

Abschätzung des Buchdruckerrisikos mithilfe des Modells PHENIPS

von Markus Kautz und Manuel Händel

Der Buchdrucker (*Ips typographus* L.) ist die mit Abstand wirtschaftlich bedeutendste Borkenkäferart in Baden-Württemberg. Dieses Schadinsekt kann in Phasen der Massenvermehrung, wie wir sie derzeit erleben, selbst vitale, standortsangepasste Fichten befallen und dadurch ganze Bestände zum Absterben bringen. Im vergangenen Trockenjahr sind beispielsweise landesweit fast 2 Mio. Festmeter Fichten-Schadholz allein durch den Buchdrucker angefallen. Ganz entscheidend für das potentielle Vermehrungsvermögen des Buchdruckers, und somit für das Befallsrisiko, sind die thermischen Bedingungen. Kurz gesagt: Je wärmer das Klima, desto kürzer der Entwicklungszyklus der Käfer und desto größer folglich die Anzahl der aufeinander folgenden Generationen pro Jahr. Aufgrund der extrem hohen Vermehrungsrate von bis zu 1:20 (d.h. aus einem Weibchen entwickeln sich 20 Weibchen der Folgegeneration) steigt letztlich das Befallsrisiko exponentiell mit zunehmender Generationenanzahl.

Dieses klimaabhängige phänologie-basierte Befallsrisiko durch den Buchdrucker geht neben weiteren Risikofaktoren (s. Beitrag „Baumarteneignung 2.0 und Vulnerabilitätskarten“) in die Beurteilung der Baumarteneignung und Vulnerabilität der Baumart Fichte ein. Der Buchdruckerbefall ist darüber hinaus natürlich noch von weiteren kleinräumig variierenden Faktoren abhängig, wie z.B. der räumlichen Nähe zu Vorjahresbefall bzw. Sturmwürfen, der Struktur und dem Alter der Bestände sowie der Intensität von waldhygienischen Managementmaßnahmen. Diese Faktoren fließen jedoch aufgrund der räumlich-zeitlich inkonsistenten Datenlage nicht in die vorliegende Beurteilung ein.

Um das phänologie-basierte Buchdruckerrisiko unter Berücksichtigung des fortschreitenden Klimawandels zu charakterisieren, wurde mit dem Phänologiemodell PHENIPS (Baier et al., 2007) die Anzahl der potenti-

ellen Buchdrucker-Generationen pro Jahr unter verschiedenen Klimaszenarien berechnet. Sobald die simulierte Generationenanzahl definierte Schwellenwerte überschreitet, wurde das Eignungskriterium „Stabilität“ im Gesamtkonzept der Beurteilung der Baumarteneignung herabgesetzt (s. Beitrag „Multikriterielle Bewertungen“).

Das PHENIPS-Modell

Modellbeschreibung

Als Eingangsparameter berücksichtigt das Modell die mittlere und maximale Lufttemperatur sowie die Globalstrahlung für jeden Tag während der Aktivitätsperiode von Anfang April bis Ende Oktober eines jeden Jahres. Aus diesen beiden Parametern wird zunächst die tägliche Rindentemperatur berechnet, welche für die Entwicklung der Käfer unter der Rinde relevant ist.

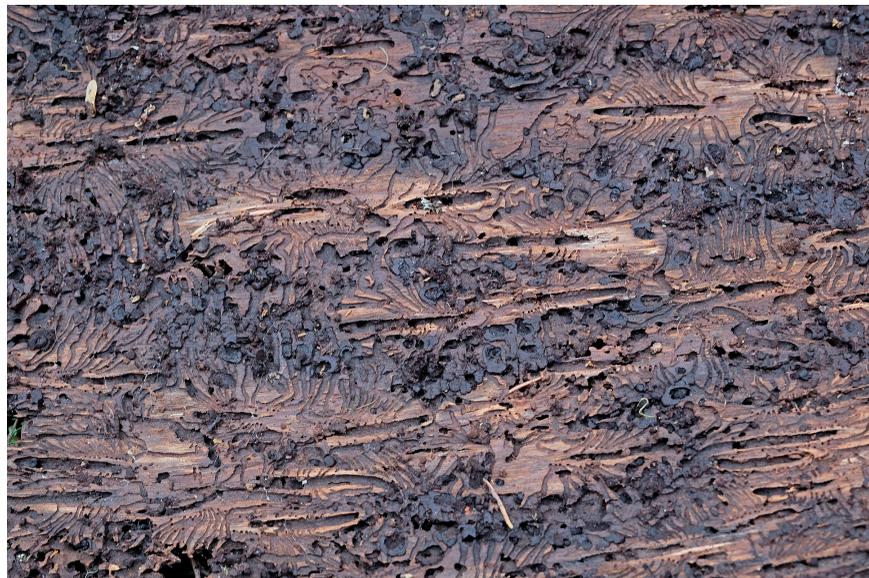


Abb. 1: Buchdrucker-Brutbild.

(Foto: Thomas Weidner)

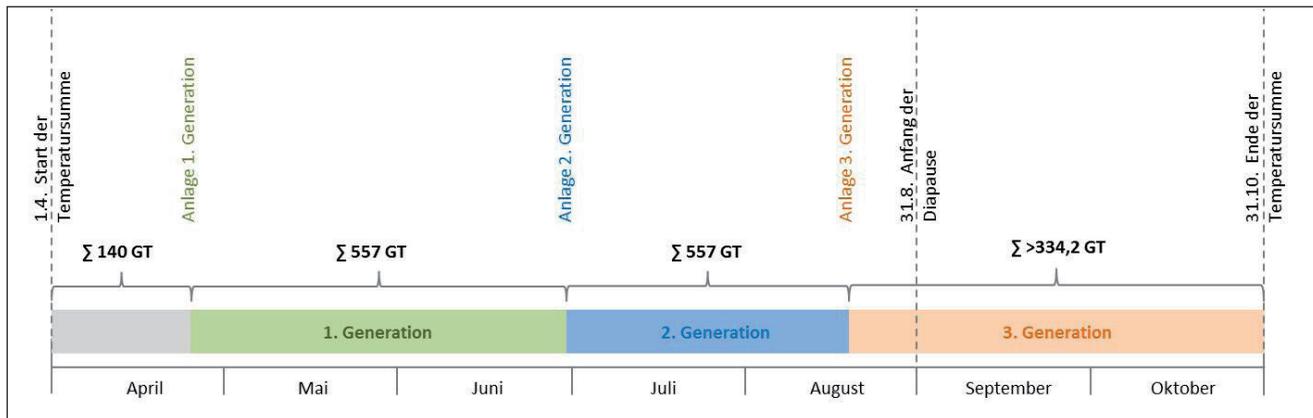


Abb. 2: Beispiel einer Generationenentwicklung im PHENPS-Modell: 2 Generationen wurden hier vollständig entwickelt, eine dritte erreicht vor dem 31.10. das für eine erfolgreiche Überwinterung erforderliche Imaginalstadium; folglich ergeben sich für dieses Beispieljahr 3 entwickelte Generationen; GT = Gradtage.

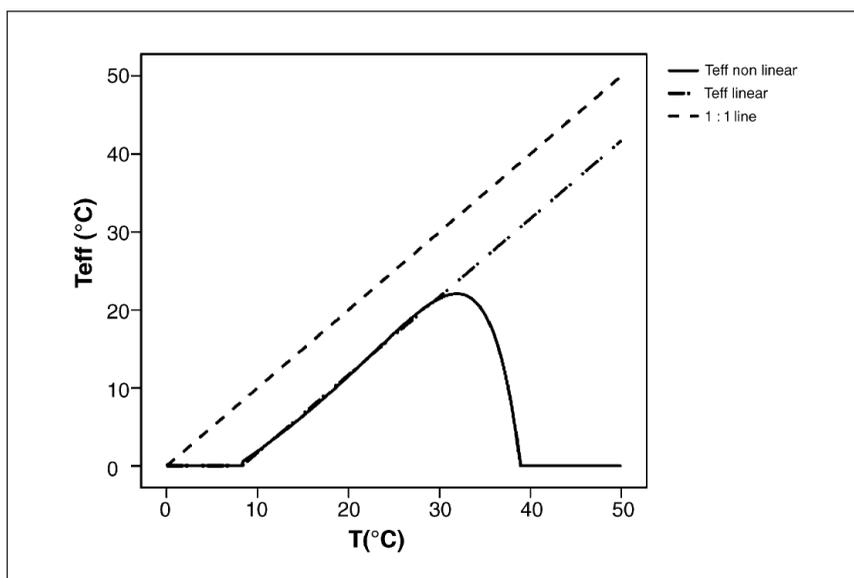


Abb. 3: Zusammenhang zwischen Lufttemperatur (x-Achse) und Entwicklungsgeschwindigkeit (y-Achse, nach Baier et al., 2007): die durchgezogene Linie beschreibt die nicht-lineare Entwicklungsfunktion von der Entwicklungsuntergrenze (8,3°C) über das Optimum (30,4°C) bis zur Entwicklungsobergrenze (38,9°C); die Strich-Punkt-Linie zeigt die Linearität bis zum Optimum, parallel zur 1:1-Linie (gestrichelt) verlaufend.

Anschließend wird diese täglich über die Aktivitätsperiode aufsummiert; man erhält somit für jeden Tag die aktuelle Temperatursumme und schließlich Ende Oktober eine jährliche Gesamttemperatursumme. Da bei der Globalstrahlung die horizontale Globalstrahlung verwendet wird, welche zwar die Topographie, nicht jedoch die Beschattung im Bestand abbildet, handelt es sich um progressive Werte, also um maximal mögliche Temperatursummen wie sie beispielsweise an besonnten Waldrändern oder Sturmflächen auftreten können.

Im Modell sind diverse Annahmen zur temperaturbedingten Entwicklung der Käfer getroffen worden, welche gegenüber der veröffentlichten Version (Baier et al., 2007) nicht geändert wurden. So werden die ersten Fichten an jenem Tag befallen, an dem ab dem 1.4. die Summe der maximalen Lufttemperatur an Tagen >8,3°C (Entwicklungsuntergrenze) 140 Gradtage (Einheit der Temperatursumme) erreicht wird und gleichzeitig die notwendige Schwärmtemperatur von $\geq 16,5^\circ\text{C}$ auftritt; zu diesem Zeitpunkt wird die erste Generation angelegt. Die vollständige Entwicklung dieser Generation dauert anschließend 557 Gradtage (an Tagen mit $>8,3^\circ\text{C}$), bis erneut der Ausflug und die Anlage der Folgegeneration stattfinden kann, usw. (Abb. 2). Der Zusammen-

hang zwischen der Entwicklungsgeschwindigkeit und der auftretenden Temperatur wird durch eine nicht-lineare Funktion beschrieben: Die Entwicklungsgeschwindigkeit steigt bis zu einem Temperaturoptimum von 30,4°C linear an und fällt oberhalb wieder ab (Abb. 3). Ein Ausflug ab dem 31. August ist aufgrund der initialisierten Diapause bei einer Tageslänge <14,5 Stunden nicht mehr möglich. Bis Ende Oktober kann sich aber ein Käfer unter der Rinde weiterhin entwickeln, solange die untere Entwicklungsschwelle von 8,3°C nicht unterschritten wird. Aus der Jahrestemperatursumme wird dann die Anzahl an Generationen, die sich vollständig entwickelt haben, berechnet. Dabei wird berücksichtigt, dass ein Käfer als überwinterrungsfähig gilt und damit als vollwertige Generation mitgezählt wird, wenn er sich bis zum Ende der Aktivitätsperiode bereits im imaginalen Stadium befindet, d.h. 60% seiner Entwicklung abgeschlossen hat (= 334,2 Gradtage, Abb. 2).

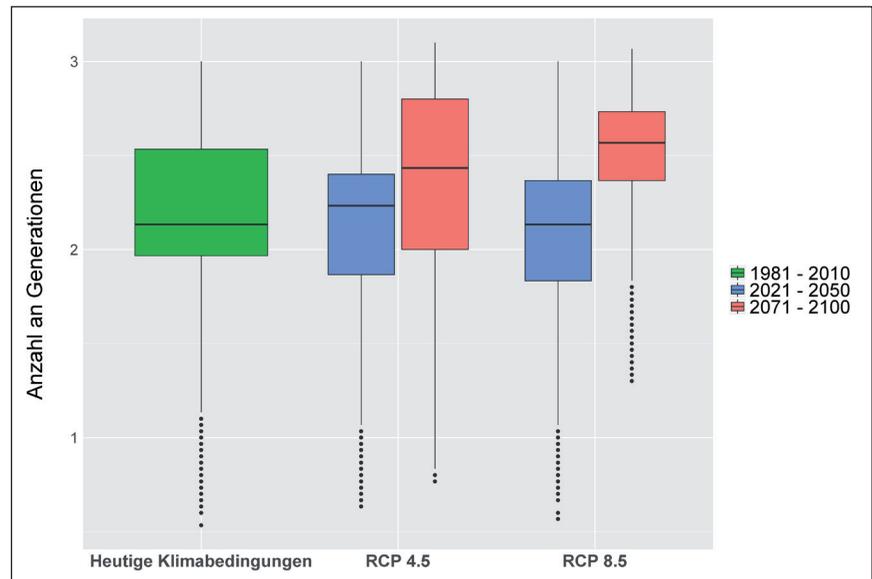


Abb. 4 Vergleich der mittleren Generationenanzahl in Baden-Württemberg unter heutigen (grün, 1981-2010) und zukünftigen Klimabedingungen (blau, 2021-2050; rot, 2071-2100).

Input-Daten und Simulationen

Als Input für die PHENIPS-Simulationen wurden die mit dem REMO-

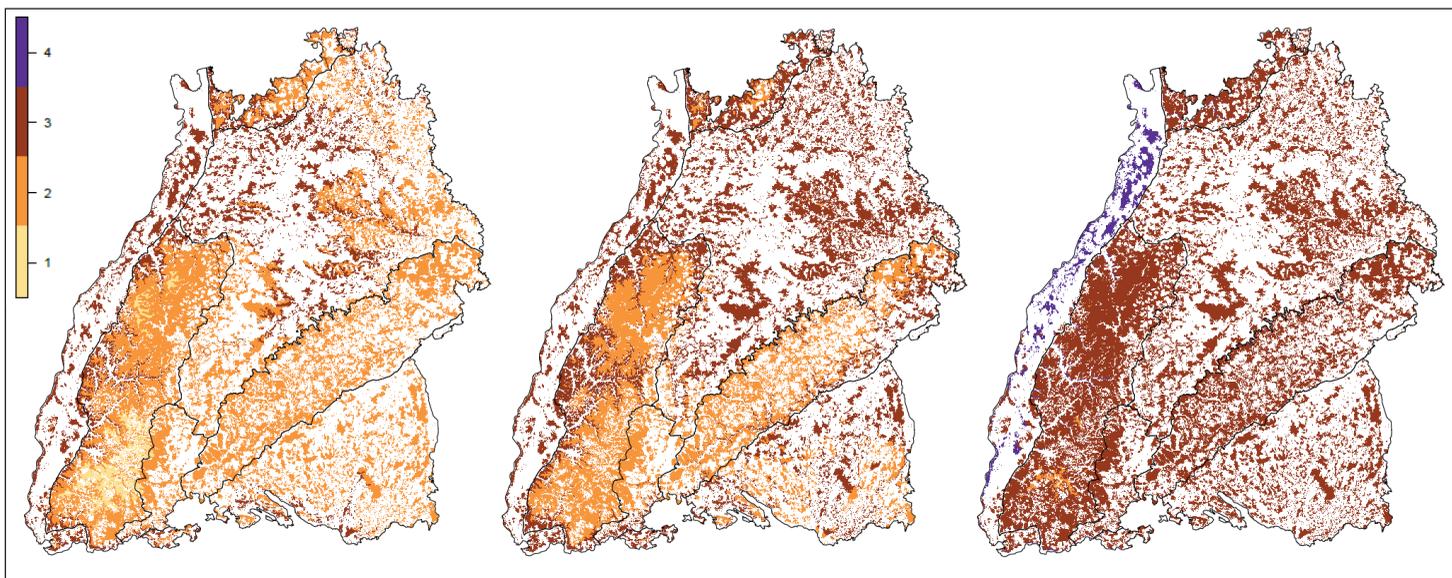


Abb. 5: Räumliche Verteilung der Generationenanzahl: (links) heutige Klimabedingungen, Mittelwerte der Periode von 1981-2010; (mittig) und (rechts) zukünftige Klimabedingungen der Periode von 2071-2100 (RCP 8.5-Szenario), (mittig) Mittelwerte und (rechts) Maximalwerte in den 7 Wuchsgebieten in Baden-Württemberg; dargestellt ist die Gesamtwaldfläche (siehe zu den Wuchsgebieten Abb. 4 auf Seite 12).

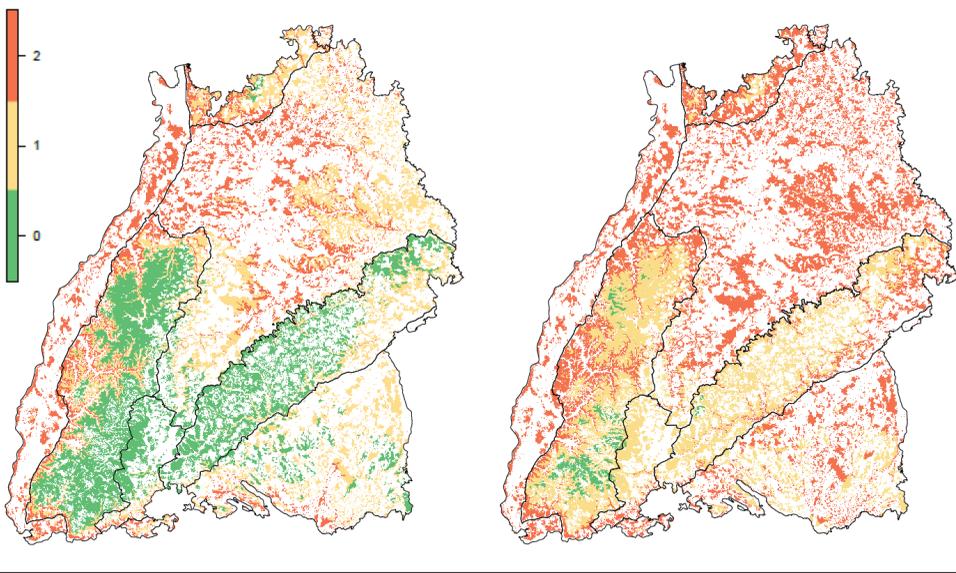


Abb. 6: Räumliche Verteilung der abgeleiteten Risikoklassen: (links) heutige mittlere Klimabedingungen (1981-2010) und (rechts) zukünftige mittlere Klimabedingungen (RCP 8.5-Szenario, 2071-2100) in den 7 Wuchsgebieten in Baden-Württemberg (Bezeichnung in Abb. 5); dargestellt ist die Gesamtwaldfläche.

Modell berechneten Klimadaten der RCP-Szenarien 4.5 und 8.5 in einer räumlichen Auflösung von 250 x 250 m verwendet. Dabei entspricht die Klimaperiode 1981-2010 dem heutigen Klima, 2021-2050 dem Klima in naher Zukunft und 2071-2100 dem Klima in fernerer Zukunft. Für diese drei 30-jährigen Zeitperioden wurden die Simulationen durchgeführt und die Anzahl der Generationen pro Jahr in Baden-Württemberg mit einer Auflösung von 250 x 250 m ausgegeben (s. Beitrag „Klimatologische Datengrundlagen“).

Klimawandel lässt Buchdruckerrisiko steigen

Unter gegenwärtigen Klimabedingungen (1981-2010) entwickeln sich in Baden-Württemberg durchschnittlich 2,2 (SD $\pm 0,4$) Buchdrucker-Generationen (Abb. 4), wobei die Anzahl aufgrund der Topographie räumlich stark variiert (Abb. 5 links). Während sich in weiten Teilen des Schwarzwaldes und der Schwäbischen Alb in einem mittleren Jahr 2

Generationen (in den Gipfellagen nur 1 Generation) entwickeln, führen die wärmeren Temperaturen in den tiefer gelegenen Bereichen zu bis zu 3 Generationen im langjährigen Mittel. Selbst in Extremjahren wird in Lagen ab ca. 700 m ü.NN. im Schwarzwald und auf der Schwäbischen Alb bisher keine 3. Generation entwickelt; in Tieflagen kommt es auch in diesen Jahren nicht zur 4. Generation. Dies wird sich zukünftig jedoch ändern: Während in den kommenden Jahren (2021-2050) der Trend noch weitgehend gleich bleibt bzw. lokal sogar leicht rückläufig ist, führen die gegen Ende des Jahrhunderts verstärkenden ansteigenden Temperaturen in beiden betrachteten RCP-Szenarien zu einem deutlichen Anstieg der Generationenanzahl und damit des Buchdruckerrisikos (Abb. 4, 5 mittig). Die Anzahl der Generationen gemittelt über alle Rasterzellen im Zeitraum 2071-2100 steigt somit innerhalb von 90 Jahren um 0,2-0,4 auf 2,4 ($\pm 0,4$)-2,6 ($\pm 0,3$) an (RCP 4.5 bzw. 8.5). Dies bedeutet im progressiven RCP 8.5-Szenario einen leichten Anstieg der Höhengrenze

bis zu welcher sich im Mittel eine 3. Generation entwickeln kann (Abb. 5 links, mittig). Betrachtet man jedoch die maximale Entwicklung, also Extremjahre, kommt die 3. Generation in den Jahren 2071-2100 fast flächendeckend vor (mit Ausnahme der Gipfel des Südschwarzwaldes) und in der Rheinebene kann sich sogar die 4. Generation entwickeln (Abb. 5 rechts). Das Auftreten dieser Extremjahre ist bezüglich der Risikobewertung von besonderer Bedeutung: Da die Populationsdynamik des Buchdruckers nachhaltig, also über mehrere aufeinander folgende Jahre von solchen Extremjahren profitiert, lassen bereits wenige Extremjahre während einer 30-jährigen Periode das Buchdruckerrisiko überproportional ansteigen.

Um letztlich die Vulnerabilität der Fichte bewerten zu können, wurde die für jede Rasterzelle simulierte mittlere Generationenanzahl mit folgendem Schlüssel in Risikoklassen übersetzt:

- <2 Generationen = Risikoklasse 0 (gering)
- 2 – 2,5 Generationen = Risikoklasse 1 (mittel)
- >2,5 Generationen = Risikoklasse 2 (hoch)

Werden also beispielsweise in einer 30-jährigen Periode in je 15 Jahren 2 bzw. 3 Generationen entwickelt, entspricht dies 2,5 Generationen; Werte >2,5 bedeuten, dass es in der Mehrzahl an Jahren eine 3. Generation gibt. Folgt man diesem Bewertungsschlüssel, fallen aktuell jeweils etwas mehr als ein Drittel der waldbedeckten Landesfläche in die Klassen 0 und 1 (mittlere und höhere Lagen), ca. 25% in die höchste Klasse 2 (Tieflagen <450 m ü.NN., Abb. 6 links und 7). Diese Bilanz ändert sich dramatisch wiederum erst in den ferneren Zukunftsszenarien. Im RCP 8.5-Szenario rutschen großflächige Gebiete zwischen 400 m und 600 m ü.NN. aus der Klasse 1 in die Klasse 2 mit dann 55%-Anteil an der Gesamtwaldfläche, und nur die Hochlagen von Schwarzwald und

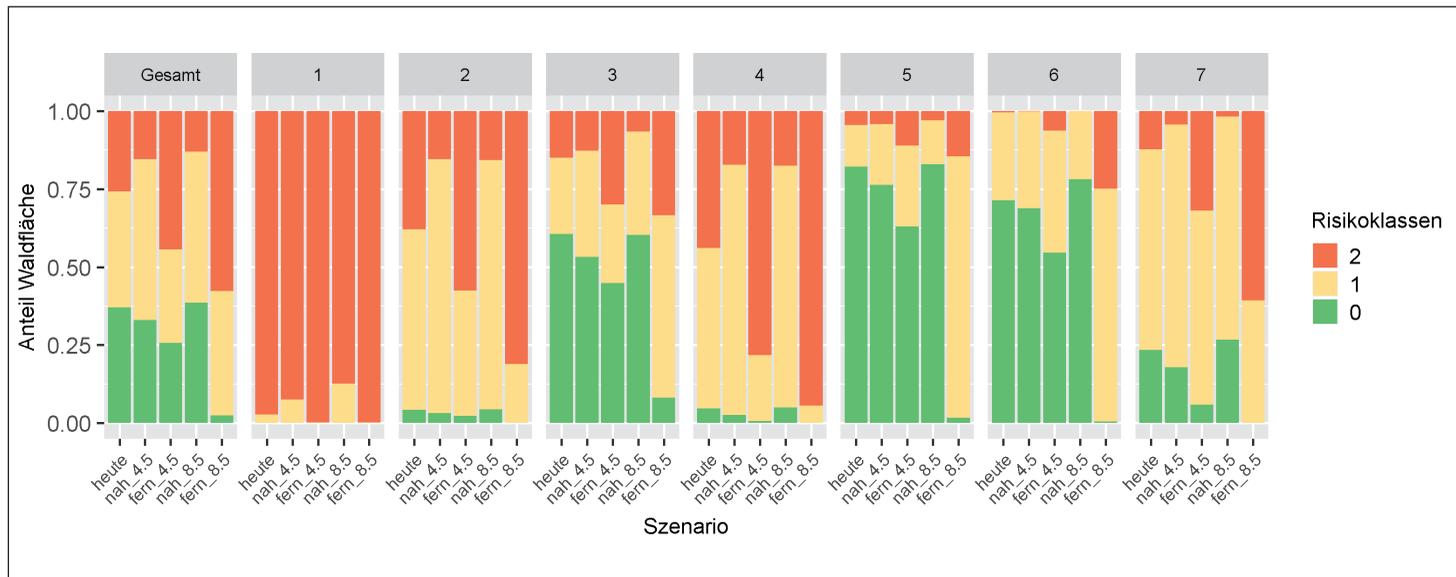


Abb. 7: Prozentuale Verteilung der abgeleiteten Risikoklassen in Gesamt-Baden-Württemberg sowie in den einzelnen Wuchsgebieten (1-7) unter heutigen und zukünftigen mittleren Klimabedingungen; „heute“, „nah“ und „fern“ bezieht sich auf die Zeitperioden 1981-2010, 2021-2050 bzw. 2071-2100, „4.5“ und „8.5“ auf das entsprechende RCP-Szenario.

Alb zählen weiterhin noch zur Risiko-klasse 0 (3%). Ein Risikoanstieg ist insgesamt auf 66% der Waldfläche in Baden-Württemberg zu erwarten (Abb. 7), d.h. auf 34% von Klasse 0 auf 1, auf 31% von 1 auf 2 und auf 1% von 0 auf 2. Betrachtet man die regionalen Unterschiede in den verschiedenen Wuchsgebieten sind Risikoanstiege in allen Wuchsgebieten bis auf die Rheinebene (Wuchsgebiet 1) zu erwarten, in welcher aber bereits heute schon die höchste Risikoklasse 2 herrscht. Während in Schwarzwald (3), Baar-Wutach (5) und der Schwäbischen Alb (6) vielfach das Risiko von Klasse 0 auf 1 ansteigt, dominiert im Odenwald (2), dem Neckarland (4) und dem Südwestdeutschen Alpenvorland (7) der Anstieg von 1 auf 2 (Abb. 7).

Die Modellsimulationen zeigen eindeutig, dass sich zukünftig steigende Temperaturen unmittelbar auf das Buchdruckerrisiko auswirken und somit die Baumart Fichte gegen Ende des Jahrhunderts in ihrer Stabilität maßgeblich negativ beeinflussen – grundsätzlich gilt: je größer der mittlere Temperaturanstieg sowie die

Frequenz von extremen Hitze- und Trockenjahren, desto höher die Vulnerabilität. Folglich stellt sich für den Waldbau bereits in den kommenden Jahren die Herausforderung, die Baumart Fichte in den Regionen mit zukünftig erhöhtem Risiko weitgehend zu ersetzen.

Dr. Markus Kautz
FVA, Abt. Waldschutz
Tel.: (07 61) 40 18 - 1 94
markus.kautz@forst.bwl.de

Literatur

Baier, P., Pennerstorfer, J., & Schopf, A. (2007): PHENIPS – A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. *Forest Ecology and Management*, 249(3), 171-186.