

Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Gesäuse

Endbericht

Juli, 2008

Projektleiter: Univ. Prof. Dr. Axel Schopf

**Wissenschaftliche Mitarbeiter:
DI. Dr. Peter Baier
Josef Pennerstorfer, MSc(GIS)**

Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz
Universität für Bodenkultur Wien
Hasenauerstraße 38, A-1190 Wien

Telefon +43-1-3686352-0
Fax: +43-1-3686352-97

Inhaltsverzeichnis

1	EINLEITUNG.....	3
2	MATERIAL UND METHODE	4
2.1	Untersuchungsgebiet und Standorte	4
2.2	Monitoring mittels Pheromonfallen	5
2.3	Fangbäume	6
2.4	Modellierung der Phänologie und Entwicklung des Buchdruckers	9
2.5	Topoklimamodell	10
2.6	Prädisposition der Standorte und Bestände	11
2.7	Statistik und Datenmanagement.....	13
3	ERGEBNISSE	14
3.1	Witterungsverlauf und klimatische Bedingungen	14
3.2	Monitoring der Schwärmaktivität mittels Pheromonfallen.....	21
3.2.1	Validierung des modellierten Schwärmbeginns.....	28
3.3	Borkenkäferentwicklung.....	29
3.3.1	Validierung des Modells PHENIPS	31
3.3.2	Schlupfverhalten der Jungkäfer	37
3.3.3	Brutdichte und Vermehrungsrate	42
3.3.4	Potentielle Entwicklung	44
3.4	Räumliche Modellierung täglicher Temperatur- und Globalstrahlungswerte.....	49
3.5	Räumliche Modellierung der potentiellen Entwicklung der letzten Jahre.....	57
3.6	Standorts- und bestandesbezogene Prädisposition	58
3.6.1	Standortsbezogene Prädispositionsabschätzung	58
3.6.2	Bestandesbezogene Prädisposition der Waldbestände im Nationalpark	61
3.6.3	Bewertung der Prädispositionsabschätzung.....	64
3.6.4	Prädispositionsabschätzung anhand der Satellitenbildinterpretation für Waldflächen außerhalb des Nationalparks	66
4	DISKUSSION	68
5	SCHLUSSFOLGERUNGEN	73
6	ZUSAMMENFASSUNG	76
7	LITERATUR	77

1 Einleitung

Massenvermehrungen von Borkenkäfern führen zu tief greifenden Veränderungen im Ökosystem Wald, die, je nach Standpunkt und Anforderungen des Betrachters, als Gefährdung, Schädigung und Zerstörung von Ressourcen oder als natürlicher Prozess in der Dynamik und Selbstorganisation fichtenreicher Wälder, und damit als Chance für einen Neubeginn, angesehen werden können. Die Ermöglichung und Sicherung natürlicher, vom Menschen weitestgehend unbeeinflusster Abläufe in nutzungsfreien Waldlandschaften, stellt daher in diesem Konfliktumfeld eine außerordentliche Herausforderung dar.

Massenvermehrungen von Fichtenborkenkäfern in den Nationalparks „Bayerischer Wald“ und „Šumava“ haben in den vergangenen Jahren verdeutlicht, dass die Einschränkung bzw. Einstellung von Forstschutzmaßnahmen in Nationalparks mit hohem Fichtenanteil ein hohes Potential für Borkenkäfergradationen darstellt. Sich wiederholende Windwurfereignisse, multikausale Devitalisierung von Waldbeständen, Witterungsextreme und Klimawandel sind wesentliche Faktoren für das Entstehen von Massenvermehrungen des Buchdruckers. Diese können in fichtenreichen Gebirgswälder mit erosions- und verkarstungsgefährdeten Standorten letztendlich zu großflächigen Störungen und Veränderungen des Waldzustandes führen.

Grundsätzlich sind entsprechend den IUCN-Kriterien in Nationalparks keine forstlichen Eingriffe und Maßnahmen vorzunehmen. In Naturwäldern sind Störungen wie Sturmwurf und Borkenkäferkalamitäten ein ganz wesentlicher Bestandteil der natürlichen Waldentwicklung und geben Anstoß zur Erneuerung von Waldbeständen (Lorimer und Frelich, 1994; Schopf und Köhler, 1995). Die Begriffe „Schaden“ bzw. „Schädling“ entspringen einer anthropozentrischen Sichtweise. Der mit der natürlichen Dynamik von Fichtenwäldern verbundene, flächige Zerfall führt in Mitteleuropa zu Konflikten mit verschiedenen gesellschaftlichen Anforderungen an den Wald und ökonomischen Zielsetzungen.

Im Naturwald kann es in Abhängigkeit von prädisponierenden Faktoren im Falle einer Kalamität prinzipiell zu zwei unterschiedlichen Ereignisverläufen kommen (Führer und Nopp, 2001):

1. Die Populationsdichte von *Ips typographus* steigt kurz nach einem Kalamitätsereignis (Windwurf, Schneebruchereignis) an, ebbt aber bald aufgrund ungünstiger Habitatbedingungen und dem raschen Wirksamwerden natürlicher Regelmechanismen ab.
2. Ein Kalamitätsereignis löst den Anstieg der Buchdruckerpopulationsdichte aus, aufgrund förderlicher bestandesstruktureller Gegebenheiten kommt es immer wieder zu Neubefall und der epidemische Zustand bleibt über Jahre erhalten (z.B. Nationalpark Bayerischer Wald).

Schutzgebiete bzw. „Urwälder“ mit großen Differenzen bezüglich Baumartenzusammensetzung, Alters- und Bestandesstruktur, sehr heterogenen Strukturen und hoher Diversität (z.B. Urwald

Rothwald) bieten für den Buchdrucker, selbst bei größeren Windwurfereignissen, nur ein zeitlich wie räumlich sehr eingeschränktes Habitat (Spörk, 1992). Schadereignisse und Befall durch den Buchdrucker können die Strukturen und die Funktionalität des Ökosystems nicht gefährden. Das zyklische Auftreten von Borkenkäferbefall selbst beeinflusst wiederum auch die Populationsdichte von Antagonisten und kann die vielfach signifikant höhere Dichte und Artenvielfalt von Antagonisten in „Urwäldern“ erklären (Spörk, 1992; Scherzinger, 1996; Weslien und Schroeder, 1999). Letzterer Fall führt jedoch zu einer kontinuierlichen Ausweitung der Befallsflächen und wird in großflächigen, wenig strukturierten Fichtenwaldökosystemen im Wesentlichen nur durch die Befallsdisposition der Bestände und durch Witterungsfaktoren limitiert (Sanders, 1987; Schwenke, 1996; Wermelinger *et al.*, 1999; Heurich *et al.*, 2001; Jakuš *et al.*, 2002).

Ziel dieses Projekts war daher die Anwendung und Validierung von bereits bestehender Monitoring-, und Prädispositionsschätzsystemen (Netherer und Pennerstorfer, 2001; Netherer, 2003; Netherer und Nopp-Mayr, 2004; Schopf *et al.*, 2004; Baier *et al.*, 2007) zur Abschätzung der standörtlichen und bestandesbezogenen Gefährdung der Waldbestände für Buchdruckerbefall im Nationalpark Gesäuse, die zur Herleitung von adäquaten Managementstrategien herangezogen werden kann.

2 Material und Methode

2.1 Untersuchungsgebiet und Standorte

An ausgewählten Standorten im Nationalpark Gesäuse erfolgte in den Jahren 2006 und 2007 die Messung relevanter Klimaparameter (Luft- und Rindentemperatur, Sonneneinstrahlung), die einerseits zur Validierung des Topoklimamodells dienten und andererseits zur Verifizierung des Borkenkäferentwicklungsmodells herangezogen wurden (Tab. 1). Bei den Standorten GS1 bis GS10 erfolgte die Messung der Lufttemperaturen in unterschiedlicher Seehöhe und Exposition. Bei den Standorten im Gstatterbodener Kessel und im Johnsbachtal wurden an den untersuchten, liegenden Fangbäumen die Rindentemperaturen gemessen. Zusätzlich erfolgte an den Standorten G1, G2 und G3 sowie am Standort GS10 die Messung der Rindentemperaturen auch an stehenden Fichten. Die Globalstrahlung wurde an drei Standorten (G1, G3 und GS5) mittels Sternpyranometer gemessen.

Tab. 1: Bezeichnung, Seehöhe (H), gemessene meteorologische Parameter (AT: Lufttemperatur; RT: Rindentemperatur; GS: Globalstrahlung) und Koordinaten (Bundesmeldenetz) der Untersuchungsstandorte im Nationalpark Gesäuse.

Kennung	Standort	Parameter	Jahr	X	Y	H (m)
GS1	Gofergraben unten	AT	2006 / 2007	542449	271491	680
GS2	Gofergraben oben	AT	2006 / 2007	542038	270360	970
GS3	Gscheideck	AT	2006 / 2007	551047	265219	1573
GS4	Kölbl-Galtviehalm	AT	2006	549995	267335	1569
GS5	Kölblalm	AT, GS	2006 / 2007	548425	266607	1108
GS6	Wegmacherwald	AT	2006 / 2007	547283	272828	650
GS7	Hartelsgraben	AT	2006 / 2007	553579	269891	1170
GS8	Sulzkaralm	AT	2006 / 2007	551296	270055	1465
GS9	Schwarzlackn	AT	2006 / 2007	551980	267888	1587
GS10	Ennstaler Ht.	AT	2006	550726	275702	1515
GS11	Tamischbachturm unten	AT	2007	555012	275385	600
GS12	Tamischbachturm oben	AT	2007	553413	274687	1008
Fallen und Fangbäume Gstatterboden						
G1	G1 Fangbaum 1	AT, RT	2006/2007	548567	274002	673
G1	G1 Falle 1	AT, GS	2006/2007	548775	274060	682
G2	G2 Fangbaum2/Falle 2	AT, RT	2006/2007	549642	275257	945
G3	G3 Fangbaum 3	AT, RT	2006/2007	551552	275097	1207
G3	G3 Falle3	AT, GS	2006/2007	551552	275097	1161
Fallen und Fangbäume Johnsbach						
G4	G4 Fangbaum 4 Falle 4	AT, RT	2007	548950	266794	1100
G5	G5 Fangbaum 5 Falle 5	AT, RT	2007	550272	266230	1377
G6	G6 Fangbaum 6 Falle 6	AT, RT	2007	550483	267005	1387

2.2 Monitoring mittels Pheromonfallen

An jeweils 3 Standorten in unterschiedlicher Höhenlage in Gstatterboden (2006/2007) und in Johnsbach (2007) wurde mittels Pheromonfallen (Theysohn -Flugbarrierefallen beködert mit

IPSOWIT) die Flugaktivität des Buchdruckers im Zeitraum vom 16.5. – 10.10. 2006 bzw. 13.4. – 11.10.2007 überwacht. Die Fallen wurden wöchentlich kontrolliert und die Anzahl gefangener Buchdrucker bestimmt. Die Pheromondispenser wurden jeweils nach ca. 4 - 5 Wochen erneuert.

2.3 Fangbäume

Die Entwicklung des Buchdruckers wurde anhand von Fangbäumen an unterschiedlichen Standorten untersucht. Im Untersuchungsjahr 2006 wurde an 3 Standorten in Gstatterboden Mitte Mai bzw. Mitte Juli Fangbäume gelegt. Im Jahr 2007 erfolgte an 3 weiteren Standorten im Johnsbachtal die Kontrolle der Entwicklung an Fangbäumen (Tab. 2).

An jedem Fangbaum wurden im Bereich des Kronenansatzes Datenlogger zur Messung der Rindentemperatur an jeweils 4 Stammpositionen (oben, 2x seitlich, unten) installiert. Zusätzlich erfolgte bei jeder Fangbaumfläche eine Rindentemperaturmessung in Brusthöhe an einem stehenden Stamm (jeweils Nord- und Südseite) sowie eine Lufttemperaturmessung. Die Messung der Rindentemperaturen erfolgte mittels Ni-100-Sensoren und MiniCube VV/VX Datenlogger. Die Lufttemperatur wurde mit PT-100 Sensoren und entsprechendem Einstrahlungsschutz gemessen.

Alle Fangbäume wurden im wöchentlichen Abstand auf Einbohrlöcher inspiziert. Die ersten Einbohrungen an den Fangbäumen wurden mit gefärbten Reißnägeln markiert. Zur weiteren Kontrolle der Brutentwicklung wurden Rindenproben (ca. 20cm x 10cm) mit markierten Brutsystemen an jeweils 3 Stammabschnitten (Kronenmitte, Kronenansatz, d03) entnommen und der jeweils minimale und maximale Entwicklungsstand sowie die Präsenz/Absenz der Parentalkäfer registriert.

Bei Erreichen des Puppen- bzw. Jungkäferstadiums wurden die Fangbäume aufgearbeitet, wobei zur Ermittlung des Schlüpftermins der Jungkäfer im Freiland ein etwa 2-3 m langes Stammstück belassen wurde. Weiters wurde je Fangbaum repräsentative Stammstücke entnommen, um das Schlüpfverhalten der Käfer unter kontrollierten Bedingungen in Photoelektoren bzw. Schlüpfkäfigen überprüfen zu können.

Im Untersuchungsjahr 2006 wurden von den Fangbäumen der ersten Fangbaumserie bei Erreichen des Puppen- bzw. Jungkäferstadiums am 13.07.2006 pro Fangbaum jeweils zwei Probestämme (Länge ca. 60 cm) entnommen. Um das Schlüpfverhalten der Käfer weiterhin beobachten zu können, wurden diese Stämme unter Semi-Freilandbedingungen in Wien (Institutsgarten) und in Etmüßl (Steiermark) gelagert (Abb. 1). Sowohl in Etmüßl als auch im Institutsgarten wurde die Lufttemperatur mittels Datenlogger registriert. Die am 13.Juli nach Etmüßl gebrachten Stämme wurden in Photoelektoren im Halbschatten aufgestellt. Dort konnte durch tägliche Kontrolle der Auffangbehälter das Schlüpfverhalten der Käfer beobachtet werden.

Zu den im Wiener Institutsgarten in Käfigen befindlichen Stämmen kamen frische, noch unbefallene Stämme zum Abfangen der schlüpfenden Borkenkäfer hinzu. In wöchentlichen Kontrollen wurden an

diesen Abfangstämmen neue Einbohrungen markiert und die im Käfig frei befindlichen toten oder lebenden Käfer abgesammelt und notiert.

Um die Anzahl der Jungkäfer zu bestimmen, die in den Probestämmen verblieben sind, wurden sowohl die in Etmüßl als auch die im Institutsgarten gelagerten Stämme im Labor von 24.10.2006 bis 04.12.2006 unter Langtagbedingungen (16 Stunden Licht und 8 Stunden Dunkelheit) bei durchschnittlich $26^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ gehalten und ausschlüpfende Buchdrucker in 1 – 3-tägigen Abstand abgesammelt. Nach Ende des Schlüpfens der Jungkäfer (4.12.) wurden alle Stämme entrindet und die Brutsysteme vermessen.

Die von der zweiten Fangbaumserie jeweils entnommenen Stammstücke wurden während des Winters 2006/2007 im Institutsgarten im Freien gelagert. Von diesen Stämmen wurden periodisch Rindenstücke entnommen und die Anzahl lebender bzw. toter Buchdrucker bestimmt. Im Frühjahr 2007 wurden zu den Probestämmen ab 10.März Abfangstämmen dazugegeben, um ausschlüpfenden Käfern die Möglichkeit zu geben sich einzubohren und Bruten anzulegen. Die Abfangstämmen wurden wöchentlich kontrolliert und neue Einbohrungen an diesen Stämmen wurden entsprechend farblich markiert. Nach Ende des Jungkäferschlupfs wurden sowohl die Abfangstämmen als auch die von den Fangbäumen entnommenen Probestämme entrindet und die Brutsysteme analysiert (4.Juni 2007).

Im Untersuchungsjahr 2007 wurden die von den 6 Fangbäumen der ersten Fangbaumserie entnommenen Probestämme in Stanz (677m Seehöhe) in Photoelektoren gelagert (G1-G3 ab 13.6.2007; G4-G6 ab 29.6.2007) und ausschlüpfende Käfer regelmäßig abgesammelt. Am 17.9.2007 wurden diese Stämme ins Labor transferiert (Bedingungen wie oben), um die Anzahl der während des Sommers nicht ausgeschlüpften Jungkäfer zu ermitteln. Am 18.10.2007 wurden diese Stämme entrindet und die Brutsysteme vermessen.

An den Probestämmen als auch bei den Abfangstämmen wurde die Anzahl der Einbohrungen mit bzw. ohne Muttergänge, die Anzahl der Brutbilder mit Reifungsfraß, die Anzahl und Länge der Muttergänge bestimmt. An den Fangbaumprobestämmen wurde zudem die Anzahl verbliebener, lebender oder toter Jungkäfer in der Rinde bestimmt.

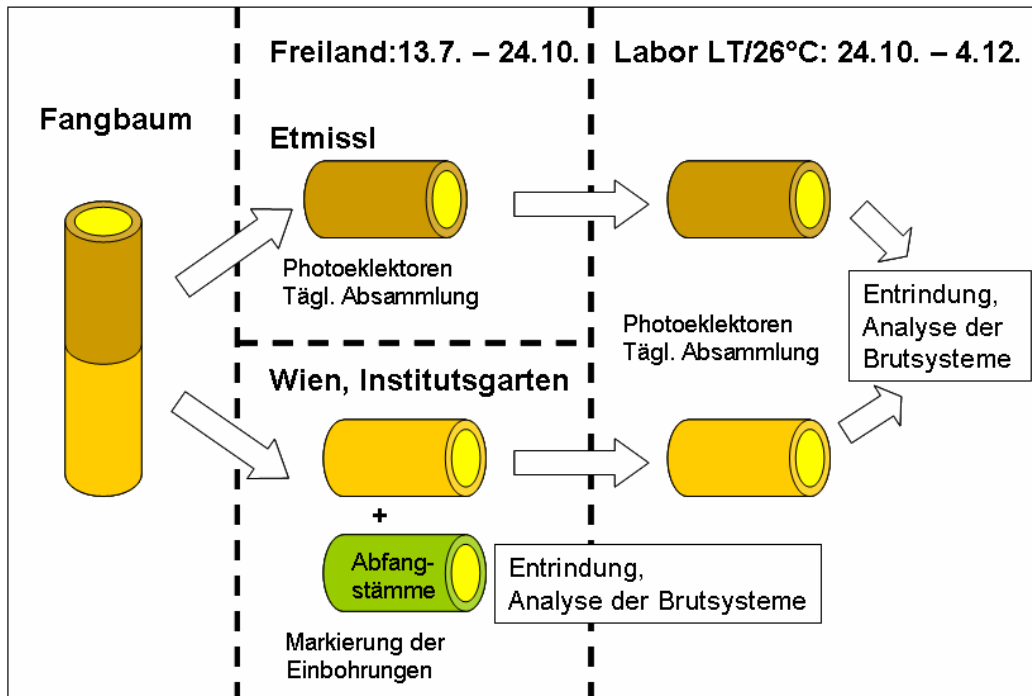


Abb. 1: Schematische Darstellung der Kontrollen, Aufsammlungen und Aufarbeitung der von den befallenen Fangbäumen entnommenen Stammstücke in Etmisß, im Institutsgarten und im Labor.

Tab. 2: Datum der Fällung bzw. Beginn der Messungen, Baumalter, Brusthöhendurchmesser, Baumlänge, Höhe des Kronenansatzes und Lage der Fangbäume sowie Exposition und Hangneigung der Fangbaumstandorte im Nationalpark Gesäuse.

Standort	Fällung/Beginn der Messung	Alter (Jahre)	BHD (cm)	Baumlänge (m)	Kronenansatz (m)	Lage Richtung Wipfel (°)	Exposition (°)	Hangneigung (%)
G1	16.05.06	147	33	20,3	9,6	280	180	2
	19.07.06	113	37	24,9	11,5	275		2
G2	16.05.06	120	41,5	33,5	22,2	100	240	25
	19.07.06	130	27,5	28,5	18,8	142		25
G3	16.05.06	90	32	22,9	12,7	150	220	30
	19.07.06	100	37	25,7	16,1	135		30
G1	13.04.07	230	38	21,2	10,5	115	180	2
	12.07.07	150	39	20,4	12,5	290		2
G2	13.04.07*)	140	43	30,4	16,3	30	240	25
	12.07.07	127	45	27,9	13,2	30		30
G3	13.04.07*)	106	40	27,6	10,3	20	220	30
	12.07.07	118	41	24,9	12,0	61		30
G4	20.04.07*)	120	38	21,7	10,0	0	240	30
	12.07.07	126	50	30,5	10,2	0		15
G5	20.04.07*)	150	59	37,3	22,4	35	315	20
	12.07.07	136	53	35,7	24,0	40		20
G6	20.04.07*)	183	57	27,6	17,5	29	180	20
	12.07.07	150	62	25,1	5,0	120		0

*) vom Wind geworfene/gebrochene Fichten

2.4 Modellierung der Phänologie und Entwicklung des Buchdruckers

Das bestehende Borkenkäferentwicklungsmodell PHENIPS (Schopf *et al.*, 2004; Baier *et al.*, 2007) wurde anhand des Entwicklungsverlaufs bei den Fangbäumen und den stündlich gemessenen Rindentemperaturen an den 4 Stammseiten überprüft. Die Berechnung der effektiven Temperaturen erfolgte dabei sowohl anhand des Gesamtentwicklungsmodells als auch anhand des detaillierten Stadienmodells (Tab. 3) (Schopf *et al.*, 2004). Dabei wurde der Entwicklungsstand von markierten Brutsystemen mit den entsprechenden effektiven Rindentemperatursummen der jeweiligen Stammseite verglichen.

Für die Berechnung der potentiellen Entwicklung mittels PHENIPS sind komplette Temperaturmessreihen für den Zeitraum von 1. April bis 31. Oktober notwendig. Daher wurde zur Berechnung des Schwärm- und Befallsbeginns im Frühjahr sowie der potentiellen (maximalen) Brutentwicklung zunächst für die Zeiträume ohne Temperaturmessungen im Gelände (1.4. – 16.5. bzw. 10.10. – 31.10. 2006) anhand der Zusammenhänge zwischen den Temperaturen der

Messstation Aigen im Ennstal und den gemessenen Temperaturen im Gelände die benötigten Temperaturwerte (Tagesmaximum der Lufttemperatur, Tagessumme der effektiven Rindentemperatur) für die jeweiligen Standorte extrapoliert. Für das Untersuchungsjahr 2007 wurden die fehlenden Messwerte (1.4. – 13.4. bzw. 10.10. – 31.10.2007) anhand linearer Regressionen mit Daten der Station Weidendom berechnet.

Zur Berechnung des Schwärm- und Befallsbeginns im Frühjahr, des Beginns der Geschwisterbruten sowie der potentiellen (maximalen) Brutentwicklung wurden die in Tab. 3 dargestellten Temperaturschwellenwerte und (relativen) Temperatursummen verwendet (Schopf *et al.*, 2004; Baier *et al.*, 2007).

Tab. 3: Verwendete Schwellenwerte der Lufttemperatur (LTmax: Tagesmaximum der Lufttemperatur), der effektiven Rindentemperatursummen (dd: Tagesgrade) sowie der relativen Temperatursummen für die Borkenkäferentwicklungsmodellierung (Schopf *et al.*, 2004; Baier *et al.*, 2007).

	Summe LTmax >8,3°C ab 1. April	LTmax		
Befallsbeginn im Frühjahr	140 dd			
Schwärmtemperatur		≥ 16,5°C		
Brutentwicklung			Stadienmodell	Gesamtmodell
Stadium	effektive Temperatursumme (dd)	laufende Summe (dd)	relative Summe	relative. Summe
Ei	51,8	51,8	0,10	
Larven	204,4	256,2	0,48	
Puppen	57,7	313,9	0,58	
Reifungsfraß	222,8	536,7	1,00	
Ei bis Puppe		334,2		
Gesamtmodell				
Ei – reife Jungkäfer	557			1
Beginn Geschwisterbrut				0,5
Induktion der Diapause	Tageslänge <14,5 h			
relative Temperatursumme für erfolgreiche Überwinterung				0,6

2.5 Topoklimamodell

Eine wesentliche Voraussetzung für die Modellierung der Phänologie des Buchdruckers und des täglichen Entwicklungsfortschritts im Gelände ist die adäquate Darstellung der täglichen, klimatischen Bedingungen mit entsprechend hoher räumlicher Auflösung. Grundlegende topographische Parameter (Seehöhe, Exposition, Neigung) werden dabei anhand eines digitalen Geländemodells mit 250*250 m Auflösung abgeleitet.

Die zur Modellierung der Borkenkäferentwicklung mittels PHENIPS notwendigen Eingangsparameter (Tagesmaximum und Tagesmittel der Lufttemperatur, Einstrahlungstagesumme) erfolgte anhand unterschiedlicher Interpolationsverfahren. Das Interpolationsverfahren DAYMET (Thornton *et al.*, 1997; Hasenauer *et al.*, 2003; Petritsch und Hasenauer, 2007, Schopf *et al.*, 2007) wurde für die Berechnung der täglichen Temperaturen in den Jahren 2000 – 2006 (jeweils vom 1. April bis 31. Oktober) anhand der Wetterdaten des Stationsnetzes der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik (ZAMG) herangezogen. Tägliche Globalstrahlungssummen für den Zeitraum 2000 – 2006 wurden mittels täglicher, multipler Regressionen unter Verwendung von Stationsdaten, potentieller Sonneneinstrahlung (berechnet mit dem Programm SOLARANALYST, Fu und Rich, 2000) und MeteoSat 7 Satellitenbilderdaten (Wasserdampf- und Infrarot-Kanal) räumlich interpoliert (Schopf *et al.*, 2007).

Für die Validierung des Topoklimamodells wurden die im Untersuchungsjahr 2006 im Gebiet des Nationalparks gemessenen Lufttemperatur- und Einstrahlungswerte verwendet. Die Güte der Temperaturinterpolationen wurde mittels des Zusammenhangs zwischen den berechneten und gemessenen Temperaturwerten mit Hilfe von linearen Regressionsanalysen überprüft. Residuen zwischen berechneten und gemessenen Daten wurden anhand des mittleren Fehlers (berechneter – gemessener Wert), des mittleren absoluten Fehlers (MAE) und des relativen Fehlers (Summe der berechneten Werte in Relation zur Summe der gemessenen Werte; RPME(%)) dargestellt.

Die modellierten Tagessummen der Globalstrahlung wurden ebenso mittels Regressions- und Residuenanalysen überprüft. Für Waldstandorte mit teilweiser Überschildung durch den Bestand wurden die modellierten Einstrahlungswerte („above canopy“) mittels monatlichem „global site factor“ (GSF: berechnet anhand von Hemiview-Aufnahmen), entsprechend reduziert.

2.6 Prädisposition der Standorte und Bestände

Anhand empirischer, wissensbasierender Prädispositionsschlüssel für abiotische Faktoren (Sturm, Schnee) (Führer und Nopp, 2001) und für biotische Faktoren (Borkenkäferbefall, (Wiefler, 1998; Nopp *et al.*, 2000; Netherer *et al.*, 2002; Netherer, 2003)) kann die standorts- und bestandesbezogene Gefährdung gegenüber diesen Schadfaktoren abgeschätzt und mittels eines speziellen Tools (MapModels) berechnet und in ArcView GIS visualisiert werden (Riedl und Kalasek, 1998; Netherer *et al.*, 2002).

Als Datenbasis zur Beschreibung der Bestandeseigenschaften dienten dabei die Ergebnisse der Luftbildinterpretation des Nationalparks Gesäuse. Standortbezogenen, topographische Daten wurden aus dem digitalen Höhenmodell abgeleitet (Tab. 4). Entsprechend ihrer relativen Bedeutung werden dabei die einzelnen Prädispositionskriterien ursachengerecht gewichtet und deren Ausprägung je nach Einflussnahme auf die Prädisposition mittels Award-Penalty-Point-Systems bewertet (Berryman,

1986; Speight und Wainhouse, 1989; Führer und Nopp, 2001). Für die weitere Berechnung der einzelnen Beiträge zur Gesamtprädisposition wurden die Prädispositionspunkte reskaliert (Werte zwischen 0 und 1) und anhand ihrer relativen Gewichtung entsprechend gewertet („Fuzzy Set“) (siehe Anhang Tabelle A1). Der Quotient aus der Punktesumme der einzelnen Kriterien und der maximal möglichen Punktesumme gibt den Wert der relativen Prädisposition der Beurteilungseinheit wieder. Für die bestandesbezogene Prädispositionsabschätzung für Schnee-, bzw. Sturmschaden und insbesondere für Borkenkäferbefall müssen die anhand des Schlüssels ermittelten Prädispositionen für Jungbestände (Jungwuchs bis Stangenholz) anhand des Bestandesalter bzw. Bestandesentwicklungsstufe korrigiert werden (siehe Anhang Abbildung A1). Die in Tab. A1 angeführten „knock-out“-Kriterien müssen danach zusätzlich berücksichtigt werden.

Für die kartographischen Darstellungen der standörtlichen und bestandesbedingten Prädisposition im Anhang wurden die jeweiligen Werte der relativen Prädisposition zu Klassen zusammengefasst („sehr gering“: relativer Wert der Prädisposition <20% des maximal möglichen Werts; „gering“:>20-40%; „mittel“: >40-60%; „hoch“:>60-80%; „sehr hoch“: >80-100%).

Eine Bewertung der Gefährdungsklassifikation erfolgte anhand flächenbezogener Angaben zum Auftreten von Sturm- und Schneebruchschäden sowie Borkenkäferbefall im Nationalpark in den Jahren 2003 - 2007.

Diese Prädispositionsabschätzung wurde nicht nur für den Nationalpark selbst, sondern auch für die weitere Umgebung des Nationalparks berechnet. Zur Prädispositionsabschätzung angrenzender Waldbestände ausserhalb des Nationalparks wurden Satellitenbilddaten (Landsat TM) verwendet. Die objektbezogene Auswertung des Satellitenbildes ergab neben der Trennung von Nichtwald- und Waldflächen eine Einteilung der Waldflächen in 3 Klassen (fichtenreiche Bestände, Mischbestände und laubholzdominierte Bestände). Diese Klassifikationen wurden mittels CORINE-Landcover Daten und Orthophotos visuell überprüft. Zusätzlich wurde die Klassifizierung der Bestände anhand des Satellitenbildes im Bereich des Nationalparks mittels Verschneidung mit Bestandesdaten aus der Luftbildinterpretation überprüft.

Tab. 4: Verwendete Parameter zur Prädispositionsabschätzung für Borkenkäferbefall, Sturm- und Schneeschaden.

Sturm Bestand
Fichtenanteil
Laubholzanteil
Anteil Lärche, Kiefer, Tanne, Zirbe
Bestandesalter (Ersatz für Bestandesoberhöhe)
Bestandesdichte
Sturm Standort
Geländeneigung
Geländemorphologie
Schnee Standort
Seehöhe
Windexposition
Geländemorphologie
Neigung
Schnee Bestand
Anteil Fichte u/o Kiefer
Bestandesentwicklungsstufe (Bestandesalter)
Schlußgrad (Bestockungsgrad)
<i>Ips typographus</i> Standort
Generationsentwicklung
Niederschlagsverhältnisse
Geländemorphologie
Prädisposition Wind
Prädisposition Schnee
<i>Ips typographus</i> Bestand
Fichtenanteil
Bestandesalter
Bestandesdichte
Prädisposition Wind
Prädisposition Schnee

2.7 Statistik und Datenmanagement

Statistische Auswertungen wurden mit dem Programm SPSSTM12.0 durchgeführt (SPSS INC., 1990). Lineare Zusammenhänge wurden mittels multipler, linearer Regressionsanalysen überprüft. Sollwert-Vergleiche wurden mit dem one-samples T-Test durchgeführt. Die Datenverwaltung erfolgte mit dem Programm MS Access. Für die Berechnungen des Topoklimamodells wurde das Datenbankprogramm Microsoft SQL Server 2000 verwendet. Die Prädispositionsschätzwerte wurden mit der Implementierungsplattform MapModels berechnet und eingebunden (Riedl und Kalasek, 1998). Die Erstellung von Karten erfolgte mit der GIS-Software ArcView Gis 3.2.a bzw. ArcGis 8.3.

3 Ergebnisse

3.1 Witterungsverlauf und klimatische Bedingungen

Der Witterungsverlauf im Untersuchungsjahr 2006 war geprägt durch zwei markante Kaltlufteinbrüche (Ende Mai; Anfang August). Nach wechselhaften aber milden Temperaturen im Mai folgte Ende Mai bis Mitte Juni eine deutliche Abkühlung. Erst ab Mitte Juni traten wieder sommerliche Temperaturen mit Tageshöchstwerte bis über 30°C auf. Eine hochsommerliche Phase im Juli endete mit Anfang August mit einer deutlichen Abkühlung bis Mitte August. Die Temperaturen im Spätsommer jedoch waren überdurchschnittlich hoch (Abb. 2).

Nach einem warmen, schneearmen Winter traten im April 2007 bereits überdurchschnittlich hohe Temperaturen auf. Nach Abkühlung Anfang Mai folgte ab Mitte Mai wechselhaftes Wetter mit ersten frühlingswarmen Perioden (Tageswerte >25°C). Ab Anfang Juni wurde die Witterung stabiler und mit teils hochsommerlichen Temperaturen zunehmend wärmer. Erst gegen Ende Juni wurde das Wetter wechselhafter und mit zunehmenden Niederschlägen wieder kühler. Ab Mitte Juli trat eine niederschlagsfreie, extrem warme Witterung mit Tagesmaxima über 30°C auf. Der Monat August war wiederum sehr wechselhaft und niederschlagsreich. Ende August/Anfang September folgte ein markanter Kaltlufteinbruch mit hohen Niederschlägen. In weiterer Folge blieb das Wetter zwar mild aber unbeständig mit ersten Nachtfrosten in exponierten Lagen. Eine Kaltfront sorgte am 18. Oktober für starke Abkühlung und Schneefall bis in die Täler.

Der Vergleich der Lufttemperaturmesswerte zwischen den Fangbaum- und Fallenstandorten zeigte erwartungsgemäß in beiden Jahren eine deutliche Abnahme der Lufttemperatur mit steigender Seehöhe (Tab. 5). Die höchsten Temperaturwerte wurden am Standort G1 (673m), die niedrigsten am Standort G6 (1387m) gemessen. Auffallend hohe Tagesmaxima wurden am Standort G4 (in der Nähe zur Kölblalm) gemessen. Der höchste gemessene Wert (34,41°C) wurde ebenfalls bei diesem Standort in 1100m Seehöhe erreicht (Tab. 5).

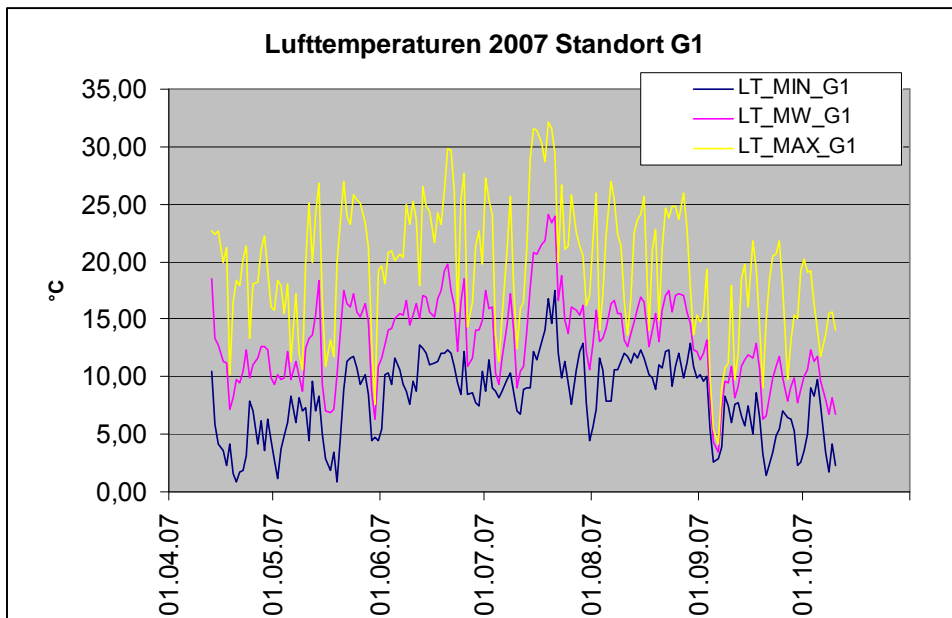
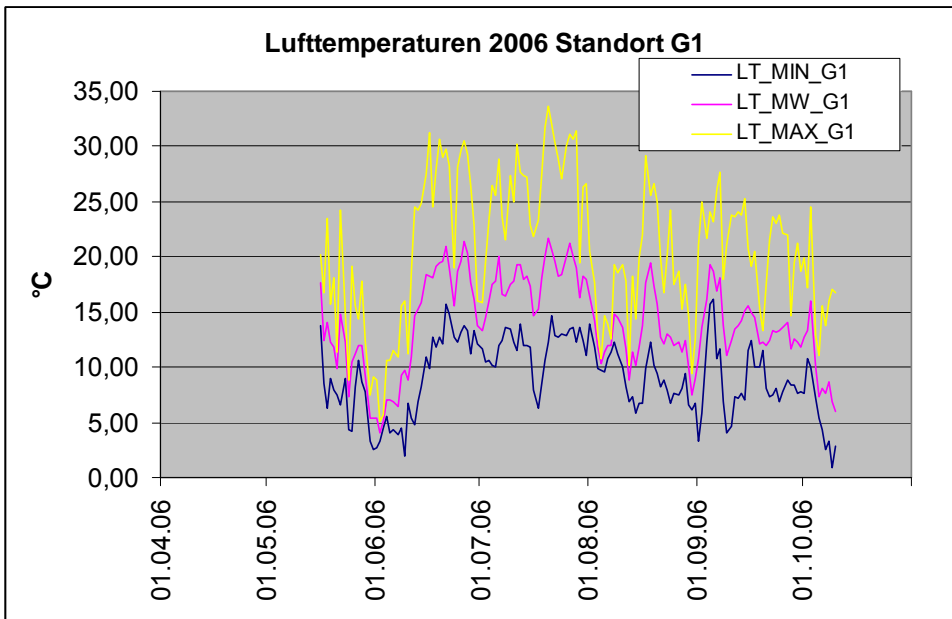


Abb. 2: Verlauf der Lufttemperaturen (Tagesminimum (LT_MIN); Tagesmittelwert (LT_MW); Tagesmaximum (LT_MAX)) im Gesäuse am Beispiel des Standorts G1.

Tab. 5: Vergleich der Lufttemperaturwerte zwischen den Standorten und Untersuchungsjahren (Vergleichszeitraum 16.5. – 9.10.).

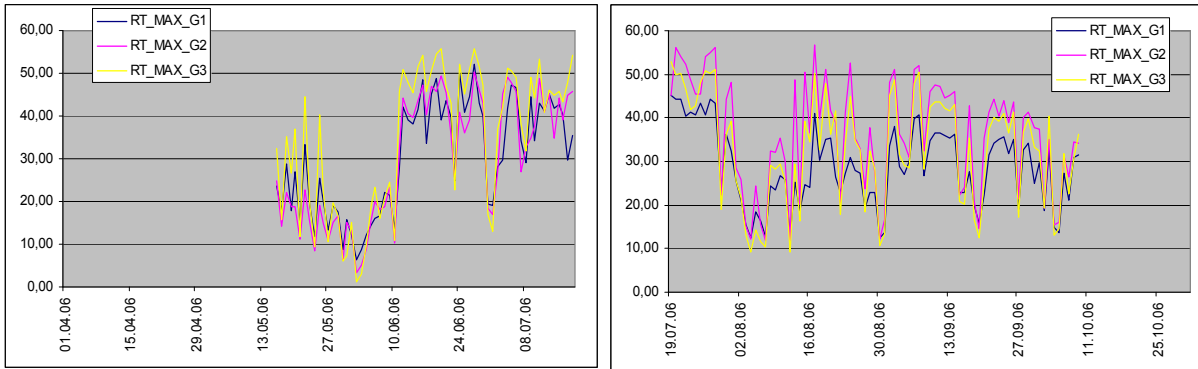
	2006			2007					
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Seehöhe (m)	673	945	1207	673	945	1207	1100	1377	1387
Tagesmittelwert									
Mittelwert	14,02	13,52	12,23	13,56	13,10	12,04	12,79	11,19	10,91
Stabw.	4,10	4,50	4,73	3,92	4,35	4,61	4,10	4,59	4,42
Tagesmaximum									
Mittelwert	20,75	19,95	17,55	19,98	18,89	17,38	20,40	16,29	16,75
Stabw.	6,46	6,76	6,65	5,76	6,20	6,22	6,61	6,29	6,08
Absolutes Maximum	33,61	33,10	30,83	32,10	32,18	31,04	34,41	30,80	30,47
Tagesminimum									
Mittelwert	9,15	9,29	8,65	8,77	8,87	8,09	7,99	7,39	6,62
Stabw.	3,33	3,59	3,84	3,24	3,59	3,82	3,32	3,79	3,64
Absolutes Minimum	0,92	0,30	-0,74	0,80	0,25	-0,66	0,79	-0,96	-0,76

Völlig unterschiedlich zu den Lufttemperaturen verhielten sich die Rindentemperaturen der gefälltten Fangbaumfichten (Tab. 6; Abb. 3; Abb. 4). Die Rindentemperaturen an der Stammoberseite zeigten dabei keine so deutliche Höhenabhängigkeit wie die Lufttemperaturen. Die Rindentemperaturwerte (insbesondere die Tagesmaxima) waren vielmehr von den kleinstandörtlich sehr variablen Einstrahlungsbedingungen bestimmt. Die niedrigsten Werte wurden dabei am nordexponierten Standort G5 registriert. Im Vergleich dazu wurden selbst am höchstgelegenen, südexponierten Standort G6 in 1387 m Seehöhe durchschnittliche Rindentemperaturmaxima von mehr als 30°C gemessen. Die höchsten Rindentemperaturen wurden am Standort G4 (Maximum >60°C) im Johnsbachtal erreicht. Bei allen Fangbäumen wurden Rindentemperaturmaxima von über 40 °C gemessen. Die durchschnittlichen Tagesmittelwerte der Rindentemperatur waren um 1,38 °C (G5) bis 4,19°C (G3; 2006) höher als die entsprechenden Lufttemperaturmittel. Die Minima der Rindentemperaturen waren dagegen nur geringfügig niedriger als die Minima der Lufttemperatur.

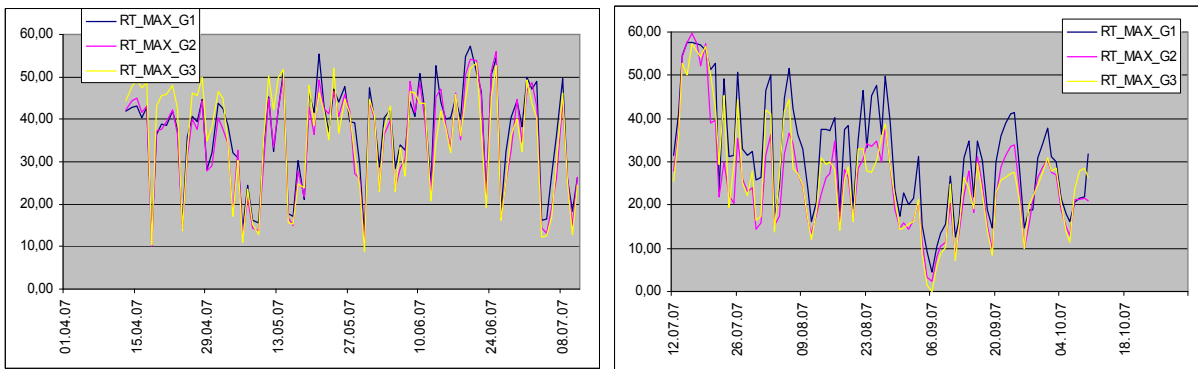
Tab. 6: Vergleich der Rindentemperaturwerte an der Stammoberseite zwischen den Standorten und Untersuchungsjahren (Vergleichszeitraum 16.5. – 9.10.).

	2006			2007					
	G1	G2	G3	G1	G2	G3	G4	G5	G6
Seehöhe (m)	673	945	1207	673	945	1207	1100	1377	1387
Tagesmittelwert									
Mittelwert	16,53	17,06	16,42	17,67	15,75	15,30	15,58	12,57	14,73
Stabw.	5,22	6,03	6,52	5,91	5,51	5,92	5,19	5,29	6,36
Tagesmaximum									
Mittelwert	29,41	33,42	33,45	34,30	29,44	29,51	32,27	21,45	30,88
Stabw.	10,79	13,75	14,33	12,84	12,98	12,95	13,42	9,03	13,09
Absolutes Maximum	52,16	56,65	55,76	57,68	59,66	57,24	61,90	43,88	55,09
Tagesminimum									
Mittelwert	8,98	8,53	8,28	7,93	8,99	8,25	7,39	6,58	5,74
Stabw.	3,99	4,23	3,92	3,88	3,76	3,96	3,42	3,82	3,74
Absolutes Minimum	-2,06	-2,46	-0,27	-2,12	-0,13	-0,24	-2,55	-1,14	-2,92

2006 Standorte G1 – G3



2007 Standorte G1 – G3



2007 Standorte G4 – G6

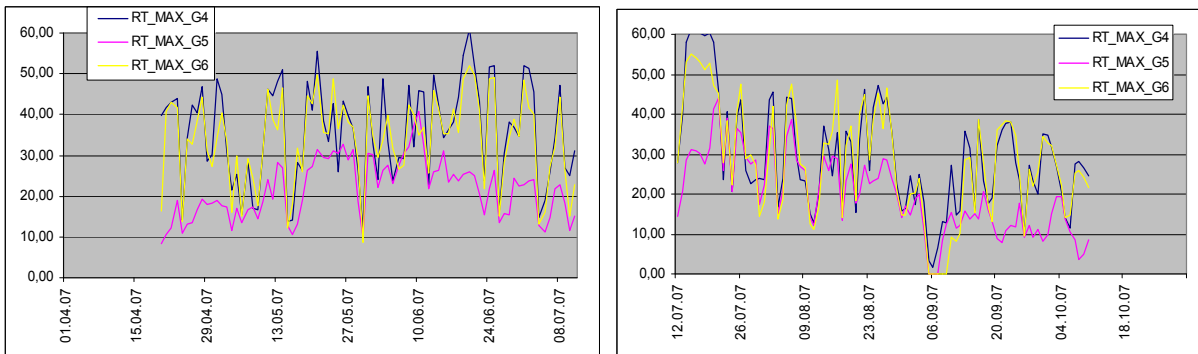


Abb. 3: Verlauf des Tagesmaximums der Rindentemperatur an der Stammoberseite der Fangbäume im Gesäuse (jeweils erste und zweite Fangbaumserie).

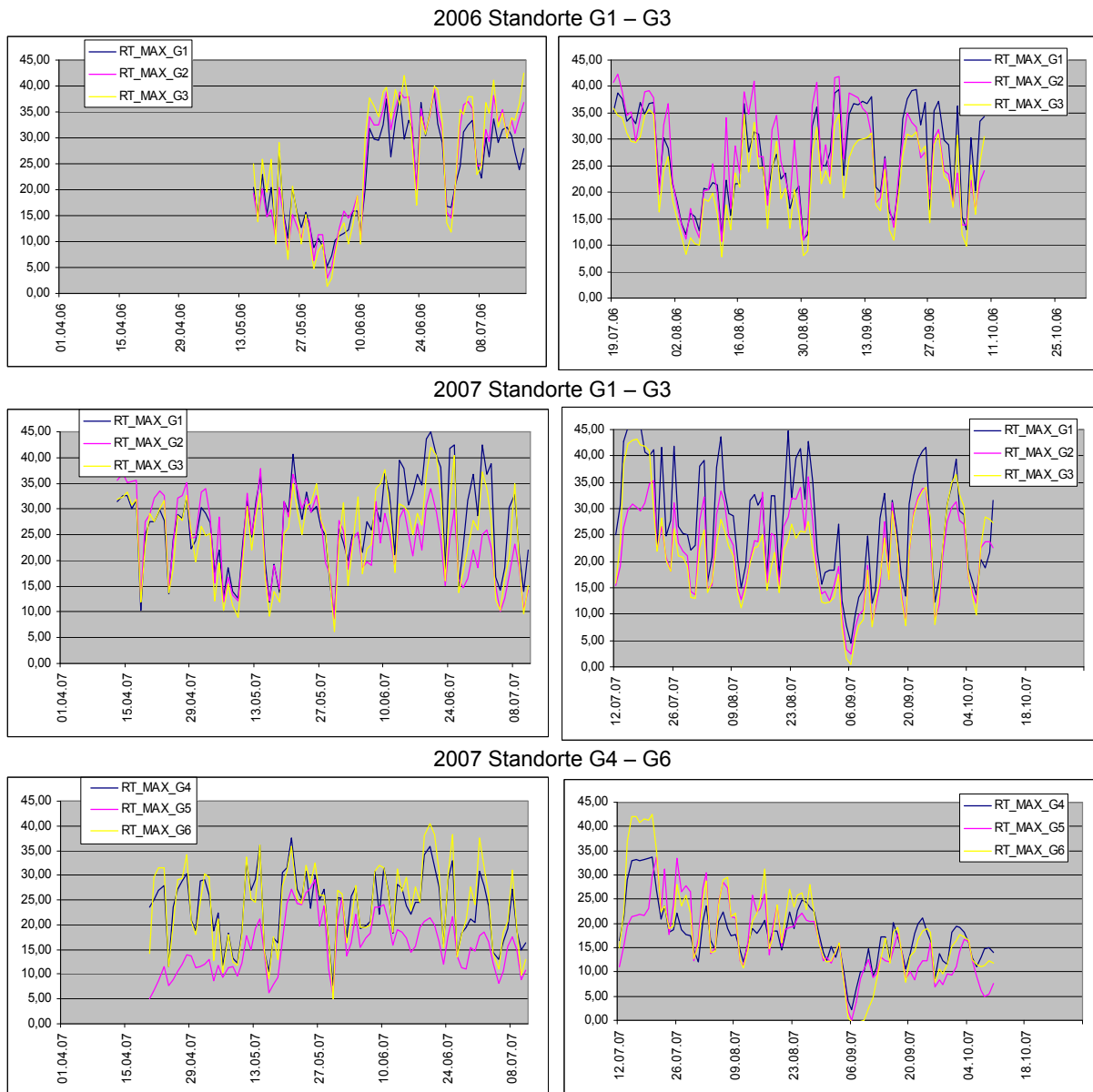


Abb. 4: Verlauf des Tagesmaximums der Rindentemperatur an der südlich exponierten Stammseite (jeweils erste und zweite Fangbaumserie).

Der Vergleich der effektiven Rindentemperatursumme (berechnet anhand stündlich gemessener Werte), die die Buchdrucker für ihre Entwicklung nutzen können, zur berechneten Temperatursumme der Luft zeigt für alle Stammpositionen deutlich höhere Werte (Tab. 7). Aufgrund der extrem hohen Temperaturen an der Stammoberseite waren die effektiven Temperatursummen an den seitlichen Stammpositionen je nach Lage und Exposition der Fangbäume zum Teil sogar höher als an der Oberseite. Die effektive Temperatursumme an der Stammoberseite ist im Mittel um $28 \pm 15 \%$ höher, an den seitlichen Bereich ist die Temperatursumme um durchschnittlich $26 \pm 17 \%$ höher als die effektive Summe der Lufttemperatur (Tab. 7). Im Mittel aller Fangbäume war die Temperatursumme an der Oberseite nicht signifikant verschieden von der Temperatursumme an den seitlichen Positionen (mittlere Differenz: $-3,51\%$; one-sample-T-Test: $t=-1,57$; $df= 35$; $P=0,126$).

Tab. 7: Effektive Temperatursummen (nach Stundenwerten berechnet) der unterschiedlichen Stammpositionen in Relation zur effektiven Lufttemperatursumme bzw. zur effektiven Rindentemperatursumme der Stammoberseite getrennt nach Untersuchungsjahren, Standorten und Fangbäumen.

Jahr	Standort	Fangbaum	Relation zu Lufttemperatur (%)				Relation zur Stammoberseite (%)			
			oben	seitlich 1	seitlich 2	unten	seitlich 1	seitlich 2	unten	
2006	G1	FB1	118.58	118.24	116.38	99.54	99.71	98.14	83.94	
		FB2	124.78	129.93	105.25	109.07	104.13	84.35	87.41	
	G2	FB1	110.93	122.65	114.24	107.04	110.57	102.98	96.49	
		FB2	111.14	131.19	116.53	95.02	118.04	104.85	85.50	
	G3	FB1	111.41	132.57	144.23	128.05	118.99	129.46	114.93	
		FB2	131.90	139.59	127.46	122.53	105.83	96.64	92.90	
2007	G1	FB1	116.09	121.65	124.11	109.32	104.79	106.90	94.17	
		FB2	124.49	127.98	107.32	109.26	102.81	86.21	87.76	
	G2	FB1	124.74	126.67	118.20	94.00	101.54	94.76	75.36	
		FB2	130.13	122.72	105.79	104.48	94.31	81.30	80.29	
	G3	FB1	142.04	147.36	137.86	120.53	103.75	97.06	84.86	
		FB2	141.60	136.41	116.66	112.26	96.33	82.38	79.28	
	G4	FB1	104.38	108.76	103.48	80.50	104.19	99.14	77.12	
		FB2	127.96	98.39	130.54	94.38	76.89	102.02	73.75	
	G5	FB1	134.78	92.68	114.49	92.78	68.76	84.94	68.84	
		FB2	133.42	119.13	97.64	89.87	89.29	73.19	67.36	
	G6	FB1	160.45	165.63	146.99	126.09	103.23	91.61	78.59	
		FB2	155.01	124.23	115.56	90.70	80.15	74.55	58.51	
	Gesamt	Mittelwert		127.99	125.88	119.04	104.75	99.07	93.92	82.61
		Stabw.		15.21	16.68	13.89	13.68	13.23	13.49	12.69

Beim Vergleich der Rindentemperaturen zwischen stehenden und liegenden Fichten zeigten sich signifikante Unterschiede (Tab. 8; Tab. 9). Die Minima der südseitig, in Brusthöhe gemessenen Rindentemperaturen stehender Bäume waren signifikant höher als bei den liegenden Fichten an der Stammoberseite. Die Tagemittelwerte zeigten zwar signifikante, aber nur geringfügige Unterschiede. Die Tagesmaxima dagegen waren bei den stehenden Fichten deutlich niedriger (Tab. 9). Bei den stehenden Fichten traten im Beobachtungszeitraum nie dauerhaft für die Borkenkäferbrut letale Temperaturen ($> 40^{\circ}\text{C}$) auf der Südseite auf (Tab. 8).

Stehende Bäume werden aufgrund des ungünstigen Einfallswinkels durch die Sonneneinstrahlung weniger stark erwärmt als liegende Fichten. Die mittleren Rindentemperaturen und die Maxima sind jedoch deutlich höher als die Umgebungstemperatur. Rindentemperaturen an der Nordseite stehender Fichten unterscheiden sich nur geringfügig von den Temperaturen an der Stammunterseite liegender Stämme bzw. von der Lufttemperatur.

Tab. 8: Durchschnittliche Rindentemperaturen bei liegenden und stehenden Fichten gemessen im Vergleichszeitraum 23.5. – 10.10.2006.

Tagesmittelwert		Liegend		Stehend			
		Mittelwert	Stabw.	Mittelwert	Stabw.		
G1	oben (Süd)	16,53	5,34	16,88	5,11		
	unten (Nord)	14,40	4,12	15,56	4,41		
G2	oben (Süd)	17,16	6,14	17,34	5,44		
	unten (Nord)	13,65	4,70	14,79	4,97		
G3	oben (Süd)	16,40	6,63	15,54	5,51		
	unten (Nord)	13,65	5,28	13,83	5,22		
GS10	Süd			12,38	5,43		
	Nord			11,30	4,79		
Tagesmaximum				Extremwerte		Extremwerte	
G1	oben (Süd)	29,73	10,85	52,2	23,16	7,88	37,0
	unten (Nord)	19,46	5,62	29,3	19,39	5,46	30,4
G2	oben (Süd)	34,13	13,61	56,6	26,30	9,23	40,7
	unten (Nord)	18,12	6,32	30,5	18,86	6,20	29,9
G3	oben (Süd)	33,62	14,41	55,8	23,02	8,62	36,9
	unten (Nord)	19,26	7,63	32,2	17,93	6,64	30,4
GS10	Süd				16,94	7,29	31,8
	Nord				13,51	5,34	24,0
Tagesminimum							
G1	oben (Süd)	8,93	4,08	-2,1	12,24	3,88	3,5
	unten (Nord)	10,20	3,79	0,4	12,40	3,84	3,3
G2	oben (Süd)	8,43	4,35	-2,5	12,04	4,34	2,6
	unten (Nord)	10,18	4,09	0,7	11,59	4,17	1,9
G3	oben (Süd)	8,25	3,99	-0,3	11,30	4,46	0,6
	unten (Nord)	9,88	4,17	-0,2	10,70	4,37	0,2
GS10	Süd				9,41	4,61	-0,5
	Nord				9,43	4,45	-0,6

Tab. 9: Vergleich der Rindentemperaturen liegender Fangbäume (Stammoberseite) und stehender Fichten (Südseite) (Paarweiser T-Test).

Rindentemperatur				
Liegend (oben) - Stehend (Süd)	mittlere Differenz	t-Wert	df	Sig.
Tagesminimum				
G1	-3,31	-23,14	140	***
G2	-3,61	-25,36	140	***
G3	-3,05	-28,47	140	***
Tagesmittelwert				
G1	-0,36	-3,17	140	***
G2	-0,18	-1,21	140	n.s
G3	0,86	4,56	140	***
Tagesmaximum				
G1	6,57	17,87	140	***
G2	7,83	16,11	140	***
G3	10,60	17,29	140	***

3.2 Monitoring der Schwärmaktivität mittels Pheromonfallen

Die Fallenfänge im Gesäuse zeigten nicht nur starke Unterschiede zwischen den Standorten und den Untersuchungsjahren hinsichtlich der Gesamtfangzahlen (Abb. 5), sondern auch ganz unterschiedliche zeitliche Verläufe der Fangzahlen (Abb. 9, Abb. 10). Im Untersuchungsjahr 2006 wurden bei den 3 Fallenstandorten in Gstatterboden an den höher gelegenen Standorten deutlich mehr Buchdrucker gefangen. Im darauffolgenden Jahr wurden am höchstgelegenen Standort G3 im Gstatterbodener Kessel eine Zunahme der Gesamtfangzahl, bei den anderen Standorten (insbesondere beim Standort G1) eine Abnahme verzeichnet (Abb. 5). Im Johnsbachtal wurden 2007 ebenfalls bei den höher gelegenen Standorten höhere Fangzahlen erreicht. Die höchste Gesamtfangzahl (> 25.000 Buchdrucker) wurde dabei am Standort G5 (1377 m Seehöhe, nordexponiert) registriert.

Aufgrund des verspäteten Beginns der Untersuchungen im Jahr 2006 konnte die erste Schwärmphase im Frühjahr 2006 nicht beobachtet werden. Im Jahr 2007 konnten bereits ab Mitte April bei den südexponierten Standorten in Gstatterboden und gegen Ende April bei den höher gelegenen Standorten im Johnsbachtal die ersten Fallenfänge verzeichnet werden. Bei allen Fallenstandorten wurden nur dann Fallenfänge registriert, wenn das Lufttemperaturmaximum während der Kontrollwoche über dem Schwellenwert von 16,5°C lag (Abb. 6 - Abb. 8).

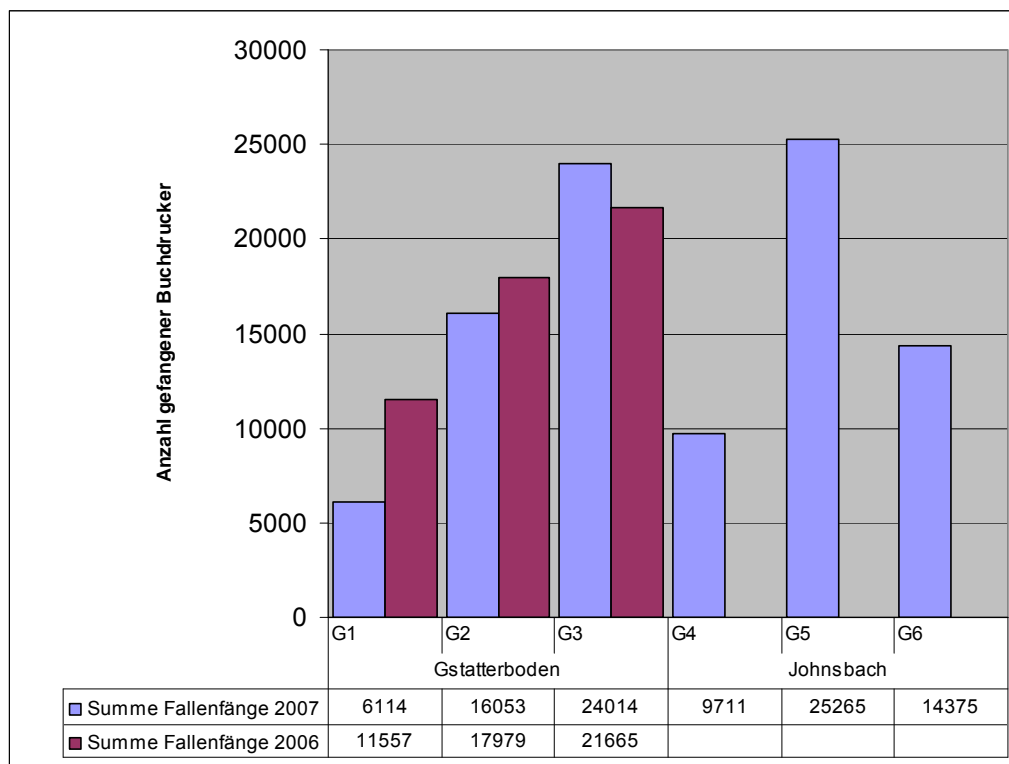


Abb. 5: Gesamtanzahl gefangener Buchdrucker an den jeweiligen Standorten in den Jahren 2006 und 2007.

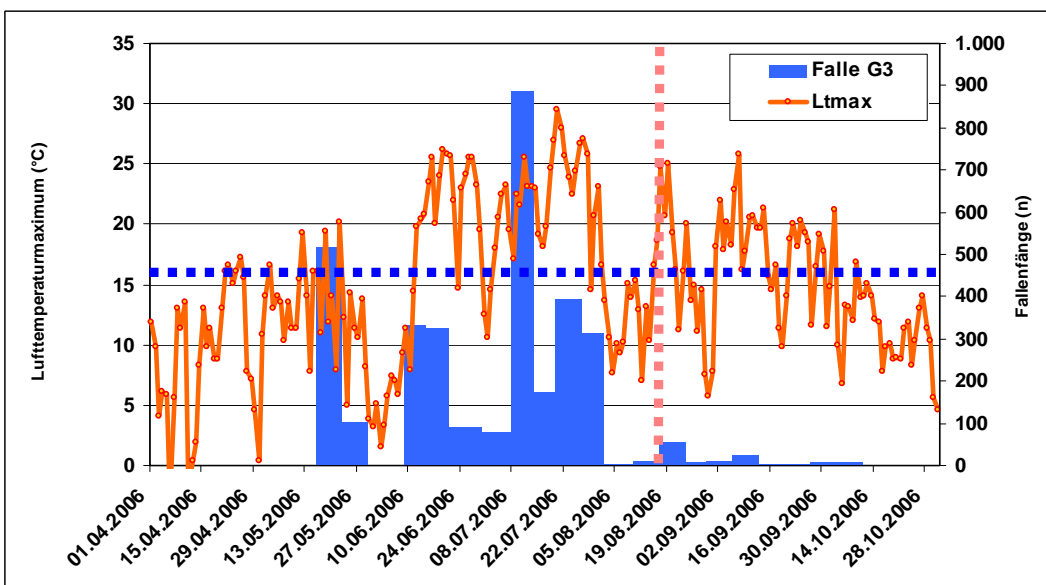
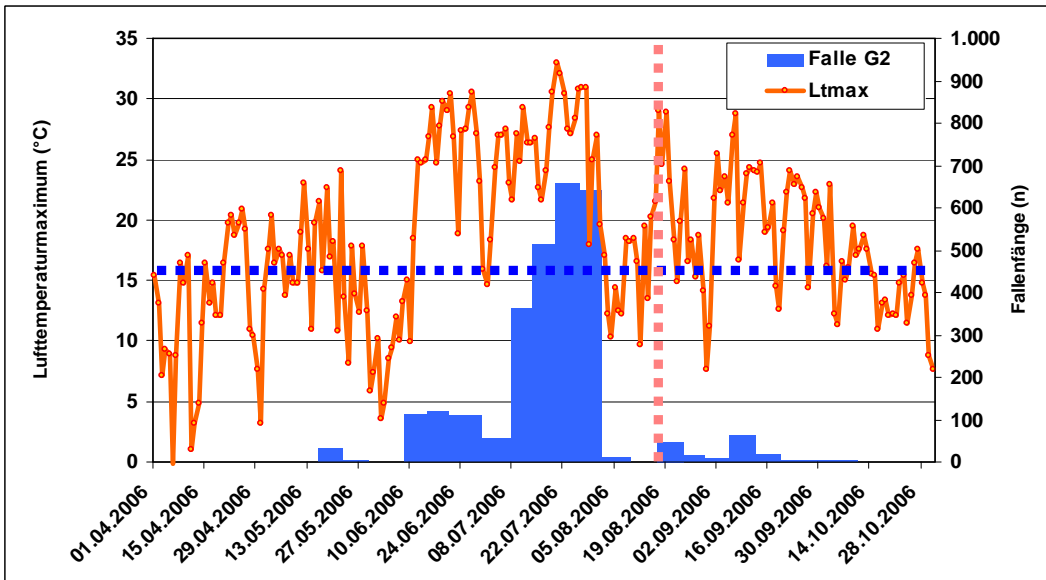
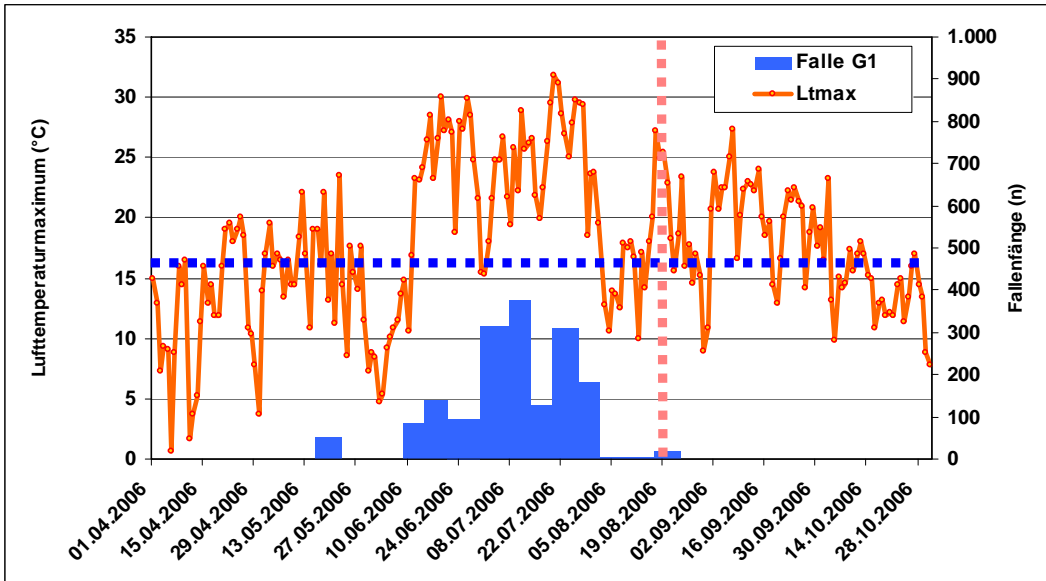


Abb. 6: Lufttemperaturmaxima und Fangzahlen (Buchdrucker/Tag je Kontrollintervall) im Gesäuse 2006. (blaue Linie: Schwellenwert für Schwärmflug; vertikale rote Linie: Schwellenwert Tageslänge < 14,5 Stunden)

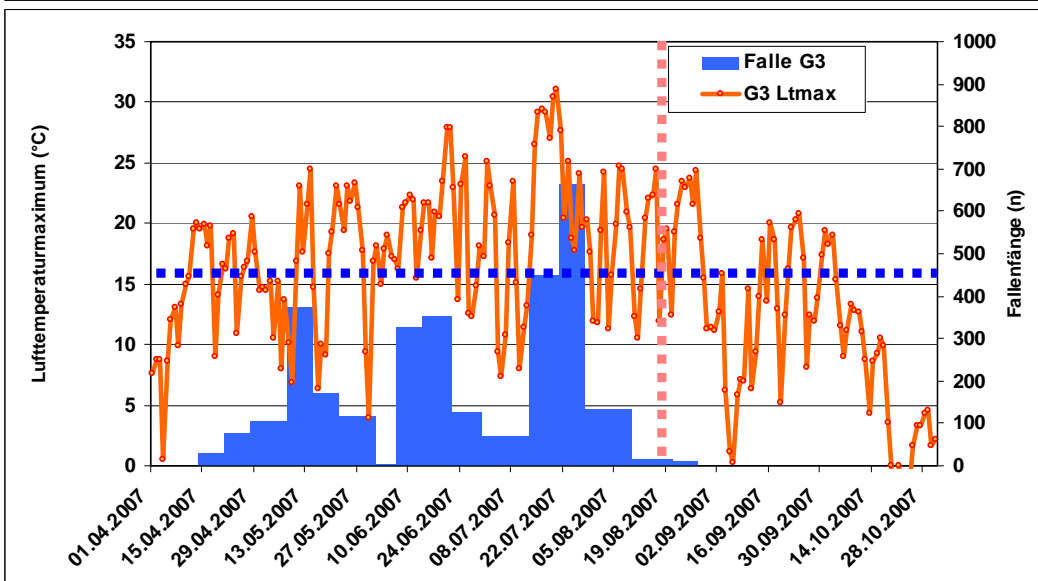
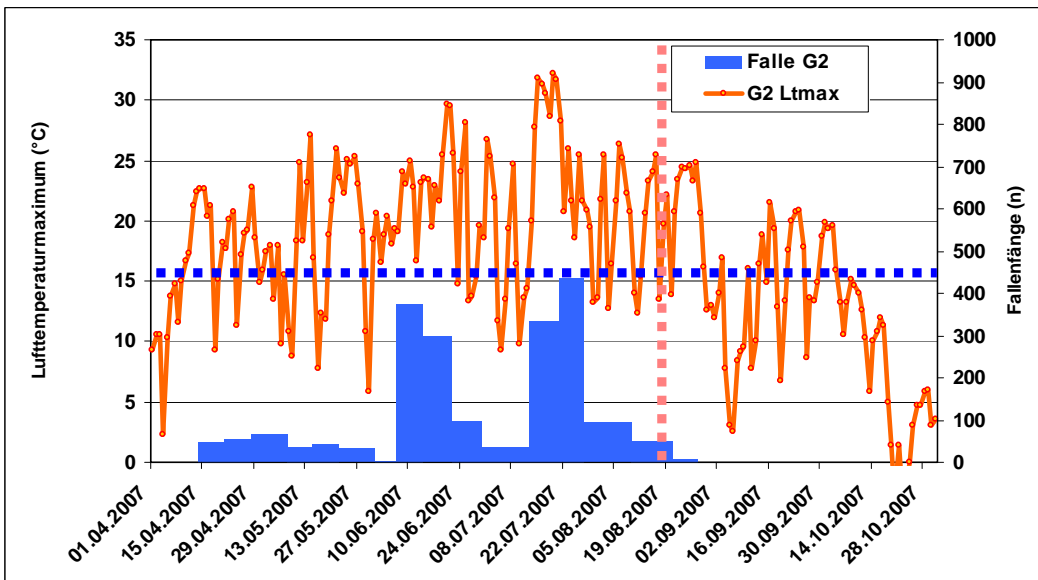
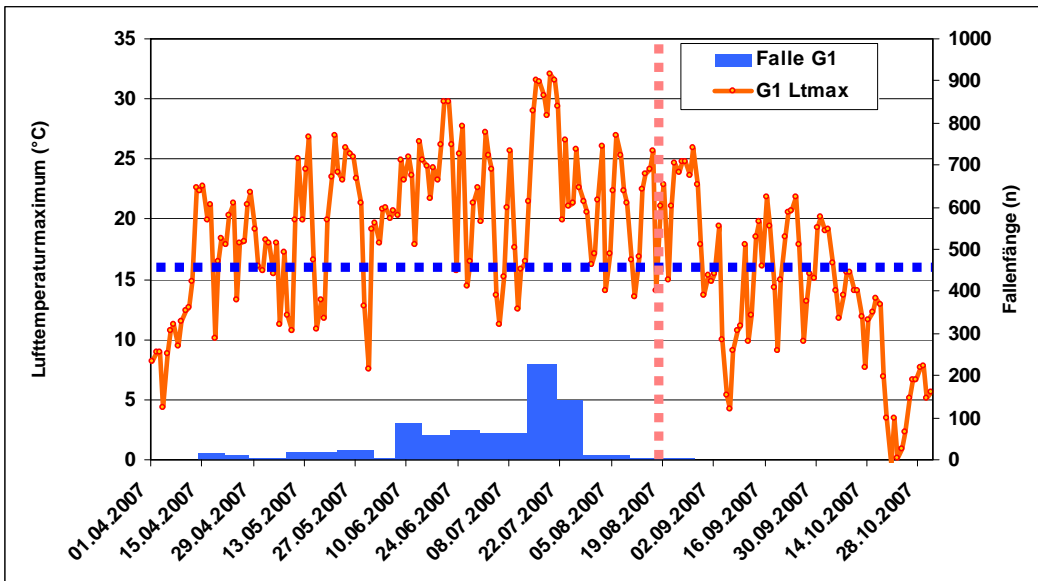


Abb. 7: Lufttemperaturmaxima und Fangzahlen (Buchdrucker/Tag je Kontrollintervall) der Fallen in Gstatterboden 2007. (blaue Linie: Schwellenwert für Schwärmflug; vertikale rote Linie: Schwellenwert Tageslänge < 14,5 Stunden)

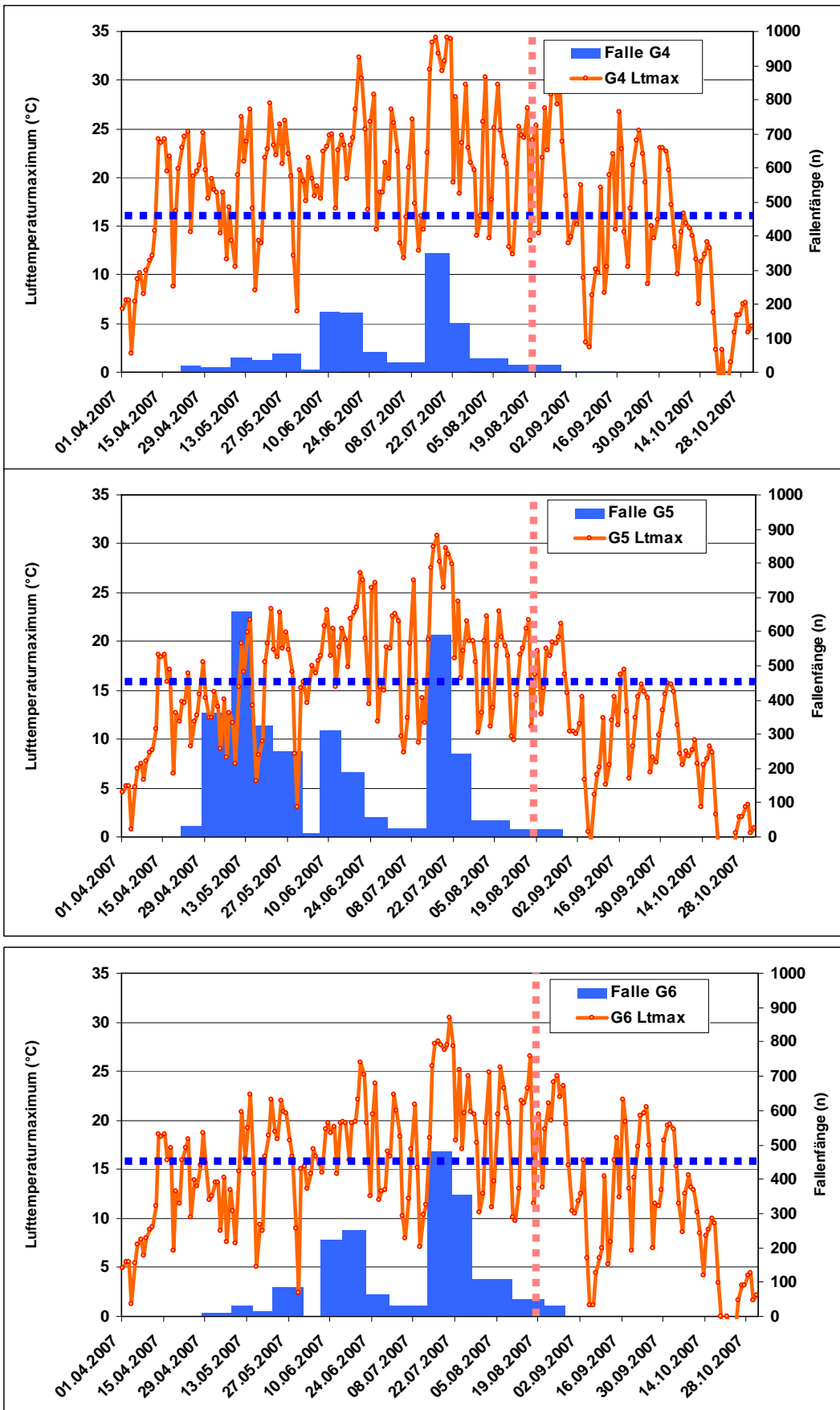


Abb. 8: Lufttemperaturmaxima und Fangzahlen (Buchdrucker/Tag je Kontrollintervall) der Fallen im Johnsbachtal 2007. (blaue Linie: Schwellenwert für Schwärmflug; vertikale rote Linie: Schwellenwert Tageslänge < 14,5 Stunden)

Hinsichtlich des zeitlichen Verlaufs der Fallenfänge zeigte sich, dass insbesondere bei Fallenstandorten mit extrem hohen Jahresfangzahlen (G3, G5) bereits bei vergleichsweise niedrigen Temperaturen im Frühjahr extrem hohe Fangzahlen/Woche auftraten. Bei den anderen Standorten nahmen die Fangzahlen erst sukzessive mit steigenden Temperaturen im Laufe des Sommers zu (Abb. 9, Abb. 10, Abb. 11).

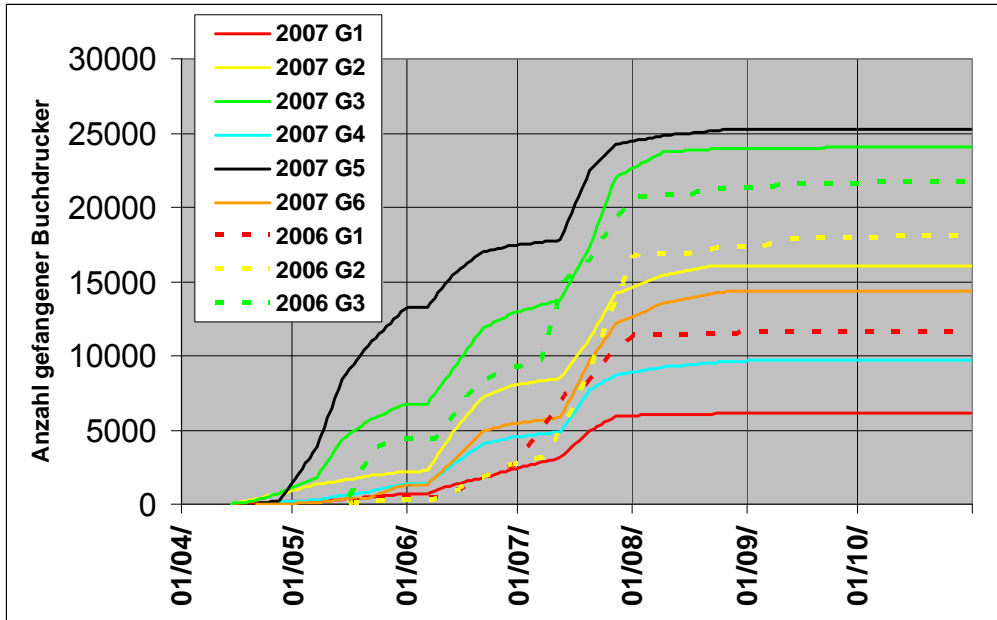


Abb. 9: Kumulierte Anzahl gefangener Buchdrucker getrennt nach Standorten und Untersuchungsjahr.

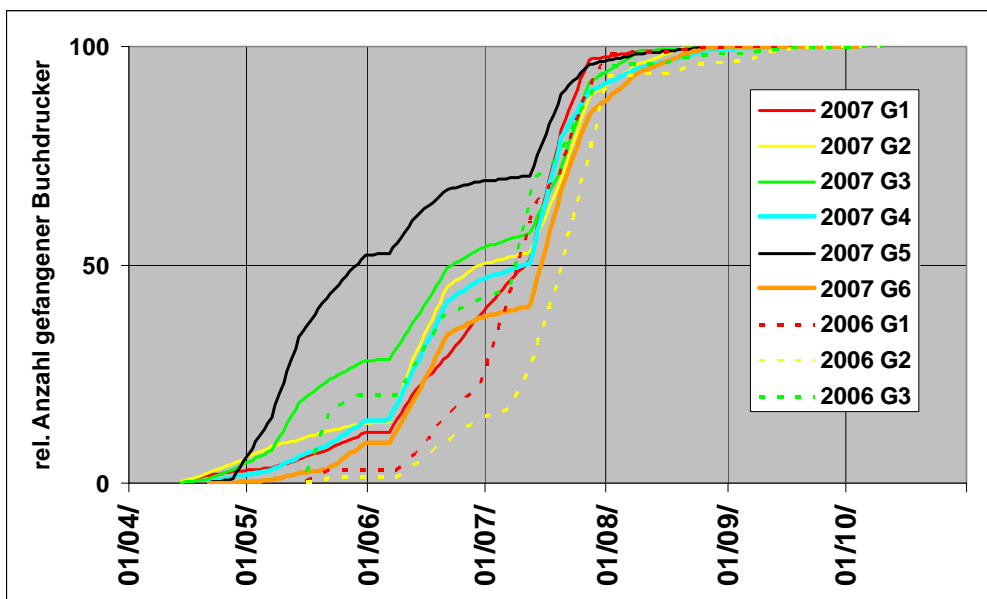


Abb. 10: Kumulierte relative Anzahl gefangener Buchdrucker (%) getrennt nach Standorten und Untersuchungsjahr.

Bei allen Fallenstandorten traten ab August nur noch geringe Fangzahlen auf. Zum einen wurde die Flugaktivität der Käfer durch den Kaltlufteinbruch Anfang August im Jahr 2006 abrupt beendet. Zum anderen limitiert die abnehmende Tageslänge ab August die Aktivität der Käfer, sodass auch im Jahr 2007 ab August trotz relativ günstiger Temperaturverhältnisse allmählich immer weniger Käfer gefangen wurden (Abb. 11).

Bezieht man die Fangzahlen auf die während des jeweiligen Kontrollintervalls aufgetretenen Lufttemperaturen oberhalb des Schwellenwertes von 16,5°C, so verdeutlicht sich, dass insbesondere bei den Standorten G3 und G5 im Frühjahr bereits trotz niedriger Temperaturen extrem hohe Schwärmaktivitäten auftraten (Abb. 11). Dies deutet auf lokal sehr hohe Populationsdichten hin, die innerhalb nur weniger Stunden, an denen die Lufttemperaturen über dem Schwellenwert lagen, zu hohen Fangzahlen führten.

Zudem wird anhand der relativierten Fangzahlen (i.e. Fangzahlen in Relation zur Summe der gemessenen Lufttemperaturen $\geq 16,5^\circ\text{C}$ je Kontrollintervall) deutlich, dass zwar die absoluten Fangzahlen im Laufe des Sommers bei allen Fallen zunahmen, aber die relativierten Fangzahlen, insbesondere bei höher gelegenen Standorten, deutlich abnahmen. Diese Zunahme der absoluten Fangzahlen war daher weitestgehend temperaturbedingt. Anhand des Auftretens absoluter Flughöhepunkte der Flugverlaufskurve (Peaks) kann daher nicht unmittelbar auf den Abschluss oder Beginn einer Generationsentwicklung geschlossen werden. Neben den Temperaturverhältnissen und der lokal vorhandenen Populationsdichte werden die Fangergebnisse zudem von anderen Witterungsfaktoren (Wind, Niederschlag), von Zu- und Abwanderung und von der Attraktivität der Falle (Pheromonerneuerung führte vielfach zu einem nachfolgenden Anstieg der Fangzahlen) relativ zu den umliegenden Waldbeständen beeinflusst. Anhand der temperaturbezogenen, relativen Fangzahlen kann ein wesentlicher Einflussfaktor bei der Interpretation von Fangzahlen mitberücksichtigt werden, sodass diese normalisierten Werte bessere Anhaltspunkte für die mögliche Generationsentwicklung und die damit verbundene Veränderung der Schwärmaktivität liefern könnten (Abb. 11). Zudem ist anhand der relativen Werte eine bessere Vergleichbarkeit zwischen unterschiedlichen Standorten möglich.

Für den Standort G1 im Jahr 2007 zeigte sich, dass die relativen Fangergebnisse im Juli um ein Vielfaches höher waren als im April und Mai (Abb. 11). Dies könnte darauf hindeuten, dass in dieser Höhenlage (~650m) vermehrt Jungkäfer schon ab Ende Juni schwärmten und eine 2. Tochtergeneration etablieren konnten. Ein deutlicher Anstieg der relativen Fangzahlen am 13.6. am Standort G1 (wie auch bei allen anderen Standorten 2007) war neben der Witterung auf die Erneuerung des Pheromondispensers am 6.6. zurückzuführen.

Bei den Standorten G2, G3, G4, und G6 zeigten die absoluten Fangzahlen eine deutliche Zunahme, die relativen Fangzahlen waren dagegen im Juli doch deutlich niedriger (G2, G3) als im Frühjahr oder auf ähnlichem Niveau (G4, G6) als im Frühjahr. Daraus kann geschlossen werden, dass zwar ein Teil der Jungkäfer ab Mitte Juli schwärmte, aber nur in einem relativ geringen Ausmaß sich eine 2. Generation etablierte. Ganz besonders auffallend war die starke Abnahme der relativen Fangzahlen beim Standort G5 (Nordexposition), sodass zwar Mitte Juli (temperaturbedingt) ein noch hohes absolutes Fangergebnis erreicht wurde, eine 2. Generation dürfte aber auf Grund der vergleichsweise niedrigen relativen Fangzahlen im Juli in nur geringem Umfang geschwärmt sein. Für eine genaue Klärung der Generationsfolge ist daher die Beobachtung bzw. Simulation der Entwicklung in Verbindung mit Daten des Fallenmonitorings von Bedeutung.

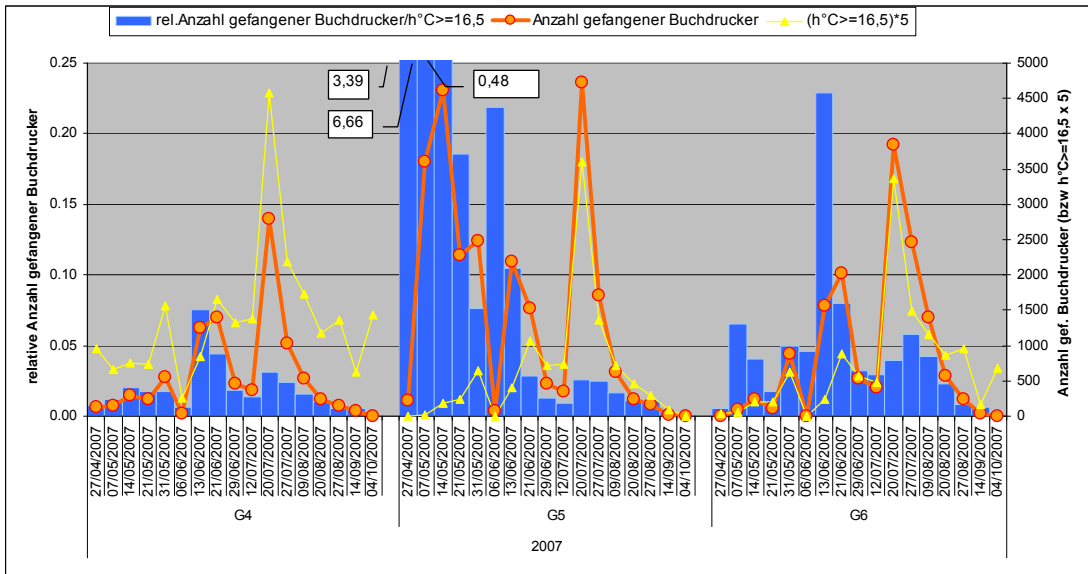
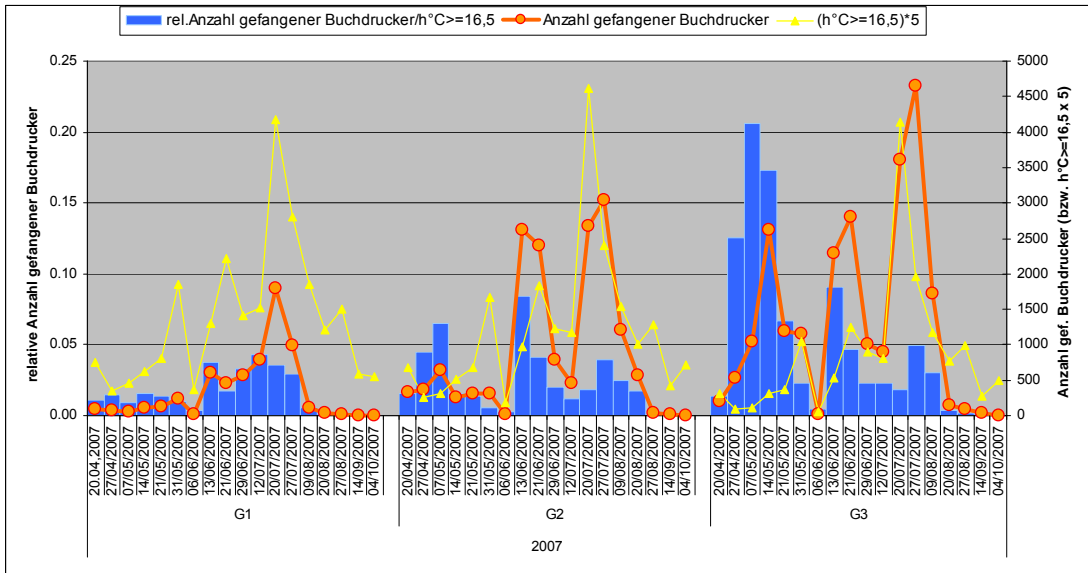
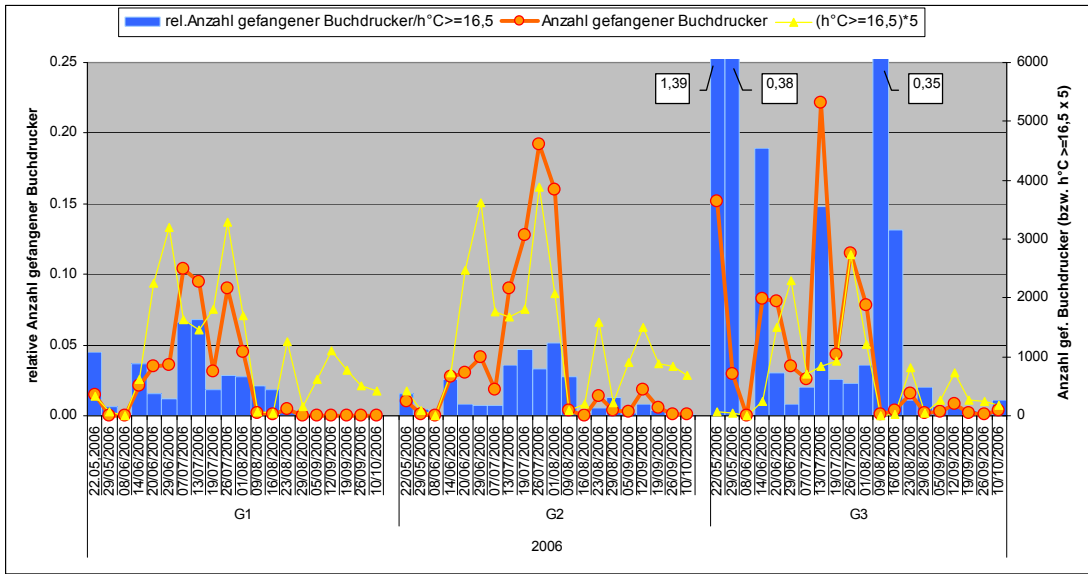


Abb. 11: Absolute und normalisierte Fangzahlen der Fallen im Gesäuse im Vergleich zur Summe der Lufttemperaturen $\geq 16,5^{\circ}\text{C}$ je Fallenkontrollintervall.

3.2.1 Validierung des modellierten Schwärmbeginns

Eine Validierung des Modells zur Berechnung des Schwärm- bzw. Befallsbeginns war auf Grund des verspäteten Untersuchungsbeginns 2006 nur im zweiten Untersuchungsjahr (2007) möglich. Im Jahr 2007 konnten durch die warme Witterung im April bereits Mitte April (unmittelbar nach Fallenaufstellung am 13. April) erste Käfer in den Fallen gefangen werden (Standort G1). Bei allen Standorten in wurden bereits in der ersten Woche nach Fallenaufstellung Käferfänge registriert (Tab. 10). Die Modellierung des Schwärmbeginns ergab in Übereinstimmung mit diesen Beobachtungen für die Standorte in Gstatterboden und für den Standort G4 im Johnsbachtal einen sehr frühen Beginn der Flugaktivitäten. Beim Standort G4 war der prognostizierte Zeitpunkt des Schwärmbeginns sogar früher als der Zeitpunkt der Fallenaufstellung (20.4.). Bei den höher gelegenen Standorten G5 und G6 in Johnsbach war der Schwärmbeginn auch bereits in der zweiten Aprilhälfte.

Der Befall an den Fangbäumen trat bei den unteren Standorten (G1, G2) bereits am 20.4 ein. Beim Fangbaum G2 konnten sogar am 13.April einige Einbohrungen an der vom Wind geworfenen Fichte festgestellt werden. Bei den Standorten in mittlerer Höhenlage (G3 und G4) konnte ein Befall der Fangbäume am 27.4. festgestellt werden. Nur bei den Standorten G5 und G6 im hinteren Johnsbachtal (>1300m Seehöhe) trat der Befall erst Mitte Mai (21.5.) ein. Der modellierte Befallsbeginn stimmte mit dem beobachteten Befall gut überein, wobei nur bei den Standorten G5 und G6 der Befall an den Fangbäumen etwas später eintrat als prognostiziert (Tab. 10). Auffallend war, dass sowohl der Schwärmflug als auch der Befall am bereits Mitte April ausgeaperten, südexponierten Standort G6 zur selben Zeit stattfand, wie am gegenüberliegenden nordexponierten, großteils noch schneebedeckten Standort G5.

Tab. 10: Berechneter und beobachteter Schwärm- und Befallsbeginn sowie Abweichung in Tagen bei den Untersuchungsstandorten im Jahr 2007.

Fallen-standort	modellierter		beobachteter		Differenz Schwärmbeginn (Tage)	Differenz Befallsbeginn (Tage)
	Schwärmbeginn	Befallsbeginn	Schwärmbeginn Fallen	Befallsbeginn Fangbaum		
G1	15.04.	23.04.	13.04.	20.04.	-2	-3
G2	13.04.	20.04.	20.04.	20.04.	7	0
G3	14.04.	23.04.	20.04.	27.04.	6	4
G4	15.04.	22.04.	27.04.	27.04.	12	5
G5	23.04.	11.05.	27.04.	21.05.	4	10
G6	22.04.	11.05.	27.04.	21.05.	5	10
Abweichung in Tagen				Mittelwert	5,3	4,3
				Min	-2	-3
				Max	12	10

3.3 Borkenkäferentwicklung

Für die Modellierung der Borkenkäferentwicklung wurden an insgesamt 18 Fangbäumen die Zusammenhänge zwischen Rindentemperatur und Brutentwicklung untersucht (Tab. 11). Die Fangbäume der ersten Serie wiesen dabei in der Regel einen raschen, intensiven Befallsverlauf auf. Bei den verspätet begonnenen Untersuchungen im Jahr 2006 wurde der Fangbaum G1 erst nach dem Kaltlufteinbruch (Ende Mai/Anfang Juni) am 14.6. besiedelt. Bei den höher gelegenen Standorten trat der Befall bereit Ende Mai ein. Im Jahr 2007 zeigte sich eine klare, höhenabhängige Differenzierung des Befallsbeginns. Fangbäume in tieferen Lagen (< 900 m) wurden bereits Mitte April, Bäume in mittleren Lagen (1100 -1200m) ab 27.April und die höheren Lagen (>1300m) erst ab Mitte Mai besiedelt. Erste Ausbohrlöcher von Jungkäfern wurden 2006 bei allen 3 Standorten am 9. August beobachtet. Im Jahr 2007 wurden erste Ausbohrungen in tieferen Lagen (G1, G2) bereits Ende Juni registriert, bei den höher gelegenen Standorten erst ab Mitte Juli (G3) bzw. Ende Juli/Anfang August (G4 –G6).

Bei den entnommenen Versuchsstämmen, die 2006 nach Wien transferiert wurden, konnten Ende Juli/Anfang August die ersten schlüpfenden und sich wiedereinbohrenden Jungkäfer beobachtet werden. Bei den Photoektoren in Etmüßl konnte 2006 nur vereinzelt ein Ausschlüpfen von Käfer im August registriert werden. Bei den Versuchsstämmen, die im Jahr 2007 in Stanz untersucht wurden, konnte bereits Ende Juni (Stämme von den Fangbäumen G1 und G2) der Beginn des Jungkäferschlupfs beobachtet werden. Bei den Stämmen aus höheren Lagen begann der Schlupf Anfang Juli (G3) bzw. Mitte Juli (G4 – G6).

Fangbäume der zweiten Fangbaumserie wurden im Jahr 2006 zwar bereits Mitte Juli gefällt, der Befall dieser Stämme begann aber erst Anfang August (G1, G2). Der Befall des zweiten Fangbaums erfolgte beim Standort G1 nur allmählich. Der zweite Fangbaum G3 wurde hauptsächlich vom Kupferstecher und von Bockkäfern besiedelt. Nur einzelne Buchdrucker siedelten sich erst gegen Ende August (erste Einbohrungen ab 24.8.) im unteren Stammbereich an. Die Bruten der zweiten Fangbaumserie erreichten beim Standort G2 bis Oktober das Jungkäferstadium. Bei den Standorten G1 und G3 wurden am 10. Oktober nur die ersten Puppen festgestellt, der überwiegende Teil der Bruten befand sich zu diesem Zeitpunkt erst im Larvenstadium. An den im Freiland verbliebenen Stammstücken konnten nur beim Standort G2 im Frühjahr (20.4 2007) Ausbohrlöcher von überwinterten Jungkäfern beobachtet werden. Bei den Standorten G1 und G3 war die Brut im Winter abgestorben. Bei entnommen Stammstücken dieser Fangbäume, die über den Winter im Institutsgarten in Wien gelagert wurden, konnte bei den Stämmen der Standorte G1 und G2 ein Schlüpfen von Jungkäfern im April festgestellt werden. Aufgrund der extrem milden Temperaturen im Herbst und Winter 2006/2007 konnte sich in Wien ein Teil der Bruten beim Stamm G1 bis November noch zu Jungkäfern entwickeln und erfolgreich überwintern. Beim Stamm G3 dagegen konnte die Brut offensichtlich nicht überwintern. Die spärlichen Brutanlagen bei diesem Stamm wurden zudem durch massiven Bockkäferbefall gestört.

Tab. 11: Fällung, Erstbefall und Jungkäferschlüpftermin bei den untersuchten Fangbäumen.

Standort	Fällung	1.Befall	Freiland	Schlüpftermin	
				Abfangkäfige Institutsgarten	Photoelektoren Etmibi 2006 Stanz 2007
1. Fangbaumserie2006					
G1	16.5.	14.6.	9.8.	3.8.	Schlupf nur vereinzelt Aug.2006
G2	16.5.	22.5.	9.8.	28.7.	
G3	16.5.	22.5.	9.8.	28.7.	
2. Fangbaumserie2006					
G1	19.7.	9.8.*)	keine JK	24.4. 07	
G2	19.7.	1.8.	20.4. 07	16.4. 07	
G3	19.7.	24.8.*)	keine JK	keine JK	
1. Fangbaumserie2007					
G1	13.4.	20.04.	29.6.		25.6.
G2	13.4.**)	20.04.	29.6.		28.6.
G3	13.4.**)	27.04.	12.7.		7.7.
G4	20.4.**)	27.04.	27.7.		19.7.
G5	20.4.**)	21.05.	27.7.		21.7.
G6	20.4.**)	21.05.	9.8.		21.7.
2. Fangbaumserie2007					
G1	12.7.	13.7.			
G2	12.7.	20.7.			
G3	12.7.	20.7.			
G4	12.7.	25.7.			
G5	12.7.	20.7.			
G6	12.7.	20.7.			

*) Befall nur vereinzelt

***)vom Wind geworfene Fichten

Im Untersuchungsjahr 2007 wurden die Fangbäume der zweiten Serie bereits ab Mitte Juli massiv befallen. Nur bei den höher gelegenen Standorten im Johnsbachtal (G5, G6) wurden die Fangbäume im unteren Stammbereich nicht mehr vollständig besiedelt. Der Anflug von Buchdruckern an diese Stämme endete bereits Anfang August. Mit Ausnahme des Fangbaums am nordexponierten Standort G5 erreichten die Bruten der 2. Fangbäume 2007 bei allen Standorten bis Oktober das Jungkäferstadium. Beim Baum G5 konnten die Bruten bis 11.10.2007 nur das Puppenstadium erreichen.

3.3.1 Validierung des Modells PHENIPS

3.3.1.1 Brutentwicklung und Schlupfbeginn der Jungkäfer

Anhand der gemessenen Rindentemperaturen wurden mittels PHENIPS die effektiven Rindentemperatursummen berechnet und damit die jeweilige Brutentwicklung bei den Fangbäumen modelliert. Die jeweilige Temperatursumme und die damit prognostizierte Brutentwicklung wurden an den entsprechenden Untersuchungsstandorten mit der maximalen Brutentwicklung der zu jedem Kontrolltermin entnommenen Rindenproben verglichen. Dabei zeigte sich bis auf das Puppenstadium eine gute Übereinstimmung (>80% Übereinstimmung) der prognostizierten Entwicklung mit dem tatsächlich an den Fangbäumen registrierten Entwicklungsstand (Abb. 12).

Die Prognose des Puppenstadiums ist aufgrund der Kürze dieser Entwicklungsphase mit einem höheren Fehler behaftet, wobei dennoch bei 19 Kontrollen, bei denen die maximale Entwicklung das Puppenstadium war, nur 5 Unterschätzungen und 1 Überschätzung auftrat.

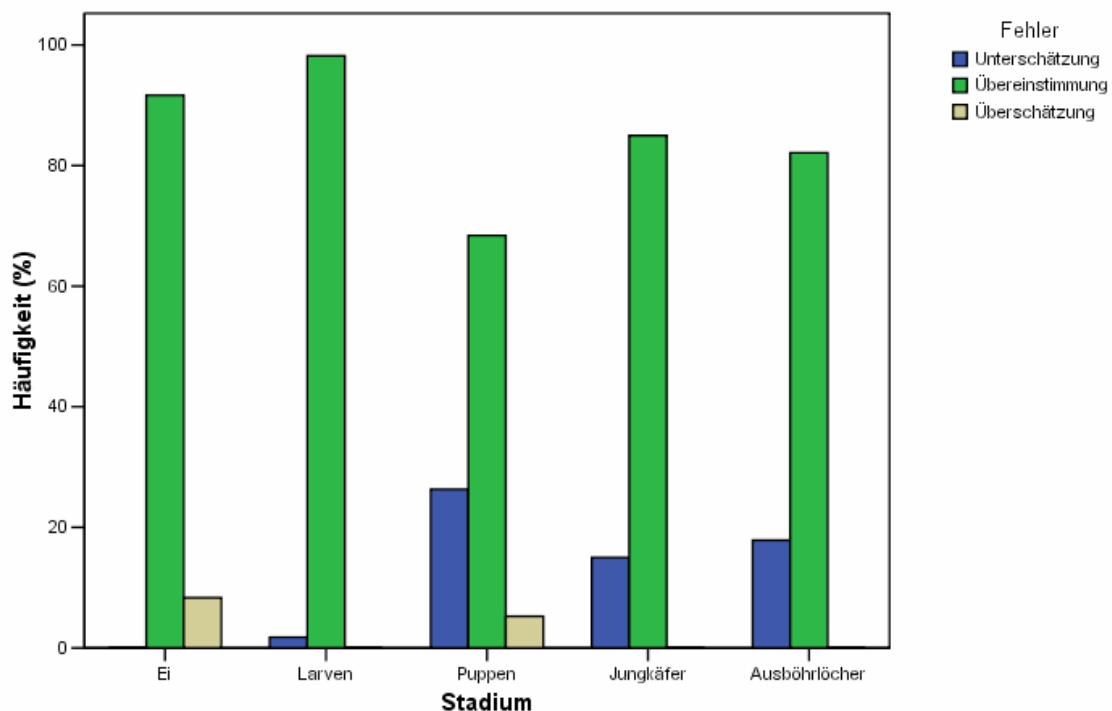


Abb. 12: Relative Häufigkeit von Unter- und Überschätzung bzw. Übereinstimmung des tatsächlich beobachteten Entwicklungsstadiums im Vergleich zum berechneten Entwicklungsstand für die Fangbäume im Gesäuse 2006 -2007 (n = 167 Kontrollen).

In nur wenigen Fällen wurde das Erreichen des Jungkäferstadiums bzw. das Auftreten von ersten Ausbohrlöchern der Jungkäfer unterschätzt (Abb. 12). Zum Zeitpunkt des Schlupfbeginns der Jungkäfer sollte die relative Temperatursumme den Wert 1 (= 557 Tagesgrade) erreichen. Ein Vergleich dieser berechneten, relativen Temperatursumme zum Zeitpunkt des beobachteten Jungkäferschlupfs im Freiland bzw. bei den Versuchsstämmen in Wien(2006) und Stanz(2007) zeigte weder für das detaillierte Stadienmodell, noch für das Gesamtentwicklungsmodell signifikante Abweichungen vom Sollwert (=1) (Tab. 12). Die Berechnung des Schlupfzeitpunkts ergab im Durchschnitt eine nur sehr geringe Abweichung in Tagen (Tab. 13). Auffallend war jedoch, dass im Jahr 2006 der Schlupfbeginn eher überschätzt, im Folgejahr (2007) eher unterschätzt wurde.

Tab. 12: Relative Temperatursummen zum Zeitpunkt des beobachteten Schlupfbeginns bei den Fangbäumen im Freiland sowie bei den Kontrollstämmen im Institutsgarten (Abfangkäfige 2006) bzw. in Stanz (Photoelektoren 2007).

Jahr	Standort	Relative Temperatursumme zum Zeitpunkt des beobachteten Schlupfbeginns			
		Gesamtmodell		Stadienmodell	
		Freiland	Semifreiland	Freiland	Semifreiland
			Institutsgarten		Institutsgarten
		bzw Stanz	bzw Stanz		
2006	G1	1.06	1.17	1.05	1.16
	G2	1.15	1.12	1.11	1.08
	G3	1.08	1.09	1.05	1.06
2007	G1	0.93	0.90	0.90	0.88
	G2	0.92	0.95	0.89	0.92
	G3	0.93	0.94	0.91	0.92
	G4	1.06	1.03	1.03	1.02
	G5	0.87	0.90	0.83	0.88
	G6	1.01	0.88	0.98	0.85
Mittelwert		1.000	0.997	0.973	0.974

One-Sample T-Test

Test Value = 1

	T-Wert	df	Sig.	mittlere Differenz
Freiland				
Gesamtmodell	-0.001	8	0.999	0.000
Semifreiland				
Gesamtmodell	-0.092	8	0.929	-0.003
Freiland				
Stadienmodell	-0.869	8	0.410	-0.027
Semifreiland				
Stadienmodell	-0.722	8	0.491	-0.026

Tab. 13: Abweichung des berechneten vom beobachteten Schlupfbeginns der Jungkäfer.

Jahr	Standort	Abweichung in Tagen			
		Gesamtmodell		Stadienmodell	
		Freiland	Institutsgarten bzw. Stanz	Freiland	Institutsgarten bzw. Stanz
2006	G1	7	7	6	6
	G2	12	4	10	3
	G3	11	3	9	2
2007	G1	-4	-7	-7	-8
	G2	-8	-4	-9	-5
	G3	-5	-6	-6	-7
	G4	5	1	3	1
	G5	-10	-5	-12	-7
	G6	1	-6	-3	-8
Mittelwert		1	-1	-1	-3

3.3.1.2 Validierung des Beginns der Geschwisterbruten

Der prognostizierte Zeitpunkt des Beginns von Geschwisterbruten bei einer relativen Temperatursumme von 0,5 (50% der notwendigen Temperatursumme für die Gesamtentwicklung) wurde mit dem beobachteten Verhalten der Parentalkäfer verglichen. Dabei zeigte sich, dass die Parentalkäfer bei den untersuchten Fangbäumen zum Teil bereits deutlich früher die Bruten verließen (Tab. 14). Die mittlere relative Rindentemperatursumme zum Zeitpunkt, bei dem die ersten Parentalkäfer ihr Brutsystem bereits verlassen hatten, betrug $0,42 \pm 0,06$. Am frühesten verließen die Mutterkäfer beim Fangbaum G1 (2006) ihre Bruten. Mögliche Gründe dafür könnten die extrem dichte Besiedelung der Fangbäume (siehe Kapitel 3.3.3), aber auch die Überhitzung der sonnenexponierten Fangbäume gewesen sein. Eine vollständige Absenz der Parentalkäfer konnte im Mittel dann festgestellt werden, wenn die Bruten bereits das frühe Jungkäferstadium erreicht hatten (rel. Temperatursumme: $0,65 \pm 0,16$). Dies zeigt, dass der Zeitpunkt, zu dem die Mutterkäfer ihre Bruten wieder verlassen und Geschwisterbruten anlegen, in Abhängigkeit von der Brutdichte und den kleinklimatischen Bedingungen erheblich schwanken kann. In der Regel dürfte aber die Mehrheit der Parentalkäfer dann ihre Bruten wieder verlassen, wenn deren Nachkommen bereits das letzten Larvenstadium bzw. Puppenstadium erreicht haben.

Tab. 14: Mittlere relative Temperatursummen zum Zeitpunkt des teilweisen bzw. vollständigen Fehlens der Parentalkäfer in den kontrollierten Brutsystemen.

Jahr	Fangbaum-standort	Parentalkäfer			
		teilweise fehlend relative Temperatursumme		vollständig fehlend relative Temperatursumme	
		Datum	Gesamtmodell	Datum	Gesamtmodell
2006	G1	29.06.2006	0,33	19.07.2006	0,70
	G2	29.06.2006	0,43	07.07.2006	0,57
	G3	07.07.2006	0,49	07.07.2006	0,49
2007	G1	31.05.2007	0,47	13.06.2007	0,68
	G2	21.05.2007	0,39	31.05.2007	0,52
	G3	06.06.2007	0,46	21.06.2007	0,71
	G4	31.05.2007	0,36	21.06.2007	0,63
	G5	13.06.2007	0,35	29.06.2007	0,53
	G6	29.06.2007	0,50	09.08.2007	1,01
		Mittelwert	0,42		0,65
		Stabw	0,06		0,16
		Min	0,33		0,49

3.3.1.3 Überwinterung

Da die Bruten des Buchdruckers nur im Jungkäferstadium erfolgreich überwintern können, ist die korrekte Abschätzung der Brutentwicklung spät begonnener Bruten vor Beginn der Überwinterung von wesentlicher Bedeutung für die Ermittlung der möglichen Generationen. Das anhand des Gesamtentwicklungsmodells prognostizierte Entwicklungsstadium bei den Fangbäumen der zweiten Serie im Oktober zeigte mit Ausnahme des Standorts G5 eine klare Übereinstimmung mit der beobachteten Entwicklung. (Tab. 18). Anhand des Stadienmodells wurde nur beim Standort G3 (2006) das beobachtete Erreichen des Puppenstadiums unterschätzt (Tab. 18). Der Zustand der Brut vor der Überwinterung wurde daher nur für den Fangbaum am nordexponierten Standort G5 falsch eingeschätzt, wobei mit einer relativen Temperatursumme von 0,602 (Gesamtentwicklungsmodell) die tatsächliche Entwicklung nur sehr knapp überschätzt wurde.

Die weitere Beobachtung der Überwinterungsfähigkeit der Bruten anhand entnommener Stammstücke, die ab Oktober 2006 in Wien im Institutsgarten gelagert wurden, zeigte, dass aufgrund der extrem warmen Witterung im Winter 2006/2007 (Abb. 13) sich die Bruten beim Probestamm G1 noch zu Jungkäfern entwickelten, die bereits ab Mitte April ausschlüpfen (Abb. 14). Das Schlüpfen der überwinterten Jungkäfer begann beim Stamm G2 am 16.4., beim Stamm G1 etwas verzögert am 24.4.2007. Das Ausschlüpfen dauerte beim Stamm G2 14 Tage, beim Stamm G1 21 Tage (Abb. 14). Beim Probestamm G3 konnten die Bruten nicht erfolgreich überwintern. Die Kontrolle von im Freiland belassenen Stammabschnitten im Frühjahr 2007 ergab, dass nur beim Standort G2, bei dem bereits

im Oktober das Jungkäferstadium erreicht wurde, die Brut erfolgreich überwinterte und ab Mitte April Jungkäfer ausschlüpfen (Tab. 11).

Tab. 15: Vergleich des beobachteten und berechneten Entwicklungsstandes bei der letzten Kontrolle der Fangbäume vor der Überwinterung.

Jahr	Fangbaumserie	Fangbaumstandort	Datum der letzten Kontrolle	beobachtetes Stadium	berechnetes Stadium	
					Stadienmodell	Gesamtmodell
2006	1	G1	10.10.2006	Jk	Jk	Jk
	1	G2		Jk	Jk	Jk
	1	G3		Jk	Jk	Jk
	2	G1		Pp	Pp	Pp
	2	G2		Jk	Jk	Jk
	2	G3		Pp	Larven	Pp
2007	1	G1	11.10.2007	Jk	Jk	Jk
	1	G2		Jk	Jk	Jk
	1	G3		Jk	Jk	Jk
	1	G4		Jk	Jk	Jk
	1	G5		Jk	Jk	Jk
	1	G6		Jk	Jk	Jk
	2	G1		Jk	Jk	Jk
	2	G2		Jk	Jk	Jk
	2	G3		Jk	Jk	Jk
	2	G4		Jk	Jk	Jk
	2	G5		Pp	Pp	Jk
	2	G6		Jk	Jk	Jk

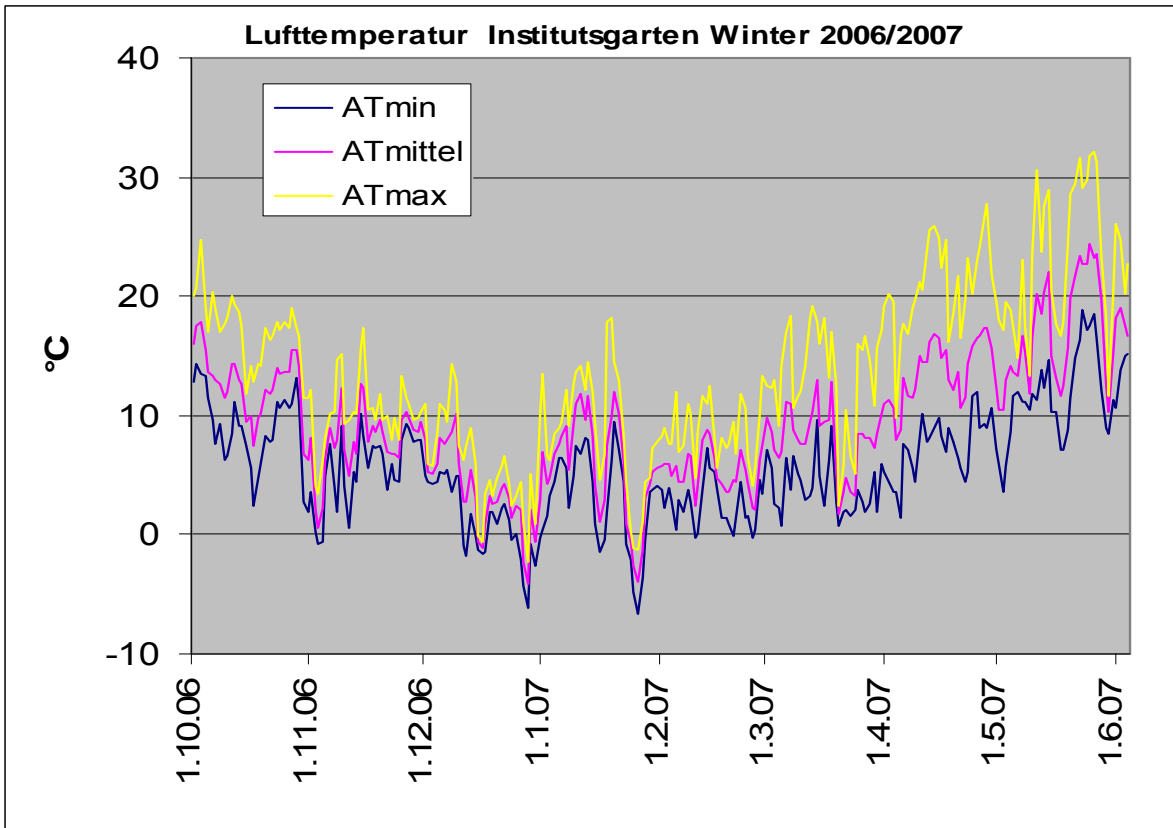


Abb. 13: Verlauf der Lufttemperatur (ATmin: Tagesminimum; ATmittel: Tagesmittelwert; ATmax Tagesmaximum der Lufttemperatur) im Institutsgarten (Wien) im Winter 2006/2007.

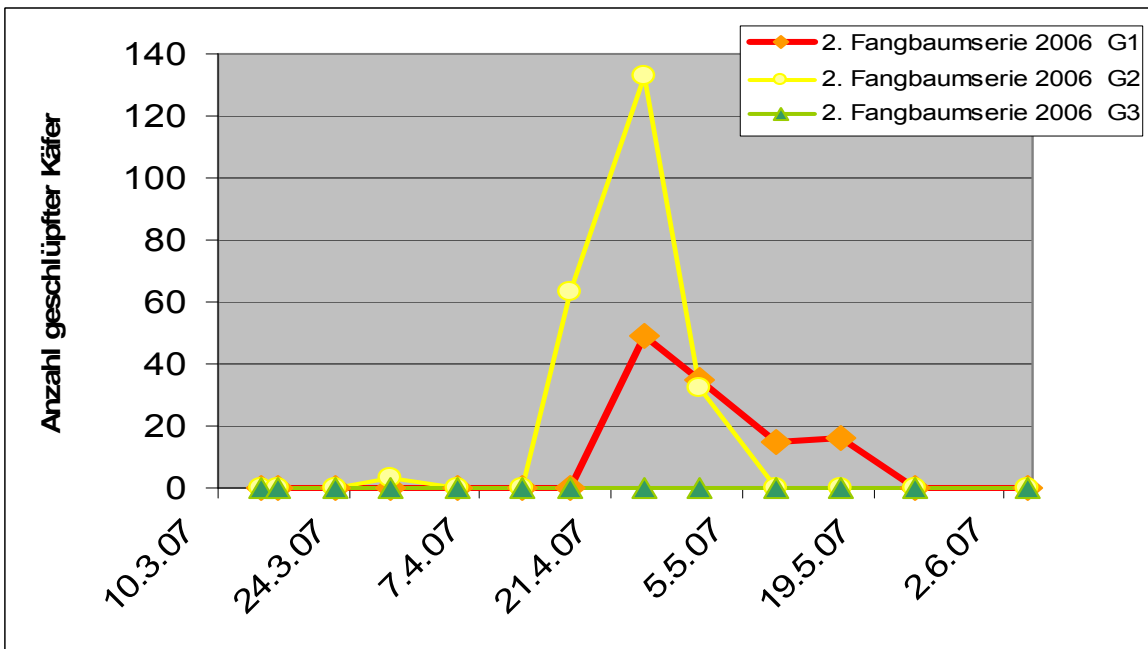


Abb. 14: Schlupfverlauf der Käfer aus überwinternten Probestämmen der Fangbäume G1 –G3 (2. Fangbaumserie) im Institutsgarten (Frühjahr 2007).

3.3.2 Schlupfverhalten der Jungkäfer

Die Gesamtanzahl geschlüpfter Buchdrucker von den entnommenen Stammstücken war sehr unterschiedlich zwischen den jeweiligen Fangbäumen (Abb. 15). Die höchste Anzahl ergab sich für den Fangbaum G5 (1016 Käfer), die niedrigste für den im Institutsgarten gelagerten Stamm vom Fangbaum G1 (129 Buchdrucker). Das Schlupfverhalten war zwischen den Jahren und Versuchsvarianten unterschiedlich. Im Jahr 2006 schlüpften bei den in Wien im Institutsgarten gelagerten Stämmen mit Ausnahme des Stammes G1 bereits ab Ende Juli ein hoher Prozentsatz der Jungkäfer aus und legten an den bereitgestellten Abfangstämmen wieder erneut Bruten an (Abb. 16; Abb. 17). Vom Stamm G2 verblieben nur 16,6%, vom Stamm G3 nur 8,5% in der Rinde. Von den im Etmüßl gelagerten Stämmen schlüpften nur sehr wenige Käfer in der Zeit von Juli bis Oktober aus. Die weitaus überwiegende Zahl der Jungkäfer schlüpfte erst, nachdem die Versuchsstämme ab dem 24.10.2006 unter Laborbedingungen bei hohen Temperaturen (~26°C Dauertemperatur) und Langtagbedingungen gehalten wurden. Die Ursache für dieses unterschiedliche Schlupfverhalten der Käfer in Wien und in Etmüßl ist darin zu sehen, dass die Jungkäfer auf Grund des höheren Temperaturniveaus in Wien ihre Reifung deutlich früher abschließen konnten als in Etmüßl und dadurch bereits in der letzten Juliwoche sehr stark zu schlüpfen begannen (Tab. 16; Abb. 18). In Etmüßl wurde die Reifung erst Anfang August abgeschlossen, wobei jedoch das Ausschlüpfen der Jungkäfer durch den massiven Kaltlufteinbruch stark gehemmt wurde. Die Lufttemperaturmaxima am Standort Etmüßl blieben in der ersten Augushälfte stets deutlich unter 20°C (Abb. 19). Zudem verhinderte ab Mitte August die bereits geringe Tageslänge (<14,5 h) das weitere Ausschlüpfen. Die wenigen Käfer, die in Etmüßl Ende Juli abgesammelt wurden, dürften zum überwiegenden Teil noch Parentalkäfer gewesen sein, sodass nahezu alle Jungkäfer in der Rinde verblieben. Bei den Fangbäumen im Freiland konnten zwar Anfang August (9. 8.) einige Ausbohrlöcher von Jungkäfern registriert werden, der überwiegende Teil der Jungkäfer verblieb jedoch bei allen drei Standorten ebenfalls in der Rinde. Bei der letzten Kontrolle dieser Fangbäume im Oktober wurden nur wenige Ausbohrungen von Jungkäfern festgestellt.

Im Jahr 2007 dagegen wurde auf Grund des frühen Befallsbeginns die Reifung der Jungkäfer in den tieferen Lagen bereits Ende Juni, in höheren Lagen im Laufe des Monats Juli abgeschlossen (Tab. 16). Entsprechend viele Jungkäfer der 1. Generation schlüpften daher bereits im Laufe des Sommers aus den Probestämmen, die im Jahr 2007 in Stanz in Photoelektoren gelagert wurden (Abb. 16; Abb. 20). Der Anteil der in der Rinde verbliebenen Jungkäfer war im Jahr 2007 bei allen Versuchsstämmen weniger als 50%. Auch bei den Fangbäumen im Freiland verblieben vor allem bei den Standorten G1 bis G3 in Gstatterboden nur sehr wenige Jungkäfer bis zum Herbst in der Rinde. Nur bei den höher gelegenen Standorten im Johnsbachtal, die zudem später befallen wurden, verblieben deutlich mehr Jungkäfer im Stamm. Gleichzeitig konnten auch bei diesen Fangbäumen (G4 – G6) eine erhebliche Anzahl an Ausbohrlöchern festgestellt werden.

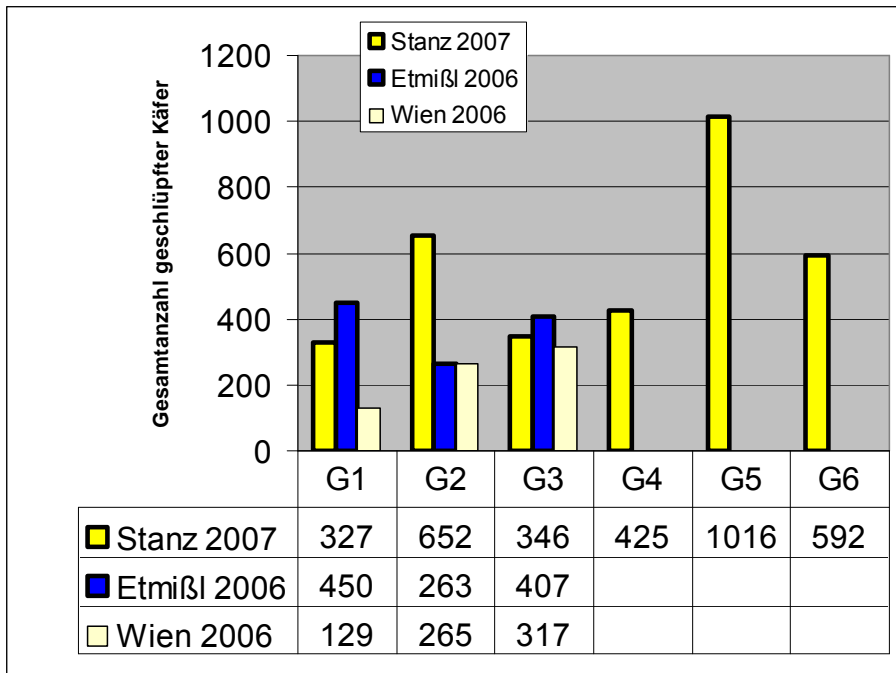


Abb. 15: Gesamtanzahl der geschlüpften Buchdrucker aus entnommenen Versuchsstämmen (1. Fangbaumserie) von den Fangbäumen im Gesäuse.

Tab. 16: Beobachteter und modellierter Schlupfbeginn der Jungkäfer bei den Fangbäumen im Gesäuse sowie bei den Versuchsstämmen im Institutsgarten Wien bzw. in Photoelektoren (Etmißl 2006; Stanz 2007).

Fangbaum-		Schlupfbeginn					
		beobachtet			berechnet		
Jahr	Standort	Freiland	Etmißl	Instituts- garten	Freiland	Etmißl	Instituts- garten
2006	G1	09.08.	-	03.08.	02.08.	08.08.	27.07.
	G2	09.08.	-	28.07.	28.07.	30.07.	24.07.
	G3	09.08.	-	28.07.	29.07.	01.08.	25.07.
		Freiland	Stanz		Freiland	Stanz	
2007	G1	29.06.	25.06.		03.07.	02.07.	
	G2	29.06.	28.06.		07.07.	02.07.	
	G3	12.07.	07.07.		17.07.	13.07.	
	G4	27.07.	19.07.		22.07.	18.07.	
	G5	27.07.	21.07.		06.08.	26.07.	
	G6	09.08.	21.07.		08.08.	27.07.	

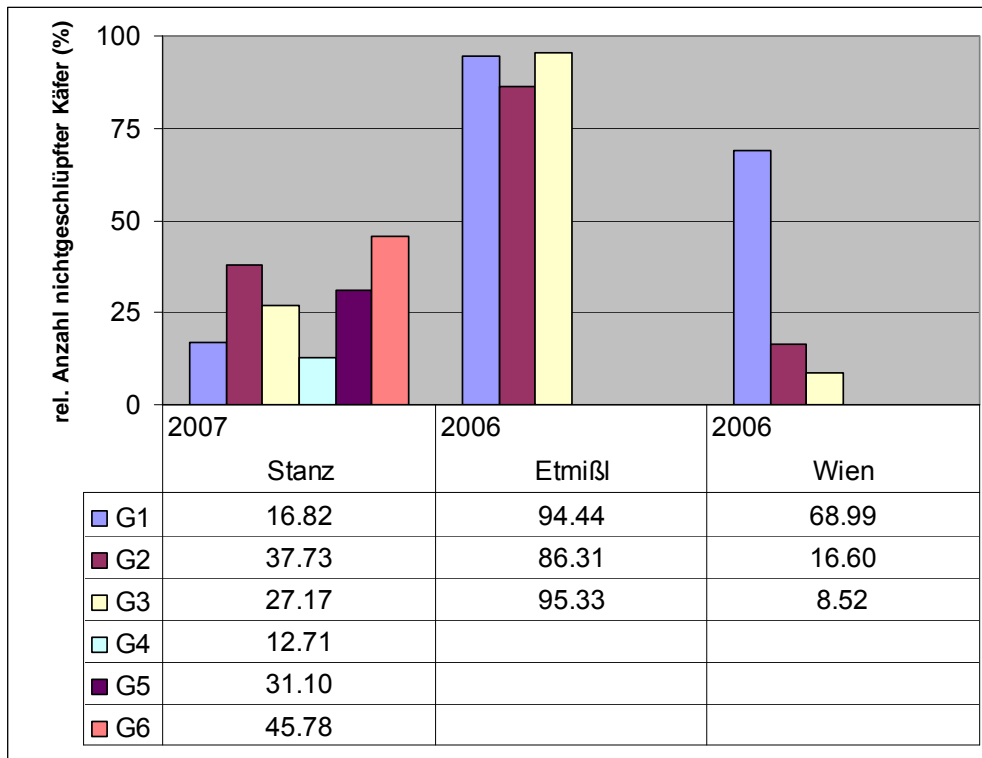


Abb. 16: Relative Anteile der nach dem Semi-Freilandversuch in Stanz bzw. Etmißl (Photoelektoren) und Wien (Institutsgarten) in den Stämmen verbliebenen Borkenkäfer.

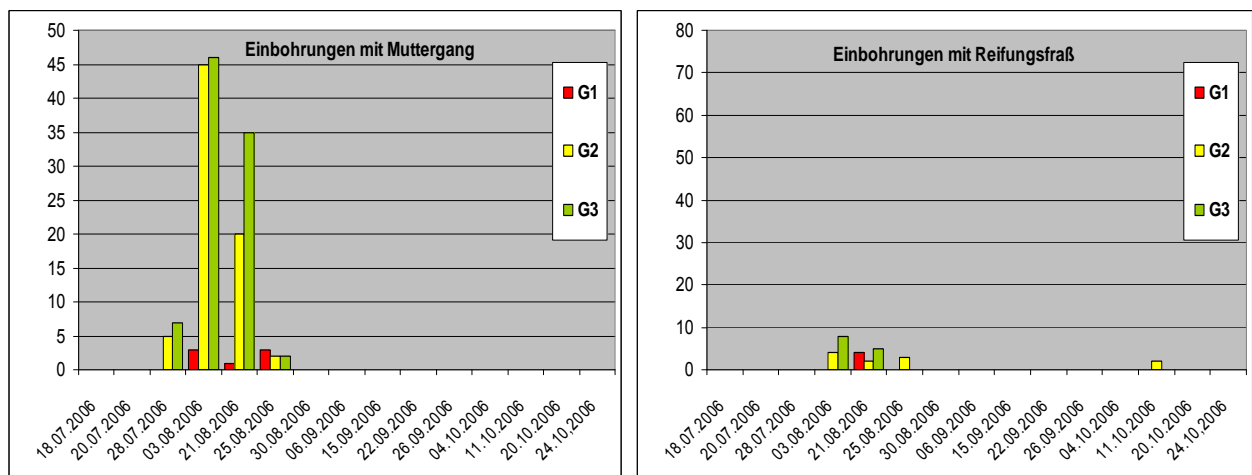


Abb. 17: Anzahl und zeitlicher Verlauf der Einbohrungen mit Muttergängen bzw. Reifungsfraßgängen an den Abfangstämmen je Kontrolltermin in Wien (Institutsgarten) von 14. Juli bis 24. Oktober 2006.

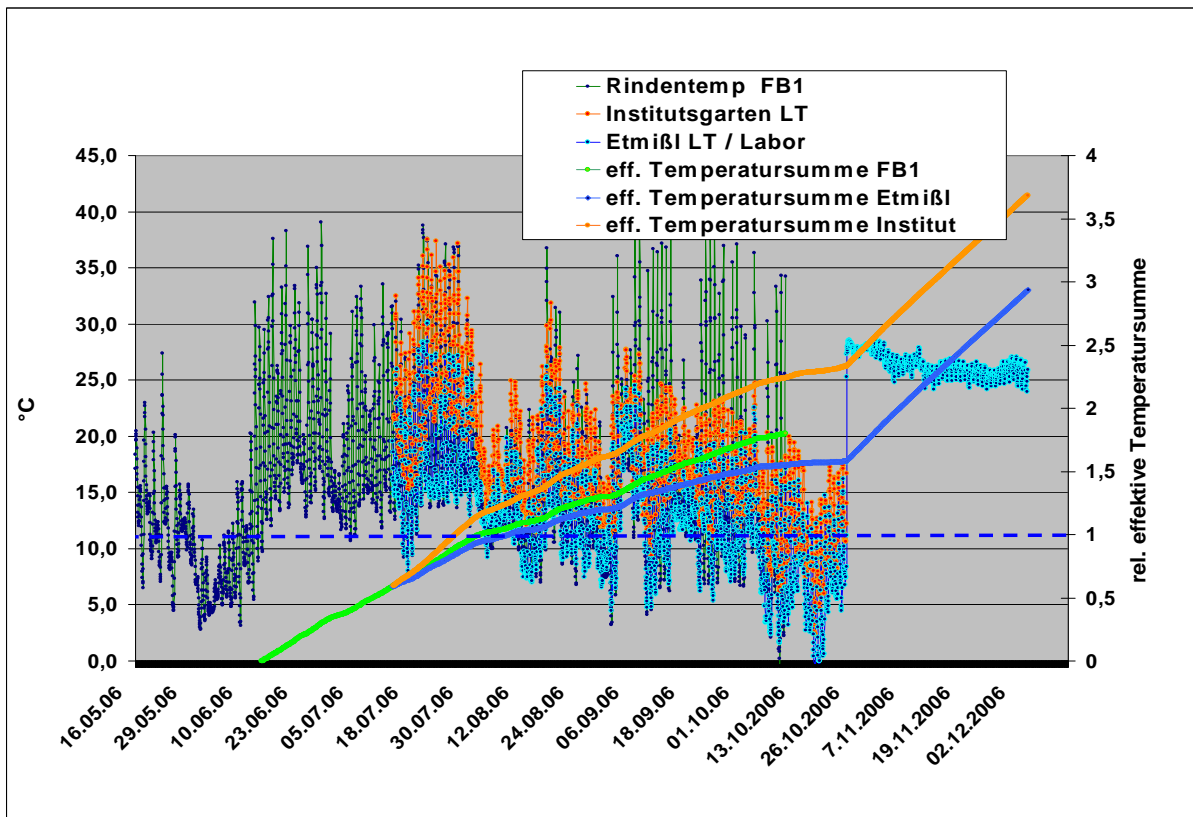


Abb. 18: Rinden- und Lufttemperaturen und effektive Temperatursummen zur Beobachtung der Brutentwicklung am Fangbaum G1, in Etmíßl und im Institutsgarten Wien.

In beiden Untersuchungsjahren zeigte sich aber, dass sowohl bei den in Wien gelagerten Stämmen als auch bei den Stämmen in den Photoelektoren die Schlupfaktivität der Jungkäfer ab Mitte August trotz günstiger Temperaturbedingungen beendet wurde (Abb. 19; Abb. 20). Bei einigen Stämmen (G1, G2 und G3 im Jahr 2007) trat die Beendigung des Schlüpfens der Jungkäfer bereits Ende Juli ein, obwohl noch bis Ende August relativ hohe Temperaturen auftraten (Abb. 20).

Auffallend war weiters, dass bei Stämmen, bei denen bereits im Laufe des Sommers ein hoher Anteil der Jungkäfer ausschlüpfte, der Schlupf verbliebener Jungkäfer im Labor unmittelbar mit dem Beginn der Lagerung im Labor einsetzte. Bei Stämmen mit hohem Anteil an verbliebenen Käfern (Stämme aus Etmíßl 2006 bzw. Stämme von den Fangbäumen G2; G5 und G6 in 2007) begann das Ausschlüpfen der Jungkäfer unter Laborbedingungen stark verzögert erst nach 10 – 15 Tagen (Abb. 19; Abb. 20).

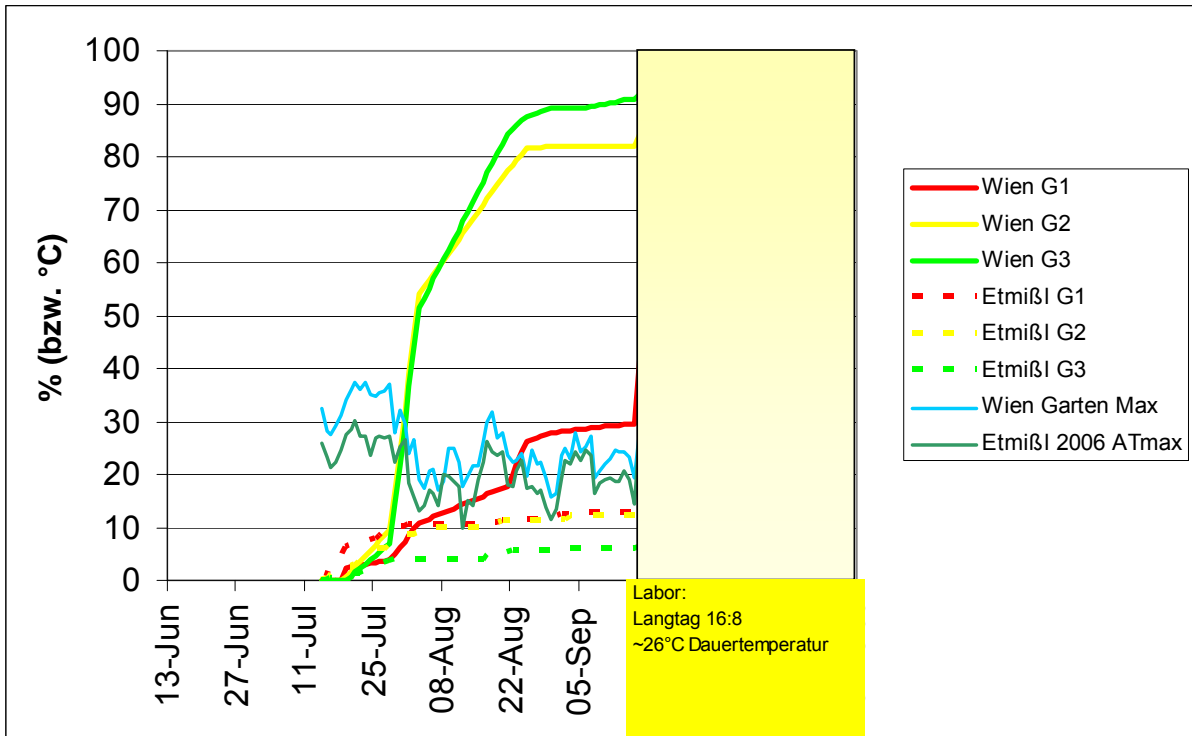


Abb. 19: Zeitlicher Verlauf der kumulierten relativen Schlupfzahlen aus Stämmen in Photoelektoren in Etmíßl und in Abfangkäfigen im Insitutgarten (Wien) sowie die täglichen Lufttemperaturmaxima (ATmax) an den Standorten Stanz und Wien 2006 bzw. unter Laborbedingungen.

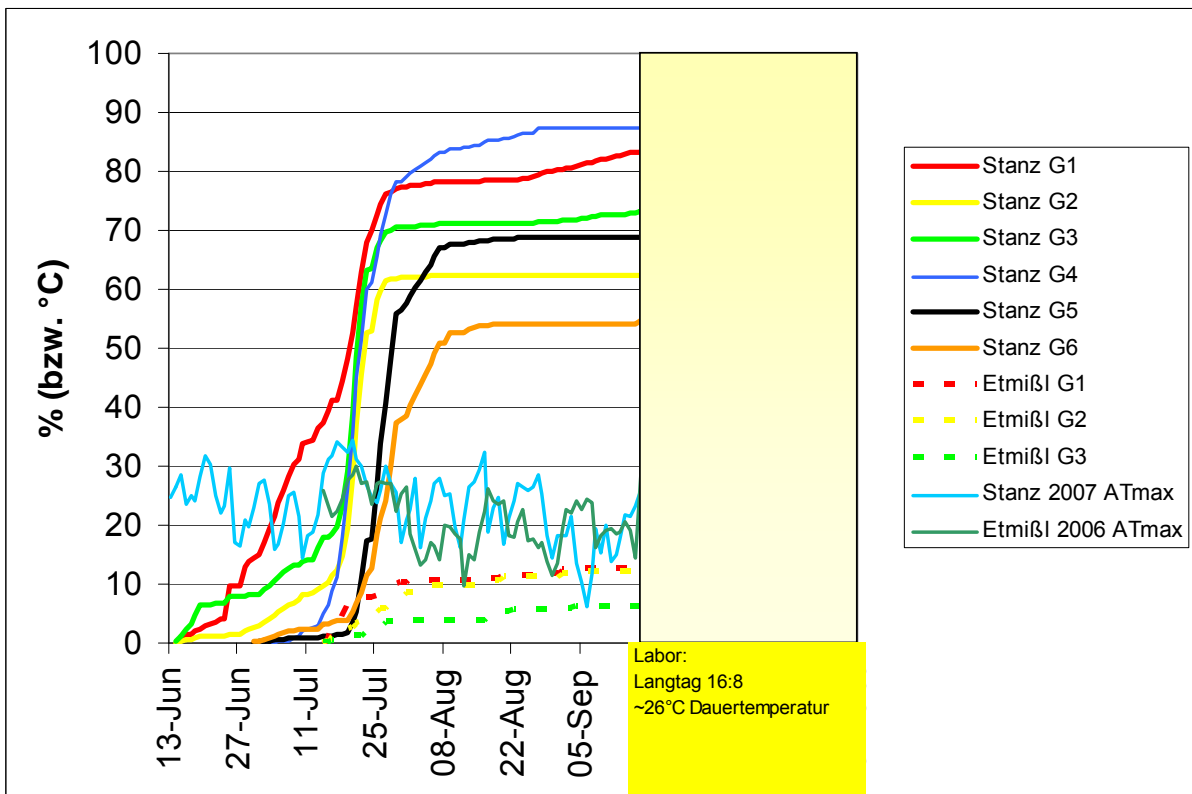


Abb. 20: Zeitlicher Verlauf der kumulierten relativen Schlupfzahlen aus Stämmen in Photoelektoren in Etmíßl (2006) und Stanz (2007) sowie die täglichen Lufttemperaturmaxima (ATmax) an den Standorten Stanz und Etmíßl bzw. unter Laborbedingungen.

3.3.3 Brutdichte und Vermehrungsrate

Nach Beendigung des Jungkäferschlupfs im Labor wurden die Versuchsstämme entrindet und die vorhandenen Brutsysteme analysiert. Dabei zeigte sich für die Fangbäume der ersten Serie aus Gstatterboden sowohl 2006 als auch 2007 außergewöhnlich hohe Einbohr- und Brutdichten (> 5 Parentalkäfer /dm² Rindenfläche) (Tab. 17). Dem entsprechend waren auch die Mutterganglängen bei diesen Stämmen relativ kurz (4 – 7 cm). Die Brutleistung (Nachkommen/Parentalkäfer) war auf Grund der hohen intraspezifischen Konkurrenz bei diesen Stämmen extrem niedrig (0,97 – 2,29 Nachkommen/Mutterkäfer). Demnach war beim Fangbaum G2 das Populationswachstum sogar negativ: es hatten mehr Parentalkäfer gebrütet als letztlich Nachkommen geschlüpft waren.

Bei der zweiten Fangbaumserie 2006 lag die Brutdichte deutlich niedriger. Der 2. Fangbaum am Standort G3 wurde 2006 nur in sehr geringem Maß von Buchdruckern besiedelt deren Bruten sich nicht bis zum Winter zu Jungkäfern entwickelten und daher nicht überwintern konnten. Die Fangbäume der 2. Serie bei den Standorten G1 und G1 im Jahr 2006 wurden zwar in annähernd idealer Dichte besiedelt (optimale Brutdichte: ~ 1 Muttergang / dm²), dennoch dürften hohe Mortalitätsverluste bei der Überwinterung (insbesondere beim Stamm G1) zu einer relativ geringen Anzahl an Nachkommen/Mutterkäfer geführt haben.

Im Gegensatz dazu konnten bei den entnommenen Stammstücken von den Fangbäumen im Johnsbachtal 2007 deutlich niedrigere Brutdichten mit längeren Muttergängen festgestellt werden. Dem entsprechend höher war auch die Brutleistung (6 – 9 Nachkommen /Parentalkäfer) bei diesen Stämmen. Die höchste Anzahl an Nachkommen konnten dabei für den Fangbaum am nordexponierten Standort G5 in 1300m Seehöhe festgestellt werden (Tab. 17).

Generell war die Brutleistung bei den untersuchten Fangbäumen erheblich niedriger als die potentielle Brutleistung des Buchdruckers (durchschnittlich 30 – 50 Eiablagen/Muttergang). Neben der starken intraspezifischen Konkurrenz bei überoptimaler Brutdichte (Raum- und Nahrungsmangel) führen andere Mortalitätsfaktoren (Antagonisten, hohe Mortalität präimaginaler Stadien bei lokaler Überhitzung des Stammes, hohe Wintermortalität, interspezifische Konkurrenz, Kannibalismus) zu erheblichen Verlusten, sodass unter natürlichen Verhältnissen nur äußerst selten die potentiell mögliche Brutleistung erreicht wird.

Tab. 17: Vergleich der Brutdichte und der Brutleistung an den entnommenen Stammstücken (MG: Anzahl der Muttergänge pro dm² Rindenfläche, MGL: durchschnittliche Mutterganglänge).

	Brutdichte			Brutleistung		
	Parentalkäfer/dm ² Rindenfläche	MG/ dm ²	MGL (cm)	Nachkommen/dm ² Rindenfläche	Nachkommen/ Weibchen	Nachkommen/ Parentalkäfer
1.Fangbaumserie 2006						
G1	8.59	5.84	4.6	8.92	1.59	1.06
G2	7.50	5.33	6.5	7.28	1.36	0.97
G3	8.38	5.86	4.6	10.20	1.74	1.22
2.Fangbaumserie 2006						
G1	2.61	1.73	6.1	3.38	1.95	1.30
G2	1.89	1.22	6.9	6.99	5.73	3.70
G3	0.36	0.22	6.3	0.00	0.00	0.00
2007						
G1	5.72	3.95	6.9	9.44	2.35	1.63
G2	6.70	4.75	5.5	15.49	3.23	2.29
G3	5.48	3.82	5.9	7.77	2.04	1.42
G4	2.06	1.35	8.3	13.18	9.66	6.34
G5	3.60	2.43	8.0	33.06	13.55	9.15
G6	2.74	1.78	10.0	22.51	12.33	8.00

3.3.4 Potentielle Entwicklung

Mittels PHENIPS wurden für alle Fangbaum- bzw. Fallenstandorte die potentielle (maximale) Brutentwicklung anhand der effektiven Rindentemperatursummen berechnet und mit den Fallenfängen vergleichend dargestellt (Abb. 21 - Abb. 23). Da im Jahr 2006 erst ab Mitte Mai mit den Untersuchungen begonnen wurde, weichen die potentiellen Entwicklungskurven von den Beobachtungen bei den Fangbäumen entsprechend ab. Für die Berechnung der potentiellen Entwicklung wurde der Beginn im Frühjahr berechnet. Im Jahr 2006 war der berechnete Schwärm- bzw. Befallsbeginn bei den unteren Standorten G1 und G2 bereits Ende April/Anfang Mai und beim Standort G3 am 12. Mai (Abb. 21). In Abb. 21 fehlen auf Grund des verspäteten Beginns die Fallenfänge vor dem 16.5.2006.

Anhand der effektiven Rindentemperatursummen kann gezeigt werden, dass bei den 3 Standorten in Gstatterboden sowohl 2006 als auch 2007 zwei Generationen potentiell möglich gewesen wären. Auch bei Standort G3 (1200m Seehöhe) hätte sich 2006 ab Ende Juli eine 2. Generation bis Ende Oktober noch bis zum Jungkäferstadium entwickeln können. Da aber bereits ab Anfang August durch den Kaltlufteinbruch kaum noch Schwärmaktivitäten zu beobachten waren, dürfte 2006 in dieser Höhenlage nur noch sehr eingeschränkt eine 2. Generation entstanden sein. Dagegen wurde im Jahr 2007 deutlich früher die Entwicklung der 1. Generation abgeschlossen, sodass auch beim Standort G3 in höherem Ausmaß ab Anfang Juli eine 2. Generation sich etablieren konnte. Der absolute Flughöhepunkt wurde zudem am Standort G3 erst Mitte- Ende Juli verzeichnet.

Bei den Standorten im Johnsbachtal konnten sich nur auf dem Standort G4 (1100m) und beim südexponierten, sonnigen Standort G6 zwei Tochtergenerationen erfolgreich entwickeln. Am nordexponierten Standort G5 war die Entwicklung der 1. Generation ähnlich rasch wie am gegenüberliegenden Südstandort (G6), sodass ab Ende Juli auch am Standort G5 Jungkäfer der 1. Generation teilweise ausschlüpfen. Durch die fehlende Sonneneinstrahlung (starke Abschattung ab Ende August) konnte sich die 2. Generation aber bis Oktober nur in das Larvenstadium entwickeln. Daher dürfte die begonnene 2. Generation bei diesem Standort auf Grund der Wintermortalität präimaginaler Stadien komplett ausgefallen sein.

Bei allen Standorten war in beiden Jahren die erfolgreiche Entwicklung von Geschwisterbruten möglich. Der Beginn von Geschwisterbruten wurde für die 3 Standorte im Jahr 2006 von Mitte Juni – Ende Juni berechnet. Im Jahr 2007 war der Beginn von Geschwisterbruten in tieferen Lagen bereits ende Mai/Anfang Juni, bei den höher gelegenen Standorten (G5, G6) ab Mitte Juni möglich.

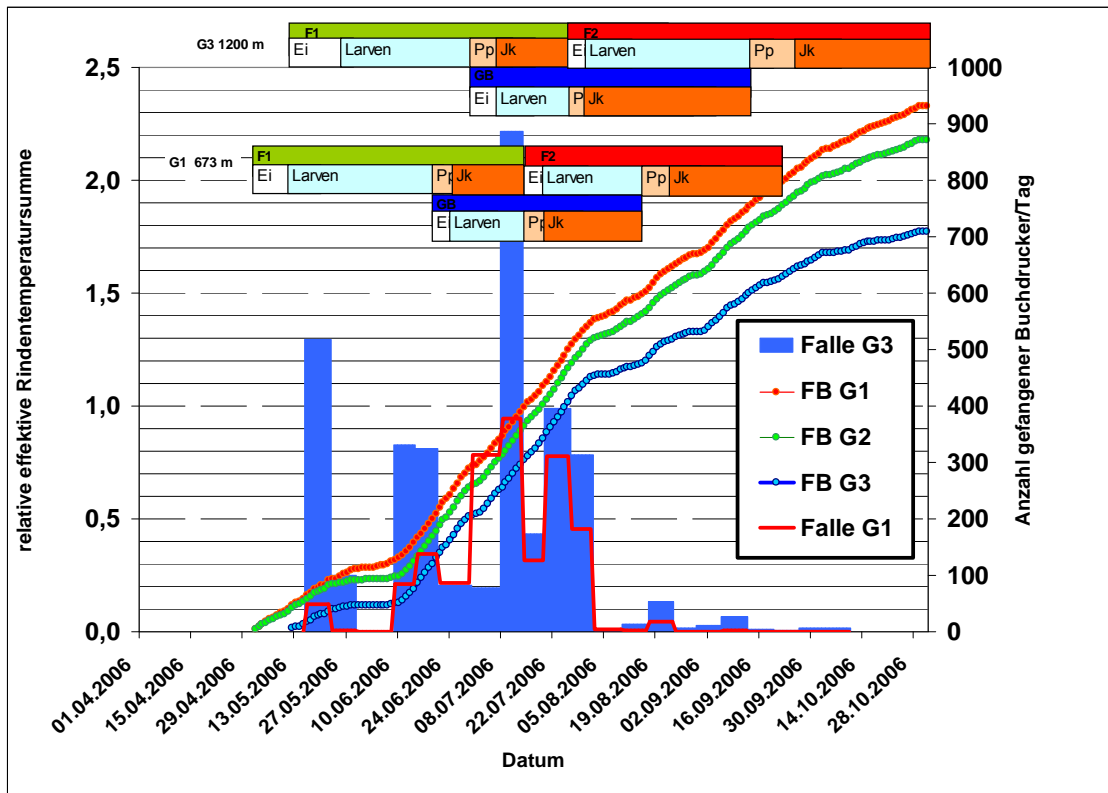


Abb. 21: Relative effektive Rindentemperatursummen und potentielle Entwicklung für die 3 Fangbaumstandorte in Gstatterboden 2006 im Vergleich mit den Fallenfängen bei den Standorten G1 und G3.

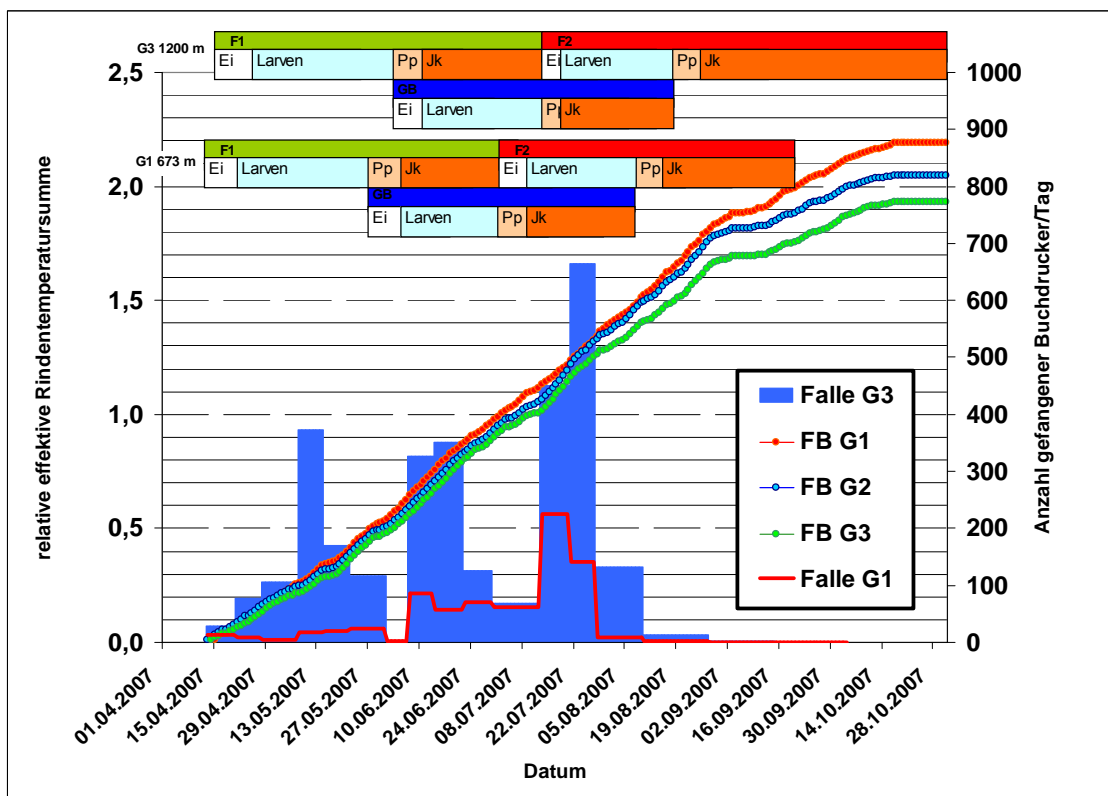


Abb. 22: Relative effektive Rindentemperatursummen und potentielle Entwicklung für die 3 Fangbaumstandorte in Gstatterboden 2007 im Vergleich mit den Fallenfängen bei den Standorten G1 und G3.

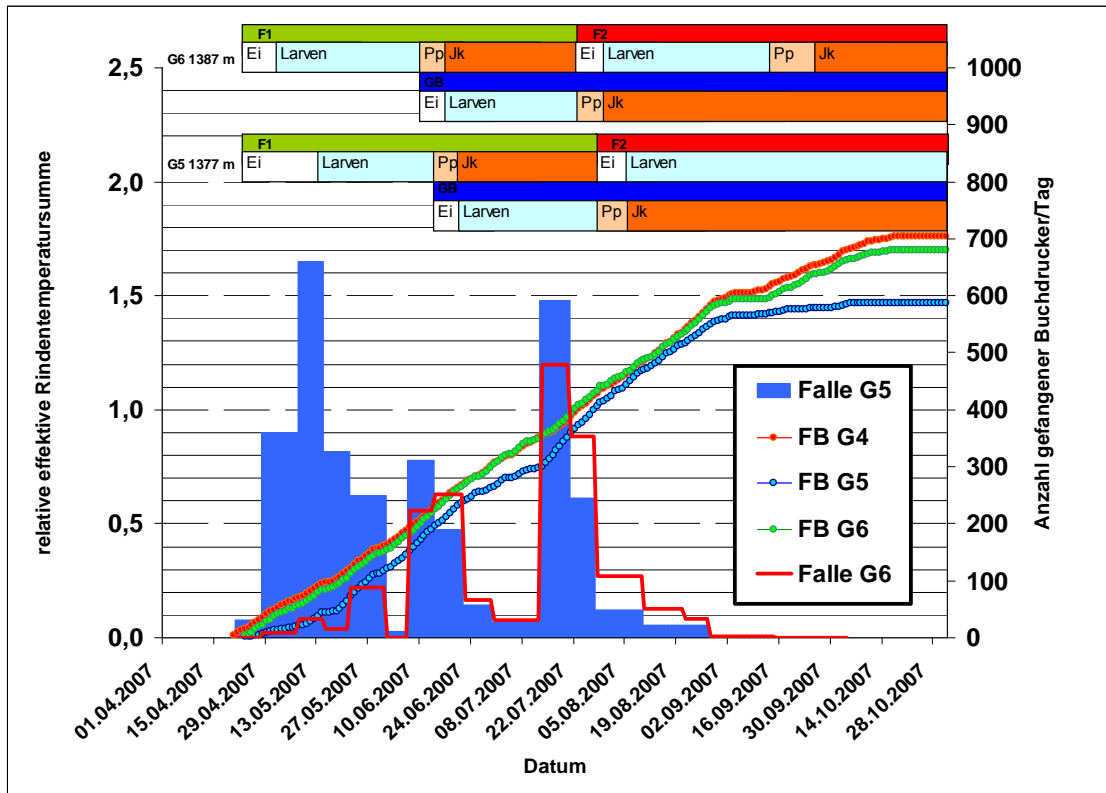


Abb. 23: Relative effektive Rindentemperatursummen und potentielle Entwicklung für die 3 Fangbaumstandorte im Johnsbachtal im Vergleich mit den Fallenfängen bei den Standorten G5 (nordexponiert) und G6 (südexponiert).

Anhand der Fallenfänge konnte auch jener Zeitpunkt festgestellt werden, ab dem im Laufe des Sommers erstmals hellbraune Jungkäfer (2. Generation) in den Fallen auftraten. Dabei zeigte sich, dass dieser Zeitpunkt (Flugbeginn der 2. Generation) nicht immer mit dem Auftreten eines Flughöhepunkts zusammentraf, weil der Flugverlauf sehr stark von den jeweiligen Witterungsverhältnissen bestimmt war (Abb. 24; Abb. 25). Der berechnete potentielle Beginn der zweiten Generation zeigte aber eine sehr gute Übereinstimmung mit dem Auftreten der ersten Jungkäfer in den Fallen. Anhand der Fallenfänge ab dem Zeitpunkt des potentiellen Beginns der 2. Generation kann auch abgeschätzt werden, in welchem Ausmaß sich am jeweiligen Standort noch eine 2. Generation etablieren konnte. Dies variiert, in Abhängigkeit von den jährlich unterschiedlichen Witterungsbedingungen, in einem sehr starken Ausmaß. Im Jahr 2006 war zwar am Standort G3 eine erfolgreiche Entwicklung der 2. Generation möglich. Die geringe Flugaktivität ab Schlupfbeginn der Jungkäfer ist jedoch ein Indikator dafür, dass es im Jahr 2006 nur noch wenigen Jungkäfer der F1 möglich war, eine 2. Generation anzulegen (Abb. 24). Im Jahr 2007 war nach dem ersten Auftreten von hellen Käfern in der Falle bzw. dem potentiellen Beginn der 2. Generation noch genügend Zeit und entsprechend günstiges Flugwetter, um im größeren Ausmaß eine Folgegeneration zu etablieren (Abb. 25).

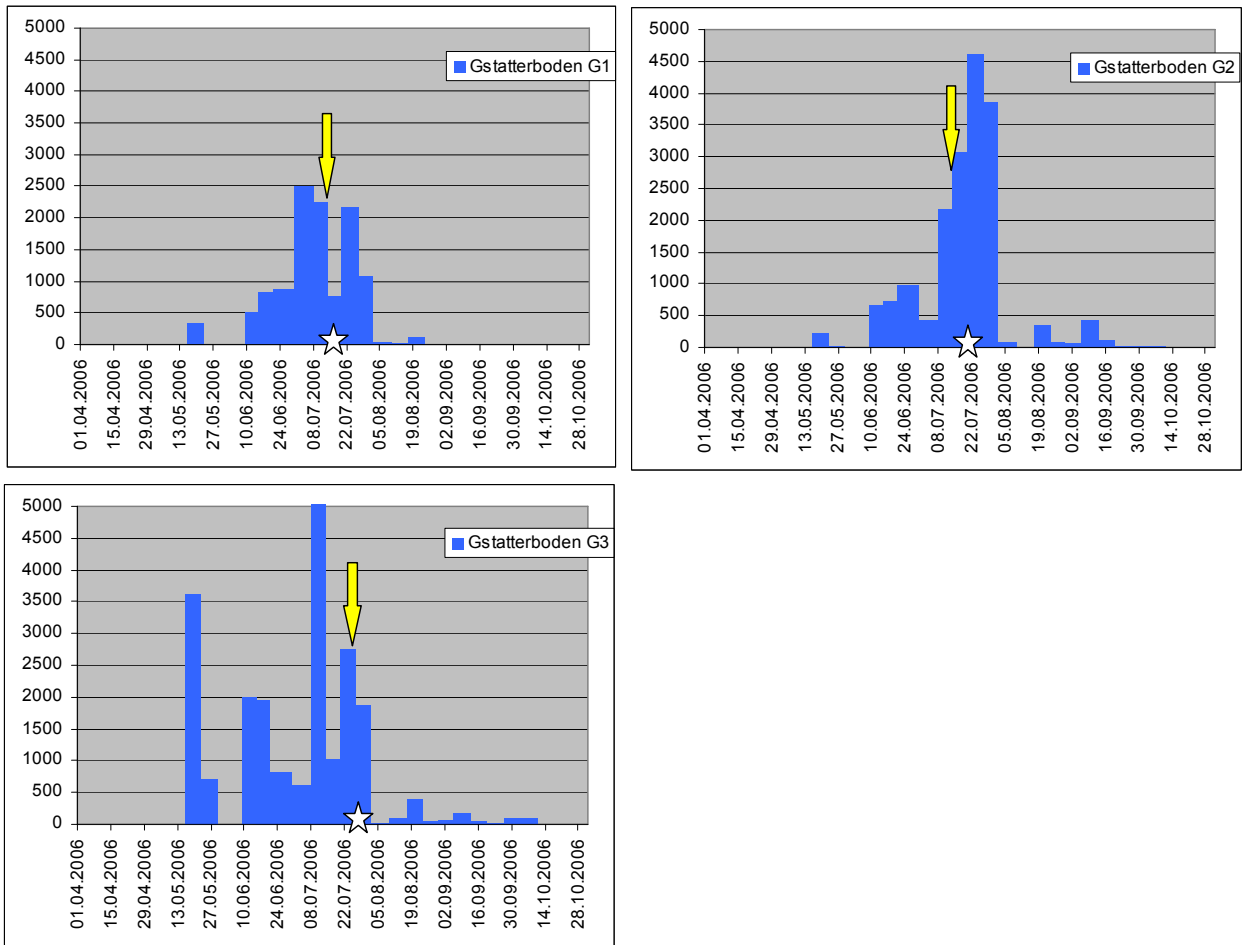


Abb. 24: Anzahl gefangener Buchdrucker je Kontrollintervall an den Standorten G1 – G3 im Untersuchungsjahr 2006 (gelber Pfeil: markiert den Termin an dem erstmals hell gefärbte Jungkäfer (2. Generation) registriert wurden; weißer Stern: berechneter potentieller Beginn der 2. Generation).

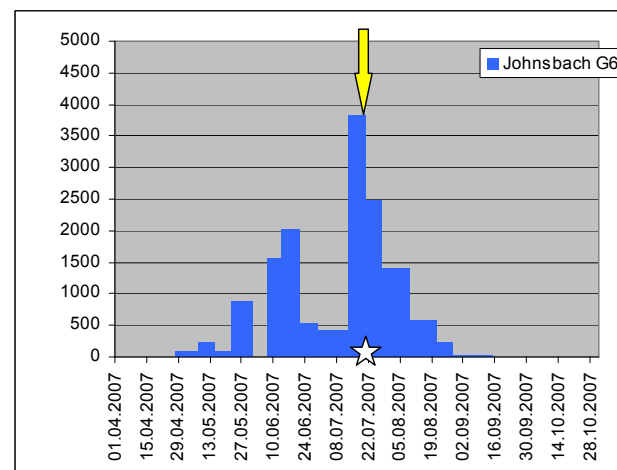
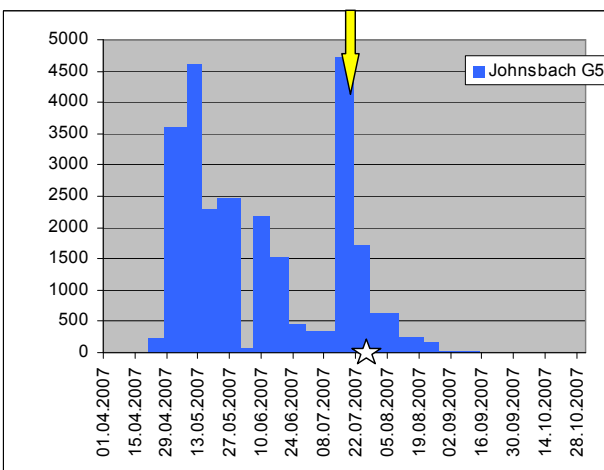
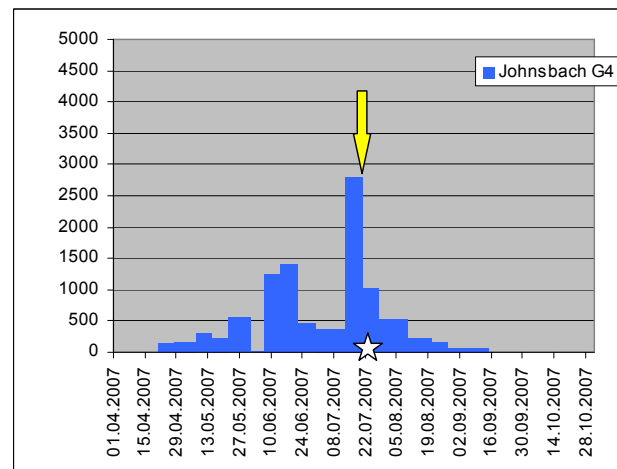
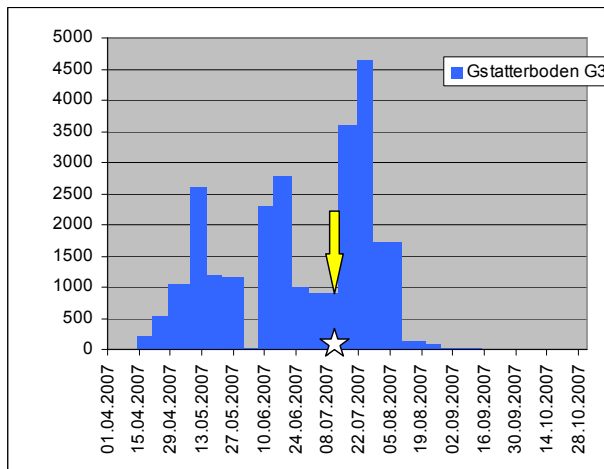
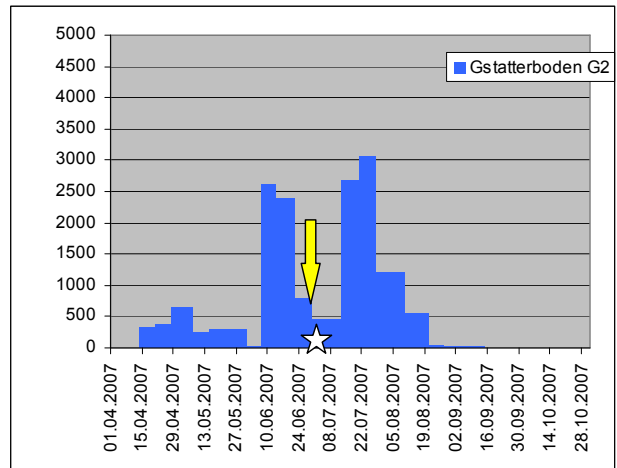
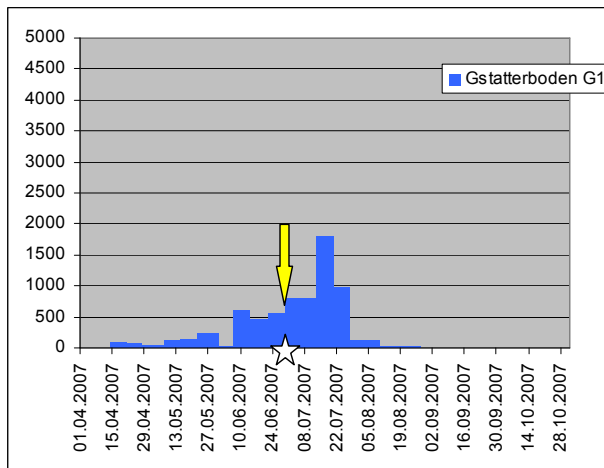


Abb. 25: Anzahl gefangener Buchdrucker je Kontrollintervall an den Standorten G1 – G6 im Untersuchungsjahr 2007 (gelber Pfeil: markiert den Termin an dem erstmals hell gefärbte Jungkäfer (2. Generation) registriert wurden; weißer Stern: berechneter potentieller Beginn der 2. Generation).

3.4 Räumliche Modellierung täglicher Temperatur- und Globalstrahlungswerte

Zur räumlichen Darstellung der thermalen Entwicklungsbedingungen des Buchdruckers im Nationalpark Gesäuse und seiner näheren Umgebung wurden im Rahmen des Projekts „Entwicklung eines Modells zur regionalen/überregionalen Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Kalamitäten“ Modelle zur räumlichen Interpolation der Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung im alpinen Gelände adaptiert und validiert (Schopf *et al.*, 2007). Die Interpolationsergebnisse wurden anhand der erhobenen Daten der Temperatur- und Einstrahlungsmessstationen und der Rindentemperaturmessungen im Gesäuse validiert. Anhand dieser Interpolationsverfahren wurden die grundlegenden Eingangsparameter (tägliche Tagesmittelwerte und – maxima der Lufttemperatur, Tagessumme der Globalstrahlung) zur Berechnung der Borkenkäferphänologie und –entwicklung räumlich dargestellt.

Die Validierung der mittels DAYMET interpolierten Werte im Gesäuse ergab für die Lufttemperatur sehr straffe Zusammenhänge mit den gemessenen Werten (Abb. 26). Der mittlere Fehler für das Lufttemperaturmaximum beträgt $-0,68^{\circ}\text{C}$, für die Lufttemperaturmittelwerte $0,62^{\circ}\text{C}$. Die Zusammenhänge für die einzelnen Standorte sind generell sehr straff ($R^2 > 0,92$). Die Tagesmittelwerte der Lufttemperatur werden bei einzelnen Standorten zum Teil deutlich stärker überschätzt (Standorte G1, Gscheideck, Standorte im Gofersgraben), die Tagesmaxima dagegen eher unterschätzt (Tab. 18). Dies gilt tendenziell auch im höheren Temperaturbereich (Abb. 26).

Zur Validierung der mittels Meteosat -Bildern und Messdaten terrestrischer Einstrahlungsstationen der ZAMG interpolierten Globalstrahlung wurden für die einzelnen Messstationen im Gesäuse sowie für die Fangbäume (Berechnung der Rindentemperaturen) auch die lokalen Übershirmungsverhältnisse unter Verwendung des „Global-Site“-Faktors berücksichtigt (Tab. 19).

Die berechnete Globalstrahlung zeigte höchst signifikante, aber weniger straffe Zusammenhänge mit den beobachteten Werten der 3 Stationen im Gesäuse (Tab. 20; Abb. 27). Die mittlere Abweichung betrug 278 Wh/m^2 ($=24,8\%$). Die berechnete Einstrahlung zeigt sehr enge saisonale Synchronität mit den gemessenen Werten, die Spitzenwerte der Einstrahlung werden jedoch eher unterschätzt, niedrige Einstrahlungswerte eher überschätzt (Abb. 27; Abb. 28).

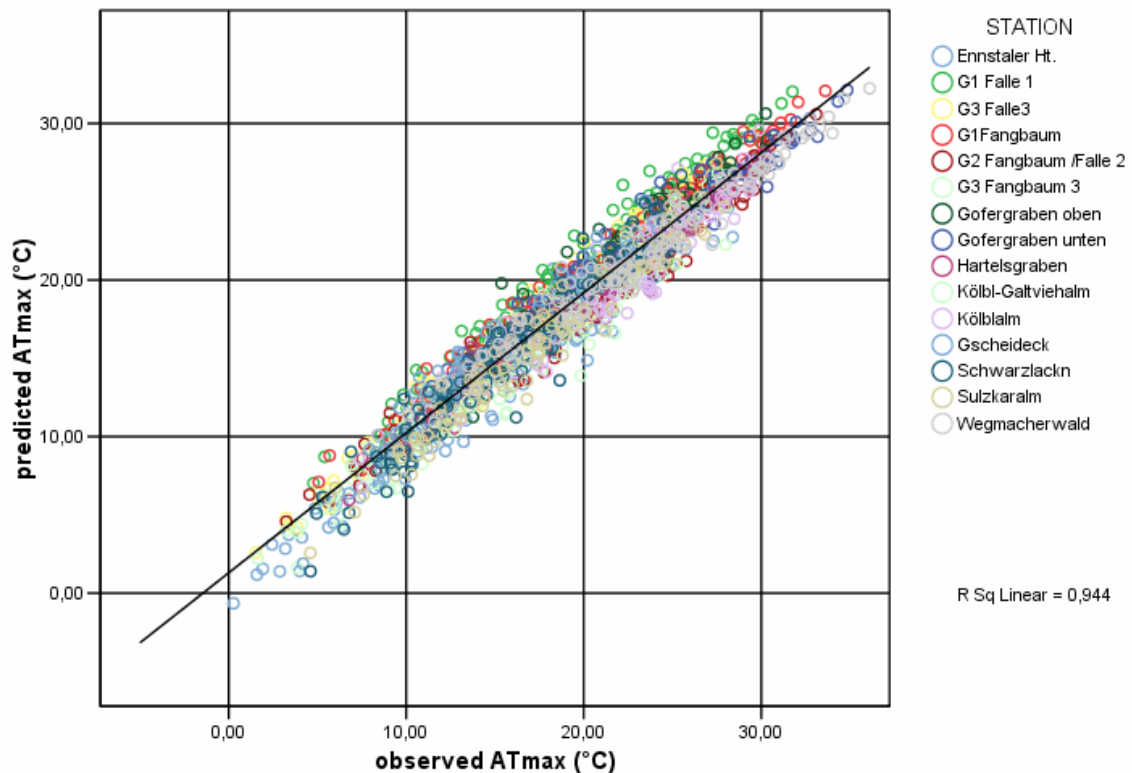
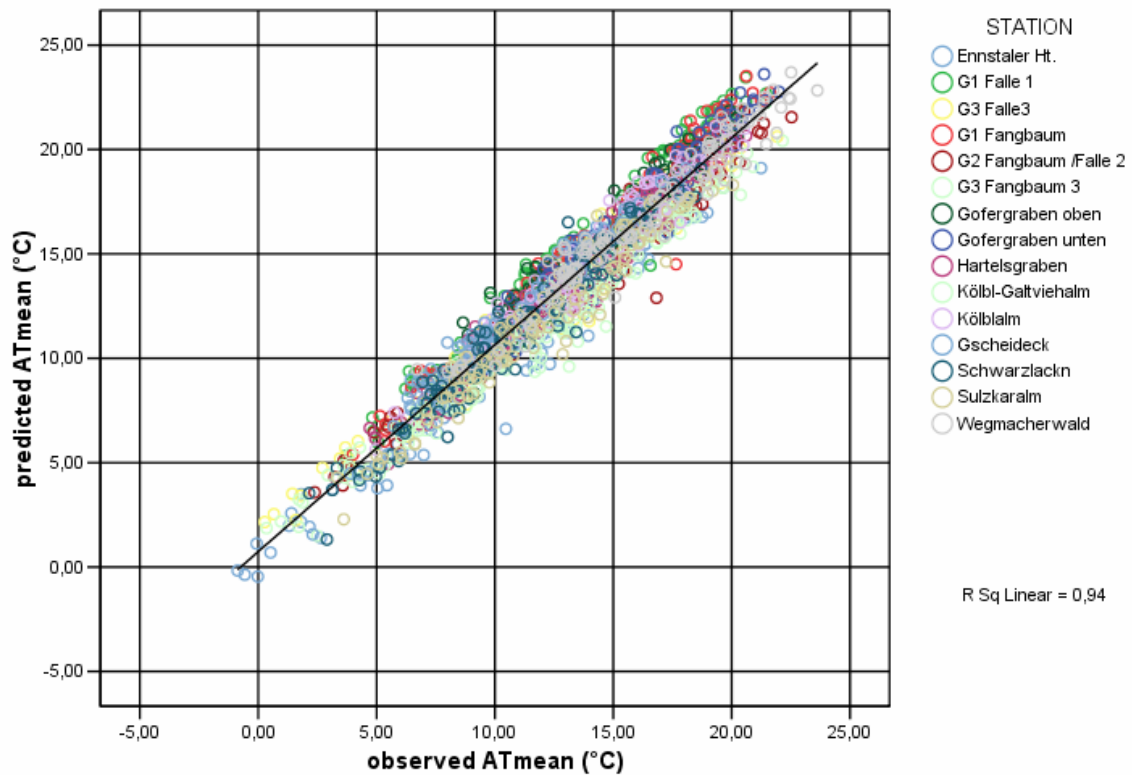


Abb. 26: Zusammenhang zwischen interpoliertem und tatsächlich gemessenem Lufttemperaturtagesmittel bzw. -maxima der Stationen im Nationalpark Gesäuse. (observed ATmean/ATmax: gemessene Tagesmittelwerte bzw. -maxima der Stationen; predicted ATmean/ATmax: interpolierte Tagesmittelwerte bzw. -maxima 2006).

Tab. 18: Zusammenhang (R^2), mittlere Abweichung und relative mittlere Abweichung der interpolierten vs beobachteten Lufttemperaturwerte getrennt nach Standort (ATmean: Tagesmittel der Lufttemperatur, ATmax: Tagesmaximum der Lufttemperatur, N: Anzahl der gemessenen Temperaturwerte, ME: mittlerer Fehler, RPME: mittlerer relativer Fehler).

STATION	N	R^2		Mittlerer Fehler		Rel. mittlerer Fehler (%)	
		ATmean	Atmax	ME ATmean	ME ATmax	RPME ATmean	RPME ATmax
Gofergraben unten	106	0.951	0.944	1.30	-0.90	8.4	-3.9
Gofergraben oben	106	0.937	0.958	1.11	-0.12	8.0	-0.6
Gscheideck	106	0.959	0.944	1.07	0.14	10.0	1.0
Kölbl-Galtviehalm	106	0.945	0.933	-0.54	-1.50	-4.4	-8.8
Kölblalm	102	0.945	0.924	0.90	-1.56	6.7	-7.6
Wegmacherwald	111	0.953	0.965	0.61	-1.59	3.8	-6.8
Hartelsgraben	111	0.954	0.972	0.52	-1.11	3.9	-5.8
Sulzkaralm	111	0.948	0.952	-0.16	-1.51	-1.3	-8.7
Schwarzlackn	111	0.949	0.930	0.42	-0.58	3.9	-3.7
G1 Gesäuse Fangbaum1	147	0.965	0.973	1.50	-0.01	10.7	0.0
G1 Gesäuse Falle 1	147	0.964	0.965	1.81	0.99	13.3	5.0
G2 Gesäuse Fangb. 2/Falle 2	147	0.966	0.966	0.36	-1.28	2.7	-6.4
G3 Gesäuse Fangbaum. 3	147	0.965	0.974	0.09	-0.78	0.7	-4.4
G3 Gesäuse Falle3	145	0.964	0.976	0.53	0.31	4.4	1.9
Ennstaler Ht.	140	0.959	0.954	-0.31	-1.46	-2.8	-9.1

Tab. 19: Monatliche „global-site“ –Faktoren aus hemisphärischen Aufnahmen für die Beschreibung der Überschirmungsverhältnisse bei den Fangbaumstandorten und Einstrahlungsmessstationen im Gesäuse.

Standort		Global site - Faktor						
		Monat						
		April	Mai	Juni	Juli	Aug.	Sept.	Okt.
G1	Fangbaum 1	0,65	0,75	0,68	0,68	0,75	0,64	0,65
G2	Fangbaum 1	0,79	0,79	0,81	0,81	0,79	0,79	0,86
G3	Fangbaum 1	0,79	0,83	0,87	0,87	0,83	0,79	0,67
G1	Fangbaum 2	0,44	0,45	0,61	0,61	0,44	0,45	0,56
G2	Fangbaum 2	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87
G3	Fangbaum 2	0,81	0,81	0,79	0,79	0,82	0,80	0,78
G1	Einstrahlungsstation	0,87	0,87	0,83	0,83	0,88	0,87	0,90
G3	Einstrahlungsstation	0,84	0,82	0,84	0,84	0,82	0,84	0,89
Kölblalm	Einstrahlungsstation	0,91	0,89	0,88	0,88	0,89	0,91	0,91

Tab. 20: Zusammenhand (R^2) und Abweichungen zwischen beobachteter und interpolierter Globalstrahlung (Sig.: Signifikanz [***: $P < 0,001$]).

STATION	N	Globalstrahlung				R^2	Sig.
		ME	MAE	Relativer Fehler (%)			
Kölblalm	100	477.86	595.77	26.24		0.886	***
G1 Gesäuse/Falle 1	146	184.48	561.56	15.30		0.827	***
G3 Gesäuse/FB 3	144	234.08	696.03	33.41		0.829	***
Gesamt	390	278,02	619,98	24,79		0,834	***

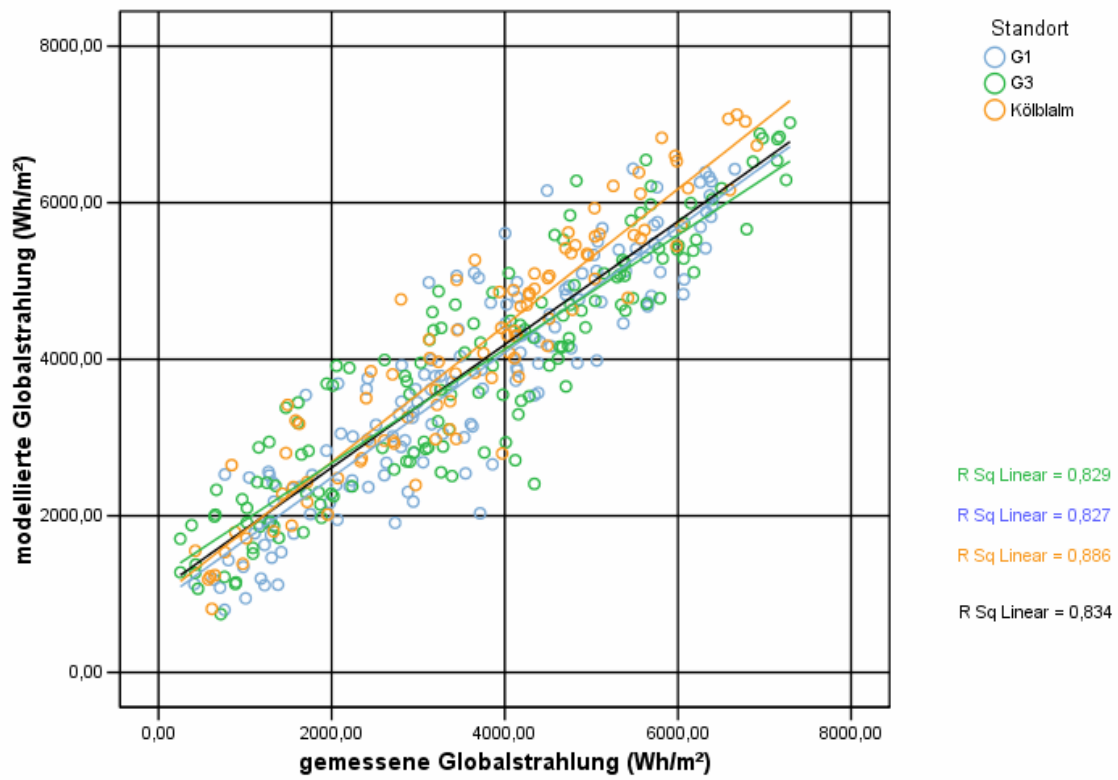


Abb. 27: Zusammenhang zwischen gemessener und interpolierter Globalstrahlung für die Stationen im Gesäuse.

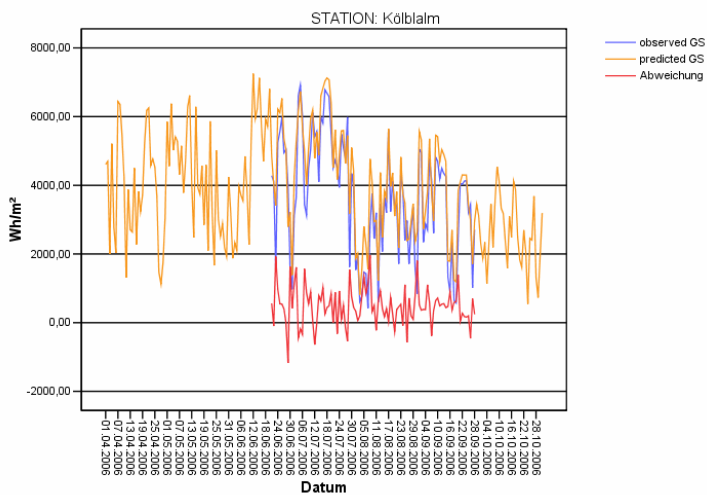
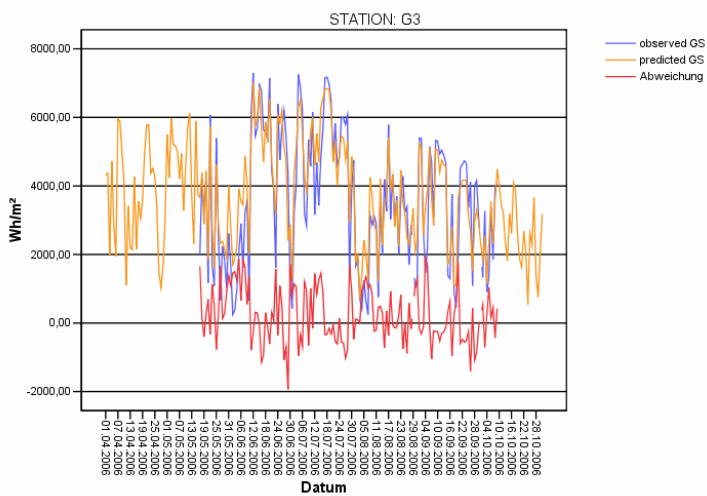
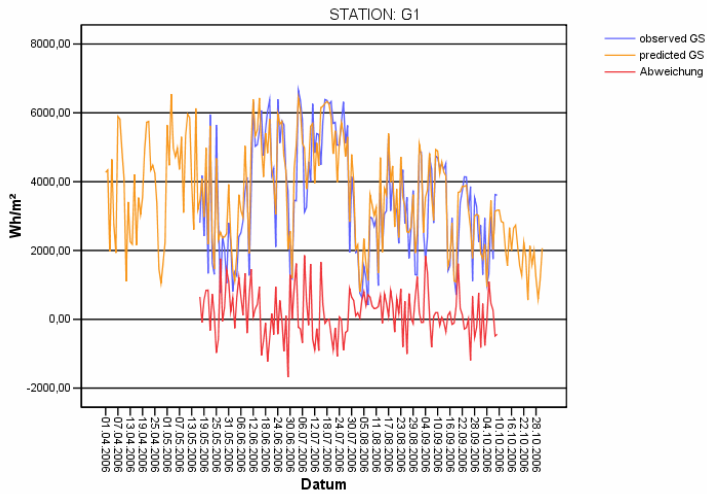


Abb. 28: Zeitlicher Verlauf der gemessenen und der interpolierten Globalstrahlung und der Residuen für die Einstrahlungsmessstationen im Gesäuse.

Anhand der Zusammenhänge zwischen Rindentemperatur, Lufttemperatur und Einstrahlung wurden für die einzelnen Fangbäume die täglichen Rindentemperaturmaxima und –mittelwerte sowie die effektiven Rindentemperatursummen berechnet (Abb. 29; Abb. 30). Die berechneten Tagesmittelwerte der Rindentemperatur zeigen einen sehr straffen Zusammenhang mit den beobachteten Werten ($R^2 = 0,9$), die Maxima der Rindentemperatur streuen jedoch bei sehr hohen Rindentemperaturen erheblich ($R^2 = 0,764$). Generell werden die Rindentemperaturmaxima vor allem im höheren Temperaturbereich unterschätzt (Abb. 29). Dies ist vor allem darauf zurückzuführen, dass hohe Maxima der Lufttemperatur als auch hohe Einstrahlungswerte unterschätzt werden.

Der Vergleich der effektiven Rindentemperatursummen, die anhand der gemessenen Rindentemperaturen bei den Fangbäumen berechnet werden, mit den Temperatursummen, die sich aus den interpolierten Temperatur und Einstrahlungswerten ergeben, zeigt einen straffen, positiven Zusammenhang ($R^2 = 0,796$; Abb. 30). Die effektiven Rindentemperaturen werden jedoch auf Grund der nichtlinearen Beziehung zwischen der gemessenen Temperatur und der effektiven, für die Entwicklung nutzbaren Temperaturen überschätzt ($R^2 = 0,796$; mittlere Abweichung: ME = +36,5 h°C (eq. 1,52 Tagesgrade); relativer mittlerer Fehler: 28%).

Die sich aus der laufenden Temperatursummenbildung ab Brutbeginn bei den Fangbäumen resultierenden Rindentemperatursummen der modellierten Temperaturen zeigen eine mittlere Abweichung zum Zeitpunkt des Jungkäferschlupfbeginns von + 6,4% gegenüber der anhand der gemessenen Temperaturen ermittelten Temperatursummen. Dabei werden die tieferen Standorte G1 und G2 stärker überschätzt, der höhere Standort G3 dagegen sehr präzise eingeschätzt (Tab. 21). Der Zustand der Bruten vor der Überwinterung wird ebenfalls überschätzt, dies führte aber nur beim Standort G1 zu einer Fehleinschätzung (Tab. 22).

Der anhand der modellierten Temperatursummen prognostizierte Beginn von Geschwisterbruten ergibt im Vergleich zum beobachteten Beginn nur geringfügige Abweichungen von wenigen Tagen (Unterschätzung für G1: 7 Tage; G2: 2 Tage; Überschätzung beim Standort G3: -1 Tag).

Hinsichtlich des potentiellen Schwärm- und Befallsbeginns im Frühjahr 2006 stimmen die berechneten Zeitpunkte (Befallsbeginn G1: 26.4.; G2 und G3: 12.5.) mit den anhand lokaler Regressionen (Station Aigen im Ennstal) berechneten Werten (siehe Abb. 21) sowie den Beobachtungen bei der ersten Besichtigung des Untersuchungsgebiets (starker Schwärmflug des Buchdruckers am 12.5.2006) gut überein.

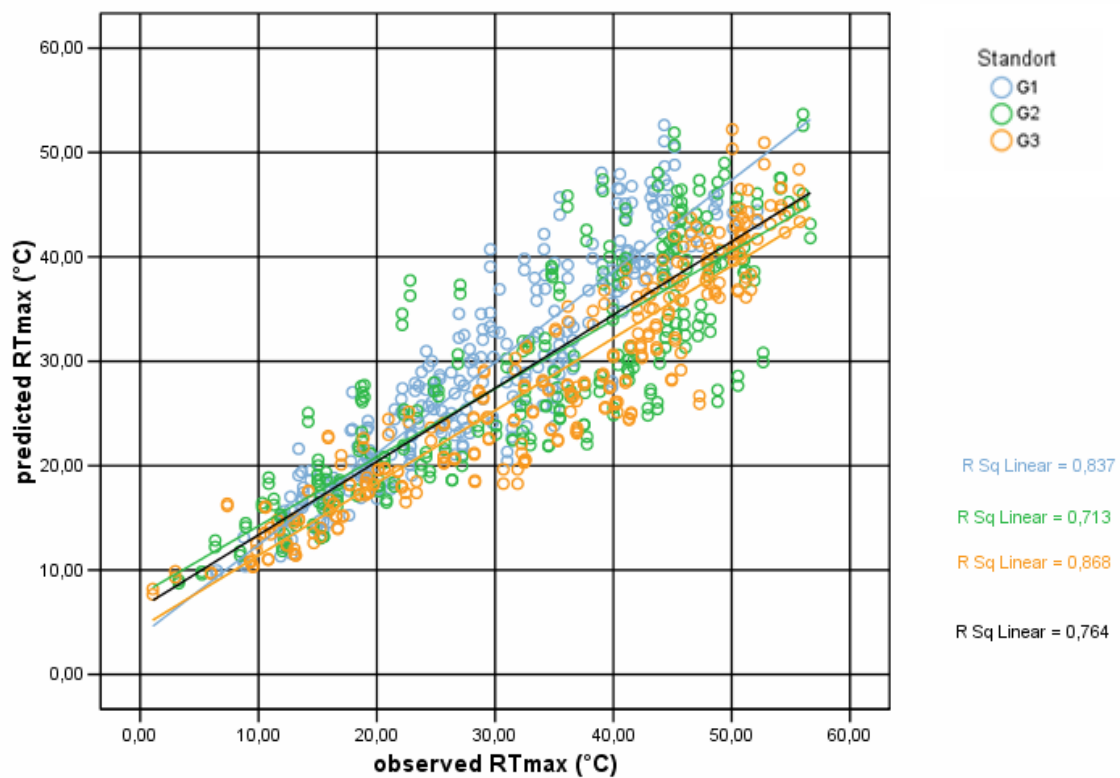
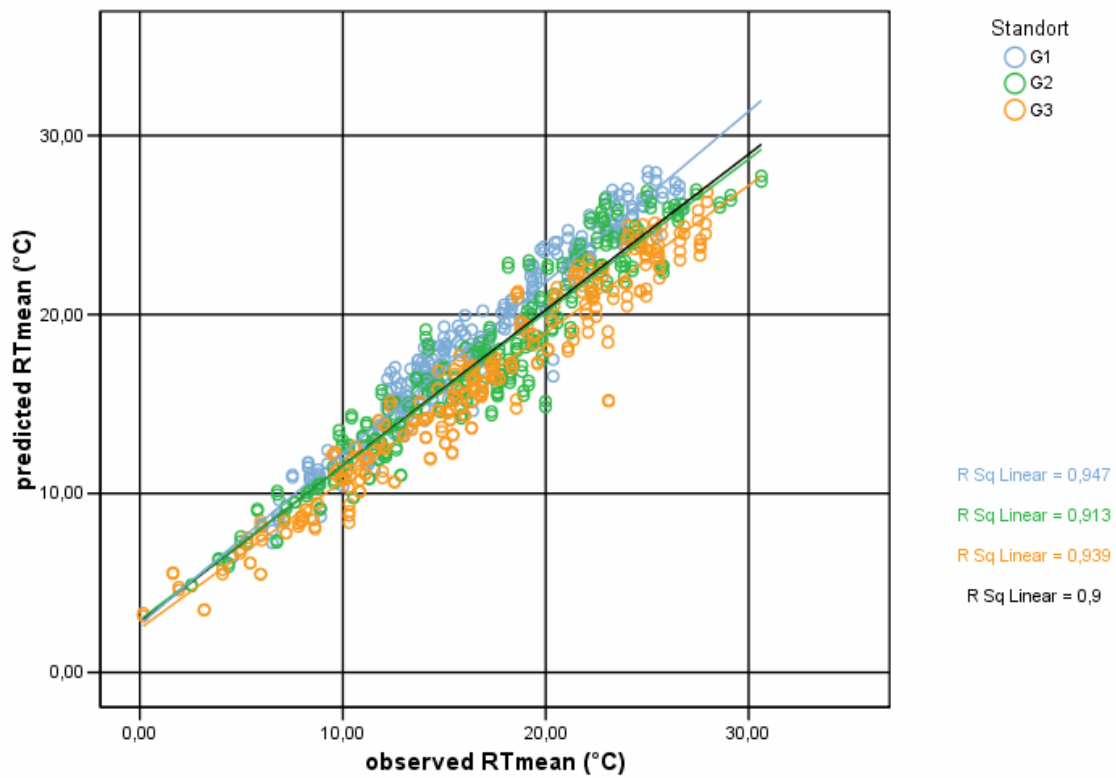


Abb. 29: Zusammenhänge zwischen gemessenen und berechneten Rindentemperaturen bei den Fangbäumen im Gesäuse im Jahr 2006 (observed RTmean/RTmax: gemessene Tagesmittelwerte und Tagesmaxima der Rindentemperatur an der Stammoberseite; predicted RTmean/RTmax: berechnete Rindentemperaturwerte)

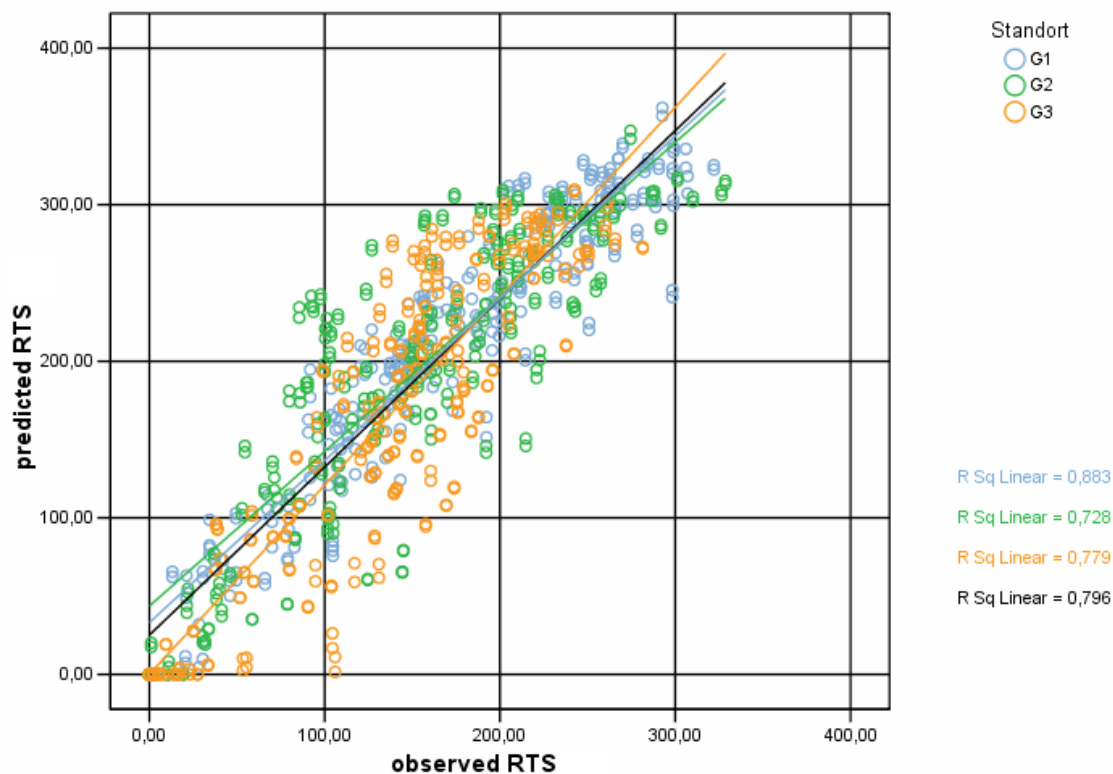


Abb. 30: Zusammenhang zwischen beobachteter und berechneter effektiver Rindentemperatursumme (observed/predicted RTS in Stundengraden [h°C]) für die Fangbaumstandorte G1 - G3.

Tab. 21: Relative effektive Rindentemperatursumme, berechnet anhand gemessener Rindentemperaturen (TS_RT observed), im Vergleich zu den modellierten effektiven Rindentemperatursummen (TS_RT predicted) zum Zeitpunkt des beobachteten Schlüpfbeginns der Jungkäfer (JK_F1) bzw. vor der Überwinterung (ÜW) getrennt nach Fangbaum.

FB		TS_RT	TS_RT	Differenz	rel. Abweichung (%)
Standort	Nr.	observed	predicted		
G1	1 JK_F1	1,06	1,19	0,13	12,26
	2 ÜW	0,55	0,68	0,13	23,64
G2	1 JK_F1	1,15	1,23	0,08	6,96
	2 ÜW	0,70	0,92	0,22	31,43
G 3	1 JK_F1	1,08	1,08	0,00	0,00
	2 ÜW	0,50	0,51	0,01	2,00

Tab. 22: Beobachteter und prognostizierter Zustand der Brut vor der Überwinterung (JK: Jungkäfer; Pp: Puppen; L: Larven).

Fangbaumstandort	Beobachteter Zustand der Brut	Prognostizierter Zustand der Brut mit	
		<i>TS_RT Observed</i>	<i>TS_RT Topoklimamodell</i>
G 1	Pp	<i>Pp</i>	Jk
G 2	Jk	<i>Jk</i>	Jk
G 3	Pp	<i>Pp</i>	Pp

3.5 Räumliche Modellierung der potentiellen Entwicklung der letzten Jahre

Die Ergebnisse der Modellierung der potentiellen Entwicklung (potentieller Entwicklungsbeginn, Anzahl an Generationen [siehe Anhang]) des Buchdruckers in der Region Gesäuse in den letzten Jahren (2000 – 2006) zeigen in Abhängigkeit vom Witterungsverlauf eine hohe jährliche Variabilität des Schwärm- und Befallsbeginns und der Anzahl an Generationen. Während im Jahr 2000 bis in mittlere Höhenlagen der Befallsbeginn schon ab dem 20.4 stattfand, bleibt der Bereich eines solchen frühen Entwicklungsbeginns in den übrigen Jahren auf die tieferen Lagen des Gesäusedurchbruchs, der südexponierten, unteren Hangbereiche bei Hieflau sowie fallweise den süd- bis westexponierten Hangbereichen im vorderen Johnsbachtal beschränkt. Die durchschnittliche Anzahl an Generationen zeigt eine deutliche Höhenabhängigkeit, wobei entlang des Gesäuses potentiell drei Generationen ausgewiesen werden. In den unteren Gesäuseabhängungen, im vorderen Johnsbachtal, im tiefer liegenden Bereich des Gstatterbodener Kessels sowie an den Südhängen bei Hieflau sind 2 Generationen und Geschwisterbruten der 2.Generation potentiell möglich. In mittleren Hanglagen sowie in weiten Bereichen des hinteren Johnsbachtals sind 2 Generationen, in höheren Lagen (ab ~1300m) sind durchschnittlich 1 Generation und Geschwisterbruten möglich. Nur in den hochgelegenen und topographisch abgeschatteten Bereichen der Sulzkar-, Haselkar- und Hüpflingeralm kann sich durchschnittlich nur eine Generation etablieren. Bereiche, in denen keine Generation abgeschlossen werden kann, sind auf alpine Lagen der einzelnen Gebirgsstöcke limitiert. Die potentiellen Entwicklungsmöglichkeiten des Buchdruckers im NP Gesäuse veränderten sich in den letzten Jahren sehr dynamisch. Im Extremjahr 2003 konnten auch in den hochmontanen-subalpinen Bereichen 2 Generationen erfolgreich absolviert werden. In eher kühlen Jahren (2004, 2005) blieb der Bereich mit potentiell 2 Generationen auf die exponierten Hang- und die Tallagen eingeschränkt.

3.6 Standorts- und bestandesbezogene Prädisposition

Anhand abgeleiteter Daten vom digitalen Geländemodell und der erhobenen Bestandesdaten der Luftbildinterpretation sowie den Ergebnissen der Borkenkäferentwicklungsmodellierung wurde die Prädisposition für Sturm, Schneebruch und Borkenkäferbefall für die Standorte und Bestände des Nationalparks berechnet. Im Anhang sind die dafür verwendeten Indikatoren bzw. Subkriterien und deren Gewichtung und Parametrisierung dargestellt.

Die Abbildung der unterschiedlichen Prädispositionszustände folgt dabei einer klaren Trennung zwischen einer standörtlichen und einer bestandesbezogenen Prädispositionsebene, die einerseits eine von der aktuellen Bestockung unabhängige räumliche Darstellung bestehender standortsspezifischer, weitestgehend unbeeinflussbarer Gefährdungsmomente ermöglicht und andererseits die Wirkung der gegebenen, aktuellen Bestandeseigenschaften, die durch forstliche Maßnahmen veränderbar sind, gesondert verdeutlicht.

Die Ergebnisse dieser Prädispositionsabschätzungen sind im Anhang kartographisch in Form von relativen Prädispositionsklassen („sehr gering“: <20% der maximal möglichen Punktesumme; „gering“: >20-40%; „mittel“: >40-60%; „hoch“: >60-80%; „sehr hoch“: >80-100%) dargestellt. Diese Darstellungen sind auch am Internet map-Server unter <http://iff-server.boku.ac.at/NP-Gesaeuse/viewer.htm> abrufbar.

Mit steigender Prädispositionsklasse nimmt die Schadenswahrscheinlichkeit theoretisch zu, wobei jedoch die Schadensmanifestation letztlich das Resultat einer spezifischen Kombination zwischen einem prädisponierten Bestand und einem unterschiedlich aggressiven Schaderreger bzw. deren zeitliche und räumliche Koinzidenz ist. Ist ein Schaderreger auf einem Standort zufällig absent, so ergeben sich auch bei Vorliegen einer hohen Anfälligkeit der Bestockung keine Schäden. Umgekehrt können bei einer hohen Populationsdichte des Buchdruckers oder bei Sturmereignissen mit Orkanstärke auch gering prädisponierte Bestände in Mitleidenschaft gezogen werden. Die vorliegenden Prädispositionstaxationen sind daher eine Darstellung gefährdungsbehafteter Momente und keine Risikoabschätzung im engeren Sinn unter Angabe einer Eintrittswahrscheinlichkeit.

3.6.1 Standortsbezogene Prädispositionsabschätzung

Die Ergebnisse der Borkenkäferentwicklungsmodellierung (Befallsbeginn, Anzahl an Generationen) sind ein wesentlicher Baustein für die Abschätzung der standörtlichen Prädisposition für Buchdruckerbefall. Für die Prädispositionsabschätzung anhand des Prädispositionsschlüssels wurde der Mittelwert des thermalen Kennwertes für die potentielle Anzahl an Generationen der letzten 4 Jahre (2000-2003) verwendet. Die Bewertung der potentiellen Anzahl an Generationen in diesem

Prädispositionsschlüssel folgt der theoretischen Anzahl an möglichen Nachkommen je Weibchen und abgeschlossener Generation (Abb. 31). Bei einem Vermehrungsfaktor von 1:50 und einem Geschlechterverhältnis von 1♂:1♀ ergibt sich bereits dann, wenn sich die Geschwisterbrut bis zum Jungkäferstadium entwickelt hat (thermaler Kennwert $\geq 1,1$), eine Verdoppelung der theoretisch möglichen Nachkommen und entsprechend doppelt so hoch wird das daraus resultierende Gefährdungspotential bewertet (Abb. 32). Der Ausbildung von Geschwisterbruten kommt daher in relativ kühlen Klimaten bzw. in Gebirgslagen bei der Entstehung von Borkenkäferepidemien eine besondere Bedeutung zu. Wird eine oder mehrere Folgegenerationen erfolgreich abgeschlossen, steigt die Anzahl der möglichen Nachkommen exponentiell an (Abb. 31). Der Anteil der Nachkommen aus Geschwisterbruten ist dann aber im Verhältnis zu den Nachkommen aus Filialgenerationen (F2, F3....) entsprechend gering.

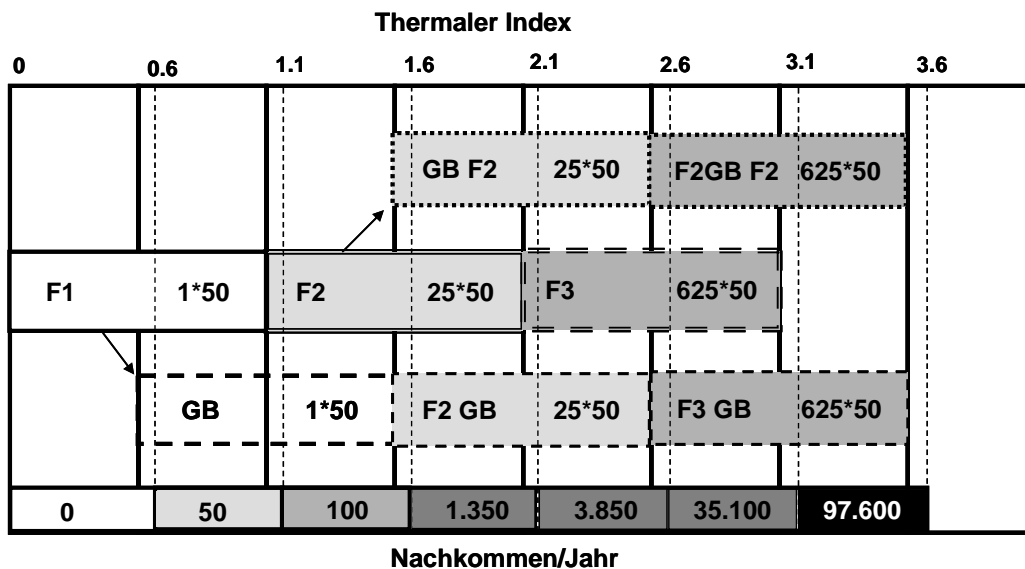


Abb. 31: Theoretische Abfolge von Generationen und mögliche Anzahl an Nachkommen von *Ips typographus* bei einem Vermehrungsfaktor von 1:50 und einem Geschlechterverhältnis von 1:1 (F1: 1. Generation, F2: 2. Generation, F3: 3. Generation, GB: Geschwisterbrut; thermaler Index: Summe der effektiven Rindentemperatur in Relation zur notwendigen Summe für die Gesamtentwicklung (= 557 Tagesgrade)).

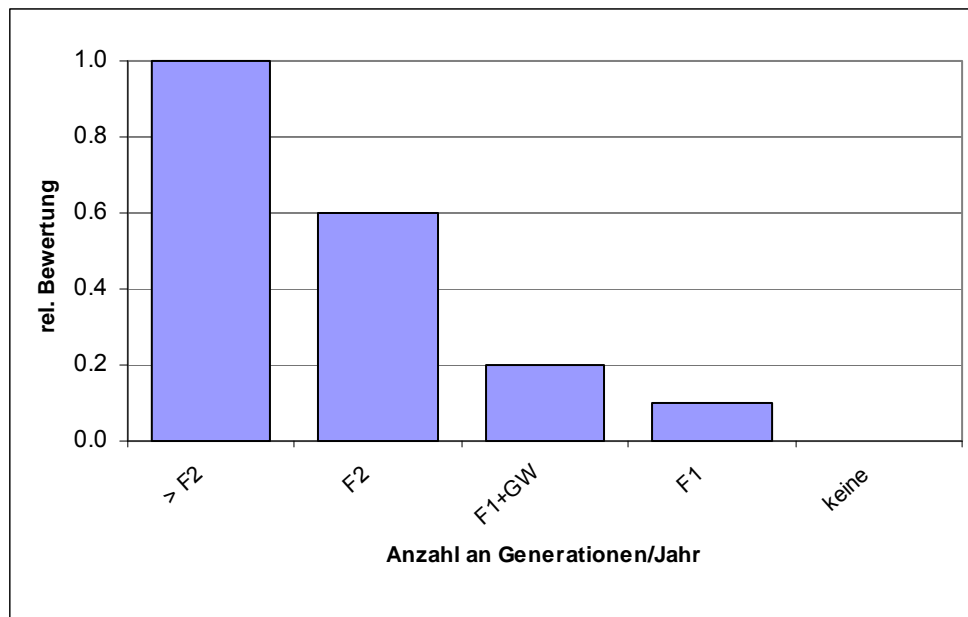


Abb. 32: Relative Bewertung der potentiellen Anzahl an Generationen zur Prädispositionsabschätzung (F1: 1 Generation; F1+GW: 1 Generation und 1 Geschwisterbrut; F2: 2 Generationen; >F2: mehr als 2 Generationen).

Das mittlere Vermehrungspotential des Buchdruckers (durchschnittliche Anzahl potentieller Generationen in den Jahren 2000 – 2006) im Gebiet des Nationalparks zeigt eine deutliche Abhängigkeit von der Seehöhe (vgl. Kapitel 3.5), wobei sonnenexponierte, südliche Hanglagen im Vergleich zu topographisch bedingt, abgeschatteten Bereichen ein vergleichsweise höheres standörtliches Potential für die Vermehrung des Buchdruckers aufweisen.

Neben dem Vermehrungspotential des Buchdruckers wird für die standortsbezogene Prädispositionabschätzung auch die standörtlich gegebene Anfälligkeit für Sturm- und Schneebruchschäden herangezogen. Hohe bis sehr hohe standörtliche Schneebruchanfälligkeit wird im Nationalpark für tiefer gelegene (< 800 m Seehöhe), windabgewandte Lagen ausgewiesen. Hohe standortsbezogene Sturmschadensanfälligkeit tritt insbesondere an exponierten höheren Hang- und Kuppenlagen sowie Plateaustandorten und Verebnungen auf.

Die standörtliche Prädisposition für Buchdruckerbefall nimmt entsprechend der Gewichtung exponentiell mit Zunahme der potentiell möglichen Generationen zu und wird wesentlich von der standortsbezogenen Sturmschadensprädisposition moduliert (Abb. 33). Die überwiegend höhenabhängige Abnahme des Vermehrungspotentials des Buchdruckers, die höhere standörtliche Sturmschadensprädisposition in höher gelegenen, exponierten Lagen und die hohe Schneeschadensanfälligkeit in den tieferen, windabgewandten Lagen, ergeben eine eher wenig differenzierte standortsbezogene Prädisposition für Buchdruckerbefall im Nationalpark. Es überwiegen Standorte mit mittlerer bis hoher Prädisposition. Standörtlich hohe Prädisposition für Borkenkäferbefall ergeben sich insbesondere für thermal begünstigte, südlich exponierte Bereiche (Mittelhangbereich im

Gstatterbodener Kessel, Südabhang des Buchsteins, Gstattersteins und Tamisbachturms bei Hiefrau) bzw. tiefer gelegene Hangstandorte entlang des Johnsbachtals und des Gesäuses.

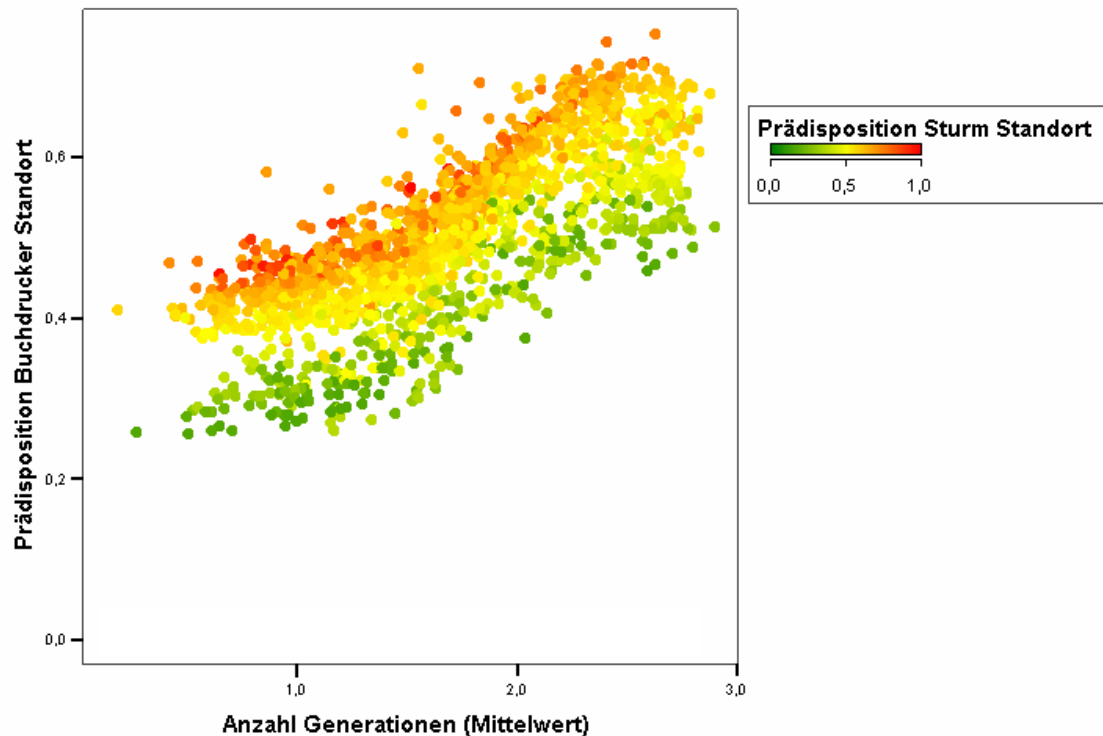


Abb. 33: Zusammenhang zwischen der Anzahl der potentiellen Generationen, der standörtlichen Sturmschadensprädisposition und der Prädisposition für Buchdruckerbefall für Flächen im Nationalpark Gesäuse.

3.6.2 Bestandesbezogene Prädisposition der Waldbestände im Nationalpark

Neben der standörtlich bedingten Anfälligkeit für Borkenkäferbefall ist die Prädisposition der Waldbestockung insbesondere in Hinblick auf das Waldmanagement von entscheidender Bedeutung, da durch die Veränderbarkeit der Diversität und der räumliche Heterogenität der Bestandeseigenschaften (Baumartenzusammensetzung, Altersstruktur) Einfluss auf die Anfälligkeit der Bestände, auf die Befallsentwicklung und –ausbreitung genommen werden kann. Ein Überangebot an Nahrung für Borkenkäfer nach Sturm- als auch Schneebruchschäden in fichtenreichen Beständen ist vielfach die Initialzündung für das Entstehen von Buchdruckergradationen. Sturm- und Schneebruchanfälligkeit werden daher bei der Taxation der Bestandesprädisposition für Buchdruckerbefall entsprechend ihrer Einflussnahme berücksichtigt.

Hinsichtlich der bestandesbezogenen Prädisposition für Sturmschäden ergibt sich für Bestände im Nationalpark eine hohe bis sehr hohe Sturmanfälligkeit nur in Bereichen südwestlich des

Tamischbachturms, am Südabhang des Gstattersteins, an der Westflanke des Lugauers (Scheuchegg, hinterer Hartelsgraben, Haselkaralm) und im Bereich Gscheideck-Neuburgwald-Schröckalm auf. Im übrigen Bereich des Nationalparks tritt hohe bis sehr hohe bestandesbezogene Sturmschadensprädisposition nur punktuell auf. Der Waldflächenanteil mit hoher bis sehr hoher Sturmschadensprädisposition beträgt dabei nur 11,8 % (Tab. 23). Etwas höher dagegen ist der Anteil der Waldfläche mit hoher bis sehr hoher Prädisposition für Schneebruch (16,8%; Tab. 23). Als besonders prädisponiert für Schneeschäden sind die Waldflächen im Bereich des Gstatterbodenerkessels anzusehen. Eine hohe Schneebruchanfälligkeit ergibt sich auch für Bestände im Bereich Gscheideck sowie im Hartelsgraben, wobei hier auf Grund der Höhenlage von einer geringen standörtlichen Prädisposition auszugehen ist.

Hohe bis sehr hohe bestandesbezogene Gefährdungsmomente für Buchdruckerbefall im Gebiet des Nationalparks ergeben sich für besonders fichtenreiche Altbestände mit überwiegend hoher Prädisposition für Sturm- und Schneeschäden. 99% der als sehr hoch und 66,8% der als hoch prädisponiert eingestuften Bestände sind fichtendominierte Baum – und Althölzer (Tab. 24). Größere, flächig zusammenhängende Bereiche mit hoher bis sehr hoher bestandesbezogener Prädisposition für Buchdruckerbefall treten im Gebiet des Nationalparks entlang der Südseite und am Plateau des Gstattersteins, südwestlich des Tamischbachturms, im Bereich Scheuchegg, Hartelsgraben, Haselkaralm und Sulzkaralm, im Gebiet Gscheideck-Neuburgwald-Schröckalm sowie im Bereich untere Koderalm auf. Etwa 1/3 der Waldfläche im Nationalpark (30,3%, Tab. 23) weist auf Grund der aktuellen Bestockung hohe bis sehr hohe Gefährdung für Buchdruckerbefall auf. Für solche Bestände ist im Falle einer Borkenkäfergradation auf Grund des hohen Fichtenanteils mit einem flächigen Absterben zu rechnen.

Größere, räumlich arrondierte Waldgebiete mit überwiegend sehr geringer bis mittlerer bestandesbezogener Prädisposition mit nur einzelnen „Fichtenfenstern“ kommen im Bereich der Südseite des Tamischbachturms, entlang der nordexponierten Einhänge zum Gesäuse, im Gofersgraben und Johnsbachtal sowie am Südabfall des Buchsteins vor. Gering bis mittel prädisponierte Bestände sind überwiegend laubholzdominierte Bestände bzw. Nadelholz(misch)bestände mit relativ geringem Fichtenanteil (Tab. 24). Der durchschnittliche Fichtenanteil der Bestände mit mittlerer Prädisposition für Buchdruckerbefall beträgt nur 22,9% (Maximum: 60%). In diesen Beständen dürfte die Bestandesstruktur selbst bei einem totalen Ausfall der Fichte im Zuge einer Gradation des Buchdruckes weitestgehend erhalten bleiben.

Der Klasse „sehr gering“ werden die Latschenbestände (Latschenanteil $\geq 50\%$), Mischbestände mit sehr niedrigem oder keinem Fichtenanteil sowie die Jungbestände (Jungwuchs bis Stangenholz) zugeordnet. Insgesamt 69,7% der Waldfläche weisen sehr geringe bis mittlere Prädisposition für Buchdruckerbefall auf. Der weitaus überwiegende Teil der Jungbestände (Jungwuchs, Dickung und Stangenholz) im Nationalpark sind jedoch fichtendominierte Bestände (Tab. 24, siehe auch

Bestandestypenkarte im Anhang). 23,6 % der Jungwuchsflächen weisen einen Fichtenanteil von mehr als 5/10 auf. Diese Bestände sind zwar aktuell für *Ips typographus* nicht befallstauglich, fichtenreiche Bestände im Dickungs- und Stangenholzalter sind jedoch für den Befall durch den Kupferstecher, *Pityogenes chalcographus* gefährdet. Diese fichtenreichen Jungbestände werden sich in wenigen Jahrzehnten zu hoch bis sehr hoch gefährdeten Beständen entwickeln, sodass insbesondere im Bereich des Gstatterbodener Kessels sich ein weitläufiges, zusammenhängendes Fichtenareal mit hoher bis sehr hoher Prädisposition für Buchdruckerbefall entwickeln könnte.

Tab. 23: Relative Verteilung der Waldbestände (in Prozent der Gesamtwaldfläche) im Nationalpark Gesäuse über die unterschiedlichen Prädispositionsklassen für Buchdruckerbefall, Sturm- und Schneeschaden.

Prädispositions- klasse	Flächenanteil (%)		
	Buchdruckerbefall	Sturmschäden	Schneebruch
sehr gering	47,2*)	42,7	30,2
gering	0,1	8,2	31,5
mittel	22,4	37,4	21,5
hoch	21,6	10,9	13,0
sehr hoch	8,7	0,8	3,8

*) davon 23,6% fichtereiche Jungbestände (Jungwuchs – Stangenholz) mit mehr als 50% Fichtenanteil

Tab. 24: Charakterisierung der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen für Buchdruckerbefall anhand der Baumartenmischung und Altersstruktur (Angaben in % der Fälle innerhalb der jeweiligen Klasse).

	Prädispositionsklassen Buchdruckerbefall				
	sehr gering	gering	mittel	hoch	sehr hoch
Fichtenreiche Baum- und Althölzer (≥50%Fichte)			2,8	66,8	99,0
Fichtenreiche Jungbestände (≥50%Fichte)	23,3				
Nadelholz(misch)-Bestände (Baum – Altholz) (≥50% NH-Anteil)	2,3		32,9	22,5	1,0
Nadelholz(misch)-Jungbestände (≥50% NH-Anteil)	1,9				
NH-LH Mischbestände (Baum – Altholz)		71,4	13,8	7,8	
NH-LH Mischbestände (Jungbestände)	2,1				
Laubholzreiche Baum-Althölzer (≥50% Laubholz)	7,7	28,6	50,1	2,9	
Laubholzreiche Jungbestände (≥50% Laubholz)	6,2				
Latschenbestände (≥50% Latsche)	44,5		0,4		
Schlagflächen	11,9				

3.6.3 Bewertung der Prädispositionsabschätzung

Die Verifizierung der Prädispositionsklassifikation erfolgte anhand der Befallsdaten und des Schadauftritts im Nationalpark in den Jahren 2003 bis 2007. Generell ist bei der Verifizierung der Prädispositionsabschätzung mit einem Anstieg der relativen Häufigkeit geschädigter Flächen mit zunehmender Prädisposition auszugehen.

Die Verifikation anhand geschädigter Bestände im Nationalpark zeigt erwartungsgemäß eine deutliche Zunahme der relativen Häufigkeit von Flächen mit Sturmschäden bzw. Borkenkäferbefall mit zunehmender standorts- bzw. bestandesbezogener Prädisposition (Abb. 34; Abb. 35) und bestätigt damit die Plausibilität bzw. Trennschärfe der vorgenommenen Gefährdungsklassifikationen. Der relativ hohe Anteil von Flächen mit Borkenkäferbefall in der Klasse mit geringer, bestandesbezogener Prädisposition entspricht jedoch nicht den Erwartungen. Dies könnte damit zusammenhängen, dass auch bei geringer Prädisposition eine Schädigung eintreten kann, wenn sich der Schadfaktor auf äußerst hohem Niveau bewegt (lokal hohe Populationsdichte des Buchdruckers in der Nachbarschaft).

Eine Bewertung der Prädisposition für Schneebruch konnte nicht vorgenommen werden, weil im Betrachtungszeitraum (2003 – 2007) bei nur einer Fläche ein Schneebruchereignis dokumentiert wurde. Die Schneebruchschäden von Anfang September 2007 in untypischer Höhenlage von 1200 – 1500m waren zum Zeitpunkt der Datenübermittlung noch nicht erfasst.

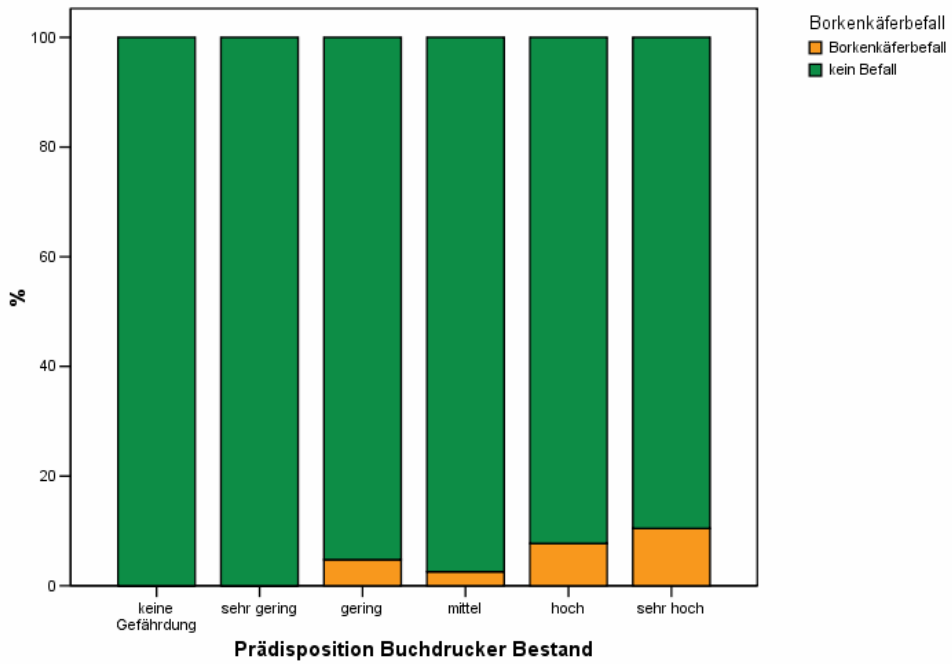
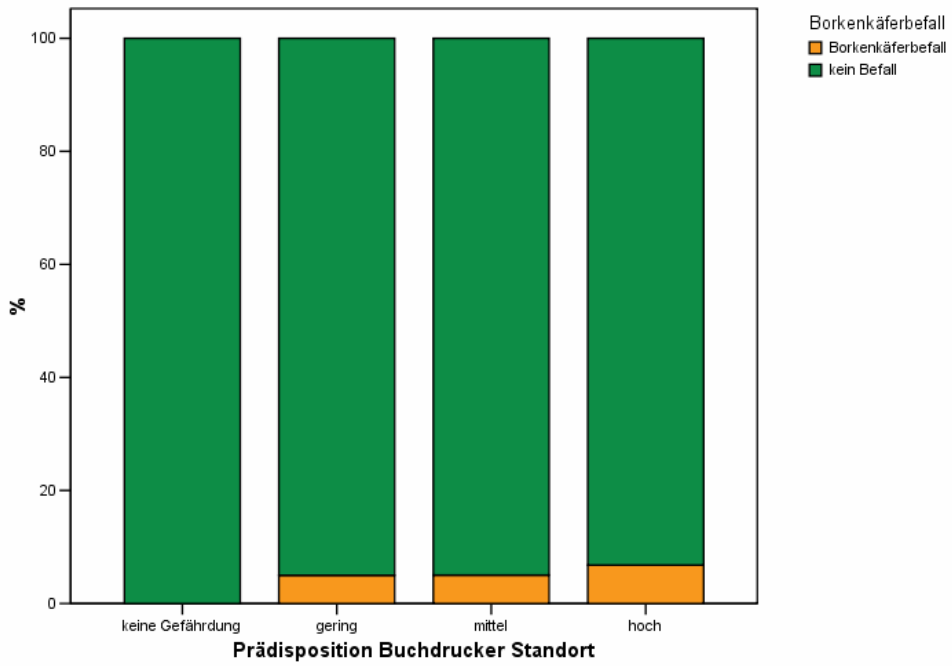


Abb. 34: Relative Anteile von Flächen mit Borkenkäferbefall in den Jahren 2003 – 2007 im Nationalpark Gesäuse innerhalb der Prädispositionsklassen, getrennt für Standort und Bestand.

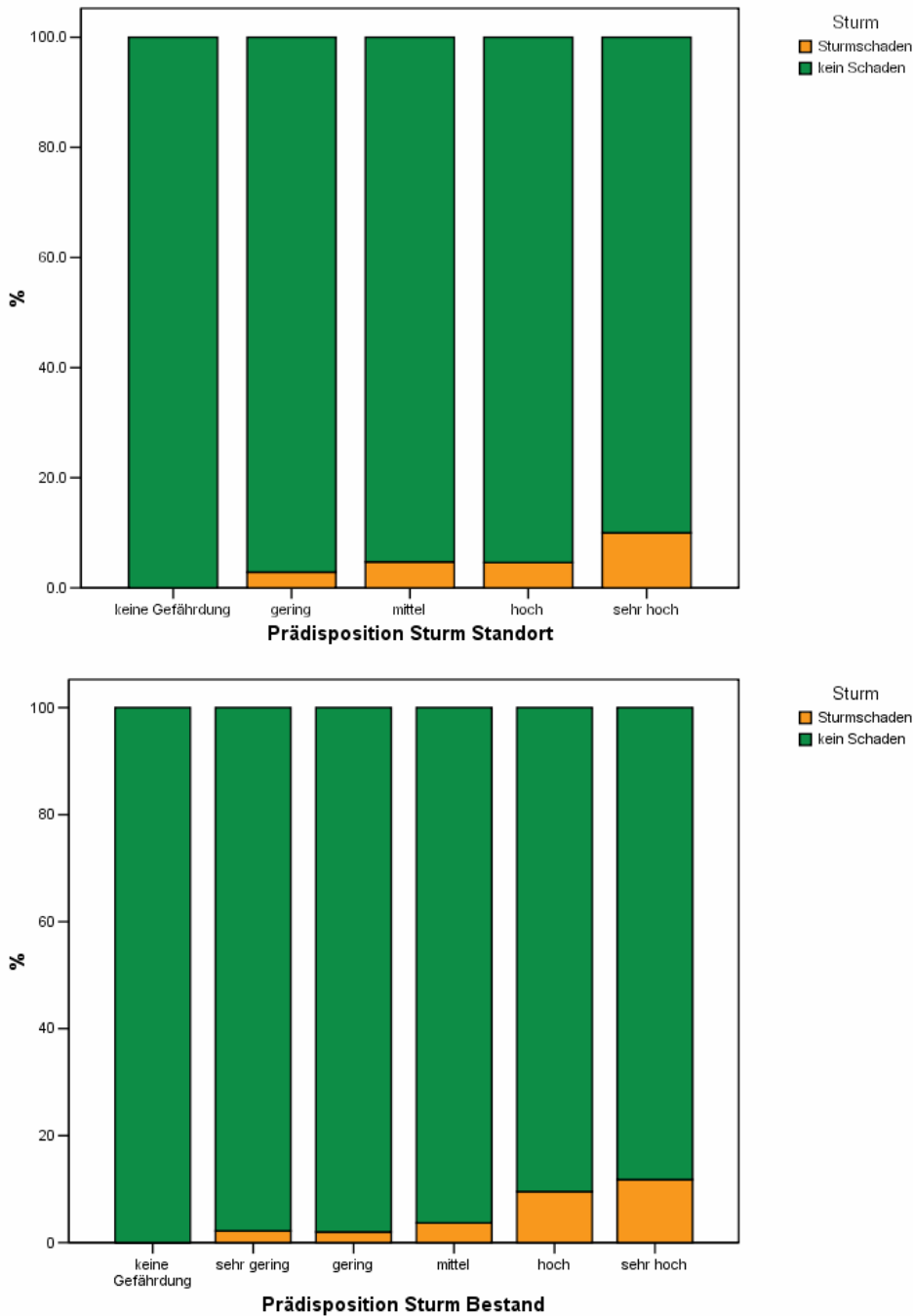


Abb. 35: Relative Anteile von Flächen mit Sturmschäden in den Jahren 2003– 2007 im Nationalpark innerhalb der Prädispositionsklassen, getrennt für Standort und Bestand.

3.6.4 Prädispositionsabschätzung anhand der Satellitenbildinterpretation für Waldflächen außerhalb des Nationalparks

Für Waldbestände außerhalb des Nationalparks wurde in Ermangelung anderer Datengrundlagen versucht, mittels objektbezogener Satellitenbildinterpretation eine Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall vorzunehmen. Die objektbezogene Auswertung des Satellitenbildes ergab neben der Trennung von Nichtwald- und Waldflächen eine Einteilung der Waldflächen in 3 Klassen. Im Vordergrund stand dabei das Erkennen von für Buchdruckerbefall besonders gefährdeten, fichtenreichen Altbeständen (Fichtenanteil $\geq 50\%$ bzw. Baum- und Altholzbestände). Anhand der

Satellitenbilddaten war jedoch eine klare Abtrennung fichtenreicher Altbestände nur bedingt möglich, da Nadelholzbestände (also auch Lärchen-, Kiefern- aber auch Latschenbestände) eine ähnliche Signatur haben und eine Auftrennung nach dem Bestandesalter nur eingeschränkt möglich ist. Deutlich differenzierbar sind jedoch laubholzreiche Bestände (Tab. 25). Daher liefert die Prädispositionsabschätzung anhand des Satellitenbilds nur limitierte Anhaltspunkte über das Auftreten von befallsgefährdeten Waldbeständen im Umfeld des Nationalparks Gesäuse.

Die Verschneidung dieser Klassifikation mit Luftbilddaten im Gebiet des Nationalparks ergab für fichtenreiche Altbestände (Baum- Althölzer) eine überwiegende Zuordnung zur Klasse „Fichte dominant“ (51,4 %). Fichtenreiche Jungbestände (Jungwuchs – Stangenholz) wurden eher den Mischbeständen zugeordnet (41,1 %). Eine klare Abgrenzung der Mischbestandstypen von Fichtenbeständen war aufgrund der ähnlichen Signatur nur sehr bedingt möglich. Laubholzbestände wurden zum weitaus überwiegenden Teil der Klasse „Laubholz dominant“ bzw. den Mischbeständen zugeordnet (Tab.25). Mit Latschen bestockte Waldflächen konnten von Fichten- bzw. Mischbeständen anhand des Satellitenbildes nicht differenziert werden. Als Fichtenbestände klassifizierte Flächen in (sub-)alpinen Hochlagen außerhalb des Nationalparks müssen daher durchwegs als mit Latschen bestockte Flächen angesehen werden.

Tab. 25: Zuordnung der anhand der Luftbildinterpretationsdaten klassifizierten Bestandestypen zu den Klassen aus der Satellitenbildinterpretation (Anteile innerhalb der Bestandesklassen in Prozent).

Bestandestypen	Satellitenbildklassifikation			Gesamt
	Fichte dominant	Mischbestände	Laubholz dominant	
Fichtenreiche Baum- und Althölzer (≥50%Fichte)	51,4	34,1	14,5	100
Fichtenreiche Jungbestände (≥50% Fichte)	38,1	41,1	20,9	100
Nadelholz(misch)bestände (Baum – Altholz) (≥50% NH-Anteil)	44,1	43,9	12,0	100
Nadelholz(misch)jungbestände (≥50% NH-Anteil)	31,9	44,7	23,4	100
NH-LH Mischbestände (Baum – Altholz)	37,3	37,7	25,0	100
NH-LH Mischbestände (Jungbestände)	24,1	46,3	29,6	100
Laubholzreiche Baum-Althölzer (≥50% Laubholz)	18,0	40,1	41,9	100
Laubholzreiche Jungbestände (≥50% Laubholz)	17,0	38,5	44,4	100
Latschenbestände (≥50% Latsche)	37,5	51,4	11,1	100

Die Klassifikation aus der Satellitenbildinterpretation wurde anhand entsprechender Luftbildinterpretationsdaten und deren bestandesbezogener Prädispositionseinschätzung für Buchdruckerbefall bezüglich Bestandesalter und Fichtenanteil bewertet (Abb. 36).

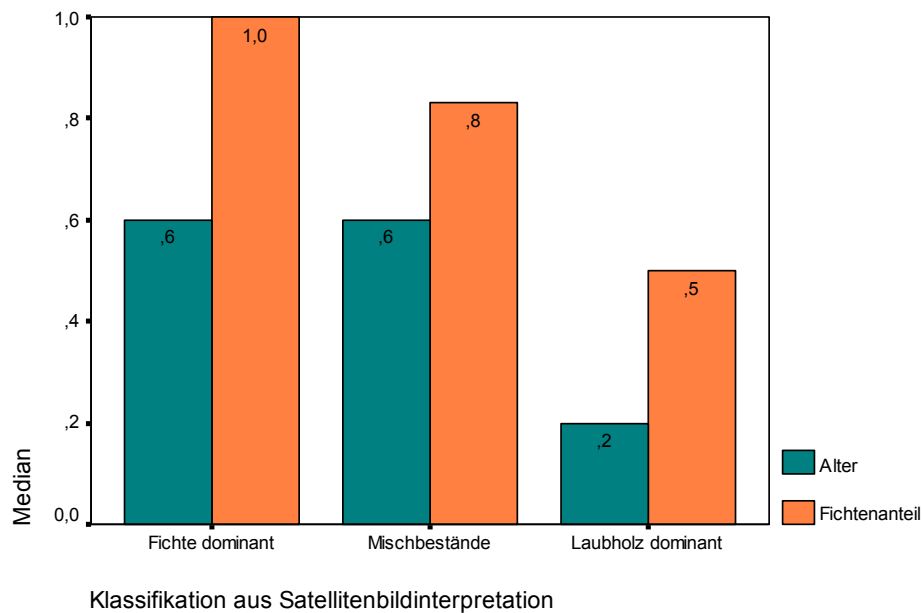


Abb. 36: Bestandesbezogene, relative Bewertung der anhand der Satellitenbildinterpretation klassifizierten Bestände für die Prädisposition für Buchdruckerbefall.

Obwohl anhand des Satellitenbildes keine eindeutige Zuordnung möglich ist, verdeutlicht die Taxation der Bestände außerhalb des Nationalparks, dass die Fichte in vielen, zum Nationalpark angrenzenden Bereichen die dominante Baumart ist. Insbesondere die Bereiche westlich des Buchsteins (Buchauer Sattel), im Waaggraben, in der Radmer und im hinteren Johnsbachtal, sind geprägt durch fichtendominierte Bestände mit entsprechend hoher bis sehr hoher bestandesbedingter Prädisposition für Borkenkäferbefall.

4 Diskussion

Die Untersuchungen zur Entwicklung und Phänologie des Buchdruckers im Gebiet des Nationalparks Gesäuse zeigen, dass das in den letzten Jahren am Institut für Forstentomologie entwickelte Modell PHENIPS ein präzises Werkzeug zur punktuellen als auch räumlichen Darstellung der Brutkäferentwicklung und der Phänologie des Buchdruckers darstellt (Coeln *et al.*, 1996; Führer und Coeln, 1998; Pennerstorfer, 2000; Netherer und Pennerstorfer, 2001; Netherer, 2003; Schopf *et al.*, 2004; Baier *et al.*, 2007).

Die Ergebnisse der Fallen- und Fangbaumkontrollen zur Verifizierung des Modells anhand bestätigten die für die Modellierung des Schwärm- und Brutbeginns verwendeten Schwellenwerte für den Schwärmflug (Lobinger, 1994) und die Akklimatisierungsphase überwinternder Käfer im Frühjahr (Annala, 1969; Zurr, 1982; Byers und Löfquist, 1989; Wegensteiner und Führer, 1991).

Die Brutentwicklung und der Zeitpunkt des Schlupfbeginns der Jungkäfer bei den Fangbäumen konnten anhand des Modells mit nur geringen Abweichungen prognostiziert werden. Dies unterstützt die von Wermelinger und Seifert (1998) ermittelten Entwicklungskennwerte sowie die nichtlineare Optimumsbeziehung zwischen den Temperaturen und der Entwicklungsrate (Bentz *et al.*, 1991; Bolstad *et al.*, 1997; Wermelinger und Seifert, 1998; 1999; Logan und Bentz, 1999; Baier *et al.*, 2007).

Sowohl der Flugverlauf bei den Pheromonfallen als auch das beobachtete Schlupfverhalten der Jungkäfer im Freiland und in Semi-Freilandversuchen bestätigen den Einfluss der Tageslänge auf das Schlupfverhalten des Buchdruckers (Dolezal und Sehnal, 2003; 2007). Sowohl die Flugaktivität als auch der Schlupf reifer Jungkäfer nimmt mit sinkenden Tageslängen im Spätsommer ab, sodass ab Mitte August (Tageslängen <14,5 Stunden) kaum noch Schwärmaktivität zu verzeichnen war und die Jungkäfer trotz günstiger Witterungsbedingungen in ihren Brutsystemen in der Rinde verblieben. Anhand der Wiedereinbohrversuche im Institutsgarten mit Abfangstämmen konnte auch gezeigt werden, dass nur in der Zeit vor Mitte August die Jungkäfer bereit waren zu schlüpfen und noch neue Bruten anzulegen.

Das extrem unterschiedliche Schlupfverhalten der Jungkäfer zwischen den Versuchsvarianten im Jahr 2006 (Institutsgarten Wien und Etmühl) sowie die Unterschiede zwischen den beiden Untersuchungsjahren 2006/2007 zeigen, dass in Abhängigkeit von den jeweiligen Temperaturbedingungen und dem Zeitpunkt der Entwicklungsvollendung der ersten Generation im Laufe des Sommers der Anteil diapausierender Jungkäfer sehr variabel ist. Die hohen Schlupfraten der Jungkäfer in Wien (2006) sowie in Stanz 2007 zeigen aber, dass sich die untersuchten Buchdruckerpopulationen auch von hochmontanen/subalpinen Standorten im Gesäuse großteils aus multivoltinen Individuen zusammensetzen und daher unter günstigen thermalen Voraussetzungen in der Lage sind mehrere Generationen pro Jahr anzulegen.

Die Modellierung der potentiellen Entwicklung und Generationsfolge mittels PHENIPS ermöglicht nicht nur eine zeitliche Zuordnung der unterschiedlichen Schwärmphasen des Buchdruckers zur jeweiligen Generationsentwicklung. Die Kombination der modellierten Generationsfolge mit dem Monitoring mittels Pheromonfallen ermöglicht auch quantitative Analysen der Populationsentwicklung. Die mittels PHENIPS berechnete potentielle Generationsentwicklung gibt die maximal mögliche Entwicklung (Freiflächen mit ungehinderter Sonneneinstrahlung) wider. Die tatsächliche Entwicklung kann davon erheblich abweichen, weil nicht alle Käfer zum jeweils frühesten Befallsbeginn mit der Brutanlage beginnen (die Schwärmphase der überwinterten Käfer kann sich über mehrere Wochen hinziehen) und weil sich nicht alle Bruten unter optimalen, kleinstandörtlichen Bedingungen (unterschiedliche Überschildung) entwickeln. Die vergleichsweise niedrigen relativen, temperaturbezogenen Fangzahlen in den Sommermonaten (Juli- August) weisen darauf hin, dass insbesondere bei den höher gelegenen Standorten im Gesäuse nur ein verhältnismäßig geringer Teil der Buchdruckerpopulation eine zweite Generation anlegte, obwohl die thermalen Bedingungen die Entwicklung von Folgegenerationen potentiell erlaubt hätten. Zudem wurde im Jahr 2006 die Etablierung einer 2. Generation durch die kühle Wetterphase Anfang August großteils unterbunden bzw. konnten sich zu spät begonnene Bruten nicht erfolgreich entwickeln und überwintern, da

präimaginale Stadien (Larven, Puppen) des Buchdruckers einer hohen Wintermortalität unterliegen (Austarå *et al.*, 1977, Faccoli, 2002; Netherer, 2003).

Die absoluten Fangzahlen waren bei allen Standorten insbesondere bei den höher gelegenen sehr hoch. Zum Teil lagen sie erheblich über dem Schwellenwert von 8000-15000 Buchdruckern/Fälle/Jahr, ab dem eine epidemische Situation vorliegt (Weslien, 1992; Lindelow und Schroeder, 2001; Faccoli und Stergulc, 2004, 2006). Ein wesentlicher Auslöser für die momentane Gradation des Buchdruckers im Gesäuse könnte der extrem heiße Sommer 2003 gewesen sein, in dem bis in subalpine Lagen potentiell zwei Generationen möglich waren. Die teils extrem hohe Brutdichte und der damit verbundene geringe Bruterfolg des Buchdruckers an den untersuchten Fangbäumen weisen jedoch darauf hin, dass sich die Buchdruckerpopulationen im Gesäuse in der Retrogradationsphase befinden, in der die hohe Populationsdichte durch Nahrungsmangel und hohe intraspezifische Konkurrenz wieder abnimmt (Anderbrant *et al.*, 1985). Erneute Windwürfe (Kyrill 2007, Paula und Emma 2008) sowie Schneedruckschäden und die eher günstigen Witterungsbedingungen im Sommer 2007 könnten jedoch die Gradation des Buchdruckers in Teilen des Nationalparks weiter prolongieren.

Die räumliche Modellierung der potentiellen Entwicklung ergab eine hohe Variabilität der potentiellen Entwicklungsmöglichkeiten in Abhängigkeit von den jährlich schwankenden Witterungsverhältnissen. Die verwendeten Klimamodelle basieren auf der Interpolation von Klimamessdaten des Stationsnetzes der Zentralanstalt für Meteorologie außerhalb des Nationalparks. Die Modelldaten können daher lokalklimatische Besonderheiten im komplexen, topographisch stark strukturierten alpinen Gelände des Gesäuses nur bedingt wiedergeben. Insbesondere die Überschätzung der Temperaturbedingungen in tieferen Lagen des Gesäusedurchbruchs (siehe Tab. 18; Tab. 21) führt zu einer möglichen Überzeichnung der tatsächlichen Entwicklungsbedingungen. Dennoch kann anhand der Modellierung gezeigt werden, dass sich die potentiellen Entwicklungsmöglichkeiten des Buchdruckers im NP Gesäuse in den letzten Jahren sehr dynamisch verändert haben. Im Extremjahr 2003 konnten auch in den hochmontanen-subalpinen Bereichen 2 Generationen erfolgreich absolviert werden. In eher kühlen Jahren (2004, 2005) blieb der Bereich mit potentiell 2 Generationen auf die exponierten Hang- und die Tallagen eingeschränkt.

Die Zunahme der Temperaturen im alpinen Raum als Folge der globalen Erwärmung und die Häufung von extremen Witterungskonstellationen in den letzten Jahren stehen in unmittelbarem Zusammenhang mit dem Auftreten von Massenvermehrungen des Buchdruckers (Schopf, 1997; Kromp-Kolb, 2001; 2003). Im Bereich des Nationalparks traten in den letzten Jahren erhebliche Abweichungen der Monatsmitteltemperaturen vom langjährigen Durchschnitt während der Vegetationszeit auf (Abb. 37). Durch fortschreitende Klimaerwärmung könnte der Buchdrucker auch in hochmontanen-subalpinen Lagen im natürlichen Fichtenareal dauerhaft 2 Generationen erfolgreich absolvieren, wodurch sich die Prädisposition subalpiner Fichtenwaldökosysteme gegenüber Buchdruckerbefall erheblich verändern würde. Ähnliche Entwicklungen (dauerhafter Wechsel von univoltiner zu bivoltiner Generationsfolge) als eine sehr wahrscheinliche Konsequenz der

Klimaerwärmung werden auch für den skandinavischen Raum prognostiziert (Lange *et al.*, 2006; Jönsson *et al.*, 2007; Økland *et al.*, 2007).

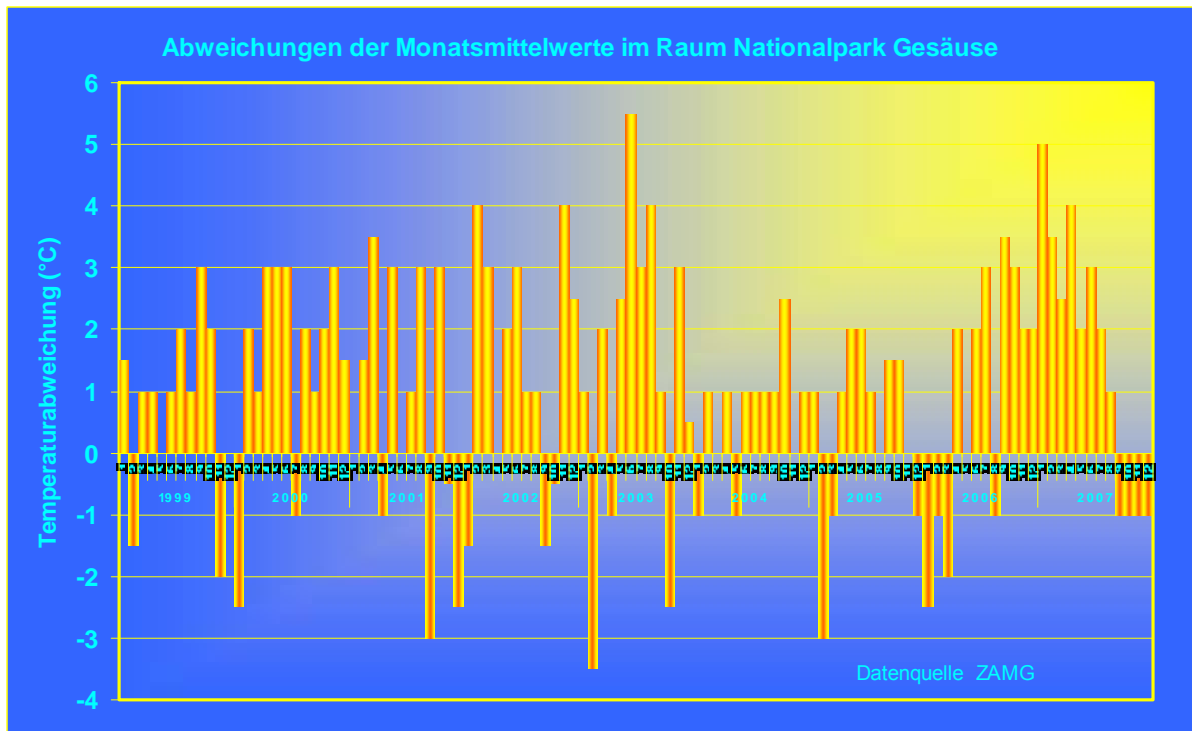


Abb. 37: Abweichungen der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur vom langjährigen Durchschnitt im Raum Nationalpark Gesäuse in den Jahren 1999 – 2007.

Die thermalen Bedingungen sind neben dem Nahrungsangebot der bestimmende Faktor für die Entwicklung des Buchdruckers. Massenvermehrungen werden begünstigt, wenn standörtliche Gegebenheiten und Witterungsverlauf eine rasche und möglichst verlustfreie Entwicklung ermöglichen. Mit steigender Anzahl der Generationen nimmt das Vermehrungspotential exponentiell zu (Baier *et al.*, 2007). Die durchschnittliche Anzahl an Generationen pro Jahr ist daher ein wesentlicher Parameter zur Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall. Neben der Anzahl an Generationen in Abhängigkeit der standörtlich gegebenen klimatischen Bedingungen nehmen die Bestandeseigenschaften (Fichtenanteil, Baumalter), die Niederschlagsverhältnisse sowie die Prädisposition für Sturm- und Schneeschäden als auslösende Faktoren Einfluss auf die Anfälligkeit der Bestände für Borkenkäferbefall (Führer und Nopp, 2001; Netherer und Nopp-Mayr, 2005).

Die Abschätzung der standortsbezogenen Prädisposition für Schnee- als auch Sturmschäden anhand des vorliegenden Schätzsystems verdeutlicht die unterschiedlichen Charakteren dieser beiden Schadfaktoren (hohe standörtliche Schneeschadensanfälligkeit für tiefer gelegene windabgewandte Standorte, hohe standortsbezogene Sturmschadensanfälligkeit an windexponierten höheren Hang- und Kuppenlagen sowie Geländeverebnungen).

Die stark höhenabhängige, kleinklimatisch bedingte Differenzierung des Vermehrungspotentials des Buchdruckers, die hohe standörtliche Sturmschadensprädisposition in exponierten Lagen und hohe Schneeschadensanfälligkeit der tieferen Lagen, ergeben insgesamt für weite Teile des Nationalparks

überwiegend eine mittlere bis hohe standörtliche Prädisposition für Buchdruckerbefall bei gleichzeitig geringer Schwankungsbreite (nur Klassen von geringer bis hoher Prädisposition). Standörtlich hohe Gefährdungsmomente ergeben sich insbesondere für thermal begünstigte, südlich exponierte Bereiche (Mittelhangbereich im Gstatterbodener Kessel, Südabhang des Buchsteins, des Gstattersteins und des Tamischbachturms bei Hieflau) bzw. tiefer gelegene Hangstandorte im Johnsbachtal und entlang der Enns.

Hohe bis sehr hohe bestandesbezogene Gefährdungsmomente für Buchdruckerbefall im Gebiet des Nationalparks ergeben sich anhand der aktuellen Bestockung für fichtenreiche, lichte Altbestände (Baum- und Althölzer). Größere Bereiche mit hoher bis sehr hoher bestandesbezogener Prädisposition für Buchdruckerbefall treten im Gebiet des Nationalparks neben den hochmontanen-subalpinen, natürlichen Fichtenwaldstandorten im Gebiet südwestlich des Tamischbachturms, im Bereich Haselkar und Sulzkaralm und in höheren Lagen des hinteren Johnsbachtales vor allem anthropogenbedingt im Gstatterbodener Kessel und am Südabfall des Buchsteins auf. Angrenzende Waldgebiete, insbesondere die Bereiche westlich des Buchsteins (Buchauer Sattel), im Waaggraben, in der Radmer und im hinteren Johnsbachtal, sind geprägt durch fichtenreiche Bestände.

Größere, räumlich arrondierte Waldgebiete mit überwiegend sehr geringer bis mittlerer bestandesbezogener Prädisposition mit nur einzelnen „Fichtenfenstern“ kommen im Bereich der Südseite des Tamischbachturms, entlang der nordexponierten Einhänge zum Gesäuse, im Gofergaben und Johnsbachtal vor.

Für zusammenhängende Bereiche mit hoher bis sehr hoher bestandesbedingter Prädisposition wäre im Falle einer Borkenkäfergradation selbst bei geringer standörtlicher Prädisposition (nur 1 Generation/Jahr) auf Grund des hohen Fichtenanteils mit einem flächigen Absterben zu rechnen. Bei Beständen mit mittlerer Gefährdung würde dagegen die Bestandesstruktur durch das Absterben befallener Fichten im Wesentlichen nicht gefährdet sein, da der Fichtenanteil in dieser Prädispositionsklasse im Mittel nur 2-3 Zehntel beträgt. Bestände mit mittlerer Prädisposition könnten jedoch bei der Befallsausbreitung Brücken zwischen fichtendominierten, sehr hoch prädisponierten Waldflächen darstellen. Bestände mit sehr geringer bis geringer Prädisposition stellen keine Gefahr für das Entstehen von Buchdruckergradationen dar. Die Klassen „sehr gering“ bis „gering“ umfassen jedoch neben Laubholzreinbeständen bzw. laubholzdominierten Beständen und mit sonstigen Nadelholzmischbaumarten (Lärche, Kiefer, Tanne, Zirbe, Latschen) bestockte Flächen auch fichtenreiche Jungbestände (Jungwuchs, Dickungs- und Stangenholzbestände), die derzeit – wie im Bereich Gstatterboden - zwar kein oder nur ein geringes Risiko für Buchdruckerbefall darstellen, mittel- bis langfristig sich jedoch zu hoch bis sehr hoch prädisponierten Beständen entwickeln.

5 Schlussfolgerungen

Der Nationalpark Gesäuse ist geprägt durch die alpinen, weitgehend waldfreien Bereiche der Gebirgsstöcke Reichenstein, Buchstein - Tamischbachturm, Ödstein-Hochtor-Planspitze-Hochzinödl, Gsuchmauer, Reichenstein bzw. Lugauer. Durch diese besondere geomorphologische Situation, durch die überwiegend strukturierten und zum Teil durch die Gebirgskämme voneinander isolierten Waldbereiche sowie durch das Fehlen großflächig zusammenhängender, unstrukturierter Fichtenaltbestände ist eine ausgedehnte Buchdruckergradation wie in den Nationalparks Bayerischer Wald/Šumava im Nationalpark Gesäuse nicht möglich. Buchdruckerbefall kann im Nationalpark Gesäuse eher nur kleinflächig, punktuell in zumeist isolierten Fichtenaltbeständen auftreten. Eher großflächig dominierend ist die Fichte nur im Bereich Gstatterboden sowie im hinteren Johnsbachtal (Neuburg -Gscheideck) und im isolierten Bereich Hartelsgraben – Sulzkaralm – Haselkaralm. Die noch relativ jungen Fichtenbestände in Bereich Gstatterboden könnten sich mittel- bis langfristig zu einem stark gefährdeten, zusammenhängenden Befallsareal entwickeln. Dieses Gebiet ist aber topographisch von den Wirtschafts- und Schutzwaldbeständen außerhalb des Nationalparks weitgehend isoliert.

Die Prädispositionsabschätzungen für die Wälder des Nationalparks und seiner Umgebung kann als Entscheidungshilfe für das Nationalparkmanagement bei der räumlichen Planung, bei der Prioritätenreihung und Umsetzung von Maßnahmen des präventiven Waldumbaus und des kurativen Waldschutzes Anwendung finden. Anhand der Prädispositionsabschätzung können unter anderem für den Waldumbau und für kurative Waldschutzmaßnahmen folgende Schlüsse abgeleitet werden:

- Flächen mit geringer standörtlicher Prädisposition schließen Maßnahmen *a priori* aus.
- Flächen mit sehr geringer bis mittlerer bestandesbedingter und mittlerer bis hoher standörtlicher Prädisposition schließen Maßnahmen aus, sofern es sich nicht um standortsfremde, fichtenreiche jüngere Waldflächen handelt, die sich mittel- bis langfristig zu hoch prädisponierten Beständen entwickeln könnten (präventiver Waldumbau).
- Bei Flächen mit hoher bis sehr hoher bestandesbedingter Gefährdung und mittlerem bis hohem Prädispositionsniveau von Standortsseite können Maßnahmen unterbleiben, sofern es sich um grenzferne Bereiche oder um kleine, isolierte, von Beständen sehr geringer bis mittlerer Prädisposition weitgehend umschlossenen Waldflächen handelt. Maßnahmen können auch dann unterbleiben, wenn keine unmittelbare Gefährdung von Waldflächen außerhalb des Nationalparks besteht.
- Bei großflächig zusammenhängenden Waldbeständen hoher bis sehr hoher bestandesbedingter Gefährdung und mittlerem bis hohem standörtlichem Prädispositionsniveau im grenznahen Bereich wäre mit geeigneten Maßnahmen Schäden vorzubeugen und ein intensives Monitoring zu betreiben. Im Schadensfall wären adäquate Maßnahmen zu treffen, die eine unkontrollierte Ausbreitung von Borkenkäferbefall verhindern,

sofern nicht gewichtige Gründe des Naturschutzes, der Sicherheit, der arbeitstechnischen Machbarkeit und Zumutbarkeit entgegen sprechen.

Viele der besonders befallsgefährdeten Bestände im Nationalpark Gesäuse sind in unerschlossenen, schwer zugänglichen Lagen, sodass eine entsprechend effiziente Borkenkäferbekämpfung (rechtzeitiges Erkennen von Stehendbefall und Befallsherden, zeitgerechte Behandlung von befallenem bzw. befallstauglichem Brutmaterial nach Windwurf/Schneedruck/Stehendbefall) nicht oder nur erschwert möglich ist. Die Etablierung einer klassischen Pufferzone zur Borkenkäferbekämpfung wie im Nationalpark Bayerischer Wald mit entsprechend hohem jährlichen Kontrollaufwand zur Früherkennung von Befallsherden ist daher aufgrund des schwierigen Terrains im Nationalpark Gesäuse bis auf wenige Bereiche nicht sinnvoll. Vielmehr sollte, ähnlich wie im Nationalpark Berchtesgaden (<http://www.nationalpark-berchtesgaden.bayern.de/nationalparkplan>), versucht werden, in Form einer Waldpflegezone die Funktionalität und die Stabilität anfälliger Schutzwaldbestände zu erhalten. Das vorrangige Ziel der Waldpflege in befallsgefährdeten Bereichen mit unnatürlich hohem Fichtenanteil wie dem Gstatterbodener Kessel ist dabei präventiv das Entstehen von großflächig disponierten, homogenen Fichtenwaldkomplexen und das damit verbundene, potentiell mögliche großflächige Buchdruckerbefallsrisiko zu verhindern. Dieses Ziel soll durch stabilitätsorientierte, risikomindernde Pflege- und Waldumbaumaßnahmen sowie durch temporäre Borkenkäferkontrollmaßnahmen (rechtzeitige Entrindung von Windwurf- und Schneebruchholz sowie Stehendbefall bei entsprechend adäquatem Totholzmanagement) erreicht werden.

Die Maßnahmen in der Waldpflegezone könnten dabei folgende Punkte umfassen:

- Mischungsregelung in Jungwuchs- und Dickungsphase
- Bestandesumwandlung
- stabilitätsorientierte Durchforstung in Stangenhölzern,
- Nutzung, (Vor)verjüngung stark sekundärer Fichtenaltbestände (ggf. Verjüngung von standortstauglichen Mischbaumarten unter Zaun)
- Borkenkäferkontrollmaßnahmen und Totholzmanagement:
 - Entrindung von Schadholz (Windwurf-, Schneebruchholz) sowie Stehendbefall, sofern die Buchdrucker den Baum nicht bereits verlassen haben;
 - Liegenlassen des entrindeten Holzes (vorrangig auch stärkere Dimensionen) am Standort (Kadaververjüngung, Schutzwirkung für Verjüngung);
 - Stehenlassen von bereits verlassenen, stehendbefallener Fichten zur Förderung der Borkenkäfer-Antagonisten (Wermelinger und Epper, 2002; Wermelinger *et al.*, 2002)

Die im Anhang (Karte „Waldpflegezone“) skizzierte Zonierung berücksichtigt neben einer Pflegezone zum Schutz der öffentlichen Verkehrswege (Straßen- und Bahnverbindung entlang des Johnsbach- und Ennstals) vorrangig die Möglichkeit einer Waldpflege in Bereichen mit hohem Anteil sekundärer Fichtenbestände sowie Borkenkäferkontrollmaßnahmen in grenznahen prädisponierten Fichtenbeständen (zB. Scheuchegg-Goldeck; Sulzkar- und Haselkaralm, Johnsbach-Südhang, Bereiche südlich des Plattenspitz nahe Hieflau, Ennstalerhütte-Eggeralm). Die in der Karte ausgewiesene Zonierung ist ein vorläufiges Grundkonzept, das unter Berücksichtigung anderer, für das Management des Nationalparks relevanter Aspekte durch die Nationalparkverwaltung vor Ort zu überprüfen und zu adaptieren ist.

6 Zusammenfassung

Ziel dieses Projekts war die Anwendung von Monitoring-, und Risikoschätzsystemen zur Darstellung der für Buchdruckerbefall potentiell gefährdeten Standorte und Bestände im Bereich des Nationalparks Gesäuse als Entscheidungshilfe für die Herleitung von für den Nationalpark adäquaten Managementstrategien.

Die direkte Abhängigkeit der Entwicklung des Buchdruckers von der Temperatur ermöglicht die Erstellung eines Modells zur Überwachung und Abschätzung der potentiellen Generationsentwicklung im Gelände. Anhand eines regionalen Topoklimamodells konnte für die letzten Jahre sowohl der Schwärmbeginn im Frühjahr, der Zeitpunkt der Anlage von Geschwister- und Filialgenerationen als auch die Brutentwicklung und somit die potentiell mögliche Anzahl an Generationen/Jahr mit dem Borkenkäferphänologiemodel PHENIPS berechnet werden. Für die Brutentwicklung sind insbesondere die Rindentemperaturen relevant, die in Abhängigkeit von der Lufttemperatur und der Sonneneinstrahlung modelliert wurden. Die Modellierung und Bewertung der potentiell möglichen Generationen ergab für den Nationalpark und seiner Umgebung ein jährlich sehr variables Vermehrungspotential des Buchdruckers, wobei in warmen Jahren selbst in höheren, subalpinen Lagen mitunter auch zwei Generationen erfolgreich abgeschlossen werden können.

Die durchschnittliche Anzahl an Generationen pro Jahr ist ein wesentlicher Parameter zur Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall. Das wissensbasierte Schätzsystem zur Herleitung der Prädisposition von Waldstandorten und Beständen gegenüber *Ips typographus* basiert auf der Annahme, dass die Wahrscheinlichkeit von Befall durch die Konstellation verschiedenster Umweltfaktoren beeinflusst wird. Neben dem Vermehrungspotential des Buchdruckers werden auch standörtliche und bestandesbezogene Faktoren, wie Niederschlagsverhältnisse, Geomorphologie, Fichtenanteil, Bestandesalter (Entwicklungsphase), Bestandesdichte sowie die Prädisposition für Sturm- und Schneeschäden herangezogen und ursachengerecht gewichtet. Die Bewertung und Kartierung der Prädisposition für Borkenkäferbefall bzw. für Sturm- und Schneeschäden als auslösende Störungsfaktoren kann eine wesentliche Entscheidungshilfe für das Nationalparkmanagement bei der räumlichen Planung, bei der Prioritätenreihung und Umsetzung von Maßnahmen des präventiven Waldumbaus und des kurativen Waldschutzes dar.

7 Literatur

- Anderbrant, O., Schlyter, F., Birgersson, G., 1985. Intraspecific competition affecting parents and offspring in the bark beetle *Ips typographus*. *Oikos*, 45, 89-98.
- Annala E., 1969. Influence of temperature upon the development and voltinism of *Ips typographus* L. (Coleoptera, Scolytidae). *Ann. Zool. Fennici* 6, 161-208.
- Austarå Ø., Pettersen H., Bakke A., 1977: Bivoltinism in *Ips typographus* in Norway, and winter mortality in second generation. *Meddelelser fra Norsk institutt for skogforskning*, 33, 269-281.
- 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. *For. Ecol. Manage.* 249, 3, 171-186.
- Bentz, B., Logan, J., Amman, G., 1991. Temperature-dependent development of the Mountain Pine beetle (Col., Scol.) and simulation of its phenology. *Can. Ent.*, 123, 1083-1094.
- Berryman, A.A., 1986. *Forest insects. Principles and practice of population management.* Plenum Press, New York and London. 279 S.
- Bolstad, P.V., Bentz, B.J., Logan, J.A., 1997: Modelling micro-habitat temperature for *Dendroctonus ponderosae* (Coleoptera: Scolytidae). *Ecol. Modell.*, 94, 287-297.
- Byres, J.A., Löfquist, J., 1989. Flight initiation and survival in the bark beetle *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae) during spring dispersal. *Hol. Ecol.*, 12, 432-440.
- Coeln, M., Niu, Y., Führer, E., 1996. Entwicklung von Fichtenborkenkäfern in Abhängigkeit von thermischen Bedingungen verschiedener montaner Waldstufen (Coleoptera: Scolytidae). *Entomol. Gener.* 21, 37–54.
- Dolezal, P., Sehnal, F., 2003. Imaginal diapause in the bark beetle *Ips typographus*. In: McManus, M.L. & Liebhold, A.M. (ed.) *Proceedings: Ecology, Survey and Management of Forest Insects.* USDA Forest Service, Northeastern Research Station, GTR-NE 311, 127.
- Dolezal, P., Sehnal, F. 2007. Effects of photoperiod and temperature on the development and diapause of the bark beetle *Ips typographus*. *J. Appl. Entomol.* 131, 3, 165 – 173.
- Faccoli, M., 2002. Winter mortality in sub-corticulous populations of *Ips typographus* (Col.:Scol.) and its parasitoids in the south-eastern Alps. *J. Pest. Sciences*, 75, 3, 57-88.
- Faccoli, M.; Stergulc, F., 2004: *Ips typographus* (L.) pheromone trapping in south Alps: spring catches determine damage thresholds. *J. Appl. Entomol.*, 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, 31-66.
- Fu, P., Rich P.M., 2000. *The Solar Analyst users manual.* Helios Environmental Modeling Institute (HEMI), USA. http://www.hemisoft.com/doc/sa_manual/solarext.htm

- Führer, E., Coeln, M., 1998. Thermoenergetisches Modell zur Fernüberwachung der Borkenkäferentwicklung. *AFZ/Der Wald* 2, 59-62.
- Führer, E., Nopp, U., 2001. Ursachen, Vorbeugung und Sanierung von Waldschäden. *Facultas*, Vienna, 514p.
- Hasenauer, H., Merganičová, K., Petritsch, R., Pietsch, S.A., Thornton, P.E. 2003. Validating Daily Climate Interpolations over Complex Terrain in Austria. *Agriculture and Forest Meteorology* 119: 87-107.
- Heurich, M., Reinelt, A., Fahse, L., 2001. Die Buchdrucker Massenvermehrung im Nationalpark Bayerischer Wald. In: Heurich, M. (ed.): *Waldentwicklung im Bergwald nach Windwurf und Borkenkäferbefall*. Nationalpark Bayerischer Wald Wissenschaftliche Reihe, 14, 9-48.
- Jakuš, R., Grodzki, W., Ježik, M., Jachym, M., 2002. Definition of Spatial Patterns of Bark Beetle *Ips typographus* (L.) Outbreak Spreading in Tatra Mountains (Central Europe), Using GIS. In: McManus, M.L. & Liebhold, A.M. (ed.): *Ecology, Survey and Management of Forest Insects*. USDA Forest Service, Northeastern Research Station, GTR-NE 311, 25-32.
- Jönson, A-M., Harding, S., Barring, L., Ravn, H.P., 2007. Impact of climate change on the population dynamics of *Ips typographus* in southern Sweden. *Agriculture and Forest Meteorology*, 146, 70 – 81.
- Kromp-Kolb, H., 2001. Was wir über den Klimawandel wissen. *Wissenschaft&Umwelt* 2001, Interdisziplinär Nr.4, 3-10.
- Kromp-Kolb, H., 2003. Auswirkungen des Klimawandels auf die Tierwelt – derzeitiger Wissensstand, fokussiert auf den Alpenraum und Österreich. Projektendbericht. Institut für Meteorologie und Physik, BOKU Wien, S.141.
- Lange H., Økland, B., Krokene, P., 2006. Thresholds in the life cycle of the spruce bark beetle under climate change. *InterJournal for Complex Systems*, 1648: 1–10.
- Lindelov, A.; Schroeder, M., 2001: Spruce bark beetle, *Ips typographus* (L.), in Sweden: monitoring and risk assessment. *J.For.Sci.*, 47, 40–42.
- Lobinger G., 1994. Die Lufttemperatur als limitierender Faktor für die Schwärmaktivität zweier rindenbrütender Borkenkäferarten, *Ips typographus* L. und *Pityogenes chalcographus* L. *Anz. Schädlingskde.*, 14-17.
- Logan, J., Bentz, B., 1999. Model analysis of Mountain Pine Beetle (Col., Scol.) seasonality. *Env. Ent.*, 28, 924-934.
- Lorimer, C.G., und Frelich, L.E., 1994. Natural Disturbance Regimes in Old-Growth Northern Hardwoods. *Journal of Forestry*, 33-38.
- 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. f. Bodenkultur Wien*, S. 98.

- Netherer, S., Pennerstorfer, S., 2001. Parameters relevant for modelling the potential development of *Ips typographus* (Coleoptera: Scolytidae). *Integrated Pest Management Reviews*, 6, 177-184.
- Netherer, S., Pennerstorfer, S., Kalasek, R., Riedl, L., 2002. Spatial Analysis in Forest Protection Using the Visual Modelling Tool MapModels. In: Pillmann, W.; Tochtermann, K. (ed.) *Environmental Communication in the Information Society EnviroInfo Vienna 2002*, University of Technology Vienna, 574-581.
- 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. *For. Ecol. Manage.* 207, 99-107.
- Nopp, U., Netherer, S., Führer, E., 2000. Bestimmungsschlüssel für die Schadensprädisposition fichtenreicher Bestände gegenüber verschiedenen biotischen und abiotischen Schadfaktoren. In: Müller, F. (Hrsg.). *Berichte der Forstlichen Bundesversuchsanstalt Wien*, 111, 85-93.
- Økland, B., Krokene, P., Lange, H., 2007. The effect of climate change on the spruce bark beetle. *Klima* 1/2007.
- Pennerstorfer J., 2000. Forstentomologisches Monitoring im Quellschutzgebiet der Stadt Wien. <http://www.iff.boku.ac.at/thermomod> .
- Petritsch R., Hasenauer, H. 2007: Interpolating input parameters for large scale ecosystem models. *Austrian Journal of Forest Science* 124(2): 135-151.
- Riedl, L., Kalasek, R., 1998. MapModels- Programmieren mit Datenflussgraphen. In: Strobl, Dollinger (ed.): *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung: Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 1998*, 279-288.
- Sanders, W., 1987. Untersuchung über die Aktivitätsdichte des Buchdruckers *Ips typographus* in Laubwäldern und in offener Landschaft. *J. Appl. Ent.*, 103, 240-249.
- Scherzinger, W. 1996. *Naturschutz im Wald - Qualitätsziele einer dynamischen Waldentwicklung*. Verlag Eugen Ulmer und Co., Stuttgart (Hohenheim). 447 S.
- Schopf, A., 1997. Möglicher Einfluß einer Klimaänderung auf das Schädlingsauftreten von Forstinsekten. In: *Klimaänderung – Mögliche Einflüsse auf den Wald und waldbauliche Anpassungsstrategien*. Österr. Forstverein, Wien, S. 25-34.
- Schopf, A., Baier, P., Netherer, S., Pennerstorfer, J. 2004. Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Kalkalpen. Projekt-Endbericht BOKU, Wien. S. 106.
- Schopf, A., Baier, P., Pennerstorfer, J., Hasenauer, H., Petritsch, R., 2007. Entwicklung eines Modells zur regionalen/überregionalen Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Kalamitäten. <http://iff-server.boku.ac.at/PHENIPS/viewer.htm>. Projekt Endbericht, BOKU Wien, S.64.
- Schopf, R., Köhler, U., 1995. Untersuchungen zur Populationsdynamik der Fichtenborkenkäfer im Nationalpark Bayerischer Wald. *Nationalpark Bayer. Wald - 25 Jahre auf dem Weg zum Naturwald*, Nationalparkverwaltung Bayer. Wald, S.88-111

- Schwenke, W. 1996. Grundzüge des Massenwechsels und der Bekämpfung des Großen Fichtenborckenkäfers *Ips typographus* L. (Col. Scolytidae). Anz. Schädlingsskde., 69, 11-15.
- Spörk, C.J. 1992. Borckenkäfersituation nach Windwurf, Vergleich zwischen Urwald und Wirtschaftswald. Dipl.Arb. Universität f. Bodenkultur Wien. 119 S.
- SPSS Inc., 1990. SPSS/PC + Manuals for the IBM PC/XT/AT and PS/2. SPSS Inc., Chicago, Illinois.
- Speight, M.R., Wainhouse, D. 1989. Ecology and management of forest insects. Clarendon Press, Oxford. 374 S.
- Thornton P.E., Running S.W., White M.A. 1997. Generating surfaces of daily meteorological variables over large regions of complex terrain. Journal of Hydrology 190: 214-251.
- Wegensteiner, R., Führer, E., 1991. Zur höhenabhängigen Aktivitätsdynamik einiger Nadelholzborckenkäfer. Anz. Schädlingsskde. 64, 25-34.
- Wermelinger, B., Epper, C., 2002. Entwicklung von natürlichen Feinden in Befallsherden des Buchdruckers (*Ips typographus*) mit und ohne Bekämpfungsmaßnahmen. <http://www.wsl.ch>.
- Wermelinger, B., Epper, C., Schneider Mathis, D., 2002. Das Erbe des Borckenkäfers. Warum tote Käferbäume stehen lassen? Wald und Holz, 4, 39-42.
- Wermelinger, B., Seifert, M., 1998. Analysis of temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus* (L.) (Col. Scol.). J. Appl. Ent. 122, 185-191.
- Wermelinger, B., Seifert, M., 1999. Temperature-dependent reproduction of the spruce bark beetle *Ips typographus*, and analysis of the potential population growth. Ecological Entomology, 24, 103-110.
- Wermelinger, B., Obrist, M.K., Duelli, P., Forster, B., 1999. Development of the bark beetle (Scolytidae) fauna in windthrow areas in Switzerland. Mitt.Schweiz.Ent.Ges., 72, 209-290.
- Weslien, J., 1992. Monitoring *Ips typographus* (L.) populations and forecasting damage. J.Appl.Ent., 114, 338–340.
- Weslien, J. und Schroeder, L.M., 1999. Population levels of bark beetles and associated insects in managed and unmanaged spruce stands. For.Ecol.Manage., 115, 267-275.
- Wiefler R., 1998. Erarbeitung eines Bewertungsschlüssels zur Einschätzung der Prädisposition von Standorten und Beständen gegenüber *Ips typographus*. Diplomarbeit, Univ. f. Bodenkultur, Wien.
- Zumr, V., 1982. The data for the prognosis of the spring swarming of main species of bark beetles (Coleoptera, Scolytidae) on the spruce (*Picea excelsa* L.). J. Appl. Ent. 93, 305-320.

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Schematische Darstellung der Kontrollen, Aufsammlungen und Aufarbeitung der von den befallenen Fangbäumen entnommenen Stammstücke in Etmißl, im Institutsgarten und im Labor.....	8
Abb. 2: Verlauf der Lufttemperaturen (Tagesminimum (LT_MIN); Tagesmittelwert (LT_MW); Tagesmaximum (LT_MAX)) im Gesäuse am Beispiel des Standorts G1.....	15
Abb. 3: Verlauf des Tagesmaximums der Rindentemperatur an der Stammoberseite der Fangbäume im Gesäuse (jeweils erste und zweite Fangbaumserie).....	17
Abb. 4: Verlauf des Tagesmaximums der Rindentemperatur an der südlich exponierten Stammseite (jeweils erste und zweite Fangbaumserie).....	18
Abb. 5: Gesamtanzahl gefangener Buchdrucker an den jeweiligen Standorten in den Jahren 2006 und 2007.....	21
Abb. 6: Lufttemperaturmaxima und Fangzahlen (Buchdrucker/Tag je Kontrollintervall) im Gesäuse 2006. (blaue Linie: Schwellenwert für Schwärmflug; vertikale rote Linie: Schwellenwert Tageslänge < 14,5 Stunden).....	22
Abb. 7: Lufttemperaturmaxima und Fangzahlen (Buchdrucker/Tag je Kontrollintervall) der Fallen in Gstatterboden 2007. (blaue Linie: Schwellenwert für Schwärmflug; vertikale rote Linie: Schwellenwert Tageslänge < 14,5 Stunden).....	23
Abb. 8: Lufttemperaturmaxima und Fangzahlen (Buchdrucker/Tag je Kontrollintervall) der Fallen im Johnsbachtal 2007. (blaue Linie: Schwellenwert für Schwärmflug; vertikale rote Linie: Schwellenwert Tageslänge < 14,5 Stunden).....	24
Abb. 9: Kumulierte Anzahl gefangener Buchdrucker getrennt nach Standorten und Untersuchungsjahr.....	25
Abb. 10: Kumulierte relative Anzahl gefangener Buchdrucker (%) getrennt nach Standorten und Untersuchungsjahr.....	25
Abb. 11: Absolute und normalisierte Fangzahlen der Fallen im Gesäuse im Vergleich zur Summe der Lufttemperaturen $\geq 16,5^{\circ}\text{C}$ je Fallenkontrollintervall.....	27
Abb. 12: Relative Häufigkeit von Unter- und Überschätzung bzw. Übereinstimmung des tatsächlich beobachteten Entwicklungsstadiums im Vergleich zum berechneten Entwicklungsstand für die Fangbäume im Gesäuse 2006 -2007 (n = 167 Kontrollen).....	31
Abb. 13: Verlauf der Lufttemperatur (ATmin: Tagesminimum; ATmittel: Tagesmittelwert; ATmax Tagesmaximum der Lufttemperatur) im Institutsgarten (Wien) im Winter 2006/2007.....	36
Abb. 14: Schlupfverlauf der Käfer aus überwinterten Probestämmen der Fangbäume G1 – G3 (2. Fangbaumserie) im Institutsgarten (Frühjahr 2007).....	36
Abb. 15: Gesamtanzahl der geschlüpften Buchdrucker aus entnommenen Versuchsstämmen (1. Fangbaumserie) von den Fangbäumen im Gesäuse.....	38
Abb. 16: Relative Anteile der nach dem Semi-Freilandversuch in Stanz bzw. Etmißl (Photoelektoren) und Wien (Institutsgarten) in den Stämmen verbliebenen Borkenkäfer.....	39
Abb. 17: Anzahl und zeitlicher Verlauf der Einbohrungen mit Muttergängen bzw. Reifungsfraßgängen an den Abfangstämmen je Kontrolltermin in Wien (Institutsgarten) von 14. Juli bis 24. Oktober 2006.....	39
Abb. 18: Rinden- und Lufttemperaturen und effektive Temperatursummen zur Beobachtung der Brutentwicklung am Fangbaum G1, in Etmißl und im Institutsgarten Wien.....	40
Abb. 19: Zeitlicher Verlauf der kumulierten relativen Schlupfzahlen aus Stämmen in Photoelektoren in Etmißl und in Abfangkäfigen im Insitutsgarten (Wien) sowie die	

täglichen Lufttemperaturmaxima (ATmax) an den Standorten Stanz und Wien 2006 bzw. unter Laborbedingungen.....	41
Abb. 20: Zeitlicher Verlauf der kumulierten relativen Schlupfzahlen aus Stämmen in Photoelektoren in Etmüßl (2006) und Stanz (2007) sowie die täglichen Lufttemperaturmaxima (ATmax) an den Standorten Stanz und Etmüßl bzw. unter Laborbedingungen.....	41
Abb. 21: Relative effektive Rindentemperatursummen und potentielle Entwicklung für die 3 Fangbaumstandorte in Gstatterboden 2006 im Vergleich mit den Fallenfängen bei den Standorten G1 und G3.	45
Abb. 22: Relative effektive Rindentemperatursummen und potentielle Entwicklung für die 3 Fangbaumstandorte in Gstatterboden 2007 im Vergleich mit den Fallenfängen bei den Standorten G1 und G3.	45
Abb. 23: Relative effektive Rindentemperatursummen und potentielle Entwicklung für die 3 Fangbaumstandorte im Johnsbachtal im Vergleich mit den Fallenfängen bei den Standorten G5 (nordexponiert) und G6 (südexponiert).....	46
Abb. 24: Anzahl gefangener Buchdrucker je Kontrollintervall an den Standorten G1 – G3 im Untersuchungsjahr 2006 (gelber Pfeil: markiert den Termin an dem erstmals hell gefärbte Jungkäfer (2. Generation) registriert wurden; weißer Stern: berechneter potentieller Beginn der 2. Generation).	47
Abb. 25: Anzahl gefangener Buchdrucker je Kontrollintervall an den Standorten G1 – G6 im Untersuchungsjahr 2007 (gelber Pfeil: markiert den Termin an dem erstmals hell gefärbte Jungkäfer (2. Generation) registriert wurden; weißer Stern: berechneter potentieller Beginn der 2. Generation).	48
Abb. 26: Zusammenhang zwischen interpoliertem und tatsächlich gemessenem Lufttemperaturtagesmittel bzw. -maxima der Stationen im Nationalpark Gesäuse. (observed ATmean/ATmax: gemessene Tagesmittelwerte bzw. -maxima der Stationen; predicted ATmean/ATmax: interpolierte Tagesmittelwerte bzw. -maxima 2006).	50
Abb. 27: Zusammenhang zwischen gemessener und interpolierter Globalstrahlung für die Stationen im Gesäuse.	52
Abb. 28: Zeitlicher Verlauf der gemessenen und der interpolierten Globalstrahlung und der Residuen für die Einstrahlungsmessstationen im Gesäuse.....	53
Abb. 29: Zusammenhänge zwischen gemessenen und berechneten Rindentemperaturen bei den Fangbäumen im Gesäuse im Jahr 2006 (observed RTmean/RTmax: gemessene Tagesmittelwerte und Tagesmaxima der Rindentemperatur an der Stammoberseite; predicted RTmean/RTmax: berechnete Rindentemperaturwerte).....	55
Abb. 30: Zusammenhang zwischen beobachteter und berechneter effektiver Rindentemperatursumme (observed/predicted RTS in Stundengraden [h°C]) für die Fangbaumstandorte G1 - G3.....	56
Abb. 31: Theoretische Abfolge von Generationen und mögliche Anzahl an Nachkommen von <i>Ips typographus</i> bei einem Vermehrungsfaktor von 1:50 und einem Geschlechterverhältnis von 1:1 (F1: 1. Generation, F2: 2.Generation, F3: 3. Generation, GB: Geschwisterbrut; thermaler Index: Summe der effektiven Rindentemperatur in Relation zur notwendigen Summe für die Gesamtentwicklung (= 557 Tagesgrade)).....	59
Abb. 32: Relative Bewertung der potentiellen Anzahl an Generationen zur Prädispositionsabschätzung (F1: 1 Generation; F1+GW: 1 Generation und 1 Geschwisterbrut; F2: 2 Generationen; >F2: mehr als 2 Generationen).....	60
Abb. 33: Zusammenhang zwischen der Anzahl der potentiellen Generationen, der standörtlichen Sturmschadensprädisposition und der Prädisposition für Buchdruckerbefall für Flächen im Nationalpark Gesäuse.....	61
Abb. 34: Relative Anteile von Flächen mit Borkenkäferbefall in den Jahren 2003 – 2007 im Nationalpark Gesäuse innerhalb der Prädispositionsklassen, getrennt für Standort und Bestand.	65

Abb. 35: Relative Anteile von Flächen mit Sturmschäden in den Jahren 2003– 2007 im Nationalpark innerhalb der Prädispositionsklassen, getrennt für Standort und Bestand.	66
Abb. 36: Abweichungen der Monatsmittelwerte der Lufttemperatur vom langjährigen Durchschnitt im Raum Nationalpark Gesäuse in den Jahren 1999 – 2007.	71

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Bezeichnung, Seehöhe (H), gemessene meteorologische Parameter (AT: Lufttemperatur; RT: Rindentemperatur; GS: Globalstrahlung) und Koordinaten (Bundesmeldenetz) der Untersuchungsstandorte im Nationalpark Gesäuse.....	5
Tab. 2: Datum der Fällung bzw. Beginn der Messungen, Baumalter, Brusthöhendurchmesser, Baumlänge, Höhe des Kronenansatzes und Lage der Fangbäume sowie Exposition und Hangneigung der Fangbaumstandorte im Nationalpark Gesäuse.....	9
Tab. 3: Verwendete Schwellenwerte der Lufttemperatur (LTmax: Tagesmaximum der Lufttemperatur), der effektiven Rindentemperatursummen (dd: Tagesgrade) sowie der relativen Temperatursummen für die Borkenkäferentwicklungsmodellierung (Schopf <i>et al.</i> , 2004; Baier <i>et al.</i> , 2007).....	10
Tab. 4: Verwendete Parameter zur Prädispositionsabschätzung für Borkenkäferbefall, Sturm- und Schneeschaden.....	13
Tab. 5: Vergleich der Lufttemperaturwerte zwischen den Standorten und Untersuchungsjahren (Vergleichszeitraum 16.5. – 9.10.).....	16
Tab. 6: Vergleich der Rindentemperaturwerte an der Stammoberseite zwischen den Standorten und Untersuchungsjahren (Vergleichszeitraum 16.5. – 9.10.).....	16
Tab. 7: Effektive Temperatursummen (nach Stundenwerten berechnet) der unterschiedlichen Stammpositionen in Relation zur effektiven Lufttemperatursumme bzw. zur effektiven Rindentemperatursumme der Stammoberseite getrennt nach Untersuchungsjahren, Standorten und Fangbäumen.....	19
Tab. 8: Durchschnittliche Rindentemperaturen bei liegenden und stehenden Fichten gemessen im Vergleichszeitraum 23.5. – 10.10.2006.....	20
Tab. 9: Vergleich der Rindentemperaturen liegender Fangbäume (Stammoberseite) und stehender Fichten (Südseite) (Paarweiser T-Test).....	20
Tab. 10: Berechneter und beobachteter Schwärm- und Befallsbeginn sowie Abweichung in Tagen bei den Untersuchungsstandorten im Jahr 2007.....	28
Tab. 11: Fällung, Erstbefall und Jungkäferschlupfzeitpunkt bei den untersuchten Fangbäumen.....	30
Tab. 12: Relative Temperatursummen zum Zeitpunkt des beobachteten Schlupfbeginns bei den Fangbäumen im Freiland sowie bei den Kontrollstämmen im Institutsgarten (Abfangkäfige 2006) bzw. in Stanz (Photoelektoren 2007).....	32
Tab. 13: Abweichung des berechneten vom beobachteten Schlupfbeginns der Jungkäfer.....	33
Tab. 14: Mittlere relative Temperatursummen zum Zeitpunkt des teilweisen bzw. vollständigen Fehlens der Parentalkäfer in den kontrollierten Brutsystemen.....	34
Tab. 15: Vergleich des beobachteten und berechneten Entwicklungsstandes bei der letzten Kontrolle der Fangbäume vor der Überwinterung.....	35
Tab. 16: Beobachteter und modellierter Schlupfbeginn der Jungkäfer bei den Fangbäumen im Gesäuse sowie bei den Versuchsstämmen im Institutsgarten Wien bzw. in Photoelektoren (Etmäßl 2006; Stanz 2007).....	38
Tab. 17: Vergleich der Brutdichte und der Brutleistung an den entnommenen Stammstücken (MG: Anzahl der Muttergänge pro dm ² Rindenfläche, MGL: durchschnittliche Mutterganglänge).....	43
Tab. 18: Zusammenhang (R ²), mittlere Abweichung und relative mittlere Abweichung der interpolierten vs beobachteten Lufttemperaturwerte getrennt nach Standort (ATmean: Tagesmittel der Lufttemperatur, ATmax: Tagesmaximum der Lufttemperatur, N: Anzahl der gemessenen Temperaturwerte, ME: mittlerer Fehler, RPME: mittlerer relativer Fehler).....	51

Tab. 19: Monatliche „global-site“ –Faktoren aus hemisphärischen Aufnahmen für die Beschreibung der Überschirmungsverhältnisse bei den Fangbaumstandorten und Einstrahlungsmessstationen im Gesäuse.	51
Tab. 20: Zusammenhang (R^2) und Abweichungen zwischen beobachteter und interpolierter Globalstrahlung (Sig.: Signifikanz [***: $P < 0,001$]).	51
Tab. 21: Relative effektive Rindentemperatursumme, berechnet anhand gemessener Rindentemperaturen (TS_RT observed), im Vergleich zu den modellierten effektiven Rindentemperatursummen (TS_RT predicted) zum Zeitpunkt des beobachteten Schlüpfbeginns der Jungkäfer (JK_F1) bzw. vor der Überwinterung (ÜW) getrennt nach Fangbaum.	56
Tab. 22: Beobachteter und prognostizierter Zustand der Brut vor der Überwinterung (JK: Jungkäfer; Pp: Puppen; L: Larven).	57
Tab. 23: Relative Verteilung der Waldbestände (in Prozent der Gesamtwaldfläche) im Nationalpark Gesäuse über die unterschiedlichen Prädispositionsklassen für Buchdruckerbefall, Sturm- und Schneeschaden.	63
Tab. 24: Charakterisierung der bestandesbezogenen Prädispositionsklassen für Buchdruckerbefall anhand der Baumartenmischung und Altersstruktur (Angaben in % der Fälle innerhalb der jeweiligen Klasse).	63
Tab. 25: Zuordnung der anhand der Luftbildinterpretation klassifizierten Bestandestypen zu den Klassen aus der Satellitenbildinterpretation (Anteile innerhalb der Bestandesklassen in Prozent) getrennt nach Bestandesalter und Gesamt.	67

ANHANG

Tabelle A1: Kriterien zur Prädispositionsabschätzung für Buchdruckerbefall, Sturm- und Schneeschaden (nach Führer und Nopp, 2001, Netherer, 2003).

***Ips typographus* - Bestand**

Gewichtung der Subkriterien

	qualitativ	Gewichtung	Relation
Fichtenanteil	sehr hoch	5	1,00
Bestandesalter	sehr hoch	5	1,00
Bestandesdichte	mittel	2	0,40
Prädisposition ggü Wind	hoch	4	0,80
Prädisposition ggü Schneebruch	gering	1	0,20

Fichtenanteil in Prozent	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
>70	12	1,00	1,00
50-70	10	0,83	0,83
25-49	6	0,50	0,50
10-25	2	0,17	0,17
1-10	1	0,08	0,08
keine Fichte	KO	KO	

Alter

Bestandesteilen im Jungwuchs- bis Dickungsalter	2	0,20	0,20
Stangenholzalter	6	0,60	0,60
Baumholzalter	9	0,90	0,90
alte und überalte Bestandesteile	10	1,00	1,00

Kronenschlussgrad - Bestandesdichte

gedrängt, dicht	>0,8	4	0,40	0,16
geschlossen	0,6-0,8	1	0,10	0,04
locker	0,4-0,59	7	0,70	0,28
licht, räumdig	<0,4	10	1,00	0,40

Prädisposition ggü Wind

keine bis sehr geringe Prädisposition	0	0,00	0,00
geringe Prädisposition	3	0,25	0,20
mittlere Prädisposition	6	0,50	0,40
hohe Prädisposition	9	0,75	0,60
sehr hohe Prädisposition	12	1,00	0,80

Prädisposition ggü Schneebruch

keine bis sehr geringe Prädisposition	0	0,00	0,00
geringe Prädisposition	3	0,25	0,05
mittlere Prädisposition	6	0,50	0,10
hohe Prädisposition	9	0,75	0,15
sehr hohe Prädisposition	12	1,00	0,20

***Ips typographus* - Standort**

Gewichtung der Subkriterien	qualitativ	Gewichtung	Relation
Generationsentwicklung	sehr hoch	5	1,00
Niederschlagsverhältnisse	hoch	3	0,60
Geländemorphologie	mittel	2	0,40
Prädisposition ggü Wind	sehr hoch	5	1,00
Prädisposition ggü Schneebruch	gering	1	0,20
Generationsentwicklung	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
> 2 Generationen möglich	10	1,00	1,00
2 Generationen	6	0,6	0,6
1 Generation und Geschwisterbruten	2	0,2	0,2
1 Generation	1	0,1	0,1
keine Generationsentwicklung	0	0,0	0,0
Niederschlagsverhältnisse			
<360 mm	5	1,00	0,60
>=360 mm	0	0,00	0,00
Geländemorphologie			
Kuppe/ Plateau/ Kammlage	10	1,00	0,40
Ober- und Mittelhang	7	0,70	0,28
Unterhang/ Tal- oder Muldenlage	1	0,10	0,04
Prädisposition ggü Wind			
keine bis sehr geringe Prädisposition	0	0,00	0,00
geringe Prädisposition	3	0,25	0,25
mittlere Prädisposition	6	0,50	0,50
hohe Prädisposition	9	0,75	0,75
sehr hohe Prädisposition	12	1,00	1,00
Prädisposition ggü Schneebruch			
keine bis sehr geringe Prädisposition	0	0,00	0,00
geringe Prädisposition	3	0,25	0,05
mittlere Prädisposition	6	0,50	0,10
hohe Prädisposition	9	0,75	0,15
sehr hohe Prädisposition	12	1,00	0,20

Sturm Bestand

Gewichtung der berücksichtigten Subkriterien

	Gewichtung	Relation
Fichtenanteil	3	0,60
Laubholzanteil	3	0,60
Anteile L, Kie, Zi, Ta	3	0,60
Bestandesalter (Ersatz f. Oberhöhe)	5	1,00
Bestandesdichte	4	0,80

Fichtenanteil in %	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set	
>=90	10	1,00	0,60	
<90	0	0,00	0,00	
Laubholzanteil in %				
<30	10	1,00	0,60	
>=30	-5	0,00	0,00	
Anteile L, Kie, Zi, Ta				
<30	15	1,00	0,60	
>=30	0	0,00	0,00	
Alter (Ersatz für Bestandesoberhöhe)				
Jungwuchs- bis Dickungsalter	0	0,00	0,00	
Stangenholzalter	3	0,20	0,20	
Baumholzalter	9	0,60	0,6	
Altholz	15	1	1,00	
Kronenschlussgrad - Bestandesdichte				
dicht	>0.8	4	0,33	0,27
geschlossen	0.6-0.8	0	0,00	0,00
locker	0.4-0.59	4	0,33	0,27
licht	0.2-0.39	8	0,67	0,53
rumdig/ gruppig	<0.2	12	1,00	0,80

Sturm Standort

Gewichtung der berücksichtigten Subkriterien

	Gewichtung	Relation		
Neigung	2	0,40		
Geländemorphologie	5	1,00		
	Präd.Pkt.	Pkte(0_1)	Fuzzy Set	
Geländeneigung in Prozent				
0-3	12	1,00	0,40	
4-9	10	0,83	0,33	
10-17	8	0,67	0,27	
18-36	6	0,50	0,20	
37-58	4	0,33	0,13	
59-100	2	0,17	0,07	
Geländemorphologie (Windrichtung „WR“ = NW)				
Verebnung, Ebene; Plateau	50	1,00	1,00	
Mulde, Wanne	50	1,00	1,00	
Senke, Rinne, Graben quer zur WR	0	0,00	0,00	
Senke, Rinne, Graben parallel zur WR	24	0,48	0,48	
Hanglage, Tal quer zur WR	Oberhang	48	0,96	0,96
	Mittelhang	32	0,64	0,64
	Unterhang	16	0,32	0,32
Hanglage, Tal parallel zur WR	Oberhang	16	0,32	0,32
	Mittelhang	48	0,96	0,96
	Unterhang	16	0,32	0,32
Hanglage, Tal schräg zur WR	Oberhang	40	0,80	0,80
	Mittelhang	48	0,96	0,96
	Unterhang	16	0,32	0,32
Kuppe, Rücken, Nase etc.	50	1,00	1,00	
Lee- alle Lagen außer Ebene etc.	0	0,00	0,00	
Sonstiges	0	0,00	0,00	

Schnee Bestand

Gewichtung der Subkriterien

	Gewichtung	Relation
Fi u/o Kie-. Anteil	3	0,75
Bestandesklasse	2	0,50
Schlußgrad	2	0,50

	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
Anteil Fichte u/o Kiefer in %			
>=90	15	1,00	0,75
70-89	8	0,53	0,40
50-69	6	0,40	0,30
40-49	4	0,27	0,20
<40	2	0,13	0,10
Bestandesklasse			
Jungwuchs	2	0,20	0,10
Dickung	10	1,00	0,50
Stangenholz	10	1,00	0,50
Baumholz	6	0,60	0,30
Schlussgrad			
gedrängt	4	0,40	0,20
geschlossen	2	0,20	0,10
locker	0	0,00	0,00
licht	4	0,40	0,20
lückig	10	1,00	0,50

Schnee Standort

Gewichtung der Subkriterien

	Gewichtung	Relation
Seehöhe	3	1,00
Windexposition	2	0,67
Geländemorphologie	1	0,33
Geländeneigung	2	0,67

Seehöhe in m ü NN	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
<=400	4	0,40	0,40
401-600	10	1,00	1,00
601-800	10	1,00	1,00
801-1000	8	0,80	0,80
1001-1400	6	0,60	0,60
>1400	4	0,40	0,40

Windexposition	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
Luvlage	0	0,00	0,00
Leelage	10	1,00	0,67
Sonstiges	2	0,20	0,13

Geländemorphologie	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
Hang	10	1,00	0,33
Mulde oder Senke	10	1,00	0,33
Sonstiges	2	0,20	0,07

Geländeneigung in %	Präd.pkte.	Pkt(0_1)	Fuzzy Set
0-5	10	1,00	0,67
6-20	5	0,50	0,33
21-40	0	0,00	0,00
41-60	5	0,50	0,33
>60	10	1,00	0,67

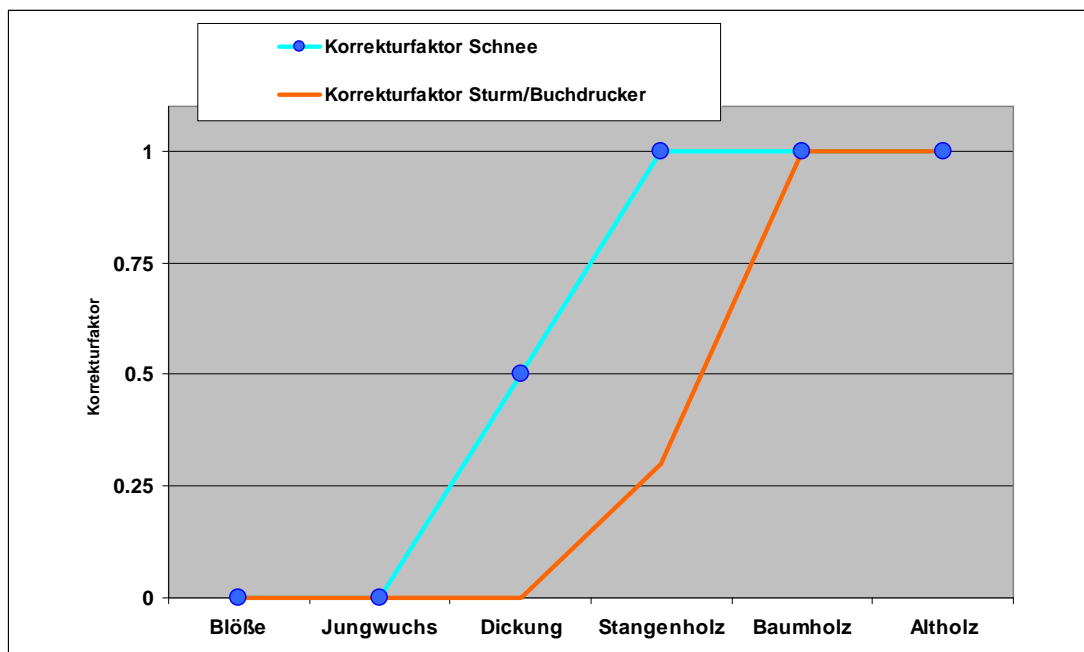


Abbildung A1: Korrekturfaktoren für die Prädispositionsabschätzung in Jungbeständen

Karthographische Darstellungen

Borkenkäferentwicklung und Phänologie in der Region Gesäuse 2000 – 2006

potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2000
potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2001
potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2002
potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2003
potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2004
potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2005
potentieller Beginn der Entwicklung im Jahr 2006

potentielle Generationen im Jahr 2000
potentielle Generationen im Jahr 2001
potentielle Generationen im Jahr 2002
potentielle Generationen im Jahr 2003
potentielle Generationen im Jahr 2004
potentielle Generationen im Jahr 2005
potentielle Generationen im Jahr 2006

mittlere Anzahl potentieller Generationen des Buchdruckers 2000 – 2006

Standorts- und bestandesbezogene Prädisposition

Prädisposition Buchdrucker Standort

Prädisposition Buchdrucker Bestand (Luftbildinterpretation)

Prädisposition Buchdrucker Bestand (für die Umgebung des Nationalparks mittels Satellitenbildinterpretation)

Prädisposition Sturm Standort

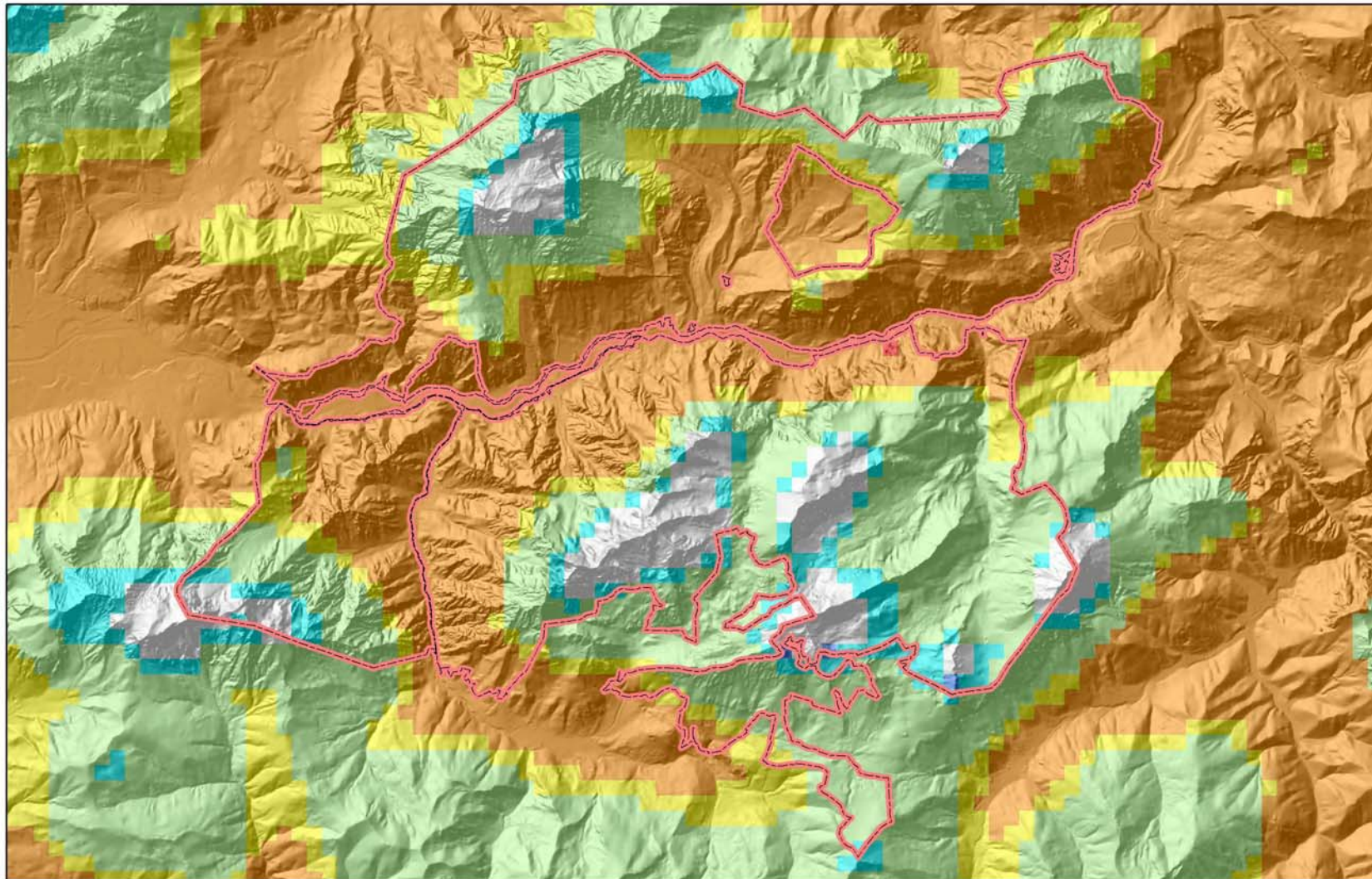
Prädisposition Sturm Bestand (Luftbildinterpretation)

Prädisposition Schnee Standort

Prädisposition Schnee Bestand (Luftbildinterpretation)

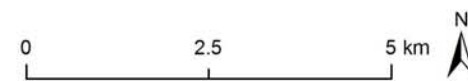
Bestandestypen

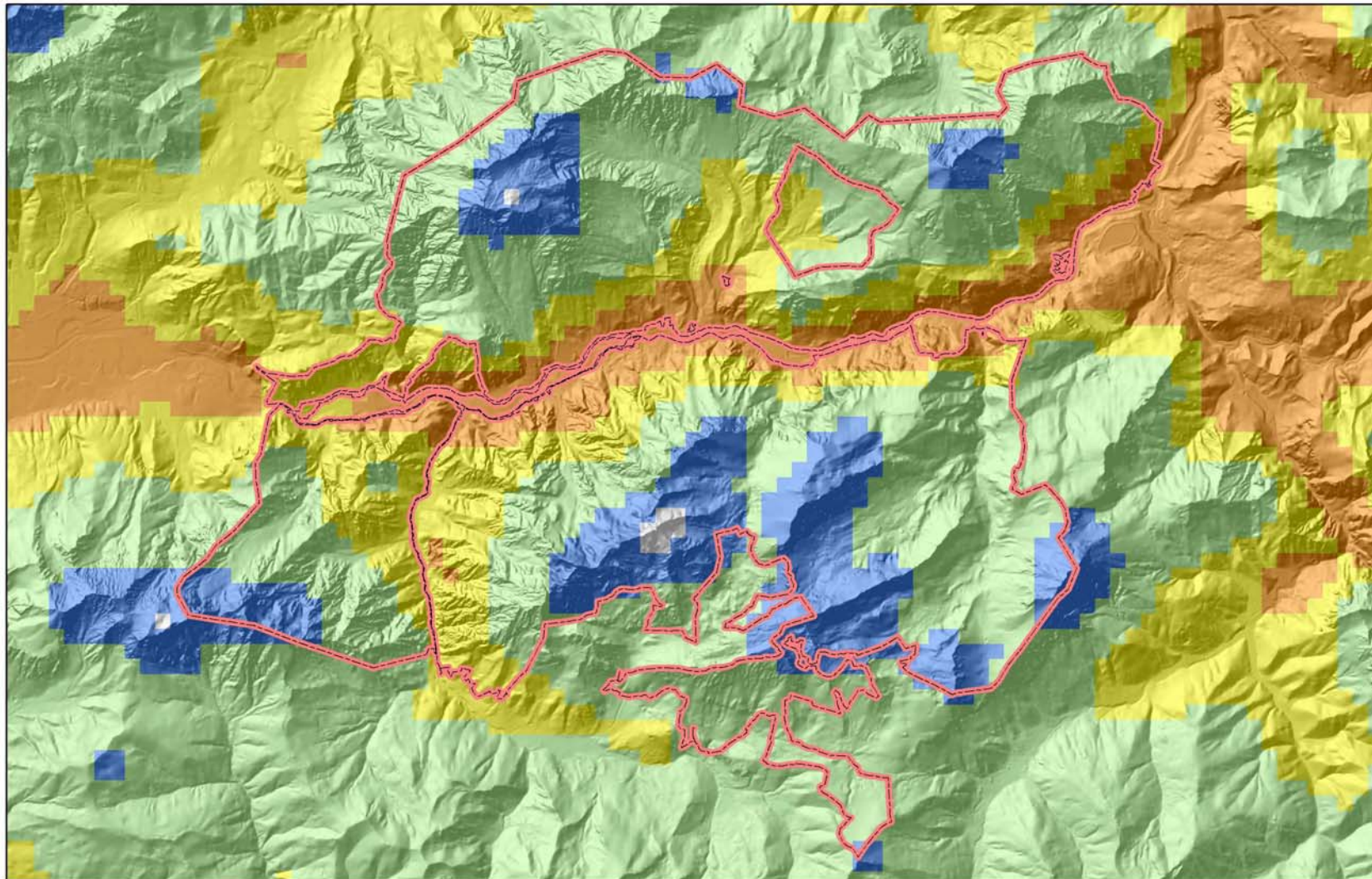
Waldpflegezone



Potentieller Entwicklungsbeginn 2000

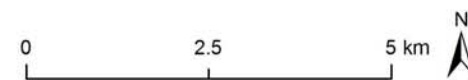
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

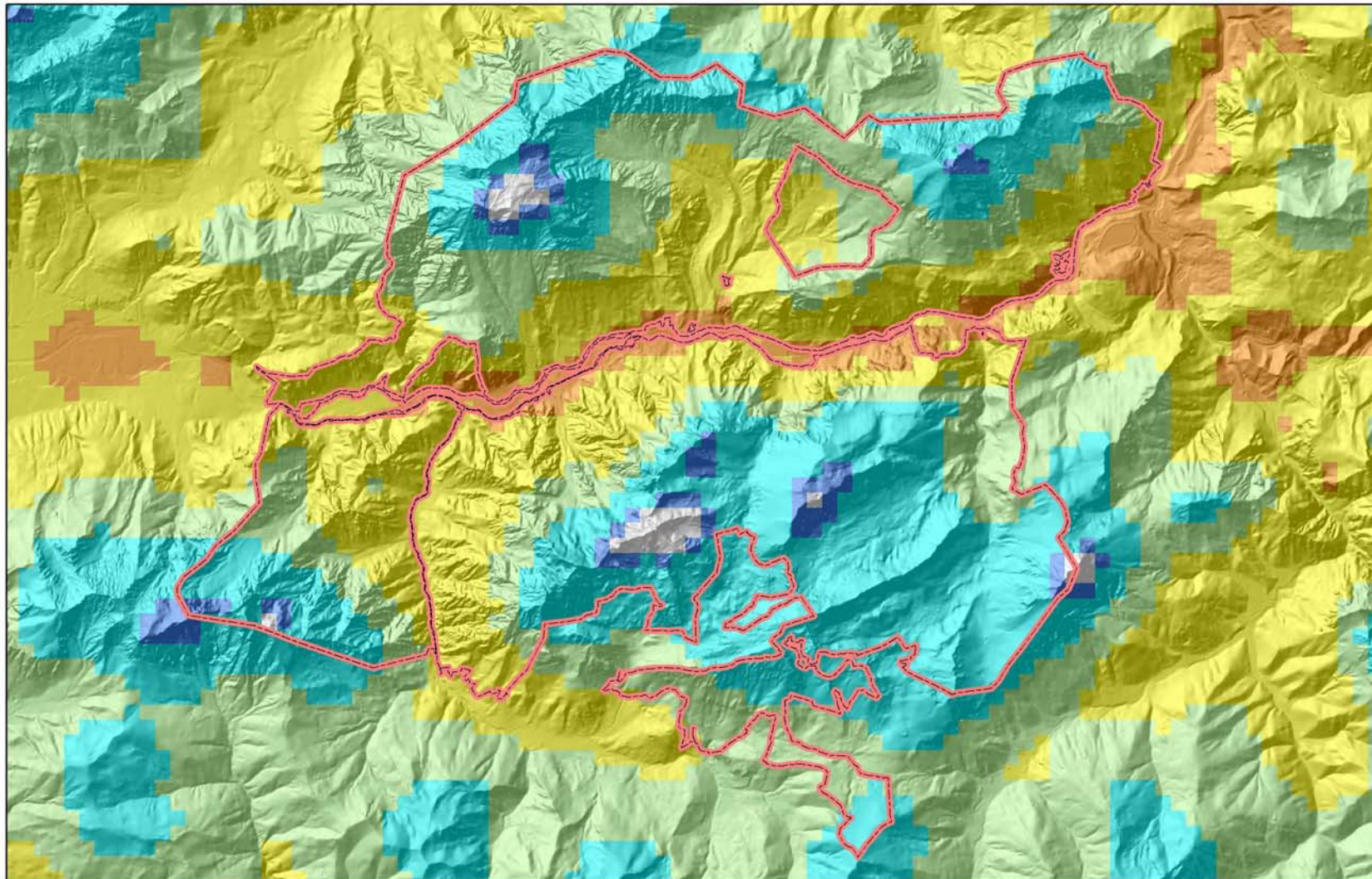




Potentieller Entwicklungsbeginn 2001

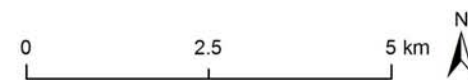
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

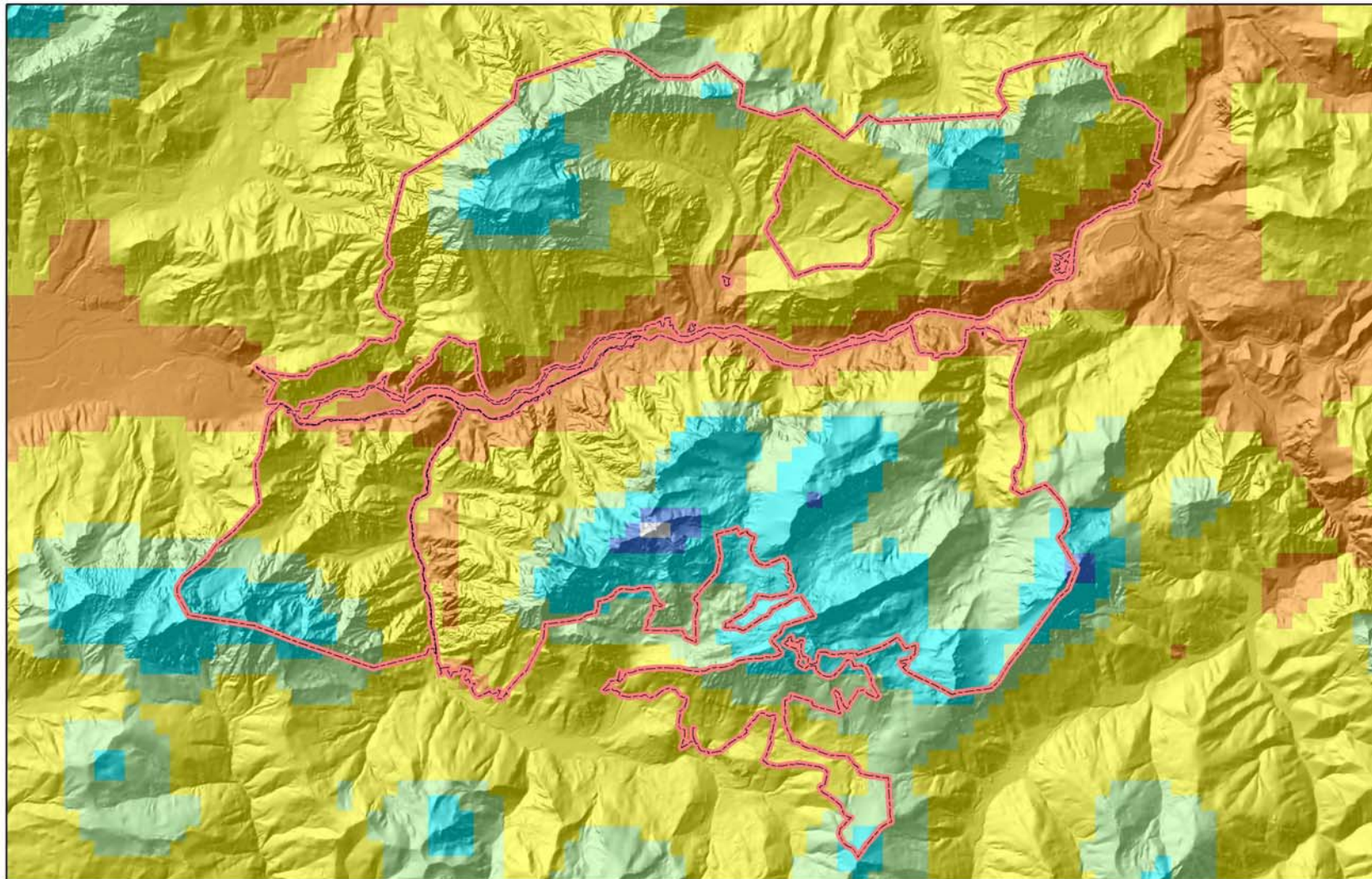




Potentieller Entwicklungsbeginn 2002

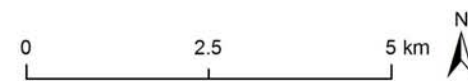
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

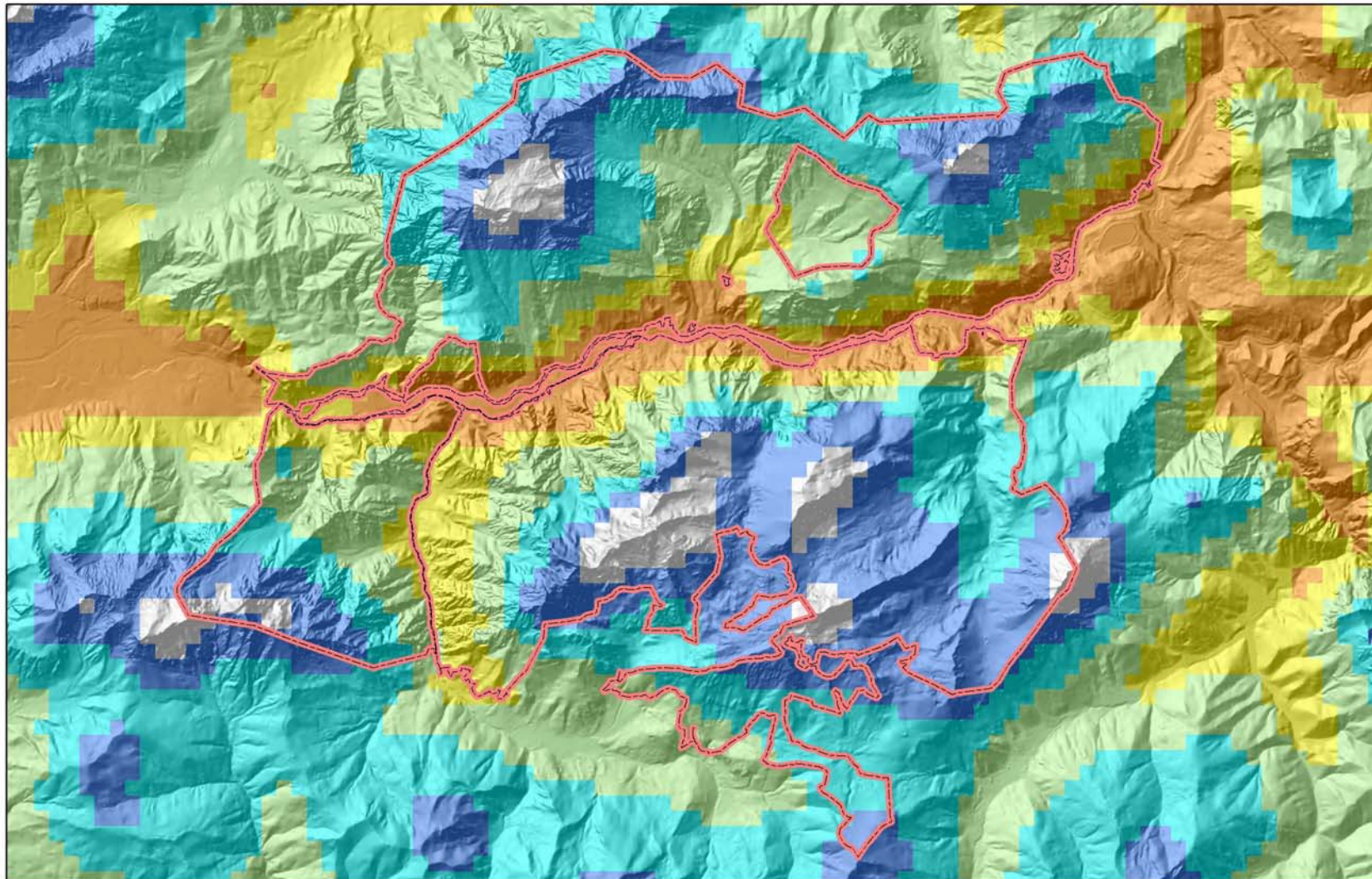




Potentieller Entwicklungsbeginn 2003

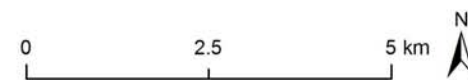
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

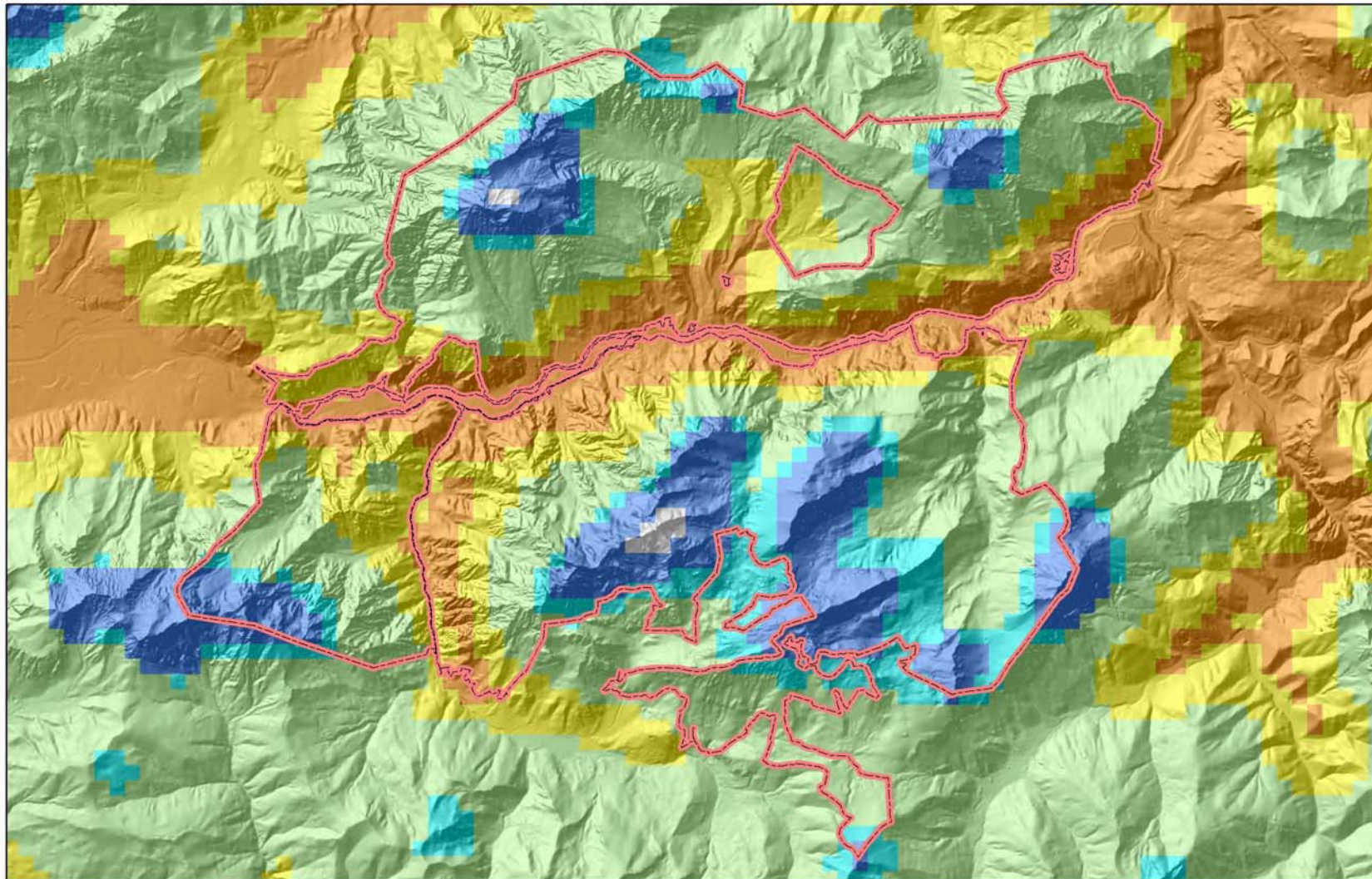




Potentieller Entwicklungsbeginn 2004

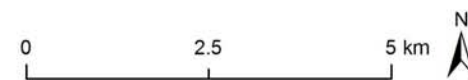
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

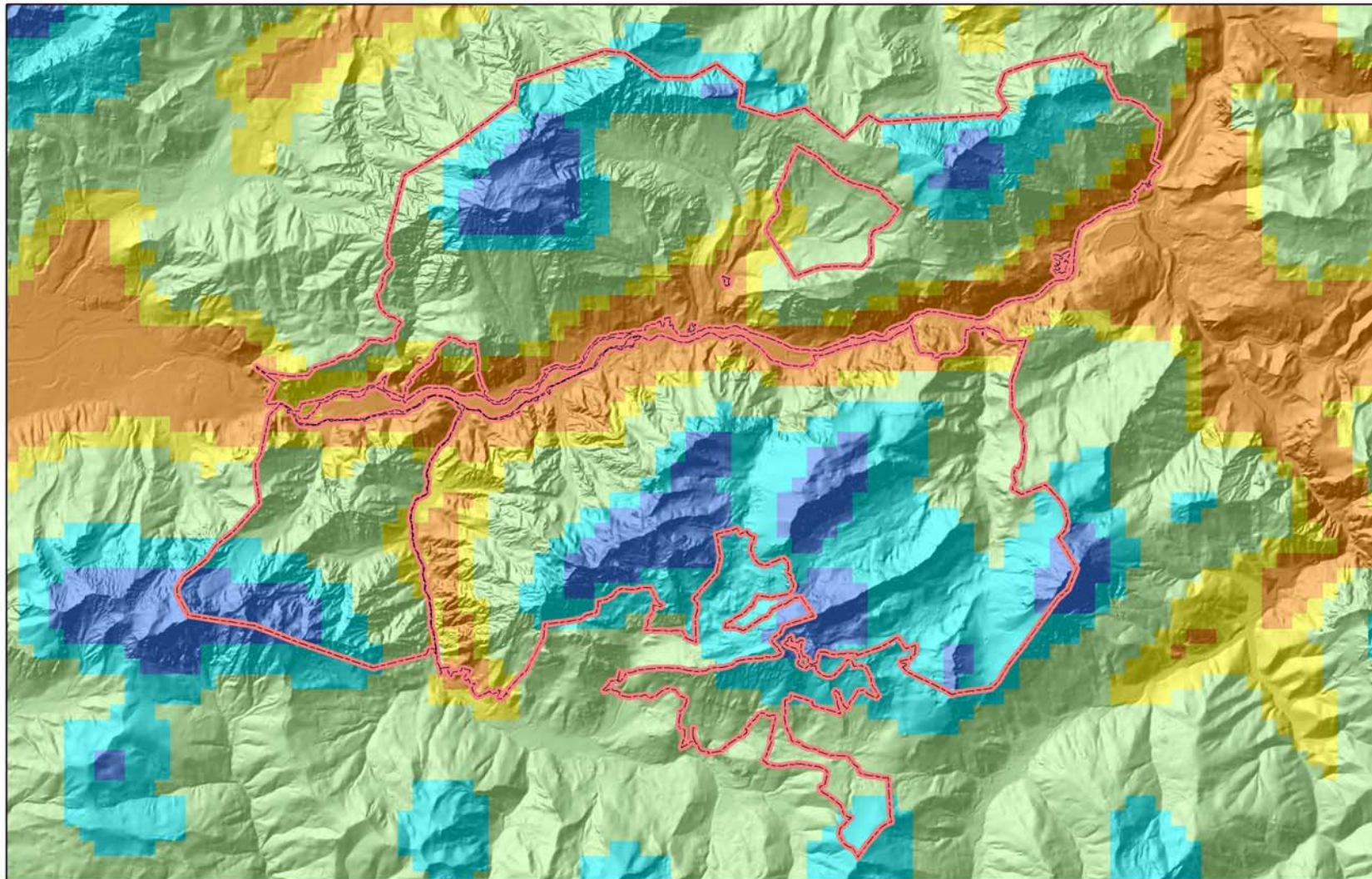




Potentieller Entwicklungsbeginn 2005

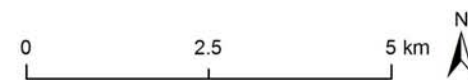
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

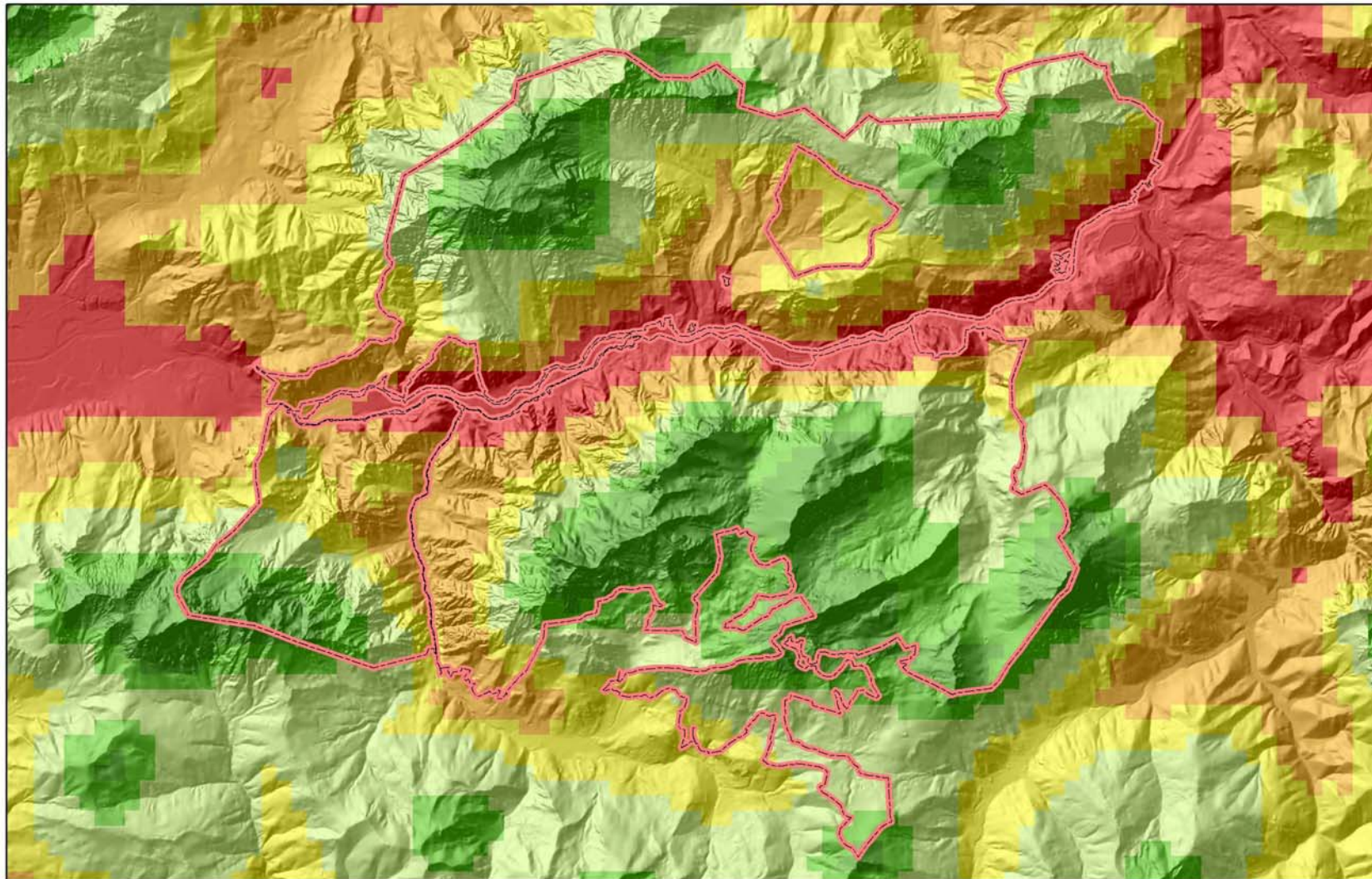




Potentieller Entwicklungsbeginn 2006

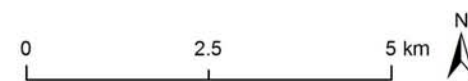
- | | |
|---------------------|--------------------|
| ■ bis 20. 04 | ■ 11. 05. - 30. 05 |
| ■ 21. 04 - 30. 04. | ■ 31. 05. - 19. 06 |
| ■ 01. 05. - 10. 05. | ■ 19. 06 - 19.07 |

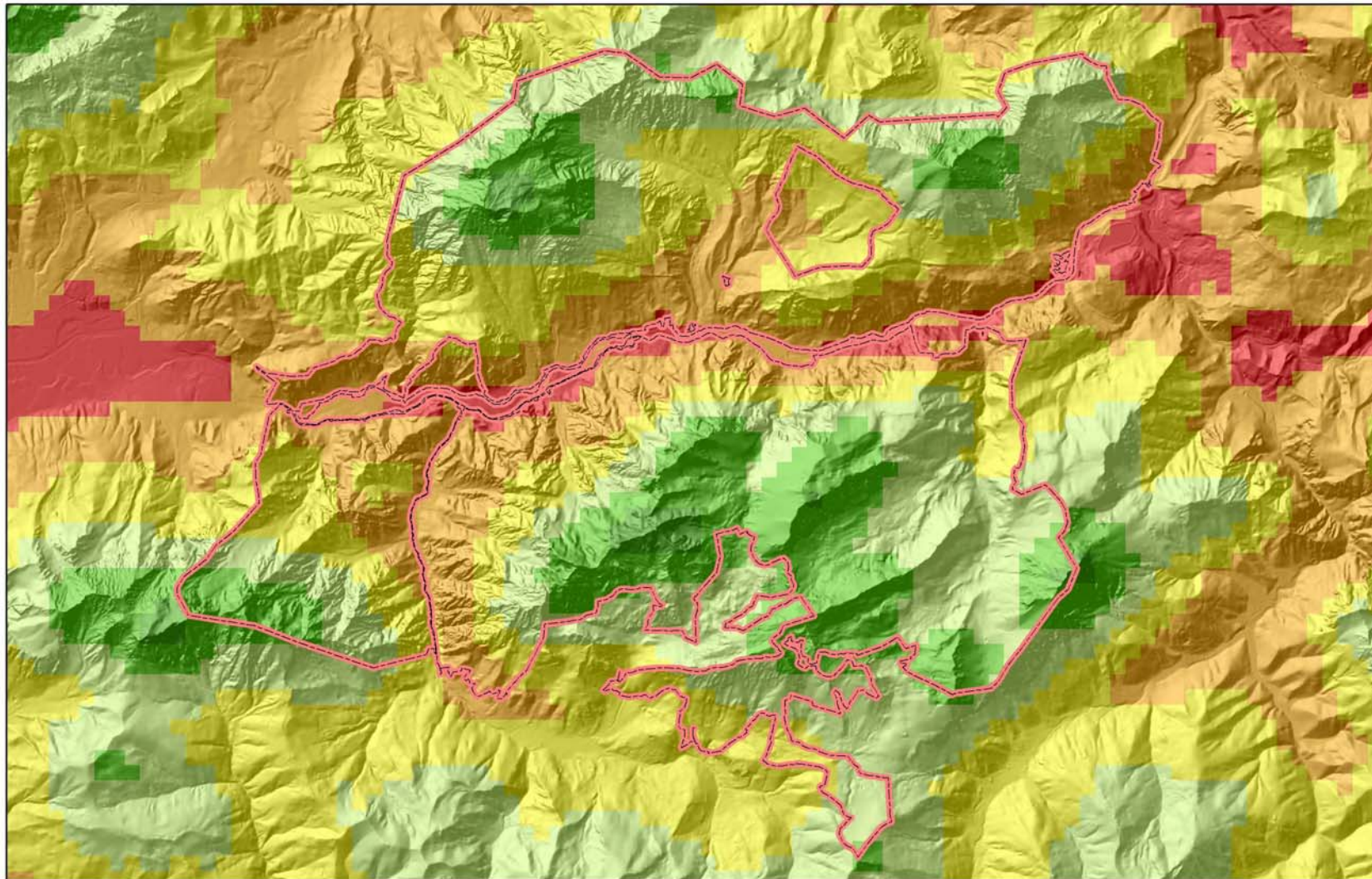




Potentielle Generationen 2000

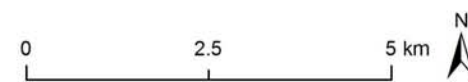
- keine Generationen
 - 1 Generation
 - 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
 - 2 Gen. + Geschwisterbrut
 - 3 Generationen

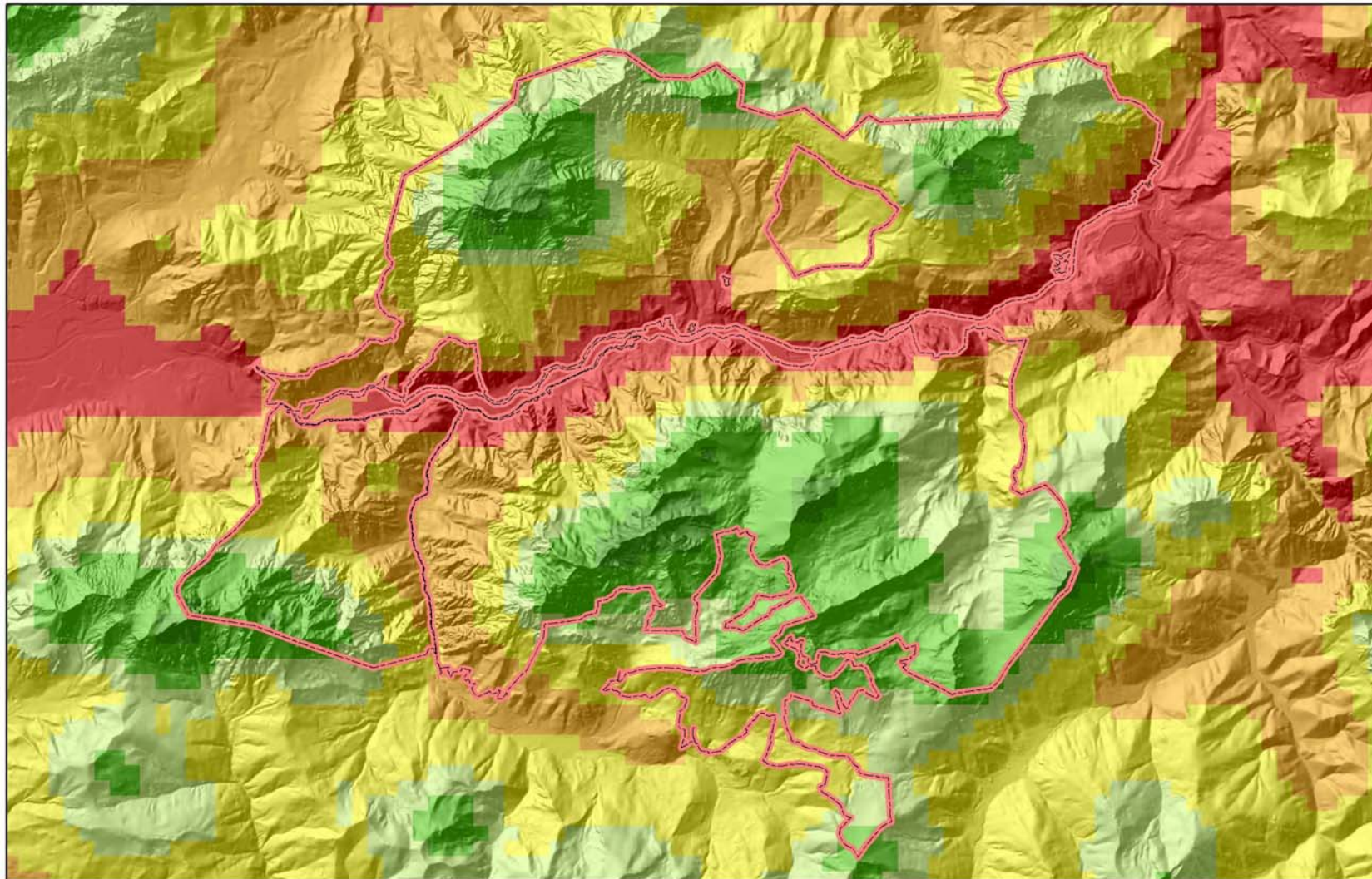




Potentielle Generationen 2001

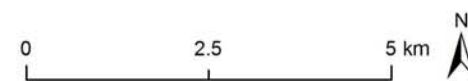
- keine Generationen
 - 1 Generation
 - 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
 - 2 Gen. + Geschwisterbrut
 - 3 Generationen

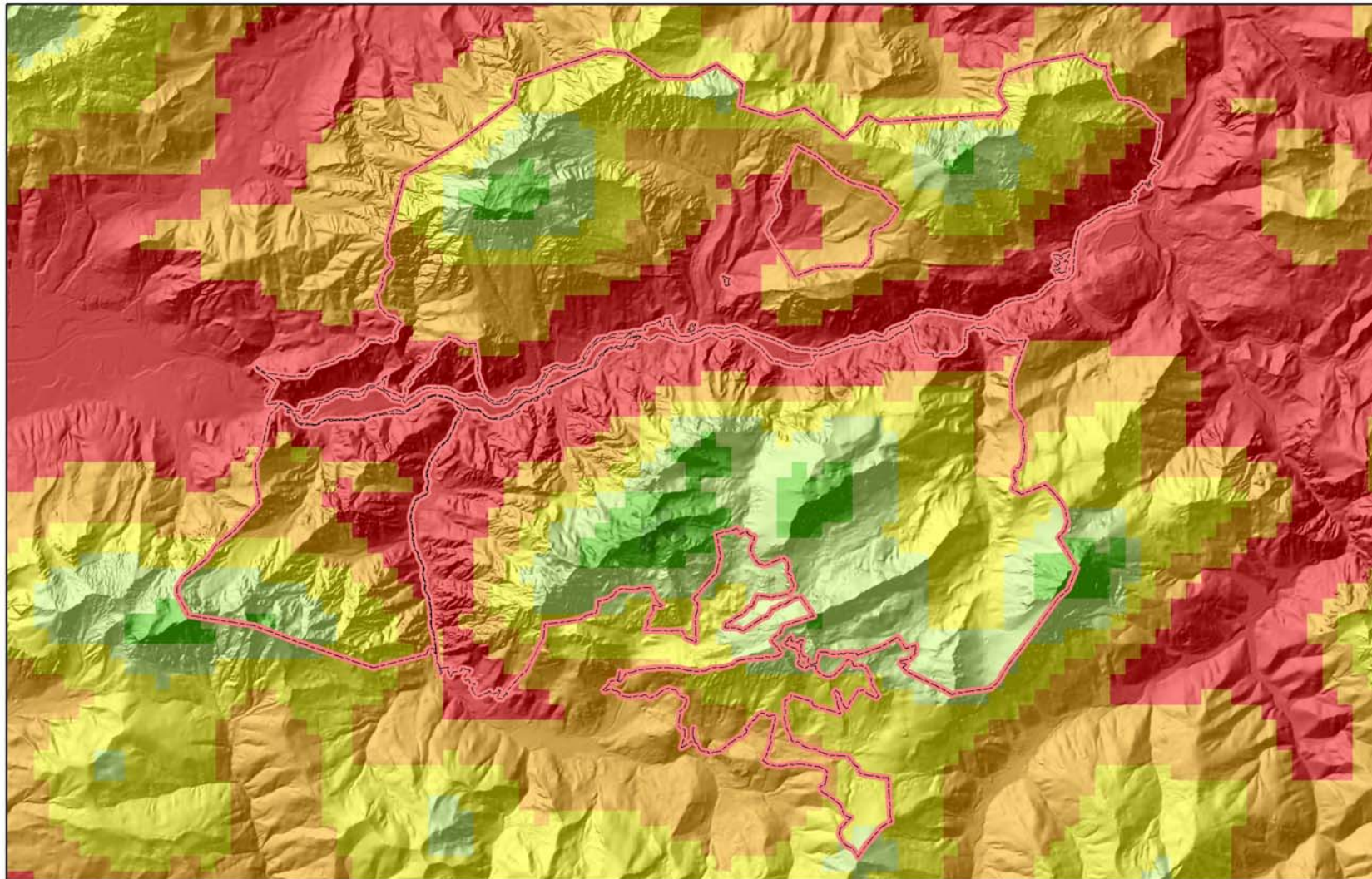




Potentielle Generationen 2002

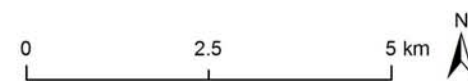
- keine Generationen
 - 1 Generation
 - 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
 - 2 Gen. + Geschwisterbrut
 - 3 Generationen

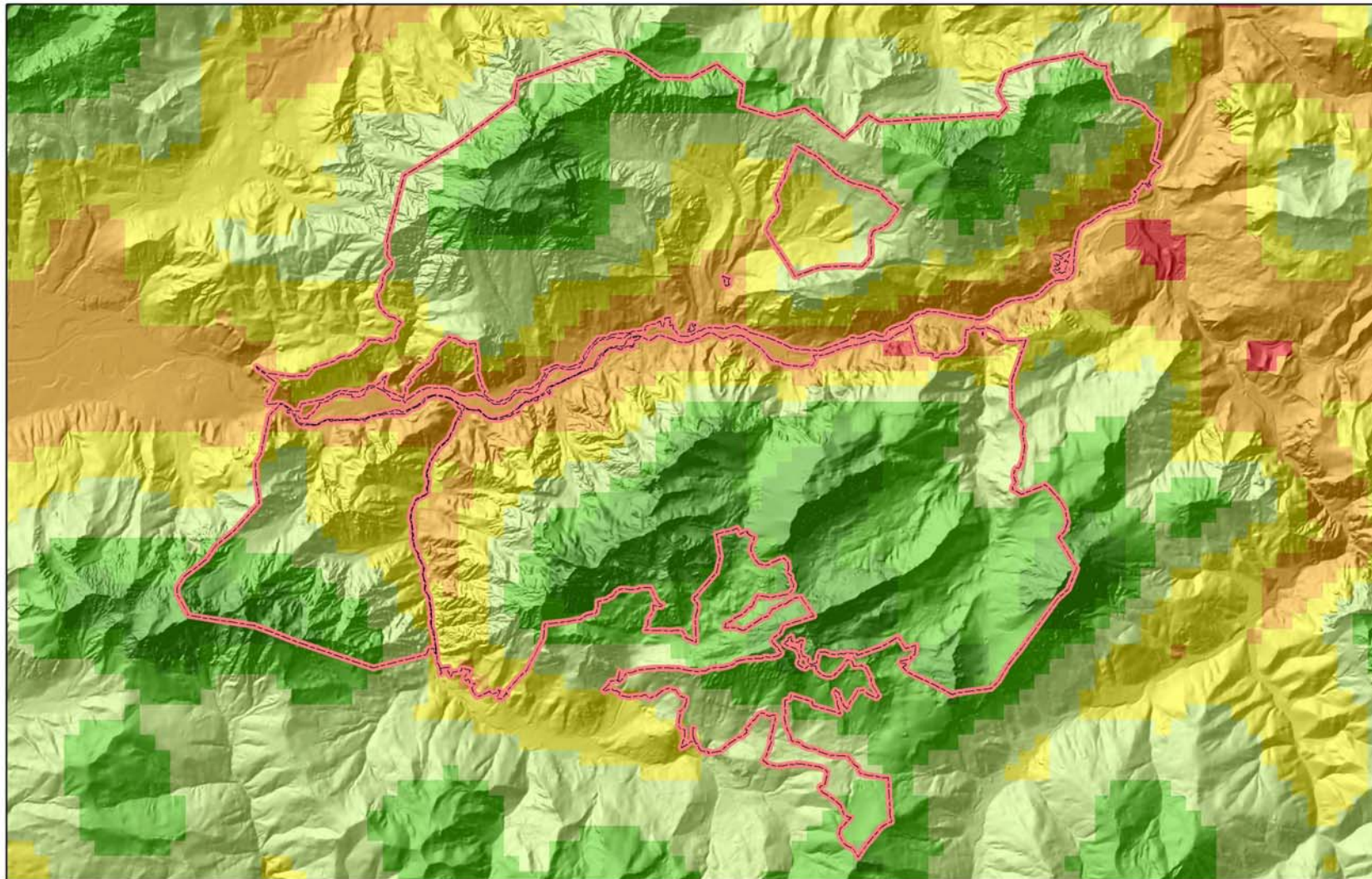




Potentielle Generationen 2003

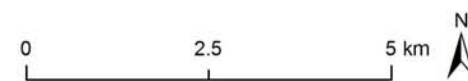
- keine Generationen
 - 1 Generation
 - 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
 - 2 Gen. + Geschwisterbrut
 - 3 Generationen

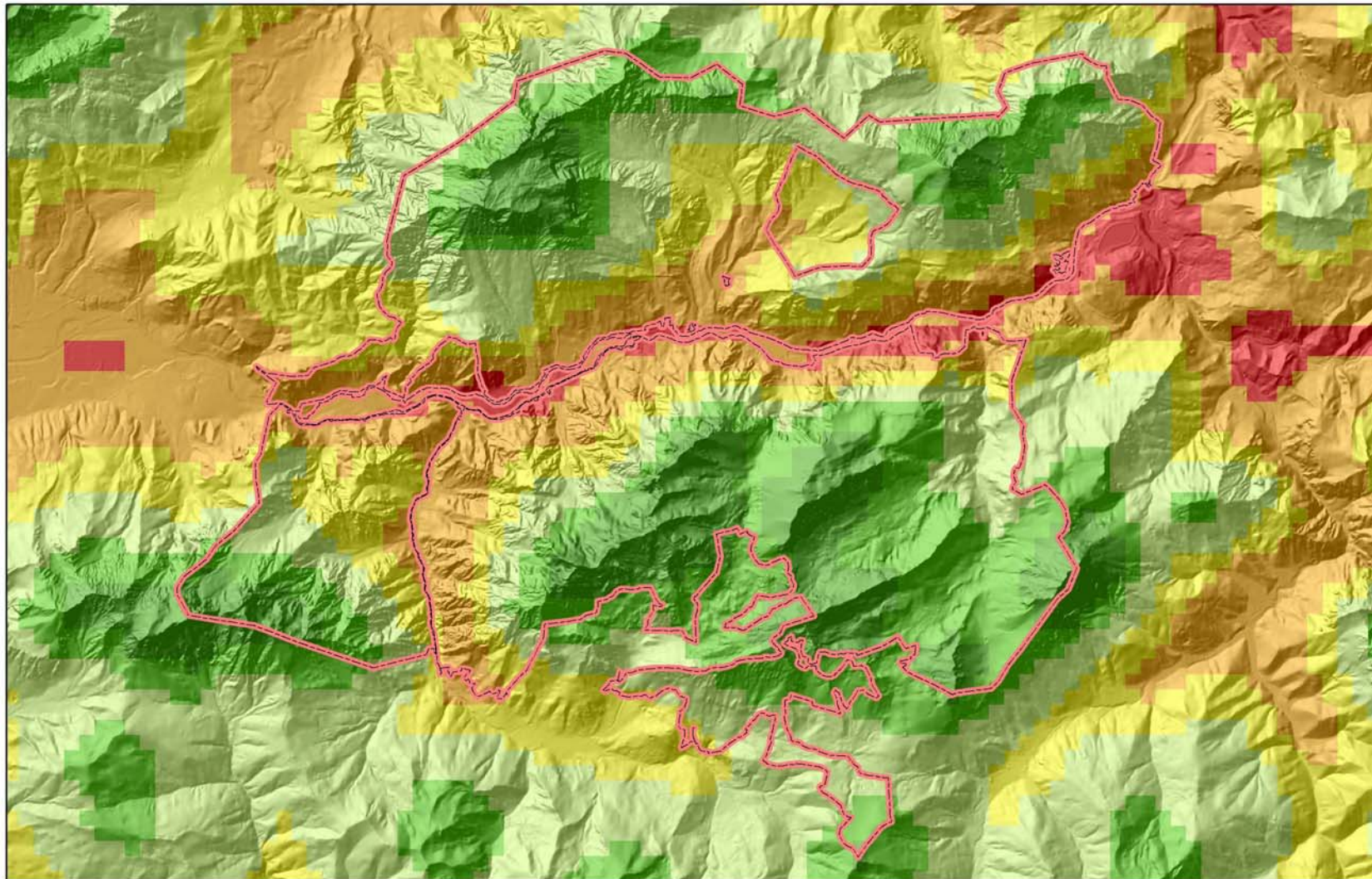




Potentielle Generationen 2004

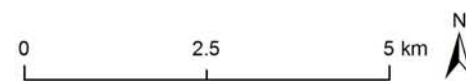
- keine Generationen
 - 1 Generation
 - 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
 - 2 Gen. + Geschwisterbrut
 - 3 Generationen

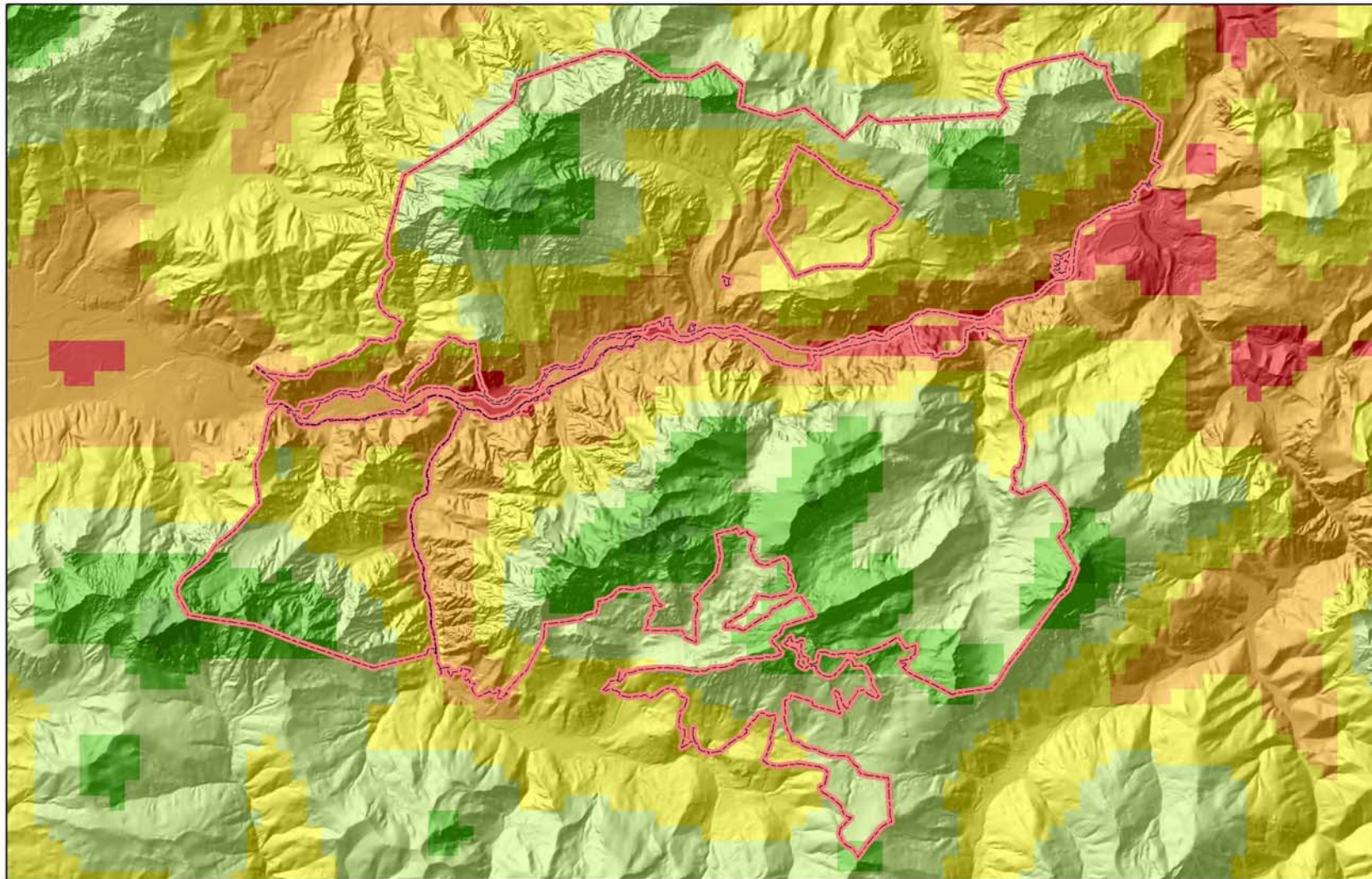




Potentielle Generationen 2005

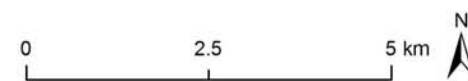
- keine Generationen
- 1 Generation
- 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
- 2 Gen. + Geschwisterbrut
- 3 Generationen

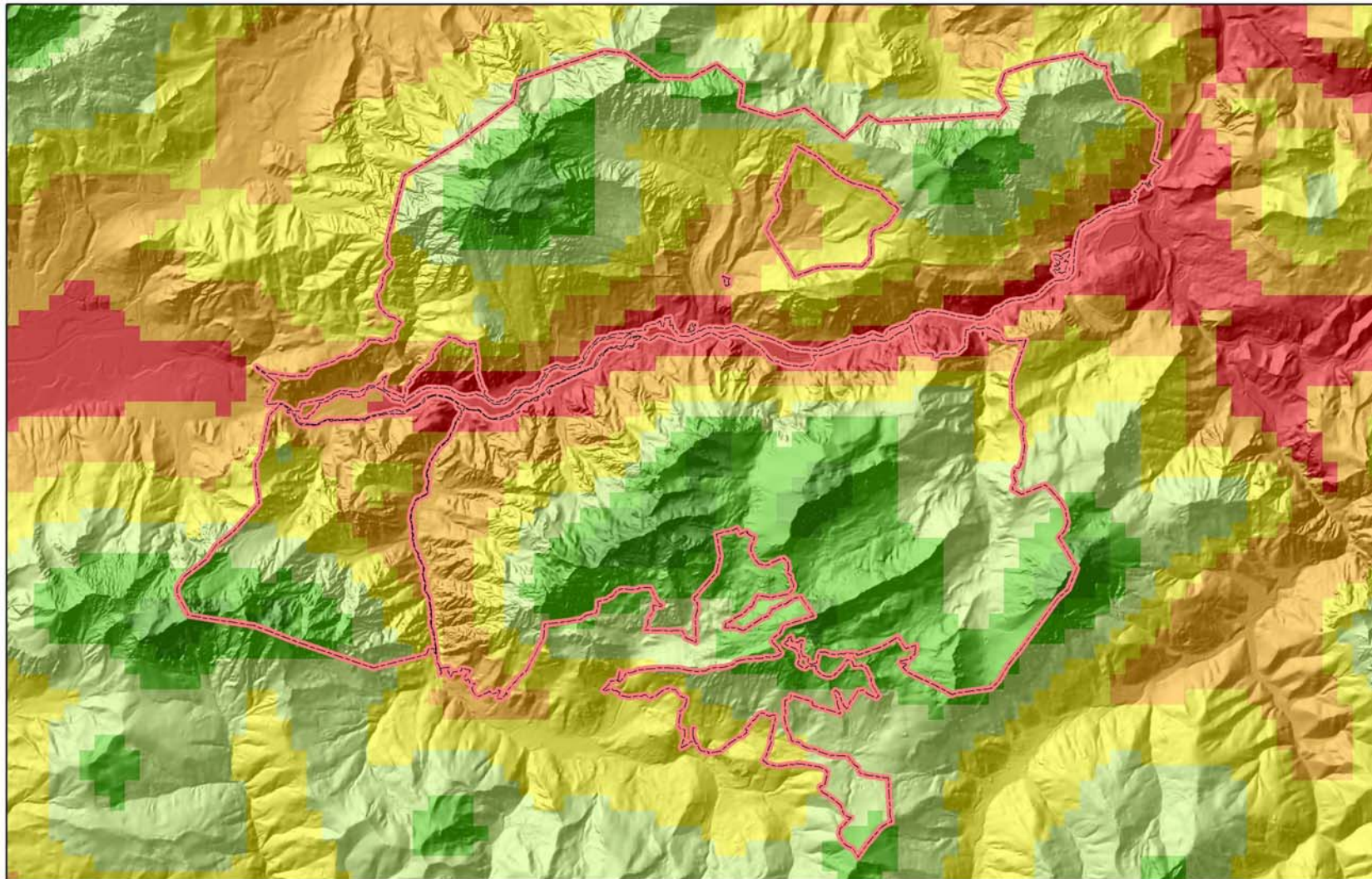




Potentielle Generationen 2006

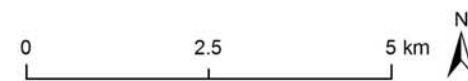
- keine Generationen
 - 1 Generation
 - 1 Gen. + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
 - 2 Gen. + Geschwisterbrut
 - 3 Generationen

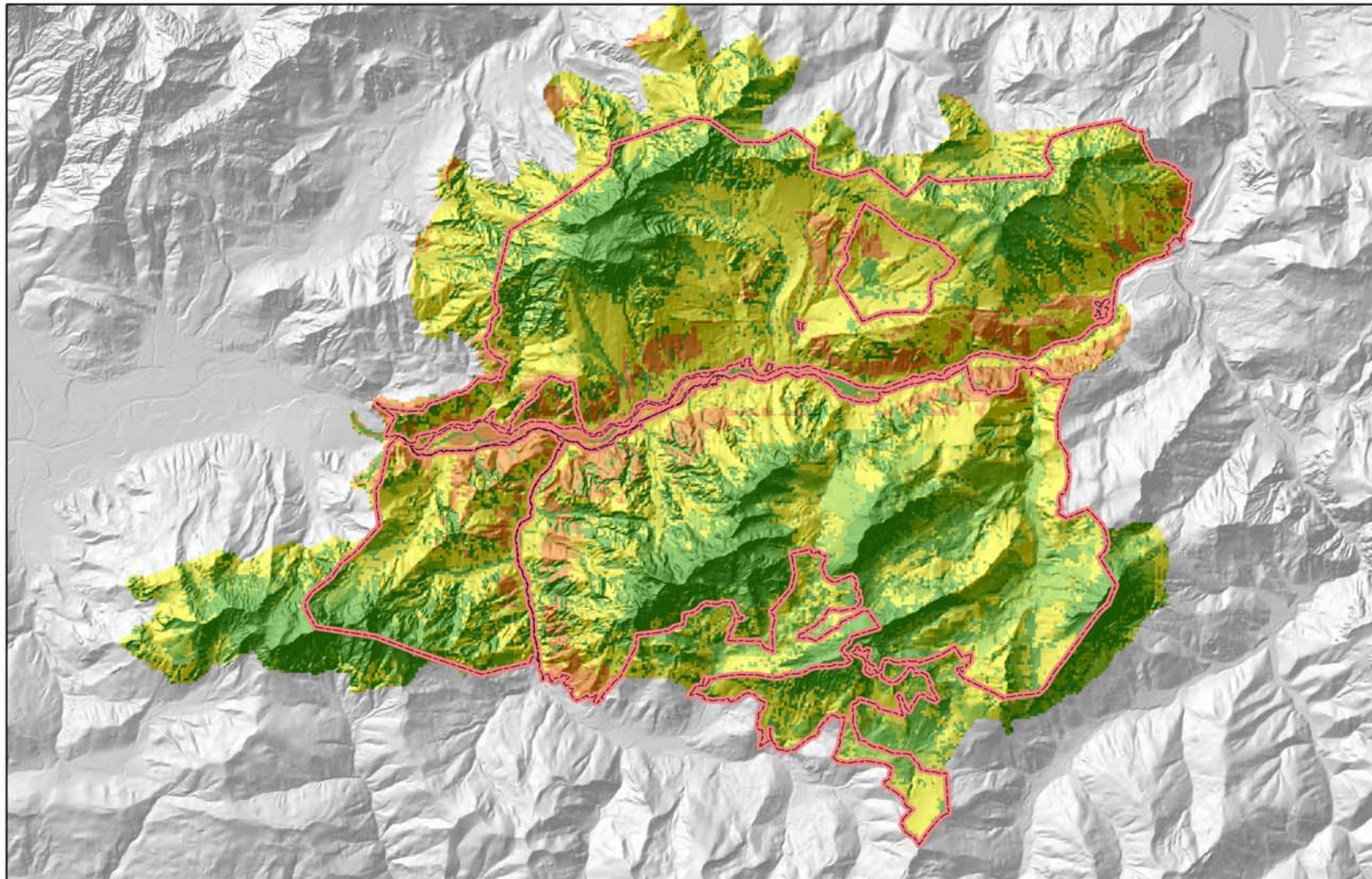




**Mittleres Vermehrungspotential
des Buchdruckers (2000 - 2006)**

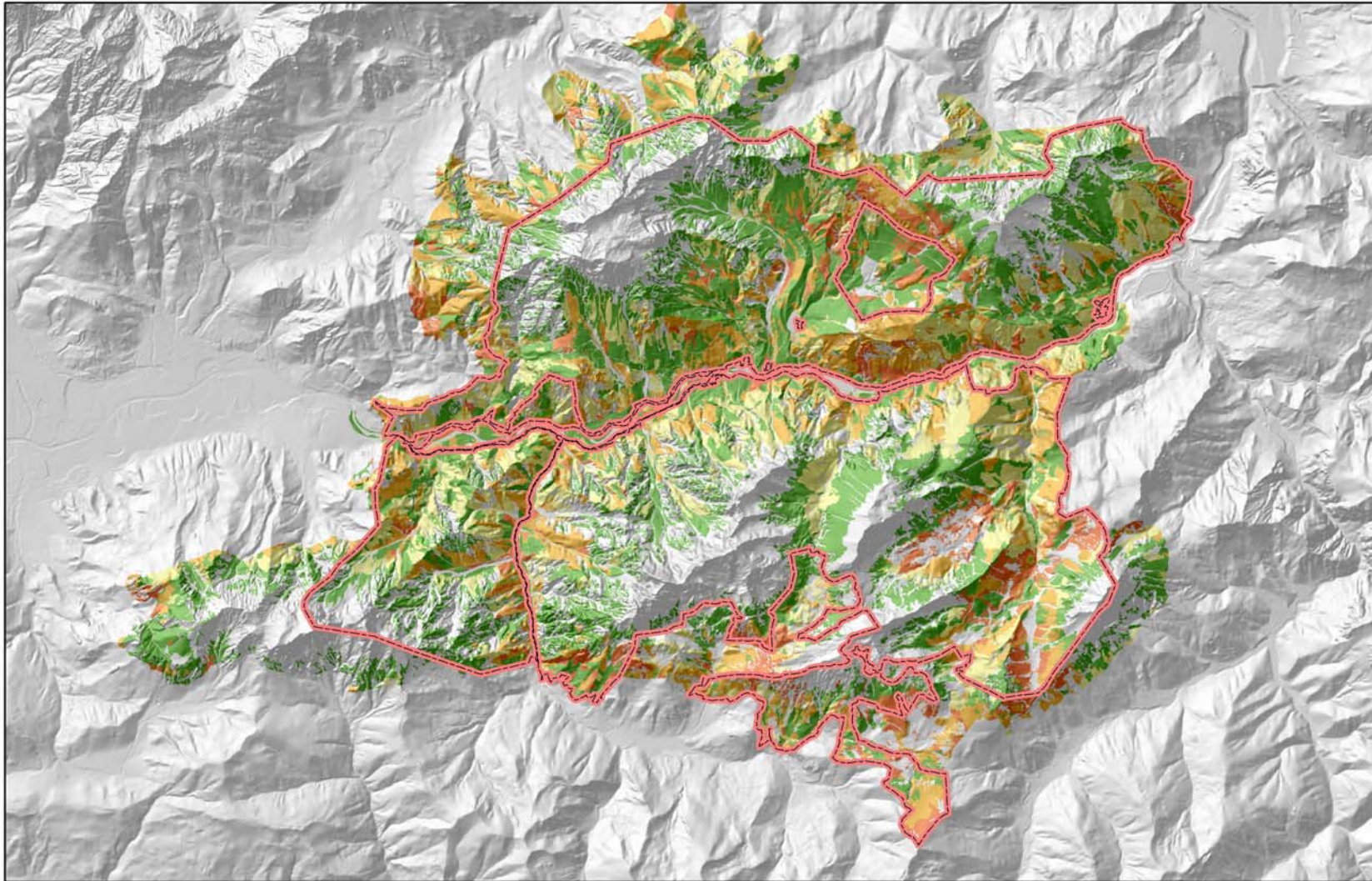
- | | |
|---------------|-------------|
| ■ sehr gering | ■ hoch |
| ■ gering | ■ sehr hoch |
| ■ mittel | |





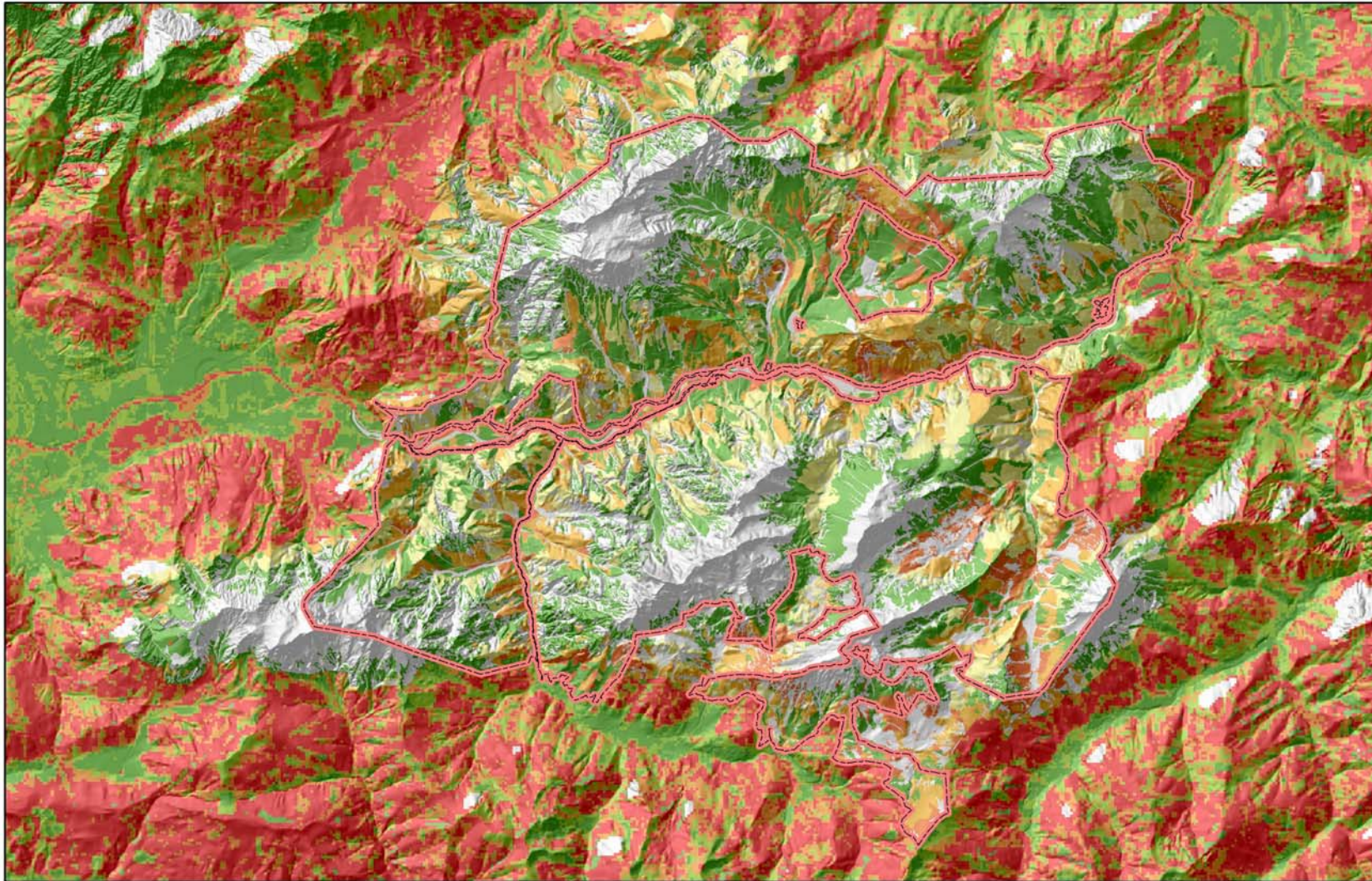
Prädisposition Ips Standort





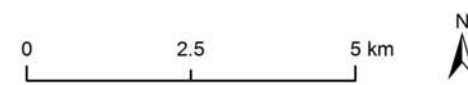
Prädisposition Ips Bestand

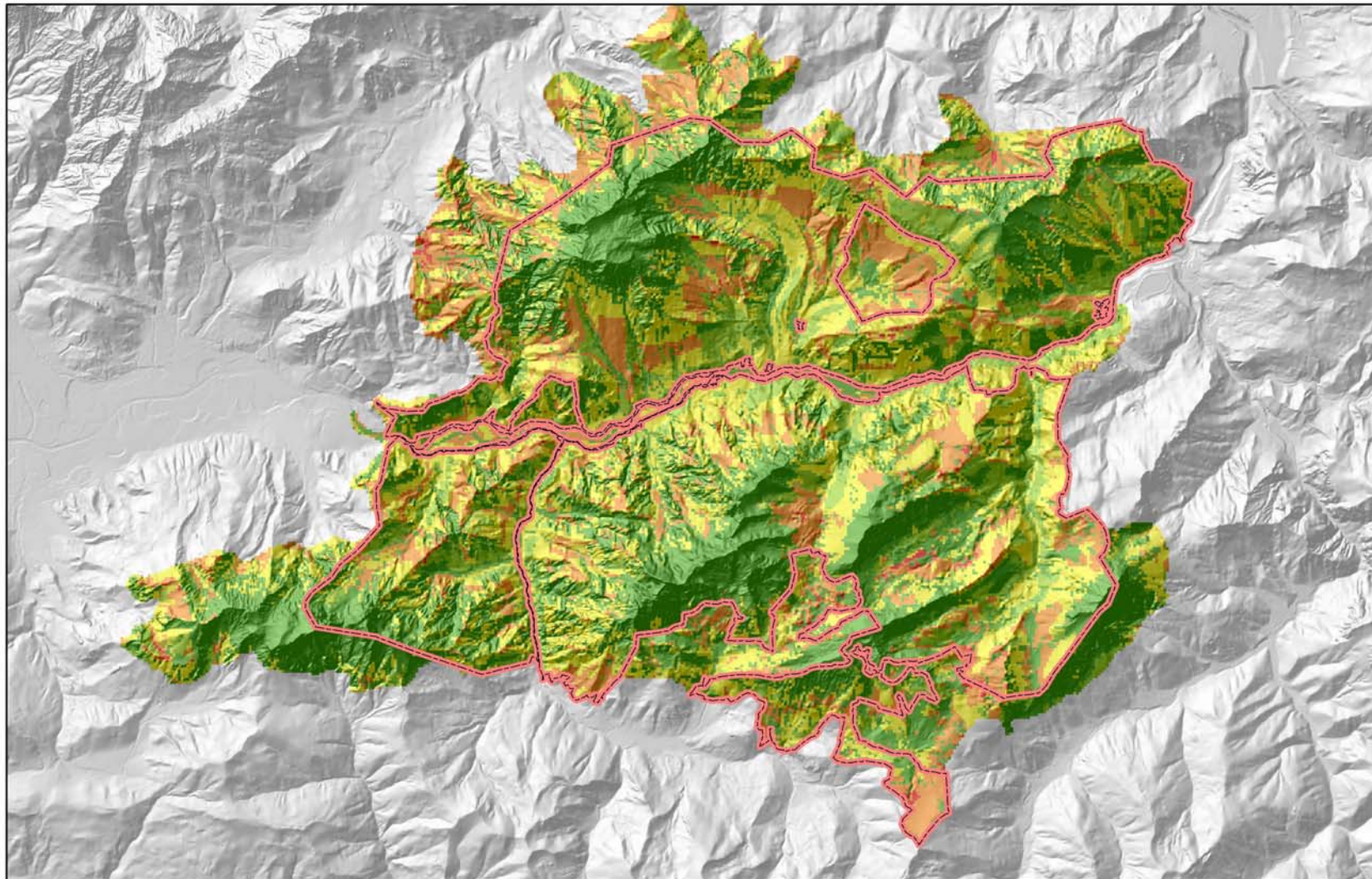




Prädisposition Ibs Bestand
für die Umgebung des Nationalparks mittels Satellitenbilddaten

- | | |
|---------------|-------------|
| ■ sehr gering | ■ hoch |
| ■ gering | ■ sehr hoch |
| ■ mittel | |

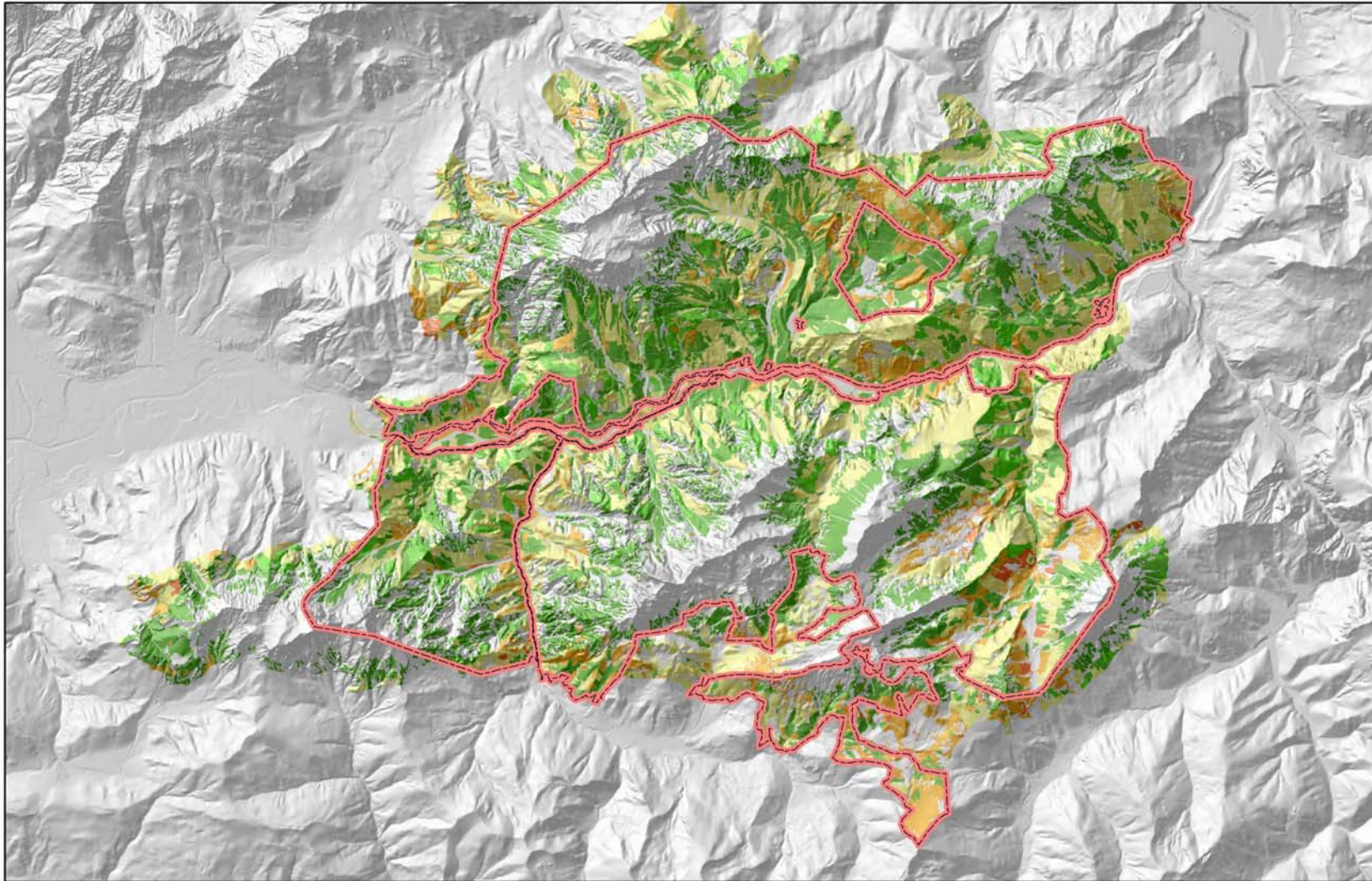




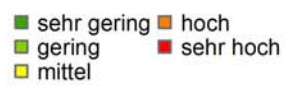
Prädisposition Sturm Standort

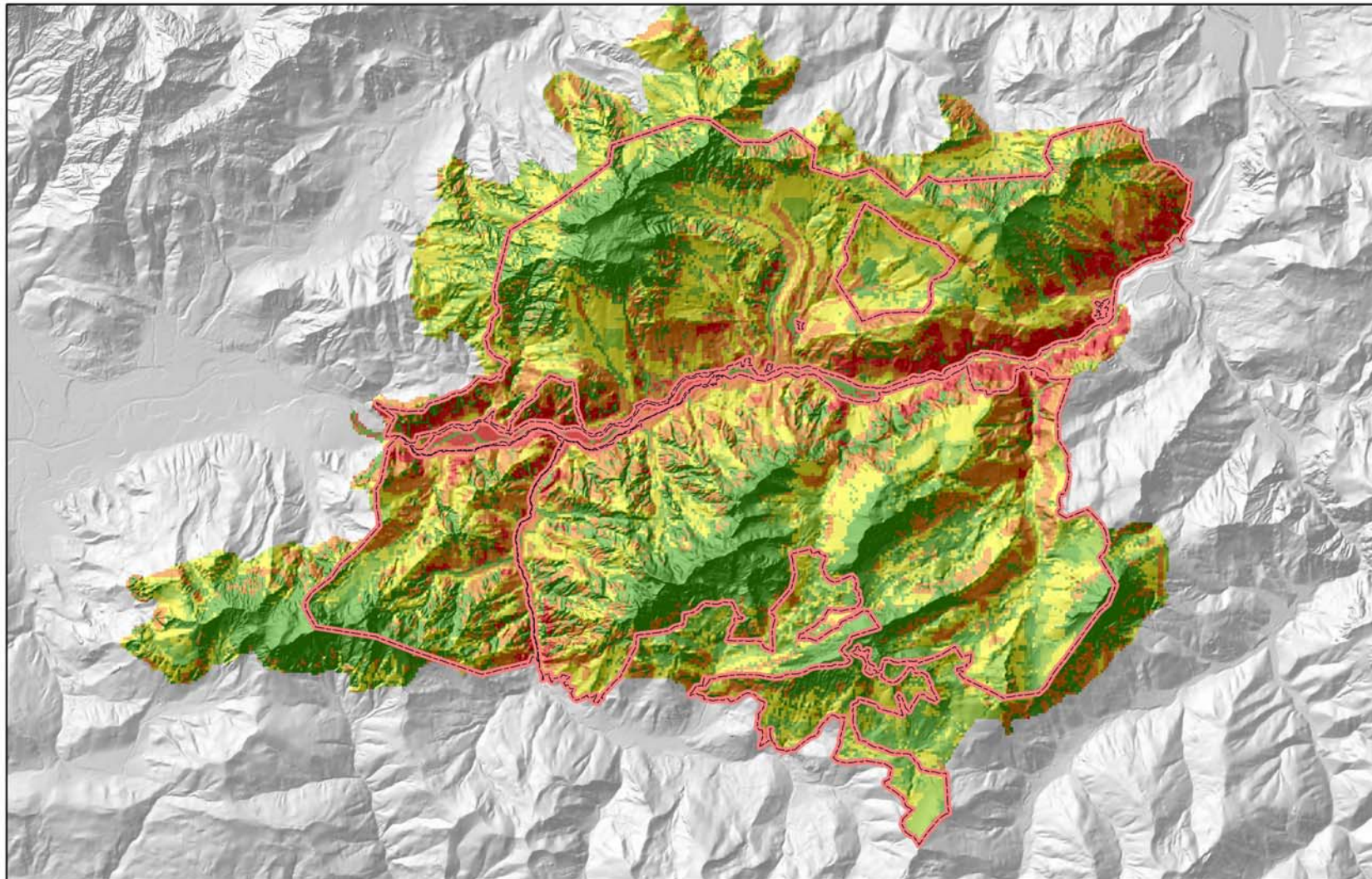
- | | |
|---------------|-------------|
| ■ sehr gering | ■ hoch |
| ■ gering | ■ sehr hoch |
| ■ mittel | |





Prädisposition Sturm Bestand

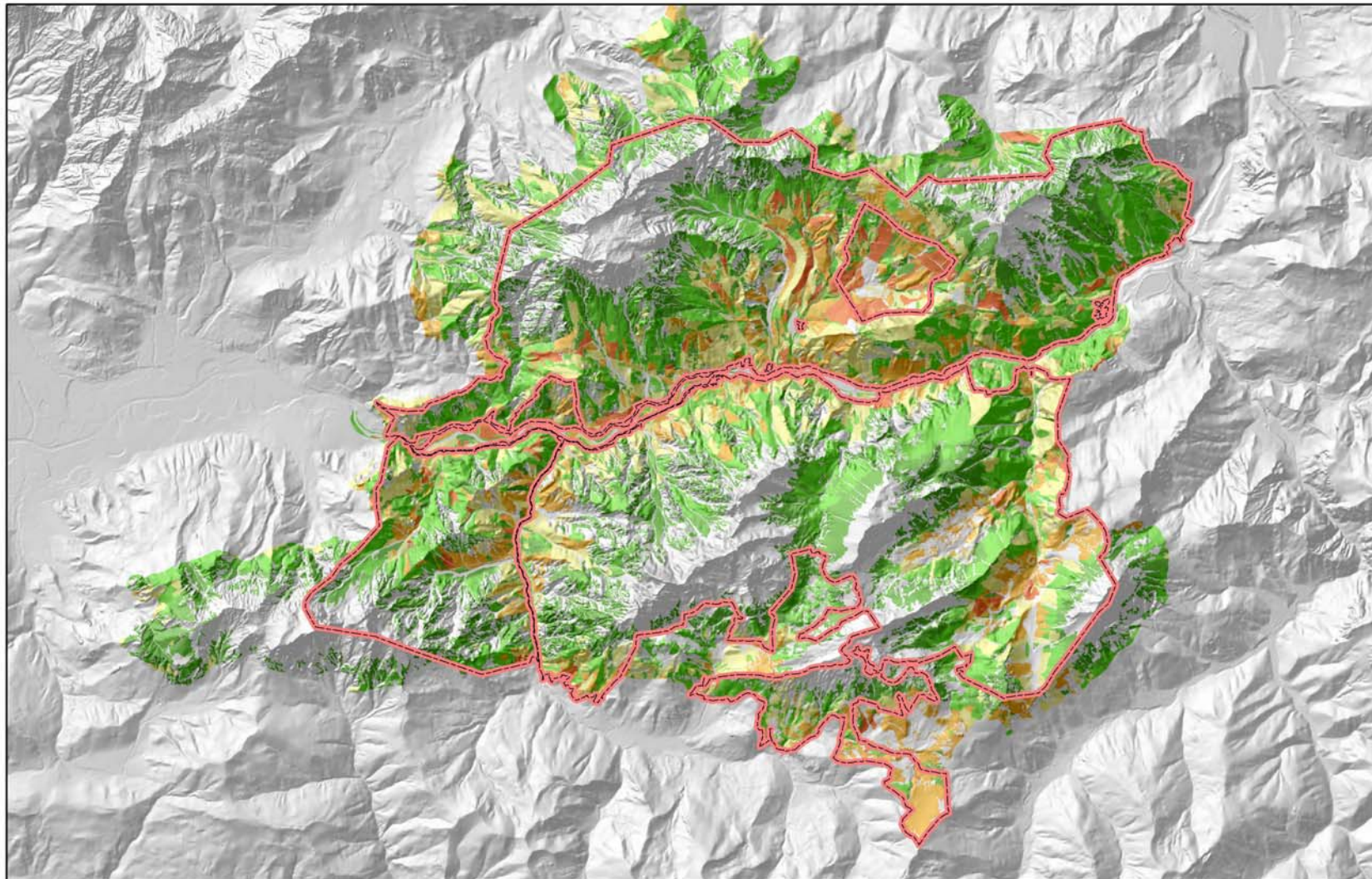




Prädisposition Schnee Standort

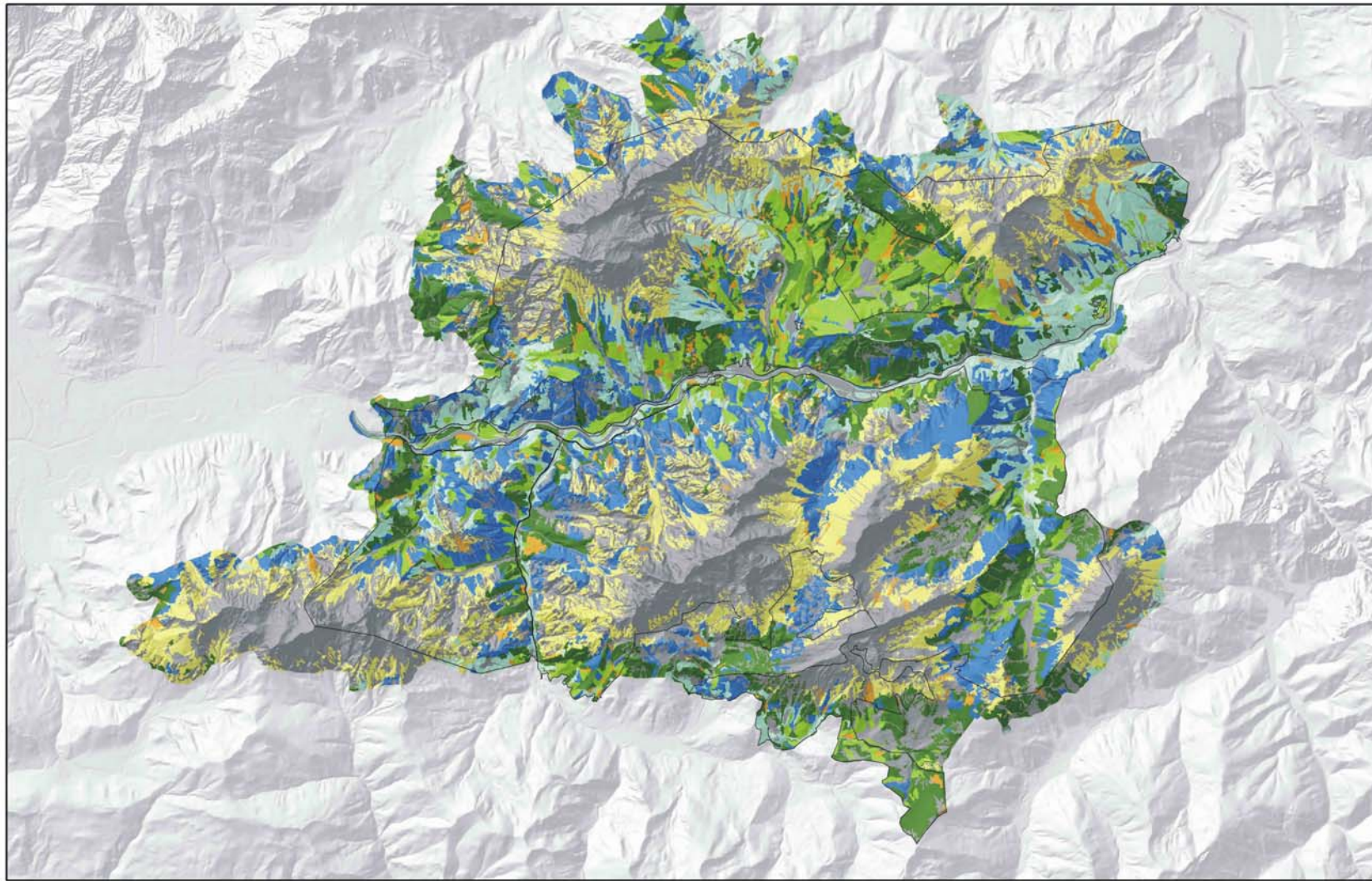
- | | |
|---------------|-------------|
| ■ sehr gering | ■ hoch |
| ■ gering | ■ sehr hoch |
| ■ mittel | |





Prädisposition Schnee Bestand

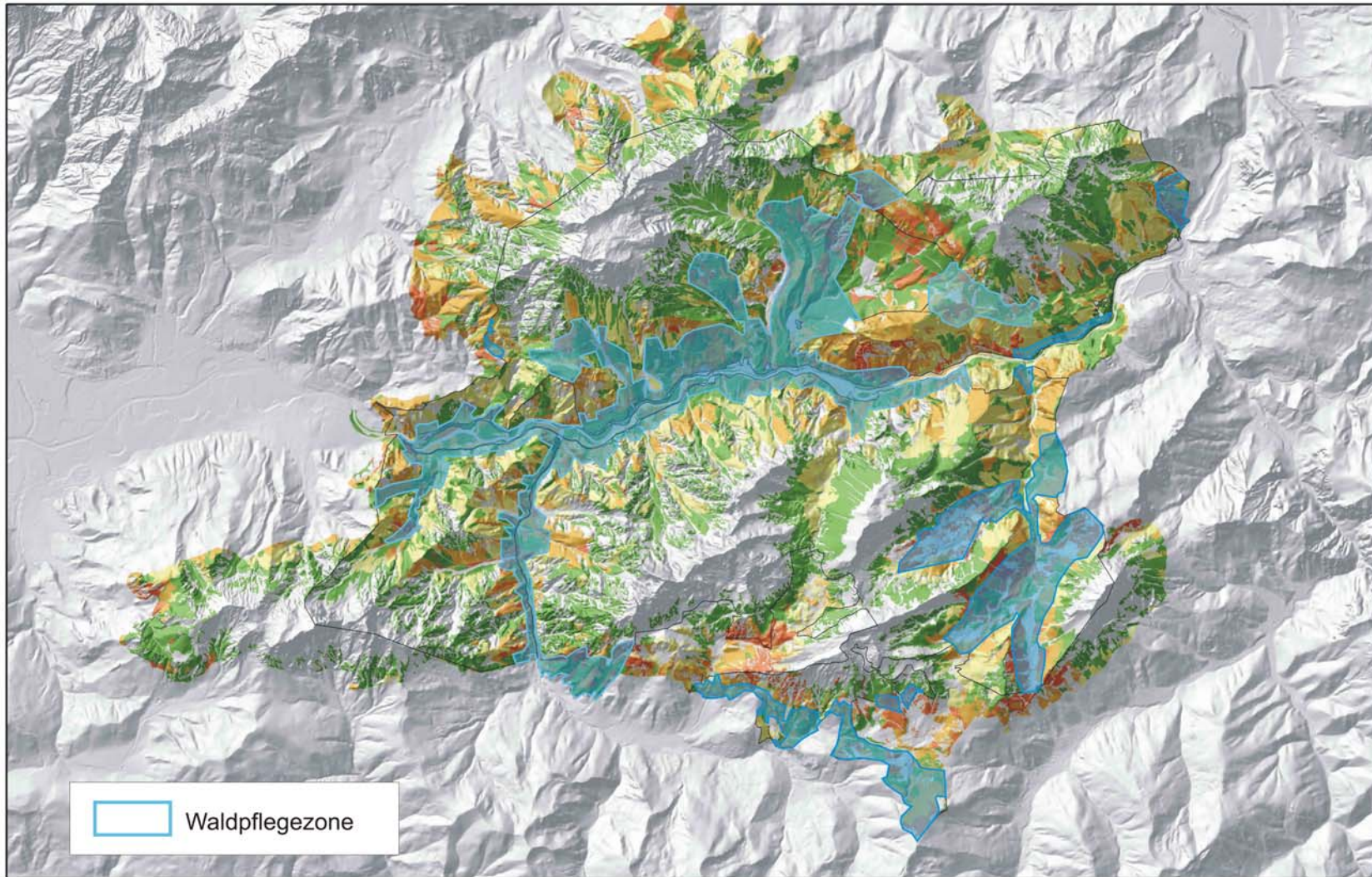




Bestandestypen

- | | | |
|---|--|--|
| ■ Fichtenbestände (alt) | ■ Laubholzbestände | ■ Nichtwaldflächen |
| ■ Fichtenbestände (jung) | ■ Freifläche/Schlag | |
| ■ Mischbestände | ■ Latschenbestände | |





Prädisposition Ips Bestand

■ sehr gering ■ hoch
■ gering ■ sehr hoch
■ mittel

