

---

# Waldschutz und Klimawandel – „Wettlauf“ mit den Schädlingen?

Ralf Petercord

**Schlüsselwörter:** Fichte, Insekten, Borkenkäfer, Anpassungsfähigkeit

---

**Zusammenfassung:** In der allgemeinen Diskussion über die Folgen des Klimawandels werden Insekten häufig als Gewinner angesehen. Diese Einschätzung ist zunächst einmal folgerichtig, da Insekten zu den wechselwarmen Tieren gehören und damit von einer Temperaturerhöhung infolge des Klimawandels profitieren können. Für den angewandten Waldschutz reicht diese Annahme zur Risikoabschätzung der zukünftigen Gefährdung einer Baumart durch Schadorganismen aber nicht aus. Es bedarf vielmehr einer differenzierten Analyse, welche Arten in welcher Weise vom Klimawandel profitieren.

---

## Reaktionen auf den Klimawandel

Grundsätzlich können Insektenarten auf veränderte Umweltbedingungen in mehrfacher Hinsicht reagieren. Eine direkte Anpassung kann durch eine Veränderung der Vitalität, der Reproduktion oder des Verhaltens erfolgen. Physiologische Veränderungen der Wirtspflanze oder Veränderungen des Gegenspielerkomplexes als direkte Folge einer Umweltveränderung können sich indirekt auf die schädigenden Insektenarten auswirken. Neben diesen Anpassungsprozessen können mobile Arten auch auf eine Veränderung ihres Verbreitungsareals mit Ein- oder Auswanderung reagieren (Rigling et al. 2008). Diese Migrationsprozesse sind dabei nicht auf invasive Arten beschränkt, sondern können auch bei einheimischen Arten auftreten. Aktuell wird beim Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea* L.) eine entsprechende Entwicklung beobachtet.

## Massenvermehrungen sind kein neues Phänomen des Klimawandels

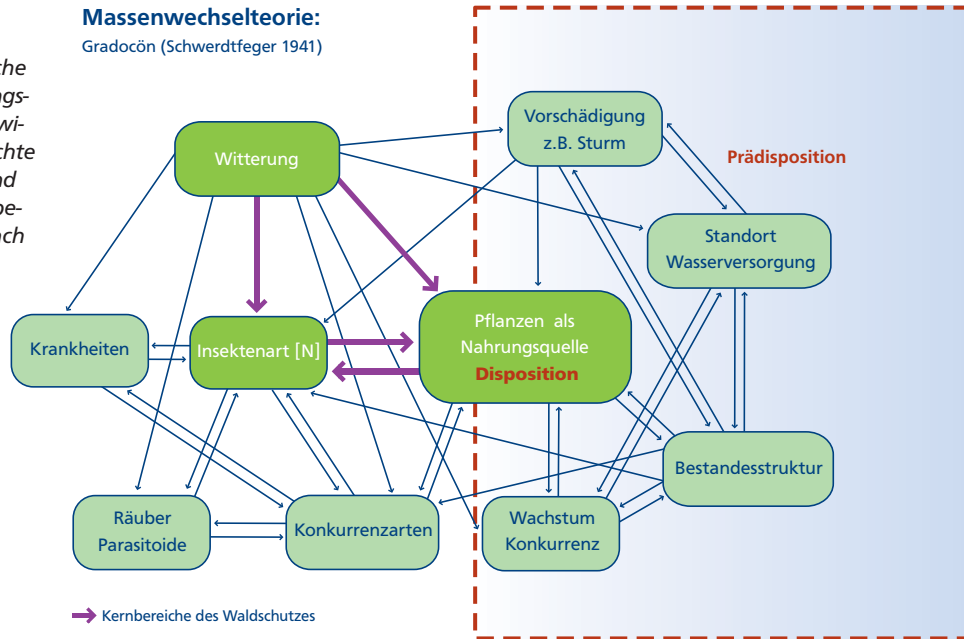
Der Zusammenhang zwischen den bereits zu beobachtenden Klimaveränderungen und dem aktuell von Schadorganismen verursachten Schadholtzanfall lässt sich nicht immer wissenschaftlich belegen, ebenso wie man auch nicht jedes Sturmereignis auf den Klimawandel zurückführen kann. Massenvermehrungen (Gradationen) bestimmter Forstinsekten hat es in der Vergangenheit immer wieder gegeben. Von verschiedenen blatt- und nadelfressenden Arten sind relativ stabile Zyklen bekannt, in denen es zum Aufbau einer Gradation kommt. Das bekannteste Beispiel ist der Graue Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana* Gn.), dessen Gradationszyklen sich anhand von Jahrringanalysen über die vergangenen 1.200 Jahre nachvollziehen lassen (Esper et al. 2007). Auch für die Lärchenminiermotte (*Coleophora laricella* Hbn.) und den Kleinen Frostspanner (*Operopthera brumata* L.) sind entsprechende Zyklen beschrieben, die nicht auf Klimafaktoren, sondern auf induzierte Resistenz (Habermann 2000) bzw. intraspezifische Konkurrenz (Lemme 2001) gründen.

Die älteste bisher bekannte Massenvermehrung des Buchdruckers, damals als „Wurmtröcknis“ bezeichnet, wurde 1618 im Tharandter Wald beobachtet (Blanckmeister und Hengst 1971), also in einer Klimaphase, die als „Kleine Eiszeit“ in die Geschichte einging. Auch spätere Massenvermehrungen dieses für die Fichte wichtigsten Schadinsekts wie die „Große Wurmtröcknis“ 1780 bis 1795 im Harz und 1873 bis 1876 im Böhmisches und Bayerischen Wald waren nicht auf eine Temperaturerhöhung, sondern auf das Brutraumangebot nach Schneebruch- und Sturmwurfsschäden zurückzuführen (Gmelin 1787; Escherich 1923).

Die Notwendigkeit von Waldschutzmaßnahmen, insbesondere den Maßnahmen der „sauberen Wirtschaft“ sind gerade in der Bewirtschaftung der Fichte seit über 200 Jahren gängige Praxis und Bestandteil einer ordnungsgemäßen, nachhaltigen Forstwirtschaft. Der Klimawandel verschärft sicherlich die Bewirtschaftungsrisiken der Fichte (Kölling et al. 2007), die aber gerade im Hinblick auf die biotischen Risiken nicht neu sind.

**Massenwechseltheorie:**  
Gradocön (Schwerdtfeger 1941)

Abbildung 1: Schematische Darstellung des Beziehungsgeflechtes (Gradocön) zwischen der Populationsdichte [N] eines Schadinsekts und den Faktoren, die diese beeinflussen. (verändert nach Schwerdtfeger 1941)



### Wie entstehen Massenvermehrungen von Insekten?

Massenvermehrungen von Schadinsekten werden nicht von einem Faktor allein gesteuert. Bereits 1941 hat Schwerdtfeger die Vielfalt der an einem Ort realisierten Faktoren, die auf eine Population einwirken und deren Dynamik bestimmen, mit dem Begriff „Gradocön“ bezeichnet. Danach bestimmt eine wechselnd große Vielzahl miteinander verknüpfter Faktoren den Massenwechsel (Abbildung 1). Damit kann ein einzelner Faktor wie die Temperatur, die Nahrungsqualität der Wirtspflanze oder die Wirkung von Gegenspielern „nur (dann) richtig gewertet werden ..., wenn gleichzeitig die anderen Faktoren mit ihren Wechselwirkungen in die Betrachtung einbezogen werden“ (Schwerdtfeger 1981).

Letztlich bestimmt die wechselseitige Beeinflussung (physiologische Interaktion) zwischen Wirtspflanze und Insekt das Schadensausmaß eines Insektenbefalls. Die Prädisposition der Wirtspflanze auf Grund von Vorschädigung, Nährstoff- und Wasserversorgung, Bestandesstruktur oder Konkurrenzsituation beeinflussen die Stoffwechselprozesse in ihr. Diese bestimmen die Möglichkeiten der Pflanze zur Abwehr und damit über die Nahrungsqualität den Resistenzstatus. Auf der anderen Seite wird die Angriffsstärke der Insekten über deren Entwicklungsgeschwindigkeit, Generationsabfolge, Vitalität und Vermehrungspotential ( $\varphi\varphi$ -Anteil) bestimmt. Über den Witterungsverlauf insbesondere extremer Witterungsereignisse wirkt die Klimaveränderung auf

die Nahrungsbeziehung zwischen den Baumarten und ihren Schädlingen ein und vermag je nach Verlauf eine der beiden Seiten zu begünstigen. Prognosen zur zukünftigen Klimaentwicklung liefern allerdings keine Aussagen zu den zu erwartenden Witterungsverläufen oder gar Extremereignissen.

### Entwicklungsgeschwindigkeit in Abhängigkeit von der Temperatur

Die Temperatur ist sicherlich ein wichtiger Faktor für die Entwicklungsgeschwindigkeit der Insekten. Gerade für Schadinsekten wie den Buchdrucker, die mehrere Generationen im Jahr durchlaufen können (plurivoltin), ist die Entwicklungsgeschwindigkeit innerhalb einer Generation entscheidend für die Zahl der Generationen insgesamt und damit für den Reproduktionserfolg innerhalb eines Jahres. Die Entwicklungsgeschwindigkeit lässt sich allerdings nicht unbegrenzt steigern, sondern folgt einer Optimumkurve. Jedes Entwicklungsstadium vom Ei über Larve und Puppe bis zum geschlechtsreifen Insekt hat seine eigene Optimumkurve, die durch ein Minimum, ein Optimum und ein Maximum charakterisiert wird. Bei Temperaturen unterhalb des Minimums und oberhalb des Maximums findet keine Entwicklung statt. Das Optimum ist der Temperaturwert, bei dem die Entwicklung am schnellsten verläuft. Vom Minimum zum Optimum steigt die Entwicklungsgeschwindigkeit linear mit der Temperaturzunahme an, fällt vom Optimum zum Maximum dann aber deutlich

stärker wieder ab. Jede Temperaturerhöhung oberhalb der Optimaltemperatur führt also zu einer überproportionalen Abnahme der Entwicklungsgeschwindigkeit. Schopf et al. (2008) geben für die Entwicklungsgeschwindigkeit des Buchdruckers bezogen auf die Gesamtentwicklung einer Generation das Minimum bei 8,3°C, das Optimum bei 30,4°C und das Maximum bei 38,9°C an. Für die deutliche Mehrheit der Forstinsekten wurden bisher keine Temperaturdaten zur Erstellung entsprechender Optimumkurven ermittelt.

### Schadinsekten der Fichte

Schwerdtfeger (1981) benennt in seinem Lehrbuch „Die Waldkrankheiten“ über 100 Insektenarten, die an der Fichte Schäden verursachen. Zur Abschätzung des zukünftigen biotischen Risikos der Fichte sind aber zunächst einmal nur die Arten von Interesse, die in der Vergangenheit unter vermeintlich ungünstigeren Klimabedingungen bereits bewiesen haben, dass sie zu bestandesbedrohenden Schäden befähigt sind. In Bayern sind dies der Buchdrucker (*Ips typographus* L.), der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.), die Nonne (*Lymantria monacha* L.), die Fichtenspinstblattwespe (*Cephalcia abietis* L.) und die Kleine Fichtenblattwespe (*Pristiphora abietina* Christ). Die vorrangige Betrachtung dieser fünf Arten im Hinblick auf den Klimawandel und den sich daraus ergebenden waldbaulichen Fragestellungen ist konsequent, da Aussagen zu den übrigen Arten ohnehin nur spekulativen Charakter haben können und damit für die forstwirtschaftliche

Praxis wertlos sind. Dies bedeutet nicht, dass die zukünftige Entwicklung dieser Arten vernachlässigt werden kann, vielmehr muss das gesamte Spektrum potentieller einheimischer und invasiver Schadinsekten hinsichtlich ihrer Populationsdynamik und Verbreitung weiterhin intensiv beobachtet und erforscht werden. Nur auf diese Weise verfügt der Waldbesitz über die notwendige Reaktionszeit zur Durchführung von Vermeidungs- bzw. Bekämpfungsmaßnahmen im Sinne einer integrierten Waldschutzstrategie.

### Borkenkäfer als eindeutige Gewinner des Klimawandels

Die Entwicklung des Schadhölanfalls bei der Fichte nach 2003 verdeutlicht, dass Buchdrucker und Kupferstecher das Potential haben, den vom Klimawandel verursachten Temperaturanstieg zu umfangreichen Massenvermehrungen zu nutzen. Dabei spielen vermutlich zwei Faktoren eine Schlüsselrolle im Schadverlauf. Beide Borkenkäferarten sind in der Lage, mehrere Generationen und Geschwisterbruten im Jahr zu durchlaufen. Die Generationsabfolge ist wesentlich temperaturgesteuert, erst am Ende der Vegetationszeit, wenn die Tageslänge nicht mehr ausreicht, beenden die Käfer das Brutgeschäft (Diapause) (Abbildung 2). Hohe Temperaturen und Niederschlagsdefizite schwächen die Fichte und disponieren sie für den erfolgreichen Befall der Borkenkäfer.

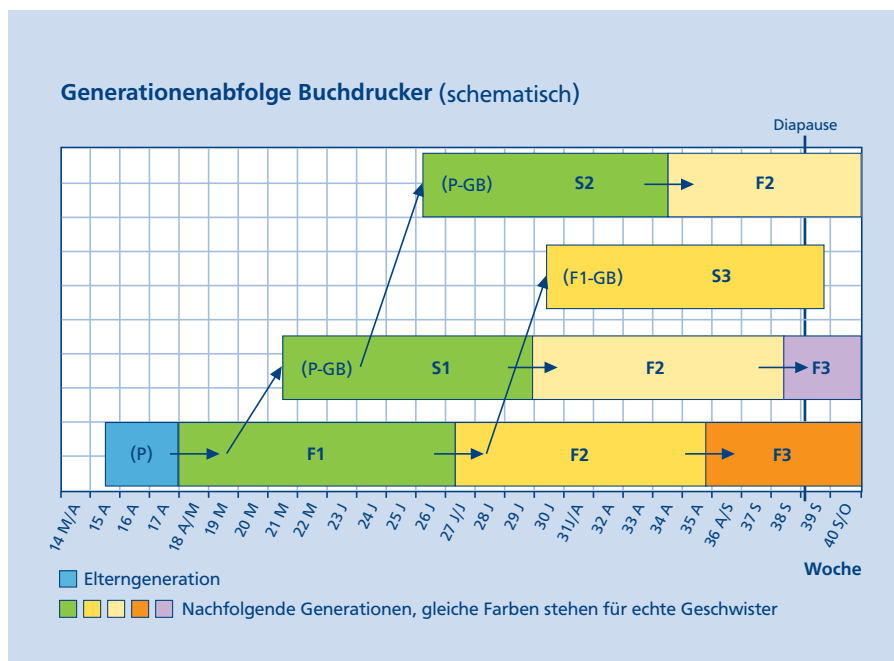


Abbildung 2: Schematische Darstellung der Generationsabfolge des Buchdruckers

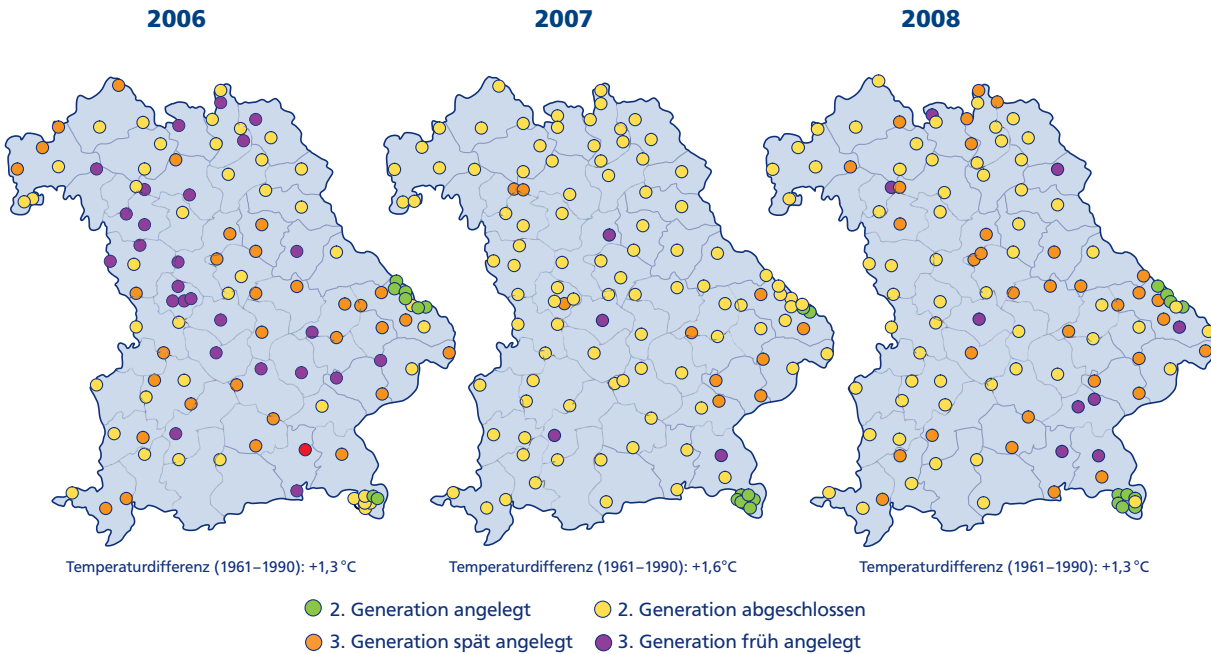


Abbildung 3: Generationsabfolge des Buchdruckers 2006, 2007, 2008 in Bayern entsprechend den Ergebnissen des Borkenkäfermonitorings

Seit 2004 wird in Bayern ein flächendeckendes Borkenkäfermonitoring durchgeführt. Es arbeitet mit circa 300 Borkenkäferfallen, die in einem Grundraster von 32 x 32 Kilometern aufgestellt sind. Dieses Grundraster ist im trocken-warmen Klimabereich dauerhaft verdichtet und wird flexibel auch in akuten Brennpunktbereichen verdichtet. Darüberhinaus werden Bruthölzer ausgelegt, um die Brutentwicklung verfolgen zu können. Die örtlich differenzierten Informationen aus den Ergebnissen zum Flugverlauf, zur Brutentwicklung, den Witterungsdaten und der örtlichen Lageeinschätzung bieten dem Waldbesitzer zu jedem Zeitpunkt einen aktuellen Überblick zur Gefährdungssituation. Gleichzeitig leitet die LWF aus den Ergebnissen des Monitorings aktuelle Handlungsempfehlungen zur Befallskontrolle und Bekämpfungsstrategie ab, um die Effizienz der Borkenkäferbekämpfung zu erhöhen.

Langfristige Auswertungen der Monitoringergebnisse erlauben zudem Aussagen über die Generationsabfolge in den einzelnen Jahren. In Kombination mit Daten zum Witterungsverlauf können auf diese Weise die verschiedenen Borkenkäferjahre miteinander verglichen und Faktoren, die die Generationsabfolge steuern, identifiziert werden. Eine entsprechende Auswertung des Buchdrucker-Monitorings für die Jahre 2006, 2007 und 2008 (Abbildung 3) verdeutlicht, dass der Buchdrucker in allen drei Jahren landesweit mindestens zwei Generationen durchlaufen konnte. Im ungünstigsten Falle – in den Hochlagen des Bergwaldes – wurde diese zweite Generation nur angelegt, die Brut musste als Larve, Puppe oder unreife Jungkäfer überwintern. Teilweise wurde die zweite Generation aber noch komplett abgeschlossen, eine dritte Generation noch spät angelegt oder bei günstigstem Temperaturverlauf die dritte Generation sogar vergleichsweise früh angelegt. Im Vergleich der Jahre untereinander zeigt sich, dass sich die Generationsabfolgen in allen drei Jahren deutlich unterscheiden. Im Jahr 2006 war die Generationsdauer am kürzesten, an deutlich mehr Fallenstandorten als 2007 und 2008 wurde eine dritte Generation früh angelegt. 2007 war die Generationsentwicklung dagegen am

langsamsten. Das Jahr 2008 nimmt eine Zwischenstellung ein. Dabei war im Vergleich der drei Jahre die Jahresdurchschnittstemperatur 2007 am höchsten. In den Jahren 2006 und 2008 war die Jahresdurchschnittstemperatur annähernd gleich hoch. In allen drei Jahren war es aber im Vergleich zur meteorologischen Vergleichsperiode 1961 bis 1990 deutlich über 1°C wärmer. Die Unterschiede zwischen den Jahren werden beim Vergleich der monatlichen Durchschnittstemperaturen deutlich. Im jeweiligen Witterungsverlauf ist die Erklärung für die unterschiedliche Generationsdauer zu sehen.

Der Schadholzanfall korrespondiert mit der Generationsdauer (Abbildung 4). Die Schadholzmenge war 2006, dem Jahr der raschesten Entwicklung, deutlich größer als 2007 und 2008. 2008 war sie wiederum höher als 2007. Diese auf ganz Bayern bezogene Aussage stimmt allerdings nicht für alle Landesteile gleichermaßen. Eine völlig abweichende, gegenläufige Entwicklung ist in Oberfranken mit einem zunehmenden Schadholzanfall von 2006 zu 2008 festzustellen. Diese ist auf ein hohes Brutraumangebot nach Sturmwurf (Sturmtief „Kyrill“ im Januar 2007) zurückzuführen. Die Entwicklung der Borkenkäferschäden bedarf also einer deutlich intensiveren Analyse und kann nicht über die Jahresdurchschnittstemperatur allein erklärt werden.

### Keine abschließende Bewertung möglich

Die Nonne (*Lymantria monacha* L.) ist als nadelfressende Schmetterlingsart ein bedeutender Schädling der Fichte. Einmaliger Kahlfraß ist in Folge der Überhitzung des unbeschatteten Kambiums tödlich. Die Nonne ist zu großräumigen Massenvermehrungen fähig. Gefährdet sind vor allem homogene, gleichaltrige Fichtenblöcke in warm/trockenen Gebieten. Die Nonne überwintert als Ei-Räupchen in der Eischale und ist damit gegen Witterungseinflüsse im Winter bestens geschützt. Die im April schlüpfenden Raupen fressen bis in den Juni hinein. Zunächst fressen die Raupen nur die Mainadeln, austreibende Knospen und den Pollen der männlichen Blütenstände. Erst ab dem 3. Raupenstadium werden auch die Altnadeln der Fichte als Nahrung angenommen. Insgesamt werden fünf (♂♂) bis sechs (♀♀) Raupenstadien durchlaufen. Die Entwicklungsdauer der Stadien hängt stark von der Temperatur ab. Nach Abschluss der Larvalentwicklung verpuppen sich die Tiere in einem lockeren Gespinnst am Fraßort, an Ästen oder am Stamm. Die nachtaktiven Falter findet man im Juli und August. Die 100 bis 200 Eier je Weibchen werden unter Rindenschuppen am Stamm abgelegt. Der Witterungsverlauf der vorangegangenen Raupenzeit beeinflusst Weibchenanteil und Eizahl. Hohe Temperaturen während der Raupenzeit bewirken gleichsinnig eine Erhöhung des Weibchenanteils in der Population als

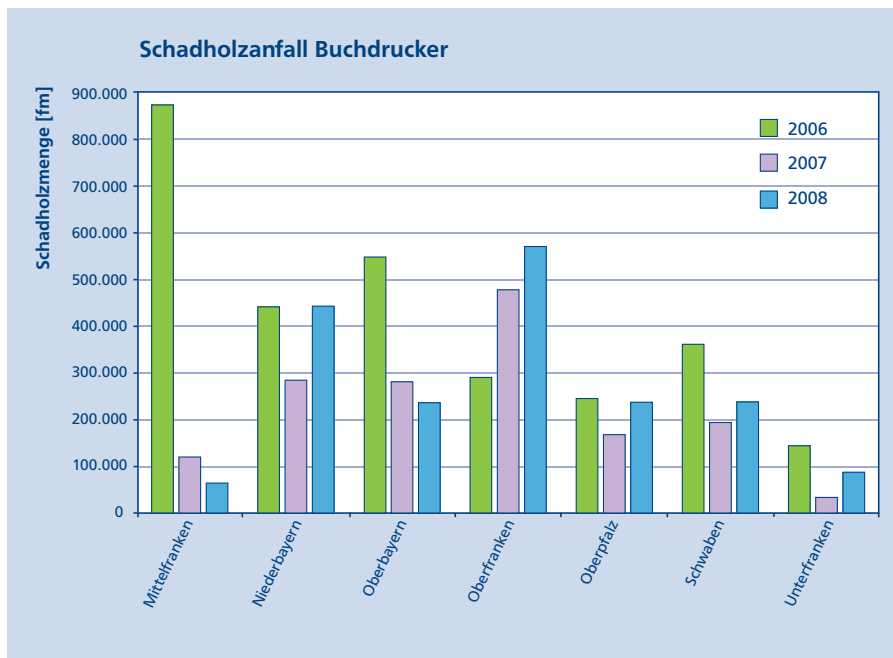


Abbildung 4: Schadholzanfall durch Buchdruckerbefall in den Jahren 2006, 2007 und 2008 in Bayern differenziert nach den Landesteilen



auch der Eizahl je Weibchen (Zwölfer 1934 zit. n. Schwerdtfeger 1981). Die Temperatur ist damit ein Schlüsselfaktor für die Entstehung von Massenvermehrungen der Nonne. Eine potentielle Förderung im Zuge des Klimawandels ist daher auch für diese Art anzunehmen.

In den vergangenen Jahren wurde in Bayern kein merklicher Anstieg der Populationsdichte bei der Nonne beobachtet. Möglicherweise wirkten andere Faktoren (fehlende Habitatstrukturen nach Waldumbau?) hemmend auf das Schadinsekt und verhinderten so eine Massenvermehrung, die entsprechend der günstigen Temperaturverläufe möglich gewesen wäre. Auf Grund des hohen Schadpotentials der Art ist die Überwachung der Populationsdichte über ein effizientes Monitoringverfahren ausgesprochen wichtig. In Bayern wird daher jährlich die Falterdichte über eine Pheromon-Prognose bestimmt.



Abbildung 5: Pronymphen der Fichtengespinntblattwespe im Boden (Foto: H. Lemme)

## Erneut im Kommen

Die Fichtengespinntblattwespe (*Cephalcia abietis* L.) war bis in die Mitte der neunziger Jahre ein Dauerschädling der Fichte im Bayerischen Wald, im Fichtengebirge und im Frankenwald in Höhenlagen oberhalb 600 Meter ü. NN. Bis 1997 waren mehrere großflächige Bekämpfungsmaßnahmen zur Walderhaltung notwendig. Die Fichtengespinntblattwespe gilt als Folgeschädling nach Immissionsschäden, die deutliche Abnahme der Populationsdichten nach der letzten Bekämpfung wurde auch auf die zunehmende Revitalisierung der Fichte nach der erfolgreichen Reduzierung der SO<sub>2</sub>-Emissionen zurückgeführt.

Die Fichtengespinntblattwespe durchläuft eine ein- bis dreijährige Generationsdauer. Die Wespen fliegen im Mai und Juni über einen Zeitraum von circa vier Wochen. Die Männchen fliegen sehr eifrig, die Weibchen dagegen sind eher flugträge und laufen an den Stämmen empor. Jedes Weibchen legt 100 bis 120 Eier in Paketen zu vier bis zwölf Stück ringsum an Nadeln des vorjährigen Triebes und des frischen Maitriebes ab. Nach zwei bis vier Wochen schlüpfen die Larven (Afterraupen) und wandern ein bis zwei Triebe abwärts, versammeln sich und bilden Gespinste, die zunächst unscheinbar sind, mit zunehmender Fraßdauer aber deutlich sichtbar werden. In der Regel fressen die Larven ausschließlich die Altnadeln, der frische Maitrieb bleibt erhalten. Die Larven durchlaufen während ihrer sechs- bis achtwöchigen Fraßzeit sechs Larvenstadien und lassen sich am Ende derselben (im August) zu Boden fallen. Als Nymphen (Ruhelarven) überliegen sie dann im Boden in einer Tiefe bis zu 30 Zentimetern ein bis drei Winter lang. Die Ruhephase (Diapause) endet mit der Entwicklung einer Pronymphen. Charakteristisch ist die Ausbildung eines Puppenauges, die bereits im Herbst des Jahres vor dem Flugjahr einsetzt. Diese Entwicklung ermöglicht eine Abschätzung des Wespenfluges im kommenden Frühjahr mittels Winterbodensuchen als Standardprognoseverfahren. Die Pronymphen werden ab Mitte April zu Puppen und aus diesen schlüpfen nach zwei bis drei Wochen die geschlechtsreifen Wespen (Schwerdtfeger 1981).

In der Winterbodensuche 2008/09 wurde erstmals wieder ein deutlicher Anstieg der Pronymphenzahlen in einzelnen Probeständen des ehemaligen Dauerschadgebietes festgestellt. In einzelnen Beständen wurde daher im Juni ein starker Wespenflug beobachtet. Inwieweit die regelmäßigen Starkniederschlagsereignisse im Sommer 2009 die Entwicklung der Larven be-



Abbildung 6: Fichtengespinstblattwespen während des Schwärmfluges im Juni (Links: Weibchen; Rechts: Männchen) (Foto: H. Lemme)

einflussten, ist derzeit noch unklar. Entsprechende Untersuchungen zum Befalls- und Schadverlauf werden aktuell durchgeführt. In welchem Umfang die Fichtengespinstblattwespe von den Witterungsveränderungen des Klimawandels profitieren kann, ist ungewiss. Die lange Ruhephase im Boden führt möglicherweise zu einer erhöhten Mortalität bei milderem, feuchteren Wintern, andererseits bietet sie der Art eine hohe Flexibilität, günstige Witterungsbedingungen für sich zu nutzen (Battisti 2004). Eine abschließende Bewertung der Folgen des Klimawandels für die Fichtengespinstblattwespe ist bisher nicht möglich.

Der Fraß der Fichtengespinstblattwespe ist für die Fichte, da die Maitriebe verschont bleiben, in der Regel nicht primär tödlich, führt aber zu einer Vitalitätsabnahme, die den Sekundärbefall anderer Arten begünstigt. Das Risiko eines Borkenkäferbefalls steigt deutlich an. In diesem Zusammenhang ist die Beobachtung der Dichteentwicklung der Fichtengespinstblattwespe mit einem effektiven Monitoringverfahren für den Waldbesitz von hoher Bedeutung.

### Erste Erfolge des Waldumbaus

Auch die zweite bedeutende Blattwespen-Art an der Fichte trat in der Vergangenheit in Bayern als Dauerschädling in Erscheinung. Das Dauerschadgebiet der Kleinen Fichtenblattwespe (*Pristiphora abietina* Christ) war auf die südöstlichen Landesteile beschränkt, stell-

te hier aber die ertragsfähige Bewirtschaftung der Fichte bei jährlich wiederkehrendem Fraß in Frage (Feemers et al. 2002).

Wie die Fichtengespinstblattwespe ist auch die Kleine Fichtenblattwespe zum Überliegen befähigt. Zwar entwickeln sich 50 bis 80 Prozent Ende September des Fraßjahres zu Pronymphen und haben damit eine einjährige Entwicklung. Die restlichen 20 bis 50 Prozent überliegen aber mindestens ein weiteres Jahr und können sogar bis zu sechs Jahre im Boden überdauern. Die Wespen schwärmen Ende April/Anfang Mai und belegen Fichtenknospen eines ganz bestimmten Austriebsstadiums mit Eiern. In diesem Stadium sind die Knospenschuppen gerade abgesprengt, die Nadeln aber noch nicht gespreizt. Je Knospe werden sechs bis 35 Eier abgelegt. Die Weibchen haben einen Vorrat von 40 bis 100 Eiern und legen jedes Ei einzeln an eine Nadel in einem speziellen Eischlitz ab. Die nach drei bis acht Tagen schlüpfenden Larven (Afterraupen) ernähren sich ausschließlich von den frischen Maitrieben, deren Nadeln sie bis auf die Stümpfe abfressen. Je nach Witterungsverlauf dauert die Larvalentwicklung zwei bis vier Wochen, die letzten Larvenstadien lassen sich Ende Mai/Anfang Juni zu Boden fallen. Sie überwintern als Nymphen in einem dicht gesponnenen, fünf bis sieben Millimeter großen, rotbraunen Kokon in der Streuauflage und verpuppen sich im März/April des Flugjahres (Schwertfeger 1981; Feemers et al. 2002).

Forschungsarbeiten zur Nachhaltigkeit chemischer Bekämpfungsmaßnahmen zeigten, dass diese, entsprechend der Fähigkeit zum Überleben eines Teils der Population, nur kurzfristig Entlastung bringen und bereits nach wenigen Jahren wieder vergleichbare Fraßschäden wie vor der Behandlung auftreten (Gebert und Skatulla 1997). Zielführender erschien die Beschränkung der Populationsdynamik über waldbauliche Maßnahmen. Im Dauerschadgebiet wurden daher chronisch geschädigte Fichtenreinbestände in Mischbestände umgebaut. Die Staatsregierung förderte die Umbaumaßnahmen mit dem Ziel, über die Einbringung von Laubbaumarten die Streuauflage zu Ungunsten der Kleinen Fichtenblattwespe zu verändern (Feemers et al. 2002). Die Entwicklung der Populationsdichte im Dauerschadgebiet zeigt, dass diese Waldumbaumaßnahmen ausgesprochen erfolgreich waren. Seit mehreren Jahren sind keine Fraßschäden der Kleinen Fichtenblattwespe mehr zu verzeichnen. Entsprechende Erfolge mit dem Vor- bzw. Unterbau von Laubhölzern in Nadelholzreinbeständen wurden bereits in der Vergangenheit berichtet und auf die Veränderung der Streuauflage bezogen (Lüdge 1971).

Inwieweit Klimaveränderungen diese Erfolge im Hinblick auf die Kleine Fichtenblattwespe in Frage stellen können, ist unbekannt. Eine Beobachtung der zukünftigen Populationsdynamik und des Fraßgeschehens ist daher weiterhin von hoher Bedeutung.

### Schlussfolgerungen für den „Wettlauf“

Die vorgestellten Beispiele verdeutlichen, dass die verschiedenen Schädlinge der Fichte artspezifisch unterschiedlich auf den Klimawandel reagieren können. Die Veränderung der Jahresdurchschnittstemperatur ist dabei von untergeordneter Bedeutung, wichtig ist vielmehr der Witterungs- und Temperaturverlauf während bestimmter Entwicklungsphasen der jeweiligen Insektenart. Offensichtlich sind die Borkenkäfer dank ihres raschen Generationswechsels in besonderem Maße in der Lage, von wärmeren Temperaturen zu profitieren. Entsprechend der dargestellten Unsicherheiten lässt sich das zukünftige Schadpotential der einzelnen Arten und deren Zusammenspiel nicht prognostizieren. Gerade hinsichtlich der Borkenkäferschäden bleibt festzuhalten, dass die altbekannten Maßnahmen der „sauberen Waldwirtschaft“ diese deutlich beschränken können.

### Wie bereiten wir die Wälder vor?

Grundsätzlich gilt: „*Wer den Wettlauf gewinnen will, muss bereit sein zu laufen!*“ „Laufen“ meint im Zusammenhang mit dem Klimawandel, anpassungsfähig sein. Nur wenn es gelingt, auf neue Herausforderungen angemessen zu reagieren, kann die Forstwirtschaft bei veränderten Risiken durch biotische Schadfaktoren auch in Zukunft ertragssicher arbeiten. Dazu müssen einerseits im Wege eines konsequenten Waldumbaus klimastabile Wälder aufgebaut werden. Der Anpassungsfähigkeit der Wälder kommt in Bezug auf das zukünftige Risiko eine Schlüsselrolle zu. Der Waldumbau zielt daher darauf ab, diese zu erhalten und zu fördern. Alte Wälder verfügen über die höchste genetische Anpassungsfähigkeit und sind daher besonders wertvoll (Kätzel und Konnerth 2009). Ihre genetische Ausstattung ist Grundlage für den Waldumbau mit Baumarten einheimischer Herkünfte.

Andererseits kann der aufgezeigten Unsicherheit hinsichtlich der Anpassungsfähigkeit einzelner forstschädlicher Arten an den Klimawandel und den sich daraus ergebenden Risikopotentialen nur mit Hilfe effektiver Monitoringverfahren begegnet werden. Sie liefern dem Waldbesitzer die notwendige Reaktionszeit, um auf absehbare Waldschutzrisiken rechtzeitig zu reagieren. Gleichzeitig müssen neue Vermeidungs- und Bekämpfungsstrategien entwickelt werden. Dabei kommt dem präventiven Waldschutz durch einen angepassten Waldbau eine besondere Bedeutung zu, wie das Beispiel der Kleinen Fichtenblattwespe eindrucksvoll belegt. Andererseits werden aber trotz der Risikominimierung auf Grund des Waldumbaus unabhängig von der verwendeten Baumart weiterhin Schäden durch einheimische als auch invasive Forstinsekten auftreten. Diese gilt es über Waldschutzmaßnahmen im Sinne des integrierten Pflanzenschutzes effektiv zu bekämpfen. Dass dies erfolgreich möglich ist, hat die moderne Forstwirtschaft in den vergangenen 200 Jahren bewiesen.



## Literatur

Battisti, A. (2004): *Forests and climate change – lessons from insects*. Forest@ 1 (1), S. 17–24

Blanckmeister, J.; Hengst, E. (1971): *Die Fichte im Mittelgebirge*. Neumann, Radebeul, 286 S.

Escherich, K. (1923): *Die Forstinsekten Mitteleuropas, Band II* (Spezieller Teil, Erste Abteilung: Urinsekten, Geradflügler, Netzflügler und Käfer). Verlag Paul Parey, Berlin, 664 S.

Esper, J.; Büntgen, U.; Frank, D. C.; Nievergelt, D.; Liebhold, A. (2007): *1200 years of regular outbreaks in alpine insects*. Proceedings of the Royal Society B 274, S. 671–679

Feemers, M.; Hiller, E.; Immler, T. (2002): *Kleine Fichtenblattwespe*. LWF-Merkblatt Nr. 9, 4 S.

Gebert, A.-K.; Skatulla, U. (1997): *Zur Nachhaltigkeit von Bekämpfungen der Kleinen Fichtenblattwespe (Pristiphora abietina Christ) mit dem Häutungshemmer Alsyslin*. Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz 70 (1), S. 1–3

Gmelin, J. F. (1787): *Abhandlung über die Wurmtröcknis*. Verlag der Crusiussischen Buchhandlung, Leipzig, 176 S.

Habermann, M. (2000): *The larch casebearer and its host tree: I. Population dynamics of the larch casebearer (Coleophora laricella Hbn.) from latent to outbreak density in the field*. Forest Ecology and Management 136, S. 11–22

Kätzel, R.; Konnert, M. (2009): *Klimawandel – Möglichkeiten und Grenzen der Anpassungsfähigkeit von Waldbäumen*. Seminar der Tagung des Deutschen Forstvereins in Potsdam 2009 (mündliche Mitteilung)

Kölling, C.; Zimmermann, L.; Walentowski, H. (2007): *Klimawandel: Was geschieht mit Buche und Fichte?* AFZ/Der Wald 62 (11), S. 584–588

Lemme, H. (2001): *Populationsdynamik der Frostspanner Operophtera fagata (Scharfenberg) und Operophtera brumata (Linné) während einer Retrogradation in Ebereschen-Bestockungen des Erzgebirges*. Forstwissenschaftliche Beiträge Tharandt, Heft 12, Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 238 S.

Lüdge, W. (1971): *Der Einfluß von Laubholzunterbau auf die Schädlingsdichte in den Kiefernbeständen der Schwetzingen Hardt*. Allgemeine Forst- und Jagdzeitung 142, S. 173–178

Rigling, A.; Forster, B.; Meier, F.; Wermelinger, B. (2008): *Insekten – Schlüsselfaktoren der zukünftigen Waldentwicklung?*; Eidgenössische Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, Infoblatt Forschungsbereich Wald 23, 4 S.

Schopf, A.; Baier, P.; Pennerstorfer, J. (2008): *Entwicklung eines Systems zur örtlichen und zeitlich differenzierten Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch den Buchdrucker (Ips typographus L.) in Sachsen auf Basis des Modells PHENIPS*. Unveröffentlichter Zwischenbericht, Wien, 69 S.

Schwerdtfeger, F. (1941): *Über die Ursachen des Massenwechsels der Insekten*. Zeitschrift für angewandte Entomologie 28, S. 254–303

Schwerdtfeger, F. (1981): *Die Waldkrankheiten. 4.*, neubearbeitete Auflage, Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 486 S.

**Key words:** Norway spruce, insects, bark beetles, adaptability

**Summary:** In the general discussion about climate change insects are often regarded as winners. This assessment at first seems logical because insects are poikilothermic animals and they should benefit from an increase of temperature due to climate change. For the applied forest protection, this assumption is not sufficient for the assessment of tree species' future risk by harmful organisms. Rather, it requires a sophisticated analysis to determine which species can benefit from climate change.