

Zeitschrift: Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen = Swiss forestry journal = Journal forestier suisse

Herausgeber: Schweizerischer Forstverein

Band: 154 (2003)

Heft: 11

Artikel: Regionale Verteilungsmuster des Buchdrucker-Stehendbefalls (Ips typographus L.) nach Sturmschäden im Kanton Bern

Autor: Gall, Rolf / Meier, Franz / Meier, Adrian L. / Forster, Beat

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-1098203>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 02.05.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Regionale Verteilungsmuster des Buchdrucker-Stehendbefalls (*Ips typographus* L.) nach Sturmschäden im Kanton Bern

ROLF GALL, FRANZ MEIER, ADRIAN L. MEIER UND BEAT FORSTER

Keywords: GIS; bark beetle; *Ips typographus*; epidemic outbreaks; storm damages; spread distances; Canton Bern, Switzerland. FDK 421.1 : 453 : (494.24)

Abstract: Using an extensive dataset from the Canton Bern spatial patterns were analysed of the first *Ips typographus*-infestations of standing trees after the storm Lothar on December 1999. Our results suggest that these first infestations were not caused by bark beetles indiscriminately spreading out of windthrow areas. Rather, we found relationships between levels of attacked standing trees and cleaned, scattered windthrown trees. We therefore conclude that our results point to reduced host tree resistance as a key factor.

Abstract: Ein umfangreiches Datenmaterial aus dem Kanton Bern erlaubte die Analyse des räumlichen Verteilungsmusters des ersten Stehendbefalls durch den Buchdrucker *Ips typographus*, der als Folge des Sturmes Lothar entstand. Unsere Resultate deuten darauf hin, dass der erste Befall stehender Bäume nicht massgeblich durch eine ungerichtete Dispersion der Käfer aus den Windwurfflächen hervorgerufen wurde. Hingegen fanden wir räumliche Beziehungen zwischen dem Stehendbefall und geräumten Sturm-Streuschäden im Restbestand. Wir gehen deshalb davon aus, dass unsere Resultate eine reduzierte Widerstandskraft der Restbestände als Schlüsselfaktor anzeigen.

Einleitung

Im Kanton Bern warf der Sturm Lothar vom 26. Dezember 1999 rund 2,7 Millionen m³ Fichtenholz. Der in der Folge durch den Buchdrucker *Ips typographus* L. (*Coleoptera, Scolytidae*) entstandene und geräumte Befall stehender Fichten wurde vom Berner Forstdienst in einem umfangreichen Datensatz dokumentiert.

Das Ziel der hier vorgestellten Arbeit war es, anhand dieser Daten a) eine GIS-basierte Methodik zu erarbeiten, welche es erlaubt, das räumliche und zeitliche Muster des Stehendbefalls auf einer regionalen Stufe darzustellen und b) die räumliche Beziehung zwischen der lokalen Sturmstärke – und damit der Schwächung des Restbestandes – und dem ersten Befall stehender Bäume zu zeigen. Als Indikator der Sturmstärke verwendeten wir die Menge von geräumten Sturm-Streuschäden im Restbestand. Darüber hinaus sollte c) die räumliche Beziehung zwischen Populationsdruck und Folgebefall abgeschätzt werden.

Die praxisrelevante Ausbreitungsdistanz des Buchdruckers wird meist mit 500 m angegeben. In Freilassungsversuchen mit markierten Buchdruckern (ZUMR 1992, DUELLI *et al.* 1997) flog ein Grossteil der wieder gefangenen Käfer nur kurze Distanzen bis in die nächsten Pheromonfallen. Doch frisch geschlüpfte Käfer fliegen zum Teil weit, bevor sie auf Lockstoffe reagieren. Die Freilassungsversuche lassen darauf schliessen, dass etwa ein Viertel der frisch geschlüpfte Buchdrucker 200 bis 500 m weit fliegt, einige aber, vor allem mit Wind-Unterstützung, noch weiter.

Neben dem Flugvermögen des Buchdruckers wird ein erfolgreicher Befall von Fichten durch zwei Faktoren massgeblich bestimmt: Zum einen durch die Stärke des Populationsdruckes und zum anderen durch die Widerstandskraft des Baumes (BERRYMAN 1982, CHRISTIANSEN & BAKKE 1988, BERRYMAN & STENSETH 1989, POWERS *et al.* 1999). Daher kann in einem geschwächten Bestand auch eine relativ geringe Populationsgrösse zu einem vermehrten Befall stehender Bäume führen, währenddem in einem Bestand mit hoher Widerstandskraft auch eine relativ hohe Populationsgrösse keinen oder nur wenig Stehendbefall bewirken kann (*Abbildung 1*). Unter einer Buchdrucker-epidemie wird deshalb das gehäufte Auftreten von befallenen Bäumen verstanden und nicht das Massenaufreten des Käfers. Dem Wechselspiel zwischen Po-

pulationsdruck und Widerstandskraft des Baumes entsprechen auch die Beobachtungen, dass der Befall von stehenden Bäumen nach Sturmereignissen oftmals an den neuen, instabilen Bestandserändern entsteht (FORSTER 1993).

Insbesondere im Hinblick auf die Bildung von Waldreservaten ohne Eingriffe (Totalreservate, Naturwaldreservate) sind deshalb fundierte Grundlagen über die Verteilung von Buchdruckerschäden sowie deren standortbedingte Ursachen und Risikofaktoren von grosser Bedeutung.

Material und Methoden

Die Untersuchung wurde im Kanton Bern durchgeführt. Dieser Kanton hat eine totale Waldfläche von 177 000 ha und repräsentiert mit Teilen des Jura, des Mittellandes und der Alpen einen guten Querschnitt der schweizerischen Topographie. Der Fichtenholzanteil liegt in tieferen Lagen zwischen 32% und 44% und nimmt in Lagen über 1000 m ü.M. auf rund 90% zu. Die absolute Menge des Fichtenholzvorrats (in m³ pro Höhenstufe) ist aber in allen Höhenstufen vergleichbar (WSL 2002).

Datengrundlage

Bei den Abrechnungen der Forstschutzmassnahmen erfasste der Forstdienst neben der jeweiligen Menge des angefallenen Holzes (m³) auch deren entsprechende Schwerpunktkoordinaten im Gelände. Diese Informationen sind für alle geräumten Sturm-Streuschäden sowie für den geräumten Stehendbefall (Käfernester) verfügbar, sofern finanzielle Beiträge geleistet wurden.

Im Jahr 2000 war der Stehendbefall vernachlässigbar. Für das Jahr 2001 wurden total 6036 Schwerpunkte mit geräumtem Stehendbefall erfasst (313 581 m³). Für das Jahr 2002 waren es total 5031 Schwerpunkte (346 485 m³). Über den vergleichbaren Zeitraum (April bis September) entspricht dies 88% (Jahr 2001) bzw. 91% (Jahr 2002) der von MEIER *et al.*¹ erhobenen, totalen Mengen. 71% (Jahr 2001) bzw. 68% (Jahr 2002) der erfassten Schwerpunkte (Käfernester) umfassten eine Grösse von weniger als 50 m³ befallenen Holz (*Abbil-*

¹ Beitrag von MEIER *et al.* im vorliegenden Heft.

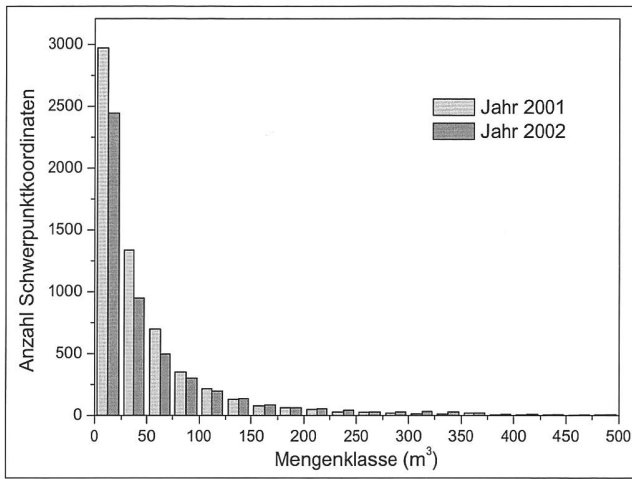


Abbildung 2: Menge-Anzahl-Relation des in den Schwerpunktkoordinaten angefallenen und in der Folge genutzten Stehendbefalls für die Jahre 2001 und 2002.

Figure 2: Mass-number-relation of attacked and therefore harvested standing trees for 2001 and 2002 from the recorded main point co-ordinates.

Abbildung 2). Die hier verwendeten Mengen des Stehendbefalls dieser beiden Jahre zusammen entsprechen rund 1,7% des gesamten Fichtenholzvorrates und 25% der primären Lotharschäden an Fichte im Kanton Bern. Für die geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand wurden 6461 Schwerpunkte analysiert mit total 1,23 Millionen m³ Holz. Die Räumungsarbeiten dieser Sturm-Streuschäden waren bis Mitte Juni 2001 zu über 90% abgeschlossen. Die totale Menge der Sturm-Streuschäden im Bestand entspricht knapp 30% der totalen Lotharschäden.

Im Kanton Bern wurde das Sturmholz nach räumlich unterschiedlichen Prioritäten geräumt oder ganz liegen gelassen (MEIER 2002). Die generellen Tendenzen der Effekte dieser unterschiedlichen Prioritäten sind in *Abbildung 3* dargestellt.

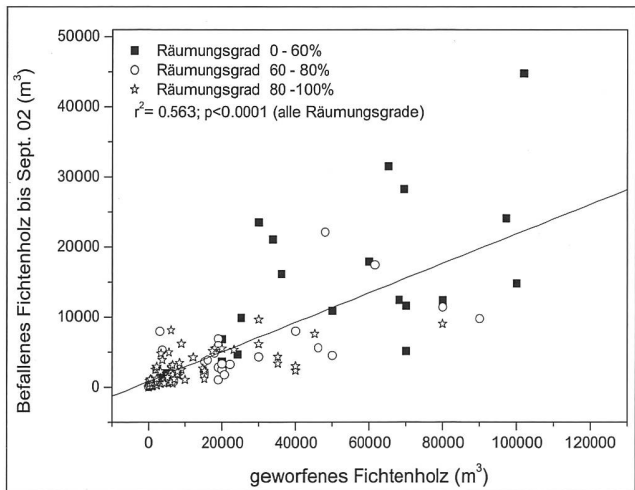


Abbildung 3: Korrelation zwischen der Menge des geworfenen Fichtensturmholzes und der totalen Menge des bisher befallenen Holzes drei Vegetationsperioden nach dem Sturm (September 2002), aufgetrennt nach Forstrevieren und Räumungsgrad in Prozent.

Der Räumungsgrad wurde nach der ersten Vegetationsperiode nach dem Sturm ermittelt (September 2000).

Figure 3: Correlation between the amount of storm thrown spruce and the total amount of consecutively attacked standing trees, three vegetation periods after the storm (September 2002), recorded according to forest district and the degree of clearing up that had been undertaken, in per cent.

The degree of clearing up was determined after the first vegetation period following the storm (September 2000).

In dieser Graphik ist zu berücksichtigen, dass die Epidemien insbesondere in Gebieten mit starken Sturmschäden, aber auch in höheren Lagen, noch nicht abgeschlossen sind (Jahr 2002).

Die anhand von Luftbildern digitalisierten Daten der durch den Sturm Lothar vom 26. Dezember 1999 entstandenen Flächenschäden grösser als 0,5 ha wurden vom BUWAL (2001) übernommen. Der Sturm hinterliess im Kanton Bern insgesamt 3000 ha Totschadenflächen (Restdeckungsgrad <0,2) und 3600 ha Teilschadenflächen (Restdeckungsgrad >0,2 und <0,6). In den weiteren Analysen wurde zwischen Total- und Teilschadenflächen jeweils nicht differenziert.

Die Daten der Fangzahlen der Pheromonfallen (Theysohn-Schlitzfallen), des Fichtenholzvorrates sowie des Räumungsgrades der Sturmschäden wurden mittels Umfrage auf der Stufe von Forstrevieren erhoben.²

Analysen

Die Analyse und Darstellung der räumlichen Dichteverteilung der geräumten Sturm-Streuschäden und des geräumten Stehendbefalls erfolgte mit der ArcView-Erweiterung Spatial Analyst. Hierbei wurde zunächst ein Gitternetz mit einer Zellgrösse von 500 m über den untersuchten Perimeter gelegt. Für jede Gitterzelle wurde dann ein Wert errechnet (in m³/km² Gesamtfläche), und zwar durch die Summierung der einzelnen Mengen (m³) in allen gefundenen Schwerpunktkoordinaten in einem Suchradius von 5000 m, dividiert durch die Fläche des untersuchten Kreises. Die erhaltenen Werte wurden schliesslich mit der Kernel-Funktion geglättet. Die berechnete räumliche Dichteverteilung hängt somit vom gewählten Suchradius ab. Die hier gewählten Grössen wurden so optimiert, dass scharfe, räumlich abgegrenzte Zentren sichtbar wurden. Zur Analyse der Distanzabhängigkeit des Stehendbefalls und der Sturm-Streuschäden von den Windwurfflächen wurden mittels ArcView Distanzstreifen im Abstand 0 bis 200 m und 200 bis 500 m um die Windwurfflächen gelegt. In den jeweiligen Distanzstreifen wurden sowohl die Mengen an geräumten Sturm-Streuschäden bzw. an geräumtem Stehendbefall (m³) als auch deren jeweilige Dichte (m³/ha Waldfläche) berechnet.

Zur Abschätzung der Populationsgrösse und damit des Populationsdruckes auf den verbliebenen Fichtenbestand verwendeten wir die Fangzahlen von Pheromonfallen. LOBINGER (1995) weist darauf hin, dass zwischen einer Pheromonfalle und den benachbarten Bäumen eine Konkurrenzsituation bezüglich der Attraktivität besteht, so dass die Fangzahl einer Falle auch einen Indikator für die jeweilige relative Attraktivität der Falle darstellen kann. Ein erfolgreiches Monitoring des Buchdruckers mittels Pheromonfallen bedingt deshalb eine hohe Anzahl von Fallen an unterschiedlichen Standorten (LINDELOEW & SCHROEDER 2001). In der hier vorgestellten Arbeit wurden deshalb mehrere Forstreviere mit einer hohen Anzahl Fallen zusammengefasst (vgl. *Abbildung 4*).

Resultate

Zahlreiche erste Befallsorte stehender Fichten (Jahr 2001) traten in auffällig weiten Distanzen (grösser als 500 m) zu den Total- oder Teilschadenflächen auf und schienen eher zufällig im Restbestand verteilt zu sein (*Abbildung 5*). Durch die Berechnung der Dichtezentren («hot spots») in der Dichteverteilung des angefallenen Stehendbefalls konnte jedoch das Auftreten von lokalen Epidemien sichtbar gemacht werden (Ab-

² Vgl. dazu den Beitrag von MEIER et al. im vorliegenden Heft.

bildung 6). Zwischen den Jahren 2001 und 2002 fanden sich deutliche, höhenabhängige Unterschiede. Während in Höhenlagen unter 1000 m ü.M. der Befall stehender Fichten im Jahr 2002 zurückging, zeigte der Befall in Höhenlagen über 1000 m ü.M. erst im Jahr 2002 eine deutliche Zunahme, so insbesondere im westlichen Berner Oberland.

Abbildung 7A zeigt die Dichtezentren der geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand. Entsprechend den Dichtezentren des angefallenen Stehendbefalls (Abbildung 7B) konnten auch für die geräumten Sturm-Streuschäden regionale «hot spots» sichtbar gemacht werden. Die räumliche Lage der Zentren der geräumten Sturm-Streuschäden deckte sich weitgehend mit der räumlichen Lage der Zentren der Buchdruckerepidemien, so insbesondere auch für Regionen, die in sehr grossen Distanzen zu den Windwurfllächen lagen («spot a», Abbildung 7). Allerdings bedeuteten mehr Streuschäden nicht immer mehr Stehendbefall. So zeigte beispielsweise «spot b» eine um einiges höhere Dichte der Streuschäden gegenüber «spot c». Für die Stärke des Stehendbefalls dieser beiden Befallszentren war dies gerade umgekehrt.

Um die distanzabhängige Beziehung zwischen den Windwurfllächen, dem geräumten Stehendbefall sowie den Sturm-Streuschäden darzustellen, wurde die jeweilige Dichte (m^3/ha Waldfläche) in einem 200 m breiten Streifen um die Windwurfllächen, in einem 200 bis 500 m breiten Streifen um die Windwurfllächen sowie in einem Streifen mit mehr als 500 m Entfernung von jeder Windwurflläche berechnet (Abbildung 8). Dazu wurde der gesamte Datensatz ohne jegliche Regionalisierung verwendet. Im 200-m-Streifen um die Windwurfllächen war die Befalldichte (m^3 Stehendbefall /ha Waldfläche) um das 3,4-fache (Jahr 2001) bzw. um das 3,2-fache (Jahr 2002) gegenüber den in grösseren Distanzen liegenden Waldflächen erhöht. Absolut waren aber 56% (Jahr 2001) bzw. 58% (Jahr 2002) des geräumten Stehendbefalls in einem Abstand von mehr als 200 m von jeglicher Windwurflläche angefallen. 33% (Jahr 2001) bzw. 38% (Jahr 2002) des geräumten Stehendbefalls befanden sich in einem Abstand von mehr als 500 m von jeglicher Windwurflläche. Die Daten der geräumten Sturm-Streuschäden zeigten ein ähnliches Verteilungsmuster. So war im 200 m breiten Streifen um die Windwurfllächen die Dichte der Sturm-Streuschäden um den Faktor 4,4 erhöht. Absolut waren 50% der geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand in einem Abstand von mehr als 200 m und 31% in einem Abstand von mehr als 500 m von jeglicher Windwurflläche angefallen.

Zur Abschätzung des Populationsdruckes wurden vier Perimeter ausgewertet (vgl. Abbildung 4). Die Perimeter «Mittelland», «Voralpen» und «Alpen» entsprechen Perimetern mit Buchdrucker-«hot spots», währenddem der Perimeter «Jura» sowohl bezüglich Sturm als auch bezüglich des Buchdrucker-Befalls wenig betroffen war. Mit Beginn der Epidemie im Jahr 2001 (Abbildung 9A) stiegen die Käferfangzahlen in allen Perimetern markant an (Abbildung 9B). Allerdings fiel der Anstieg in den Perimetern «Jura» und «Voralpen» deutlich schwächer aus als in den Perimetern mit starkem Buchdrucker-Befall («Mittelland» und «Alpen»). Obwohl insbesondere der Perimeter «Mittelland» im Jahre 2002 einen starken Rückgang des Stehendbefalls verzeichnete (Abbildung 9A), blieben die Käferfangzahlen in den Perimetern «Jura» und «Mittelland» sehr hoch (16 000 bzw. 48 000 Käfer pro Falle, Abbildung 9B). Die Käferfangzahlen dieser beiden Perimeter lagen vor Ausbruch der Epidemie bei 6000 bzw. 8000 Käfer pro Falle.

Diskussion

Eine endemische Krankheit kann sich durch veränderte Wirtschafts- oder Umweltbedingungen zu einer Epidemie entwickeln (Ab-

bildung 1). In der in dieser Arbeit untersuchten Region fiel der Befall stehender Bäume nach dem Sturm Lothar vom 26. Dezember 1999 in der ersten Vegetationsperiode nach dem Sturm (Jahr 2000) vernachlässigbar gering aus. Dies deutet darauf hin, dass in diesem Jahr auch in tieferen Lagen genügend liegendes Brutmaterial zur Verfügung stand.³ In den Jahren 2001 und 2002 fand dann ein massiver Befall stehender Bäume statt, wobei verschiedene regionale Epidemien differenziert werden konnten (Abbildung 6 und 7). Während sich die Zentren der bereits im Jahr 2001 auftretenden Epidemien im Jahr 2002 kaum verschoben haben, hing das zeitliche Auftreten der Epidemien deutlich von der Höhe über Meer ab (Abbildung 6, GALL & HEIMGARTNER 2003). Wie bei allen Insekten ist auch die Entwicklungsgeschwindigkeit des Buchdruckers temperaturabhängig (WERMELINGER & SEIFERT 1999). Eine Zunahme der Höhenstufe um 100 m entspricht einer Abnahme der mittleren Temperatur um 0,65 °C. Unsere Daten weisen darauf hin, dass auch die Entwicklungsgeschwindigkeit der eigentlichen Epidemie temperaturabhängig ist. Daneben könnte auch eine Rolle spielen, dass in höheren Lagen liegendes Holz langsamer austrocknet und somit länger attraktiv bleibt, so dass sich der Befall von stehenden Fichten verzögert (WESLIN & SCHRÖTER 1996). Allerdings spielen für die Entwicklung der Bruttauglichkeit der Sturmwürfe insbesondere kleinräumige Faktoren wie Exposition und Wasserhaushalt des Standortes, aber auch Anteil der liegenden Bäume mit ausreichendem Bodenkontakt der Wurzel, eine entscheidende Rolle (BÜCKING *et al.* 1997, SCHRÖTER *et al.* 1998).

Die Dichte des Buchdruckerbefalls an stehenden Fichten war in einem 200-m-Streifen um die geräumten Windwurfllächen deutlich erhöht. Diesen Sachverhalt fanden auch WICHMANN & RAVEN (2001). Auch SCHRÖTER *et al.* (1998) beobachteten eine Abnahme des Befalls ab einer Entfernung von 450 bis 500 m von den Windwurfllächen. Diese Autoren führten dies auf das Ausbreitungsverhalten der in den Windwurfllächen entstandenen Buchdruckerpopulation zurück. Insbesondere fanden WICHMANN & RAVEN (2001) eine Reduktion des Folgebefalls um den Faktor 2,5 bis 3,5, wenn die Flächen rechtzeitig geräumt wurden. Wie die hier vorgestellte Arbeit belegt, bewirkte der Sturm Lothar aber auch einen unmittelbaren und massiven Käferbefall in Gebieten, die in grosser räumlicher Distanz zu den Windwurfllächen lagen (Abbildung 5).

Da das räumliche und zeitliche Auftreten einer Buchdruckerepidemie sowohl durch die Höhe des Populationsdruckes als auch durch die Widerstandskraft des Baumes bestimmt wird (CHRISTIANSEN & BAKKE 1988, BERRYMAN & STENSETH 1989, FORSTER 1993, JAKUS 1995), bieten sich hierfür zwei Erklärungsmöglichkeiten an:

- Durch nicht entdeckte und nicht geräumte Streuschäden im Restbestand erhöhte sich lokal der Populationsdruck.
- Eine mittlere Sturmstärke schwächte lokal den Restbestand so stark, dass dadurch die Widerstandskraft der Bäume reduziert wurde.

Für die nicht geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand standen keine Daten zur Verfügung. Als Indikator der Sturmstärke und der damit verbundenen reduzierten Widerstandskraft des Bestandes verwendeten wir die Menge der geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand. Wie Abbildung 7 zeigt, fanden wir eine gute Übereinstimmung zwischen der räumlichen Lage der Zentren der geräumten Sturm-Streuschäden und der räumlichen Lage der Zentren der Buchdruckerepidemien.

³ Vgl. dazu den Beitrag von MEIER *et al.* im vorliegenden Heft.

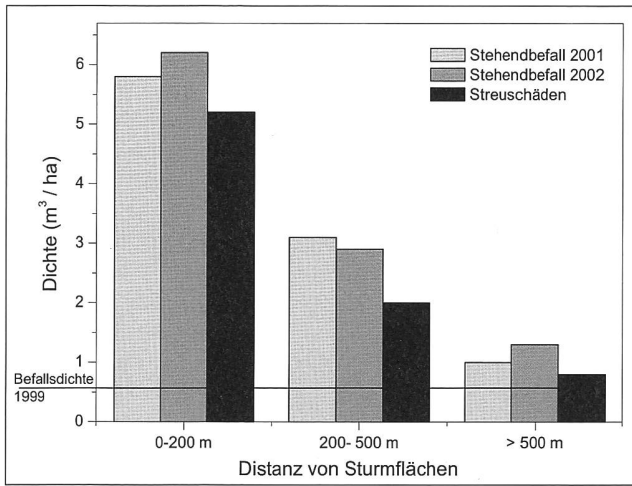


Abbildung 8: Dichte der durch den Sturm Lothar im Dezember 1999 entstandenen und in der Folge geräumten Sturm-Streuschäden (m^3/ha Waldfläche/5) und des Stehendbefalls der Jahre 2001 und 2002 (m^3/ha Waldfläche) aufgeteilt in drei Distanz-Streifen um die Lothar-Windwurfflächen.

Die durchschnittliche Befallsdichte vor dem Sturm («Befallsdichte 1999») wurde der Erhebung von MEIER *et al.* im vorliegenden Heft entnommen.

Figure 8: Density of the scattered and consecutively cleaned windthrows caused by storm Lothar on December 1999 (m^3/ha of forest/5) and the attack on standing trees in 2001 and 2002 (m^3/ha of forest), divided into three sections according to the distance to totally windthrown areas.

Average density of attack before the storm («Befallsdichte 1999») was taken from the survey from MEIER *et al.*

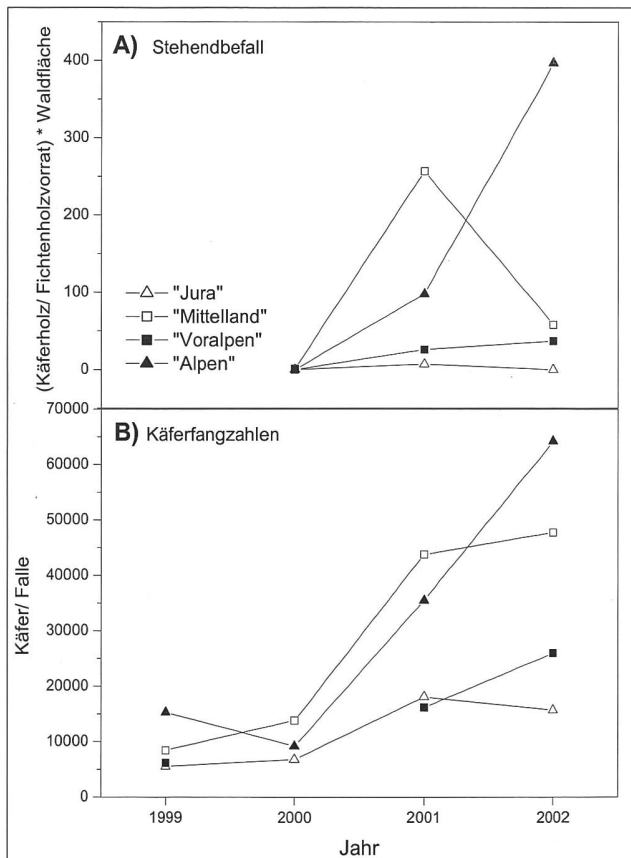


Abbildung 9: A) Jährliche Mengen des Stehendbefalls («Epidemie») und B) jährliche Mengen der Käferfangzahlen von vier ausgewählten Perimetern.

Zur räumlichen Lage der Perimeter vgl. *Abbildung 4*.

Figure 9: A) Annual level of attack on standing trees («epidemic») and B) annual averages of bark beetle trap catches in four chosen perimeters.

Cf. figure 4 for spatial position.

Die unterschiedlichen Stärken der einzelnen Epidemien könnten zudem auf weitere Faktoren wie Art der Bekämpfungsmassnahmen, Fichtenholzvorrat oder Standortverhältnisse hinweisen (WORELL 1983). Für einen quantitativen Vergleich dieser Regionalisierungen wäre aber insbesondere auch zu berücksichtigen, dass die jeweiligen Epidemien unterschiedlich weit fortgeschritten waren (*Abbildung 6*).

Die als Indikator der Sturmstärke verwendeten geräumten Sturm-Streuschäden konnten auch den erhöhten Befall in kurzen Distanzen um die Windwurfflächen erklären (*Abbildung 8*). So war über das gesamte Untersuchungsgebiet nicht nur die Dichte des Stehendbefalls (m^3/ha) in einem 200 m breiten Streifen um die Windwurfflächen um den Faktor 3,4 erhöht, sondern auch die Dichte der geräumten Sturm-Streuschäden (m^3/ha) und zwar um den Faktor 4,4. Unsere Analysen zeigen, dass auch in geringeren Distanzen um die Windwurfflächen der momentanen Widerstandskraft der stehenden Bäume eine wichtige Rolle bezüglich des ersten örtlichen Auftretens der Buchdruckerepidemien zukam.

Das Auftreten von Befallsherden weit weg von Windwurfflächen zeigt an, dass auch an solchen Orten eine genügende Populationsgrösse von Buchdruckern vorhanden war, um eine Epidemie zu initialisieren (beispielsweise «spot a», *Abbildung 7*). Zur Abschätzung des Populationsdruckes auf den Fichtenbestand wurden die Käferfangzahlen in vier ausgewählten Perimetern berechnet (vgl. Kapitel Material und Methoden). Regionen mit einem hohen Befall stehender Bäume (Perimeter «Mittelland» und «Alpen») zeigten deutlich höhere Fangzahlen als Perimeter mit einem vergleichsweise geringeren Befall stehender Bäume (Perimeter «Voralpen» und «Jura») (*Abbildung 9*). Obwohl im Jahr 2002 der Befall von stehenden Bäumen in tieferen Lagen («Jura» und «Mittelland») deutlich abnahm, blieben die Fangzahlen auch in diesen Perimetern hoch. Im Perimeter «Mittelland» stiegen die Fangzahlen sogar nochmals leicht an, obwohl der Befall stehender Bäume massiv zurückging. Dieses Resultat deutet darauf hin, dass sich die Widerstandskraft der verbliebenen Bäume in den Perimetern «Mittelland» und «Jura» im Jahre 2002 gegenüber dem Vorjahr verbesserte. Dies dürfte dadurch bedingt sein, dass in tieferen Lagen die am stärksten geschwächten Bäume bereits im Jahr 2001 vom Käfer besiedelt wurden, und sich die Bäume während nunmehr zwei Vegetationsperioden vom Sturmereignis erholen konnten. Damit wurde die Widerstandskraft des Bestandes erhöht und ein Befall stehender Bäume blieb trotz hohem Populationsdruck mehrheitlich aus (*Abbildung 1*). BAKKE (1983) zeigte in einem Infektionsversuch unter epidemischen Bedingungen, dass stehende Fichten einen Befall durchaus auch überleben können: Von 100 Bäumen überlebten 51 Bäume einen unterschiedlich starken Befall und acht Bäume konnten nicht infiziert werden.

Schlussfolgerungen

Die in dieser Studie erarbeitete, GIS-basierte Methodik der Kartierung des Buchdruckerbefalls erwies sich als geeignetes Verfahren zur Regionalisierung von Buchdruckerepidemien. Unsere Analysen zeigen, dass das erste räumliche Auftreten von Buchdrucker-Befallsherden nach dem Sturm Lothar massgeblich durch geschwächte Bäume im Restbestand bestimmt wurde. Unsere Arbeit legt damit nahe, dass das erste räumliche Auftreten von Buchdrucker-Befallsherden nicht durch eine ungerichtete Dispersion der Käfer aus den Windwurfflächen entstand, wie dies oft angenommen wird. Nach Sturmereignissen ist deshalb den Streuschäden im Restbestand sowohl bezüglich einer Risikoabschätzung als auch bezüglich der Bekämpfung eine vorrangige Beachtung zu schenken.

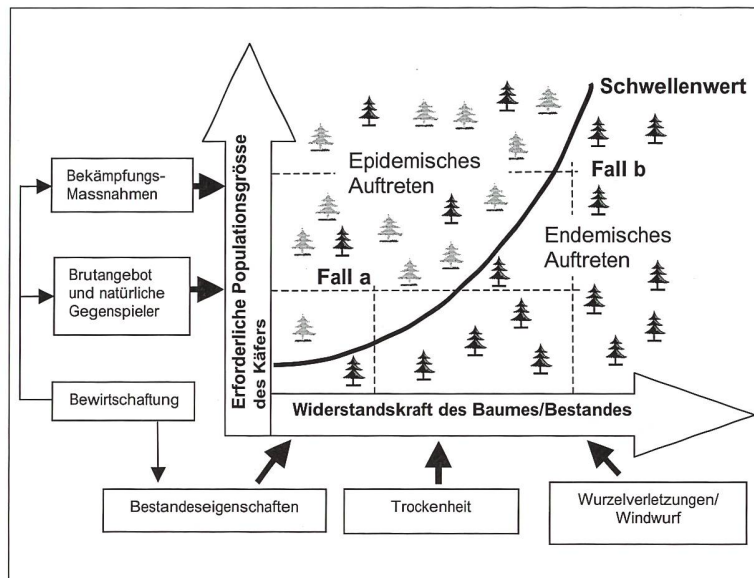


Abbildung 1: Modell der Interaktionen zwischen den wichtigsten Faktoren welche den Schwellenwert für eine Buchdrucker-Epidemie, definiert als das gehäufte Auftreten von befallenen Bäumen, bestimmen können.

Das Modell zeigt, dass bei einer plötzlichen, reduzierten Widerstandskraft (beispielsweise nach Sturmereignissen oder nach Trockenheit) auch eine geringe Populationsgrösse genügt, um eine Buchdrucker-Epidemie auszulösen (Fall a). Andererseits kann in einem sich erholenden Bestand eine Buchdrucker-Epidemie trotz hohem Populationsdruck zusammenbrechen (Fall b) (vereinfacht nach CHRISTIANSEN & BAKKE 1988).

Figure 1: Model of the interaction of the most important factors that determine the threshold of a bark beetle epidemic, defined as the accumulated appearance in weak trees.

The model shows that during a sudden, reduced host tree resistance (for instance, after a storm or because of drought) even a small bark beetle population can be sufficient to trigger an epidemic (case a). On the other hand, an epidemic can collapse in a recovering stand despite a strong bark beetle thrust (case b) (modified version of CHRISTIANSEN & BAKKE 1988).

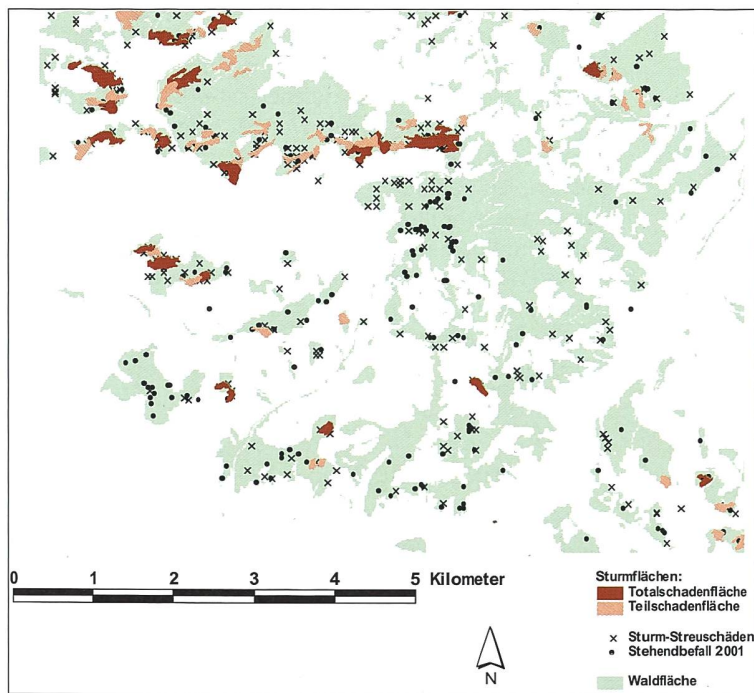
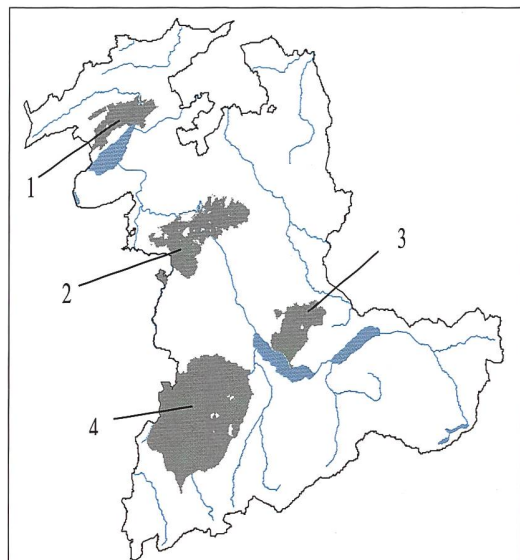


Abbildung 5: Repräsentativer Ausschnitt des Kantons Bern (vgl. Abbildung 7) mit der Lage der Windwurfsschäden, den Schwerpunktkoordinaten der geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand und den Schwerpunktkoordinaten des ersten Stehendbefalls im Jahr 2001.

Figure 5: Representative section of Canton Berne (cf. figure 7) with the position of windthrow areas, the centercoordinates of the cleaned-up storm scatter damage in stands as well as the centercoordinates of the first attack on standing trees in 2001.



| Perimeter | Höhe ü.M. (Median) | Anz. Fallen 1999 | Anz. Fallen 2000 | Anz. Fallen 2001 | Anz. Fallen 2002 |
|----------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 1 «Jura» | 850 | 47 | 89 | 17 | 15 |
| 2 «Mittelland» | 640 | 22 | 34 | 119 | 92 |
| 3 «Voralpen» | 1200 | 39 | – | 25 | 15 |
| 4 «Alpen» | 1500 | 126 | 26 | 117 | 105 |

Abbildung 4: Räumliche Lage ausgewählter Perimeter innerhalb des Kantons Bern (graue Flächen). Die Perimeter entstanden aus der rechnerischen Zusammenlegung mehrerer Forstreviere.

Figure 4: Spatial position of chosen perimeters within Canton Berne (grey areas). The perimeters were created by merging various forest districts.

Zusammenfassung

Nach dem Sturm Lothar vom 26. Dezember 1999 wurden im Kanton Bern die räumliche Lage (als Schwerpunktkoordinaten) und die Menge des durch den Buchdrucker (*Ips typographus*) entstandenen und geräumten Stehendbefalls erfasst. 56% (Jahr 2001) bzw. 58% (Jahr 2002) der absoluten Mengen des ersten Stehendbefalls befanden sich in einem grösseren Abstand als 200 m von den Windwurfflächen. 33% (Jahr 2001) bzw. 38% (Jahr 2002) der absoluten Mengen befanden sich in einem Abstand von mehr als 500 m von jeglicher Windwurffläche.

Mittels GIS konnten aus den Schwerpunktkoordinaten regionale «hot spots» des Buchdruckerbefalls sichtbar gemacht werden. Die so differenzierten einzelnen Epidemien traten in höheren Lagen (über 1000 m ü.M.) deutlich später auf als in tieferen Lagen. Der Forstdienst erhob auch die räumliche Lage der geräumten Sturm-Streuschäden im Bestand. Analog zum Stehendbefall durch den Buchdrucker waren 50% der geräumten Sturm-Streuschäden weiter als 200 m von den Windwurfflächen entfernt. 31% befanden sich in einem Abstand von mehr als 500 m von jeglicher Windwurffläche.

Auch für die Sturm-Streuschäden im Restbestand konnten regionale «hot spots» sichtbar gemacht werden. Die räumliche Lage dieser Zentren entsprach weitgehend der räumlichen Lage des Stehendbefalls. Die regionale, räumliche Lage des Buchdruckerbefalls widerspiegelt damit die regio-

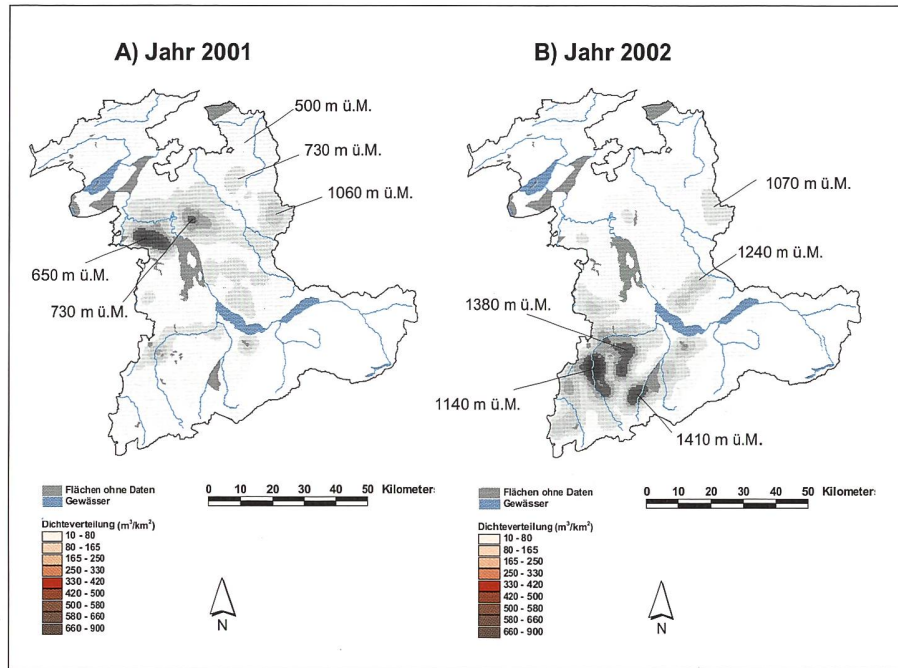


Abbildung 6: Dichteverteilung (m^3/km^2 Gesamtfläche) des in der Folge des Sturmes Lothar vom 26.12.1999 entstandenen und geräumten Buchdruckerbefalls im Kanton Bern für A) das Jahr 2001 und B) das Jahr 2002 (Rotabstufungen; vgl. Kapitel Material und Methoden).

Der Stehendbefall im Jahr 2000 war vernachlässigbar. Für die schraffierten Flächen liegen keine Daten vor. Die mittlere Höhe (Median) einiger ausgewählter Zentren («hot spots») ist angegeben.

Figure 6: Distribution of density (m^3/km^2 over total area) of spruce bark beetle infestation and therefore harvested trees following storm Lothar on 26.12.1999 in Canton Berne for 2001, A) and 2002, B) (grades of redness; cf. material and methods).

The infestation of standing trees in 2000 was slight. No data is available for the shaded areas. Median height above sea level is shown of a few chosen centres («hot spots»).

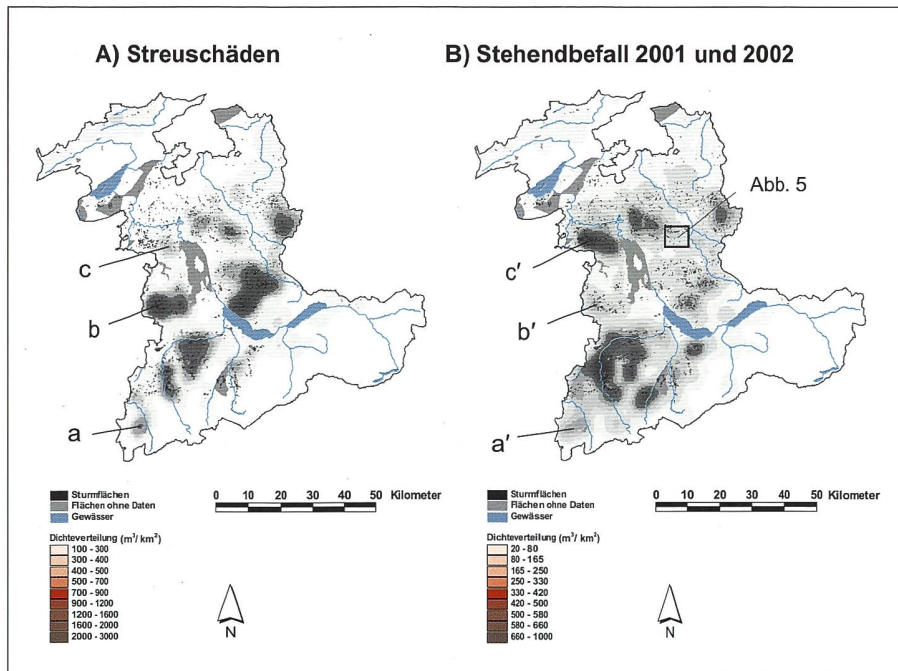


Abbildung 7: A) Dichteverteilung (m^3/km^2 Gesamtfläche) der durch den Sturm Lothar vom 26.12.1999 entstandenen und geräumten Streuschäden sowie B) des geräumten Buchdruckerbefalls in den Jahren 2001 und 2002 (Rotabstufungen, vgl. Kapitel Material und Methoden) im Kanton Bern.

a, b, c sind ausgewählte «hot spots» der Sturm-Streuschäden und ihre entsprechenden Epidemiezentren (a', b', c'). Der «spot a» liegt in einer Distanz von mehr als 5 km zur nächsten Sturmschadenfläche. Der mit «Abb. 5» markierte Ausschnitt entspricht der Graphik der Abbildung 5.

Figure 7: A) Distribution of density (m^3/km^2 over total area) of scattered, consecutively cleaned windthrows caused by storm Lothar on 26.12.1999, as well as B) cleaned-up bark beetle infestations on standing trees in 2001 and 2002 in Canton Berne (grades of redness; cf. material and methods).

a, b, c are chosen «hot spots» of scattered windthrown damage and their corresponding epidemic centres (a', b', c'). Spot «a» is more than 5 km distant from the nearest windthrown area. The section marked «Abb. 5» corresponds to the graphic in figure 5.

nale, räumliche Lage der geräumten Streuschäden im Bestand. Indem wir die räumliche Lage und die Menge von geräumten Sturm-Streuschäden als Indikator für die lokale Sturmstärke verwenden, zeigen wir die Bedeutung einer lokalen Schwächung des Restbestandes für das räumliche Auftreten einer Buchdruckerepidemie.

Summary

Regional distribution of standing tree infestation by bark beetle (*Ips typographus*) following storm damage in Canton Berne, Switzerland

After the storm Lothar on December 26, 1999, the forest service of Canton Berne recorded the center-coordinates and the corresponding amount of standing wood infested by spruce bark beetle (*Ips typographus*). Following the storm, 56% (in 2001) and 58% (in 2002) of these first infestations were identified in areas that were at least 200 m distant from any windthrown area. 33% (2001) and 38% (2002) were found at a distance of 500 m or more. Based on these key data, we computed spatial «hot spots» using GIS. We found geographically separated epidemics. Epidemics at higher elevations (above 1000 m a.s.l.) started later than epidemics at lower elevations.

The forest service also recorded the center-coordinates and the corresponding amount of scattered windthrown wood, cleaned in the remaining stands after the storm. As for the beetle-infested trees, 50% of the scattered windthrown wood was found in areas that were at least 200 m and 31% at least 500 m distant from any windthrown area.

In addition to beetle-infested wood, we found geographical «hot spots» of cleaned, scattered windthrown wood. The spatial distribution of these «hot spots» neatly corresponded with the spatial distribution of the «hot spots» of beetle-infested wood. Using the spatial distribution and the amount of cleaned scattered windthrown wood as an indicator of local storm intensity, we show the importance of reduced host tree resistance for the spatial occurrence of spruce bark beetle epidemics.

Résumé

Distribution régionale des foyers d'infestation du typographe (*Ips typographus*) suite à la tempête dans le canton de Berne

Les foyers d'infestation de typographes (*Ips typographus*) qui s'étaient formés à la suite de la tempête Lothar du 26 décembre 1999 ont fait l'objet d'un suivi. Le canton de Berne a relevé les coordonnées centrales des foyers assainis et quantifié les volumes de bois infesté. 56% (en 2001) et 58% (en 2002) des quantités absolues de bois sur pied infesté lors de la première pullulation se trouvaient au-delà de 200 m des zones de chablis étendues. 33% (en 2001) et 38% (en 2002) des quantités absolues de bois sur pied infesté lors de la première pullulation se trouvaient au-delà de 500 m des zones de chablis étendues.

A partir des coordonnées centrales des foyers assainis, les points de concentration des attaques du typographe à l'échelle régionale ont été déterminés à l'aide du SIG. Les épidémies ainsi différenciées se sont déclarées beaucoup plus tard dans les zones supérieures (plus de 1000 m d'altitude) que dans les zones inférieures. Le Service forestier a également relevé les coordonnées centrales des chablis épars ayant été façonnés. Le cas de figure est semblable à celui des attaques aux arbres sur pied: 47% des chablis épars façonnés se trouvaient au-delà de 200 m des zones de chablis étendues. 31% des chablis épars façonnés se trouvaient au-delà de 500 m des zones de chablis étendues.

Les points de concentration régionale des dégâts épars dans le peuplement restant ont aussi été mis en évidence. Ils s'étendent également sur quelques kilomètres carrés. L'emplacement de ces centres correspond largement à celui des attaques aux arbres sur pied. L'emplacement des chablis épars façonnés dans une région reflète ainsi la répartition spatiale des attaques de typographes dans cette même région. Si les chablis épars façonnés servent d'indicateur de l'intensité locale de la tempête – et donc de la résistance réduite du peuplement restant – ce travail peut démontrer l'importance de ce dernier facteur dans la répartition spatiale d'une épidémie de typographes.

Traduction: MONIQUE DOUSSE

Literatur

- BAKKE, A. 1983: Host tree and bark beetle interaction during a mass outbreak of *Ips typographus* in Norway. *Z. Angew. Entomol.* 96: 118–125.
- BERRYMAN, A.A.; STENSETH, N.C. 1989: A theoretical basis for understanding and managing biological populations with particular reference to spruce bark beetle. *Holarct. Ecol.* 12: 387–394.
- BERRYMAN, A.A. 1982. Biological control, thresholds, and pest outbreaks. *Environ. Entomol.* 11: 544–549.
- BÜCKING, M.; EISENBARTH, E.; JOCHUM, E. 1997: Untersuchungen zur Lebendlagerung von Sturmwurfholz der Baumarten Fichte, Kiefer, Douglasie und Eiche. *Mitt. Forstl. Versuchsanst. Rheinland-Pfalz* Nr. 42.
- BUWAL 2001: CD Sturmschäden Lothar, 26. Dezember 1999. Gesamtschweizerischer Datensatz im file-Format Arc View Shape-Format/ARC/INFO-Export. Erstellt durch das Büro Scherrer, Nesslau.
- CHRISTIANSEN, E.; BAKKE, A. 1988: The spruce bark beetle of Eurasia. In: Berryman, A.A. (Ed.): *Dynamics of forest insect populations: patterns, causes, and implications*. Plenum, New York: 480–504.
- DUELLI, P.; ZAHRADNIK, P.; KNIZEK, M.; KALINOVA, B. 1997: Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *J. Appl. Entomol.* 121: 297–303.
- FORSTER, B. 1993: Entwicklung der Borkenkäfersituation in den Schweizer Sturmschadengebieten. *Schweiz. Z. Forstwes.* 144, 10: 767–776.

- GALL, R.; HEIMGARTNER, A. 2003: Spatial patterns of first spruce bark beetle (*Ips typographus* L.) infestation of standing Norway spruce (*Picea abies* [L.] Karst.) after heavy storm damage in Switzerland. In: McManus, M.L.; Liebhold, A.M. (Eds.): *Proceedings: Ecology, Survey, and Management of Forest Insects*. 2002, September 1–5, Krakow, Poland. Gen. Tech. Rep. NE-311, Newtown Square, PA: U.S., 178 p.
- JAKUS, R. 1995: Bark beetle (*Col., Scolytidae*) communities and host and site factors on tree level in Norway spruce primeval natural forest. *J. Appl. Entomol.* 119: 643–651.
- LINDELOEW, A.; SCHROEDER, M. 2001: Spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.) in Sweden: monitoring and risk assessment. *J. For. Sci.* 47: 40–42.
- LOBINGER, G. 1995: Einsatzmöglichkeiten von Borkenkäferfallen – Beurteilung in der forstlichen Praxis. *AFZ/Wald* 4: 198–201.
- MEIER, A.L. 2002: Die Forstschutz-Strategie im Kanton Bern nach Lothar. *Schweiz. Z. Forstwes.* 153, 3: 107–111.
- POWERS J.P.; SOLLINS, P.; HARMON, M.E.; JONES, J.A. 1999: Plant-pest interactions in time and space: A Douglas-fir bark beetle outbreak as a case study. *Landsch. Ecol.* 14: 105–120.
- SCHRÖTER, H.; BECKER, T.; SCHELSHORN, H. 1998: Die Bedeutung der Sturmwurfflächen als «Borkenkäferquellen» für umliegende Wirtschaftswälder. In: Fischer, A. (Hrsg.): *Die Entwicklung von Wald-Biozönosen nach Sturmwurf*. Ecomed, Landsberg, 427 S.: 292–314.
- WERMELINGER, B.; SEIFERT, M. 1999: Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus* and analysis of the potential population grow. *Ecol. Entomol.* 24: 103–110.
- WESLIN, J.; SCHRÖTER, H. 1996: Natürliche Dynamik des Borkenkäferbefalls nach Windwurf. *AFZ/Wald* 19: 1052–1055.
- WICHMANN, L.; RAVEN, P.R. 2001: The spread of *Ips typographus* (L.) (*Coleoptera, Scolytidae*) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *For. Ecol. Manage.* 148: 31–39.
- WORELL, R. 1983: Damage by the spruce bark beetle in South Norway 1970–80: A survey, and factors affecting its occurrence. *Rep. Nor. For. Res. Inst.* 38.6: 1–34.
- WSL 2002: Schweizerisches Landesforstinventar LFI. Spezialauswertung der Erhebungen 1993-95 vom 18. Februar 2002. Ulrich Ulmer, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf.
- ZUMR, V. 1992: Dispersal of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (*Col., Scolytidae*) in spruce woods. *J. Appl. Entomol.* 144: 348–352.

Dank

Wir danken Anouk Heimgartner für ihre umfangreiche Mitarbeit bei der GIS-basierten Auswertung der Resultate. Ihre Arbeit wurde ermöglicht dank der finanziellen Unterstützung durch die Firma Arbezol.

Autoren

ROLF GALL, FRANZ MEIER, BEAT FORSTER, Abteilung Wald und Umweltschutz, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft WSL, Zürcherstrasse 111, 8903 Birmensdorf. E-Mail: rolf.gall@wsl.ch, franz.meier@wsl.ch, beat.forster@wsl.ch.
ADRIAN L. MEIER, Bereichsleiter Waldbau und Ökologie, Amt für Wald des Kantons Bern, Effingerstrasse 53, 3011 Bern. E-Mail: adrian.meier@vol.be.ch.