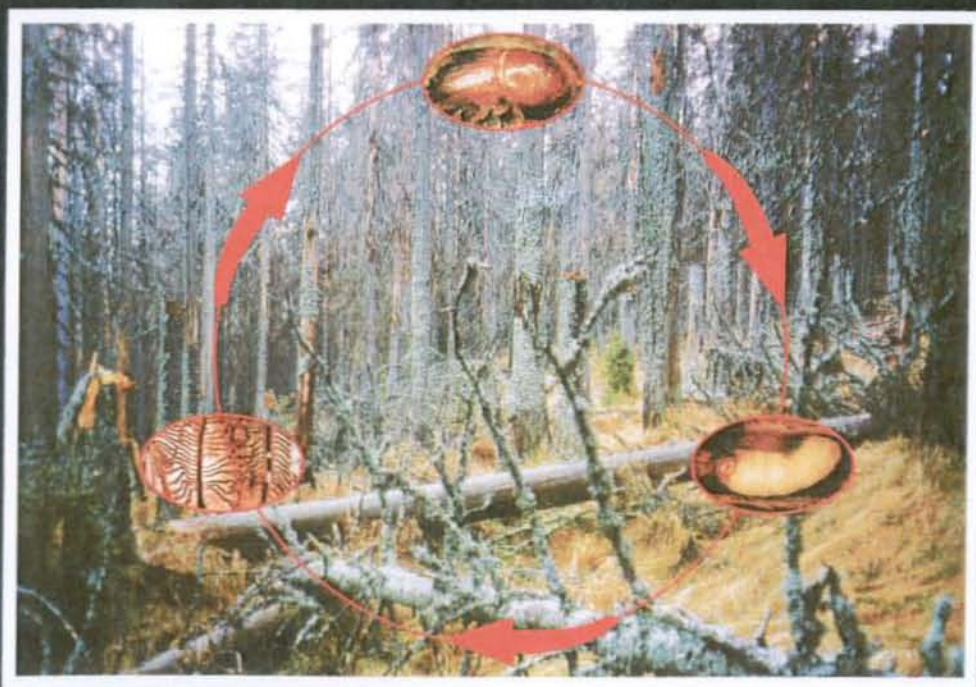


**BERICHTE AUS DER BAYERISCHEN LANDESANSTALT  
FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT**

## **Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999**

**Buchdrucker-Massenvermehrung  
und Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet**



Bayerisches  
Staatsministerium  
für Ernährung  
Landwirtschaft  
und Forsten



**Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999**

**Buchdrucker-Massenvermehrung und Totholzflächen**

**im Rachel-Lusen-Gebiet**

Titelbild: Nach Buchdruckerbefall abgestorbene Hochlagen-Fichten, darunter vereinzelt Fichten-Jungwuchs [Foto: NÜBLEIN, Gestaltung: RUGGIERO]

ISSN 0945 – 131

Alle Rechte vorbehalten

Nachdruck, auch auszugsweise, sowie fotomechanische und elektronische Wiedergabe nur mit Genehmigung des Herausgebers

Verfasser: Dr. Stefan NÜBLEIN  
Dipl.Biol. Gudrun FAIBT (Geographisches Informationssystem, Kartendarstellungen)  
Dipl.Ing. (FH) Angelika WEIBBACHER (Kapitel 3)  
Dipl.Ing. (FH) Klaus MORITZ<sup>1</sup>, Dr. Lothar ZIMMERMANN, Dr. Jochen BITTERSOHL<sup>1</sup>,  
Dr. Martin KENNEL (Kapitel 7) <sup>1</sup>*Bayerisches Landesamt für Wasserwirtschaft*  
Dipl.Ing. (FH) Armin TROYCKE, Dipl.Ing. (FH) Hans ADLER (Luftbilddauswertung)

Herausgeber und  
Bezugsadresse: Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF)  
Am Hochanger 11  
85354 Freising  
Tel./Fax 08161 - 71 - 4881 / - 4971  
Email: lwf@lwf.uni-muenchen.de  
Internet: www.lwf.uni-muenchen.de

Verantwortlich: Der Leiter der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Schriftleitung: Christian Wild

Januar 2000

## Vorwort

Im Nationalpark Bayerischer Wald läuft seit Jahren eine besonders gravierende Borkenkäfermassenvermehrung ab. Nach dem Grundsatz "Natur Natur sein lassen" konnte sie sich in der Naturzone des Rachel-Lusen-Gebietes ungehemmt entfalten. Damit eröffnete sich zum einen die Chance, die natürliche Befallsdynamik des Borkenkäfers und die Entwicklung der betroffenen Waldflächen zu verfolgen, zum anderen waren aber auch Fragen zum Risiko für umgebende Wirtschaftswälder, zu notwendigen Bekämpfungsmaßnahmen und zu deren Bedeutung für den Erhalt des Nationalparkstatus nach internationalen Kriterien zu beantworten.

Zu jenen für den Bestand des Nationalparks grundsätzlichen Fragen hatte im April 1998 ein internationales Expertengremium festgestellt, dass die Naturzone des Nationalparks unberührt bleiben kann, wenn in der Randzone eine sachgerechte mechanische Borkenkäferbekämpfung durchgeführt wird. Damit war die Möglichkeit, die natürliche Borkenkäfer- und Waldentwicklung in der Nationalpark-Naturzone langfristig zu verfolgen, erhalten geblieben.

Diese Möglichkeit wurde seit Beginn der Massenvermehrung genutzt: Die Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (LWF) hatte im Auftrag des Bayerischen Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten die jährliche Ausweitung der Käferbefallsflächen bis Herbst 1999 anhand von Luftbildern beobachtet. Zusätzlich wertete sie 1996 und 1998 eine Inventur zur Waldverjüngung in den besonders betroffenen Hochlagen aus, und sie beteiligte sich seit Anfang der 90er Jahre an Untersuchungen zum Wasserhaushalt in borkenkäferbefallenen Nationalpark-Bereichen. Dabei verwertete die LWF sämtliche verfügbaren Daten der Bayerischen Vermessungs-, Wasserwirtschafts- und Staatsforstverwaltung. Allen Beteiligten wird an dieser Stelle für ihre Mitwirkung gedankt.

Der vorliegende Bericht fasst die bisherigen Ergebnisse zusammen und gibt wichtige Hinweise auf die Gesetzmäßigkeiten der Ausbreitung und auf die Folgen des Borkenkäferbefalls im Nationalpark Bayerischer Wald.

Gleichzeitig ist dieser Bericht und die von der LWF für ein Geoinformationssystem aufgebaute Datenbank, die dem Bericht zugrundeliegt, die Basis für zukünftige Luftbilddauswertungen im Nationalparkgebiet. Ab dem Jahr 2000 können die Auswertungen jetzt anhand dieser Grundlagen von der Nationalparkverwaltung selbst durchgeführt werden, so dass eine sehr aufschlussreiche Dokumentation der langjährigen Befallsflächen- und Waldentwicklung im Nationalpark entstehen wird.

Dr. Günter Braun

Präsident der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

## Inhalt

|                                                                                                                   | Seite     |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|
| <b>1. Gegenstand und Ziel der Untersuchung .....</b>                                                              | <b>1</b>  |
| <b>2. Ursprünge und bisheriger Verlauf der Totholzausbreitung .....</b>                                           | <b>2</b>  |
| <b>3. Untersuchungen zur Populationsdynamik des Buchdruckers 1998/99 .....</b>                                    | <b>8</b>  |
| <b>4. Totholzflächen und Käferholzeinschlag .....</b>                                                             | <b>12</b> |
| 4.1 Interpretation der Befliegungsergebnisse .....                                                                | 12        |
| 4.2 Aktuelle Entwicklung und Stand der Totholzflächen .....                                                       | 13        |
| 4.3 Käferholzeinschlag im Randbereich des Nationalparks .....                                                     | 16        |
| <b>5. Potenzielle Gefährdung der Wälder durch Borkenkäfer .....</b>                                               | <b>18</b> |
| 5.1 Klassifizierung aufgrund der Waldstruktur .....                                                               | 18        |
| 5.2 Potenziell gefährdete Bereiche .....                                                                          | 19        |
| <b>6. Dynamik der Totholzentstehung .....</b>                                                                     | <b>21</b> |
| 6.1 Einfluss des Standortes .....                                                                                 | 21        |
| 6.2 Entstehung von „Borkenkäferfronten“ .....                                                                     | 25        |
| 6.3 Werdegang kleiner Totholzgruppen .....                                                                        | 30        |
| 6.4 Entwicklung der „grünen Inseln“ in ausgedehnten Totholzflächen .....                                          | 33        |
| 6.5 Einfluss der Borkenkäferbekämpfung im Randbereich auf das Befallsbild .....                                   | 33        |
| <b>7. Auswirkungen von flächigem Borkenkäferbefall auf Wassermenge und Gewässer-<br/>    beschaffenheit .....</b> | <b>35</b> |
| <b>8. Einordnung der Ergebnisse .....</b>                                                                         | <b>40</b> |
| <b>9. Zusammenfassung .....</b>                                                                                   | <b>42</b> |
| <b>10. Summary .....</b>                                                                                          | <b>44</b> |
| <b>11. Literaturverzeichnis .....</b>                                                                             | <b>46</b> |

## 1. Gegenstand und Ziel der Untersuchung

Der Große achtzählige Fichtenborkenkäfer (*Ips typographus*), auch Buchdrucker genannt, tritt im Gebiet des Inneren Bayerischen Waldes und des angrenzenden Böhmerwaldes seit eineinhalb Jahrzehnten in einer Massenvermehrung auf. Zu solch einer Gradation kann sich eine Borkenkäferpopulation aufschaukeln, wenn geeigneter Brutraum aus älteren, durch Sturmwurf oder Schneebruch geschwächten Fichtenbeständen zur Verfügung steht und die Witterung im Frühjahr einen trocken/warmen Verlauf nimmt. Im fortgeschrittenen Stadium erliegen auch gesunde Fichten dem Angriff der überaus zahlreich ausschwärmenden Käfer.

Im Wirtschaftswald wird der Borkenkäfer als Schädling bekämpft, indem befallene Fichten eingeschlagen und abtransportiert werden, bevor die unter der Rinde sitzenden Jungkäfer fertig entwickelt sind und zur weiteren Vermehrung ausfliegen. Im Nationalpark Bayerischer Wald jedoch gelten andere Grundsätze. Natürliche Prozesse, und dazu gehört auch eine Borkenkäfer-Massenvermehrung, sollen hier der Nationalpark-Zielsetzung entsprechend ungestört ablaufen können. Es findet konsequenterweise keine Bekämpfung der Borkenkäfer statt. Davon ausgenommen ist nur ein 500 bis 1000 m tiefer Randbereich des Nationalparks, in dem befallene Fichten zum Schutze vorgelagerter Privatwälder gefällt und aus dem Wald verbracht werden. Für das Erweiterungsgebiet gilt ab 1. August 1997 eine zwanzigjährige Übergangsfrist, in der noch Waldschutzmaßnahmen auf ganzer Fläche getroffen werden.

In einer auffälligen Reihung warmer, damit borkenkäferfreundlicher Jahre haben sich die Flächen der Fichtenbestände, die im Altgebiet des Nationalparks (Rachel-Lusen-Gebiet) nach Buchdruckerbefall abgestorben sind, seit Mitte der 90er Jahre rasant vergrößert. Jährliche Befliegungen ermöglichten eine kontinuierliche Beobachtung der Entwicklung. Die Luftbilddauswertung vom Sommer 1998 erbrachte in der Summe eine Totholzfläche von 2.148 Hektar oder 16,9% der Waldfläche [NÜBLEIN u. FAIBT 1998]. Nach diesem Zwischenstand kam es im Februar/März 1999 zu einem Schneebruch mit Schwerpunkt in Lagen zwischen 1000 und 1200 m ü. NN, der einer weiteren Ausbreitung der Borkenkäfer Vorschub leisten könnte. Dies gilt auch für einen erneuten Schneebruch im Dezember 1999, der die Höhenzone zwischen 700 und 900 m ü. NN örtlich stärker erfasst hat. Vom Sturmtief „Lothar“, das am 26. Dezember 1999 von Frankreich kommend über Deutschland hinwegzog, blieb das Parkgebiet weitgehend verschont.

Welchen weiteren Verlauf die Massenvermehrung bis heute im Rachel-Lusen-Gebiet tatsächlich nahm, soll vorliegende Kartierung und Analyse der Totholzflächen auf Grundlage aktueller Luftbilder zeigen. Außerdem soll die Dynamik dieses Phänomens über die letzten Jahre zurückverfolgt werden, um die Gesetzmäßigkeiten der Käferausbreitung herauszuarbeiten. Dadurch, dass 1999 zwei Befliegungen durchgeführt wurden (Sommer und Herbst), können sich die Ausführungen auf besonders umfangreiches Datenmaterial stützen. Daneben lieferten Untersuchungen zur Populationsdynamik des Buchdruckers und zum Einfluss der Absterbeprozesse auf Gewässerqualität bzw. Wassermenge wichtige Hinweise.

## 2. Ursprünge und bisheriger Verlauf der Totholzausbreitung

### Die Sturmwürfe von 1983 und 1984

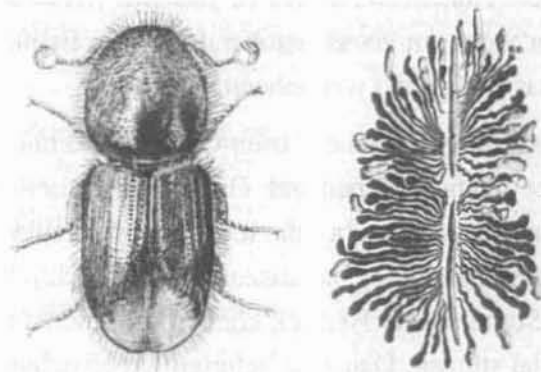
Die Ursprünge der aktuellen Borkenkäfermassenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald lassen sich bis zum Beginn der 80er Jahre zurückverfolgen. Auslöser waren damals zwei Stürme:

- ein Gewittersturm am 1. August 1983, der primär in den Hang- und Tallagen im Westteil des Rachel-Lusen-Gebietes zahlreiche Windwurfflächen hinterließ, sowie
- ein weiterer Sturm am 24./25. November 1984, der vor allem in den Hochlagen im Nordosten zu Windwürfen führte.

Nach einer Luftbilddauswertung durch die Bayerische Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt (heute Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft) waren damals 173 Hektar Sturmwurfflächen zu verzeichnen [TRÄNKNER et al. 1988]. Unter der Maxime des Nationalparkgedankens entschied der damalige Staatsminister Dr. Hans EISENMANN, in den bewirtschaftungsfreien Reservaten des Parkgebietes auf die Aufarbeitung des Sturmholzes zu verzichten. Allenfalls sollte, so die Planung, im Gefolge der Sturmwürfe auftretender Borkenkäferbefall an stehenden Bäumen durch mechanische Bekämpfung eingedämmt werden.

### Steckbrief Buchdrucker

Der Große achtzählige Fichtenborkenkäfer (Buchdrucker) ist ein etwa 4,2-5,5 mm großes Insekt. ‚Achtzählig‘ bezieht sich auf den gezähnten Rand seiner Flügeldecken, der Name Buchdrucker rührt von seinem Fraßbild unter der Rinde her, das an eine mit gotischen Buchstaben bedruckte Buchseite erinnert. Der Käfer verlässt bei Erreichen einer Lufttemperatur von 16,5° C sein Winterquartier und bohrt sich unter die Rinde von Fichten ein. Dort werden die Eier (20-100 je Muttergang, 1-3 Muttergänge je Brutbild) abgelegt. Die schlüpfenden Larven ernähren sich vom Bast; dadurch unterbrechen sie bei starkem Befall den Assimilatstrom des Baumes, wodurch dieser abstirbt. Nach 3 bis 4 Wochen (bei kühlem Wetter erst nach wesentlich längerer Zeit) erfolgt die Verpuppung, weitere 1-2 Wochen später schlüpfen die Jungkäfer und verlassen nach einem Reifefraß den Baum. Pro Jahr können sich 1-2 Generationen entwickeln, darüber



hinaus entstehen zahlreiche Geschwisterbruten, d.h. die Altkäfer legen nach einem Regenerationsfraß wiederholt Eier ab. Die Lebensdauer des Käfers beträgt bis zu 20 Monate, deshalb gibt es häufig alle Entwicklungsstadien zur gleichen Zeit. Er überwintert am Brutort, in anderen Stämmen, in Stöcken und in der Bodenstreu. Der Buchdrucker neigt von allen Borkenkäfern am meisten zu Massenvermehrungen. Äußere Symptome am Baum sind der Bohrmehlauswurf aus den Einbohrlöchern, die Rötung der Krone von unten her oder das Abfallen der Rinde bei noch grüner Benadelung [nach SCHWERDTFEGER 1981].

Abb. 1: Buchdrucker mit Brutbild [aus: SCHWERDTFEGER 1981]

Nach dieser Maßgabe blieben auf insgesamt 82,9 Hektar die Windwürfe unaufgearbeitet im Wald liegen. Davon verteilten sich etwa 8,6 Hektar auf mehrere Sturmwurfflächen in den Hochlagen, die übrigen 74,3 Hektar entfielen auf die Hang- und Tallagen.

### **Erste Welle der Buchdrucker-Massenvermehrung bis 1991**

1984 setzte in den im Vorjahr geworfenen Fichten Befall durch Buchdrucker ein [SCHOPF u. KÖHLER 1995]. Das Sturmholz von 1984 lieferte zusätzliches Brutmaterial für den Käfer, so dass sich der Befall der liegenden Bäume 1985 fortsetzte. Ab 1986, als das Brutmaterial in Form liegenden Holzes knapp wurde, trat begünstigt durch warme Witterung erstmals massiver Stehendbefall gesunder Fichten auf. Er konzentrierte sich zunächst auf die aufgerissenen Bestandesränder rund um das geworfene Sturmholz. Die für diesen Fall vorgesehene Bekämpfung erwies sich schnell als illusorisch [STRUNZ 1995]. Die Massenvermehrung des Buchdruckers hatte begonnen.

Auffallend ist die Analogie zu früheren Ereignissen im heutigen Nationalparkgebiet. Auch 1868 und 1870 waren es zwei Stürme in kurzer Folge, die einer Massenvermehrung des Buchdruckers den Weg bereiteten. Die Kalamität dauerte bis 1875 an und erfasste eine Waldfläche von 2.025 Hektar. Erneut lösten 1925 und 1929 zwei Stürme eine Buchdruckergradation aus. Diesmal waren 900 Hektar Wald betroffen, bis die mechanische Käferbekämpfung griff [ELLING et al. 1987]. Auch in anderen Gebieten bestätigte sich die Kausalkette Sturmwurf - Borkenkäferkalamität, z.B. als 1946 im Thüringer Wald ein Orkan mit nachfolgendem Käferbefall 11.000 ha Kahlflächen hinterließ [SCHREIBER 1999].

Die weitere Entwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald nach 1986 ist gut dokumentiert: ab 1988 wurde das Gebiet alljährlich zur Fertigung von Farbinfrarot-Aufnahmen befliegen. Aus den Luftbildern wurden die jeweils neu entstandenen Totholzflächen kartiert [TRÄNKNER et al. 1988, 1989, 1990, 1991; GRAD et al. 1992, 1993; STRUNZ et al. 1994a, 1995, 1996; NÜBLEIN et al. 1996, 1997, 1998]. Bis 1988 belief sich die in den beiden Vorjahren aufgelaufene Fläche stehenden Totholzes auf insgesamt 87,4 ha, davon 25,9 ha in den Hochlagen. Luftbilddaufnahmen von 1981 dienten zum Vergleich: sie hatten noch keinerlei flächig auftretendes Totholz erkennen lassen. Die Befliegung von 1989 schließlich markierte mit einem Totholzzugang von 68 ha innerhalb eines einzigen Jahres (nur Flächen ab 0,1 ha Größe berücksichtigt) bereits einen vorläufigen Höhepunkt der Gradation. Bis 1992 waren die jährlich hinzukommenden Totholzflächen wieder rückläufig, die erste Welle der Borkenkäfermassenvermehrung ebte allmählich ab. Drei Schwerpunkte des Befalls hatten sich bis dahin herauskristallisiert, wobei in allen Fällen ein räumlicher Zusammenhang mit den Sturmwurfflächen von 1983/84 sicher herzustellen war:

- a. Der Westteil des Nationalparks mit eher geringem Totholzflächenzugang. Hier hatte der Käferbefall früher begonnen, da sich in diesem Gebiet der erste der beiden Stürme (1983) örtlich begrenzt ausgewirkt hatte; dafür kam die Entwicklung schon bis 1988 wieder weitgehend zum Erliegen [SCHOPF u. KÖHLER 1995].

- b. Das Gebiet um Reschbach und Schwarzbach im nordöstlichen Teil des Nationalparks mit mittlerem Anfall von Totholzflächen. Gegenüber dem Westteil des Parks lief hier der Befall i.w. um ein Jahr verzögert ab, da dieses Areal erst vom 1984er Sturm getroffen wurde.
- c. Die Hochlagen nordwestlich des Lusengipfels entlang der Grenze zur damaligen ČSFR bis zum Großen und Kleinen Spitzberg. Dieser Bereich war am stärksten betroffen. Auch hier ging der Käferbefall primär auf den 1984er Sturmwurf zurück.

Es gab also damals regionale Unterschiede der Befallsintensität, wobei sich von Anfang an die Hochlagen vom restlichen Parkgebiet durch überdurchschnittlichen Totholzanteil abhoben. Dies verwundert insofern nicht, als dort von Natur aus weitläufige, reine Fichtenwälder vorkommen – ein idealer Lebensraum für den Buchdrucker. Dennoch – der Zugang an Totholzflächen im Jahre 1991, kartiert aus den Luftbildern vom Sommer 1992, lag insgesamt nur noch bei knapp 5 ha. Damit war die Borkenkäfermassenvermehrung zwar keineswegs zusammengebrochen, doch es schien so, als sei sie ihrem Ende nahe. Tatsächlich war 1991 der Witterungsverlauf für den Borkenkäfer äußerst ungünstig: es gab in der ersten Maihälfte, seiner Hauptschwärmzeit, keinen einzigen Tag, an dem die Temperatur den für einen effektiven Schwärmflug notwendigen Schwellenwert von  $16,5^{\circ}\text{C}$  überschritten hat (Abb. 2). Die geringe Ausweitung der Totholzflächen 1991 hängt mit diesen widrigen Witterungsabläufen im Mai sehr eng zusammen.

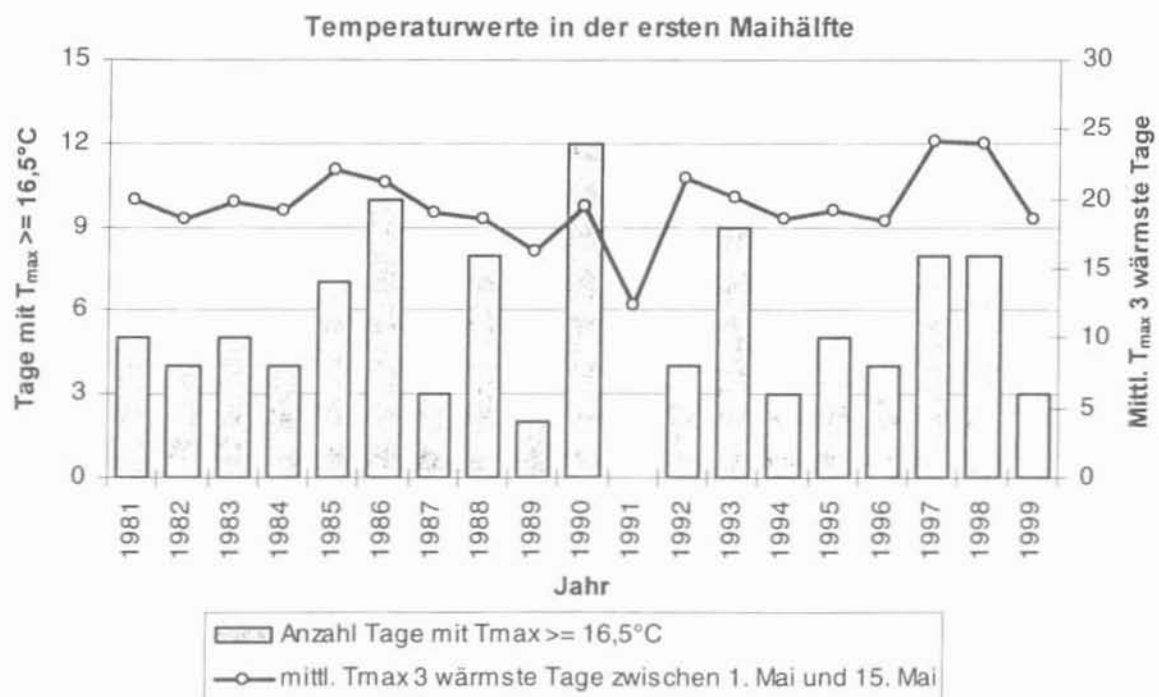


Abb. 2: Überschreiten des Temperaturschwellenwertes von  $16,5^{\circ}\text{C}$  [LOBINGER 1994] für den Buchdrucker-Schwärmflug in der ersten Maihälfte, Zeitreihe 1981-99, Wetterstation Waldhäuser

### Beschleunigung der Absterbeprozesse in der zweiten Gradationswelle seit 1992

Dass die Käferpopulation trotzdem noch ausreichendes Potenzial für eine Fortsetzung des Befalls besaß, zeigte sich im nächsten Jahr. Ab 1992 flammte die Buchdruckergradation neu auf. Schwerpunkt waren immer noch die Bergfichtenwälder der Hochlagen. SCHOPF und KÖHLER [1995] schreiben dazu: „Möglicherweise wäre es in diesen hochgelegenen Bereichen 1989 oder 1990 zum Zusammenbruch gekommen, ähnlich wie 1988 im Westteil, wenn sich nicht spezielle Witterungskonstellationen ergeben hätten. Es folgten ab 1988 drei schneearme Winter, die zu einer ungenügenden Wasserversorgung der Fichte in den Jahren 1989, 1990 und 1991 vor allem auf den in höheren Lagen vorkommenden Böden und Kleinstandorten geführt haben könnten. Kleinräumige abiotische Schadeinwirkungen vor allem durch Schneebruch haben zu einer zusätzlichen Disponierung der Bestände beigetragen.“

Als Auslöser für den neuerlichen Anstieg der Totholzflächen kommen daneben noch andere Faktoren in Betracht: So hatten die Stürme im ersten Quartal 1990 – wegen der bayernweit verheerenden Schäden sind Vivian (26./27.2.1990) und Wiebke (1.3.1990) noch heute jedem ein Begriff – zwar kaum flächige Windwürfe im Nationalparkgebiet verursacht; doch wurde der Gesamtanfall an Sturmholz immerhin auf rund 7.000 m<sup>3</sup> geschätzt [STRUNZ 1995]. Damit war reichlich Brutraum für den Buchdrucker neu geschaffen. Am 25.3.1991 warf ein weiterer Sturm ca. 4.000 m<sup>3</sup> Holz zu Boden. Überfallwinde verursachten am 4.10.1992 erneut zahlreiche Nester- und Gassenwürfe mit einem Anfall von rund 3.500 m<sup>3</sup> Fichtenholz, welches unaufgearbeitet im Wald verblieb [JEHL, mündliche Mitteilung]. Es gab also in dieser Zeit eine ganze Serie von Sturmwürfen, die alte Befallsherde der Borkenkäfer wieder entfachten und neue schufen. Man kann annehmen, dass dabei neben den sichtbaren Sturmfolgen auch Wurzelzerreißen eine Rolle gespielt haben, die zur Schwächung der Bäume führten und diese damit für den Angriff der Käfer disponierten. Hinzu kam schließlich noch, dass das Jahr 1992 eine ganz außergewöhnliche Reihung überdurchschnittlich warmer Jahre einleitete, die dem Buchdrucker bis hinauf in die rauen Hochlagen geeignete Bedingungen für eine explosive Vermehrung bot (warme Sommer begünstigten Geschwisterbruten der Buchdrucker). Im Übrigen wurde zeitgleich mit der Entwicklung im Nationalpark fast ganz Bayern ab dem Jahr 1992 von einer Borkenkäferwelle überrollt, die durch Vivian und Wiebke ausgelöst und durch entsprechende Temperaturverläufe forciert worden war. Es war also ein ganzes Bündel von Umständen, die für die Abläufe der folgenden Jahre verantwortlich waren.

Welche Rolle in dem Geschehen Vorschädigungen der Wälder durch Immissionseinflüsse spielten, ist umstritten. Tatsache ist, dass sich die Belastungssituation nicht von einem Jahr auf das andere derart verschärft hat, dass der Borkenkäfer den geschwächten Bäumen nur noch „den Rest geben musste“. Eher ist im Zuge der Luftreinhaltungspolitik sogar eine Besserung eingetreten (vgl. Bayerischer Waldzustandsbericht 1998). So konnten SCHOPF und KÖHLER [1995] bei ihren Untersuchungen im Nationalparkgebiet auch feststellen, dass sich die Schadstufenverteilung befallener und unbefallener Bäume statistisch nicht unterscheidet. Und weiter wörtlich: „Dies bedeutet, Bäume werden unabhängig von ihrem Benadelungsgrad und der chlorotischen

Verfärbung durch den Buchdrucker befallen. Oder anders formuliert, diese Erhebungen liefern keine Hinweise darauf, dass Fichten mit Nadelverlusten oder Nadelverfärbungen bevorzugt vom Buchdrucker befallen werden.“ Man kann also festhalten: Auch wenn eine zusätzliche Schwächung der Bäume durch Schadstoffeinträge nicht von der Hand zu weisen ist, so ist eine *primäre* Kausalität für die aktuelle Buchdruckergradation doch weitestgehend auszuschließen. Schließlich erklärt allein die gefährliche Kombination aus hohem Käferdruck, reichhaltigem Brutraumangebot und warm/trockenem Witterungsverlauf die Entwicklung bereits hinreichend, wie die historischen Borkenkäferkalamitäten im heutigen Nationalparkgebiet oder vergleichbare Ereignisse z.B. in belastungsarmen Regionen Kanadas eindrucksvoll belegen.

Im Eiltempo eroberte sich nach 1992 der Buchdrucker weite Teile des Nationalparks. Bis zur Befliegung 1993 steigerte sich der Zugang an Totholzflächen wieder von seinem vorübergehenden Tiefststand (5 ha) auf insgesamt 14 ha. Im darauffolgenden Jahr 1994, dem bis dahin wärmsten Jahr der lokalen Wettergeschichte, übertraf die Ausweitung der Totholzfläche mit 132 ha alle Einzelwerte der Vorjahre um ein Vielfaches. Ab 1996 ging dann die Entwicklung, immer noch von warmer Witterung begleitet, in rasenden Schritten weiter. In kürzester Zeit starben die Fichten auf über der Hälfte der Hochlagen ab. Zunehmend breitete sich dann der Buchdrucker auch in den Hang- und Tallagen aus. Den bisher größten jährlichen Zugang an Totholzflächen kartierte die Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft aus den Luftbildern von 1997: er betrug innerhalb eines einzigen Jahres 827 Hektar. Bis zum Sommer 1998 waren 2.148 ha Fichten-Altbestände tot (Abb. 3). Dabei ist das Phänomen der Borkenkäfergradation nicht auf den bayrischen Nationalpark beschränkt. Auch jenseits der tschechischen Grenze im Nationalpark Šumava befindet sich der Buchdrucker in Massenvermehrung.

Entscheidend bei diesen Abläufen – sie sind in ganz Europa derzeit ohne Beispiel und nur in einem Nationalpark, der natürliche Prozesse gewähren lässt, überhaupt vorstellbar – ist die Tatsache, dass die Selbstregulierungskräfte der Natur greifen. Tatsächlich gibt es in den tieferen Regionen, vor allem in den Mischwaldzonen der Hanglagen, bereits sehr üppige Waldverjüngung. In den Hochlagen, wo Schneereichtum und dichter Graswuchs besondere Erschwernisse für den Jungwuchs darstellen, fanden sich bei einer Inventur im Jahre 1998 pro Hektar ebenfalls schon mehr als 1200 Pflanzen ab 20 cm Höhe [NÜBLEIN u. FAIBT 1998], was belegt, dass die Verjüngungsprozesse auch unter den dortigen schwierigen Bedingungen bereits im Gange sind.



Abb. 3: Großflächig abgestorbene Fichtenbestände zwischen Rachel und Lusen [Foto: RUGGIERO]

**Im Text verwendete Begriffe:**

„**Naturzone**“ wird der Kernbereich des Nationalparks genannt, in dem jegliche menschlichen Eingriffe, und so auch die Borkenkäferbekämpfung, unterbleiben. Diese Zone nimmt etwa drei Viertel der Fläche des Rachel-Lusen-Gebietes ein.

„**Randbereich**“ heißt der 500 bis 1000 m tiefe Streifen in der Nationalpark-Peripherie, auf dem der Borkenkäfer zum Schutz der vorgelagerten Wälder bekämpft wird.

„**Rachel-Lusen-Gebiet**“ wird synonym verwendet für das Altgebiet des Nationalparks vor seiner Erweiterung zum 1. August 1997.

„**Falkenstein-Rachel-Gebiet**“ schließlich ist die neue Bezeichnung für die Erweiterungsflächen des Nationalparks vom 1. August 1997.

### 3. Untersuchungen zur Populationsdynamik des Buchdruckers 1998/99

Die Massenvermehrung des Buchdruckers im Nationalpark Bayerischer Wald nahm auch im Jahr 1999 ihren ungehinderten Fortgang. Da die Witterung und hier vor allem die Lufttemperatur einen entscheidenden Einfluss auf die Populationsdynamik des Käfers ausübt, wurde in den Jahren 1998/99 die Schwärmaktivität des Buchdruckers vergleichend untersucht. Hierbei wurden Pheromon-Fallen in der Nähe von Käferfronten aufgestellt und der Temperaturgang in diesen Gebieten mit Hilfe von Datenloggern gemessen. Die erhobenen Temperaturdaten wurden so ausgewertet, dass die potenziellen Schwärmstunden (Zeiträume mit Temperaturen über dem Aktivitätsschwellenwert von  $16,5^{\circ}\text{C}$ ) mit den zeitgleich erhobenen Anflughäufigkeiten an den Fallen in Verbindung gebracht werden konnten.

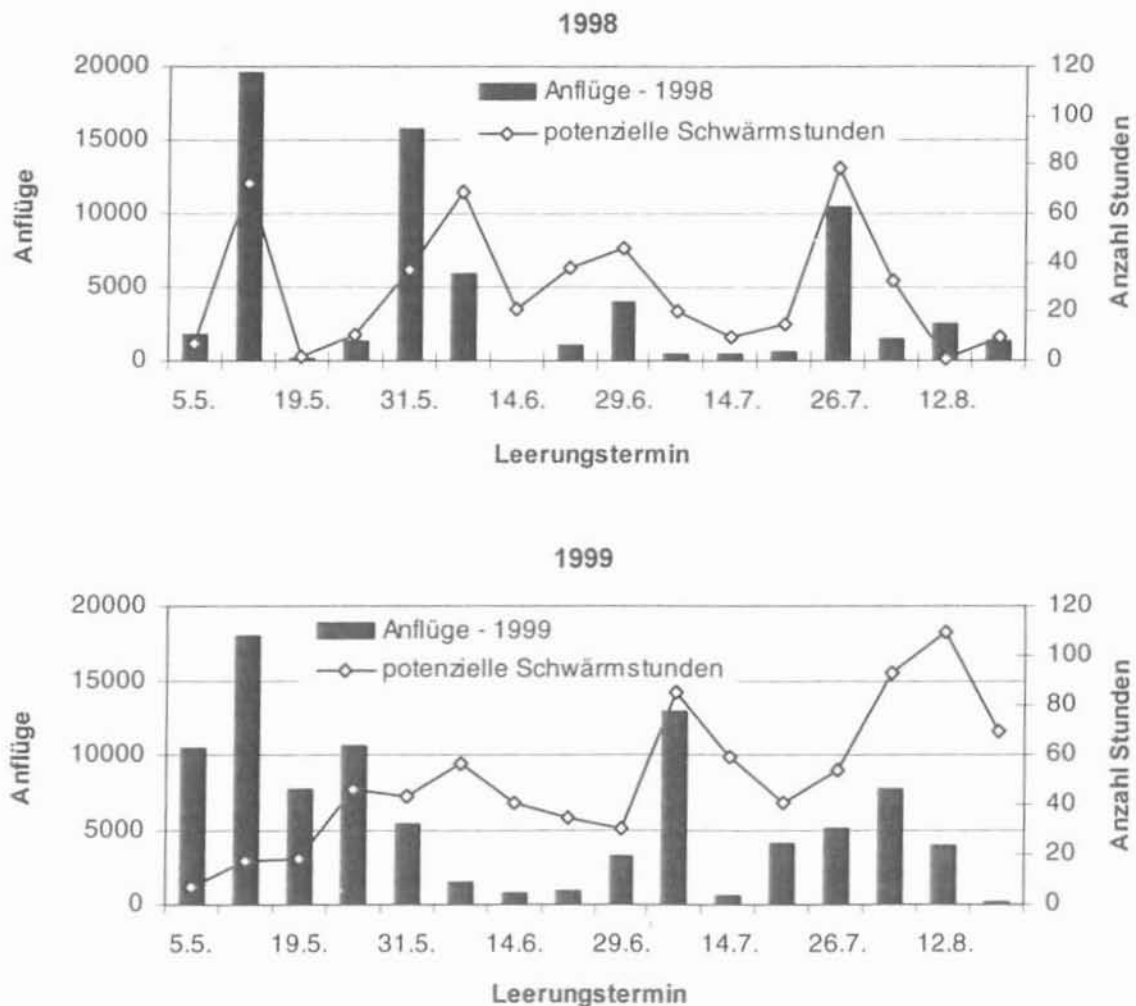


Abb. 4: Anflüge von *Ips typographus* pro wöchentlichem Leerungstermin in Befallsflächen in der Nationalpark-Naturzone (alt) und potenzielle Schwärmstunden

### Naturzone

Es zeigte sich, dass im Mai, dem für das Befallsgeschehen wichtigsten Monat, im Jahre 1999 etwa ein Drittel mehr Anflüge registriert wurden als im gleichen Zeitraum des Vorjahres. Auch war die Schwärmaktivität und damit der Befallsdruck homogener als im Vorjahr (vgl. Abb. 4 und 5). Die Anzahl potenzieller Schwärmstunden (siehe Abbildung 5) war im Mai beider Beobachtungsjahre etwa gleich, so dass davon auszugehen ist, dass die Populationsdichte des Käfers gegenüber dem Vorjahr weiter zugenommen hat. Auch in den Monaten Juni bis August konnten 1999 mehr Anflüge registriert werden, als im gleichen Zeitraum des Vorjahres. Darüber hinaus herrschten im Juli 1999 für den Käfer sehr gute Bedingungen, was in der fast doppelt so hohen Anzahl potenzieller Schwärmstunden und der erhöhten Schwärmaktivität zum Ausdruck kommt. Dies hatte zur Folge, dass die Anlage von Geschwisterbruten sehr begünstigt wurde.

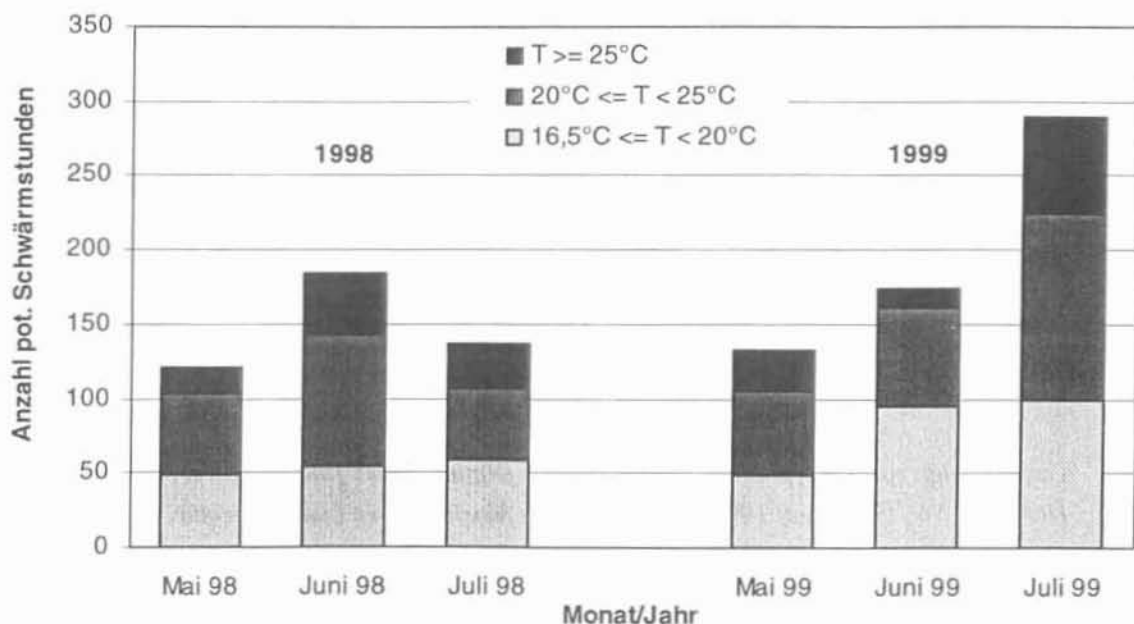


Abb. 5: Potenzielle Schwärmstunden für den Buchdrucker im Nationalpark (alt) in den Monaten Mai - Juli für die Jahre 1998/99 aufgegliedert nach drei Temperaturbereichen (Station in Hanglage)

### Randbereich

Ein Vergleich des Schwärmverhaltens des Käfers im Randbereich ist in der Abbildung 6 dargestellt. Im Jahre 1998 befand sich die entsprechende Messstation in der Nähe einer Käferfront, so dass hier eine sehr hohe Schwärmaktivität beobachtet wurde. Nach Aufarbeitung der befallenen Käferbäume ließ sich im Folgejahr nur noch eine sehr stark reduzierte Aktivität des Buchdruckers beobachten, ein Beleg dafür, dass die Aufarbeitungsmaßnahmen die Käferdichte im Randbereich deutlich reduzieren und so eine weitere Ausbreitung verhindern.

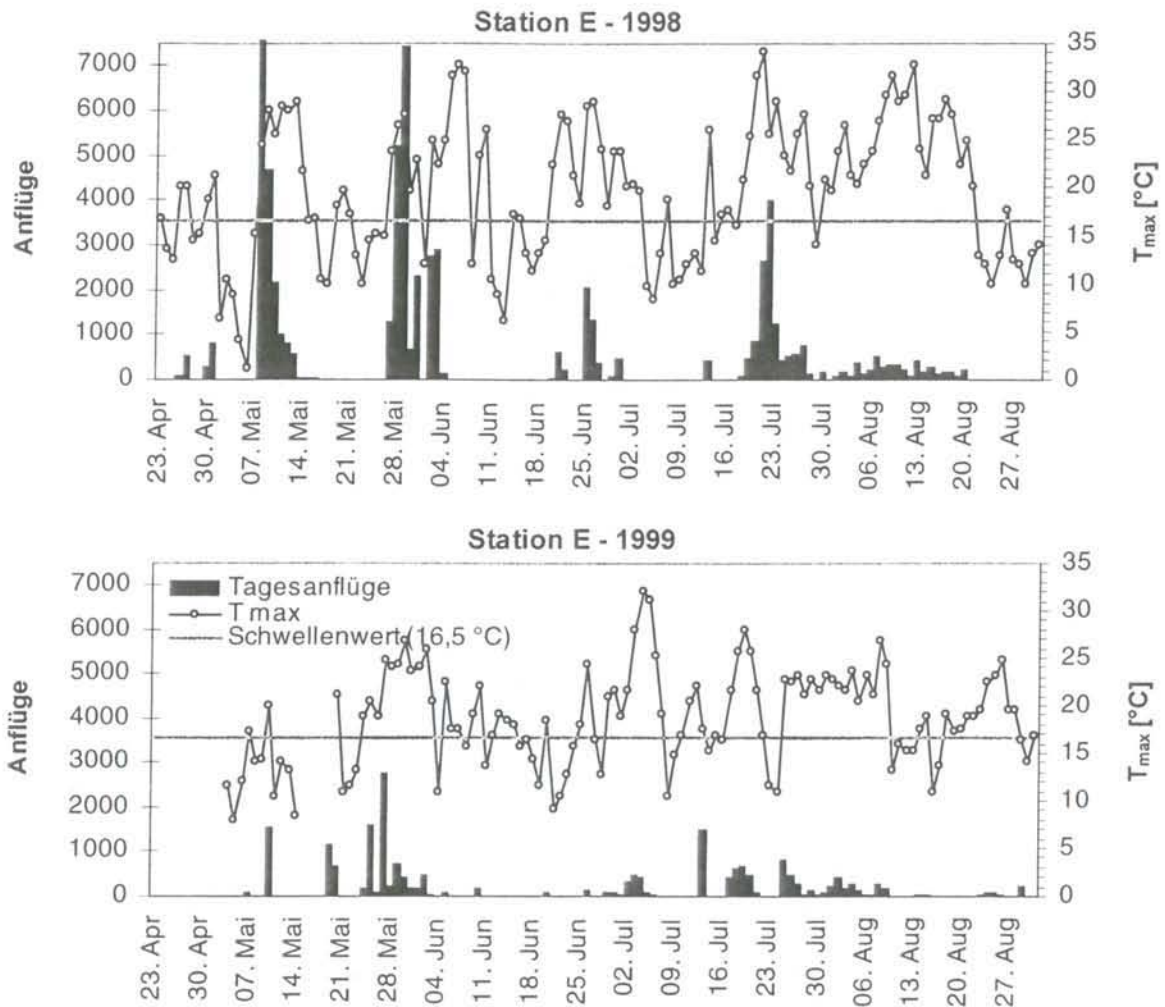


Abb. 6: Tagesanflüge von *Ips typographus* an Station E (Nationalpark [alt], Randbereich Waldhäuser, 1000 m ü. NN, Hanglage) 1998/99 und tägliches Maximum der Lufttemperatur.

### Schneebruch und Windwurf

Im Frühjahr 1999 kam es zu einem gravierenden Schneebruch in großen Teilen des Nationalparkgebietes. Schon im Herbst 1998 hatte es beträchtliche Sturmwürfe gegeben, die sich über das gesamte Gebiet verteilten. Die beschädigten Bäume wurden Ende Juni bis Anfang Juli zum größten Teil besiedelt. Auf diese Weise sind auch in Bereichen, die bisher vom Käfer verschont geblieben sind, eine Vielzahl neuer Infektionsherde entstanden, von denen sich wahrscheinlich, je nach Größe, im kommenden Frühjahr der Befall punktuell bis frontartig ausdehnen wird. Der jüngste Schneebruch vom Dezember 1999 konnte im Untersuchungszeitraum noch nicht befallen werden, wird aber ab Frühjahr 2000 das Brutraumangebot noch einmal vergrößern.

### **Vitalität der Population, Folgeparasiten und Antagonisten**

Untersuchungen zur Vitalität der Borkenkäferpopulation zeigen, dass bisher noch keine eindeutigen Anzeichen auftreten, die auf eine merkliche Schwächung des Käfers hinweisen. Zwar hat sich das in einigen Bereichen zugunsten der Weibchen verschobene Geschlechterverhältnis wieder dem Normalwert von 1:1 angeglichen, was aber sicher noch nicht einen Zusammenbruch der Gradation signalisiert. Hier müssen weitere Ergebnisse in den kommenden Jahren abgewartet werden. Antagonisten (Parasiten, Pilze) wurden zwar beobachtet, leisten aber noch keinen Beitrag zur Reduktion der Populationsdichte.

Seit letztem Jahr treten neben dem Buchdrucker auch Borkenkäferarten der Gattung *Crypturgus* auffallend in Erscheinung. Ihre Dichte ist bereits so angestiegen, dass es örtlich zu Primärbefall durch diese Arten kommt. Auch Folgebefall von *Polygraphus polygraphus* wurde beobachtet. Weitere Untersuchungen zu dieser Problematik sind geplant.

### **Ausblick**

Die bisherigen Beobachtungen lassen erwarten, dass sich der Buchdrucker aufgrund seiner hohen Populationsdichte, unterstützt durch die Schneebruch- und Windwurfsituation, auch im Jahr 2000 bei normalen Witterungsbedingungen weiter ausbreiten wird. Es ist nicht ganz auszuschließen, dass sich bei günstiger Witterung in den wärmeren unteren Hang- und Tallagen im Sommer eine zweite Buchdrucker-Generation ausbildet (bisher wurde immer nur eine Generation pro Jahr im Nationalpark beobachtet). Dies könnte die Ausbreitung der Befallsflächen beschleunigen.

## 4. Totholzflächen und Käferholzeinschlag

### 4.1 Interpretation der Befliegungsergebnisse

Die Farbinfrarot-Bildflüge (Maßstab 1 : 15.000) zur Erfassung der Totholzflächen fanden bisher jeweils im Sommer statt, weil in dieser Zeit der steile Einfallswinkel des Sonnenlichts störende Schlagschatten verhindert und auch die Hochlagen sicher schneefrei sind. 1999 erfolgte die Sommer-Befliegung am **4. Juli**. Bei der Interpretation dieser Luftbildaufnahmen ist folgendes zu berücksichtigen: Der Buchdrucker schwärmt i.d.R. ab Mai aus und bohrt sich in die Rinde von Fichten ein. Die letal befallenen Bäume sterben rasch ab, ihre Nadeln haben sie aber bis zur Befliegung im Juli zumeist noch nicht verloren. Man kann sie deshalb im Luftbild noch nicht als abgestorben identifizieren. Beim Vergleich zweier aufeinander folgender Sommer-Luftbilder ermittelt man deshalb i.w. nur den Totholzzugang des jeweiligen *Vorjahres*. Für die relative Sicherheit, qualitativ hervorragendes Bildmaterial zu erhalten, muss also bei Sommer-Befliegungen eine geringere Aktualität der Ergebnisse in Kauf genommen werden.

Um diesem Nachteil zu begegnen, wurde 1999 zusätzlich ein Bildflug im Herbst erprobt. Der Flug konnte am **18. Oktober** stattfinden. Es lag zu dieser Zeit noch kein Schnee. Schlagschatten, so stellte sich heraus, waren der Luftbildinterpretation dank der vorherrschenden westlichen bis südlichen Expositionen nicht hinderlich. Nachdem der Buchdrucker seine Aktivität für dieses Jahr im Laufe des August eingestellt hatte, kann davon ausgegangen werden, dass der Befall des Jahres 1999 zum größten Teil (Einzelbäume werden in bemessenem Umfang wieder erst später zeichnen) in den CIR-Bildern vom Oktober als Verlust oder zumindest als starke Vergilbung des Nadelkleides erfasst ist. Dies wurde terrestrisch überprüft und verifiziert. Mit der Herbst-Befliegung wurde folglich nach dem Zeitpunkt des Borkenkäferbefalls der Totholzzugang des laufenden Jahres 1999 weitestgehend registriert. Damit kann erstmalig ein ganz **aktueller Zwischenstand** der Waldentwicklung im Rachel-Lusen-Gebiet wiedergegeben werden. Für die Beurteilung aller bisherigen Sommer-Befliegungen gilt jedoch weiterhin: die im Luftbild erkennbaren Totholzflächen gehen jeweils ganz überwiegend auf Vorjahresbefall zurück. Die bestehende Zeitreihe des jährlichen Totholzzugangs wurde damit durch die Auswertung der beiden Bildflüge dieses Jahres lückenlos bis einschließlich 1999 fortgesetzt.

Die Kartieranweisung war 1999 mit der früherer Luftbildanalysen identisch: Erfassungsgrenze für flächige Absterbeerscheinungen waren Gruppen von mindestens 5 toten Bäumen. Komplementär wurden grüne Bäume in Totholzflächen auch als Einzelindividuen aufgenommen. Flächen im Randbereich des Nationalparks, auf denen befallene Fichten zur Borkenkäferbekämpfung eingeschlagen worden waren, erhielten eine gesonderte Signatur. Die Ergebnisse der stereoskopischen Auswertung wurden in Karten im Maßstab 1 : 10.000 übertragen und anschließend digitalisiert. Die weitere Verarbeitung erfolgte im Geografischen Informationssystem (GIS) mit ArcInfo und ArcView.

## 4.2 Aktuelle Entwicklung und Stand der Totholzflächen

Die Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet des Nationalparks Bayerischer Wald haben zwischen den Sommerbefliegungen 1998 und 1999 um **550 Hektar** zugenommen. Bis zur Herbstbefliegung 1999 war eine weitere Zunahme um **409 Hektar** zu verzeichnen (vgl. Abb. 7 und Karte 1). Die zum Schutze umliegender Privatwälder geräumten Käfernester im Nationalpark-Randbereich sind in diesen Zahlen enthalten. Der Spitzenwert des Totholzzugangs von 1997 (827 Hektar) wurde damit, wie schon 1998, nicht mehr erreicht. Der Vergleich der Befliegungen Sommer 1998 und Sommer 1999 erbrachte sogar einen leichten, die Entwicklung bis zum Herbst 1999 einen deutlicheren Rückgang des Totholzzugangs. Das Niveau der jährlichen Totholzausbreitung ist jedoch unverändert hoch. Auch wäre es sicher verfrüht, aus dem aktuellen Verlauf bereits einen Trend abzuleiten, denn die Buchdruckerpopulation ist, wie in Kapitel 3 dargelegt, nach wie vor vital und kann im kommenden Jahr von dem zusätzlichen Brutraumangebot profitieren, das die Schneebruchereignisse 1999 geschaffen haben.

Die gesamte Totholzfläche im Rachel-Lusen-Gebiet (einschließlich geräumter Käferflächen) hat sich damit bis Mitte Oktober 1999 auf **3.107 Hektar** ausgeweitet. Dies sind **24,4%** oder knapp ein Viertel der Waldfläche.

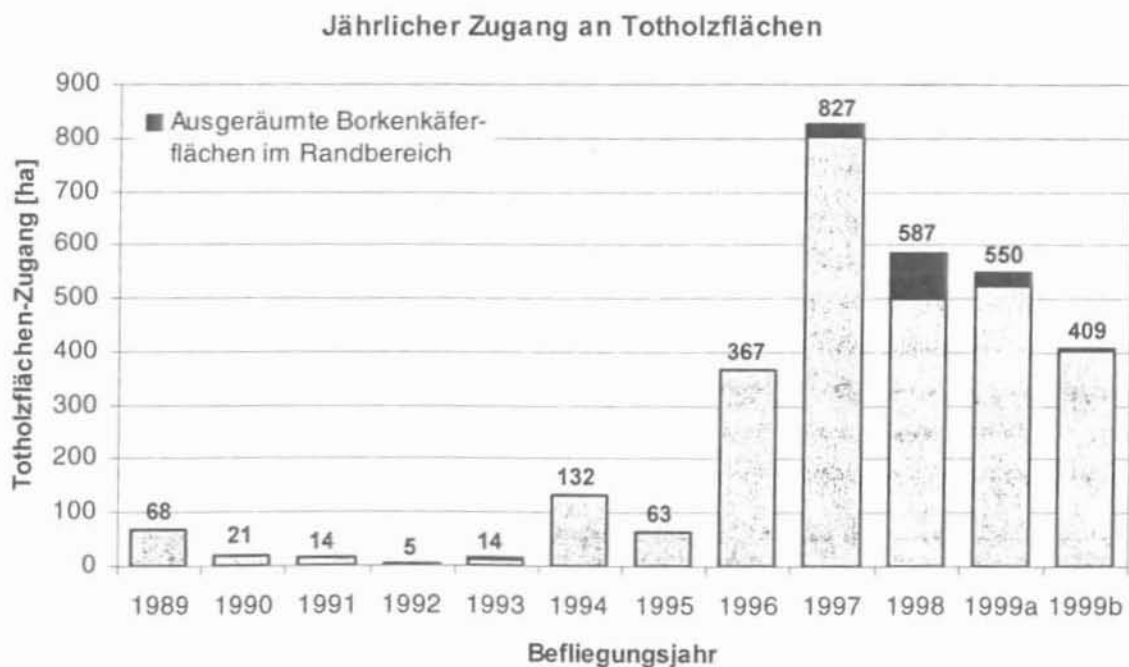
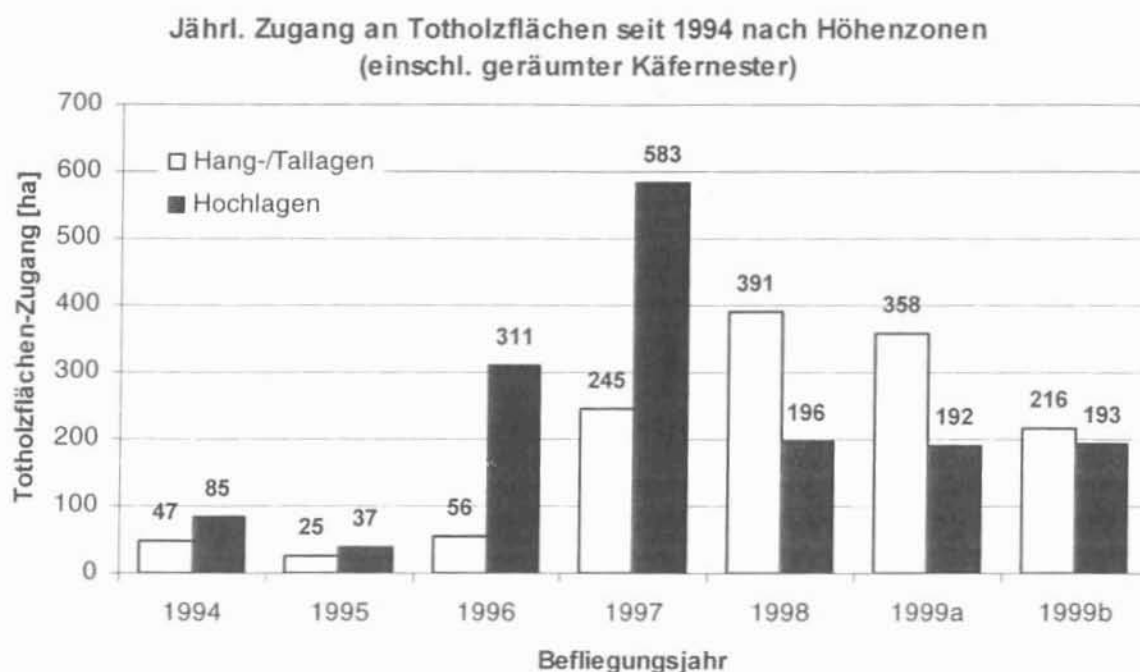


Abb. 7: Jährlicher Zugang an Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet; die Erhebungen bis 1993 enthalten nur Totholzflächen ab 0,1 Hektar Größe (Änderung des Aufnahmeverfahrens im Jahre 1993); bis zum Bildflug 1999a (Sommerflug) gilt i.w.: Befallsjahr = Befliegungsjahr - 1; beim Flug 1999b (Herbstflug) hingegen wurde i.w. der Befall des laufenden Jahres erfasst

Bis um die Mitte der 90er Jahre konzentrierten sich die Totholzflächen vornehmlich auf die Hochlagen, also die klimatisch raue Zone der natürlicherweise fast reinen Bergfichtenwälder oberhalb 1100 bis 1200 m über NN. Spätestens die Befliegung von 1997 zeigte, dass die Massenvermehrung der Borkenkäfer nun auch verstärkt in die Bergmischwälder und Aufichtenwälder der Hang- bzw. Tallagen vorgedrungen war. Abbildung 8 zeigt, wie sich der jährliche Totholzzugang für die rückliegenden Jahre nach Höhenzonen aufgliedert.



**Abb. 8:** Jährlicher Zugang an Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet seit 1994 differenziert nach Höhenzonen

In den **Hochlagen** hielt sich nach dem Extremjahr 1997 (entspricht i.w. Befallsjahr 1996) der jährliche Zugang an Totholzflächen konstant auf einem absoluten Niveau von knapp 200 Hektar. Damit hat sich die Totholzfläche der Hochlagen bis dato auf **insgesamt 1.704 Hektar** vergrößert (vgl. Abb. 9). Das heißt: auf drei Viertel (**75,1%**) der Hochlagenfläche sind die Fichten abgestorben. Schwerpunkte des aktuellen Käferbefalls sind der Rachel, der Steinfleckberg und die Wälder um die Schwarzbachklause. Bemerkenswert ist vor allem die Zunahme der Totholzflächen am Rachel, der von der Borkenkäferkalamität des letzten Jahrhunderts (nach Sturmwürfen 1868/70) verschont geblieben war und aktuell über einen langen Zeitraum den Charakter grüner Hochlagenwälder halten konnte. Selbst vor den Urwaldrelikten der Rachelseewand machte der Buchdrucker in den beiden letzten Jahren nicht Halt. Auch mit dem Gebiet östlich der Schwarzbachklause ist ein Areal erstmals stärker betroffen, das vorher nur von kleineren Totholzgruppen durchsetzt war.

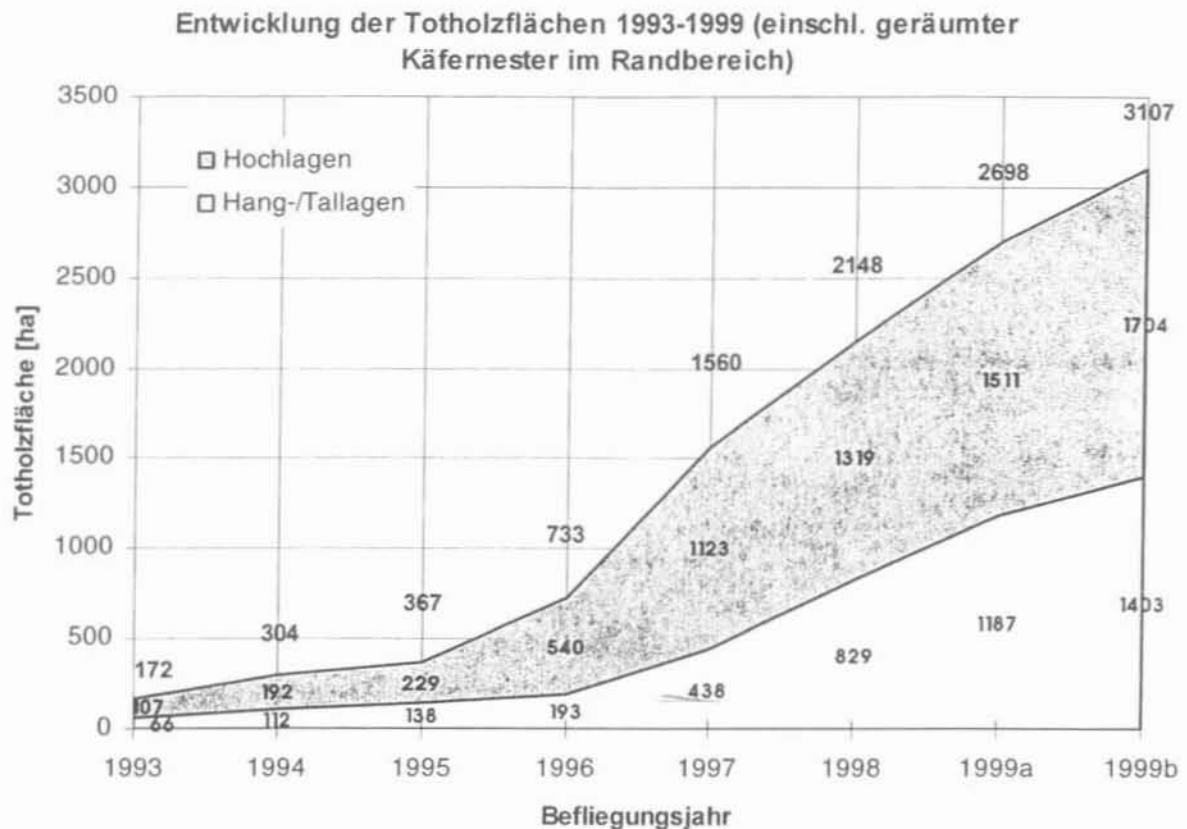


Abb. 9: Summe der Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet differenziert nach Höhenzonen

In den zentralen Hochlagenbereichen zwischen Rachel, Lusen und Moorberg haben sich die Totholzflächen weitgehend geschlossen. Sie erreichen dort die größte räumliche Ausdehnung im gesamten Nationalparkgebiet.

In den **Hang- und Tallagen** war das Geschehen 1998/99 einerseits vom verstreuten Anfall kleiner Totholzflächen geprägt, andererseits, und das ist eines der auffälligsten Ergebnisse der beiden Befliegungen, sind zum ersten Mal in dieser Höhenzone auch große, zusammenhängende Totholzkomplexe von bis zu 100 Hektar entstanden. Der Zugang an Totholzflächen hatte hier nicht, wie in den Hochlagen, im Jahr 1997, sondern erst 1998 (Befliegungsjahr) mit 391 Hektar seinen bisherigen Höhepunkt. Die Sommerbefliegung 1999 erbrachte mit 358 Hektar einen leicht verminderten Totholzzugang. Aus den Luftbildern des Herbstfluges wurden 216 Hektar an neu entstandenen Totholzflächen kartiert. Die Summe aller Totholzflächen der Hang- und Tallagen beläuft sich derzeit auf **1.403 Hektar**, das entspricht **13,4%** der Waldfläche (geräumte Käfernester im Randbereich jeweils eingeschlossen).

Einer der Brennpunkte in den Hang- und Tallagen war das Tal des Großen Schwarzbachs. Dort ist innerhalb von zwei Jahren eine Borkenkäferfront aus der Hochlagenregion um den Steinfleckberg in großen Schritten talwärts vorgestoßen. Beschleunigt wurde diese rasante Entwicklung möglicherweise durch den Schneebruch im Winter 1998/99, der dem Borkenkäfer

auch in diesem Gebiet reichlich bruttaugliches Material lieferte; ihren Ausgang hatte sie jedoch schon im Jahr zuvor. Die Käferfront steht nun vor der Grenze des Nationalpark-Randbereichs, das heißt die dort vorgenommene konsequente Käferbekämpfung hat ein weiteres Vorrücken bisher wirksam verhindert. Zu einer weiteren Konzentration von Totholzflächen ist es nördlich der Enklave Guglöd gekommen (vgl. Karte 1). Die Luftbilder vom Sommer 1999 zeigen, dass sich dort Totholzflächen seit dem vorausgehenden Bildflug erheblich ausgeweitet haben. Dieser Prozess hat sich bis zum Herbst noch einmal fortgesetzt. Auch hier berührt die neu entstandene Käferfront mittlerweile den Randbereich. Schließlich sind in gemischten Waldbeständen der Hanglagen die eingestreuten Fichtenpartien teilweise in kürzester Zeit großräumig ausgefallen. Beispiele sind die Gegend südwestlich des Bärenlochiegel und des Plattenhausenriegel oder, weiter östlich, Luchsstein, Bärenkopf und Sagwasser-Einhänge. Trotz eines im Vergleich zu den Hochlagen begrenzten Umfangs der Totholz-Gesamtfläche ist das von den Absterbevorgängen der Fichte *betroffene Areal* in dieser Mischwaldzone außerordentlich groß. Dieser Sachverhalt relativiert z.T. den Befund, dass sich der Totholzzugang der Hanglagen nach 1997 merklich vermindert hat.

Kleinere Totholzflächen sind gehäuft nördlich des Steinberg, also im Südosten des Nationalparks, wie auch nördlich der Enklave Jägerfleck entstanden. In letztgenanntem Gebiet fließen die Totholzflächen zum Teil bereits ineinander und es zeichnet sich der Beginn einer Frontenbildung ab. Interessant ist, dass das Gebiet um die Enklave Waldhäuser in den beiden letzten Jahren kein Schwerpunkt der Totholzausbreitung gewesen ist. Die Bekämpfung des Buchdruckers im Randbereich hat offensichtlich auch hier Wirkung gezeigt.

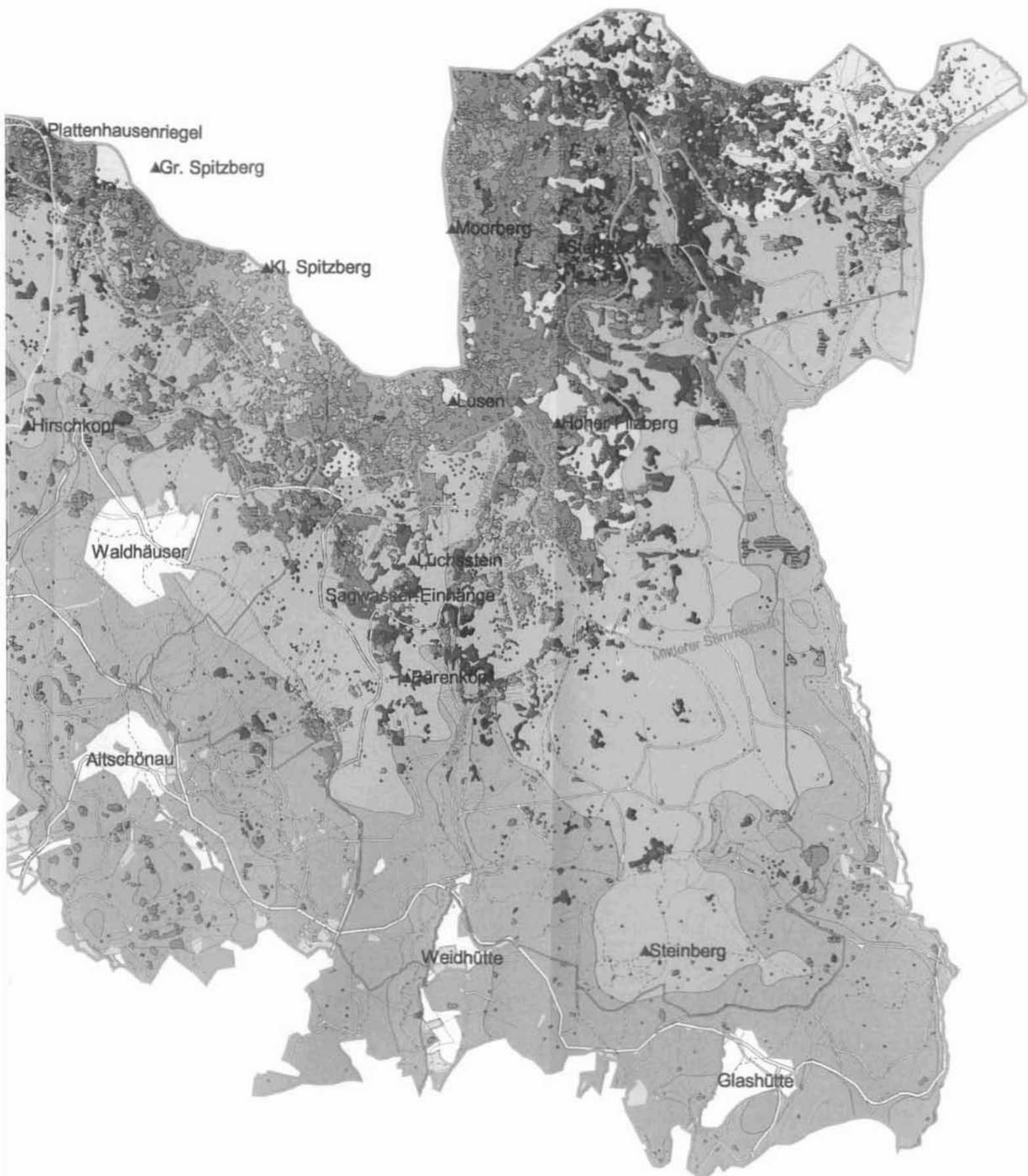
### 4.3 Käferholzeinschlag im Randbereich des Nationalparks

Um zu verhindern, dass Wälder außerhalb des Nationalparks von der dort ungebremst ablaufenden Massenvermehrung des Borkenkäfers ergriffen und geschädigt werden, wird der Borkenkäfer, wie bereits erwähnt, im Randbereich des Rachel-Lusen-Gebietes konsequent bekämpft. Dieser ursprünglich 500 m breite Randbereich wurde 1997 auf eine Breite von 500 bis 1.000 m, je nach örtlicher Gefährdung, ausgeweitet. Er ist insgesamt rund 3.500 Hektar groß. Die Bekämpfung beschränkt sich auf Einschlag und Abtransport bzw. Entrindung befallener Fichten, Insektizide werden nicht eingesetzt.

Der zwangsbedingte Holzeinschlag (ZE) infolge Borkenkäferbefall hat nach vorübergehendem Abklingen der Massenvermehrung Ende der 80er Jahre seit 1992 wieder zugenommen (Abb. 10). Im Jahr 1997 kam es dabei zu einem sprunghaften Anstieg des Einschlags auf das Fünffache des Vorjahresniveaus. Die Ursachen lagen zum einen in der Ausweitung des Randbereichs, die in dieses Jahr fiel, zum anderen im verstärkten Vordringen der Borkenkäfer in die Hang- und Tallagen und damit auch in die Peripherie des Nationalparks. Im Folgejahr 1998 steigerte sich der Käferholzeinschlag noch einmal um fast 60% auf rund 38.000 Festmeter (fm), ging aber

# zkartierung im Nationalpark Bayerischer Wald

*Stand: Befliegung 18.10.1999*



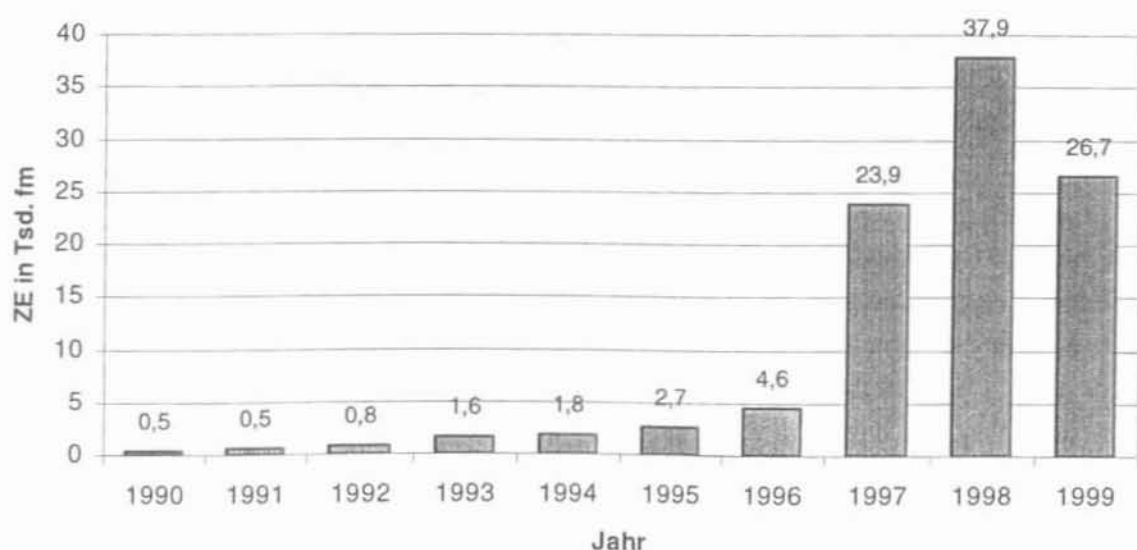
1999 wieder auf **ca. 26.650 fm** zurück. Dafür waren in diesem Jahr zusätzlich etwa 4.700 fm Schneebruchholz aufzuarbeiten.

Dort, wo nicht nur Einzelbäume, sondern ganze Baumgruppen eingeschlagen werden mussten, sind Kahlflächen entstanden. Der jährliche Zugang solcher geräumten Käfernester hat 1998 mit insgesamt 85,4 Hektar einen bisherigen Spitzenwert erreicht. Aus den Luftbildern vom Sommer 1999 wurden weitere 24,4 Hektar kartiert, im Herbst noch einmal 6,4 Hektar. Die Summe der neu entstandenen Kahlflächen ist also stark zurückgegangen, obwohl die Einschlagsmengen immer noch hoch waren. Es war demnach mehr verstreuter Einzelbefall aufzuarbeiten, der keine im Luftbild erkennbaren Freiflächen hinterließ. Bis zum 18. Oktober 1999 (Datum der Herbst-Befliegung) belief sich die Gesamtfläche geräumter Käfernester im Randbereich des Rachel-Lusen-Gebietes auf **147,2 Hektar**.

Ein aktueller Einschlagsschwerpunkt war der Ostabhang zum Reschbachtal in der Gegend um Finsterau. Im Geländeeinschnitt des Hinteren Stimmelbaches, der südlich von Finsterau in den Reschbach mündet, ist dabei eine sehr große Bekämpfungsfläche mit einer West-Ost-Erstreckung von über 500 m und einer maximalen Breite von etwa 200 m entstanden.

Der Randbereich um die Enklave Waldhäuser mit unmittelbar vorgelagerter Borkenkäferfront aus den Hochlagen war 1997 ein Bekämpfungsschwerpunkt. Bis 1999 hat sich dort die Situation merklich entspannt, neue Kahlflächen sind kaum entstanden. Die mit der Holzabfuhr verbundene Entfernung der Käferbruten aus dem Wald hat zu einer wirksamen Abschöpfung der örtlichen Population geführt und konnte bis heute die Käferfront aufhalten.

**Einschlag von Borkenkäferholz im Rachel-Lusen-Gebiet**



**Abb. 10:** Zwangsbedingter Einschlag Borkenkäfer (ZE) im Rachel-Lusen-Gebiet einschließlich nicht aufgearbeitetes Holz (NH)

## 5. Potenzielle Gefährdung der Wälder durch Borkenkäfer

### 5.1 Klassifizierung aufgrund der Waldstruktur

Ob eine Borkenkäfer-Massenvermehrung weiter um sich greift oder zum Erliegen kommt, das ist in erster Linie von der Witterung im Frühjahr und Sommer abhängig. Der Jahresverlauf der Witterung ist nicht prognostizierbar, eine verlässliche Vorhersage der weiteren Befallsentwicklung scheidet damit aus. Es lässt sich jedoch einschätzen, welche Waldbestände im Falle anhaltend borkenkäferfreundlicher Witterung in den nächsten Jahren überhaupt potenziell vom Buchdrucker befallen werden könnten. Ausschlaggebend dafür ist die Waldstruktur, Einzelkriterien sind der Fichtenanteil und das Bestandesalter. Ideale Bedingungen findet der Käfer in großräumigen, alten Fichtenreinbeständen vor. Gehemmt ist sein Befallsfortschritt in intensiv gemischten Wäldern, in denen er von Fichte zu Fichte große Flugstrecken zurücklegen muss und dabei hohe Dispersionsverluste erleidet. Keine Ausbreitungsmöglichkeiten hat er in Laubbaumbeständen bzw. Verjüngungen, Dickungen und Stangenhölzern (1997 wurde auch an Fichtenverjüngung sporadisch Buchdruckerbefall festgestellt. Dabei handelte es sich um eine Notreaktion der Käfer, die in großen Totholzkomplexen kein geeignetes Brutmaterial fanden. Flächenmäßig blieb dieses ungewöhnliche Phänomen aber ohne Bedeutung).

Tab. 1: Kriterien zur Klassifizierung der potenziellen Gefährdung durch Borkenkäfer

| Bestandesalter | Laubbaumanteil                          |                                    |                                            |
|----------------|-----------------------------------------|------------------------------------|--------------------------------------------|
|                | Laubbaumbestand*<br>(50-100% Laubbäume) | Mischbestand<br>(20-50% Laubbäume) | Nadelbaumbestand*<br>(unter 20% Laubbäume) |
| Bis 30 Jahre   | Ungefährdet                             |                                    |                                            |
| Über 30 Jahre  |                                         |                                    |                                            |
|                |                                         | Bedingt gefährdet                  | Potenziell gefährdet                       |

\* Erfassungsgrenze für reine Laubbaum- bzw. Nadelbaumpartien: 0,5 Hektar

Eine Klassifizierung nach dem Laubbaumanteil wurde zu diesem Zweck auf Grundlage der Luftbildaufnahmen durchgeführt. Die Erfassungsschwelle für reine Bestandespartien wurde mit 0,5 Hektar sehr niedrig angesetzt. Als Mischbestand kartierte Einheiten sind also stets intensiv durchmischt. Die Nadelbaumarten wurden in der Auswertung vereinfachend zusammengefasst, doch handelt es sich dabei zum weit überwiegenden Teil um Fichten. Das Alter der Bestände konnte von einer flächendeckenden Erhebung im Jahre 1996 fortgeschrieben werden. Die konkrete Abgrenzung der einzelnen Gefährdungsklassen richtete sich nach den Kriterien in Tab. 1.

Die Einstufung als „ungefährdet“ kann so interpretiert werden, dass geschlossene Bestandesstrukturen in jedem Falle weitgehend erhalten bleiben, selbst wenn vereinzelt eingestreute Fichten doch dem Borkenkäfer zum Opfer fielen. In den „bedingt gefährdeten“ Beständen ist bei ei-

nem Vordringen der Buchdruckerpopulation u.U. mit teilweiser Auflösung und Verlichtung zu rechnen. Großflächige Verluste sind aber ausgeschlossen. Außerdem hemmt die Beimischung anderer Baumarten die Ausbreitung der Käfer. Bei entsprechend hohen Borkenkäferpopulationen können Mischbestände allerdings das Voranschreiten der „Front“ nicht verhindern. Den als ‚gefährdet‘ klassifizierten Waldbeständen droht bei Fortdauer der Massenvermehrung auch flächiges Absterben, sofern sie von einer Käferfront erfasst werden.

Die Einschätzung der potenziellen Gefährdung bezieht sich nur auf die herrschende Bestandes-schicht. Die in den meisten Fällen darunter befindliche Verjüngung, die bei Absterben des alten Baumbestandes den nahtlosen Übergang zur nächsten Waldgeneration sicherstellt, blieb bei der Einstufung unberücksichtigt. Außerdem darf die Klassifizierung, die letztendlich ein „worst case-Szenario“ darstellt, keinesfalls als Prognose missverstanden werden.

## 5.2 Potenziell gefährdete Bereiche

Wegen ihrer Waldstruktur sind in der Naturzone des Nationalparks – der Randbereich wird durch Käferbekämpfung geschützt – insgesamt 2.972 ha an Fichtenbeständen potenziell durch Buchdruckerbefall gefährdet. Mit 31% der Waldfläche entspricht das ungefähr dem Umfang aller abgestorbenen Bestände (Abb. 11). Weitere 10% oder 893 ha gelten als bedingt gefährdet im Sinne der oben genannten Kriterien, die restlichen 2.454 ha (27%) sind nicht gefährdet.



**Abb. 11:** Aufgliederung der Waldfläche der Nationalpark-Naturzone (Rachel-Lusen-Gebiet) auf Klassen unterschiedlicher potenzieller Gefährdung durch den Buchdrucker

Beim Blick auf die entsprechende Karte der potenziellen Borkenkäfergefährdung (Karte 2) kann man erkennen, dass sich die Verteilung der gefährdeten Bereiche in den Hang- und Tallagen sehr deutlich von der in den Hochlagen unterscheidet. Während die Zone der natürlichen Bergfich-

tenwälder, soweit sie nicht abgestorben sind, nahezu komplett der Kategorie „potenziell gefährdet“ zugeordnet werden muss, sind die Wälder in den Hang- und Tallagen kleinräumig durchmischt. Derart ausgedehnte gefährdete Komplexe, wie sie ursprünglich in den Hochlagen zu finden waren, gibt es dort nicht. Besonders die flächenmäßig dominierenden Hanglagen, das bestätigt Abbildung 12, sind überaus reich an Mischungselementen, denen der Borkenkäfer nichts anhaben kann. Selbst in den schlimmsten aller vorstellbaren Szenarien können sich deshalb in diesem überwiegenden Teil des Parkgebietes nicht solche Bilder wiederholen, wie sie zwischen Moorberg, Lusen und Rachel, also in den Kamm- und Plateaulagen ab einer Seehöhe von 1100 bis 1200 m, zu sehen sind. Es wird vielmehr ein mehr oder weniger dichtes Gerüst aus Laub- und Mischbeständen in jedem Falle erhalten bleiben – ganz abgesehen von der oft schon vorhandenen Verjüngung.

Allerdings: wenn das Erscheinungsbild in den tiefergelegenen Regionen auch von dem der Hochlagen abweicht, so bieten sich hier dem Buchdrucker trotzdem *in der Summe* beträchtliche Angriffsflächen, falls sich die Witterung ungünstig entwickeln und die Massenvermehrung fortsetzen sollte. Ausbreitungsmöglichkeiten hätte der Buchdrucker vor allem im ganzen Südwestteil des Rachel-Lusen-Gebietes wie auch im äußersten Südosten. In der Gegend südlich des Lusen oder südwestlich des Großen Spitzbergs, so ist in Karte 2 zu sehen, ist der Buchdrucker in einer konzentrischen, von den Hochlagen ausgehenden Welle bereits tief in die Mischwaldzone vorgedrungen.

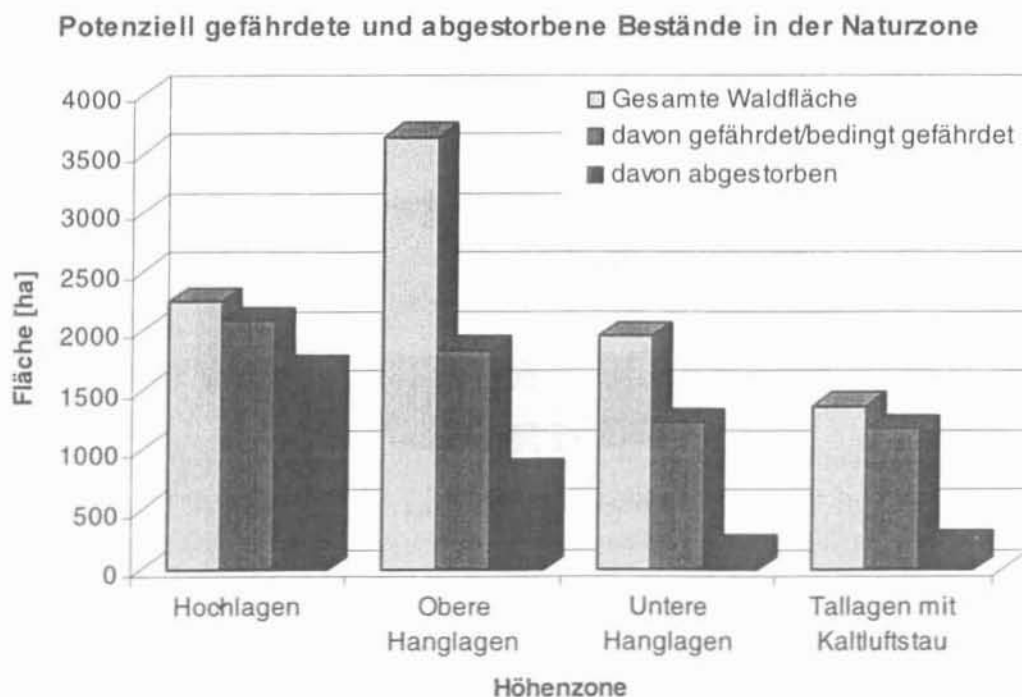
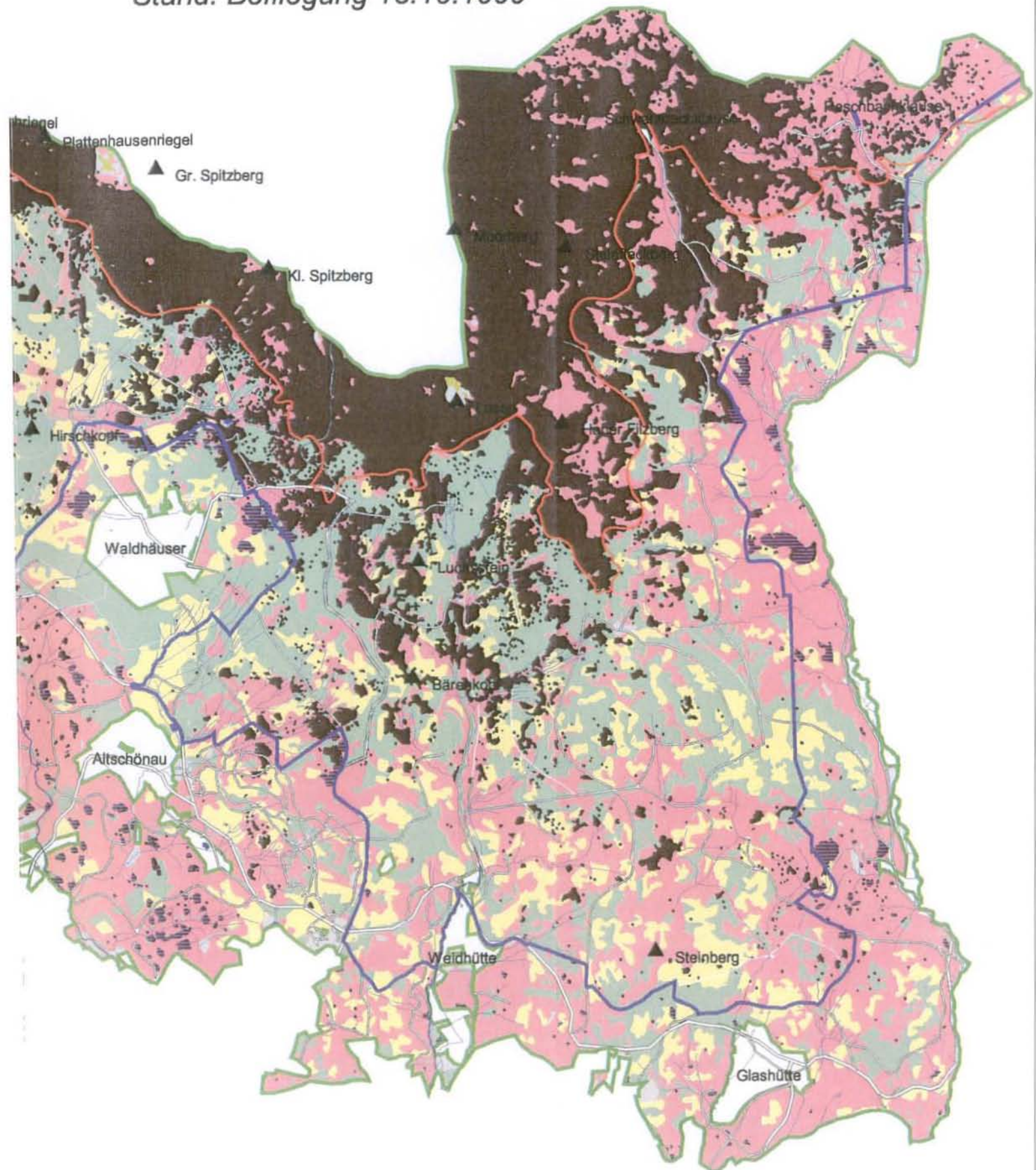


Abb. 12: Potenziell gefährdete bzw. bedingt gefährdete Flächen in der Naturzone des Rachel-Lusen-Gebiets nach Höhenzonen

# zielle Gefährdung durch Borkenkäfer aufgrund der Bestandesstruktur

*Stand: Befliegung 18.10.1999*



## **6. Dynamik der Totholzentstehung**

### **6.1 Einfluss des Standortes**

In der Entstehung wie auch in der anfänglichen Entwicklung der Borkenkäfermassenvermehrung waren der Totholzanfall und die jeweiligen Standorts- bzw. Umgebungsbedingungen eng miteinander verknüpft. Vier Einflussfaktoren wurden schon frühzeitig identifiziert [TRÄNKNER et al. 1988, 1990, 1991]: Bodenverhältnisse, Geländeexposition, Höhenlage und Bestandestyp.

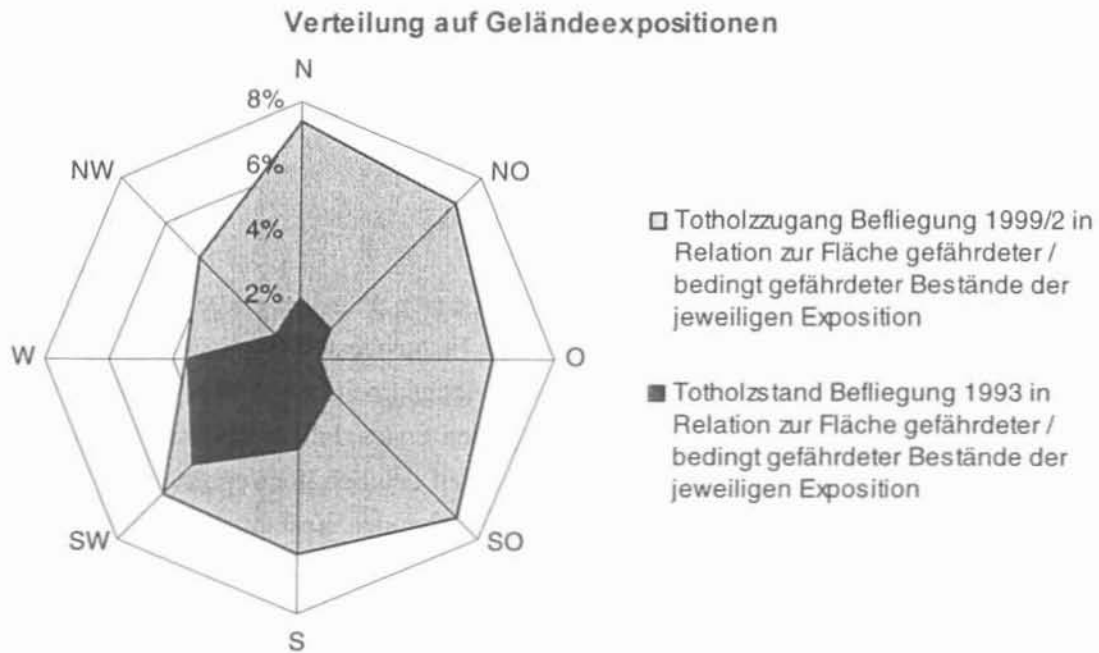
#### **Bodenverhältnisse**

Der Zusammenhang mit den Bodenverhältnissen lässt sich plausibel erklären: Den Stürmen von 1983 und 1984 fielen naturgemäß vor allem solche Fichtenbestände zum Opfer, die auf labilen Weichböden stockten. Rund drei Viertel der nicht aufgearbeiteten Windwurfflächen lagen auf solchen Weichböden [TRÄNKNER et al. 1990]. In den ersten Jahren der Buchdruckergradation waren diese Standorte deshalb auch beim Totholzanfall deutlich überrepräsentiert, denn der Käferbefall griff vom liegenden Sturmholz auf die umgebenden Bestandesteile über. Aus diesem Grunde waren z.B. zwischen 1868 und 1875 vielfach exakt die selben Gebiete von der Massenvermehrung betroffen, wie heute [NÜBLEIN u. FAIBT 1998]. Während sich die Weichböden aber nur indirekt, nämlich über die erhöhte Sturmanfälligkeit, auf die Intensität des Käferbefalls auswirkten (der Zusammenhang schwächte sich deshalb auch schnell ab) kam beim Fortgang der Entwicklung offensichtlich ein anderer standörtlicher Einfluss zum Tragen: eine angespannte Wasserversorgung scheint die Fichte für den Buchdruckerbefall zu disponieren [SCHOPF u. KÖHLER 1995]. Nach den schneearmen Wintern 1988 bis 1991 oder in warmen, trockenen Jahren, wie sie sich ab 1992 häuften, tritt ein Defizit an pflanzenverfügbarem Bodenwasser zuerst auf den flach- bis mittelgründigen Standorten auf. Tatsächlich sind Böden mäßiger Gründigkeit bisher Schwerpunkte der Totholzausbreitung gewesen, und zwar vor allem in den Hochlagen, die flächenmäßig von der Standortseinheit „mittelgründiger Lehm über verfestigtem Schutt“ dominiert werden. Ferner wurde von NÜBLEIN und FAIBT [1998] auf eine Differenzierung nach dem geologischen Ausgangsgestein hingewiesen. Aus Granit entstandene Böden waren demnach stärker von der Käfergradation betroffen als Gneisböden, welche aufgrund ihrer Korngrößenverteilung eine höhere Wasserhaltekapazität besitzen.

#### **Geländeexposition**

Hinsichtlich der Geländeexposition gab es von Anfang an auf den nach Südwesten geneigten Hängen den größten Umfang an Totholzflächen. Dies hängt nicht nur damit zusammen, dass diese Exposition im Nationalpark am häufigsten vorkommt; auch auf die Fichtenwaldfläche bezogen wurde eine Überrepräsentanz dieser Lagen festgestellt. Zum einen waren die Stürme

1983/84 von Südwesten gekommen, hatten also dort die meisten Windwürfe verursacht. Zum anderen sagt dem Buchdrucker in seiner Schwärmzeit im Frühjahr, bei der ein Temperaturschwellenwert überschritten werden muss, die frühnachmittägliche Besonnung besonders zu und ermöglicht ihm hier eine wesentlich größere Aktivität als beispielsweise auf einem beschatteten Nordhang.



**Abb. 13:** Verteilung der Totholzzugänge auf Geländeexpositionen; der Totholzstand Befliegung 1993 repräsentiert i.w. den Befallsstand 1992, der Zugang 1999/2 das Befallsjahr 1999

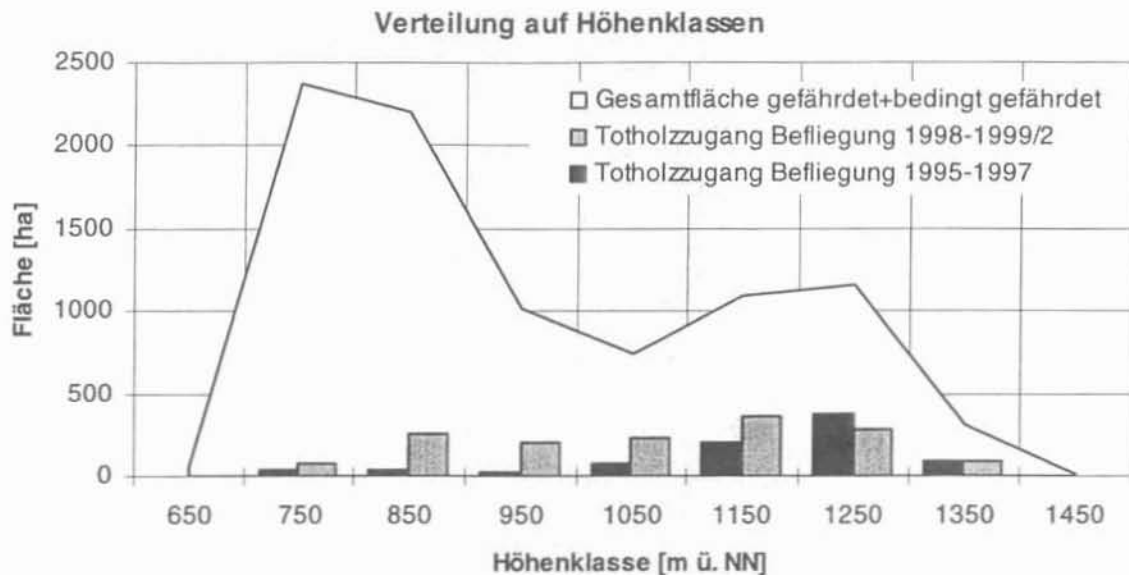
### Höhenlage

Schließlich war drittens ein Zusammenhang mit der Höhenlage dergestalt zu erkennen, dass die Totholzflächen in der ersten Gradationswelle bis zur Höhenstufe 1100 bis 1200 m über NN stetig zu-, oberhalb von 1200 m aber wieder abnahmen [TRÄNKNER et al. 1990]. Bis 1996 erhielt sich dieses Höhenprofil des Totholzzugangs. Auch hier schlug wieder die Verteilung der Windwurf- flächen von 1983/84 durch: ihr Schwerpunkt befand sich in der Zone zwischen 800 und 1100 m über NN. Der Höhengradient hat aber noch einen anderen Ursprung, und der liegt in der Höhen- zonierung der Waldgesellschaften.

### Bestandestyp

In großräumigen, alten Fichtenreinbeständen findet der Buchdrucker die weitaus günstigsten Vermehrungsbedingungen. In Mischwäldern hingegen ist seine Entwicklung gebremst. So erklärt es sich, dass sich die Massenvermehrung in den Bergmischwäldern der Hanglagen im

Westteil des Rachel-Lusen-Gebietes bis 1988 bereits deutlich abschwächte oder sogar vorübergehend örtlich zusammenbrach. Die reinen Bergfichtenwälder der Hochlagen wurden hingegen immer mehr zum eigentlichen Brennpunkt des Geschehens.



**Abb. 14:** Verteilung der Totholzzugänge auf Höhenklassen; die Befliegungsjahrgänge 1995-97 repräsentieren i.w. die Befallsjahre 1994-96, die Jahrgänge 1998-99/2 die Befallsjahre 1997-99

### Eigendynamik der Buchdruckerpopulation

Bis heute haben sich viele der ursprünglich klaren Zusammenhänge verwischt. Bei den Einflussfaktoren, die nur mittelbar mit der Käfergradation in Beziehung standen, primär aber die Verteilung der Windwürfe bestimmten, ist das nicht verwunderlich, denn die Sturmwürfe waren nur auslösendes Moment der Massenvermehrung. Dass auch direkte Einflussgrößen auf die Befallsentwicklung scheinbar nur noch eingeschränkt gelten, überrascht auf den ersten Blick mehr. So waren 1998 und 1999 auch gut wasserversorgte Standorte betroffen, der Befall in den Gneisgebieten am Rachel und östlich der Schwarzbachklause schritt voran, östliche und sogar nördliche Expositionen blieben nicht verschont (Abb. 13), die Totholzausbreitung erstreckte sich immer weiter in mittlere und tiefere Lagen hinein (Abb. 14) und auch in Mischbeständen fielen weiträumig Fichtenanteile aus. Abbildung 15 demonstriert beispielsweise, wie sich der Totholzzugang bis etwa 1996/97 i.w. auf die Hochlagen konzentrierte, in den Folgejahren aber zunehmend auch die Hang- und Tallagen erfasste. Die enorme Dichte der Buchdruckerpopulation scheint zur dominanten und alles andere überlagernden Größe geworden zu sein. Die Voraussetzungen, die zu dieser Entwicklung geführt haben, sind wohl neben dem vorhandenen Angebot an Brutraum in erster Linie in den Witterungsbedingungen der letzten Jahre zu suchen.

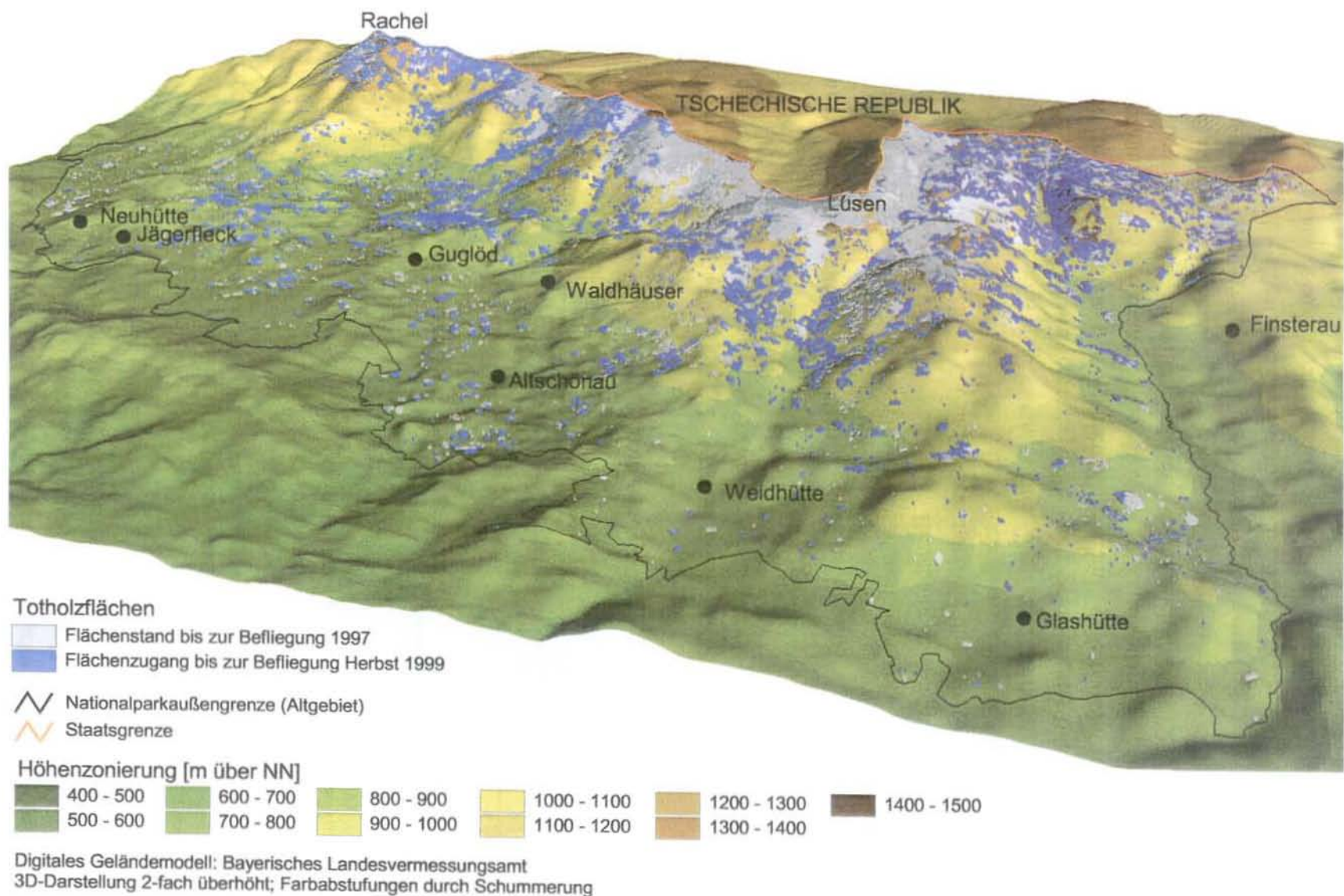


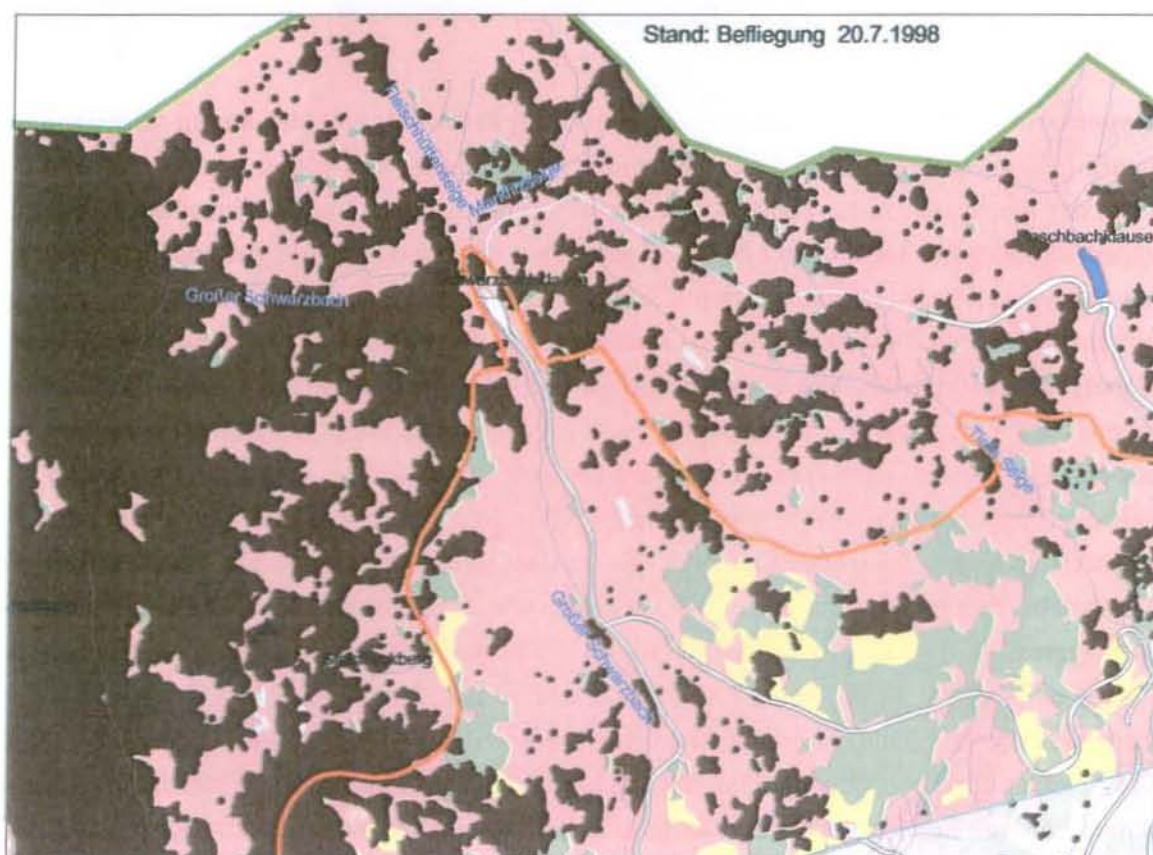
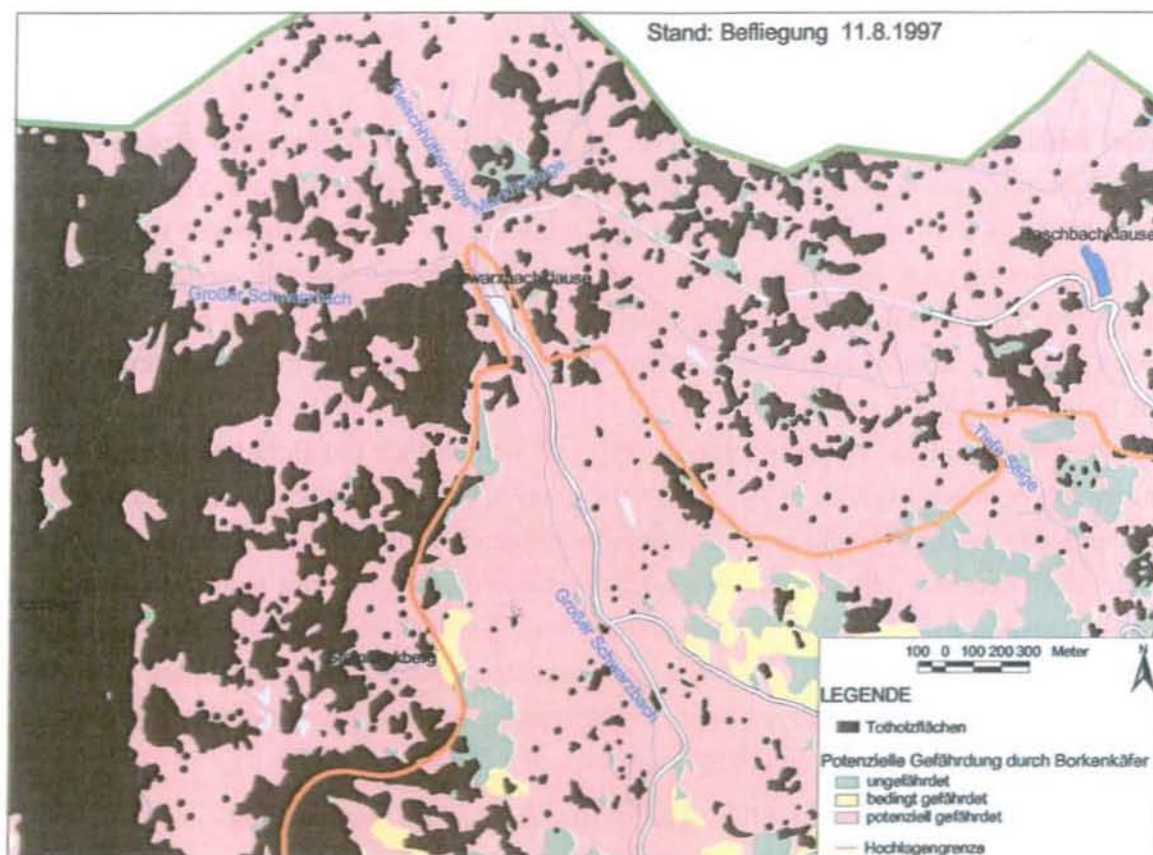
Abb. 15: 3D-Darstellung der Totholzausbreitung im Rachel-Lusen-Gebiet

## 6.2 Entstehung von „Borkenkäferfronten“

Letaler Befall einer gesunden Fichte erfordert den gleichzeitigen Anflug einer großen Zahl von Borkenkäfern. Einzelindividuen kann der Baum durch starken Harzfluss am erfolgreichen Einbohren hindern. Wenn die Buchdrucker bei Überschreiten der Mindesttemperatur von 16,5°C ihren Überwinterungsort in einem Befallsherd des Vorjahres gleichzeitig verlassen und auschwärmen, dann treten sie dort in einer Individuenzahl auf, die umstehenden Fichten gefährlich werden kann. Da sie aber ungerichtet abfliegen, wird die Käferdichte mit zunehmender Entfernung vom Ursprungsort rasch geringer. Die Dispersionsverluste sind hoch. Sofern eine Bekämpfung unterbleibt und die Witterung günstig ist, setzt sich deshalb der Befall nicht verstreut fort, sondern die bestehenden Käferester weiten sich von ihren *Rändern* her Baum für Baum in die Peripherie aus und entwickeln sich zu zusammenhängenden Totholzflächen. Es entstehen sogenannte „Käferfronten“, also Randzonen höchster Käferaktivität, die mit jeder Schwärmperiode voranschreiten und neue Totholzflächen hinterlassen. Dieses für den Buchdrucker typische Phänomen ist seit einigen Jahren unter den ungestörten Bedingungen im Nationalpark zu beobachten. Nach Art und Geschwindigkeit des Vorrückens in die intakten Waldgebiete können nach den bisherigen Erkenntnissen drei Ausprägungen unterschieden werden:

- a) Spontane, großflächige Erweiterung von Totholzeinheiten,
- b) Sukzessives Vorrücken der Käferfront in kleinen Schritten,
- c) Durchlaufen von Mischwaldzonen über Fichten-Brücken.

Die **spontane, großflächige Erweiterung von Totholzeinheiten** findet nur in ausgedehnten, reinen Fichtenpartien statt. Dieses Verhalten des Buchdruckers war bisher in den zentralen Bereichen der Hochlagen zu beobachten. Nachdem sich der Käfer mit einer Vielzahl von Totholzgruppen und kleinen Totholzflächen das Areal Ende der achtziger und Anfang der neunziger Jahre erschlossen hatte, vermochte er i.w. ab 1995 innerhalb einer Zeitspanne von nur zwei bis drei Jahren zuerst die Bestände zwischen Lusen und Kleinem Spitzberg, dann zwischen Kleinem Spitzberg und Zirkelfilz sowie zwischen Lusen und Moorberg weitgehend zum Absterben zu bringen. Die Gegend um den Steinfleckberg war als nächstes in dieser Form betroffen. Innerhalb eines einzigen Jahres erstreckten sich die jeweils neu entstandenen, zusammenhängenden Totholzflächen oft über eine Breite von mehreren Kilometern, durchbrochen nur von kleinen Bestandesresten. Durch Zusammenfließen der Einzelflächen entstand der größte zusammenhängende Totholzbereich im Nationalparkgebiet. Nördlich von Guglöd und um das Schwarzbachtal ist dieser aggressive Typ der Käferausbreitung ab 1998 zum ersten Mal auch in den Hang- und Tallagen aufgetreten. Vom Verlauf her ähnlich wie in den Hochlagen sind aus vergleichsweise unbedeutenden Befallsflächen innerhalb von zwei Jahren geschlossene Totholzkomplexe von bis zu 100 Hektar Größe entstanden. Die Entwicklung im Schwarzbachtal ist in Abbildung 16 in einer mehrjährigen Sequenz vergrößert dargestellt. Es wird daraus die ungeheure Rasanze der dortigen Totholzausbreitung in den letzten Jahren deutlich.



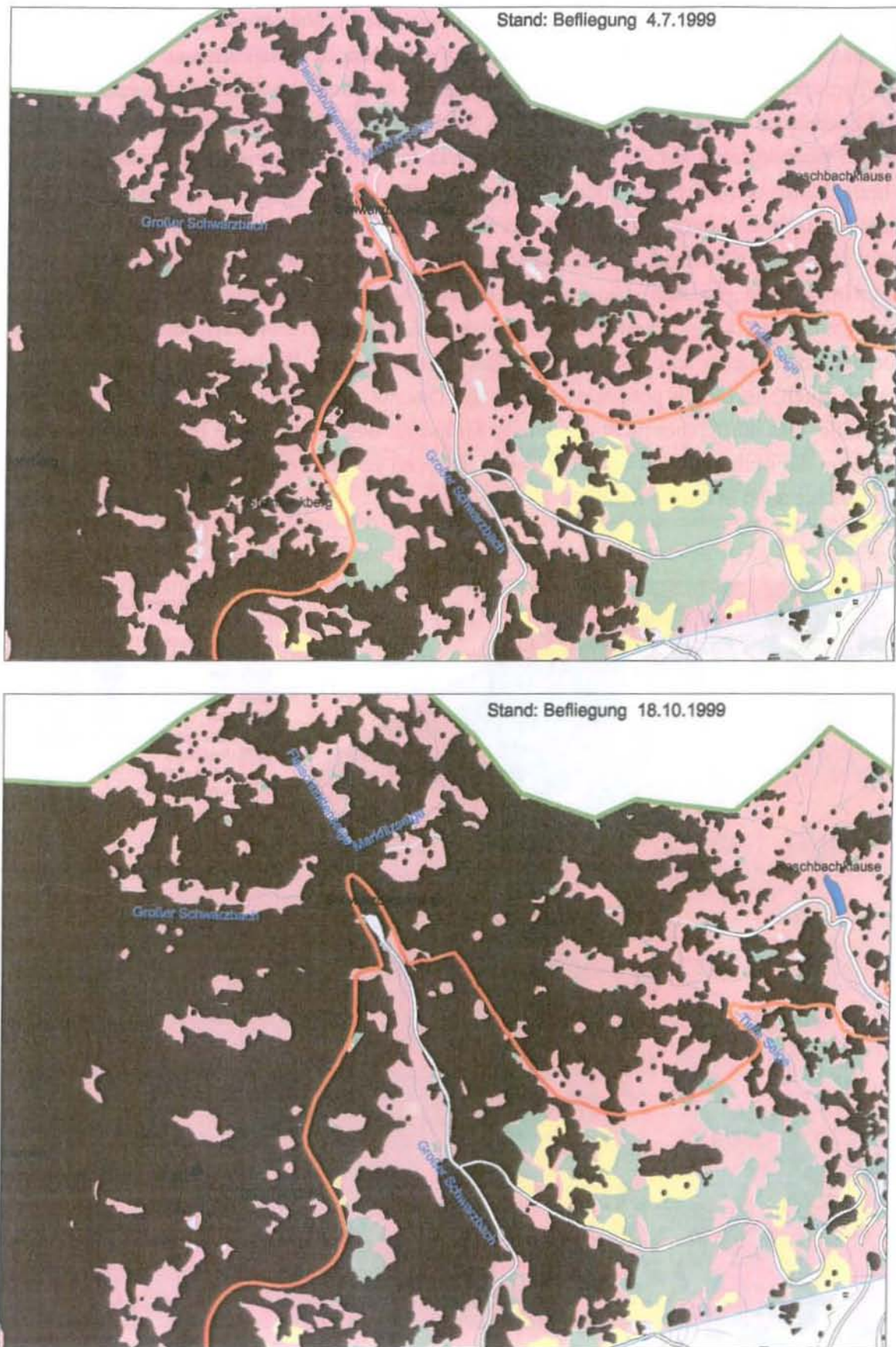


Abb. 16: Entwicklung der Totholzflächen im Schwarzbachtal

Als zweite Erscheinungsform von Borkenkäferfronten ist im Nationalpark, und zwar wiederum in großen Fichtenwaldgebieten, ein **sukzessives Vorrücken in relativ kleinen Schritten** zu finden. Typische Beispiele sind die Hochlagenregion nördlich der Linie Schwarzbachklause - Reschbachklause und die Wälder am Großen Rachel. Lange Zeit beschränkte sich dort die Aktivität des Buchdruckers auf die Schaffung vieler kleiner Totholzgruppen und -inseln. Es dauerte mehrere Jahre, bis überhaupt durch Zusammenfließen dieser Einheiten ein flächenhafter Eindruck des Totholzes entstand. Danach, das ist am Beispiel des Rachel in Abb. 17 zu erkennen, breitete sich eine Käferfront konzentrisch aus, aber nur mit einem Vortrieb von durchschnittlich etwa 100 Metern pro Jahr. Ganz anders als nur wenige Kilometer weiter in den zentralen Hochlagen, wo in den gleichen Jahren Totholzkomplexe riesiger Flächenausdehnung entstanden, hatte der Buchdrucker an diesen Stellen offensichtlich größere Widerstände zu überwinden. Sicherlich spielte in diesen peripheren Lagen die Distanz zum „Epizentrum“ der Käfergradation eine Rolle. Das dürfte aber nicht der einzige Grund für das abweichende Befallsmuster gewesen sein, denn die immerhin geschaffenen Totholzgruppen zeugen von deutlich angestiegener Populationsdichte auch in diesen Räumen.

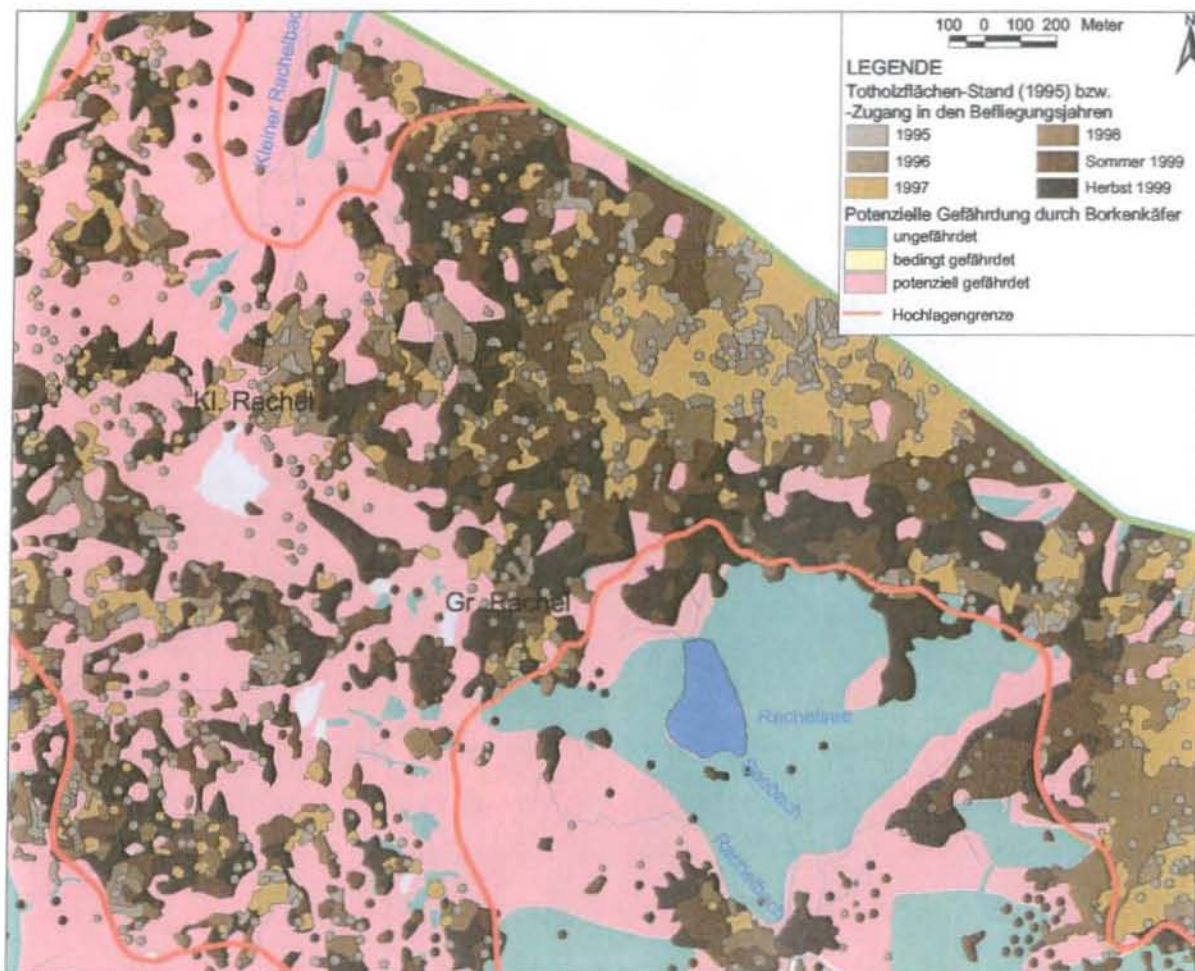


Abb. 17: Entwicklung der Totholzflächen am Rachel

Sehr auffällig ist, dass sich die beschriebene Form der Totholzausbreitung auf Areale beschränkt, die anderen pedogenen Ursprungs sind als die Spitzberg-Lusen-Moorberg-Region: es handelt sich um Böden, die aus Gneis und nicht aus Granit entstanden sind. Die höhere Wasserspeicherkapazität könnte sich positiv ausgewirkt haben (s.o.). Im Falle des Rachel sind noch andere Hintergründe denkbar. Das Gebiet war nicht von der Kalamität 1868/70 betroffen. Statt einer gleichförmigen Wiederaufforstung, wie sie auf den damaligen Befallsflächen erfolgt ist, haben sich am Rachel naturnahe Bestände, z.T. sogar Urwaldrelikte erhalten können. Dies wirkte sich nicht nur bis heute auf die Struktur dieser Wälder aus, es konnte sich auch die autochthone Fichten-Kaltlufttrasse – bestens an die rauen Klimabedingungen angepasst – in diesen Teilen der Hochlagen erhalten. In anderen Bereichen war das nicht immer gewährleistet.

Die Dynamik von Borkenkäferfronten zeigt sich in einer dritten Ausprägung im **Durchlaufen von Mischwaldzonen über Brücken aus Fichten-Beständen**, wie z.B. südwestlich vom Großen Spitzberg und im Gebiet um Luchsstein und Bärenkopf. Offensichtlich vermochte die Käferfront solche Partien, in denen sich unterschiedlich gefährdete Bestände kleinräumig abwechseln, teilweise sogar schneller zu durchschreiten als große Fichtenalthölzer (vgl. Abb. 18). Das hängt wahrscheinlich damit zusammen, dass die riesige Käferpopulation nicht durch konzentriertes Brutraumangebot gebunden wurde, sondern sich bis zum nächsten Fichtenbestand stets ein Stück weit fortbewegen musste. Eingestreute Laubbaumeinheiten wirkten also nicht als natürliche Barrieren für die Käferausbreitung. Die zweifelsohne gegenüber Fichtenreinbeständen erhöhten Dispersionsverluste hat die gewaltige Buchdruckerpopulation durch ständig neuen Zustrom an Käfern, genährt aus den dahinterliegenden Zentren, kompensieren können.

Auf diese Weise sind Achsen der Käferausbreitung aus den Hochlagen durch die Bergmischwälder der Hanglagen z.T. bis in die Tallagen hinein entstanden, wo sich schließlich – durch zusätzliche Aufstockung der ohnehin schon angewachsenen lokalen Buchdrucker-Populationen – neue Befallsherde aufbauen konnten. Dies war z.B. in der Verbindung vom Bärenlochiegel und Plattenhausenriegel zur Region nördlich von Guglöd der Fall. Nach dem Durchmarsch durch die Mischwaldzone breitete sich in den Aufichtenwäldern der Tallagen innerhalb kurzer Zeit die große, oben beschriebene Totholzfläche des Befallstyps (a) aus. Eine weitere Achse ist vom Lusen über die Lusenhänge, Luchsstein und Hohlsteingehäng bis zum Nordabhang des Steinberg zu erkennen. Auch dort hat sich, weit von den Hochlagen entfernt, eine kleinere Käferfront neu etabliert.

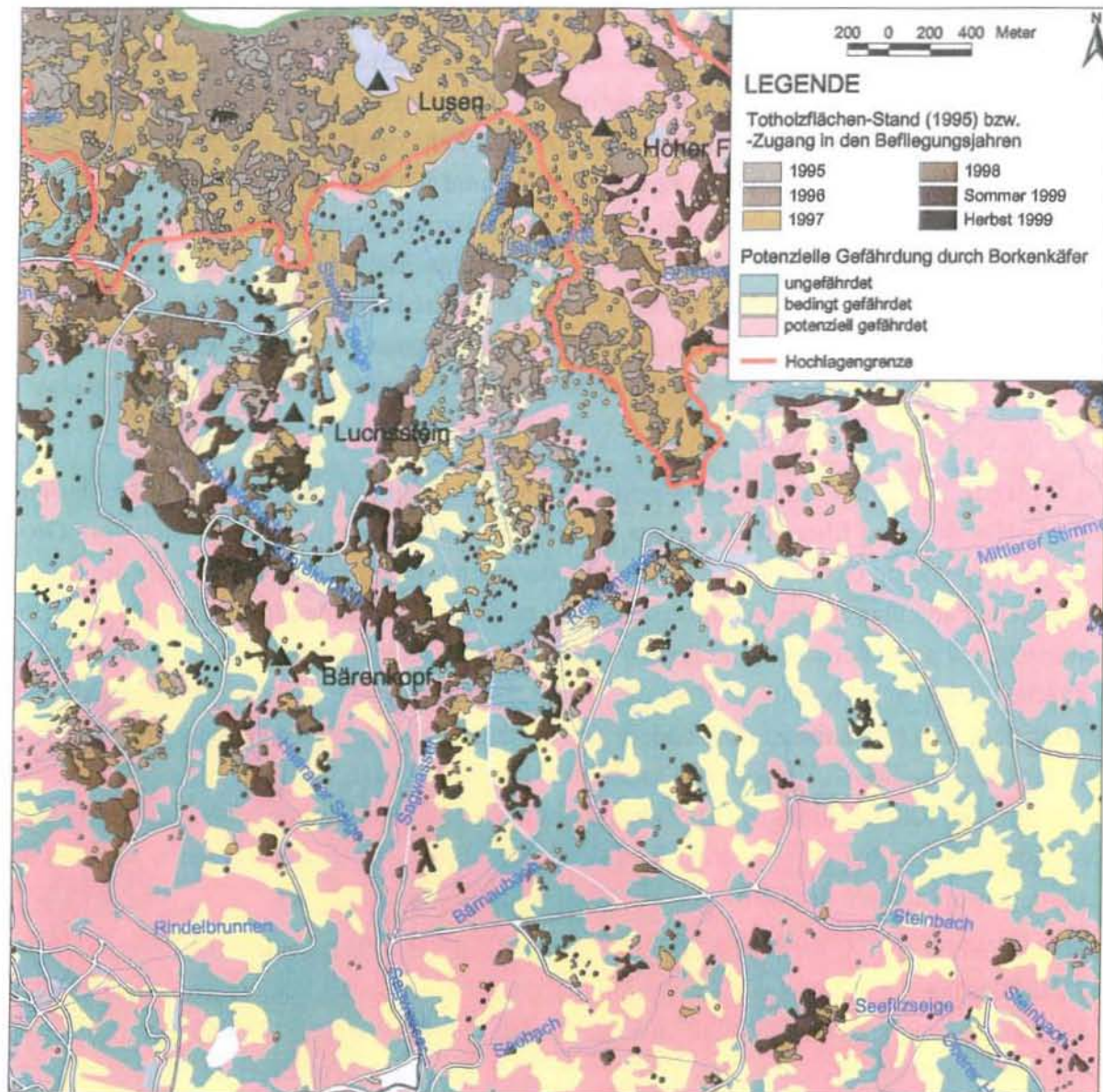


Abb. 18: Entwicklung der Totholzflächen südlich des Lusen

### 6.3 Werdegang kleiner Totholzgruppen

Neben dem flächenhaften Absterben von Fichtenbeständen haben sich während des gesamten bisherigen Verlaufs der Borkenkäfermassenvermehrung alljährlich kleine Totholzgruppen in z.T. sehr hoher Stückzahl gebildet. Als Totholzgruppen wurden in der Auswertung solche Einheiten bezeichnet, die im Einzelfall kleiner als 0,1 ha waren, aber mindestens 5 abgestorbene Bäume umfassten. Der Buchdruckerbefall, der zum punktuellen Absterben geführt hat, kann bei einer Untersuchung vor Ort fast immer mit einem lokalen Schadereignis, z.B. einem vom Schnee gebrochenen Baumwipfel, einem Windwurf o.ä. in Verbindung gebracht werden.

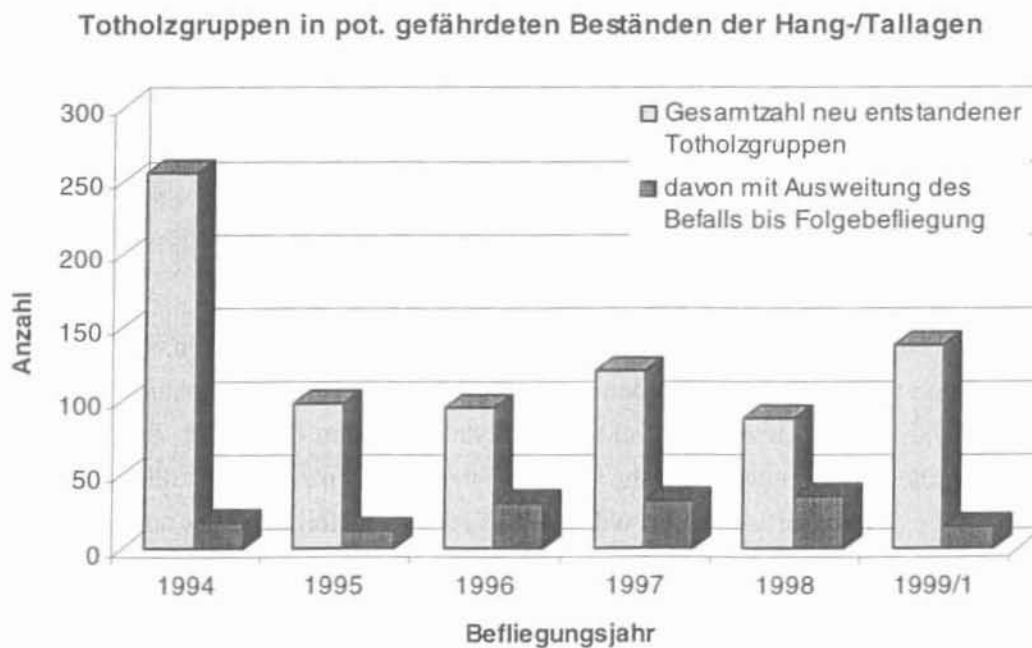
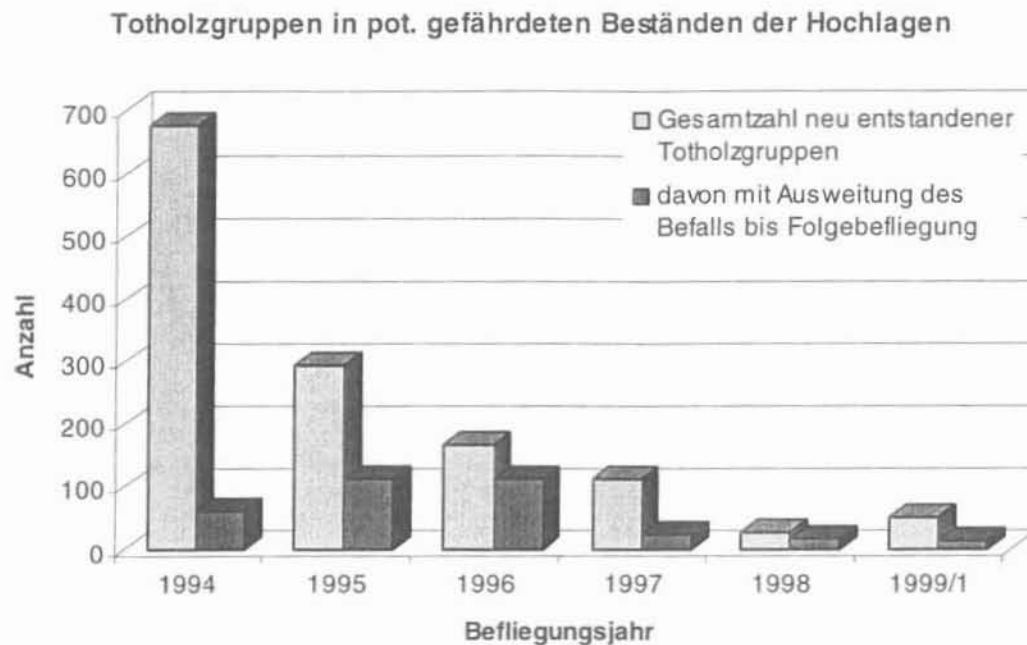


*Abb. 19: Totholzgruppe aus dem Vorjahr in der Bildmitte, umgeben von Fichten, die aktuell flächig abgestorben sind [Foto: RUGGIERO]*

Es stellt sich die Frage, welche Rolle diese Totholzgruppen im Rahmen der Käfergradation spielen, ob hier generell die Ursprünge einer Frontenbildung liegen oder ob eine spätere Ausweitung gar nicht unbedingt folgen muss. Um dies zu beantworten, ist es notwendig, das Augenmerk allein auf die Waldbestände zu richten, die überhaupt potenziell befallsgefährdet sind. Auch in Laubbaumbeständen sind nämlich oft isolierte Fichtengruppen ausgefallen, jedoch ohne die Möglichkeit, sich zu erweitern.

Von den 2.121 Totholzgruppen, die zwischen Sommer 1994 und Sommer 1999 in über dreißigjährigen Fichtenbeständen kartiert worden sind, haben sich 485 Stück, das sind 23%, im Folgejahr der Entstehung vergrößert. Mehr als drei Viertel hingegen blieben in der ursprünglichen Ausdehnung stehen – zumindest ein Jahr lang, und danach kann eine Vergrößerung kaum mehr auf das primäre Ereignis zurückgeführt werden. Ein kleines Käfernest muss also nicht zwingend einen Flächenbefall nach sich ziehen. Trotzdem darf daraus keinesfalls die Schlussfolgerung gezogen werden, lediglich gruppenweiser Befall sei eher harmlos: die meisten der vorläufig zum Stillstand gekommenen Totholzgruppen liegen nämlich heute doch in größere Totholzflächen eingebettet. Dazu kam es, weil sich aus jenem runden Viertel der Totholzgruppen, die sich in ihre Nachbarschaft ausgebreitet haben, eben diese Käferfronten aufbauten, die schließlich auch noch älteres Totholz umschlossen. Der Buchdrucker, so lässt sich dieser Sachverhalt interpretieren, befällt geschwächte Bäume sofort, findet aber nicht überall geeignete Bedingungen, um sich

explosionsartig weiter zu vermehren. Dort wo ihm das aber gelingt, wächst die Population bei entsprechender Witterung rasch so weit an, dass sie schließlich allein durch ihre hohe Dichte fast alle Widerstände überwinden kann.



**Abb. 20:** Entstehung neuer Totholzgruppen 1994-99 differenziert nach Höhenzonen (Anmerkung: die Waldfläche der Hang-/Tallagen beträgt rund 10.500 ha, die der Hochlagen 2300 ha)

Ein Aspekt ist dabei von großer Bedeutung für den Fortgang der Massenvermehrung: über diese schrotschussartig verteilten, kleinen Käfermester erschließt sich der Buchdrucker schnell große Gebiete. Er ist damit viel rascher in erhöhter Dichte auf der Fläche präsent, als bei ausschließlicher Verbreitung über Käferfronten. Deshalb kann jeder zusätzliche Sturmwurf oder Schneebruch während laufender Gradation die Lage abrupt verschärfen. Wie sich in diesem Zusammenhang die Schneebruchereignisse vom Februar/März und Dezember 1999 auswirken, wird man erst im Jahr 2000 voll beurteilen können.

Die Entwicklung der Anzahl der in den letzten Jahren jeweils neu hinzugekommenen Totholzgruppen ist in Abbildung 20 dargestellt. Demnach wurde in den Luftbildern von 1994 im gesamten Rachel-Lusen-Gebiet eine überdurchschnittlich große Anzahl solcher Gruppen gefunden. Ob das von Sturmwürfen herrührt, die z.B. am 24. Januar 1993 und am 28. Januar 1994 registriert wurden, darüber lässt sich heute nur spekulieren. In den Hochlagen verloren gruppenweise Absterbevorgänge danach immer mehr an Bedeutung, das Geschehen wurde dort zunehmend von flächigem Befall an Käferfronten dominiert. In den Hang- und Tallagen sank von 1994 auf 1995 die Zahl der neuen Totholzgruppen zwar auch deutlich ab, seither ist hier aber wieder ein leicht steigender Trend zu verzeichnen.

#### **6.4 Entwicklung der „grünen Inseln“ in ausgedehnten Totholzflächen**

Inmitten großer Totholzflächen hatten im gesamten Hochlagegebiet stets einzelne Fichten oder kleinere Baumgruppen dem Angriff der Borkenkäfer über Jahre widerstehen können und sind am Leben geblieben. Wie ihnen das gelungen ist und was sie von ihren abgetöteten Nachbarn unterschied, lässt sich nicht mit Gewissheit feststellen. Es mögen standörtliche Vorteile, z.B. eine bessere Wasserversorgung gewesen sein, könnte aber auch genetische Ursachen haben. Die Aufnahme dieser grünen Inseln im Jahre 1998 erbrachte, dass sie sich gleichmäßig über das Gebiet verteilen.

Eine Wiederholungsaufnahme auf der Grundlage der Luftbilder vom Oktober 1999 hat ergeben, dass auch diese Individuen dezimiert wurden. Von den lebenden Baumgruppen sind einige abgestorben, die Zahl der grünen Einzelbäume hat sich gegenüber 1998 etwa halbiert. Ein lockeres Gerüst grüner Inseln ist zwar verblieben, doch wird sich angesichts der letztjährigen Absterberate erst zeigen müssen, ob sie dem Buchdrucker tatsächlich auf Dauer standhalten können.

#### **6.5 Einfluss der Borkenkäferbekämpfung im Randbereich auf das Befallsbild**

Die am Ende der ersten Gradationswelle des Buchdruckers (1984 bis 1991) zunächst wieder rückläufigen Totholzzahlen hatten manche Beobachter bereits zu der optimistischen Einschätzung verleitet, wenn man die Natur nur walten ließe, käme eine Massenvermehrung sogar

schneller zum Zusammenbruch, als im Falle einer Bekämpfung, wie sie außerhalb des Nationalparks Bayerischer Wald durchgeführt worden ist. Zum einen konnte man damals natürlich noch nicht wissen, dass wegen einer ungewöhnlichen Witterungsabfolge die Hauptwelle der Buchdruckervermehrung in den sich selbst überlassenen Wäldern erst noch bevorstand. Zum anderen aber wurde der Verdacht, die Bekämpfung fördere eher den Buchdruckerbefall als dass sie ihn aufhielte, klar durch Tatsachen widerlegt.

Wie wirksam die mit Nachdruck betriebene Borkenkäferbekämpfung sein kann, hatte die Auswertung der Hochlageninventur 1996 eindrucksvoll gezeigt. Die Inventur hatte sich über die Bergfichtenwälder des Nationalparks und der benachbarten Forstämter Zwiesel (heute Erweiterungsgebiet des Nationalparks), Bodenmais und Neureichenau erstreckt. Unter vergleichbaren Standorts- und Bestandesverhältnissen verhielt sich z.B. 1995 die (aus dem Käferholzeinschlag hochgerechnete) Befallsfläche des Forstamtes Zwiesel, wo der Buchdrucker bekämpft wurde, zur Totholzfläche im Nationalparkgebiet, die durch ungebremste Massenvermehrung entstanden war, wie 1 : 26 – und das, obwohl die Gradation beide Gebiete synchron erfasst hatte [NÜBLEIN 1997].

Auch im Randbereich des Nationalparks, wo konsequent gegen den Borkenkäfer vorgegangen wird, ist die Wirkung der Maßnahmen unverkennbar. Wichtigster Hinweis dafür ist, dass ein Ausbrechen der Käfer in die vorgelagerten Privatwälder bisher erfolgreich unterbunden werden konnte. Im Randbereich um die Enklave Waldhäuser ist der Käferholzanfall nach zwei Jahren hoher zwangsbedingter Einschlüsse in diesem Jahr sehr stark zurückgegangen. Buchdruckerfronten haben sich im gesamten Randbereich nicht gebildet, anrückende Fronten, wie etwa im Reschbachtal, wurden aufgehalten. Der Abschöpfungseffekt wird auch daraus deutlich, dass die Anzahl der Befallsflächen im Randbereich deutlich geringer ist als im angrenzenden Kerngebiet. Dabei sind die geräumten Flächen kleiner als die Totholzflächen, die in geringem Abstand davon zu finden sind, denn nach der Aufarbeitung der Käferbäume haben sich die Käfernester sehr häufig nicht mehr erweitert, die Entwicklung kam örtlich zum Stillstand.

## **7. Auswirkungen von flächigem Borkenkäferbefall auf Wassermenge und Gewässerbeschaffenheit**

Das flächenhafte Absterben der Fichtenbestände durch den Buchdruckerbefall ist in seiner Störung des Wasser- und Stoffhaushaltes des Waldökosystems vergleichbar mit den Auswirkungen flächenhafter Windwürfe oder großer Kahlschläge. Charakteristische Merkmale sind neben dem vollständigen oder teilweisen Verlust der Struktur des Bestandes der - gegenüber dem früheren kontinuierlichen Prozess des Streufalls - schlagartige Anfall eines großen Teils der Bestandesbiomasse, sowie der Verlust der Fähigkeit des Bestandes Nährstoffe und Wasser aufzunehmen. Die vergleichsweise hohe Verdunstung des Waldes nimmt ab, die Bodenfeuchte, die Grundwasserneubildung und der Abfluss dagegen zu. Durch die fehlende Auskämmung der Bäume verringert sich die feuchte (Nebel) und trockene Deposition, so dass der Stoffeintrag in das Waldökosystem zurückgeht. Der Abbau und die Mineralisation der toten Bestandesbiomasse wird infolge der höheren Bodenfeuchte und -temperatur beschleunigt. Gleichzeitig fällt die Stoffbindung durch die Bestandesbiomasse weg, was die aufkommende Sekundärvegetation teilweise kompensiert. In der Regel kommt es jedoch in den ersten Jahren nach der Störung zu einer vermehrten Nitratreisetzung und -auswaschung. Diese „Überschussnitrifikation“ ist eine erhöhte Säureproduktion, die je nach Basensättigung der Böden durch die vermehrte Freisetzung von basischen Kationen und Aluminium vom Bodenaustauscher abgepuffert wird. Diese Kationen werden dann durch das mobile Anion Nitrat vermehrt ausgewaschen. Diese Effekte bekommen vor dem Hintergrund erst langfristig abklingender Ökosystemversauerung infolge der jahrzehntelangen Schwefeldeposition besondere Bedeutung. Depressionen des pH-Wertes und erhöhte Aluminiumkonzentrationen beeinträchtigen die Biozönosen der Gewässer und wirken bei Überschreitung von Schwellwerten fischgiftig. Zur Untersuchung der Auswirkungen des Absterbens der Fichten auf Wasserquantität und -qualität eignet sich im Nationalpark das hydrologische Referenzeinzugsgebiet „Große Ohe“ besonders gut, da eine im Forschungsverbund von Universitäten, Nationalpark, Forstverwaltung und Wasserwirtschaftsverwaltung erhobene 20-Jährige Beobachtung verschiedener Objekte des Wasserkreislaufs vorliegt.

Das Einzugsgebiet der Großen Ohe (siehe Karte 1) besitzt eine Größe von 19,1 km<sup>2</sup> und erstreckt sich zwischen 770 m ü. NN (Pegel Taferlruck) und 1453 m ü. NN (Rachelgipfel). Im Einzugsgebiet werden zudem zwei Teileinzugsgebiete (Markungsgraben, Forellenbach) untersucht, wovon der 110 ha große ‚Markungsgraben‘ ein Einzugsgebiet der Hang- und Hochlagen (890 – 1355 m ü. NN) darstellt, während der 69 ha große ‚Forellenbach‘ hauptsächlich den schwach geneigten Talbereich der Großen Ohe unterhalb 900 m ü. NN repräsentiert. Das Klima zeichnet sich durch hohe Niederschläge (1630 mm/Jahr) mit hohem Schneeanteil (30-40%) und eine niedrige Lufttemperatur (mittlere Jahrestemperatur 5,6° C) aus. Das Gebiet ist nahezu vollständig bewaldet, wobei auf 28% der Gesamtfläche Laubbäume (hauptsächlich Buche) und auf 70% Nadelbäume (hauptsächlich Fichte) stocken. Im Gebiet haben sich auf periglazialen Fließberden

aus Gneis- und Granitmaterial Böden der Silikatserie entwickelt, wobei überwiegend basenarme Braunerden anzutreffen sind.

Die Entwicklung der Totholzflächen nach Borkenkäferbefall im Gesamtgebiet des alten Nationalparks verlief weitgehend deckungsgleich mit der Entwicklung im Gebiet der Große Ohe. Von 1992 bis 1999 stieg der Anteil von 1% auf 30% an. Auch das Teileinzugsgebiet Forellenbach zeigte einen vergleichbaren Verlauf (1992: 1%, 1999: 27%). Das Einzugsgebiet Markungsgraben spiegelt mit dem Anstieg von 5% Totholzfläche im Jahr 1992 auf 81% im Jahr 1999 dagegen die dramatische Absterbeentwicklung in den Hochlagen wider.

Im stark betroffenen Einzugsgebiet Markungsgraben ist ein erstes Indiz für eine Abflusserhöhung durch Verminderung der Gebietsverdunstung nach Absterben des Baumbestandes gegeben. Der Abflussbeiwert (Verhältnis Jahresabfluss/jährlicher Niederschlag) nahm von 0,64 (Mittel 1989-96) auf 0,81 (Mittel 1997-98) zu (Abb. 21). Der Vergleich der Abflüsse mit zwei weitgehend unbeeinflussten Pegeln bestätigte dieses Ergebnis.

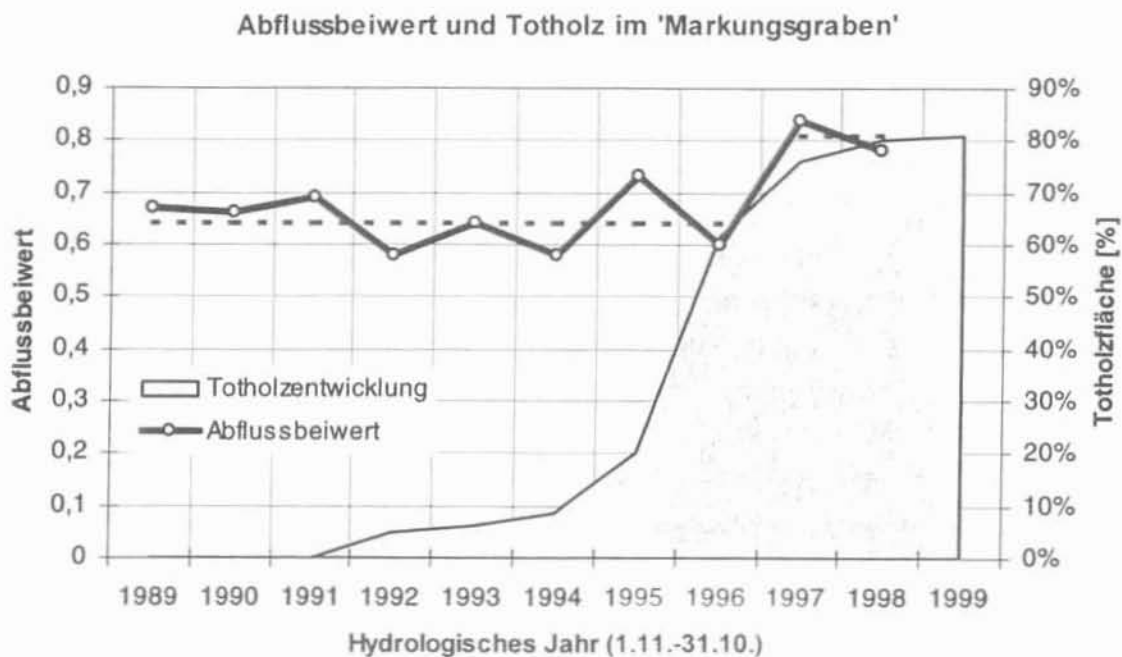


Abb. 21: Jährlicher Abflussbeiwert im Vergleich zur Entwicklung der Totholzflächen im Teileinzugsgebiet Markungsgraben

Auch die Beschaffenheit der Gewässer wird von den Absterbevorgängen beeinflusst. Für die Gewässerqualität im Einzugsgebiet der Großen Ohe liegen Informationen zum Bodensickerwasser, Quell- und Grundwasser sowie zu Fließgewässern vor. Das **Bodensickerwasser** wird unter Fichte in drei Tiefen im oberen Hangbereich des Teileinzugsgebiets Markungsgraben untersucht. An diesem Standort versickert es nur zeitweise vollständig in Richtung Grundwasser. Bei hoher

Bodenfeuchte tritt verstärkt hangparalleler Abfluss in den Bach auf. Bereits 1989 starben Einzelbäume im Bereich des Messfeldes im Einzugsgebiet Markungsgraben ab, so dass Nitratkonzentrationen in 50 und 100 cm Tiefe bis 60 mg/l, in 1,5 m bis 40 mg/l, gemessen wurden (Abb. 22). Die Nitratkonzentration war etwa 4 Jahre lang erhöht. Danach führte die Entwicklung der stickstoffverbrauchenden Bodenvegetation und die nachlassende Überschusssnitrifikation zu einer Konzentrationsabnahme auf weniger als 10 mg/l in 50 und 150 cm Tiefe. Während der Jahre 1996 und 1997 starb unmittelbar hangaufwärts vom Messfeld der Waldbestand flächenhaft ab. In der Folge stiegen durch den Zufluss von nitratbelastetem Hangzugwasser in 150 cm Tiefe die Nitratkonzentrationen erneut auf ca. 50 mg/l an, während das überwiegend vertikal versickernde Wasser der oberen Beprobungstiefen nur schwach reagierte (Abb. 22). Bei beiden Ereignissen kam es in der untersten Tiefe zu einer Verdünnung des Nitratschubs durch Mischung mit nitratarmem Wasser, im ersten Fall mit dem Hangzugwasser, im zweiten Fall mit dem vertikalen Sickerwasser.

Die beobachteten Zusammenhänge mit Einfluss von Hangzugwasser und kleinräumig unterschiedlicher Waldentwicklung sind durchaus typisch für die Hanglagen im Einzugsgebiet der Großen Ohe. In den Hochlagen ist grundsätzlich mit ähnlichen Effekten zu rechnen, ihre Dynamik und Intensität dürfte aber auf Grund anderer Standortverhältnisse (niedrigere Temperaturen, höhere Niederschläge, längere Schneebedeckung) von der in den Hanglagen beschriebenen abweichen. Generell kann davon ausgegangen werden, dass sich die Beschaffenheit des Sickerwassers während der Passage der ungesättigten Zone und im Grundwasseraquifer selbst noch verändert.

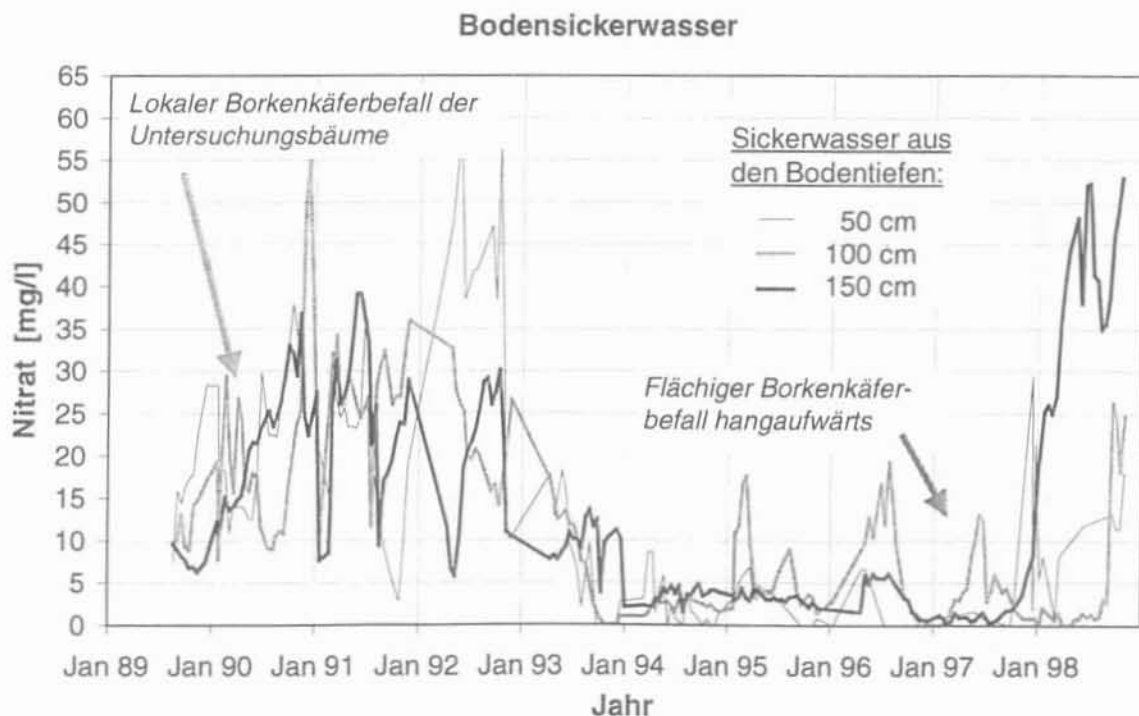


Abb. 22: Nitratkonzentrationen des Bodensickerwassers aus drei Tiefen der Untersuchungsfläche Fichte I, Markungsgraben, Höhe 970 m ü. NN

Während sich im Sickerwasser punktuelle Veränderungen des Waldzustands manifestieren, die nicht ohne weiteres auf größere Flächen zu übertragen sind, ermöglicht die Beobachtung von Quell-, Grund- oder Bachwasser Aussagen zu flächenhaften Veränderungen im jeweiligen Zustromgebiet. Am Markungsgraben kann der ungünstigste Fall mit Totalverlust der Fichtenbestände im Einzugsgebiet beobachtet werden. Entsprechend stiegen die Nitratkonzentrationen im **Bachwasser** des Markungsgraben an (Abb. 23). Anfang September 1998 wurde ein Maximalwert von 23 mg/l Nitrat gemessen. Ähnlich hohe Konzentrationen wurden in einer **Quelle** mit hohem Anteil an Hangzugwasser aus Blocklagen im Hangbereich (1010 m ü. NN) und vollständigem Ausfall der Fichtenbestände im Zustromgebiet gefunden. Trotz der weitreichenden Absterbevorgänge in den jeweiligen Zustrombereichen stiegen die Nitratkonzentration im Vergleich zum Bodensickerwasser nur moderat an. Dies hängt möglicherweise mit der schnellen Entwicklung der im Unterstand stockenden Buchen zusammen, die sich durch das stark zunehmende Lichtangebot nach Absterben der Fichten frei entfalten und entsprechende Mengen an Nitrat binden konnten. Die Konzentrationen von Aluminium lagen bis 1996 zumeist unter 1 mg/l. Der Anstieg der Nitratkonzentrationen ist mit einer Zunahme von Aluminium im Quellwasser verbunden, wobei die Maximalwerte 2 mg/l nicht überschritten. Das in 5-10 m Tiefe anstehende **Grundwasser** im Einzugsgebiet Markungsgraben zeigte bisher keine eindeutige Reaktion der Beschaffenheit. Auch an der Grundwassermessstelle im Untersuchungsgebiet Forellenbach liegen die Nitratkonzentrationen bis heute deutlich unter 10 mg/l. Für den Markungsgraben ist anzunehmen, dass durch den hangparallelen Abfluss auf dem dichten Grundschnitt erhebliche Anteile der oberflächennahen Stoffbelastungen unmittelbar in die Fließgewässer ausgewaschen werden. Im *Gesamtgebiet* der Großen Ohe waren bis Januar 1999 17% der Waldbestände abgestorben. Dort zeigte das Bachwasser bisher keine erhöhte Nitratkonzentration.

Insgesamt sind trotz der zeitweilig hohen Nitratkonzentrationen im Bodensickerwasser die Konzentrationen von Grund- und Bachwässern mit durchschnittlich 4-12 mg/l als moderat anzusehen. Quellen mit hohem Anteil an oberflächennahem Wasser und Totholzflächenanteil wie die oben beschriebene Quelle erreichen 20-25 mg/l. Sie stellen den hydrogeologisch ungünstigsten Fall dar. Der Trinkwassergrenzwert für Nitrat liegt bei 50 mg/l. Die beschriebenen Effekte von Überschusnnitrifikation und Versauerung, verbunden mit einer Aluminiumfreisetzung in die Gewässer, sind nach derzeitigem Wissensstand auf etwa 3 bis 5 Jahre befristet. Ihre Intensität hängt unter anderem von der betroffenen Fläche im jeweiligen Zustromgebiet ab. Hier deutet sich ein Schwellenwert von ca. 20 bis 30% Totholzfläche an, unterhalb dessen noch keine Beeinflussung der Gewässer zu beobachten ist.

Die Situation muss insgesamt vor dem Hintergrund der weiträumigen Immissionsbelastungen durch Luftschadstoffe (Saurer Regen) in den letzten Jahrzehnten als generelle Ursache für die Versauerung und Stickstoffsättigung der Waldgebiete des gesamten Bayerischen Waldes und den damit verbundenen Gewässerbelastungen gesehen werden. Angesichts von insgesamt 73 % abgestorbener bzw. potenziell gefährdeter/bedingt gefährdeter Fläche in den Hanglagen des Rachel-Lusen-Gebiets stellt sich die Frage nach der weiteren Entwicklung der Wasserqualität. Hierzu ermöglichen Modelle zum Wasser- und Stoffhaushalt Prognosen der künftigen Stickstoff-

freisetzung und der damit verbundenen Entwicklung der Gewässerbeschaffenheit. Arbeiten zu diesem Thema werden im Rahmen eines Forschungsprojektes an der Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft in Kooperation mit dem Landesamt für Wasserwirtschaft und der Nationalparkverwaltung bearbeitet [ZIMMERMANN et al. 1999].



Abb. 23: Nitratkonzentrationen im Bach-, Quell- und Grundwasser des Teileinzugsgebiets Markungsgraben (bis Juli 1999) sowie im Bachwasser der Großen Ohe (bis Januar 1999)

## 8. Einordnung der Ergebnisse

Die aktuelle, ungestörte Massenvermehrung des Buchdruckers im Nationalpark Bayerischer Wald (Rachel-Lusen-Gebiet) ist ein Phänomen, das in seiner Intensität in Europa einmalig ist. Dabei ist es keineswegs so, dass es Vergleichbares nicht schon gegeben hätte: Es sind historische Borkenkäferkalamitäten aus dem Harz oder aus dem Thüringer Wald bekannt, die größere Ausmaße hatten, aber mit allen Mitteln, die zur Verfügung standen, bekämpft wurden. Der Innere Bayerische Wald selbst wurde in der Vergangenheit immer wieder von Buchdruckergradationen heimgesucht. Im borealen Nadelwaldgürtel Nordamerikas und Asiens sind auch in unserer Zeit solche Ereignisse nicht außergewöhnlich.

Im dicht besiedelten Mitteleuropa mag es manchem schwer fallen, eine solche spontane Veränderung des gewohnten Bildes eines Waldökosystems zu akzeptieren und tatenlos zuzusehen, wie – auf begrenztem Raum – dem äußeren Erscheinungsbild nach vitale und mächtige Bäume Opfer einer ungeheuren Anzahl kleiner, unter der Rinde lebender Insekten werden. Trotzdem gehören solche Abläufe zum Repertoire der Natur. Der Schutz von natürlichen Prozessen jeglicher Art ist vorrangiger Zweck eines Nationalparks – und so auch des Nationalparks Bayerischer Wald, des ältesten derartigen Schutzgebietes in ganz Deutschland, wo schon seit fast drei Jahrzehnten die Waldentwicklung ungestört ablaufen kann.

Schließlich tötet der Buchdrucker zwar ältere Fichten ab, bei geeigneter Witterung auch in großer Anzahl, doch er zerstört damit nicht den Wald. Er induziert und forciert vielmehr Walderneuerungsprozesse, die sich bereits an vielen Stellen beobachten lassen. Inventuren der vergangenen Jahre bestätigen diese Entwicklung. Sie zeigen auch auf, dass die Natur dabei ganz unterschiedliche Wege beschreitet. Die Bergmischwälder der Hanglagen sind von der eindrucksvollen Verjüngungsdynamik stammzahlreicher Buchen, Fichten, Tannen, Bergahorne und anderer Baumarten geprägt. In den Hochlagen, der Zone natürlicher Bergfichtenwälder, wendet die Fichte eine besondere Verjüngungsstrategie an: sie keimt und gedeiht dort vor allem auf Totholz oder erhöhten Kleinstandorten und entkommt auf diese Weise der Graskonkurrenz und dem Schnee; dadurch ergeben sich zwangsläufig lockerere Waldstrukturen als in tiefergelegenen Gebieten. Ergänzt wird die Fichte hier von der Vogelbeere, die auch mit dem Graswuchs gut zurecht kommt [NÜBLEIN u. FAIBT 1998, BLASCHKE 1999].

Es findet damit, beschleunigt durch das Wirken des Borkenkäfers, in den betroffenen Gebieten ein nahtloser Übergang zur nächsten Waldgeneration statt, auch wenn sich der vollständige Verjüngungsgang in manchen Partien über einen längeren Zeitraum erstrecken, punktuell auch Zwischenstadien umfassen wird (z.B. Vogelbeeren-Vorwald). Die Struktur dieser zukünftigen Wälder wird sich von der bisherigen, die noch von Nutzungen geprägt war, unterscheiden. Ebenso wird es wohl Verschiebungen in der Baumartenzusammensetzung geben. Unter dem Einfluss früherer forstlicher Bewirtschaftung hatte in den letzten eineinhalb Jahrhunderten die Fichte Are-

al gewonnen [PLOCHMANN 1961], das sie nun voraussichtlich zum Teil wieder abgibt, z.B. an die Buche.

Für das Waldökosystem bedeutet das Absterben alter Fichten auf großer Fläche deshalb keineswegs eine Katastrophe. Trotzdem stellt sich natürlich die Frage, ob und wie weit sich die Absterbevorgänge in Zukunft im Nationalpark fortsetzen werden. Sicher vorhersagen lässt sich das nicht. Dreh- und Angelpunkt ist der Verlauf der Witterung und das Auftreten weiterer Störereignisse wie Sturmwurf oder Schneebruch, die neuen Lebensraum für den Buchdrucker schaffen. Folgen schneereiche Winter, die für eine gute Wasserversorgung der Fichten sorgen, und sind die kommenden Frühjahre kalt, dann kann die Buchdruckerpopulation in wenigen Jahren zusammenbrechen. Im umgekehrten Fall wäre die Population durchaus noch vital genug, sich weiter auszubreiten. Die Entwicklung verlagert sich gegenwärtig, das zeigen die aktuellen Luftbildauswertungen, zunehmend in die Hang- und Tallagen. Dort haben sich bereits einige Borkenkäferfronten etabliert. Weitere potenziell befallsgefährdete Bestände sind vorhanden, auch wenn sie in diesen Höhenzonen immer wieder von Laubwäldern unterbrochen werden. Schneebruchereignisse haben die Gefährdung örtlich erhöht. Um so größere Bedeutung kommt der vorsorgenden Bekämpfung des Borkenkäfers im Randbereich des Nationalparks zu, die sich bisher als sehr erfolgreich erwiesen hat. Die damit verbundenen Störungen auf diesem Viertel der Parkfläche müssen in Kauf genommen werden, um die vorgelagerten Wälder zu schützen und die Waldbesitzer vor wirtschaftlichen Schäden zu bewahren. Dies stellt letztendlich die Voraussetzung dafür dar, die Massenvermehrung in der Naturzone ungebremst laufen zu lassen.

Wichtig ist, dass das spektakuläre Naturereignis intensiv für die Zwecke der Bildung und Forschung genutzt wird. Viele Vorhaben sind dazu bereits angelaufen. Die forstliche Praxis kann daraus Lehren ziehen, die grundlagenorientierte Forschung ihr Wissen vertiefen und die Öffentlichkeit ökosystemare Zusammenhänge begreifen lernen.

## 9. Zusammenfassung

Sturmwürfe hatten 1983/84 im Inneren Bayerischen Wald und im angrenzenden Böhmerwald eine Massenvermehrung des Buchdruckers (*Ips typographus*) ausgelöst. Nach vorübergehendem Abklingen gegen Ende der achtziger Jahre ist in diesem Jahrzehnt eine zweite Befallswelle ausgebrochen, die, verstärkt durch warm/trockene Witterung, nach und nach immer größere Ausmaße annahm und bis heute anhält. In der Naturzone des Nationalparks Bayerischer Wald (Rachel-Lusen-Gebiet) wird der Fichtenborkenkäfer *nicht* bekämpft, denn dort sollen natürliche Prozesse ungehindert ablaufen können. Das in der Folge zu beobachtende Absterben von Fichtenbeständen wurde im gesamten bisherigen Verlauf der Gradation durch jährliche Befliegungen dokumentiert.

Im Jahre 1999 stand die Schwärmaktivität der Buchdrucker der des Vorjahres nicht nach. Die Vitalität der Population scheint ungebrochen. Der Schneebruch im Februar/März 1999 sowie ein vorausgegangener Windwurf schufen neuen Brutraum und begünstigten weiteren Befall. Im Dezember 1999 gab es wieder einen Schneebruch, der im Untersuchungszeitraum aber noch nicht vom Buchdrucker als Brutmaterial genutzt werden konnte. Zwei Befliegungen gaben 1999 Aufschluss über den Fortgang und aktuellen Stand der Totholzausbreitung: ein Sommerflug offenbarte i.w. den Totholzzugang des Jahres 1998, ein Herbstflug den des Jahres 1999.

Die Totholzflächen im Rachel-Lusen-Gebiet des Nationalparks haben zwischen den Sommerbefliegungen 1998 und 1999 um 550 Hektar, bis zur Herbstbefliegung 1999 um weitere 409 Hektar zugenommen. Damit sind die Flächen neu abgestorbener Fichtenbestände nach 1997 zwar stetig zurückgegangen, doch ist das Niveau des Totholzzugangs immer noch sehr hoch. Ein baldiger Zusammenbruch der Käferpopulation zeichnet sich derzeit nicht ab. In der Summe haben sich die Totholzflächen auf 3.107 Hektar ausgeweitet. Auf knapp einem Viertel des Rachel-Lusen-Gebietes sind damit die Altbestände abgestorben.

Allein von den Bergfichtenwäldern der Hochlagen sind drei Viertel der Altbestände tot. Hier hat sich in den vergangenen 3 Jahren der absolute Totholzzugang nicht vermindert. Befallsschwerpunkte waren der Rachel und das Gebiet nördlich der Schwarzbachklause. In den Hang- und Tallagen war der Totholzzugang in absoluten Zahlen rückläufig, doch verteilten sich in der Bergmischwaldzone die ausgefallenen Fichtenpartien auf ein sehr großes Areal. So hat sich die Ausbreitung der Absterbevorgänge in tiefergelegene Regionen tatsächlich ungebrems fortgesetzt. Erstmalig sind auch in diesen Höhenzonen große, zusammenhängende Totholzflächen von bis zu 100 Hektar Größe entstanden, beispielsweise im Schwarzbachtal und nördlich von Guglöd. Daneben gab es verstreuten Anfall von kleineren Totholzflächen fast im gesamten Parkgebiet.

Der Einschlag von Käferholz im 500 bis 1000 m tiefen Randbereich zum Schutz der dem Nationalpark vorgelagerten Wälder hat sich 1999 nach seinem Vorjahres-Höchststand reduziert. Dafür war zusätzlich zwangsbedingter Holzanfall aus Schneebruch aufzuarbeiten. Die Gesamtfläche

geräumter Käfernester belief sich zuletzt auf rund 147 Hektar. Die bisher guten Erfolge der Käferbekämpfung äußerten sich z.B. in einem spürbaren Rückgang der Einschläge um Waldhäuser, einem vormaligen Brennpunkt der Schutzmaßnahmen.

Eine Einschätzung, welche Waldbestände im Nationalpark allein aufgrund ihrer Struktur überhaupt vom Buchdrucker, der auf ältere Fichten spezialisiert ist, befallen werden können, ergab: rund 31% der Waldfläche der Naturzone gelten als potenziell gefährdet. Allerdings gibt es vor allem in den Hanglagen keine derart großräumigen gefährdeten Komplexe wie ursprünglich in den Hochlagen; das bedeutet: auch bei Fortgang der Massenvermehrung wird dort in jedem Fall ein Gerüst aus lebenden Altbeständen erhalten bleiben.

Die rückblickende Analyse der Dynamik der Totholzausbreitung erbrachte, dass sich ursprünglich nachweisbare Einflüsse des Standortes in den letzten Jahren immer mehr verwischt haben. Sie sind einer zunehmenden Eigendynamik der Buchdrucker-Population gewichen. Drei Ausprägungen von Borkenkäferfronten ließen sich in der bisherigen Entwicklung unterscheiden. Neben den Fronten scheinen kleine, schrotschussartig verteilte Käfernester eine wichtige Rolle bei der Besiedelung des Raumes durch den Buchdrucker gespielt zu haben. Grüne Inseln inmitten ausgedehnter Totholzflächen, die aus nicht geklärten Gründen lange Zeit den Borkenkäfern widerstanden haben, sind im vergangenen Jahr erheblich dezimiert worden.

Langjährige hydrologische Beobachtungen im Wassereinzugsgebiet 'Große Ohe' und zwei Teileinzugsgebieten lieferten Hinweise für einen befristet leicht erhöhten Wasserabfluss aus großen Totholzgebieten. Außerdem wurde ein Anstieg des Nitratgehaltes im Bodensickerwasser, eine moderate Zunahme auch im Bach- und Quellwasser festgestellt. Dieser Effekt dauert 3 bis 5 Jahre an. Das Grundwasser zeigte bisher keine eindeutige Reaktion.

Mit dem Absterben von Fichtenbeständen werden Verjüngungsprozesse in Gang gesetzt oder beschleunigt. Dies wird durch Waldinventuren der letzten Jahre bestätigt. Ein nahtloser Übergang zur nächsten Waldgeneration ist damit - wo noch nicht vollzogen - zu erwarten, auch wenn bis zum Abschluss der Wiederbewaldung in einigen Partien der rauen Hochlagenzone längere Zeiträume verstreichen können.

## 10. Summary

In 1983/84, storm damage had triggered mass reproduction of the engraver beetle (*Ips typographus*) in the inner Bavarian Forest and neighbouring Bohemian Forest. After a temporary respite towards the end of the eighties, in the decade of the nineties a second wave of infestation broke out which, reinforced by warm, dry weather conditions, gradually took on ever larger proportions and continues to have effect today. In the central zone of the Bavarian Forest National Park (original area), the spruce bark beetle is not controlled, as natural processes should be allowed to take their course there unhindered. The resulting dying off of spruce stands which can be observed has been documented over the whole course of the gradation up to now through annual fly-overs.

In 1999 the swarming activity of the engraver beetle was no less vigorous than in the year before. The vitality of the population seems not to have been broken. Damage caused by snow breaks in February and March 1999 and wind damage before that also favoured further infestation. Two fly-overs in 1999 gave information about the progression and current status of the spread of dead wood: a summer flight made clear the additional dead wood from 1998, and an autumn flight that of 1999.

The dead wood areas in the original area of the National Park grew in size between the summer flights of 1998 and 1999 by 550 hectares and by the autumn flight of 1999 by a further 409 hectares. The areas of newly deceased spruce stands have therefore in fact decreased constantly since 1997, but the level of new dead wood is still very high. It is not at the moment foreseeable that the beetle population will soon collapse. In total the dead wood areas have spread to cover 3,107 hectares. Almost a quarter of the forest stands in the original area of the National Park have therefore died.

Taking just the mountain spruce forests of the high areas, three quarters are dead. Here the absolute amount of new dead wood has not decreased in the last three years. The areas most severely infested were the Rachel and the area to the north of the Schwarzbachklause. In the sloping and valley areas the amount of new dead wood fell in absolute terms, but the groups of afflicted spruce in the mixed mountain forest zone were distributed over a very large area. In this way the spread of the dying in deeper lying regions has in fact continued unchecked. For the first time in areas of this altitude as well, large, joined areas of dead wood of up to 100 hectares in size have emerged, for example in the Schwarzbach valley and to the north of Guglöd. Apart from this there were scattered smaller areas of dead wood almost throughout the whole park area.

The felling volume of infested wood on the 500-1000 m deep edge of the National Park to protect the surrounding forests was reduced in 1999 after reaching its peak in the previous year. Instead it was necessary in addition to process timber damaged by snow breaks. The entire area of cleared beetle patches amounted in the end to approximately 147 hectares. The success up to

now in dealing with the beetles could be seen for example in a noticeable decline in felling volume around Waldhäuser, a former focal point for protectional measures.

An estimation of which forest stands in the National Park could on grounds of their structure alone be attacked at all by the engraver beetle, which specialises in older spruce, showed that around 31% of the forest land in the central area is potentially at risk. There are however especially in sloping areas no such endangered complexes over large areas, as there were originally in the high areas. This means that even if the mass reproduction continues, a skeleton structure of living old stands will in any case remain.

Retrospective analysis of the dynamics of the spread of dead wood have had the result that originally demonstrable influences of the site itself have been more and more covered over in the last few years. They have succumbed to the increasing momentum of the engraver beetle population. Three clearly defined bark beetle fronts have been able to be discerned in developments up to now. Apart from the fronts, small beetle patches distributed like shotgun pellets seem to have played an important role in colonisation of the area by the engraver beetle. Green islands in the middle of extended areas of dead wood which had inexplicably resisted the bark beetle for a long time were severely decimated last year.

Long-term hydrological observations of the watershed „Grosse Ohe“ and two partial watersheds showed indications of temporarily slightly higher water drainage from large dead wood areas. Moreover, an increase in the nitrate content of the percolation water and a moderate increase in levels in stream and spring water were also established. This effect lasted 3 to 5 years. The ground water has not up to now shown any definite reaction.

With the dying of spruce stands, processes of regeneration are set going or accelerated. This is confirmed in forest inventories of the last few years. A seamless transition to the next forest generation is therefore to be expected where it has not already happened, even if longer periods of time may pass before some parts of the bleak high areas are completely reforested naturally.

## 11. Literaturverzeichnis

- BAYERISCHE LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (1998): Borkenkäferproblematik im Nationalpark Bayerischer Wald – Ergebnis des internationalen Expertengremiums. 47 S.
- BLASCHKE, M. (1999): Waldverjüngung in montanen und subalpinen Fichtenwäldern Mitteleuropas. Ergebnisse einer Literaturstudie unter besonderer Berücksichtigung der Verhältnisse in den Hochlagen des Bayerischen Waldes. Forst und Holz, 54.Jg., Nr.15, S.457-459
- ELLING, W.; BAUER, G.; KLEMM, G. u. KOCH, H. (1987): Nationalpark Bayerischer Wald: Klima und Böden – Waldstandorte. Wiss. Schriftenreihe Bay StMinELF München, 2. Auflage, 255 S.
- GRAD, M.; GREUNE, A. u. MÖBMER, R. (1992): Totholz im Nationalpark Bayerischer Wald. Entwicklung des Anteils abgestorbener Fichten nach den Windwurfereignissen 1983/84. Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern 1992. Unveröff. Bericht Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München. 15 S. + Anh.
- GRAD, M.; GREUNE, A. u. MÖBMER, R. (1993): Totholz im Nationalpark Bayerischer Wald. Entwicklung des Anteils abgestorbener Fichten nach den Windwurfereignissen 1983/84. Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern 1993. Unveröff. Bericht Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München. 14 S.
- LOBINGER, G. (1994): Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten. Anz. Schädlingsskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz 67, S. 14-17
- NÜBLEIN, S. (1996): Hochlageninventur Bayerischer Wald. Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 16 S.
- NÜBLEIN, S.; GREUNE, A.; ADLER, H.; TROYCKE, A.; FAIBT, G.; REIMEIER, S. u. DIETRICH, R. (1997): Totholzflächen und Waldstrukturdaten im Nationalpark Bayerischer Wald 1996/1997. Unveröff. Bericht Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft. 18 S. + Anh.
- NÜBLEIN, S. (1997): Wie wirksam ist die Borkenkäferbekämpfung? Erkenntnisse und Erfahrungen aus dem Bayerischen Wald. Forstinfo 5/97, Bayer. Staatsforstverwaltung
- NÜBLEIN, S. u. FAIBT, G. (1998): Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1998. Totholzflächen und Waldverjüngung. Bayer. Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, 24 S. + Anh.
- RALL, H. (1995): Die Wälder im Nationalpark Bayerischer Wald: Von forstwirtschaftlicher Prägung zur natürlichen Entwicklung. In: Nationalpark Bayerischer Wald - 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald. Nationalparkverwaltung Bayer. Wald, 190 S.
- PLOCHMANN, R. (1961): 150 Jahre Waldbau im Staatswaldgebiet zwischen Osser und Dreisessel. Forstwissenschaftliche Forschungen. Beihefte zum Forstwissenschaftlichen Centralblatt, Heft 13

- SCHOPF, R. u. KÖHLER, U. (1995): Untersuchungen zur Populationsdynamik der Fichtenborkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. In: Nationalpark Bayerischer Wald - 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald. Nationalparkverwaltung Bayer. Wald, 190 S.
- SCHREIBER, A. (1999) zitiert in LOBODA, S. (1999): Jahrestagung Thüringer Forstverein – Borkenkäferkatastrophe vor 50 Jahren im Thüringer Wald. AFZ/Der Wald 21/1999, S. 1142-1147
- SCHWERDTFEGER, F. (1981): Die Waldkrankheiten. Ein Lehrbuch der Forstpathologie und des Forstschutzes. 4. Auflage. Hamburg und Berlin. 486 S.
- STRUNZ, H. (1994a): Totholz im Nationalpark Bayerischer Wald. Entwicklung des Anteils abgestorbener Fichten. Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern 1994. Nationalparkverwaltung Bayer. Wald, 13 S. + Anh.
- STRUNZ, H. (1994b): Sägen und bekämpfen oder einfach zusehen? Wie man mit Borkenkäferbekämpfung den Böhmerwald ruiniert. Nationalpark Nr. 82, S. 17-19
- STRUNZ, H. (1995): Entwicklung von Totholzflächen im Nationalpark Bayerischer Wald – Luftbildauswertungen und Folgerungen. In: Nationalpark Bayerischer Wald - 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald. Nationalparkverwaltung Bayer. Wald, 190 S.
- STRUNZ, H.; REINELT, A.; WAGNER, S. u. WOTSCHIKOWSKY, M. (1995): Totholz im Nationalpark Bayerischer Wald. Entwicklung des Anteils abgestorbener Fichten. Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern 1995. Nationalparkverwaltung Bayer. Wald, 24 S. + Anh.
- STRUNZ, H. u. REINELT, A. (1996): Totholz im Nationalpark Bayerischer Wald. Entwicklung des Anteils abgestorbener Fichten. Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern 1996. Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, 36 S. + Anh.
- TRÄNKNER, H. u. KENNEL, E. (1988): CIR-Luftbildauswertung 1988/89: Borkenkäfer Nationalpark Bayerischer Wald. Unveröff. Bericht Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München, 7 S. + Anh.
- TRÄNKNER, H.; TROYCKE, A. u. MÖßMER, R. (1989): Waldschäden im Luftbild – Borkenkäferschäden im Nationalpark Bayerischer Wald. Unveröff. Bericht Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München, 10 S.
- TRÄNKNER, H.; TROYCKE, A.; ADLER, H.; GRAD, M.; GREUNE, A. u. MÖßMER, R. (1990): Waldschäden im Luftbild: Totholzkartierung im Nationalpark Bayerischer Wald 1981, 1988, 1989 und 1990. Unveröff. Bericht Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München, 30 S. + Anh.
- TRÄNKNER, H.; GRAD, M.; GREUNE, A. u. MÖßMER, R. (1991): Totholz im Nationalpark Bayerischer Wald. Entwicklung des Anteils abgestorbener Fichten nach den Windwurfereignissen 1983/84. Auswertung von Farbinfrarot-Luftbildern 1991. Unveröff. Bericht Bayer. Forstliche Versuchs- und Forschungsanstalt München. 40 S.
- ZIMMERMANN, L.; MORITZ, K.; KENNEL, M. u. BITTERSÖHL, J. (1999): Auswirkungen von flächigem Borkenkäferbefall auf Wassermenge und Gewässerqualität. Wasserhaushalt und Stoffbilanzen im naturnahen Einzugsgebiet Große Ohe 7, S.125-136.

**Bisher sind in der Reihe „Berichte aus der LWF“ folgende Hefte erschienen:**

|        |      |                                                               |                                                                                                                                         |
|--------|------|---------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nr. 1  | 1994 | S. KRÜGER,<br>R. MÖSSMER,<br>A. BÄUMLER                       | Der Wald in Bayern:<br>Ergebnisse der Bundeswaldinventur 1986-1990                                                                      |
| Nr. 2  | 1995 | A. KÖNIG,<br>R. MÖSSMER,<br>A. BÄUMLER                        | Waldbauliche Dokumentation der flächigen Sturmschäden des<br>Frühjahrs 1990 in Bayern und meteorologische Situation zur<br>Schadenszeit |
| Nr. 3  | 1995 | H. REITER,<br>R. HÜSER,<br>S. WAGNER                          | Auswirkungen von Klärschlammapplikation auf vier<br>verschiedene Waldstandorte                                                          |
| Nr. 4  | 1995 | A. SCHUBERT,<br>R. BUTZ-BRAUN,<br>K. SCHÖPKE,<br>K.H. MELLERT | Waldbodendauerbeobachtungsflächen in Bayern                                                                                             |
| Nr. 5  | 1995 | V. ZAHNER                                                     | Der Pflanzen- und Tierartenbestand von<br>Waldweiherlebensräumen und Maßnahmen zu deren Sicherung                                       |
| Nr. 6  | 1996 | A. ZOLLNER                                                    | Düngeversuche in ostbayerischen Wäldern                                                                                                 |
| Nr. 7  | 1996 | S. NÜSSLEIN                                                   | Einschätzung des potentiellen Rohholzaufkommens in Bayern<br>auf der Grundlage der Ergebnisse der Bundeswaldinventur von<br>1987        |
| Nr. 8  | 1996 | F. BURGER,<br>N. REMLER,<br>R. SCHIRMER,<br>H.-U. SINNER      | Schnellwachsende Baumarten, ihr Anbau und ihre Verwertung                                                                               |
| Nr. 9  | 1996 | H.-J. GULDER                                                  | Auwälder in Südbayern: Standörtliche Grundlagen und<br>Bestockungsverhältnisse im Staatswald                                            |
| Nr. 10 | 1996 | O. SCHMIDT,<br>M. KÖLBEL (RED.)                               | Beiträge zur Eibe                                                                                                                       |
| Nr. 11 | 1996 | N. REMLER,<br>M. FISCHER                                      | Kosten und Leistung bei der Bereitstellung von<br>Waldhackschnitzeln                                                                    |
| Nr. 12 | 1996 | O. SCHMIDT et al.                                             | Beiträge zur Hainbuche                                                                                                                  |
| Nr. 13 | 1997 | V. ZAHNER                                                     | Der Biber in Bayern - Eine Studie aus forstlicher Sicht                                                                                 |
| Nr. 14 | 1997 | N. REMLER,<br>A. ZOLLNER,<br>H.-P. DIETRICH                   | Eigenschaften von Holzaschen und Möglichkeiten der<br>Wiederverwertung im Wald                                                          |

- |        |      |                                        |                                                                                                                                                                          |
|--------|------|----------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Nr. 15 | 1997 | J. DAHMER,<br>S. RAAB                  | Pflanzung und Wurzelentwicklung                                                                                                                                          |
| Nr. 16 | 1998 | N. REMLER,<br>H. WEIXLER,<br>S. FELLER | Vollmechanisierte Waldhackschnitzel-Bereitstellung –<br>Ergebnisse einer Studie am Hackschnitzel-Harvester                                                               |
| Nr. 17 | 1998 | O. SCHMIDT et al.                      | Beiträge zur Vogelbeere                                                                                                                                                  |
| Nr. 18 | 1998 | H.J. GULDER et al.                     | Humuszustand und Bodenlebewelt ausgewählter bayerischer<br>Waldböden                                                                                                     |
| Nr. 19 | 1998 | G. LOBINGER                            | Zusammenhänge zwischen Insektenfraß, Witterungsfaktoren<br>und Eichenschäden                                                                                             |
| Nr. 20 | 1999 | S. RAAB                                | Arbeitsverfahren für die Pflege in der Fichte                                                                                                                            |
| Nr. 21 | 1999 | H. WEIXLER et al.                      | Teilmechanisierte Bereitstellung, Lagerung und Logistik von<br>Waldhackschnitzeln                                                                                        |
| Nr. 22 | 1999 | CH. KÖLLING                            | Luftverunreinigungen und ihre Auswirkungen in den Wäldern<br>Bayerns – Ergebnisse der Stoffhaushaltsuntersuchungen an den<br>Bayerischen Walklimastationen 1991 bis 1998 |
| Nr. 23 | 1999 | L. ALBRECHT et al.                     | Beiträge zur Wildbirne                                                                                                                                                   |
| Nr. 24 | 1999 | O. SCHMIDT et al.                      | Beiträge zur Silberweide                                                                                                                                                 |