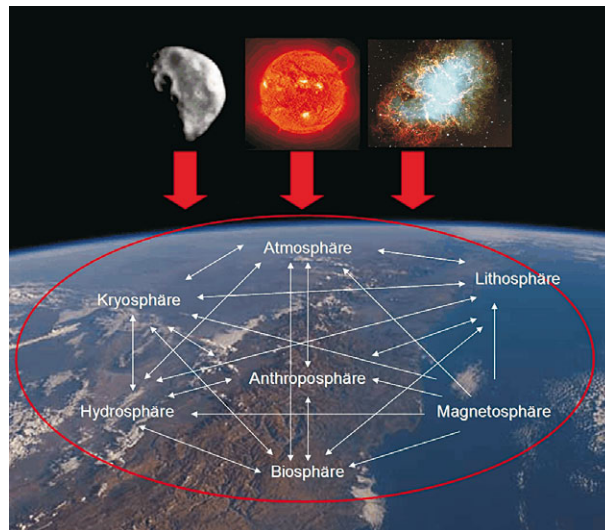


Abb. 3: Schema der hochgradigen Vernetzung der klimarelevanten Faktoren innerhalb der Geosphären. Zusätzlich wirken unkalkulierbare kosmische Faktoren, wie Impakte großer Himmelskörper, Änderungen der Sonnenleuchtkraft und hochenergetische Sternexplosionen (galaktische Gamma Ray Bursts, nahe Supernovae) auf das Erdklima ein. Grafik: Sternwarte Regensburg /A.H. SEGERER.

5. Der Klimawandel im öffentlichen Meinungsbild

Nicht-lineare, vernetzte Abhängigkeiten bedeuten naturgemäß, dass es keine einfachen Antworten auf einfache Fragen gibt. Sie sind naturwissenschaftlich gesehen nichts Ungewöhnliches und eine spannende Herausforderung für die darin involvierten Forschergruppen. Im Fall der Erderwärmung liegt allerdings eine besondere Brisanz darin, dass unterschiedlichste Interessen in Politik, Wirtschaft und Wissenschaft davon berührt werden. Auf der Basis der systemimmanenten Unsicherheiten resultiert im Zusammenspiel mit den Medien ein äußerst heterogenes und vielfach undifferenziertes Meinungsbild, dessen Spannweite von einer völligen Negierung anthropogener Ursachen bis hin zur Heraufbeschwörung des Weltuntergangs reicht. So entstehen Ängste („Klima-Hysterie“), vehemente Widersprüche („Klima-Skeptiker“, siehe <http://www.klimaskeptiker.info/>) und auch Nährboden für die opportunistische Ausnutzung der Situation.

5.1 Selektive Wahrnehmung und die Rolle der Medien

Die Berichterstattung in den Medien ist leider allzu oft nur an Sensationen orientiert; dann werden die Dinge einseitig, tendenziös, verzerrt oder völlig übertrieben dargestellt. Ein lehrreiches Beispiel für diese Aussage ist die reißerische Schlagzeile, die aus einer in Wirklichkeit stark relativierten Aussage eines Forschers generiert wurde, im Netz unter http://www.rastop.de/w2ksrv02/faecher/erdkunde/9/klima/wr_extra34_3.pdf einzusehen.

Weiterhin fällt auf, dass das Thema „Klimawandel“ in den Medien selektiv präsent ist, vorzugsweise vor Klimakonferenzen oder in Phasen ungewöhnlicher Wärme oder Trockenheit (z.B. Sommer 2003, November 2011). In Phasen normaler oder zu kalter Witterung (z.B. im „Kältesommer“ 2011 in Bayern) spielt der Klimawandel in den Medien erfahrungsgemäß überhaupt keine Rolle.

Solche Mechanismen der Berichterstattung fördern schließlich die selektive Wahrnehmung des Klimawandels in der Gesellschaft: ein psychologisches Phänomen kognitiver Voreingenommenheit, bei dem ins Bild passende Ereignisse stark bewertet und deshalb im Gedächtnis festgeschrieben werden, während nicht passende ausgefiltert werden; subjektive Realitäten werden scheinbar objektiviert (HASTORF & CANTRIL 1954; CARLSON 1985).

Selektive Wahrnehmung ist nicht nur ein Auslöser für Klima-Hysterie und die unzulässige Bewertung von Einzelereignissen als Beleg für den Klimawandel, sondern auch der Nährboden für undifferenzierten Glauben an alles, was über die Auswirkungen des Klimawandels behauptet wird.

5.2 Klima-Opportunismus

Die komplexen Zusammenhänge und die Verunsicherung der Bevölkerung bieten auch die Option, den Klimawandel für eigene Zwecke auszunutzen. Als eines von unzähligen Beispielen möge der Hinweis auf ein bayerisches Versicherungsunternehmen gestattet sein, bei dem man sich nunmehr auch bei uns in Bayern gegen die „Gefahren, die durch die spürbare Klimaveränderung hervorgerufen werden“ absichern kann, Vulkanausbrüche und Erdbeben mit eingeschlossen (nachzulesen unter: http://www.vkb.de/web/html/ad/s/schreck/Unser_Angebot_fuer_Sie/Rund_ums_Zuhause/KlimaKasko/klimakasko.html?agn=0307302, Stand 2.1.2012).

5.3 Die Entomologie im Klimawandel

Eine wichtige Schlussfolgerung aus den Abschnitten 5.1 und 5.2 ist, dass auch wir Entomologen uns kritisch damit auseinanderzusetzen haben, ob und wie eventuelle Ergebnisse unserer Forschungen und antizipierten Projekte tatsächlich guten Gewissens mit der rezenten Erderwärmung verknüpfbar sind, oder ob dabei der Wunsch der Vater des Gedankens ist. Nach Erfahrungen des Verfassers wird das Schlagwort vom Klimawandel besonders häufig in diesen thematischen Zusammenhängen bemüht: (1) Ausbreitung von durch Arthropoden übertragenen Infektionskrankheiten wie Malaria (z.B. LINDSAY & THOMAS 2001, HOLY et al. 2011); (2) Beobachtung rezenter Arealverschiebungen und Häufigkeitsveränderungen von Insekten allgemein und von Schädlingen im Besonderen (z.B. IMMLER & BLASCHKE 2007, SETTELE et al. 2008); sowie (3) Unterstreichung der Relevanz aktueller oder geplanter Forschungsprojekte (z.B. HASZPRUNAR 2009). Dabei erhebt sich die wichtige Frage, inwieweit sich Einflüsse der rezenten Erderwärmung tatsächlich aus den Daten isolieren lassen, so dass kausale Aussagen mit Fug und Recht hergestellt werden können. Wir fokussieren in diesem Zusammenhang unsere nachfolgenden Überlegungen auf die deutsche, speziell die bayerische Schmetterlingsfauna, und zwar in Bezug auf die Punkte (2) und (3); der – in der Regel unrealistische – Zusammenhang zwischen Klimaerwärmung und der Ausbreitung von durch Insekten vermittelten Tropenkrankheiten in Mitteleuropa (1) ist bereits an anderer Stelle ausführlich durchleuchtet worden (ASPÖCK 2010, 2011).

6. Der Klimawandel in Bayern und seine Auswirkungen auf die Insektenfauna

6.1 Wie warm ist es bei uns geworden?

Die globale Erwärmung ist eine Tatsache, ebenso, dass sie im Wesentlichen durch anthropogene Einbringung von Klimagasen verursacht ist; die Datenlage hierfür ist sehr gut gesichert (z.B. KARL et al. 2006; IPCC 2007a, 2007b; RAPP 2008; RIEBEEK 2010). Fakt ist aber auch, dass die Szenarien der Auswirkungen für Deutschland und damit auch Bayern weitaus weniger gesichert sind (z.B. HELMHOLTZ-Gemeinschaft 2012). Der Grund ist leicht einsichtig: wegen der geographischen Lage ist hier die Witterung besonders wechselhaft und instabil, kurzfristig veränderliche Wetter- und Witterungslagen überlagern den globalen Trend und die Modellierung ist damit besonders schwierig.

Moderne Netzdienste, wie z.B. Rimfrost (<http://rimfrost.no>), stellen weltweite Klimadaten online zur Verfügung. Bayern ist in der günstigen Lage, mit dem Wetterobservatorium Hohenpeißenberg die älteste Bergwetterwarte der Welt zu besitzen, die schon im 18. Jahrhundert mit Messungen begonnen hat. Somit lassen sich Temperaturtrends über ~250 Jahre hinweg einfach abfragen. Tatsächlich stellt sich heraus, dass die Durchschnittstemperaturen in den letzten 30 Jahren deutlich angestiegen sind, mit 0,31°C/Dekade. Erweitert man den Zeitraum auf die letzten 250 Jahre, sind sogar 0,11°C/Dekade. Betrachtet man selektiv die Jahre 2000-2010, ist eine Abkühlung (!) um knapp 0,5°C festzustellen! Bei einem solchen Auf und Ab in Abhängigkeit vom Zeitfenster stellt sich nicht nur die Frage nach der grundsätzlichen Aussagekraft solcher Statistiken, sondern auch, ob sich der mittel- und langfristige Temperaturtrend vor dem Hintergrund eines wesentlich stärkeren Signals, nämlich den enormen jährlichen und jahreszeitlichen Schwankungen der Durchschnittstemperatur, bisher überhaupt signifikant in der Flora und Fauna niederschlägt.

6.2 Bestandsentwicklung Wärme liebender Schmetterlingsarten in Bayern

In den letzten Jahren und Jahrzehnten haben sich einige mediterrane Arten in auffallender Weise nach Bayern ausgebreitet, zum Beispiel *Gymnoscelis rufifasciata* (HAWORTH, 1809) oder *Eilema caniola* (HÜBNER, 1808), ebenso kennt man wie eine lange Reihe von sporadischen Funden südlicher Einwanderer und Irrgäste, die unter besonderen Bedingungen teilweise auch den Winter überstehen (GAEDIKE & HEINICKE 1999, BOLZ & TANNERT 2009, SEGERER & HAUSMANN 2011, SEGERER et al. 2012). Es mag natürlich verführerisch sein, hierin einen Bezug zur Erwärmung herzustellen, doch darf dabei nicht vergessen werden, dass es sich um Einzelfälle handelt: Ebenso lassen sich etliche Beispiele für nicht-mediterrane Neubürger in Bayern aufzählen, zum Beispiel *Phyllonorycter issikii* (KUMATA, 1963) (KOLBECK et al. 2005, SEGERER 2008). Da Einzelereignisse nicht als Indiz für den Klimawandel herangezogen werden können und dürfen, gilt dies auch für die bloße Feststellung, dass die eine oder andere Wärme liebende Art sich plötzlich bei uns stärker ausbreitet als früher! Erst die Analyse der Bestandsentwicklung hinreichend großer Stichproben, also Artenmengen könnte tatsächlich eine mögliche Korrelation zwischen der rezenten Erwärmung und dem Auftreten Wärme liebender Arten aufdecken. Unternimmt man derartige Versuche, erlebt man eventuell eine Überraschung.

6.2.1 Allgemeine Gefährdungssituation

Im Zuge der Neufassung der Roten Liste gefährdeter Tierarten Bayerns wurde vor einigen Jahren ein Zensus der heimischen Schmetterlingsfauna und ihrer Bestandsentwicklung in neuerer Zeit durchgeführt. Darin wird für die sog. „Kleinschmetterlinge“ explizit festgestellt, dass die mit Abstand am meisten rückläufigen Arten zu der thermophilen Fauna der Trocken- und Magerrasen gehören (PRÖSE et al. 2004); die übrigen Lepidoptera („Großschmetterlinge“; BOLZ & GEYER 2004, WOLF & HACKER 2004) zeigen kein anderes Bild. Parallel zu der Entwicklung bei Schmetterlingen stellen Ornithologen einen Rückgang der Wärme liebenden Brutvogelarten in Bayern fest (J. REICHHOLF, pers. Mitteilung).

6.2.2 Die Schmetterlinge der „Schwabelweiser Hänge“ bei Regensburg – eine entomologische Zeitreise

Eine besonders aussagekräftige Analyse ist anhand der Lepidopteren der Naturschutzgebiete „Südöstliche Juraausläufer bei Regensburg“ (NSG-No. 300.50) und „Am Keilstein“ (NSG-No. 300.08) möglich, die sich im nördlichen Stadtgebiet von Regensburg befinden; diese Biotope sind auch unter den Bezeichnungen „Schwabelweiser Hänge“ und „Fellinger Berg“ vielfach in der entomofaunistischen Literatur präsent.

Diese Stelle ist aus einem bestimmten Grund vermutlich einzigartig in ganz Deutschland: Sie wurde und wird seit knapp 250 Jahren von Lepidopterologen untersucht, und zwar hinsichtlich aller systematischen Gruppen. Die Lepidopterenfauna und ihr Wandel sind durch exakte historische Artenlisten und vielfache Sammlungsbelege dokumentiert (vorwiegend aus den Jahren 1840, 1854-55, 1885-87, 1923-35, 1949, aber auch aus früherer und späterer Zeit; evaluiert bei SEGERER 1997); zusammen mit den rezenten Aufsammlungen existieren in der Datenbank der ZSM derzeit knapp 8.000 Datensätze von 1162 Schmetterlingsarten aus diesem Gebiet, entsprechend ~36% der bayerischen und ~30% der deutschen Lepidopterenfauna.

Beim Biotop handelt es sich um steil zur Donau hin abfallende Südhänge auf Riffkalken des Oberen Jura (**Abb. 4**). Die Hänge selbst waren ursprünglich großflächige Magerrasen, auf dem Plateau steht ein relikitärer Steppenheide-Eichenwald mit einigen Freiflächen. Um 1870 wurden die Kalkwerke im westlichen Teil der Hänge errichtet, und es begann der Abbau von Dolomit in industriellem Maßstab. Diese Aktivitäten haben inzwischen den westlichen Teil der Südhänge auf einer Länge von 750+ m sowie die nach Westen hin exponierte Flanke zerstört bzw. in Steinbruchgelände umgewandelt. Die restlichen Flächen sind heute stark durch Eutrophierung und Sukzession betroffen, Hauptursachen sind die weitgehende Aufgabe von traditionellen extensiven Nutzungsformen, sowie Immissionen aus Stadt und Landwirtschaft. Auch im Eichenwald sind die Anzeichen von Eutrophierung und Sukzession unübersehbar. Nur ein in Relation kleiner Abschnitt der Hänge, zwischen den Steinbrüchen im Westen und dem komplett verbuschten Abschnitt im Osten, wird durch Maßnahmen des örtlichen Naturschutzes offen gehalten; dieser ist somit ein Relikt des früheren Charakters des gesamten Gebietes und Fundort einer Vielzahl hochgradig gefährdeter Pflanzen und Tiere (z.B. BERNHARD & OWEN 1990, SCHÖNFELDER & BRESISNKY 1990, SEGERER et al. 1994-95). Der besondere Artenreichtum resultiert aus der wärmebegünstigten Lage, einer Vielfalt an Strukturen (einschließlich xerothermophilen Extremstandorten), vielfachen unterschiedlichen, insbesondere auch Wärme liebenden Pflanzengesellschaften (einschließlich submediterranen, nordmediterranen und dealpinen Elementen) und der Lage am Schnittpunkt dreier Naturräume (BERNHARD & OWEN 1990).



Abb. 4: Blick auf die zentrale, durch Naturschutzmaßnahmen offen gehaltene Partie der Schwabelweiser Hänge in Regensburg. Rechts (östl. davon) ist die vollständige Verbuschung erkennbar, links ein kleiner Teil des Steinbruchs. Auf dem Plateau befindet sich ein eutrophierender Steppenheide-Eichenwald. (Foto: A. H. SEGERER).

Zur Untersuchung der Bestandsentwicklung wurden die vorliegenden Daten drei repräsentativen Zeitabschnitten zugeordnet und die nachgewiesenen Arten, soweit möglich, in Bezug auf ihre Lebensraumpreferenzen und ihre Thermophilie eingeteilt, wenn verfügbare Informationen solches erlaubten (**Abb. 5**). Es zeigen sich drei bemerkenswerte Ergebnisse:

- (1) Die absolute Artenzahl ist bis in die Gegenwart hinein angestiegen – in Zeiten des Artenschwundes sicherlich entgegen der primären Erwartung (**Abb. 5a**). Zwei Erklärungen bieten sich dazu an: (i) Eine gesteigerte Effektivität der Erfassung durch moderne Lichtfanganlagen, und (ii) der zunehmende Charakterwandel des Biotops von reinen Magerrasenflächen hin zu immer mehr Säumen, Busch- und Waldflächen. Wir vermuten, dass in der Realität beides zutreffend ist.
- (2) In Übereinstimmung mit der unter 6.2.1 allgemein erhobenen Aussage zeigt sich ein signifikanter Rückgang der Magerrasenarten, gleichzeitig nimmt die Anzahl an Waldarten zu ($r = -0,975$; **Abb. 5b**).
- (3) Die Anzahl an thermophilen Arten, hier definiert als Arten mit ausschließlich oder vorwiegend mediterraner Verbreitung, nimmt ab, im Gegenzug nehmen mesophile Arten zu ($r = -0,934$; **Abb. 5c**). Es muss an diesem Punkt allerdings eingestanden werden, dass die zoogeographischen Verbreitungsmuster der artenreichen Kleinschmetterlinge unzureichend erforscht sind, so dass hier nur eine vorläufige Zuordnung möglich war.

6. 3 Diskussion

Die Abnahme Wärme liebender Schmetterlingsarten in Bayern ist ein reales Phänomen. Insgesamt war zumindest in der hier untersuchten Region der größte Artenreichtum an Schmetterlingen, und mithin auch die höchste Anzahl an Wärme liebenden Arten, in der *Kältephase* des 19./frühen 20. Jahrhunderts zu registrieren (HOFMANN & HERRICH-SCHÄFFER 1854-55, HERRICH-SCHÄFFER & HOFMANN 1861, SCHMID 1885-87, SEGERER 1997, PRÖSE et al. 2004, diese Arbeit).

Es wäre nun natürlich verkehrt, diesen Befund als Beleg gegen eine rezente Erwärmung zu verwenden. Das ist sicherlich nicht der Fall: der Temperaturtrend der letzten 50 Jahre beträgt $+0.21^\circ/\text{Dekade}$ (Station Straubing bei Regensburg, <http://rimfrost.no>). Wenn also die Temperaturen geringfügig angestiegen sind, die Anzahl an thermophilen Arten aber abgenommen hat, müssen andere Ursachen zugrunde liegen. Da speziell die Magerrasenarten auf nährstoffarme Standorte angewiesen sind und ein immer weiter steigendes Ausmaß an Luftdüngung stattfindet (BOBBINK et al. 1998, LETHMATE 2005), liegt es nahe, den Hauptschuldigen in den Immissionen der Stadt und der landwirtschaftlichen Nutzflächen zu suchen, samt der Folgewirkungen auf die Flora und Fauna (HOCK et al. 1997). Der begrenzte Erfolg, den die redlichen Bemühungen der Naturschutzautoritäten im Kampf gegen den Artenschwund in Bayern trotz „Roter Listen“, Schutz- und Pflegemaßnahmen zu verzeichnen haben, dürfte (neben allgemeinem Landschaftsverbrauch und Landschaftszerstückelung) im Wesentlichen darauf zurückzuführen sein.

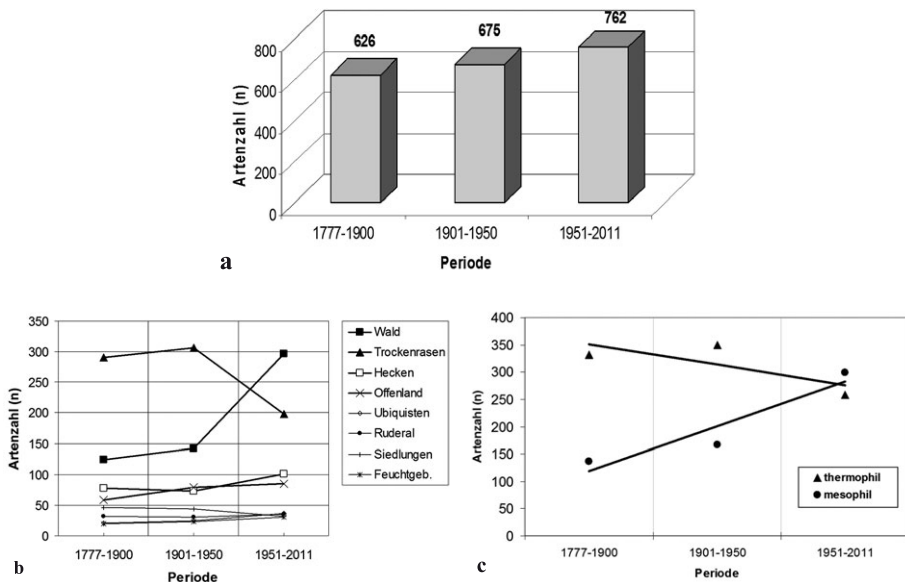


Abb. 5: Bestandsentwicklung der Lepidoptera seit dem 18. Jahrhundert an den Schwabelweiser Hängen in Regensburg. **a:** Gesamtartenzahl; **b:** Arten mit verschiedenen Biotoppräferenzen; **c:** thermophile und mesophile Arten.

Es ist eine altbekannte Tatsache in der Zoogeographie, dass das Klima zwar ein bedeutender, aber keinesfalls allein ausschlaggebender Faktor für Abundanz- und Arealänderungen in der Tierwelt ist (WARNECKE 1961, DE LATTIN 1967, KINZELBACH 2011). Die Größe und Dynamik von Populationen werden von einer Fülle von ökologischen Faktoren bestimmt, die in sich wiederum in nicht-linearen Kausalitäten verknüpft sind. Die Problematik, die oben unter 4. für das Klima erläutert wurde, findet sich hier erneut wieder. Speziell die Zoogeographie Mitteleuropas ist ohne die Eiszeiten nicht zu verstehen und die Remigrations sind längst noch nicht abgeschlossen (DE LATTIN 1967, KINZELBACH 2011), was zu einer weiteren Unschärfe in der Interpretation rezenter Arealänderungen führt.

Aufgrund der unter 6.1 und 6.2 dargelegten Sachverhalte ist nach Auffassung des Verfassers generell zu bezweifeln, dass die globale Erderwärmung bisher in nennenswertem Ausmaß in der Insektenwelt Bayerns angekommen ist; jährliche und saisonale Schwankungen sind wesentlich stärker ausgeprägt als die im Verhältnis dazu geringfügige langfristige Temperaturzunahme.

Doch selbst falls Wärme liebende Arten tatsächlich schon heute von der leicht angestiegenen (und seit einigen Jahren bei uns wieder rückläufigen) Temperatur profitieren sollten, findet sich das in den vorliegenden Daten nicht wieder: die bestenfalls geringe Stärke dieses hypothetischen Signals geht vollständig in stärkeren und in der Netto-Wirkung entgegen gerichteten anderen Einflüssen unter.

Bessere Voraussetzungen für die Untersuchung der Reaktionen der Insektenwelt auf die globale Erwärmung herrschen hingegen in Regionen der Erde, an denen die Witterungsbedingungen sehr viel konstanter sind als bei uns, und die auch eine andere glaziale und postglaziale Geschichte als Mitteleuropa haben.

7. Schlussfolgerungen

Theoretische Überlegungen, Befunde zum gegenwärtigen Temperaturverlauf und konkrete Beobachtungen zur Bestandsentwicklung heimischer Arten lassen erhebliche Zweifel aufkommen, dass Schmetterlinge (und andere Insekten) in unseren Breiten als Bioindikatoren des Klimawandels brauchbar sind. Einzelne Arten mögen die Ausnahme sein, aber auch dann bleibt die Herausforderung, in einem Dickicht aus hochkomplexen Ökofaktoren durch harte Fakten zu belegen, dass die rezente Erderwärmung (und nichts anderes) der maßgebliche Faktor für die beobachtete Abundanz- oder Arealänderung ist. Dies dürfte wohl in den allerwenigsten Fällen, wenn überhaupt, gelingen. Die bloße Feststellung, dass sich die eine oder andere Wärme liebende Art bei uns in letzter Zeit ausbreitet und dies mit der globalen Erwärmung korreliert, ist in diesem Zusammenhang jedenfalls nicht hilfreich. Es

wird deshalb dringend dazu geraten, das Schlagwort „Klimawandel“ in entomologischen Fachpublikationen kritischer als bisher zu verwenden. Aus Gründen der Wahrung der wissenschaftlichen Seriosität wird an alle Fachkollegen appelliert, sich die Komplexität von Klima, Zoogeographie und Ökofaunistik vor Augen zu halten und sich der Gefahr von selektiver Wahrnehmung und wissenschaftlichem Opportunismus stets bewusst zu sein.

Danksagung

Der Verfasser dankt Prof. Dr. Josef H. REICHHOLF (Neuötting) und Prof. Dr. Ernst-Gerhard BURMEISTER für anregende Diskussionen und Mitteilung wichtiger Befunde, sowie der Regierung der Oberpfalz (Höhere Naturschutzbehörde) für die Erteilung von Ausnahmegenehmigungen für Langzeituntersuchungen in den Naturschutzgebieten der Stadt Regensburg.

Zusammenfassung

Die physikalischen und geochemischen Grundlagen des planetaren Klimas, einschließlich der komplexen, nicht-linearen Wechselwirkungen der Klimafaktoren innerhalb und zwischen den Geosphären, werden erläutert und daraus die Gründe für die heterogene und vielfach inadäquate Wahrnehmung des Themas – auch innerhalb der entomologischen Gemeinde – abgeleitet. Anhand von Langzeituntersuchungen zur Bestandentwicklung der heimischen Arten wird die Frage kritisch durchleuchtet, ob Schmetterlinge tatsächlich als brauchbare Indikatoren des Klimawandels in Bayern in Frage kommen. Schlussfolgernd wird daran appelliert, mit dem modernen Schlagwort „Klimawandel“ kritisch und differenziert umzugehen und sich der Gefahr von selektiver Wahrnehmung und wissenschaftlichem Opportunismus stets bewusst zu sein.

Literatur

- ASPÖCK, A. (Hrsg.) 2010: Krank durch Arthropoden. – *Denisia* **30**, 888 pp.
- ASPÖCK, A. 2011: Klimawandel, Globalisierung und die Ausbreitung der durch Zecken und Insekten übertragenen Infektionen. – *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* **60** (3/4), 97.
- BEER, J., BAUMGARTNER, S., DITTRICH-HANNEN, B., HAUENSTEIN, J., KUBIK, P., LUKASCZYK, CH., MENDE, W., STELLMACHER, R. & M. SUTER 1994: Solar variability traced by cosmogenic isotopes, pp. 291-300. In: PAP, J. M., FRÖHLICH, C., HUDSON, H. S. & S. K. SOLANKI (Hrsg.): *The sun as a variable star: Solar and stellar irradiance variations*. – Cambridge University Press, Cambridge, XII + 319 pp.
- BENNETT, J., DONAHUE, M., SCHNEIDER, N. & M. VOIT 2010: Planetare Atmosphären: Die Erde und die anderen terrestrischen Himmelskörper, pp. 406-463. – In: LESCH, H. (Hrsg.): *Astronomie. Die kosmische Perspektive*. 5. aktual. Aufl. – Pearson Studium, München, 1162 pp.
- BERNHARD, E. & M. OWEN 1990: Stadtbiotopkartierung Regensburg unter besonderer Berücksichtigung der Pflanzen- und Tierwelt auf Kalk am Beispiel des Gebietes Brandlberg und Keilberg mit Keilstein und Spitalholz, pp. 64-68. – In: BAYERISCHES LANDESAMT FÜR UMWELTSCHUTZ (Hrsg.): *Schutzwürdige Biotop in Bayern (2). Stadtbiotopkartierung I. – Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* **107**: 1-128.
- BOBBINK, R., HORNUNG, M. & J. G. M. ROELOFS 1998: The effects of air-borne nitrogen pollutants on species diversity in natural and semi-natural European vegetation. – *Journal of Ecology* **86** (5), 717-738.
- BOLZ, R. & A. GEYER 2004 („2003“): Rote Liste gefährdeter Tagfalter (Lepidoptera: Rhopalocera) Bayerns. – *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* **166**, 215-220.
- BOLZ, R. & R. TANNERT 2009: *Eilema caniola* (HÜBNER, [1808]) (Weißgraues Flechtenbärchen) in Nordbayern: Umstände, mögliche Ursachen und Bedeutung für die Landesfauna dieses Erstfundes (Lepidoptera, Arctiidae, Lithosiinae). – *Nachrichten des entomologischen Vereins Apollo N.F.* **30** (1/2), 19-21.
- CARLSON, S. 1985: A double-blind test of astrology. – *Nature* **318** (6045), 419-425.
- CLARK, S. 2010: What's wrong with the sun? – *New Scientist* **2764**, 30-35.
- DE LATTIN, G. 196: *Grundriss der Zoogeographie*. – Gustav Fischer Verlag, Jena, 602 pp.
- DENK, T., NEUKUM, G., ROATSCH, T., PORCO, C. C., BURNS, J. A., GALUBA, G. G., SCHMEDEMANN, N., HELFENSTEIN, P., THOMAS, P. C., WAGNER, R. J. & R. A. WEST 2010: Iapetus: Unique surface properties and a global color dichotomy from CASSINI imaging. – *Science* **327** (5964), 435-439.
- DEWITTE, S., CROMMELYNCK, D., MEKAOUI, S. & A. JOUKOFF 2004: Measurement and uncertainty of the long-term total solar irradiance trend. – *Solar Physics* **224** (1-2), 209-216.

- DONOHUE, A. & D. S. BATTISTI 2011: Atmospheric and surface contributions to planetary albedo. – *Journal of Climate* **24** (16), 4402-4418.
- FEULNER, G. & S. RAHMSTORF 2010: On the effect of a new grand minimum of solar activity on the future climate on Earth. – *Geophysical Research Letters* **37**, L05707.
- FOUKAL, P., FRÖHLICH, C., SPRUIT, H. & T. M. L. WIGLEY 2006: Variations in solar luminosity and their effect on the Earth's climate. – *Nature* **443** (7108), 161-166.
- FRÖHLICH, C. & J. LEAN 2002: Solar irradiance variability and climate. – *Astronomische Nachrichten* **323** (3-4), 203-212.
- FRÖHLICH, C. & J. LEAN 2004: Solar radiative output and its variability: evidence and mechanisms. – *Astronomy and Astrophysics Review* **12** (4), 273-320.
- GAEDIKE, R. & W. HEINICKE 1999: Verzeichnis der Schmetterlinge Europas. – *Entomofauna Germanica*, Band **3**. – *Entomologische Nachrichten und Berichte, Beiheft* **5**, 216 pp.
- GLEISSBERG, W. 1944: A table of secular variations of the solar cycle. – *Terrestrial Magnetism and Atmospheric Electricity* **49** (4), 243-244.
- GOODE, P. R., QIU, J., YURCHYSHYN, V., HICKEY, J., CHU, M.-C., KOLBE, E., BROWN, C. T. & S. E. KOONIN 2001: Earthshine observations of the Earth's reflectance. – *Geophysical Research Letters* **28** (9), 1671-1674.
- GROTZINGER, J. & T. H. JORDAN 2010: *Understanding Earth*. 6th edition. – Freeman, New York, 654 pp.
- HAIGH, J. D., WINNING, A. R., TOUMI, R. & J. W. HARDER 2010: An influence of solar spectral variations on radiative forcing of climate. – *Nature* **467** (7316), 696-699.
- HASTORF, A. H. & H. CANTRIL 1954: They saw a game: A case study. – *Journal of Abnormal and Social Psychology* **49** (1), 129-134.
- HASZPRUNAR, G. 2009: Barcoding Fauna Bavarica - eine Chance für die Entomologie. – *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* **58** (1/2), 45-47.
- HAYS, J. D., IMBRIE, J. & N. J. SHACKLETON 1976: Variations in the Earth's orbit: Pacemaker of the ice ages. – *Science* **194** (4270), 1121-1132.
- HEINTZENBERG, J. & J. LUPP 2011: Wolken im Klimawandel. – *Spektrum der Wissenschaft* **2011** (7), 80-87.
- HELMHOLTZ-GEMEINSCHAFT (Hrsg.) 2012: *Regionaler Klimaatlas Deutschland*. – <http://www.regionaler-klimaatlas.de/> (Stand 01/2012).
- HERRICH-SCHÄFFER, G. A. W. & E. HOFMANN 1861: Ausbeute im Frühling 1861. – *Correspondenzblatt für Sammler von Insekten und Schmetterlingen* **2**, 139-141.
- 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. & W. WITTLAND 1997: *Praxishandbuch Schmetterlingsschutz*. – *LÖBF-Reihe Artenschutz* **1**, 1-286.
- HOFMANN, O. & G. A. W. HERRICH-SCHÄFFER 1854-55: Die Lepidopteren-Fauna der Regensburger Umgegend. – *Korrespondenz-Blatt des zoologisch-mineralogischen Vereines Regensburg* **8** (1854), 101-109, 113-114, 167-190; **9** (1855), 57-88, 133-149.
- HOLY, M., SCHMIDT, G. & W. SCHRÖDER 2011: Potential malaria outbreak in Germany due to climate warming: Risk modelling based on temperature measurements and regional climate models. – *Environmental Science and Pollution Research* **18** (3), 428-435.
- HOYT, D. V. & K. H. SCHATTEN 1998a: Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction. Part 1. – *Solar Physics* **179** (1), 189-219.
- HOYT, D. V. & K. H. SCHATTEN 1998b: Group sunspot numbers: A new solar activity reconstruction. Part 2. – *Solar Physics* **181** (2), 491-512.
- IMBRIE, J. & J. Z. IMBRIE 1980: Modelling the climatic response to orbital variations. – *Science* **207** (4434), 943-953.
- INSON, S., SCAIFE, A. A., KNIGHT, J. R., MANNERS, J. C., DUNSTONE, N. J., GRAY, L. J. & J. D. HAIGH 2011: Solar forcing of winter climate variability in the Northern Hemisphere. – *Nature Geoscience* **4** (11), 753-757.
- IMMLER, I. & M. BLASCHKE 2007: Forstschädlinge profitieren vom Klimawandel. – *LWF aktuell* **60**, 24-26.
- IPCC 2001: *Climate Change 2001: The Scientific Basis. Contribution of Working Group I to the Third Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – Cambridge University Press, Cambridge, New York, 881 pp.
- IPCC 2007a: *Climate Change 2007: The Physical Science Basis. Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*. – Cambridge University Press, Cambridge, New York, 996 pp.
- IPCC 2007b: *Climate Change 2007: Synthesis Report*. – Cambridge University Press, Cambridge, New York, 73 pp.
- KARL, T. R., HASSOL, S. J., MILLER, C. D. & W. L. MURRAY 2006: Temperature trends in the lower atmosphere: Steps for understanding and reconciling differences. – *Report by the U.S. Climate*

- Change Science Program and the Subcommittee on Global Change Research, Washington, DC, IX + 164 pp. – <http://www.climatechange.gov/Library/sap/sap1-1/finalreport/default.htm>.
- KIEHL, J. T. & K. E. TRENBERTH 1997: Earth's annual global mean energy budget. – *Bulletin of the American Meteorological Society* **78** (2), 197-208.
- KINZELBACH, R. 2011: Alles Klima – oder was? Faunendynamik zu Beginn des 21. Jahrhunderts. – *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* **60** (3/4), 93-96.
- KOLBECK, H., LICHTMANNECKER, P. & H. PRÖSE 2005: Neue und bemerkenswerte Funde von Kleinschmetterlingen aus Bayern (Insecta: Lepidoptera). – *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* **7**, 151-158.
- LETHMATE, J. 2000: Stickstoff-Regen. Ein globales Eutrophierungs-Experiment. – *Biologie in unserer Zeit* **35** (2), 108-117.
- LI, J., SCINOCCA, J., LAZARE, M., MCFARLANE, N., VON SALZEN, K. & L. SOLHEIM 2006: Ocean surface albedo and its impact on radiation balance in climate models. – *Journal of Climate* **19** (24), 6314-6333.
- LINDSAY, S. W. & C. J. THOMAS 2001: Global warming and risk of vivax malaria in Great Britain. – *Global Change & Human Health* **2** (1), 80-84.
- MATTHES, K. 2011: Atmospheric science: Solar cycle and climate predictions. – *Nature Geoscience* **4** (11), 735-736.
- MILANKOVIĆ, M. 1930: Mathematische Klimalehre und astronomische Theorie der Klimaschwankungen. – In: KÖPPEN, W. & R. GEIGER (Hrsg.): *Handbuch der Klimatologie*, Bd. 1: Allgemeine Klimalehre. – Berlin, Borntraeger, 178 S.
- MOTE, T. L. 2007: Greenland surface melt trends 1973-2007: evidence of a large increase in 2007. – *Geophysical Research Letters* **34**, L22507.
- PRÖSE, H., SEGERER, A. H. & H. KOLBECK 2004: Rote Liste gefährdeter Kleinschmetterlinge (Lepidoptera: Microlepidoptera) Bayerns. – *Schriftenreihe des Bayerischen Landesamtes für Umweltschutz* **166**, 233-267.
- RAPP, D. 2008: *Assessing climate change. Temperatures, solar radiation and heat balance.* – Springer Verlag, Heidelberg, Berlin, New York, 374 pp.
- RIEBEEK, H. 2010: Global warming. – <http://earthobservatory.nasa.gov/Features/GlobalWarming/> (Stand 3.6.2010).
- RIND, D. 2002: The sun's role in climate variability. – *Science* **296** (5568), 673-677.
- ROE, G. 2006: In defense of Milankovitch. – *Geophysical Research Letters* **33** (24), L24703.
- SCAFETTA, N. & B. J. WEST 2006: Phenomenological solar signature in 400 years of reconstructed northern hemisphere temperature record. – *Geophysical Research Letters* **33** (17), L17718.
- SHINDELL, D. T. 2005: An emissions-based view of climate forcing by methane and tropospheric ozone. – *Geophysical Research Letters* **32** (4), L04803.
- SCHMID, A. 1885-87: Die Lepidopteren-Fauna der Regensburger Umgegend mit Kelheim und Wörth. – *Correspondenz-Blatt des naturwissenschaftlichen Vereins Regensburg* **39** (1885), 21-46, 75-95, 97-135, 151-201; **40** ([1887] 1886), 19-58, 83-98, 101-224.
- SCHÖNFELDER, P. & A. BRESINSKY 1990: *Verbreitungsatlas der Farn- und Blütenpflanzen Bayerns.* – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart, 752 pp.
- SEGERER, A. H., NEUMAYR, L., PRÖSE, H. & H. KOLBECK 1994-95: Seltene und wenig bekannte „Kleinschmetterlinge“ der Regensburger Umgebung. – *Galathea* **10** (1994), 57-66, 83-102, 141-166; **11** (1995), 19-34, 61-90.
- SEGERER, A.H. 1997: Verifikation älterer und fraglicher Regensburger Lepidopterenmeldungen. – *Beiträge zur bayerischen Entomofaunistik* **2**, 177-265.
- SEGERER, A.H. 2008: Der Lindenminierfalter *Phyllonorycter issikii* (KUMATA, 1963) – ein wenig bekanntes Neozoon in Bayern (Lepidoptera: Gracillariidae). – *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* **57** (3/4), 75-78.
- SEGERER, A.H. & A. HAUSMANN (Hrsg.) 2011: *Die Großschmetterlinge Deutschlands. The Macrolepidoptera of Germany.* – Heterocera Press, Budapest, 308 pp.
- SEGERER, A. H., GRÜNEWALD, T. & A. HASLBERGER 2012: Bemerkenswerte Schmetterlingsfunde aus Bayern im Rahmen des Projekts *Barcoding Fauna Bavarica* (Insecta, Lepidoptera). – *Nachrichtenblatt der bayerischen Entomologen* **61** (1/2), 2-11.
- SETTELE, J., KUDRNA, O., HARPKE, A., KÜHN, I., VAN SWAAY, C., VEROVNIK, R., WARREN, M., WIEMERS, M., HANSPACH, J., HICKLER, T., KÜHN, E., VAN HALDER, I., VELING, K., VLIENGENTHART, A., WYNHOFF, I. & O. SCHWEIGER 2008: *Climatic risk atlas of European butterfly.* – *BioRisk* **1** (Special Issue), 710 pp.
- SPENCER, J. R. & T. DENK 2010: Formation of Iapetus' extreme albedo dichotomy by exogenically triggered thermal ice migration. – *Science* **327** (5964), 432-435.
- STOTT, P. A., JONES, G. S. & J. F. B. MITCHELL 2003: Do models underestimate the solar contribution to recent climate change? – *Journal of Climate* **16** (24), 4079-4093.

- SUTTON, J., ELIAS, T., HENDLEY, J. W. II & P. H. STAUFFER 2000: Volcanic air pollution – a hazard in Hawai'i. – U.S. Geological Survey Fact Sheet **FS 169-97**, online version 1.1 (Juni 2000), <http://pubs.usgs.gov/fs/fs169-97/>.
- TEDESCO, M., FETTWEIS, X., VANDEN BROEKE, M. R., VAN DE WAL, R. S. W., SMEETS, C. J. P. P., VAN DE BERG, W. J., SERREZE, M. C. & J. E. BOX 2011: The role of albedo and accumulation in the 2010 melting record in Greenland. – *Environmental Research Letters* **6** (1), 014005. doi:10.1088/1748-9326/6/1/014005.
- WARNECKE, G. 1961: Rezente Arealvergrößerungen bei Makrolepidopteren in Mittel- und Nordeuropa. – *Bonner zoologische Beiträge* **12**, 113-141.
- WIELICKI, B. A., WONG, T. M., LOEB, N., MINNIS, P., PRIESTLEY K. & R. KANDEL 2005: Changes in Earth's albedo measured by satellite. – *Science* **308** (5723), 825-825.
- WILLIAMS, D.R. 2010: Earth fact sheet. – <http://nssdc.gsfc.nasa.gov/planetary/factsheet/earthfact.html> (Stand 17.11.2010).
- WILLSON, R. C. & A. V. MORDVINOV 2003: Secular total solar irradiance trend during solar cycles 21-23. – *Geophysical Research Letters* **30** (5), 1199.
- WMO = World Meteorological Organization (Hrsg.) 2011: The state of greenhouse gases in the atmosphere based on global observations through 2010. – *WMO Greenhouse Gas Bulletin* **7** (21 November 2011), 1-4.
- WOLF, W. & H. HACKER 2004 („2003“): Rote Liste gefährdeter Nachtfalter (Lepidoptera: Sphingae, Bombycines, Noctuidae, Geometridae) Bayerns. – *Schriftenreihe. Bayerisches Landesamt für Umweltschutz* **166**, 221-231.

Anschrift des Verfassers:

Dr. Andreas H. SEGERER
 Abt. Entomologie, Sektion Lepidoptera,
 Zoologische Staatssammlung
 Münchhausenstr. 21, D-81247 München
 E-Mail: Andreas.Segerer@zsm.mwn.de

Kurze Mitteilungen

Beobachtungen an *Papilio machaon* L.

(Lepidoptera: Papilionidae)

Konrad WETZEL

Dieser Fürst unserer heimischen Falter kommt im Albvorland immer wieder vor. Zu meiner größten Überraschung sah ich am 13. 7. 2010 in der Innenstadt Göppingens (Baden-Wuerttemberg, Lkr. Göppingen) einen Schwalbenschwanz kreisen, obgleich nur einige Meter entfernt eine Hauptverkehrsader vorbeiführt. Mit Sicherheit trifft man den Schwalbenschwanz jedoch nur auf dem Hohenstaufen (684 m) bei Göppingen an. Einmal entdeckte ich auch auf einer Albwanderung zwei Schwalbenschwänze, die nur von mattgelber Färbung, dafür aber überdurchschnittlicher Größe waren.

Vor Jahren schon studierte ich das Buch „Butterflies on my Mind“ von Dulcie GRAY (1978, Book Service Ltd.), welches die Tagfalterfauna Englands schildert. Dem Werk entnahm ich, dass der englische Schwalbenschwanz, obgleich derselben Art wie unserer, allerdings einer anderen geographischen Rasse zugehörig, nur in Mooren existieren kann. Auch in hiesigen Landen habe ich in Mooren des Bodenseeraumes Schwalbenschwänze gesehen.

Was die für einen Tagfalter auffallend bunte Raupe angeht, so fand ich diese ausschließlich an Wilder- und Gartenmöhre, obgleich die Fachliteratur eine ganze Reihe von Futterpflanzen anführt. Mit Gartenmöhren konnte ich die Raupen problemlos heranziehen, Ausfälle gab es bei einigen der Puppen durch Schlupfwespen.

Bei von mir im Sommer durchgeführten Zuchten erhielt ich nach ca. vierzehntägiger Puppenruhe die Falter, während bei Herbstzuchten die Falter erst im Mai des folgenden Jahres schlüpfen.

Anschrift des Verfassers:

Konrad WETZEL, Abt. L, Christophsheim, Faurndauerstr. 6-10, D-73035 Göppingen