

3.14 Über die Zunahme thermophiler Schadorganismen in Wäldern am Beispiel der Borkenkäfer

SANDRA KRENGEL & PETRA SEIDEL

Über die Zunahme thermophiler Schadorganismen in Wäldern am Beispiel der Borkenkäfer: Im Zuge des Klimawandels werden Waldökosysteme wahrscheinlich den Auswirkungen sich ändernder abiotischer und biotischer Faktoren ausgesetzt sein. Die langen Produktionszyklen stellen die Forstwirtschaft daher hinsichtlich der Entwicklung geeigneter Anpassungsstrategien vor besondere Herausforderungen. Das Auftreten von Schaderregern wird durch den Klimawandel direkt und indirekt beeinflusst. Dadurch kann es zu einer Migration forstlicher Schadinsekten in bislang befallsfreie Regionen kommen und zu Verschiebungen in der Bedeutung der Schaderreger. Borkenkäfer (Coleoptera: Scolytidae) gelten auf Grund ihrer Lebensweise, ihrer thermophilen Eigenschaften und ihres hohen Vermehrungspotentials nach heutigem Kenntnisstand als mögliche Gewinner des Klimawandels. Extreme Wetterereignisse wie Trocken- und Hitzeperioden können die Prädisposition ihrer Wirtsbäume erhöhen. In Folge vermehrt auftretender Stürme steht den Borkenkäfern zusätzlicher Brutraum zur Verfügung, was unter begünstigenden Umweltbedingungen zu einer Massenvermehrung führen kann. Auch die Populationsdynamik der Borkenkäfer selbst ist wesentlich vom Klimawandel beeinflusst. In warmen Jahren kommt es bereits heute zu einem zeitigeren Auftreten, höheren Vermehrungsraten, schnelleren Entwicklungszeiten sowie der Ausbildung zusätzlicher Generationen und von Geschwisterbruten. Um dem klimawandelbedingt veränderten Gefährdungspotential entgegen zu wirken, gilt es die zukünftigen Risiken rechtzeitig abzuschätzen und flexible Waldbau- und Waldschutzstrategien zu entwickeln.

On increasing relevance of thermophilic pests in forests using the example of bark beetles: In the course of climate change, forest ecosystems are likely to face changes in abiotic as well as biotic factors. Especially the long-term production cycles of forests present challenging conditions regarding the development of appropriate adaptation strategies. The occurrence of forest pests will be affected by changing climate conditions indirectly as well as directly. Thus, forest pests could migrate to previously uninfected regions or the relevance of forest pests itself could shift. Due to their mode of life, their thermophilic traits and their high reproductive potential bark beetles (Coleoptera; Scolytidae) are assumed to benefit from a changing climate. Extreme weather events, such as drought and heat periods, could elevate the predisposition of their host trees. In succession of storms a higher amount of breeding material is available; in the case of favorable environmental conditions this is able to promote mass reproduction. The population dynamics of bark beetles itself are affected by climate change as well. Earlier swarming, increasing reproduction rates, fastened development and the development of additional generations and sister broods have already been recognized in the course of very warm years. The early assessment of future risks and the development of flexible forest management strategies are major tasks in order to prevent increasing forest pest risks in future.

Die Forstwirtschaft ist vom Klimawandel betroffen, da genutzte Wälder lange Produktionszyklen von bis zu über 100 Jahren durchlaufen müssen (LEXER 2009, BOLTE & DEGEN 2010, BRÄSICKE & HOMMES 2012, SEIDEL 2013, BRÄSICKE & WULF 2014). So muss sich ein Baum im Laufe seiner Entwicklung und im Zuge rascher Klimaänderungen an deutlich veränderte Umweltbedingungen anpassen (LEXER 2009). In vielen Breiten wurden bereits in den vergangenen Jahren und Jahrzehnten bedeutende Änderungen des Klimas beobachtet, die sich mit wesentlich höherer Geschwindigkeit als zum Ende der letzten Eiszeit vollziehen (BOLTE & IBISCH 2007). Somit ist nach LEXER (2009) eine natürliche Anpassung über genetische Prozesse oder natürliche Migration von Baumarten nicht möglich. Darüber hinaus ist zu erwarten, dass sich die vielschichtigen trophischen Beziehungen innerhalb der Wälder neu einstellen (PETERCORD et al. 2009) und forstwirtschaftliche Konsequenzen nach sich ziehen.

Im Zuge des Klimawandels werden Waldökosysteme wahrscheinlich den Auswirkungen sich än-

dernder abiotischer Faktoren (Temperaturen, Niederschläge, Trockenheit und anderer Wetterextreme) und ihrer zunehmenden Variabilität sowie Änderungen im Krankheits- oder Schaderregervorkommen ausgesetzt sein (LEXER 2009, PETERCORD et al. 2009, SEIDEL 2013, BRÄSICKE & WULF 2014). Neben veränderten Wachstumsbedingungen werden sich dadurch veränderte Konkurrenzbedingungen der Baumarten einstellen, denen die baumartspezifischen Toleranzgrenzen zu Grunde liegen (LEXER 2009, LEDER 2010, BRÄSICKE & WULF 2014). Sind die veränderten Umweltbedingungen an einem Waldstandort durch die dort wachsenden Baumarten nicht tolerierbar, kommt es zu einer physiologischen Schwächung bis hin zum Absterben. Im Gegensatz zum Anbau einjähriger Pflanzen benötigt auch die Planung und Umsetzung waldbaulicher Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel wesentlich längere Zeiträume. Um den Schutz des Waldes und seiner Nutz-, Schutz- und Erholungsfunktionen nachhaltig zu gewährleisten, kommt einer rechtzeitigen, vorbeugenden und sorgfältigen Analyse, Bewertung und

Abschätzung zukünftiger Risiken deshalb besondere Bedeutung zu (KIRCHMEIER et al. 2000, LEXER 2009).

Auf der Grundlage einer Literaturrecherche werden nachfolgend einige wichtige Zusammenhänge hinsichtlich der klimawandelbedingten Zunahme thermophiler Schadorganismen in Wäldern am Beispiel der Borkenkäfer dargestellt.

Die Bedeutung forstlicher Schaderreger in Zeiten des Klimawandels

Sowohl zyklische als auch unregelmäßige Massenvermehrungen (Kalamitäten) forstlicher Schaderreger sind ein immer wiederkehrendes Phänomen, mit dem die Forstwirtschaft seit jeher umgehen muss (SCHWERDTFEGER 1981, ALTENKIRCH et al. 2002, PETERCORD et al. 2008, BRÄSICKE & WULF 2014). Wie bei allen Kulturpflanze-Schaderreger-Interaktionen liegen auch Störungen durch forstliche Schaderreger in der Regel die direkten und indirekten Wirkungen einer Vielzahl von Einflussfaktoren und ihrer Wechselwirkungen zu Grunde (ALTENKIRCH et al. 2002, FACCOLI 2009, PETERCORD 2008, SEIDEL 2013, BRÄSICKE & WULF 2014). Die Wechselwirkungen können dabei hinsichtlich der Schadwirkung sowohl synergistisch und additiv als auch hemmend wirken und sind dafür ursächlich, dass sich Kalamitäten in Häufigkeit, Intensität und Dauer unterscheiden.

Zu Schäden kommt es grundsätzlich, wenn die Schadeinwirkung die Toleranzgrenzen eines Waldökosystems überschreitet, was durch eine herabgesetzte Widerstandsfähigkeit der Bäume und/oder eine außergewöhnlich hohe Intensität der Schadeinwirkung verursacht werden kann (ALTENKIRCH et al. 2002). Erheblichen Einfluss auf das Gefährdungspotential einer Baumart haben deren Disposition (genetisch bedingte Anfälligkeit) und Prädisposition (von Umweltfaktoren, Alter oder Entwicklungsstand abhängige Anfälligkeit). Eine erhöhte Prädisposition von Baumarten gegenüber schaderregerbedingten Störungen ist in vielen Fällen die Folge extremer Witterungsereignisse, wie beispielsweise langen Trocken- oder Hitzeperioden. Zusätzlich stellt der fortwährende Eintrag von Luftschadstoffen (Immission) wie Stickstoffverbindungen, Schwefeldioxid oder Schwermetallen eine weitere Belastung dar (ALTENKIRCH et al. 2002). Diese Faktoren verursachen physiologischen Stress und damit einhergehend eine Minderung der Abwehrkräfte eines Baumes. Die Bäume sind dann meist nicht mehr in der Lage, durch eine Störung normalerweise hervorgerufene Abwehrmechanismen, wie sekundären Harzfluss oder Veränderungen nutritiver Eigenschaften des Laubes, zu mobilisieren (ALTENKIRCH et al. 2002, BRÄSICKE & WULF 2014). Nach Stürmen vermehrt auftretendes Bruchholz kann

zusätzlichen Brutraum für rindenbrütende Schadinsekten wie den Buchdrucker (*Ips typographus* L.) und den Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus* L.) bieten und bei begünstigender Witterung eine Massenvermehrung fördern (FEEMERS et al. 2003, TOMICZEK 2010, BRÄSICKE & WULF 2014).

Auch die Populationsdynamik von Schadinsekten selbst und das damit verbundene Potential zur Massenvermehrung wird wesentlich durch vom Klimawandel beeinflussbare, abiotische Faktoren wie Temperatur, Niederschlag, Luftfeuchtigkeit und Sonnenscheindauer, also sowohl der klimatischen Charakteristik eines Standortes als auch der jahresspezifischen Witterung, und biotischen Faktoren wie das Potential und die Abundanz natürlicher Gegenspieler (Parasitoide, Pathogene, Prädatoren), inter- und intraspezifische Konkurrenz, Nahrungsqualität und ihrer Vitalität gesteuert (SCHWERDTFEGER 1941, FEEMERS et al. 2003, PETERCORD et al. 2008, PETERCORD 2008, KRENGEL et al. 2014). Nicht zu vernachlässigen ist, das auch vom Klima unabhängige Faktoren, wie die geografische Lage des betrachteten Waldökosystems, der Jahreszeitenwechsel und die jahreszeitlich bedingte Tageslichtlänge, auf das Zusammenspiel zwischen Wald und Schaderreger einwirken (mündliche Information, PETERCORD 2016). Die Anpassung von Schaderregern an das sich ändernde Klima kann grundsätzlich in die zwei übergeordneten Reaktionsmuster »Migration« und »Adaption« gegliedert werden (KROMP-KOLB 2003; PETERCORD et al. 2008). Unter Migration wird verstanden, dass sowohl heimische als auch gebietsfremde Arten neue und/oder unter bisherigen Klimabedingungen ungeeignete Habitate erobern können. Adaptive Prozesse der Schadinsekten an den Klimawandel können unter anderem erhöhte Reproduktionsraten, das frühere Auftreten im Jahresverlauf, die Bildung zusätzlicher Generationen polivoltiner Arten innerhalb einer Befallssaison oder ein verändertes Überwinterungsverhalten sein (PETERCORD et al. 2008, BRÄSICKE & WULF 2014, KRENGEL et al. 2014). Dabei ist die Temperatur, wie eingangs beschrieben, für Schadinsekten zwar nicht die alleinige, aber dennoch eine zentrale Antriebskraft aller beteiligten Lebensprozesse. Insbesondere thermophile Arten können in Folge des Klimawandels an Bedeutung gewinnen, da es in zu einer stärkeren Annäherung an die je nach Art und Lebensprozess spezifischen Optimaltemperaturen kommen wird (HARRINGTON & WOIWOD 1995, JAHN & FREIER 2001, KRENGEL et al. 2014). Mögliche Konsequenzen sind, dass es zu Verschiebungen in der Bedeutung forstlicher Schadinsekten kommt und Arten mit bislang untergeordneter Rolle an Relevanz gewinnen oder heute relevante Arten stärker oder weniger bedeutend wer-

den, sich die Koinzidenz zwischen Schaderreger- und Wirtspflanzenentwicklung verändert oder sich neue Arten etablieren (RAMSFIELD et al. 2016).

Die Vielzahl dieser beispielhaft aufgeführten direkten und indirekten Einflussfaktoren zeigt, dass allgemeingültige Aussagen zur Wirkung des Klimawandels auf das zukünftige Schadpotential forstlicher Schaderreger und vorbeugender Anpassungsstrategien nur schwer möglich sind (MÖLLER 2009), denn jede Baumart, jeder Schaderreger und jedes Waldökosystems reagiert individuell, hoch komplex und dynamisch auf klimatische Veränderungen und die Witterung. Dennoch lassen sich bereits heute erste Trends einer klimawandelbedingt zunehmenden Relevanz einiger forstlicher Schaderreger beobachten (u.a. FEEMERS et al. 2003, IMMLER & BLASCHKE 2007, PETERCORD et al. 2008, MÖLLER 2009, MÖSSMER 2009, BRÄSICKE & WULF 2014).

Borkenkäfer – Gewinner des Klimawandels

Die Gruppe der Borkenkäfer (Coleoptera: Scolytidae) umfasst mehrere hundert Arten, wovon nur ein geringer Teil forstwirtschaftlich relevant ist. Die derzeit in Deutschland bedeutendsten einheimischen Arten sind der Buchdrucker (*Ips typographus*) und der Kupferstecher (*Pityogenes chalcographus*). Daneben kommt es regelmäßig zu verstärktem, aber meist weniger verheerendem Auftreten weiterer Arten wie dem Kleinen achtzähligen Fichtenborkenkäfer (*Ips amitinus*), dem Nadelnutzholzborkenkäfer (*Typodendron lineatum*) oder dem Achtzähligen Lärchenborkenkäfer (*Ips cembrae*) (EBNER & SCHERER 2001). Mit dem Schwarzen Nutzholzborkenkäfer (*Xylosandrus germanus*) und dem Amerikanischem Nutzholzborkenkäfer (*Gnathotrichus materarius*) treten zwei eingeschleppte Arten auf, die bislang vor allem in Süd-, West- und Norddeutschland erfasst wurden (IMMLER & BLASCHKE 2007, MÖSSMER 2009).

Borkenkäfer sind Sekundärschädlinge (JOHN et al. 2016), das heißt, sie besiedeln hauptsächlich durch Witterung (insbesondere Stürme, Schneebruch oder Trockenstress), Immissionen oder andere Schaderreger vorgeschädigte und/oder absterbende Bäume. Wenn Bruträume z.B. durch vorangegangene Stürme wie »Vivian/Wiebke« (1990), »Lothar« (1999) oder »Kyrrill« (2007) zur Verfügung stehen und warm-trockene Witterung während der Brutsaison optimale Bedingungen bietet, kann es z. B. dem Buchdrucker gelingen, sich umfangreich zu vermehren (FEEMERS et al. 2003, PETERCORD 2008, TOMICZEK 2010, BRÄSICKE & WULF 2014). In Folge des hohen Schaderregerdruckes kann es dann sogar zu der Besiedelung gesunder Bäume

kommen und aus den einstigen Sekundärschädlingen werden Primärschädlinge (TOMICZEK 2010, JOHN et al. 2016).

In Hinblick auf die Konsequenzen des Klimawandels stellen die Borkenkäfer eine interessante Gruppe dar, denn diese thermophilen Schadinsekten zeigen bereits viele der zuvor geschilderten Reaktionsformen auf veränderte Klimabedingungen. Wenngleich noch längst nicht alle Zusammenhänge geklärt sind, werden die in den letzten Jahren gemessenen Änderungen des Klimas, z.B. steigende Temperaturen, als wesentliche Ursachen der steigenden Relevanz von Borkenkäfern angesehen. Sie gelten nach heutigem Wissenstand als mögliche Gewinner des Klimawandels (PETERCORD 2009, JOHN et al. 2016). Je nach Lebensweise werden Borkenkäfer in Rinden- und Holzbrüter klassifiziert (EBNER & SCHERER 2001). Rindenbrüter besiedeln dabei vor allem stehendes Holz und Holzbrüter in der Regel liegendes Holz, also bereits gefällte Bäume. Die meist bräunlich bis schwarz gefärbten Käfer kommen je nach Art sowohl in Laub- als auch in Nadelholz vor, wobei große wirtschaftliche Schäden besonders in Nadelholzbeständen drohen (insbesondere der Fichte). In der Regel ist eine Borkenkäferart aber recht eng an eine bestimmte Baumart gebunden und bevorzugt entweder dünnrindige (z.B. *P. chalcographus*) oder starkrindige (z.B. *I. typographus*) Bereiche des Stammes (EBNER & SCHERER 2001). Die adulten Käfer bohren sich in die Rinde (Rindenbrüter) oder das Splintholz (Holzbrüter) ein, legen artspezifische Brutgänge an und dort ihre Eier ab (Abb. 3.14-1). Die Larven und Imagines rindenbrütender Borkenkäfer ernähren sich vom Bast und der Kambialschicht der Bäume, wodurch es in der Regel zu einer irreparablen Schädigung und zu einem Absterben der Bäume kommt (JOHN et al. 2016). Holzbrütende Borkenkäfer hingegen züchten in Ihren Brutgängen Ambrosiapilze, von denen sie sich ihre Larven ernähren, was zu erheblichen Wertverlusten des Holzes führt (EBNER & SCHERER 2001, JOHN et al. 2016).

Weiterführende Hinweise zur Biologie verschiedener Borkenkäferarten, Befallsgebieten und Bekämpfungsmöglichkeiten sind unter anderem folgenden Quellen zu entnehmen: NW-FVA (2015), JOHN et al. (2016) und LWF (2016).

Am Beispiel des Buchdruckers (*I. typographus*) sollen nachfolgend einige bedeutende Wechselwirkungen zwischen Klimawandel und thermophilen Schaderregern erläutert werden.

Buchdrucker (*Ips typographus* L.)

Der Buchdrucker ist die in Deutschland bedeutendste rindenbrütende Borkenkäferart und wie alle anderen Borkenkäfer integraler Bestandteil von Waldökosyste-

men (ÖHRN 2012, NW-FVA 2015). Der etwa 4,2-5,5 m große rot- bis schwarzbraune Käfer (EBNER & SCHER 2001, NW-FVA 2015) (Abb. 3.14-2) kommt vorrangig an Fichtenarten vor und war in den vergangenen Jahren immer wieder in der Lage, starke Populationsgrößen aufzubauen und große Mengen an Kalamitätsholz zu verursachen. Auf Grund dieser Bedeutung und des in den vergangenen Jahren verstärktem Auftretens ist der Zusammenhang zwischen seiner Populationsdynamik und Wetterparametern vergleichsweise gut untersucht. Nach derzeitigem Wissenstand können ihn seine Eigenschaften und seine Lebensweise, insbesondere auf Grund steigender Temperaturen, zu einem Gewinner des Klimawandels machen (FEEMERS et al. 2003, IMMLER & BLASCHKE 2007, PETERCORD 2008, JOHN et al. 2016). Berechnungen mit Klimasimulationsmodellen ergaben, dass sich das Verbreitungsgebiet des Buchdruckers deutlich in höhere, bislang befallsfreie Lagen ausdehnen könnte (LEXER 2009).

Mehrere Faktoren sprechen für den positiven Effekt des Klimawandels auf den Buchdrucker

Der Hauptwirt des Buchdruckers, die Fichte (*Picea abies*), ist eine nur mäßig trockentolerante, flachwurzeln- und deshalb wurfanfällige Nadelbaumart. Wie im vorherigen Abschnitt erläutert, ist das Vorhandensein ausreichenden Brutmaterials eine Grundvoraussetzung seiner Massenvermehrung. Es gibt einen nachweisbaren Zusammenhang zwischen den Massenvermehrungen des Buchdruckers und dem Vorhandensein von Schadholz durch Stürme oder zu hohe Schneelasten im

Winter (PETERCORD 2008, ÖHRN 2012). Auch ist eine vorangegangene Schwächung der Fichtenbestände durch Trockenstress für eine umfangreiche Vermehrung von Vorteil (FEEMERS et al. 2003, PETERCORD et al. 2008, FACCOLI 2009, MÖLLER 2009, SEIDEL 2013), da die Abwehrkräfte der Fichten durch den Trockenstress herabgesetzt und Abwehrmechanismen wie das Ausharzen oder die Bildung toxischer Pflanzeninhaltsstoffe gemindert sein können (ALTENKIRCH et al. 2002).

Die Entwicklung des Buchdruckers wird wesentlich von der Temperatur gesteuert, und warm-trockene Jahre fördern ein zeitigeres Auftreten (Schwärmen), höhere Vermehrungsraten, schnellere Entwicklungszeiten sowie die Ausbildung einer höheren Anzahl von Generationen und Geschwisterbruten (FEEMERS et al. 2003, FACCOLI 2009, PETERCORD 2008, MÖLLER 2009, ÖHRN 2012, NW-FVA 2015, JOHN et al. 2016). Nach der Überwinterung beginnt die Schwärmzeit der Buchdrucker in der Regel gegen Mitte April (EBNER & SCHERER 2001) ab einer Temperatur von 20 °C (ÖHRN 2012). In warmen Frühjahren setzt der Schwärmflug der Borkenkäfer deutlich früher ein; und so steht mehr Zeit für Bruten bis zum Spätsommer zur Verfügung. Dies zeigte sich beispielsweise im Jahr 2011, in dem das Frühjahr deutlich wärmer und trockener als im langjährigen Mittel war und der Schwärmflug der Fichtenborkenkäfer circa 10 bis 14 Tage früher als normal einsetzte (BRÄSICKE & HOMMES 2012). Die Entwicklungsdauer vom Ei bis zum adulten Käfer beträgt je nach Temperatur etwa 6 bis 10 Wochen (EBNER & SCHERER 2001, JOHN et al. 2016), dabei liegt das Temperaturminimum für die Entwicklungsgeschwindigkeit



Abb. 3.14-1: Borkenkäfer - Brutbilder, Larve, Imago und geschädigter Bestand (© Protasov AN).

bei 8,3 °C, die Optimaltemperatur bei 30,4 °C und das Maximum bei 38,9 °C (WERMELINGER & SEIFERT 1998, SCHOPF 2009, FACCOLI 2009, PETERCORD 2008). Dieser Temperaturbereich zeigt, dass *I. typographus* an ein breites klimatisches Spektrum angepasst ist (FEEMERS et al. 2003), unterstreicht aber auch seine thermophilen Eigenschaften, da das Optimum beachtlich hoch liegt.

Das Einsetzen der Winterruhe (Diapause) hingegen wird maßgeblich von der Photoperiode gesteuert (FACCOLI 2009, PETERCORD 2008) und wird nach ÖHRN (2012) in Mitteleuropa bei einer Tageslichtlänge von <16 h induziert. Daraus ergibt sich, dass eine Verschiebung des Zeitpunktes der Induktion der Winterruhe durch den Klimawandel eher unwahrscheinlich ist. Die Überwinterung des Buchdruckers erfolgt meist in der Rinde (alle Stadien), seltener im Boden (Imagines) (EBNER & SCHERER 2001, JOHN et al. 2016). Die sogenannten weißen Stadien (Eier und Larven) haben in normalen Wintern eher geringe Überlebenschancen. Kommt es klimawandelbedingt vermehrt zu warm-feuchten Wintern, könnten die Buchdrucker gegenüber anderen Arten, die ausschließlich im Boden überwintern, dennoch einen Vorteil haben, da die in der Rinde überwinternden Arten weniger von Verlusten durch den Befall mit entomopathogenen Pilzen betroffen sein könnten (FEEMERS et al. 2003).

Sein hohes Vermehrungspotential ist ein weiterer entscheidender Aspekt in Hinblick auf das zukünftige Potential dieser Art. Eine Beispielrechnung zeigt, dass ein Weibchen im Verlaufe eines Befallsjahres, in dem die Ausbildung dreier Generationen möglich ist, bis zu 31.250 Nachkommen (Jungkäfer 3. Generation) erzeugen kann (NW-FVA 2015). Schaffen es die Käfer durch die angeführten begünstigenden Rahmenbedingungen, solch hohe Populationsdichten aufzubauen, kann es zu erheblichen forstwirtschaftlichen Verlusten kommen.



Abb. 3.14-2: Buchdrucker (*Ips typographus* L.) – Imago (©JKI-GF Braunschweig).

Ausblick:

Wenngleich viele der anhand der Borkenkäfer beispielhaft angeführten Zusammenhänge zwischen dem Klimawandel und der Populationsdynamik thermophiler forstlicher Schadinsekten bislang noch nicht gänzlich erforscht und auf Grund der vielschichten Wechselwirkungen auch schwer in Gänze abzuschätzen sind, wird der Klimawandel den Waldbau nach heutigem Wissensstand vor erhebliche Herausforderungen stellen. Dabei wird »das Erfahrungswissen von Waldbesitzern und forstlichen Betriebsleitern zumindest teilweise seine Gültigkeit verlieren« (PETERCORD 2008). Die Hauptaufgabe der forstwissenschaftlichen Forschung und forstwirtschaftlichen Praxis wird es sein, flexible, integrierte Waldbau- und Waldschutzstrategien mit komplexem, systemaren Ansatz zu entwickeln und zu implementieren, um dem klimawandelbedingt veränderten Gefährdungspotential entgegen zu wirken. Weiterführende Hinweise hierzu finden interessierte Leser unter NW-FVA (2015), JOHN et al. (2016) und LWF (2016).

Literatur:

- ALTENKIRCH, W., C. MAJUNKE & B. OHNESORGE (2002): Waldschutz: Auf ökologischer Grundlage. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart. 434 S.
- BRÄSICKE, N. & M. HOMMES (2012): Die Waldschutzsituation 2011 in der Bundesrepublik Deutschland. Journal für Kulturpflanzen 64 (3): 77-85.
- BRÄSICKE, N. & A. WULF (2014): Über die Zunahme thermophiler Schadorganismen in den Wäldern – Umbaupläne müssen dies berücksichtigen. In: LOZÁN J. L.; GRASSL, H.; KARBE, L. & G. JENDRITZKY (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffentlichung. (Kap 4.8) – www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.
- BOLTE, A. & B. DEGEN (2010): Anpassung der Wälder an den Klimawandel: Optionen und Grenzen. VTI Agriculture and Forestry Research 3 (60): 111-118.
- BOLTE, A. & P. I. IBISCH (2007): Neun Thesen zum Klimawandel, Waldbau und Waldnaturschutz. AFZ – Der Wald 11: 572-576.
- EBNER S. & A. SCHERER (2001): Die wichtigsten Forstschädlinge. Insekten – Pilze – Kleinsäuger. Leopold Stocker Verlag, Graz – Stuttgart, 199 S.
- FACCOLI, M. (2009): Effect of weather in *Ips typographus* (Coleoptera Cuculionidae) phenology, voltinism, and associated spruce mortality in the Southeastern Alps. Environmental Entomology 38 (2): 307-316.
- FEEMERS, M., M. BLASCHKE, U. SKATULLA & H.-J. GULDER (2003): Klimaveränderungen und biotische Schäden im Wald. LWF aktuell 37: 19-21.
- HARRINGTON, R. & I. P. WOIWOD (1995): Insect crop pests and the changing climate. Weather 50: 200-208.
- IMMLER, T. & M. BLASCHKE (2007): Forstschädlinge profitieren vom Klimawandel – Klimaerwärmung stellt Waldschützer vor neue Herausforderungen. LWF aktuell 60: 24-26.
- JAHN, M. & B. FREIER (2001): Changes in occurrence of plant diseases, pests and beneficials. In: LOZÁN J. L.; GRASSL, H. & P. HÜPFER (Hrsg.): Climate of the 21st century: chances and risks. Wissenschaftliche Auswertungen, Hamburg. 463 S.
- JOHN, R., H. DELB, K. HIELSCHER, R. HURLING et al. (2016): Borkenkäfer an Nadelbäumen erkennen, vorbeugen, kontrollieren. 8. überarbeitete Auflage. aid Infodienst, Bonn, 54 S.
- KIRCHMEIR, H., M. JUNGMEIER, E. HERZOG & G.

- GRABHERR (2000): Der Wald im Klimawandel - Nachhaltige Waldentwicklung im sommerwarmen Osten Österreichs. Bundesministerium für Bildung, Wissenschaft und Kultur (Hrsg.), Wien.
- KRENGEL, S., B. KLOCKE, P. SEIDEL & B. FREIER (2014): Veränderungen im Auftreten von Pflanzenkrankheiten, Schädlingen und deren natürlichen Gegenspielern. In: LOZÁN J. L.; GRASSL, H.; KARBE, L. & G. JENDRITZKY (Hrsg.). Warnsignal Klima: Gefahren für Pflanzen, Tiere und Menschen. 2. Auflage. Elektron. Veröffent. (Kap 4.3) – www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de.
- KROMP-KOLB, H. (2003): Auswirkungen von Klimaveränderungen auf die Tierwelt – derzeitiger Wissensstand, fokussiert auf den Alpenraum und Österreich. Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien. 141 S.
- LEDER, B. (2010): Strategie zur Ableitung waldbaulicher Handlungsoptionen im Klimawandel. AFZ – Der Wald 3: 12-13.
- LEXER, M. (2009): Waldbewirtschaftung im Klimawandel. In: EITZINGER, J.; KERSEBAUM, K. C. & H. FORMAYER (Hrsg.). Landwirtschaft im Klimawandel. Auswirkungen und Anpassungsstrategien für die Land- und Forstwirtschaft in Mitteleuropa. Agrimedia. 376 S.
- LWF (2016): Borkenkäferinfoportal der Bayerischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft. www.lwf.bayern.de/waldschutz/monitoring/065609/index.php (aufgerufen am 20.10.2016).
- NW-FVA (2015): Praxis-Information Nr. 1 – 04/2015, Integrierte Bekämpfung rindenbrütender Borkenkäfer Nordwestdeutsche Forstliche Versuchsanstalt (Hrsg.), 30. S.
- MÖLLER, K. (2009): Aktuelle Waldschutzprobleme und Risikomanagement in Brandenburgs Wäldern. Wald im Klimawandel – Risiken und Anpassungsstrategien. Eberswalder Forstliche Schriftenreihe Band 42, 63-72.
- MÖSSMER, E.-M. (2009): Manche mögen's heiß. Waldschädlinge im Klimawandel. DBU. 40. S.
- ÖHRN, P. (2012): The spruce bark beetle *Ips typographus* in a changing climate – Effects of weather conditions on the biology of *Ips typographus*. Introductory Research Essay No 18, Department of Ecology; Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala, Sweden; 27 pp.
- PETERCORD, R. (2008): Waldschutz und Klimawandel – „Wet-tlauf“ mit den Schädlingen? LWF Wissen 63: 61-69.
- PETERCORD, R., H. VEIT, H. DELB & H. SCHRÖTER (2008): Forstinsekten im Klimawandel – alte Bekannte mit neuem Potenzial? FVA-einblick 1: 36-39.
- PETERCORD, R., S. LEONHARD, M. MUCK, H. LEMME et al. (2009): Klimaänderung und Forstschädlinge – Waldschutz-Klimaprojekt rüstet die Waldwirtschaft für die anstehenden Aufgaben. LWF aktuell 72: 4-7.
- PETERCORD, R. (2016): Zitat aus Beitrag „Auswirkungen des Klimawandels auf Schadinsekten am Beispiel der Gebirgsfichtenblattwespe (*Pachynematus montanus* ZADDACH) bei der 60. Deutschen Pflanzenschutztagung in Halle (Saale) im September 2016. Julius-Kühn-Archiv 454: 306.
- RAMSFIELD, T. D., B. J. BENTZ, M. FACCOLI, H. JACTEL et al. (2016): Forest health in a changing world: effects of globalization and climate change on forest insect and pathogen impacts. *Forestry* 89: 245-252.
- SCHOPF, A., P. BAIER & J. PENNERSTORFER (2009): Entwicklung eines Systems zur örtlich und zeitlich differenzierten Abschätzung des Gefährdungspotenzials durch den Buchdrucker (*Ips typographus* L.) in Sachsen auf Basis des Modells PHENIPS. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft, 104.
- SCHWERDTFEGER, F. (1941): Über die Ursachen des Massenwechsels der Insekten. *Zeitschrift für Angewandte Entomologie* 28 (2-3): 254-303.
- SCHWERDTFEGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten. 4. Neuarbeitete Aufl., Verlag Paul Parey, Hamburg und Berlin, 486 S.
- SEIDEL, P. (2013): Mögliche Auswirkungen des Klimawandels auf Schaderreger im Forst. In: KLIMAPS - Online-Datenbank Klimawandel und Pflanzenschutz. [http://klimaps.julius-kuehn.de/Ansicht.action?artikel_id=218&suchtext=forst&autortexte=\(abgerufen am 20.10.2016\)](http://klimaps.julius-kuehn.de/Ansicht.action?artikel_id=218&suchtext=forst&autortexte=(abgerufen%20am%2010.2016)).
- TOMICZEK, C. (2010): Forstschutzsituation kritisch betrachtet im Rückblick der letzten Jahre und Zukunftsperspektiven. BFW – Praxisinformation Nr. 21: 3-4.
- WERMELINGER, B. & M. SEIFERT (1998): Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and the analysis of the potential population growth. *Ecological Entomology* 24: 103-110.

Kontakt:

Dr. Sandra Krengel

Dr. Petra Seidel

Julius Kühn-Institut (JKI)

Bundesforschungsinstitut für Kulturpflanzen

Institut für Strategien und Folgenabschätzung

Kleinmachnow

Sandra.Krengel@julius-kuehn.de

Petra.Seidel@julius-kuehn.de

Krengel, S. & P. Seidel (2016): Über die Zunahme thermophiler Schadorganismen in Wäldern am Beispiel der Borkenkäfer. In: Lozán, J. L. S.-W. Breckle, R. Müller & E. Rachor (Hrsg.). Warnsignal Klima: Die Biodiversität. pp. 184-189. Online: www.klima-warnsignale.uni-hamburg.de. doi:10.2312/warnsignal.klima.die-biodiversitaet.30.