Abbildung 1
Die Raupen des Hochmoorgelblings sind auf ihre Futterpflanze, die Rauschbeere, angewiesen. Hier schaben sie die Oberfläche der jungen Blättern ab (Foto: Büro Geyer und Dolek).

Matthias Dolek, Anja Freese-Hager, Maria Georgi, Markus Bräu, Peter Poschlod und Christian Stettmer

Der Hochmoorgelbling (*Colias palaeno*) – das Mikroklima der Larvallebensräume ist entscheidend für sein Überleben

Aufgrund starker Rückgänge des Hochmoorgelblings (*Colias palaeno*) wurden detaillierte Studien durch die ANL initiiert, um die Ursachen dafür aufzudecken. Neben vielen anderen Zusammenhängen stellte sich insbesondere die Mortalität der jungen Raupen vor der Überwinterung als entscheidender Faktor heraus. Wenn die alleinige Raupennahrung, die Rauschbeere, über lebenden Torfmoospolstern wuchs, überlebten deutlich mehr Raupen als wenn der Untergrund durch andere Moose oder Streu dominiert war, wo viele Raupen vor allem in warmen, trockenen Sommern nicht bis zur Überwinterung überlebten. Dies weist auf mikroklimatische Einflüsse hin. Es deuten sich verschiedene Wirkpfade an, die zu ungünstigen Bedingungen für den Hochmoorgelbling führen. Neben dem verstärkten Auftreten besonders warmer und trockener Sommer sind dies auch Veränderungen im Ökosystem mit potenziell stärkerer Austrocknung und vermehrtem Gehölzaufwuchs.

Biologie des Hochmoorgelblings

Der Hochmoorgelbling (*Colias palaeno*) ist eine Tagfalterart, die eine Generation pro Jahr hervorbringt. Die Flugzeit ist relativ variabel und umfasst über die Jahre den Zeitraum von Ende Mai bis Anfang August. Während dieser Zeit legen die Weibchen ihre Eier an die Blätter der Rauschbeere (*Vaccinium uliginosum*) nahe der Triebspitzen ab. Die Raupe schlüpft nach 1–3 Wochen und beginnt, die Blätter zu fressen, indem sie sie von der Ober-

seite her abschabt. Die Art ist monophag, frisst als Raupe also nur an einer Pflanzenart, der Rauschbeere (vergleiche auch Anwander et al. 2013). Von über tausend eigenen Beobachtungen von Eiern oder Raupen gab es als Ausnahme lediglich eine Eiablagebeobachtung und eine fressende Raupe jeweils an Rosmarinheide (*Andromeda polifolia*). Im gleichen Jahr wird über mehrere Häutungen maximal das 3. Larvenstadium erreicht; danach gehen die Raupen, zum Teil schon ab Anfang August, in die Überwinterung. Bekannt ist die Überwinterung auf einer Gespinstmatte auf tiefer gelegenen Blättern der Rauschbeere, viele Raupen wandern aber auch von der Pflanze ab. Im nächsten Frühjahr erscheinen die Raupen wieder und fressen an den sich entwickelnden Knospen der Rauschbeere und später an den jungen Blättern. Nach dem 5. Larvenstadium erfolgt ab etwa Mai die Verpuppung, meist an Zweigen. Die Raupen vollziehen den Hauptteil ihres Größenwachstums im Frühjahr, wenn sie an den Knospen und jungen Blättern fressen.

Rückgang des Hochmoorgelblings in Bayern

Der Hochmoorgelbling war in den Mooren des bayerischen Alpenvorlandes in den letzten Jahrzehnten regelmäßig und teilweise auch in großen Populationen vertreten (vergleiche auch Anwander et al. 2013). Spätestens seit dem Jahr 2005 stellten jedoch verschiedene Schmetterlingskundler fest, dass ehemals gut besetzte Standorte verwaist oder massive Einbrüche zu verzeichnen waren. Dies ergaben unter anderem Indikatorerfassungen von 2005/06 durch Bräu und Schwibinger in den Mooren um Dietramszell und in den Kendlmühlfilzen (Anwander et al. 2005, 2006). Eine genaue zeitliche Einordnung der Rückgänge ist nicht möglich, da im genannten Zeitraum keine regelmäßigen Bestandskontrollen in den betroffenen Gebieten erfolgten. In den Kendlmühlfilzen wurde eine entsprechende Tendenz allerdings gebietsweise schon seit etwa 2000 dokumentiert. In einigen detaillierter bekannten Fällen waren die Rückgänge nicht erklärbar, da keine offensichtlichen Lebensraumveränderungen zu erkennen waren.

Zum Glück war Anfang der 1990er-Jahre (1990–1992) eine umfassende Bestandserfassung des Hochmoorgelblings durchgeführt worden (Anwander et al. 1992). Damals wurden 416 Moore untersucht und in 316 Mooren Vorkommen festgestellt. Da in dieser Arbeit nicht alle potenziellen Standorte kontrolliert werden konnten, kamen in den Folgejahren weitere Funde dazu. Es zeigte sich, dass die Art in den Moorgebieten des Bayerischen Alpenvorlandes gut repräsentiert war (Daten in der LfU-Datenbank „Artenschutzkartierung [ASK]“ hinterlegt). Von 2006 bis 2008 erfolgte eine erneute Kartierung von alten ASK-Fundorten mit dem Ergebnis, dass nur noch zirka 50 % aller untersuchten Vorkommen existieren. Ein ähnlich starker Rückgang von Vorkommen ergibt sich, wenn man die Daten auf die 228 Fundorte einschränkt, die auch bereits 1990–1992 erfasst worden waren (52,6 % existieren noch). Dies bestätigte also den oben dargestellten Verdacht vieler Schmetterlingskundler, dass „etwas nicht stimmt“.

Gründe für den Rückgang

Zur möglichen Erklärung des Rückgangs wurden verschiedene Hypothesen zusammengetragen und formuliert:

1. **Entwässerung und Austrocknung:** Störungen im Wasserhaushalt durch Entwässerungen sind in den Moorgebieten des bayerischen Alpenvorlandes weit verbreitet. Kurzfristig profitiert die Raupennahrungspflanze des Hochmoorgelblings von moderater Entwässerung, sodass vorübergehend gute Entwicklungsbedingungen entstehen können. Langfristig wird der Austrocknungseffekt jedoch auch in solchen Fällen negativ wirksam (Gehölzanflug, Beschattung der Rauschbeere) und kann zu starken Rückgängen der Falterpopulationen führen. Dieser seit längerem erkannte Gefährdungsfaktor vermag jedoch den simultanen Rückgang innerhalb weniger Jahre in sehr vielen Mooren alleine nicht zu erklären.

2. **Nährstoffeintrag**: Insbesondere der Nährstoffeintrag durch Luft und Wasser führt oft zu Habitatänderungen und Verbuschungen, die die Biotope als Lebensraum für viele Arten untauglich machen. Auch viele ehemalige Habitate des Hochmoorgelblings sind zugewachsen. An vielen (ehemals) besiedelten Standorten sind jedoch kaum Veränderungen offensichtlich erkennbar, sondern treten erst durch eine genauere Analyse zutage.

3. **Nutzungsänderungen**: Auch die Moore unterliegen einer ständigen Nutzung durch den Menschen und einem Nutzungswandel, der eventuell erst langfristig zu beobachtbaren Effekten führt. Jenseits der Entwässerungen sind die Nutzungseinflüsse jedoch heterogen und teilweise nur punktuell. Viele Nutzungen wurden inzwischen weitgehend aufgegeben. Ein gleichartiger Einfluss, der zu den simultanen Rückgängen führt, erscheint vor diesem Hintergrund unwahrscheinlich.

4. **Klimawandel**: Die in jüngster Vergangenheit gehäuft auftretenden warmen Jahre beziehungsweise eher ozeanisch getönte Winter könnten negative Auswirkungen auf den Hochmoorgelbling haben. An verschiedenen Stellen im Lebenszyklus könnten veränderte Klimabedingungen zu Problemen führen. Besonders naheliegend scheint dies bei der Überwinterung (zu feucht aufgrund fehlenden Frosts beziehungsweise zu sehr den kalten Wintertemperaturen ausgesetzt aufgrund fehlender Schneedecke) und bei der Jungraupenentwicklung (zu lufttrocken aufgrund fehlender Niederschläge) zu sein. Auch ein Extremereignis wie der heiße Sommer 2003 könnte als Singularität zu einem massiven Einbruch der Populationen geführt haben. Für diese Hypothese müssen also zwei Typen berücksichtigt werden: (A) die veränderte Allgemeinsituation und (B) Extremereignisse.

5. **Strukturveränderungen an Raupennahrung und deren Umfeld**: Schon unauffällige Veränderungen an den Rauschbeeren, der umgebenden Vegetation und des Untergrundes sowie der Moosschicht könnten für den Hochmoorgelbling von größter Bedeutung sein. Höhe und Alter der Pflanzen oder eine veränderte Vitalität könnten die Eignung als Raupennahrung beeinflussen. Auch die Art des Unterwuchses/Bodensubstrats könnte für die Überwinterung von Bedeutung sein. Als Auslöser hierfür kommen wiederum die genannten Faktoren beziehungsweise deren Zusammenwirken in Betracht, sie wirken aber indirekt auf die Raupen. Derartige indirekte Auswirkungen treten bei Schmetterlingen häufig auf.

6. **Mangel an Nektarquellen**: Der Hochmoorgelbling wird häufig bei der Nektaraufnahme beobachtet, daraus wird geschlossen, dass er als Falter einen hohen Nahrungsbedarf hat. Veränderungen in der Landschaft, insbesondere durch Intensivierung in der Landwirtschaft, führen zu einem geringeren Nektarangebot, das im Extremfall einen Mangelfaktor darstellen könnte.

7. **Krankheiten, Parasiten, Parasitoiden und Räuber**: Die Einführung neuer Krankheiten, Parasiten, Parasitoiden, Räuber oder Konkurrenten beziehungsweise die Förderung bereits vorhandener Gegenspieler durch veränderte Rahmenbedingungen könnten ebenfalls den Bestandsrückgang verursacht haben. Derartige Wechselbeziehungen sind insbesondere dann zu erwarten, wenn veränderte Bedingungen herrschen oder neue Arten auftreten.

8. **Zusammenbruch des Biotop-/Populationsverbundes und Isolation**: Häufig können Einzelpopulationen nur im Biotopverbund überleben (Metapopulationstheorie). Bei zunehmender Isolation kann es zu einem plötzlichen Zusammenbruch der verbliebenen (Rest-)Populationen kommen. Auch Effekte der genetischen Verarmung sind in diesem Zusammenhang denkbar. Voraussetzung ist, dass es bereits Rückgänge aus anderen Gründen gab, die den Populationsverbund verschlechtert haben, sodass ein verschlechterter Biotopverbund zu einer Verstärkung von Rückgängen führt.

9. **Kombinationswirkungen aus den Hypothesen 1. bis 8.**: Viele der oben aufgeführten potenziellen Rückgangsursachen können sich gegenseitig bedingen und dadurch in ihrer Wirkung verstärken. Zum Beispiel kann der Klimawandel (Hypothese 4) zu Strukturveränderungen an der Raupennahrung (Hypothese 5) oder einer Zunahme und Ausbreitung von Parasiten (Hypothese 7) führen. Zahlreiche weitere Kombinationen sind denkbar.

Im Folgenden und bei Poschlod et al. (in Vorbereitung) werden diese Hypothesen aufgegriffen und in unterschiedlicher Detailschärfe mit Daten hinterlegt und betrachtet.

Verbreitungsmuster des Rückgangs

Die räumliche Verteilung der erloschenen beziehungsweise noch existenten Vorkommen zeigt auf den ersten Blick ein deutliches Muster: Im östlichen Teil des bayerischen Alpenvorlandes (Inn-Chiemsee-Hügelland, Salzach-Hügelland) sind die Rückgänge besonders eklatant, hier wurde ein großräumiges Aussterben beobachtet. Aber auch im nördlichen Teil des Ammer-Loisach-Hügellandes sind großräumig viele Vorkommen erloschen. Weiter westlich steigt dagegen der Anteil der Vorkommen, die noch existieren, ohne dass eine klare räumliche Trennung von erloschenen Vorkommen festgestellt werden kann.

Die Höhenlage der Vorkommen ist mit diesem Verteilungsmuster eng verbunden: In niedrigen Höhenlagen ist die Art deutlich häufiger verschollen als in größeren Höhen (vergleiche Abbildung 2). Von den Vorkommen unter 600 m sind 80 % erloschen, von den Vorkommen zwischen 600 m und 800 m 50 %, von den Vorkommen zwischen 800 m und 1.000 m 40 % und von den Vorkommen über 1.000 m lediglich 20 %. Der Verdacht auf einen Einfluss des Klimawandels war damit besonders naheliegend. Die weiteren Untersuchungen zeigten jedoch, dass die Zusammenhänge deutlich komplexer sind.

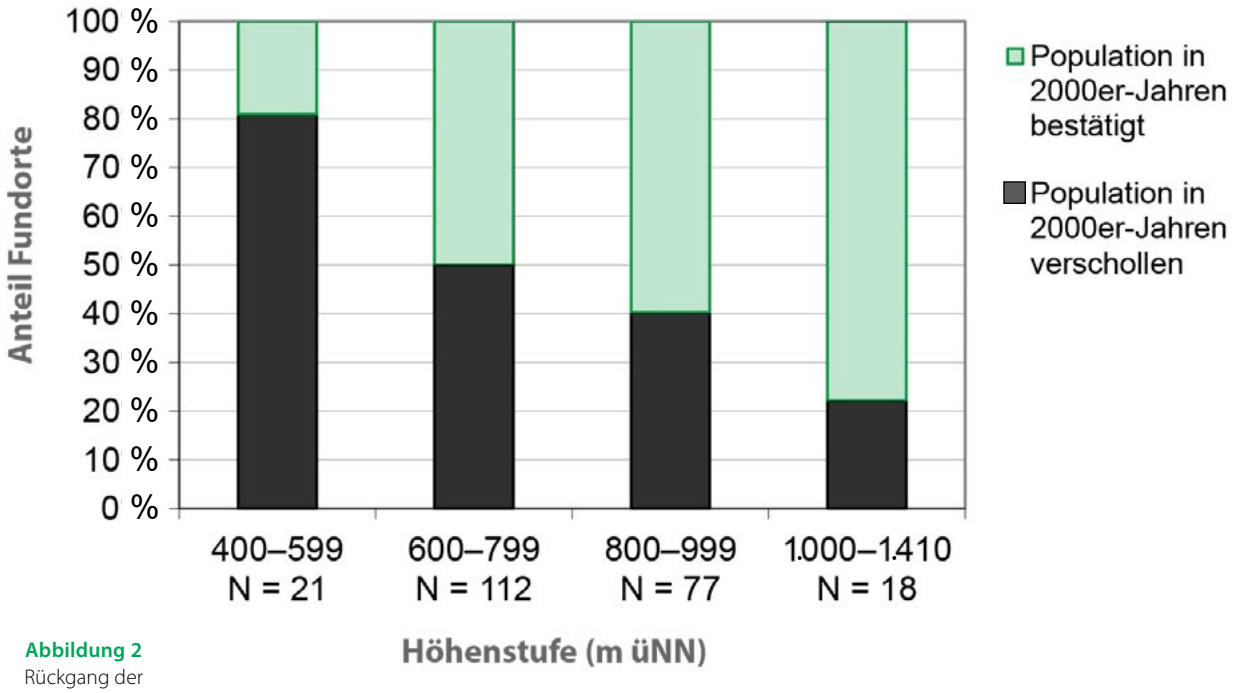


Abbildung 2
Rückgang der Populationen in Abhängigkeit von der Höhenlage. Untersucht wurden 228 Populationen 1990 bis 1992 und 2006 bis 2008. Spearman Rangkorrelation: N = 228 R = 0,33 P < 0,001.

Weitere Muster in den Daten betreffen den Biotopverbund der tiefer gelegenen Fundorte (< 800 m), also der vom Rückgang besonders betroffenen Standorte: Das Aussterberisiko ist mit 80 % besonders groß, wenn der nächste Nachbarfundort weiter als 4 km entfernt ist. Wenn der nächste Fundort jedoch näher als 2 km liegt, beträgt das Aussterberisiko nur 50 %.

Bei den höher gelegenen Fundorten (> 800 m) kommt der Vernetzung der Populationen keine signifikante Bedeutung zu, hier spielt dagegen die Größe des Einzelstandorts eine gewisse, jedoch schwächer ausgeprägte Rolle, eventuell da hoch gelegene Moorgebiete tendenziell kleiner sind.

Untersuchungsflächen für Detailerfassungen

Da hier über mehrjährige Untersuchungen berichtet wird, die wiederholt auf bereits erzielten Ergebnissen aufbauten, ergaben sich bei verschiedenen Detailfragestellungen auch unterschiedliche Untersuchungsflächen. Zum besseren Verständnis soll hier ein Überblick der im vorliegenden Artikel erwähnten Flächen gegeben werden (Tabelle 1, Abbildung 3).

Die Bedeutung von Nektarquellen

Der Hochmoorgelbling ist häufig bei ausgiebiger Nektaraufnahme zu beobachten, daher wird ein hoher Nektarbedarf angenommen. Da im Hochmoor als Larvalhabitat weitgehend Blütenarmut herrscht, ist die Art auf angrenzende blütenreiche Standorte angewiesen. Die Imagines verlassen daher zur Nektaraufnahme das Larvalhabitat. Die Art wird deshalb als Biotopkomplex-Bewohner bezeichnet (Weidemann 1986). Dabei zeigen die Falter keine besondere Blütenpräferenz, Korbblüter scheinen aber am häufigsten genutzt zu werden (Ebert & Rennwald 1993; Foltin 1955; Grüneberg 2003; Weidemann 1989, 1995). Dies bestätigen auch eigene Beobachtungen.

Gehen jedoch Nektarquellen wie benachbarte, blütenreiche Grundwassermoore, Störstellen im Randbereich der Regen- und Übergangsmoore und Disteln an Weg- und Waldrändern verloren, so sind auch die Individuenzahlen des Falters rückläufig (Ebert & Rennwald 1991; Meineke 1982). Solche Effekte sind im Freiland kaum direkt nachweisbar, die Aussagen beruhen in der Regel auf allgemeinen Geländeerfahrungen. An den untersuchten Standorten (vergleiche Tabelle 1) waren jedoch immer Nektarquellen in erreichbarer Nähe vorhanden, allerdings nicht immer „blütenreiche Grundwassermoorbereiche". Vielmehr sind auch Wegränder, Waldsäume und Störstellen als Nahrungshabitate wertvoll. Insgesamt ergaben unsere Beobachtungen keine deutlichen Hinweise, dass fehlende Nektarquellen für das großräumige Erlöschen vieler Vorkommen verantwortlich sind. Allerdings bleibt bei Einzelfällen der Verdacht bestehen, dass fehlende Nektarquellen eine Rolle beim Erlöschen gespielt haben könnten (zum Beispiel im Schönramer Filz). Zu den großräumigen Rückgängen tragen sie jedoch vermutlich kaum bei.

Standort	Landkreis	Untersuchungen
Schemerfilz	Bad Tölz-Wolfratshausen	Larvaluntersuchungen, Mikroklima, Kamerabeobachtung
Winkelfilz	Bad Tölz-Wolfratshausen	Larvaluntersuchungen
Moor beim Weiler Kirchseemoor	Bad Tölz-Wolfratshausen	Larvaluntersuchungen
Weihermoos	Ostallgäu	Larvaluntersuchungen, Mikroklima, Kamerabeobachtung
Breites Moos	Landsberg/Lech	Larvaluntersuchungen
Murnauer Moos, mehrere Teilgebiete	Garmisch-Partenkirchen	Einzelfall, Verbreitung und Höhenlage
Bernrieder Filz	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Oberhauser Ried	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Habitat bei Burggen/Dessau	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Moor bei Bernbeuren	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Schöffauer Moor	Garmisch-Partenkirchen	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Schweinfilz	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Auf der Schaar, westlich Grasleiten	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Sackfilz	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Moor bei Birkland	Weilheim-Schongau	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Kreuzbichl Nord Reute	Oberallgäu	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Tiefenberger Moos	Oberallgäu	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums
Stucksdorfer Moos	Rosenheim	Überprüfung der Qualität des Larvallebensraums

Tabelle 1
Übersicht der im Artikel erwähnten Untersuchungsgebiete und der dort erfolgten Untersuchungen.

Hohe Raupenmortalität an trockenen Standorten

Zum besseren Verständnis der Reproduktion des Hochmoorgelblings haben wir im Freiland den gesamten Entwicklungszyklus näher untersucht. Überraschenderweise konnte gleich im ersten Jahr ein deutlicher Unterschied in der Überlebensrate der Eier und Jungraupen bis zur Überwinterung in Abhängigkeit von kleinräumigen Standortbedingungen festgestellt werden: Wenn die Rauschbeere über Torfmoos- oder dichten Moos-Torfmoos-Beständen wächst („feuchte Standorte"), haben die Raupen eine deutlich bessere Chance zu überleben, als wenn die Rauschbeere über eher Trockenheit ertragenden Moosen (zum Beispiel Rotstängelmoos, *Pleurozium schreberi)* oder gar über Streu und offenem Torf wächst („trockene Standorte"). Für die Rauschbeere sind die letzteren Bedingungen zwar besser, sie wird dort höher und kräftiger, dies nutzt aber offensichtlich den Raupen nichts. Der Effekt war in seiner Stärke so überraschend, dass wir ihn im Folgejahr nochmals überprüften und ihn wiederum bestätigt sahen: An drei Untersuchungsflächen in zwei Untersuchungsjahren lag die Überlebensrate bis zum dritten Larvenstadium an feuchten Standorten insgesamt bei 18,3 %, an trockenen Standorten dagegen lediglich bei 2,3 % (vergleiche Abbildung 4). Diese Überlebensrate an feuchten Standorten liegt in einer typischen Größenordnung, wie sie zum Beispiel auch von Hayes (1981) für *Colias alexandra* gefunden wurde (Überlebensrate von Ei bis junge L3: 21,7 % +/- 7,7 %; Überlebensrate von Ei bis L3, die erfolgreich in Diapause geht: 9,9 % +/- 3,0 %). Die beobachtete Überlebensrate an trockenen Standorten ermöglicht dagegen keinen langfristigen Fortbestand der Population.

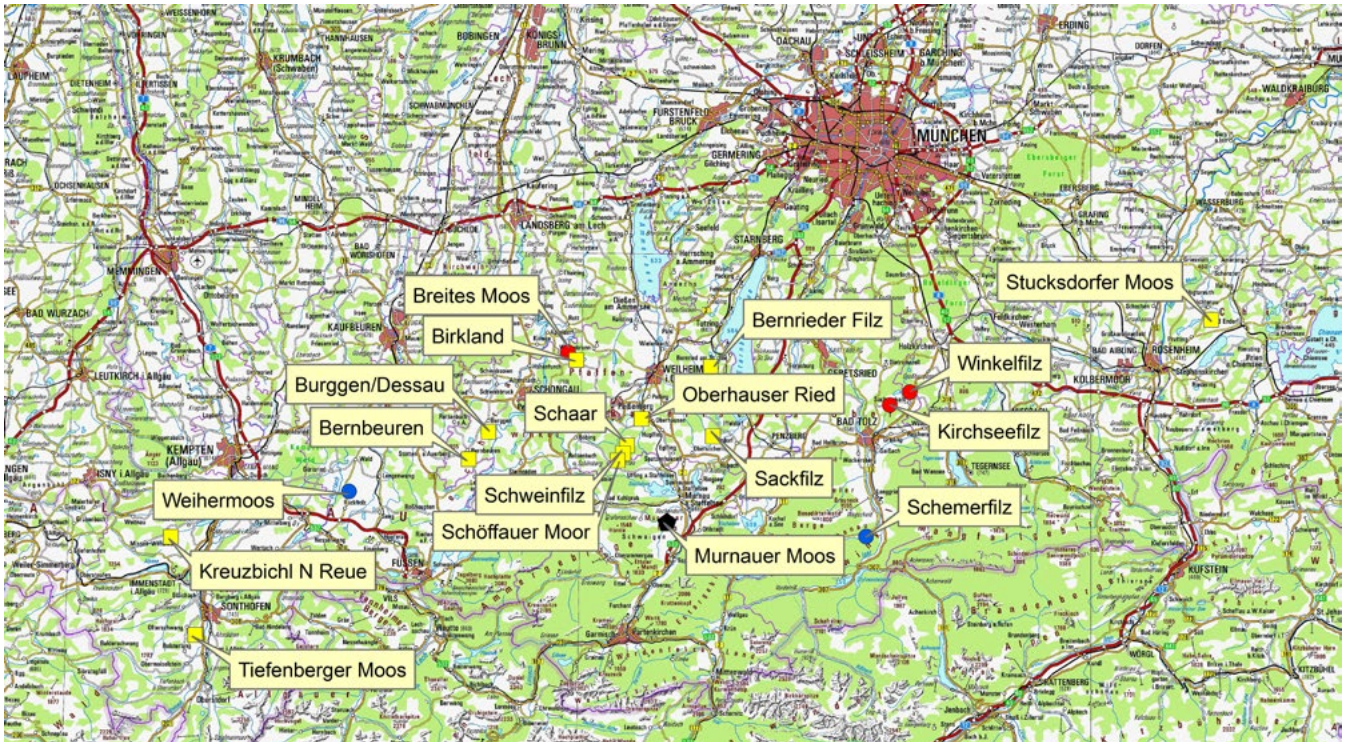


Abbildung 3
Übersicht zur Lage der im Artikel erwähnten Untersuchungsgebiete

Signatur:
Schwarz: Einzelfall

Blau: Larvaluntersuchung, Mikroklima, Kamerabeobachtung

Rot: Larvaluntersuchung

Gelb: Qualität des Larvallebensraumes

(Hintergrundkarte: Geobasisdaten: © Bayerische Vermessungsverwaltung).

Ein gleichgerichteter, aber deutlich schwächerer Unterschied in der Mortalität ergab sich während der Überwinterung: An feuchten Standorten war im Frühjahr die Wahrscheinlichkeit, dass die Raupen wieder erschienen, höher als an trockenen Standorten.

Nachdem wir zu allen Entwicklungsstadien Überlebensraten erarbeitet hatten, erstellten wir Lebenstafeln (Abbildung 4). Darin wird die Anzahl an Eiern dargestellt, die nötig sind, damit daraus zwei lebende Falter schlüpfen. An feuchten Standorten sind dies zirka 50 Eier (41–63, je nach Berechnung), an trockenen Standorten über 500 Eier! Nach Bink (1992) beträgt die maximale Eizahl pro Weibchen etwa 150 Eier. Damit wird deutlich, dass ein Überleben der Population nur auf feuchten Standorten möglich ist.

Gegenspieler und Konkurrenten

Während der zahlreichen Erfassungen im Gelände und den zusätzlichen umfangreichen Kamerabeobachtungen konnten nur in wenigen Einzelfällen Gegenspieler beobachtet werden. Sie scheinen keine generelle Bedeutung zu haben. Unter trockenen Wuchsbedingungen wurde allerdings ein massives Auftreten eines Konkurrenten, des Wicklers *Rhobopota myrtillana*, wiederholt festgestellt. Dieser Wickler scheint von den trockenen Bedingungen im Moor zu profitieren; passend dazu ist er auch häufig auf anderen, trockener wachsenden *Vaccinium*-Arten nachgewiesen.

Effekt des Klimawandels

Aufgrund des deutlichen geografischen und höhenbedingten Musters der erloschenen Vorkommen, war der Klimawandel als „Schuldiger" für das Erlöschen der Vorkommen besonders verdächtig. Aber wie sollte er auf den Hochmoorgelbling wirken? Eine naheliegende Erklärung wären Effekte während der Überwinterung: Die fehlende Schneedecke könnte bei Kälteeinbrüchen zu Frostschäden führen, da die Raupen nicht mehr unter der ausgleichenden Schneedecke verborgen sind. Ein anderer möglicher Effekt wäre die Schädigung der Raupen durch zu hohe Wintertemperaturen (> 0 °C). Unsere Untersuchungen zur Überwinterung und Kältetoleranz zeigten jedoch, dass die Raupen sehr tiefe Temperaturen ertragen und nicht einfrieren (-25 bis -27 °C) und eine Überwinterung bei + 5°C im Vergleich zu natürlichen Bedingungen zu keinen Schäden bei den Raupen führte (Vrba et al. 2014). Allerdings wird vermutet, dass wechselnde Temperaturbedingungen durch den wiederholten Auf- und Abbau des Frostschutzes zu Energieverlusten führen (Vrba et al. 2017). Damit könnte eine erhöhte Mortalität durch stärkere winterliche Temperaturschwankungen auftreten, eine große Bedeutung konnte aufgrund der Überlebensraten an feuchten Standorten nicht gefunden werden (Abbildung 5).

Hat der Klimawandel in all seinen Facetten nun gar keinen Effekt? Wir haben oben gezeigt, dass

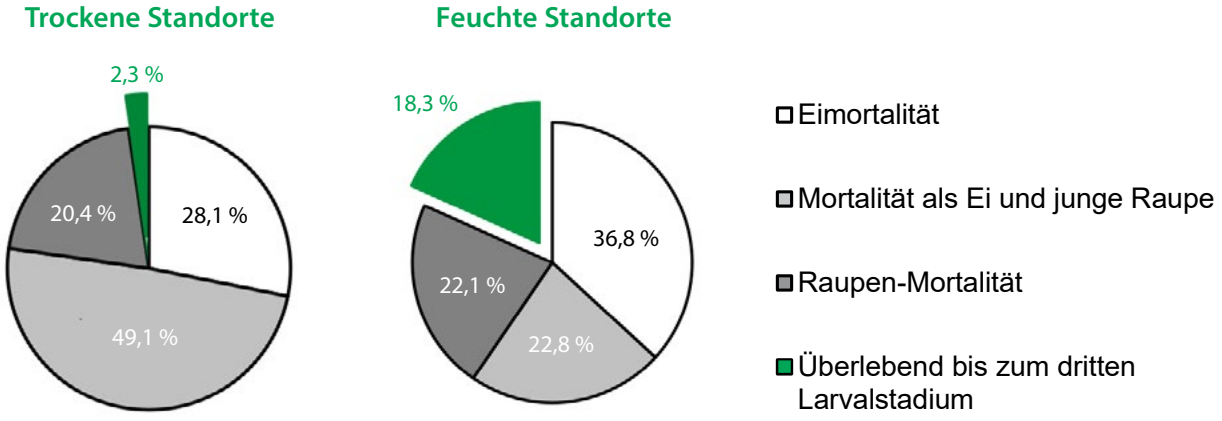


Abbildung 4
Mortalität der Entwicklungsstadien an trockenen und feuchten Standorten. Datengrundlage: 3 Untersuchungsflächen, 2 Jahre, N (trockene Standorte) = 104, N (feuchte Standorte) = 273. Nicht bei allen Individuen konnte die Mortalität exakt Ei- oder Raupenstadium zugeordnet werden, daher gibt es auch eine kombinierte Kategorie.

an den beschriebenen „trockenen Standorten" die Mortalität der Raupen bis zur Überwinterung so hoch ist, dass ein Fortbestand der Population nicht möglich ist. Kann es sein, dass recht plötzlich und simultan im ganzen bayerischen Alpenvorland die Standorte für geeignete Rauschbeeren unbrauchbar wurden? In nahezu allen Mooren ist der Wasserhaushalt durch Entwässerungen verändert. Dies ist für die Rauschbeere oft erstmal positiv, da sie in einem lebenden, wachsenden Hochmoor nur wenige Stellen findet, wo sie wachsen kann. Die Torfmoosbestände sind dort mehrheitlich zu feucht. Erst im Übergang etwa von trockenen Gehölzrändern zur eigentlichen Moorfläche tritt die Rauschbeere auf, ist aber im feuchten Teil des Standortgradienten bestenfalls sehr kleinwüchsig.

Mit dem Klimawandel wurden die Standorte der Rauschbeeren in den vorentwässerten Mooren vielleicht so trocken, dass sie vom Hochmoorgelbling nicht mehr erfolgreich für die Reproduktion genutzt werden können. Alternativ könnten sich, durch den Klimawandel bedingt, in den letzten Jahren Wetterbedingungen gehäuft haben, die für die Reproduktion an den Rauschbeeren auf vorentwässerten Standorten ungünstig waren. Dieser Effekt müsste reversibel sein, wenn ein günstigerer Wetterverlauf in einem Jahr dem schädigenden Einfluss entgegenwirkt. Und genau diese Beobachtung ergab sich 2014, als wir unter anderem mit Kamerabeobachtungen versuchten, im Rahmen einer Masterarbeit herauszuarbeiten, woran die Raupen jeweils sterben (Georgi 2015). Es wurden zwei Untersuchungsgebiete der Vorjahre gewählt und wiederum Eier und Raupen auf feuchten und trockenen Standorten verglichen. Als Basis wurde überprüft, ob sich die Mortalitätsrate beider Standorttypen in ähnlicher Weise wie in den Vorjahren unterscheidet: Zu unserer Überraschung war dies nicht der Fall! Im Weihermoos (Ostallgäu) überlebten an feuchten Stellen 16,3 % der Raupen, an trockenen Stellen 10,8 %; dieser Unterschied ist nicht statistisch signifikant (Georgi 2015).

Im zweiten Untersuchungsgebiet Schemer Filz (Bad Tölz-Wolfratshausen) wurde die Überlebenswahrscheinlichkeit überall durch ein Hagelereignis auf zirka 5 % gedrückt, dieser Standort ist daher für Vergleiche nicht geeignet. Eine Auswertung der Wetterdaten von Hohenpeißenberg (Deutscher Wetterdienst) ergab, dass der in Bezug auf die Larvalentwicklung relevante Zeitraum des Sommers 2014 im Vergleich zu den vorangegangenen Untersuchungsjahren von einer stärkeren Bewölkung und kürzeren Sonnenscheindauer geprägt war. Somit gab es auch weniger Tage mit relativ langer Besonnung (vergleiche Abbildung 6 und 7). Weiterhin war der Sommer deutlich kühler, es gab weniger Tage mit Maximaltemperaturen von über 20 °C beziehungsweise 25 °C. Damit kamen auch weniger Tage mit hohen Temperaturdifferenzen vor.

Der Lebensraum im Hochmoor: Veränderungen

Ob die Qualität des Larvallebensraumes für das Erlöschen der Populationen des Hochmoorgelblings verantwortlich ist, wurde im Jahr 2012 in zwölf weiteren Mooren (Tabelle 1) überprüft. An fünf der untersuchten Standorte konnte der Hochmoorgelbling nicht mehr nachgewiesen werden, an drei Standorten davon lieferte die Trockenheit zumindest eine Teil-Erklärung, an vier Standorten war die Gehölzentwicklung mehr oder weniger problematisch. Auch in den Lebensräumen der meisten noch bestehenden Vorkommen war die Gehölzentwicklung problematisch. Dies äußerte sich insbesondere darin, dass zum Beispiel Kiefern aufkamen und einen starken Längenzuwachs aufwiesen (zum Teil

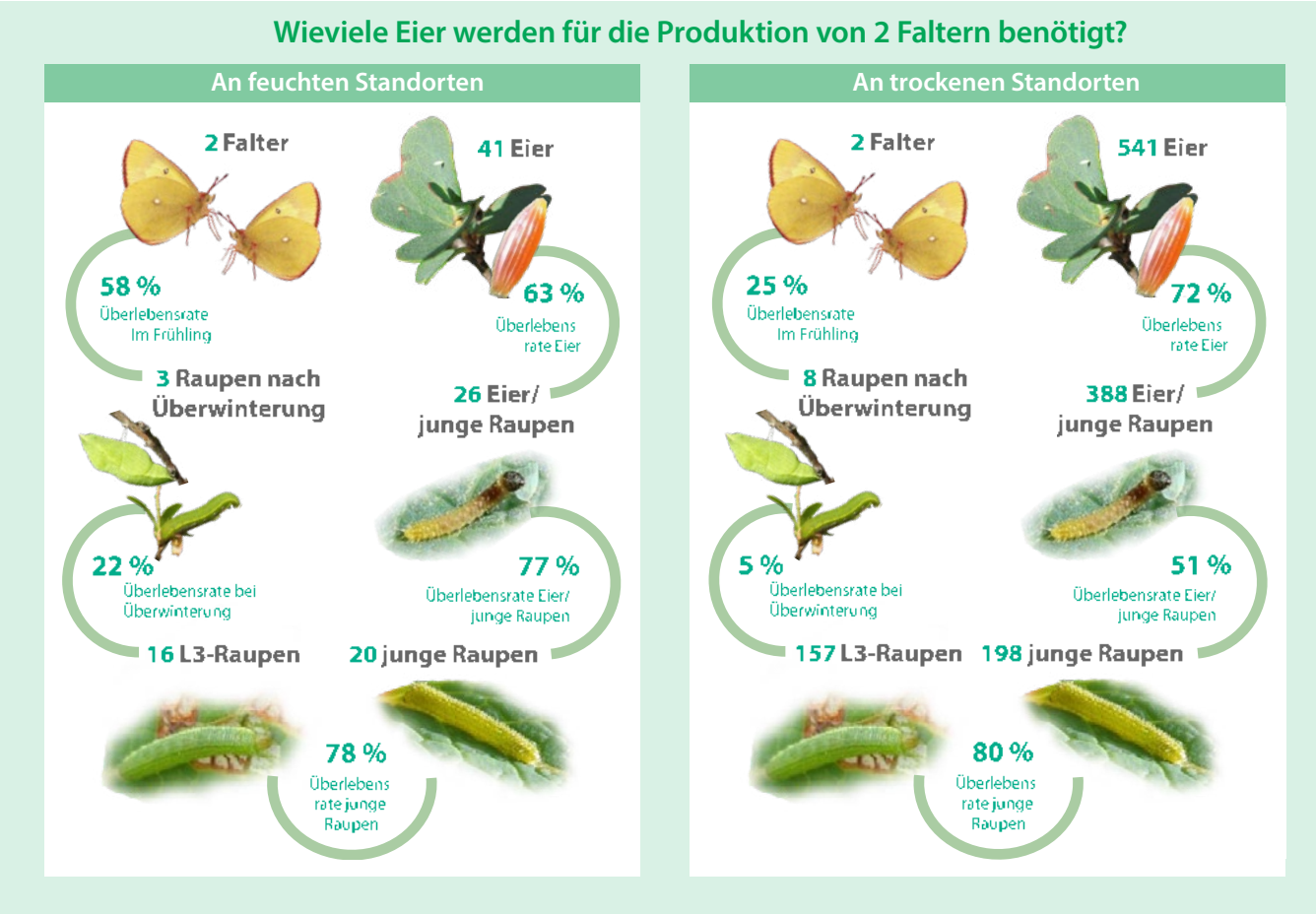


Abbildung 5
Lebenstafeln für trockene (unten) beziehungsweise feuchte (oben) Standorte. Durchschnittswerte von 4 Standorten in 2007–2008 (Sommer) und 3 Standorten in 2008–2010 (Frühling; Quelle: Büro Geyer und Dolek).

einen Meter pro Jahr) und absehbar war, dass aktuell besiedelte Rauschbeeren in den nächsten Jahren überwachsen und beschattet werden, sodass sie von den Raupen nicht mehr genutzt werden können.

Welche Veränderungen sich damit im Ökosystem Hochmoor insgesamt andeuten, soll in einem weiteren Beitrag vertieft werden (Poschlod et al., in Vorbereitung). Dort werden insbesondere mögliche Zusammenhänge zwischen zunehmender Bewaldung und Gehölzwachstum in den Mooren mit Veränderungen in der Torfmoosdecke und den atmosphärischen Stickstoffeinträgen aufgezeigt. An den relevanten Standorten scheinen deutlich mehr Nährstoffe verfügbar zu sein, sodass *Sphagnum angustifolium*, welches die höheren Nährstoffgehalte nutzen kann und früher nicht in Hochmooren vorkam, nun auf Kosten des Haupttorfbildners *S. magellanicum* verbreitet auftritt. Mit seiner geringeren Wasserhaltekapazität und schnelleren Austrocknung kann *S. angustifolium* zur zunehmenden Bewaldung beitragen (Details vergleiche Poschlod et al., in Vorbereitung).

Wir nehmen an, dass zu trockene Moorstandorte nicht als Larvallebensraum geeignet sind, obwohl dort die Rauschbeere sehr gut wächst (vergleiche Dolek et al. 2014; Poschlod et al. in Vorbereitung). Entwässerung wirkt auf einzelne Moorstandorte in der Form, dass sie zwar größere Bereiche für die Rauschbeere besiedelbar macht, das Moor aber vielfach zu stark austrocknet. In den letzten Jahren wurde insbesondere durch warme Sommer und die von Poschlod et al. (in Vorbereitung) untersuchten Effekte zusätzlich zu den anderen Gefährdungsfaktoren die Grenzlinie zwischen „ungeeignet" und „besiedelbar" so verschoben, dass viele Standorte plötzlich nicht mehr geeignet waren (vergleiche Abbildung 8). Diese Grafik verdeutlicht, dass die Verschiebung der Grenzlinie zu den beobachteten simultanen Effekten an vielen Standorten führen kann.

Zurück zu den Hypothesen für die Ursachen des Rückgangs

Die eingangs vorgestellten Hypothesen werden hier nochmal den Ergebnissen der Studie gegenübergestellt.

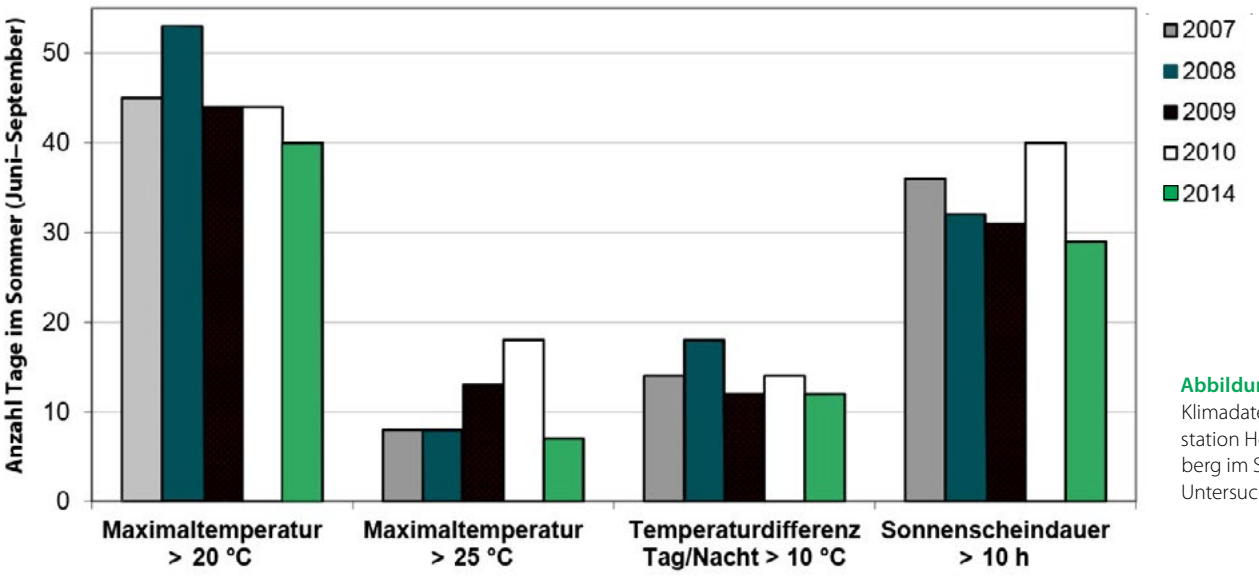


Abbildung 6
Klimadaten der Wetterstation Hohenpeißenberg im Sommer der Untersuchungsjahre.

1. **Entwässerung und Austrocknung:** Über die anfangs skizzierten Effekte hinaus konnte gezeigt werden, dass an besonders trockenen Standorten wachsende Rauschbeeren besonders schlecht für den Hochmoorgelbling geeignet sind, insbesondere in warmen und trockenen Sommern. Die negativen Effekte solcher Lebensraumänderungen treten daher viel häufiger ein als ursprünglich angenommen.

2. **Nährstoffeintrag:** Die Nährstoffeinträge werden mit potenziell weitreichenden Veränderungen in der Moorökologie in Zusammenhang gebracht. Wenn sich diese These bestätigt, ergeben sich sehr bedenkliche Zukunftsperspektiven für den Lebensraum Hochmoor und seine Bewohner.

3. **Nutzungsänderungen**: Neben schon länger wirksamen Entwässerungen waren keine größeren Nutzungsänderungen auffällig.

4. **Klimawandel**: Die unterschiedlichen Mortalitätsraten der Jungraupen, je nach Witterungsverlauf des Sommers, deuten auf einen gewissen Einfluss des Klimawandels hin. Allerdings manifestiert sich dieser weniger in direkten Auswirkungen auf die Tiere, sondern primär indirekt über die Änderung für den Hochmoorgelbling wichtiger Strukturbedingungen.

5. **Strukturveränderungen an Raupennahrung und Umfeld**: Besonders große Unterschiede der Raupenmortalität wurden bei verschiedenartigem Unterwuchs der Rauschbeeren festgestellt. Dies scheint der zentrale Wirkpfad zu sein, über den andere Faktoren wie Entwässerung, Klimawandel und Nährstoffeintrag auf den Hochmoorgelbling wirken.

6. **Mangel an Nektarquellen**: Es erfolgten keine vertieften Studien, aber es wurden in den meisten Fällen ausreichend Nektarquellen gefunden; zumindest in dem Maße, dass ein synchrones Erlöschen an vielen Standorten damit nicht erklärbar ist. Eine Bedeutung an einzelnen Standorten kann jedoch nicht ausgeschlossen werden.

7. **Krankheiten, Parasiten, Parasitoiden, Räuber und Konkurrenten**: Bei den zahlreichen Begehungen und Kamerabeobachtungen wurden nur sehr vereinzelte Gegenspieler erfasst. Eine übergreifende Bedeutung bildet sich daraus nicht ab. Konkurrenten wurden insbesondere an trockenen Standorten gehäuft gefunden. Wir gehen davon aus, dass die besonders trockenen Bedingungen für den Hauptkonkurrenten positiv sind, während sie negativ auf den Hochmoorgelbling wirken.

8. **Zusammenbruch des Biotop-/Populationsverbundes und Isolation**: Die Muster der überlebenden beziehungsweise erloschenen Vorkommen deuten darauf hin, dass Zusammenbrüche von Populationen aufgrund von Isolation als sekundärer Effekt auftreten.

9. **Kombinationswirkungen aus Hypothese 1. bis 8.**: Insgesamt zeichnen die Daten jetzt ein Bild erhöhter Mortalitäten bei trockenen Wachstumsbedingungen der Rauschbeere. Diese Bedingungen können vermehrt entstehen, weil eventuell Nährstoffeinträge zu einer veränderten, stärker austrocknenden Moorökologie geführt haben. Zusätzlich bringen besonders warme und trockene Sommer die negativen Wirkungen der trockenen Bedingungen stärker zum Tragen.

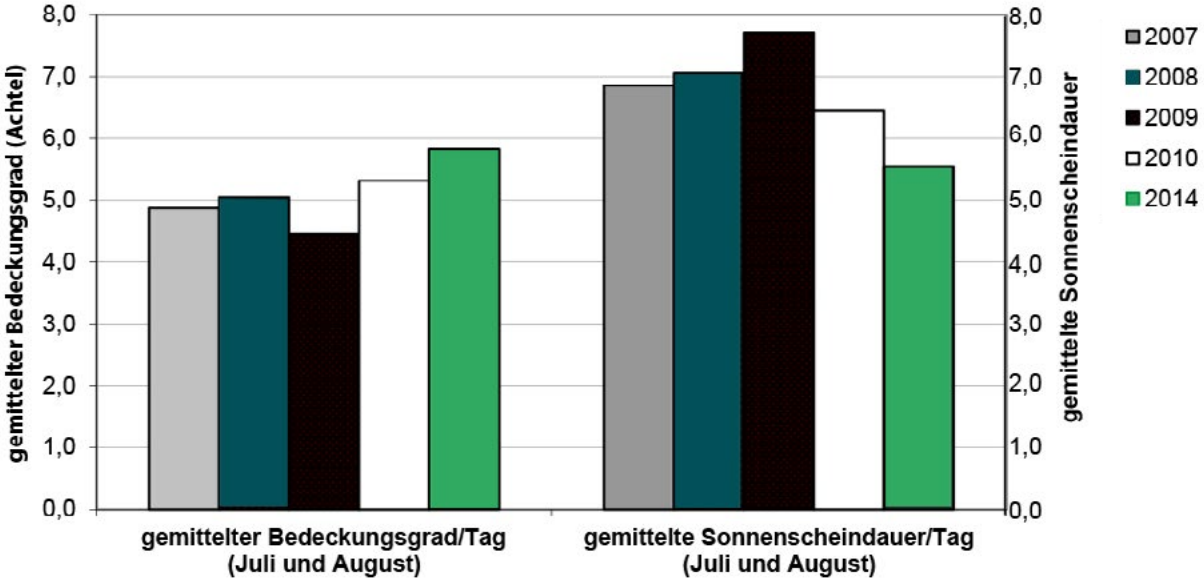


Abbildung 7
Daten zum gemittelten Bedeckungsgrad und der Sonnenscheindauer der Wetterstation Hohenpeißenberg im Sommer der Untersuchungsjahre.

Gleichzeitig fördern die trockenen Bedingungen den Hauptkonkurrenten.

Für den Erhalt und die Förderung des Hochmoorgelblings sind folgende Bedingungen wichtig:

- Die Raupennahrung Rauschbeere muss an feuchten Standorten mit lebenden Torfmoospolstern wachsen.
- Das Larvalhabitat muss überwiegend besonnt sein.
- Ausgeprägt trockene und warme Sommer scheinen negativ zu sein.
- Milde, wechselhafte Winter könnten durch den wiederholten Auf- und Abbau des Frostschutzes zu eventuell problematischen Energieverlusten führen.
- Es müssen ausreichend Nektarquellen vorhanden sein, diese können aber in sehr unterschiedlichen Lebensräumen zur Verfügung stehen.
- Auf Populationsebene müssen ausreichend große Flächen beziehungsweise ein Biotopverbund zur Verfügung stehen.

Fazit

Die vielfältigen Untersuchungen einer relativ begrenzten Fragestellung (Warum geht eine gefährdete Schmetterlingsart plötzlich stark zurück?) haben auf eine deutlich umfassendere Problematik aufmerksam gemacht: Welche Änderungen mit eventuell weitreichenden Folgen finden eigentlich im gesamten Lebensraumkomplex statt? Die Bearbeitung der eingangs genannten Hypothesen zeigte, dass Änderungen im Wasserhaushalt des Larvallebensraums zu einer erhöhten Mortalität führen. Aber auch die Kombination dieser unterschiedlichen standörtlichen Gegebenheiten mit den sich ändernden Rahmenbedingungen im Regenmoor durch Nährstoffeintrag, veränderte Vegetation, zunehmende Beschattung und dem aktuellen Wetterverlauf spielen eine wesentliche Rolle. Die Suche nach den Ursachen, warum der Larvallebensraum nun in so vielen Fällen an Eignung einbüßte, führte dazu, dass Veränderungen im Gesamtökosystem „Regenmoor" deutlich wurden. Mögliche Zusammenhänge zwischen Baumwachstum, Torfmoosdecke und Stickstoffeinträgen werden von Poschlod et al. (in Vorbereitung) untersucht und könnten, wenn sie sich bestätigen, weitreichende Folgen für die gesamten Lebensgemeinschaften der Regenmoore haben.

Bayern hat hier eine besondere Verantwortung, wie zum Beispiel die Berichte über den Erhaltungszustand der FFH-Lebensräume an die EU zeigen: Der Erhaltungszustand der nordwestdeutschen Vorkommen (atlantische Region) ist überwiegend „schlecht", während der Erhaltungszustand der Vorkommen in der kontinentalen und alpinen Region „unzureichend" beziehungsweise „gut" ist (BfN 2013). Dies sind mehrheitlich bayerische Regenmoore. Vor diesem Hintergrund kommt Bayern eine besondere Verantwortung zum Schutz lebender Regenmoore und deren Lebensgemeinschaften zu, sodass dieser Problematik der potenziellen Ökosystemveränderungen vertiefte Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

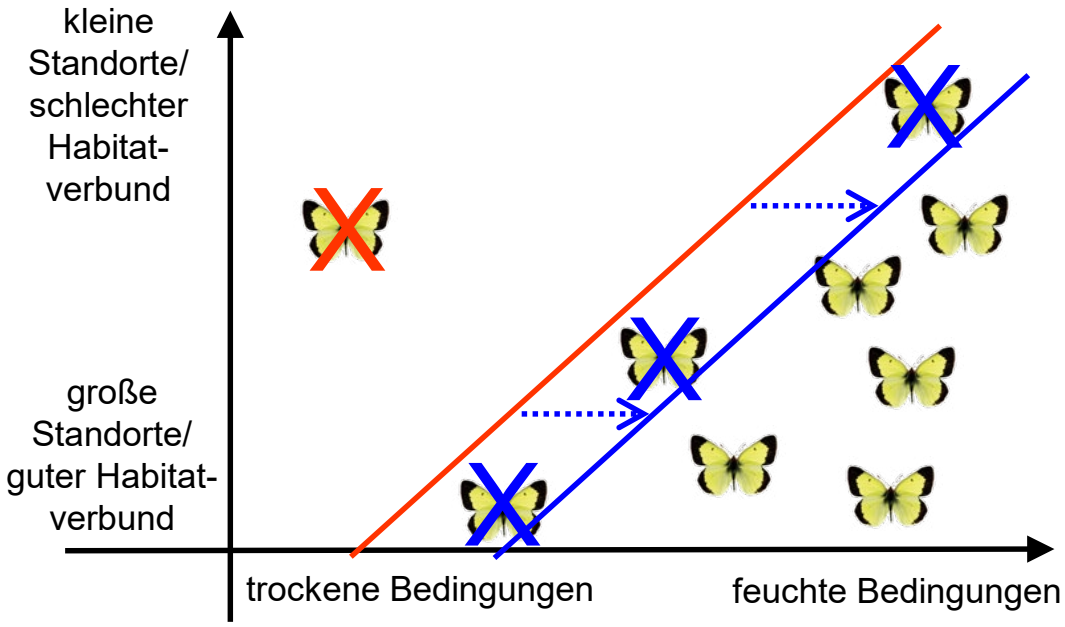


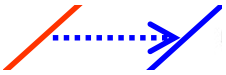
Abbildung 8
Eignung von Mooren als Lebensraum für den Hochmoorgelbling und der Einfluss des Klimawandels (warme beziehungsweise trockene Sommer; Quelle: Büro Geyer und Dolek).

Erläuterung

Rot durchgestrichenes Falter-Symbol: hier ist die Habitatqualität zu schlecht.

Blau durchgestrichenes Falter-Symbol: Habitatqualität wird zu schlecht, wenn die Grenzlinie zwischen geeigneten und ungeeigneten Mooren wie dargestellt verschoben wird.

Falter-Symbol: hier sind geeignete Lebensraumbedingungen gegeben.



Rote Linie: markiert den Grenzbereich zwischen geeigneten (rechts) und ungeeigneten Habitaten (links).
Pfeile und blaue Linie: warme beziehungsweise trockene Sommer verschieben den Grenzbereich geeigneter Habitate in die Richtung zu feuchteren Mooren, wodurch vormals besiedelte Moore unbrauchbar werden.

Literatur

Anwander, H. et al. (1992): Bestandserhebung des Hochmoorgelblings (*Colias palaeno L.*) im Bayerischen Voralpengebiet. – LfU, München.

Anwander, H. et al. (2005): Indikatorerfassungen für den Hochmoorgelbling (*Colias palaeno*). – Unveröff. Gutachten im Auftrag des Bayer. LfU.

Anwander, H. et al. (2006): Indikatorerfassungen für den Hochmoorgelbling (*Colias palaeno*). – Unveröff. Gutachten im Auftrag des Bayer. LfU.

Anwander, H., Dolek, M. & Scherzinger, C. (2013): Hochmoor-Gelbling *Colias palaeno* (Linnaeus, 1761). – In: Bräu, M., Bolz, R., Kolbeck, H., Nunner, A., Voith, J. & Wolf, W. (2013): Tagfalter in Bayern. – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart: 164–167.

BfN (= Bundesamt für Naturschutz, 2013): Nationaler Bericht nach Artikel 17 der FFH-Richtlinie in Deutschland. – www.bfn.de/themen/natura-2000/berichte-monitoring/nationaler-ffh-bericht.html.

Bink, F. A. (1992): Ecologische Atlas van de Dagvlinders van Noordwest-Europa. – Schuyt & Co., Haarlem: 512 S.

Dolek, M., Bräu, M. & Stettmer, C. (2014): Wasser marsch! – Und alles wird gut im Moor!? – ANLiegen Natur 36(1): 82–89; www.anl.bayern.de/publikationen/anliegen/doc/an36114dolek_et_al_2014_moorwiedervernaessung.pdf.

Dolek, M. & Geyer, A. (1997): Influence of management on butterflies of rare grassland ecosystems in Germany. – Journal of Insect Conservation 1: 125–130.

Dolek, M., Kraus, W. & Geyer, A. (1994): Beweidung und Streumahd in Moorgebieten im bayerischen Alpenvorland: Auswirkungen auf die Tagfalterfauna und Vorschläge zur naturschutzfachlich abgestimmten Nutzung. – Unveröff. Gutachten im Auftrag der Regierungen von Oberbayern und Schwaben.

Ebert, G. & Rennwald, E. (1991): Die Schmetterlinge Baden-Württembergs. Band 1: Tagfalter 1. – Eugen Ulmer Verlag, Stuttgart.

Foltin, H. (1955): Die Macrolepidopterenfauna der Hochmoore Oberösterreichs. – Zeitschrift der Wiener Entomologischen Gesellschaft 39: 98–115.

Autoren

Dr. Matthias Dolek,
Jahrgang 1964.

Studium der Biologie an der Universität Bayreuth, Schwerpunkt Tier- und Pflanzenökologie, 2000 Promotion an der Universität Basel über Beweidung und Naturschutz. Seit 1990 freiberufliche Tätigkeit, gemeinsam mit Adi Geyer (Büro Geyer und Dolek). Mitarbeit bei Butterfly Conservation Europe. Tierökologische Arbeitsschwerpunkte, Entwicklung und Durchführung von Monitoringprogrammen, Artenhilfsprojekten sowie vertiefte Untersuchungen zu Larvalstadien von Schmetterlingen mit Schlussfolgerungen zum Erhalt von Lebensräumen und zur Entwicklung von Pflegemaßnahmen.

Büro Geyer und Dolek
+49 8143 991160
matthias.dolek@geyer-und-dolek.de

Diplom-Biologin Anja Freese-Hager,
Jahrgang 1973.

Büro Geyer und Dolek
+49 8143 991160
anja.hager@geyer-und-dolek.de

MSc. Maria Georgi,
Jahrgang 1987.

Fakultät für Umwelt und natürliche Ressourcen
an der Universität Freiburg
+49 17684013423
maria.georgi@posteo.de

Markus Bräu,
Jahrgang 1961.

Büro für ökologische Gutachten
+49 89 890 913 468
markus.braeu@freenet.de

Peter Poschlod,
Jahrgang 1958.

Institut für Botanik, Universität Regensburg
+49 941 943-3108
peter.poschlod@ur.de

Dr. Christian Stettmer,
Jahrgang 1964.

Bayerische Akademie für Naturschutz und
Landschaftspflege (ANL)
+49 8682 89 63-50
christian.stettmer@anl.bayern.de

Georgi, M. (2015): Bahavioural study of the *Colias palaeno* caterpillar with a focus on reasons for motality and differences in microclimate. – Masterarbeit, Universität Tübingen.

Grüneberg, C. (2003): Einfluss von Flächengröße, Isolation und Habitatqualität auf die Verbreitung und Populationsdynamik des Hochmoorgelblings Colias palaeno Linnaeus 1761 (Lepidoptera, Pieridae) im bayerischen Alpenvorland. – Diplomarbeit, Westfälische Wilhelms-Universität, Münster.

Hayes, J. L. (1981): The population ecology of a natural population of the Pierid butterfly Colias alexandra. – Oecologia 49: 188–200.

Meineke, J.-U. (1982): Einige Aspekte des Moor-Biotopschutzes für Schmetterlinge am Beispiel moorbewohnender Großschmetterlingsarten in Südwestdeutschland. – TELMA 12: 85–98.

Vrba, P., Dolek, M., Nedvěd, O., Zahradníčková, H., Cerrato, C. & Konvička, M. (2014): Overwintering of the boreal butterfly *Colias palaeno* in Central Europe. – CryoLetters 35(3): 247–254.

Vrba, P., Nedvěd, O., Zahradníčková, H. & Konvička, M. (2017): Temporal plasticity in cold hardiness and cryoprotectant contents in northern versus temperate *Colias* butterflies (Lepidoptera: Pieridae). – CryoLetters 38(4): 330–338.

Weber, T. (1992): Biozönologische Untersuchungen der Vegetation und der tagaktiven Schmetterlingsfauna in unterschiedlich genutzten Kalkmagerrasen der Prümer Kalkmulde (Naturschutzgebiet Schönecker Schweiz und Naturschutzgebiet Niesenberg). – Diplomarbeit Univ. Bonn.

Weidemann, H. J. (1986): Tagfalter: Entwicklung – Lebensweise. – Band 1, Neumann-Neudamm, Melsungen: 288 S.

Weidemann, H. J. (1989): Anmerkung zur aktuellen Situation von Hochmoor-Gelbling (*Colias palaeno L.* 1758) und „Regensburger Gelbling" (Colias myrmidone Esper 1781) in Bayern mit Hinweisen zur Biotop-Pflege. – Schriftenreihe Bayer. Landesamt für Umweltschutz 95: 103–116.

Weidemann, H. J. (1995): Tagfalter beobachten, bestimmen. – 2. Aufl., Naturbuch Verlag, Augsburg: 659 S.

Zitiervorschlag

Dolek, M., Freese-hager, A., Georgi, M., Bräu, M., Poschlod, P. & Stettmer, C. (2019): Der Hochmoorgelbling (*Colias palaeno*) – das Mikroklima der Larvallebensräume ist entscheidend für sein Überleben. – ANLiegen Natur 41(1): 101–112, Laufen; www.anl.bayern.de/publikationen

ZOBODAT - www.zobodat.at

Zoologisch-Botanische Datenbank/Zoological-Botanical Database

Digitale Literatur/Digital Literature

Zeitschrift/Journal: Anliegen Natur

Jahr/Year: 2019

Band/Volume: 41_1_2019

Autor(en)/Author(s): Dolek Matthias, Freese-Hager Anja, Georgi Maria, Bräu Markus, Poschlod Peter, Stettmer Christian

Artikel/Article: Der Hochmoorgelbling (Colias palaeno) – das Mikroklima der Larvallebensräume ist entscheidend für sein Überleben 101-112