

# Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels

**Roland Engesser** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)\*  
**Beat Forster** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
**Franz Meier** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)  
**Beat Wermelinger** Eidgenössische Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft (CH)

## Effects of climate change on forest pests and diseases

The predicted increase in temperature, dry summers, and extreme meteorological events will affect many harmful species both by directly accelerating their propagation rates as well as by weakening their host plants. There might also be shifts in the interrelations in species communities that can hardly be predicted. Some fungal species, that had previously been inconspicuous, caused notable damages in the drought periods of the last two decades. Higher winter temperatures often increase the survival rates of many fungal and insect species. Because hot and dry summers are likely to become more frequent and heavy storms tend to occur more often, an increase in massive outbreaks of bark beetles with corresponding damage is to be expected. As a result of global trade, more invasive alien fungi and insects are introduced into Europe where the climatic conditions become more favorable for them to establish themselves on native or introduced host trees.

Insects and diseases can have a profound impact on forest dynamics. Therefore, these disturbances must be included in the discussion of future tree species composition and of forest development scenarios.

**Keywords:** climate change, forest health, pests, diseases, invasive organisms

**doi:** 10.3188/szf.2008.0344

\* Zürcherstrasse 111, CH-8903 Birmensdorf, E-Mail roland.engesser@wsl.ch

**K**rankheiten und Schädlinge spielen bei einer Klimaänderung und einer globalen Erwärmung eine wichtige Rolle im Waldökosystem. Die langfristige Entwicklung des Waldes wird stets durch natürliche und von durch den Menschen bedingten Störungen beeinflusst. Natürlich verursachte Störungen wie Feuer, Trockenheit, Stürme, Insekten und Pathogene sowie eingeschleppte Organismen sind dabei von zentraler Bedeutung. Laut einer Schätzung verursachen in den USA von den erwähnten Störungseinflüssen insbesondere Insekten und Pathogene mit jährlich rund 2 Mia. Dollar mit Abstand die bedeutendsten ökonomischen Schäden (Dale et al 2001). Auch für die europäischen Wälder werden Schädlinge und Krankheiten als Hauptbedrohung eingestuft (Requardt et al 2007). Für die Zukunft werden höhere Temperaturen, eine Verschiebung der Niederschläge ins Winterhalbjahr und häufigere Extremereignisse wie Hitzewellen, Trockenheit oder orkanartige Stürme prognostiziert (Fuhrer et al 2006, OcCC 2007). Dies wird sowohl die einzelnen Organismen als auch deren Wechselwirkungen untereinander beeinflussen (Ayres & Lombardero 2000), wobei neben den kontinuierlichen Veränderungen vor allem extreme Witterungsereignisse und deren zeitliche Abfolge den grössten

Einfluss auf ein Waldökosystem haben dürften. Vorhersagen betreffend die Auswirkungen auf den Wald sind aufgrund der komplexen Wechselwirkungen stets mit grosser Unsicherheit behaftet. Im Folgenden werden anhand verschiedener im Ausland und in der Schweiz gemachter Erfahrungen und Risikobeurteilungen das Potenzial und die Bedeutung von Insekten und Pathogenen bei sich verändernden Klimabedingungen bezüglich des Schweizer Waldes diskutiert.

### Trockenheit fördert Rinden- und Wurzelkrankheiten

Die Wechselwirkungen zwischen Wirtsbaum und Pathogen werden stark vom Wasserhaushalt beeinflusst. Trockenperioden schwächen die Abwehrkraft des Wirtsbaumes und machen ihn anfälliger für Krankheiten, insbesondere für Angriffe durch diverse Rindenpilze und Verursacher von Zweigsterben (Desprez-Loustau et al 2006). Wie experimentell gezeigt wurde, vermag beispielsweise der Erreger des Weidenkrebses die Rinde nur bei unzureichendem Wassergehalt anzugreifen (Bier 1959). Auch die Russige Rindenkrankheit des Ahorns, ver-

ursacht durch den Pilz *Cryptostroma corticale*, führt einzig nach Perioden mit anhaltender Trockenheit und Hitze zu Schäden (Gibbs 1997). Rinden- und Zweigerkrankungen wie das temporär im Wallis und im Engadin verstärkt aufgetretene *Cenangium*-Triebsterben (Meier et al 2000; Abbildung 1) sowie das in der Schweiz zunehmende Föhrentriebsterben (*Sphaeropsis sapinea*) wurden in den vergangenen Jahren durch Trockenstress der Bäume gefördert (Engesser & Meier 2008). Starke Sommertrockenheit begünstigt auch Infektionen im Wurzelbereich. Der Hallimasch (*Armillaria* spp.) ist ein wichtiger Vertreter dieser Erregergruppe, welche bevorzugt unter Wassermangel leidende Bäume befällt. Auch Wurzelpathogene aus der Gattung *Phytophthora* profitieren vom Wassermangel der Wälder, insbesondere wenn den sommerlichen Trockenperioden milde und feuchte Winter vorhergehen. Im feuchten Boden vermehren sich die Sporen des Pilzes und zerstören die Feinwurzeln, welche dann bei anschließender Trockenheit während der Vegetationszeit fehlen. Dadurch werden die Auswirkungen der Trockenheit verstärkt, was sich in Absterbeerscheinungen im Kronenraum bemerkbar macht (Jung 2004). Zusätzlich sind viele *Phytophthora*-Arten wärmeliebend und überleben in milden Wintern in hoher Dichte, während sie durch tiefe Bodentemperaturen stark reduziert werden (Bergot et al 2004). Die zunehmenden Probleme mit *Phytophthora*-Krankheiten in Wäldern geben in den letzten Jahren weltweit zu Besorgnis Anlass (Brasier 2003) und könnten als erste Auswirkungen der Klimaänderung interpretiert werden.

**Abb 1** Vom Pilz *Cenangium ferruginosum* befallene Arve. Seine mikroskopisch kleinen Sporen messen  $12 \times 6 \mu\text{m}$  (kleines Bild).



## Überraschende Krankheitsentwicklungen aufgrund veränderter Umweltbedingungen

Durch Witterungsextreme, wie sie als Folge des Klimawandels häufiger zu erwarten sind, werden auch Wirt-Pathogen-Beziehungen beeinflusst. Einheimische, bis anhin harmlose und deshalb wenig beachtete Pilze können plötzlich als Erreger von Baumkrankheiten in Erscheinung treten. Beispiele dafür sind das *Stigmina*-Zweigsterben der Linde oder die *Massaria*-Krankheit der Platane, welche erstmals nach dem überdurchschnittlich heissen und trockenen Sommer 2003 an Linden respektive an Platanen festgestellt wurden und in der Schweiz, Österreich und Deutschland verschiedentlich Bäume schädigten (Kehr & Krauthausen 2004, Engesser et al 2006, Tomiczek et al 2007). Man muss davon ausgehen, dass im Waldökosystem noch zahlreiche unerkannte und unbeachtete Pilzarten existieren, welche unter dem Einfluss des Klimawandels neu als Krankheitserreger in Erscheinung treten werden. Ob dies auch für den 2006 entdeckten, einheimischen Fadenwurm *Bursaphelenchus vallesianus* zutrifft, welcher in absterbenden Föhrenbeständen im Wallis gefunden wurde (Polomski et al 2006), muss noch abgeklärt werden. Erste Infektionsversuche im Gewächshaus ergaben jedoch bereits, dass unter Wassermangel leidende Föhrensämlinge stärker von dieser Nematodenart befallen werden (Wermelinger et al 2006).

Zur Bewältigung der Folgen des Klimawandels für den Wald werden berechtigterweise auch das Einbringen von vermutlich besser angepassten Gastbaumarten sowie eine Veränderung des Baumartenspektrums diskutiert. Solche Eingriffe bergen aber auch das Risiko von unvorhersehbaren Entwicklungen, wie dies die Geschichte des Föhrenblasenrostes zeigt (Gäumann 1959). Der wirtswechselnde Rostpilz *Cronartium ribicola* existierte unbeachtet und ohne merklichen Schaden zu verursachen in kleinen Arealen im Alpenraum und im Gebiet von Ostrusland auf Arven und weiteren fünfnadeligen Föhren sowie auf *Ribes*-Arten. Durch das ab dem 18. Jahrhundert im europäischen Raum verbreitete Anpflanzen der amerikanischen Weymouthsföhre (*Pinus strobus*), welche im Ursprungsland als krankheitsresistent bekannt war, sich aber als hochanfällig gegenüber dem Rostpilz erwies, wurden die beiden Areale miteinander verbunden, und der Blasenrost breitete sich epidemisch in ganz Mitteleuropa aus. Die Krankheit wurde später mit Pflanzen nach den USA verschleppt, wo viele weitere fünfnadelige Föhrenarten existieren, und verursacht dort als invasiver Organismus seither grosse wirtschaftliche und ökologische Schäden.

## Insekten reagieren rasch auf Klimawandel

Insekten sind geradezu prädestiniert, mit kurzfristigen Populationsschwankungen auf witterungsbedingte Störungen in Waldökosystemen zu reagieren (Feemers et al 2003, Logan et al 2003, Forster 2006). Schwieriger wird es, den Einfluss einer anhaltenden Klimaänderung auf Schadinsekten abzuschätzen. Auch bei deutlichen Veränderungen wird sich längerfristig wieder ein neues ökologisches Gleichgewicht einstellen. Sowohl bei den Insekten als auch bei ihren Wirtsbäumen dürfte es Gewinner und Verlierer geben. Besonders empfindlich reagieren Lebensgemeinschaften auf Grenzstandorten (Rigling et al 2006).

Die künftig höheren Temperaturen und geringeren Niederschläge setzen einerseits die Wirtsbäume unter Stress und reduzieren deren Widerstandskraft, andererseits können sich die Insekten rascher entwickeln, was beispielsweise zu mehr Generationen pro Jahr und grösseren Populationen führen kann (Wermelinger 2004, Rouault et al 2006). Eine verkürzte Entwicklungszeit reduziert zudem das Risiko, von Feinden dezimiert zu werden. Für viele Insektenarten sind die Temperaturen während der Vegetationsperiode entscheidend (Bale et al 2002). Höhere Temperaturen während der Überwinterung können für Insekten sowohl negative als auch positive Folgen haben. Frostempfindliche Arten oder Entwicklungsstadien können besser überleben, wenn tiefe Temperaturen ausbleiben, so beispielsweise Pflanzenläuse wie die Fichtenröhrenlaus (*Elatobium abietinum*; Ohnesorge 1961, Eastaugh 2008). Andererseits steigt bei vielen einheimischen Insekten, wie beispielsweise beim Lärchenwickler (*Zeiraphera diniana*), in milden Wintern das Risiko, die Reserven zu erschöpfen (Baltensweiler 1993) oder von Feinden oder Pilzkrankheiten eliminiert zu werden. Dies kann bei im Boden überwinterten Käfer-, Schmetterlings- und Blattwespenarten der Fall sein (Feemers et al 2003).

## Borkenkäfer prägen die Waldentwicklung

Als Auslöser von Borkenkäfer-Massenvermehrungen sind Extremereignisse wie ausserordentliche Trocken- und Hitzeperioden oder Stürme von grösserer Bedeutung als erhöhte Durchschnittstemperaturen. Käferepidemien können im Extremfall das Erscheinungsbild ganzer Landschaften radikal verändern. Innerhalb weniger Trocken- und Hitzejahre sind in Alaska (Wittwer et al 1998, Berg et al 2006) und Kanada (Westfall 2006, Mock et al 2007) Zehntausende von Quadratkilometern Nadelholzbestände abgetötet worden. In Mitteleuropa ist das bekannteste

Beispiel der Nationalpark Bayerischer Wald (Abbildung 2), in dem ein Grossteil der im Kerngebiet stockenden Fichten durch den Buchdrucker (*Ips typographus*) befallen wurde. Nebst Sturmereignissen und der Aufgabe von Bekämpfungsmassnahmen wird der Witterung auch in diesem Fall eine entscheidende Rolle attestiert (Weissbacher 2003). Grossflächiger Borkenkäferbefall führt zudem zu einer erhöhten Freisetzung von klimarelevantem CO<sub>2</sub> (Kurz et al 2008).



Abb 2 Borkenkäferschäden 1998 im Nationalpark Bayerischer Wald – ein in Europa künftig häufiges Bild?

Die auch in der Schweiz sich häufenden Witterungsextreme dürften öfter als früher zu Massenvermehrungen von Borkenkäfern führen. Etliche Käferarten haben sich seit den 1980er-Jahren unter dem Einfluss von Sturmereignissen und Hitzeperioden deutlich vermehrt, allen voran der Buchdrucker (Meier et al 2003, Engesser et al 2007b). Zwischen 1995 und 2005 wurden durch den Sturm Lothar von 1999 und durch den Buchdrucker schweizweit rund 40% des in dieser Periode zugewachsenen Fichtenholzvolumens eliminiert, im Mittelland gar 70% (Forster et al 2008). Auch andere Käferarten sind verstärkt in Erscheinung getreten, so beispielsweise der Krummzähne Weisstannenborkenkäfer (*Pityokteines curvidens*; Engesser et al 2005) oder in inneralpinen Trockentälern verschiedene Föhrenborkenkäfer- und Prachtkäferarten (Wermelinger et al 2008).

Der besonders milde Frühling 2000 und der Jahrhundertssommer 2003 ermöglichten in tieferen Lagen die ausserordentliche Entwicklung von je drei Buchdruckergenerationen (Forster 2006). Auch in höheren Lagen wurden zwei statt nur eine Generation festgestellt, was auch in Gebirgswäldern zu einem höheren Befallsrisiko führte (Krehan & Steyrer 2006). In einem Risikomodell wird für Österreich bei einem bescheidenen Anstieg der Temperatur um 1 °C eine Verdreifachung der Käferholzmenge prognostiziert (Seidl et al 2007). Hohe Temperaturen kön-

nen aber auch zum Austrocknen und unter der besonnten Rinde gar zum Hitzetod der Bruten führen. Auch das Brutmaterial trocknet schneller aus, sodass es sich nur kurz als Lebensraum und Nahrungsgrundlage eignet.

Obwohl bisher vor allem Nadelholz unter verstärktem Käferbefall gelitten hat, zeigen Beispiele in Mitteleuropa, dass auch gestresste Laubbäume vermehrt durch rinden- und holzbewohnende Käferarten angegangen werden. So werden beispielsweise Eichen oder Buchen, welche unter Kahlfrass oder Trockenheit leiden, sekundär durch Pracht- oder Borkenkäferarten befallen (Delb 2005).

### Wärmeliebende Insektenarten breiten sich aus

Neben der Arealausdehnung einer Art nach Norden und in höhere Lagen (Vanhanen et al 2007, Battisti 2008) kann die Klimaerwärmung auch eine regionale Zunahme der Populationsdichte bewirken. Diverse Schmetterlingsarten haben seit dem warmen Sommer 2003 deutlich zugenommen. So häuften sich in der Schweiz Beobachtungen von Kahlfrass an Waldbäumen, beispielsweise durch den Grossen und den Kleinen Frostspanner (*Erannis defoliaria* und *Operophtera brumata*), deren Frasstätigkeit in den 1980er- und 1990er-Jahren nicht das Ausmass der Jahre 2004 und 2005 erreicht hatte. Stärker aufgetreten sind auch wärmeliebende, einheimische Spinnerarten. Der Dunkle Goldafter (*Euproctis chryorrhoea*) und der Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*) konnten in der West- und Nordwestschweiz vermehrt festgestellt werden (Engesser et al 2007a).

Auch der Pinienprozessionsspinner (*Thaumetopoea pityocampa*) ist in der Südschweiz in grösserer Dichte aufgetreten, hingegen hat er sein Verbreitungsareal noch nicht wie in Frankreich (Bouhot-Delduc 2005) oder Italien (Aimi et al 2006) nach Norden ausgedehnt. Im Tessin und Wallis konnten aber in höheren Lagen um 1000 m ü. M. vermehrt Föhren mit Raupennestern beobachtet werden, so wie dies auch schon in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts der Fall war (Keller 1905). Möglicherweise begünstigte die milde Witterung der 1870er-Jahre schon damals eine vertikale Ausbreitung des Pinienprozessionsspinners. In kühleren Jahren ging der Befall wieder zurück. Auch in Spanien (Hódar 2003) und Italien (Battisti et al 2006) kann eine aktuelle Ausbreitung in höhere Lagen festgestellt werden.

Der erhöhte CO<sub>2</sub>-Gehalt der Atmosphäre führt nicht nur zu höheren Lufttemperaturen, sondern kann auch die Nahrungsqualität von Blattgewebe beeinträchtigen und bei Insekten vermehrte Frasstätigkeit auslösen (Stiling & Cornelissen 2007, Battisti 2008).

### Invasive Arten etablieren sich

Neben der klimabegünstigten Zunahme und Ausbreitung einheimischer Insekten und Pathogene müssen in Zukunft vermehrt auch Probleme mit fremden Organismen in Betracht gezogen werden, die sowohl vom globalen Warenhandel als auch von der Klimaerwärmung profitieren.

Über 100 nicht einheimische Insektenarten haben sich in den Wäldern Europas bisher etablieren können, die Mehrheit auf Laubbäumen (Mattson et al 2007). In der Schweiz wurden allein im Jahr 2007 vier neue Insektenarten auf Gehölzpflanzen bekannt (Engesser et al 2008). Viele fremde Arten werden zuerst auf exotischen Ziergehölzen im Siedlungsbereich gefunden. Sind sie artspezifisch, wie zum Beispiel die bekannte Rosskastanien-Miniermotte (*Cameraria ohridella*), ist kaum ein Überspringen auf Waldbaumarten zu befürchten. Sind es jedoch Organismen mit einem breiten Wirtsspektrum wie der Krankheitserreger *Phytophthora ramorum* oder die beiden asiatischen Laubholzbockkäfer (*Anoplophora* spp.), kann nicht ausgeschlossen werden, dass solche Arten von Gehölzen des Garten- und Siedlungsbereichs auch auf den Wald übergehen. Beispiele aus der Vergangenheit zeigen, dass effiziente natürliche Gegenspieler der Schadorganismen entweder nicht vorhanden sind, sich erst später an den neuen Wirt adaptieren oder ihrerseits zuerst eingeschleppt respektive importiert werden müssen (z.B. Grabenweger et al 2005). Ein bekanntes Beispiel einer eingeschleppten Krankheit mit dramatischer Auswirkung ist die Ulmenwelke (*Ophiostoma novo-ulmi*; Kirisits et al 2001), welche das Ulmensterben auslöste. Auch die mit Nordmannstannen aus dem Kaukasus eingeschleppte Weisstannentrieblaus (*Dreyfusia nordmanniana*) hat sich in der ganzen Schweiz auf Weisstanne etablieren können (Nierhaus & Forster 1999).

Der Hauptgrund für das häufigere Auftreten fremder Organismen ist der zunehmende globale Handel mit jeglicher Art von Waren. Zierpflanzen wie Bonsai oder Schnittblumen machen über 50% der wegen Insektenbefalls abgefangenen Importprodukte in Europa aus (Kenis et al 2007). Für Holzschädlinge relevant sind eingeführte Holzprodukte inklusive Verpackungsmaterialien wie Paletten und Kisten. In unbehandeltem Holz vorhandene Käferlarven können sich hier fertig entwickeln und nach dem Ausschlüpfen auf lebende Gehölze übergehen. In Mitteleuropa waren bisher für das Überleben und Etablieren solcher Organismen vor allem die tiefen Wintertemperaturen limitierend (Bale et al 2002). Die Klimaerwärmung mit mildereren Wintern erhöht das Risiko einer Etablierung einiger der zahlreich eingeschleppten Arten.

Ein weiterer Grund für das Auftreten invasiver Arten kann eine klimabedingte Arealausdeh-

**Abb 3** Der Asiatische Laubholzbockkäfer: in Europa eingeschleppt und lokal auf Ziergehölzen bereits etabliert.



nung sein. So tauchte zum Beispiel die bisher auf die Alpensüdseite beschränkte Malvenwanze (*Oxycarenus lavaterae*) im Jahr 2004 plötzlich massenhaft an Linden in der Stadt Basel auf (Wermelinger et al 2005). Dieses Phänomen des Vordringens von Insekten- und Pilzarten nordwärts in bisher klimatisch ungünstige Gebiete ist weltweit zu beobachten (Williams & Liebhold 2002, Vanhanen et al 2007, Battisti 2008).

Aus fremden Gebieten und Kontinenten eingeführte Gastbaumarten wie Edelkastanie, Douglasie oder Robinie werden häufig von der Pilzflora und der Insektenfauna des Ursprungsgebiets «eingeholt» (Mattson et al 2007). Infolge anderer Standortbedingungen, fehlender Koevolution des Systems «Wirtsbaum–Schadorganismus–Gegenspieler» im neuen Gebiet sowie klimatisch bedingter Veränderungen im Gefüge der einheimischen Artengemeinschaft (Ward & Masters 2007) können die eingeschleppten Organismen eine ganz andere Bedeutung

erlangen als im Ursprungsgebiet. Eindrückliche Beispiele dafür sind die Einschleppung der in Europa harmlosen Holzwespe *Sirex noctilio* oder des Pilzes *Dothistroma pini* in Plantagen von ebenfalls eingeführten *Pinus-radiata*-Föhren in der südlichen Hemisphäre (Gibson 1975; Madden 1988).

### Beispiele invasiver Organismen mit hohem Schadenpotenzial

Der Citrusbockkäfer (*Anoplophora chinensis*) und der Asiatische Laubholzbockkäfer (*A. glabripennis*; Abbildung 3) befallen seit dem Jahr 2000 in den umliegenden Ländern Laubbäume, vor allem Ahorn, Rosskastanie und Pappel. In der Schweiz wurden bisher erst Einzelexemplare gefunden (Wermelinger 2006). Beschränkte sich der Befall bisher auf Bäume im Siedlungsbereich, wurde in Österreich im Jahr 2007 erstmals auch ein Befall von *A. glabripennis* in

einem Waldstück entdeckt. Der asiatische Prachtkäfer *Agrilus planipennis* (emerald ash borer) wurde 2002 nach Nordamerika eingeschleppt und hat im Osten der USA bereits über 20 Millionen Eschen zum Absterben gebracht. Kürzlich wurde er auch in Moskau gefunden. Er gilt in Europa als Quarantäneorganismus (Anon 2005).

Bei den Pathogenen sind es vor allem *Phytophthora*-Arten, die Waldbäumen gefährlich werden könnten. Der kürzlich auch in Schweizer Baumschulen festgestellte Erreger *P. ramorum* befiel bisher nur Schneeball und Rhododendren (Heiniger et al 2004). An der amerikanischen Westküste verursacht dieser Schadorganismus ein ausgedehntes, unter der Bezeichnung «sudden oak death» bekanntes Baumsterben. Ein weiterer Quarantäneorganismus ist der Fadenwurm *Bursaphelenchus xylophilus*. Diese Föhren-Nematode wurde von Nordamerika nach Ostasien verschleppt und 1999 auch in Portugal nachgewiesen (Mota et al 1999). Die Art verursacht in den neuen Befallsgebieten eine grosse Mortalität in Föhrenbeständen.

## Fazit für den Waldschutz

Bei der Diskussion der Folgen einer Klimaänderung finden die Auswirkungen auf das Wirt-Pathogen-Gefüge oft wenig Beachtung oder werden unterschätzt. In welcher Weise sich die globale Erwärmung und eine Änderung des Klimas auf das Waldökosystem und somit auch auf die einheimischen und invasiven Schadorganismen auswirken werden, ist jedoch häufig ungewiss. In den kommenden Jahrzehnten dürften aber Epidemien häufiger auftreten. Ein besonderes Augenmerk gilt dabei verschiedenen Borkenkäferarten sowie wärmeliebenden nadel- und blattfressenden Insekten.

Eine Verteilung des Risikos auf möglichst viele Pfeiler ist eine geeignete Strategie zur langfristigen Gewährleistung der Waldfunktionen. Diese Forderung umfasst sowohl eine dem Standort angepasste Baumartenvielfalt, die Erhaltung einer hohen genetischen Variabilität der einzelnen Baumarten als auch einen stabilen Bestandaufbau. Damit erhöhen sich Widerstandsfähigkeit und Regenerationsfähigkeit eines Bestandes gegenüber potenziellen Schadorganismen. Eine gruppenweise Mischung reduziert den Stress durch Konkurrenz zwischen den Baumarten. Auch bei Überlegungen, ob eine einheimische oder fremdländische Baumart sich unter den veränderten Klimabedingungen besser bewähren könnte, sollte der Aspekt der Gefährdung dieser Baumart durch Krankheiten und Schädlinge berücksichtigt werden.

Zur Früherkennung von unerwünschten Veränderungen im Waldökosystem durch Störungen, insbesondere durch heimische und eingeschleppte

Pathogene und Insekten, ist die Überwachung des Waldökosystems ein zentrales Instrument. Wenn ungünstige Entwicklungen frühzeitig erkannt werden, können auch die Gegenmassnahmen zeitgerecht getroffen werden. Grundlage dafür bilden möglichst umfassende Kenntnisse der Ökologie der beteiligten Organismen. Bei der Planung der Schlagfolge und der Holzernte sollten Stresssituationen für die verbleibenden Bäume möglichst vermieden werden. Während Hitze- und Trockenperioden, aber auch in Kalamitätsjahren müssen heikle Eingriffe möglichst zurückgestellt werden, sofern diese nicht der Bekämpfung dienen.

Als vorbeugende Massnahme gegen die Einschleppung fremder Organismen kommt der Kontrolle gehandelter Pflanzen und Holzprodukte grosse Bedeutung zu. Die Einführung von Gesundheitszeugnissen ist dabei ein wichtiger Schritt, um die Verschleppung von Schadorganismen über Landesgrenzen und Handelsräume hinweg einzudämmen. Trotzdem werden auch zukünftig neuartige Probleme im Bereich der Waldgesundheit auf uns zukommen. Möglicherweise werden wir nicht nur mit unerwarteten Krankheiten und Schädlingen konfrontiert, sondern auch von der Flexibilität der Waldbestände überrascht sein.

Eingereicht: 20. März 2008, akzeptiert (mit Review): 11. Juli 2008

## Literatur

- AIMI A ET AL (2006) The outbreak of the pine processionary moth in Venosta/Vinschgau: ecological and economic aspects. *Forest Observer* 2–3: 69–80.
- ANON (2005) Data sheets on quarantine pests: *Agrilus planipennis*. EPPO Bull 35: 436–438. doi: 10.1111/j.1365-2338.2005.00844.x
- AYRES MP, LOMBARDERO MJ (2000) Assessing the consequences of global change for forest disturbance from herbivores and pathogens. *Sci Total Environ* 262: 263–286.
- BALE JS ET AL (2002) Herbivory in a global climate change research: direct effects of rising temperature on insect herbivores. *Glob Change Biol* 88: 1–16.
- BALTENSWEILER W (1993) Why the larch bud-moth cycle collapsed in the subalpine larch-cembra pine forests in the year 1990 for the first time since 1850. *Oecologia* 94: 62–66.
- BATTISTI A (2008) Forests and climate change – lessons from insects. *iForest* 1: 1–5.
- BATTISTI A, STASTNY M, BUFFO E, LARSSON S (2006) A rapid altitudinal range expansion in the pine processionary moth produced by the 2003 climatic anomaly. *Glob Change Biol* 12: 662–671.
- BERG EE, HENRY JD, FASTIE CL, DE VOLDER AD, MATSUOKA SM (2006) Spruce beetle outbreaks on the Kenai Peninsula, Alaska, and Kluane National Park and Reserve, Yukon Territory: relationship to summer temperatures and regional differences in disturbance regimes. *Forest Ecol Manage* 227: 219–232.
- BERGOT M ET AL (2004) Simulation of potential range expansion of oak disease caused by *Phytophthora cinnamomi* under climate change. *Glob Change Biol* 10: 1539–1552.

- BIER JE (1959) The relation of bark moisture to the development of canker diseases caused by native, facultative parasites. I: *Cryptodiaporthe* canker on willow. Can J Bot 37: 229–238.
- BOUHOT-DELDUC L (2005) Dynamique des populations de la processionnaire du pin et extension de son aire de colonisation de 1981 à 2004 en France. agriculture.gouv.fr/IMG/pdf/aire\_processionnaire\_pin-2.pdf (27.7.2008).
- BRASIER C (2003) *Phytophthora* in European forests: Their rising significance. Sudden Oak Death Online Symposium. www.apsnet.org/online/proceedings/sod/pdf/Brasier.pdf (27.7.2008).
- DALE VH ET AL (2001) Climate change and forest disturbances. BioScience 51: 723–734.
- DELB H (2005) Rindenbrüter an Buche nach der Trockenheit 2003. FVA-Einblick 9 (1): 6–7. www.fva-bw.de/publikationen/einblick/einblick200501.pdf (27.7.2008).
- DESPREZ-LOUSTAU ML, MARCAIS B, NAGELEISEN LM, PIOUS D, VANNINIA (2006) Interactive effects of drought and pathogens in forest trees. Ann For Sci 63: 597–612.
- EASTAUGH C (2008) Adaptions of forests to climate change: a multidisciplinary review. Vienna: IUFRO, Occas Papers 21. 83 p.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, ODERMATT O (2005) Waldschutzsituation 2004 in der Schweiz. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 60: 379–381.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, ODERMATT O (2006) Waldschutzsituation 2005 in der Schweiz. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 61: 385–387.
- ENGESSER R, FORSTER B, ANGST A, MEIER F (2007A) Eichenprozessionsspinner in der Nordwestschweiz. Wald Holz 88 (8): 18–19.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, ODERMATT O (2007B) Waldschutzsituation 2006 in der Schweiz. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 62: 369–371.
- ENGESSER R, MEIER F (2008) Witterungsextreme fördern das Triebsterben der Föhren. Gartenbau 129 (4): 16–18.
- ENGESSER R, FORSTER B, MEIER F, ODERMATT O (2008) Waldschutzsituation 2007 in der Schweiz. Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 63: 370–372.
- FEEMERS M, BLASCHKE M, SKATULLA U, GULDER HJ (2003) Klimaveränderungen und biotische Schäden im Wald. LWF-Aktuell 37: 19–22.
- FORSTER B (2006) Klimaerwärmung und Waldinsekten. Zür Wald 38 (4): 14–17.
- FORSTER B, MEIER F, BRÄNDLI UB (2008) Deutlicher Rückgang der Fichte im Mittelland – Vorratsabbau auch durch Sturm und Käfer. Wald Holz 89 (3): 52–54.
- FUHRER J ET AL (2006) Climate risks and their impact on agriculture and forests in Switzerland. Clim Change 79: 79–102.
- GÄUMANN E (1959) Die Rostpilze Mitteleuropas mit besonderer Berücksichtigung der Schweiz. Beiträge zur Kryptogamenflora der Schweiz. Band XII. Bern: Bümchler. 1407 p.
- GIBBS JN (1997) Fifty years of sooty bark disease of sycamore. Q J For 91: 215–221.
- GIBSON IAS (1975) Impact and control of *Dothistroma* blight of pines. Eur J For Pathol 4: 89–100.
- GRABENWEGER G ET AL (2005) Predator complex of the horse chestnut leafminer *Cameraria ohridella*: identification and impact assessment. J Appl Entomol 129: 353–362.
- HEINIGER U, THEILE F, STADLER B (2004) *Phytophthora ramorum* – eine Gefahr für den Schweizer Wald? Wald Holz 85 (9): 47–49.
- HÓDAR J, CASTRO J, ZAMORA R (2003) Pine processionary caterpillar *Thaumetopoea pityocampa* as a new threat for relict Mediterranean Scots pine forests under climatic warming. Biol Conserv 110: 123–129.
- JUNG T (2004) *Phytophthora* schädigt Buchenbestände in ganz Bayern. LWF-Aktuell 43: 36–37.
- KEHR R, KRAUTHAUSEN HJ (2004) Erstmaliger Nachweis von Schäden an Platanen (*Platanus × hispanica*) durch den Pilz *Splanchnonema platani* in Deutschland. Nachr.bl Dtsch Pflanzenschutzd 56 (10): 245–251.
- KELLER C (1905) Untersuchungen über die Höhenverbreitung forstschädlicher Tiere in der Schweiz. Mitt Schweiz Centralanst forstl Versuchswes 8 (1): 3–80.
- KENIS M, RABITSCH W, AUGER-ROZENBERG MA, ROQUES A (2007) How can alien species inventories and interception data help us prevent insect invasions? Bull Entomol Res 97: 489–502.
- KIRISITS T, KRUMBÖCK S, KONRAD H, PENNERSTORFER J, HALMSCHLAGER E (2001) Untersuchungen über das Auftreten der Erreger der Holländischen Ulmenwelke in Österreich. Forstwiss Cent.bl 120: 231–241.
- KREHAN H, STEYRER G (2006) Klimaänderung – Schadorganismen bedrohen unsere Wälder. bfw.ac.at/rz/document\_api.download?content=Praxisinfo\_Waldschutz.pdf (27.7.2008)
- KURZ WA ET AL (2008) Mountain pine beetle and forest carbon feedback to climate change. Nature 452: 987–990.
- LOGAN JA, REGNIERE J, POWELL JA (2003) Assessing the impacts of global warming on forest pest dynamics. Front Ecol Environ 1: 130–137.
- MADDEN JL (1988) *Sirex* in Australasia. In: Berryman AA. Dynamics of forest insect populations. New York: Plenum. pp. 407–429.
- MATTSON W, VANHANEN H, VETELI T, SIVONEN S, NIEMELÄ P (2007) Few immigrant phytophagous insects on woody plants in Europe: legacy of the European crucible? Biol Invasions 9: 957–974.
- MEIER F, ENGESSER R, FORSTER B, ODERMATT O (2000) Forstschutz-Überblick 1999. Birmensdorf: Eidgenöss. Forst. anstalt Wald Schnee Landsch. 24 p.
- MEIER F, GALL R, FORSTER B (2003) Ursachen und Verlauf der Buchdrucker-Epidemien (*Ips typographus* L.) in der Schweiz von 1984 bis 1999. Schweiz Z Forstwes 154: 437–441. doi: 10.3188/szf.2003.0437
- MOCK KE ET AL (2007) Landscape-scale genetic variation in a forest outbreak species, the mountain pine beetle (*Dendroctonus ponderosae*). Mol Ecol 16: 553–568.
- MOTA MM ET AL (1999) First report of *Bursaphelenchus xylophilus* in Portugal and in Europe. Nematology 1: 727–734.
- NIERHAUS-WUNDERWALD D, FORSTER B (1999) Zunehmendes Auftreten der Gefährlichen Weisstannentrieblaus. Biologie und Empfehlungen für Gegenmassnahmen. Wald Holz 80 (10): 50–53.
- OCCC (2007) Klimaänderung und die Schweiz 2050. Bern: ProClim. 172 p.
- OHNESORGE B (1961) Wann sind Schäden durch die Sitkalaus zu erwarten? Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge 16: 408–410.
- POLOMSKI J ET AL (2006) Occurrence of *Bursaphelenchus* species in declining *Pinus sylvestris* in a dry Alpine valley in Switzerland. For Pathol 36: 110–118.
- REQUARDT A ET AL (2007) Feasibility study on means of combating forest dieback in the European Union. www.worldforestry.de/img/ForestDieback\_Technical%20Report\_Final.pdf

- RIGLING A ET AL (2006)** Verdrängen Flaumeichen die Walliser Waldföhren? Birmensdorf: Eidgenöss. Forschungsanstalt Wald Schnee Landsch, Merkbl. Prax 41. 16 p.
- ROUAULT G ET AL (2006)** Effects of drought and heat on forest insect populations in relation to the 2003 drought in Western Europe. *Ann For Sci* 63: 613–624.
- SEIDL R, BAIER P, RAMMER W, SCHOPF A, LEXER MJ (2007)** Modelling tree mortality by bark beetle infestation in Norway spruce forests. *Ecol Model* 206: 383–399.
- STILING P, CORNELISSEN T (2007)** How does elevated carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) affect plant-herbivore interactions? A field experiment and meta-analysis of CO<sub>2</sub>-mediated changes on plant chemistry and herbivore performance. *Glob Change Biol* 13: 1823–1842.
- TOMICZEK C ET AL (2007)** Forstschuttsituation 2004 in Österreich. *Allg Forst Z Waldwirtsch Umweltvorsorge* 62: 372–374.
- VANHANEN H, VETELI TO, PÄIVINEN S, KELLOMÄKI S, NIEMELÄ P (2007)** Climate change and range shifts in two insect defoliators: gypsy moth and nun moth – a model study. *Silva Fenn* 41: 621–638.
- WARD NL, MASTERS GJ (2007)** Linking climate change and species invasion: an illustration using insect herbivores. *Glob Change Biol* 13: 1605–1615.
- WEISSBACHER A (2003)** Borkenkäfermassenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald – Brutraum und günstige Witterung sind entscheidend. Weihenstephan: Zentrum Wald Forst Holz, Waldforschung aktuell 4. pp. 2–3.
- WERMELINGER B (2004)** Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus*: a review of recent research. *For Ecol Manage* 202: 67–82.
- WERMELINGER B, WYNIER D, FORSTER B (2005)** Massenauf-treten und erster Nachweis von *Oxycarenus lavaterae* (F.) (*Heteroptera, Lygaeidae*) auf der Schweizer Alpennordseite. *Mitt Schweiz Entomol Ges* 78: 311–316.
- WERMELINGER B (2006)** Augen auf für einen bislang unbe-kannten Schädling. Erster Quarantänefall des Chinesischen Laubholzbockkäfers in der Schweiz. *Gartenbau* 127 (46): 2–4.
- WERMELINGER B, POLOMSKI J, HEINIGER U, RIGLING D, RIGLING A (2006)** Föhrensterben im Wallis: Welche Rolle spielen Schädlinge und Krankheiten? *Wald Holz* 87 (12): 58–61.
- WERMELINGER B, RIGLING A, SCHNEIDER MATHIS D, DOBBERTIN M (2008)** Assessing the role of bark- and wood-boring insects in the decline of Scots pine (*Pinus sylvestris*) in the Swiss Rhone valley. *Ecol Entomol* 33: 239–249.
- WESTFALL J (2006)** Summary of Forest Health Conditions in British Columbia 2005. [www.for.gov.bc.ca/ftp/HFP/external/publish/Aerial\\_Overview/2006/Aer\\_OV\\_final.pdf](http://www.for.gov.bc.ca/ftp/HFP/external/publish/Aerial_Overview/2006/Aer_OV_final.pdf) (27.7.2008)
- WILLIAMS DW, LIEBHOLD AM (2002)** Climate change and the outbreak ranges of two North American bark beetles. *Agric For Entomol* 4: 87–99.
- WITTWER D ET AL (1998)** Forest Insect and Disease Conditions in Alaska – 1998. Anchorage: US Dep Agriculture, For Service Alaska Region, Gen Tech Rep R10-TP-74. 57 p.

## Forstliche Schadorganismen im Zeichen des Klimawandels

Die prognostizierte Zunahme von höheren Temperaturen, trockenen Sommern und Witterungsextremen beeinflusst viele Schadorganismen sowohl direkt durch eine Erhöhung ihrer Vermehrungsraten als auch indirekt durch die Schwächung ihrer Wirtspflanzen sowie durch kaum vorhersehbare Verschiebungen im Beziehungsgefüge der Artengemeinschaften. Manche Pilzarten waren in der Vergangenheit unauffällig, verursachten aber in den Trockenperioden der letzten 20 Jahre merkbare Schäden. Auch die höheren Temperaturen im Winterhalbjahr wirken sich oft positiv auf das Überleben vieler Pilze und Insekten aus. Infolge der tendenziell häufiger zu erwartenden Stürme von Orkanstärke und der trockenheissen Sommer ist vermehrt mit Massenvermehrungen von Borkenkäfern und entsprechenden Schäden zu rechnen. Die als Folge des globalen Warenhandels häufiger eingeschleppten invasiven Krankheitserreger und Insekten können von den günstigeren Klimabedingungen profitieren und sich auf einheimischen oder auf Gastbaumarten etablieren.

Insekten und Krankheiten können die Walddynamik tief greifend beeinflussen. Diese Störungsfaktoren müssen deshalb bei der Diskussion künftiger Baumarten-Portfolios und Waldentwicklungsszenarien berücksichtigt werden.

## Les organismes nuisibles en forêt sous le signe du réchauffement climatique

L'augmentation prévue des températures, des étés secs et des événements météorologiques extrêmes influencera de nombreux organismes nuisibles, car elle exerce des effets tant directs qu'indirects. Les premiers se caractérisent par une augmentation du taux de reproduction de ces organismes. Les seconds résident dans un affaiblissement de leurs plantes hôtes et par des changements, difficilement prévisibles, dans les interactions entre les communautés spécifiques. Certaines espèces fongiques, insignifiantes dans le passé, ont provoqué des dégâts notables durant les périodes sèches de ces deux dernières décennies. En outre, les températures plus élevées durant le semestre d'hiver ont souvent favorisé la survie de nombreux champignons et insectes. En raison de la tendance à voir se multiplier à l'avenir les tempêtes atteignant l'intensité d'un ouragan ainsi que les étés chauds et secs, il faut s'attendre à une augmentation des pullulations massives de scolytes et à des dégâts à la mesure de cette évolution. Les pathogènes et insectes invasifs, de plus en plus nombreux à s'introduire avec les plantes et le bois importés par le commerce mondial, pourront aussi profiter des conditions climatiques plus favorables et s'installer sur des espèces ligneuses indigènes ou exogènes. Les insectes et les maladies pourraient bouleverser la dynamique de la forêt. Ces facteurs de perturbations méritent donc d'être pris en compte dans les discussions relatives aux futurs portfolios d'espèces ligneuses et dans les scénarios de l'évolution des forêts.