

Gefährdung der Kiefernwälder in British Columbia durch Borkenkäferbefall

Von Ulrich Kohnle, Freiburg

Weitgehend unbemerkt von der forstlichen Öffentlichkeit in Mitteleuropa läuft seit 1998 in der westkanadischen Provinz British Columbia eine spektakuläre Borkenkäfer-Massenvermehrung ab. Der Befall erreicht bislang ein Ausmaß von etwas unter 700 Mio. m³ Schadholz. Das entspricht knapp der Hälfte des wirtschaftlich nutzbaren Kiefernholzes der Provinz. Mit dem für etwa gegen 2020 prognostizierten Ende der Massenvermehrung wird erwartet, daß sich der Gesamtbefall auf etwa drei Viertel des Vorrates erhöhen dürfte.

Kiefernwälder umfassen in British Columbia (BC) eine Fläche von etwa 14 Mio. ha Wald [1]. Der größte Flächenanteil entfällt auf die Drehkiefer („Lodgepole Pine“; *Pinus contorta*), die vor allem die Wälder im Zentralbereich der Provinz von Natur aus dominiert. Aufgrund ihrer weiten Verbreitung bildet diese Kiefernart eine essentielle Rohstoffbasis für die Forst- und Holzwirtschaft in der Provinz: sie hat einen Anteil von ca. 20 % am gesamten Nutzholzvorrat und 2003 belief sich der Jahreseinschlag an Drehkiefer auf etwa 20 Mio. m³.

Drehkieferwälder verjüngen sich nahezu ausschließlich in der Folge von Waldbränden und entstehen prinzipiell nach bestandeszerstörenden Kronenfeuern. Dabei sind Drehkiefern nicht besonders feuerresistent und sterben bei Waldbränden rasch ab. Allerdings verfügt die Baumart neben ihren normalen Zapfen zusätzlich über einen speziellen Zapfentyp, der sich erst nach der Einwirkung starker Hitze öffnet, die vom Feuer geschützten Samen freigibt, und so eine rasche Wiederbewaldung der Brandfläche einleitet. Aufgrund der feuerspezifischen Verjüngungsökologie besitzen natürliche Drehkieferwälder großflächig ausgeprägte gleichaltrige Strukturen [2].

Seit Ende der 1990er Jahre läuft nun in diesen Kiefernwäldern in BC eine Massenvermehrung des Borkenkäfers *Dendroctonus ponderosae* („Mountain Pine Beetle“) ab, die zu gravierenden Veränderungen der Waldlandschaft und Rohstoffressourcen führt. *D. ponderosae* brütet an verschiedenen Nadelbaumarten. Der Befallsschwerpunkt liegt allerdings auf Kiefernarten, unter denen die Drehkiefer eindeutig bevorzugt wird. Normalerweise erfolgt durch *D. ponderosae* überwiegend verstreuter Sekundärbefall vereinzelter Bäume. In größeren Zeitabständen explodieren die Populationen förmlich und verursachen großflächigen Massenbefall [3, 4]. Sie ähneln damit anderen nordamerikanischen Vertretern der Gattung *Dendroctonus*, die ebenfalls ein hohes wirtschaftliches Potential zu aggressiven Primärbefall aufweisen, wie beispielsweise *D. frontalis* („Southern Pine Beetle“), *D. pseudotsugae* („Douglas-fir beetle“), oder *D. rufipennis* („Spruce beetle“). So belegt *D. frontalis* im warmen Südosten der USA anschaulich die ausgesprochene Neigung der Gattung *Dendroctonus* zu explosiven Massenvermehrungen. Beispielsweise starben in Waldwildnisgebieten, in denen keine Borkenkäferbekämpfung stattfindet, auf einer untersuchten Fläche von gut 30.000 ha innerhalb eines Jahres 7 % der Kiefernwälder durch Käferbefall ab. Ein ganz besonders markantes Anschauungsbeispiel spielte sich Anfang der 1980er Jahre in Four Notch (Texas) ab: innerhalb eines Jahres fielen *D. frontalis* über ein Drittel des 2.500 ha Waldes zum Opfer [5]. Die Tatsache, dass *D. ponderosae* selbst im Vergleich zu diesen hochaggressiven Verwandten das höchste Schadpotential zugemessen wird [6, 7], unterstreicht die Gefahr, die von dieser Borkenkäferart ausgehen kann.

Regelmäßig wirken am Befall vitaler Kiefern mit *D. ponderosae* assoziierte Bläuepilze mit, die von den Käfern übertragen werden, und die den Widerstand der Kiefern weiter schwächen. Und wie bei den anderen aggressiven *Dendroctonus* Arten steuert auch bei *D. ponderosae* typischerweise ein chemisches Kommunikationssystem den Massenbefall. Es besteht aus verschiedenen Komponenten mit unterschiedlicher Signalwirkung. Beispielsweise geben die Käfer unmittelbar bei der Ankunft auf dem Wirtsbaum sogenannte „Kontaktpheromone“ ab, die die Aggregation auslösen, noch bevor sich die Käfer eingebohr haben. Und in späteren Befallsphasen verhindern Ablenkstoffe, dass an vollständig besiedelten Stämmen schädliche, überhöhte Brutpopulationen entstehen [7-10].

Verlauf der aktuellen Kalamität

1998 begann in BC der Befall durch *D. ponderosae* rasch anzusteigen. Zunächst konzentrierte sich der Befall in den Kieferngebieten des nördlichen Zentralbereichs der Provinz. Mit Zunahme des Befalls (Abb. 1) dehnte sich allerdings auch das betroffene Gebiet zunehmend aus. Es reicht derzeit bis in den Süden der Provinz (Abb. 2). Und auch in der östlich angrenzenden Provinz Alberta tritt, nach den ersten Stehendbefallsaktivitäten im Banff Nationalpark 2001, nun in den letzten Jahren ebenfalls merkbarer Befall durch *D. ponderosae* auf [11].

Die Größenordnung des Befallsgeschehens ist – zumindest für europäische Betrachter – atemberaubend: allein die im Jahr 2003 von frischem Befall („red attack“) betroffene Waldfläche umfaßte in BC über 4 Mio. ha. Davon entfielen 64 % auf die Kategorie leichter Befall (Mortalität 1-10 %) und jeweils 18 % auf die Kategorien mäßiger (Mortalität 11-29 %) bzw. starker Befall (Mortalität >30 %). Das entspricht umgerechnet ca. 700 bis 800 Tsd. ha Fläche abgestorbenen Waldes in einem Jahr – und das Jahr 2003 bildete noch nicht einmal den Befallshöhepunkt.

Innerhalb von nur 10 Jahren ist bis Ende 2008 auf der Holzbodenfläche BCs („timber harvesting land base“) eine Schadholzmenge von insgesamt knapp 700 Mio. m³ *D. ponderosae* zum Opfer gefallen. Dies entspricht etwa 46 % des wirtschaftlich nutzbaren Kiefernholzvorrates der Provinz [12]. Der Höhepunkt des Befallsgeschehens trat in BC im Jahr 2004 auf. In dieses Jahr war eine Absterberate von 141 Mio. m³ zu verzeichnen (zum Teil erst 2005 entdeckt; Abb. 1). Seither gehen die jährlichen Befallsmengen in der Provinz zwar stetig zurück. Die betroffene Fläche dehnt sich jedoch nach wie vor merklich weiter aus und es kommt auch weiterhin jährlich zu substantiellem Neubefall (Abb. 1, 2). Nach Nutzung des Schadholzes wird in der Folge der Massenvermehrung die Rohstoffressource mittelfristig für die regionale Holzindustrie stark verknappt [13, 14].

Vergleichbar wie bei anderen Borkenkäfer-Massenvermehrungen gibt es auch in BC keine Anzeichen für die Entwicklung eines Gegenspielerkomplexes, der die Massenvermehrung wirkungsvoll begrenzen könnte. Vielmehr dürfte sich auch das weitere Gradationsgeschehen des *D. ponderosae* Befalls überwiegend unter der Einwirkung der Faktoren Witterungsverlauf, Wirtsverfügbarkeit und Populationsstärke des Käfers entwickeln. Die Befallsanalyse und -prognose des BC Forest Service geht in ihrer aktuellen Fassung von der im Folgenden dargestellten weiteren Entwicklung aus. Bei der Prognose bleiben allerdings möglicherweise veränderte Witterungsverhältnisse sowie potentielle Wirkungen veränderter Bekämpfungsstrategien auf das Befallsgeschehen unberücksichtigt [12]:

- Für 2008 wurde ein leichter Rückgang der Absterberate gegenüber 2007 erwartet, um sich danach bis 2011 auf einem jährlichen Niveau von 68-78 Mio. m³ zu stabilisieren (Abb. 1, 3).

- Der zeitliche Höhepunkt des Befallsgeschehens wird in Abhängigkeit der räumlichen Lage und naturräumlichen Ausstattung in einem nicht unerheblichen Ausmaß zwischen den verschiedenen Regionen der Provinz variieren (Tab. 1).
- Ab 2011 wird erwartet, dass sich das Befallsgeschehen rasch rückläufig entwickelt und 2019 im Prinzip völlig zum Erliegen kommt, da bis dann die besonders disponierten Bestände befallsbedingt im wesentlichen verschwunden sein dürften.
- Als Folge werden in den Kieferngebieten der Provinz bis etwa 2015 insgesamt drei Viertel (76 %) des wirtschaftlich nutzbaren Kiefernvorrats durch die Käfer befallen worden sein. Bis 2019 kommt wahrscheinlich lediglich ein weiteres Prozent hinzu.

Historische Einordnung/Ursachen

Aus früheren Untersuchungen zur Beziehung von *D. ponderosae* zu seinem Wirt lag bereits umfangreiches Wissen zur Befallsökologie, Pheromonbiologie, oder dem wirtschaftlichem Impakt von Massenvermehrungen etc. vor. Das säkulare Ausmaß der aktuellen Massenvermehrung in BC hat darüber hinaus weitere intensive Forschungsarbeiten angestoßen [z. B. **15**]. Interessierte finden eine umfangreiche Literaturübersicht unter http://www.for.gov.bc.ca/hfd/library/lib_MPB.htm; und ein aktuelles Buch der kanadischen Forstverwaltung bietet eine lesenwerte Zusammenfassung [**16**]. Eine empfehlenswerte Informationsquelle ist auch die sehr gute „mountain pine beetle website“ des Forstministeriums von BC (http://www.for.gov.bc.ca/hfp/mountain_pine_beetle/).

Befallsökologisch steht vor allem die Frage nach den Gründen und Zusammenhängen im Vordergrund, die zu den enormen Problemen in den Kiefernwäldern von BC geführt haben. Die Diskussionen in diesem Zusammenhang sind naturgemäß nicht abgeschlossen. Trotzdem hat sich zwischenzeitlich ein recht einheitliches Bild zu den wahrscheinlich hauptverantwortlichen Faktoren herauskristallisiert. Die hierzu folgenden Ausführungen des Autors stellen den Versuch einer stark vereinfachenden Darstellung dar, mit dem Ziel, das Grundmuster aufzeigen und zur weitergehenden Auseinandersetzung mit der Problematik anzuregen.

Für BC sind im 20. Jahrhundert neben der aktuellen Massenvermehrung von *D. ponderosae* vier weitere dokumentiert [**17, 18**]. Davon erreichte eine Massenvermehrung in den 1950er bis 1960er Jahren im nördlichen Zentralbereich der Provinz eine Dauer von immerhin 18 Jahren. Die meisten Massenvermehrungen traten auf dem Chilcotin Plateau im zentralen Binnenland von BC auf: dendrochronologische Untersuchungen weisen für dieses Gebiet auf eine Periodizität der *D. ponderosae* Massenvermehrungen von 40 Jahren hin [**17**]. Die Zusammenschau der Dokumentationen zu Massenvermehrungen von *D. ponderosae* mit dendrochronologischen Befunden weist klar darauf hin, daß die flächige Ausdehnung der Massenvermehrungen im Lauf der Zeit tendenziell zugenommen hat. Insbesondere das atemberaubende Ausmaß des gegenwärtigen Befallsgeschehens stellt die bisher bekannten Massenvermehrungen in den Schatten. Trotzdem ist es bis heute nicht im gesamten Verbreitungsgebiet der Drehkiefer zu Massenvermehrungen des Borkenkäfers gekommen: das sich nördlich des heutigen Verbreitungsgebietes von *D. ponderosae* erstreckende Areal der Drehkiefer (Yukon, Northwest Territories) ebenso wie das östlich davon liegenden Areal (vor allem in Alberta) sind bis heute frei von Massenvermehrungen.

Bei Suche nach den Ursachen der gegenwärtigen Massenvermehrung gilt es, die Entwicklung derjenigen Faktoren zu analysieren und zu bewerten, die Massenvermehrungen von *D. ponderosae* entscheidend beeinflussen. Zum einen sind hierfür längere Perioden mit günstigen Witterungsbedingungen erforderlich [**7, 19**]: sommerliche Wärmesummen, winterliche Minimaltemperaturen, Witterungsverhältnisse während des Dispersionsfluges, und Defizite in der Wasserversorgung beeinflussen die Käferpopulation entweder direkt oder indirekt über die Wirtsbäume.

Zum anderen bedarf es eines ausreichenden Angebots an potentiellen Wirtsbäumen. Die im Bast brütenden Käfer entwickeln sich umso besser, je stärker die Phloemschicht ausgeprägt ist. Vitale, starke Bäume mit dicken Bastlagen sind daher optimal [**20**]. Jüngere Bäume, schwache, unterdrückte oder überalterte Drehkiefern weisen dagegen nur ein dünnes Phloem auf und bieten *D. ponderosae* daher keine guten Voraussetzungen für die Entwicklung [**7, 21**]. Dieser Zusammenhang erklärt gut, warum Drehkiefernwälder erst ab einem Alter von

ca. 80 Jahren für *D. ponderosae* Befall anfällig werden [2, 22]. In jüngeren (durchmesserschwächeren) Wäldern sowie in überalterten Wäldern ab ca. 160 Jahren treten dagegen kaum Probleme auf.

Die Entwicklung der Drehkiefernwälder in BC zeigt eine markante Veränderung im Altersaufbau seit Beginn des 20. Jahrhunderts [18]. Da entsprechend weit zurückreichende Inventurdaten für BC nicht vorliegen, greift die Rekonstruktion der Altersstruktur auf die Analyse verlässlich dokumentierter Daten zu Holzeinschlag und Waldbränden zurück [18, 23]. Mithilfe dieser Daten läßt sich, ausgehend von der heutigen Struktur der Wälder, retrospektiv die Entwicklung der Wälder für die Vergangenheit rekonstruieren. Die Ergebnisse der Rekonstruktion zeigen, dass davon ausgegangen werden muss, dass der Anteil der durch *D. ponderosae* besonders gefährdeten älteren Kiefernbestände (>80 Jahre) zwischen 1910 bis 1990 von 18 % auf 53 % ganz erheblich zugenommen hat. Diese Entwicklung zeigt sich auch beim Durchschnittsalter der Kiefernwälder, das von 51 Jahren (1910) auf über 100 Jahre (1990) stieg.

Besonders deutlich ist die Zunahme älterer Wälder ab den 1960er Jahren. Der Grund dürfte in einer zunehmend wirkungsvollen Waldbrandbekämpfung liegen. Waldbrände werden in BC zwar bereits seit etwa 100 Jahren bekämpft. Die Wirksamkeit der Brandbekämpfung nahm jedoch in den 1960er Jahren deutlich zu, insbesondere durch die zunehmende Verfügbarkeit von Löschflugzeugen. Durch die wirkungsvolle Brandbekämpfung nahm die Fläche brandzerstörter Kiefernwälder laufend ab [18] und der Turnus der Feuerwiederkehr (durchschnittlich 60 Jahre unter natürlichen Verhältnissen in BC [24]) verlängerte sich deutlich. In der Folge des dadurch verlängerten durchschnittlichen Lebensalters der Kiefernbestände nahm der Anteil der befallsgefährdeten Altbestände beständig zu. Im Gegensatz dazu weist die sich unter der Einwirkung natürlicher Feuerregimes entwickelnde Altersklassenlagerung nur einen außerordentlich kleinen Anteil der befallsgefährdeten höheren Altersklassen auf [2].

Der Vergleich der Entwicklung der Befallsflächen mit *D. ponderosae* in BC im 20. Jahrhundert zeigt einen klaren Bezug zur Entwicklung des potentiellen Brutraumangebotes. Die jährlichen Befallsflächen von *D. ponderosae* zeigen einen positiven Zusammenhang mit der Zunahme der besonders befallsdisponierten älteren Kiefernbestände [18]. Dieser Zusammenhang unterstreicht die Vermutung, dass die durch wirkungsvolle Waldbrandbekämpfung deutlich angewachsenen Anteile älterer Kiefernbestände mit hoher Sicherheit einen wesentlich Erklärungsbeitrag für das Ausmaß der gegenwärtigen Massenvermehrung liefern. Im dieser alterstrukturellen Bedingtheit des Risikopotentials dürfte im Übrigen auch ein entscheidender Schlüssel für den künftigen Umgang mit dem Befallsrisiko durch *D. ponderosae* liegen.

Zudem gibt es deutliche Hinweise, daß sich klimatische Faktoren, die für *D. ponderosae* Massenvermehrungen limitierend wirken [25], günstig für die Käfer entwickelt haben. Der Vergleich der klimatischen Ansprüche von *D. ponderosae* mit der klimatischen Entwicklung in BC zeigt, dass sich in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, die für *D. ponderosae* klimatisch geeigneten Bereiche substantiell Richtung Norden und in höhere Lagen erweitert haben [17]. Diese für die Käfer günstige klimatische Entwicklung würde erklären, warum die durchschnittlichen jährlichen *D. ponderosae* Schadflächen etwa seit Beginn der 1980er Jahre in BC wesentlich rasanter ansteigen, als der Flächenanteil der besonders befallsdisponierten älteren Kiefernwälder.

Beim kurz- bis mittelfristig Umgang mit der sich in naher Zukunft einstellenden Holzknappeit kommt der Nutzungs- und Verjüngungsstrategie der geschädigten Bestände größte Bedeutung zu [26]. In diesem Zusammenhang spielt kurzfristig selbstverständlich auch eine optimierte Käferbekämpfung eine wichtige Rolle.

Längerfristig wird der Schwerpunkt jedoch sicherlich auf einer risikobegrenzenden Strategie als zentralem Element der Bewirtschaftung der Kiefernwälder in BC liegen müssen [27]. Dies gilt ganz besonders vor dem Hintergrund der gegenwärtigen zusätzlichen klimatischen Begünstigung von *D. ponderosae*. Langfristig dürfte der Schlüssel zum Erfolg dabei weniger auf der Käferbekämpfung liegen, sondern im Umgang mit seiner Wirtsbaumart, insbesondere mit den besonders befallsdisponierten älteren Kiefernwäldern. Nur wenn es gelingt, den Anteil dieser Altersklassen etwa auf das „natürliche“ Niveau feuerregulierter Waldgesellschaften zu begrenzen, dürfte das Befallsrisiko durch *D. ponderosae* längerfristig wieder auf handhabbare Größenordnungen zurückführbar sein.

Quellen

- [1] British Columbia Ministry of Forests (1995): 1994 Forest, recreation, and range resource analysis. BC Ministry of Forests, Public Affairs Branch, Victoria BC, 308 S.
- [2] Shore, T.L., Safranyik, L., Hawkes, B.C., Taylor, S.W. (2006): Effects of the mountain pine beetle on lodgepole pine stand structure and dynamics. *In*: L. Safranyik, B. Wilson (Hrsg.) The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine Pacific Forestry Centre, Victoria BC, S. 95-116
- [3] Unger, L. (1993): Mountain pine beetle. Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, Forest Pest Leaflet Nr. 76, 7 S.
- [4] Amman, G.D., Cole, W.E. (1983): Mountain pine beetle dynamics in lodgepole pine forests. Part II: population dynamics. USDA Forest Service, Intermountain Forest and Range Experiment Station, General Technical Report INT-145, 59 S.
- [5] United States Department of Agriculture (1987): Final environmental impact statement for the suppression of the southern pine beetle. United States Department of Agriculture, Forest Service Southern Region, Management Bulletin R8-MB 2, 388 S.
- [6] Wood, S.L. (1982): The bark and ambrosia beetles of North and Central America (Coleoptera, Scolytidae), a taxonomic monograph. Brigham Young University, Provo/Utah, 1359 S.
- [7] Safranyik, L., Carroll, L.A. (2006): The biology and epidemiology of the mountain pine beetle in lodgepole pine forests. *In*: L. Safranyik, B. Wilson (Hrsg.) The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, S. 3-66
- [8] Pitman, G.B., Vité, J.P. (1969): Aggregation behaviour of *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae) in response to chemical messengers. *Can. Ent.* **101**, S. 143-149
- [9] Libbey, L.M., Ryker, L.C., Yandell, K.L. (1985): Laboratory and field studies of volatiles released by *Dendroctonus ponderosae* Hopkins (Coleoptera, Scolytidae). *J.Appl.Ent.* **100**, S. 381-392
- [10] Borden, J.H. (1982): Aggregation pheromones. *In*: J.B. Mitton, K.B. Sturgeon (Hrsg.) Bark beetles in North American conifers: a system for the study of evolutionary biology University of Texas Press, Austin, TX, S. 74-139
- [11] Alberta Sustainable Resource Development (2007): Forest health in Alberta 2006 annual report. Alberta Sustainable Resource Development, Edmonton, AT, 58 S.
(<http://www.srd.alberta.ca/forests/pdf/ForestHealth%20AnnualReportfinal2006.pdf>)
- [12] Walton, A., Hughes, J., Eng, M., Fall, A., Shore, T., Riel, B., Hall, P. (2008): Provincial-level projection of the current mountain pine beetle outbreak: Update of the infestation projection based on the 2007 provincial aerial overview of forest health and revisions to the "model" (BCMPB.v5). British Columbia Ministry of Forests and Range, 11 S.
(<http://www.for.gov.bc.ca/hre/bcmpb/BCMPB.v5.BeetleProjection.Update.pdf>)
- [13] British Columbia Ministry of Forests and Range (2003): Timber supply and the mountain pine beetle infestation in British Columbia. BC Ministry of Forests and Range, Forest Analysis Branch, Victoria, BC, 24 S.
- [14] Anonymus (2005): War in the woods: forest professionals versus the mountain pine beetle. BC Forest Professional Mai/Juni 2008, S. 18
- [15] Leech, S. (2008): Research snapshots: Provincially funded mountain pine beetle research. BC Forest Professional Mai/Juni 2008, S. 18-19
- [16] Safranyik, L., Wilson, B. (2006): The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine. Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, 304 S.
- [17] Taylor, W.S., Carroll, L.A., Alfaro, L.I., Safranyik, L. (2006): Forest, climate, and mountain pine beetle outbreak dynamics in Western Canada. *In*: L. Safranyik, B. Wilson (Hrsg.) The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine. Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, S. 67-94
- [18] Taylor, S.W., Carroll, A.L. (2004): Disturbance, forest age, and mountain pine beetle outbreak dynamics in BC: A historical perspective. *In*: T.L. Shore, J.E. Brooks, J.E. Stone (Hrsg.) Mountain Pine Beetle Symposium (October 30-31, 2003 in Kelowna, BC). Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, Information Report BCX-399, S. 41-56
- [19] Safranyik, L. (1978): Effects of climate and weather on mountain pine beetle populations. Konferenz: Theory and practice of mountain pine beetle management in lodgepole pine forests in Moscow, ID, University of Idaho, S. 52-56
- [20] Amman, G.D. (1972): Mountain pine beetle brood production in relation to thickness of lodgepole pine phloem. *J.Econ.Entomol.* **65**, S. 138-140
- [21] Berryman, A.A. (1982): Mountain pine beetle outbreaks in Rocky Mountain lodgepole pine forests. *Journal of Forestry* **80**, S. 410-413
- [22] Shore, T.L., Safranyik, L. (1992): Susceptibility and risk rating systems for the mountain pine beetle in lodgepole pine stands. Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, Information Report BC-X-336, 12 S.

- [23] Li, C., Barclay, H. (2001): Fire disturbance patterns and forest age structure. *Natural Resource Modeling* **14**, S. 495-521
- [24] Smith, J.H.G. (1981): Fire cycles and management alternatives. Konferenz: Fire regimes and ecosystem properties in Honolulu, Hawai, USDA For. Serv. Gen. Tech. Report WO-26, Washington, S. 511-531
- [25] Carroll, A.L., Taylor, S.W., Régnière, J., Safranyik, L. (2004): Effects of climate change on range expansion by the mountain pine beetle in British Columbia. *In*: T.L. Shore, J.E. Brooks, J.E. Stone (Hrsg.) Mountain Pine Beetle Symposium (October 30-31, 2003 in Kelowna, BC). Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, S. 223-232
- [26] Coates, D. (2005): Silvicultural and ecological strategies for the mountain pine beetle epidemic area. Forum Mai/Juni 2008, S. 22
- [27] Wagner, W.L., Wilson, B., Peter, B., Wang, S., Stennes, B. (2006): Economics in the management of mountain pine beetle in British Columbia: a synthesis. *In*: L. Safranyik, B. Wilson (Hrsg.) The mountain pine beetle: a synthesis of biology, management, and impacts on lodgepole pine. Pacific Forestry Centre, Victoria, BC, S. 277-299

Tabelle 1. Bisherige und prognostizierte Entwicklung des Befalls durch *D. ponderosae* in den 22 Kiefern-Bewirtschaftungsgebieten („Pine Units“) British Columbias (Daten aus [12]).

Kiefern-Gebiet	Vorräte (in Mio. m ³)		Borkenkäferbefall an Kiefern			Höhepunkt
	gesamt	Kiefern	2008	2015 (Prognose)	2020 (Prognose)	
Quesnel	165	111	81%	82%	82%	2004
Vanderhoof	133	98	75%	77%	77%	2004
Lakes	111	71	76%	80%	81%	2004
Prince George	249	78	63%	69%	70%	2004
Williams Lake	264	143	65%	78%	78%	2005
100 Mile House	110	57	73%	79%	79%	2005
Kamloops	208	59	54%	73%	74%	2005
Ft St James	285	109	51%	82%	83%	2006
Morice	133	57	44%	73%	74%	2007
Lillooet	50	19	25%	77%	80%	2008
Merritt	131	66	24%	72%	74%	2009
Dawson Creek	108	31	20%	77%	79%	2009
Bulkley	70	13	10%	77%	80%	2009
Arrow	51	8	29%	76%	79%	2009
Robson Valley	49	6	22%	70%	73%	2009
Mackenzie	287	117	12%	69%	73%	2010
Okanagan	211	57	14%	68%	71%	2010
Invermere	32	12	11%	61%	65%	2010
Golden	36	5	19%	64%	71%	2010
Cranbrook	66	31	8%	60%	69%	2011
Boundary	43	15	5%	66%	71%	2011
Kootenay Lake	59	13	13%	68%	73%	2011
Summe Kiefern-Gebiete	2.848	1.177	49%	75%	77%	

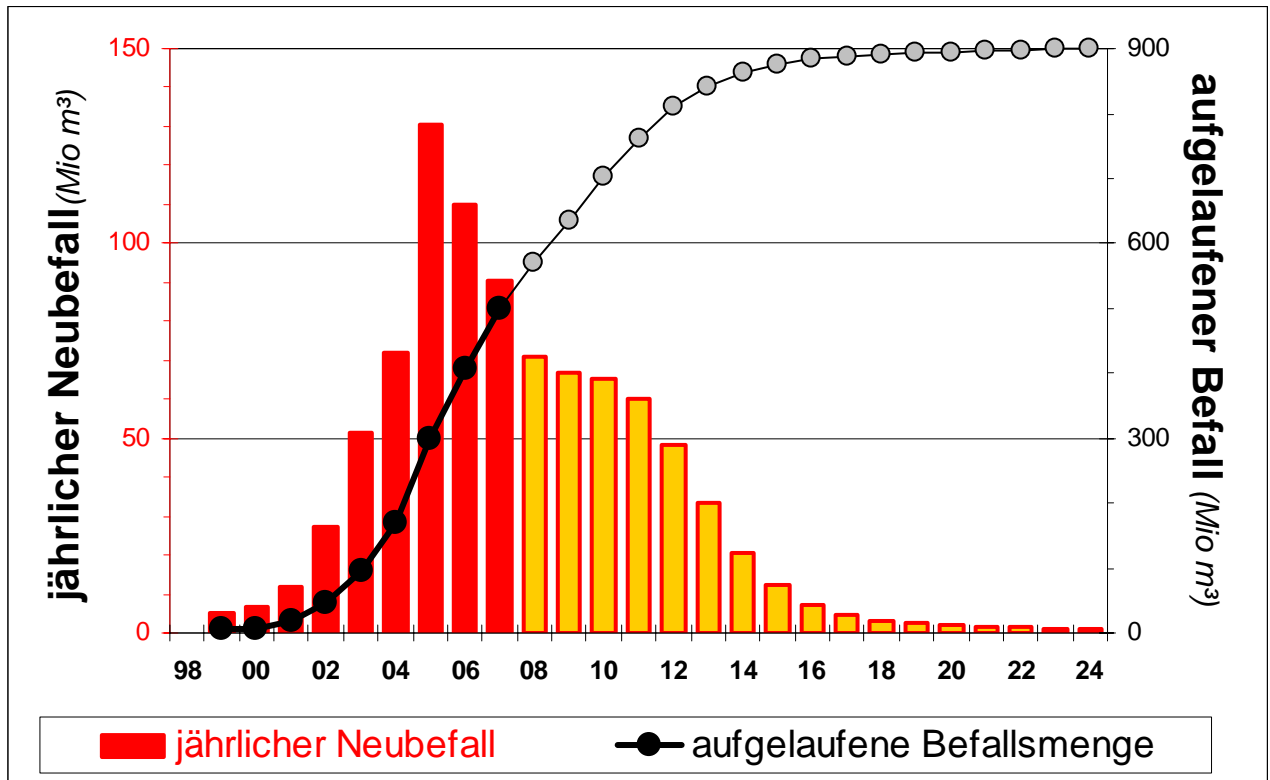


Abbildung 1. Entwicklung der durch *D. ponderosae* Befall in Kiefernwäldern British Columbias verursachten Schadholzmengen (Daten aus [12]; dokumentierter Verlauf: rote & schwarze Signaturen; prognostizierter Verlauf: orange & graue Signaturen).

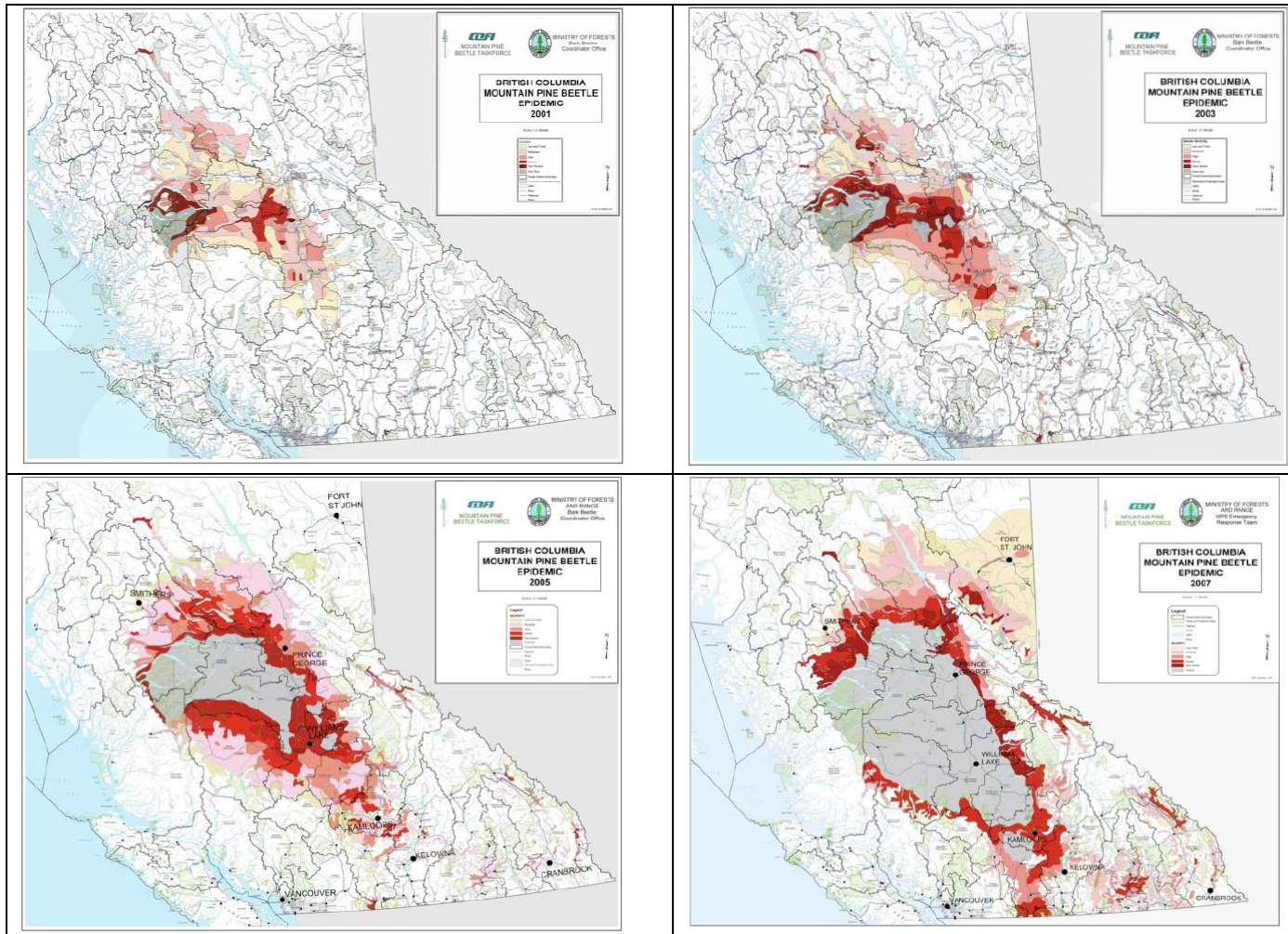


Abbildung 2. Entwicklung des *D. ponderosae* Befalls in British Columbias von 2001 – 2007 (Karten aus: http://www.for.gov.bc.ca/hfp/mountain_pine_beetle/maps/magnitudeMap200107.pdf).

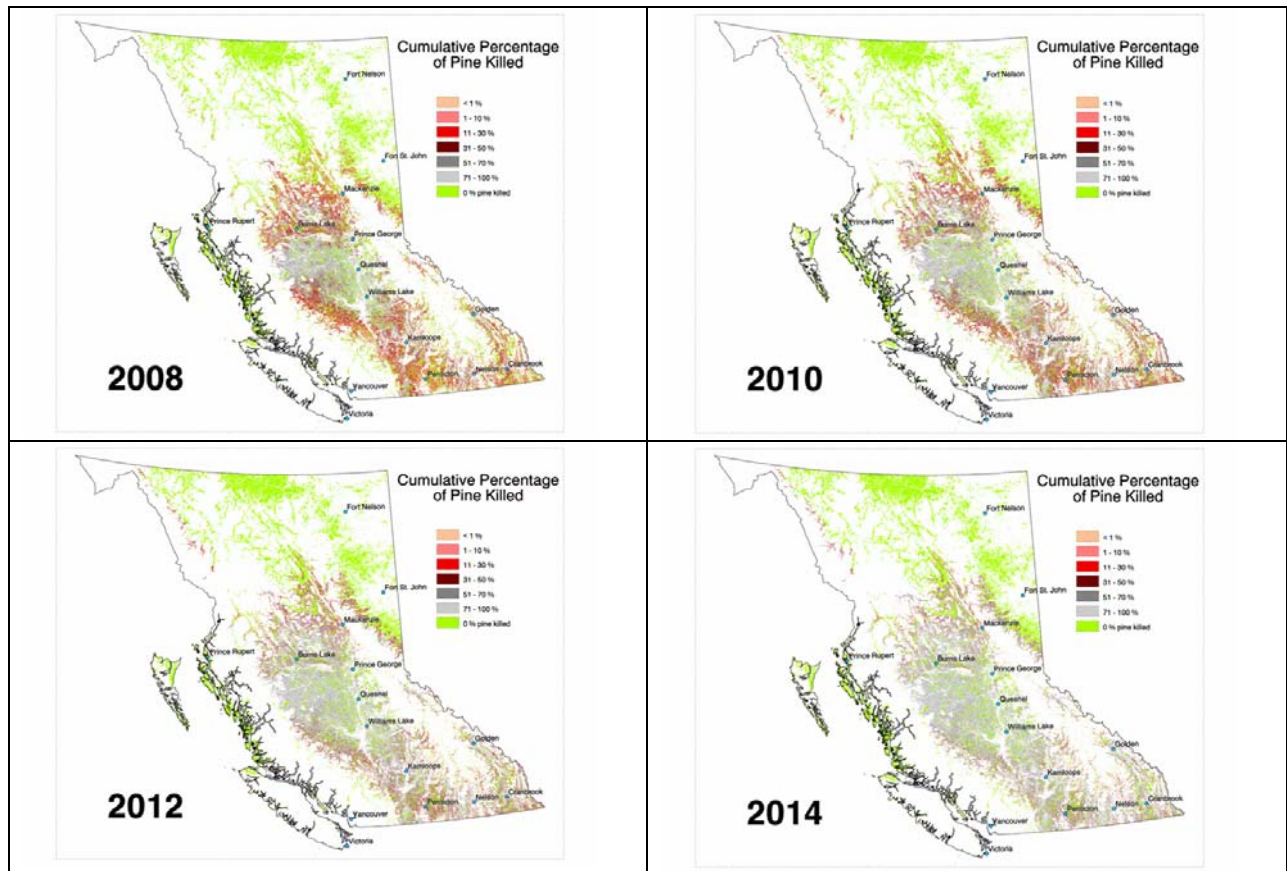


Abbildung 3. Prognostizierte Weiterentwicklung des *D. ponderosae* Befalls (2008 – 2014) in British Columbia (Karten aus: <http://www.for.gov.bc.ca/hre/bcnpb/cumulative/1999.htm>).