

StartClim2011.A

**Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf
Vollinismus und Ausbreitung des Buchdruckers,
Ips typographus, im alpinen Raum**

**Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und
Forstschutz**



Universität für Bodenkultur Wien
Department für Wald- und Boden-
wissenschaften

Projektleitung: Univ.Prof. Dr.phil. Axel Schopf

Projektmitarbeiterinnen: DI Emma Blackwell, DI Veronika Wimmer

Diese Publikation sollte folgendermaßen zitiert werden:

Schopf, A., Blackwell, E., Wimmer, V. (2012): Untersuchungen zum Einfluss des Klimas auf Volutinismus und Ausbreitung des Buchdruckers, *Ips typographus*, im alpinen Raum. Endbericht von StartClim2011.A in StartClim2011: Anpassung an den Klimawandel in Österreich: Themenfeld Wald. Auftraggeber: BMLFUW, BMWF, ÖBf.

Wien, im Oktober 2012

StartClim2011.A

Teilprojekt von StartClim2011

Projektleitung von StartClim2011:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien

URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>

StartClim2011 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMWF und der ÖBf gefördert.

Inhaltsverzeichnis

Kurzfassung	5
A-1 Einleitung	6
A-2 Material und Methoden	8
A-2.1 Untersuchungsgebiet	8
A-2.2 Datengrundlage und verwendete Modelle	8
A-2.3 Experimente zum Ausbreitungsverhalten von <i>Ips typographus</i>	9
A-3 Ergebnisse	11
A-3.1 Monitoring des jährlichen Neubefalls/ Klimadatenanalyse	11
A-3.2 Prädispositionsabschätzung	12
A-3.3 Veränderungen in der Generationsentwicklung von <i>Ips typographus</i> bei prognostizierter Klimaerwärmung	16
A-3.4 Klimadaten	19
A-3.5 Modell PHENIPS	21
A-3.6 Schwärmverlauf <i>Ips typographus</i> (Fallen-Monitoring „Hundsau“ 2012)	22
A-3.7 Experimente zum Ausbreitungsverhalten von <i>Ips typographus</i>	23
A-3.7.1 Schwärmverlauf und Fang markierter <i>Ips typographus</i>	24
A-3.7.2 Fangrate - Ergebnisse der Photo-Eklektoren	26
A-3.7.3 Entfernung der markierten, gefangenen Käfer von der Ausschlüpfstelle	27
A-3.7.4 Anzahl geschlüpfter und arretierter Käfer in den markierten Stämmen	28
A-4 Diskussion	29
A-5 Literaturverzeichnis	32
A-6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis	33

Kurzfassung

Ziel dieser Studie war, in einem überschaubaren Kar des Wildnisgebietes Dürrenstein („Hundsau“) den Einfluss von kleinklimatischen Standorts- und Bestandesbedingungen auf die Dynamik der Populationsdichte des Buchdruckers *Ips typographus* und sein Ausbreitungsverhalten ohne Störung durch forstwirtschaftliche Schutzmaßnahmen zu erheben. Die Ergebnisse der retrospektiven Analyse der Jahre 2003-2011 zeigen, dass hohe Schadholzmengen durch Borkenkäferbefall in dem Untersuchungsgebiet nur nach Extremereignisse auftraten, dagegen kein direkter oder zeitlich verzögert wirkender Zusammenhang zwischen Temperaturbedingungen und der Neubefallsrate von Bäumen besteht. Für die Prädisposition des Wildnisgebietes Dürrenstein gegenüber Borkenkäferbefall ist seitens des Standorts die Geländemorphologie und Schneebruchgefährdung, seitens des Bestandes der Fichtenanteil, das Bestandesalter sowie die Sturmgefährdung entscheidend. Mehr als 50 % aller markierten Buchdrucker wurden im Umkreis von 100 m, 93 % in einem Radius von 500 m um die Schlüpfstelle der Käfer gefangen. Obwohl die Monatsmitteltemperaturen von Mai bis August 2012 um 1,8°C über dem Normalwert von 1971-2000 lagen (Klimastation Mariazell), entwickelte sich im Untersuchungsgebiet nur eine Generation des Buchdruckers inklusive Geschwisterbrut. Inwieweit eine für dieses Gebiet prognostizierte Temperaturzunahme von +1,1°- 2°C (2021-2050) bzw. +3°- 3,9°C (2050-2071) die bis dato vorherrschende univoltine Entwicklung des Buchdruckers wirklich beeinflusst, bedarf weiterer Untersuchungen.

Abstract

The aim of this study was to investigate the influence of microclimatic site and stand conditions on the dynamics of population density of the spruce bark beetle *Ips typographus* in a valley end of the Wilderness Area Dürrenstein. The results of the retro perspective analysis from the years 2003-2011 show that high amounts of trees killed by bark beetles only occurred after extreme events and that there was no direct or delayed relationship between temperature conditions and new infestations of trees. The site variables geomorphology and snowbreakage, as well as the stand variables proportion of spruce, stand age and storm hazard were crucial for the predisposition of the Wilderness Area Dürrenstein towards bark beetle infestations. More than 50 % of all marked bark beetles were recaptured within a radius of 100 m from the hatching site. 93 % were recaptured within a radius of 500 m. Although the mean monthly temperatures from May to August 2012 were 1,8°C above the climate normal period of 1971-2000 (climatic station Mariazell), only one generation with one sister brood developed in the study area. The extent to which the areas predicted temperature increase of +1.1°- 2°C (2021-2050) and +3°- 3.9°C (2050-2071) will influence the until now predominantly univoltine development of *Ips typographus* requires further investigation.

A-1 Einleitung

Massenvermehrungen des Buchdruckers (*Ips typographus*) stellen derzeit für die fichtendominanten Wälder in Mitteleuropa das größte forstwirtschaftliche Problem dar. Obwohl diese Borkenkäfer-Art, wie alle rindenbrütenden Arten, prinzipiell zu den sekundären Forstschädlingen gehört, ist sie bei hohen Populationsdichten imstande, auch gesunde Bäume durch Massenbefall für ihre weitere Vermehrung zu nutzen (Abb. A- 1). Voraussetzung für das Erreichen solcher hohen Populationsdichten ist zunächst jedoch eine ausreichende Menge an bruttauglichem Material, d.h., das Vorkommen einer hohen Anzahl frisch abgestorbener oder stark gestresster Bäume, wie sie häufig nach Sturm-, Schneebruch- oder Lawinenereignissen auftreten. In Folge können dann warme und trockene Witterungsbedingungen einen raschen Anstieg der Käferpopulation ermöglichen. Neben der hohen Vermehrungskapazität der Käferart selbst sind es hauptsächlich klimatische Bedingungen, die die Anzahl der möglichen Käfergenerationen im Jahr (Voltinismus der Käferart) und somit das Zustandekommen hoher Populationsdichten des Insekts beeinflussen. Allerdings ist für den Buchdrucker in hohen nördlichen Breitengraden bekannt, dass die Populationen zumeist aus univoltinen Individuen bestehen, die nach Erreichen des Adultstadiums in der ersten Generation unabhängig von der Witterung erst eine mehrmonatige Kühlperiode durchlaufen müssen, bevor sie nach anschließender Erwärmung wieder ihre Fortpflanzungstätigkeit aufnehmen (Annala, 1969). Andererseits zeigen Untersuchungen über die enormen Mengen an Schadholzanfall im alpinen Raum während der letzten Jahrzehnte, dass in Käferpopulationen bis zur Baumgrenze bereits ähnliche multivoltine Individuen vorherrschen wie sie von Tieflandpopulationen bekannt sind (Baier et al. 2007).

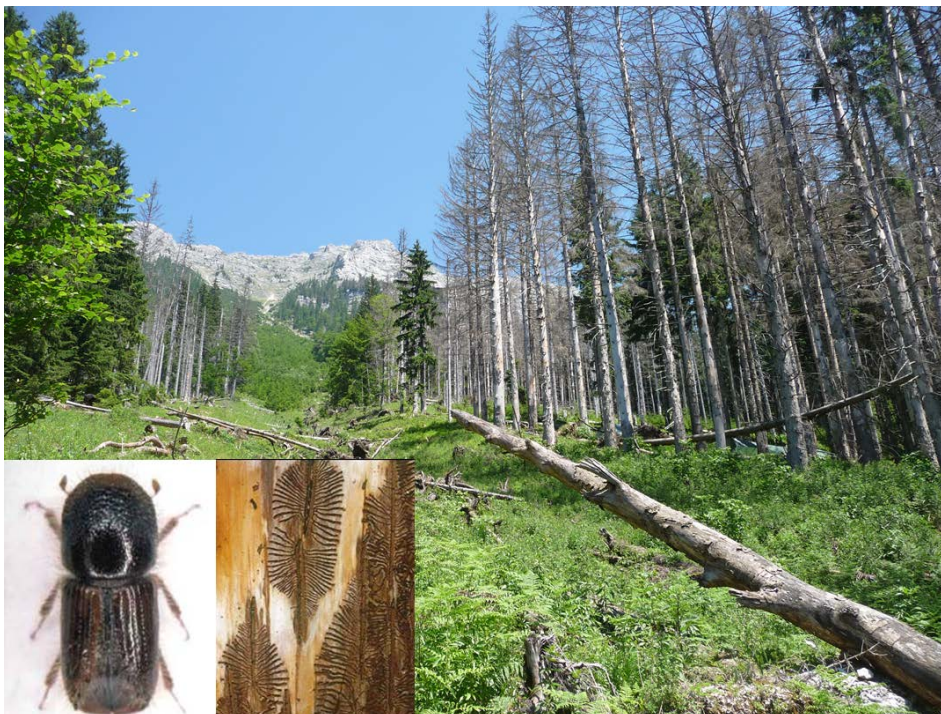


Abb. A-1: Abgestorbene Fichten in Folge einer Massenvermehrung des Buchdruckers im Wildnisgebiet Dürrenstein „Hundsaugraben“ neben einer Lawinenfläche von 2009; Links im Bild das Imago und Brutsystem des Buchdruckers *Ips typographus*.

Für die Abschätzung des Risikos von Borkenkäfer-Massenvermehrungen und das Einleiten von rechtzeitigen Bekämpfungsmaßnahmen ist speziell in unwegsamen Gebieten des alpinen Raums einerseits die Kenntnis über die Entwicklungs- und Ausbreitungsmöglichkeiten der Käferpopulation von entscheidender Bedeutung. Andererseits trägt die Störungsanfälligkeit des Standorts und der Bestände hinsichtlich des Auftretens extremer Witterungsereignisse (Prädisposition) wesentlich zu der Situation bei, dass z.B. nach Sturmereignissen hohe Mengen an bruttauglichem Material für die Käfervermehrung zur Verfügung stehen (Netherer & Nopp-Mayr 2005).

Ziel dieser Studie war es, den Einfluss von kleinklimatischen Standorts- und Bestandesbedingungen auf die Dynamik der Populationsdichte des Buchdruckers und sein Ausbreitungsverhalten in einem überschaubaren Kar des Wildnisgebietes Dürrenstein („Hundsau“) ohne Störung durch forstwirtschaftliche Schutzmaßnahmen zu erheben. Dazu diente einerseits eine retrospektive Analyse der Populationsdichte des Käfers, in der die Anzahl der käferbefallenen Fichten während der Jahre 2002-2011 mit den entwicklungsbeeinflussenden klimatischen Faktoren (Temperatur und Einstrahlungsintensität) sowie den für den Befall ausschlaggebenden prädisponierenden Faktoren des Standortes und der Bestände verglichen wurde. Andererseits wurde in Abhängigkeit von lokalen Witterungsbedingungen die Ausbreitung des Buchdruckers von einem Brutbaum aus mit Hilfe der Fangwirkung konzentrisch angeordneter Lockstofffallen (Pheromonfallen) untersucht. Letztendlich dienten auch die aus dem Projekt gewonnenen Erkenntnisse dazu, ein Szenario über die Ausbreitung des Käfers bei einer prognostizierten Klimaerwärmung von +1,6°C bzw. +3,4°C zu simulieren.

A-2 Material und Methoden

A-2.1 Untersuchungsgebiet

Das Wildnisgebiet Dürrenstein liegt im Südwesten Niederösterreichs an der niederösterreichisch - steirischen Landesgrenze im Bereich des 1.878 m hohen Dürrensteins. Die Jahresdurchschnittstemperaturen betragen 3,9°C bei einer jährlichen Niederschlagsmenge von bis zu 2.300 mm.

Die Wälder des Gebietes entsprechen der typischen Vegetation der Gebirge der nördlichen Kalkalpen. Das Untersuchungsgebiet befindet sich in einem südlich vom Dürrenstein, in West-Ostrichtung gelegenen Kar, das nach Osten hin durch einen Berggrücken (Sperriedl, 1.500 -1.600m) abgeschlossen wird (siehe Abb. A-2).

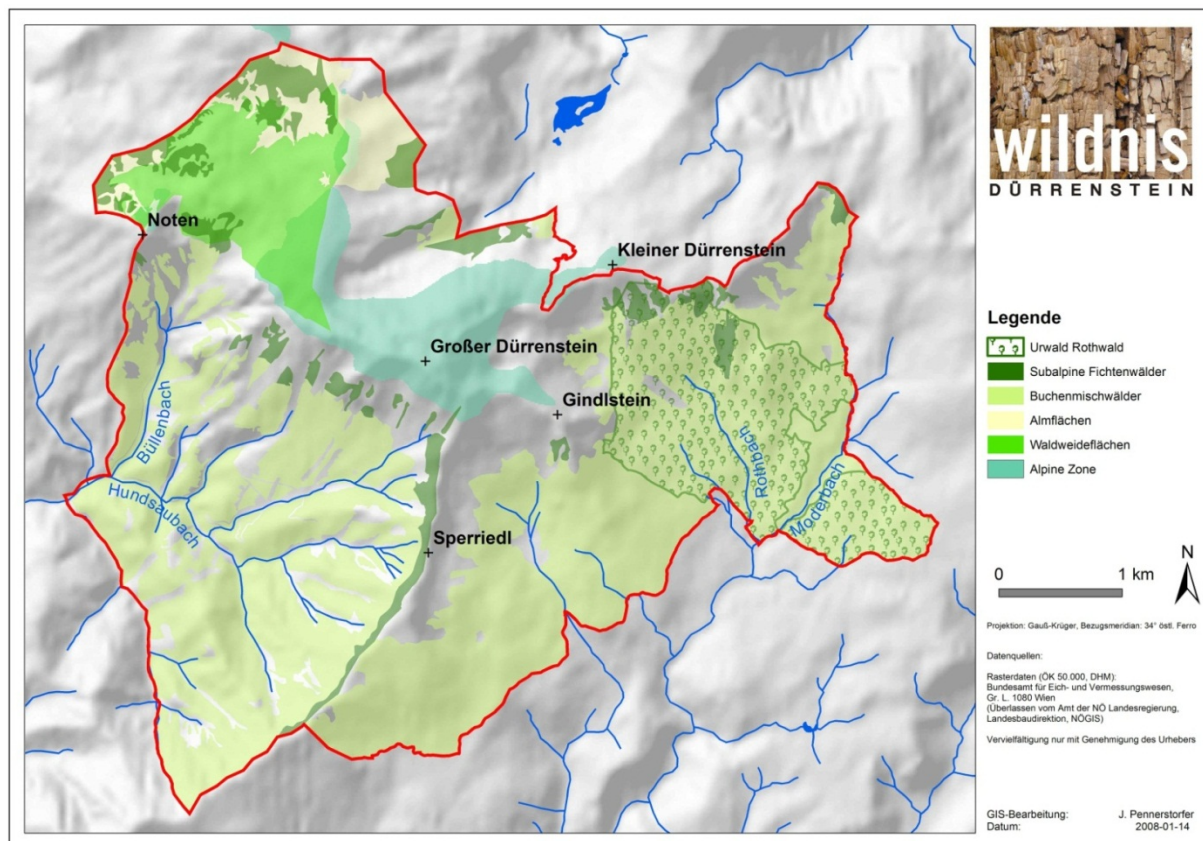


Abb. A-2: Wildnisgebiet Dürrenstein.

A-2.2 Datengrundlage und verwendete Modelle

Als Grundlage für die Berechnung der potentiellen Entwicklungsverlaufs des Buchdruckers in den Jahren 2003-2011 diente das für den Borkenkäfer entwickelte Phänologiemodell PHENIPS (Baier et al. 2007). Die Berechnung der für den Käfer verwertbaren effektiven Temperatursummen im Bastbereich der Fichte erfolgte bis 2009 über Lufttemperatur- und Einstrahlungsdaten, die an der nahegelegenen Klimastation in Lunz am See gemessen wurden. Ab 2009 stand eine eigene Klimastation im Untersuchungsgebiet zur Verfügung. Um den Zusammenhang zwischen Klimabedingungen eines Jahres oder Vorjahres mit der Populationsdynamik des Buchdruckers zu analysieren, wurden erstere mit der Zunahme der durch Borkenkäferbefall abgestorbenen Bäume korreliert.

Die Abschätzung der Prädisposition von Standort und Beständen erfolgte mit Hilfe des Prädispositionsmodells PAS (Netherer & Nopp-Mayer 2005) anhand der von den ÖBf zur Verfügung gestellten Operatsdaten (3788 Rasterzellen von 30x30m, von denen während der neun Untersuchungsjahre 423 Befall durch den Buchdrucker aufwiesen).

Für die Berechnung der potentiellen Entwicklung und der Ausbreitungsszenarien des Buchdruckers unter veränderten Klimabedingungen dienten die regionalen Klimamodelle (RCM) Aladin, PROMES und RegCM3. Die Szenarien wurden im Rahmen des Projektes „CC-WaterS- Climate Change and Impact on Water Supply“ (Baier 2011) erarbeitet und beziehen sich somit auf die Region Wildalpen/Hochschwab. Da diese sich in der unmittelbar benachbarten Region des Wildnisgebietes befinden sind die Szenarien auf dieses übertragbar.

A-2.3 Experimente zum Ausbreitungsverhalten von *Ips typographus*

Zur Durchführung der Untersuchungen über das Ausbreitungsverhalten der Käfer wurde ein Fangbaum für das Auffangen überwinternder Parentalkäfer verwendet, aus dem nach Befall 12 Stammstücke à 1,5 m geschnitten und die Rinde mit einem fluoreszierenden Farbstoff behandelt wurde (Abb. A-3). Anschließend erfolgte die Errichtung eines „Schutzzeltes“ über die markierten Stammabschnitte, um ein Abregnen der Farbe in der Folge zu verhindern. Je Abschnitt (unten/mitte/oben) wurde zusätzlich ein Stammstück in eine Photo-Elektoren Box gelegt, um den Ausschluß der Käfer je Rindenfläche auch zeit- und mengenmäßig abschätzen zu können. Die Aufwandmenge Farbpulver pro Rindenfläche wurde zuvor im Labor in einem Vorversuch ermittelt, um sicherzustellen, dass die Markierung der Käfer mit dem Farbpulver für die Wiedererkennung unter einer UV-Lampe ausreichend und annähernd gleichmäßig ist.



Abb. A-3: Versuchsaufbau: 4 markierte Stammstücke des oberen Stammabschnittes mit Photo-Elektoren und entsprechendem Schutz vor Regen. Wildnisgebiet Dürrenstein, „Hundsau“.

Zu Vegetationsbeginn (24.4.2012) wurden im „Hundsaugraben“ insgesamt 11 Pheromonfallen (Lockstoff: Ipsowit[®]) aufgestellt um einerseits ein Monitoring über die Versuchsdauer zu erhalten und andererseits Buchdrucker im Zuge des Markierungsversuches einzufangen (1a – 11a). Durch die witterungsbedingte Zugänglichkeit des Gebietes wurden am 20.6.2012 weitere 12 Pheromonfallen auf der anderen Seite des Sperrriedls an der Grenze des Schutzgebietes (1b- 7b) und weitere 5 Fallen in der Forstverwaltung Langau aufgestellt (8b – 12 b). Die Absammlung der Pheromonfallen erfolgte mindestens einmal pro Kalenderwoche.

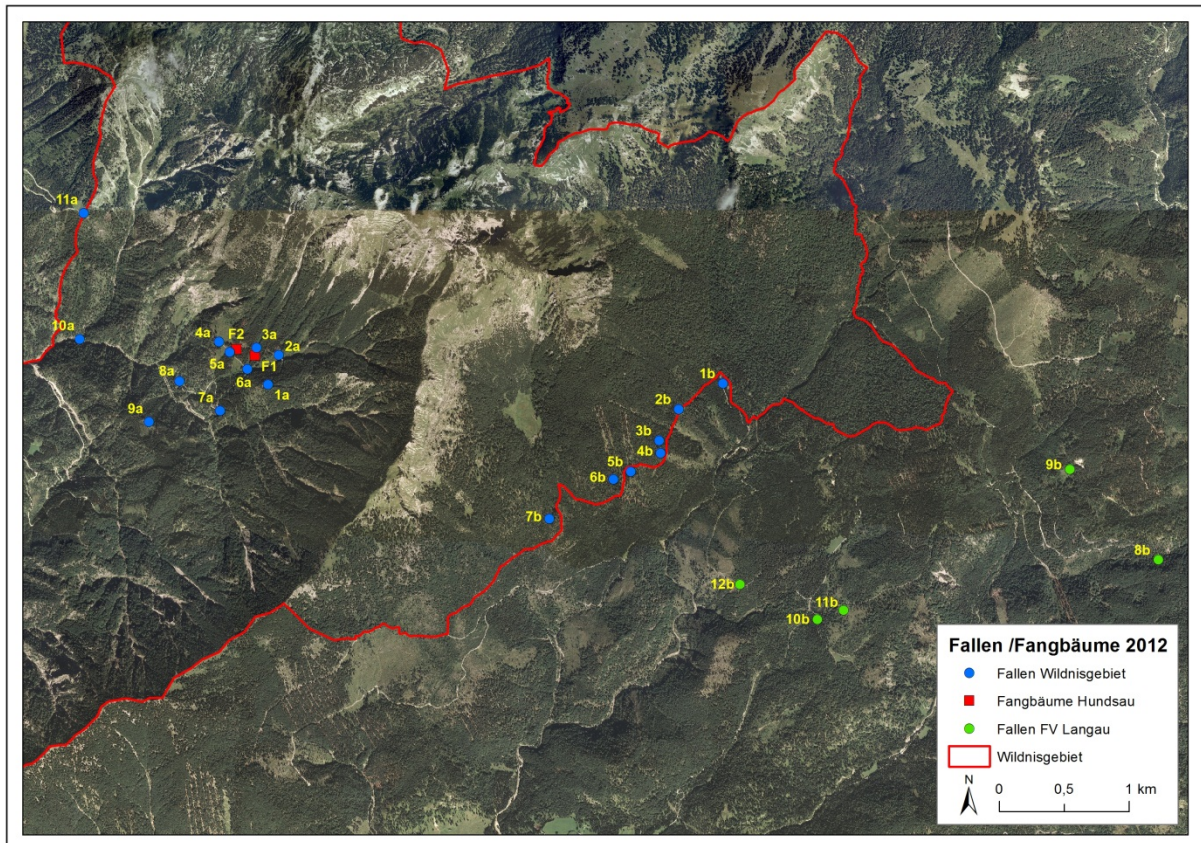


Abb. A-4: Fallenstandorte im Untersuchungsgebiet.

Somit konnten die sich beim Ausschlüpfen selbst markierenden Käfer nach Fang in den in unterschiedlichen Abständen um die Ausschlüpfstelle installierten Pheromonfallen (siehe Abb. A-4) eindeutig identifiziert und damit ihre Ausbreitungsrichtung und – Entfernung festgestellt werden.

Mit Hilfe einer an der Ausschlüpfstelle angebrachten Klimamessstation wurden die Fallenfänge mit den während der Schlüpfphase herrschenden Wind -und Temperaturbedingungen verglichen.

A-3 Ergebnisse

A-3.1 Monitoring des jährlichen Neubefalls/ Klimadatenanalyse

Die Anzahl frisch befallener Bäume (2002: n=136) verringerte sich im Folgejahr trotz des warmen Sommers 2003 um 10 % und betrug 2005 lediglich nur mehr 19 % der Ausgangsmenge. 2006 wurde nur noch ein Baum befallen. Nach dem Sturmereignis "Kyrill" im Frühjahr 2007 fiel in ganz Österreich sehr viel Schadholz an, obwohl im Aufnahmegebiet "Hundsau" nur wenig Windwürfe vermerkt wurden. Somit kam es im gleichen und im folgenden Jahr nur zu einer leichten Zunahme an befallenen Bäumen in diesem Gebiet. Enorm war jedoch der Schadholzanfall nach dem Lawinenergebnis im Februar 2009, welches eine Schneise von ca. 50 m Breite mitten durch einen südexponierten Fichten-Altbestand riss und einen Neubefall von 552 Bäumen noch im gleichen Jahr bewirkte. Während ein Rückgang in der angefallenen Schadholzmenge bereits 2010 beobachtet werden konnte, betrug diese zwei Jahre nach dem Lawinenergebnis nur mehr 30 % des 2009 erreichten Wertes (Tabelle A-1, Abb. A-5).

Tab. A-1: Anzahl befallener Bäume pro Jahr

Jahr	Anzahl befallener Bäume
2003	123
2004	117
2005	26
2006	1
2007	18
2008	19
2009	552
2010	472
2011	158

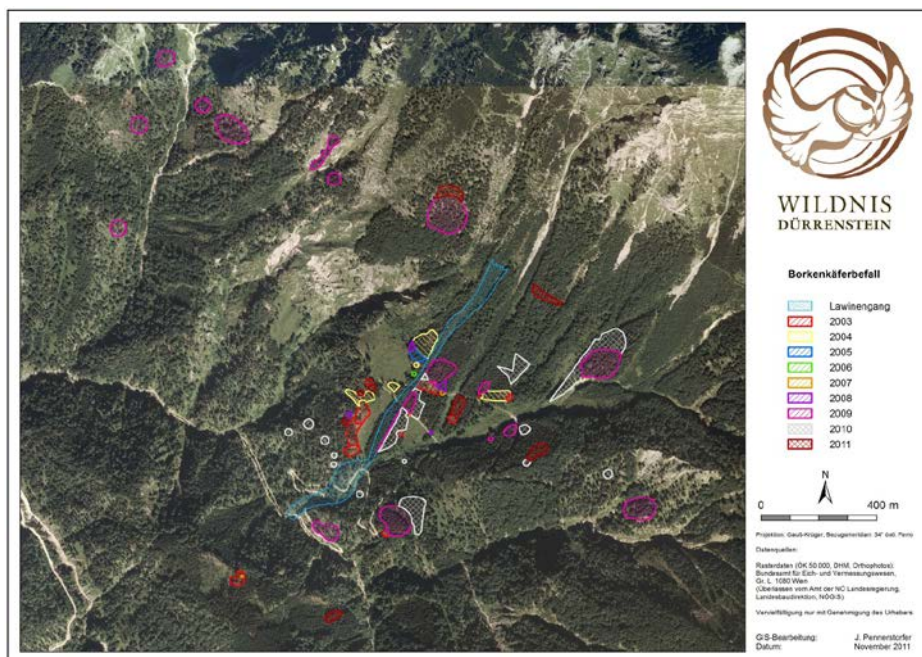


Abb. A-5: Flächen mit Borkenkäferbefall in den Jahren 2003-2011 und Lawinenabgang 2009.

Die aus den Einstrahlungs- und Lufttemperaturdaten mit Hilfe des Phänologiemodells PHENIPS errechneten spezifischen Temperatursummen für die Entwicklung des Buchdruckers und der Anzahl möglicher Generationen/Jahr, zeigten keinen direkten oder zeitlich verzögerten Zusammenhang mit der jährlich entstandenen Schadholzmenge. (Abb. A-6). Auch nach dem „Extremsommer 2003“ war 2004 keine Zunahme an befallenen Bäumen festzustellen.

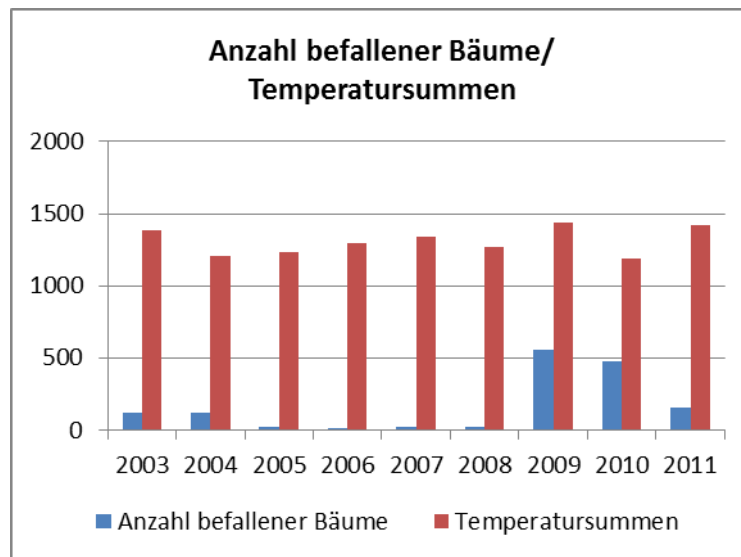


Abb. A-6: Vergleich der Anzahl befallener Bäume und der jährlich für die Buchdrucker-Entwicklung verfügbaren Temperatursummen in den Jahren 2003-2011.

A-3.2 Prädispositionsabschätzung

Bezogen auf die Gesamtfläche des Wildnisgebietes Dürrenstein zeigten vor allem die südexponierten Hänge höhere Prädispositionsklassen (Abb. A-7). Von den 3788 Rasterzellen der Aufnahmefläche „Hundsau“ wurde über den Zeitraum von 2003-2011 423 durch den Buchdrucker befallen (Abb. A-8).

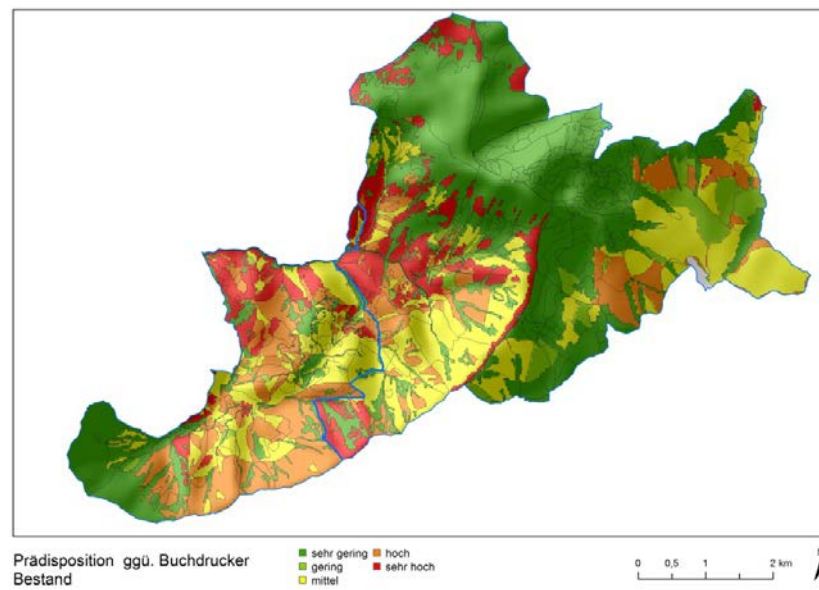


Abb. A-7: Verteilung der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen im Wildnisgebiet Dürrenstein gegenüber Befall durch *Ips typographus*.

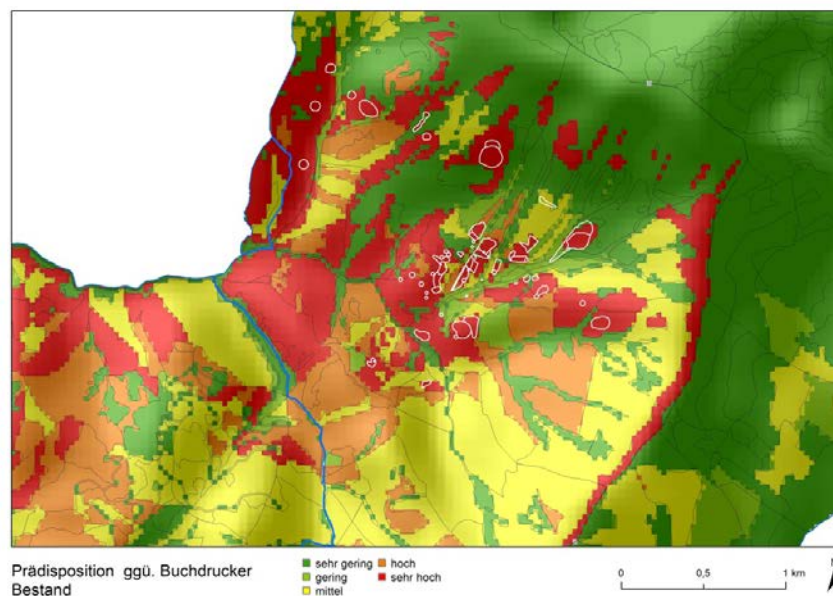


Abb. A-8: Verteilung der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen im Untersuchungsgebiet "Hundsau" gegenüber Buchdruckerbefall. Weiße Umrandung: Flächen die zwischen 2003-2011 vom Buchdrucker befallen wurden.

Von den 3788 untersuchten Flächen wurden 4 % als nicht prädisponiert, 10 % als gering, 29 % als mittelstark und 57 % als hochgradig prädisponiert eingestuft (Abb. A-9).

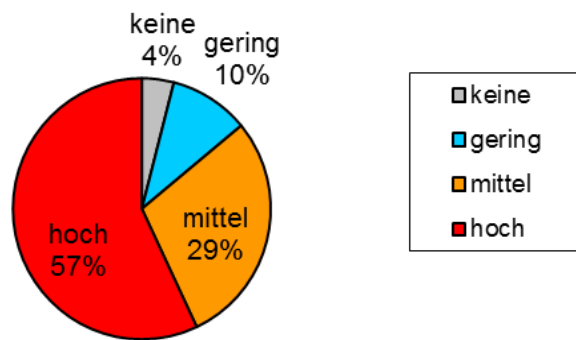


Abb. A-9: Relativer Anteil der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen (keine, gering, mittel hoch) im Untersuchungsgebiet gegenüber möglichen Befall durch Ips typographus.

Rasterzellen, bei denen das Model eine hohe Gefahrenstufe errechnet hatte, wurden signifikant bevorzugt befallen (Abb. A-10). Für die Prädispositionsabschätzung im Bereich der „Hundsau“ erwiesen sich die Bestandesvariablen „Fichtenanteil“, „Bestandesalter“, „Sturmgefährdung“ (Abb. A- 11) sowie die Standortvariablen „Geländemorphologie“ und „Schneebruchgefährdung“ als ausschlaggebend (Abb. A- 12).

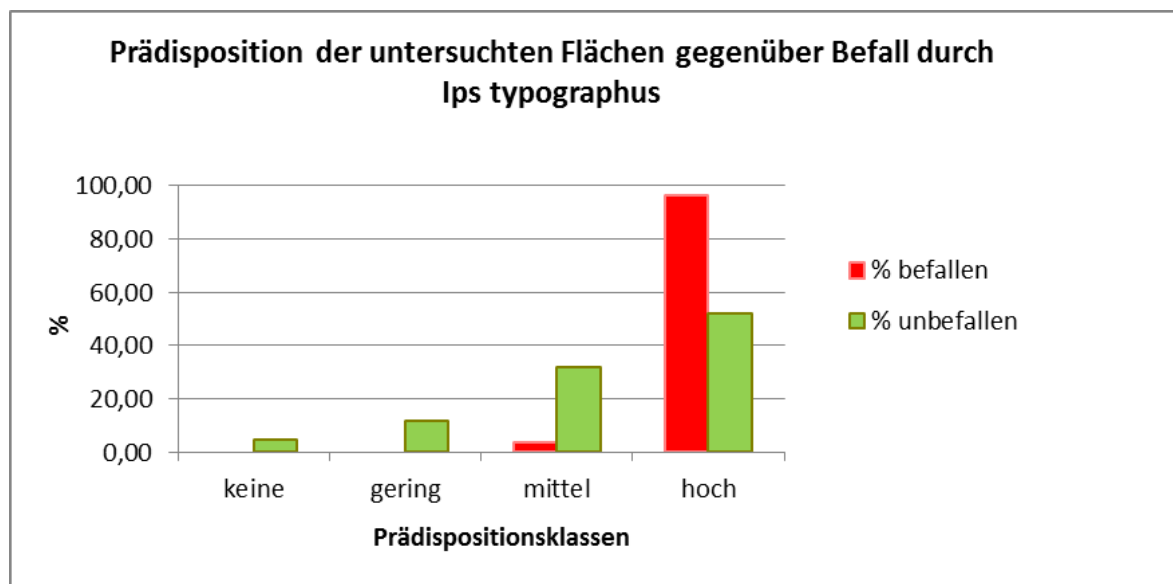


Abb. A-10: Vergleich der unbefallenen und durch Ips typographus befallenen Flächenanteile in den unterschiedlichen bestandesbezogenen Prädispositionsklassen des Untersuchungsgebietes „Hundsau“

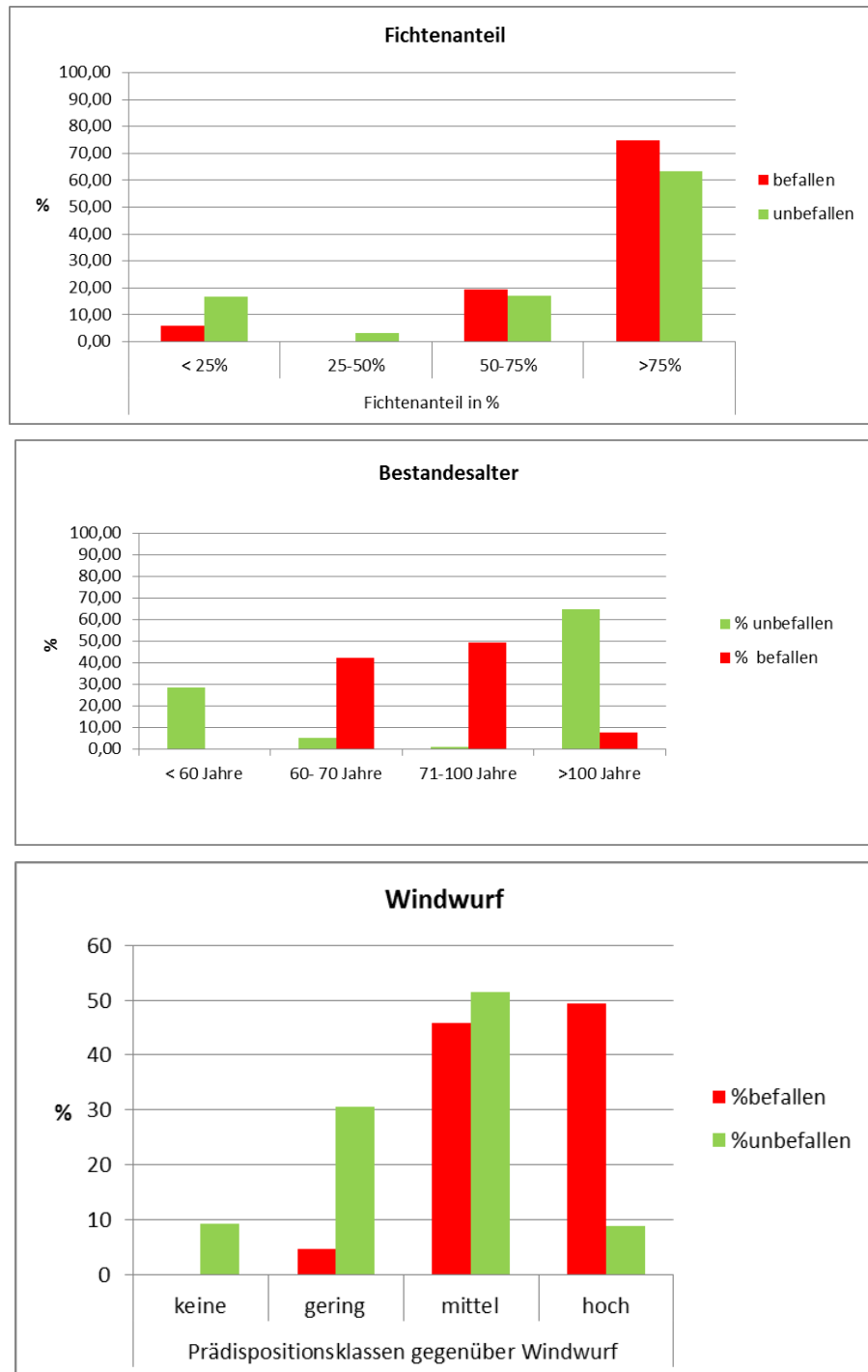


Abb. A-11: Relativer Anteil an unbefallenen und vom Buchdrucker befallenen Flächen mit unterschiedlichem Fichtenanteil, Bestandesalter und einer unterschiedlichen bestandesbezogenen Prädisposition für Windwurf

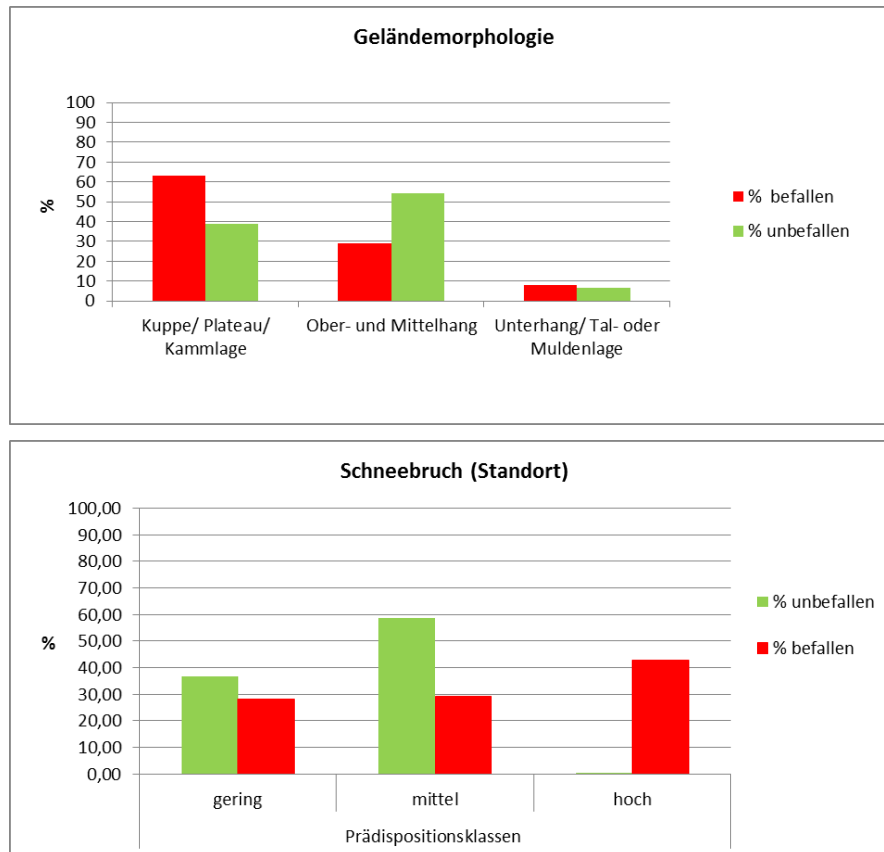


Abb. A-12: Relativer Anteil an unbefallenen und befallenen Flächen in Abhängigkeit von der Geländemorphologie und der standortsbezogenen Prädisposition für Schneebruch.

A-3.3 Veränderungen in der Generationsentwicklung von *Ips typographus* bei prognostizierter Klimaerwärmung

Für den Zeitraum 2021-2050 sind die prognostizierten Veränderungen der mittleren Lufttemperaturen von April bis Oktober für das regionale Klimamodell PROMES am höchsten und für das Modell RegCM3 am niedrigsten. Das Modell Aladin ist mit seinen Werten zwischen den anderen gelegen (Tabelle A-2). Die Zunahme der prognostizierten mittleren Lufttemperatur in den Monaten April - Oktober für den Zeitraum 2071-2100 liegt für das Modell Aladin bei 3.91°C und für das Modell RegCM3 bei 3.04°C. Für die Region Wildalpen/Hochschwab ergab der Vergleich der Klimanormalperiode (1961-1990) mit den beobachteten, gerasterten Temperaturmittelwerten des heutigen Klimas (1991-2009) einen Lufttemperaturanstieg von 0.92°C. Für die Wintermonate Dezember-Februar wird vom Modell Aladin für 2021-2050 eine Temperaturzunahme von 1.22°C und für 2071-2100 eine Zunahme von 1.98°C prognostiziert (Tabelle A-2).

Tab. A-2: Unterschiede zwischen beobachteten (E-OBS) und projizierter (Aladin, PROMES, RegCM3) durchschnittlicher Lufttemperatur und durchschnittlicher Niederschlags-summe (April-Oktober) in verschiedenen Perioden.

Unterschiede der mittleren Lufttemperatur von April - Oktober (°C)			
	Mittel	Max.	Min.
E-OBS (1991-2009) - (1961-1990)	0,92	1,06	0,81
Aladin (2021-2050) - (1961-1990)	1,62	1,70	1,56
PROMES (2021-2050) - (1961-1990)	2,03	2,05	2,00
RegCM3 (2021-2050) - (1961-1990)	1,14	1,15	1,12
Aladin (2071-2100) - (1961-1990)	3,91	4,00	3,81
RegCM3 (2071-2100) - (1961-1990)	3,04	3,07	2,98

Basierend auf diesen Temperaturzunahmen zeigte die Simulation der potentiellen Generationsentwicklungen für *Ips typographus* mittels PHENIPS eine Änderung der bisher meist uni- oder bivoltinen Generationsentwicklung zu vorrangig bi- und multivoltiner Entwicklung. Somit wird es am Ende dieses Jahrhunderts wahrscheinlich keine Gebiete mit univoltiner Entwicklung mehr geben und bivoltine Entwicklung wird nur mehr in den höchsten Berglagen stattfinden. Auch die zwischenjährliche Variabilität von erfolgreich etablierten Generationen nimmt stark ab. Im Vergleich zur Klimanormalperiode kann auch schon bei heutigen Klimaverhältnissen eine Veränderung der potentiellen Generationsentwicklung festgestellt werden (Abb. A- 13).

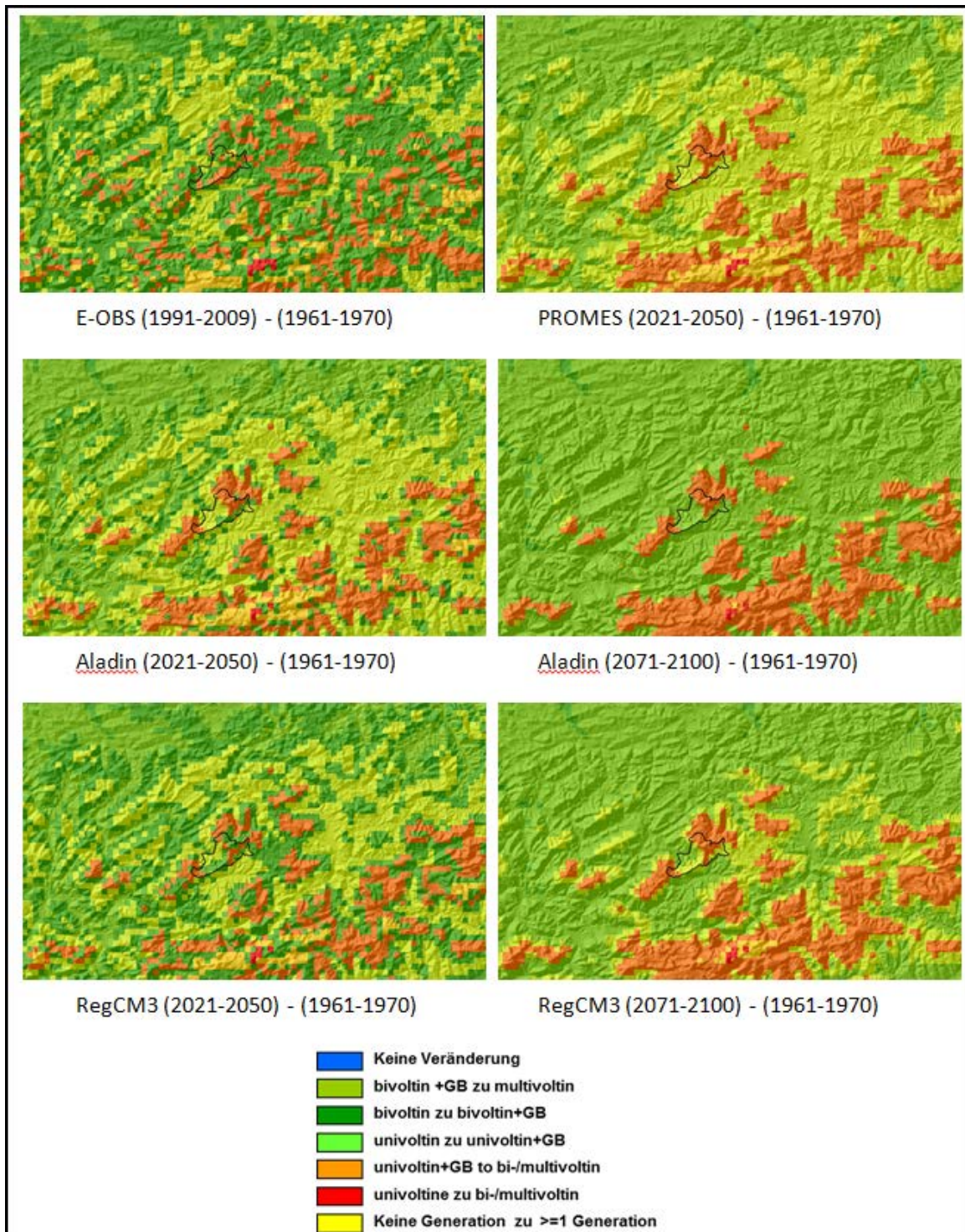


Abb. A-13: Veränderungen der potentiellen, jährlichen Generationenzahl (Voltinismus) des Buchdruckers, Ips typographus, für derzeitige Klimaverhältnisse (E-OBS 1991-2009) und für projizierte Klimabedingungen (Regionalisierte Klimamodelle Aladin, PROMES, RegCM3). Schwarze Umrandung: Wildnisgebiet Dürrenstein

Das Modell Aladin prognostizierte eine Zunahme des Niederschlags für 2021-2051 und für 2071-2100 eine abnehmende Niederschlagsmenge für April- Oktober. Dagegen prognostizierte das Modell RegCM3 eine Zunahme des Niederschlags für beide Zeitperioden (2021-2050 und 2071-2100) (Tabelle A-3).

Tab. A-3: Unterschiede zwischen beobachteten (E-OBS) und projizierter (Aladin, PROMES, RegCM3) durchschnittlicher Lufttemperatur und durchschnittlicher Niederschlags-summe in den Wintermonaten (Dezember-Februar) in verschiedenen Perioden.

Unterschiede der mittleren Niederschlagsmenge von April - Oktober (%)			
	Mittel	Max.	Min.
Aladin (2021-2050) - (1971-1999)	4,41	5,72	3,05
RegCM3 (2021-2050) - (1971-1999)	3,8	5,02	3,2
Aladin (2071-2100) - (1971-1999)	-8,94	-7,31	-11,56
RegCM3 (2071-2100) - (1971-1999)	3,29	4,48	2,21

A-3.4 Klimadaten

Die Klimamessstation im Hundsaugebiet lieferte für das Jahr 2012 im Zeitraum von 1.4. bis 16.09.2012 die Daten der bodennahen Lufttemperatur, der relativen Strahlungsintensität und der Niederschlagsmenge als maßgebliche Eingangsparameter für die Berechnung der Werte der Rindentemperatur in dem Untersuchungsgebiet mittels des Modells PHENIPS.

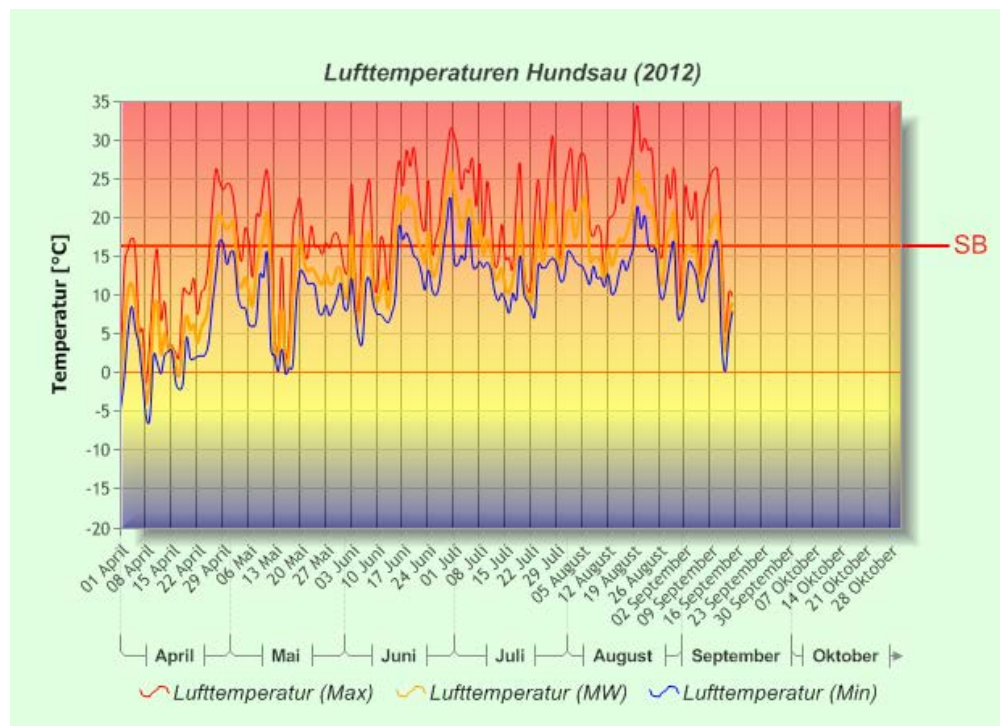


Abb. A-14: Lufttemperaturen im Untersuchungsgebiet „Hundsau“ vom 1.4. -16.09.2012. SB=Schwellenwert für Flugaktivität des Käfers (16,5°C).

(<http://iff-server2.boku.ac.at/PHENIPS-Duerrenstein/temp/dnc-2846g17g.png?634834880523488691>)

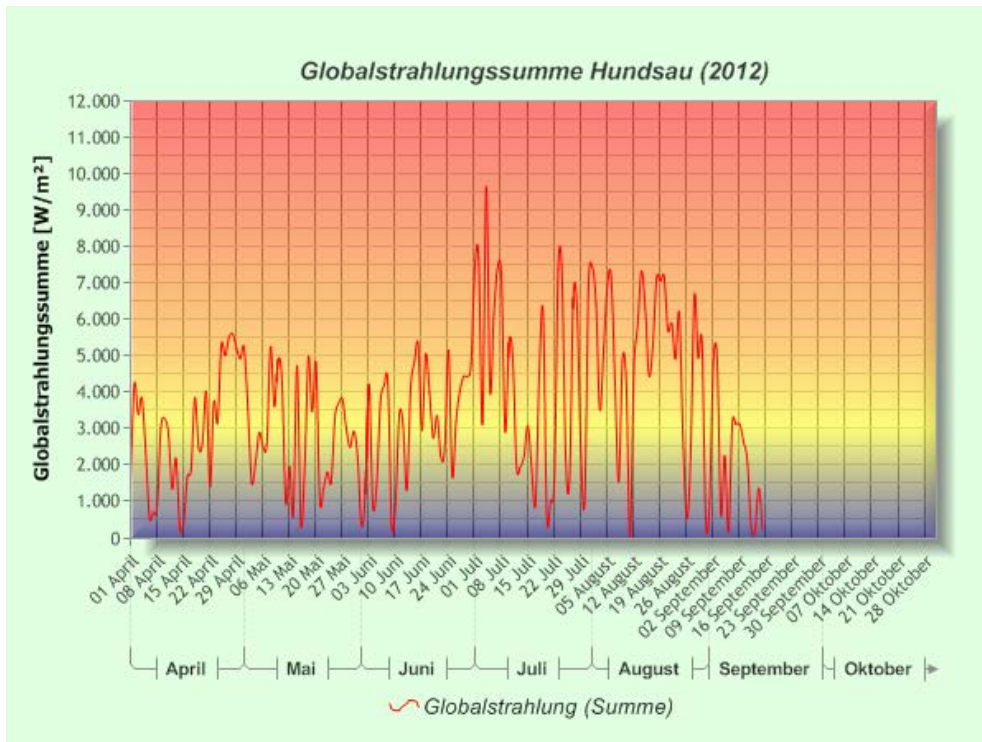


Abb. A-15: Summe der täglichen Globalstrahlung im Untersuchungsgebiet vom 1.4. - 16.09.2012.

(<http://iff-server2.boku.ac.at/PHENIPS-Duerrenstein/temp/dnco585f4k2.png?634834880817512-333>)

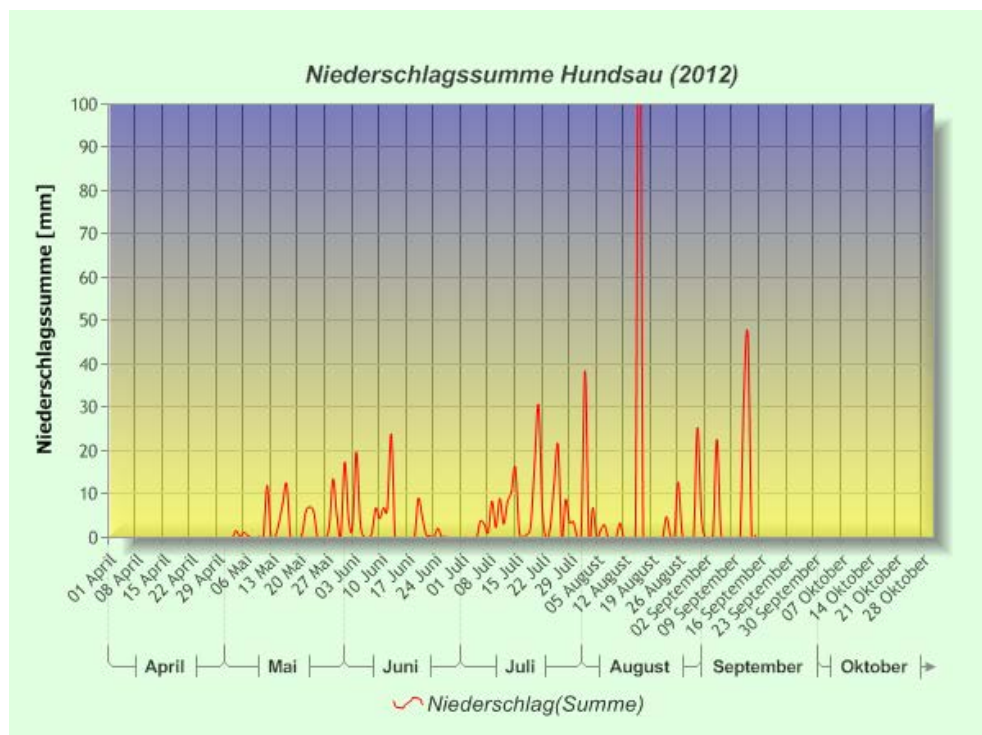


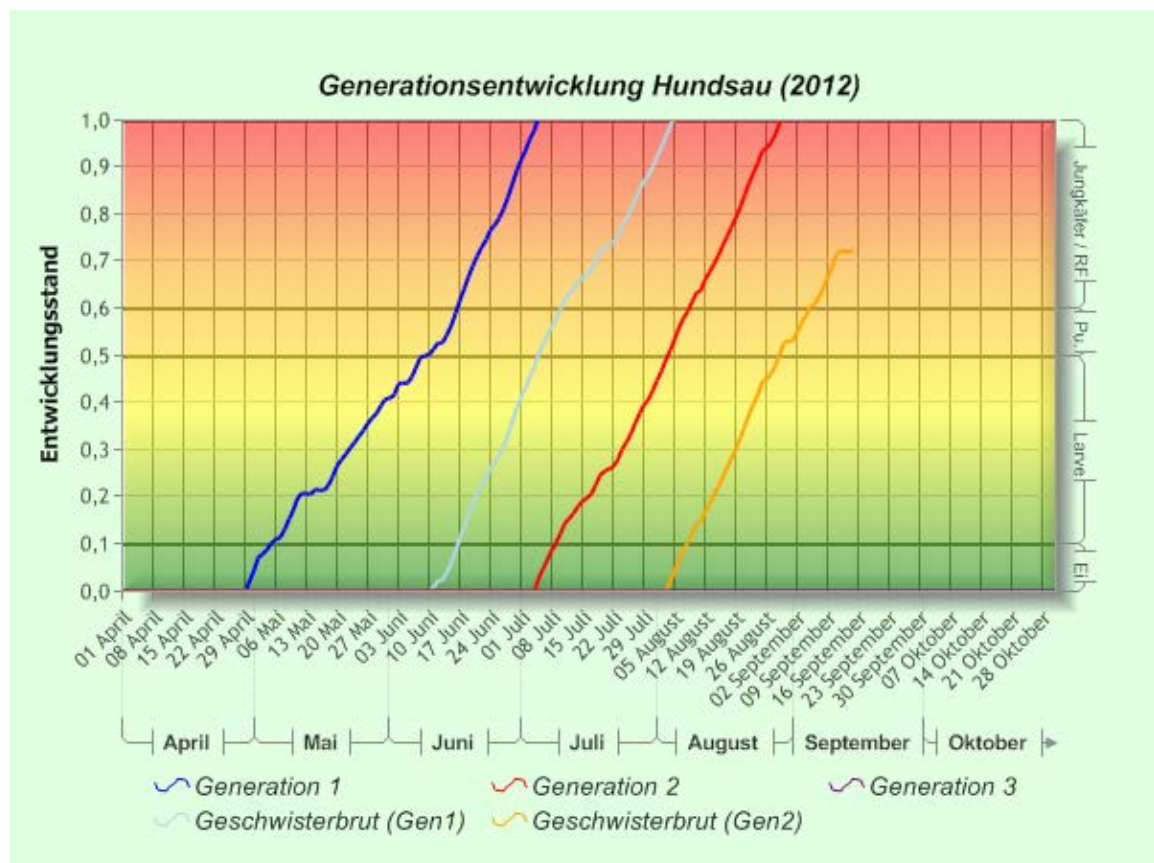
Abb. A-16: Tägliche Niederschlagssumme im Untersuchungsgebiet vom 1.4. -16.09.2012.

(<http://iff-server2.boku.ac.at/phenips-duerrenstein/temp/dnc1bcjx318.png?63483488177197-5685>)

A-3.5 Modell PHENIPS

Aus den aktuellen Klimadaten der Messstationen wurden mit Hilfe des Phänologiemodells PHENIPS die potentielle Generationsentwicklung im Jahr 2012 für das Untersuchungsgebiet „Hundsau“ errechnet.

Laut den errechneten effektiven Temperatursummen, die der Buchdrucker für seine Entwicklung nutzen kann, ergaben sich maximal zwei potenzielle Käfergenerationen und eine Geschwisterbrut, die sich vollständig im Zeitraum April bis September 2012 hätten entwickeln können. Auch die zweite Geschwisterbrut der 1. Käfergeneration hätte bis Mitte September noch das Jungkäferstadium erreichen können (Abb. A-17).



Der Buchdrucker hat zu Schwärmen begonnen: 26.04.2012

Anzahl möglicher Schwärmtage: 81

Die Hauptflugphase / Befallsbeginn des Buchdruckers hat begonnen: 30.04.2012

Die Anlage der Geschwisterbruten hat begonnen: 11.06.2012

Die Anlage der 2. Generation hat begonnen: 05.07.2012

Die Anlage der Geschwisterbruten der 2. Generation hat begonnen: 04.08.2012

Es wurde noch keine 3. Generation angelegt

Abb. A-17: Potenzielle Generationsentwicklung des Buchdruckers *Ips typographus* im Untersuchungsgebiet „Hundsau“, 2012.

(<http://iff-server2.boku.ac.at/PHENIPS-Duerrenstein/temp/dnc3jc6l00x.png?634834882930-572568>)

A-3.6 Schwärmverlauf *Ips typographus* (Fallen-Monitoring „Hundsau“ 2012)

Der Schwärmverlauf von *Ips typographus* im Untersuchungsgebiet für das Jahr 2012 ist in Abb. A- 18 dargestellt. Der Schwärmbeginn der überwinterten Generation zeigt sich deutlich Anfang Mai und stimmt sehr gut mit den errechneten Schwärmzeitpunkt/Hautflugphase des Phänologiemo­dells PHENIPS überein. Ein starkes Ansteigen der Fangzahlen Mitte Juni signalisierte die Schwärmphase der Parentalkäfer, die auf der Suche nach geeignetem Brutmaterial für die Anlage der Geschwisterbruten waren. Die Schwärmphase der 1. Generation trat zum Teil zum prognostizierten Zeitpunkt Anfang Juli ein. Die starken Niederschlagsereignisse Mitte/Ende Juli wirkten sich auf die Flugaktivität der Jungkäfer offensichtlich hemmend aus, so dass sich der Anstieg an gefangenen Käfern im August sowohl noch aus geschlüpften Jungkäfern der 1. Generation als auch aus Käfern der 1. Generation zusammensetzte, die bereits auf dem Weg zur Geschwisterbrutanlage waren.

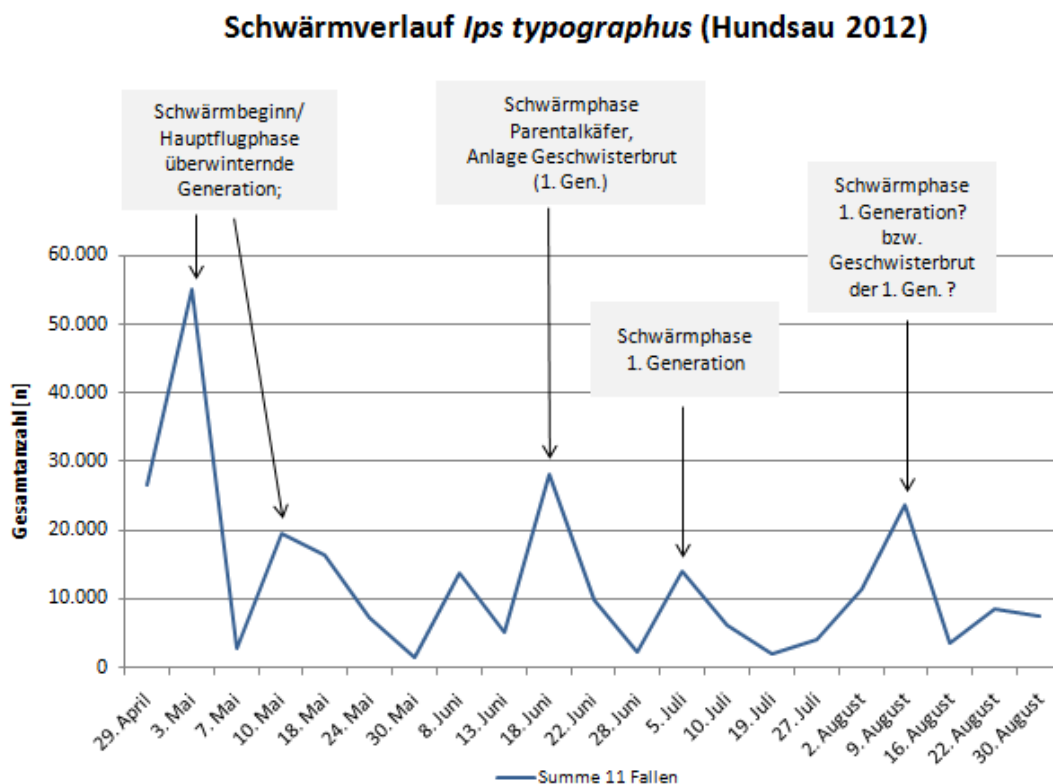


Abb. A-18: Summe der wöchentlich gefangenen Käfer (*Ips typographus*) in den 11 installierten Lockstofffallen im Hundsaugrab (Wildnisgebiet Dürrenstein) von 29.04.2012 – 30.08.2012.

A-3.7 Experimente zum Ausbreitungsverhalten von *Ips typographus*

Die Markierung von Buchdruckern in besiedelten Stämmen mit der durchgeführten Methode funktionierte gut: erste Fangergebnisse konnten überraschenderweise bereits am 29.04.2012 erzielt werden. Markierte Buchdrucker konnten recht deutlich von nicht-markierten Käfern unterschieden werden, allerdings war hierfür eine Betrachtung unter UV-Licht im Labor notwendig.



Abb. A-19: Deutlich erkennbare markierte Buchdrucker in einer Lockstofffalle (18.06.2012).

A-3.7.1 Schwärmverlauf und Fang markierter *Ips typographus*

Abb. A-20 zeigt den Schwärmverlauf in Kombination mit dem Fang markierter Buchdrucker je Absammlertermin. Zur Hauptflugphase der Parentalkäfer für die Anlage der Geschwisterbrut (Absammlertermin: 18.06.2012) wurden die meisten markierten Buchdrucker in den Fallen gefunden.

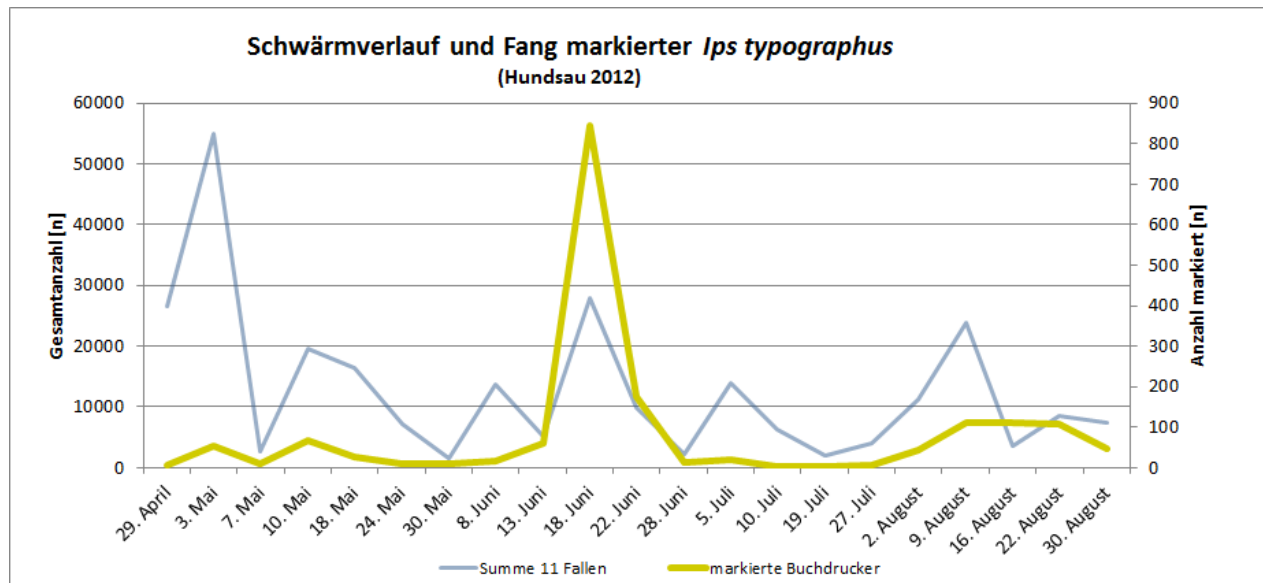


Abb. A-20: Summe der insgesamt wöchentlich gefangenen Käfer (*Ips typographus*) in den 11 installierten Lockstofffallen im Hundsaugrab (Wildnisgebiet Dürrenstein) (blaue Linie) und der gefangenen markierten Käfer (gelbe Linie, rechte Ordinate) von 29.04.2012 – 30.08.2012.

Die differenzierte Betrachtung des Fangs je Pheromonfalle über den Versuchszeitraum 13.06.2012 bis 30.09.2012 ist in Abb. A-21 und Abb. A-22 dargestellt.

Knapp 30 % aller markierten Buchdrucker konnten in der nächstgelegenen Falle (5a) 60 m unterhalb der Freilassungsstelle gefunden werden. In den Fallen 7b, 10b und 11b auf der anderen Seite des Bergkammes wurde jeweils ein markierter Buchdrucker am 20.06.2012 gefunden; in den restlichen Fallen 1b-6b, 8b, 9b und 12b keine markierten Buchdrucker in den installierten Pheromonfallen wiedergefunden.

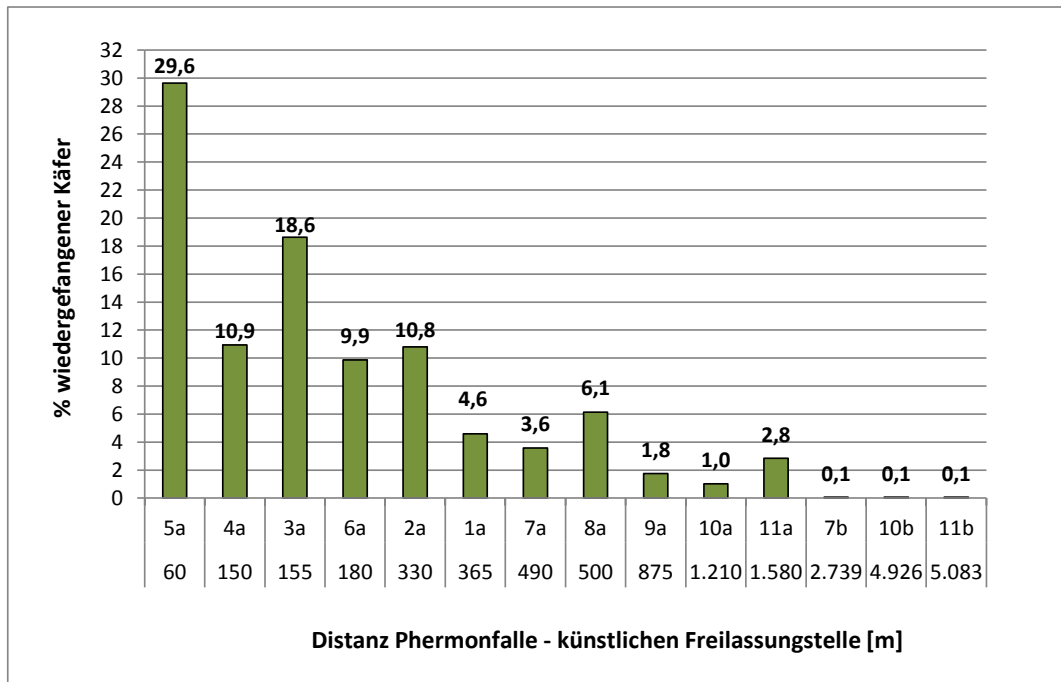


Abb. A-21: Anteil gefangener, markierter Buchdrucker je Pheromonfalle (1a-11a; 7b, 10b, 11b) mit jeweiliger Entfernung der Falle zur Ausschlüpfstelle F2 (=markierte Stämme) im Zeitraum 13.06.-30.08.2012.

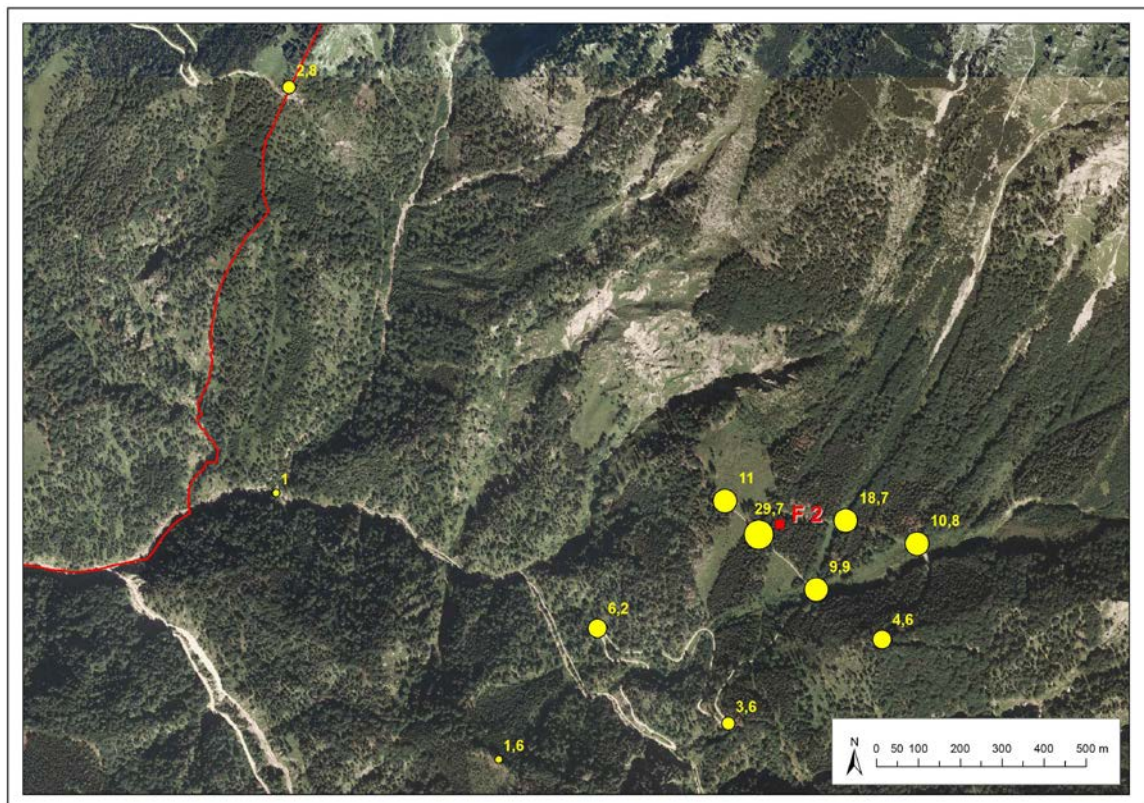


Abb. A-22: Pheromonfallenstandorte mit Fangrate markierter Buchdrucker über den Versuchszeitraum 13.06. bis 30.08.2012 im "Hundsau"-Gebiet 2012; F2 = Stelle des Ausschlüpfens markierter Käfer aus den Brutstämmen; die Größe der gelben Punkte zeigt den relativen Anteil, die Zahlen geben die Prozenträte der gefangenen, markierten Käfer an.

Auf der westlichen Seite des Bergkammes (Sperrriedel) konnten an einem Absammeltermin insgesamt drei markierte Buchdrucker in den installierten Fallen gefangen werden.

Tab. A-4: Markierte Buchdrucker auf der westlichen Seite des Bergkammes (Rothwald).

Datum der Absammlung: 20.06.2012

Falle 7b:	Falle 10b:	Falle 11b:
2.400 Buchdrucker	2.200 Buchdrucker	2.200 Buchdrucker
davon markiert: 1 Käfer	davon markiert: 1 Käfer	davon markiert: 1 Käfer
Entfernung: 2.700 m	Entfernung: 4.900 m	Entfernung: 5.000 m

A-3.7.2 Fangrate - Ergebnisse der Photo-Elektoren

Um den Ausschluß der Käfer aus den markierten Stämmen zeit- und mengenmäßig berechnen zu können, wurde die Rindenfläche der Stammabschnitte in den drei Photo-Elektoren in ein Verhältnis zur markierten Rindenfläche gesetzt. Mit dem errechneten Blow-up Faktor je Stammabschnitt wurde der Ausschluß markierter Buchdrucker je Absammeltermin berechnet und den Fangergebnissen markierter Käfer in den Fallen gegenübergestellt (Tabelle A-5).

Die Fangraten vom 18. Juni bis 4. Juli beziehen sich auf den Flug der Parentalkäfer.

Tab. A-5: Fangrate (%) markierter Käfer in den Fallen je Termin

	Ausschluß berechnet	Fang markierter Käfer in den Fallen	%
18. Juni	1430	846	59,2
22. Juni	517	174	33,7
28. Juni	115	13	11,3
4. Juli	134	18	13,4
10. Juli	0	0	0,0
19. Juli	11,8	1	8,5
27. Juli	0	0	0,0

A-3.7.3 Entfernung der markierten, gefangenen Käfer von der Ausschlüpfstelle

Um die räumliche Ausbreitung der markierten Buchdrucker darstellen und bewerten zu können, war es notwendig, die Entfernung der Pheromonfallen und somit die Ausbreitungsdistanz in Klassen einzuteilen (Abb. A-23, Tabelle A-6). Es wurde die durchschnittliche Anzahl markierter Käfer je Falle in unterschiedlichen Distanzen zur Ausschlüpfstelle F2 berechnet.

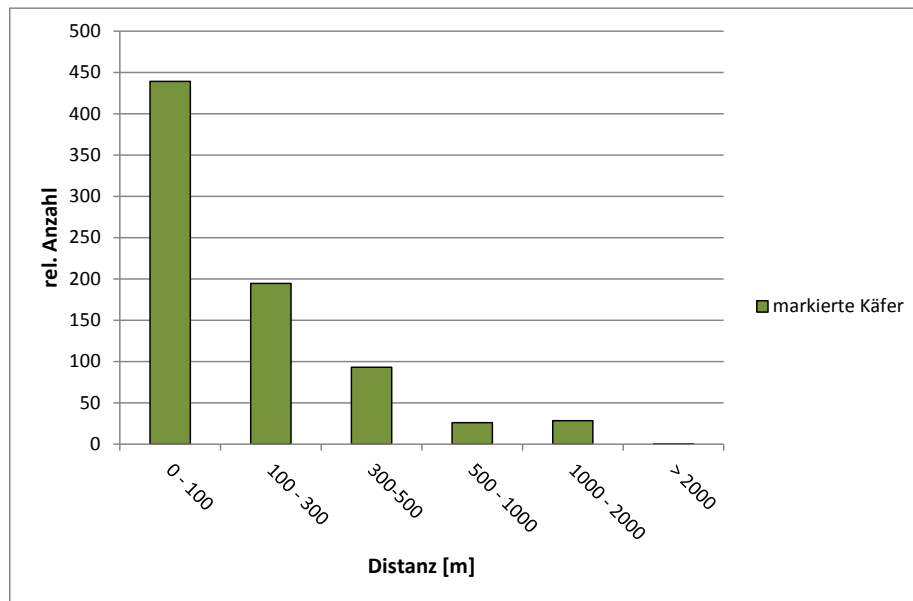


Abb. A-23: Durchschnittliche Anzahl von gefangenen, markierten Käfern pro Pheromonfalle in unterschiedlicher Entfernung zur Ausschlüpfstelle F2 (13.06.-30.08.2012).

Mehr als 50 % aller markierten Käfer wurden im Umkreis von 100 m, vorwiegend in südwestlicher Richtung, von der Ausschlüpfstelle F2 gefunden. In einem Radius von 500 m wurde der Großteil der markierten Käfer in den Fallen gefangen (93 %). Auf den westlich des Sperriedls gelegenen Flächen konnten lediglich 0,03 % aller markierten Käfer gefunden werden.

Tab. A-6: Relative Anzahl Buchdrucker je Pheromonfalle im jeweiligen Radius um die Ausschlüpfstelle.

Distanz [m]	markierte Käfer	Anzahl Fallen	%	% kum.
0 - 100	439	1	56,2	56,2
100 - 300	195	3	24,9	81,1
300-500	93	4	11,9	93,0
500 - 1000	26	1	3,3	96,3
1000 - 2000	29	2	3,6	99,97
> 2000	0,25	12	0,03	100,00

A-3.7.4 Anzahl geschlüpfter und arretierter Käfer in den markierten Stämmen

Die mit dem fluoreszierenden Farbstoff behandelten Fichtenblöcke (12 Stammstücke) werden, abgedeckt mit einem Flies, für weitere Untersuchungen über den Winter im Untersuchungsgebiet „Hundsau“ belassen.

Je Abschnitt wurde Mitte September ein Probe-Rindenstück entnommen, im Labor ausgewertet (Tabelle A-7, Tabelle A-8) und anschließend auf die gesamte markierte Rindenfläche der 12 Stammstücke hochgerechnet (Tabelle A-9).

Bei der Auswertung der Rindenstücke im Labor wurden einerseits die Anzahl der Ausbohrlöcher, andererseits auch die Anzahl der noch lebenden und toten Buchdrucker in der Rinde ermittelt.

Tab. A-7: Auswertung Rindenstücke

Stammabschnitt	Probenfläche [m ²]	Anzahl Ausbohrlöcher	Lebende K.	Tote K.
<i>Unten</i>	624	11	51	2
<i>Mitte</i>	624	14	27	2
<i>Oben</i>	624	40	36	7

Tab. A-8: Verhältnis Ausbohrlöcher/lebende Buchdrucker in der Rinde

Verbleibende Käfer in der Rinde (Überwinterung)

Stammabschnitt	%
<i>Unten</i>	79
<i>Mitte</i>	61
<i>Oben</i>	42

Tab. A-9: Hochrechnung auf die markierte Rindenfläche (12 Stammstücke)

Stammabschnitt	Blow-up F.	Ausbohrloch je dm ²	Ausschlupf Käfer (Faktor 1,25)
<i>Unten</i>	106	1,8	1.454
<i>Mitte</i>	94	2,2	1.640
<i>Oben</i>	71	6,4	3.551
		3,5 (Mittel)	6.645

Die Auswertung der Ausbohrlöcher getrennt nach Stammabschnitt ergab, dass hochgerechnet insgesamt 6.645 Buchdrucker aus den markierten Stämmen geschlüpft sind. Von der Freilassungsstelle F2 wurden zwischen 13.06. und 30.08.2012 1.478 markierte Käfer in den Pheromonfallen gefunden. Dieses Verhältnis von geschlüpften und gefangenen Käfern ergibt eine Fangrate von ca. 22 %.

A-4 Diskussion

Die enormen Schadhohlmengen durch Buchdrucker-Befall im alpinen Raum sind nach den häufigen Sturmkatastrophen während der letzten zwei Jahrzehnte wohl nicht nur auf die abrupten riesigen Mengen an verfügbarem bruttauglichem Material zurückzuführen, sondern auch auf eine klimatisch bedingte Veränderung der Reaktion der Käfer auf günstigere Entwicklungsbedingungen. Während von Tieflagen in Mitteleuropa bekannt war, dass der Buchdrucker je nach Witterungsverhältnissen zwei, in manchen Extremjahren bis zu drei Generationen inklusive Geschwisterbruten entwickeln kann, die zu eruptiven Massenvermehrungen führen, sind von Hochlagen über 1000 m bis Anfang der 1990er Jahre keine solche rasanten Anstiege in der Populationsdichte des Käfers bekannt. Inzwischen haben sich die Entwicklungsbedingungen für den Buchdrucker im alpinen Raum offensichtlich geändert. So konnte nach dem Föhnsturm im November 2002 und dem folgenden äußerst warmen Sommer 2003 ebenso die Entwicklung einer zweiten Generation beobachtet werden wie in den übernormal warmen Jahren 2007 und 2008, die dem Sturm Kyrill (Jänner 2007) folgten. Insofern bestehen in den Entwicklungsmöglichkeiten der Käfer in der Rinde kaum mehr Unterschiede zwischen den verschiedenen Höhenlagen, da die geringere Lufttemperatur in höheren Lagen durch höhere Strahlungsintensitäten offensichtlich weitgehend kompensiert wird. Eine erwartete Klimaerwärmung für das Wildnisgebiet von +1,1°- 2°C (2021-2050) bzw. +3°- 3,9°C (2050-2071) lässt prinzipiell massive Käferprobleme in Zukunft erwarten.

Dass überdurchschnittlich warme Jahre jedoch nicht immer Käferprobleme nach sich ziehen müssen, zeigen die Ergebnisse über die klimatischen Einflüsse der Käfer-Schadhohzentwicklung und der aktuellen Buchdrucker-Entwicklung in dem untersuchten Kar des Wildnisgebietes Dürrenstein. Obwohl die Höhenlage des Kars im Grabenbereich lediglich ca. 650 m und in den bewaldeten Höhenlagen nicht mehr als ca. 1500 m beträgt, scheint hier das durch Extremereignisse bedingte Angebot an bruttauglichen Wirtsbäumen primär ausschlaggebend für die Populationsdynamik des Käfers zu sein. Trotz günstiger Entwicklungsbedingungen nimmt im Folgejahr nach dem Massenangebot von Brutmaterial die Neubefallsrate zunächst leicht, im darauffolgenden Jahr aber deutlich ab, wie es nach dem Föhnsturm 2002 bzw. dem Lawinenabgang 2009 zu beobachten war. Auch Faccoli (2009) konnte im südalpinen Raum keine Korrelationen zwischen Temperaturen und Niederschlägen während der Vegetationsperiode und dem Befall durch *Ips typographus* feststellen. Dies gilt ebenso für eine Studie aus dem National Park Bayerischer Wald, in der die Buchdrucker-Massenvermehrung über 18 Jahre hinweg retropektiv analysiert wurde (Lausch et al. 2010). Die Autoren konnten über den langen Zeitraum hinweg keinen eindeutigen Zusammenhang zwischen Zunahme des Befalls und höheren Temperaturen nachweisen. Auch in dieser Studie konnte gezeigt werden, dass der Befall v.a. durch den Anteil an bruttauglichem Material vorangetrieben wurde, in diesem Fall große Windwurfflächen.

Die Form der Populationsdynamik des Buchdruckers im Untersuchungsgebiet „Hundsau“ lässt darauf schließen, dass die Käfer nicht imstande sind, hohe Populationsdichten aufzubauen, die nach Ausbleiben des bruttauglichen Materials den Befall von vitalen Bäumen ermöglichen. Folgende Gründe können dafür theoretisch verantwortlich sein:

- a) Die Käfer-Population wird durch bestehende oder regenerierte Abwehrmaßnahmen der potentiellen Wirtsbäume am weiteren Neubefall gehindert,
- b) Die Käfer-Population wird durch den Einfluss des natürlichen Gegenspielerkomplexes in diesem Untersuchungsgebiet erfolgreich reguliert,
- c) Die Käfer-Population setzt sich in diesem Untersuchungsgebiet zu einem großen Teil aus genetisch determinierten univoltinen Individuen zusammen, die nur eine Generation pro Jahr gründen.

Die Varianten a) und b) sind für das Untersuchungsgebiet durchaus vorstellbar, zumal a) die klimatischen Bedingungen mit den hohen Niederschlagswerten gute physiologische Entwicklungsbedingungen für die Fichte schaffen und b) das von forstwirtschaftlichen Maßnahmen ungestörte Wildnisgebiet hervorragende Bedingungen für die Entwicklung eines arten- und individuenreichen Gegenspielerkomplexes ermöglichen sollte.

Variante c) würde voraussetzen, dass es sich im Untersuchungsgebiet um eine weitgehend isolierte Population handelt, die wenig Kontakt zu Tieflagenpopulationen hatte. Somit wäre hier ein genetischer Zustand in der Population erhalten geblieben, wie er vielleicht vor Beginn der 1990er Jahre im alpinen Raum weit verbreitet war. Dem widersprechen jedoch Entwicklungsdaten des Buchdruckers, die unmittelbar nach dem Lawinenereignis 2009 in der Hundsau erhoben wurden und für 2009 die Entwicklung einer zweiten Generation eindeutig nachwies (Blackwell 2011). Die Frage zu klären, ob die hohen Niederschlagsintensitäten während des Juli 2012 die Verzögerung im Schlupf der Jungkäfer der ersten Generation bewirkt haben, bleibt genaueren Untersuchungen vorbehalten. Einen entwicklungsverzögernden Effekt von Niederschlägen auf die Borkenkäferbrut stellten bereits Wild (1953), Boehm-Bezing (1998) und Friedl (2008) fest.

In unserem Aufnahmegebiet, dem Wildnisgebiet Dürrenstein, bot das Schadholz der Lawine im Frühjahr 2009 eine optimale Ausgangslage für die Ausbreitung des Buchdruckers *Ips typographus*. Initialereignisse wie die Lawine können die Populationsdichten des Buchdruckers drastisch erhöhen. Wenn, wie im Wildnisgebiet Dürrenstein, keine Bekämpfungsmassnahmen durchgeführt werden kann es nach Schopf et al. (2004) zu unterschiedlichen Verläufen einer Kalamität kommen; eine Tendenz ist, dass „nach einem Kalamitätseignis (z.B. Windwurf) die Populationsdichten kurz ansteigen, aufgrund ungünstiger Habitatsbedingungen und natürlicher Regelmechanismen rasch wieder abnehmen“, eine andere Entwicklungsmöglichkeit nach einem Befall bezieht sich darauf, dass es aufgrund förderlicher bestandesstruktureller Gegebenheiten immer wieder zu einem Neubefall kommt und der epidemische Zustand über Jahre erhalten bleibt, wie es z.B. im Nationalpark Bayerischer Wald der Fall war. Das Monitoring, das seit 2003 im Wildnisgebiet durchgeführt wird, lässt bisher auf die erste Verlaufsvariante schließen.

Die für das Wildnisgebiet Dürrenstein dargestellten Prädispositionsabschätzungen geben die potentielle Gefährdung des Gebietes gegenüber einem Buchdruckerbefall wider. Da mehr als 90% der während der Jahre 2003 – 2011 befallenen Flächen in den als hoch-prädisponiert eingeschätzten Bereich fallen, kann das Modell PAS (Netherer & Nopp-Mayr 2005) als sehr zuverlässig eingestuft werden. Dies bestätigt die Ergebnisse aus zuvor bereits durchgeführte Untersuchungen über die Prädisposition von Standort und Beständen gegenüber Borkenkäferbefall im Nationalpark Kalkalpen und in Nationalpark Hohe Tatra (Schopf et al. 2004; Netherer & Nopp-Mayr 2005).

Das Experiment mit den sich beim Ausbohren aus dem Brutstamm selbst markierenden Käfern war erfolgreich. Erstmals konnten so natürlich aus befallenen Stämmen aus schlüpfende Käfer ohne zusätzliche Manipulation mit einem fluoreszierenden, ungiftigen Farbstoff markiert werden, der kurz nach dem Befall auf die Stammoberfläche aufgetragen wurde. Mit dieser Methode wurden ca. 22 % der ausfliegenden Käfer in den Pheromonfallen gefangen. Diese Fangrate übersteigt damit deutlich die Werte von 5-15%, die bis dato in Wiederfangmethoden erzielt wurden (Duelli et al. 1997; Franklin et al. 2000). Für die hohe Fangrate könnte auch die Geländeform des Kars beigetragen haben. Die Entfernung der Käfer entsprach den bisher bekannten Daten, indem mehr als 50% der Käfer im Umkreis von 100 m und ca. 95% der Tiere im Umkreis von 500 m gefangen werden (Kautz et al. 2011). Interessant war, dass es drei Käferindividuen schafften, den westlich gelegenen Sperriedl zu überwinden, und schließlich in drei unterschiedlichen Fallen von 2,7 km bis 5 km Entfernung landeten. Hierzu waren bestimmte Südwestwinde erforderlich, die die Käfer über den 1500 m hohen Bergrücken trugen. Da die Zahl gegenüber den insgesamt in diesen Fallen gefangenen Käfern mit 0,03 % äußerst ge-

ring war, kann nicht davon ausgegangen werden, dass mit dieser Verwehung von Käfern ernsthafte Probleme in einem anderen, durch Bergrücken getrennten Tal entstehen können.

A-5 Literaturverzeichnis

- ANNILA, E. (1969): Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). Ann. Zool. Fennici 6, 161-208.
- BAIER, P.; PENNERSTORFER, J.; SCHOPF, A. (2007): PHENIPS—A comprehensive phenology model of *Ips typographus* (L.) (Col., Scolytinae) as a tool for hazard rating of bark beetle infestation. Forest Ecol Manag 249, 171-186.
- BAIER, P., PENNERSTORFER, J., SCHOPF, A. (2011): Evaluation of climate change induced effects on the predisposition of forests of the water protection zone "Wildalpen" to disturbances by bark beetles. A contribution to the final report of CC-WaterS work package 5: „Land Uses and Water Resources Safety“. pp. 32.
- BLACKWELL, E. (2011): Risk assessment of bark beetle outbreaks after an avalanche occurrence in the Dürrenstein Wilderness Area. Diploma thesis, pp 80.
- BÖHM-BEZING, A. (1998): Untersuchungen über die Auswirkungen einer Berieselung von Fichtenrundholz (*Picea abies* Karst.), befallen mit Buchdrucker (*Ips typographus* L.). Diploma thesis, pp 85.
- DUELLI, P., ZAHRADNIK, P., KNIZEK, M., KALINOVA, B. (1997): Migration in spruce bark beetles (*Ips typographus* L.) and the efficiency of pheromone traps. J. Appl. Ent. 121: 297-303.
- FACCOLI, M. (2009): Effect of Weather on *Ips typographus* (Coleoptera Curculionidae) Phenology, Voltinism and Associated Spruce Mortality in the Southeastern Alps. Environ. Entomology. 38, (2): 307-316.
- FRANKLIN, A.J., DEBRUYNE, C., GRÉGOIRE, J-C. (2000): Recapture of *Ips typographus* L. (Col. Scolytidae) with attractants of low release rates: localized dispersion and environmental influences. Agriculture and Forest Entomology 2, 259-270.
- FRIEDL, S. (2008): Zum Einfluss von Niederschlag und Feuchtigkeit auf die Entwicklung von *Ips typographus* (L.) (Coleoptera, Scolytinae). Diploma thesis, pp 103.
- KAUTZ, M., DWORSCHAK, K., GRUPPE, A., SCHOPF, R. (2011): Quantifying spatio-temporal dispersion of bark beetle infestations in epidemic and non-epidemic conditions. For Ecol Manag 262:598–608.
- 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. For Ecol Manag 261 (2011) 233–245.
- 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 for system application and verification. Forest Ecol Manag, 207, 99-107.
- SCHOPF, A., BAIER, P., NETHERER, S., PENNERSTORFER, J. (2004): Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Kalkalpen.
- WILD, M. (1953): Die Entwicklung des großen Fichtenborkenkäfers *Ips typographus* L. im Hochschwarzwald (1000-1200 m ü.M.) und ihre Abhängigkeit vom Klima 1947-1950. Bericht Naturforsch. Ges. Freiburg i.Br. 43, 121-176.

A-6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildungen

Abb. A- 1:	Abgestorbene Fichten in Folge einer Massenvermehrung des Buchdruckers im Wildnisgebiet Dürrenstein „Hundsau“ neben einer Lawinenfläche von 2009; Links im Bild das Imago und Brutsystem des Buchdruckers <i>Ips typographus</i>	6
Abb. A-2:	Wildnisgebiet Dürrenstein.	8
Abb. A-3:	Versuchsaufbau: 4 markierte Stammstücke des oberen Stammabschnittes mit Photo-Elektor und entsprechendem Schutz vor Regen. Wildnisgebiet Dürrenstein, „Hundsau“.	9
Abb. A-4:	Fallenstandorte im Untersuchungsgebiet.	10
Abb. A-5:	Flächen mit Borkenkäferbefall in den Jahren 2003-2011 und Lawinenabgang 2009.	11
Abb. A-6:	Vergleich der Anzahl befallener Bäume und der jährlich für die Buchdrucker-Entwicklung verfügbaren Temperatursummen in den Jahren 2003-2011.	12
Abb. A-7:	Verteilung der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen im Wildnisgebiet Dürrenstein gegenüber Befall durch <i>Ips typographus</i>	13
Abb. A-8:	Verteilung der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen im Untersuchungsgebiet "Hundsau" gegenüber Buchdruckerbefall. Weiße Umrandung: Flächen die zwischen 2003-2011 vom Buchdrucker befallen wurden.	13
Abb. A-9:	Relativer Anteil der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen (keine, gering, mittel hoch) im Untersuchungsgebiet gegenüber möglichen Befall durch <i>Ips typographus</i>	14
Abb. A-10:	Vergleich der unbefallenen und durch <i>Ips typographus</i> befallenen Flächenanteile in den unterschiedlichen bestandesbezogenen Prädispositionsklassen des Untersuchungsgebietes „Hundsau“	14
Abb. A- 11:	Relativer Anteil an unbefallenen und vom Buchdrucker befallenen Flächen mit unterschiedlichem Fichtenanteil, Bestandesalter und einer unterschiedlichen bestandesbezogenen Prädisposition für Windwurf	15
Abb. A- 12:	Relativer Anteil an unbefallenen und befallenen Flächen in Abhängigkeit von der Geländemorphologie und der standortsbezogenen Prädisposition für Schneebruch.	16
Abb. A- 13:	Veränderungen der potentiellen, jährlichen Generationenzahl (Voltinismus) des Buchdruckers, <i>Ips typographus</i> , für derzeitige Klimaverhältnisse (E-OBS 1991-2009) und für projizierte Klimabedingungen (Regionalisierte Klimamodelle Aladin, PROMES, RegCM3). Schwarze Umrandung: Wildnisgebiet Dürrenstein	18
Abb. A-14:	Lufttemperaturen im Untersuchungsgebiet „Hundsau“ vom 1.4. - 16.09.2012. SB=Schwellenwert für Flugaktivität des Käfers (16,5°C).	19
Abb. A- 15:	Summe der täglichen Globalstrahlung im Untersuchungsgebiet vom 1.4. - 16.09.2012.	20

Abb. A-16:	Tägliche Niederschlagssumme im Untersuchungsgebiet vom 1.4. - 16.09.2012. (http://iff-server2.boku.ac.at/phenips-duerrenstein/temp/dnc-1bcjx318.png?634834881771975685).....	20
Abb. A-17:	Potenzielle Generationsentwicklung des Buchdruckers <i>Ips typographus</i> im Untersuchungsgebiet „Hundsau“, 2012.....	21
Abb. A- 18:	Summe der wöchentlich gefangenen Käfer (<i>Ips typographus</i>) in den 11 installierten Lockstofffallen im Hundsaugraben (Wildnisgebiet Dürrenstein) von 29.04.2012 – 30.08.2012.	22
Abb. A- 19:	Deutlich erkennbare markierte Buchdrucker in einer Lockstofffalle (18.06.2012).	23
Abb. A-20:	Summe der insgesamt wöchentlich gefangenen Käfer (<i>Ips typographus</i>) in den 11 installierten Lockstofffallen <i>Ips typographus</i> im Hundsaugraben (Wildnisgebiet Dürrenstein) (blaue Linie) und der gefangenen markierten Käfer (gelbe Linie, rechte Ordinate) von 29.04.2012 – 30.08.2012.	24
Abb. A-21:	Anteil gefangener, markierter Buchdrucker je Pheromonfalle (1a-11a; 7b, 10b, 11b) mit jeweiliger Entfernung der Falle zur Ausschlüpfstelle F2 (=markierte Stämme) im Zeitraum 13.06.-30.08.2012.....	25
Abb. A-22:	Pheromonfallenstandorte mit Fangrate markierter Buchdrucker über den Versuchszeitraum 13.06. bis 30.08.2012 im “Hundsau“-Gebiet 2012; F2 = Stelle des Ausschlüpfens markierter Käfer aus den Brutstämmen; die Größe der gelben Punkte zeigt den relativen Anteil, die Zahlen geben die Prozentrate der gefangenen, markierten Käfer an.....	25
Abb. A-23:	Durchschnittliche Anzahl von gefangenen, markierten Käfern pro Pheromonfalle in unterschiedlicher Entfernung zur Ausschlüpfstelle F2 (13.06.-30.08.2012).	27

Tabellen

Tab. A-1:	Anzahl befallener Bäume pro Jahr	11
Tab. A-2:	Unterschiede zwischen beobachteten (E-OBS) und projizierter (Aladin, PROMES, RegCM3) durchschnittlicher Lufttemperatur und durchschnittlicher Niederschlagssumme (April-Oktober) in verschiedenen Perioden.....	17
Tab. A-3:	Unterschiede zwischen beobachteten (E-OBS) und projizierter (Aladin, PROMES, RegCM3) durchschnittlicher Lufttemperatur und durchschnittlicher Niederschlagssumme in den Wintermonaten (Dezember-Februar) in verschiedenen Perioden.	19
Tab. A-4:	Markierte Buchdrucker auf der westlichen Seite des Bergkammes (Rothwald).....	26
Tab. A-5:	Fangrate (%) markierter Käfer in den Fallen je Termin	26
Tab. A-6:	Relative Anzahl Buchdrucker je Pheromonfalle im jeweiligen Radius um die Ausschlüpfstelle.	27
Tab. A-7:	Auswertung Rindenstücke.....	28
Tab. A-8:	Verhältnis Ausbohrlöcher/lebende Buchdrucker in der Rinde	28
Tab. A-9:	Hochrechnung auf die markierte Rindenfläche (12 Stammstücke)	28