

Kurzbericht zur Abschlussdokumentation 08/2015

Borkenkäfermonitoring im Randbereich des Nationalparks Bayerischer Wald

Projektleitung und Berichterstattung

Dr. Dr. habil. Gabriela Lobinger, LWF

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft - Abteilung Waldschutz

Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising

Gabriela.lobinger@lwf.bayern.de

Projektbearbeitung

- **Bearbeitung an der LWF, Datenverwaltung, Auswertungen**

Dipl.-Ing. (FH) Sebastian Weist, LWF

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Abteilung Waldschutz

Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1, 85354 Freising

- **Freilanduntersuchungen, Datenaufnahme und Bearbeitung**

Dipl.-Ing. (FH) Tanja Wittensöllner, AELF Regen

Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regen - Bereich Forsten

Kalvarienbergweg 18, 94209 Regen

- **Luftbildbearbeitung**

Dr. Markus Kautz

Dipl. Geogr. Britta Hausknecht (LWF)

Dr. Christoph Straub (LWF)

- **Modellierung und Statistische Auswertungen**

Dr. Hannes Lemme (LWF)

Msc. Human nutrition Ulrike Fischer (LWF)

- **Statistische Beratung**

Dr. Veronika Deffner, LMU, Institut für Statistik, Statistisches Beratungslabor

Hannah Otterbach, LMU, Institut für Statistik, Statistisches Beratungslabor

Kooperationspartner

Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald

Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regen

Lehrstuhl für Waldwachstumskunde (TUM)

Abt. 1 Informationstechnologie (LWF)

Herausgeber

Bayerische Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft

Hans-Carl-von-Carlowitz-Platz 1

85354 Freising

Freising, August 2015

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung und Zielsetzung	5
2 Material und Methoden.....	6
2.1 Erweiterungsgebiet des Nationalparks und Untersuchungsgebiet.....	6
2.2 Terrestrische Aufnahmen.....	7
2.3 Erstellung und Analyse von Luftbildern und Orthofotos.....	8
2.4 Analyse des Befallsgeschehens im Untersuchungsgebiet.....	10
2.5 Risikomodellierung und Faktorenanalyse	11
3 Ergebnisse	11
3.1 Die Buchdruckersituation im Untersuchungsgebiet 2010-2014	11
3.2 Bestandesbedingte Befallsgefährdung im Bereich der Fallenstandorte.....	13
3.3 Charakterisierung der Befallsentwicklung	14
3.4 Analyse der Befallsverteilung im Untersuchungsgebiet	17
3.5 Befallswahrscheinlichkeit in den räumlichen Bezügen	19
3.6 Einflussfaktoren auf die Befallswahrscheinlichkeit - Modellierung	20
4 Fazit und Empfehlungen	21
5 Literatur	24

1 Einleitung und Zielsetzung

Im Jahr 1970 wurde der Nationalpark Bayerischer Wald im „Rachel-Lusen-Gebiet“ eröffnet und gemäß dem Leitgedanken „Natur Natur sein lassen“ die Bewirtschaftung im Nationalpark mit Ausnahme der Randzone zum Schutz der angrenzenden Wirtschaftswälder ausgesetzt. Im Jahr 1997 erfolgte die Erweiterung des Nationalparkgebietes um das „Falkenstein-Rachel-Gebiet“ auf eine Gesamtfläche von 24.240 ha. Bis zum Jahr 2027 sind 75 v. H. des Nationalparkgebiets zu einer Fläche zu entwickeln, auf die der Mensch keinen Einfluss nimmt (Naturzone). Die dafür erforderliche Erweiterung der Naturzone erfolgt kontinuierlich und in angemessenen Schritten (s. Art. 12 a Nationalparkverordnung). In der Naturzone erfolgen im Sinne des Prozessschutzes auch keine Waldschutzmaßnahmen. Dies bedeutet, dass dort vom Buchdrucker befallene Fichten ebenso wie durch Schadereignisse wie Stürme anfallendes bruttaugliches Material in den Beständen belassen werden. Dementsprechend bestehen bei den benachbarten Waldbesitzern Bedenken hinsichtlich einer möglichen Gefährdung durch Borkenkäfer aus diesen Flächen. Durch eine räumliche Strategie der Naturzonenausweisung bis zum Jahr 2027 sollen die Auswirkungen auf die angrenzenden Wälder minimiert werden.

Im Frühjahr 2010 wurde im Auftrag des Staatsministeriums für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten durch die LWF ein Projektvorhaben in Kooperation mit dem Amt für Ernährung, Landwirtschaft und Forsten Regen und der Nationalparkverwaltung Bayer. Wald gestartet. Untersuchungen im Bereich des Erweiterungsgebietes sollen das Wissen über den Einfluss verschiedener biotischer und abiotischer Rahmenbedingungen auf die Befallsentwicklung mehren und so dazu beitragen, die Diskussion vor Ort auf der Basis wissenschaftlicher Erkenntnisse zu versachlichen.

Im Rahmen des Projektes wurde die räumlich-zeitliche Entwicklung der Buchdruckersituation und des Befallsgeschehens im Grenzbereich des Nationalpark-Erweiterungsgebietes über einen Zeitraum von insgesamt 5 Jahren (2010 incl. 2014) untersucht. Ziel war es, wissenschaftlich fundierte Grundlagen zur Beantwortung folgender Fragestellungen zu schaffen:

- Besteht für die an den Nationalpark (NP) angrenzenden Wälder erhöhte Befallsgefahr durch das Aussetzen der Borkenkäferbekämpfung in den Naturzonen?
- Ist ein Befallsdruck durch Buchdrucker aus dem Nationalparkgebiet nachweisbar – ist dieser dauerhaft oder ereignisbezogen, allgemein oder räumlich begrenzt?
- Gibt es einen Zusammenhang zwischen Befallsrisiko und Distanz zur Nationalparkgrenze?
- Durch welche zusätzlichen Maßnahmen kann der Schutz der an den Nationalpark angrenzenden Wirtschaftswälder erhöht werden?

Die Erkenntnisse aus den Untersuchungen ermöglichen es, den Einfluss des Schutzgebietes Nationalpark Bayer. Wald auf die aktuelle Befallsgefährdung der angrenzenden Wälder durch Buchdrucker im Beobachtungszeitraum zu beurteilen. Sie bilden die Basis zielorientierter Handlungsempfehlungen für Nationalparkverwaltung, Forstverwaltung und Waldbesitzer im Randbereich des Nationalparks.

** Wir bedanken uns an dieser Stelle bei den Waldbesitzern im Untersuchungsgebiet für die Bereitstellung der Fallenstandorte und die wertvollen Informationen zur örtlichen Borkenkäfersituation*

2 Material und Methoden

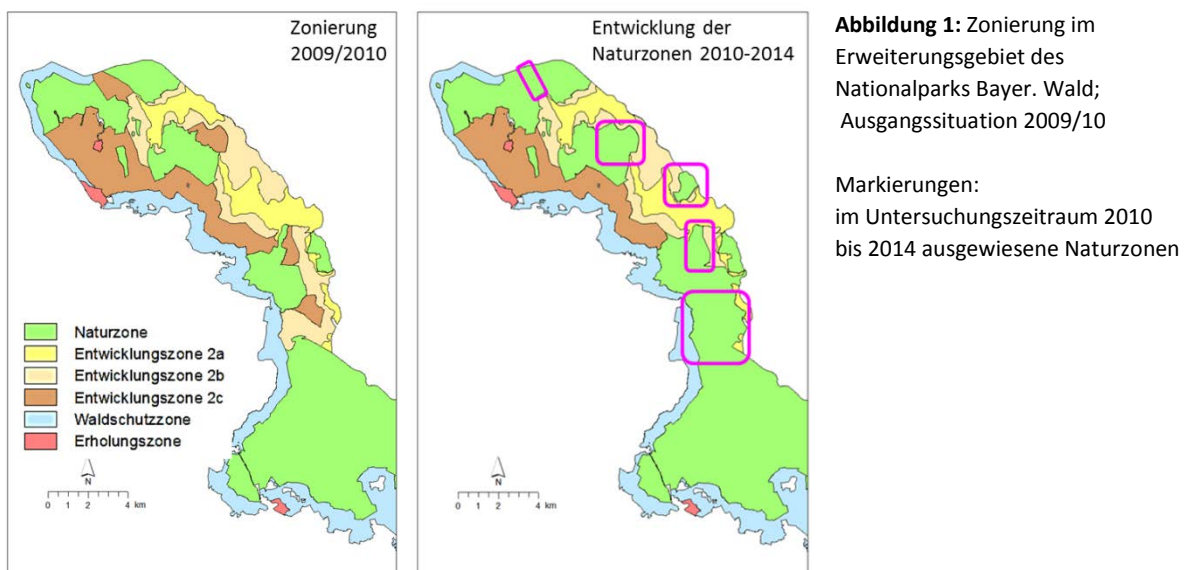
2.1 Erweiterungsgebiet des Nationalparks und Untersuchungsgebiet

Zonierung des Nationalparkgebietes

Das Gebiet des Nationalparks Bayer. Wald umfasst 24.240 ha. Es ist entsprechend einer Übergangsregelung (Richtlinien der IUCN) in vier Zonen mit unterschiedlicher Managementstrategie gegliedert.

- **Naturzone (Zone 1) = managementfreie Zone:** derzeit 58,6 % der Fläche; muss bis 2027 mindestens 75 % der Gesamtfläche umfassen (§ 12 a der Nationalparkverordnung).
- **Entwicklungszone (Zone 2):** derzeit 17,6 % der Fläche; wird innerhalb eines Übergangszeitraumes schrittweise der Zone 1 zugeführt.
- **Randbereich (Zone 3) = Waldschutzzone:** rd. 22 % der Gesamt-Nationalparkfläche; bildet eine dauerhafte Pufferzone von mindestens 500 m Breite zum Schutz der angrenzenden Wirtschaftswälder.
- **Zone 4 = „Erholungszone“:** Flächen für Erholung und Umweltbildung; Managementmaßnahmen erfolgen nur im Sinne der Verkehrssicherung und Funktion der Einrichtungen.

Das Erweiterungsgebiet des Nationalparks Bayer. Wald (Falkenstein-Rachel-Gebiet) hat eine Ausdehnung von 10.703 ha. Hier werden derzeit noch auf rd. 56 % der Fläche Managementmaßnahmen durchgeführt. Maßgeblich für die Projektfragestellung waren die Zonierung innerhalb des NP und die Naturzonenentwicklung im Untersuchungszeitraum (Abb.1).



Untersuchungsgebiet des Projektes

Das Untersuchungsgebiet erstreckte sich in Nord-Süd-Richtung über die Länge des Erweiterungsgebietes und einen Teilbereich angrenzend an den Altpark. Es umfasste die Randzone des NP und die westlich angrenzenden Wirtschaftswälder auf einem bis zu 5.000 m breiten Streifen (ca. 17.000 ha). Vertreten sind die Tallagen zwischen 600 und 800 m ü. NN sowie Hanglagen und Hochlagenwälder bis 1.250 m ü. NN. Das Gesamtgebiet wurde mittels Luftbildaufnahmen bearbeitet, auf einem Teilgebiet erfolgten detaillierte terrestrische Erhebungen.

2.2 Terrestrische Aufnahmen

Borkenkäfermonitoring

Das Borkenkäfermonitoring erfolgte analog zum Verfahren im bayernweiten Überwachungssystem durch Aufnahme von Schwärmverlauf und Brutentwicklung sowie Beobachtung des Befallsgeschehens unter Einbeziehung der Witterungsbedingungen.

- **Fallenlinien:**

Zwischen Bayerisch-Eisenstein und Klingenbrunn wurden parallel zur Nationalparkgrenze drei Fallenlinien mit je 30 bzw. 31 Einzelfallen installiert. Der Abstand zwischen den Fallen betrug geländeabhängig etwa 1.000 m. Der Fangzeitraum erstreckte sich vom 01. April bis 30. September.

- Linie 1 (Fallennummern L1-01 bis L1-31): im Außenbereich mit 1.000 m Abstand zur NP-Grenze
- Linie 2 (L2-01 bis L2-31): im Außenbereich mit 500 m Abstand zur NP-Grenze
- Linie 3 (L3-01 bis L3-30): innerhalb der Waldschutzzone des NP

Die Fallenlinien deckten einen Bereich von 1.500 m Breite und ca. 30 km Länge ab und befanden sich in Privat-, Kommunal- und Staatswald. Zudem wurden Anflugdaten an 13 Fallenstandorten in den Naturzonen des NP erhoben (Abb. 2a). Anhand der Anflugzahlen an Pheromonfallen wurden zeitlicher Verlauf der Schwärmaktivität, Aktivitätsdichte und Generationenabfolge des Buchdruckers ermittelt. Daraus lassen sich befallsrelevante Zeiträume, das lokale Stehendbefallsrisiko, Dichteentwicklung und Vermehrungspotenzial des Käfers ableiten.

- Aufnahme von Befallsentwicklung, Schadholzanfall und Bekämpfung im Fallenumkreis von 250 m
- Kontrolle der Brutentwicklung: in 4 Höhenlagen (630, 850, 1.150 und 1.250 m ü. NN) wurden Bruthölzer vorgelegt (Abb. 2b) und anhand wöchentlicher Rindenproben Befallszeitpunkt und -dichte, zeitlicher Ablauf der Brutentwicklung, Generationenabfolge und Reproduktionserfolg erfasst.

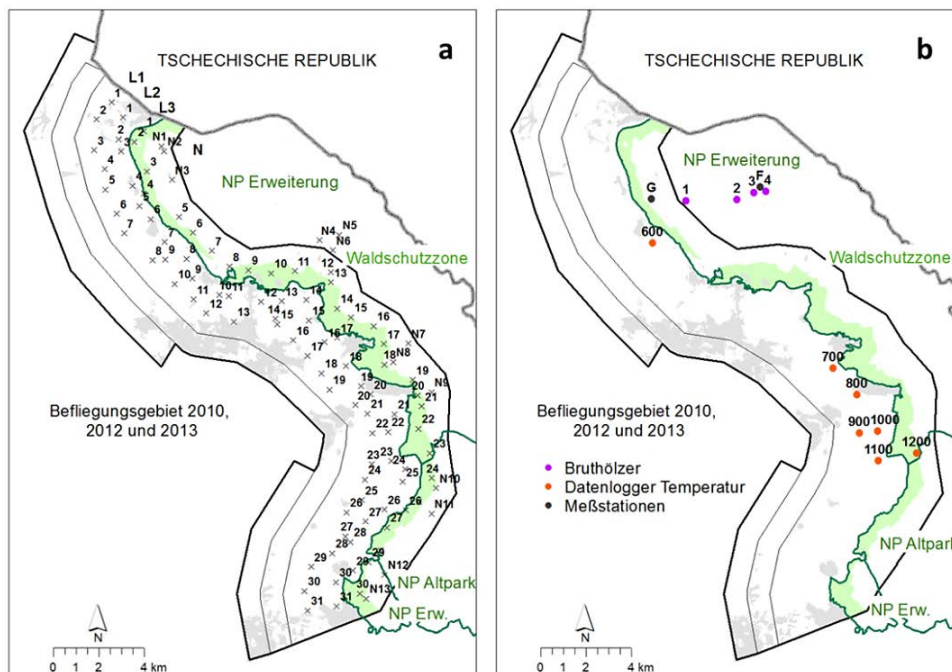


Abbildung 2: a. Fallenstandorte der Fallenlinien L1, L2, L3 und in den Naturzonen des Nationalparks (N01-N13)
b. Brutholzstationen und Messeinrichtungen auf unterschiedlichen Höhenlagen ü.NN im Untersuchungsgebiet

- Elektronische Aufzeichnung von Witterungsdaten und Aktivität: Aktivität und Entwicklung des Buchdruckers sowie die Vitalität und Abwehrfähigkeit der Fichte gegenüber Borkenkäferangriffen werden maßgeblich durch Temperatur und Niederschläge bestimmt. Auf Höhen zwischen 600 und 1.200 m wurden Datenlogger zur Erfassung der Lufttemperaturen installiert, auf 850 und 1.250 m ü.NN die Schwärmaktivität des Buchdruckers in Abhängigkeit von den Witterungsbedingungen elektronisch aufgezeichnet (Abb. 2 b).

Befallsdisposition der Bestände im Bereich der Fallenstandorte

Für alle Fallenstandorte wurde das bestandesbedingte Befallsrisiko durch Buchdrucker anhand eines Prädispositionskennwertes definiert. Eingangsparmeter waren Fichtenanteil in der Fläche, Bestandesalter, Bestandesdichte, Grundfläche und die Ausgangsdichte der Buchdruckerpopulation (nach Netherer und Nopp-Mayr, 2005/ Netherer et al., 2013 und 2014/ Schopf, 2008). Die Befallsdisposition wurde in drei Klassen („gering“, „mittel“ und „hoch“) kategorisiert.

2.3 Erstellung und Analyse von Luftbildern und Orthofotos

Abbildungsgebiet und -zeitraum

Das Befallsgeschehen im Untersuchungsgebiet wurde anhand einer Zeitreihe hochauflöser Luftbilder dokumentiert. Jährlich wurde ein 3 km breiter Streifen westlich der NP-Grenze sowie die Waldschutzzone des NP befliegen und die Befliegungskulisse ereignisbezogen erweitert (Abb.3). Mit der ersten Befliegung im Juli 2010 wurden nicht ausgeräumter Befall, Totbäume und ausgeräumte Flächen der Vorjahre erfasst und aus der Bewertung ausgeschlossen.

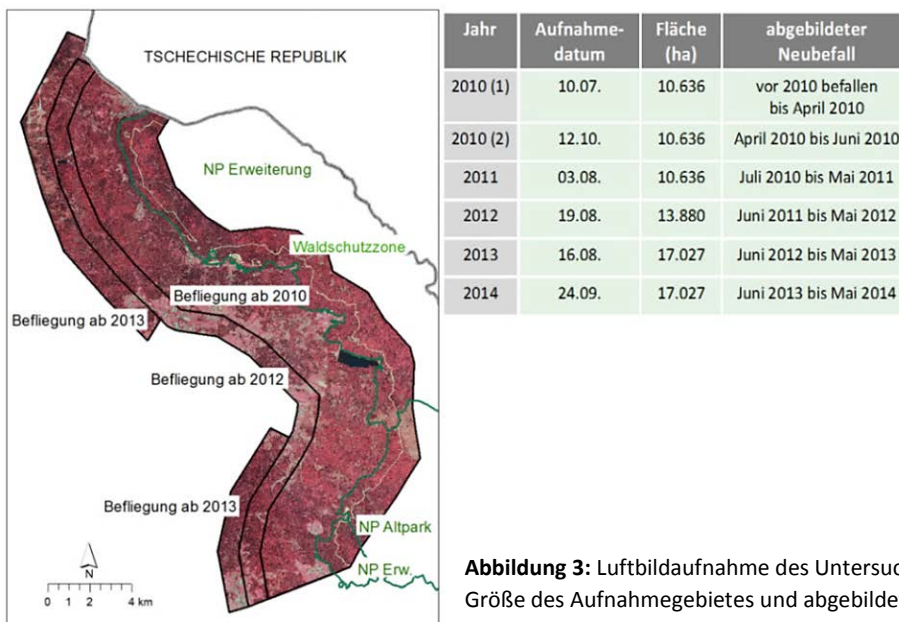


Abbildung 3: Luftbildaufnahme des Untersuchungsgebietes, Größe des Aufnahmegebietes und abgebildeter Befall 2010-2014

Ermittlung der potenziell befallsfähigen Fläche

Befallsfähige Fichte (Alter >40 Jahre bzw. Höhe >10 m), Laubholz, stehendes Totholz, Schatten und Nicht-Waldfläche wurden über ein semi-automatisches Klassifizierungsverfahren identifiziert.

Die ermittelte befallsfähige Fläche wurde in hochaufgelösten, digitalen Karten dargestellt (Abb. 4).

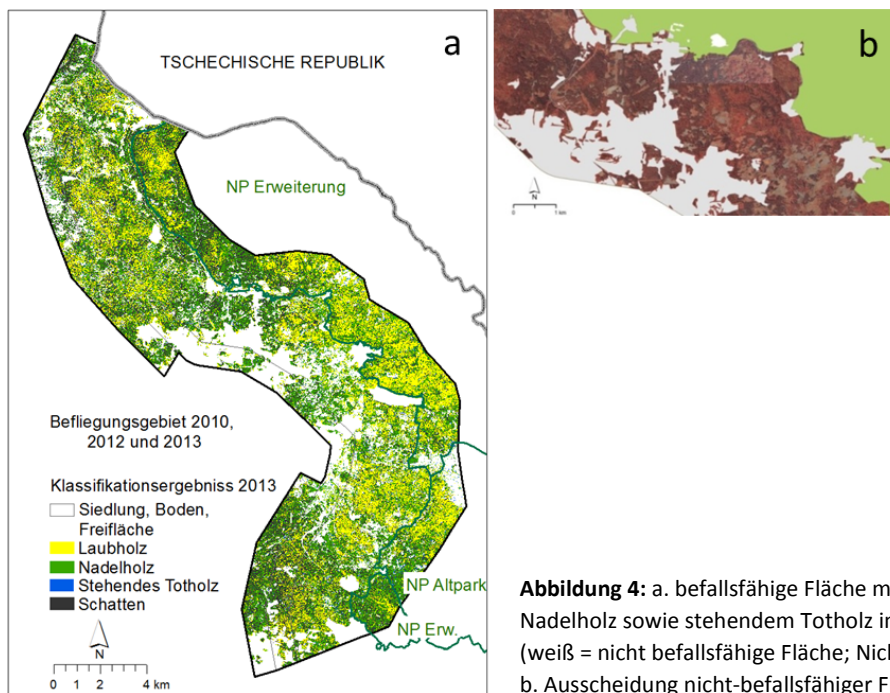


Abbildung 4: a. befallsfähige Fläche mit Verteilung von Laub- und Nadelholz sowie stehendem Totholz im Untersuchungsgebiet (weiß = nicht befallsfähige Fläche; Nicht-Waldfläche) b. Ausscheidung nicht-befallsfähiger Fläche

Identifikation von Einzelbefall und Befallsflächen

- Visuelle Luftbildinterpretation: Stehender Einzelbefall, ausgeräumte Flächen und liegendes Totholz wurden visuell identifiziert und als Punkt- bzw. Polygon-shapefile abgespeichert. Durch Vergleich mit dem nachfolgenden Datensatz wurde ersichtlich, ob Befall ausgeräumt oder als Totholz belassen wurde (Abb. 5).

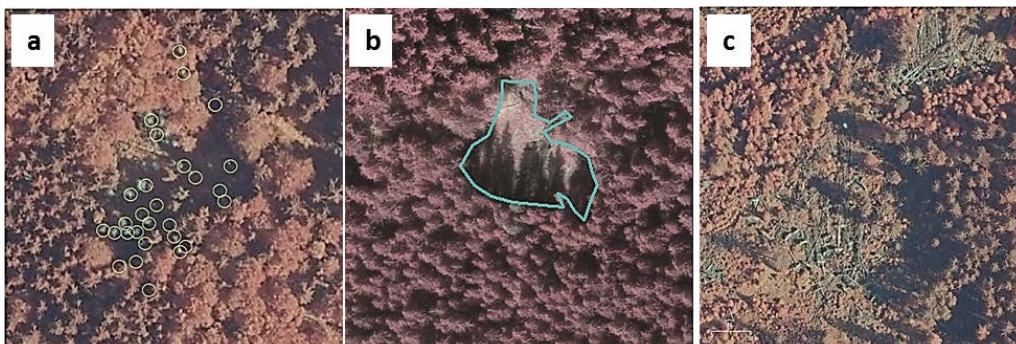


Abbildung 5 : a. Gruppe von stehenden Befallsbäumen, b. ausgeräumte Fläche und c. liegendes Totholz

- Halb-automatisierte Erfassung über digitale Höhendifferenzmodelle: Die visuelle Aufnahme von ausgeräumten Flächen wurde durch Einsatz von Höhendifferenzmodellen unterstützt. Abbildung 6 zeigt die Berechnung des Höhendifferenzmodells für einen Ausschnitt der Untersuchungsfläche für den Zeitraum 2010-2014.

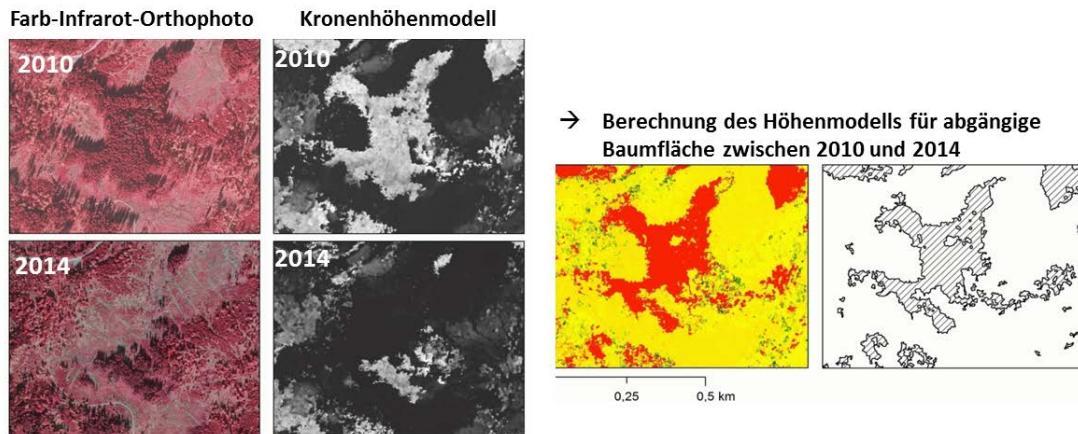


Abbildung 6: Höhendifferenzmodell 2010-2014 für einen Ausschnitt der Untersuchungsfläche: Farb-Infrarot-Orthophoto, berechnetes Kronenhöhenmodell 2010 und 2014 und Ableitung des Höhendifferenzmodells für die abgängige Baumfläche

2.4 Analyse des Befallsgeschehens im Untersuchungsgebiet

Das Untersuchungsgebiet wurde in 100x100 m Rasterkacheln unterteilt (knapp 21.000 Einheiten). Die im Beobachtungszeitraum ausgeräumten Befallsflächen wurden in ihrer räumlich-zeitlichen Verteilung dargestellt und qualitativ und quantitativ charakterisiert: Anzahl und Größe der Einzelflächen, Anteil an befallsfähiger Fläche, Abstandsbeziehung zwischen Flächen.

Räumliche Befallsmusteranalyse:

Das auftretende Befallsmuster wurde hinsichtlich der Größe und Verteilung der ausgeräumten Flächen in Abhängigkeit von folgenden räumlichen Bezügen untersucht:

- Distanz zur NP-Grenze
- Zonierung und Managementstrategie innerhalb des NP (Abb.7).

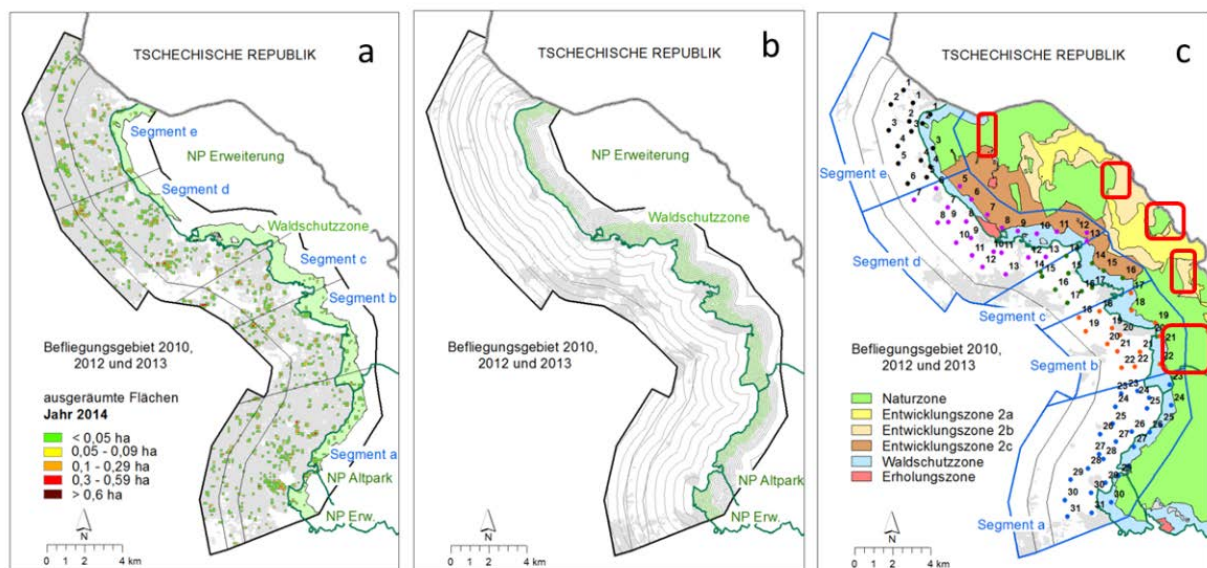


Abbildung 7: a. Darstellung von räumlicher Verteilung und Größe der ausgeräumten Befallsflächen; b. Einteilung des Untersuchungsgebietes in 500 m –Distanzpuffer zur NP-Grenze, c. Einteilung des Außenbereichs in Auswertungssegmente anhand der Zonierung und Ausweitung der Naturzonen im NP 2010-2014

Distanzzonenanalyse der Befallsausbreitung

Mittels Distanzzonenanalyse wurde die Wahrscheinlichkeit eines Neubefalls in Abhängigkeit vom Abstand zu einer Befallsquelle berechnet und so der befallsrelevante Aktionsradius des Buchdruckers ermittelt (Staffelung 100 m nach Kärveno et al., 2014/ Kautz et al., 2011). Dabei gilt der jeweils nächstgelegene belassene Vorjahresbefall als Ausgangspunkt für Neubefall. Je weiter entfernt eine Befallsquelle ist, desto geringer ist die Befallswahrscheinlichkeit für diesen Punkt (Abb.8).

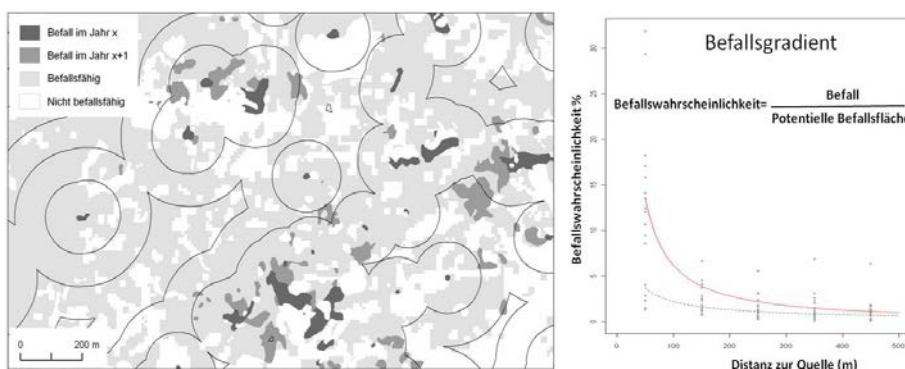


Abbildung 8: Distanzzonen-Methode und Berechnung des Befallsgradienten in Abhängigkeit von der Distanz zur Befallsquelle

2.5 Risikomodellierung und Faktorenanalyse

Die Befallswahrscheinlichkeit in verschiedenen räumlichen Bezügen in Abhängigkeit von verschiedenen Prädiktoren (standörtliche und bestandesbedingte Parameter) wurde anhand eines Modells (GAMMS-Generalized Algebraic Mixed Modelling System) berechnet und räumlich dargestellt.

3 Ergebnisse

3.1 Die Buchdruckersituation im Untersuchungsgebiet 2010-2014

Aus den Fangzahlen an den Fallenstandorten in Verbindung mit den Jungkäferanteilen in den Fängen, den witterungsbedingten Schwärmzeiträumen und den Befunden an den Brutholzstationen wurden Aktivität und Generationenabfolge für alle Untersuchungsjahre abgeleitet.

Durch Errechnung des Vermehrungsfaktors aus den Anflugzahlen der überwinterten Elternkäfer P (P = Parentalkäfer) und der im aktuellen Jahr entwickelten Jungkäfergenerationen F (F = Filialgenerationen) + S (S = Geschwisterbruten) konnte die jährliche Dichteentwicklung beurteilt werden: $F+S/P$. Wert 1 bedeutet gleichbleibende, Werte kleiner 1 abnehmende und Werte größer 1 zunehmende Populationsdichten.

Dichteentwicklung und Vermehrungsfaktor 2010-2014

Die Entwicklung der Anflugzahlen und der jährliche durchschnittliche Vermehrungsfaktor über den Untersuchungszeitraum sind in Abb. 9 dargestellt. Die Markierung von 30.000 Käfern/Falle/Jahr zeigt den Schwellenwert für erhöhte Stehendbefallsgefahr an.

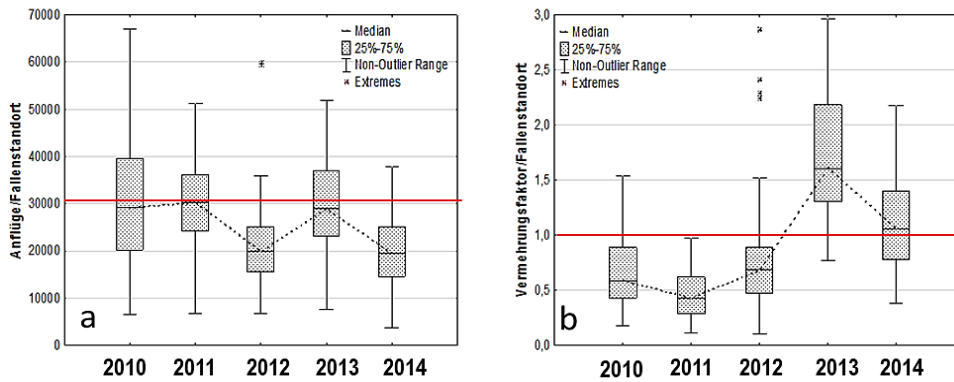


Abbildung 9: Buchdruckersituation 2010-2014: a. Entwicklung der Anflugzahlen und Schwellenwert für erhöhte Stehendbefallsgefahr; b. Vermehrungsfaktor und Schwellenwert für Dichtezunahme

Erhöhte Aktivitätsdichten des Buchdruckers traten (wie in ganz Bayern) witterungsbedingt in den Jahren 2010, 2011 und 2013 mit Medianwerten im Bereich der Warnschwelle für erhöhte Stehendbefallsgefahr auf. 2012 und 2014 lagen die Anflugzahlen auf Latenzniveau.

Der Vermehrungsfaktor zeigte rückläufige Dichteentwicklung von 2010 bis 2012. 2013 war ein deutlicher Dichteanstieg zu verzeichnen, 2014 stagnierte die Dichte aufgrund ungünstiger Witterung.

Räumliche Verteilung der Buchdruckerdichte im Untersuchungsgebiet 2010-2014

Durch visuelle Darstellung der Anflugwerte lassen sich Konzentrationen und räumliche Muster hoher Aktivitätsdichte erkennen. Abbildung 10 zeigt die Fangzahlen/Fälle an den drei Fallenlinien (Waldschutzzone, 500 m und 1.000 m Außenbereich) für die Untersuchungsjahre. Anflugzahlen über dem Schwellenwert für erhöhtes Stehendbefallsrisiko (> 30.000 Käfer/Falle/Jahr=schwarze Markierungen) konzentrierten sich durchweg in der südlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes.

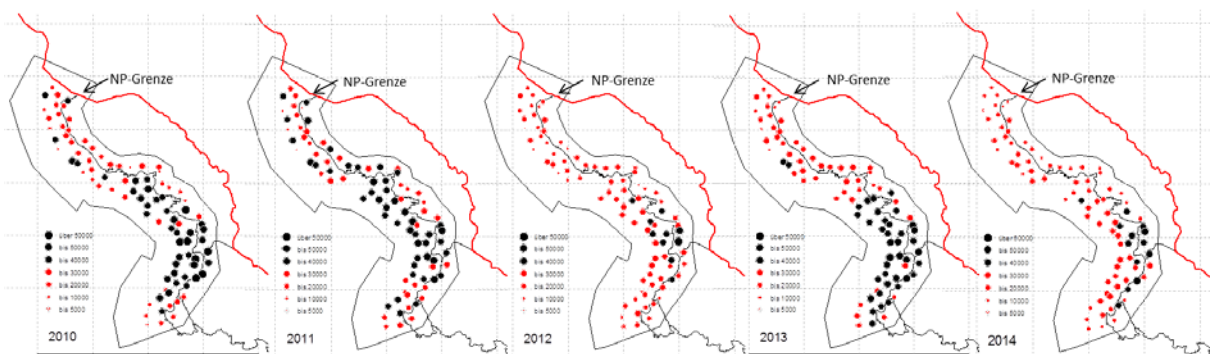


Abbildung 10: räumliche Verteilung der Anflugwerte an den Fallenstandorten 2010 – 2014; schwarze Markierung = Anflugzahlen < 30.000 Käfer/Falle/Jahr

Befall und Schadhholzanfall im Bereich der Fallenlinien

Größerer flächiger Stehendbefall trat im gesamten Untersuchungsgebiet nur vereinzelt auf. Es kam vorwiegend zu kleinen Befallsherden mit geringen Schadhholzmengen:

- bei \varnothing 54 % lag der Schadhholzanfall zwischen 0 bis 10 fm (= Befall von < 10 Bäumen)
- Mengen > 500 fm waren nur in weniger als 10 % der Fälle vertreten.

Dabei waren die von den Waldbesitzern gemeldeten Käferholzanfälle (fm/Jahr) inhomogen verteilt, korrelierten aber insgesamt mit den Anflugzahlen des Buchdruckers. Größere Schadholzmengen waren vorwiegend im Bereich der Fallenlinie L2 in 500 m Abstand zur NP-Grenze zu verzeichnen, die geringsten Schadholzmengen innerhalb des NP (L3).

Schadereignisse im Untersuchungszeitraum

Im Juli 2011 fielen durch ein Sturmereignis im Gebiet zwischen Klingenberg und Bayer. Eisenstein ca. 100.000 fm Windwurfholz an. Geworfene Fichten wurden zum großen Teil noch 2011 aufgearbeitet, das restliche Schadholz im Verlauf des Jahres 2012. Innerhalb des Nationalparks wurden Teile des Windwurfs belassen. Aufgrund der zügigen Aufarbeitung hatte der Windwurf keine erkennbaren Auswirkungen auf Buchdruckerdichte und Befall.

3.2 Bestandesbedingte Befallsgefährdung im Bereich der Fallenstandorte

Das Befallsgeschehen wird durch zahlreiche Faktoren bestimmt, die je nach Rahmenbedingungen unterschiedlich zu gewichten sind (Grodzki et al., 2010/Lausch et al., 2011/Wermelinger et al., 2014). Für die Bestände der Fallenstandorte wurden Kennwerte als Maß für die „Attraktivität“ des Bestandes für Buchdrucker errechnet und in den Kategorien „gering“ (<12,6), „mittel“ (12,6-25,2) und „hoch“ (> 25,2) dargestellt. Vergleichend werden die Befallsdisposition für Gesamt-Bayern und das Untersuchungsgebiet (Modellierung BOKU Wien) gegenübergestellt (Abb.11).

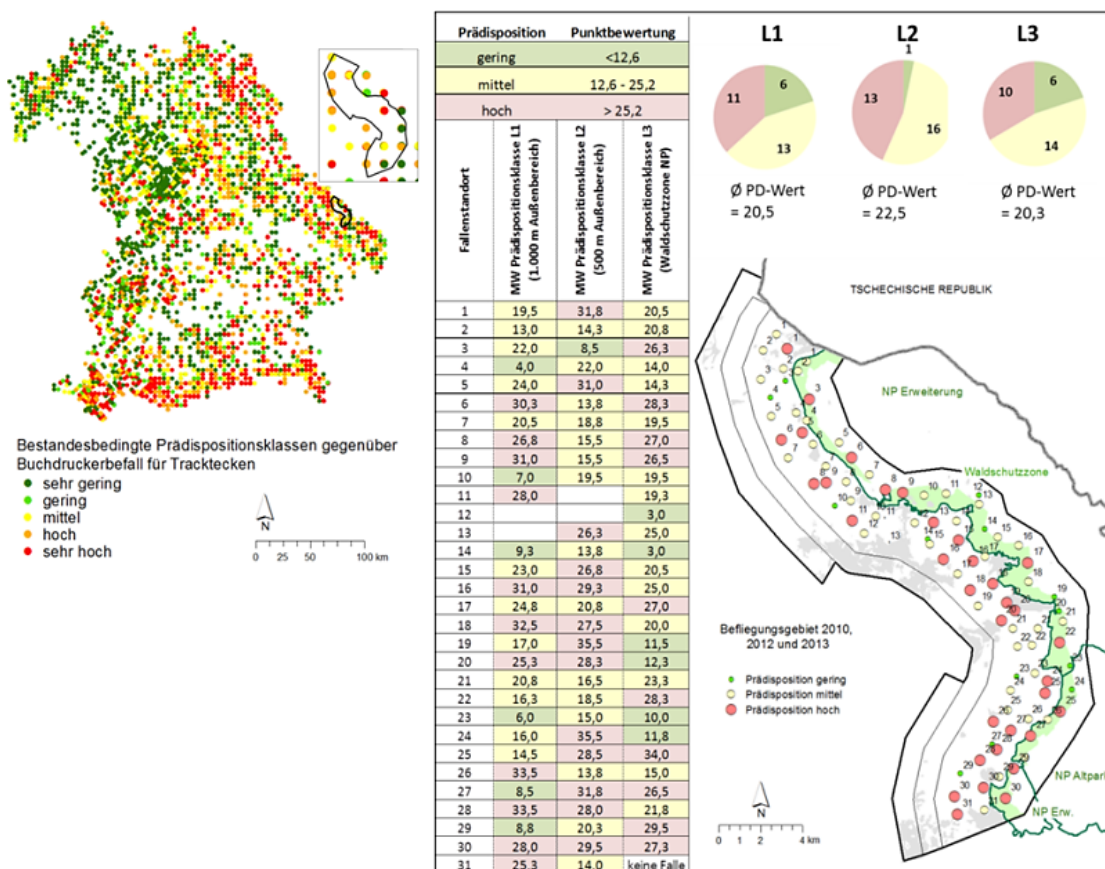


Abbildung 11: Modellierter Befall für Buchdrucker in Bayern und im Untersuchungsgebiet (BOKU Wien) und Prädispositionskennwerte der Bestände im Bereich der Fallenstandorte

Die Bestände in der Fallenlinie L2 sind mit einem Durchschnittswert von 22,5 insgesamt stärker für Buchdruckerbefall disponiert. Hohe Werte konzentrieren sich dabei in der südlichen Hälfte der Linie (\varnothing 24,5). Linie 1 (1.000 m Abstand zur NP-Grenze) und 3 (Randzone) weisen mit \varnothing 20,5 geringere Befallsdisposition auf. Zwischen den Prädispositionsstufen und der lokalen Buchdruckerdichte besteht ein signifikant positiver Zusammenhang. Für den Schadholzanfall besteht er tendenziell (Abb. 12).

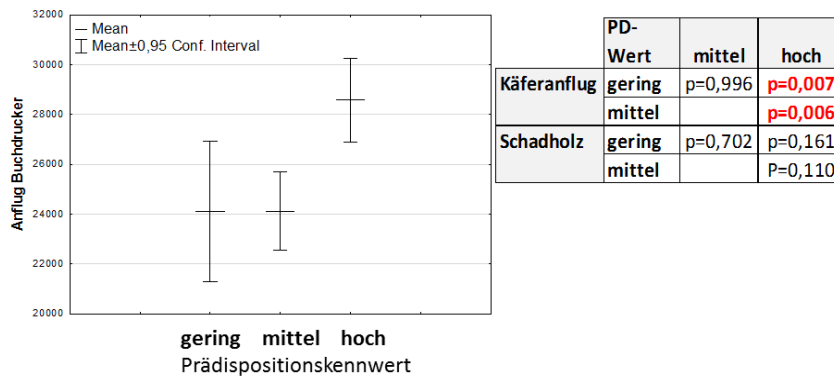


Abbildung 12: Aktivitätsdichte für Fallenstandorte geringer, mittlerer und hoher Prädisposition und Signifikanzprüfung für den Zusammenhang Prädisposition <-> Käferanflüge und Prädisposition <-> Schadholzanfall

3.3 Charakterisierung der Befallsentwicklung

Die im Untersuchungsgebiet auftretenden Befallsereignisse wurden hinsichtlich Flächengröße, Ausbreitungsverhalten des Befalls und Lage innerhalb des Untersuchungsgebietes analysiert.

Die Buchdruckerpopulationen wiesen geringe bis moderat erhöhte Dichten auf, woraus sich verhaltensbedingt spezifische Befallsbilder ergaben:

- Es entsteht vorwiegend kleinräumiger, verstreuter Befall mit geringen Schadholzmengen
- Befallserfolg ist punktuell und abhängig von abwehrschwachen Fichten und attraktiven Strukturen wie Auflichtungen und Rändern. Die Dispersionsdistanzen auf der Suche nach geeignetem Brutmaterial sind dann weiter als bei hohen Käferdichten. Bei Massenvermehrung kann sich der Käfer neuen Brutraum auch in vitalen, geschlossenen Beständen erschließen.
- Eine gerichtete Befallsentwicklung ist aufgrund zu geringer Angriffsdichten nicht die Regel. Effekte sind daher auf kleiner räumlicher Ebene zu interpretieren.

Größenverteilung und Entwicklung der ausgeräumten Flächen

Die Größen der ausgeräumten Flächen (ha) im an den Nationalpark angrenzenden Außenbereich und in der Waldschutzzone sind für 500 m beiderseits der NP-Grenze in Tab. 1 gegenübergestellt.

Tabelle 1: Größenverteilung der ausgeräumten Flächen zwischen 2011 und 2014 im Außenbereich für 500 m ab Nationalparkgrenze und 500 m Innenbereich (Waldschutzzone)

	2011		2012		2013		2014	
	AB	NP	AB	NP	AB	NP	AB	NP
MW Größe pro Fläche (ha)	0,11	0,07	0,09	0,05	0,11	0,05	0,05	0,06
% Flächen bis 0,05 ha	63,5	61,4	67,6	70,0	52,6	63,9	71,4	69,6
% Flächen bis 0,5 ha	95,5	99,2	98,1	100	97,4	100	100	100

- Insgesamt waren die Flächen klein: mehr als 50 % der Flächen kleiner als 0,05 ha (also < 10 Bäume), >95 % deutlich kleiner als 0,5 ha. Flächengrößen über 0,5 ha traten nur vereinzelt auf. Die Durchschnittsgrößen waren in der Waldschutzzone des Nationalparks geringer als im Außenbereich.
- 77,7 % der Flächen entstanden jährlich neu, 10,9 % wuchsen über 2 Jahre und 11,4 % über bis zu 4 Jahre an. Dies weist auf ein allgemein effizientes Borkenkäfermanagement hin, ist aber auch durch die geringe lokale Buchdruckerdichte zu begründen, die eine Befallsausweitung erschwert.

Ausbreitungsrichtung der Befallsherde

Der Wind wird häufig als wichtiger Faktor für die Verbreitung von Borkenkäfern über weite Distanzen angeführt (Botterweg, 1982/Furniss und Furniss, 1972/Jackson et al., 2008/Nielsen, 1984 u.v.m). Untersuchungen zum Anflugverhalten des Buchdruckers in Abhängigkeit von der Windstärke an elektronischen Messstationen zeigten, dass der Buchdrucker bei Windgeschwindigkeiten von über 5 m/sec. (=18 km/h) seine Flugaktivität weitgehend einstellt (s. auch Hurling, 2000). Es kommt nicht zu einer passiven Verdriftung der Käfer durch starke Windströmungen.

Für die 2012 bis 2014 ausgeräumten Flächen wurde die Richtung der Befallsausbreitung im Vergleich zur jeweils herrschenden Haupt-Windrichtung am Großen Arber und in Zwiesel untersucht (Abb.13).

Ausbreitungsrichtung der Befallsflächen

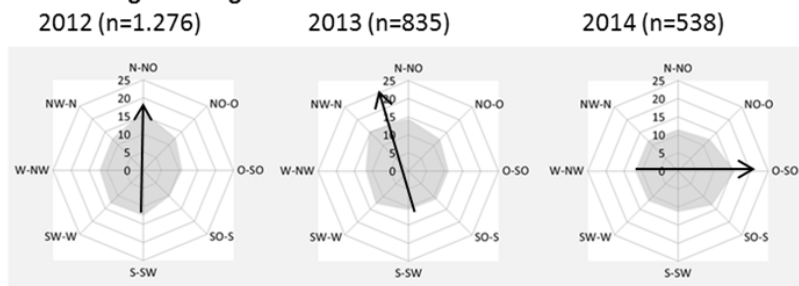
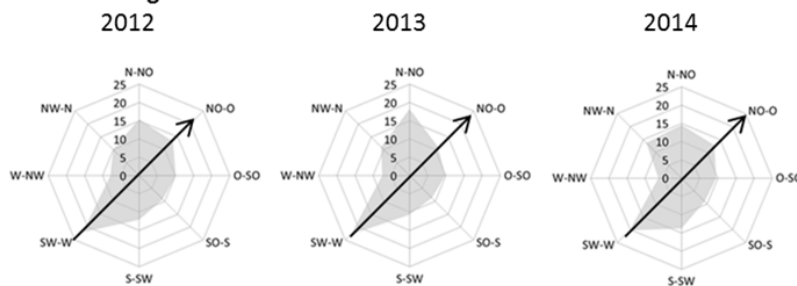
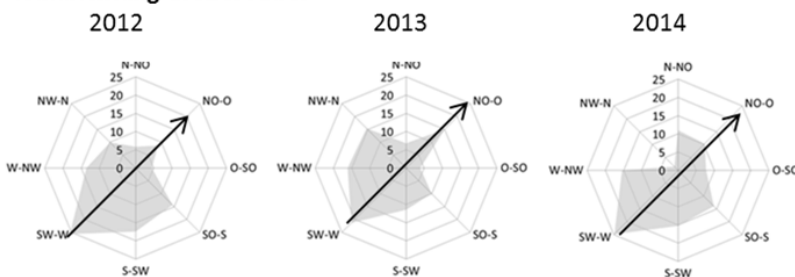


Abbildung 13: prozentuale Verteilung der Ausbreitungsrichtungen der ausgeräumten Flächen für 2012 bis 2014 und Haupt-Windrichtung in Zwiesel und am großen Arber 2012-2014 (DWD)

Windrichtung Zwiesel



Windrichtung Großer Arber



Die Richtungsbeziehungen zwischen den ausgeräumten Flächen zeigten keinen definierten Schwerpunkt und waren jährlich unterschiedlich. 2012 verlief die Befallsausbreitung tendenziell stärker in nordöstlicher Richtung, 2013 in nord/nordwestlicher und 2014 in südöstlicher Richtung.

Die vorherrschende Windrichtung im Raum Zwiesel und auf dem Großen Arber war in allen Jahren West-Südwest. Ein Einfluss des Windes auf die Ausbreitungsrichtung des Befalls bestand also nicht.

Ausbreitungsdistanzen zwischen Befallsquelle und Folgebefall

Nicht aufgearbeiteter Befall kann sich herdförmig ausbreiten oder dient als Quelle für Neubefall im Umfeld. Zur Analyse der Ausbreitungsdistanzen zwischen Quell- und Folgebefall wurde einer Befallsquelle jeweils der im Folgejahr entstehende nächstgelegene Befallsherd zugeordnet.

Der Anteil an Folgebefall in 100-m-Abstandspuffern zur Befallsquelle für die NP-Randzone und den Außenbereich ist in Abb. 14 für den Zeitraum 2011-2014 kumulativ dargestellt.

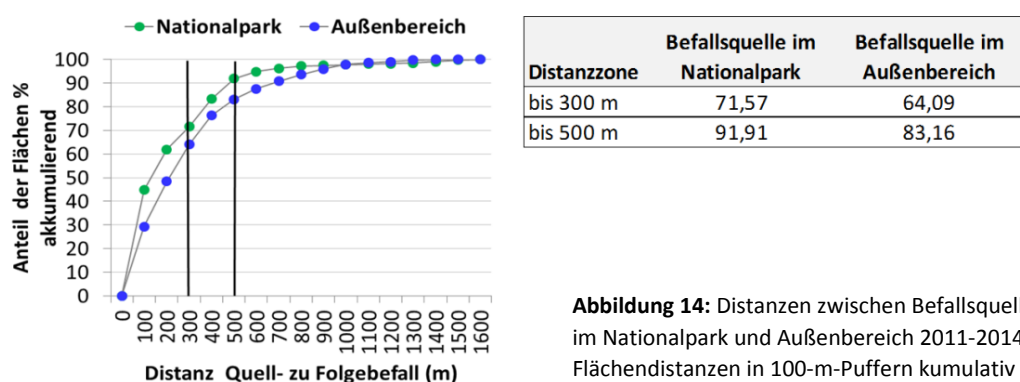


Abbildung 14: Distanzen zwischen Befallsquelle und Folgebefall im Nationalpark und Außenbereich 2011-2014; Anteil der Flächendistanzen in 100-m-Puffern kumulativ

Durchschnittlich 68 % des Folgebefalls entstand im Umkreis von 300 m um die Befallsquelle, \approx 88 % innerhalb von 500 m (s. a. Angst et al., 2011/BUWAL, 2000/Kautz et al., 2011/Stadelmann et al., 2014/Wermelinger, 2004/Weslien et al., 1989 u.v.m). Dabei waren die Ausbreitungsdistanzen von Befallsquellen in der Waldschutzzone durchschnittlich kürzer als im Außenbereich. Dies steht im Zusammenhang mit der häufig lichtereren Waldstruktur im Außenbereich, die zu weiteren Dispersionsdistanzen führt. Maximal 17 % des Folgebefalls verteilten sich auf Entfernungen bis 1.100 m.

Der Buchdrucker kann auf der Suche nach Brutraum weite Dispersionsflüge durchführen. Aufgrund der zeitlichen und räumlichen Verteilung des Fluges über ein weites Areal ist jedoch dann die erforderliche lokale Angriffsdichte für erfolgreichen Stehendbefall nicht mehr gegeben. Buchdruckerflug über weite Distanzen ist daher für die Entstehung neuer Befallsherde nicht relevant.

Einfluss des Fichtenanteils auf die Befallsverteilung

Die 100x100 m Rasterkacheln des Untersuchungsgebietes wurden nach Anteilen an befallsgeeigneter Fichte in fünf Kategorien eingeteilt (Kärvemo et al. 2014). Abbildung 15 zeigt die Zusammensetzung der Gesamtfläche nach Fichtenanteilen und die auf die Kategorien entfallende Befallsfläche.

Mit Ausnahme von 2014 wurden die Flächen weitgehend unabhängig vom Fichtenanteil gleichermaßen befallen. 2011 bis 2013 bestand eine Tendenz zu Bereichen geringerer Fichtenanteile.

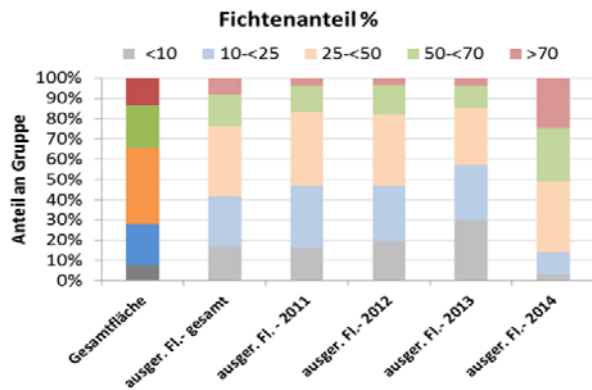


Abbildung 15: prozentuale Verteilung des Befalls (geräumte Fläche) nach Fichtenanteil in den Untersuchungsjahren und für den Gesamtzeitraum

Dieses Verhalten ist typisch für Situationen mit geringer Buchdruckerdichte, da sich hier der Befall aufgrund zu geringer Angriffsdichte auf offene Waldstrukturen konzentriert und in dichten Beständen mit hohen Fichtenanteilen kaum Befallserfolg zu verzeichnen ist.

3.4 Analyse der Befallsverteilung im Untersuchungsgebiet

Um eine vergleichende Interpretation des Befallsgeschehens zu ermöglichen, wurde die Befallsintensität für alle räumlichen Konstellationen und Untersuchungsjahre durch 3 Parameter charakterisiert:

- Anzahl ausgeräumter Flächen pro ha befallsfähiger Fichtenfläche
- Anteil (%) der Befallsflächen an der befallsfähigen Gesamtfläche
- durchschnittliche Größe (ha) der ausgeräumten Flächen

Die Verteilung der ausgeräumten Flächen zeigte allgemein eine erhöhte Befallsdichte in der südlichen Hälfte des Untersuchungsgebietes und konzentrierteren Befall im Randbereich zu nicht-befallsfähiger Fläche (Siedlung, Freiflächen, Gewässer), also eine Bevorzugung offener Strukturen.

Im Folgenden wird der Einfluss unterschiedlicher räumlicher Bezugsgrößen auf die Befallsverteilung anhand der Ergebnisse terrestrischer Untersuchungen und der Luftbildanalyse dargestellt.

Befallsentwicklung in Abhängigkeit von der Distanz zur NP-Grenze

Die Befallsintensität in 500-m-Abstandspuffern zur Nationalparkgrenze und auf 500 m innerhalb der Waldschutzzone des NP ist in den nachstehenden Graphien (Abb. 16) dargestellt.

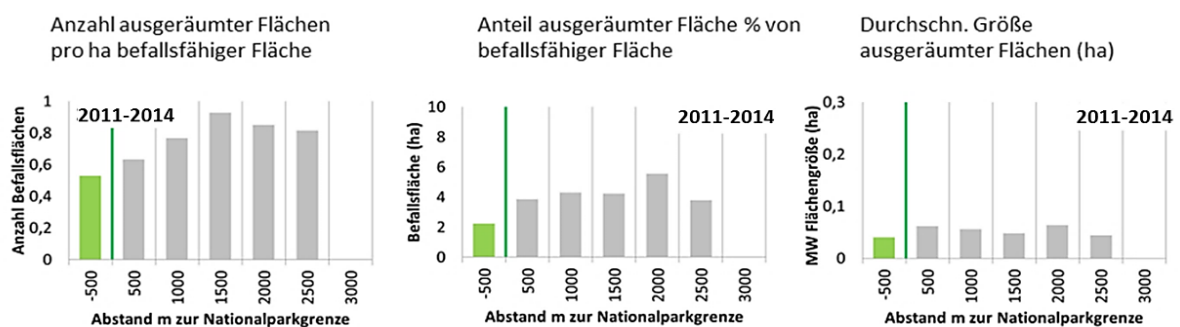


Abbildung 16: Anzahl der ausgeräumten Flächen pro ha befallsfähiger Fläche, Anteil geräumter Fläche von befallsfähiger Fläche und Durchschnittsgröße der Einzelflächen pro 500 m-Puffer 2011-2014; NP-Grenze = grün; grüne Säule = Wert für die NP-Waldschutzzone

Flächenanzahl, Anteil an der befallsfähigen Fläche und Durchschnittsgröße der Einzelflächen waren in der NP-Randzone geringer als im Außenbereich. Die Befallsintensität im Außenbereich nahm mit der Distanz zur Nationalparkgrenze zu. Bezogen auf das Gesamtgebiet bestand also aus dem NP heraus kein Einfluss auf die Befallsituation im Außenbereich.

Befall in Abhängigkeit von Distanz und Managementstruktur im Nationalpark

Hintergrund ist die Frage, ob durch das Aussetzen des Borkenkäfermanagements in den Naturzonen ein Befallsdruck aus dem NP heraus entsteht. Das Untersuchungsgebiet wurde hierfür in 5 Segmente mit unterschiedlichem räumlichem Bezug zu Naturzonen eingeteilt.

- Segmente e, b und a mit an die Waldschutzzone angrenzender Naturzone

e: keine grenznahe Erweiterung im Untersuchungszeitraum, letzte Veränderung 2010 (Hochlage)

b: Naturzonenausweitungen nahe der WSZ 2010, 2012, 2013

a: angrenzend Altpark, keine aktuelle Veränderung

- Segmente d und c ohne unmittelbaren Naturzonenbezug

Abbildung 17 zeigt die Segmente mit Zuordnung der Fallenstandorte und Lage der Naturzonen sowie die Befallsintensität (Anzahl ausgeräumter Flächen) im Bereich der Segmente.

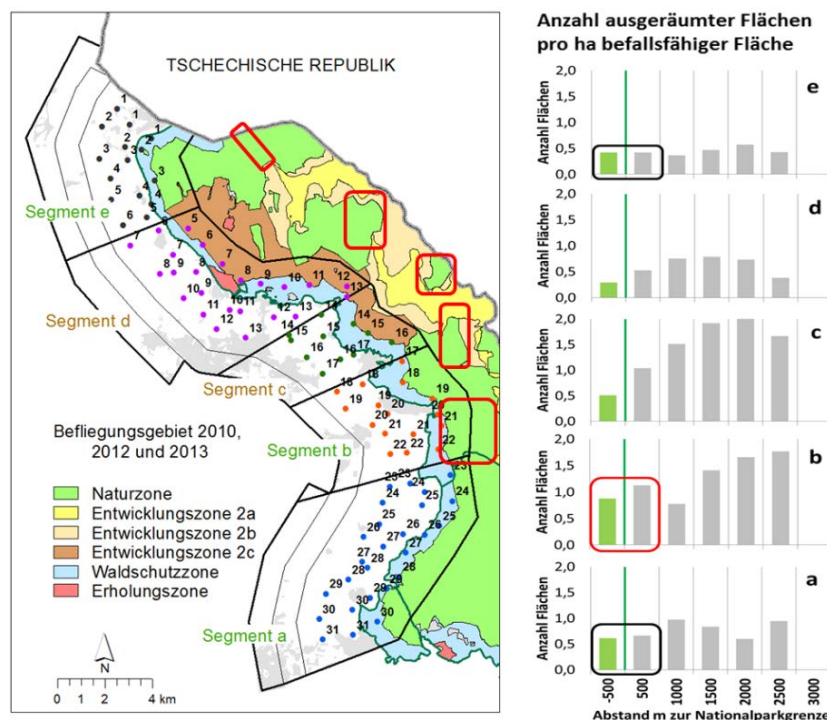


Abbildung 17: Lage der Segmente und Zuordnung der Fallenstandorte; Markierung der Naturzonenausweitung 2010 – 2014; Anzahl ausgeräumter Flächen in den Segmenten 2011-2014;

In Segment b zeigte sich erhöhte Befallsintensität in der Waldschutzzone und im ersten 500-m-Puffer im Außenbereich. Hier erfolgten zwischen 2010-2014 Ausweitungen der Naturzone bis zum Grenzbe- reich der Waldschutzzone. Ab einer Distanz von 1.500 m zur NP-Grenze nahm der Befall NP- unabhängig zu. Ein ähnlicher, aber deutlich geringer ausgeprägter Effekt war in den Segmenten e und a erkennbar. Hier bestand die grenznahe Naturzone bereits vor Untersuchungsbeginn.

Dagegen war in den Segmenten c und d der Befall innerhalb der Waldschutzzone deutlich geringer als im Außenbereich. Hier nahm der Befall mit Abstand von der NP-Grenze zu.

Die Befallssituation spiegelte sich auch in der jeweiligen Aktivitätsdichte des Buchdruckers in den Segmenten wieder (Abb. 18).

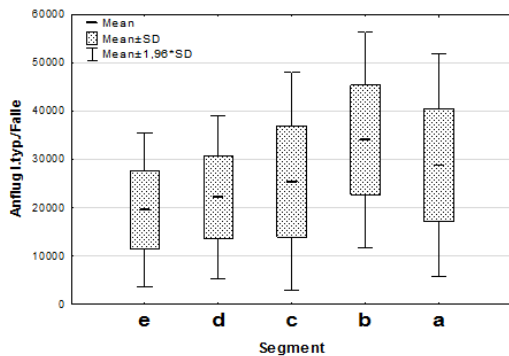


Abbildung 18: Aktivitätsdichte des Buchdruckers in den Segmenten (Anflugzahlen an Pheromonfallen der zugeordneten Fallenstandorte)

Zur Erklärung der unterschiedlichen Einflüsse auf das Befallsgeschehen wird die Situation für das Segment b in nachstehender Darstellung (Abb. 19) erläutert.

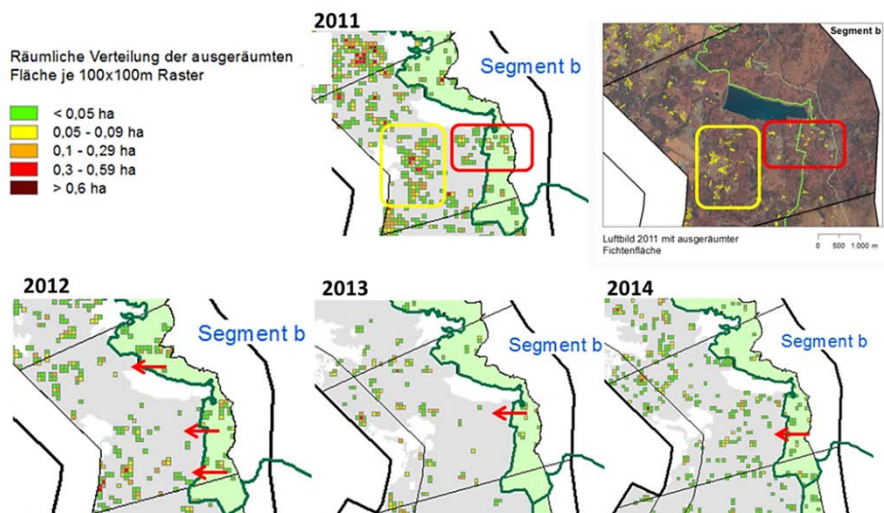


Abbildung 19: Befallssituation im Segment b 2011-2014 im Außenbereich und innerhalb der Waldschutzzone

Vor allem 2011 zeigte sich deutlicher grenzübergreifender Befall mit erkennbarem Befallsdruck aus der Waldschutzzone heraus (rote Markierungen). In den Folgejahren war dieser Effekt aufgrund geringerer Befallsintensität schwächer ausgeprägt. Der starke Befall im Außenbereich (gelbe Markierung) an einzelnen Baumgruppen und Rändern ist unabhängig von der Situation im NP, sondern bedingt durch die anfällige offene Waldstruktur und die Managementqualität in diesem Bereich.

3.5 Befallswahrscheinlichkeit in den räumlichen Bezügen

Aus der Befallsintensität in Bezug zur jeweiligen befallsfähigen Fichtenfläche wurde die Befallswahrscheinlichkeit in den 500m-Distanzpuffern zur NP-Grenze für die verschiedenen Bezugsräume errechnet (Abb. 20). Ein Wert von 1 bedeutet 100 % Befallswahrscheinlichkeit.

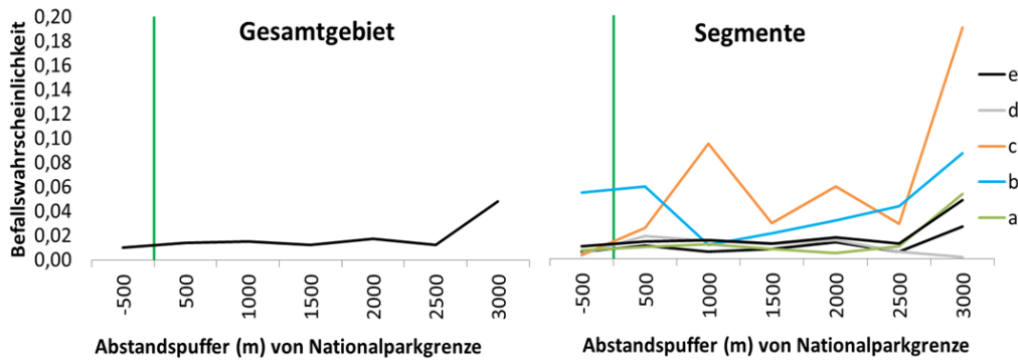


Abbildung 20: Befallswahrscheinlichkeit in 500 m- Puffern zur NP-Grenze für Gesamtgebiet und Segmente

- Gesamtgebiet: innerhalb des NP (500 m Waldschutzzone) und im Außenbereich bis 3.000 m besteht kein Zusammenhang zwischen Befallswahrscheinlichkeit und dem Abstand zur NP-Grenze.
- Segmente: in Segment **b** besteht eine geringfügig (um 6 %) erhöhte Befallswahrscheinlichkeit für die Waldschutzzone und den ersten 500 m-Puffer im Außenbereich. In weiteren Distanzen nimmt die BW zunächst ab, dann aber NP-unabhängig wieder zu. In Segment **c** herrscht unabhängig vom NP hohe Befallswahrscheinlichkeit im Außenbereich ab Distanzen > 1.000 m von der NP-Grenze, bedingt durch Disposition der Bestände und Qualität des Borkenkäfermanagements.

3.6 Einflussfaktoren auf die Befallswahrscheinlichkeit - Modellierung

Der Einfluss befallsrelevanter standörtlicher und bestandesbedingter Faktoren auf die Befallswahrscheinlichkeit wurde mittels GAMMS (Generalized Additive Mixed Modelling System) modelliert (Abb. 21). Durch das Modell werden 67 % des Befalls erklärt.

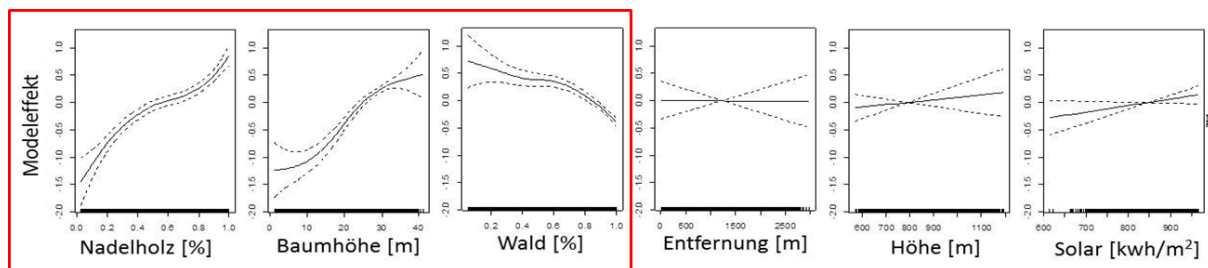


Abbildung 21: Wirkung der Einflussgrößen Bestandesoberhöhe [m], Nadelholzanteil [0 bis 1] sowie Waldanteil [0 bis 1] auf das Befallsrisiko durch den Buchdrucker auf einer 100 x 100 m Fläche; gestrichelte Linie = 95 % Konfidenzintervall

- Größten Einfluss haben Nadelholzanteil und Baumhöhe. Mit zunehmendem Nadelholzanteil steigt das Befallsrisiko für die Bestände stetig an, ab einem Anteil von 70% besteht deutlich erhöhte Gefährdung. Auch mit zunehmender Baumhöhe ab 10 m bis 30 m steigt die Befallswahrscheinlichkeit.
- Mit zunehmendem relativem Waldanteil und damit geringeren Randlinienlängen nimmt die Befallswahrscheinlichkeit ab, Sie ist im geschlossenen Bestand deutlich geringer.
- Entfernung zur Nationalparkgrenze, Höhenlage und Solareinstrahlung zeigten keinen signifikanten Einfluss auf die Befallswahrscheinlichkeit.

4 Fazit und Empfehlungen

Die Auswirkungen von Schutzgebieten auf umliegende Wälder im Hinblick auf eine erhöhte Befallsgefährdung durch Borkenkäfer waren Gegenstand zahlreicher Untersuchungen (Angst et al., 2011/ Aukema et al., 2006/ Dymond et al., 2007/ Eriksson, 2007/ Fahse und Heurich, 2011/ Grodzki et al. 2010/ Kautz et al., 2011/ Wermelinger, 2004/ Zielewska und Aldinger, 2013 u.v.m).

Diese wurden allerdings vorwiegend im Zusammenhang mit Sturmwürfen und nachfolgender Borkenkäfermassenvermehrung durchgeführt. Untersuchungen während Latenzphasen werden kaum beschrieben. Die Ergebnisse aus dem hier dargestellten Projektvorhaben liefern daher wichtige Erkenntnisse zur Beurteilung der grundsätzlichen Befallsgefährdung im Umfeld von Fichten-Nationalparken unabhängig von Schadereignissen und Massenvermehrungssituation.

Befallsgefährdung der an den NP angrenzenden Wirtschaftswälder

Aufgrund der vorwiegend niedrigen bis moderat erhöhten Buchdruckerichte im Untersuchungszeitraum entstanden spezifische Befallsbilder. Es trat vorwiegend kleinräumiger, verstreuter Befall auf. Die Befallsentwicklung war weniger gerichtet, sondern meist Ergebnis von punktuellen Befallserfolg an abwehschwachen Fichten und attraktiven Strukturen wie Auflichtungen und Waldrändern.

Zur Fragestellung können für den Untersuchungszeitraum folgende Aussagen getroffen werden:

- Für das Gesamtgebiet bestand kein erhöhter Befallsdruck durch Buchdrucker aus dem Nationalparkgebiet heraus. Auswirkungen durch Einstellung der Borkenkäferbekämpfung in den Naturzonen der höheren Hanglagen sind nicht feststellbar. Vielmehr wurde die Befallsentwicklung maßgeblich durch die unterschiedliche bestandesbedingte Disposition der Wälder und die Qualität des Borkenkäfermanagements geprägt. Lokal übergreifendes Befallsgeschehen trat wechselseitig und vorwiegend in einem Distanzbereich von 500 m beiderseits der NP-Grenze auf.
- Von Naturzonenausweisungen mit größerer Distanz zur Nationalparkgrenze geht keine Befallsgefährdung für die Wirtschaftswälder im Außenbereich aus.
- Lokal definierbar bestand leicht erhöhter Befallsdruck aus dem NP heraus im Bereich des Segments b mit aktuellen Naturzonenerweiterungen in den Jahren 2009-2014 bis angrenzend an die Waldschutzzone.

Die erhöhte Befallsintensität war in der Waldschutzzone und bis zu einer Distanz von 500 m im Außenbereich nachweisbar. Dieser Effekt war sowohl durch die Ergebnisse der terrestrischen Untersuchungen, als auch durch die Befallsanalyse anhand von Luftbildern und die berechnete Befallswahrscheinlichkeit im Modell nachweisbar.

Die Situation in Segmenten mit älteren Naturzonen im Grenzbereich zeigt, dass möglicher Befallsdruck zeitlich begrenzt ist.

Empfehlungen für zusätzliche Maßnahmen zum Schutz der an den NP grenzenden Wälder

Da der Befallsdruck im Bereich einer an die Waldschutzzone angrenzenden, im Untersuchungszeitraum erweiterten Naturzone bereits in der Latenzsituation nachweisbar war, ist im Falle einer Buchdrucker-Massenvermehrung ein deutlicher übergreifender Befallsdruck zu erwarten.

Da das Befallsgeschehen in unmittelbarer Grenznähe von beiden Seiten beeinflusst wird, stellt die Überwachung und Bekämpfung des Borkenkäfers eine nachbarschaftliche Gemeinschaftsaufgabe dar, die durch folgende Empfehlungen zu unterstützen ist:

Anpassung der Schutzmaßnahmen in Risikobereichen (Abb.23):

- Überprüfung der Randzonenbreite in Bereichen mit erhöhter Befallsgefährdung
- Fortführung des bewährten Borkenkäfermanagements in der NP-Randzone und Intensivierung in Bereichen erhöhter Befallsgefährdung
- Überprüfung der Erfordernis lokaler, zeitlich begrenzter Erweiterung der Randzone in Risikobereichen.
- Ausweisung und Erweiterung von Naturzonen vorrangig in grenzfernen Bereichen .

Diese Maßnahmen sollten ergänzt werden durch zielgerichtete, punktuelle Waldumbaumaßnahmen. Hier sind vor allem die Förderung von Buchen- und Tannenverjüngung in der Randzone sowie Voranbau mit Buche und Tanne vor allem in den identifizierten Risikobereichen in der randzonennahen Bereichen der Entwicklungszone zu empfehlen. So wird zukünftig die Disposition der grenznahen Wälder gegenüber Borkenkäferbefall zunehmend gemindert.

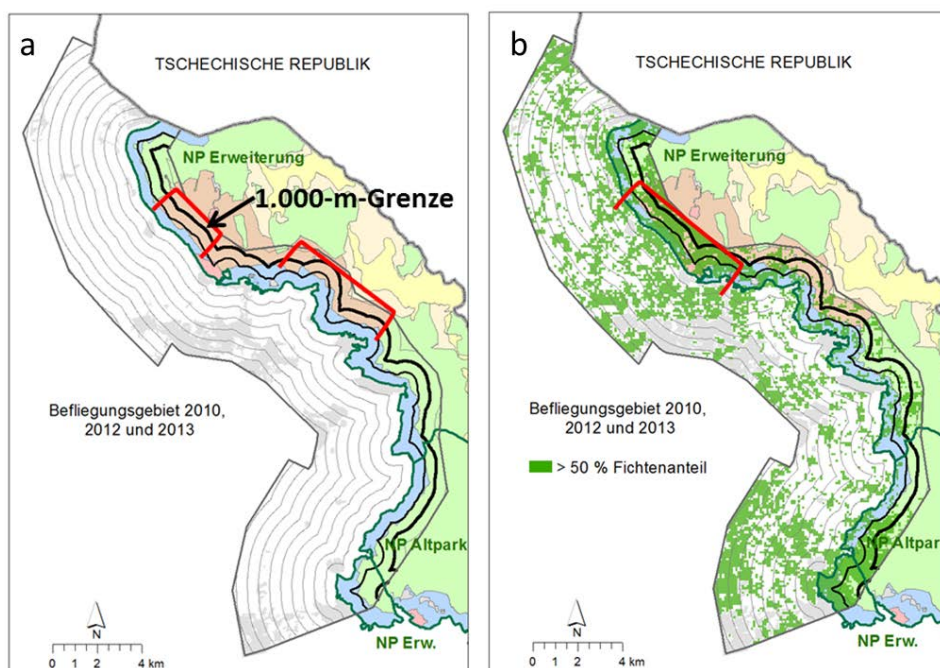


Abbildung 22: a. Bereiche mit künftiger Naturzonenausweisung b. Bereiche mit > 50 % Fichtenanteil in den Waldbeständen und ausstehender Naturzonenausweisung

Maßnahmen im Rahmen des Borkenkäfermanagements:

- Einrichtung eines dauerhaften Borkenkäfermonitorings im Randbereich des Nationalparks analog zum bayernweiten Überwachungssystem. Nach Absprache mit Waldbesitzern und Forstverwaltung sollten hierzu Fallenstandorte aus dem Projekt übernommen werden (zwei Fallenstandorte pro Segment in je 500 und 1.000 m zur NP-Grenze in Bereichen erhöhter Befallsdisposition).

-
- Weiterhin regelmäßige Informationen über die regionale Befallsgefährdung sowie Handlungsempfehlungen für die betroffenen Waldbesitzer im Außenbereich des NP
Nach Möglichkeit praktische Hilfestellung bei Befallsdiagnose und Bekämpfung insbesondere für Klein-Privatwald und Kommunalwald

Überwachung der Befallsentwicklung mittels Luftbildanalyse

- Erweiterung der routinemäßigen jährlichen Befliegung des NP-Gebietes auf den Außenbereich bis 3.000 m ab NP-Grenze in Absprache mit den Waldbesitzern: in Latenzphasen 3-jährig, bei Schadergebnis mit Buchdrucker-Massenvermehrung jährlich.
- Semi-automatisierte Erfassung der abgängigen Fichtenfläche mittels digitalem Höhendifferenzmodell und Kontrolle auffälliger Befallsentwicklungen durch visuelle Luftbildinterpretation durch die LWF.

Das bewährte Borkenkäfermanagement in der Randzone und im Außenbereich, ergänzt durch situationsbezogen eingesetzte zusätzliche Maßnahmen wie vorgeschlagen, ermöglicht einen effizienten Schutz der an den Nationalpark angrenzenden Wirtschaftswälder gegenüber Buchdrucker-Massenvermehrungen aus dem Schutzgebiet.

5 Literatur

- ANDERBRANT O., LÖFQVIST J. (1988): Relation between first and second brood production in the bark beetle *Ips typographus* (Scolytidae). *OIKOS* 53, pp 357-365
- ANDERBRANT O., SCHLYTER F., LÖFQVIST J. (1988): Dynamics of Tree Attack in the Bark Beetle *Ips typographus* under Semi-Epidemic Conditions. In: Payne. T.L., & Saarenmaa H. (eds.) "Integrated Control of Scolytid bark Beetles"; Proc. IUFRO working party on bark beetles symposium, vancouver, 1988, pp 35-52
- ANGST A., RÜEGG R., FORSTER B. (2012): Declining Bark Beetle Densities (*Ips typographus*, Coleoptera: Scolytinae) from Infested Norway Spruce Stands and Possible Implications for Management. *Psyche* Vol.2012
- AUKEMA B.H., CARROLL A.L., ZHU J., RAFFA K.F., SICKLEY T.A., TAYLOR S.W.(2006): Landscape level analysis of mountain pine beetle in British columbia, Canada: spatiotemporal development and spatial synchrony within the present outbreak. *Ecography* 29, pp 427-441
- BAKKE A., (1985): Deploying pheromone-baited traps for monitoring *Ips typographus* populations. *Z. Ang. Ent.* 99, pp 33-39
- BECKER T. (1999): Zunehmender Borkenkäferbefall in zwei fichtenreichen Bannwäldern Baden-Württembergs. *Mitteilungen aus der Biologischen Bundesanstalt für Land- und Forstwirtschaft Berlin-Dahlem*, Heft 362, pp 80-100
- BECKER T., SCHRÖTER H. (2001): Die Ausbreitung des Borkenkäferbefalls im Bereich von Sturmwurf-Sukzessionsflächen. *Berichte Freiburger Forstliche Forschung*, Heft 26
- BOMBOSCH S. (1989): On the role of the tree in relation to colonization by *Ips typographus* L.
In: Baranchikov, Yuri N.; Mattson, William J.; Hain, Fred P.; Payne, Thomas L., eds. *Forest Insect Guilds: Patterns of Interaction with Host Trees*; 1989, pp 347-351
- BOTTERWEG P.F. (1982): Dispersal and flight behavior of the spruce bark beetle *Ips typographus* in relation to sex, size and fat content. *Z. Ang. Ent.* 94, pp 466-489
- BREIMAN, L. (2001). *Random Forests*. *Machine Learning*, 45, 5–32.
- BYERS J.A. (1996): An encounter rate model of bark beetle populations searching at random for susceptible host trees. *Ecological Modelling* 91, pp 57-66
- BYERS J.A. (1999): Effects of attraction radius and flight paths on catch of scolytid beetles dispersing outward through rings of pheromone traps. *Journal of Chemical Ecology* 25/5, pp 985-1005
- BYERS J.A. (2000): Wind-aided dispersal of simulated bark beetles flying through forests. *Ecological Modelling* 125, pp 231-243
- CHRISTIANSEN E., BAKKE A. (1988): The Spruce Bark Beetle of Eurasia. In *Dynamics of Forest Insect Populations*. *Population Ecology* 1988, pp 479-503
- COELN M., NIU Y., FÜHRER E. (1996): Entwicklung von Fichtenborkenkäfern in Abhängigkeit von thermischen Bedingungen verschiedener monataner Waldstufen (Coleoptera: Scolytidae)
- COLOMBARI F., SCHROEDER M.L., BATTISTI A., FACCOLI M. (2013): Spatio-temporal dynamics of an *Ips acuminatus* outbreak and implications for management. *Agricultural and Forest Entomology* 15, pp 34-42
- DAVISON A.C., HINKLEY D.V., YOUNG G.A. (2003): Recent Developments in Bootstrap Methodology. *Statistical Science* 18/2, pp 141-157
- DORMANN C.F., BLASCHKE T., LAUSCH A., SCHRÖDER B., SÖNDGERATH D.(HRSG.) (2004): *Habitatmodelle – Methodik, Anwendung, Nutzen*. Tagungsband zum Workshop 08.-10. Oktober 2003 am UFZ Leipzig. *UFZ-Bereichte* 9/2004
- DUELLI P., STUDER M., NÄF W. (1986): Der Borkenkäferflug außerhalb des Waldes. *J. Appl. Ent.* 102, pp 139-148
- DUELLI P., ZAHRADNIK P., KNIZEK M., KALINOVA B. (1997): Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. *Journal of Applied Entomology* 121, pp 297-303
- DUTILLEUL P., NEF L., FRIGON D. (2000): Assessment of site characteristics as predictors of the vulnerability of Norway spruce (*Picea abies* Karst.) stands to attack by *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae). *J. Appl. Ent.* 124, pp 1-5

- DYMOND C.C., WULDER M.A., SHORE T.L., NELSON T., BOOTS B., RIEL B.G. (2007): Evaluation of risk assessment of mountain pine beetle infestations. Canadian Forest Service, Mountain Pine Beetle Initiative, Working Paper 2007-13
- ELITH J.G., ANDERSON C.H., DUDIK R.P., FERRIER M., GUIZAN A., HIJMANS R.J., HUETTMMANN F., LEATHWICK J.R., LEHMANN A., LI J., LOHMANN L.G., LOISELLE B.A., MANION G., MORITZ C., NAKAMURA M., NAKAZAWA Y., OVERTON J.M.C.C., PETERSON A.T., PHILLIPS S.J., RICHARDSON K.S., SCACHETTI-PEREIRA R., SHAPIRE R., SOBERON R.E., WILLIAMS S., WISZ M.S., ZIMMERMANN N.E. (2006): Novel methods improve prediction of species' distributions from occurrence data. *Ecography* 29, pp 129-151
- ERIKSSON M. (2007): The bark beetle *Ips typographus* (L.) on patches of dead or dying host trees: Estimating the colonization success and the risk of consequential tree deaths. University of Joensuu, Dissertation No.46
- ERIKSSON M., POUTTU A., ROININEN H. (2005): The influence of windthrow area and timber characteristics on colonization of wind-felled spruces by *Ips typographus* (L.). *Forest Ecology and Management* 216, pp 105-116
- FACCOLI, M.(2009): Effect of Weather on *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) Phenology, Voltinism and Associated Spruce Mortality in the Southeastern Alps. *Environmental Entomology* 38/2, pp 307-316
- FACCOLI M., BERNARDINELLI I. (2011): Breeding performance of the second generation in some bivoltine populations of *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) in the south-eastern Alps. *J. Pest Sci* 84, pp 15-23
- FACCOLI M., BERNARDINELLI I. (2014): Composition and Elevation of Spruce Forests Affect Susceptibility to Bark Beetle Attacks: Implications for Forest Management. *Forests* 5, pp 88-102
- FACCOLI, M.; STERGULC, F. (2004). *Ips typographus* (L.) pheromone trapping in south Alps: spring catches determine damage thresholds. *Journal of Applied Entomology* 128: 307–311.
- FACCOLI, M.; STERGULC, F. (2006). A practical method for predicting the short-time trend of bivoltine populations of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae). *J. Appl. Entomol.* 130/1, pp 61-66
- FACCOLI, M.; STERGULC, F. (2006). Can pheromone trapping predict *Ips typographus* outbreaks? An example from the Southern Alps. Oral presentation Proceedings of the IUFRO Symposium, 2006: Biotic damage in Forests
- FAHRMEIR, L., KNEIB, T. UND LANG, S. (2009). *Regression, Statistik und ihre Anwendungen*, 2 edn, Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- FAHSE L., HEURICH M. (2011): Simulation and analysis of outbreaks of bark beetle infestations and their management at the stand level. *Ecological Modelling* 222, pp 1833-1846
- FASSNACHT F.E., LATIFI H., GHOSH A., JOSHI P.K., KOCH B. (2014): Assessing the potential of hyperspectral imagery to map bark beetle-induced tree mortality. *Remote Sensing of Environment* 140, pp 533-548
- FORSSE E., SOLBRECK CH. (1985): Migration in the bark beetle *Ips typographus* L.: duration, timing and height of flight. *Z. ang. Ent.* 100, pp 47-57
- FORSTER B., MEIER F., GALL R., ZAHN C. (2003): Erfahrungen im Umgang mit buchdrucker-Massenvermehrungen (*Ips typographus* L.) nach Sturmereignissen in der Schweiz. *Schweiz. Z. Forstwes.* 154/11, pp 431-436
- FORSTER B., MEIER F. (1990): die Borkenkäfersitiation 1989/90 Buchdrucker, *Ips typographus*. PBMD-Bulletin Oktober 1990
- FÜHRER E., FOPP U. (2001): Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden; *Facultas Vienna*
- FURNISS M.M., FURNISS R.L. (1972): Scolytids (Coleoptera) on snow field above timberline in Oregon and Washington. *Can. Ent.* 104, pp 1471-1478
- GILBERT M., NATELEISEN L-M. FRANKLIN A., GRÉGOIRE J-C. (2005): Post –storm surveys reveal large-scale spatial patterns and influences of site-factors, forest structure and diversity in endemic bark-beetle populations. *Landscape Ecology* 20, pp 35-49
- GRIES G. (1985): Zur Frage der Dispersion des Buchdruckers (*Ips typographus* L.). *Z. ang. Ent.* 99, pp 12-20
- GRODZKI W., JAKUŠ R., LAJZOVÁ E., SITKOVÁ Z., MACZKA T., ŠKVARENINA J. (2006): Effects of intensive versus no management strategies during an outbreak of the bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col.: Curculionidae, Scolytinae) in the Tatra mts. In Poland and Slovakia. *Ann. For. Sci* 63, pp 55-61
- GRODZKI W., TURČANI M., JAKUŠ R., HLÁSNY T., RAŠI R., MCMANUS M.L. (2010): Bark beetles in the Tatra Mountains. *International research 1998-2005 – an overview. Folia Forestalia Polonica, series A, Vol. 52*, pp 114-130
- HART S.J., VEBLEN T.T., KULAKOWSKI D. (2014): Do tree and stand-level attributes determine susceptibility of spruce-fir forests to spruce beetle outbreaks in the early 21st century?. *Forest Ecology and Management* 318, pp 44-53

- HAWKES C. (2009): Linking movement behaviour, dispersal and population processes: is individual variation a key? *Journal of Animal Ecology* 78, pp 894-906
- HAYES, C.J.; FETTIG, C.J.; MERRILL, L.D. (2009). Evaluation of multiple funnel traps and stand characteristics for estimating Western pine beetle-caused tree mortality. *Journal of Economical Entomology* 102: 2170–2182.
- HEDGREN P.O. (2002): Dead Wood Retention and the Risk of Bark Beetle Attack. Doctoral Thesis Swedish University of Agricultural Sciences, Uppsala 2002
- HEURICH M., FAHSE L., LAUSCH A., (2003): Modelluntersuchungen zur raum-zeitlichen Dispersion von Buchdruckern (*Ips typographus*) im Nationalpark Bayerischer Wald. Beiträge zum AGIT-Symposium, Salzburg, 01/2003 (Angewandte Geographische Informationsverarbeitung)
- HEURICH M., OCHS T., ANDRESEN T., SCHNEIDER T. (2010): Object-orientated image analysis for the semi-automatic detection of dead trees following a spruce bark beetle (*Ips typographus*) outbreak. *Eur. J. Forest Res* 129, pp 313-324
- HINTERDING A., MÜLLER A., GERLACH N., GABEL F. (2003): Geostatistische und statistische Methoden und Auswertungsverfahren für Geodaten mit Punkt- bzw. Flächenbezug, Teil 1
- Abschlussbericht des Instituts für Geoinformatik der Westfälischen Wilhelms-Universität Münster
- HLÁSNY T., TURČÁNI M. (2013): Persisting bark beetle outbreak indicates the unsustainability of secondary Norway spruce forests: case study from Central Europe. *Annals of Forest Science* 70, pp 481-491
- HLÁSNY T., VIZI L., TURČÁNI M., KOREŇM., KULLA L., SITKOVÁ Z. (2009): Geostatistical simulation of bark beetle infestation for forest protection purposes. *Journal of Forest Science* 55, pp 518-525
- HLÁSNY T., ZAJÍČKOVÁ M., TURČÁNI M., HOLUŠA J., SITKOVÁ Z. (2011): Geographical variability of spruce bark beetle development under climate change in the Czech Republic., *Journal of Forest Science* 57, pp 242-249
- HOCH G., MENSCHHORN P., KREHAN H. (2013): Ausbreitung des Buchdruckers, *Ips typographus*, von einem großen Holzlager in umliegende Waldgebiete., *Forstschutz Aktuell* 57/58, pp 3-8
- HOTHORN T., MÜLLER J., SCHRÖDER B., KNEIB T., BRANDL R. (2011): Decomposing environmental, spatial and spatiotemporal compounds of species distribution. *Ecological Monographs* 81/2, pp 329-347
- HÜBERTZ H., LARSEN R., BEJWER B. (1991): Monitoring Spruce Bark Beetle (*Ips typographus* L.) Populations under None-epidemic Conditions. *Scand. J. For. Res.* 6, pp 217-226
- HURLING R. (2000): Ein Modell zur rechnerischen Rückverteilung unregelmäßiger Fangdaten am Beispiel der Flugaktivitäten des Buchdruckers *Ips typographus* L. (Col., Scolytidae) in einem Massenwechselgebiet des Nationalpark Harz. *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 12, pp 55-59
- INTERGRAPH (2015). IMAGINE Photogrammetry. A complete suite of photogrammetric production tools. Online (Stand: 19.02.2015): http://www.geosystems.de/2014/IMAGINE_Photogrammetry_2014_Brochure.pdf
- JACKSON P.L., STRAUSSFOGEL D., LINDGREN B.S., MITCHELL S., MURPHY B. (2007): Radar observation and aerial capture of mountain pine beetle, *Dendroctonus ponderosae* Hopk. (Coleoptera: Scolytidae) above the forest canopy. Mountain Pine Beetle Working Paper 2007-02
- JAKUŠ R., GRODZKI W., JEŽÍK M., JACHYM M. (2003): Definition of Spatial Patterns of Bark Beetle *Ips typographus* (L.) Outbreak Spreading in Tatra Mountains (Central Europe), Using GIS. *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects*, pp25-32
- JAKUŠ R., ZAJÍČKOVÁ L., CUDLIN P., BLAŽENEC M., TURČÁNI M., JEŽÍK M., LIEUTIER F., SCHLYTER F. (2011): Landscape-scale *Ips typographus* stack dynamics: from monitoring plots to GIS-based disturbance models. *Iforest* 4, pp 256-261
- KÄRVEMO S., VAN BOECKEL T.P., GILBERT M., GRÉGOIRE J.-C., SCHROEDER M. (2014): Large-scale risk mapping of an eruptive bark beetle – Importance of forest susceptibility and beetle pressure., *Forest Ecology and Management* 318, pp 158-166
- KAUSRUD K., ØKLAND B., SKARPAAS O., GRÉGOIRE J.-C., ERBILGIN N., STENSETH N.CH. (2012): Population dynamics in changing environments: the case of an eruptive forest pest species. *Biological Reviews* 87, pp 34-51
- KAUTZ M. (2014): on correcting the time-lag bias in aerial-surveyed bark beetle infestation data. *Forest Ecology and Management* 326, pp 157-162
- KAUTZ M., DÜLL J., OHSER J. (2011): Spatial dependence of random sets and its application to dispersion of bark beetle infestation in a natural forest. *Image Anal Stereol* 30, pp 123-131

- KAUTZ, M.; DWORSCHAK, K.; GRUPPE, A., SCHOPF, R. (2011): Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. *Forest Ecology and Management* 262: 598–608.
- KAUTZ M., SCHOPF R., IMRON M.A. (2014): Individual traits as drivers of spatial dispersal and infestation patterns in a host-bark beetle system. *Ecological Modelling* 273, pp 264-276
- KAUTZ, M.; SCHOPF, R.; OHSER, J. (2013): The „sun-effect“: microclimatic alterations predispose forest edges to bark beetle infestations. *European Journal of Forest Research* 132: 453–465.
- KOTZE D.J., O'HARA R.B., LEHVÄVIRTA S. (2012): Dealing with Varying Detection Probability, Unequal Sample Sizes and Clumped Distributions in Count Data. *PloS One* Vol. 7, Issue 7 e40923
- LANGSTRÖM B., LINDELÖW Å., SCHROEDER M., BJÖRKLUND N., ÖHRN P. (2009): The spruce bark beetle outbreak in Sweden following the january storms in 2005 and 2007. IUFRO Forest Insect and Disease Survey in Central Europe; Sept. 2008, Slovakia
- LATIFI H., SCHUMANN B., KAUTZ M., DECH S. (2014): Spatial characterization of bark beetle infestations by a multivariate synergy of SPOT and Landsat imagery; *Environ Monit Assess* 186, pp 441-456
- LAUSCH A. (2003): Raum, Zeit, Struktur und Skala in Habitatmodellen; in „Habitatmodelle - Methodik, Anwendung, Nutzen; Tagungsband zum Workshop am UFZ-Umfeltforschungszentrum Leipzig-Halle
- LAUSCH, A; FAHSE, L.; HEURICH, M. (2011): Factors affecting the spatio-temporal dispersion of *Ips typographus* (L.) in Bavarian Forest National Park: A long-term quantitative landscape-level analysis. *Forest Ecology and Management* 261: 233–245.
- LAUSCH A., HEURICH M., FAHSE L. (2013): Spatio-temporal infestation patterns of *Ips typographus* (L.) in the Bavarian Forest National Park, Germany. *Ecological Indicators* 31, pp 73-81
- LDBV (2015). Digitales Geländemodell 1 (DGM 1) aus Laserscanning. Produktinformation der Bayerischen Vermessungsverwaltung. Online (Stand: 19.02.2015): http://vermessung.bayern.de/geobasis_lvg/gelaendemodell/DGM1.html
- LEWIN-KOH & BIVAND (2015): Package 'mapproj'. Tools for reading and handling spatial objects. Version 0.8-34
- LINDELÖW A., SCHROEDER M. (2001): Spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.), in Sweden: monitoring and risk assessment. *Journal of Forest Science* 47, Special Issue 2, pp 40-42
- LOBINGER, G. (1994): Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Fichtenborkenkäferarten, *Ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. (Col., Scolytidae), *Anz. Schädlingskde., Pflanzenschutz, Umweltschutz* 67, 14 - 17 (1996).
- LOBINGER, G.; SKATULLA, U. (1996). Untersuchungen zum Einfluß von Sonnenlicht auf das Schwärmverhalten von Borkenkäfern. *Anzeiger für Schädlingskunde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 69: 183–185
- LOGAN J.A., WHITE P., BENTZ B.J., POWELL J.A. (1998): Model Analysis of Spatial Patterns in Mountain Pine Beetle Outbreaks. *Theoretical Population Biology* 53, pp 236-255
- LOHBERGER E. (1993): zur Populationsdynamik von *Ips typographus* L., im Nationalpark Bayerischer Wald: Entstehung und Entwicklung von ausgewählten Befallsflächen im Lusengebiet. Diplomarbeit der Forstwiss. Fakultät der Ludwig-Maximilians-Universität München
- LWF – BERICHT AUS DER BAYER. LANDESANSTALT FÜR WALD UND FORSTWIRTSCHAFT (2000): Zur Waldentwicklung im Nationalpark Bayerischer Wald 1999. LWF Bericht Nummer 25
- MARX A., SAGISCHEWSKI H., SOSSNA I., CHMARA S. (2010): Erkennung von Borkenkäferbefall in Fichtenbeständen mit multi-temporalen RapidEye-Satellitenbildern. *Forst und Holz* 65, pp 36-40
- MEZEI P., GRODZKI W., BLAŽENEC M., ŠKVARENINA J. (2014): Host and site factors affecting tree mortality caused by the spruce bark beetle (*Ips typographus*) in mountainous conditions. *Forest Ecology and Management* 331, pp 196-207
- MÜLLER J., BUSSLER H., GOSSNER M., RETTELBACH T., DUELLI P. (2008): The European spruce bark beetle *Ips typographus* in a national park: from pest to keystone species. *Biodivers Conserv* 17, pp 2979-3001
- NATIONALPARKVERWALTUNG BAYERISCHER WALD:
- Anlageband Walderhaltung- und Waldpflegemaßnahmen
 - Berichte aus dem Nationalpark Heft 7/2012: Waldentwicklung im Nationalpark Bayer. Wald in den Jahren 2006-2011
 - Jahresbericht 2012
 - Luftbildauswertung zur Waldentwicklung im Nationalpark 2001
 - Nationalparkplan: Leitbild und Ziele

- SCHOPF R., KÖHLER U. (1995): Untersuchungen zur Populationsdynamik der Fichtenborkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald.
- Wissenschaftliche Reihe – Heft 14: Wandentwicklung im Bergwald nach Windwurf und Borkenkäferbefall

NELSON T.A.-L. (2005): Spatial and spatial-temporal analysis of Mountain Pine Beetle infestations at a landscape scale. Theses and Dissertations (Comprehensive). Paper 494

NELSON W., POTAPOV A., LEWIS M.A., HUNSDÖRFER A.E., HE F. (2008): Balancing ecological complexity in predictive models: a reassessment of risk models in the mountain pine beetle system. *Journal of Applied Ecology* 45, pp 248-257

NETHERER S. (2003): Modelling of bark beetle development and of site-and stand-related predisposition to *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae), a Contribution to risk assessment; Diss. Univ. für Bodenkultur Wien

NETHERER S., HENSCHKE P., MATTHEWS B., SCHOPF A. (2014): Modelling dynamic predisposition to attacks by the Eurasian spruce bark beetle (*Ips typographus* L. 1758) A drought-stress experiment (ROSALIA ROOF PROJECT). *Mitt. Dtsch. Ges. Allg. Angew. Ent.* 19, pp 93-96

NETHERER, S.; NOPP-MAYR, U. (2005): Predisposition assessment systems (PAS) as supportive tools in forest management – rating of site and stand-related hazards of bark beetle infestation in the High Tatra Mountains as an example of system application and verification. *Forest Ecology and Management* 207: 99–107.

NETHERER S., PENNERSTORFER J., BAIER P., FÜHRER E., SCHOPF A. (2013): Monitoring and Risk Assessment of the Spruce Bark Beetle, *Ips typographus*. *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects*, pp 75-79

NIELSEN M.M., HEURICH M., MALMBERG B., BRUN A. (2014): Automatic Mapping of Standing Dead Trees after an Insect Outbreak Using the Windwo Independent Context Segmentation Method. *Journal of Forestry* 112

NIEMEYER H. (1992): Monitoring *Ips typographus* and *Pityogenes chalcographus* (Col., Scolytidae) in Lower Saxony and Schleswig-Holstein. *J. Appl. Ent.* 114, pp 98-102

NIKOLOV CH., KONÔPKA B., JAJBA M., GALKO J., KUNCA A, JANSKY L. (2014): Post-disaster Forest Management and Bark Beetle Outbreak in Tatra National Park, Slovakia. *Mountain Research and Development* Vol, 34 No. 4, pp 326-335

O'HARA R.B., KOTZE D.J. (2010): Do not log-transform count data. *Methods in Ecology and Evolution* 1, pp 118-122

ØKLAND B., BERRYMAN A. (2004): Resource dynamic plays a key role in regional fluctuations of the spruce bark beetles *Ips typographus*. *Agricultural and Forest Entomology* 6, pp 141-146

ORTIZ S.M., BREIDENBACH J., KÄNDLER G. (2013): Early Detection of Bark Beetle Green Attack Using TerraSAR-X and RapidEye Data. *Remote Sens.* 5, pp 1912-1931

OSBORNE, FOODY, SUÁREZ-SEOANE (2007): Non-stationarity and local approaches to modelling the distributions of wildlife. *Diversity and Distributions* 13, pp 313-323

PELTONEN M. (1999): Windthrows and Dead-standing Trees as Bark Beetle Breeding Material at Forest-clearcut Edge. *Scand. J. For. Res.* 14, pp 505-511

OTTO L.F., SCHREIBER J. (2001): Spatial patterns of the distribution of trees infected by *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) in the National Park "Sächsische Schweiz" from 1996 to 2000. *Journal of Forest Science* 47, Special Issue No.2, pp 139-142

OVERBECK, M. UND M. SCHMIDT (2012). Modelling infestation risk of Norway spruce by *Ips typographus* (L.) in the Lower Saxon Harz Mountains (Germany). *Forest Ecology and Management* 226, pp 115-125.

PELTONEN M., LIEBHOLD A.M., BJØRNSTAD O.N., WILLIAMS D.W. (2002): Spatial Synchrony in Forest Insect Outbreaks: Roles of Regional Stochasticity and Dispersal. *Ecology* 83 (11), pp 3120-3129

RAFFA K.F., AUKEMA B.H., BENTZ B.J., CARROLL A.L., HICKE J.A., TURNER M.G., ROMME W.H. (2008): Cross-scale Drivers of Natural Disturbances Prone to Anthropogenic Amplification: The Dynamics of Bark Beetle Eruptions. *BioScience* 58/6, pp 501-517

RAVN R. (1985): Expansion of the populations of *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytidae) and their local dispersal following gale disaster in Denmark. *Z. ang. Ent.* 99, pp 26-33

ROBERTSON C., NELSON T.A., BOOTS B. (2007): Mountain Pine Beetle Dispersal: The Spatial-Temporal Interaction of Infestations. *Forest Science* 53/3, pp 395-405

SANDERS W. (1984): Ein Beitrag zum Verhalten des Buchdruckers *Ips typographus* L. während der Flugphase. *Anz.Schädlingskde, Pflanzenschutz, Umweltschutz* 57, pp 131-134

- SCHLYTER F., LUNDGREN U. (1993): Distribution of a Bark Beetle and its Predator within and outside Old Growth Forest Reserves: No Increase of Hazard Near Reserves. *Scand. J. For. Res.* 8, pp 246-256
- SCHOPF, A. (2008): Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Gesäuse. Projekt-Endbericht, BOKU Wien, S.11-12, 86.
- SCHOPF, R.; KÖHLER, U. (1995) Untersuchungen zur Populationsdynamik der Fichtenborkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald, Herausgeber: Nationalparkverwaltung Bayerischer Wald, 88-110
- SCHROEDER, L.M.. (2001): Tree mortality by the bark beetle *Ips typographus* (L.) in storm-disturbed stands. *Integrated Pest Management Reviews* 6: 169–175.
- SCHROEDER, L.M.. (2010). Colonization of storm gaps by the spruce bark beetle: influence of gap and landscape characteristics. *Agricultural and Forest Entomology* 12, pp 29-39
- SCHROEDER L.M., LINDELÖW A. (2002): Attacks on living spruce trees by the bark beetle *Ips typographus* (Col., Scolytidae) following a storm-felling: a comparison between stands with and without removal of wind-felled trees
- SHERSTJANOI M., GIMMI U., WOLF A., BUGMANN H. (2010): Windwurf und Borkenkäferepidemien im Alptal nach Vivian und Lothar. *Schweiz Z Forstwes* 161/2, pp 36-44
- SLOBODYAN Y. (1998): Conditions of *Ips typographus* population in the Carpathians – ist methodological study. *Methodology of Forest Insect and Disease Survey in Central Europe. Proceedings from the IUFRO WP 03.10 Workshop, Poland, 1998*
- STADELMANN G., BUGMANN H., MEIER F., WERMELINGER B., BIGLER CH. (2013): Effects of salvage logging and sanitation felling on bark beetle (*Ips typographus* L.) infestations. *Forest Ecology and Management* 305, pp 273-281
- STADELMANN G., BUGMANN H., WERMELINGER B., BIGLER CH. (2014): Spatial interactions between storm damage and subsequent infestations by the Eurasian spruce bark beetle. *Forest Ecology and Management* 318, pp 167-174
- STADELMANN G., BUGMANN H., WERMELINGER B., MEIER F., BIGLER CH. (2013): A predictive framework to assess spatio-temporal variability of infestations by the Eurasian spruce bark beetle. *Ecography* 36, pp 1208-1217
- STRAUB, C., DEES, M., WEINACKER, H., & KOCH, B. (2009). Using airborne laser scanner data and CIR orthophotos to estimate the stem volume of forest stands. *Photogrammetrie Fernerkundung Geoinformation*, 3, 277-287.
- STRAUB CH., SEITZ R. (2012): Möglichkeiten der Schätzung von Bestandesoberhöhen und des Holzvorrats auf der Grundlage von digitalen Stereo-Luftbildern – ein Vergleich mit flugzeuggetragenen Laserscannerdaten. Tagungsband der 32. GIL Jahrestagung 2012 in Weihenstephan
- STRAUB, C. & STEPPER, C. (2013). Projekt E49: Semi-automatische Parameterextraktion aus digitalen Luftbildern (SAPEX-DLB) – Teil II. Zwischenbericht, LWF, Freising, 64 Seiten.
- STRAUB, C., STEPPER, C. & SEITZ, R. (2014). Waldflächenermittlung mithilfe amtlicher Stereo-Luftbilder. *AFZ* 4/2014.
- TEMPERLI CH., BUGMANN H., ELKIN C. (2013): Cross-scale interactions among bark beetles, climate change, and wind disturbances: a landscape modeling approach. *Ecological Monographs* 83/3, pp 383-402
- TURCHIN, P.; ODENDAAL, F.J. (1996). Measuring the effective sampling area of a pheromone trap for monitoring population density of Southern pine beetle (Coleoptera: Scolytidae). *Environmental Entomology* 25: 582–588.
- WASER L.T., GINZLER C., KUECHLER M., BALTSAVIAS E., HURNI L. (2011): Semi-automatic classification of tree species in different forest ecosystems by spectral and geometric variables derived from Airborne Digital Sensor (ADS40) and RC30 data. *Remote Sensing of Environment* 115, pp 76-85
- WEISSBACHER A. (2005): Untersuchungen zur Borkenkäferkalamität im Nationalpark Bayer. Wald. Projektbericht Der Fachhochschule Weihenstephan-Triesdorf
- WERMELINGER B. (2004): Ecology and management of the spruce bark beetle *Ips typographus* – a review of recent research. *Forest Ecology and Management* 202, pp 67-82
- WERMELINGER B., JAKOBY O., STADELMANN G., BIGLER CH., LISCHKE H., MEIER F., BUGMANN H., RIGLING A. (2014): Borkenkäfer als Schlüsselfaktoren der zukünftigen Waldnutzung ? (BarBeeKey). Forschungsbericht Wald und Klimawandel., Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, WSL, Birmensdorf
- WESLIEN J., ANNILA E., BAKKE A., BEJER B., EIDMANN H.H., NARVESTAD K., NIKULA A., RAVN H.P. (1989): Estimating Risks for Spöruce Bark Beetle (*Ips typographus* (L.)) Damage Using Pheromone-baited Traps and Trees. *Scand J. For. Res.* 4, pp 87-98
- WESLIEN J., REGNANDER J. (1990): Colonization densities and offspring production in the bark beetle *Ips typographus* (L.) in standing spruce trees. *J. Appl. Ent.* 109, pp 358-366

WICHMANN L., RAVN H.P. (2001): The spread of *Ips typographus* (L.)(coleoptera, Scolytidae) attacks following heavy windthrow in Denmark, analysed using GIS. *Forest Ecology and Management* 148, pp 31-39

WOOD (2015): Package 'mgcv', Version 1.8-4.

WULDER, M.A.; WHITE, J.C.; CARROLL, A.L.; COOPS, N.C. (2009): Challenges for the operational detection of mountain pine beetle green attack with remote sensing. *The Forestry Chronicle* 85: 32–38.

WULDER, M.A.; WHITE, J.C.; COGGINS, S.; ORTLEPP, S.M.; COOPS, N.C.; HEATH, J; MORA, B. (2012). Digital high spatial resolution aerial imagery to support forest health monitoring: the mountain pine beetle context. *Journal of Applied Remote Sensing* 6: 062527.

YAMAMURA K., KISHITA M., ARAKIKI N., KAWAMURA F., SADOYAMA Y. (2003): Estimation of dispersal distance by mark-recapture experiments using traps: correction of bias caused by the artificial removal by traps. *Pupul. Ecol.* 45, pp 149-155

ZHANG Q.-H. (2003): Interruption of aggregation pheromone in *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytidae) by non-host bark volatiles. *Agricultural and Forest Entomology* 5, pp 145-153

ZIELEWSKA K., ALDINGER E. (2013): Totholz- und Walddynamik im Bannwald Wilder See. *AFZ-erWald* 8, pp 9-11

ZOLUBAS P., NEGRON J., MUNSON A.S. (2009): Modelling Spruce Bark Beetle Infestation Probability. *Baltic Forestry* 15/1, pp 23-27

ZUUR A.F., IENO E.N., ELPHICK CH.S. (2010): A protocol for data exploration to avoid common statistical problems. *Methods in Ecology and Evolution* 1, pp 3-14