

**Borkenkäferschäden
in den Enns- und Steyrtaler Voralpen
im Lichte des Klimawandels**

Magisterarbeit

zur Erlangung des akademischen Grades
eines Magisters der Naturwissenschaften
an der Karl-Franzens-Universität

vorgelegt von

Joachim STANGL

am Institut für Geographie und Raumforschung
Begutachter: Ao.Univ.-Prof. Dr. Reinhold LAZAR

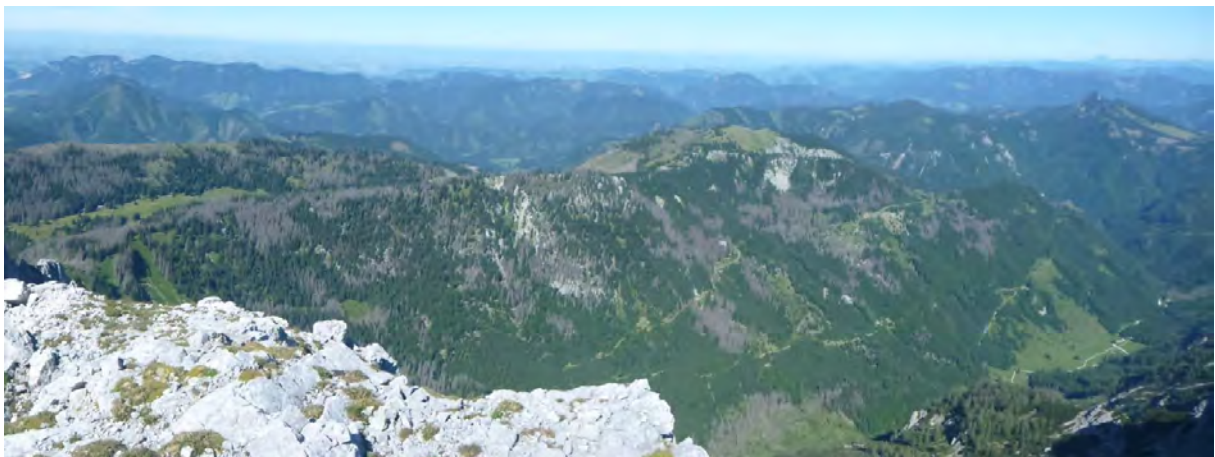
Graz, 2013

Eidesstattliche Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig und ohne fremde Hilfe verfasst habe. Es wurden dabei keine anderen als die angegebenen Quellen und Hilfsmittel verwendet. Alle Stellen, die wörtlich oder inhaltlich anderen Werken entnommen sind, wurden durch Angabe der Quellen kenntlich gemacht.

Graz, 2013

Joachim STANGL



Vorwort

Durch zahlreiche Wanderungen in meiner Heimat, die mich durch das Reichraminger Hintergebirge und durch das Sengsengebirge führten, wurde mir die Problematik des Borkenkäfers deutlich vor Augen geführt. Das aus forstwirtschaftlicher Sicht zerstörerische Potenzial des Borkenkäfers, der in kürzester Zeit das Landschaftsbild komplett verändern kann, tritt hier sehr deutlich in Erscheinung. Aber erst meine beruflichen Erfahrungen bei der Wildbach- und Lawinenschutzverbauung, beim Nationalpark Kalkalpen, beim Nationalpark Gesäuse und beim Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW) gaben mir den Anstoß, mich mit dem Thema Borkenkäfer näher zu befassen. Im Besonderen interessieren mich die Folgen des Klimawandels auf eine mögliche Entwicklung des Borkenkäfers und die unterschiedlichen Sichtweisen zum Borkenkäfer, die vom Zerstörer des Waldes bis hin zum natürlichen Regulator im Ökosystem Wald reichen können.

Um Schäden durch den Borkenkäfer beurteilen zu können, oder gar die Anfälligkeit von Waldstandorten und Beständen gegenüber dem Borkenkäfer abschätzen zu können, sollten neben dem Vermehrungspotenzial des Käfers noch verschiedenste Umweltfaktoren berücksichtigt werden. Standörtliche Faktoren wie Niederschlagsverhältnisse, Temperaturverhältnisse, Eigenschaften des Bodens, Geologie oder geomorphologische Verhältnisse werde ich dabei ebenso berücksichtigen, wie bestandsbezogene Faktoren, welche den Fichtenanteil, die Bestandsstruktur, die Bestandsdichte sowie die Anfälligkeit des Waldes gegenüber Wind- und Schneebrüchen betreffen. Insbesondere die durch den Menschen verursachten Umweltveränderungen, wie etwa die wirtschaftliche Nutzung des Waldes, Immissionsbelastungen, Nährstoffmangel der Bäume oder die Folgen des Klimawandels, spielen eine wichtige Rolle.

Es scheint als erwiesen, dass sich der Klimawandel nicht vollständig stoppen wird lassen und wir uns auf gewisse Änderungen einstellen werden müssen. Zudem können bereits jetzt Auswirkungen des Klimawandels beobachtet werden. Es gilt nun, jetzige oder mögliche zukünftige Auswirkungen zu untersuchen, um sich darauf

vorbereiten zu können. Im Alpenraum werden zudem wesentlich stärkere Veränderungen durch den Klimawandel erwartet als im globalen Mittel. Welchen Einfluss dies auf die Entwicklung des Borkenkäfers haben könnte, soll in dieser Arbeit näher beleuchtet werden.

Zusammenfassung

Die Arbeit befasst sich mit den Borkenkäferschäden in den Enns- und Steyrtaler Voralpen, und welchen Einfluss der Klimawandel auf die Entwicklung des Borkenkäfers haben könnte. Dazu wird zunächst ein landschaftsökologischer Überblick gegeben, der sich mit dem lokalen Klima, den geomorphologischen Verhältnissen, der Geologie und den Bodenverhältnissen im Untersuchungsgebiet befasst. Besonderes Augenmerk wird auf die vorherrschende Waldstruktur im untersuchten Gebiet gelegt. Dann erfolgt eine Beschreibung des Borkenkäfers und welche unterschiedlichen Sichtweisen es zu dieser Thematik gibt. Darüber hinaus werden Umweltveränderungen untersucht, die eine Massenvermehrung des Borkenkäfers begünstigen können. Solche Umweltveränderungen können die Waldnutzung durch den Menschen, sich verändernde Klima- und Witterungseffekte, andere biotische Faktoren, Immissionsbelastungen oder einen Nährstoffmangel der Bäume betreffen. Im sechsten Kapitel dreht sich dann alles um den Klimawandel, welche Entwicklung die Extremwetterereignisse nehmen, wie die Fichte auf ihn reagiert und welche waldbaulichen Anpassungsstrategien im Lichte des Klimawandels getroffen werden können. Das letzte Kapitel befasst sich mit dem Schadbild des Borkenkäfers im Untersuchungsgebiet und welche Maßnahmen gegen ihn getroffen werden können. Im Speziellen wird das Waldwildnisgebiet des Nationalparks Kalkalpen mit Hilfe einer visuellen Interpretation von Luftbildern untersucht, da in diesem Gebiet keine forstwirtschaftlichen Maßnahmen getroffen werden und es sich somit als ein interessantes Forschungsgebiet in der Borkenkäferproblematik darstellt. In dieser Arbeit wurde also versucht, die Thematik aus unterschiedlichen Blickwinkeln zu erfassen. Es hat sich gezeigt, dass der Klimawandel Einfluss auf den Borkenkäfer haben wird und bereits jetzt sichtbare Veränderungen nachweisbar sind. Borkenkäferschäden werden verstärkt bis an die Baumgrenze möglich sein und die Forstwirtschaft reagiert bereits jetzt darauf. Die Komplexität von natürlichen Abläufen in Waldökosystemen stellt die Wissenschaft und die Forstwirtschaft vor eine große Herausforderung, da die Wirkungen und Wechselwirkungen in einer sehr hohen Anzahl vorliegen und von der Mikro- bis zur Makroebene reichen.

Abstract

Bark beetle's damages in the Prealps of the valleys Enns and Steyr in the light of the climate change

The work deals with the effects of a bark beetle damage in the Upper Austrian Alps of the valleys Enns and Steyr, and what impact climate change could have on the development of bark beetles. First, a landscape ecological overview is given, which deals with the local climate, the geomorphological conditions, geology and soil conditions in the study area. Particular emphasis is placed on the predominant forest composition in the studied area. Then, a description of the bark beetle and the different perspectives on this issue is given. In addition, environmental changes are investigated, which can promote a proliferation of bark beetles. Such environmental changes can be the use of the forest by humans, changing climate effects and weather effects, other biotic factors, ambient air pollution or a lack of nutrients of the trees. In the sixth chapter then turns everything about climate change, which take the development of extreme weather events, such as the spruce responded to him and what silvicultural strategies can be taken in the light of climate change. The last chapter deals with the damage of the bark beetle in the study area and what measures can be taken against him. Specifically, the area of the National Park Kalkalpen is examined by using a visual interpretation of aerial photographs, because in this area no forestry measures are taken and so this forest wilderness area represents an interesting research area in the bark beetle problem. So it was trying to approach on many levels to this issue. It has been shown that climate change will have a great influence on the bark beetle and big changes are already visible. Bark beetle damage is possible until to the tree line and the forestry industry is already responding to it. The complexity of natural processes in forest ecosystems is a major challenge in the science and forestry industry, because the effects and interactions are in a very high number and range from the micro to the macro level.

Inhaltsverzeichnis

Eidesstattliche Erklärung	2
Vorwort	3
Zusammenfassung	5
Abstract.....	6
Abbildungsverzeichnis	9
Tabellenverzeichnis	15
1 Einleitung	16
2 Arbeitsmethodik	16
3 Eingrenzung und geographische Beurteilung des Untersuchungs- gebiets	20
3.1 Eingrenzung des Untersuchungsgebiets	20
3.2 Landschaftsökologischer Überblick	21
3.2.1 Klima	22
3.2.2 Geomorphologie	27
3.2.3 Geologie	29
3.2.4 Böden	34
3.2.5 Landschaftsökologisches Profil	38
3.3 Potentiell natürliche Waldgesellschaften im Untersuchungsgebiet.....	40
3.3.1 Standortbedürfnisse der wichtigsten Wirtsbaumarten für Borkenkäfer	40
3.3.2 Natürliche Waldgesellschaften	45
3.4 Die Waldstruktur im Untersuchungsgebiet.....	49
4 Der Borkenkäfer	54
4.1 Die Biologie des Borkenkäfers.....	55
4.2 Der Platz des Borkenkäfers in der Natur	58
4.3 Die Borkenkäfersituation in Österreich	60
4.4 Unterschiedliche Sichtweisen zum Borkenkäfer	62

5 Begünstigungen von Borkenkäfer-Massenvermehrungen durch Umweltveränderungen.....	65
5.1 Die Waldnutzung durch den Menschen	65
5.2 Klima- und Witterungseffekte.....	67
5.3 Biotische Faktoren	75
5.4 Immissionen	81
5.5 Nährstoffmangel	85
6 Waldschäden im Lichte des Klimawandels	86
6.1 Einführung in den globalen Klimawandel.....	86
6.2 Der Klimawandel im Untersuchungsgebiet	91
6.3 Den Borkenkäfer begünstigende Extremwetterereignisse	99
6.3.1 Stürme und Sturmschäden	100
6.3.2 Hitzetage, tropische Nächte und Hitzeperioden.....	104
6.3.3 Trockenperioden.....	106
6.4 Die Fichte im Klimawandel	109
6.5 Waldbauliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel.....	111
7 Borkenkäferschäden im Untersuchungsgebiet	117
7.1 Das Schadbild des Borkenkäfers im Untersuchungsgebiet	117
7.2 Borkenkäferschäden im Nationalpark Kalkalpen	119
7.3 Ergebnisse der Luftbildinterpretationen im Nationalpark Kalkalpen.....	123
7.4 Luftbildinterpretationen im Vergleich mit einer vorangegangenen Risikoabschätzung im Nationalpark Kalkalpen	130
7.5 Maßnahmen gegen den Borkenkäfer	136
8 Schlussfolgerungen.....	140
Literaturverzeichnis	143
Anhang	153

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Übersichtskarten der RGB- und CIR-Luftbilddaten mit dem Jahr der Aufnahme und beispielhaften Ausschnitten (Quelle der Luftbilder: LAND OBERÖSTERREICH, ABT. GEOINFORMATION UND LIEGENSCHAFT, eigene Darstellung)	19
Abbildung 2: Eingrenzung des Untersuchungsgebiets (Quellen: AUSTRIAN MAP ÖK200 (große Karte, verändert) und AUSTRIA FORUM (kleine Karte, verändert)).....	20
Abbildung 3: Raumeinheiten im Untersuchungsgebiet (Gliederung nach den Leitbildern von Oberösterreich) (Quelle: LAND OBERÖSTERREICH 2007a-e, eigene Darstellung)	22
Abbildung 4: Niederschlags- und Lufttemperaturmessstellen des Hydrographischen Dienstes und der ZAMG im Untersuchungsgebiet (Quelle: BMLFUW 2009, eigene Darstellung)	23
Abbildung 5: Klimadiagramme nach Walter-Lieth für Steyr, Weyer und Windischgarsten (Quelle: ZAMG 3).....	23
Abbildung 6: Jahres-, Jänner- und Julimitteltemperaturen im Untersuchungsgebiet (30-jährige Mittelwerte) (Quelle: AUER et al. 2001, eigene Darstellung).....	24
Abbildung 7: Jahres-, Winter- und Sommerniederschlagssummen im Untersuchungsgebiet (30-jährige Mittelwerte) (Quelle: AUER et al. 2001, eigene Darstellung).....	26
Abbildung 8: Jahresneuschneesumme im Untersuchungsgebiet (30-jährige Mittelwerte) (Quelle: AUER et al. 2001, eigene Darstellung)	27
Abbildung 9: Die Flyschzone (eigene Aufnahme vom Schieferstein mit Blickrichtung N bis E am 16.10.2011).....	27
Abbildung 10: Das Sengengebirge (eigene Aufnahme von der Feuchtau mit Blickrichtung S am 17.10.2011).....	28
Abbildung 11: Das Ennstal (eigene Aufnahme vom Schieferstein mit Blickrichtung SE am 16.10.2011).....	29
Abbildung 12: Geologisches Profil der Flyschzone (Quelle: OBERHAUSER 1980, S. 203, eigene Darstellung)	30
Abbildung 13: Geologisches Profil der Kalkalpen (Quelle: OBERHAUSER 1980, S. 261, eigene Darstellung)	31
Abbildung 14: Geologie im Untersuchungsgebiet (Quelle: Geologische Bundesanstalt 2006, eigene Darstellung).....	33
Abbildung 15: Böden und Standortbeurteilung im Untersuchungsgebiet (Quelle: ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 1979, eigene Darstellung).....	35
Abbildung 16: Übersichtskarte des landschaftsökologischen Profils (Kartenquelle: LAND OBERÖSTERREICH 2012a, eigene Darstellung).....	38
Abbildung 17: Landschaftsökologisches Profil im Untersuchungsgebiet (Datenquellen: AUER et al. 2001, BFW 2010b, GOOGLE EARTH 2011, INSTITUT F. LANDESKUNDE V. OBERÖSTERREICH 1971, KF-UNI-GRAZ 1990, LAND OBERÖSTERREICH 2007a-e, LAND OBERÖSTERREICH 2012a u. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER OBERÖSTERREICH 2012, eigene Darstellung)	39

Abbildung 18: Lichtbedarf und Höhenverbreitung (linke Graphik) und Nährstoffbedarf und Bodenwasserhaushalt (rechte Graphik) der einzelnen Baumarten (Quelle: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH 2007, S. 8)	40
Abbildung 19: Natürliche Waldgesellschaften in Österreich (links) und in Oberösterreich (rechts) (Quellen: linke Graphik: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH 2007, S. 9, rechte Graphik: LAND OBERÖSTERREICH 2012b, verändert)	46
Abbildung 20: Waldtypen im Untersuchungsgebiet (Quelle: BFW 2010b, eigene Darstellung) .	49
Abbildung 21: Räumliche Verteilung der einzelnen Baumarten im Untersuchungsgebiet (Quelle: SCHADAUER et al. 2011, eigene Darstellung)	50
Abbildung 22: Höhenabhängige Baumartenverteilung in % in den Bezirken Steyr und Kirchdorf a. d. Krems (Datenquelle: BFW - Österreichische Waldinventur, eigene Darstellung)	51
Abbildung 23: Gesamtholzvorrat, Holzvorrat für Laub- u. laubdominierten Mischwald und Nadel- u. nadeldominierten Mischwald in Vorratsfestmeter (Vfm) je 500m x 500m Zelle (25 ha) (Quelle: BFW 2010c, eigene Darstellung)	52
Abbildung 24: Baumartenverteilung im Nationalpark Kalkalpen (Datenquelle: NATIONALPARK KALKALPEN, eigene Darstellung)	53
Abbildung 25: Der Buchdrucker (linkes Bild, WERMELINGER et al. 2007), sein Brutbild (mittleres Bild, WERMELINGER et al. 2007) und seine Einbohrlöcher (rechtes Bild, eigene Aufnahme, 17.10.2011 im NP Kalkalpen)	56
Abbildung 26: Die temperaturabhängige Entwicklungsdauer des Buchdruckers (WERMELINGER & SEIFERT 1998 zitiert nach TOMICZEK & PFISTER 2008, S. 23)	57
Abbildung 27: Schadholzmengen aufgrund von Sturm und Schneedruck im Vergleich zu Borkenkäferschäden in Mio. m ³ von 1944 bis 2011 (Quelle: BFW 2012, S. 5)	60
Abbildung 28: Borkenkäferschadholzmengen nach Bundesländern von 1988 bis 2011 (Quelle: BFW 2012, S. 12)	61
Abbildung 29: Verteilung des Buchdruckers in Österreich 2011 (Quelle: BFW 2012, S. 28)	61
Abbildung 30: Verteilung des Kupferstechers in Österreich 2010 (Quelle: BFW 2011, S. 60)	62
Abbildung 31: Der Waldentwicklungsplan für das Untersuchungsgebiet (Kartenquelle: LAND OBERÖSTERREICH 2012a, eigene Darstellung).....	63
Abbildung 32: Natürliche Dynamik im Ökosystem Wald (eigenes Foto aufgenommen südlich des Zwielaufs im Nationalpark Kalkalpen am 17.10.2011).....	64
Abbildung 33: "Großer Urwald" im Wildnisgebiet Dürrenstein (eigene Aufnahme vom 22.10.2012).....	66
Abbildung 34: Windwurffläche im oberen Blöttenbachtal südlich des Zwielaufs (eigene Fotos, links aufgenommen am 17.10.2011 und Foto rechts aufgenommen am 28.06.2011 vom Hohen Nock mit Blickrichtung NE)	69
Abbildung 35: Umwelteinflüsse auf verschiedene Borkenkäferarten (FORSTER & MEIER 2010, S. 2).....	70

Abbildung 36: Potenzieller Entwicklungsbeginn und potenzielle Anzahl von Generationen des Buchdruckers für die Jahre 2000 - 2006 im Untersuchungsgebiet (Quelle: PHENIPS, eigene Darstellung).....	73
Abbildung 37: Mittleres Vermehrungspotential des Buchdruckers im Nationalpark Kalkalpen und seiner näheren Umgebung (Quelle: SCHOPF et al. 2004, eigene Darstellung).....	74
Abbildung 38: Vergleich der Wildeinflussnahme an den Wildeinflussmonitoring-Flächen in Österreich, im Land Oberösterreich, in den einzelnen natürlichen Waldgesellschaften Oberösterreichs und in den Bezirken Kirchdorf und Steyr, inklusive dem Vorhandensein von Zielbaumarten für den Aufbau natürlicher Waldgesellschaften in % (Quelle: BFW 2007, S. 6, 8, 9 u. 13 (leicht verändert)).....	78
Abbildung 39: Vergleich der gesamten Baumartenverteilung mit der unverbissenen Baumartenverteilung nach Höhenklassen an den WEM-Flächen in Oberösterreich in % (Quelle: BFW 2007, S. 13).....	79
Abbildung 40: Maximum, 95-Perzentil, Mittelwert und Minimum der Jahresmittelwerte (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) der österreichischen SO_2 -Messstellen 1992-2009 sowie SO_2 -Emissionen (in kt) in Österreich 1992-2008 (SPANGL UND NAGL 2010, S. 61)	81
Abbildung 41: Schwefeldioxidmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge 2000-2009, max. HMW (maximaler Halbstundenmittelwert), max. TMW (maximaler Tagesmittelwert), JMW (Jahresmittelwert), WMW (Wintermittelwert) (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung)	82
Abbildung 42: Maximum, 95-Perzentil, Mittelwert und Minimum der Jahresmittelwerte von NO_2 und NO_x an den österreichischen Messstellen 1997-2009 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (SPANGL UND NAGL 2010, S. 56).....	82
Abbildung 43: Stickstoffdioxidmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge 2000-2009, max. HMW (maximaler Halbstundenmittelwert), max. TMW (maximaler Tagesmittelwert), NO_2 JMW (NO_2 -Jahresmittelwert), NO_x JMW (NO_x -Jahresmittelwert) (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung)	83
Abbildung 44: Maximum, 95-Perzentil, Mittelwert und Minimum der Jahresmittelwerte der österreichischen Ozonmessstellen 1993-2009 (in $\mu\text{m}/\text{m}^3$) (SPANGL UND NAGL 2010, S. 97) ..	84
Abbildung 45: Ozonmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge 2000-2009, Max. MW1 (maximaler Einstundenmittelwert), JMW (Jahresmittelwert) (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung)	84
Abbildung 46: Jungbaum auf liegendem Totholz (eigene Aufnahme im "Großen Urwald" des Wildnisgebiets Dürrenstein vom 22.10.2012)	85
Abbildung 47: Änderungen in der mittleren globalen Temperatur, des mittleren globalen Meeresspiegels und der nordhemisphärischen Schneebedeckung (IPCC 2007, S. 6)	89
Abbildung 48: Jahresmitteltemperaturen mit linearen Trendlinien der Klimastationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pankraz für den Zeitraum 1960 - 2009 (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung)	91

Abbildung 49: Normalverteilung der jährlichen Mitteltemperaturen für die Zeitperioden 1960 bis 1984 (blaue Linie) und 1985 bis 2009 (rote Linie) der Klimastationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pangraz (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung).....	92
Abbildung 50: Saisonale Temperaturänderungen in °C für 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990 nach dem Regionalmodell MM5 (Quelle: reclip:more 2007, S. 9)	93
Abbildung 51: Entwicklungsdauer des Buchdruckers in Tagen bei veränderten Temperaturverhältnissen in der Vegetationsperiode (Tomiczek & Pfister 2008, S. 23)	94
Abbildung 52: Jahresniederschlagssummen mit linearen Trendlinien für die Klimastationen Klaus a.d. Phyrnb., Molln, Waldneukirchen, Unterlaussa, Maria Neustift, Kleinreifling und Weyer für den Zeitraum 1960 - 2009 (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung) (Auswertung aller Klimastationen im Anhang)	95
Abbildung 53: Anzahl der Tage mit einem Niederschlag von $\geq 0,1$ mm und linearen Trendlinien für den Zeitraum 1965 bis 2009 (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung) (Auswertung aller Klimastationen im Anhang)	97
Abbildung 54: Niederschlag des Sommerhalbjahres (rote Linie) und Niederschlag des Winterhalbjahres (blaue Linie) in % an der Jahresniederschlagssumme mit linearen Trendlinien (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung).....	98
Abbildung 55: Saisonale Niederschlagsänderungen in % für 2041 bis 2050 im Vergleich zu 1981 bis 1990 nach dem Regionalmodell MM5 (Quelle: reclip:more 2007, S. 9)	99
Abbildung 56: Sturmtätigkeit in Nordwest-, Nord- und Mitteleuropa aus europäischen Luftdruckreihen von 1880 bis 2005 (20jähriges geglättetes p99-Perzentil: Verlauf eines Index der Häufigkeit von starken Stürmen) (Quelle: MATULLA et al. 2007 in BÖHM 2008, S. 190)	100
Abbildung 57: Geostrophische Windgeschwindigkeiten ab dem Jahr 1830 für das Gebiet Genua-Padua-Turin (p50-Perzentil: 50 % der Daten wurden überschritten; p90-Perzentil: 10 % der Daten wurden überschritten; p95: 5 % der Daten wurden überschritten) (Quelle: ZAMG 2, 2011)	101
Abbildung 58: Standardisierter Sturmindex für Mitteleuropa von 1921 bis 2010 abgeleitet aus täglichen Luftdruckmessungen (schwarze Linie zeigt den geglätteten Verlauf der 95 %-Perzentile für die Wintermonate Nov. – Feb.) (ZAMG 1, 2011)	101
Abbildung 59: Jahresmittel der Windgeschwindigkeiten und Anzahl der Tage mit Windgeschwindigkeiten ≥ 6 BF an den Klimastationen Großraming, Ternberg und Weyer (Datenquelle: ZAMG 4, eigene Darstellung)	102
Abbildung 60: Sturm- und Schneebruchschäden in Österreich in Millionen Festmeter (Datengrundlage: BFW 2012, S. 5, eigene Darstellung)	103
Abbildung 61: Anzahl der tropischen Nächte (Tagestiefsttemperatur ≥ 20 °C) in den Städten Wien, Bregenz und Innsbruck von 1900 bis 2006 (Quelle: BÖHM 2008, S. 203 nach AUER et al. 2008) (verändert)	104

Abbildung 62: Anzahl der Tage mit einem Tagesmittel von mind. 20 °C für die Jahre 1965 bis 2009 der Klimastationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pangraz (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung) (Auswertung aller Klimastationen im Anhang)	105
Abbildung 63: Anzahl von Hitzeperioden (mit einer Dauer von ≥ 7 Tagen) für die Zeiträume 1961 - 1990 (linkes Bild) und 2071 - 2100 (rechtes Bild) basierend auf dem SRES Szenario A2 und einem dänischen regionalen Klimamodell (Quelle: EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY 2007, S. 152) (verändert)	106
Abbildung 64: Trockenperioden von 1954 - 2003 mit einer Mindestdauer von 10 Tagen (oben) und 20 Tagen (unten) (Tagesniederschlag < 1 mm). Die linken Diagramme zeigen die Summe von 10 Stationen mit steigendem Trend, die rechten Diagramme die Summe aus 10 Stationen mit fallendem Trend, ohne Berücksichtigung der Jahreszeit (Quelle: KROMP-KOLB 2005, S. 18, verändert)	107
Abbildung 65: Anzahl der Trockenperioden im Untersuchungsgebiet in der Vegetationszeit von April - September für die Jahre 1971 - 2009 an allen Stationen (oben), an allen Stationen mit fallender linearer Trendlinie (links) und an allen Stationen mit steigender linearer Trendlinie (rechts) (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung)	108
Abbildung 66: Forstpflanzenabsatz in den oberösterreichischen Forstgärten in den Jahren 1975, 1990, 2005 und 2010 (Quelle: GRÜNER BERICHT OBERÖSTERREICH 2010, S. 41)	110
Abbildung 67: Risikobewertung der Fichte aufgrund von Jahresniederschlag und Temperatursumme (Quelle: LEITGEB UND ENGLISCH 2006, S. 10)	110
Abbildung 68: Risikogebiete für die Fichte in Österreich aufgrund des Klimawandels (Quelle: LEITGEB UND ENGLISCH 2006, S. 10, verändert)	111
Abbildung 69: Geworfene und vom Borkenkäfer befallene Bäume im Waldwildnisgebiet des Nationalparks Kalkalpen (eigene Aufnahmen vom 17.10.2011 südwestlich des Zwielaufs)	114
Abbildung 70: Borkenkäferbekämpfungszonen im Nationalpark Kalkalpen (Quelle: DI Hans Kammleitner - ÖBf-Nationalparkbetrieb Kalkalpen)	115
Abbildung 71: Großflächiger Borkenkäferbefall im Wildnisgebiet Dürrenstein am Südosthang des Dürrensteinmassivs (oben: das Dürrensteinmassiv, mitte links: Schadholz aufgrund eines Lawinenabgangs, mitte rechts: Stehendbefall in der Hunsau, unten: Stehendbefall in der Brennleiten, eigene Aufnahmen am 14.10.2012)	116
Abbildung 72: Schadholzmengen in Festmetern aufgrund von Sturm und Schneedruck im Vergleich zu Borkenkäferschäden in den Bezirken Steyr-Land und Kirchdorf/Krems von 2002 bis 2010, Waldflächenbesitzstruktur, Fläche mit Fichten, Schutzwaldanteil, mittlere Seehöhe und Erschließungsgrad mit Forststraßen (Datenquelle: DI HANNES KREHAN und KREHAN et al. 2010, S. 15f) und Übersichtskarte mit Waldgebieten und Bezirksgrenzen (Kartenquellen: LAND OBERÖSTERREICH 2012a und BFW 2010b, eigene Darstellung)	118

Abbildung 73: Borkenkäferbefall an der Fichte in Festmeter im ÖBf-Nationalparkbetrieb Kalkalpen von 1998 - 2012 (Quelle: DI HANS KAMMLEITNER - ÖBf-Nationalparkbetrieb Kalkalpen).....	119
Abbildung 74: Übersichtskarte der Bildpaare im Nationalpark Kalkalpen (eigene Aufnahme am 28.08.2012 vom Hohen Nock mit Blickrichtung NNW bis ENE)	120
Abbildung 75: Flächiger Borkenkäferbefall im Nationalpark Kalkalpen am 28.06.2011 (linke Bilder) und am 28.08.2012 (rechte Bilder) aufgenommen vom Hohen Nock (eigene Aufnahmen). Die roten Kreise markieren den Neubefall durch den Borkenkäfer.	123
Abbildung 76: Windwürfe und Schneebrüche im Jahr 2003 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	126
Abbildung 77: Flächen mit abgestorbenen Bäumen im Jahr 2003 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz., temp. Umwandlungsbereich u. fichtendominante Standorte) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	127
Abbildung 78: Windwürfe und Schneebrüche im Jahr 2010 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	128
Abbildung 79: Flächen mit abgestorbenen Bäumen im Jahr 2010 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz., temp. Umwandlungsbereich u. fichtendominante Standorte) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	129
Abbildung 80: Vergleich der bestandsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall (SCHOPF et al. 2004) mit Flächen abgestorbener Bäume bis 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	132
Abbildung 81: Vergleich der standortsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall (SCHOPF et al. 2004) mit Flächen abgestorbener Bäume bis 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten) eigene Darstellung)	133
Abbildung 82 Vergleich der standortsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Sturmschäden (SCHOPF et al. 2004) mit Windwürfen und Schneebrüchen bis zum Jahr 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	134

Abbildung 83: Vergleich der standortsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Schnees Schäden (SCHOPF et al. 2004) mit Windwürfen und Schneebrüchen bis zum Jahr 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)	135
Abbildung 84: Maßnahmen gegen den Borkenkäfer durch das Borkenkäfermanagement (FORSTER & MEIER 2010, S. 2)	139

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Zersetzbarkeit der Laubstreu nach Baumarten (KIRCHMEIR et al. 2000, S. 124).....	37
Tabelle 2: Natürliche Waldgesellschaften im Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet (Wuchsgebiet: nördliche Randalpen - Ostteil nach KILIAN et al. 1994, S. 34)	47
Tabelle 3: Auswirkungen auf die potentiell natürliche Vegetation bei einer angenommenen Klimaänderung von 2-3 °C sowie mögliche waldbauliche Auswirkungen (Quelle: STARLINGER 1997, S. 19ff).....	48
Tabelle 4: Die wichtigsten Borkenkäferarten mit den jeweiligen Wirtsbäumen (WERMELINGER et al. 2007).....	54
Tabelle 5: Abiotische Waldschädigungsfaktoren in den Forstbezirken Steyr u. Kirchdorf für die Jahre 2008 – 2010 (Quelle: BFW 2012, 2011, 2010a u. 2009; Forstschutzsituation 2011, 2010, 2009 u. 2008).....	69
Tabelle 6: Biotische Waldschädigungsfaktoren in den Forstbezirken Steyr u. Kirchdorf für die Jahre 2008 – 2010 (Quellen: BFW 2012, 2011, 2010a u. 2009; Forstschutzsituation 2011, 2010, 2009 u. 2008).....	75
Tabelle 7: Verbissprozente der einzelnen Baumarten mit einer Höhe von 30 - 130 cm in den Bezirken Steyr und Kirchdorf (BFW 2007, S. 22)	80

1 Einleitung

Der Wald erfüllt für uns Menschen eine Vielzahl von Funktionen, sei es als Rohstofflieferant und Arbeitgeber, als Schutz vor Naturgefahren wie Lawinen, Steinschlag oder Erosion, als Regulator für den Wasserhaushalt, als Ort der Erholung und vieles mehr. Der Borkenkäfer kann nun aufgrund seines enormen Vermehrungspotenzials diese Funktionen großflächig und in sehr kurzer Zeit beeinflussen. Dies kann je nach Standpunkt des Betrachters als Bedrohung oder als Chance für eine Erneuerung gesehen werden.

Ziel dieser Arbeit ist es, herauszufinden, welchen Einfluss der Klimawandel auf die Häufigkeit von Extremwetterereignissen wie Stürme, Hitzewellen und Trockenperioden hat und wie das in weiterer Folge die Entwicklung des Borkenkäfers beeinflusst. Zudem wird untersucht, welchen Einfluss der Klimawandel auf die Entwicklung des Borkenkäfers in den einzelnen Höhenlagen hat und wie sich die Anzahl der Borkenkäfergenerationen verändert. Abschließend wird noch erläutert, welche Maßnahmen gegen den Borkenkäfer gesetzt werden können, um eine Massenausbreitung zu verhindern.

2 Arbeitsmethodik

Die Graphiken in dieser Diplomarbeit wurden zum Großteil mit dem Vektorgrafik-Programm FreeHand erzeugt. Für die zeitlichen Veränderungen der biotischen und abiotischen Waldschädigungsfaktoren in Kap. 5.2 und 5.3 wurden Informationen aus den Berichten des BFW (Bundesforschungsinstitut für Wald, Naturgefahren und Landschaft) zur Forstschutzsituation herangezogen. Zusätzlich steht mit dem Borkenkäferphänologiemodell PHENIPS ein Werkzeug zur Verfügung, das auf Grundlage eines regionalen Topoklimamodells den Schwärmbeginn im Frühjahr und die potentiell mögliche Anzahl an Generationen des Buchdruckers (dies ist für die Forstwirtschaft die bedeutendste Borkenkäferart) pro Jahr berechnen kann. Dieses Modell wurde von der Universität für Bodenkultur in Wien entwickelt und wird bereits

in zahlreichen Regionen in Österreich und Deutschland angewendet. Die Ergebnisse dieses Modells fließen in diese Arbeit mit ein.

Für die Bewertung der Immissionsbelastungen im Untersuchungsgebiet wurden Daten von der Luftgütemessstation Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge herangezogen und graphisch dargestellt. Ausgewertet wurden die Belastungen durch Schwefeldioxid, Stickstoffoxiden und Ozon.

Die Auswirkungen des Klimawandels stützen sich hauptsächlich auf die Berichte des Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen). Dieser Ausschuss wurde vom Umweltprogramm der Vereinten Nationen (UNEP) und der Weltorganisation für Meteorologie (WMO) im Jahr 1988 gegründet und beschäftigt sich mit den Risiken der globalen Erwärmung sowie dem Versuch, Vermeidungs- und Anpassungsstrategien zu entwickeln. Für Auswirkungen des Klimawandels auf regionaler Ebene wurden Ergebnisse des Projekts "reclip:more" verwendet.

Die Bewertung des Klimawandels im Untersuchungsgebiet erfolgte mit Daten aus den Hydrographischen Jahrbüchern (Hydrographischer Dienst). Diese über mehrere Jahrzehnte reichenden Daten sollen in einer graphischen Aufbereitung Trends erkennen lassen. Untersucht wurden die zeitlichen Veränderungen der Jahresmitteltemperaturen an den Stationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pankraz, da diese Klimastationen einen hinreichend langfristigen Datensatz aufwiesen. Ein Vergleich der Normalverteilungskurven für unterschiedliche Zeitperioden soll die klimatischen Veränderungen ergänzend darlegen. Für die Darstellung der Veränderungen der Jahresniederschlagssummen wurden Daten von 16 Klimastationen herangezogen. Zudem wurden die Häufigkeiten der Tage mit einem Niederschlag von 0,1 - 4,9 mm, 5,0 - 19,9 mm und $\geq 20,0$ mm miteinander verglichen. Für die Station Kleinreifling und Molln wurde zusätzlich die Entwicklung der Sommer- und der Winterniederschläge dargestellt.

Für die Bewertung der Extremwetterereignisse im Klimawandel wurden Daten aus den Jahrbüchern der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik und aus den

Hydrographischen Jahrbüchern des Hydrographischen Dienstes ausgewertet. Dazu wurden zunächst die zeitlichen Entwicklungen der Windgeschwindigkeiten und die Anzahl der Tage mit einer Windstärke von ≥ 6 Beaufort miteinander verglichen. Danach wurden die Entwicklungen der Tage mit einem Tagesmittel von ≥ 20 °C erläutert und abschließend noch die Zahl der Trockenperioden graphisch dargestellt.

Um einen Eindruck über die Veränderungen im Untersuchungsgebiet aufgrund des Borkenkäfers zu gewinnen, wurden Fotos von Waldstücken zu unterschiedlichen Zeitpunkten aufgenommen. Die Fotos zeigen den Stehendbefall von Fichten innerhalb eines Jahres im Nationalpark Kalkalpen.

Des Weiteren wurden Luftbilder interpretiert, die mir vom Land Oberösterreich (Abteilung für Geoinformation und Liegenschaft) zur Verfügung gestellt wurden. Da im Waldwildnisgebiet des Nationalparks Kalkalpen Windwürfe, Schneebrüche und vom Borkenkäfer befallene Bäume nicht entnommen werden, ist hier ein zeitlicher Vergleich für die Totholzentwicklung möglich. Nach Versuchen mit pixel- und objektbasierenden Klassifikationen habe ich mich dazu entschieden, aufgrund der höheren Genauigkeit eine visuelle Interpretation der Luftbilddaten vorzunehmen. Diese visuelle Luftbildinterpretation erfolgte mit dem Programm ArcGIS des Entwicklers ESRI. Die Daten setzen sich zusammen aus RGB-Luftbildern aus den Jahren 2003, 2004 und 2005, und aus CIR-Luftbildern aus dem Jahr 2010 (siehe Abbildung 1).

Mit Hilfe zahlreicher Wanderungen im Untersuchungsgebiet und Gesprächen mit Expertinnen/Experten und betroffenen Personen vor Ort habe ich versucht, mir einen Überblick über die Borkenkäfersituation in den Enns- und Steyrtaler Voralpen zu verschaffen. Diese Gesprächspartnerinnen/Gesprächspartner waren:

Hr. Karl Heimpl
(Oberförster für Steyr-Süd)

Hr. Michael Kronsteiner
(Revierleiter für das Forstrevier Brunnbach)

Hr. DI Johann Kammleitner
(Leiter des ÖBf-Nationalparkbetriebs Kalkalpen)

Fr. Monika Zechner
(Sägewerk ZECHNER Holz GmbH)

Hr. Christian Greifeneder, MSc (telefonisch)
(Amt der Oö. Landesregierung, Abteilung Geoinformation und Liegenschaft)

Hr. DI Johann Reisenberger (telefonisch)
(Forstschutzreferent des Landes Oberösterreich)

Hr. DI Werner Gamerith
(Kulturtechniker u. Wasserwirtschafter, Umweltaktivist, Anti-Atom-Pionier, Autor und Fotograf)

Fr. Nicole Ginter, Bakk.
(Projektassistentin beim Klimabündnis Steiermark)

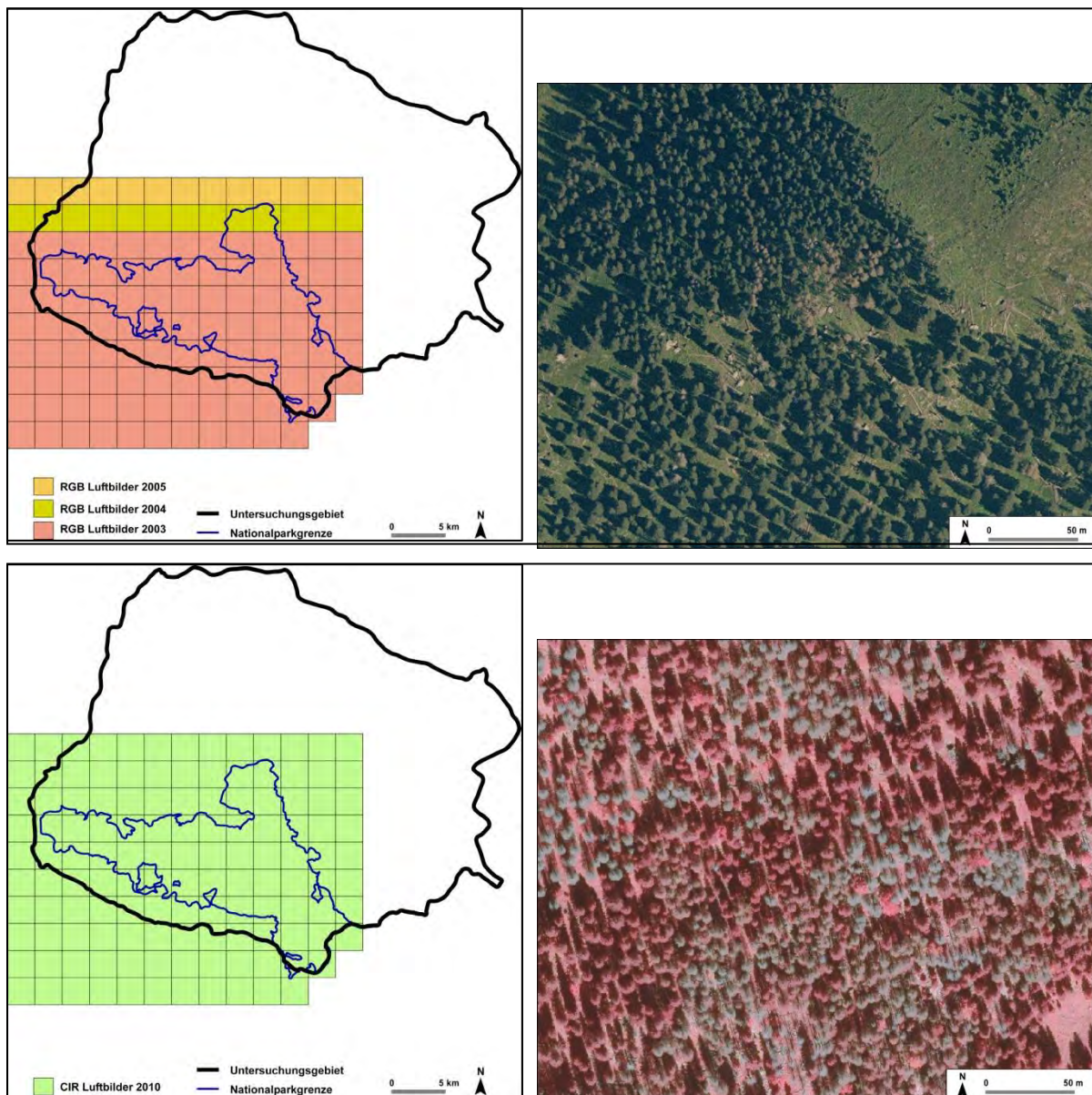


Abbildung 1: Übersichtskarten der RGB- und CIR-Luftbilddaten mit dem Jahr der Aufnahme und beispielhaften Ausschnitten (Quelle der Luftbilder: LAND OBERÖSTERREICH, ABT. GEOINFORMATION UND LIEGENSCHAFT, eigene Darstellung)

3 Eingrenzung und geographische Beurteilung des Untersuchungsgebiets

3.1 Eingrenzung des Untersuchungsgebiets

Das Untersuchungsgebiet liegt im Südosten von Oberösterreich und grenzt an die Bundesländer Niederösterreich und Steiermark (siehe Abbildung 2).



Abbildung 2: Eingrenzung des Untersuchungsgebiets (Quellen: AUSTRIAN MAP ÖK200 (große Karte, verändert) und AUSTRIA FORUM (kleine Karte, verändert))

Das Gebiet umfasst in etwa eine Fläche von 1150 km², wobei 208,5 km² dem Nationalpark Kalkalpen zugerechnet werden. Die Seehöhe reicht von unter 300 m im nördlichen Ennstalgebiet bis auf fast 2000 m im Sengsengebirge (Hoher Nock 1963 m). Bis auf den nördlichen Teil und in den Tälern ist der Großteil des Gebiets mit Wald bedeckt.

3.2 Landschaftsökologischer Überblick

Das Untersuchungsgebiet ist geprägt von den Talböden der Flüsse Enns und Steyr, die das gesamte Gebiet von Norden nach Süden mit Flussrichtung Norden durchziehen. Die Talböden sind überwiegend von Niederterrassen aus der letzten Eiszeit und deren Flussablagerungen geformt und eignen sich als Siedlungsgebiete mit einer von Wiesen und Weiden dominierten Kulturlandschaft. Enge Kerbtäler, Verebnungen und Bergstöcke zeichnen das Landschaftsbild.

Der nördliche Teil des Untersuchungsgebiets zeigt einen sanft- bis steilhügeligen Landschaftscharakter und liegt in der nordalpinen Flyschzone. Das Gebiet ist hier durch die Landwirtschaft stark geprägt, wobei intensiv bewirtschaftete Mähwiesen dominieren. Im westlichen Teil des Flyschzonengebiets ist die Kulturlandschaft durch weitgehende Streuobstbestände gekennzeichnet, im zentralen Teil im Bereich des Dambergs und Spadenbergs stehen buchendominierte Wälder und im östlichen Teil dominiert die Wiesen- und Weidewirtschaft.

Der zentrale und größte Teil des Untersuchungsgebiets ist von einer durchgehenden Walddecke überzogen, die nur von einigen Seitentälern und Rodungsinseln unterbrochen ist. Das Reichraminger Hintergebirge zählt dabei zu den größten zusammenhängenden Waldgebieten Österreichs. Zahlreiche Wildbäche und vielerorts naturnahe Wälder sind hier besonders hervorzuheben.

Das nordwestlich gelegene Sengsengebirge bildet die höchsten Erhebungen im Untersuchungsgebiet und ist mit seinen stark verkarsteten Wettersteinkalk- und

Wettersteindolomit-Formationen besonders eindrucksvoll. Diese sind nach Norden hin schroff abfallend und zeigen im Gipfelbereich kleine Karstplateaus. Latschenfelder und Dolinen sind hier besonders landschaftsprägend.

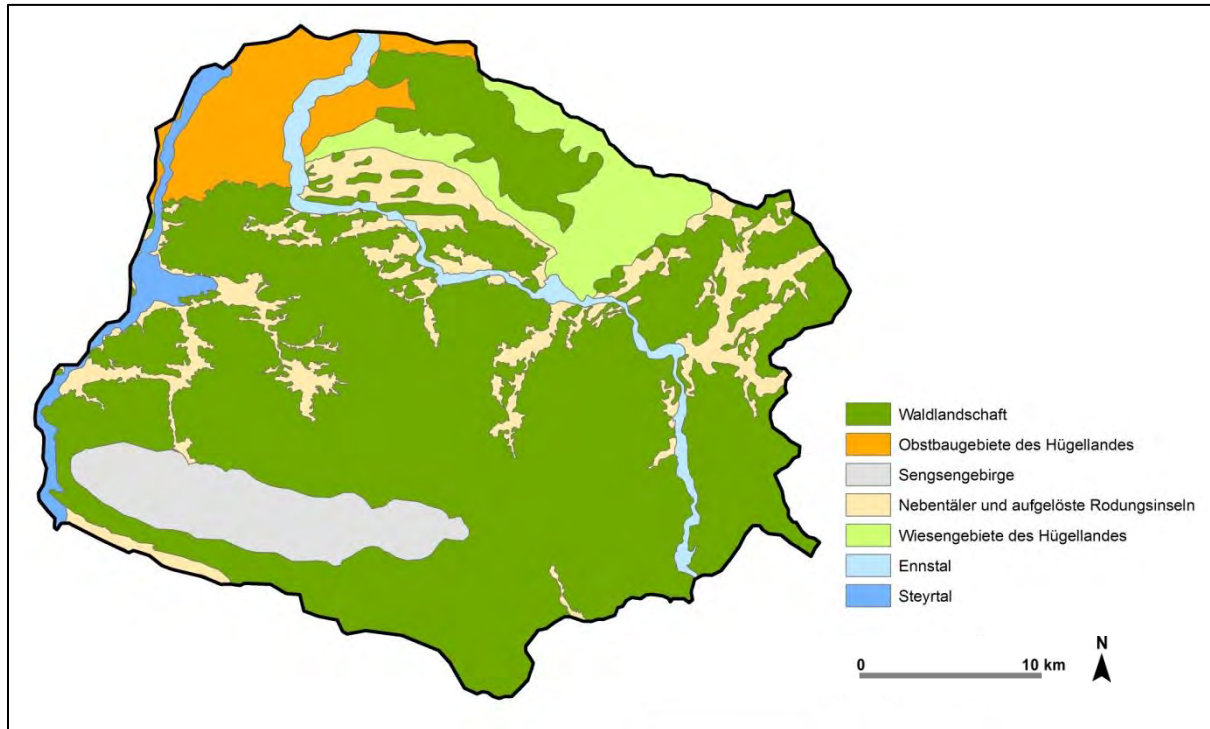


Abbildung 3: Raumeinheiten im Untersuchungsgebiet (Gliederung nach den Leitbildern von Oberösterreich) (Quelle: LAND OBERÖSTERREICH 2007a-e, eigene Darstellung)

3.2.1 Klima

Zahlreiche Messstationen des Hydrographischen Dienstes und der ZAMG geben einen Einblick in die klimatischen Verhältnisse im Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 4) und liefern die Daten für dieses Kapitel (BMLFUW und ZAMG 3). An allen Messstationen (mit Ausnahme von Brunnbach) wird die Temperatur, der Niederschlag, die Schneehöhe und die Neuschneehöhe gemessen.

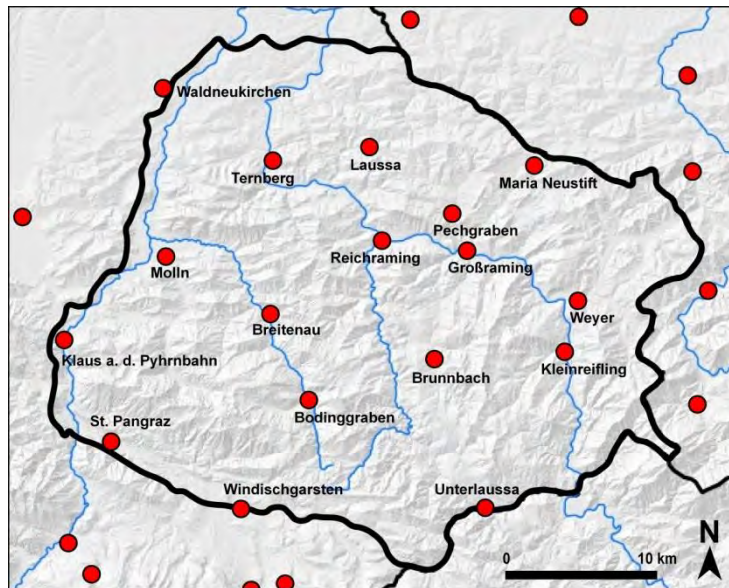


Abbildung 4: Niederschlags- und Lufttemperaturmessstellen des Hydrographischen Dienstes und der ZAMG im Untersuchungsgebiet (Quelle: BMLFUW 2009, eigene Darstellung)

Abbildung 5 zeigt Klimadiagramme nach Walter-Lieth mit gemittelten Werten aus den Jahren 1961 bis 1990 für die von der ZAMG betriebenen Messstationen des nördlich gelegenen Steyr (knapp außerhalb des Untersuchungsgebiets), des östlich gelegenen Weyer und des südlich gelegenen Windischgarsten. Während die langjährigen Monats- und Jahresmitteltemperaturen keine großen Differenzen zwischen den Klimastationen aufweisen (rote Linien), zeigen sich deutliche Unterschiede bei den langjährigen Monats- und Jahresniederschlägen zwischen der Messstation Steyr und den Messstationen Weyer und Windischgarsten (blaue Linien).

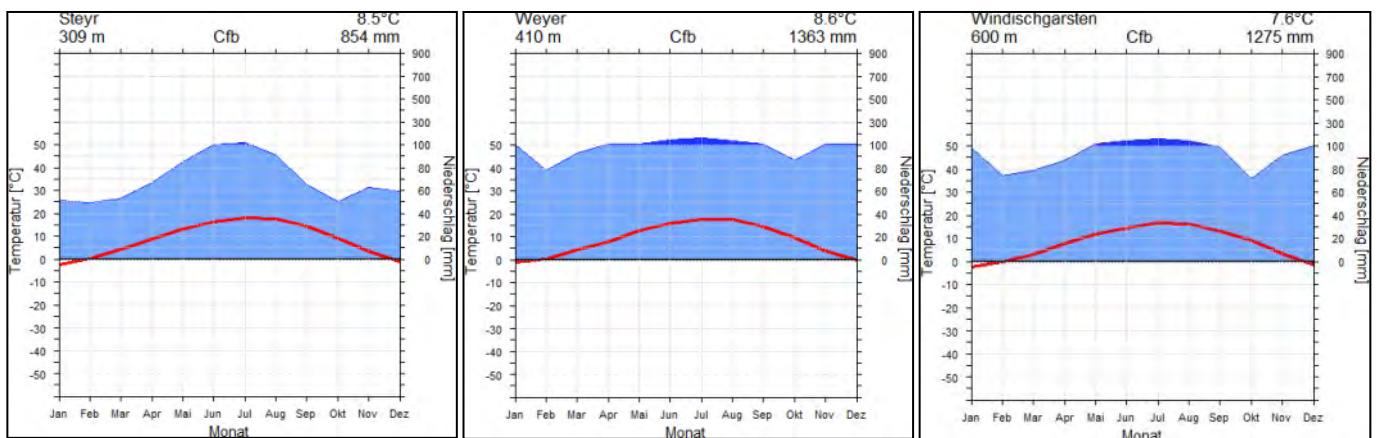


Abbildung 5: Klimadiagramme nach Walter-Lieth für Steyr, Weyer und Windischgarsten (Quelle: ZAMG 3)

Die Lufttemperaturverhältnisse sind aufgrund der Höhenunterschiede sehr kleinräumig strukturiert. Die Seehöhe bestimmt als wichtigster Faktor das Temperaturklima im Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 6). Die Sonnenscheindauer ist in den engen Talräumen, insbesondere im Winter, stark eingeschränkt, welche häufig auch von Nebellagen geprägt sind.

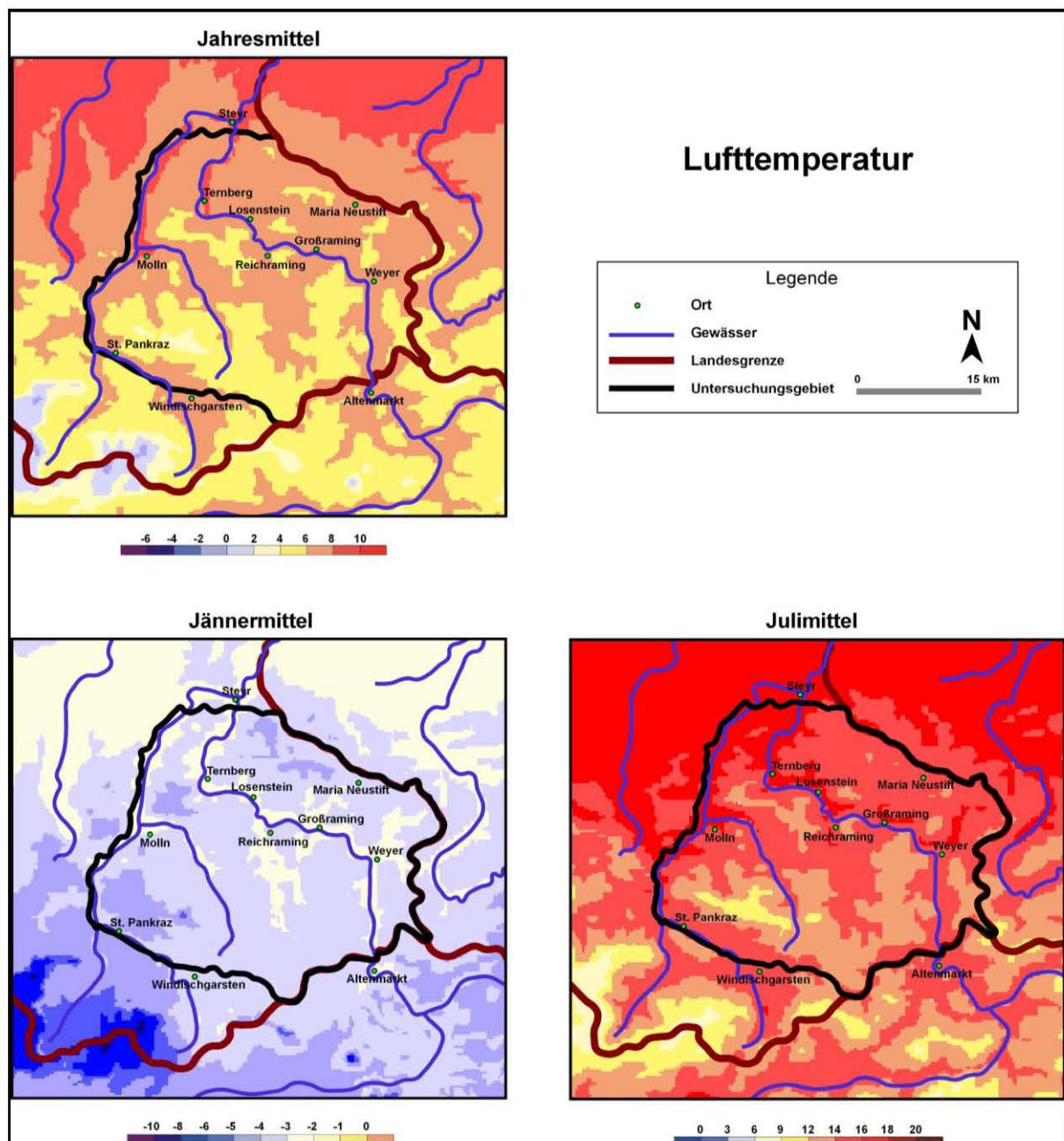


Abbildung 6: Jahres-, Jänner- und Julimitteltemperaturen im Untersuchungsgebiet (30-jährige Mittelwerte) (Quelle: AUER et al. 2001, eigene Darstellung)

Die Jahresdurchschnittstemperaturen reichen an den Klimastationen von 5,0 °C im Bodinggraben (aus dem Jahr 1997, 640 m) bis 10,3 °C in Reichraming (aus dem Jahr 1994, 360 m). Die Jahresdurchschnittstemperatur von allen Messstationen des Hydrographischen Dienstes im Untersuchungsgebiet für die Jahre 1995 bis 2009 beträgt 8,1 °C.

Im Untersuchungsgebiet herrscht ein kühlhumides Randgebirgsklima bis humides Stauklima vor. Wenn feuchte Luftmassen auf die Alpen treffen, werden diese zum Aufsteigen gezwungen und kühlen dabei ab. Dadurch kommt es zu Stauniederschlägen, die im Untersuchungsgebiet nach Süden hin zunehmen (siehe Abbildung 7). Der nördliche Teil des Untersuchungsgebiets, die Enns- und Steyrtaler Flyschberge, sind mit milden Wintertemperaturen und relativ hohen Niederschlägen ozeanisch geprägt. Das Klima in den Flyschbergen kann als kühlhumides randalpines Übergangsklima bezeichnet werden mit unbeständiger Witterung und reichlich Sommerniederschlägen (LAND OBERÖSTERREICH 2007d, S. 21). Etwa 60 % der Niederschläge fallen im langjährigen Mittel in der für die Vegetation wichtigsten Zeit zwischen April und September (siehe Abbildung 7). Das Gebiet des Reichraminger Hintergebirges ist von häufigen, oft lang andauernden und stark orographisch beeinflussten Niederschlägen geprägt. Dadurch ergeben sich sehr kleinräumig strukturierte Niederschlagsverhältnisse. Tendenziell kann jedoch gesagt werden, dass die Niederschlagsmengen mit der Seehöhe zunehmen. Gleiches gilt auch für die Jahresneuschneesummen (siehe Abbildung 8).

Die jährlichen Niederschlagssummen lagen seit dem Jahr 2001 bei allen Messstationen des Hydrographischen Dienstes, mit Ausnahme des sehr heißen und trockenen Sommers 2003, über dem langjährigen Mittel von 1961 bis 1990. Die Werte reichen dabei von unter 1000 mm an den Stationen Waldneukirchen und Laussa bis über 2000 mm an den Stationen Klaus/Phyrnbahn, Bodinggraben und Breitenau. An den zuletzt genannten Stationen zeigt sich die stauende Wirkung des Sengengebirges sehr deutlich. Die durchschnittliche jährliche Niederschlagssumme von allen Messstationen des Hydrographischen Dienstes im Untersuchungsgebiet für die Jahre 2001 bis 2009 beträgt 1543 mm.

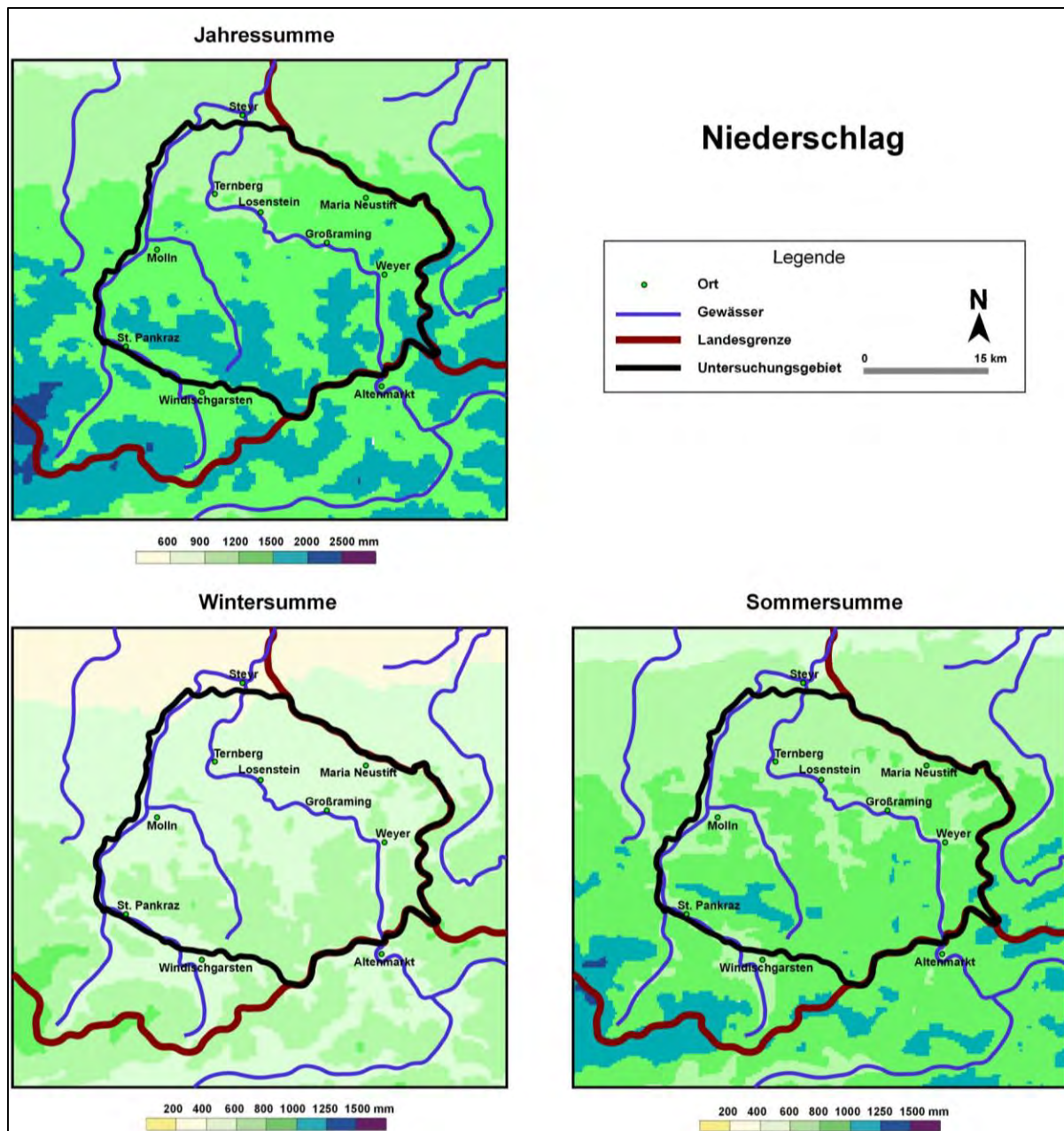


Abbildung 7: Jahres-, Winter- und Sommerniederschlagssummen im Untersuchungsgebiet (30-jährige Mittelwerte) (Quelle: AUER et al. 2001, eigene Darstellung)

Für die Anfälligkeit von Fichtenbeständen im Wald gegenüber einem Borkenkäferbefall gilt ein Wert von 360 mm Niederschlag für das Sommerhalbjahr als kritische Grenze, unter der die Fichte nicht genügend Abwehrmechanismen gegen den Borkenkäfer entwickeln kann. Dieser Wert wird im Untersuchungsgebiet meistens deutlich überschritten. Dennoch können aufgrund der räumlichen und zeitlichen Variabilität der Niederschläge und der oft geringen Wasserspeicherkapazität der

Böden Trockenstresssituationen für die Fichte entstehen und somit den Borkenkäfer begünstigen (siehe Kap. 3.2.4, 5.2 und 6.3).

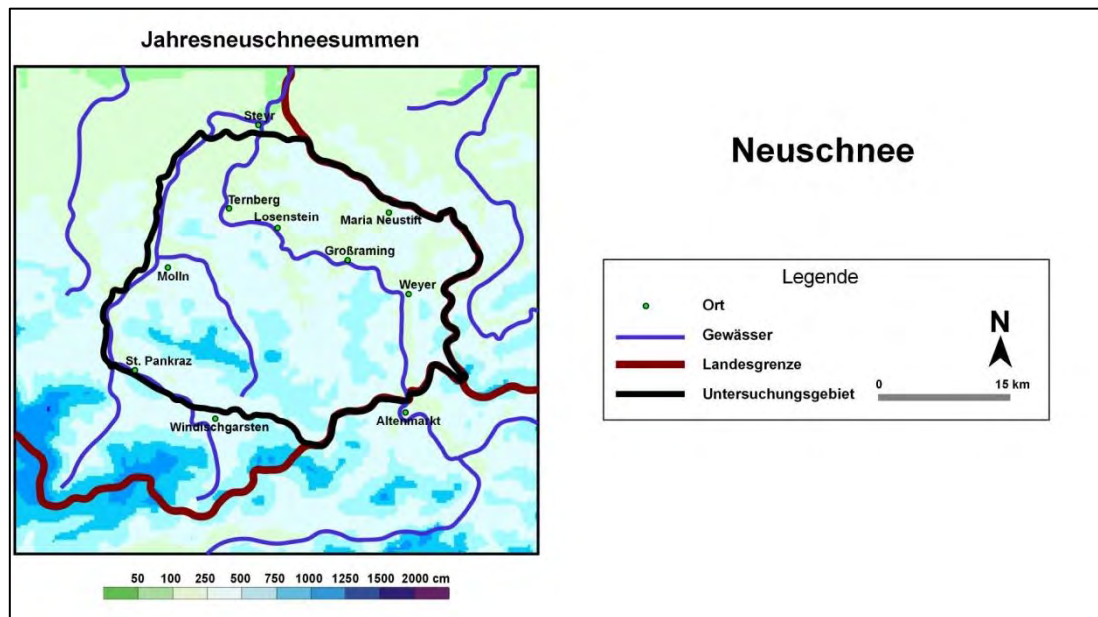


Abbildung 8: Jahresneuschneesumme im Untersuchungsgebiet (30-jährige Mittelwerte) (Quelle: AUER et al. 2001, eigene Darstellung)

3.2.2 Geomorphologie

Die nördlich im Untersuchungsgebiet liegende Flyschzone zeichnet sich durch geomorphologisch weiche und rundliche Formen aus und bildet so die Grasberge des Alpenvorlandes. Sie ist geprägt von sanften und größtenteils dicht bewaldeten Rücken und Kuppen, welche die Waldgrenze nicht überschreiten (siehe Abbildung 9). Diese in der Regel wenig verfestigten Sedimente neigen zu Rutschungen (LESER 2001, S. 222).



Abbildung 9: Die Flyschzone (eigene Aufnahme vom Schieferstein mit Blickrichtung N bis E am 16.10.2011)

Als Kontrast zu den sanfthügeligen Flyschbergen im Norden des Untersuchungsgebiets bildet die südlich gelegene und saiger (senkrecht) aufgestellte Antiklinale des Sengsengebirgszuges nach Norden hin steil abfallende und mächtige, klippenartige Felstürme (siehe Abbildung 10). Diese Gebirgsfalte ist mit einem dichten Netz von Klüften durchzogen. Die ausgeprägte Kettenform ergibt sich aufgrund des steilen Schichtaufbaus (LAND OBERÖSTERREICH 2007c, S. 14). Karen- und Dolinenlandschaften sind hauptsächlich rund um den Hohen Nock und den Gamsplan zu finden.

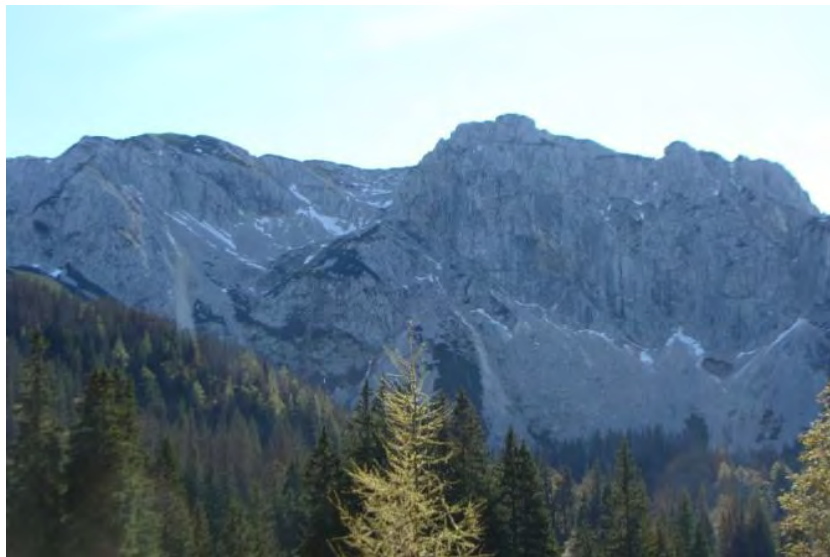


Abbildung 10: Das Sengsengebirge (eigene Aufnahme von der Feuchtau mit Blickrichtung S am 17.10.2011)

Moränen und Eisrandterrassen aus der Riß- und Würm-Eiszeit sind vereinzelt um Molln und im Teichltal bei Lenggau zu finden (LAND OBERÖSTERREICH 2007e, S. 18). Im Steyr-, Teichl- und Ennstal sind auch immer wieder Gebiete mit Hangrutschungen, Bergstürzen, Schwemmfächern und Schwemmkegeln auffindbar.

Die Enns wird im Untersuchungsgebiet durch zahlreiche Wasserkraftwerke aufgestaut, wodurch sich ihre Fließgeschwindigkeit verringert (siehe Abbildung 11). Dadurch haben sich auch die Erosions- und Sedimentationsverhältnisse drastisch geändert. Da der Abtransport des Geschiebes durch die Staustufen verhindert wird, müssen diese vom Menschen abtransportiert werden.



Abbildung 11: Das Ennstal (eigene Aufnahme vom Schieferstein mit Blickrichtung SE am 16.10.2011)

3.2.3 Geologie

Aufgrund einer Vielzahl von tektonischen Deckenbewegungen mit Überschiebungen, Verwerfungen und Antiklinalzonen, etwa der Mollner-Linie, der Kaibling-Antiklinale, den Weyrer-Bögen oder der Sengsengebirgs-Antiklinale, zeichnet sich ein sehr differenziertes geologisches Bild im untersuchten Gebiet ab. Die Hauptgesteinsarten sind nichtmetamorphe Sedimentgesteine aus Resten von Meeresorganismen und eingeschwemmten Verwitterungsrückständen ins Meer (z.B. Mergel oder Sandstein) (HASEKE 1994, S. 1) (siehe Abbildung 14).

Flysche, Ultrahelvetikum und Klippenzonen

Der nördliche Teil des Untersuchungsgebiets besteht aus zwei sehr unterschiedlichen geologischen Einheiten - aus der mit Sandsteinen, Mergeln und Tonschiefern aufgebauten Flyschdecke, auch Rhenodanubischer Flysch genannt, und dem tektonisch tiefer liegenden Ultrahelvetikum mit Grestener Klippenzone. Die Flyschdecke und das Ultrahelvetikum haben sich im Laufe der Zeit häufig miteinander verfaltet und verschuppt.

Das typische Erscheinungsbild des Rhenodanubischen Flyschs sind stark wechselnde Ablagerungen von Schiefertone bis Mergeln mit kalkig bis mergelig

gebundenen Sandsteinbänken (OBERHAUSER 1980, S. 191). Diese entstanden durch Rutschungen von küstennahen und labil angehäuften Sedimenten in die Tiefsee, wodurch die typischen gradierten Schichtungen entstanden. Hierbei hat sich feines Sandmaterial auf grobem abgelagert. Wie in Abbildung 12 ersichtlich, kann die Flyschdecke in unterschiedliche Schichten eingeteilt werden. Die jüngste und oberste dieser Schichten ist die mürbsandsteinführende Oberkreide- und Alttertiärschicht (Altlenzbach-Formation), in der glimmerige und mergelig gebundene Mürbsandsteine abwechselnd mit grauen bis schwarzen Tonmergelschiefern und Schiefertönen und mit grauen Mergeln lagern (OBERHAUSER 1980, S. 198). Darunter folgen die oberen bunten Schiefer mit roten, grünen und grauen Schiefertönen und Tonmergeln mit dünnen Siltsteinbänken, gefolgt von der aus bunten Schiefen hervorgehenden Zementmergelschicht und den tieferen Flyschschichten. In der Flyschzone sind auch mehr oder minder lange streifenförmige Fenster mit Ultrahelvetikum hochgeschuppt. Vom Flysch unterscheidet sich das Helvetikum-Ultrahelvetikum durch seine bunten Farben, durch die pelagische Fazies und durch die unverhältnismäßig geringe Mächtigkeit der Schichtfolgen (OBERHAUSER 1980, S. 190). Helvetische Ablagerungen bestehen vorwiegend aus Kalken und Mergeln der Kreideformation (INST. F. LANDESKUNDE v. OÖ 1971b, S. 16). Im Untersuchungsgebiet ist nur noch das mergelige bis tonige Ultrahelvetikum vorhanden. Die Buntmergelschicht der Grestener Klippenzone wird zum Ultrahelvetikum gerechnet (OBERHAUSER 1980, S. 87).

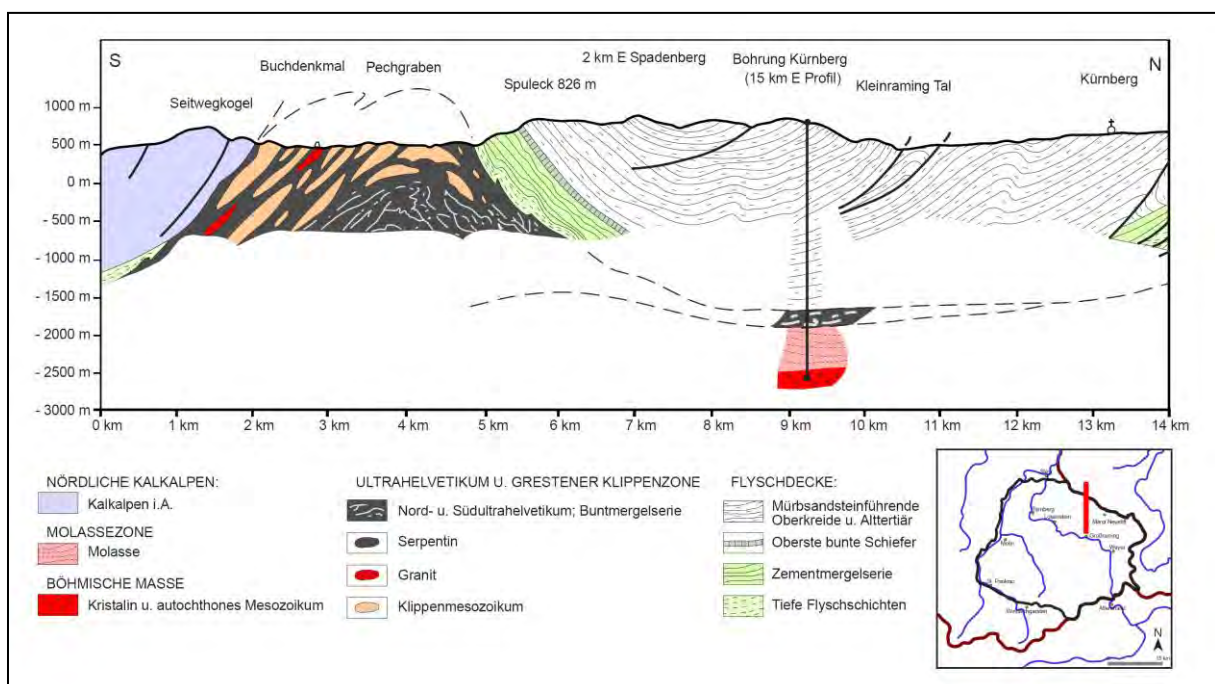


Abbildung 12: Geologisches Profil der Flyschzone (Quelle: OBERHAUSER 1980, S. 203, eigene Darstellung)

Kalkalpen

Das Untersuchungsgebiet ist vor allem geprägt von Wettersteinkalk, Hauptdolomit und Opponitzer Rauwacken, welche durch unterschiedliche Karsterscheinungen landschaftsprägend sind. In den Kalkalpen können verschiedene Faziesgruppen unterschieden werden (siehe Abbildung 13).

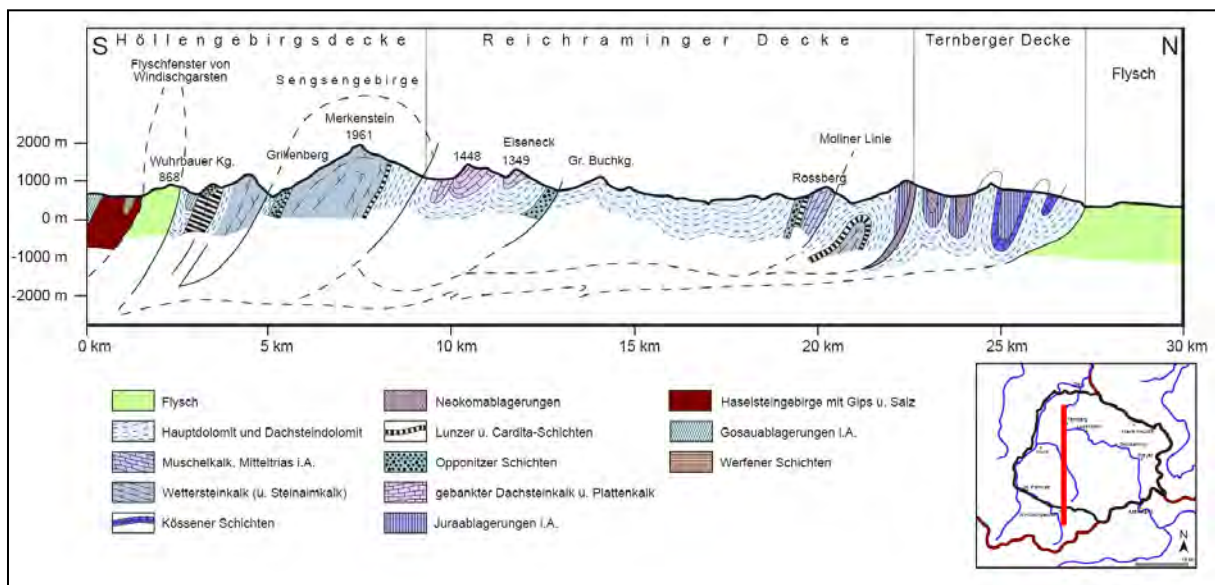


Abbildung 13: Geologisches Profil der Kalkalpen (Quelle: OBERHAUSER 1980, S. 261, eigene Darstellung)

Der Wettersteinkalk besteht hauptsächlich aus Calciumcarbonat und wurde durch marine Sedimente entweder durch Ausfällung von Kalk aus dem Wasser oder aus Kalkschalen beziehungsweise Kalkskeletten von Meeresbewohnern gebildet (LESER 2001, S. 370). Das aus Wettersteinkalk bestehende Sengsengebirge ist Teil der Staufen-Höllengebirgs-Decke (Tirolikum). Große Bedeutung hat auch der Hauptdolomit, der aus Calcium-Magnesium-Karbonat besteht und im Unterschied zum Kalkstein ein größeres spezifisches Gewicht und eine größere Härte aufweist (LESER 2001, S. 145). Der Hauptdolomit ist die Hauptgesteinsart der Reichraminger Decke und bildet den größten Teil der Bergwelt im Untersuchungsgebiet (siehe Abbildung 13). Die Kössen-Formation besteht aus abwechselnd gelagerten dunkelgrauen bis olivgrünen Kalken und Mergeln, und aus weicheren Schichtflächen. Die Opponitzer-Formation ist aus Kalkstein, Mergelstein, Rauhwacke und Gips aufgebaut. Des weitem gibt es im Untersuchungsgebiet den Plattenkalk, der aus grau gebankten Kalkstein besteht, die Lunz-Formation (aus schwarzgrauen, braun verwitternden Sandsteinen und Arkosen mit Glimmerschuppen und Pflanzenhäcksel-

lagen) und die Reifling-Formation, bestehend aus hellen, braunen und dünnbankigen Kalksteinen (HASEKE 1994, S. 1 und LAND OBERÖSTERREICH 2007a, S. 18). Erwähnt werden sollten noch die schwarzgrauen und dünnsschichtigen Kalkgesteine der Gutenstein-Formation und die aus rotem Verwitterungsschutt des quarzitisches Urgebirges entstandene Werfener-Formation (LAND OBERÖSTERREICH 2007a, S. 18).

Ennstal und Steyrtal

Das Tal der Enns ist relativ schmal, wodurch sich nur kleinflächige Ablagerungen bilden konnten. Erst ab Losenstein verbreitert sich das Tal geringfügig. Durch ihren langen Weg durch die Niederen Tauern und den Kalkalpen weisen die Sedimente der Enns eine große geologische Vielfalt auf. Die durch die Eiszeiten entstandenen Nieder- und Hochterrassen bestehen vorwiegend aus Kies und Sand. Von den Hochterrassen sind jedoch nur noch Reste im Norden geblieben. Dort, wo sich die Flüsse in verfestigte Schottermassen eingeschnitten haben, finden sich sowohl im Ennstal als auch im Steyrtal Konglomerat-Felswände. Diese Konglomerate entstanden durch die Anhäufung von riesigen Schottermassen in den letzten Eiszeiten, welche sich im Laufe der Zeit zu festem Gestein verkittet haben.

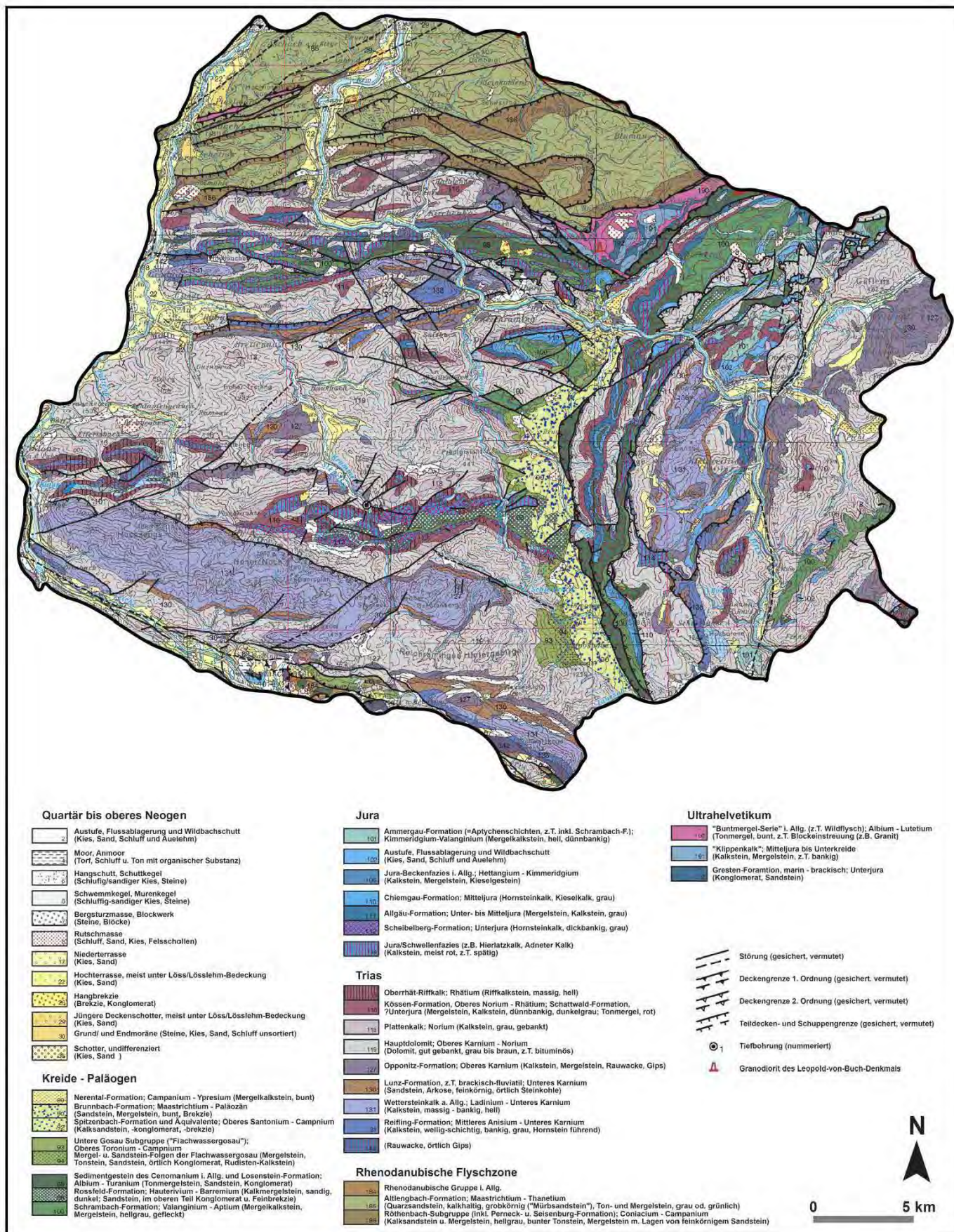


Abbildung 14: Geologie im Untersuchungsgebiet (Quelle: Geologische Bundesanstalt 2006, eigene Darstellung)

3.2.4 Böden

Die zwei dominierenden Bodentypen im Untersuchungsgebiet sind Rendzinen und silikatische Braunlehme (siehe Abbildung 15). In den Waldgebieten sind großflächig seichtgründige Braunlehme und Braunerden ausgebildet, die unterschiedliche Mächtigkeiten aufweisen (LAND OBERÖSTERREICH 2007a, S. 19). Auf den jüngeren eiszeitlichen Terrassen der Enns hat der Fluss aufgrund seines langen Verlaufs durch die Zentralalpen, die Kalkalpen und die Flyschzone unterschiedlichstes Material abgelagert. Auf der Niederterrasse und in der Austufe sind vor allem schotterreiche Böden vorhanden, auf der Hochterrasse vorwiegend Parabraunerden (INSTITUT FÜR LANDESKUNDE VON OBERÖSTERREICH 1971b, S. 73). Graue und braune Auböden, Lockersediment-Braunerden und Rendzinen haben sich im Bereich der Uferzone und der Austufe gebildet und auch reliktdäre Braunlehme sind erhalten geblieben, da das Gebiet während der letzten Eiszeit nicht vereist war (LAND OBERÖSTERREICH 2007b, S. 13). Aufgrund der Enge des Tales sind diese Flächen jedoch sehr kleinräumig ausgeprägt.

Mit dem dominierenden Hauptbodentyp, den Rendzinen, werden im Allgemeinen Bodenbildungsprozesse bezeichnet, die auf kalkreichem Ausgangsmaterial stattfinden und mehr oder weniger mächtige Humusaufgaben bilden. Es sind A-C Böden, bei denen sich der humusreiche A-Horizont direkt auf dem karbonatreichen C-Horizont bildet. Diese Böden haben einen hohen Grobanteil, eine seichte bis mittlere Gründigkeit, sind im Allgemeinen sehr gut durchlüftet, locker gelagert und neigen durch ihr geringes Speichervermögen zu Trockenheit (INSTITUT FÜR LANDESKUNDE VON OBERÖSTERREICH 1971b, S. 65f). Aufgrund der hohen Niederschläge in den Kalkalpen eignen sich in flachen und hängigen Lagen die Rendzinenböden sehr gut als Wiesen- und Weidestandorte, bei tiefgründigen Rendzinen sogar als Ackerfläche. Durch das meist steile Gelände und dem dadurch bedingten seichtgründigen A-Horizont werden die Rendzinenböden im Untersuchungsgebiet aber vorwiegend forstwirtschaftlich genutzt.

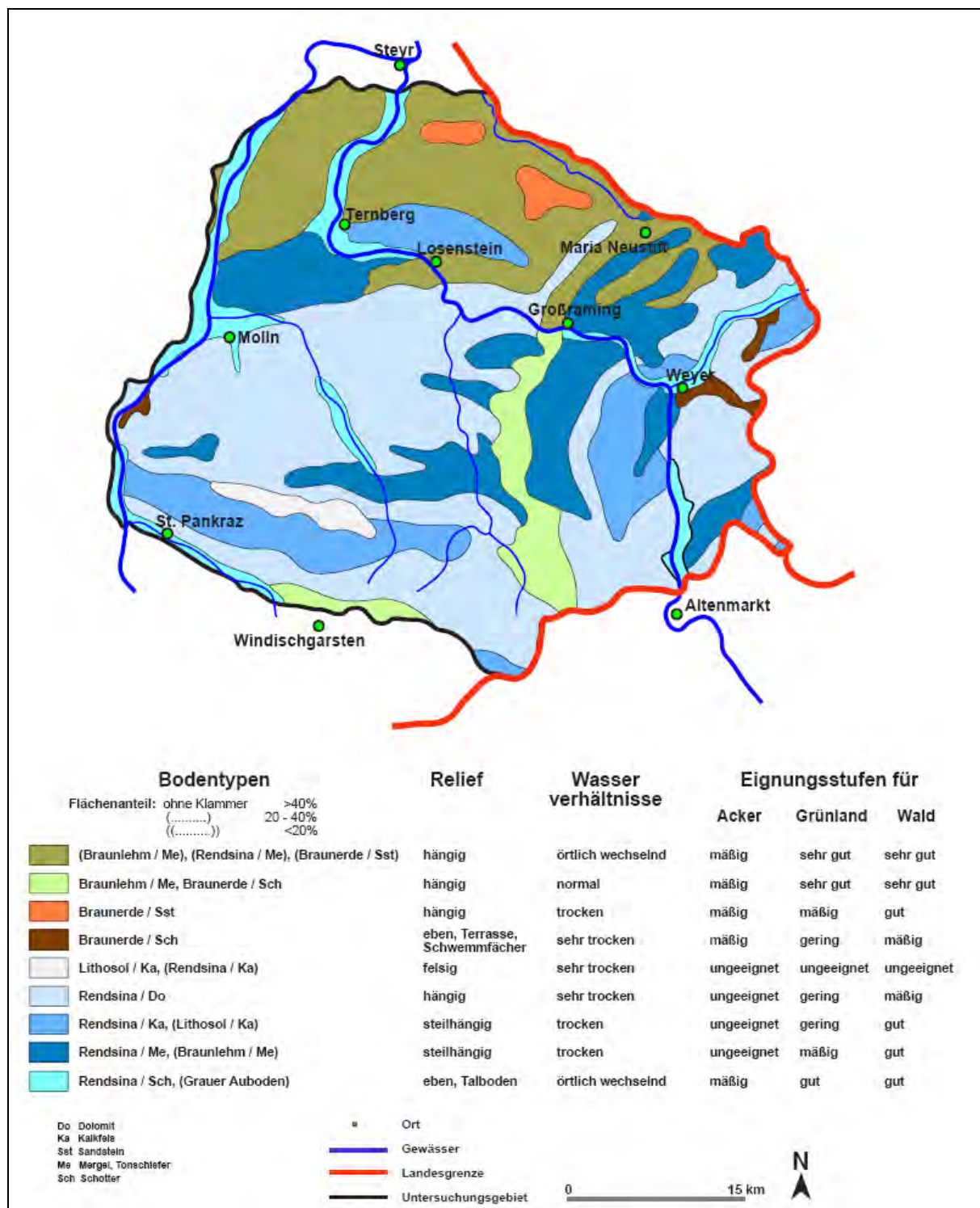


Abbildung 15: Böden und Standortbeurteilung im Untersuchungsgebiet (Quelle: ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN 1979, eigene Darstellung)

Den zweiten Hauptbodentyp im Untersuchungsgebiet bilden die in der Flyschzone liegenden silikatischen Braunlehme, die sich aus dem feinkörnigen, tonreichen und silikatischen Ausgangsmaterial auf ebenen und schwach hängigen Lagen entwickelt

haben und durch ihre dichte Lagerung eine hohe Plastizität und Klebrigkeit aufweisen (INSTITUT FÜR LANDESKUNDE VON OBERÖSTERREICH 1971b, S. 66). Sie haben infolge von chemischer Verwitterung der silikatischen Mineralien einen braunen B-Horizont gebildet, weshalb man auch von einer Verbraunung eines A-C Bodens spricht. Silikatische Braunlehme neigen aufgrund ihrer dichten Lagerung und Bodenschwere zur Wechselfeuchtigkeit und trocknen durch ihr hohes Speichervermögen auch in Trockenperioden nur oberflächlich aus, während der Untergrund lange feucht bleibt. Diese schwach sauren bis sauren Böden der Flyschzone eignen sich sowohl als Ackerland als auch als Grünland, wobei sie aufgrund ihrer starken Dichtlagerung und ihrer ungünstigen Struktur bei einer Ackerlandnutzung nur eine mittlere Ertragsfähigkeit aufweisen. Bei starken Regenfällen können silikatische Braunlehme sehr leicht aufquellen, wodurch bei starken Hangneigungen die Gefahr einer Hangrutschung besteht. Daher sollten diese Flächen auch nur forstwirtschaftlich genutzt werden (INSTITUT FÜR LANDESKUNDE VON OBERÖSTERREICH 1971b, S. 66f). Während der letzten Eiszeit wurden im steileren Gelände die silikatischen Braunlehme oftmals stark erodiert, wodurch sich jüngere silikatische Braunerden bilden konnten (LAND OBERÖSTERREICH 2007d, S. 21). Dieser leichte Bodentyp hat ein geringes Speichervermögen und eine hohe Wasserdurchlässigkeit.

Vereinzelte sind auch Moorbildungen mit Torfböden auf kleinsten Flächen vorhanden (z. B. Feichtauseen, Ebenforstalm und Sattelmoore bei Dörfel) (LAND OBERÖSTERREICH 2007a, S. 19). Besonders im Sengsengebirge ist auf sehr steilen und exponierten Stellen keine Bodenbildung möglich.

Die Böden im Wald sind stark geprägt von der darauf wachsenden, fast ausschließlich anthropogen beeinflussten Baumartenzusammensetzung. Aber auch die Art der Bewirtschaftung ist für die Qualität des Bodens von entscheidender Bedeutung.

Das für die Fauna und Flora zur Verfügung stehende Wasserangebot wird durch die **Interzeption** stark limitiert. Der Interzeptionsverdunstung ist hierbei jener Teil des fallenden Niederschlags, der durch die Vegetation zurückgehalten wird und wieder

verdunstet. Der Interzeptionsverlust beträgt bei Weißtanne, Douglasie und Fichte ca. 50 %, bei Kiefer ca. 30 % und bei Buche, Hainbuche und Eiche ca. 20 %, wobei die Werte je nach Alter der Bäume stark schwanken können (KIRCHMEIR et al. 2000, S. 123). Laut WAKONIGG (2003, S. 39) ist der Interzeptionsverlust abhängig von:

- der Niederschlagsstruktur, da bei Nieselregen in der Regel mehr Niederschlag zurückgehalten wird als bei Starkregen,
- den Verdunstungsparametern Dampfdruckdifferenz, Globalstrahlung und Windwirkung
- und der Art der Vegetation.

Der **Streuabbau** ist für die Humusbildung sehr wichtig. Je besser die Streu zersetzt werden kann, desto schneller stehen den Pflanzen die Nährstoffe wieder zur Verfügung. Wie in Tabelle 1 ersichtlich, ist bei Nadelbaumarten die Streu sehr schwer zersetzbar und führt bei Nadelholz-Monokulturen zu einer Versauerung der Böden, da Nährstoffe in einer für die Pflanzen nicht verfügbaren Form angereichert werden.

Tabelle 1: Zersetzbarkeit der Laubstreu nach Baumarten (KIRCHMEIR et al. 2000, S. 124)

Beurteilung	Baumarten
sehr gute Zersetzung	Esche, Erle, Ulme, Robinie, Holunder
gute Zersetzung	Linde, Hainbuche, Ahorn, Eberesche, Birke, Weide, Hasel
schlechte Zersetzung (in absteigender Reihenfolge)	Buche, Weißtanne, Roteiche, Douglasie, Eiche, Kiefer, Fichte, Lärche, Hemlocktanne

Aber nicht nur die einzelne Baumart ist für die Zersetzung der Laubstreu wichtig, sondern auch die Zusammensetzung der Baumarten im Wald. Eine Durchmischung der Nadelstreu mit Laubstreu fördert die Zersetzungsgeschwindigkeit.

3.2.5 Landschaftsökologisches Profil

Ein landschaftsökologisches Profil soll schließlich einen Gesamteindruck über die Geologie, die Bodenverhältnisse, das Relief, die Vegetation und die klimatischen Verhältnisse geben. Die Informationen dafür lieferten AUER et al. (2001), das BFW (2010b), GOOGLE EARTH (2011), das INSTITUT F. LANDESKUNDE V. OBERÖSTERREICH (1971a), die KF-UNI-GRAZ (1990), das LAND OBERÖSTERREICH (2007a-e), das LAND OBERÖSTERREICH (2012a) und die LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH (2007). Abbildung 16 zeigt anhand einer roten Linie den Verlauf des landschaftsökologischen Profils.

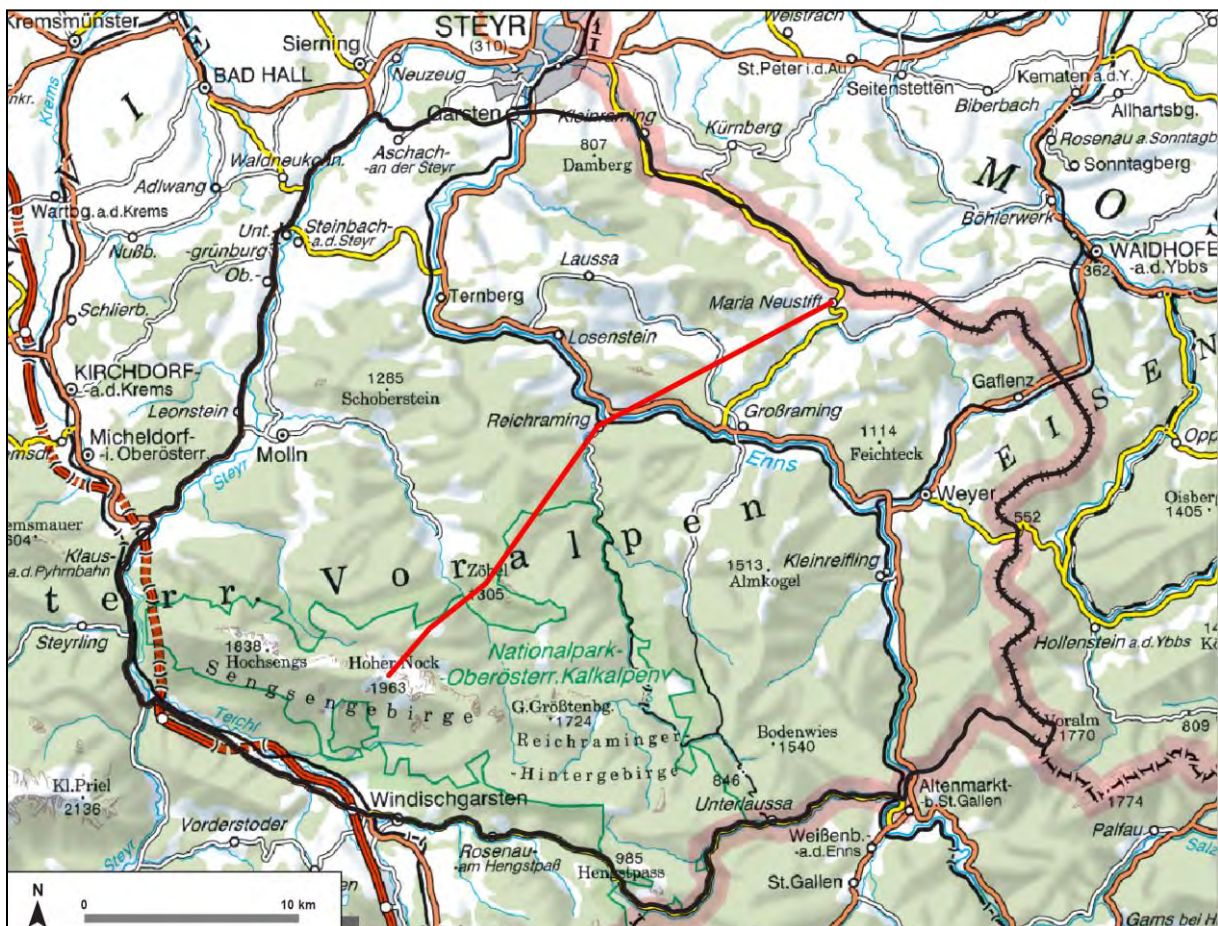


Abbildung 16: Übersichtskarte des landschaftsökologischen Profils (Kartenquelle: LAND OBERÖSTERREICH 2012a, eigene Darstellung)

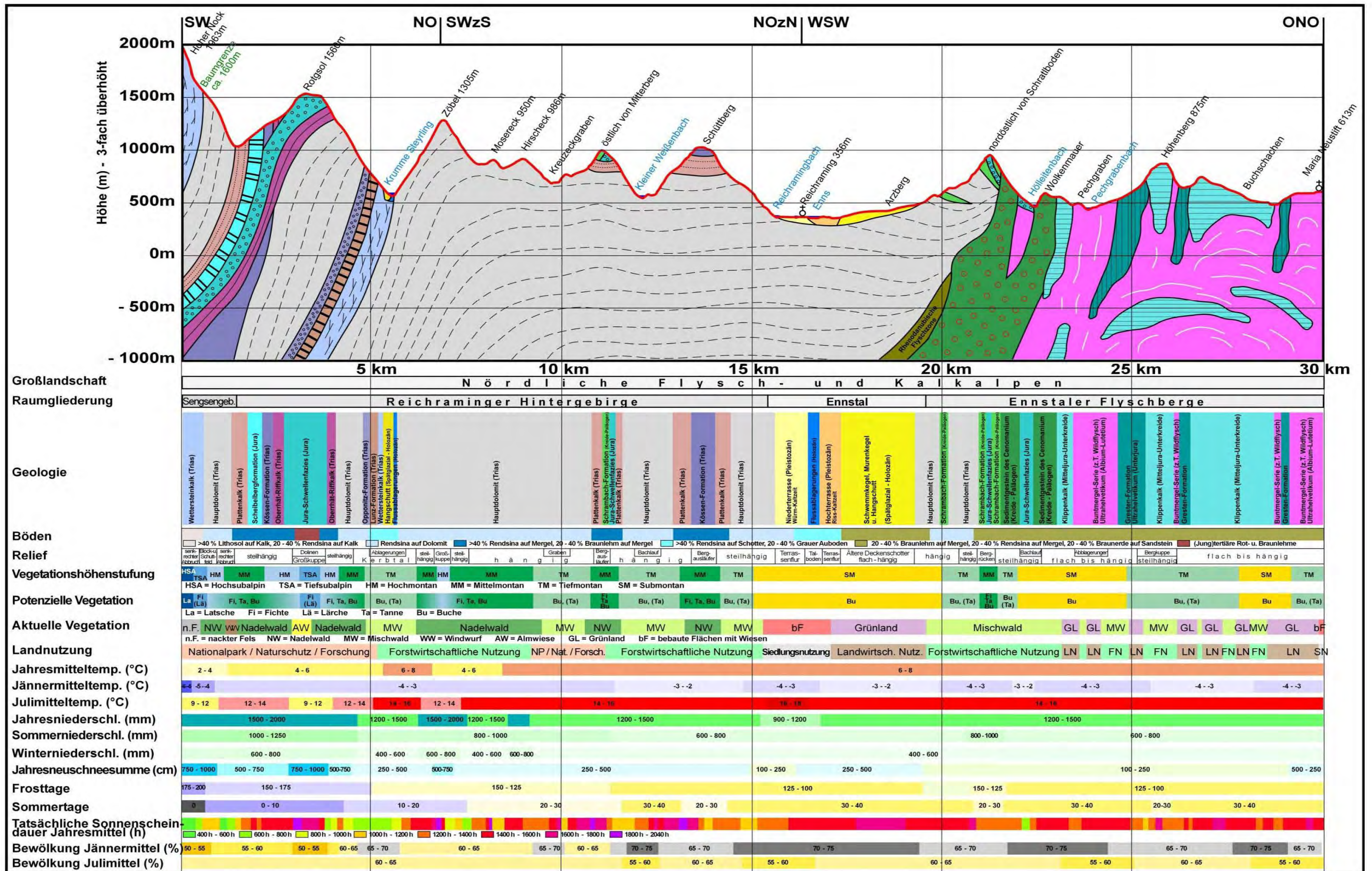


Abbildung 17: Landschaftsökologisches Profil im Untersuchungsgebiet (Datenquellen: AUER et al. 2001, BFW 2010b, GOOGLE EARTH 2011, INSTITUT F. LANDESKUNDE V. OBERÖSTERREICH 1971, KF-UNI-GRAZ 1990, LAND OBERÖSTERREICH 2007a-e, LAND OBERÖSTERREICH 2012a U. LANDWIRTSCHAFTSKAMMER OBERÖSTERREICH 2012, eigene Darstellung)

3.3 Potentiell natürliche Waldgesellschaften im Untersuchungsgebiet

Je konkurrenzfähiger eine Baumart ist, desto besser ist sie an die jeweiligen Standortverhältnisse angepasst. Diese Standortverhältnisse richten sich nach den Bodenverhältnissen (Nährstoffangebot, Bodenwasserhaushalt, Bodenart), dem Lichtangebot, der Seehöhe (siehe Abbildung 18), den klimatischen Verhältnissen, der Exposition und der Hangneigung.

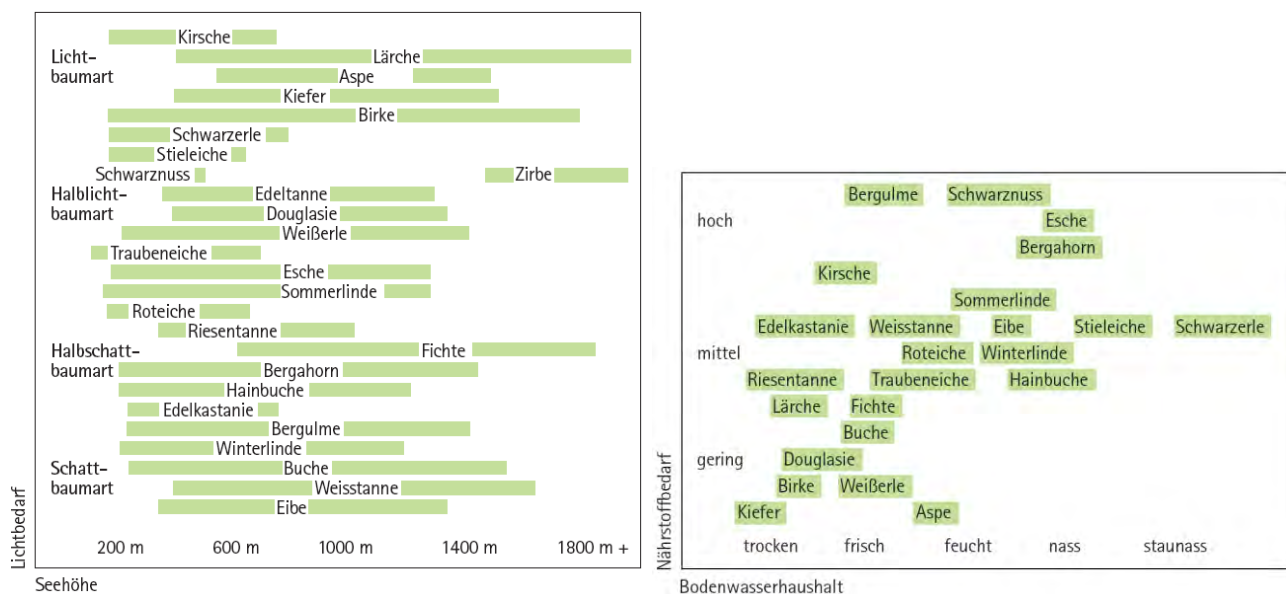


Abbildung 18: Lichtbedarf und Höhenverbreitung (linke Graphik) und Nährstoffbedarf und Bodenwasserhaushalt (rechte Graphik) der einzelnen Baumarten (Quelle: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH 2007, S. 8)

3.3.1 Standortbedürfnisse der wichtigsten Wirtsbaumarten für Borkenkäfer

Fichte (*Picea abies*)

Die Fichte hat ihr natürliches Verbreitungsgebiet in Mittel-, Ost- und Nordeuropa. Während sie ursprünglich nur in der montanen und subalpinen Stufe vorgekommen ist (im südlichen Verbreitungsgebiet nur in Gebirgslagen), wurde sie durch den Menschen auch in der kollinen Stufe angepflanzt. Sie ist an ein feuchtes, kühles und winterkaltes Klima angepasst (WERMELINGER et al. 2007, S. 49). Die jährliche

Niederschlagssumme sollte mindestens 600 mm betragen, wovon 300 bis 350 mm in der Vegetationszeit fallen sollten (LEITGEB UND ENGLISCH 2006, S. 11). Die Bodenwasserverhältnisse sollten frisch bis mäßig frisch sein und als Bodenart bevorzugt sie gut durchlüftete, steinig-sandige Lehm- und Tonböden (WERMELINGER et al. 2007, S. 49). Zwischen 60 % und 80 % der Wurzelmasse befindet sich bei älteren Bäumen in den oberen Bodenschichten, an extremen Standorten sogar bis zu 100 % (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 155). Die Fichte zählt daher zu den Flachwurzlern und ist nicht sturmfest. In Fichtenreinbeständen wird die Bodenvegetation fast vollständig unterdrückt und durch die schwer abbaubare Nadelstreu versauert der Boden immer mehr (WERMELINGER et al. 2007, S. 49). Die Fichte gilt unter den Nadelbaumarten als besonders anfällig. Sie reagiert besonders empfindlich auf heiße und trockene Sommer (wie z. B. der Sommer im Jahr 2003) und einer zu lange andauernden Vegetationszeit (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 163). Dies hat ein eingeschränktes Wachstum und eine hohe Kalamitätsanfälligkeit zur Folge.

Rot-Buche (*Fagus sylvatica*)

Die Rot-Buche ist in europäischen Regionen mit ozeanisch geprägtem Klima heimisch und ist in Österreich von der Ebene bis in die untere Bergstufe vorkommend. Sie bevorzugt mittelgründige, sickerfrische, gut durchlüftete, stauwasserfreie, warme und lockere Lehmböden. Diese sollten sandig-steinig sein und können sowohl kalkarm als auch kalkreich sein (WERMELINGER et al. 2007, S. 61). Die Rot-Buche bevorzugt kühl-humide Lagen (sommerfeucht) mit einer Vegetationszeit von mindestens fünf Monaten und ist etwas frostempfindlich (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 331). Sie scheut Wasserstau und bevorzugt Hanglagen (WERMELINGER et al. 2007, S. 61). Je nach Temperatur sollte die Niederschlagsmenge 500 - 700 mm betragen (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 331). Sie bildet oftmals die natürliche Hauptbaumart und tritt in Tieflagen in einer Mischung mit Eichen, in Hochlagen zusammen mit Tannen und Fichten auf. Mit einem Stammzahlanteil von über 10 % ist die Buche die am häufigsten vorkommende Laubbaumart in Österreich (SMIDT 2011, S. 28). Laut ROLOFF & GRUNDMANN (2008, S. 15) ist die Buche äußerst konkurrenzfähig und besitzt eine hohe Trockenstresstoleranz, welche sich nur bei lang anhaltenden und häufigen

Trockenperioden verringert. Sie ist vor allem gegenüber der Kiefer und der Eiche sehr konkurrenzstark. Aufgrund der tiefreichenden Wurzeln ist die Rot-Buche sehr sturmfest (WERMELINGER et al. 2007, S. 61).

Kiefer (*Pinus sylvestris*)

Die natürlichen Verbreitungsgebiete der Kiefer liegen in den Tiefebene Europas und Nordasiens, in unseren Breiten ist sie aber auch in der kollinen bis subalpinen Stufe vorkommend. Sie erreicht jedoch nicht die Höhenlagen der Fichte, Lärche oder Zirbe (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 185). Die Kiefer ist an kalt-trockene Klimate angepasst und benötigt eine ausreichend lange Winterruhe. Sie ist eine anspruchslose Art und gilt als Spezialist für Extremstandorte, hat aber auf gut nährstoff- und wasserversorgten Standorten einen Wettbewerbsnachteil gegenüber konkurrenzstärkeren Nadel- und Laubbaumarten (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 185). Sie bildet Bestände auf sehr trockenen, flachgründigen und wasserdurchlässigen Standorten und bevorzugt sandige bis steinige, meist kalkreiche und gut durchlüftete Böden (WERMELINGER et al. 2007, S. 53). Auch auf sehr nährstoffarmen Böden findet die Kiefer ihr Auslangen, benötigt jedoch sehr viel Licht und erreicht nur eine geringe Wachstumsleistung. Ihre Pfahlwurzel reicht bis zu 6 Meter in die Tiefe (WERMELINGER et al. 2007, S. 53). Über die Kiefer gibt es unterschiedliche Ansichten bezüglich ihrer Wärme- und Trockentoleranz. Laut WALENTOWSKI et al. (2007, S. 37) besitzt die Kiefer eine hohe Anpassungsfähigkeit gegenüber Frösten, Trockenheit und Waldbrand. Trotzdem zählt die Kiefer zu den anfälligeren Baumarten im Hinblick auf den Klimawandel (WALENTOWSKI et al. 2007, S. 45).

Lärche (*Larix decidua*)

Das ursprüngliche Verbreitungsgebiet der Lärche waren die subalpinen Bereiche der mitteleuropäischen Gebirgszüge (Alpen, Sudeten, Karpaten). Sie bevorzugt ein kontinental geprägtes Klima und meidet Niederschlags-Staulagen (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 173). Durch den Menschen wurde sie auch in der kollinen und montanen Stufe verbreitet. Die Lärche gilt als Pionierbaumart und kann sich auch auf humusarmen Rohböden entwickeln, meidet aber verdichtete und vernässte Böden. Die optimalen Bodenverhältnisse sind gut durchlüftete, tiefgründige und

lehmreiche Böden mit einem hohen Nährstoffgehalt. Sie bevorzugt sommerwarme und nebelarme Lagen mit genügend Luftfeuchtigkeit und viel Licht (WERMELINGER et al. 2007, S. 55). Die Sommerniederschläge sollten nicht zu hoch sein (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 173). Die Lärche ist äußerst sturmfest, da sie als Tiefwurzler auch in skelettreichen Böden eine Wurzeltiefe von bis zu 4 Metern erreichen kann. Sie gilt auch als sehr robust gegenüber hochsommerlichen Temperaturen, längeren Trockenperioden und tiefen Temperaturen (WERMELINGER et al. 2007, S. 55).

Tanne (*Abies alba*)

Das natürliche Verbreitungsgebiet der Tanne ist in West-, Süd- und Mitteleuropa. Sie bevorzugt frische bis feuchte Bodenwasserverhältnisse und lehmige bis tonige Böden in schattigen Lagen mit einer hohen Luftfeuchtigkeit (WERMELINGER et al. 2007, S. 51). Die Ansprüche der Tanne ähneln jenen der Buche, sie ist jedoch weniger lichtbedürftig und unempfindlicher gegenüber Vernässung (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 150). Sie gilt als idealer Baum für Mischwaldbestände in Verbindung mit Fichten, Buchen und Kiefern. Unter den heimischen Nadelbaumarten ist sie am wenigsten sturmgefährdet, da sie sich fest im Boden verankert. Mit ihrem bis zu 1,6 Meter tiefgehenden Wurzelwerk ist sie auch in der Lage, schwere und/oder vernässte Böden zu besiedeln (WERMELINGER et al. 2007, S. 51). Die Tanne gilt allgemein als eine sehr widerstandsfähige Baumart.

Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*)

Die Douglasie kommt ursprünglich aus küstennahen Gebieten des westlichen Nordamerikas und Mexikos. Sie bevorzugt ein ozeanisch geprägtes Klima mit milden Wintern, kühlen Sommern und eine lang andauernde Vegetationszeit (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 214). Aufgrund ihrer geringen Ansprüche gedeiht sie auch auf flachgründigen und nährstoffarmen Böden. Die Douglasie bevorzugt jedoch tiefgründige, frische und lehmige Böden. Diese sollten gut durchlüftet, gut drainiert und reich an Nährstoffen sein (WERMELINGER et al. 2007, S. 57). Sehr dichte, staunasse, wechselfeuchte oder extrem stickstoffarme Böden sind für die Douglasie weniger geeignet. Bei einem voll entfalteten Wurzelsystem ist sie sehr trockentolerant (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 214). Sie ist ein ausgeprägter Tiefwurzler und übertrifft in ihrer Wuchsleistung sogar die Fichte und Weißtanne.

Auch wegen des wertvollen Holzes gilt die Douglasie in unseren Breiten als wichtigste fremdländische Baumart in der Forstwirtschaft (WERMELINGER et al. 2007, S. 57). Die Douglasie gilt als vergleichsweise widerstandsfähige Baumart.

Esche (*Fraxinus excelsior*)

Die Esche ist mit Ausnahme von Südspanien und Nordskandinavien in ganz Europa heimisch und zählt zu den wichtigsten Pionierbaumarten. In den Nordalpen reicht sie bis auf eine Höhe von 1400 m, in den Zentralalpen bis zu 1600 m (WERMELINGER et al. 2007, S. 61). Als Bodenart bevorzugt sie tiefgründige und feuchte bis nasse Böden, kann aber auch trockene Böden besiedeln. Die Böden sollten zudem gut durchlüftet, nährstoff- und basenreich sein (WERMELINGER et al. 2007, S. 61). Die Esche besiedelt vielfältige Lebensräume wie Auen- und Schluchtenwälder, krautreiche Laubmischwälder, Fluss- und Bachläufe sowie steinige Hänge. Aufgrund ihrer tiefgehenden Pfahlwurzel verhindert sie Abschwemmungen und Unterspülungen und befestigt zudem Uferböschungen (WERMELINGER et al. 2007, S. 61). Sie übersteht kurzzeitige Überschwemmungen, erträgt eine länger anhaltende Trockenheit (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 546), ist aber frostempfindlich und hat daher einen späten Laubaustrieb. Zudem hat sie ein großes Lichtbedürfnis. Aufgrund ihrer hohen Wachstumsleistung und der hervorragenden Holzqualität nimmt sie einen hohen Stellenwert in der Forstwirtschaft ein und hat außerdem noch einen hohen ökologischen Wert (WERMELINGER et al. 2007, S. 61). Das Eschentriebsterben ist in den letzten Jahren auch im Untersuchungsgebiet zum Thema geworden (siehe Kap. 5.3). Als Auslöser wurde der Mikropilz *Chalara fraxinea* identifiziert, der zur Verwandtschaft des Erregers der Ulmenwelke gehört. Als Schadursache konnten Klimafaktoren noch nicht eindeutig nachgewiesen werden, es wird jedoch vermutet, dass Witterungsextreme wie Frost (insbesondere Spätfrost) oder Wassermangel eine Rolle spielen (CECH U. HOYER-TOMICZEK 2007, S. 8).

Berg-Ulme (*Ulmus glabra*)

Die Berg-Ulme ist in fast ganz Europa verbreitet und reicht vom Tiefland bis auf 1400 m hinauf. Sie bevorzugt tiefgründige, lockere, frische bis feuchte und sandige bis lehmige Böden, die kalkhaltig und im Untergrund kiesig sind (WERMELINGER et al. 2007, S. 63). Außerdem sollten die Böden nährstoff- und feinerdereich sein. Die Berg-Ulme meidet sehr trockene Lagen und ist als Tiefwurzler sturmfest

(WERMELINGER et al. 2007, S. 63). Sie ist in staudenreichen Eschen-Bergahorn-Wäldern, seltener in Auwäldern heimisch. (KUTSCHERER & LICHTENEGGER 2002, S. 430). Das Ulmensterben ist auch im Untersuchungsgebiet von Bedeutung, welches durch Pilze verursacht wird, die vom Ulmensplintkäfer in das Wasserleitungssystem des Baumes eingebracht werden (siehe Kap. 5.3). Durch Wucherungen wird der Wasserstrom unterbunden, wodurch sehr rasch der ganze Baum vertrocknet. Die Käfer befallen sowohl einzeln stehende Bäume als auch im Wald auf engem Raum stehende einzelne Gruppen (WERMELINGER et al. 2007, S. 61).

Wenn Baumarten angepflanzt werden, die nicht an die Standortbedingungen vor Ort angepasst sind, also nicht der potentiellen natürlichen Waldgesellschaft entsprechen, erfordert dies in der Regel auch eine höhere menschliche Einflussnahme und damit auch höhere Kosten (KIRCHMEIER et al. 2000, S. 110):

- Die Baumart muss künstlich durch den Menschen angepflanzt werden.
- Da andere Baumarten konkurrenzstärker sind, müssen sie besonders geschützt werden.
- Aufgrund der nicht standortgerechten Anpflanzung steht die Baumart unter standortbedingtem Stress und ist schadanfälliger.
- Die für den Streuabbau der Baumart verantwortlichen Mikroorganismen oder Wurzelsymbionten (Mykorrhiza) sind eventuell nicht vorhanden. Dadurch kann das Gleichgewicht des Ökosystems gestört sein.
- Durch den schlechteren Streuabbau kann der Humusaufbau gestört sein und die Standortqualität verschlechtert werden.

3.3.2 Natürliche Waldgesellschaften

Natürliche Waldgesellschaften setzen sich aus den am jeweiligen Standort angepassten Baumarten zusammen und bestehen in der Regel aus einer Hauptbaumart und mehreren Nebenbaumarten. Nur an wenigen extremen Standorten bilden sich ohne Einflussnahme des Menschen Reinbestände aus, was

bedeutet, dass die Natur im Allgemeinen einen Mischwaldbestand hervorbringt (LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH 2007, S. 9 u. 20).

Die linke Graphik in Abbildung 19 zeigt einen zusammenfassenden Überblick über die natürlichen Waldgesellschaften in Österreich, orientiert nach der Höhenlage und einer Nord-Süd-Linie vom Mühlviertel bis zu den südlichen Randalpen. Hierbei sollten vor allem die nördlichen Randalpen ins Auge gefasst werden. In der rechten Graphik ist die räumliche Verteilung der natürlichen Waldgesellschaften in Oberösterreich dargestellt.

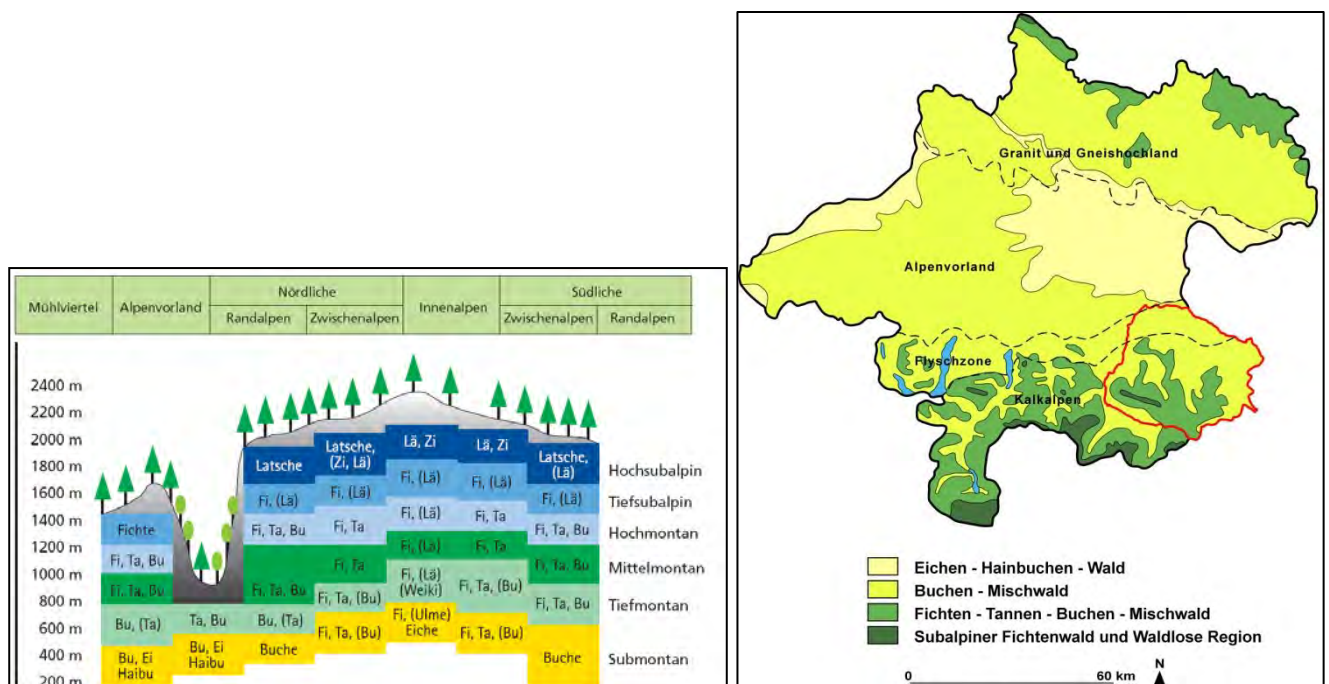
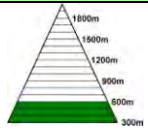
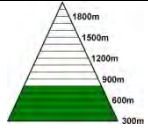

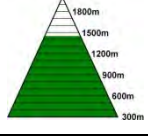

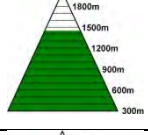
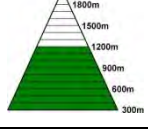
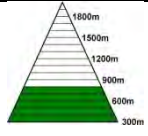



Abbildung 19: Natürliche Waldgesellschaften in Österreich (links) und in Oberösterreich (rechts) (Quellen: linke Graphik: LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH 2007, S. 9, rechte Graphik: LAND OBERÖSTERREICH 2012b, verändert)

Nach der Einteilung der forstlichen Wuchsgebiete in Österreich von KILIAN et al. (1994, S. 12f) befindet sich das Untersuchungsgebiet in den nördlichen Randalpen (Ostteil), gegliedert in die Höhenstufen submontan 300 – 600 m (700 m), tiefmontan 600 – 800 m (550 – 900 m), mittelmontan 800 – 1200 m (700 – 1400 m), hochmontan 1200 – 1450 m (1100 – 1500 m), tiefsubalpin 1450 – 1600 m (1300 – 1750 m) und hochsubalpin 1600 – 1900 m (1500 – 2000 m). Hierbei werden die einzelnen Höhengürtel jedoch nicht primär nach den jeweiligen Seehöhenwerten definiert, sondern nach klimatisch-pflanzensoziologischen Gesichtspunkten und können sich

somit verschieben und überlagern (daher die Höhenangaben in den Klammern). Das Untersuchungsgebiet liegt somit im typischen Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet. Laut KILIAN et al. (1994, S. 34) gibt es darin folgende natürliche Waldgesellschaften:

Tabelle 2: Natürliche Waldgesellschaften im Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet (Wuchsgebiet: nördliche Randalpen - Ostteil nach KILIAN et al. 1994, S. 34, eigene Darstellung)

Vorkommen	Höhenlage	natürliche Waldgesellschaft im typischen Fichten-Tannen-Buchenwaldgebiet	
submontane Stufe	300 - 600 m (300 - 700 m)	Stieleichen-Hainbuchenwald (<i>Galio sylvatici-Carpinetum</i>) an wärmebegünstigten Hängen v.a. am Alpenrand	
submontane bis tiefmontane Stufe	300 - 800 m (300 - 900 m)	Buchenwald mit Beimischung von Tanne (auf Flyschpseudogley stärker), Bergahorn, Esche (Fichte, Rotföhre, Eiche)	
mittelmontane - hochmontane Stufe	800 - 1450 m (700 - 1500 m)	Fichten-Tannen-Buchenwald (Leitgesellschaft) mit Quirl-Weißwurz (<i>Polygonatum verticillatum</i>)	
montane Stufe	300 - 1450 m (300 - 1500 m)	Fichten-Tannenwald als edaphisch bedingte Dauergesellschaft	
submontane bis tiefmontane Stufe	300 - 800 m (300 - 900 m)	Fichten-Tannenwald z.T. mit Stieleiche gemischt	
montane Stufe	300 - 1450 m (300 - 1500 m)	Fichtenwald als lokalklimatisch (Kaltluftdolin) oder edaphisch bedingte Dauergesellschaft	
submontane bis mittelmontane Stufe	300 - 1200 m (300 - 1400 m)	Schneeheide-Rotföhrenwald (<i>Erico-Pinetum sylvestris</i>) als Dauergesellschaft an flachgründigen, sonnigen Dolomit-Steilhängen	
an Flüssen und Bächen	-	Grauerlenbestände (<i>Alnetum incanae</i>)	
an größeren Flüssen	-	Silberweidenbestände (<i>Salicetum albae</i>) als Auwald	
submontane bis tiefmontane Stufe	300 - 800 m (300 - 900 m)	Laubmischwälder mit Bergahorn, Esche und Bergulme an frisch-feuchten (Schutt-)Hängen in luftfeuchtem Lokalklima	
submontane bis tiefmontane Stufe	300 - 800 m (300 - 900 m)	Lindenmischwälder (<i>Cynancho-Tilietum</i>) auf trockeneren kalkreichen Schutthängen	

tiefsubalpine Stufe	1450 - 1600 m (1300 - 1750 m)	Fichtenwald als schmaler Höhengürtel, reichlich mit Lärchen gemischt	
subalpine Stufe	1450 - 1900 m (1300 - 2000 m)	kleinflächiger Karbonat-Lärchenwald (<i>Laricetum deciduae</i>), an schattigen Steilhängen bis ca. 800 m hinabsteigend	
hochsubalpine Stufe	1600 - 1900 m (1500 - 2000 m)	Karbonat-Latschengebüsche , an ungünstigen Standorten (z.B. Schuttriesen, Lawinenzüge) weit in die montane Stufe hinab reichend, häufig anthropogen gefördert	
subalpine Stufe	1450 - 1900 m (1300 - 2000 m)	Grünerlengebüsch (<i>Alnetum viridis</i>) an feuchten, schneereichen Standorten (Lawenstriche)	

Da sich die Auswirkungen des Klimawandels noch nicht ausreichend prognostizieren lassen, vor allem nicht auf regionaler Ebene, sollten Baumarten angepflanzt werden, die den standörtlichen Bedingungen voll entsprechen. Bei einer möglichen Änderung des Klimas mit höheren Temperaturen und längeren Trockenperioden sind diese Baumarten dann immer noch im optimalen oder zumindest guten Bereich der Standorteignung. Für Baumarten, die sich bereits jetzt am Rand ihrer Standorteignung befinden, könnte der Klimawandel dramatische Folgen haben. Mögliche Auswirkungen auf die potenziell natürlichen Waldgesellschaften bei einer angenommenen Temperaturerhöhung um 2-3 °C werden in Tabelle 3 erläutert.

Tabelle 3: Auswirkungen auf die potentiell natürliche Vegetation bei einer angenommenen Klimaänderung von 2-3 °C sowie mögliche waldbauliche Auswirkungen (Quelle: STARLINGER 1997, S. 19ff)

Heutige zonale PNV	Zonale PNV bei Temperaturerhöhung um 2-3 °C	Mögliche waldbauliche Auswirkungen
Hochsubalpiner Lärchen-Zirbenwald	Tiefsubalpiner Fichtenwald	Lokale Verdrängung der Zirbe durch die Fichte, sofern kein Eingriff in die zwischenartliche Konkurrenz erfolgt
Tiefsubalpiner Fichtenwald	Fichten-Tannen-Buchenwald (Kalk-Randalpen), Fichten-Tannenwald (Zwischenalpen), montaner Fichtenwald (Inneralpen)	Erhöhung der Wuchsleistung der Fichte; zusätzliche Baumarten (Rotbuche, Tanne, Bergahorn) kommen für die forstliche Produktion hinzu; wegen der erhöhten inner- und zwischenartlichen Konkurrenz werden mehr waldbauliche Eingriffe nötig.
Montaner Fichtenwald	z.T. Rotföhren-Eichenwald (tiefmontan)	Bei Fichte in tieferen Lagen vermehrt Trockenschäden, Höhere Anfälligkeit gegen Schadinsekten, ev. auch erhöhte Brandgefahr.
Montaner Fichten-Tannenwald	z.T. Fichten-Tannen-Buchenwald	Höhere Anfälligkeit der Fichte gegen Schadinsekten; Erhöhung der Konkurrenzkraft der Rotbuche
Montaner Fichten-Tannen-Buchenwald	Buchenwald	Höhere Anfälligkeit der Fichte gegen Schadinsekten; Erhöhung der Konkurrenzkraft der Rotbuche
Sub-/tiefmontaner Buchenwald	Eichen-Hainbuchenwald	Möglicherweise Absterben der hier großflächig vorhandenen Fichten-Reinbestände; Umkehrung der Konkurrenzverhältnisse zwischen Rotbuche und den Eichenarten.
Kolliner Eichen-Hainbuchenwald	Zerreichen-Flaumeichen-Mischwald	Rückgang von Traubeneichen, Hainbuche; Zunahme von Zerreiche, Flaumeiche

3.4 Die Waldstruktur im Untersuchungsgebiet

Weite Teile des Untersuchungsgebiets sind von Nadelwäldern bzw. nadeldominanten Mischwäldern bedeckt. Aber auch Laubwälder und laubdominante Mischwälder haben einen bedeutenden Anteil an der Waldstruktur im untersuchten Gebiet (siehe Abbildung 20).

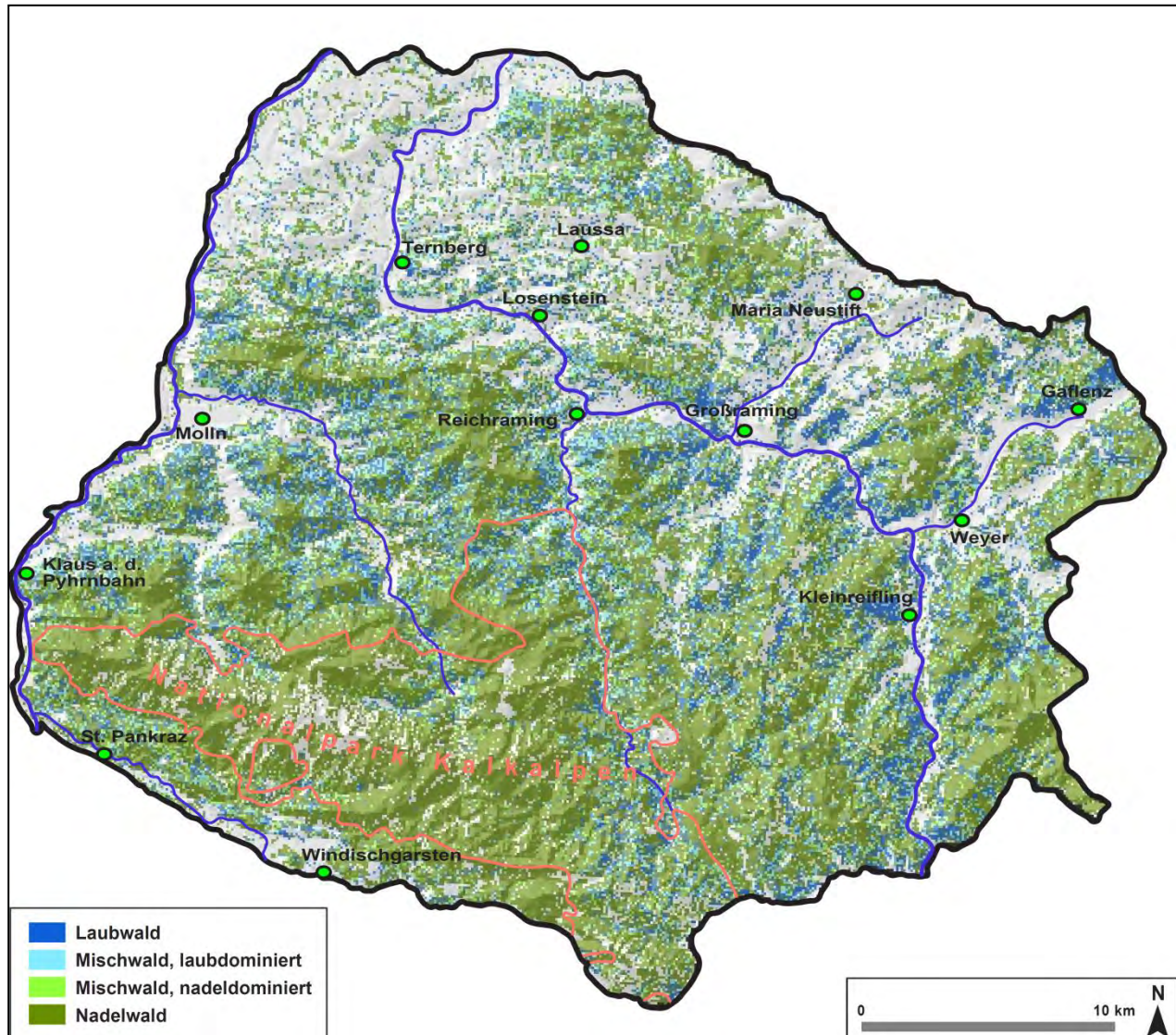


Abbildung 20: Waldtypen im Untersuchungsgebiet (Quelle: BFW 2010b, eigene Darstellung)

In Abbildung 21 zeigt sich, dass Fichten und Rotbuchen über weite Teile im Untersuchungsgebiet die Hauptbaumarten bilden, vereinzelt auch die Esche, die Lärche, die Ahorn und die Tanne (rote Markierungen). Eschen, Lärchen und Ahorn kommen jedoch oftmals nur als Nebenbaumarten vor (braune Markierungen).

Vereinzelt sind im Untersuchungsgebiet auch die Weißkiefer, die Eiche, die Ulme, die Birke, die Weißerle, die Linde, die Eberesche, die Weide, die Vogelkirsche, der Wildapfel und die Holzbirne zu finden (gelbe Markierungen).

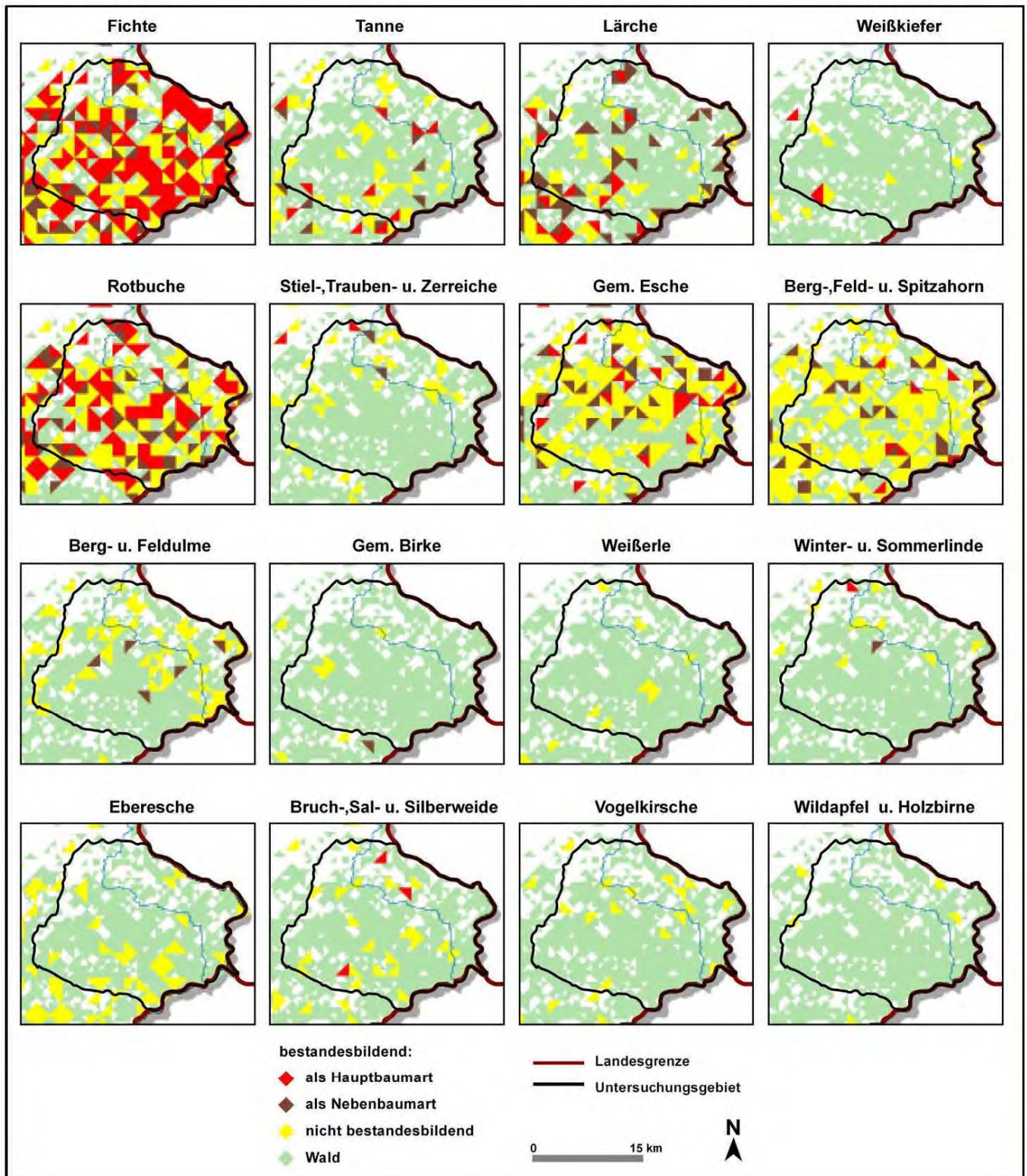


Abbildung 21: Räumliche Verteilung der einzelnen Baumarten im Untersuchungsgebiet (Quelle: SCHADAUER et al. 2011, eigene Darstellung)

Für eine Untersuchung der Borkenkäferproblematik ist der Anteil der Fichte an der Waldstruktur von entscheidender Bedeutung. Dieser liegt im Bezirk Steyr bei ca. 52 % und im Bezirk Kirchdorf bei ca. 44 % des gesamten Ertragshochwaldes (BFW - Österreichische Waldinventur). Der größte Teil des Fichtenbestands wächst auf einer Seehöhe von unter 900 m (in Steyr ca. 34 % und in Kirchdorf ca. 24 % des gesamten Ertragshochwaldes) (siehe Abbildung 22).

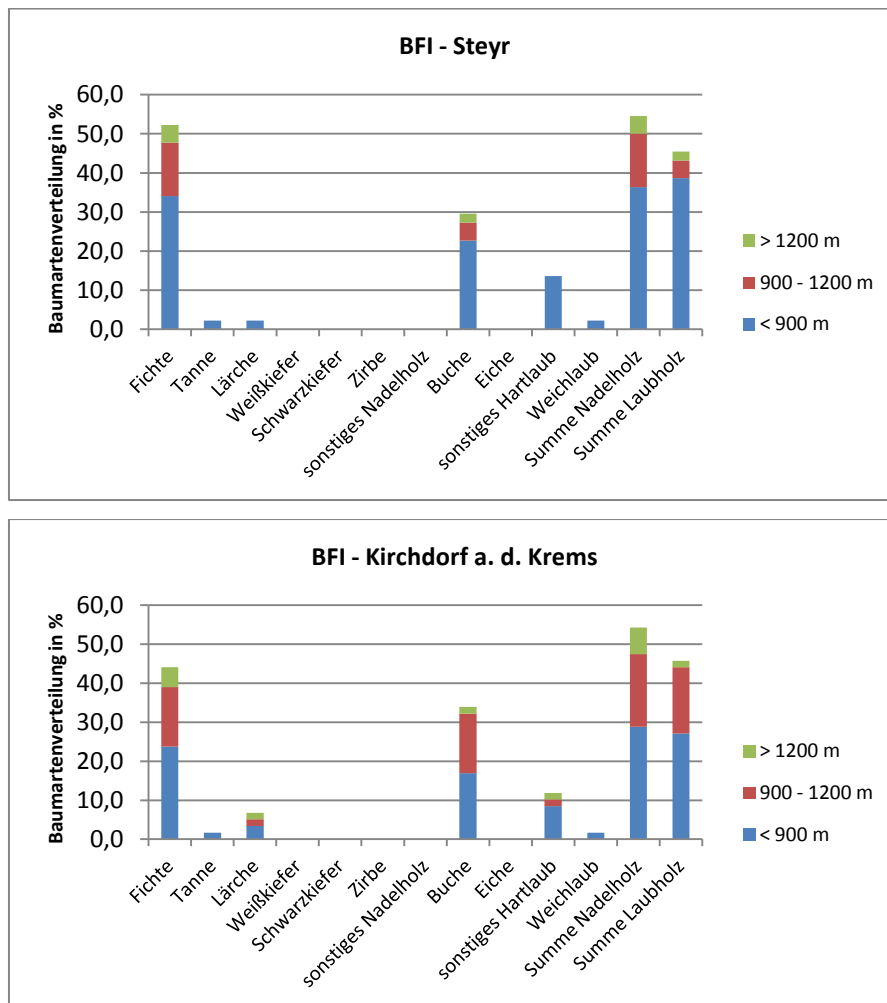


Abbildung 22: Höhenabhängige Baumartenverteilung in % in den Bezirken Steyr und Kirchdorf a. d. Krems (Datenquelle: BFW - Österreichische Waldinventur, eigene Darstellung)

Der Gesamtholzvorrat in Abbildung 23 spiegelt den hohen Waldanteil im Untersuchungsgebiet wieder. Beinahe über das gesamte Gebiet hinweg ist ein Vorrat von über 5000 Vorratsfestmeter je 25 Hektarzelle vorhanden. Über viele Jahrhunderte hinweg galt der Wald als wichtigster Energie- und Rohstofflieferant, allen voran für die eisenverarbeitenden Betriebe. Aufgeforstet wurde überwiegend mit der schnell nachwachsenden Fichte.

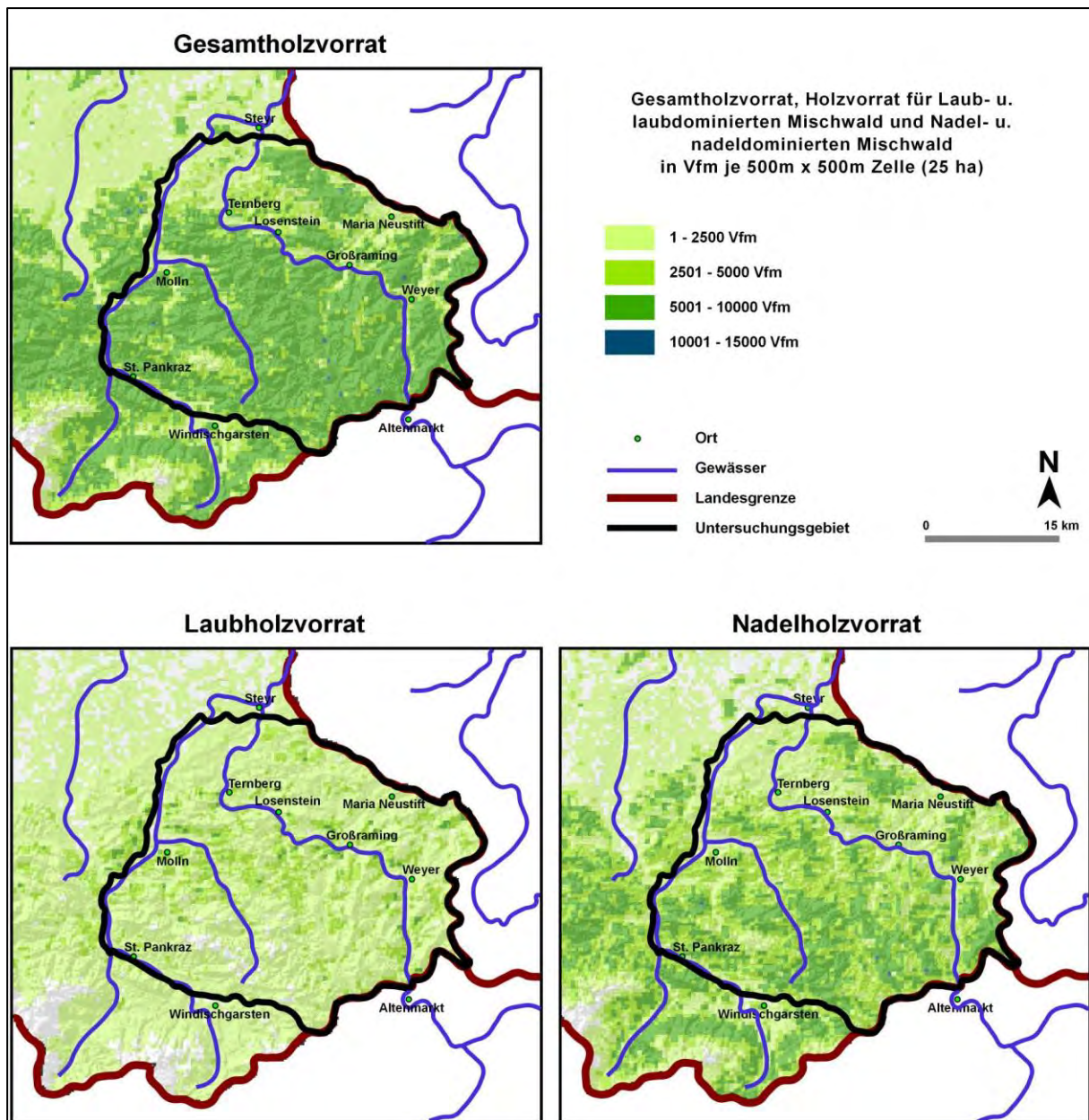


Abbildung 23: Gesamtholzvorrat, Holzvorrat für Laub- u. laubdominierten Mischwald und Nadel- u. nadeldominierten Mischwald in Vorratsfestmeter (Vfm) je 500m x 500m Zelle (25 ha) (Quelle: BFW 2010c, eigene Darstellung)

Dennoch sind viele naturnahe Waldgebiete erhalten geblieben. An einigen forstwirtschaftlich schwer nutzbaren Lagen sind Waldstücke erhalten geblieben, die mit hoher Wahrscheinlichkeit als Urwaldreste gelten. Diese sind großteils Buchen- und Buchen-Tannenwälder und vereinzelt kleinflächig auch natürliche Fichtenwälder (LENGLACHNER & SCHÖN 2008, S. 40). Abbildung 24 zeigt die Baumartenverteilung im Waldwildnisgebiet des Nationalparks Kalkalpen. In diesem Gebiet werden keine Borkenkäfermaßnahmen durchgeführt.

Baumartenverteilung

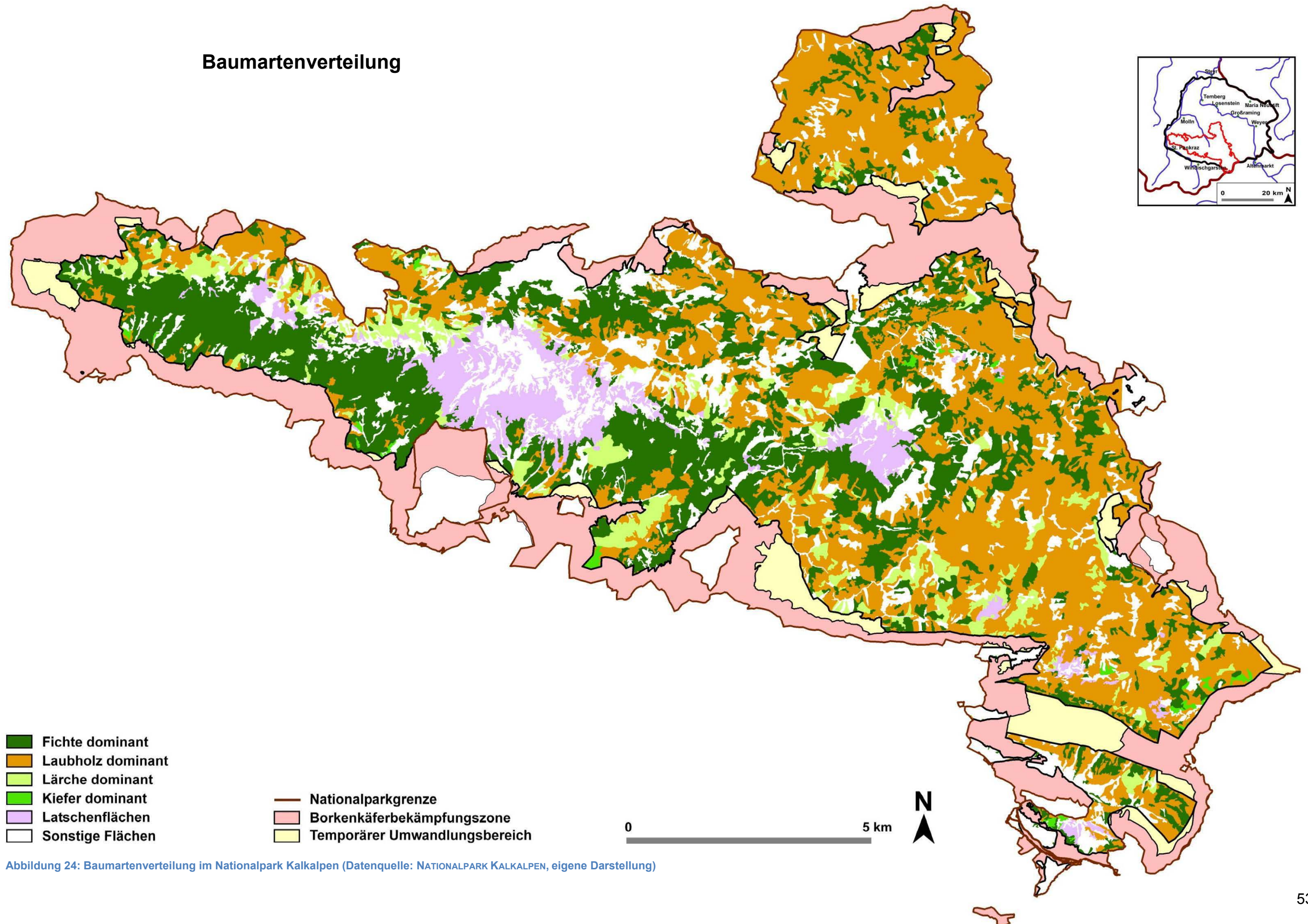


Abbildung 24: Baumartenverteilung im Nationalpark Kalkalpen (Datenquelle: NATIONALPARK KALKALPEN, eigene Darstellung)

4 Der Borkenkäfer

Der Borkenkäfer zählt zur Familie der Rüsselkäfer und ist weltweit mit über 6000 Arten vertreten. Zu den wichtigsten Borkenkäferarten zählen laut WERMELINGER et al. (2007):

Tabelle 4: Die wichtigsten Borkenkäferarten mit den jeweiligen Wirtsbäumen (WERMELINGER et al. 2007)

Borkenkäferart	Wirtsbaumart
Buchdrucker (<i>Ips typographus</i>)	Fichten, selten Kiefern
Kupferstecher (<i>Pityogenes chalcographus</i>)	Fichten, selten andere Nadelbäume
Doppeläugiger Fichtenbastkäfer (<i>Polygraphus poligraphus</i>)	Fichten, selten andere Nadelbäume
Zottiger Fichtenborkenkäfer (<i>Dryocoetes autographus</i>)	ältere Stöcke, abgestorbene Stämme von Fichten u.a. Nadelbäume
Riesenbastkäfer (<i>Dendroctonus micans</i>)	Fichten, selten andere Nadelbäume
Krummzähniger Weißtannenborkenkäfer (<i>Pityokteines curvidens</i>)	Weißtannen, selten andere Nadelbäume
Kleiner Tannenborkenkäfer (<i>Cryphalus piceae</i>)	in dünner Rinde der Krone älterer oder des Stammes jüngerer Tannen; seltener in Fichten, Kiefern oder Lärchen
Großer Waldgärtner (<i>Tomicus piniperda</i>)	Kiefern, selten an Fichten / Lärchen; durch Reifungsfraß in jungen Trieben sterben diese ab und fallen zu Boden
Kleiner Waldgärtner (<i>Tomicus minor</i>)	Kiefern, selten an Fichten / Lärchen; vor allem obere Partien; Reifungsfraß im Mark junger Triebe
Sechszähniger Kiefernborkekäfer (<i>Ips acuminatus</i>)	Kiefern, seltener andere Nadelhölzer; Rotfärbung der Endtriebe
Großer Lärchenborkenkäfer (<i>Ips cembrae</i>)	vor allem Lärchen und Arven
Kleiner Bunter Eschenbastkäfer (<i>Leperisinus fraxini</i>)	Eschen, seltener an anderen Laubbäumen; durch wiederholten Reifungsfraß an gleicher Stelle kommt es zu Wucherungen ("Eschengrind")
Kleiner Buchenborkenkäfer (<i>Taphrorychus bicolor</i>)	in Ästen und Stämmen von Buchen, Hagebuchen, Eichen
Kleiner Ulmensplintkäfer (<i>Scolytus multistriatus</i>)	Ulmen-Arten; am Stamm und oberen Ästen geschwächter Bäume, auch an jüngeren Bäumen; Reifungsfraß an Blattstielen und Zweig-Ansatzstellen; überträgt dabei den Erreger der Ulmenwelke
Linierter Nutzholzborkenkäfer (<i>Trypodendron lineatum</i>)	Nadelbäume
Ungleicher Holzbohrer (<i>Xyleborus dispar</i>)	alle Laubholzarten; an gefälltten Stämmen oder geschwächten Bäumen
Schwarzer Nutzholzborkenkäfer (<i>Xylosandrus germanus</i>)	Laubbäume, Fichten und andere Nadelbäume

4.1 Die Biologie des Borkenkäfers

Die folgenden Ausführungen stützen sich im Wesentlichen auf WERMELINGER et al. (2007). Der überwiegende Teil der Borkenkäferarten lebt in der Rinde oder im Splint von Holzpflanzen und ist 1 bis 9 mm groß. Die mit Punktreihen und Haaren versehenen Flügeldecken sind stark verhärtet und bilden bei vielen Arten am Ende einen deutlichen Knick nach unten, was Absturz genannt wird. Ein wichtiges Bestimmungsmerkmal bilden die seitlich gesäumten Zähne. Die Geschlechtspartner werden mittels artspezifischer Duftstoffe (Pheromone) angelockt und die Eier in selbst genagten Gängen im Holz oder in der Rinde abgelegt, wobei oftmals durch die Mutter- und Larvengänge ein artspezifisches Brutbild entsteht. Um die Geschlechtsreife zu erreichen, führen geschlüpfte Jungkäfer meistens einen „Reifungsfraß“ durch und fliegen dann zu einem neuen Brutbaum oder suchen einen Überwinterungsort. Die mit dem Borkenkäfer eingeschleppten Bläuepilze sind mitverantwortlich für das Absterben der Wirtsbäume, da diese die Leitgefäße der Bäume verstopfen.

Rindenbrüter und Holzbrüter

Bei den Rindenbrütern gibt es monogame Arten (das Männchen paart sich nur mit einem Weibchen), bei denen das Weibchen das Brutsystem anlegt und dann die Männchen mittels Pheromonen anlockt, und polygame Arten (mehrere Weibchen pro Männchen), bei denen sich zuerst das Männchen einbohrt und dann das Weibchen anlockt. Für die Eiablage werden dann „Muttergänge“ angelegt, welche ein artspezifisches Brutbild hervorbringen (z.B. einarmige Längsgänge, Klammergänge, Platzgänge oder Sterngänge). Das anfallende braune Bohrmehl wird dabei aus dem Einbohrloch hinausgeschoben.

Im Gegensatz zu den Rindenbrütern besiedeln bei den Holzbrütern nur die Weibchen neue Wirtsbäume und bohren dabei eine neue Eingangsröhre bis ins Splintholz, weshalb das austretende Bohrmehl von weißer Farbe ist. Die Larven von Holzbrütern ernähren sich nicht vom Holz der Wirtsbäume, sondern von den von den Muttertieren eingebrachten und gezüchteten Ambrosiapilzen. Lange Larvenfraßgänge wie bei den Rindenbrütern sind daher nicht notwendig. Auch bei den Holzbrütern unterscheiden

sich die Brutsysteme je nach Art (z.B. Leitergänge oder Gabelgänge). Nachdem die Larven geschlüpft sind und der „Reifungsfraß“ beendet ist, paaren sich die Weibchen mit den in Unterzahl vorhandenen und oft flugunfähigen Männchen und verlassen anschließend das Brutsystem durch die Eingangsröhre (WERMELINGER et al. 2007, S. 6ff).

Die Biologie des Buchdruckers (*Ips typographus*)

Da er durch Massenvermehrungen großflächige Waldbestände gefährden kann und somit der wirtschaftlich bedeutendste Borkenkäfer Mitteleuropas ist, soll nun auf die Biologie des Buchdruckers (*Ips typographus*) näher eingegangen werden (siehe Abbildung 25).



Abbildung 25: Der Buchdrucker (linkes Bild, WERMELINGER et al. 2007), sein Brutbild (mittleres Bild, WERMELINGER et al. 2007) und seine Einbohrlöcher (rechtes Bild, eigene Aufnahme, 17.10.2011 im NP Kalkalpen)

Der Buchdrucker bevorzugt die Fichte als Wirtsbaum (in Ausnahmefällen auch die Kiefer) und ist 4,2 bis 5,5 mm groß. Auf jeder Seite des Absturzes befinden sich vier Zähne. Dabei ist der dritte Zahn am Größten und erscheint bei Männchen geknöpft. Sogenannte Pioniermännchen bohren sich in geeignete Fichten ein, wobei Pheromone ausgestoßen werden, um Weibchen und auch weitere Männchen anzulocken. Das Brutbild des Buchdruckers beinhaltet die zentral liegende „Rammelkammer“ (Paarungsraum) mit äußerlich sichtbarem Einbohrloch, den „Muttergängen“ mit Einischen und Luftlöchern, den von den Eiablagestellen im Muttergang ausgehenden Larvengängen und den „Puppenwiegen“ am Ende der Larvengänge. Nachdem sich das Männchen mit ein bis drei Weibchen gepaart hat, legt jedes Weibchen rund 50 Eier in regelmäßigen Abständen im Muttergang ab, aus denen nach ein bis zwei Wochen die Larven schlüpfen. Rechtwinkelig vom

Muttergang abweigend fressen sich dann die Larven durch den nahrhaften Rindenbast. Drei bis sechs Wochen dauert die Entwicklungszeit der Larven, bis sie sich schließlich verpuppen. Nach weiteren ein- bis zwei Wochen schlüpfen dann die noch weichen und hellen Käfer und führen zwei bis drei Wochen lang einen „Reifungsfraß“ durch, wodurch sie sich dunkel anfärben. Dann bohren sie sich bei günstiger Witterung durch die Rinde und suchen sich einen neuen Brutbaum oder eine Überwinterungsmöglichkeit (in der Baumrinde oder im Boden). Elternkäfer verlassen oftmals schon früh das Brutsystem, um andernorts zusätzliche kleinere Geschwisterbruten anzulegen. Der Buchdrucker kann sowohl als adulter Käfer als auch als Larve überwintern, wobei jedoch die Larven sehr viel kälteempfindlicher sind (WERMELINGER et al. 2007, S. 7). Die Temperatur spielt bei der Entwicklungsdauer der Brut in der Rinde und beim Schwärmen eine wichtige Rolle (KRENN 2007, S. 7) (siehe Abbildung 26).

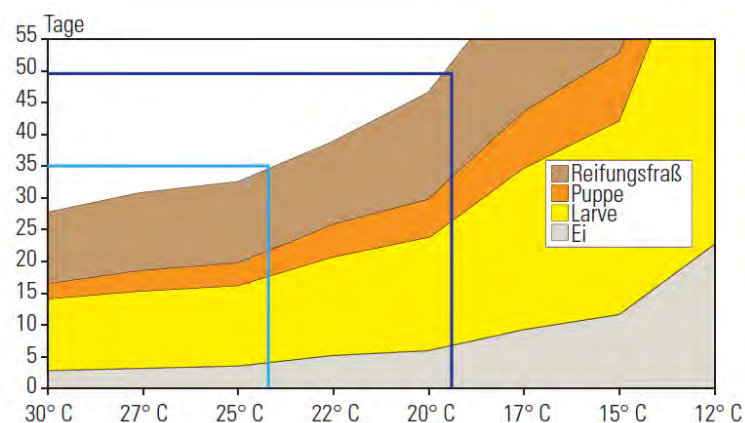


Abbildung 26: Die temperaturabhängige Entwicklungsdauer des Buchdruckers (WERMELINGER & SEIFERT 1998 zitiert nach TOMICZEK & PFISTER 2008, S. 23)

Eine maximale Tageslufttemperatur von 16,5 °C gilt als Schwellenwert für die Flugaktivität der Borkenkäfer, ab einer maximalen Tageslufttemperatur 19,4 °C beginnt ein starkes Ausschwärmen der Borkenkäfer (SCHOPF et al. 2004, S. 15). Bei einer Temperatur von unter 5 °C und über 40 °C konnten beim Ei, der Larve oder der Puppe keine Entwicklungen mehr festgestellt werden. 30 °C werden für die Entwicklung als optimal angegeben. Diese Schwellenwerte können in Verbindung mit Temperatursummen und verschiedenen Berechnungsmethoden wie auch unter Betrachtung der einzelnen Entwicklungsstadien der Borkenkäfer voneinander abweichen (WERMELINGER & SEIFERT 1994). Die für die Entwicklung des Buch-

druckers entscheidende Rindentemperatur unterscheidet sich je nach Lage und Exposition des Wirtsbaumes oftmals erheblich von der Umgebungstemperatur. Auf südexponierten Hanglagen können auch in hochmontanen Regionen optimale Rindentemperaturen für die Entwicklung des Borkenkäfers erreicht werden, wobei ein signifikanter Unterschied zwischen stehenden und liegenden Bäumen besteht. Hauptsächlich bei liegenden Bäumen kann das Tagesmaximum der Rindentemperatur an der Stammoberseite sehr leicht 50 °C überschreiten, was für den Borkenkäfer letal wirkt (KRENN 2007, S. 24).

In Abhängigkeit von der Witterung kann der Buchdrucker ein bis drei Generationen pro Jahr abschließen, wobei drei Generationen mit Geschwisterbruten nur in sonnenexponierten Tallagen erreicht werden können. Die Bereitschaft zur Anlage einer Brut als auch das Ausschlüpfen der Jungkäfer wird neben der Temperatur auch wesentlich von der Tageslänge beeinflusst. Als Schwellenwert werden 14,7 Stunden angegeben, unter denen beim Buchdrucker in Mitteleuropa eine reproduktive Diapause eintritt (SCHOPF 1985 und 1989 zitiert nach KRENN 2007, S. 8). Laut LEDITZNIG (2011, S. 1) sind auch in der tiefsubalpinen Stufe bis 1600 m Borkenkäfer-Massenvermehrungen möglich, was im Untersuchungsgebiet in etwa der Waldgrenze entspricht. Auch SCHOPF et al. (2004, S. 96) kommt zu dem Ergebnis, dass aufgrund der wärmer werdenden Witterungsbedingungen auch in höheren Lagen Geschwisterbruten und unter Umständen auch eine zweite Generation erfolgreich abgeschlossen werden können.

4.2 Der Platz des Borkenkäfers in der Natur

Der Borkenkäfer gilt als Pionierinsekt. Er befällt in der Regel nur kranke, geschwächte oder frisch abgestorbene Bäume und ist damit ein wichtiger Teil im Ökosystem Wald, wobei das Holz zersetzt und wieder in den Stoffkreislauf zurückgeführt werden kann. Dadurch wird ein Lebensraum nicht nur für sich und seine Art geschaffen, sondern auch für andere Insekten, Mikroorganismen und Pilze. Gesunde Bäume wehren sich gegen einen Borkenkäferbefall mit verstärktem Harz-

bzw. Saftfluss. Nur bei kranken oder geschwächten Bäumen (diese wirken von außen oftmals gesund) gelingt dem Borkenkäfer eine Besiedelung. Er ist somit ein wichtiges Bindeglied im Nährstoffkreislauf des Ökosystems Wald.

Der Borkenkäfer schafft Freiflächen für neue Baumarten, die an die jeweiligen Standortbedingungen möglicherweise besser angepasst sind und sich durch eine höhere Widerstandskraft auszeichnen. Das durch die abgestorbenen Bäume erhöhte Lichtangebot am Waldboden fördert die natürliche Verjüngung und Regeneration des Waldbestands. Die neuen Baumarten kommen dann auch mit extremen Witterungsereignissen besser zurecht und widerstehen starken Stürmen, Trockenheit und schweren Schneelasten.

Natürliche Feinde des Borkenkäfers

Auch Borkenkäfer haben eine Vielzahl von natürlichen Feinden (Antagonisten), welche im Normalfall die Borkenkäferpopulationen begrenzen. Allerdings können auch diese natürlichen Feinde nach einer außergewöhnlichen Störung (Sturm, Trockenheit) eine Massenvermehrung von bestimmten Borkenkäferarten nicht verhindern. Nach einigen Generationen erreichen diese natürlichen Feinde ebenfalls eine hohe Dichte und bewirken zusammen mit einer wieder erhöhten Widerstandskraft der Bäume einen Rückgang der Borkenkäferpopulationen (WERMELINGER et al. 2007, S. 13 und NIERHAUS-WUNDERWALD 1996, S. 14).

Es können drei Gruppen von natürlichen Feinden unterschieden werden – die Räuber (Prädatoren), die Schmarotzer (Parasitoide) und die Krankheitserreger (Pathogene) (NIERHAUS-WUNDERWALD 1996, S. 8ff). Zu den wichtigsten Räubern zählen verschiedene Spechtarten (hier vor allem der Dreizehenspecht (*Picoides tridactylus*)), räuberische Insektenarten (z. B. der Ameisenbunkkäfer (*Thanasimus formicarius*)) oder die Larven von gewissen Fliegenarten. Als Schmarotzer gelten parasitische Wespen, die ihre Eier an die Larve oder seltener auf die Käfer legen und diese dann während ihrer Entwicklung verzehren. Als dritte Gruppe von natürlichen Feinden wird der Pilz *Beauveria bassiana* angeführt, der sowohl Larven als auch Käfer im Brutbild befällt und zum Tod des Käfers führt (WERMELINGER et al. 2007, S. 13).

4.3 Die Borkenkäfersituation in Österreich

Für die Entwicklung des Borkenkäfers sind die thermalen Bedingungen und das Nahrungsangebot von entscheidender Bedeutung. Mit jeder fertig entwickelten Generation und Geschwisterbrut steigt das Vermehrungspotential exponentiell an. Die Abbildung 27 zeigt einen deutlichen Zusammenhang zwischen einzelnen Sturmereignissen und der Borkenkäferentwicklung. Jeweils ein bis drei Jahre nach einem großflächigen Windwurfereignis stiegen die Borkenkäferschäden sprunghaft an, etwa nach den Orkanen Vivian und Wiebke im Jahr 1990, nach orkanartigen Stürmen zwischen Okt. 2002 und Jän. 2003, nach dem Orkan Kyrill im Jahr 2007 und nach den Orkanen Paula und Emma im Jahr 2008. Im Jahr 2009 wurde mit 2,87 Millionen Festmetern die bisher höchste Schadholzmenge durch den Borkenkäfer verzeichnet.

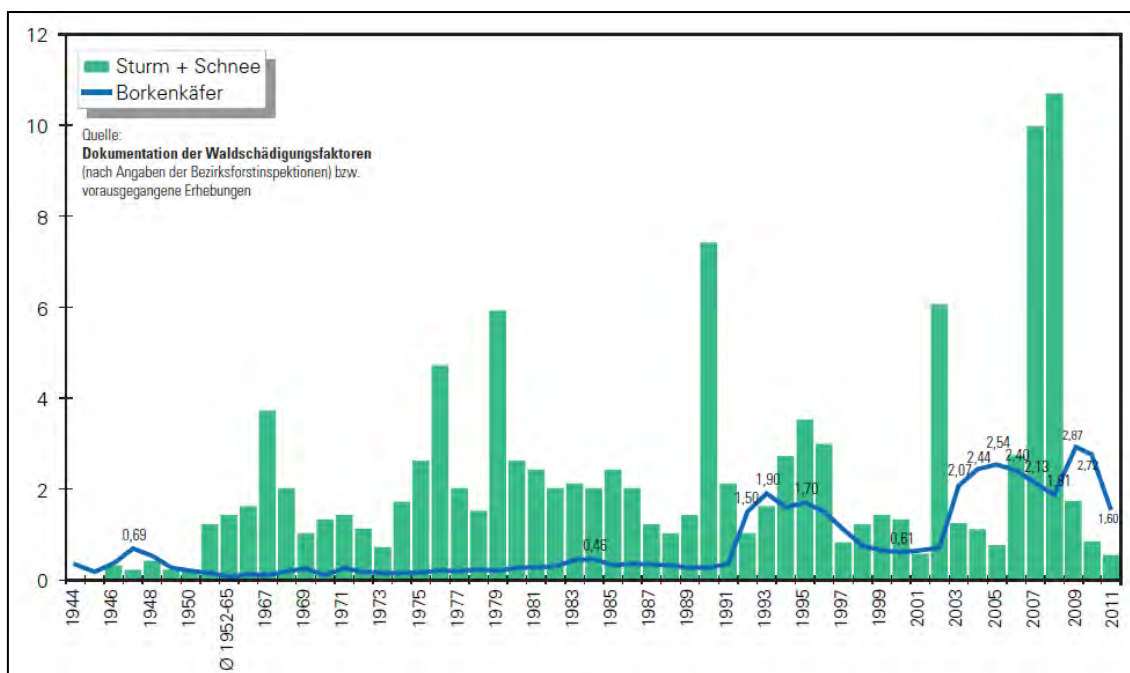


Abbildung 27: Schadholzmengen aufgrund von Sturm und Schneedruck im Vergleich zu Borkenkäferschäden in Mio. m³ von 1944 bis 2011 (Quelle: BFW 2012, S. 5)

Die größte Schadholzmenge verzeichnet aktuell das Bundesland Steiermark, gefolgt von den Bundesländern Kärnten, Oberösterreich, Niederösterreich und Salzburg (BFW 2011, S. 11) (siehe Abbildung 28).

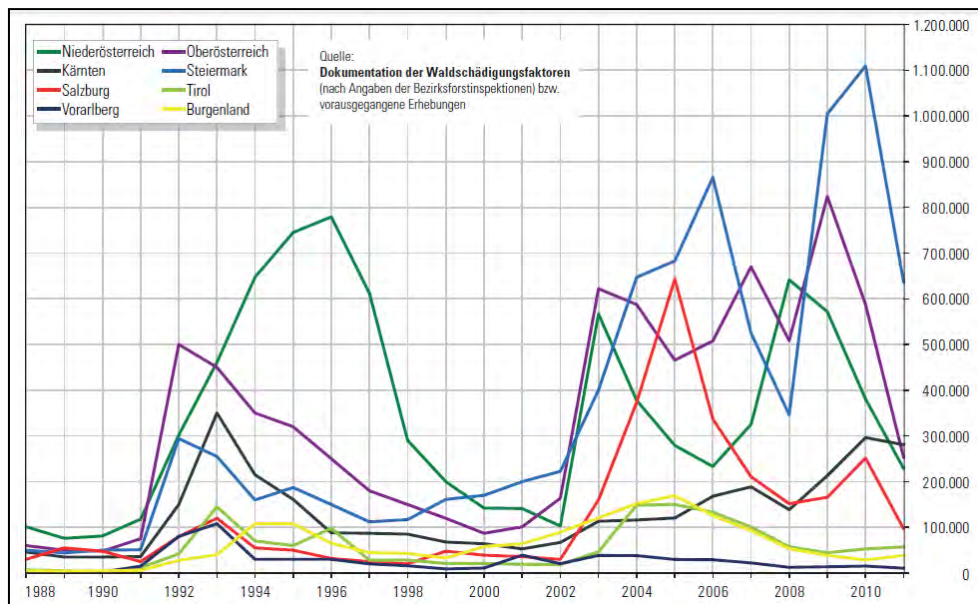


Abbildung 28: Borkenkäferschadholzmengen nach Bundesländern von 1988 bis 2011 (Quelle: BFW 2012, S. 12)

In beinahe allen walddreichen Bezirken überstieg die Schadholzmenge durch den Buchdrucker 10.000 Festmeter, so auch in den im Untersuchungsgebiet liegenden Bezirken Steyr und Kirchdorf. Im Bezirk Steyr wurde die Schadensverteilung flächig und mit fallender Entwicklung seit der letzten Erhebung angegeben, im Bezirk Kirchdorf lag der Befall in Nestern vor mit ebenfalls fallender Entwicklung (BFW 2012, S. 28) (siehe Abbildung 29).

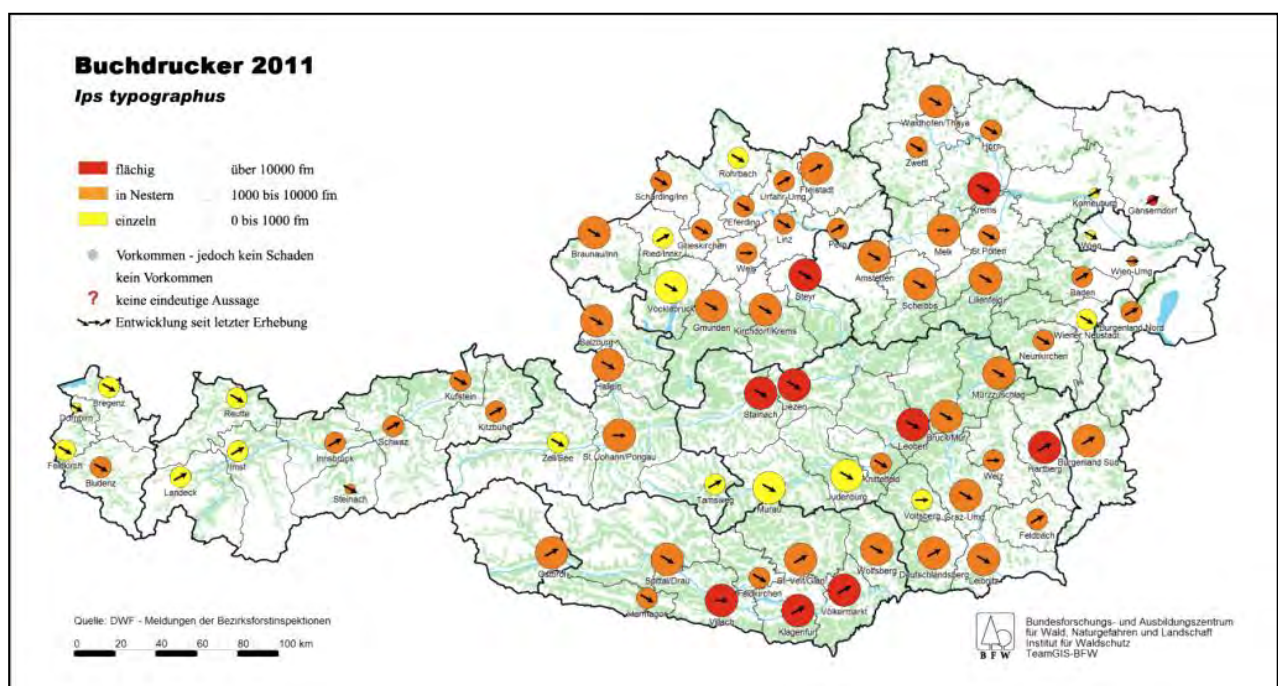


Abbildung 29: Verteilung des Buchdruckers in Österreich 2011 (Quelle: BFW 2012, S. 28)

Im Bezirk Kirchdorf entstand eine Schadholzmenge durch den Kupferstecher von unter 5000 Festmeter, er kam in Nestern vor und hatte eine rückläufige Entwicklung. Im Bezirk Steyr lag die Schadholzmenge ebenfalls unter 5000 Festmetern, der Kupferstecher hatte eine flächige Schadensverteilung und ebenfalls eine rückläufige Entwicklung (BFW 2012, S. 60) (siehe Abbildung 30).

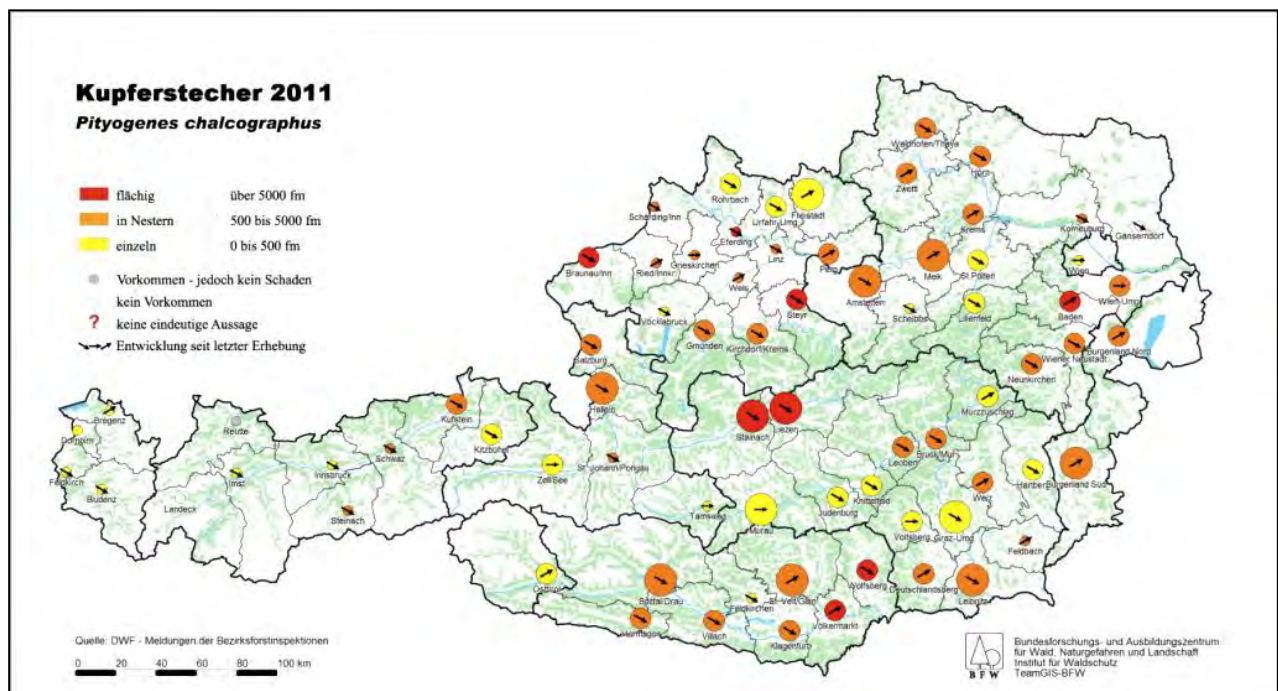


Abbildung 30: Verteilung des Kupferstechers in Österreich 2010 (Quelle: BFW 2011, S. 60)

4.4 Unterschiedliche Sichtweisen zum Borkenkäfer

Die Beeinflussung des Borkenkäfers auf Waldökosysteme kann für die Waldbesitzerin bzw. den Waldbesitzer oder der dort ansässigen Bevölkerung unterschiedliche Auswirkungen haben, da der Wald für den Menschen diverse Funktionen erfüllt (siehe Abbildung 31). Diese Funktionen werden in Nutz- und Schutzfunktionen gegliedert. Zu den Nutzfunktionen zählen Holzgewinnung, soziale Sicherheit (durch Arbeitsplatz, Besitz und Gewinn), Erholung, Forschung und Lehre. Zu den Schutzfunktionen werden Bodenschutz, Biotopschutz, Wasserschutz, Klimaschutz, Emissionsschutz, Lawinenschutz, Landschaftsschutz, Naturschutz, Sichtschutz und Verkehrsschutz gerechnet (LESER 2001, S. 973). Die einzelnen Funk-

tionen des Waldes sind im Waldentwicklungsplan verzeichnet. Die Nutzfunktion hat mit 64,6 % den flächenmäßig größten Anteil am österreichischen Wald, gefolgt von der Schutzfunktion mit 30,7 %. Die Wohlfahrtsfunktion und die Erholungsfunktion haben mit 3,6 % und 1,1 % nur einen geringen Anteil am österreichischen Waldvorkommen (SMIDT 2004, S. 9). Auch im Untersuchungsgebiet werden zum größten Teil Waldflächen mit einer Nutzfunktion ausgewiesen, gefolgt von Waldflächen mit Schutzfunktion und Waldflächen mit Erholungsfunktion. Als Erholungsflächen gelten das Ski- und Naherholungsgebiet Hohe Dirn und die Nationalparkflächen Ebenforst und Hochkogel/Anlaufalm. Die Waldflächen mit Schutzfunktion sollen den Waldboden sowie Menschen und Siedlungen vor Steinschlag, Lawinen, Muren, Hangrutschungen, Hochwasser und Bodenabschwemmung schützen. Wälder mit einer Nutzfunktion haben vor allem eine wirtschaftliche Bedeutung.

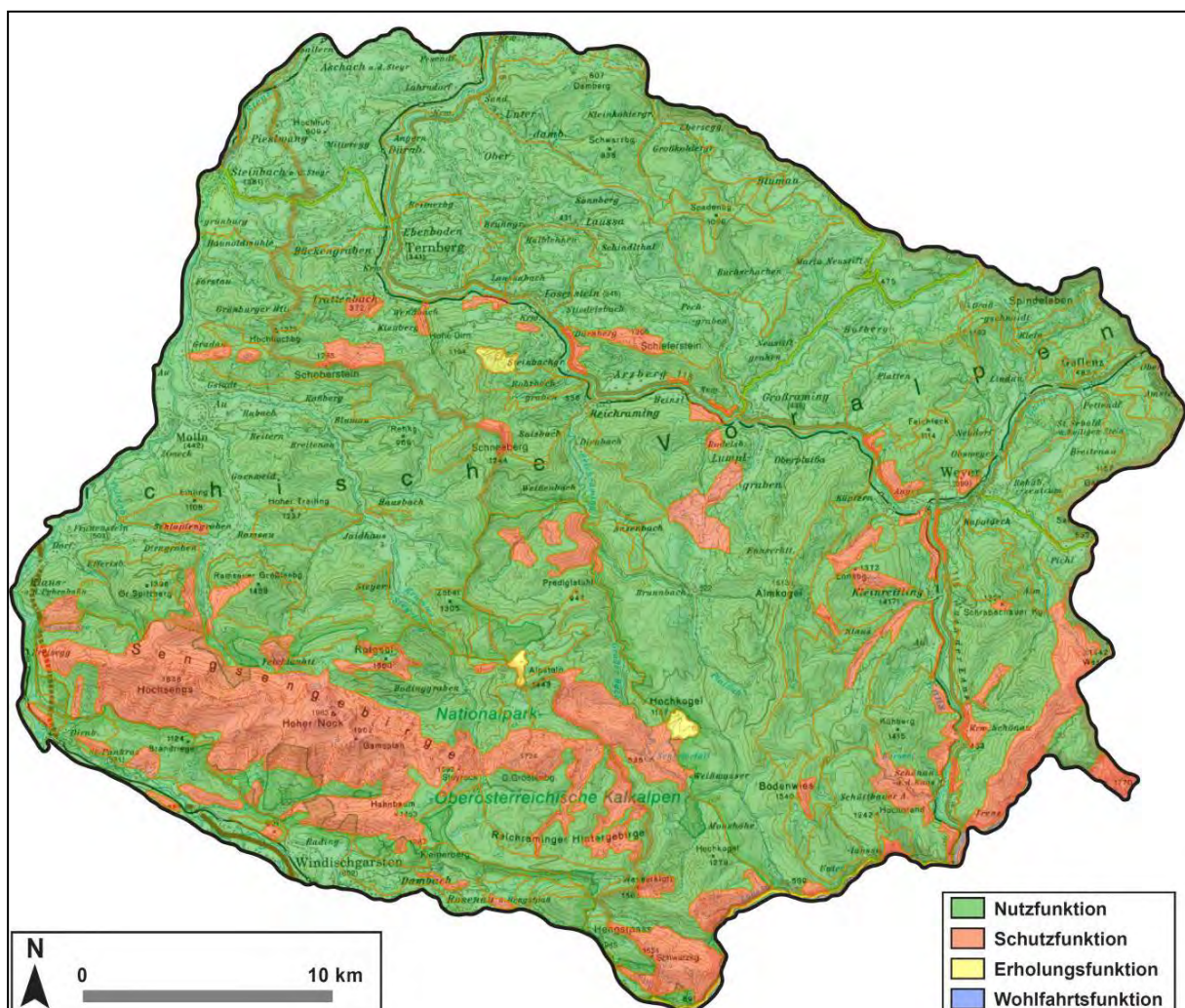


Abbildung 31: Der Waldentwicklungsplan für das Untersuchungsgebiet (Kartenquelle: LAND OBERÖSTERREICH 2012a, eigene Darstellung)

Aus der Sicht des Menschen kann der Borkenkäfer nun einige dieser Funktionen gefährden. Dabei kann der Borkenkäfer als Gefahr für das Ökosystem Wald, als Schädiger und Zerstörer von Ressourcen oder als natürlicher Prozess im Ökosystem Wald gesehen werden. Dies kann für die Betroffenen entweder belanglos sein, nachteilige Folgen haben, als Schaden eingestuft werden oder auch neue Chancen eröffnen (HAAS et al. 2008, S. 10).

Für den Nationalpark Kalkalpen sind Stürme, Lawinen und Schneedruck und daraus resultierende Borkenkäfer-Massenvermehrungen wichtige Prozesse in der natürlichen Dynamik des Ökosystems Wald (NATIONALPARK KALKALPEN 2011a) (siehe Abbildung 32). Laut dem Nationalpark ist liegendes oder stehendes Totholz für über 30 Prozent aller Waldorganismen überlebenswichtig (NATIONALPARK KALKALPEN 2011b). Im Nationalpark Bayerischer Wald wurden große Flächen vom Buchdrucker befallen und haben den Wald verändert. Untersuchungen zeigten, dass es durch das erhöhte Angebot an Totholz zu einer Erhöhung der Artenvielfalt gekommen ist und für den Wald keineswegs eine „ökologische Katastrophe“ bedeutete (NANO 2011b).



Abbildung 32: Natürliche Dynamik im Ökosystem Wald (eigenes Foto aufgenommen südlich des Zwielaufs im Nationalpark Kalkalpen am 17.10.2011)

5 Begünstigungen von Borkenkäfer-Massenvermehrungen durch Umweltveränderungen

Die Forschung versucht schon seit langer Zeit, Schädigungen an Waldökosystemen zu erklären und Ursachen dafür zu finden. Es wird jedoch immer klarer, dass nie einzelne Faktoren dafür verantwortlich sind, auch wenn dies auf den ersten Blick so scheint. Scheinbar einfache Ursache-Wirkungs-Zusammenhänge wie Sturmschäden an windexponierten Stellen oder der Befall von Borkenkäfern beinhalten bei genauerer Betrachtung höchst komplexe Prozesse. Das System Wald hat immer mit komplexen Vorgängen zu tun, wobei hier der Terminus „Komplexität“ nicht mit „kompliziert“ verwechselt werden sollte. Komplexe Systeme haben eine hohe Anzahl von Materie-Objekten und sind ständig im Energieaustausch mit ihrer Systemumgebung. Sie zeichnen sich durch „langreichweitige Wechselwirkungen“ aus (d.h. durch binäre und auch höherwertige Wechselwirkungen) und haben dadurch ein nicht-lineares Aktions- und Antwortverhalten (HUBER 2004). Das Verhalten eines komplexen Systems kann daher nicht vorhergesagt werden. Trotzdem sollen in den folgenden Unterkapiteln nun einige Faktoren für eine Schädigung von Waldökosystemen beschrieben werden, die aufeinander wirken und sich gegenseitig beeinflussen können. Aufgrund der eben erwähnten Komplexität kann dies jedoch nur unzureichend geschehen.

5.1 Die Waldnutzung durch den Menschen

Der Mensch hat seit jeher den Wald für sich zu nutzen gewusst, und diese Nutzungsgeschichte hatte natürlich Einfluss auf das Waldökosystem. In Österreich ist einzig und allein der Urwald Rothwald in den Niederösterreichischen Kalkalpen von einer Nutzung verschont geblieben und ist heute ein strenges Naturreservat nach der IUCN-Richtlinie I a (siehe Abbildung 33).



Abbildung 33: "Großer Urwald" im Wildnisgebiet Dürrenstein (eigene Aufnahme vom 22.10.2012)

Neben der Holznutzung, die im Mittelalter aufgrund der Eisengewinnung ihren Höhepunkt fand, hat der Mensch noch zahlreiche andere Nutzungsformen für den Wald gefunden. Die Waldbeweidung ist eine mögliche Nutzungsform, die sowohl für Schmalvieh als auch für Großvieh angewandt wurde. Es wird dabei unterschieden zwischen Holzweide (Blätter, Zweige, Rinde und Knospen der Bäume und Stauden), Bodenweide (Gras, Kraut, Moose, Flechten, Pilze) und Erdweide (Wurzeln, Insekten, Würmer), wobei Letzteres nur für Schweine Verwendung fand. Mögliche Waldschäden durch diese Nutzungsform können eine verstärkte Bodenerosion, Bodenverdichtung, Jungwuchsverbiss und Zuwachsverluste sein. Aus waldbaulicher Sicht können aber Schweine durch die Lockerung des Bodens und dem Verzehr von Schädlingen auch positive Auswirkungen haben. Die Beweidung des Waldes hat auch neue Habitate geschaffen, da durch sie lückige Bestände entstanden und so lichtbedürftige Pflanzen begünstigt wurden (BÜRGI & STUBER 2001).

Aus dem Wald wurde auch Futter für das Vieh gewonnen, das im Winter und Frühling von besonderer Bedeutung war. Neben den Waldkräutern (Gräser, Himbeerstauden, Waldreben, Farne, usw.) wurden auch das Laub und die Nadeln an die Nutztiere verfüttert. Die „Scheitelung“ von Bäumen (Rückschneidung der Bäume zur Laubfuttermittelgewinnung) und die Waldheunutzung führten zu vorratsärmeren und

lichteren Wäldern. Die Streue von Laub- und Nadelbäumen wurde auch als Einstreue im Stall, zur Düngung von Heuwiesen und Kartoffeläckern, als Füllung für Bettunterlagen, als Füllmaterial beim Hausbau und als Dekorationsmaterial verwendet (BÜRGI & STUBER 2001). Diese Nutzungsformen führten im Wald zu einer verstärkten Bodenversauerung durch den Verlust von Säureneutralisierungskapazitäten (ELLING et al. 2007, S. 315).

Als weitere Nutzungsform wäre der Waldfeldbau zu nennen, welcher eine kombinierte Form von Landwirtschaft und Forstwirtschaft darstellt. Dabei wurden auf Kahlschlägen der zeitlich begrenzte Getreide- und Kartoffelanbau mit einer künstlichen Baumverjüngung kombiniert. Zudem wurden noch Waldfrüchte wie Beeren, Nüsse, Zapfen und Pilze genutzt, sowie verschiedene Baumharze und Bäumeäfte (BÜRGI & STUBER 2001).

Diese Nutzungsformen wurden zum Großteil heute bereits aufgegeben und haben für die Schädigung von Waldökosystemen keine sehr große Bedeutung mehr. Eine enorme Tragweite hat jedoch die schon im 19. Jahrhundert begonnene Umwandlung von Laubbaumbeständen in Nadelbaumbestände, die vor allem die Bodenversauerung verstärkt. Die oft kahlschlagartige Nutzung der Wälder hat in erster Linie einen erhöhten Abtrag der Humusaufgabe zur Folge. Die Versorgung mit Wasser und Nährstoffen wird dadurch erschwert. Ganz besonders die Fichte ist als Folge davon mit Stickstoff, Phosphor, Kalium, Eisen und Mangan nur unzureichend versorgt (ELLING et al. 2007, S. 31).

5.2 Klima- und Witterungseffekte

Klima und Witterung sind bedeutende Umweltfaktoren für Waldökosysteme, besonders Witterungsextreme wie Sturm, Winterfrost, Spätfrost, Hitze- oder Trockenperioden, und ganz besonders dann, wenn zwei oder mehrere solcher Witterungsextreme in kurzer zeitlicher Abfolge auftreten. Es ist dabei jedoch immer zu beachten, dass einzelne Witterungseffekte alleine meistens nicht die "Zerstörung"

von Waldökosystemen zur Folge haben, da die Wälder an solche Situationen angepasst sind, sondern nur ein Verbund von aufeinander wirkenden Umweltfaktoren kann ganze Wälder nachhaltig beeinträchtigen.

Hitze- und Trockenperioden kommen auch in unseren Breiten immer wieder vor und fördern ohne Zweifel den Befall durch Borkenkäfer, ganz besonders bei schwach wasserversorgten Fichtenstandorten. Mitteleuropäische Waldbäume reagieren auf Trockenperioden mit stark eingeschränkter Transpiration durch Verengung der Spaltöffnungen sowie durch Abwurf von Blattorganen. Auch eine starke Reduktion des Zuwachses in derselben und eventuell auch folgenden Vegetationsperiode sind Folgen davon. Bei anhaltender Trockenheit verwenden die Bäume ihre Energie für das Wurzelwachstum (HITECH 2011). Trockenperioden verringern auch die Harzbildung der Bäume und vermindern dadurch die Abwehrmöglichkeiten gegen den Borkenkäfer.

Laut AUER et al. (2005, S. 17f) hat sich die Zahl der Hitzetage nach KYSELÝ seit Mitte des 20. Jahrhunderts beträchtlich erhöht. Damit einhergehend sind auch die für die Ausbreitung des Borkenkäfers wichtigen sommerlichen Trockenperioden tendenziell erhöht (siehe Kap. 6.3.2 und 6.3.3).

Spätfröste haben vorwiegend für junge Bäume große Bedeutung, da sie durch das Abtöten von jungen Trieben und Blattorganen zu einem erhöhten Verbrauch von Reservestoffen führen. Winterfröste und besonders Temperaturstürze beeinträchtigen in Verbindung mit Schwefeldioxidimmissionen die Resistenz von Nadelbäumen (z. B. Weißtannen und Fichten) (ELLING et al. 2007, S. 316f).

Sturmschäden zählen wohl zu den folgenswersten Beeinträchtigungen für Waldökosysteme und haben einen erheblichen Einfluss auf die Ausbreitung des Borkenkäfers. Der Buchdrucker kann die geworfenen Baumstämme sehr rasch besiedeln und dann mit den folgenden Generationen auch stehende Bäume befallen (siehe Abbildung 34).



Abbildung 34: Windwurffläche im oberen Blößenbachtal südlich des Zwielaufs (eigene Fotos, links aufgenommen am 17.10.2011 und Foto rechts aufgenommen am 28.06.2011 vom Hohen Nock mit Blickrichtung NE)

Obwohl die Stürme Emma, Paula und Kyrill in den letzten Jahren erhebliche Schäden in den österreichischen Wäldern verursacht haben, konnte von der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik kein langfristiger Trend für eine Erhöhung der Sturmtätigkeit in den letzten 100 Jahren festgestellt werden (ZAMG 1, 2011) (siehe Kap. 6.3.1). Es wird jedoch eine Zunahme der Häufigkeit von Sturmtiefs über Nordwesteuropa aufgrund des Klimawandels erwartet.

Tabelle 5 zeigt die in den Forstbezirken Steyr und Kirchdorf festgestellten abiotischen Waldschädigungsfaktoren nach der Schadensintensität bzw. Schadensverteilung (farbliche Gliederung), nach der Schadensmenge bzw. Schadensfläche (unterschiedliche Kreisgrößen) und nach der Entwicklung seit der letzten Erhebung (Pfeile) für die Jahre 2008 bis 2011.

Tabelle 5: Abiotische Waldschädigungsfaktoren in den Forstbezirken Steyr u. Kirchdorf für die Jahre 2008 – 2010 (Quelle: BFW 2012, 2011, 2010a u. 2009; Forstschutzsituation 2011, 2010, 2009 u. 2008)

Schädigungsfaktor		Forstbezirk Steyr				Forstbezirk Kirchdorf			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Dürre- u. Hitzeschäden	<i>Drought- & Heat damage</i>	○	○	○	●	↘	●	○	○
Frostschäden	<i>Frost damage</i>	○	○	○	●	●	●	●	●
Hagelschlag	<i>Hail damage</i>	○	●	↘	○	↘	●	●	↘
Lawinen	<i>Avalanches</i>	○	●	↘	○	○	●	↘	○

Muren	<i>Torrents</i>	○	○	○	○	⊗	●	⊗	●
Schneebruch, Eisanhang & Raureif	<i>Damage by snow and ice</i>	⊗	●	⊗	○	⊗	●	⊗	⊗
Waldbrand	<i>Forest fire</i>	⊗	○	○	●	○	○	○	○
Windwurf, Windbruch	<i>Windthrow & - break</i>	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗	⊗

Schadensintensität / Schadensverteilung		Schadholzmenge / Schadfläche			
■ hoch / flächig		○ hoch		⊗ Vorkommen - jedoch kein Schaden	↗ Erhöhung seit letzter Erhebung
■ mittel / in Nestern		○ mittel		○ kein Vorkommen	→ gleichbleibend seit letzter Erhebung
■ gering / einzeln		○ gering			↘ Verringerung seit letzter Erhebung
					kein Pfeil kein Vergleich möglich

Einzelne Witterungsfaktoren haben auch einen unterschiedlichen Einfluss auf die einzelnen Borkenkäferarten (siehe Abbildung 35). So kommen dem Buchdrucker vor allem Sturmschäden zugute, da er bevorzugt älter Bäume besiedelt, während den Kupferstecher eher Schneedruckschäden mit anfallendem Astmaterial begünstigen. Anhaltende Trockenheit begünstigt aufgrund der abnehmenden Abwehrkräfte der Bäume alle Borkenkäferarten.

*** deutlicher Einfluss, ** mässiger Einfluss, *eher geringer Einfluss			
Einflussfaktor	Trockenheit	Sturm	Schneedruck
Buchdrucker	***	***	**
Kupferstecher	**(*)	*	***
Krummzähniger Weisstannenborkenkäfer	***	**	*
Borkenkäferarten der Föhre	***	*	*
Borkenkäferarten an übrigem Nadelholz	**	**	*

Abbildung 35: Umwelteinflüsse auf verschiedene Borkenkäferarten (FORSTER & MEIER 2010, S. 2)

Mithilfe des Borkenkäferentwicklungsmodells PHENIPS konnten der potentielle Beginn der Buchdruckerentwicklung sowie die potentielle Anzahl an Generationen für die Jahre 2000 - 2006 berechnet werden. Dieses Modell beruht auf einem Topoklimamodell, das sowohl topographische Parameter wie Seehöhe, Exposition und Neigung berücksichtigt, als auch klimatische Parameter wie Tagesmaximum, Tagesmittel und Tagesminimum der Lufttemperatur sowie tägliche Globalstrahlungssummen miteinbezieht (siehe Abbildung 36).

Die folgenden Graphiken zeigen die Ergebnisse des Borkenkäferentwicklungsmodells PHENIPS für das Untersuchungsgebiet:

(<http://iff-arcgis.boku.ac.at/PHENIPS>)

potenzieller Entwicklungsbeginn

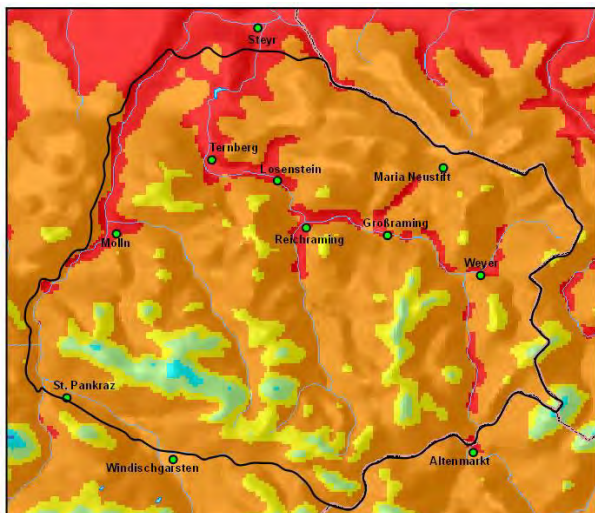
- vor dem 20.04.
- 21.04. - 30.04.
- 31.04. - 10.05.
- 11.05. - 30.05.
- 31.05. - 16.06.
- 17.06. - 19.07.
- kein Entwicklungsbeginn

potenzielle Anzahl an Generationen

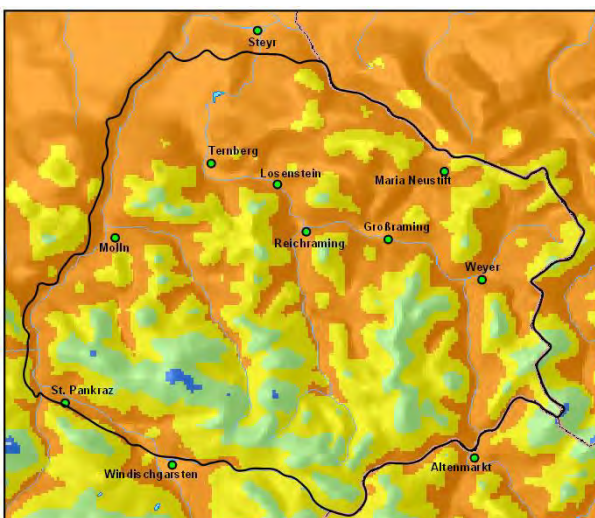
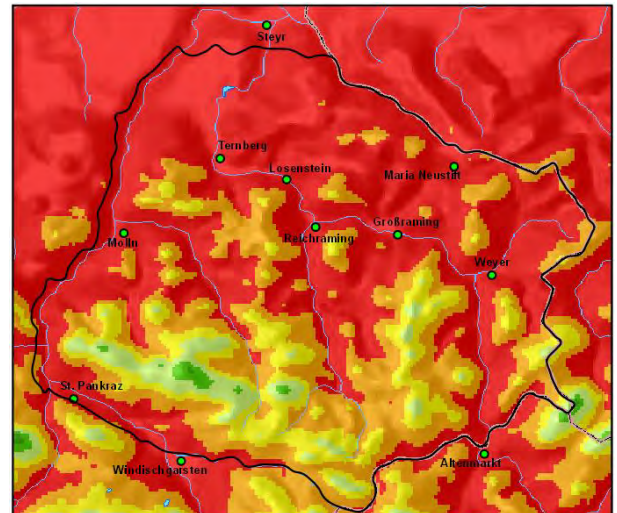
- keine Generation
- 1 Generation
- 1 Generation + Geschwisterbrut
- 2 Generationen
- 2 Generationen + Geschwisterbrut
- 3 Generationen



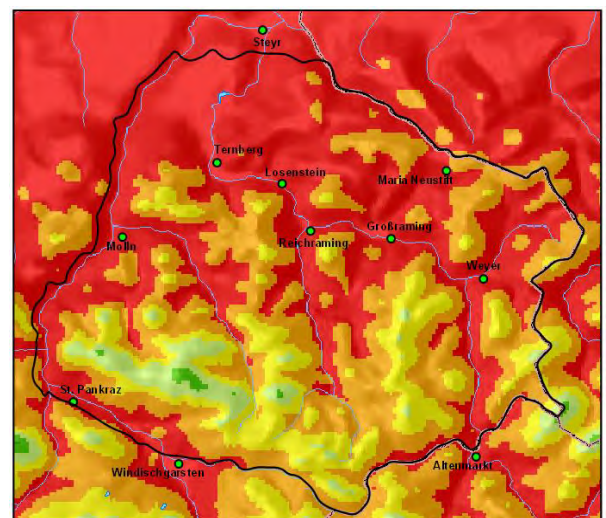
0 15 km

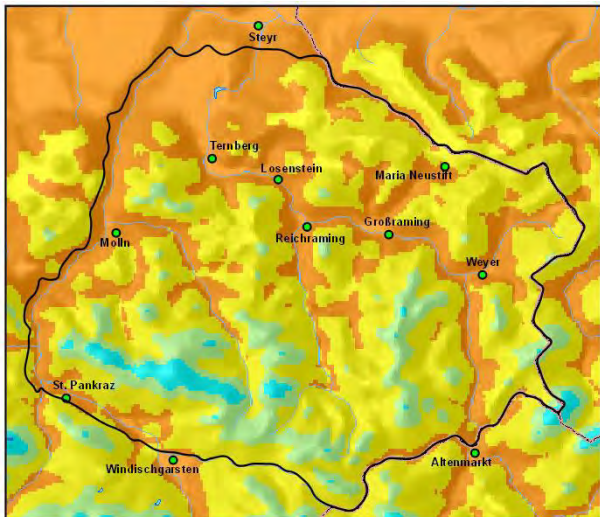


im
Jahr
2000

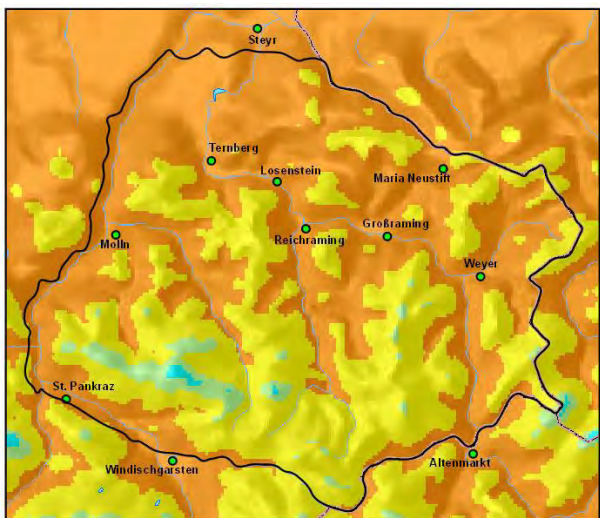
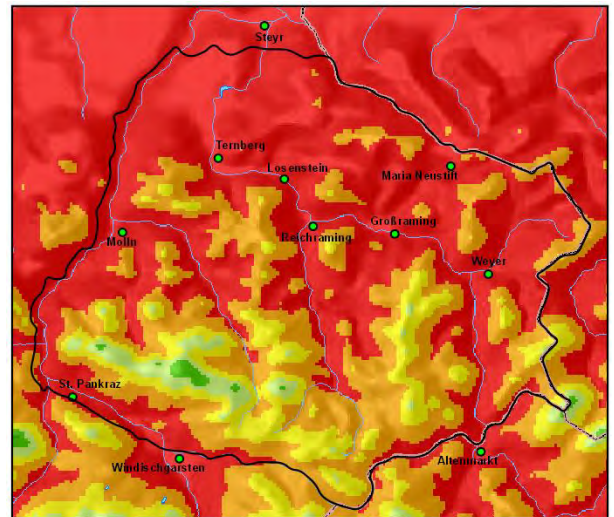


im
Jahr
2001

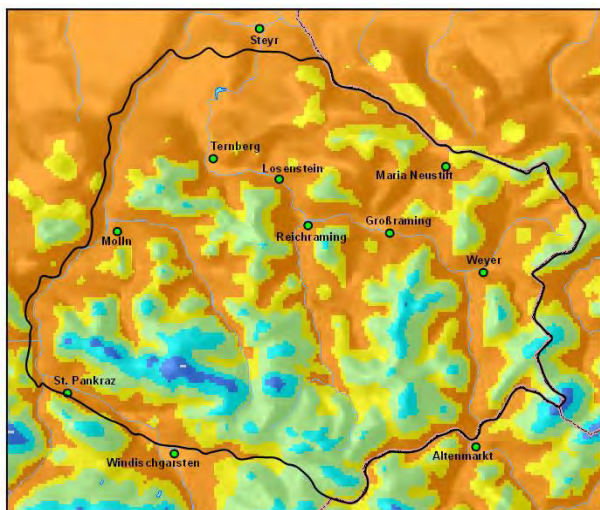
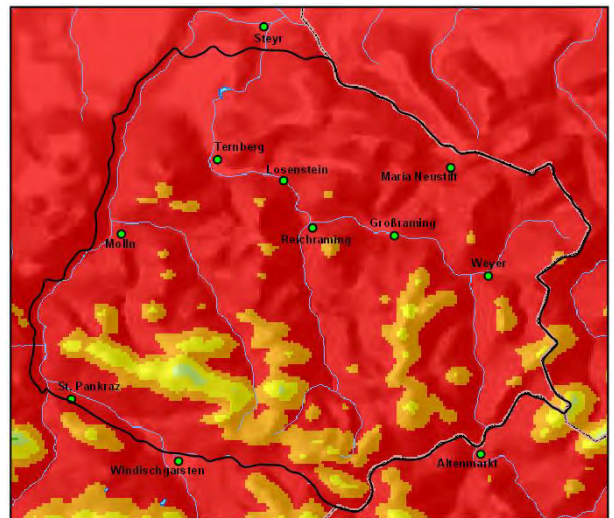




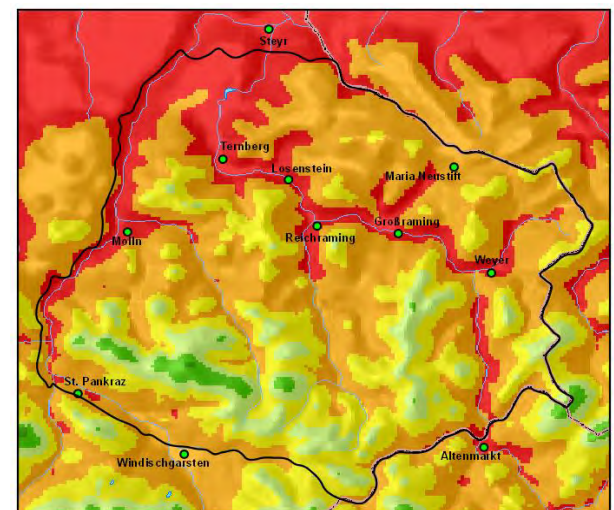
im
Jahr
2002

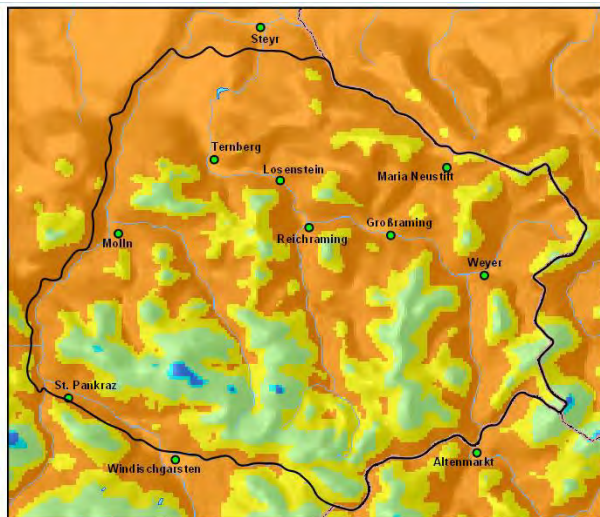


im
Jahr
2003

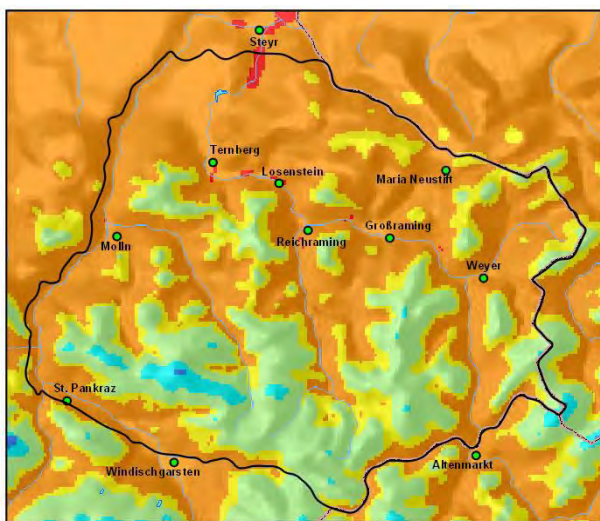
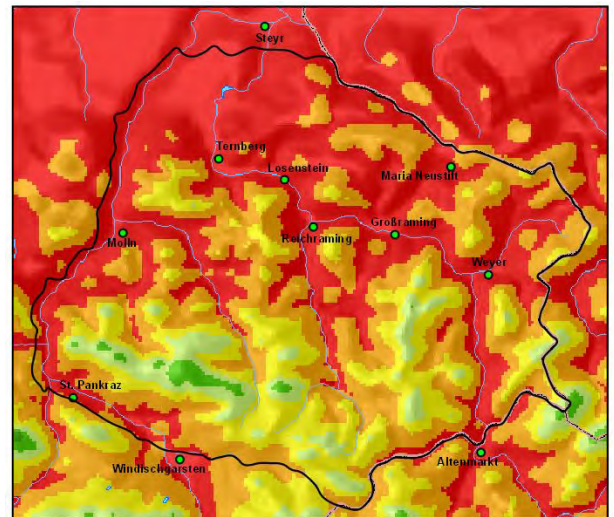


im
Jahr
2004





im
Jahr
2005



im
Jahr
2006

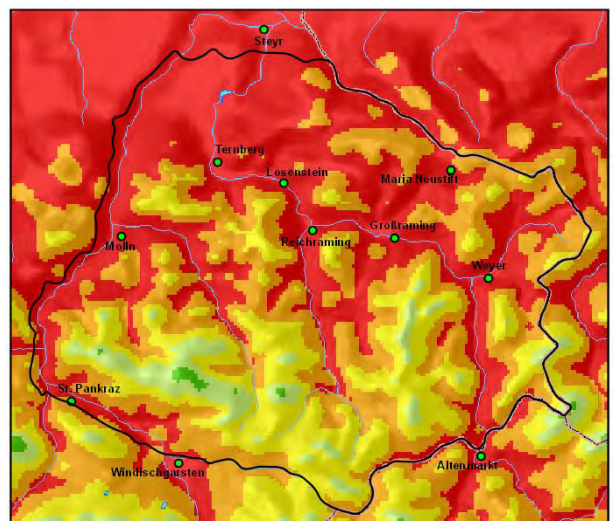


Abbildung 36: Potenzieller Entwicklungsbeginn und potenzielle Anzahl von Generationen des Buchdruckers für die Jahre 2000 - 2006 im Untersuchungsgebiet (Quelle: PHENIPS, eigene Darstellung)

Es zeigen sich aufgrund der jährlichen klimatischen Gegebenheiten sehr unterschiedliche potentielle Entwicklungsmöglichkeiten für den Buchdrucker im Untersuchungsgebiet. So lag der potenzielle Entwicklungsbeginn des Buchdruckers im Jahr 2000 in den Tälern bereits vor dem 20. April. Ebenso konnte in höheren Lagen die Entwicklung bereits im April beginnen, während im Jahr 2004 die Entwicklung größtenteils erst im Mai beginnen konnte. Auch die potenzielle Anzahl der Generationen ist sehr stark von den klimatischen Gegebenheiten abhängig. Beispielsweise konnten im sehr heißen und trockenen Jahr 2003 beinahe im gesamten Gebiet drei Generationen entwickelt werden, während dies im Jahr 2004 nur in den Tälern der Enns und Steyr möglich war.

Das mittlere Vermehrungspotential des Buchdruckers ist im Nationalpark Kalkalpen und in seiner näheren Umgebung als hoch bis sehr hoch einzustufen (SCHOPF et al. 2004, S. 88). Vor allem in tieferen Lagen besteht ein sehr hohes Vermehrungspotential. Abbildung 37 zeigt eine Auswertung von Schopf et al. (2004) und beruht auf einer mittleren Anzahl von möglichen Buchdruckergenerationen, welche über einen Zeitraum von mehreren Jahren hinweg untersucht wurden. Lediglich in den höher gelegenen Regionen des Sengsengebirges und des Größtenbergs zeigt sich eine geringe bis mittlere Gefährdung durch den Buchdrucker (siehe Abbildung 37).

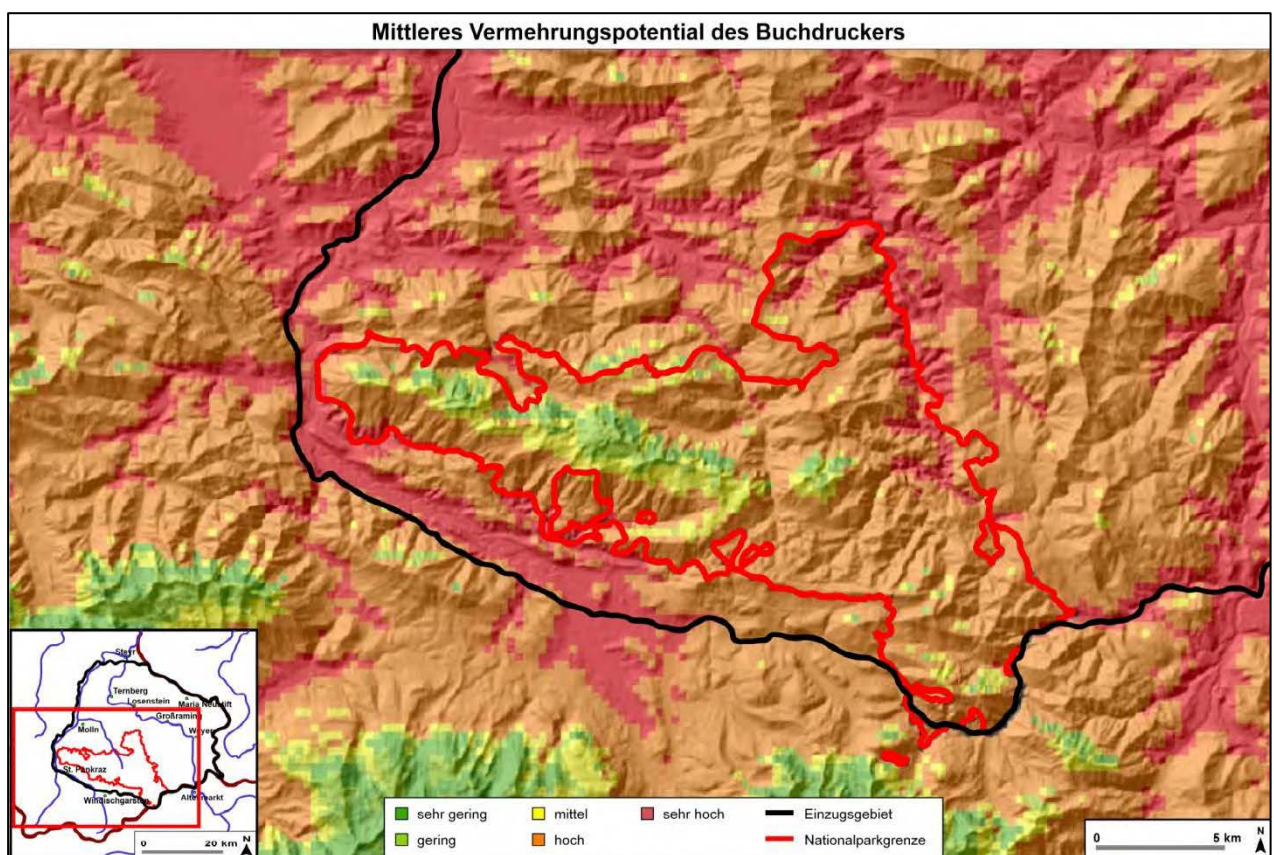


Abbildung 37: Mittleres Vermehrungspotential des Buchdruckers im Nationalpark Kalkalpen und seiner näheren Umgebung (Quelle: SCHOPF et al. 2004, eigene Darstellung)

5.3 Biotische Faktoren

Es ist zunächst zu klären, ab wann ein Lebewesen als Schädling eingestuft wird. Die Natur kennt keine Differenzierung zwischen Nützlingen und Schädlingen. Jeder Organismus, ob Tier, Pflanze, Pilz, Virus oder Bakterium, hat seinen Platz in der Natur. Erst wenn ein Organismus den wirtschaftlichen Erfolg des Menschen gefährdet, seine Kulturpflanzen bedroht, als Nahrungskonkurrent auftritt oder Bauwerke zerstört, wird er als Schädling bezeichnet.

Neben dem Borkenkäfer können noch zahlreiche andere biotische Faktoren für die Schädigung von Waldökosystemen genannt werden. So können etwa blattfressende Insekten eine erhebliche Schwächung von Waldbäumen durch den Verbrauch von Reservestoffen verursachen. Im Verbund mit mehreren Stressoren können beispielsweise Eichenwicklergesellschaften zu einem ausgeprägten „Eichensterben“ führen. Die im Untersuchungsgebiet vorkommenden biotischen Waldschädigungsfaktoren für die Forstbezirke Steyr und Kirchdorf und ihre zeitliche Entwicklung sind in Tabelle 6 dargestellt.

Tabelle 6: Biotische Waldschädigungsfaktoren in den Forstbezirken Steyr u. Kirchdorf für die Jahre 2008 – 2010 (Quellen: BFW 2012, 2011, 2010a u. 2009; Forstschutzsituation 2011, 2010, 2009 u. 2008)

Schädigungsfaktor		Forstbezirk Steyr				Forstbezirk Kirchdorf			
		2008	2009	2010	2011	2008	2009	2010	2011
Bilche & Eichhörnchen	<i>Dormice & Squirrels</i>	○	●	☉	○	●	●	●	●
Blattkäfer	<i>Crysomelidae</i>	○	○	●	○	☉	☉→	☉→	☉→
Buchdrucker	<i>Ips typographus</i>	☉	☉	☉→	☉→	☉→	☉→	☉→	☉→
Kleiner Buchdrucker	<i>Ips amitinus</i>	○	○	●	○	●	○	○	○
Buchenspringrüssler	<i>Rhynchaenus fagi</i>	○	○	●	○	●	●	●	●
Buchenwollschilde- laus	<i>Cryptococcus fagisuga</i>	●	☉	●	○	●	●	●	●
Eichenmehltau	<i>Microsphaera alphitoides</i>	○	●	●	●	●	●	●	●
Eichen- schmetterlinge	<i>Tortrix viridana, Erannis defoliaria, Operopthera brumata, O. fagata</i>	○	○	●	○	●	○	●	○
Eichensterben	<i>Oak decline</i>	○	○	○	○	○	○	○	●

Erlenwürger	<i>Cryptorrhynchus lapathi</i>								
Eschenkrebs	<i>Pseudomonas savastanoi</i> <i>var. syringae</i>				-				-
Eschen-Triebsterben	<i>Chalara fraxinea</i>	-				-			
Kleine Fichtenblattwespe	<i>Pristiphora abietina</i>								
Fichten-Gespinstblattwespe	<i>Cephalcia abientis</i>								
Fichtennadelpilze	<i>Lirula macrospora</i> , <i>Lophodermium piceae</i> , <i>Tiarosporella parca</i> , <i>Rhizosphaera kalkhoffii</i>								
Fichtentriebsterben	<i>Sirococcus conigenus</i> , <i>Pucciniastrum areolatum</i>								
Gespinstmotten	<i>Yponomeuta</i> sp.								
Grünrüssler	z.B. <i>Polydrosus</i> sp.								
Hallimasch in Nadelholz-Jungbeständen	<i>Armillaria</i> spp.								
Hase & Kaninchen	<i>Rabbits</i> (damage)								
Kiefernborckenkäfer	<i>Pityogenes bidentatus</i> , <i>Ips acuminatus</i> , <i>Ips sexdentatus</i>								
Kiefernblasenrost & -drehrost	<i>Endocronartium pini</i> , <i>Cronartium flaccidum</i> , <i>Melampsora pinitorqua</i>								
Kiefernrüßler	<i>Pissodes pini</i> , <i>P. piniphilus</i>								
Kiefernscütte	<i>Lophodermium seditiosum</i> , <i>Cyclaneusma minus</i> , <i>Dothistroma septospora</i> , <i>Leconosticta acicola</i>								
Kiefernsterben	<i>Pine decline</i>								
Kupferstecher	<i>Pityogenes chalcographus</i>								
Lärchenbock	<i>Tetropium gabrieli</i>								
Großer Lärchenborckenkäfer	<i>Ips cembrae</i>								
Lärcheknospen-gallmücke	<i>Dasineura kellneri</i>	-	-	-		-	-	-	
Lärchenkrebs	<i>Lachnellula willkommii</i>								
Lärchen-miniermotte	<i>Coleophora laricella</i>								
Lärchennadelknicklaus	<i>Adeiges geniculatus</i> , <i>Adelges laricis</i> , <i>Sacchiphantes viridis</i>	-	-	-		-	-	-	

Lärchenschütten	<i>Mycosphaerella laricina</i> , <i>Hyodermella laricis</i> , <i>Meria laricis</i>	-	-	-	○	-	-	-	●
Lärchentriebsterben	<i>Ascolyxa laricina</i>	-	-	-	○	-	-	-	●
Grauer Lärchenwickler	<i>Zeiraphera diniana</i>	○	○	●	○	●	●	●	●
Maikäfer	<i>Malolontha melolontha</i>	○	○	●	○	●	●	●	●
Mäusefraß	<i>Mice (damage)</i>	○	○	●	○	↗	↗	↗	↗
Misteln – Nadel- & Laubholz	<i>Mistletoes</i>	○	●	●	●	↗	↗	↗	↗
Großer & Kleiner Pappelbock	<i>Saperda carcharias</i> , <i>S. populnea</i>	○	○	●	○	●	●	●	●
Riesenbastkäfer	<i>Dendroctonus micans</i>	○	○	●	○	●	●	●	●
Großer Brauner Rüsselkäfer	<i>Hylobius abietis</i>	●	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Schneeschimmel	<i>Phacidium infestans</i> , <i>Herpotrichia nigra</i> , <i>Rosellinia mycophila</i>	○	○	●	○	↗	↗	↗	↗
Tannenborkenkäfer	<i>Pityokteines curvidens</i> , <i>P. spinidens</i> , <i>P. vorontzowi</i> , <i>Cryphalus piceae</i>	○	○	●	●	↗	↗	↗	↗
Tannenläuse	<i>Dreyfusia</i> sp., <i>Tannenstammlaus</i>	○	○	●	○	●	↗	↗	●
Ulmensterben	<i>Ophiostoma novo-ulmi</i>	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Großer & Kleiner Waldgärtner	<i>Tomicus piniperda</i> , <i>T. minor</i>	○	○	●	○	●	●	●	●
Wurzel- & Wundfäulen an Nadelholz	<i>Heterobasidion annosum</i> , <i>Stereum</i> sp., u.a.	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗	↗
Wurzelhalsfäule der Erle	<i>Phytophthora alni</i>	○	○	●	○	●	●	●	●

Schadensintensität / Schadensverteilung	Schadholzmenge / Schadfläche	Legende	Pfeile
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="background-color: red; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: orange; width: 20px; height: 10px; margin-bottom: 5px;"></div> <div style="background-color: yellow; width: 20px; height: 10px;"></div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">●</div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">○</div> <div style="border: 1px solid black; width: 20px; height: 20px; margin-bottom: 5px; display: flex; align-items: center; justify-content: center;">○</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div>● Vorkommen - jedoch kein Schaden</div> <div>○ kein Vorkommen</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div>↗ Erhöhung seit letzter Erhebung</div> <div>→ gleichbleibend seit letzter Erhebung</div> <div>↘ Verringerung seit letzter Erhebung</div> <div>kein Pfeil kein Vergleich möglich</div> </div>
<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div>hoch / flächig</div> <div>mittel / in Nestern</div> <div>gering / einzeln</div> </div>	<div style="display: flex; flex-direction: column; align-items: flex-start;"> <div>hoch</div> <div>mittel</div> <div>gering</div> </div>		

Folgende biotische Waldschädigungsfaktoren konnten für die Jahre 2008 bis 2011 in den Forstbezirken Steyr und Kirchdorf nicht nachgewiesen werden (BFW 2012, 2011, 2010a u. 2009):

- Blauer Kiefernprachtkäfer (*Phaenops cyanea*)

- Edelkastanienrindenkrebs (*Cryphonectria parasitica*)
- Eichenprozessionsspinner (*Thaumetopoea processionea*)
- Kiefernbuschhornblattwespen (*Diprion* sp., *Gilpinia* sp. & *Neodiprion sertifer*)
- Kieferntriebsterben (*Spaeropsis sapinea*, *Cenangium ferruginosum*)
- Nonne (*Lymantria monacha*)
- Rindenschilderkrankung der Douglasie (*Phacidium (Potebneamyces) coniferarum*)
- Scleroderris-Krankheit (*Gremmeniella abietina*)
- Schwammspinner (*Lymantria dispar*)

Um ein vollständiges Bild der biotischen Faktoren geben zu können, muss ebenso der Einfluss des Wildes im Untersuchungsgebiet berücksichtigt werden. Mithilfe des Österreichischen Wildeinflussmonitorings (WEM) kann sowohl der Einfluss des Wildes als auch das Vorhandensein von Zielbaumarten für den Aufbau einer natürlichen Waldgesellschaft auf Bezirksebene dargestellt werden. Abbildung 38 zeigt einen überdurchschnittlich hohen Wildeinfluss in den Bezirken Kirchdorf und Steyr.

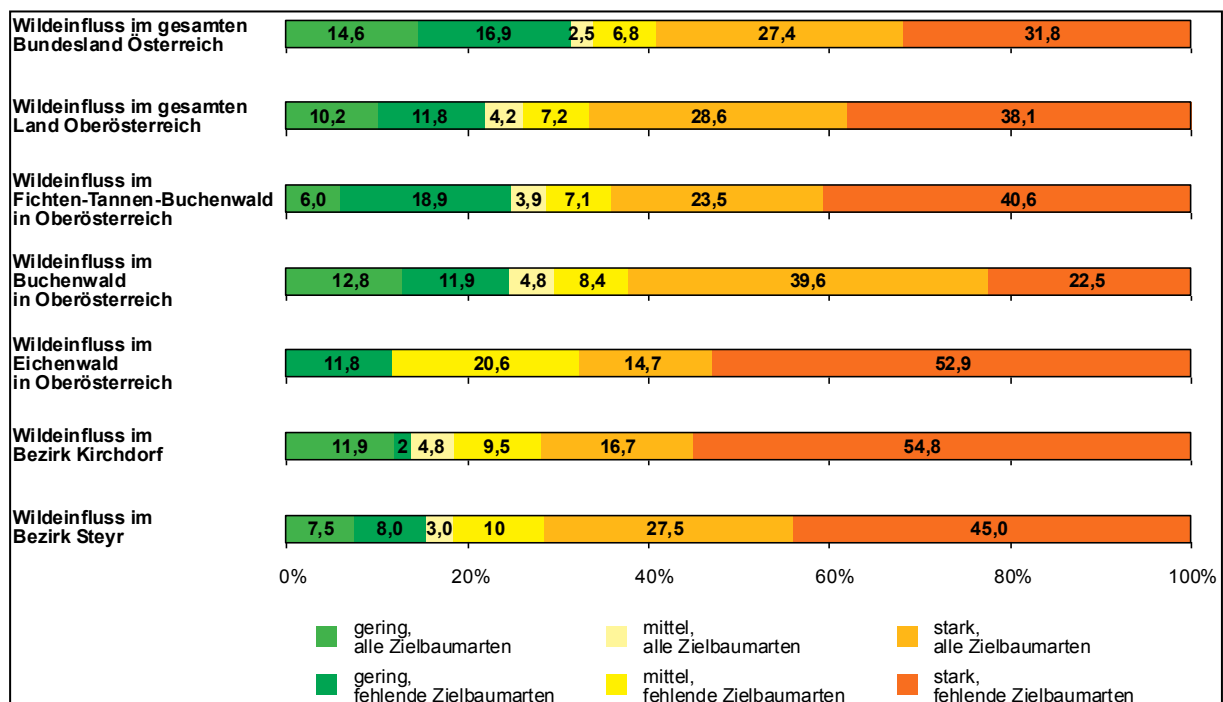


Abbildung 38: Vergleich der Wildeinflussnahme an den Wildeinflussmonitoring-Flächen in Österreich, im Land Oberösterreich, in den einzelnen natürlichen Waldgesellschaften Oberösterreichs und in den Bezirken Kirchdorf und Steyr, inklusive dem Vorhandensein von Zielbaumarten für den Aufbau natürlicher Waldgesellschaften in % (Quelle: BFW 2007, S. 6, 8, 9 u. 13 (leicht verändert))

Auf etwa einem Viertel der untersuchten Waldflächen in diesen Bezirken konnte ein geringer bis mittlerer Wildeinfluss verzeichnet werden. Auf dem Rest der untersuchten Waldflächen wurde ein starker Wildeinfluss mit einem hohen Anteil an fehlenden Zielbaumarten festgestellt. Bei einem länger anhaltenden starken Wildverbiss bedeutet dies eine erhebliche Verlängerung der Verjüngungszeiten in den Wäldern und einen Ausfall von Mischbaumarten.

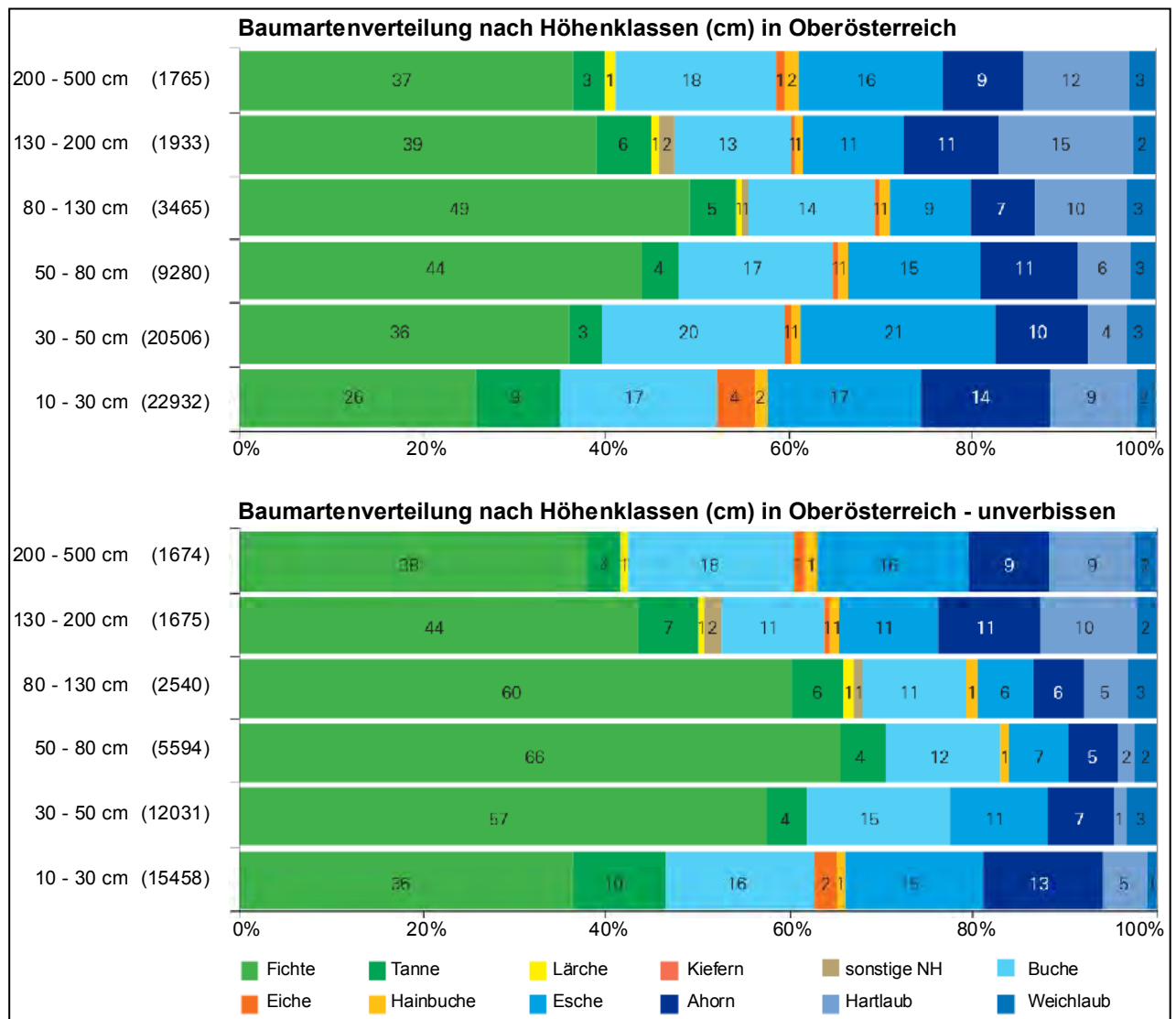


Abbildung 39: Vergleich der gesamten Baumartenverteilung mit der unverbissenen Baumartenverteilung nach Höhenklassen an den WEM-Flächen in Oberösterreich in % (Quelle: BFW 2007, S. 13)

Vergleicht man innerhalb der Verjüngung die gesamte Baumartenverteilung mit der unverbissenen Baumartenverteilung in Oberösterreich, so zeigt sich die hohe Anfälligkeit von Laubbaumarten für einen Wildverbiss (siehe Abbildung 39). In

Klammer steht die Anzahl der Pflanzen, auf die sich die Prozentanteile der einzelnen Baumhöhenklassen bezieht. In den Baumhöhenklassen von 30 bis 130 cm zeigt sich der Wildeinfluss auf Laubbaumarten sehr deutlich. Während in der Klasse 50 bis 80 cm der unverbissenen Bäume ca. 70 % zu den Nadelbäumen zählen, sind es bei den Laubbäumen nur ca. 30 %. In den höheren Klassen steigt der Anteil der unverbissenen Laubbaumarten wieder.

Auch in Tabelle 7 wird ersichtlich, dass die Laubbaumarten Buche, Eiche, Hainbuche, Esche und Ahorn besonders von einem Verbiss durch das Wild gefährdet sind. Zudem machen diese Baumarten oft weniger als 3 % der Bäume aus, die über 1,3 Meter hoch sind. Dies erschwert die natürliche Verjüngung des Waldes hin zu einem Mischwald.

Tabelle 7: Verbissprozente der einzelnen Baumarten mit einer Höhe von 30 - 130 cm in den Bezirken Steyr und Kirchdorf (BFW 2007, S. 22)

	Fichte	Tanne	Lärche	Kiefer	sonstige Nadelh.	Buche	Eiche	Hain- buche	Esche	Ahorn	sonstiges Hartlaub	Weich- laub
Kirchdorf	10	17	14		11	41	100	100	94	76	64	50
Steyr	7	24 (28)	0		0	52	0 (37)	80	78	64	71	40

	über 3 % der Baumart ist über 1,3 m	Zahl: Verbissprozent von 30 - 130 cm Höhe (Zahl): Gesamtverbissprozent
	weniger als 3 % der Baumart ist über 1,3 m	
	Baumart ist nicht auf WEM-Flächen im Bezirk vertreten	

Die biotischen Umwelteinflüsse auf Bäume sind sehr vielfältig. Das Zusammenspiel von Pflanzen, Tieren und Organismen (ganz besonders in der Rhizosphäre) ist zudem noch nicht ausreichend erforscht. Das macht es sehr schwierig, direkte Schlussfolgerungen über schädliche Einflüsse, hervorgerufen durch biotische Umweltfaktoren, auf Waldbäume zu ziehen.

5.4 Immissionen

Seit Beginn der Industrialisierung im 18. Jahrhundert werden Waldökosysteme durch die Nutzung von Kohle und Erdölprodukten mit hohen Konzentrationen an **Schwefeldioxid** belastet. Diese Schwefeldioxidbelastungen schädigen Blattorgane und beschleunigen durch die Deponierung von Schwefelsäure die Auswaschung der Waldböden. Wie in Abbildung 40 ersichtlich, zeigen die SO₂-Belastungen und die SO₂-Emissionen in Österreich einen stark rückläufigen Trend.

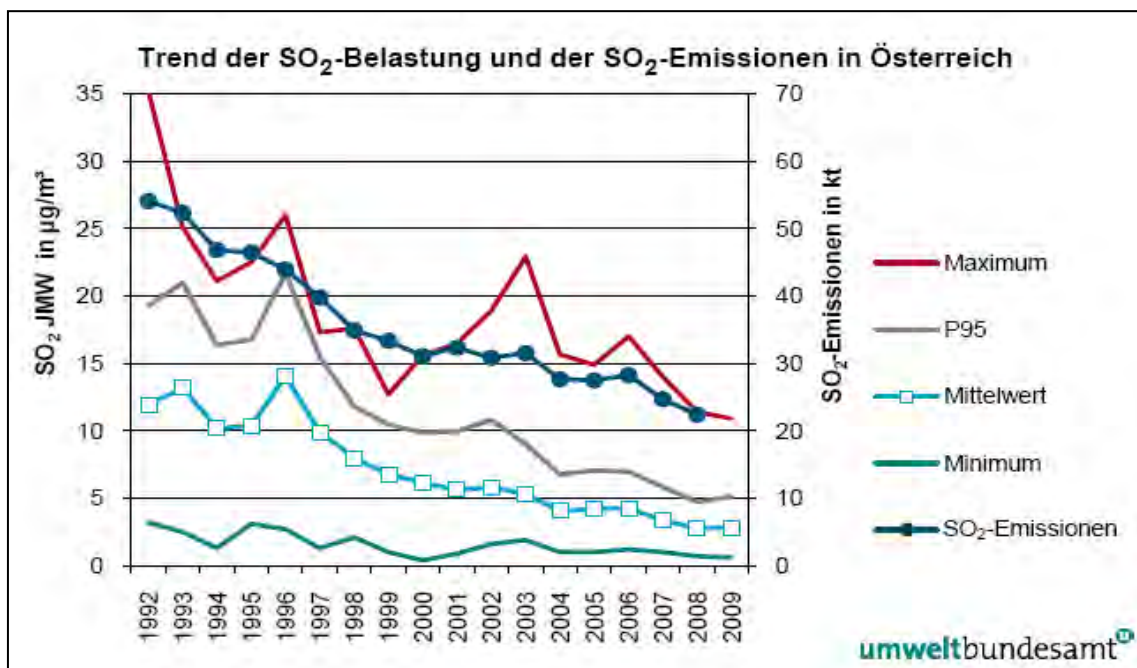


Abbildung 40: Maximum, 95-Perzentil, Mittelwert und Minimum der Jahresmittelwerte (in µg/m³) der österreichischen SO₂-Messstellen 1992-2009 sowie SO₂-Emissionen (in kt) in Österreich 1992-2008 (SPANGL UND NAGL 2010, S. 61)

Die Schwefeldioxidmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge zeigen bei den Jahres- und Wintermittelwerten eine geringe Belastung mit geringer Schwankungsbreite. Lediglich bei den maximalen Halbstundenmittelwerten und Tagesmittelwerten zeigen sich große Schwankungen und deuten auf kurzfristig stärkere Belastungen hin, wobei das Jahr 2003 besonders hervorsteicht (siehe Abbildung 41).

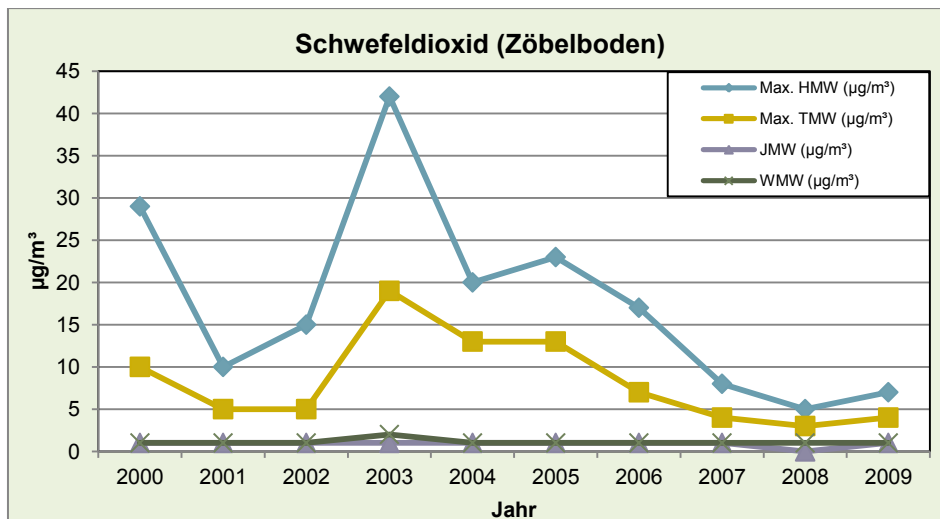


Abbildung 41: Schwefeldioxidmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge 2000-2009, max. HMW (maximaler Halbstundenmittelwert), max. TMW (maximaler Tagesmittelwert), JMW (Jahresmittelwert), WMW (Wintermittelwert) (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung)

Weitaus kritischer als die Belastung von Schwefelverbindungen wird die Bodenversauerung durch **Stickstoffverbindungen** erachtet, welche aus der Landwirtschaft emittiert werden und in Waldökosystemen von Ammonium in Nitrat umgesetzt werden.

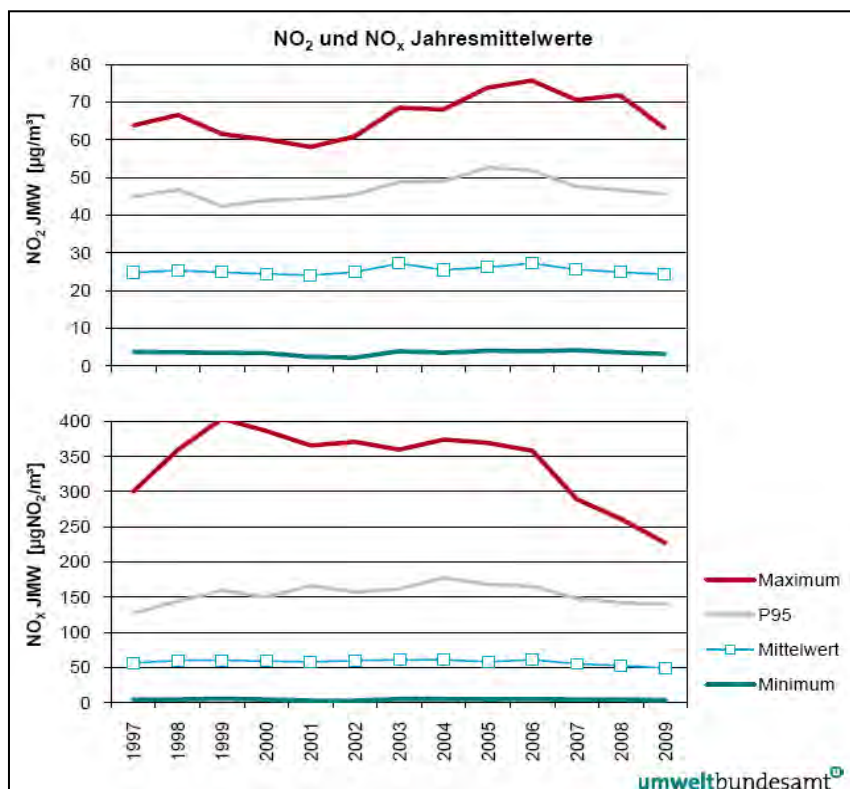


Abbildung 42: Maximum, 95-Perzentil, Mittelwert und Minimum der Jahresmittelwerte von NO₂ und NO_x an den österreichischen Messstellen 1997-2009 (in µg/m³) (SPANGL UND NAGL 2010, S. 56)

Stickstoffoxide können bei Böden und Gewässern eine Versauerung und Eutrophierung verursachen (SPANGL UND NAGL 2010, S. 47). Die Anreicherung der Waldböden mit Stickstoff wirkt auf die Wurzeln der Waldbäume, da fungistatische Phenole reduziert werden und der Befall durch Pathogene gefördert wird (ELLING et al. 2007, S. 315). Die Werte der NO_2 - und NO_x -Messungen in Österreich lassen auf keine signifikante Veränderung der Stickstoffbelastung schließen (siehe Abbildung 42). Wie auch schon bei den Schwefeldioxidmessungen zeigen auch die Stickstoffoxidmessungen am Zöbelboden eher geringe Belastungen bei den Jahresmittelwerten, jedoch eine große Schwankungsbreite bei den maximalen Halbstunden- und Tagesmittelwerten (siehe Abbildung 43).

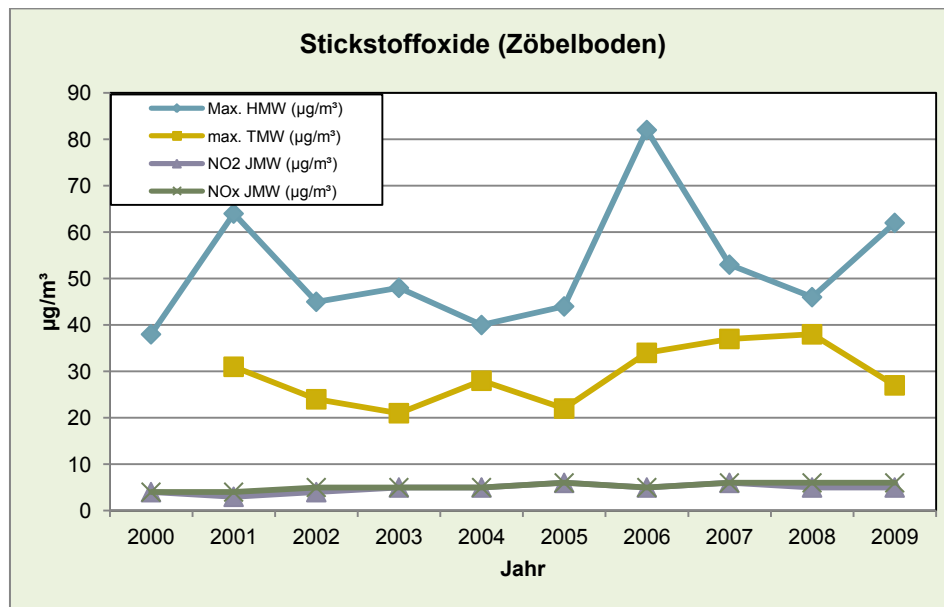


Abbildung 43: Stickstoffoxidmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge 2000-2009, max. HMW (maximaler Halbstundenmittelwert), max. TMW (maximaler Tagesmittelwert), NO_2 JMW (NO_2 -Jahresmittelwert), NO_x JMW (NO_x -Jahresmittelwert) (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung)

Auch die Schädigung von Waldökosystemen durch bodennahes **Ozon** ist bereits experimentell nachgewiesen worden, welches vor allem für Gebirgswälder ein ernstes Risiko darstellt (ELLING et al. 2007, S. 315). Durch die schnellen Oxidationsreaktionen ist Ozon ein sehr aggressives Gas, wobei besonders Spitzenbelastungen für das Ausmaß von Ozonschäden entscheidend sind (ELLING et al. 2007, S. 125ff). Kurzfristig erhöhte Ozonbelastungen können bei der Waldvegetation die Blattoorgane schädigen, bei langfristig erhöhten Konzentrationen kann das Wachstum der Pflanzen beeinträchtigt werden (SPANGL UND NAGL 2010, S. 80).

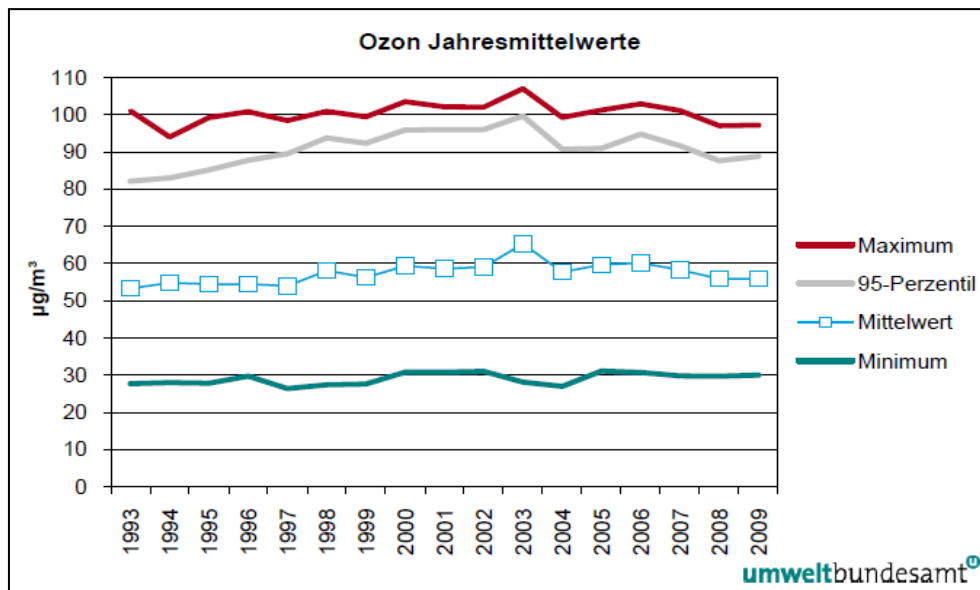


Abbildung 44: Maximum, 95-Perzentil, Mittelwert und Minimum der Jahresmittelwerte der österreichischen Ozonmessstellen 1993-2009 (in $\mu\text{g}/\text{m}^3$) (SPANGL UND NAGL 2010, S. 97)

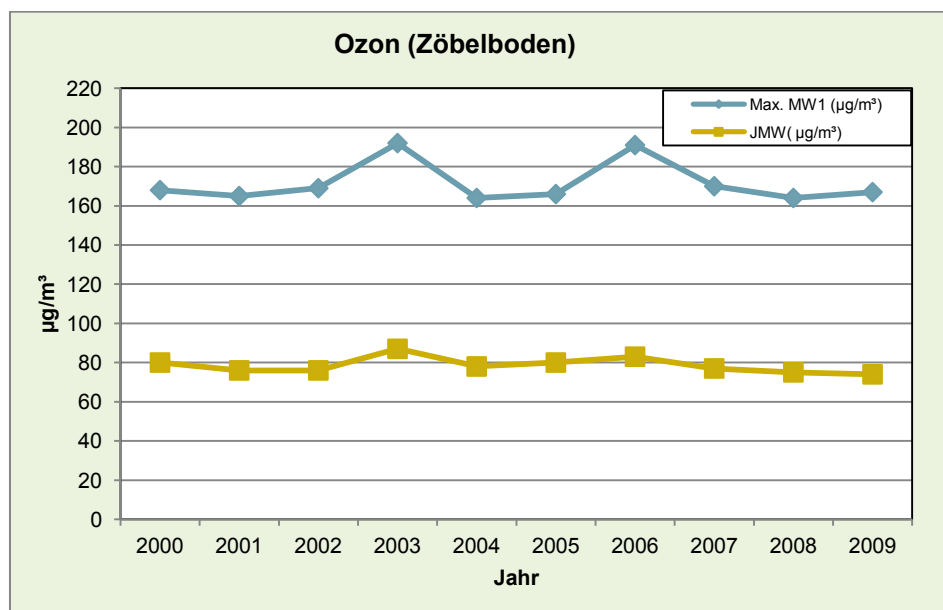


Abbildung 45: Ozonmessungen an der Station Zöbelboden im Reichraminger Hintergebirge 2000-2009, Max. MW1 (maximaler Einstundenmittelwert), JMW (Jahresmittelwert) (Quelle: UMWELTBUNDESAMT, eigene Darstellung)

Auch wenn die Belastung von Waldökosystemen durch Immissionen teilweise reduziert werden konnte (beispielsweise die Schwefeldioxidbelastung in den letzten zwei Jahrzehnten), wirken diese Einträge noch lange nach, da sie im Boden oder in der Vegetation gespeichert werden können und dadurch Standorte nachhaltig verändern.

5.5 Nährstoffmangel

Der Nährstoffmangel im Wald entstand durch die jahrhundertelange Beeinflussung des Menschen und hat vielfältige Gründe. Wie in Kap. 5.1 bereits erwähnt, führte der Waldumbau von natürlichen Laubwäldern in reine Nadelwälder zu einer Versauerung der Böden und damit zu einem Nährstoffmangel. Oftmals wurden anspruchsvolle Baumarten auf nährstoffarmen, aber durchaus guten Böden gepflanzt. Darüber hinaus wurden durch Waldbeweidung, Scheitelung der Bäume und Streunutzung dem Waldboden Nährstoffe entzogen, welche sich nur langsam wieder an den ursprünglichen Nährstoffgehalt angleichen. Immissionsbelastung ist ein weiterer Grund für die Senkung des pH-Werts im Boden und fördert damit die Auswaschung von Nährstoffen (siehe Kap. 5.4). Durch die forstwirtschaftliche Nutzung wird dem Wald laufend Biomasse entzogen, wodurch der nächsten Generation von Bäumen auch immer weniger Nährstoffe zur Verfügung stehen. Dies ist auch einer der Gründe, warum im Nationalpark abgestorbene Bäume im Wald belassen werden, da diese einen guten Nährboden für die nächste Generation liefern (siehe Abbildung 46). Bei der Vollbaumnutzung bzw. Ganzbaumernte werden dem Waldboden äußerst viele Nährstoffe entzogen, da hierbei auch die Rinde, das Reisig, die Feinäste und die Nadeln bzw. Blätter genutzt werden, in denen besonders viele Nährstoffe gebunden sind. Auf Rendzinastandorten, die im Untersuchungsgebiet den Hauptbodentyp bilden (siehe Kap. 3.2.4), und an konvexen und seichtgründigen Relieflagen wie Kuppen, Oberhängen und Rücken ist diese Art der Nutzung als besonders problematisch einzustufen (ENGLISCH 2007, S. 10).



Abbildung 46: Jungbaum auf liegendem Totholz (eigene Aufnahme im "Großen Urwald" des Wildnisgebiets Dürrenstein vom 22.10.2012)

6 Waldschäden im Lichte des Klimawandels

6.1 Einführung in den globalen Klimawandel

Im Klimasystem beeinflussen sich Umweltkomponenten gegenseitig mit verschiedenen positiven und negativen Rückkopplungen sowie zusätzlich mit einer zeitlichen Verzögerung. Änderungen in einer Komponente des Umwelt- bzw. Klimasystems haben also auch Änderungen in einer anderen Komponente zur Folge und sind somit weitreichend. Klimaschwankungen in der Vergangenheit konnten bereits über viele Millionen von Jahren rekonstruiert werden. Dabei reichen die Schwankungen von einer komplett eisbedeckten Erde im Cryogenium vor etwa 600 Millionen Jahren bis zu einer eisfreien Erde im Eozän vor etwa 40 bis 60 Millionen Jahren (LATIF 2009, S. 65). Unter Klimaänderung versteht man laut WAKONIGG (2004, S. 6) eine „*Veränderung der klimatischen Gegebenheiten („Normalwert“) und/oder Variationen (Streuungen, Extremwerte) von einer zeitlichen Dauer und einem quantitativen Ausmaß, welche deutliche und länger anhaltende Auswirkungen auf die Umwelt bewirken.*“

Es können laut WAKONIGG (2007) eine Reihe von möglichen Ursachen für Klimaänderungen genannt werden:

- **Planetare Ursachen:** Änderungen der Erdumlaufbahn um die Sonne (Exzentrizität), des Erdachsenneigungswinkels (Obliquität) sowie der Kreiselbewegung der Erdachse (Präzession) - diese treten in einer Periodizität von 100.000, 41.000 und 23.000 Jahren auf (vgl. "Milanković-Zyklen").
- **Kosmische Ursachen:** Änderung der Strahlungsenergie von der Sonne (Sonnenfleckenaktivität: 11-Jahreszyklus), Meteoreinschläge (sehr selten und bewirken nur kurzfristige Klimaänderungen).
- **Vulkanismus:** die Emission von SO_2 und dessen Umwandlung in SO_4 bzw. H_2SO_4 verstärken die Absorption der Sonnenstrahlung. Ablagerungen von

Staub und Asche auf Schnee- und Eisflächen haben zudem eine Verringerung der Albedo zur Folge - beide Effekte haben jedoch nur geringe und kurzzeitige Auswirkungen auf das Klima.

- **Kontinentalverschiebung:** Die Lage und Form von Kontinenten beeinflusst den Strahlungs- und Energieumsatz, die Meeresströmungen, die Lage und Bildung von Eismassen sowie die Verteilung der Vegetation und hat somit eine große und langfristige Klimawirksamkeit.
- **Gebirgsbildung:** Diese beeinflusst sowohl ihr eigenes regionales Gebirgsklima als auch ganze Teile von Kontinenten (z. B. das Wüstenklima Ostpatagoniens durch die im Westen vorgelagerten Anden). Demzufolge haben auch Gebirgsbildungen eine langfristige Klimawirksamkeit.
- **Ozeane:** Bei zunehmender Erwärmung des Meerwassers verringert sich die Löslichkeit von CO₂, und damit sinkt auch die deponierte Menge dieses Treibhausgases. Ebenso können Veränderungen der Meeresströmungen stark klimawirksam werden.
- **Schnee- und Eismassen:** Bei abnehmenden Schnee- und Eisflächen verringert sich auch die Albedo und hat eine stärkere Erwärmung des Bodens zur Folge. Daneben können Änderungen des Meerwassersalzgehaltes durch abschmelzende Landeismassen stark klimawirksam werden.
- **Böden:** Gleichermäßen spielt die Pedosphäre als Faktor für das Klima durch ihre unterschiedliche Albedo, unterschiedliche Wärmekapazität und Wärmeleitfähigkeit, unterschiedliche Wasseraufnahmefähigkeit und Verdunstungssteuerung sowie durch ihre Wirkung im Gasaustausch mit der Atmosphäre aufgrund der Entstehung von klimawirksamen Treibhausgasen eine wichtige Rolle.
- **Biosphäre:** Die Zusammensetzung der Erdatmosphäre wird maßgeblich von der Biosphäre gesteuert und beeinflusst somit auch das globale Temperatur-

klima. Änderungen in der Biosphäre, z. B. durch Rodungen von tropischen Wäldern oder durch Bodenversiegelungen im Siedlungsbau, verändern die Strahlungsbilanz sowie den CO₂-Gehalt der Atmosphäre, usw.

- **Treibhausgase:** Der Strahlungshaushalt kann durch eine veränderte Zusammensetzung der Atmosphäre beeinflusst werden. Hier sind vor allem die Treibhausgase CO₂, CH₄, N₂O und FCKWs zu nennen, welche noch keine treibhauswirksame Sättigung erreicht haben.

Das Klima der letzten 1000 Jahre ist besonders gut dokumentiert und zeigt als auffälligstes Merkmal einen Temperaturanstieg in der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts, welcher nach heutigem Wissensstand auf anthropogene Treibhausgasemissionen zurückzuführen ist. Laut LATIF (2009, S. 80f) weisen die Rekonstruktionen der Temperaturen auf der Nordhalbkugel wie auch die Strahlungsantriebe zusammen mit den entsprechenden Modellsimulationen darauf hin, dass im Hinblick auf das letzte Jahrtausend die Erwärmung der letzten Jahrzehnte mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit einmalig ist.

In der Klimadynamik unterscheidet man prinzipiell zwischen internen und externen Klimaschwankungen. Interne Klimaschwankungen werden aus sich selbst heraus erzeugt und entstehen durch Prozesse innerhalb einzelner Klimakomponenten oder durch Wechselwirkungen zwischen verschiedenen Klimakomponenten. Aussagen über die korrekte Zuordnung von Ursache und Wirkung sind aufgrund des komplexen Beziehungsgeflechts der einzelnen Umweltkomponenten jedoch sehr schwierig. Externe Klimaschwankungen benötigen einen externen Antrieb wie etwa Vulkanausbrüche, Änderungen der einfallenden Sonnenstrahlung oder anthropogene Einflüsse (LATIF 2009, S. 83).

Im chaotischen System der Atmosphäre ist es unmöglich, das Wetter für die nächsten vier Wochen vorherzusagen. Bereits kleine Fehler in den Anfangsbedingungen oder in der Modellformulierung limitieren die Wettervorhersagbarkeit und begrenzen diese im Mittel auf zwei Wochen. Für die Vorhersagbarkeit des Klimas können aber sehr wohl statistische Wahrscheinlichkeiten und langfristige

Trends berechnet werden. Einzelne Wetterextreme wie der extrem heiße Sommer 2003 oder der Orkan Kyrill im Jahr 2007 können jedoch nicht so einfach der globalen Erwärmung zugeschrieben werden. Diese Wetterextreme müssen erst statistisch über einen längeren Zeitraum betrachtet werden, um sie mit dem Klimawandel in Verbindung bringen zu können.

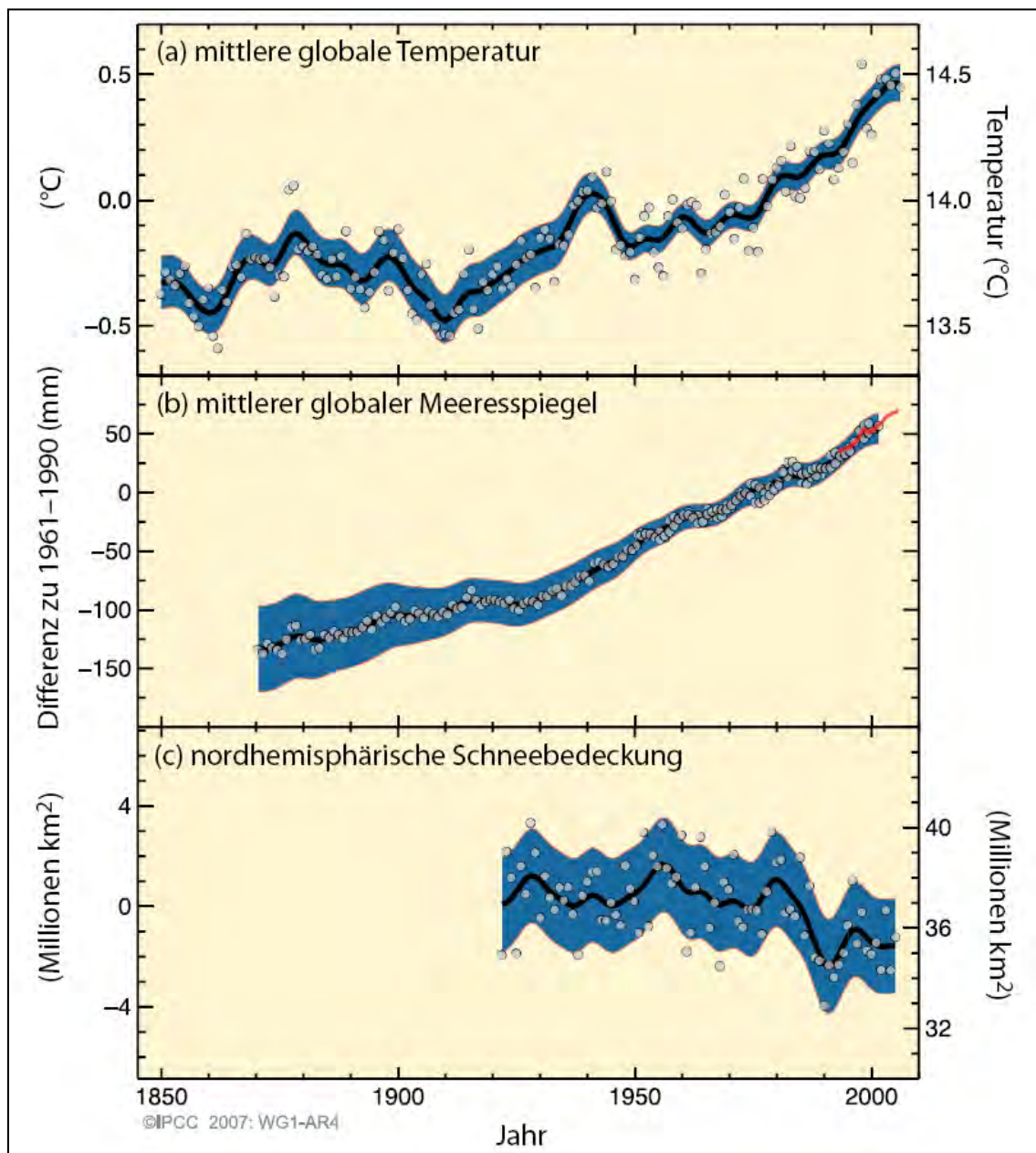


Abbildung 47: Änderungen in der mittleren globalen Temperatur, des mittleren globalen Meeresspiegels und der nordhemisphärischen Schneebedeckung (IPCC 2007, S. 6)

Laut IPCC (2008, S. 82) ist die Erwärmung des Klimasystems eindeutig und stützt sich auf Beobachtungen des Anstiegs der mittleren globalen Luft- und

Meerestemperaturen, des ausgedehnten Abschmelzens von Schnee und Eis sowie des Anstiegs des mittleren globalen Meeresspiegels. Die Änderungen in Abbildung 47 beziehen sich auf das Mittel der Jahre 1961 bis 1990, wobei die Kreise die Jahreswerte darstellen und die Kurven die gemittelten Werte über ein Jahrzehnt zeigen. Die blauschattierten Flächen geben den geschätzten Unsicherheitsbereich wieder.

Um nun Aussagen über die zukünftige Entwicklung des Klimas treffen zu können, müssen die Prozesse innerhalb und zwischen den einzelnen Klimaelementen modelliert werden. Die Entwicklung der Menschheit und deren Einflüsse auf das Klima sind dabei am schwersten vorherzusehen. Es werden daher oftmals Szenarien entwickelt, die das Bevölkerungswachstum, den Energieverbrauch und auch die technische und soziale Entwicklung der Menschheit beschreiben. Die in der Literatur am häufigsten zitierten Szenarien, die sich mit der globale Klimaänderung beschäftigen, sind die des INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE (IPCC; Zwischenstaatlicher Ausschuss für Klimaänderungen). Laut diesem Ausschuss wird bis zum Ende des 21. Jahrhunderts die Temperatur je nach Szenario um 1,8 bis 4 K ansteigen, bei einer Schwankungsbreite von 1,1 bis 6,4 K (IPCC 2007, S. 13).

Es gilt als „praktisch sicher“, dass es aufgrund des Klimawandels über den meisten Landflächen wärmere und weniger kalte Tage und Nächte sowie wärmere und häufiger heiße Tage und Nächte geben wird, wobei der Ausdruck „praktisch sicher“ für eine Eintrittswahrscheinlichkeit von $> 99\%$ steht. Wärmeperioden, Hitzewellen und Starkniederschlagsereignisse werden „sehr wahrscheinlich“ häufiger werden (Eintrittswahrscheinlichkeit $> 90\%$). In den europäischen Gebirgsregionen hat der Klimawandel einen Rückgang der Gletscher, einen Rückgang der Schneedecke und einen erheblichen Verlust an Arten zur Folge (IPCC 2008, S. 12).

6.2 Der Klimawandel im Untersuchungsgebiet

Der Klimawandel vollzieht sich regional sehr unterschiedlich, wobei über den Ozeanen wesentlich geringere Änderungen erwartet werden als über den Landflächen. Speziell im Alpenraum hat die Klimaänderung ein weit größeres Ausmaß als im globalen Mittel.

Temperatur

Von den 15 einbezogenen Klimastationen weisen in Bezug auf die Temperaturverhältnisse nur drei Stationen einen hinreichend langfristigen Datensatz für die Betrachtung des Klimawandels im Untersuchungsgebiet auf. An allen drei Stationen wurde eine Zunahme der Jahresmitteltemperatur mit unterschiedlichen regionalen Ausmaßen verzeichnet. Während die mittlere Jahrestemperatur in Windischgarsten seit 1960 um 0,87 K gestiegen ist, wurde in St. Pangraz eine Zunahme von 1,50 K und in Reichraming sogar 1,83 K gemessen (siehe Abbildung 48). Dies bedeutet einen wesentlich höheren Anstieg als im globalen Mittel.

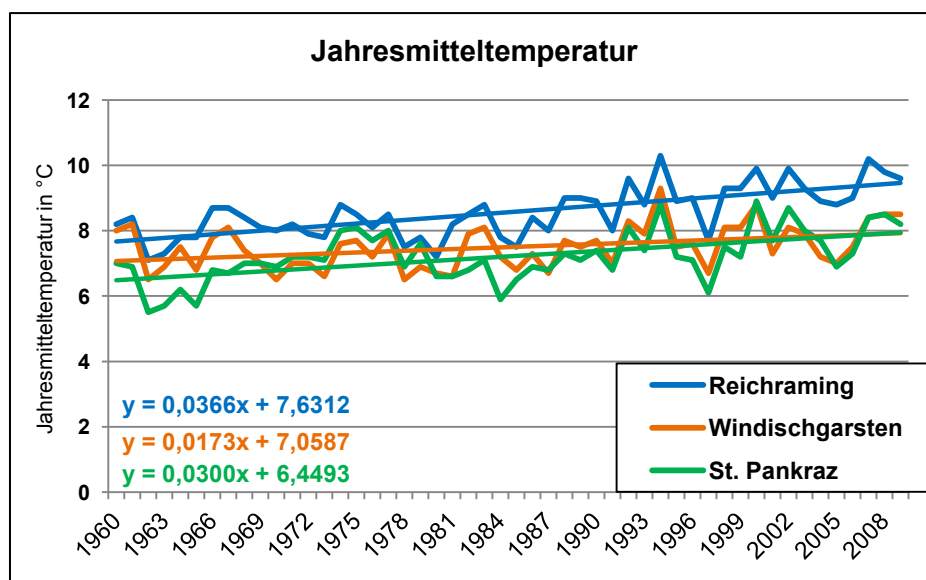


Abbildung 48: Jahresmitteltemperaturen mit linearen Trendlinien der Klimastationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pankraz für den Zeitraum 1960 - 2009 (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung)

Noch deutlicher zeigen die Kurven der Normalverteilung in Abbildung 49 die Veränderungen der Jahresmitteltemperaturen mit einem Vergleich der Perioden 1960 bis 1984 und 1985 bis 2009.

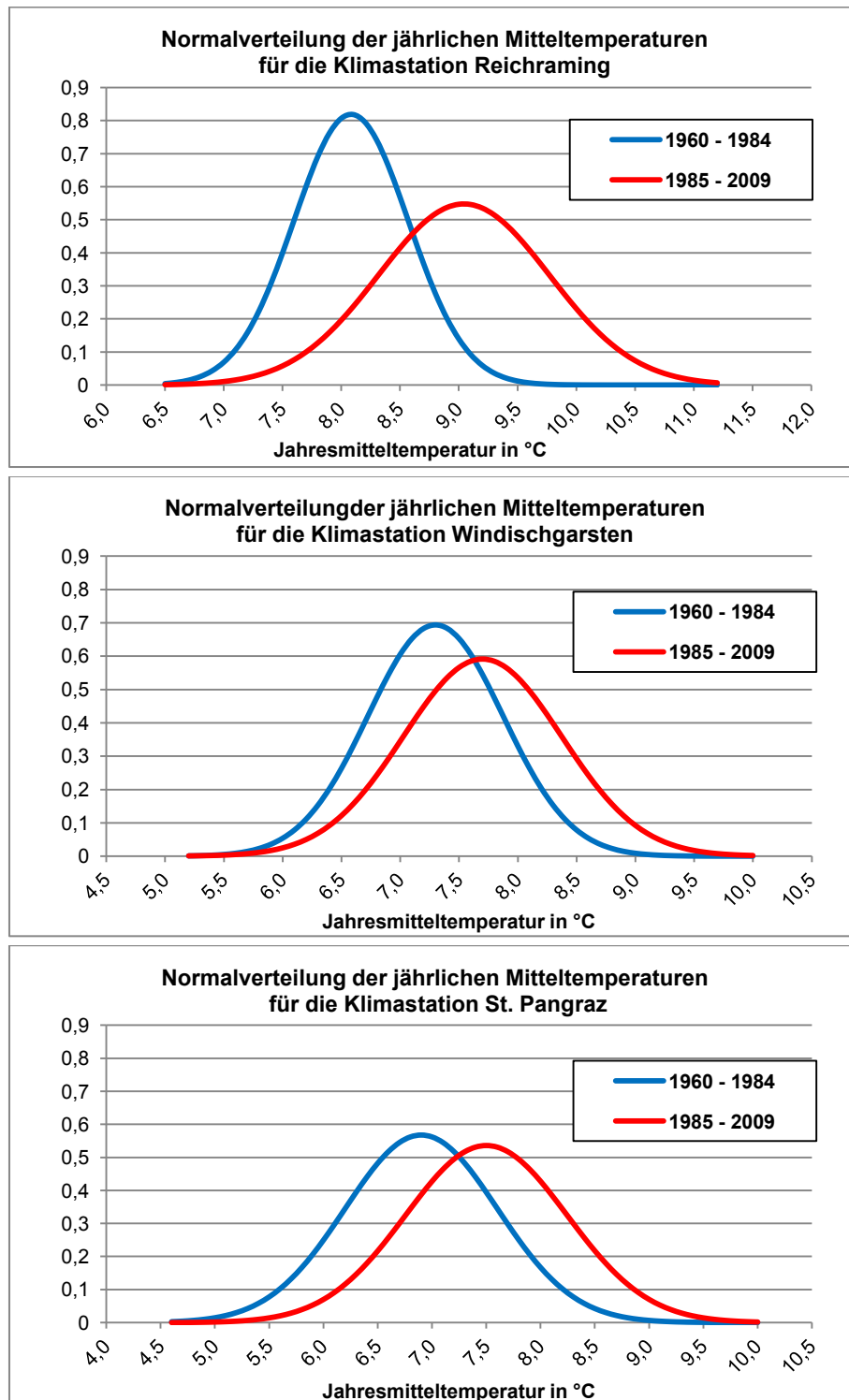


Abbildung 49: Normalverteilung der jährlichen Mitteltemperaturen für die Zeitperioden 1960 bis 1984 (blaue Linie) und 1985 bis 2009 (rote Linie) der Klimastationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pangraz (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung)

Die Station Reichraming zeigt dabei mit einer sehr viel niedrigeren, breiteren und nach rechts verschobenen Kurve in der aktuelleren Periode die größten Veränderungen. Dies deutet nicht nur auf einen wesentlich höheren Erwartungswert von 8,1 °C auf 9,0 °C hin (am Höhepunkt der Kurve), sondern auch auf eine viel breitere Variabilität des Temperaturklimas. Aufgrund der nach rechts verschobenen Kurve kann auch eine gesunkene Wahrscheinlichkeit für sehr kalte Jahresmitteltemperaturen und eine gestiegene Wahrscheinlichkeit für sehr warme Jahresmitteltemperaturen angenommen werden. Während in den 1960er und 1970er Jahren eine Jahresmitteltemperatur von über 9 °C an dieser Station noch sehr unwahrscheinlich war, ist sie zum heutigen Zeitpunkt sehr wahrscheinlich. Ähnlich verhält es sich an den Stationen Windischgarsten und St. Pangraz, wenn auch mit keiner so großen Deutlichkeit. Für die zukünftige Entwicklung der Temperatur in Österreich gibt es bereits eine Menge an Untersuchungen und Publikationen. Die Temperaturerhöhung sollte sich nicht nur regional, sondern auch saisonal unterschiedlich verteilen (siehe Abbildung 50).

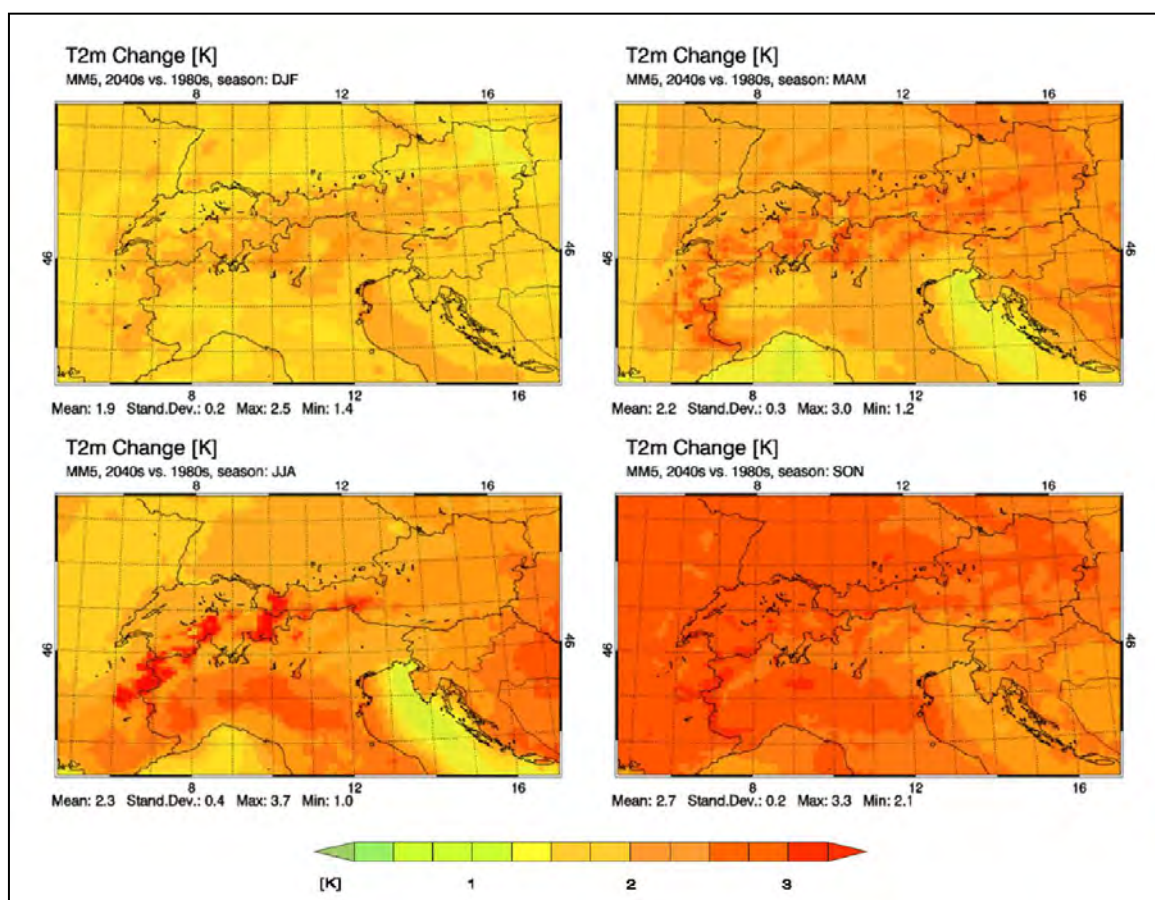


Abbildung 50: Saisonale Temperaturänderungen in °C für 2041-2050 im Vergleich zu 1981-1990 nach dem Regionalmodell MM5 (Quelle: reclip:more 2007, S. 9)

Laut Ergebnissen des Projekts "reclip:more" wird der Temperaturanstieg für die Mitte des 21. Jahrhunderts im Herbst mit einem Plus von 2,5 bis 3 K am deutlichsten ausfallen, gefolgt vom Sommer mit 2 bis 2,5 K, dem Frühling mit 1,8 bis 2,5 K und dem Winter mit 1,3 bis 1,8 K, wobei die Werte für den Alpenraum noch etwas höher liegen dürften (reclip:more 2007, S. 6).

Welchen Einfluss derartige Temperaturveränderungen auf den Buchdrucker haben können, soll Abbildung 51 verdeutlichen. Darin zeigt sich, dass sich eine Erhöhung der Temperatur in alpinen Lagen wesentlich stärker auf die Entwicklungsdauer des Buchdruckers auswirkt, als in mittleren oder tiefen Lagen. Somit kann auch in höheren Lagen mehr als eine Generation von Buchdruckern entstehen.

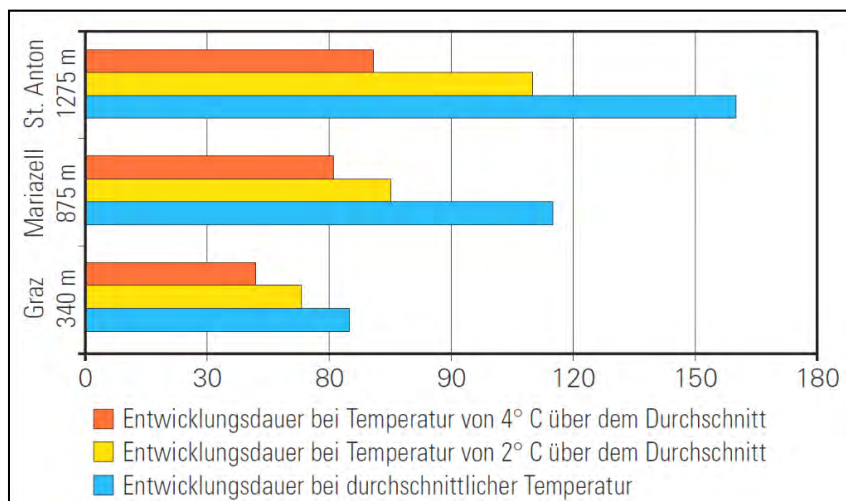


Abbildung 51: Entwicklungsdauer des Buchdruckers in Tagen bei veränderten Temperaturverhältnissen in der Vegetationsperiode (Tomiczek & Pfister 2008, S. 23)

Niederschlag

Prognosen für mögliche zukünftige Änderungen bei den Temperaturen sind in Klimamodellen leichter zu berechnen als jene für die Niederschläge. An allen Klimastationen im Untersuchungsgebiet zeigt sich für die mittlere Jahresniederschlagssumme ein positiver Trend. Diese Jahresniederschlagssumme erhöht sich in Weyer im Durchschnitt um 2,3 mm/Jahr (allerdings mit einer Datenlücke für das Jahr

2007) und erreicht in Molln sogar einen Anstieg von 7,5 mm/Jahr (siehe Abbildung 52).

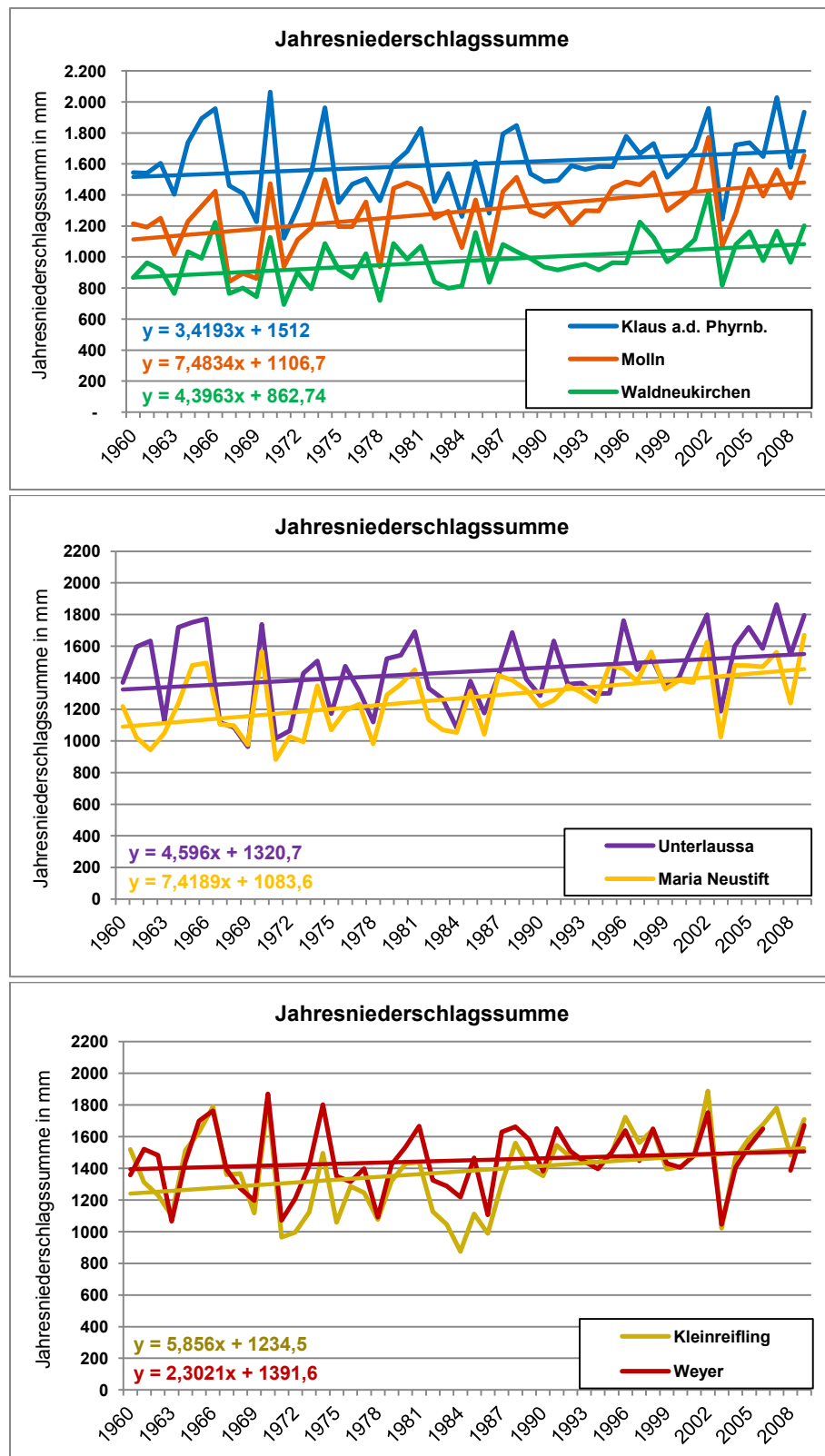
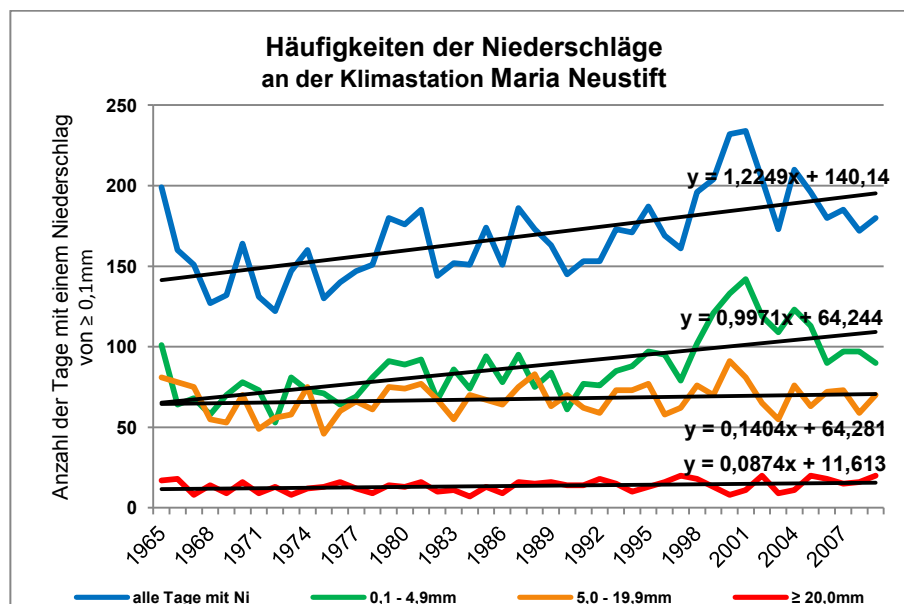


Abbildung 52: Jahresniederschlagssummen mit linearen Trendlinien für die Klimastationen Klaus a.d. Phyrnb., Molln, Waldneukirchen, Unterlaussa, Maria Neustift, Kleinreifling und Weyer für den Zeitraum

Das bedeutet für Molln einen mittleren Anstieg von 374 mm im Zeitraum von 1960 bis 2009. Der mittlere Anstieg der Jahresniederschlagssumme an der Klimastation Breitenau liegt sogar bei über 14 mm/Jahr, jedoch reichen die Daten nur bis ins Jahr 1982 zurück und sind daher nicht aussagekräftig.

Auch für die Häufigkeit aller Tage mit Niederschlägen zeigt sich ein positiver Trend, allerdings mit Ausnahmen für die Stationen Klaus/Pyhrnbahn, Reichraming und Großraming mit einem leicht negativen Trend. Den stärksten Anstieg verzeichnet die Station Maria Neustift mit einem mittleren Anstieg von 55 Tagen für den Zeitraum von 1965 bis 2009, gefolgt von der Station Waldneukirchen mit 50 Tagen und Weyer mit 43 Tagen. Für die Klasse der Tage mit ≥ 20 mm Niederschlag konnte an allen Stationen ein positiver Trend festgestellt werden. Den stärksten Anstieg in dieser Klasse verzeichnet die Station Molln mit einem mittleren Plus von 6,3 Tagen (+ 58 %) für den gesamten untersuchten Zeitraum. Für die Klassen mit 0,1 bis 4,9 mm Niederschlag/Tag und 5,0 bis 19,9 mm Niederschlag/Tag konnte kein einheitlicher Trend festgestellt werden (siehe Abbildung 53).



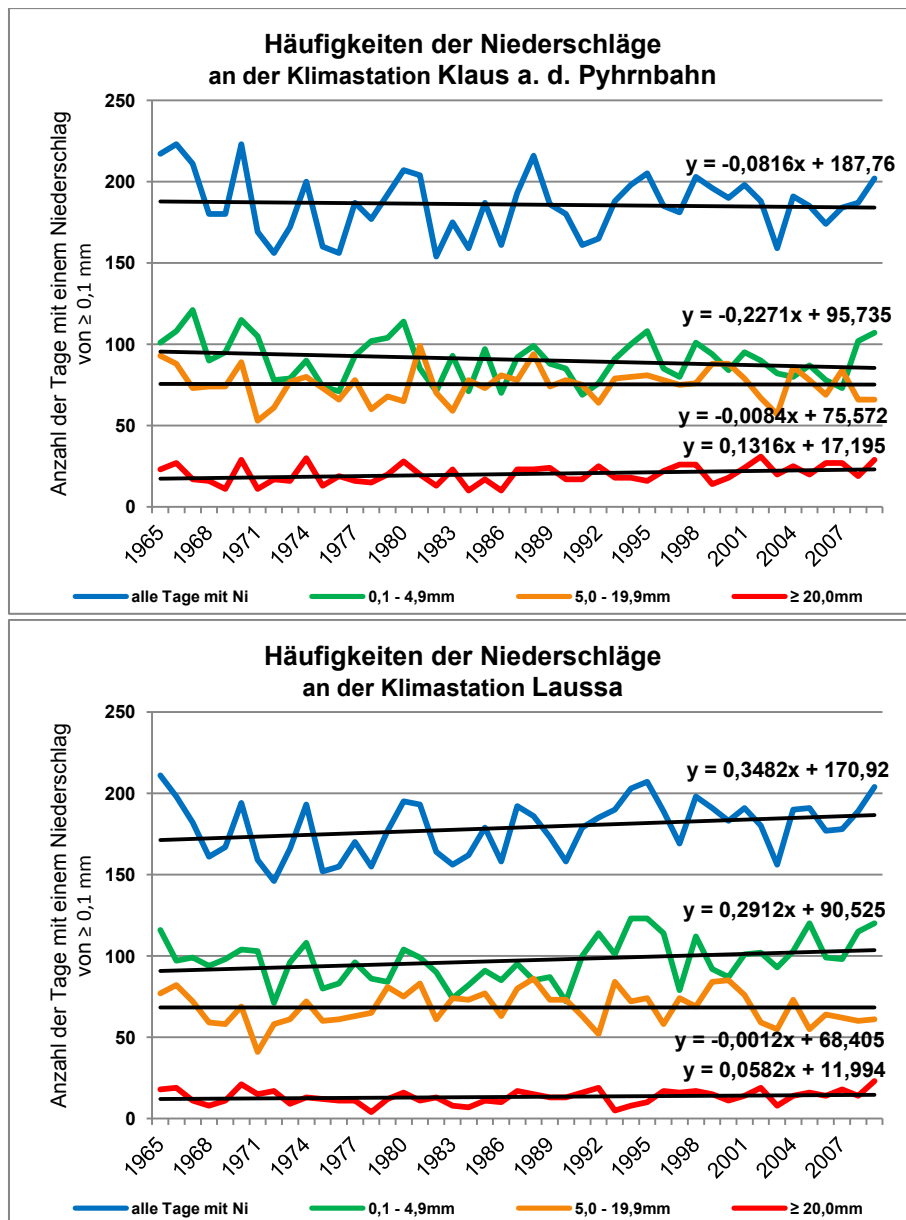


Abbildung 53: Anzahl der Tage mit einem Niederschlag von $\geq 0,1$ mm und linearen Trendlinien für den Zeitraum 1965 bis 2009 (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung) (Auswertung aller Klimastationen im Anhang)

Wie bereits bei der Temperatur werden auch für die zukünftige Entwicklung des Niederschlags regional und saisonal unterschiedliche Entwicklungen erwartet. Für die Mitte des 21. Jahrhunderts prognostizieren FORMAYER et al. (2008, S. 40) einen Rückgang der Niederschläge, vor allem im Osten von Österreich. Im Untersuchungsgebiet konnte dieser Rückgang während der letzten 50 Jahre noch nicht beobachtet werden, hier gab es einen Zuwachs der Jahresniederschlagssummen (siehe Abbildung 52). Laut FORMAYER et al. (2008, S. 24) verlagern sich die Niederschläge vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr. Auswertungen

der Stationen Kleinreifling und Molln für den Zeitraum 1960 bis 2009 scheinen dies zu bestätigen (siehe Abbildung 54). Dabei wurden die Niederschläge der Monate Oktober bis März den Niederschlägen für April bis September gegenübergestellt. Es zeigen sich klare Trends mit sinkenden Sommerniederschlägen und steigenden Winterniederschlägen.

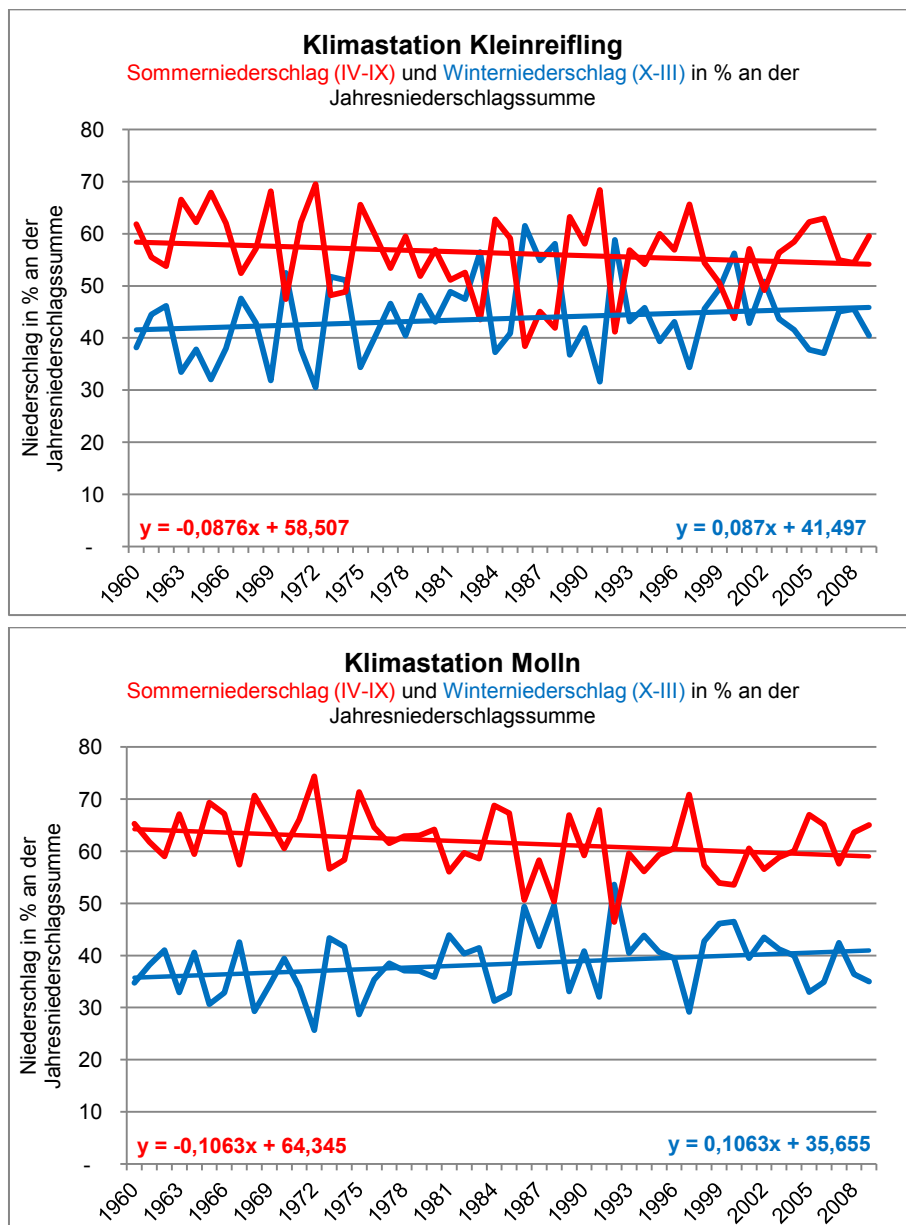


Abbildung 54: Niederschlag des Sommerhalbjahres (rote Linie) und Niederschlag des Winterhalbjahres (blaue Linie) in % an der Jahresniederschlagssumme mit linearen Trendlinien (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung)

In den Ergebnissen des Forschungsprojekts "reclip:more" werden diese Niederschlagsverlagerungen ebenfalls prognostiziert. In den Herbstmonaten September,

Oktober und November, aber auch in den Sommermonaten Juni, Juli und August wird ein Rückgang der Niederschlagsmengen erwartet, während in den Wintermonaten Dezember, Jänner und Februar sowie in den Frühlingsmonaten März, April und Mai ein Zuwachs an Niederschlägen zu verzeichnen sein wird (siehe Abbildung 55).

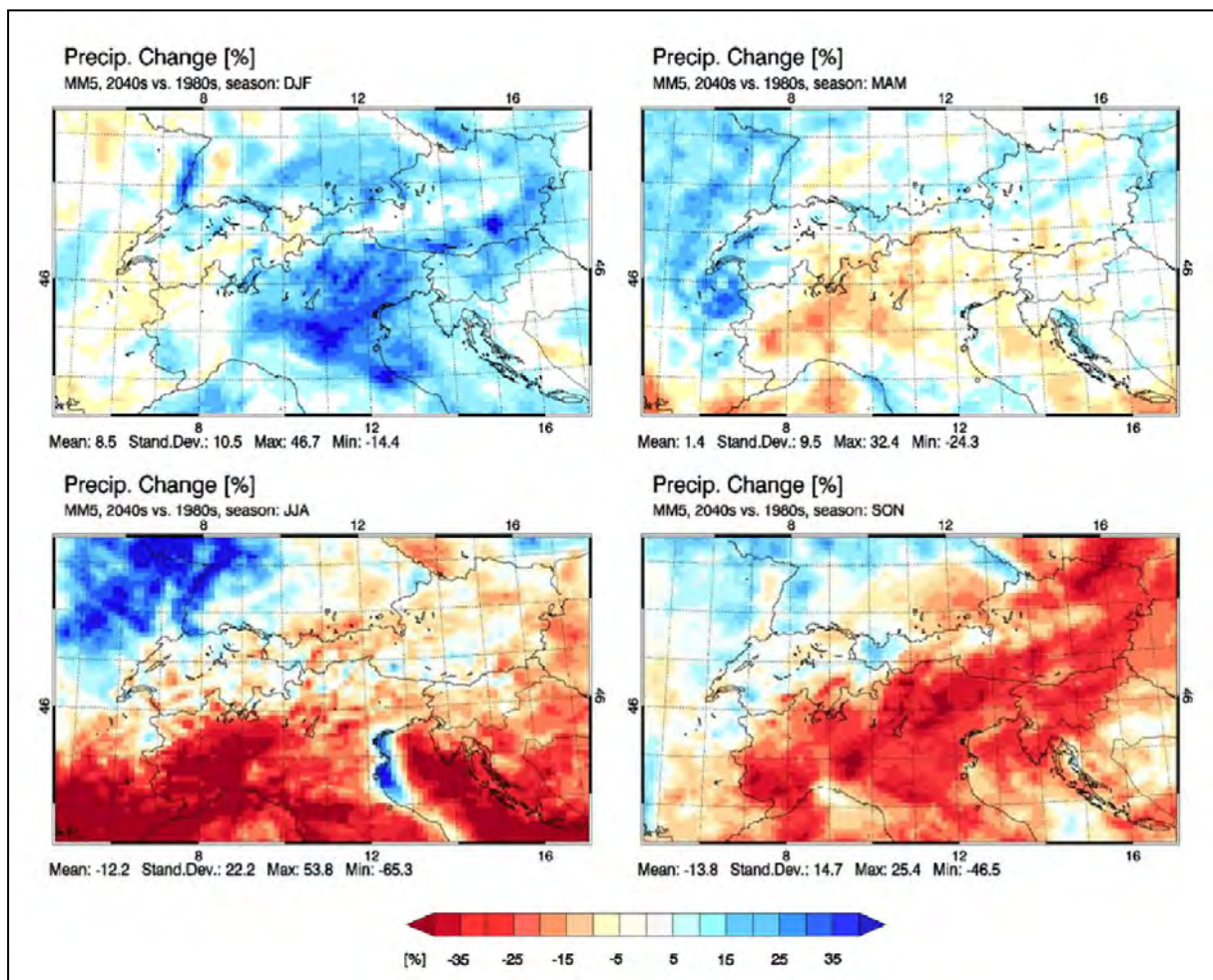


Abbildung 55: Saisonale Niederschlagsänderungen in % für 2041 bis 2050 im Vergleich zu 1981 bis 1990 nach dem Regionalmodell MM5 (Quelle: reclip:more 2007, S. 9)

6.3 Den Borkenkäfer begünstigende Extremwetterereignisse

Für Waldökosysteme sind Veränderungen von Mittelwerten (z. B. mittlere jährliche Temperaturzunahme) oft weniger von Bedeutung, als eine Zunahme von Extremwetterereignissen wie Stürmen, Hitzewellen oder Trockenperioden. Die Frage,

ob es zu einem Anstieg der Klimavariabilität kommen wird, gewinnt in der Klimaforschung immer mehr an Bedeutung. Anders als bei langfristigen Mittelwerten können aber Extremwetterereignisse nicht einfach dem Klimawandel zugeschrieben werden.

6.3.1 Stürme und Sturmschäden

Für Österreich haben drei Sturmtypen besondere Relevanz, die Winterstürme (z. B. die Orkane Kyrill im Jänner 2007, Paula im Jänner 2008 und Emma im März 2008), lokale Unwetter (Sommergewitter und Tornados) sowie der Föhn (FORMAYER et al. 2008, S. 29). Es sollte zunächst darauf hingewiesen werden, dass die Messung von Wind sehr schwierig ist und es nur wenige zuverlässige Langzeitmessungen gibt. Das zerstörerische Potential von Stürmen sind einzelne, lokal vorkommende Böen. An Stelle von Windmessreihen wurden von MATULLA et al. (2007, S. 3f) aus ganz Europa und in hoher Qualität vorliegende Luftdruckreihen untersucht und damit Wind- und Sturmmessreihen errechnet. Es zeigte sich, dass in den Ergebnissen der Berechnungen kein eindeutiger Trend zu einer erhöhten Sturmtätigkeit festgestellt werden konnte (siehe Abbildung 56).

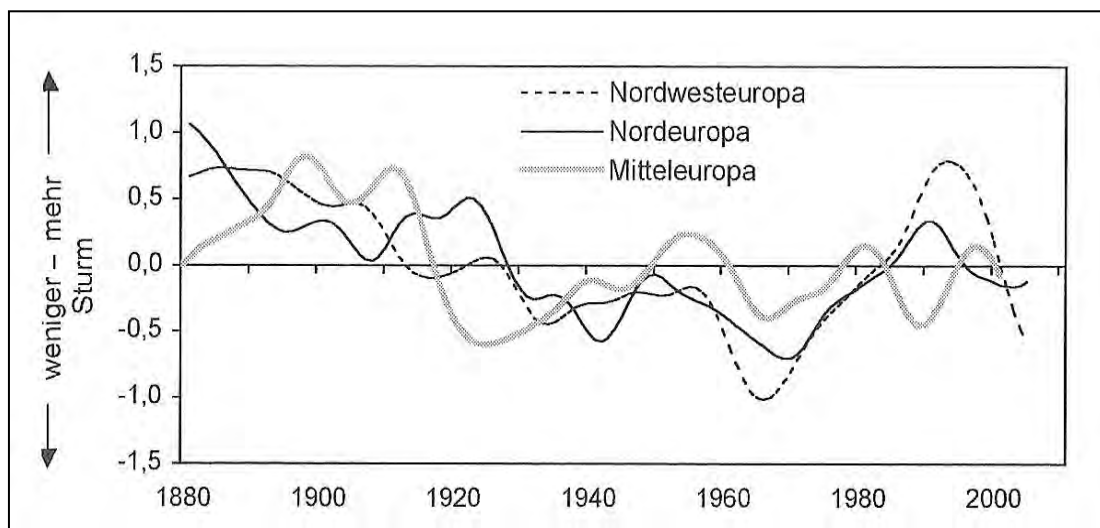


Abbildung 56: Sturmtätigkeit in Nordwest-, Nord- und Mitteleuropa aus europäischen Luftdruckreihen von 1880 bis 2005 (20jähriges geglättetes p99-Perzentil: Verlauf eines Index der Häufigkeit von starken Stürmen) (Quelle: MATULLA et al. 2007 in BÖHM 2008, S. 190)

Untersuchungen im Gebiet Genua-Padua-Turin von geostrophischen Windgeschwindigkeiten, also den aus Druckgradientkraft (Ausgleichsströmung der Luft zwischen Hoch- und Tiefdruckgebiete) und Corioliskraft (abgelenkte Kraft aufgrund der Erdrotation) resultierenden Winden, haben auch hier gezeigt, dass kein nennenswerter Trend zu einer erhöhten Sturmtätigkeit festgestellt werden kann (ZAMG 2, 2011) (siehe Abbildung 57).

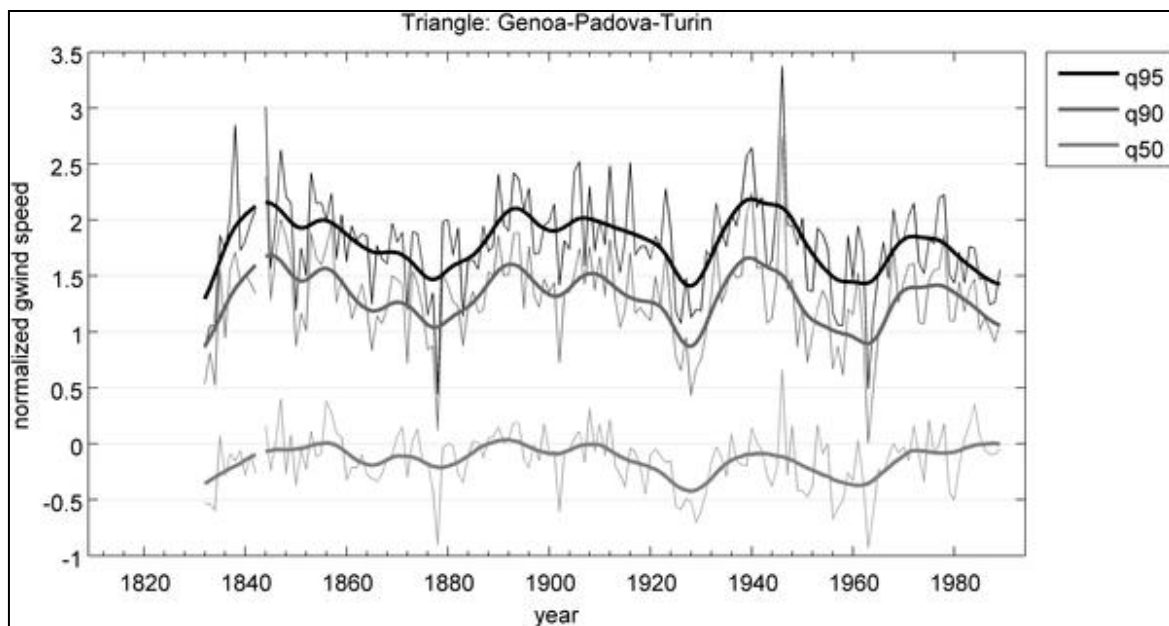


Abbildung 57: Geostrophische Windgeschwindigkeiten ab dem Jahr 1830 für das Gebiet Genua-Padua-Turin (p50-Perzentil: 50 % der Daten wurden überschritten; p90-Perzentil: 10 % der Daten wurden überschritten; p95: 5 % der Daten wurden überschritten) (Quelle: ZAMG 2, 2011)

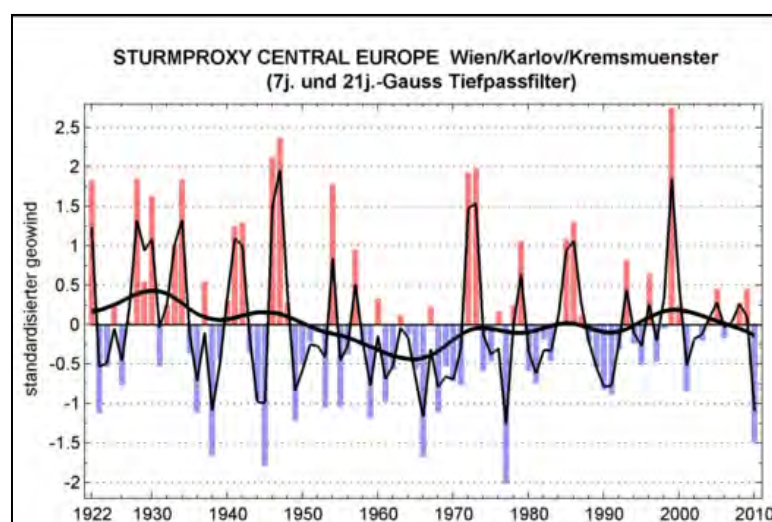


Abbildung 58: Standardisierter Sturmindex für Mitteleuropa von 1921 bis 2010 abgeleitet aus täglichen Luftdruckmessungen (schwarze Linie zeigt den geglätteten Verlauf der 95 %-Perzentile für die Wintermonate Nov. – Feb.) (ZAMG 1, 2011)

Auch Abbildung 58 zeigt mit einem standardisierten Sturmindex für Mitteleuropa aus täglichen Luftdruckmessungen zwar eine hohe Variabilität des Sturmklimas, jedoch lässt sich auch hier kein Trend für eine Zunahme der Stürmigkeit erkennen. Abbildung 59 zeigt die Jahresmittelwerte der Windgeschwindigkeit in Meter/Sekunde und die Anzahl der Tage mit einer Windstärke ab 6 Bft (dieser steht laut der Beaufortskala für eine Windgeschwindigkeit ab 10,8 m/s) für die Klimastationen Großraming, Ternberg und Weyer.

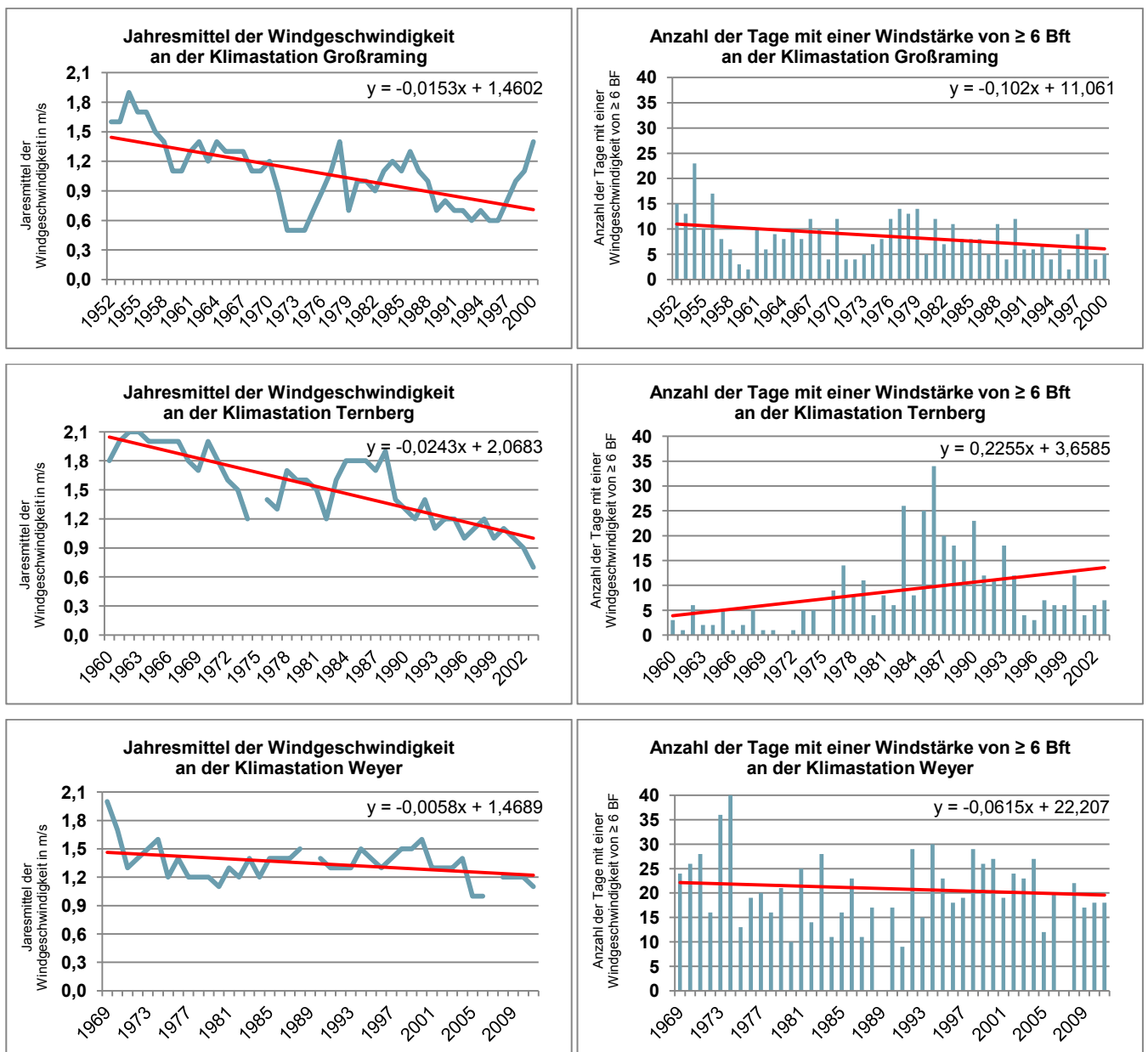


Abbildung 59: Jahresmittel der Windgeschwindigkeiten und Anzahl der Tage mit Windgeschwindigkeiten ≥ 6 BF an den Klimastationen Großraming, Ternberg und Weyer (Datenquelle: ZAMG 4, eigene Darstellung)

An allen Stationen zeigt sich ein Abwärtstrend (mit Ausnahme der Station Ternberg für Tage mit hohen Windgeschwindigkeiten). Dies sollte jedoch nicht als genereller Abwärtstrend des Sturmaufkommens in Österreich fehlinterpretiert werden. Laut einer Untersuchung von NICOLE GINTER, BAKK. gibt es ebenso Klimastationen, die einen steigenden Trend bei der mittleren Jahreswindgeschwindigkeit und bei der Anzahl von Tagen mit einer Windstärk ab 6 Bft zeigen, wie etwa die Stationen Feuerkogel, Kremsmünster, Sonnblick, Schöckl, Patscherkofel oder Hohe Warte (pers. Mittlg.). Nicht nur der Blick auf den gesamten Zeitraum einer Klimastation, sondern auch der Vergleich einzelner Jahre an den verschiedenen Klimastationen zeigt eine sehr hohe Variabilität beim Starkwindaufkommen und weist auf die Kleinräumigkeit des Sturmaufkommens und auf die Schwierigkeiten bei der Windmessung hin. Für Sturmschäden in Wäldern sind zudem oft Sturmböen verantwortlich, die sehr schwer zu messen sind.

Abbildung 60 zeigt einen steigenden Trend für die Sturm- und Schneebruchschäden im gesamten Bundesgebiet Österreich. Dieser Trend begründet sich hauptsächlich durch die hohen Schadholzmengen der Jahre 2007 und 2008.

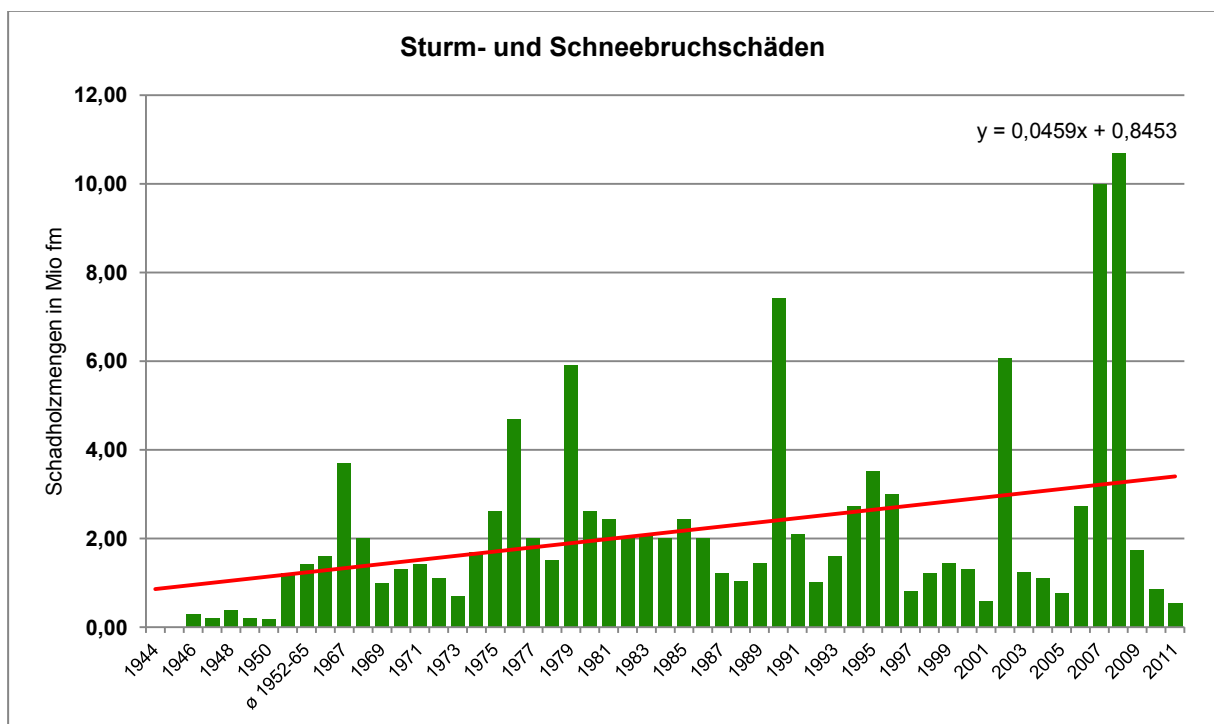


Abbildung 60: Sturm- und Schneebruchschäden in Österreich in Millionen Festmeter (Datengrundlage: BFW 2012, S. 5, eigene Darstellung)

6.3.2 Hitzetage, tropische Nächte und Hitzeperioden

Bei Betrachtung der Temperatur werden Hitzetage/Tropentage (Tageshöchsttemperatur $\geq 30\text{ }^{\circ}\text{C}$), tropische Nächte (Tagestiefsttemperatur $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) und Hitzewellen/Hitzeperioden als Extremwetterereignisse definiert. Das IPCC schätzt, dass es mit der Zunahme der Lufttemperatur auch mit einer hohen Wahrscheinlichkeit zu einer Zunahme der Hitzeperioden kommen wird, was sowohl die Häufigkeit der Ereignisse betrifft als auch ihre Dauer (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY 2007, S. 152). Ergebnisse des „Interreg-IIIb-Alpine Space Project Foralps“ scheinen diesen Trend der Hitzezunahme zu bestätigen (siehe Abbildung 61). Zu sehen ist hier die Anzahl der tropischen Nächte für die Städte Wien, Bregenz und Innsbruck für den Zeitraum 1900 bis 2006, welche einen markanten Anstieg verzeichnen.

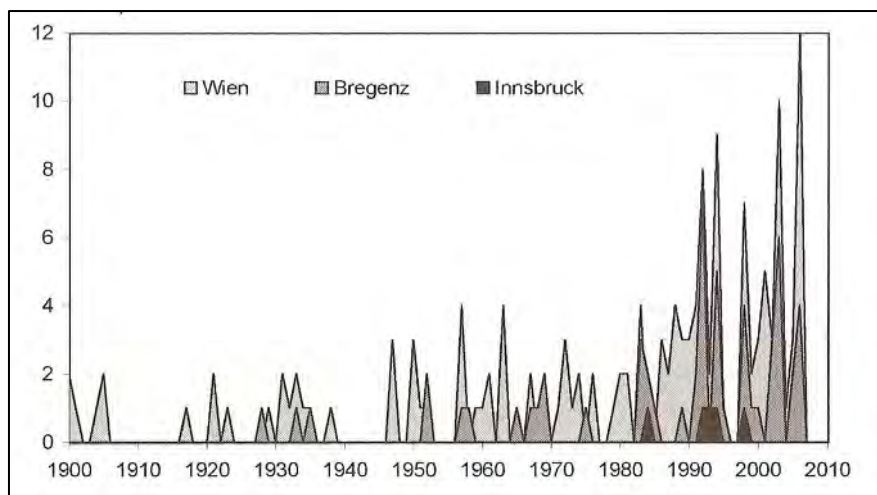


Abbildung 61: Anzahl der tropischen Nächte (Tagestiefsttemperatur $\geq 20\text{ }^{\circ}\text{C}$) in den Städten Wien, Bregenz und Innsbruck von 1900 bis 2006 (Quelle: BÖHM 2008, S. 203 nach AUER et al. 2008) (verändert)

Laut einer Analyse über die Hitze und Trockenheit in Österreich im Zuge des Projekts "StartClim2004" hat sich die Anzahl der Hitzetage seit der Mitte des 20. Jh.s. in den niederen Seehöhen um 25 Tage erhöht und in den Höhenlagen um 700 m um etwa 1 bis 2 Tage, was einen markanten Anstieg bedeutet (KROMP-KOLB 2005, S. 9). Die Anzahl der Tage mit einer Tagesmitteltemperatur von mindestens $20\text{ }^{\circ}\text{C}$, also Tage mit besonders günstigen klimatischen Voraussetzungen für die Entwicklung des Borkenkäfers, hat sich im Untersuchungsgebiet seit 1965 deutlich erhöht. Für die

Klimastation Reichraming ergibt sich dabei eine mittlere Erhöhung von 24,6 Tagen, für Windischgarsten von 21,7 Tagen und für St. Pangraz von 9,1 Tagen.

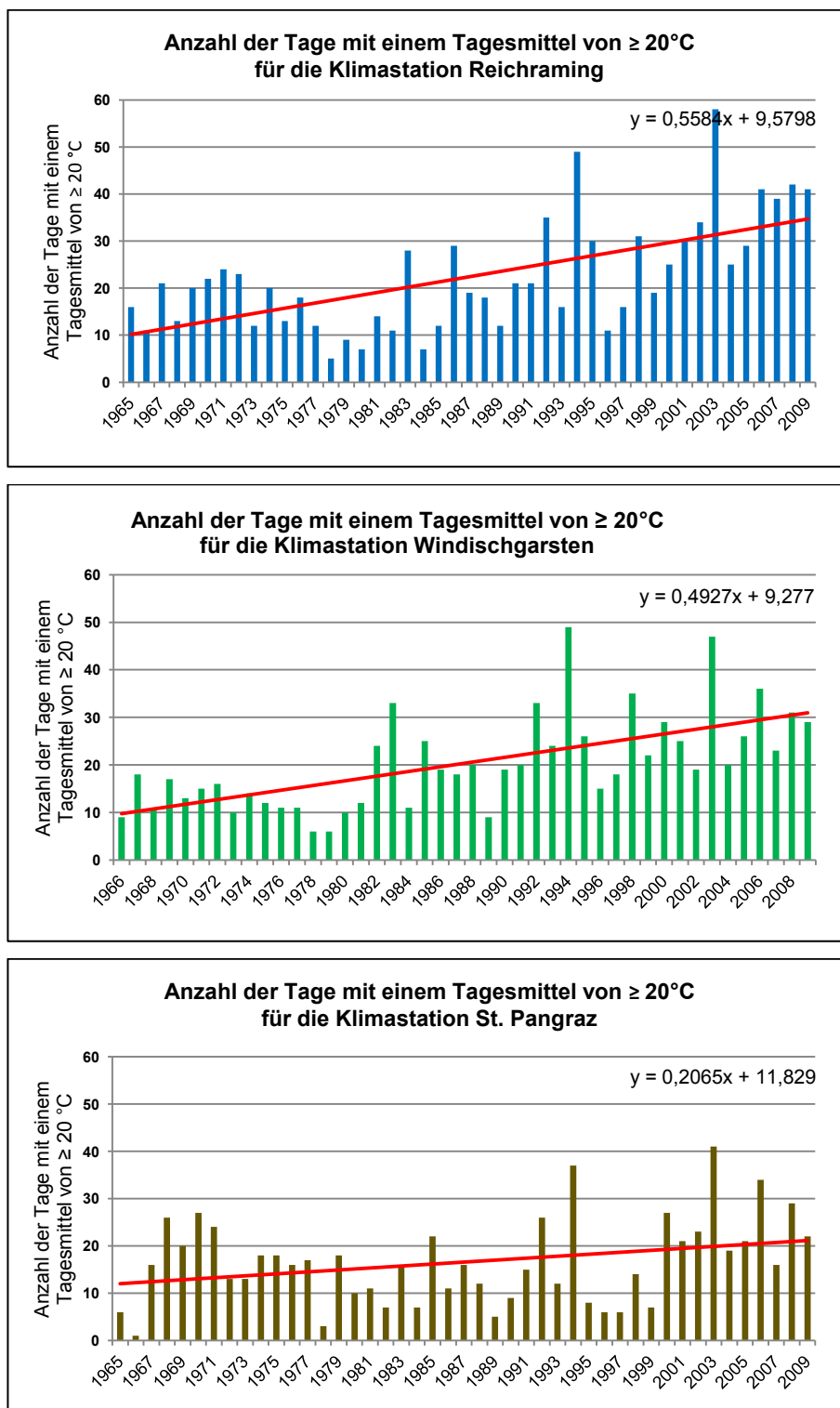


Abbildung 62: Anzahl der Tage mit einem Tagesmittel von mind. 20°C für die Jahre 1965 bis 2009 der Klimastationen Reichraming, Windischgarsten und St. Pangraz (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung) (Auswertung aller Klimastationen im Anhang)

Laut dem vierten europäischen Umweltreport des EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY werden Warmwetterperioden (einschließlich Hitzewellen) intensiver, häufiger und länger anhaltend (EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY 2007, S. 152). Abbildung 63 zeigt die Anzahl der prognostizierten Hitzewellen mit einer Dauer von mindestens 7 Tagen für ganz Europa in den Zeiträumen von 1961 bis 1990 und 2071 bis 2100. In dieser Prognose wird ein deutlicher Anstieg dieser Hitzewellen für ganz Europa erwartet.

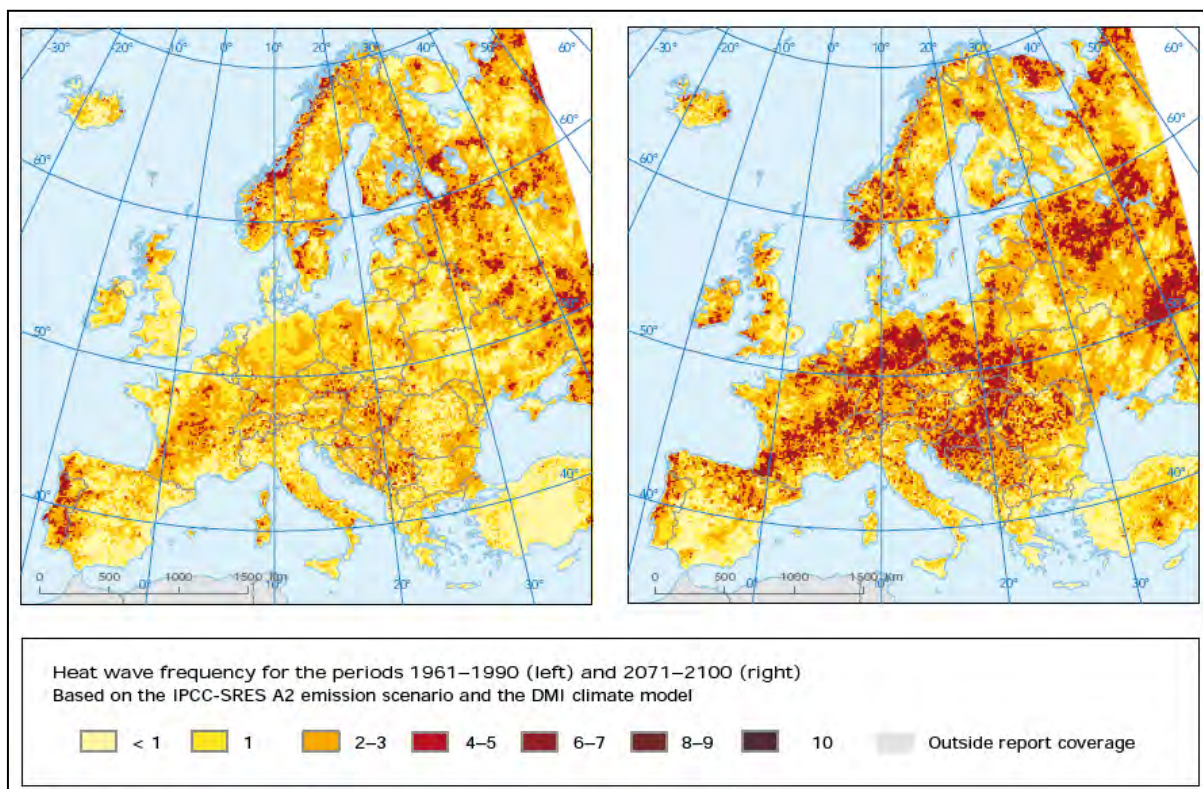


Abbildung 63: Anzahl von Hitzeperioden (mit einer Dauer von ≥ 7 Tagen) für die Zeiträume 1961 - 1990 (linkes Bild) und 2071 - 2100 (rechtes Bild) basierend auf dem SRES Szenario A2 und einem dänischen regionalen Klimamodell (Quelle: EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY 2007, S. 152) (verändert)

6.3.3 Trockenperioden

Bei der Betrachtung von Trockenperioden, welche abhängig sind von Ort, Dauer der Periode und Jahreszeit, zeigt sich kein so eindeutiges Bild. Über das gesamte Jahr hinweg kann im Winter mit den meisten Trockenperioden gerechnet werden (KROMPKOLB 2005, S. 19). Laut einem Bericht des Klimaforschungsprogramms "StartClim"

gibt es Stationen mit steigendem aber auch mit fallendem Trend (siehe Abbildung 64). Eine Ausnahme bildet der Herbst mit einer Abnahme der Häufigkeit von Trockenperioden (Dauer der Trockenperioden 10 bis 30 Tage) (KROMP-KOLB 2005, S. 10).

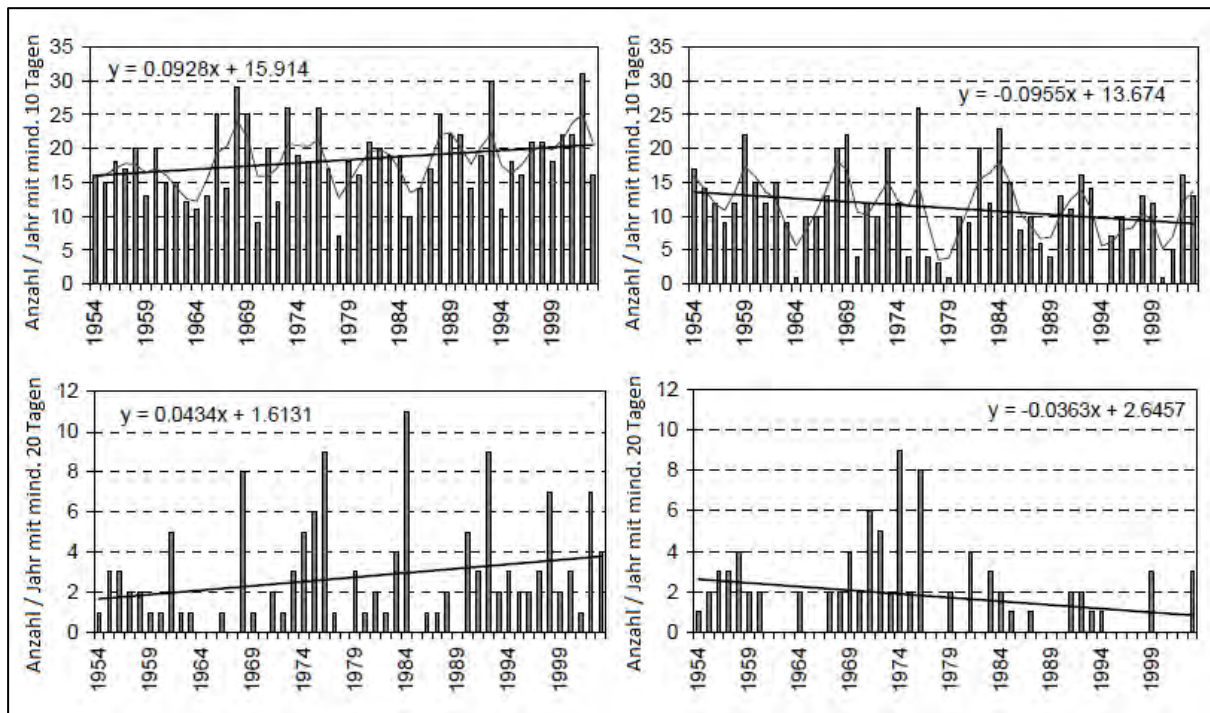


Abbildung 64: Trockenperioden von 1954 - 2003 mit einer Minstdauer von 10 Tagen (oben) und 20 Tagen (unten) (Tagesniederschlag < 1 mm). Die linken Diagramme zeigen die Summe von 10 Stationen mit steigendem Trend, die rechten Diagramme die Summe aus 10 Stationen mit fallendem Trend, ohne Berücksichtigung der Jahreszeit (Quelle: KROMP-KOLB 2005, S. 18, verändert)

Für 11 Klimastationen im Untersuchungsgebiet sind durchgehende Daten für die Anzahl der Trockenperioden aus den Jahren 1971 bis 2009 verfügbar. Es wurden die Trockenperioden in der Vegetationszeit von April bis September ausgewertet, da diese für die Anfälligkeit der Bäume gegenüber Borkenkäfern entscheidend sind. Es zeigt sich auch hier ein sehr differenziertes Bild für die langjährigen Trends der einzelnen Stationen. Während die Stationen Unterlaussa, Kleinreifling und Weyer fallende lineare Trendlinien aufweisen, zeigen die Stationen Maria Neustift, Reichraming, Laussa, Windischgarsten, St. Pankraz, Klaus/Phyrnbahn, Molln und Waldneukirchen steigende Trends an (siehe Abbildung 65). Der leichte Anstieg der linearen Trendlinie für alle Klimastationen im Untersuchungsgebiet zusammengekommen ist meiner Meinung nach nicht signifikant genug, um hier Auswirkungen

des Klimawandels erkennen zu lassen. Zudem liegt die mittlere Anzahl der Trockenperioden in der Vegetationszeit pro Jahr bei 0,6 in Windischgarsten sowie bei 1,1 in Weyer und Waldneukirchen, und ist für die Betrachtung der Borkenkäfer-problematik wohl nicht von entscheidender Bedeutung.

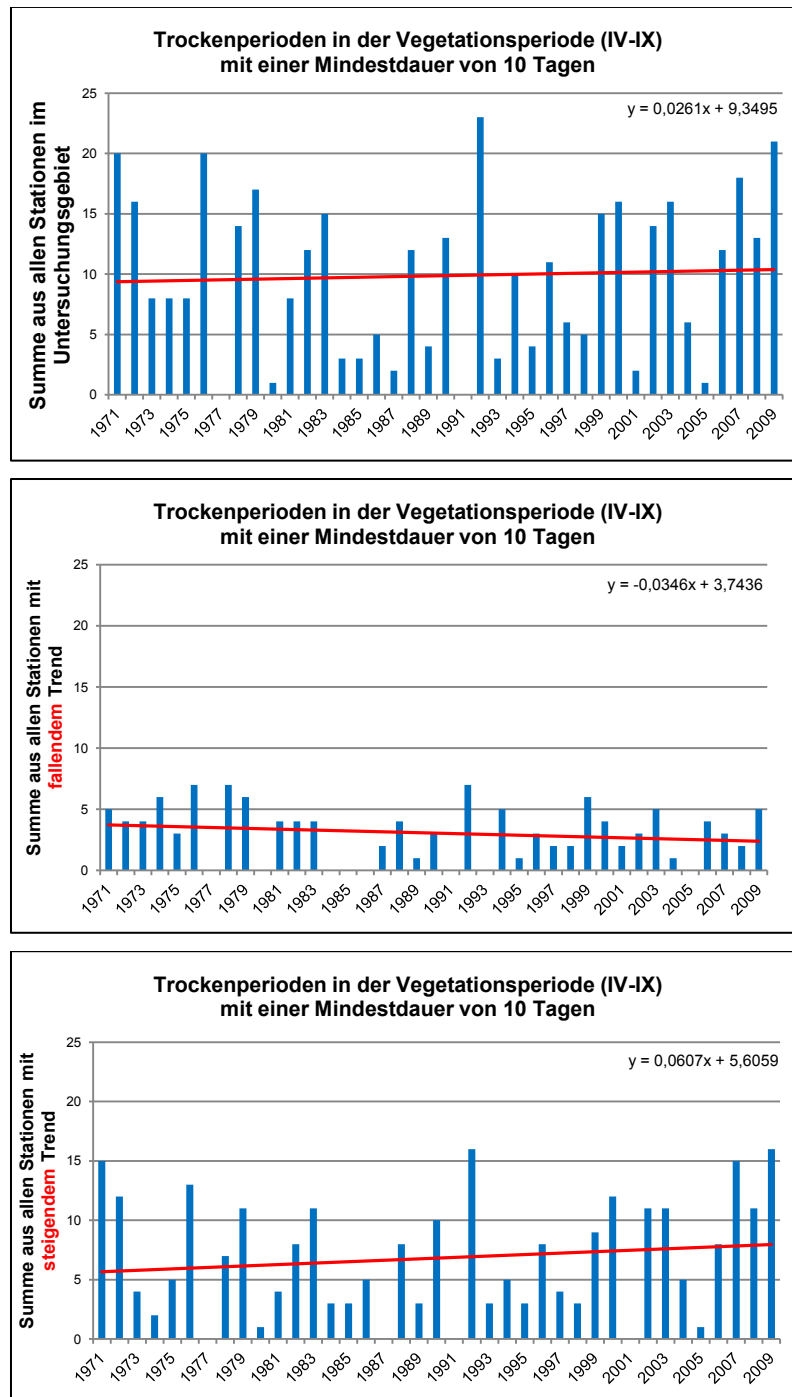


Abbildung 65: Anzahl der Trockenperioden im Untersuchungsgebiet in der Vegetationszeit von April - September für die Jahre 1971 - 2009 an allen Stationen (oben), an allen Stationen mit fallender linearer Trendlinie (links) und an allen Stationen mit steigender linearer Trendlinie (rechts) (Datenquelle: BMLFUW Hydrographische Jahrbücher, eigene Darstellung)

Dennoch kann die in Kap. 6.2 gezeigte Verlagerung der Niederschläge vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr eine deutliche Steigerung der Sommer-trockenperioden bringen.

6.4 Die Fichte im Klimawandel

Es zeigt sich bereits seit einigen Jahrzehnten, dass Fichtenreinbestände ein gewisses Risiko in sich bergen. Wie bereits in Kapitel 5 gezeigt werden konnte, stellen zahlreiche biotische und abiotische Umweltfaktoren für den Menschen eine Bedrohung, insbesondere im Wirtschaftswald, dar. Mit einem Anteil von 63,3 % aller heimischen Baumarten nimmt die Fichte eine überragende Stellung im österreichischen Wald ein (GRÜNER BERICHT OBERÖSTERREICH 2010, S. 40). Die Fichte ist eine subalpine und boreale Baumart und an ein kühles Klima angepasst. Viele regionale Standortbedingungen in Österreich und im Untersuchungsgebiet stimmen mit dem natürlichen Verbreitungsgebiet der Fichte nicht überein. Dennoch besitzt die Fichte einige wichtige Vorteile, die sie für die Forstwirtschaft in den letzten 200 Jahren so interessant gemacht haben. Die Fichte hat eine große Robustheit bei der Bestandsbegründung und sehr hohe Zuwachsraten (BROSINGER & ÖSTREICHER 2009, S. 11). In der Verarbeitung kann das Holz sehr vielseitig verwendet werden, vor allem in der Bauwirtschaft.

Abbildung 66 zeigt deutlich, dass die Waldbesitzerinnen/Waldbesitzer bereits jetzt auf die veränderten Umweltbedingungen reagieren und verstärkt einen Mischwaldbestand anstreben. Der Anteil der abgegebenen Baumarten in den oberösterreichischen Forstgärten ist von über 93 % Fichtenanteil im Jahr 1975 auf unter 50 % im Jahr 2010 gesunken. Die Fichte kam dabei überwiegend in höheren Gebirgslagen für die Wiederaufforstung von Sturmschadensflächen zum Einsatz (GRÜNER BERICHT OBERÖSTERREICH 2010, S. 41).

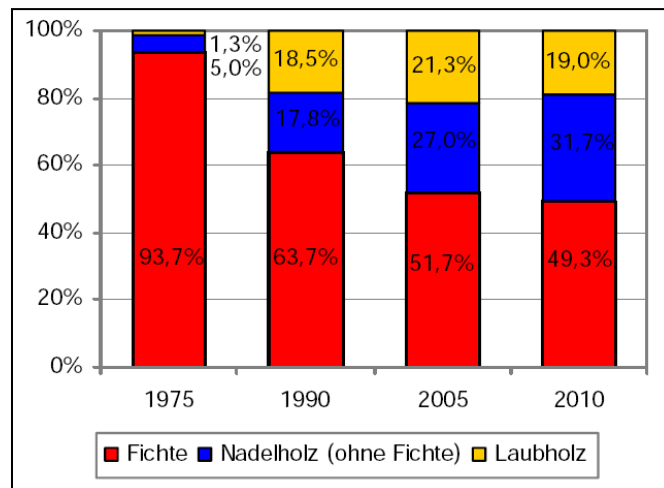


Abbildung 66: Forstpflanzenabsatz in den oberösterreichischen Forstgärten in den Jahren 1975, 1990, 2005 und 2010 (Quelle: GRÜNER BERICHT OBERÖSTERREICH 2010, S. 41)

Abbildung 67 zeigt eine Risikobewertung aufgrund der Klimaparameter mittlerer Jahresniederschlag und Temperatursumme, bei der die 14 Uhr-Temperaturen der Tage mit einem Temperaturminimum von $> 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ und einem Tagesmaximum von $> 15\text{ }^{\circ}\text{C}$ zusammengezählt werden (LEITGEB & ENGLISCH 2006, S. 10). Je geringer der mittlere Jahresniederschlag und je höher die Temperatursumme an einem Standort ist, desto höher ist auch das Risiko für die Fichte. Zusätzlich beeinflussen die Reliefeigenschaften und die Bodenverhältnisse die Risikobewertung.

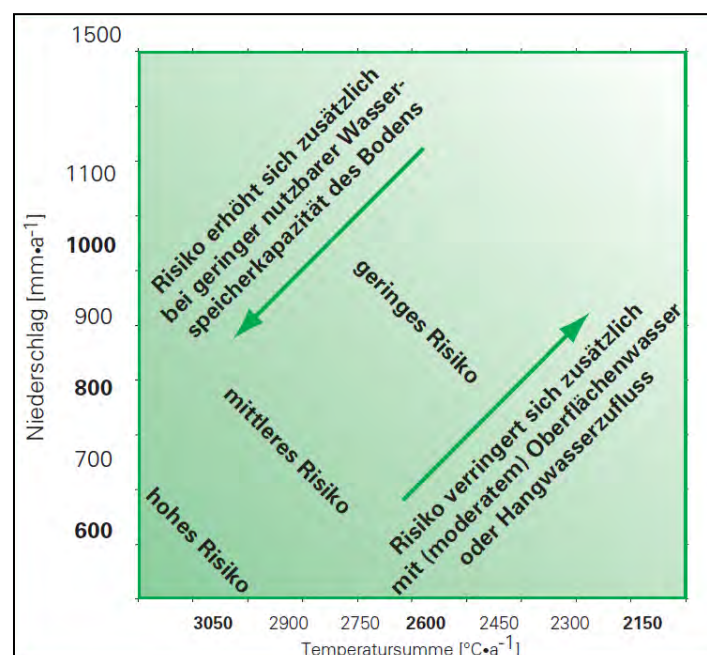


Abbildung 67: Risikobewertung der Fichte aufgrund von Jahresniederschlag und Temperatursumme (Quelle: LEITGEB UND ENGLISCH 2006, S. 10)

Risikogebiete für die Fichte aufgrund der Klimaparameter ergeben sich im Untersuchungsgebiet vor allem in den flach hügeligen Regionen der Flyschberge und in den Tälern (siehe Abbildung 68).

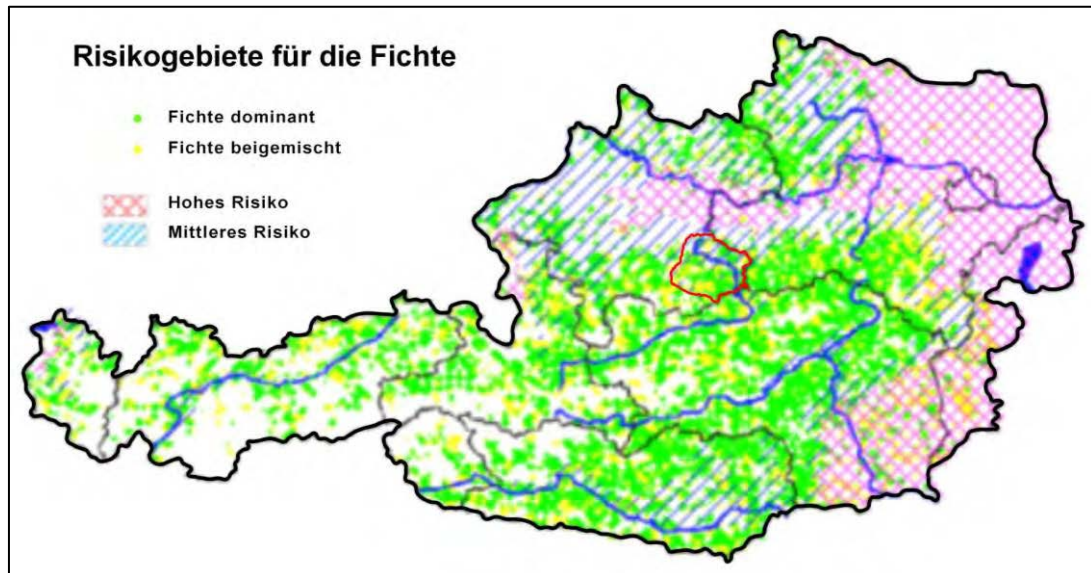


Abbildung 68: Risikogebiete für die Fichte in Österreich aufgrund des Klimawandels (Quelle: LEITGEB UND ENGLISCH 2006, S. 10, verändert)

6.5 Waldbauliche Anpassungsstrategien an den Klimawandel

Laut BOLTE & DEGEN (2010, S. 111ff) gibt es drei unterschiedliche Strategien für die Waldbauplanung im Lichte des Klimawandels; die Erhaltung der bestehenden Waldstruktur, der aktive Waldumbau und eine passive Anpassung. Jede dieser Strategien bergen Risiken in sich und sollen im Folgenden vorgestellt werden.

Erhaltung der bestehenden Waldstrukturen (keine Anpassung)

Die Strategie der Erhaltung bestehender Waldstrukturen erfordert möglicherweise einen erheblichen Aufwand, um die Waldbestände vor Gefahren wie Trockenschäden, Windwurf oder biotischen Gefahren zu schützen. Nur wenn der Klimawandel am Standort geringe Auswirkungen erwarten lässt (z. B. durch Grundwasser-

anschluss), der Bestand eine hohe Witterungsresistenz aufweist, sich aufgrund des hohen Bestandsalters eine baldige Anpassungsmöglichkeit ergibt, der Waldbestand eine wichtige Waldfunktion erfüllt und die Erhaltung des Bestands mit hoher Wahrscheinlichkeit stabilitäts- und vitalitätsfördernd ist, sollte diese Strategie angewendet werden (BOLTE & DEGEN 2010, S. 112f).

Ein sehr umstrittenes Konzept stellt die starke Verkürzung der Umtriebszeiten (Nutzungsalter für Bäume) dar, welches auf rein wirtschaftlichen Interessen beruht. In einer plantagenartigen Anbauweise soll die Baumhöhe möglichst niedrig gehalten werden, um so das Risiko für einen Windwurf zu verkleinern. Dieses Konzept steht jedoch einer naturnahen Waldwirtschaft gegenüber und wird in der Bevölkerung kaum akzeptiert (BROSINGER & ÖSTREICHER 2009, S. 13f).

Waldumbau (aktive Anpassung)

Die Strategie des Waldumbaus beinhaltet Anpassungsmaßnahmen wie etwa den Austausch von gefährdeten Baumarten durch z.B. trockenresistentere Arten. Diese Strategie kann angewendet werden, wenn eine eindeutige Erhöhung der Bestandstoleranz gegenüber den Auswirkungen des Klimawandels erwartet werden kann, wenn die Waldfunktionen verbessert werden, wenn benachbarte Bestände durch Feuer, Windwurf, Borkenkäfer usw. gefährdet sind und wenn die Aussicht auf Erfolg bedeutend besser ist als bei den anderen Strategien (BOLTE & DEGEN 2010, S. 113). Laut BROSINGER & ÖSTREICHER (2009, S. 14) ist die schnellstmögliche Umwandlung von standortswidrigen Fichtenbeständen (egal ob erntereif oder nicht) in natürliche Laubmischwälder jedoch auf größeren Flächen nicht praktikabel und oftmals wirtschaftlich nicht vertretbar.

Nach der Meinung von DR. MARTIN BACHMANN von der bayrischen Landesanstalt für Wald- und Forstwirtschaft können Gastbaumarten eine Unterstützung für die Anpassung des Waldes an den Klimawandel bieten. Dabei werden Baumarten gesucht, die sowohl an das derzeitige als auch an das mögliche Klima in 90 Jahren angepasst sind. Dadurch wird das Risiko auf mehrere Baumarten verteilt. Für DR.

MARTIN BACHMANN werden vor allem der Libanon Zeder (*Cedrus libani*) große Potenziale zugesprochen, aber auch die Orientbuche (*Fagus orientalis*), die Silberlinde (*Tilia tomentosa*), die Hemlocktanne (*Tsuga*), die Rumelische Kiefer (*Pinus peuce*) und die Douglasie (*Pseudotsuga menziesii*) sind mögliche geeignete Baumarten für den bayrischen Wald (NANO 2011a). Diese Baumarten könnten aufgrund ähnlicher Verhältnisse auch im Untersuchungsgebiet von Bedeutung werden.

Besonders bei der Anpflanzung von nicht heimischen Baumarten (Neophyten) sind weitreichende, zum Teil heute aber noch nicht verfügbare, Informationen über die jeweilige Pflanzenphysiologie und die benötigten Standortbedingungen erforderlich. Besonders die Auswirkungen von Neophyten auf das heimische Waldökosystem könnten Konflikte mit dem Naturschutz ergeben. Solche "Exoten" sollten daher eher als zweite Wahl angesehen werden, können aber für die Risikostreuung durchaus noch von Bedeutung werden.

Eine aktive Anpassung an den Klimawandel kann nicht nur mit anderen Baumarten voran getrieben werden, sondern auch mit verschiedenen Herkunftsn einer einzelnen Baumart aus unterschiedlichen Regionen der Welt, da sich die Populationen innerhalb der Baumart an die jeweils unterschiedlichen lokalen und regionalen Standortbedingungen angepasst haben. So haben Pflanzversuche aus dem gesamten Verbreitungsgebiet der Buche (158 Herkunftsn) gezeigt, dass der Austrieb bei 3-jährigen Pflanzen aus kälteren, kontinental geprägten Regionen bzw. aus höheren Lagen in atlantisch geprägten Regionen deutlich früher erfolgt (BOLTE & DEGEN 2010, S. 115). Ein praktisches Beispiel hierfür wäre das gestiegene Interesse von skandinavischen Ländern an Buchenherkunftsn aus Deutschland (BOLTE & DEGEN 2010, S. 115).

Die jeweilige Pflanzenart wird sich nicht nur auf die klimatischen Veränderungen aufgrund des Klimawandels einstellen müssen, sondern auch auf die veränderten Biodiversitätsverhältnisse des jeweiligen Standorts. Bei den komplexen Zusammenhängen im Ökosystem Wald besteht jedoch noch erheblicher Forschungsbedarf. Angepasste Schalenwildbestände sind laut BROSINGER & ÖSTREICHER (2009, S. 14)

jedenfalls eine Grundvoraussetzung für einen erfolgreichen Waldumbau, auch um teure Schutzmaßnahmen für eingebrachte Laubhölzer und Nadelhölzer (wie z. B. leistungsstarke und hochproduktive Tannen und Douglasien) zu vermeiden. Die Meinungen dazu sind bei Förstern, Jägern und Naturschützern naturgemäß sehr unterschiedlich und bergen ein großes Konfliktpotential.

„Sich selbst überlassen“ (passive Anpassung)

Bei der passiven Anpassung wird der Wald sich selbst überlassen, es werden also jegliche Erhaltungs- und Anpassungsmaßnahmen eingestellt. Die Ergebnisse dieser natürlichen Waldentwicklung können nicht vorhergesagt werden, weshalb auch forstwirtschaftliche und naturschutzfachliche Ziele nicht eindeutig planbar sind. Allerdings ist diese Strategie wesentlich risikoärmer als die beiden anderen Strategien. Voraussetzung für die Wahl dieser Methode besteht dann, wenn der Waldbestand nur eine geringe Bedeutung für die ökonomischen und ökologischen Waldfunktionen hat, wenn angemessene aktive Anpassungsmaßnahmen fehlen und wenn ein besseres Kosten-Nutzen-Verhältnis als zu den anderen Strategien vorliegt (BOLTE & DEGEN 2010, S. 113). Da jede Waldbesitzerin bzw. jeder Waldbesitzer nach dem österreichischen Forstgesetz von 1975 verpflichtet ist, Maßnahmen gegen den Borkenkäfer bei einem Befall zu ergreifen, ist diese Art der Anpassung grundsätzlich nur in Naturschutzgebieten wie Nationalparks oder Wildnisgebieten zulässig.



Abbildung 69: Geworfene und vom Borkenkäfer befallene Bäume im Waldwildnisgebiet des Nationalparks Kalkalpen (eigene Aufnahmen vom 17.10.2011 südwestlich des Zwielaufs)

Der Nationalpark Kalkalpen verfolgt dieses Prinzip der passiven Anpassung schon seit einigen Jahren. Dies ist nur möglich, da er keinen forstwirtschaftlichen Zwängen unterliegt. Windwürfe und Schneebrüche werden dabei in der Kernzone ebenso im Wald belassen, wie vom Borkenkäfer befallene Bäume (siehe auch Kap. 4.4 und Abbildung 69). Diese Kernzone ist in Abbildung 70 grün dargestellt. Nur im Randbereich des Nationalparks werden in der Bekämpfungszone (rot) Maßnahmen gegen den Borkenkäfer gesetzt, um die Nachbarwälder vor einem Borkenkäferbefall aus dem Nationalpark zu schützen.

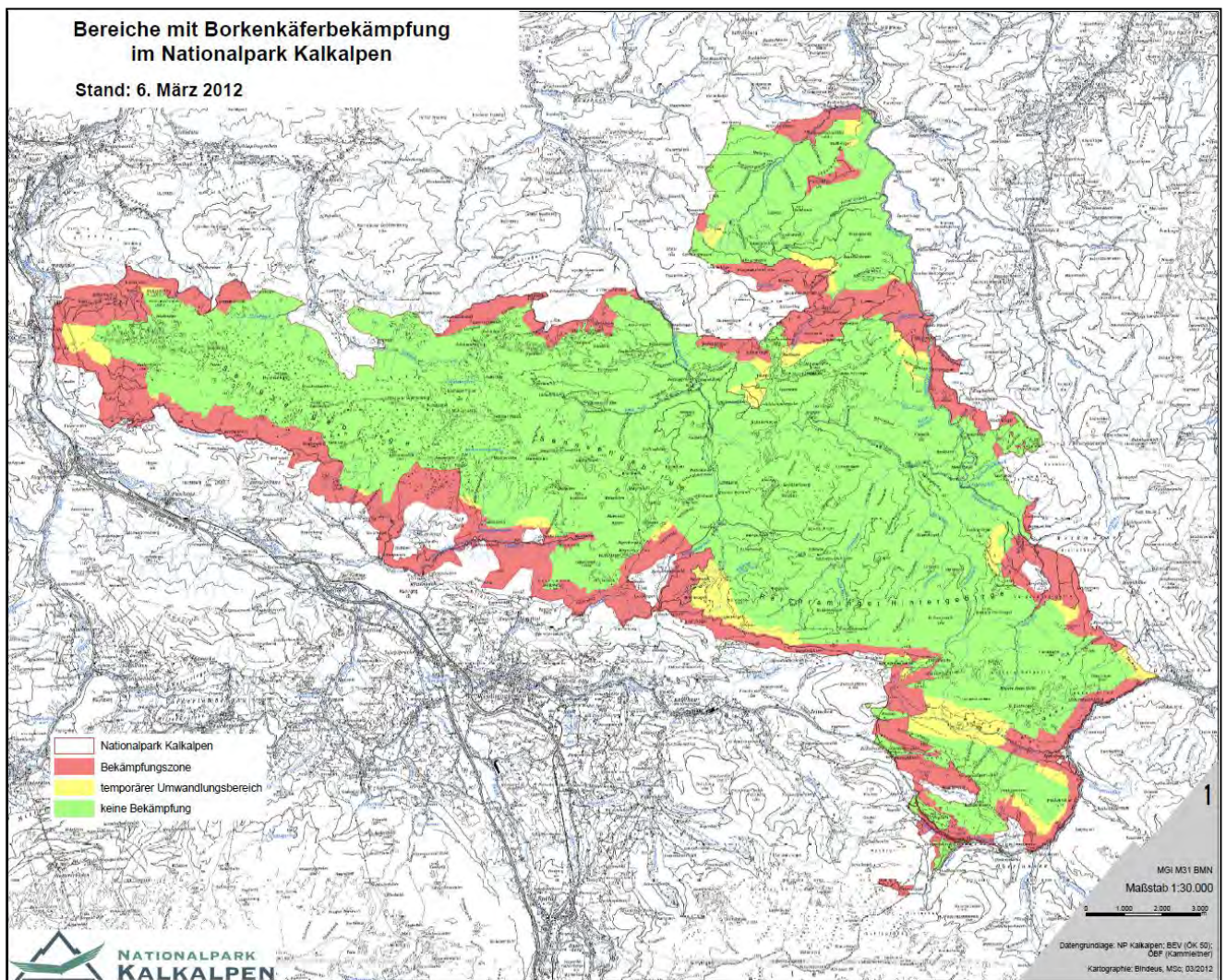


Abbildung 70: Borkenkäferbekämpfungszonen im Nationalpark Kalkalpen (Quelle: DI Hans Kammleitner - ÖBf-Nationalparkbetrieb Kalkalpen)

Im Wildnisgebiet Dürrenstein liegt diese Pufferzone außerhalb der Grenzen des Schutzgebiets, was bedeutet, dass Maßnahmen gegen den Borkenkäfer nur außerhalb der Grenzen des Wildnisgebiets durchgeführt werden können (siehe

Abbildung 71). Sollten Schadholzmengen festgestellt werden, die durch das Schutzgebiet verursacht wurden, wird eine Entschädigung an die angrenzenden Waldbesitzerinnen/Waldbesitzer gezahlt (LEDITZNIG 2011, S. 4). Dies setzt ein genaues Borkenkäfermonitoring im und außerhalb des Wildnisgebiets voraus, um negative Beeinflussungen auf die umliegenden Wirtschaftswälder durch das Schutzgebiet genau eruieren zu können. Mit dieser Regelung können Eingriffe im Schutzgebiet selbst gänzlich unterlassen bleiben.



Abbildung 71: Großflächiger Borkenkäferbefall im Wildnisgebiet Dürrenstein am Südosthang des Dürrensteinmassivs (oben: das Dürrensteinmassiv, mitte links: Schadholz aufgrund eines Lawinenabgangs, mitte rechts: Stehendbefall in der Hunsau, unten: Stehendbefall in der Brennleiten, eigene Aufnahmen am 14.10.2012)

7 Borkenkäferschäden im Untersuchungsgebiet

7.1 Das Schadbild des Borkenkäfers im Untersuchungsgebiet

Im Untersuchungsgebiet ist der Borkenkäferbefall, ausgelöst durch die Sturmereignisse Emma, Paula und Kyrill, auf einem sehr hohen Niveau. Erfahrungsgemäß steigen ein bis drei Jahre nach derartig großflächigen Windwürfen die Schadholzmengen aufgrund des Borkenkäfers stark an (KREHAN et al. 2010, S. 11). Dieser Zusammenhang zeigt sich auch in der Schadholzentwicklung der letzten zehn Jahre in den sehr walddreichen Bezirken Steyr-Land und Kirchdorf a. d. Krems (siehe Abbildung 72).

Mit den Sturm- und Schneebruchschäden im Jahr 2002 und dem extrem heißen und trockenen Sommer 2003 haben sich die Borkenkäferschäden bis in das Jahr 2004 stark erhöht, sind dann aber wieder zurückgegangen. Trotz dieses Rückgangs sind die Borkenkäferschäden dennoch auf einem sehr hohen Niveau geblieben. Mit den Sturm- und Schneebruchschäden der Jahre 2006 bis 2008 stieg auch die Schadholzmenge durch den Borkenkäfer wieder dramatisch an. In Kirchdorf stiegen die Borkenkäferschäden von 49.050 Festmeter auf das mehr als Dreifache von 168.200 Festmetern aufgrund von Schneebrüchen im Jahr 2006 an. Im Vergleich dazu lagen die jährlichen Borkenkäferschäden vor dem Jahr 1992 im gesamten Bundesland Oberösterreich deutlich unter 100.000 Festmetern.

Der Anteil des Schutzwaldes, der als Indikator für schwer zugängliche und nutzbare Waldbestände gesehen werden kann (KREHAN et al. 2010, S. 15), ist in beiden Bezirken sehr hoch (im Bezirk Steyr-Land 15,7 % und im Bezirk Kirchdorf a. d. Krems 28,1 %). Obwohl der Erschließungsgrad mit ca. 40 Laufmetern Forststraße pro Hektar Waldfläche in beiden Bezirken ebenfalls relativ hoch ist, können Sturm- und Schneeschäden in diesen schwer zugänglichen Gebieten oft nicht rechtzeitig aufgearbeitet werden und begünstigen somit die Borkenkäferentwicklung.

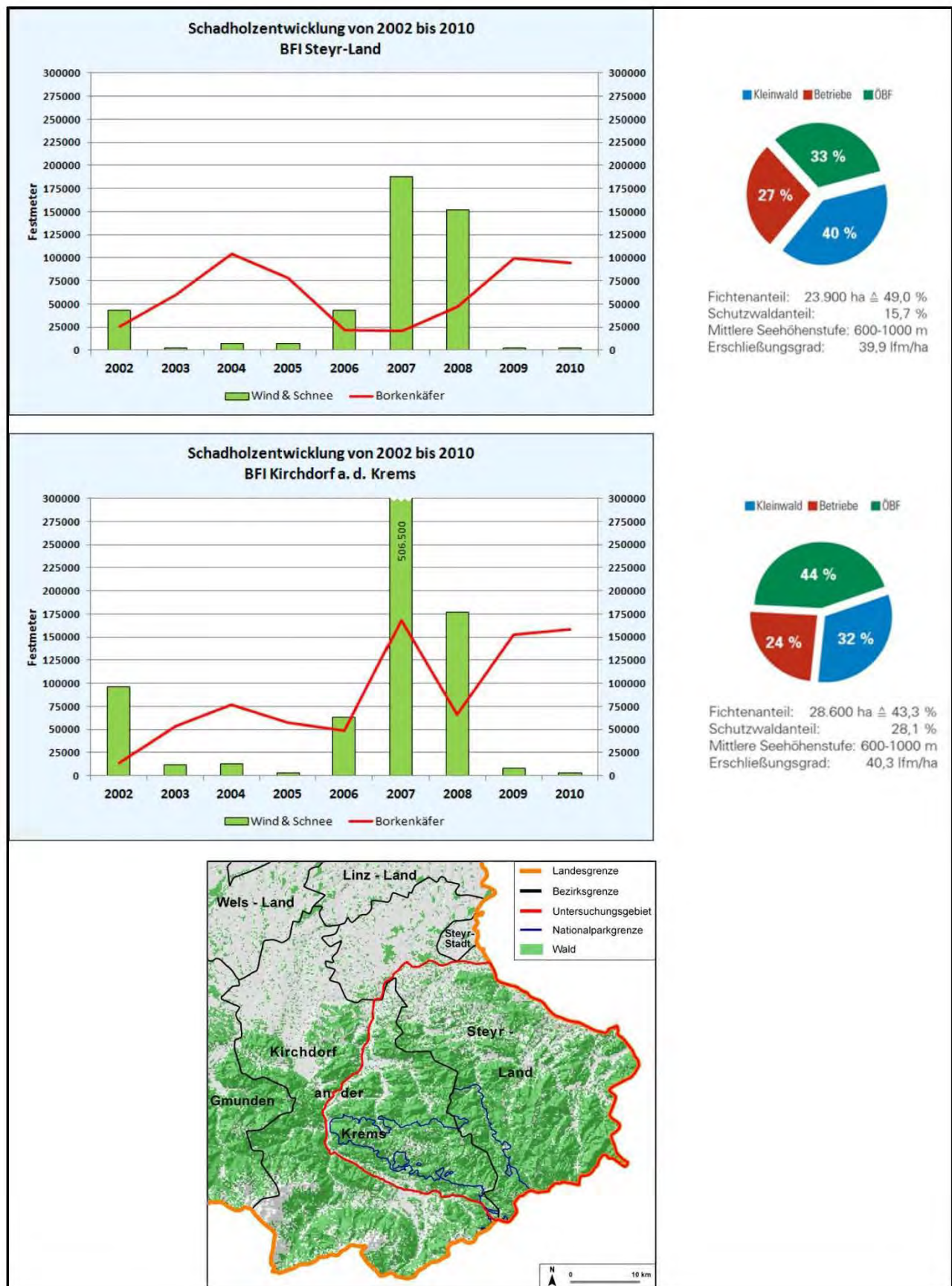


Abbildung 72: Schadholzmengen in Festmetern aufgrund von Sturm und Schneedruck im Vergleich zu Borkenkäferschäden in den Bezirken Steyr-Land und Kirchdorf/Krems von 2002 bis 2010,

Waldflächenbesitzstruktur, Fläche mit Fichten, Schutzwaldanteil, mittlere Seehöhe und Erschließungsgrad mit Forststraßen (Datenquelle: DI HANNES KREHAN und KREHAN et al. 2010, S. 15f) und Übersichtskarte mit Waldgebieten und Bezirksgrenzen (Kartenquellen: LAND OBERÖSTERREICH 2012a und BFW 2010b, eigene Darstellung)

7.2 Borkenkäferschäden im Nationalpark Kalkalpen

Der Borkenkäferbefall ist im Nationalpark Kalkalpen in den Jahren 2008 bis 2010 sehr stark angestiegen (siehe Abbildung 73). Trotzdem ist für viele überraschend der Borkenkäferneubefall im Jahr 2011 und 2012 deutlich zurückgegangen, obwohl das Nahrungsangebot und die Witterung einen anderen Verlauf vermuten lassen würden. Auch aufgrund der Erfahrungen im Nationalpark Bayerischer Wald wurde ein noch viel größerer Borkenkäferbefall erwartet. Dies könnte damit zusammenhängen, dass anfangs nach den Sturmereignissen auch stehende Bäume derartig geschwächt waren, dass sie nicht genügend Abwehrmechanismen gegen den Borkenkäfer aufbringen konnten, sich aber nach ein bis zwei Jahren wieder dermaßen erholt haben, um gemeinsam mit einem vermehrten Aufkommen von Fressfeinden den Borkenkäfer wieder zurückzudrängen (DI HANS KAMMLEITNER, pers. Mittlg.).

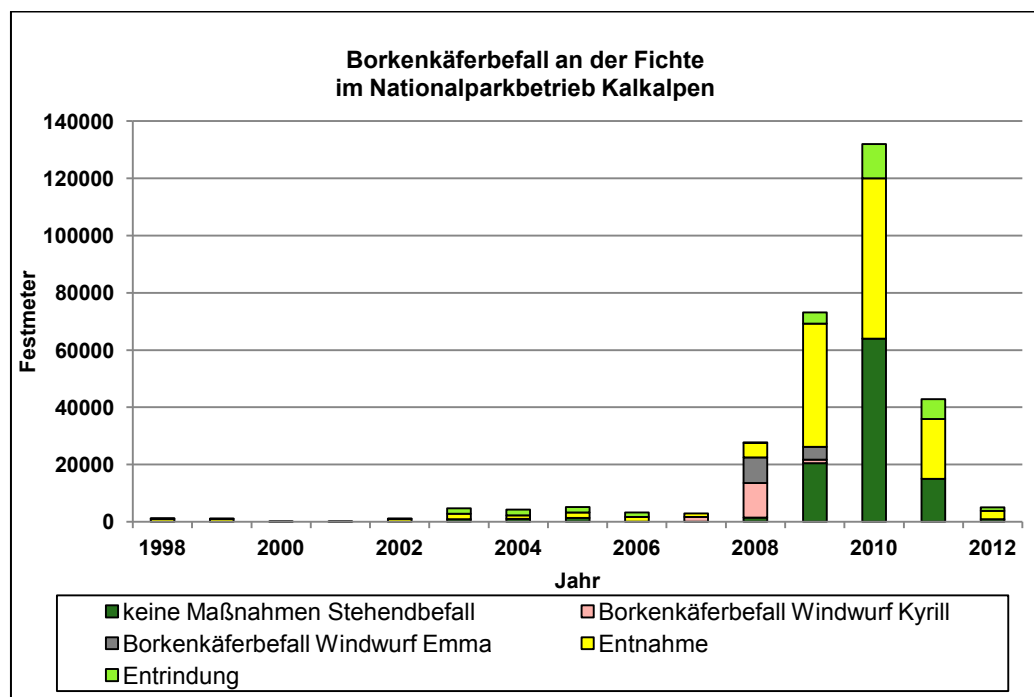


Abbildung 73: Borkenkäferbefall an der Fichte in Festmeter im ÖBf-Nationalparkbetrieb Kalkalpen von 1998 - 2012 (Quelle: DI HANS KAMMLEITNER - ÖBf-Nationalparkbetrieb Kalkalpen)

Die Fotos in Abbildung 75 sollen einen Eindruck über den Neubefall des Borkenkäfers sowie über neu entstandene Windwurfflächen vermitteln, indem jeweils eine Aufnahme vom 28.06.2011 (linke Bilder) einer Aufnahme vom 28.08.2012 (rechte Bilder) gegenübergestellt wurde. Die Bilder wurden im Nationalpark Kalkalpen vom Hohen Nock aufgenommen, da hier abgestorbene Bäume im Wald belassen werden und so ein visueller Vergleich möglich ist. Abbildung 74 zeigt einen Überblick der Bildpaare und soll als Orientierung dienen.

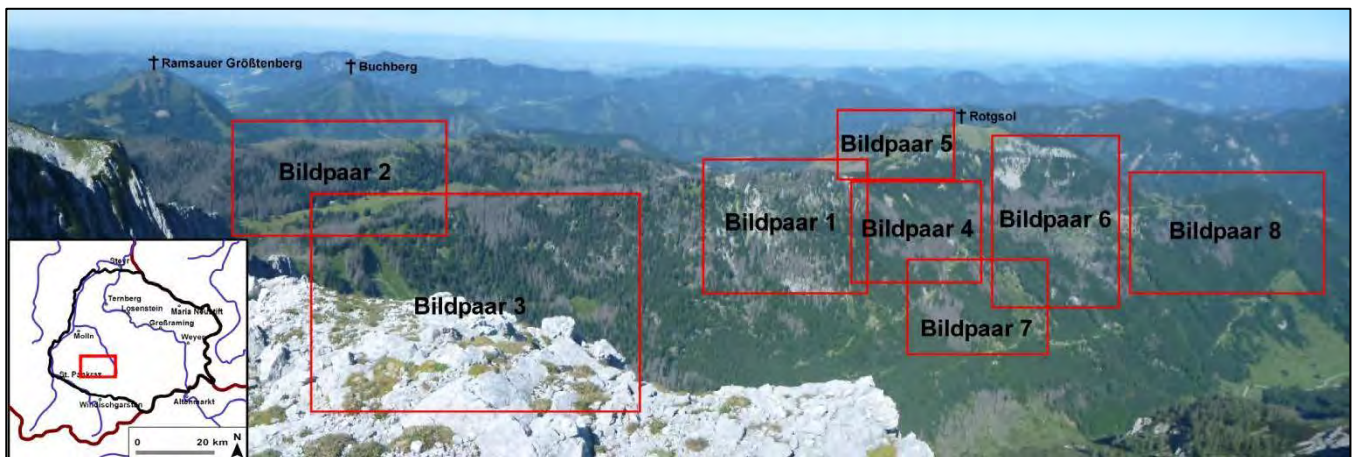
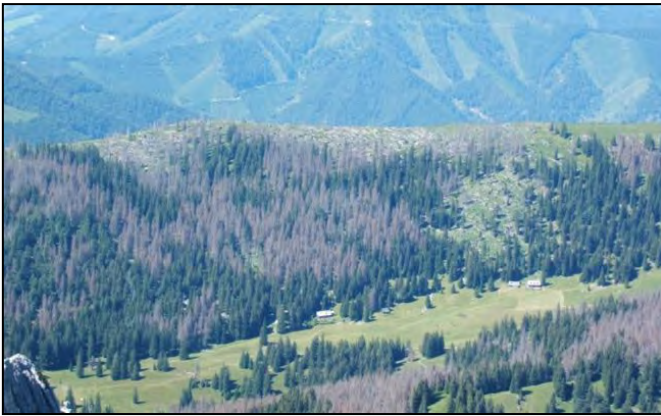


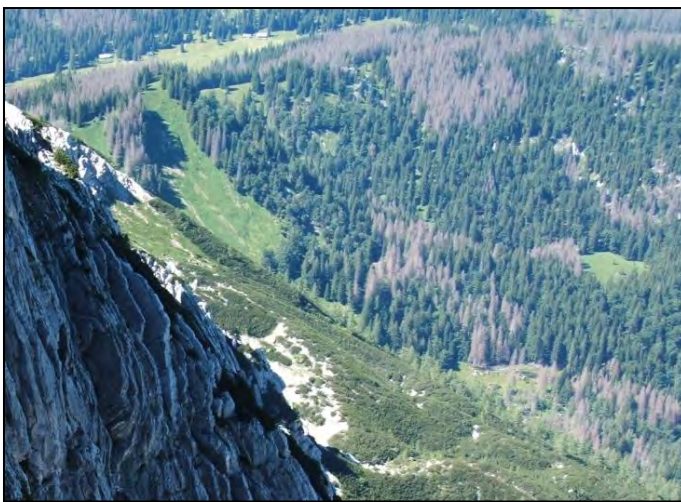
Abbildung 74: Übersichtskarte der Bildpaare im Nationalpark Kalkalpen (eigene Aufnahme am 28.08.2012 vom Hohen Nock mit Blickrichtung NNW bis ENE)



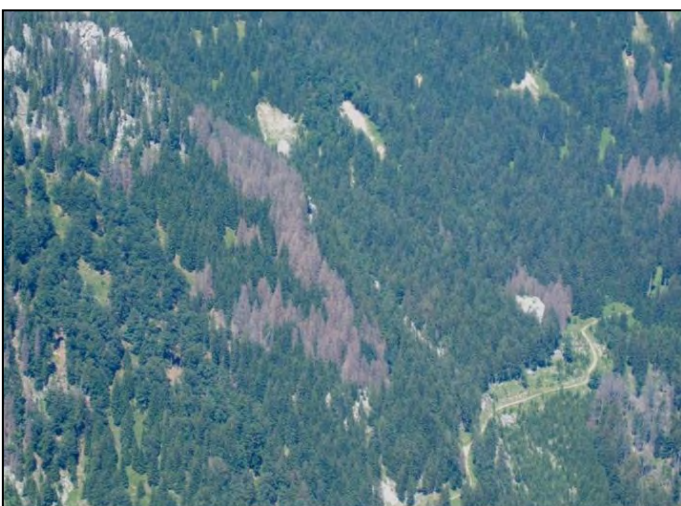
Bildpaar 1



Bildpaar 2



Bildpaar 3



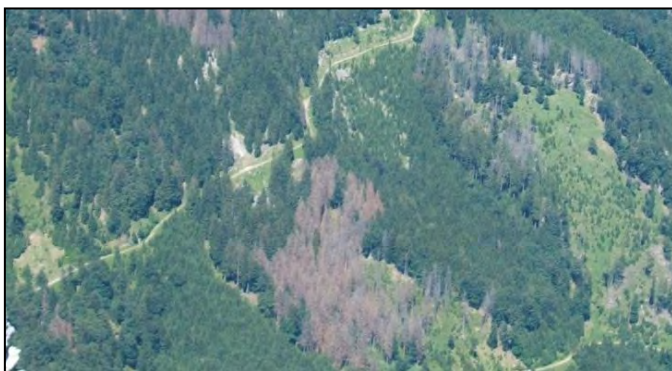
Bildpaar 4



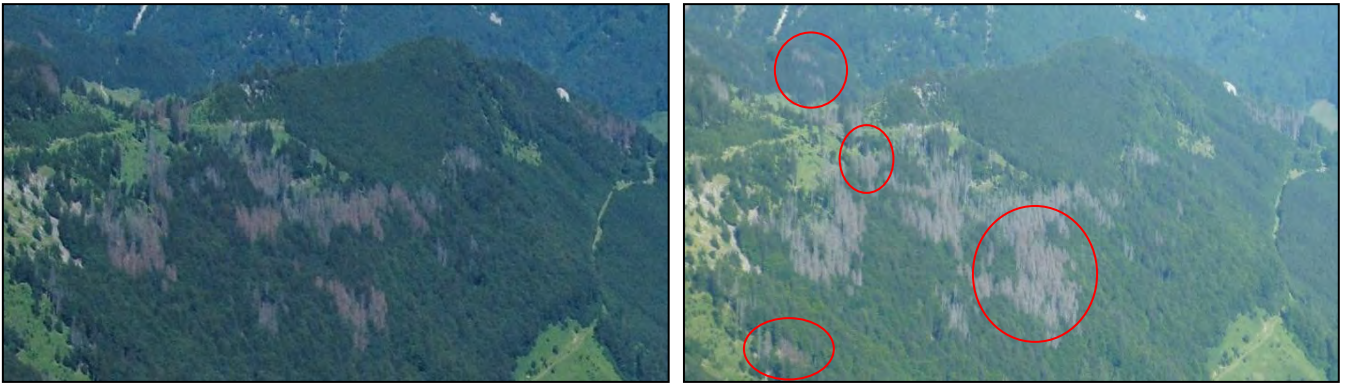
Bildpaar 5



Bildpaar 6



Bildpaar 7



Bildpaar 8

Abbildung 75: Flächiger Borkenkäferbefall im Nationalpark Kalkalpen am 28.06.2011 (linke Bilder) und am 28.08.2012 (rechte Bilder) aufgenommen vom Hohen Nock (eigene Aufnahmen). Die roten Kreise markieren den Neubefall durch den Borkenkäfer.

Auf den Bildern ist deutlich zu erkennen, dass nicht nur einzelne Bäume vom Neubefall durch den Borkenkäfer betroffen sind, sondern ganze Flächen und somit ein flächiger Befall vorliegt. Auch im Gipfelbereich des Rotgsol auf knapp 1600 m gibt es einen Borkenkäferbefall. Dies lässt den Schluss zu, dass es einen Borkenkäferbefall bis an die Baumgrenze geben kann und somit der Borkenkäfer keiner Höhenbegrenzung unterliegt.

7.3 Ergebnisse der Luftbildinterpretationen im Nationalpark Kalkalpen

Im Nationalpark Kalkalpen bietet sich aufgrund des Waldwildnisgebiets (hier werden keine Maßnahmen gegen den Borkenkäfer gesetzt) die einmalige Gelegenheit, die Ausbreitung des Borkenkäfers zu beobachten. Dafür wurden RGB-Luftbilder aus den Jahren 2003 bis 2005 und CIR-Luftbilder aus dem Jahr 2010 ausgewertet (siehe Kap. 2).

Grenzen zu ziehen ist in der Natur immer schwierig. Es ist anhand von Luftbildern oft schwer zu entscheiden, ob ein Baum schon abgestorben ist oder nicht. Die Grenzen sind in der Natur immer fließend und dies birgt in der Interpretation von Luftbildern eine große Fehlerquelle. Auf Infrarot-Luftbildern sind zudem abgestorbene Bäume

leichter zu erkennen als auf RGB-Luftbildern. Trotzdem kann auch in CIR-Luftbildern nicht das gesamte Ausmaß des Totholzbestands ausgemacht werden, beispielsweise wenn abgestorbene Baumstämme mit neuer Vegetation überwachsen sind. Auch sind stehende abgestorbene Baumstämme leichter zu erkennen als liegende. Trotz allem bietet die visuelle Interpretation der Luftbilder eine gute Möglichkeit, die Ausweitung des Totholzbestands zu dokumentieren.

Abbildung 76 und Abbildung 78 zeigen Flächen mit Windwürfen und Schneebrüchen und Abbildung 77 und Abbildung 79 Flächen mit abgestorbenen Bäumen. Diese Abbildungen sollen die Ausweitung des Totholzbestands und somit auch die Ausbreitung des Borkenkäfers kartographisch darstellen.

Sehr große Teile des Nationalparks Kalkalpen werden von der Fichte dominiert (siehe Kap. 3.4, Abbildung 24, Abbildung 77 und Abbildung 79). Es kann vielfältige Gründe für ein Absterben von Bäumen geben, bei stehenden Fichten an nahe gelegenen Windwurf- und Schneebruchstellen ist die Ursache mit sehr hoher Wahrscheinlichkeit jedoch der Borkenkäfer. Im Jahr 2003 konnten im Waldwildnisgebiet fünf Stellen mit großflächigen Windwürfen oder Schneebrüchen gezählt werden, während es im Jahr 2010 bereits 29 derartiger Flächen waren (Flächen mit >70 geworfenen Baumstämmen). Im Jahr 2003 betrug die Anzahl der Windwurf- und Schneebruchflächen insgesamt 75 und bis zum Jahr 2010 vergrößerte sich diese auf 258, hervorgerufen vor allem durch die Stürme Kyrill, Paula und Emma.

Dementsprechend haben sich auch die Flächen mit abgestorbenen Bäumen vergrößert, wobei es im Jahr 2003 noch sehr wenige Stellen mit anschließendem Stehendbefall gab (etwa in der Feuchtau oder südöstlich des Mitterbergs im Mai-graben). Größere Flächen mit abgestorbenen Bäumen gab es 2003 in der Feuchtau (Pölzalm, Sonntagsmauer), beim Sulzboden am Südhang des Rotgsols, am Hütberg, im Bereich der Giereralm nordwestlich des Roßkopfs und beim Sitzenbach nordwestlich des Scheiterkogels.

2010 verteilten sich derartige Flächen bereits über das gesamte Waldwildnisgebiet des Nationalparks Kalkalpen (siehe Abbildung 79). Dazu zählen insbesondere die

Südhänge des Sperings, Schillerecks und Hochsengs. Des Weiteren gibt es rund um den Schöneck, im Bereich der Feuchtau, rund um den Zwielauf und rund um den Rotgsol großflächige Waldschäden. Große Schadholzmengen gibt es auch im Bereich der Mayralm beim Jägerkreuz, rund um den Kleinen und Großen Größtenberg, im Bereich der Weingartalm und Stöffalm sowie des Hundsecks. Borkenkäferschäden traten 2010 verstärkt auch im Holzgraben, im Bereich der Blabergalm, im Hetzgraben und Grasslalmgraben, sowie im Wilden Graben südlich des Schönecks und im Zöbelgraben nördlich des Heimokogels auf.

Windwürfe und Schneebrüche 2003

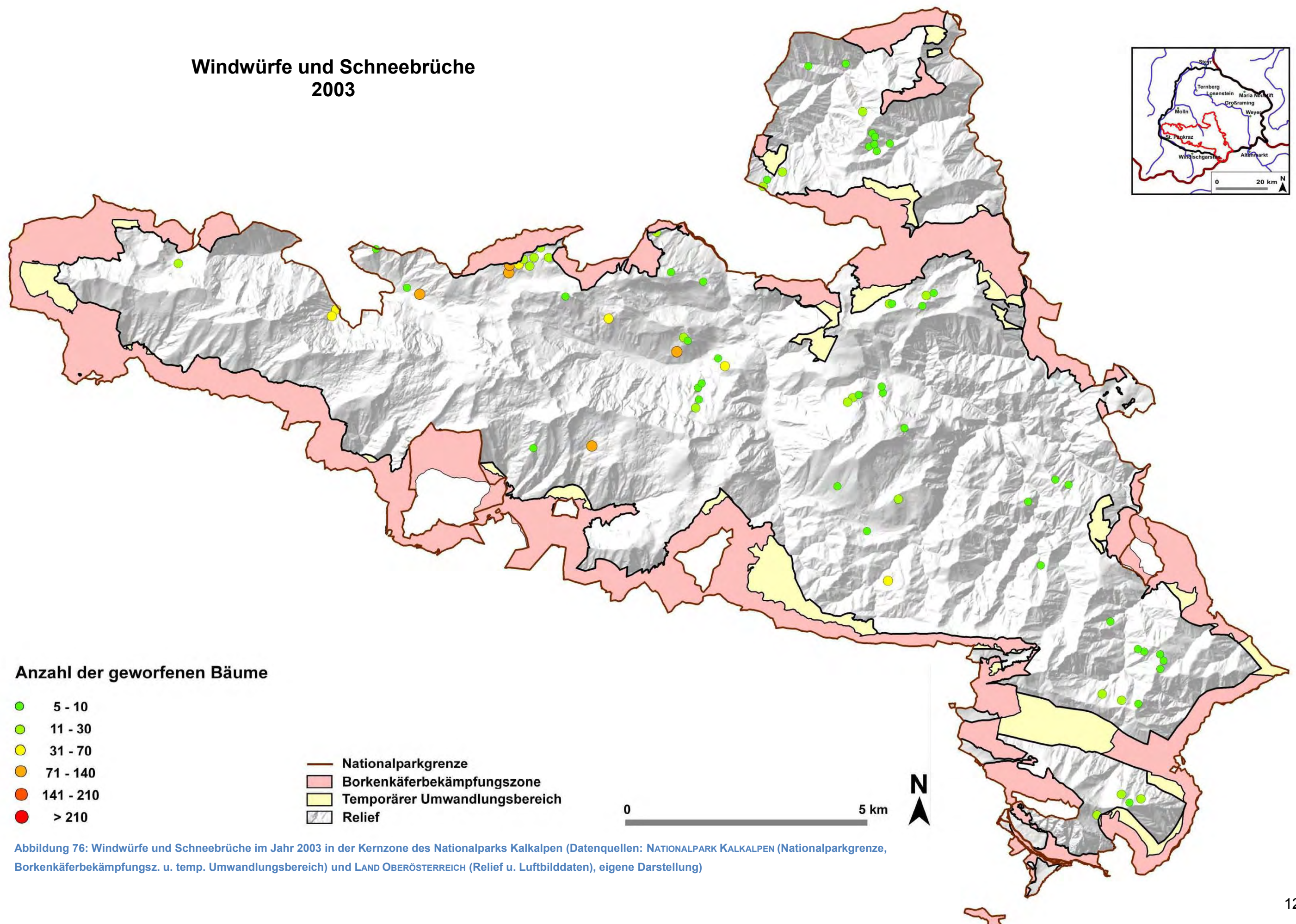


Abbildung 76: Windwürfe und Schneebrüche im Jahr 2003 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungszone u. temp. Umbwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)

Flächen mit abgestorbenen Bäumen 2003

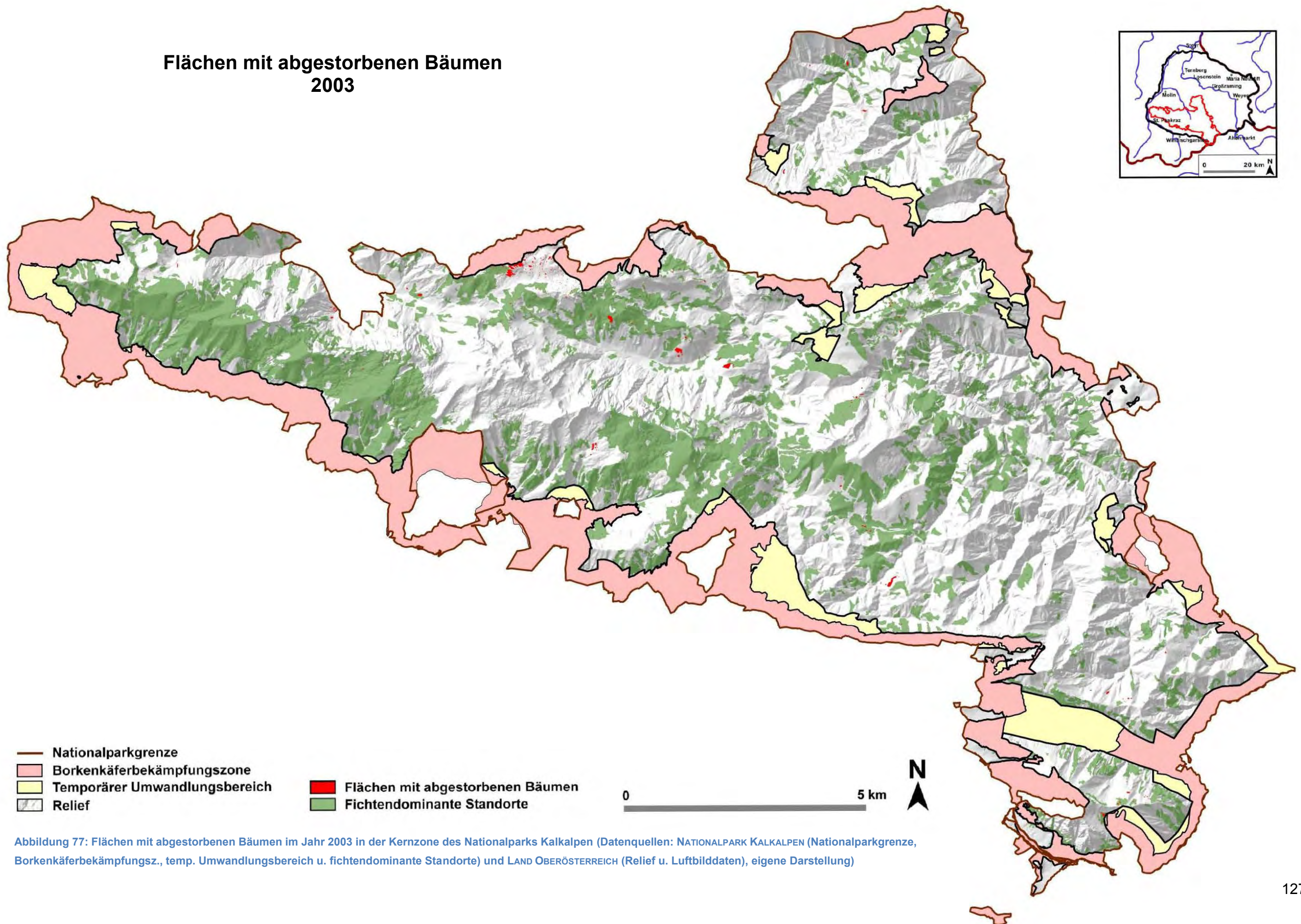
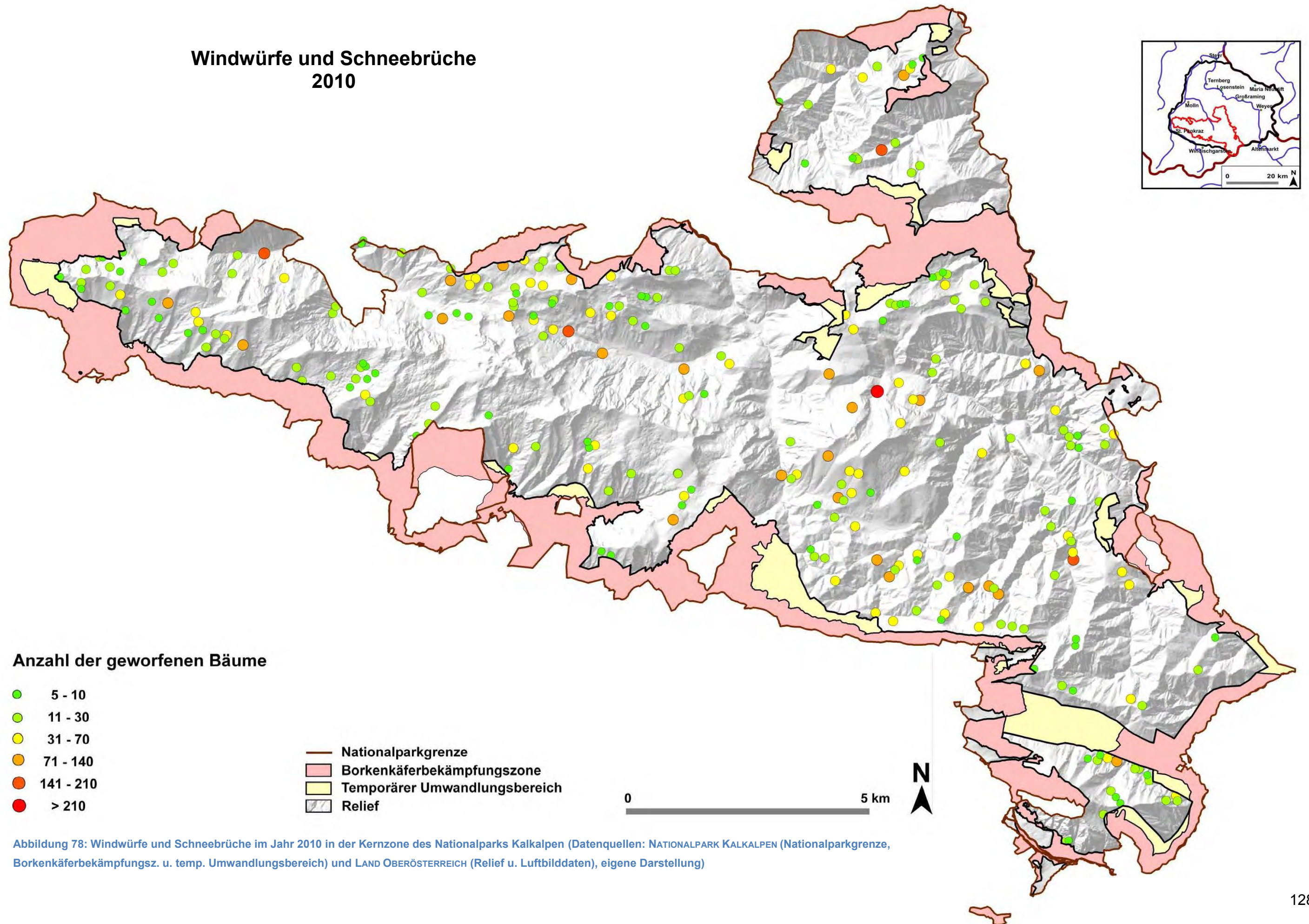


Abbildung 77: Flächen mit abgestorbenen Bäumen im Jahr 2003 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz., temp. Umbauungsbereich u. fichtendominante Standorte) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)

Windwürfe und Schneebrüche 2010



Flächen mit abgestorbenen Bäumen 2010

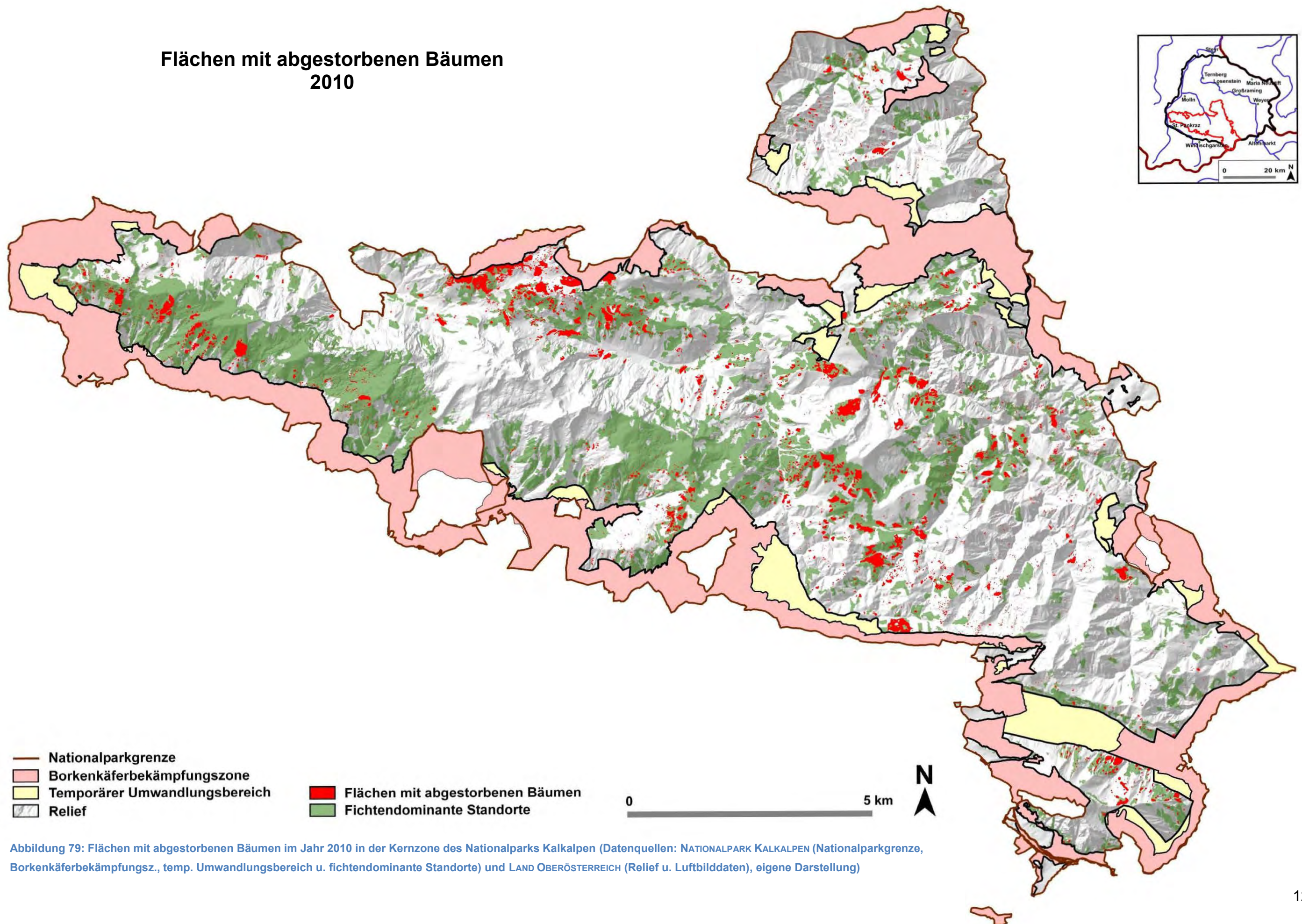


Abbildung 79: Flächen mit abgestorbenen Bäumen im Jahr 2010 in der Kernzone des Nationalparks Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz., temp. Umbwandlungsbereich u. fichtendominante Standorte) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)

7.4 Luftbildinterpretationen im Vergleich mit einer vorangegangenen Risikoabschätzung im Nationalpark Kalkalpen

Für den Nationalpark Kalkalpen und seiner näheren Umgebung wurden von SCHOPF et al. (2004) Modelle entwickelt, die Risikoabschätzungen von Borkenkäfer-Massenvermehrungen auf bestandsbezogener Ebene (Zusammensetzung der Baumarten, Alter der Bäume, Bestandsdichte usw.), auf standortsbezogener Ebene (Niederschlag, Geländemorphologie, Bodentyp usw.) und mit unterschiedlichen Umwelteinflüssen (Prädisposition gegenüber Sturm- und Schneebruchschäden) berechnen. Als Datengrundlage dienten ein digitales Höhenmodell, eine Naturrauminventur mit insgesamt 1495 Probepunkten, Daten der Österreichischen Bundesforste und eine Satellitenbildinterpretation (SCHOPF et al 2004, S. 13).

Abbildung 80 zeigt einen Vergleich der bestandsbezogenen Prädispositionsabschätzung für einen Buchdruckerbefall mit dem Ergebnis der Luftbildinterpretation für Schadholzflächen bis zum Jahr 2010. Die bestandsbezogene Prädispositionsabschätzung beruht auf den Kriterien des Fichtenanteils, der Altersstruktur, der Bestandsdichte, der soziologischen Stammklasse (überwiegen (vor)herrschende Individuen oder nur ein geringer Anteil an (vor)herrschenden Fichten), der Prädisposition gegenüber Wind und der Prädisposition gegenüber Schneebrüchen. Die Luftbildinterpretation mit Flächen abgestorbener Bäume für das Jahr 2010 zeigt eine hohe Übereinstimmung mit den vorhergesagten Risikogebieten für einen Borkenkäferbefall.

Die standortsbezogene Prädispositionsabschätzung gegenüber dem Buchdrucker wird im Nationalpark Kalkalpen als überwiegend mittel bis hoch eingestuft (SCHOPF et al 2004, S. 75). Die Kriterien für diese Abschätzung waren die Generationsentwicklung des Buchdruckers, die Niederschlagsverhältnisse, die Geländemorphologie, der Wasserhaushalt, der Bodentyp, die Gründigkeit und der Skelettanteil des Bodens sowie die Prädisposition gegenüber Windwurf und Schneebruch. Ein Vergleich dieser standortsbezogenen Prädispositionsabschätzung mit den Luftbildinterpretationen für das Jahr 2010 zeigt, dass die Gefährdungsklassen eher

zu niedrig eingestuft wurden (siehe Abbildung 81). Bessere Ergebnisse lieferte die bestandsbezogene Prädispositionsabschätzung.

Für die Waldflächen im Nationalpark Kalkalpen wurde eine überwiegend als hoch eingestufte standörtliche Prädisposition für Sturm- als auch für Schneeschäden berechnet (SCHOPF et al 2004, S. 75). Während in den tiefer gelegenen und windabgewandten Lagen eine höhere Schneeschadensanfälligkeit besteht, gibt es an windexponierten höheren Hang- und Kuppenlagen, Geländeverebnungen und pseudo-vergleyten bzw. vernässten Standorten eine höhere Anfälligkeit gegenüber Sturmschäden (SCHOPF et al 2004, S. 75). Für die Prädispositionsabschätzung von Sturmschäden wurden die Kriterien Bodenbeschaffenheit (Bodentyp, Bodenverdichtung, Ah-Horizont-Mächtigkeit, Grobanteil), Geländeneigung, Bonität (Ertragsklasse) und Geländemorphologie angewendet, und für die Prädispositionsabschätzung von Schneeschäden die Kriterien Seehöhe, Windexposition, Geländemorphologie, Geländeneigung, Bonität und Wasserhaushalt. Die hohe Anzahl an Windwürfen und Schneebrüchen im Jahr 2010 bestätigt die Einschätzung der hohen standörtlichen Gefährdung (siehe Abbildung 82 und Abbildung 83). Generell kann gesagt werden, dass die Modelle eine sehr gute Grundlage für die Identifizierung von Risikogebieten für den Borkenkäferbefall darstellen.

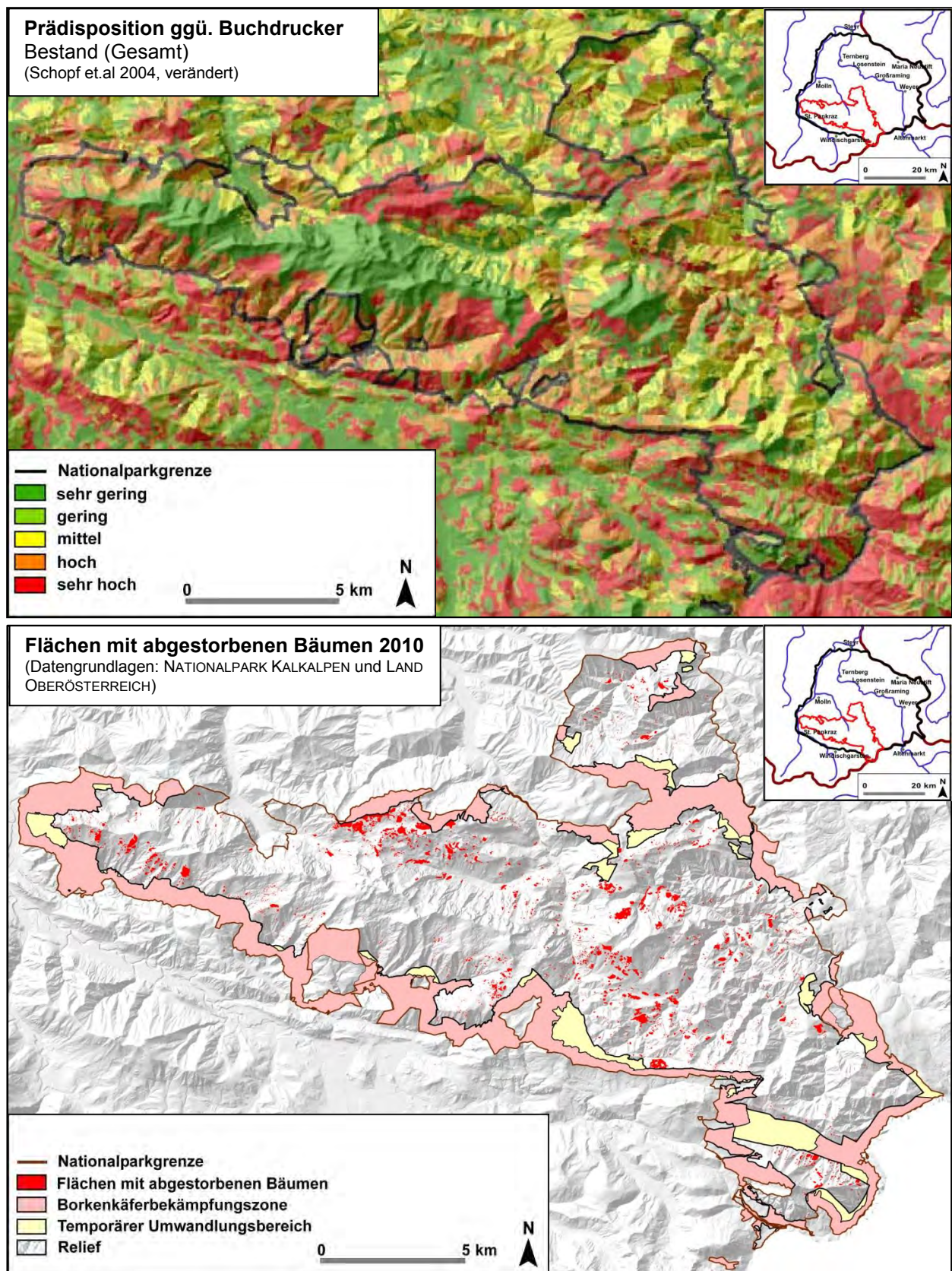


Abbildung 80: Vergleich der bestandsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall (SCHOPF et al. 2004) mit Flächen abgestorbener Bäume bis 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)

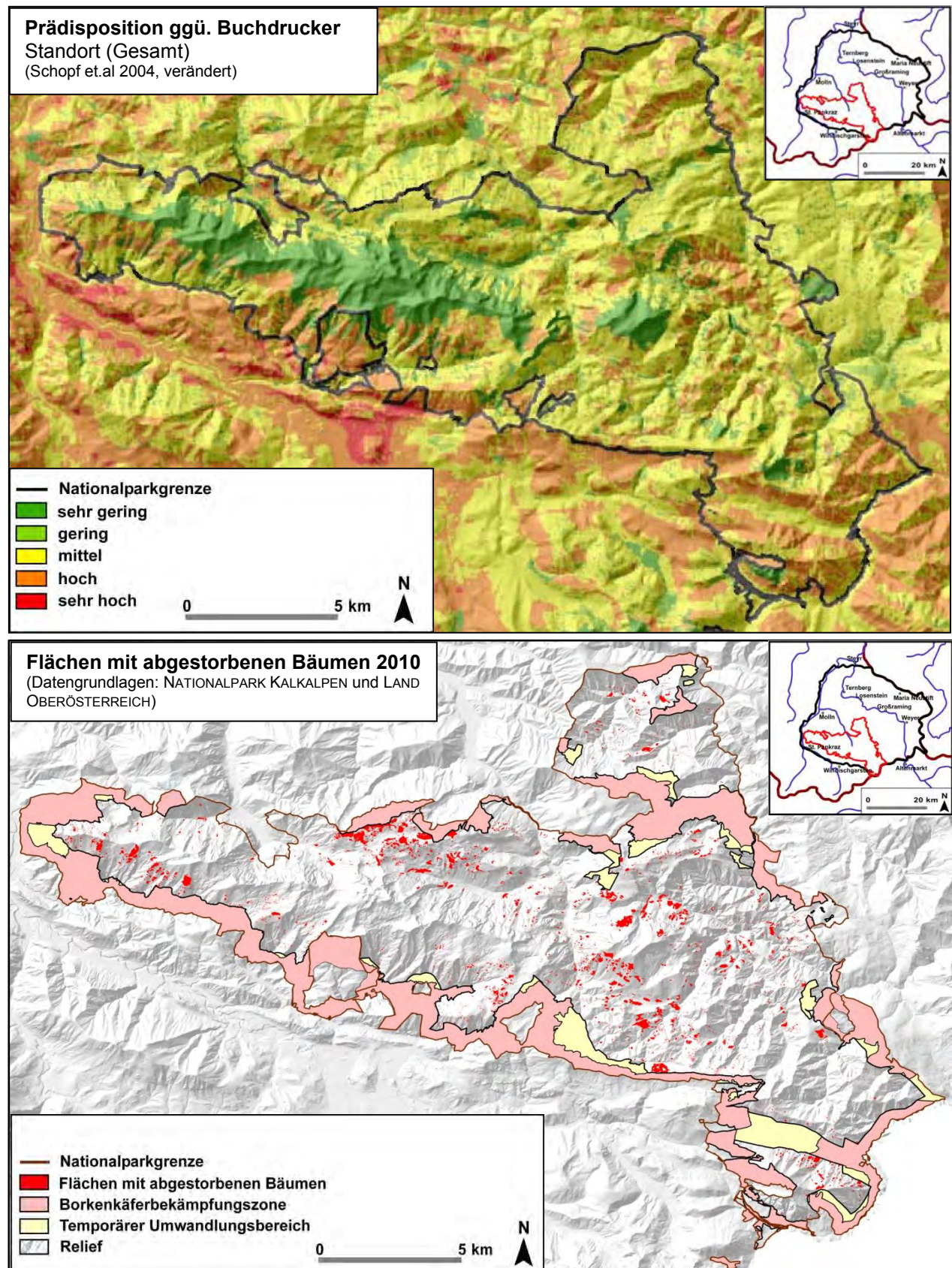


Abbildung 81: Vergleich der standortsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Buchdruckerbefall (SCHOPF et al. 2004) mit Flächen abgestorbener Bäume bis 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten) eigene Darstellung)

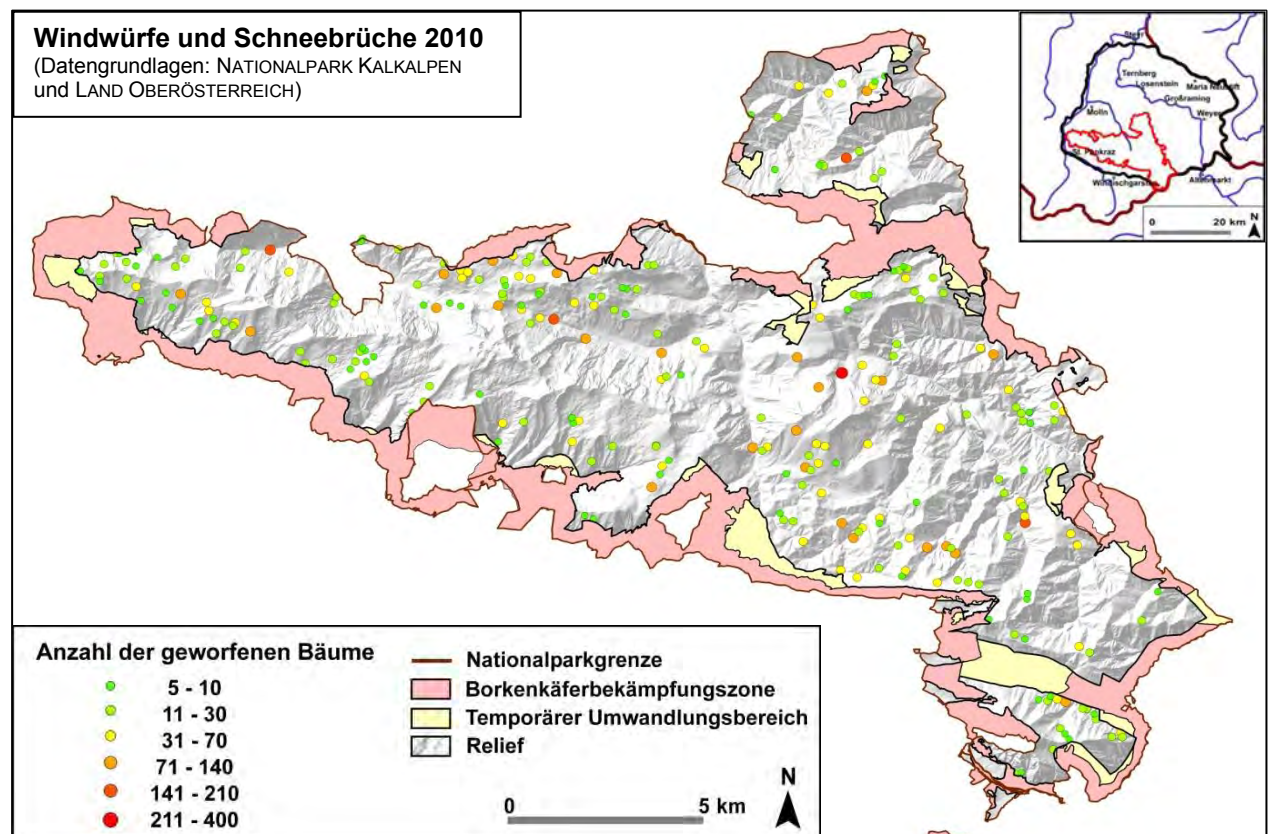
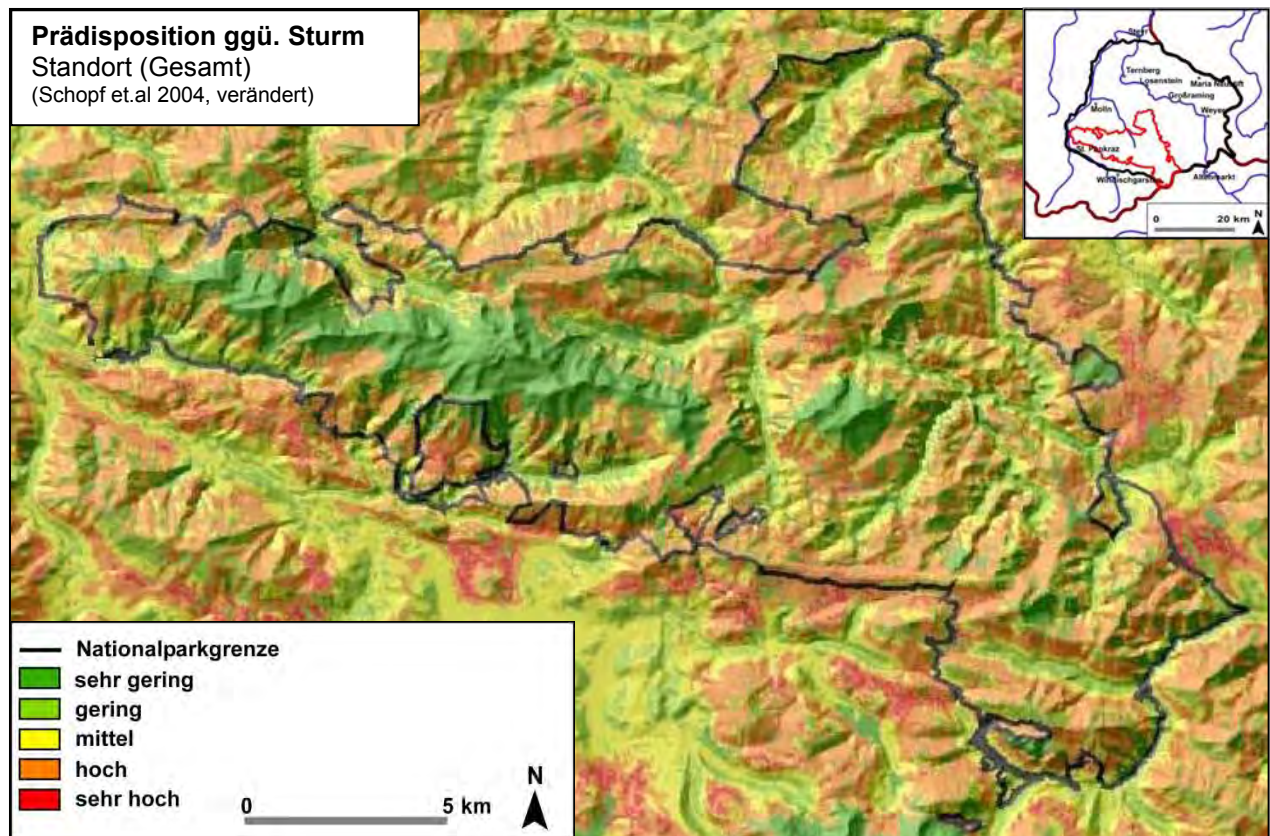


Abbildung 82 Vergleich der standortsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Sturmschäden (SCHOPF et al. 2004) mit Windwürfen und Schneebrüchen bis zum Jahr 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungsz. u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)

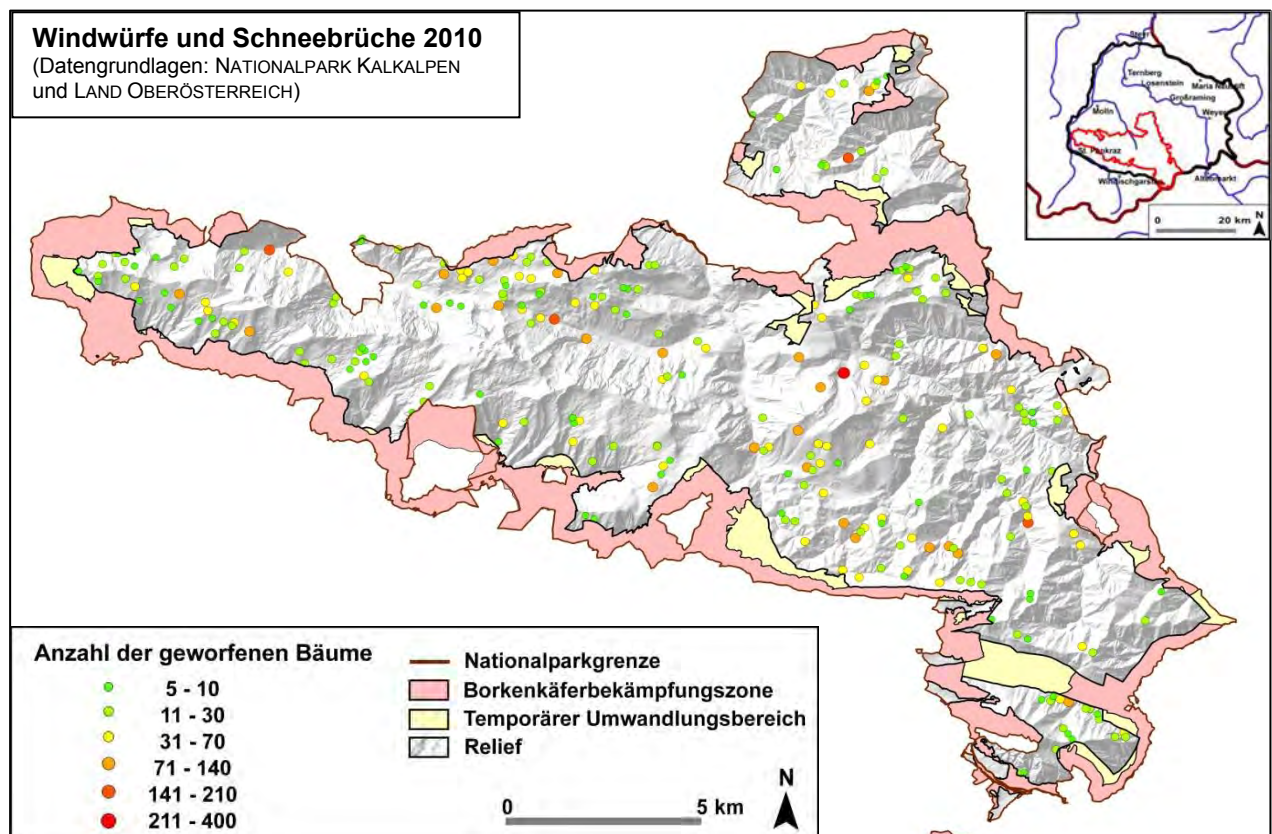
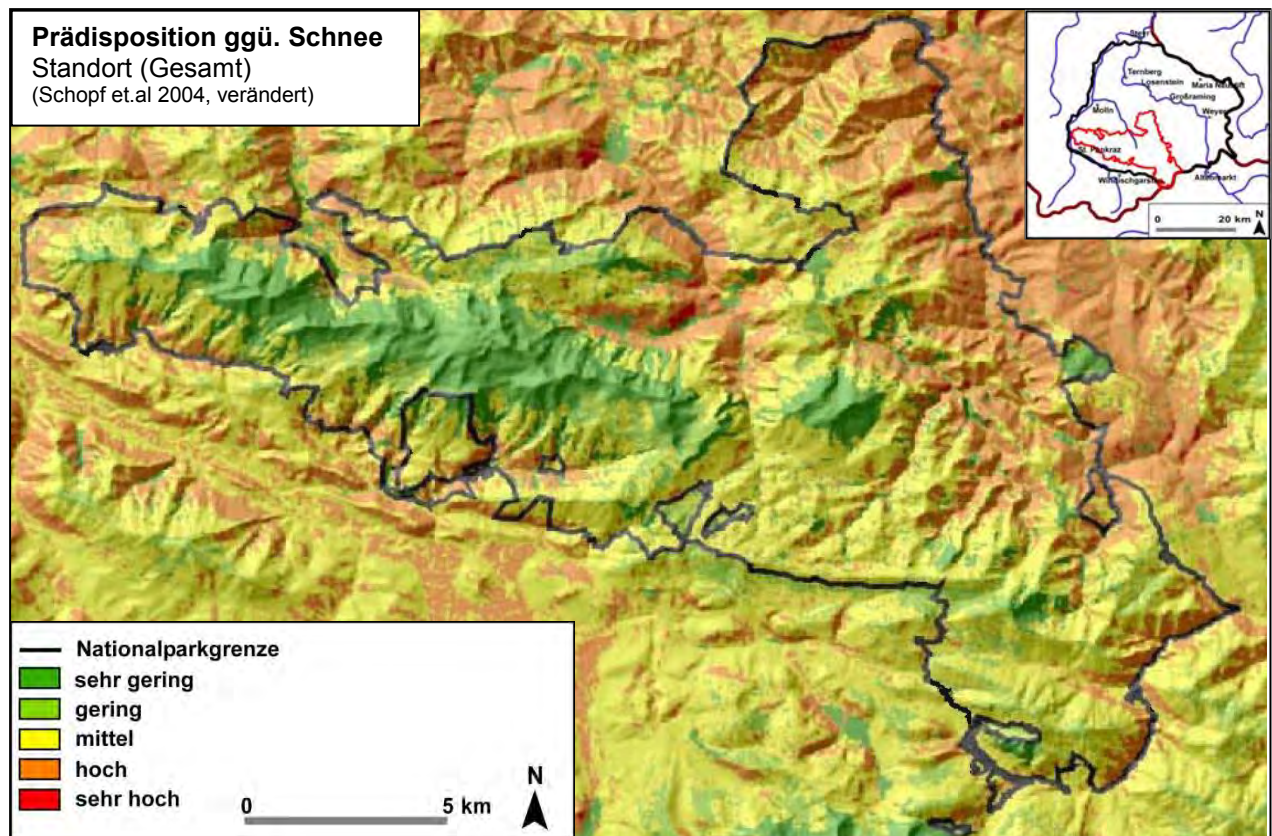


Abbildung 83: Vergleich der standortsbezogenen Abschätzung der Prädisposition für Schnees Schäden (SCHOPF et al. 2004) mit Windwürfen und Schneebrüchen bis zum Jahr 2010 im Nationalpark Kalkalpen (Datenquellen: NATIONALPARK KALKALPEN (Nationalparkgrenze, Borkenkäferbekämpfungszone u. temp. Umwandlungsbereich) und LAND OBERÖSTERREICH (Relief u. Luftbilddaten), eigene Darstellung)

7.5 Maßnahmen gegen den Borkenkäfer

Windwürfe und Schneebrüche bieten dem Borkenkäfer oftmals ein großes Nahrungsangebot und begünstigen seinen Brutverlauf. Die Witterung spielt dabei eine entscheidende Rolle. Hohe Temperaturen beschleunigen nicht nur das Wachstum der Borkenkäfer, sie können in Verbindung mit Trockenperioden auch lebende Bäume anfällig werden lassen für eine Borkenkäferbesiedelung, was zum Absterben dieser Bäume führt. Es gibt laut Höbarth & Wöhrle (2009) einige vorbeugende und einige bekämpfende Maßnahmen, um eine Borkenkäfer-Massenvermehrung zu verhindern.

Vorbeugende Maßnahmen:

- **Die Aufarbeitung von Schadholz:**

Bruttaugliches Material sollte vor allem in Fichtenreinbeständen so rasch als möglich aus dem Wald abtransportiert werden. Da das Totholz für die Erhaltung der Biodiversität jedoch einen entscheidenden Faktor darstellt, kann aus ökologischen Gründen das Holz von Laubbäumen als Biotopholz im Wald verbleiben.

- **Der Aufbau von artenreichen Mischwaldbeständen:**

Ein Mischwaldbestand bietet langfristig sicherlich den besten Schutz vor Borkenkäferschäden und ist nebenbei auch resistenter gegen Windwurf. Dieser ist aus ökonomischen Gründen in bestehenden Fichtenreinbeständen jedoch oft nur schwer umsetzbar.

- **Regelmäßige Kontrollen:**

Es sollten regelmäßige Kontrollen auf Borkenkäferbefall bei gefährdeten Beständen durchgeführt werden.

- **Aufarbeitung bei Stehendbefall:**

Bei Stehendbefall, auch von Einzelbäumen, sollte dieser rasch aufgearbeitet werden und die Umgebung verstärkt auf Borkenkäferbefall hin kontrolliert werden. Bereits abgestorbene Bäume können im Wald belassen werden, da hier der Borkenkäfer bereits ausgeflogen ist und sie Wohnraum für die natürlichen Fressfeinde des Borkenkäfers bieten.

- **Schonung und Förderung von natürlichen Borkenkäferfeinden:**

Auf die natürlichen Feinde des Borkenkäfers sollte eine besondere Rücksicht genommen werden (z. B. auf den Dreizehenspecht (*Picoides tridactylus*) oder den Ameisenbuntkäfer (*Thanasimus formicarius*)). Wenn im Frühling die Borkenkäfer aus den Bäumen bereits ausgeflogen sind, sollten diese Bäume nicht mehr geschlagen werden, da ansonsten natürliche Borkenkäferfeinde vernichtet werden, die bis zu einem Monat später ausfliegen (FORSTER & MEIER 2010, S. 6f).

- **Verwendung von Stammschutzmitteln:**

Ein Stammschutzmittel kann sowohl vorbeugend als auch bekämpfend angewendet werden. Aus ökologischen Gründen sollte dies jedoch nur in Ausnahmefällen und mit ausschließlich zugelassenen Mitteln geschehen.

- **Errichtung von Nass- und Folienlager:**

Um bei der Lagerung von Holz Qualitätseinbußen zu vermeiden, können Nasslager (jedoch nur bei größeren Holzmengen) oder Folienlager (Paketgröße bis zu 300 Festmetern) errichtet werden.

Bekämpfende Maßnahmen:

- **Fangbäume:**

Mit Fangbäumen sollen ausschwärmende Borkenkäfer auf leichter zu kontrollierende und liegende Bäume abgelenkt werden. Die befallenen Bäume werden abtransportiert oder bekämpfungstechnisch behandelt (3-4 Wochen nach dem Besiedelungsbeginn durch den Borkenkäfer). Dadurch wird auch

ein Ausschwärmen der Altkäfer für die Anlage einer Geschwisterbrut verhindert. Aus folgenden Gründen ist laut LWF (2004, S. 6) die Fangbaummethode zur wirkungsvollen Bekämpfung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen jedoch ungeeignet:

- *"Fangbäume werden - besonders in der Sommerschwärmphase - oft nicht als Brutraum angenommen*
- *die Fangkapazität ist sehr gering und trägt kaum zur Verringerung der Käferdichte bei*
- *die notwendigen regelmäßigen Kontrollen bedeuten zusätzlichen Aufwand in einer Situation, in der bereits erhöhtes Arbeitsaufkommen besteht*
- *wird es versäumt, die Fangbäume rechtzeitig (sofort nach erfolgtem Befall) zu entfernen, fliegen die Elternkäfer aus und verursachen neuen Stehendbefall*
- *bei Befall produzieren die Käfer zunächst Pheromone. Durch den üblicherweise geringen Abstand der Fangbäume von stehenden Fichten besteht große Gefahr, dort Stehendbefall auszulösen*
- *bei höherer Besatzdichte werden Ablenkstoffe produziert und so der Befall auf gesunde benachbarte Bäume gelenkt*
- *zusätzliches Holz fällt an"*

Allerdings können (unbegiftete) Fangbäume in ökologisch sensiblen Bereichen eingesetzt werden und bewirken bei einer zeitgerechten Vorlage und einem rechtzeitigen Abtransport eine Reduktion der im Frühjahr zu allererst ausfliegenden Pionierkäfer (KOLEVA et al. 2012, S. 21).

- **Entrinden von Baumstämmen:**

Wenn Baumstämme im Wald belassen werden, etwa wenn sie nicht rasch abtransportiert werden können oder sie als Querschlägerungen im Gebirge dienen, sollten diese in borkenkäfergefährdeten Gebieten vollständig entrindet werden (auch die höheren Baumstöcke).

- **Zerkleinern und Hacken:**

Dabei werden Stammabschnitte, Ast- und Kronenmaterial durch zerkleinern, häckseln oder mulchen brutuntauglich gemacht. Das Material sollte dabei so rasch als möglich austrocknen können.

- **Prügelfallen:**

Bei Prügelfallen werden Wipfelstücke zeltförmig aufgestellt, mit Pheromondispensern ausgestattet, mit Kontaktinsektizid behandelt und sollten danach regelmäßig kontrolliert werden. Es werden dadurch jedoch auch Antagonisten des Borkenkäfers angelockt und abgetötet (KOLEVA et al. 2012, S. 21).

- **Pheromonfallen/Schlitzfallen:**

Pheromon- oder Schlitzfallen werden für die Borkenkäferbekämpfung nur sehr eingeschränkt verwendet und müssen ebenfalls regelmäßig kontrolliert werden. Sie dienen vorwiegend zur Überwachung des Flugverlaufs und der Flugintensität von Borkenkäfern. Die Pheromon- oder Schlitzfallen sind zwar in der Anschaffung teurer als die Prügelfallen, können aber mit weniger Arbeitsaufwand aufgestellt und mehrere Jahre verwendet werden (KOLEVA et al. 2012, S. 21).

Abbildung 84 zeigt zusammenfassend, wie durch das Borkenkäfer-Management Einfluss auf die Entwicklung der Borkenkäfers genommen werden kann. Wie bereits erwähnt, kann dieses in vorbeugende, bekämpfende und berücksichtigende Maßnahmen unterteilt werden.

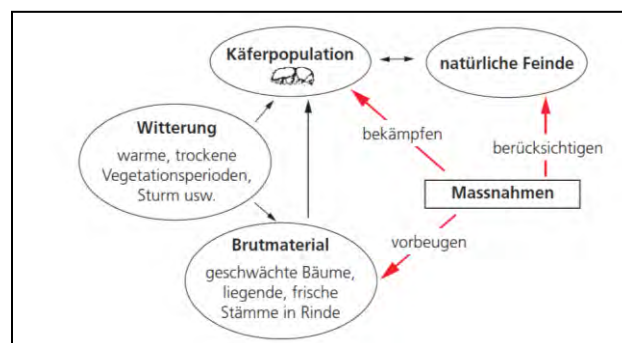


Abbildung 84: Maßnahmen gegen den Borkenkäfer durch das Borkenkäfermanagement (FORSTER & MEIER 2010, S. 2)

8 Schlussfolgerungen

Unter den Klimaforscherinnen und Klimaforschern herrscht bereits Einigkeit, dass sich das Klima ändert und auch in naher Zukunft ändern wird, wenn auch noch nicht ganz klar ist, in welchem Ausmaß dies geschieht. Im Untersuchungsgebiet gibt es bereits einige Anzeichen für ein sich änderndes Klima. Der mittlere Temperaturanstieg seit dem Jahr 1960 reicht von 0,87 K bis 1,83 K, welcher sich auch deutlich in den Normalverteilungskurven zeigt. Die Wahrscheinlichkeit für sehr kalte Jahresmitteltemperaturen ist gesunken, während die Wahrscheinlichkeit für sehr warme Jahresmitteltemperaturen sehr deutlich zugenommen hat. Der Verbreiterung der Normalverteilungskurven deutet auf eine Zunahme der Klimavariabilität hin. Zudem wurde an allen Klimastationen im Untersuchungsgebiet ein Anstieg der Jahresniederschlagssummen verzeichnet. Bemerkenswert ist dabei die Zunahme der Tage mit ≥ 20 mm Niederschlag/Tag. Ebenso hat sich die Zahl der Hitzetage, also Tage mit einem Tagesmittel von ≥ 20 °C, deutlich erhöht. Die Prognose von Klimaforscherinnen und Klimaforschern, dass sich der Niederschlag vom Sommerhalbjahr in das Winterhalbjahr verlagert, scheint sich auch im Untersuchungsgebiet zu bestätigen. Eine erhöhte Stürmigkeit oder ein vermehrtes Auftreten von Trockenperioden konnte jedoch nicht eindeutig nachgewiesen werden.

Das sich ändernde Klima hat natürlich auch gravierende Auswirkungen auf die ökologischen Bedingungen in Waldökosystemen. Für viele Baumarten werden sich die klimatischen Einschränkungen im Gebirge reduzieren und die Baumgrenze wird sich nach oben verschieben. Das gefährdet an Kälte angepasste Baumarten wie etwa die Fichte in mittleren und tiefen Lagen, begünstigt aber auch Baumarten wie etwa die Eiche.

Untersuchungen weisen darauf hin, dass auch in Höhenlagen um 1600 m ein hoher Anteil von multivoltinen Individuen des Buchdruckers bei entsprechender Witterung möglich ist. Damit besteht auch im alpinen Bereich das Risiko einer Borkenkäfer-Massenvermehrung (KRENN 2007, S. 76). Dies bestätigt sich in Kap. 7.2 durch einen Borkenkäferbefall im Gipfelbereich des Rotgsol und rund um den Kleinen und Großen Größtenberg. Die Seehöhe spielt für das Entwicklungspotential des Borken-

käfers natürlich eine entscheidende Rolle, da seine Entwicklung wesentlich von den Temperaturverhältnissen geprägt ist. Wichtiger als die Seehöhe erscheint mir jedoch das vorhandene Nahrungsangebot, das sich mit Sturmereignissen sehr rasch erhöhen kann. Auch würde ich der Exposition eine bedeutende Rolle zuschreiben, da diese die für die Entwicklung des Borkenkäfers entscheidende Rindentemperatur sehr stark beeinflusst. Dies zeigen die verstärkt an südexponierten Hängen liegenden Totholzflächen in Abbildung 79.

Eine mögliche Erklärung für den massiven Anstieg des Stehendbefalls im Nationalpark Kalkalpen in den Jahren 2009 und 2010 könnte sein, dass auch Bäume, welche die Sturmereignisse der Jahre 2007 und 2008 überstanden haben, derartig geschwächt waren, dass sie gegen den Borkenkäfer nicht genügend Abwehrmaßnahmen aufbringen konnten, um einem massenhaften Ansturm widerstehen zu können. Nach ein bis zwei weiteren Jahren ohne Sturmereignis könnten sich die geschwächten Bäume wieder soweit erholt haben, dass sie sich gegen den Borkenkäfer verteidigen konnten und sich dadurch seine Ausbreitung eingedämmt hat. Dies würde den Rückgang des Borkenkäferneubefalls in den Jahren 2011 und 2012 erklären. Die Vermehrung von Fressfeinden gemeinsam mit dem Borkenkäfer hat sicherlich auch zu seinem Rückgang beigetragen.

Für den Wirtschaftswald müssen zukünftige Forschungen noch zeigen, wie der Wald artenreich, widerstandsfähig und trotzdem ertragreich gestaltet werden kann. Eine Erhöhung der Biodiversität ist langfristig sicherlich die beste Methode, um die Risiken des Klimawandels für Wirtschaftswälder zu streuen und einer Borkenkäfer-Massenvermehrung vorzubeugen. Die einzelnen Baumarten sind unterschiedlich stark von natürlichen Risiken bedroht, aber auch in wirtschaftlicher Hinsicht bedeutet es eine Risikostreuung, wenn das Holz an verschiedenen Holzmärkten abgesetzt werden kann (KNOKE 2009, S. 17).

Nur ein kleiner Teil des österreichischen Waldes wird nicht wirtschaftlich genutzt. In diesen Wäldern bieten abgestorbene und liegende Bäume einen guten Nährboden für die nächste Pflanzengeneration, dienen als Wohnraum für zahlreiche Insekten und Pilzarten und fördern so auch die Fressfeinde des Borkenkäfers. Natürliche

Dynamiken wie Windwürfe, Lawinen oder Waldbrände sind offenbar sehr wichtig für die Erhaltung der Biodiversität im Wald. Durch die jahrhundertelange Kultivierung des Waldes hat der Mensch zu wenig Wissen über die dynamischen Prozesse im Wald und deren Auswirkungen auf die Artenvielfalt. Umso mehr zeigt sich die immense Bedeutung der letzten Urwaldreste in Österreich, insbesondere für die Wissenschaft und die Forschung. Natürliche Zyklen im Wald dauern oftmals mehrere Jahrzehnte an, wenn nicht Jahrhunderte, und übersteigen somit die Lebensdauer eines Menschen. Der Mensch hat oftmals nicht die Geduld, um natürliche Prozesse im Wald laufen zu lassen und wird wahrscheinlich immer versuchen, aktiv einzugreifen.

Trotz zahlreicher Studien und jahrzehntelanger Forschungsarbeit hält der Borkenkäfer immer noch Überraschungen für uns Menschen bereit, wie der unerwartete Rückgang des Borkenkäferneubefalls im Nationalpark Kalkalpen sehr deutlich zeigt. Das Verhalten des scheinbar einfachen Insekts kann aufgrund zahlreicher Umwelteinflüsse und natürlicher Dynamiken auch heute noch nicht präzise vorhergesagt werden.

Literaturverzeichnis

- AUER, I., BÖHM, R., MOHNL, R., POTZMANN, R., SCHÖNER, W., SKOMOROWSKI, P. (2001): ÖKLIM – Digitaler Klimaatlas Österreichs. - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, CD-Rom
- AUER, I., BÖHM, R., POTZMANN, R., UNGERSBÖCK, M. (2003): Änderung der Frosthäufigkeit in Österreich. - In: Terra Nostra 2003/6:25-29 (6. Deutsche Klimatagung - Potsdam) - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Wien, 7 S, Zugriff: März 2012
<http://www.zamg.ac.at/histalp/downloads/abstract/Auer-et al-2003b-F.pdf>
- AUER, I., KORUS, E., BÖHM, R., SCHÖNER, W. (2005): Endbericht StartClim2004: Projekt: Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich. - Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, 39 S., Zugriff: Jan. 2011
<http://www.boku.ac.at/austroclim/startclim/bericht2004/StCl04end.pdf>
- AUER, I., JURKOVIC, A., ORLIK, A., BÖHM, R., KORUS, E., SULIS, A., MARCHETTI, A., MANENTI, CH., DOLINAR, M., NADBATH, M., VERTAČNIK, VIČAR, Z., PAVIČIĆ, B., GEIER, G., ROSSI, G., LEITFRIED, A., SCHELLANDER, H., GABL, K., ZARDI, D. (2008): High quality climate data for the assessment of Alpine climate, its variability and change on regional scale – Collection and analysis of historical climatological data and metadata. – Technical Report of WP5, Interreg-IIIb-Alpine Space Project Foralps, I/III/3.1/21, 67 S., Zugriff: Dez. 2011
http://www.zamg.ac.at/docs/forschung/klimatologie/report_wp5.pdf
- AUSTRIA FORUM: Das österreichische Wissensnetz - Landkarte zu Österreich, Zugriff: Juli. 2012
http://www.austria-lexikon.at/af/Community/Alles_über_Österreich/Landkarte-Österreich
- AUSTRIAN MAP: Österreichische Karte 1:200.000 (ÖK200-Ost), CD-Rom, Version 2.0, Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen
- BFW (Hrsg.): Österreichische Waldinventur, Erhebung 2007 - 2009, Institut für Waldinventur, Wien, Zugriff: Nov. 2012
<http://bfw.ac.at/rz/wi.home>
- BFW (Hrsg.) (2012): Forstschutzsituation 2011 in Österreich – Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2011. – Forstschutz Aktuell Nr. 56, Institut für Waldschutz, Wien, 92 S., Zugriff: Feb. 2013
http://bfw.ac.at/030/pdf/fsaktuell_56.pdf
- BFW (Hrsg.): Forstschutzsituation 2001 - 2010 – Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren. – In: Forstschutz

- Aktuell, Institut für Waldschutz, Wien, Zugriff: Aug. 2012
<http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.web?dok=4013>
- BFW (Hrsg.) (2011): Forstschutzsituation 2010 in Österreich – Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2010. – Forstschutz Aktuell Nr. 52, Institut für Waldschutz, Wien, 87 S., Zugriff: Mai 2011
http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_52.pdf
- BFW (Hrsg.) (2010a): Forstschutzsituation 2009 in Österreich – Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2009. – Forstschutz Aktuell Nr. 49, Institut für Waldschutz, Wien, 89 S., Zugriff: Mai 2011
http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_49.pdf
- BFW (Hrsg.) (2010b): Waldtypenkarte Oberösterreich – Institut für Waldinventur, Wien, Zugriff: Sept. 2011
<http://bfw.ac.at/rz/wi.karten>
- BFW (Hrsg.) (2010c): Gesamtholzvorrat, Laubholzvorrat und Nadelholzvorrat in Oberösterreich – Institut für Waldinventur, Wien, Zugriff: Dez. 2011
<http://bfw.ac.at/rz/wi.karten>
- BFW (Hrsg.) (2009): Forstschutzsituation 2008 in Österreich – Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2009. – Forstschutz Aktuell Nr. 46, Institut für Waldschutz, Wien, 87 S., Zugriff: Mai 2011
http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_46.pdf
- BFW (Hrsg.) (2007): Österreichisches Wildeinflussmonitoring (WEM) - Ergebnisse 2004 - 2006 – BFW-Praxis Information Nr. 14-2007, Wien, 30 S., Zugriff: März 2013
http://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi14.pdf
- BMLFUW (Hrsg.): Hydrographische Jahrbücher von Österreich für die Jahre 1960 bis 2009. - Abteilung VII 3 - Wasserhaushalt im Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Wien
- BMLFUW (Hrsg.) (2009): eHYD. – Abteilung VII/3 - Wasserhaushalt (HZB); Land-, forst- und wasserwirtschaftliches Rechenzentrum GmbH, Zugriff: Feb. 2012
http://gis.lebensministerium.at/eHYD/frames/index.php?&145=true&gui_id=eHYD
- BÖHM, R. (2008): Heiße Luft – Reizwort Klimawandel; Fakten – Ängste – Geschäfte. – EDITION VA bENE, Wien-Klosterneuburg, 263 S.
- BOLTE, A., DEGEN, B. (2010): Anpassung der Wälder an den Klimawandel: Optionen und Grenzen. – In: Landbauforschung - vTI Agriculture and Forestry Research Vol. 60, No. 3. – Johann Heinrich von Thünen-Institut, Hamburg, 111-118 S.

Zugriff: Dez. 2011

http://literatur.vti.bund.de/digbib_extern/bitv/dn046676.pdf

BROSINGER, F., ÖSTREICHER, S. (2009): Die Fichte im Wandel. – In: LWF Wissen Nr. 63: Fichtenwälder im Klimawandel – Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.), Lerchl Druck, Freising, 86 S., Zugriff: März 2013

<http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-wissen/63-fichte-im-klimawandel/w63-fichte-im-klimawandel.pdf>

BÜRGI, M., STUBER, M. (2001): Agrarische Waldnutzungen in der Schweiz 1800-1950. Waldweide, Waldheu, Nadel- und Laubfutter. – Schweizerische Zeitschrift für Forstwesen, Zugriff: Dez. 2010

http://www.waldwissen.net/themen/wald_gesellschaft/forstgeschichte/wsl_waldweide_viehfutter_DE

CECH, TH. L., HOYER-TOMICZEK, U. (2007): Aktuelle Situation des Zurücksterbens der Esche in Österreich – In: Forstschutz Aktuell Nr. 40, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Waldschutz (Hrsg.), Wien, 35 S., Zugriff: März 2013

http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_40.pdf

ELLING, W. (2007): Schädigung von Waldökosystemen: Auswirkungen anthropogener Umweltveränderungen und Schutzmaßnahmen, Elsevier, Spektrum Akad. Verl., Heidelberg, 422 S.

ENGLISCH, M. (2007): Ökologische Grenzen der Biomassenutzung in Wäldern – In: BFW Praxis Information Nr. 13, Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft, Wien, 20 S., Zugriff: März 2013

http://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi13.pdf

EUROPEAN ENVIRONMENTAL AGENCY (2007): Europe's environment: the fourth assessment – Copenhagen: EEA, 453 S., Zugriff: Dez. 2011

http://www.eea.europa.eu/publications/state_of_environment_report_2007_1/BeIgrade_EN_all_chapters_incl_cover.pdf

FORMAYER, H., CLEMENTSCHITSCH, L., HOFSTÄTTER, M., KROMP-KOLB, H. (2008): Vor Sicht Klima! – Klimawandel in Österreich, regional betrachtet - Studie im Auftrag von GLOBAL 2000 durchgeführt von der Universität für Bodenkultur Wien, Institut für Meteorologie, Wien, 103 S.

FORSTER, B., MEIER, F. (2010): Sturm, Witterung und Borkenkäfer - Risikomanagement im Forstschutz. – Merkblatt für die Praxis 44, Eidg. Forschungsanstalt WSL, Birmensdorf, 8 S., Zugriff: Juli 2012

<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/10622.pdf>

GEOLOGISCHE BUNDESANSTALT (Hrsg.) (2006): Geologische Karte von Oberösterreich 1:200.000. – Geologische Bundesanstalt, Wien

GRÜNER BERICHT OBERÖSTERREICH (2010): 32. Bericht über die wirtschaftliche und

soziale Lage der oberösterreichischen Land- und Forstwirtschaft im Jahr 2010 – Amt der Oö. Landesregierung, Abteilung Land- und Forstwirtschaft, Vereinigte Druckereien- und Verlags-GmbH & Co Kg, Linz, 132 S., Zugriff Dez. 2011
http://www.gruenerbericht.at/cm2/index.php?option=com_docman&task=cat_view&gid=109&Itemid=27

GOOGLE EARTH (2011): Software zur Darstellung von Luft- und Satellitenbildern, Version: 6.1.0.5001

HAAS, W., WEISZ, U., BALAS, M., MCCALLUM, S., LEXER, W., PAZDERNIK, K., PRUTZSCH, A., RADUNSKY, K., FORMAYER, H., KROMP-KOLB, H., SCHWARZL, I. (2008): AustroClim – Identifikation von Handlungsempfehlungen zur Anpassung an den Klimawandel in Österreich. – Klimaforschungsinitiative AustroClim, Institut f. Meteorologie, Universität f. Bodenkultur, Wien, 249 S., Zugriff: April 2011
http://www.austroclim.at/fileadmin/user_upload/reports/Anpassung_erste_20Handlungsempfehlungen_IFF_BOKU_UBA.pdf

HASEKE, H., (1994): Atlas der Geologie M 1 : 20 000; Nationalpark Kalkalpen. – Amt der Oberösterreichischen Landesregierung (Hrsg.), Linz, 30 S.

HITECH (2011): Unser Wald in 100 Jahren – Förster mit Weitblick. – 3sat Mediathek, Forschungs- und Technikinformationen, vom 18.04.2011, Mainz, Zugriff: Dez. 2011
<http://www.3sat.de/page/?source=/hitec/153625/index.html#>

HÖBARTH, M., WÖHRLE, M. (2009): Borkenkäfer - Vorbeugung und Bekämpfung. – LFI Österreich und Waldverband Österreich (Hrsg.), Wien, 19 S.

HUBER, A. (2004): Qualitative Systemwissenschaften 2 – Aufbau, Eigenschaften und Funktion selbstorganisierender Systeme. – Unterlagen zur Vorlesung, Institut für Chemie, Karl-Franzens-Universität, Graz, Zugriff: Dez. 2010
<http://www.uni-graz.at/~huber/ahlectures/>

INSTITUT FÜR LANDESKUNDE VON OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (1971a): Atlas von Oberösterreich (4). - Kartenblätter 55 – 67, Verl. des Inst. f. Landeskunde von Oberösterreich, Linz

INSTITUT FÜR LANDESKUNDE VON OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (1971b): Atlas von Oberösterreich – Erläuterungsband zur vierten Lieferung - Kartenblätter 55 – 67. - , Verl. des Inst. f. Landeskunde von Oberösterreich, Linz

IPCC (2007): Zusammenfassung für politische Entscheidungsträger. – In: SOLOMON, S., D. QIN, M. MANNING, Z. CHEN, M. MARQUIS, K.B. AVERYT, M.TIGNOR UND H.L. MILLER, Klimaänderung 2007: Wissenschaftliche Grundlagen. – Cambridge University, deutsche Übersetzung durch ProClim-, Österreichisches Umweltbundesamt, Wien, 18 S.

IPCC (2008): Klimaänderung 2007: Synthesebericht. – Intergovernmental Panel on Climate Change, Berlin, 109 S., Zugriff: Feb. 2011

http://www.de-ipcc.de/media/IPCC-SynRepComplete_final.pdf

KF-UNI-GRAZ (1990): Landschaftsökologie - Vorlesungsskriptum der Karl-Franzens-Universität Graz; ÖH-Uni Graz, 132 S.

KILIAN, W., MÜLLER, F., STARLINGER, F. (1994): Die forstlichen Wuchsgebiete Österreichs – Eine Naturraumgliederung nach waldökologischen Gesichtspunkten. – Forstliche Bundesversuchsanstalt, Wien, 60 S., Zugriff: Dez. 2011
<http://bfw.ac.at/030/pdf/2377.pdf>

KIRCHMEIR, H., JUNGMEIER, M., HERZOG, E., GRABHERR, G. (2000): Der Wald im Klimawandel – Am Beispiel des sommerwarmen Ostens Österreichs. – E.C.O. Institut für Ökologie, Klagenfurt, 256 S.

KNOKE, TH. (2009): Die ökonomische Zukunft der Fichte. – In: LWF Wissen Nr. 63: Fichtenwälder im Klimawandel – Berichte der Bayerischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft (Hrsg.), Lerchl Druck, Freising, 86 S., Zugriff März 2013
<http://www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-wissen/63-fichte-im-klimawandel/w63-fichte-im-klimawandel.pdf>

KOLEVA, P., KOLEV, N., SCHOPF, A., WEGENSTEINER, R. (2012): Untersuchungen zur Effizienz von insektizidbehandelten Fanghölzern gegen den Buchdrucker *Ips typographus* (Coleoptera, Curculionidae). – In: Forstschutz Aktuell Nr. 54, BFW – Institut für Waldschutz, Wien, 16 - 21 S, Zugriff: Okt. 2012
http://bfw.ac.at/400/pdf/fsaktuell_54.pdf

KREHAN, H., STEYRER, G. TOMICZEK, CH. (2010): Borkenkäfer-Kalamität 2009: Ursachen für unterschiedliche regionale Befallsentwicklungen. - In: STEYRER G., TOMICZEK CH., LACKNER CH. (Red.) (2010): Forstschutz Aktuell Nr. 49 - Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2009. -Institut für Waldschutz, Wien, 89 S. Zugriff: April 2011
http://bfw.ac.at/030/pdf/fsaktuell_49.pdf

KRENN, S. (2007): Untersuchungen zum Voltinismus und der Entwicklung des Buchdruckers in montanen und subalpinen Fichtenwäldern der Steiermark. – Unpubl. Diplomarbeit, Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Universität für Bodenkultur, Wien, 85 S.

KROMP-KOLB, H. (2005): Analysen von Hitze und Trockenheit und deren Auswirkungen in Österreich – Endbericht StartClim2004, Department für Wasser-Atmosphäre-Umwelt, Universität für Bodenkultur, Wien, 42 S, Zugriff: Dez. 2011:
<http://www.boku.ac.at/austroclim/startclim/bericht2004/StCl04end.pdf>

KUTSCHERER, L., LICHTENEGGER, E. (2002): Wurzelatlas mitteleuropäischer Waldbäume und Sträucher – 6. Band der Wurzelatlas-Reihe, Leopold Stocker

Verlag, Graz-Stuttgart, 604 S.

- LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (2007a): Leitbilder für Natur und Landschaft: Raumeinheit Enns- und Steyrtaler Voralpen. – Band 13, Naturschutzabteilung Land Oberösterreich / Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Kutzenberger, Linz, 82 S., Zugriff: Sept. 2011
<http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/SID-8186842F-DB1725D5/ooe/Enns- und Steyrtaler Voralpen.pdf>
- LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (2007b): Leitbilder für Natur und Landschaft: Raumeinheit Ennstal. – Band 14, Naturschutzabteilung Land Oberösterreich / Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Kutzenberger, Linz, 47 S., Zugriff: Sept. 2011
<http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/SID-8186842F-DB1725D5/ooe/Ennstal.pdf>
- LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (2007c): Leitbilder für Natur und Landschaft: Raumeinheit Sengsengebirge. – Band 15, Naturschutzabteilung Land Oberösterreich / Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Kutzenberger, Linz, 63 S., Zugriff: Sept. 2011
<http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/SID-7336E554-2585D295/ooe/Sengsengebirge.pdf>
- LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (2007d): Leitbilder für Natur und Landschaft: Raumeinheit Enns- und Steyrtaler Flyschberge. – Band 29, Naturschutzabteilung Land Oberösterreich / Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Kutzenberger, Linz, 77 S., Zugriff: Sept. 2011
<http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/SID-8186842F-DB1725D5/ooe/Enns- und Steyrtaler Flyschberge.pdf>
- LAND OBERÖSTERREICH (Hrsg.) (2007e): Leitbilder für Natur und Landschaft: Raumeinheit Steyr- und Teichltal. – Band 34, Naturschutzabteilung Land Oberösterreich / Büro für Ökologie und Landschaftsplanung Kutzenberger, Krems und Linz, 86 S., Zugriff: Sept. 2011
<http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xbcr/SID-8186842F-DB1725D5/ooe/Steyr- und Teichltal.pdf>
- LAND OBERÖSTERREICH (2012a): DORIS Atlas - interMAP: Digitales Oberösterreichisches Raum-Informationssystem, Amt der Oö. Landesregierung (Hrsg.), Linz, Zugriff: Sept. 2012
<http://www.doris.ooe.gv.at>
- LAND OBERÖSTERREICH (2012b): Natürliche Waldgesellschaften in Oberösterreich, Amt der Oö. Landesregierung (Hrsg.), Linz, Zugriff: Okt. 2012
http://www.land-oberoesterreich.gv.at/cps/rde/xchg/SID-7554DBD4-84594365/ooe/hs.xsl/24228_DEU_HTML.htm
- LANDWIRTSCHAFTSKAMMER ÖSTERREICH (Hrsg.) (2007): Standortgerechte Verjüngung des Waldes, Wien, 28 S., Zugriff: Nov. 2011
http://www.waldverband.at/downloads/cms_uploaded/broschuere_waldverjueng

[ung.pdf](#)

- LATIF, M. (2009): Klimawandel und Klimadynamik – Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart, 219 S.
- LEDITZNIG, CH. (2011): Borkenkäferprävention im Wildnisgebiet Dürrenstein - ein richtungsweisendes Modell – Scheibbs, 5 S.
- LEITGEB, E., ENGLISCH, M. (2006): Klimawandel - Standörtliche Rahmenbedingungen für die Forstwirtschaft – In: BFW Praxis Information Nr. 10 - 2006, Wien, 28 S.
- LENGLACHNER, F., SCHÖN, B. (2008): Biotopkartierung und Vegetation – In: 10 Jahre! Nationalpark Kalkalpen - Tätigkeitsbericht 1998 - 2007 der Nationalpark O.ö. Kalkalpen GmbH. und der Bundesforste Nationalparkbetrieb Kalkalpen, Schriftenreihe Nationalpark Kalkalpen Band 8, Molln, 95 S.
http://npk.riskommunal.net/gemeindeamt/download/222305301_1.pdf
- LESER, H. (Hrsg.) (2001): DIERCKE – Wörterbuch Allgemeine Geographie. – 12. Auflage, Deutscher Taschenbuch Verlag GmbH & Co. KG, München und Westermann Schulbuchverlag GmbH, Braunschweig, 1037 S.
- LWF (Hrsg.) (2004): Rindenbrütende Borkenkäfer an Fichte. – Merkblatt 14 der bayrischen Landesanstalt für Wald und Forstwirtschaft, Ausgabe 3.2004, Freising, 6 S.
- MATULLA, CH., SCHÖNER, W., ALEXANDERSSON, H., VON STORCH, H., WANG, X. L. (2007): European storminess: late nineteenth century to present – In: Climate Dynamics Vol. 31, Numbers 2-3, Springer-Verlag, S. 6
- MATULLA, CH. (2009): Das Klima der nächsten 100 Jahre. – In: SCHMIDT, R., MATULLA, CH., PSENNER, R. (Hrsg.), Klimawandel in Österreich: Die letzten 20.000 Jahre ... und ein Blick voraus. – alpine space - man & environment: vol. 6, Universetät Innsbruck, innsbruck university press, S. 165-180
- MILZ, A. (2009): Wald, Mensch, Klima – Systeme und ihre Wechselwirkungen. – Unpubl. Diplomarbeit, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität, Graz, 78 S.
- NANO (2011a): Neue Bäume im Wald. – 3sat Mediathek, Wissenschaftssendung Nano vom 26.08.2011, Mainz, Zugriff: Sept. 2011
<http://www.3sat.de/page/?source=/nano/cstuecke/96756/index.html>
- NANO (2011b): Der Borkenkäfer war keine Katastrophe. – 3sat Mediathek, Wissenschaftssendung Nano vom 13.09.2011, Mainz, Zugriff: Sept. 2011
<http://www.3sat.de/page/?source=/nano/umwelt/156773/index.html>
- NATIONALPARK KALKALPEN (2011a): Dynamik Borkenkäfer. – Nationalpark O.ö. Kalkalpen GmbH, Molln, Zugriff: Jän. 2012
<http://www.kalkalpen.at/system/web/zusatzseite.aspx?menuonr=222542274&detailonr=222540892>

- NATIONALPARK KALKALPEN (2011b): Waldwildnis & Borkenkäfer. – Infotafel der Nationalpark O.ö. Kalkalpen GmbH, Molln, Zugriff: Jän. 2012
http://root.riscompany.net/company/npk/html/infotafel_borkenkaefer_v1_opt.pdf
- NIERHAUS-WUNDERWALD, D. (1996): Die natürlichen Gegenspieler der Borkenkäfer. – WSL-Merkblatt für die Praxis, Sonderdruck Wald und Holz 74, 1: 8-14, 2. Auflage, Eidg. Forschungsanstalt für Wald, Schnee und Landschaft, Birmensdorf, Zugriff: April 2012
<http://www.wsl.ch/dienstleistungen/publikationen/pdf/1488.pdf>
- OBERHAUSER, R. (Hrsg.) (1980): Der geologische Aufbau Österreichs. – Geologische Bundesanstalt (Wien), Springer-Verlag Wien New York, Wien, 700 S.
- ÖSTERREICHISCHE AKADEMIE DER WISSENSCHAFTEN (Hrsg.) (1979): Österreich-Atlas. – Böden und Standortsbeurteilung, Tafel VI/4, 6. Lieferung, Freytag-Berndt und Artaria, Wien
- PHENIPS - Potential development of Ips typographus. - Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Universität für Bodenkultur, Wien, Zugriff: Sept. 2012
<http://ifff-arcgis.boku.ac.at/PHENIPS>
- RECLIP:MORE (2007): research for climate protection: model run evaluation - Klimazukunft Österreich. – Medieninformation zum Projektabschluss, Graz und Wien, Zugriff: Juni 2012
http://foresight.ait.ac.at/SE/projects/reclip/reports/Klimazukunft_Presse_text_final.pdf
- ROLOFF, A., GRUNDMANN, B. (2008): Klimawandel und Baumarten-Verwendung für Waldökosysteme. – Technische Universität Dresden, Institut für Forstbotanik und Forstzoologie, Tharandt, 46 S., Zugriff: Nov. 2011
<http://www.wald-in-not.de/download/KLAM.pdf>
- SCHADAUER, K., NIESE, G., MATZIK, H. (2011): Österreichische Waldinventur Baumartenatlas. – Bundesforschungs- und Ausbildungszentrum für Wald, Naturgefahren und Landschaft (BFW), Institut für Waldinventur, Wien, Zugriff: Nov. 2011
http://bfw.ac.at/700/2092_1.html
- SCHOPF, A., BAIER, P., NETHERER, S., PENNERSTORFER, J. (2004): Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Kalkalpen. – Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Universität für Bodenkultur, Wien, 106 S.
- SCHOPF, A., BAIER, P., PENNERSTORFER, J. (2008): Risikoabschätzung von Borkenkäfer-Massenvermehrungen im Nationalpark Gesäuse. – Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Universität für Bodenkultur, Wien, 116 S. Zugriff: Jan. 2011
http://www.nationalpark.co.at/nationalpark/de/downloads/ausgelagert/Schopf_2

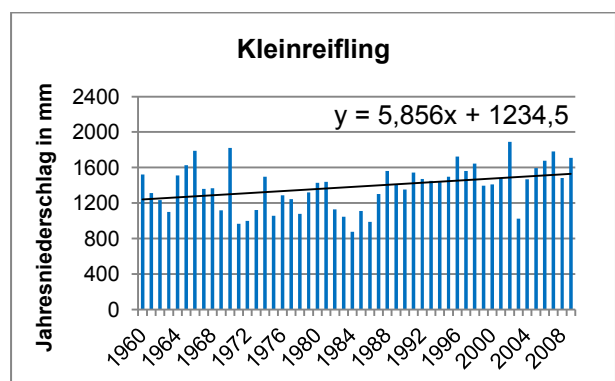
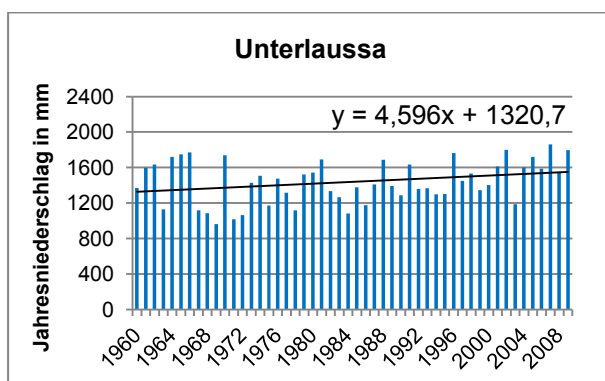
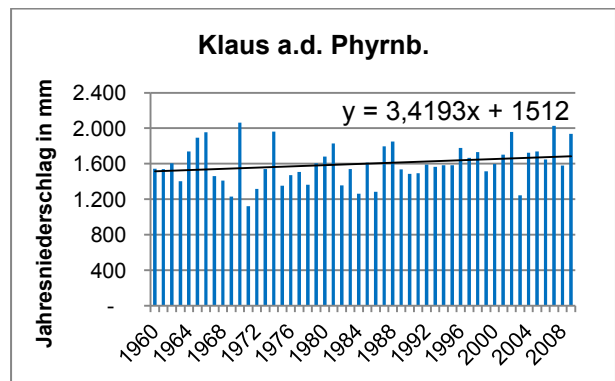
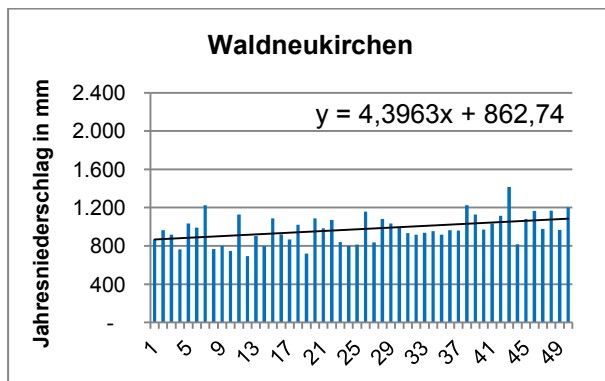
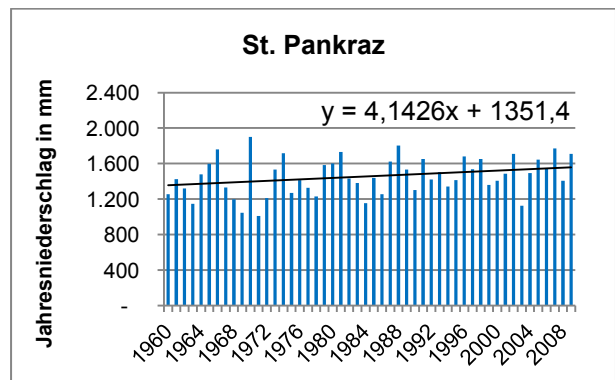
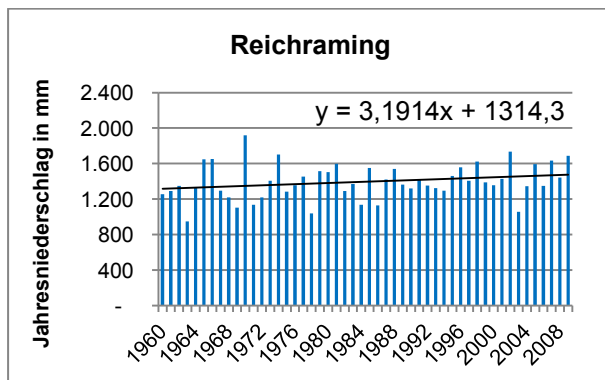
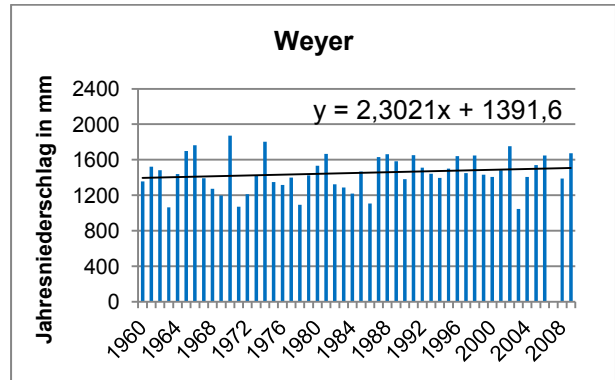
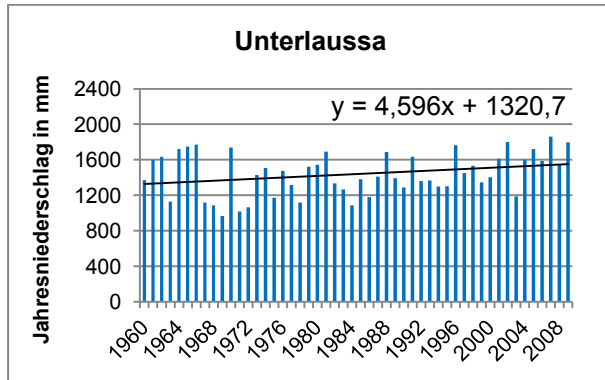
[008 Borkenkaefersimulation.pdf](#)

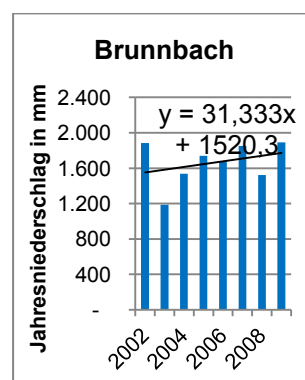
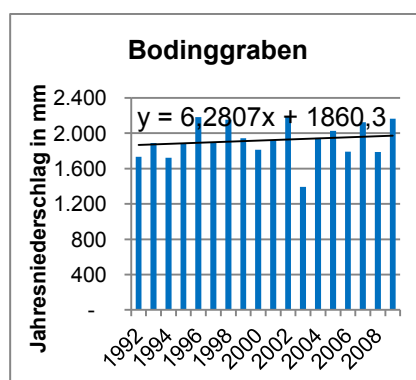
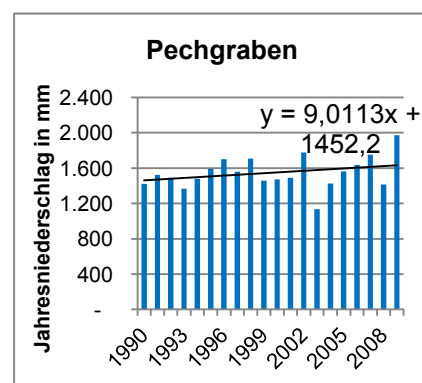
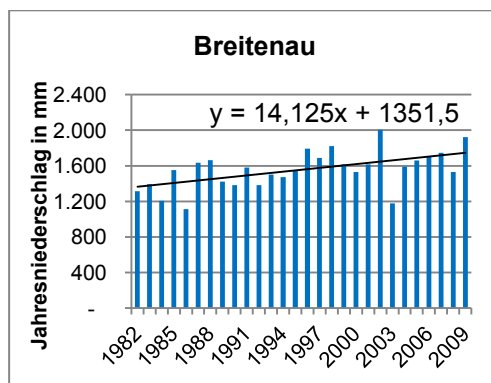
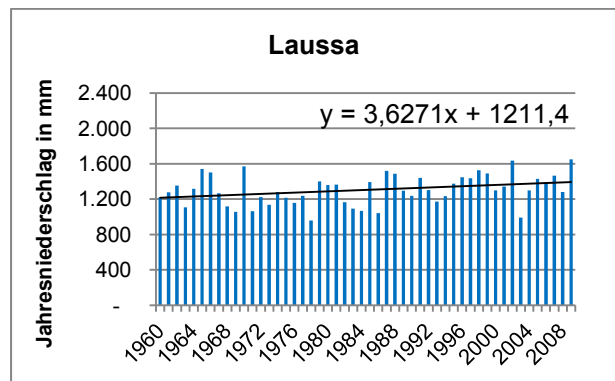
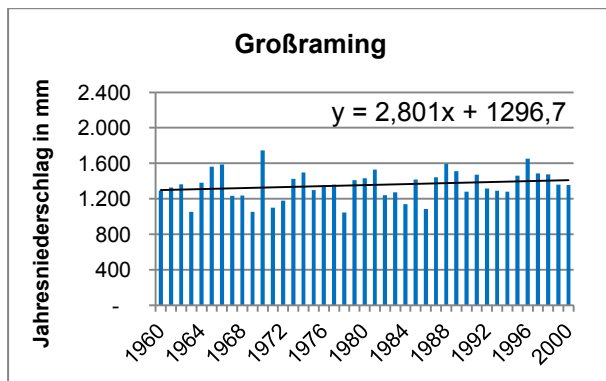
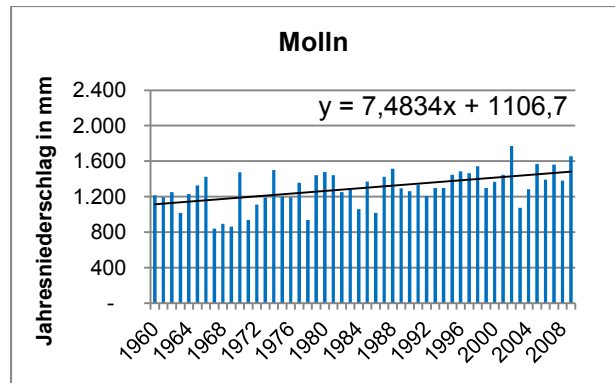
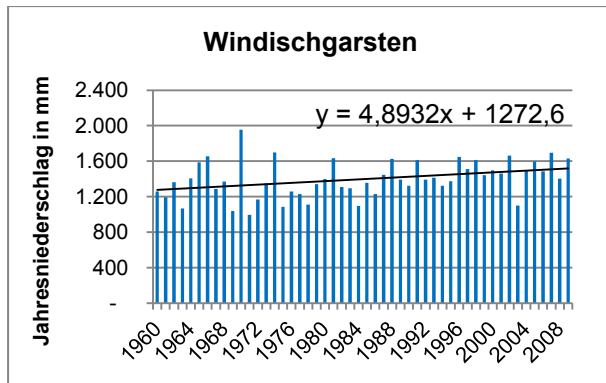
- SCHOPF, A. (2010): Borkenkäfer - aktuelle Forschungsarbeiten über Fichtenborkenkäfer. – Institut für Forstentomologie, Forstpathologie und Forstschutz, Universität für Bodenkultur, Seminar "Borkenkäfer und Eschensterben" vom 29. April 2010 des Forstvereins für Oberösterreich und Salzburg, 69 S. Zugriff: Sept. 2011
<http://www.forstverein-ooesbg.at/de/menu277/subartikel6/>
- SMIDT, St. (2004): Waldschädigende Luftverunreinigungen, Eigenschaften – Nachweis – Monitoring – Waldschadensforschung. – Schriftenreihe des BFW Nr. 2, Wien, 183 S. Zugriff: Juni 2011
<http://bfw.ac.at/rz/bfwcms.window?dok=5674>
- SMIDT, St. (2011): Tabellenanhang zum Lexikon waldschädigende Luftverunreinigungen und Klimawandel. – BFW, Wien, 190 S. Zugriff: Juni 2011
http://bfw.ac.at/400/smilex/AA2_GESAMTTABELLE_2_090611.pdf
- SPANGL, W., NAGL, CH. (2010): Jahresbericht der Luftgütemessungen in Österreich 2009. – Umweltbundesamt, REP-0261, Wien, 176 S. Zugriff: Juni 2011
<http://www.umweltbundesamt.at/fileadmin/site/publikationen/REP0261.pdf>
- STARLINGER, F. (1997): Mögliche Auswirkungen einer Klimaänderung auf die Waldvegetation Österreichs. – In: Österreichischer Forstverein / Zentrum für Umwelt- und Naturschutz, Universität für Bodenkultur (Hrsg.), Wien, 19-24 S.
- TOMICZEK, CH., CECHE, TH., FÜRST, A., HOYER-TOMICZEK, U., KREHAN, H., PERNY, B., STEYRER, G. (2010): Forstschutzsituation in Österreich 2009. – In: STEYRER G., TOMICZEK CH., LACKNER CH. (Red.) (2010): Forstschutz Aktuell Nr. 49 - Erhebungen und Diagnosen des BFW und Dokumentation der Waldschädigungsfaktoren 2009. - Institut für Waldschutz, Wien, 89 S. Zugriff: April 2011
http://bfw.ac.at/030/pdf/fsaktuell_49.pdf
- TOMICZEK, CH., PFISTER, A. (2008): Was bedeutet der Klimawandel für die Borkenkäfer? – In: BFW Praxisinformation Nr. 17 - 2008, Wien, 32 S. Zugriff: Okt. 2012
http://bfw.ac.at/030/pdf/1818_pi17.pdf
- UMWELTBUNDESAMT (Hrsg.): Jahresberichte der Luftgütemessungen in Österreich 2000-2009, Wien, Zugriff: Juni 2011
http://www.umweltbundesamt.at/umweltsituation/luft/luftguete_aktuell/jahresberichte/
- WALENTOWSKI, H., KÖLLING, CH., EWALD, J. (2007): Die Waldkiefer - bereit für den Klimawandel? - In: LWF Wissen Nr. 57, Beiträge zur Waldkiefer, Freising, Zugriff: März 2013
www.lwf.bayern.de/veroeffentlichungen/lwf-wissen/57/w57.pdf
- WAKONIGG, H. (2003): Einführung in die Hydrogeographie. – Vorlesungsskript, Institut

- für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität, Graz, 79 S.
- WAKONIGG, H. (2004): Klima im Wandel. – Vorlesungsskript, Institut für Geographie und Raumforschung, Karl-Franzens-Universität, Graz, 109 S.
- WAKONIGG, H. (2007): Klima im Wandel. – Austria: Forschung und Wissenschaft: Geographie, Band 1, Lit Verlag, Wien, 188 S.
- WERMELINGER, B., FORSTER, B., GODET, J.-D. (2007): Borkenkäfer – alle forstlich wichtigen Rinden- und Holzbrüter, Verlag Ulmer, Stuttgart, 64 S.
- WERMELINGER, B., SEIFERT, M. (1998): Analysis of temperature dependent development of the spruce bark beetle *Ips typographus*. – Swiss Federal Institute for Forest, Snow and Landscape research, Blackwell Wissenschafts-Verlag, Berlin, S. 7, Zugriff: Dez. 2010
http://www.zbg.ch/personal_homepages/wermelin/publikationen/index_EN/1998_IpsDevelop.pdf
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (1) (Hrsg.): Der Mythos der stürmischen Gegenwart, Wien, Zugriff: Jan. 2011
http://www.zamg.ac.at/klima/Klimawandel/Klimavergangenheit/Aktuelle_Entwicklungen/Stuerme/
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (2) (Hrsg.): EXSTO – Klimawandel, Klimavariabilität, Stürmigkeit. - Wien, Zugriff: Dez. 2011
<http://www.zamg.ac.at/forschung/klimatologie/klimamodellierung/exsto/>
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (3) : Klimadaten von Österreich – Daten und Diagramme nach Walter-Lieth, Mittel: 1961-1990. - Wien, Zugriff: April 2012
http://www.klimadiagramme.de/GMA_neu/Europa/oesterreich0.htm
- ZENTRALANSTALT FÜR METEOROLOGIE UND GEODYNAMIK (4) (Hrsg.): Jahrbücher der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik, Beobachtungsergebnisse von 1952 bis 2011. - Wien

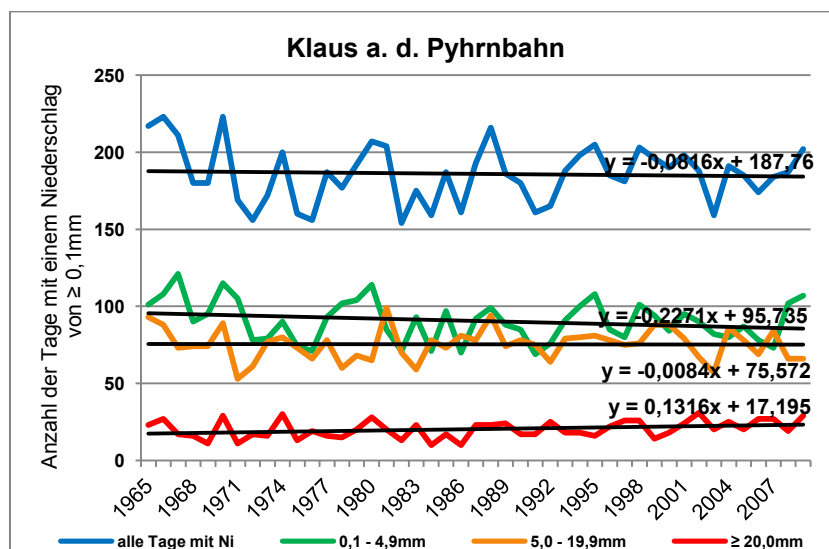
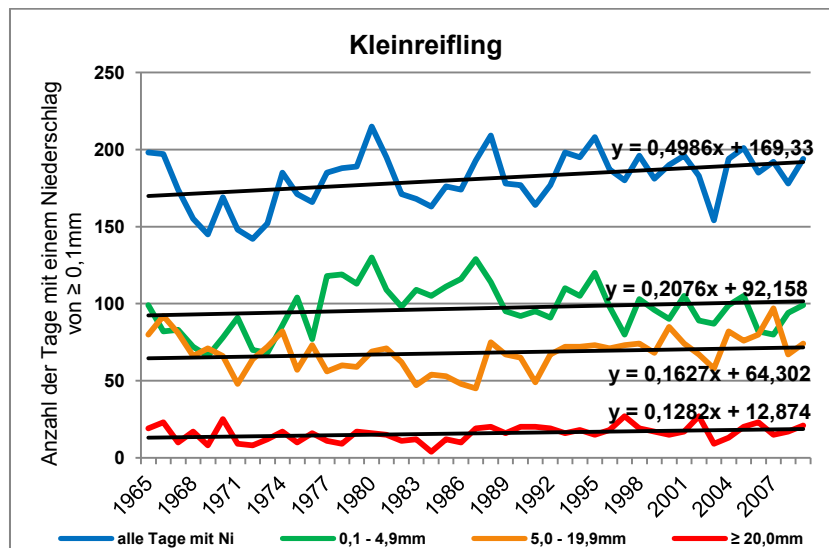
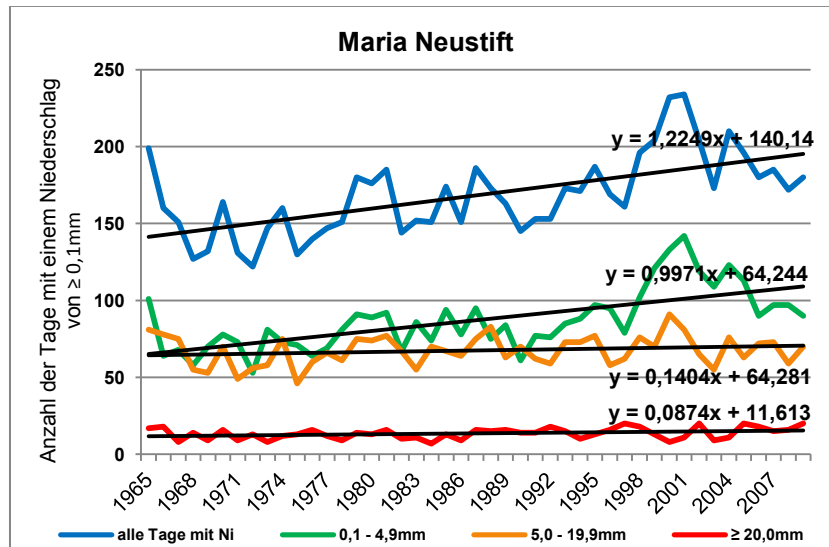
Anhang

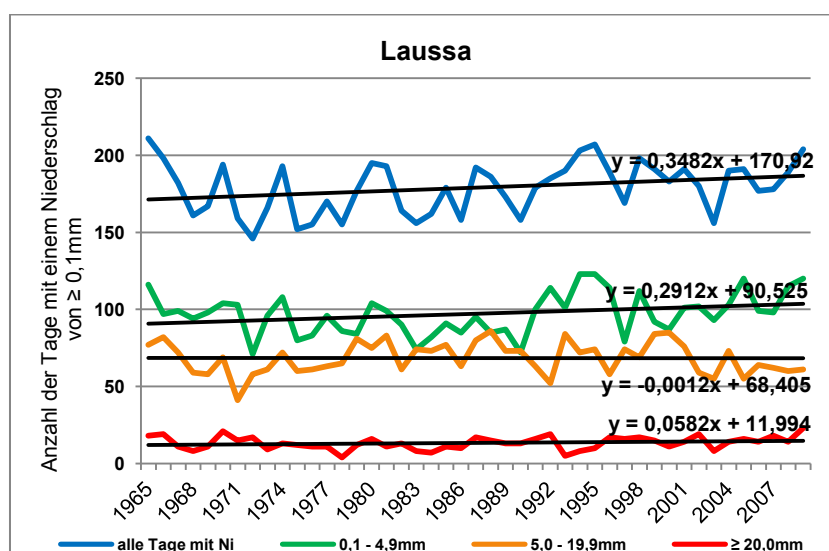
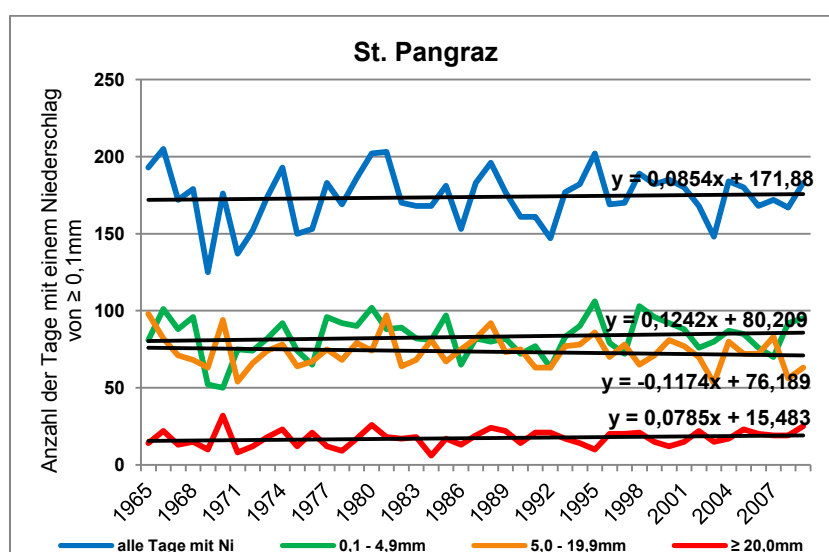
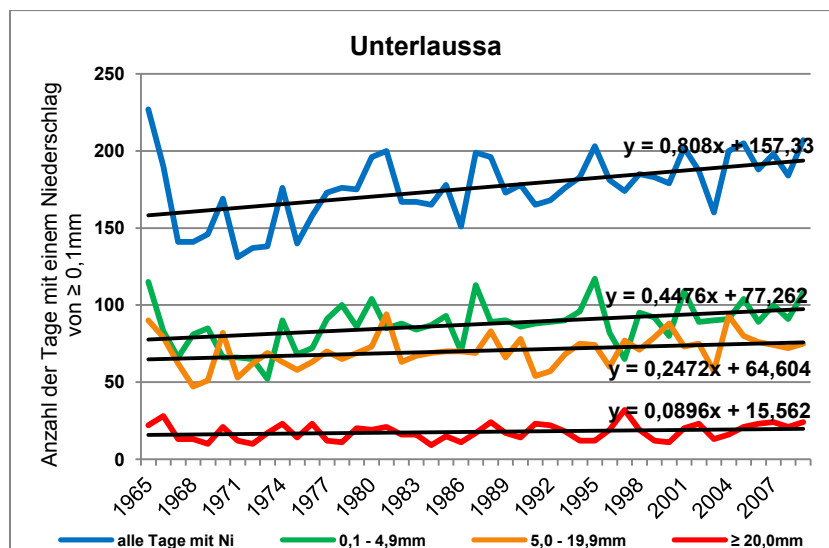
Jahresniederschlagssumme

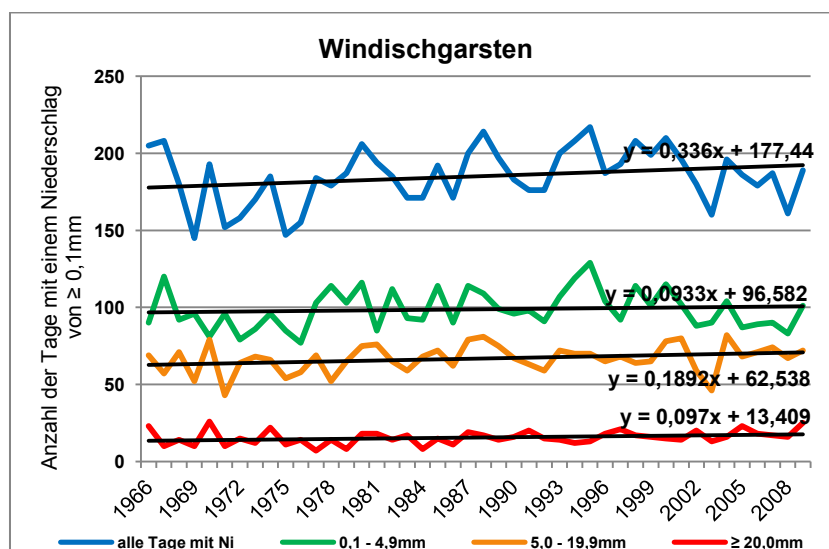
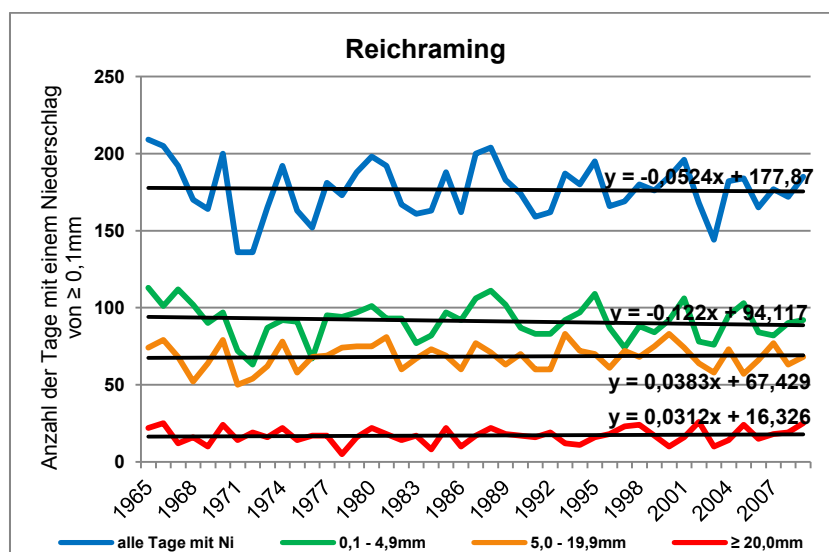
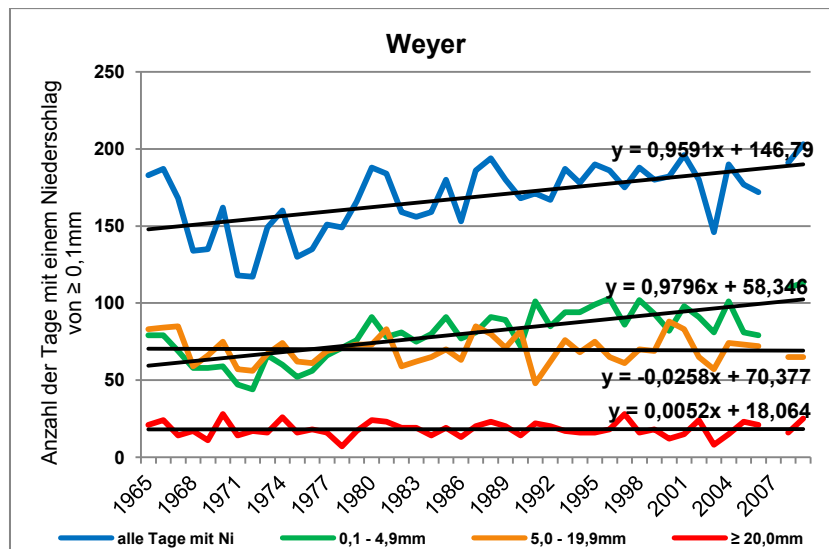


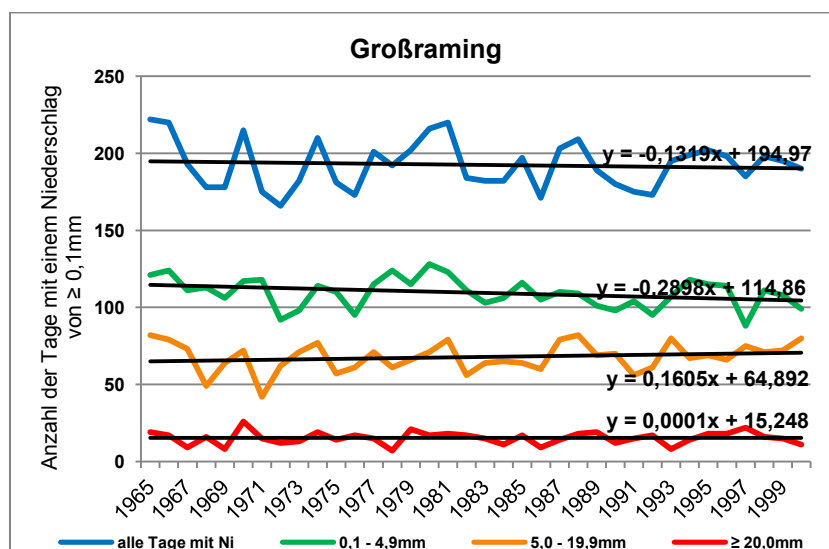
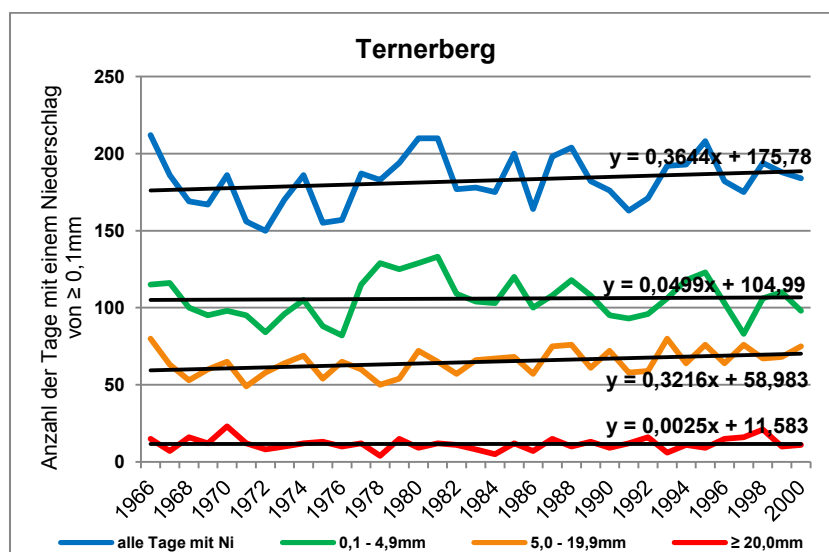
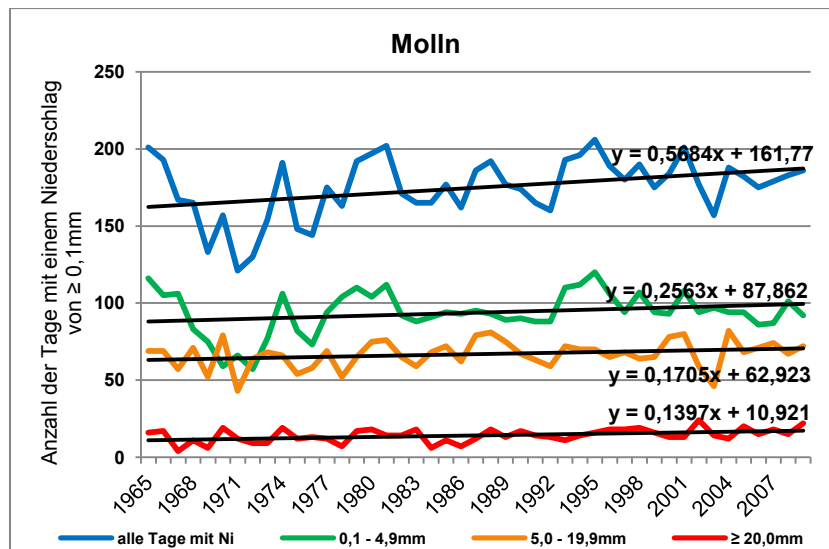


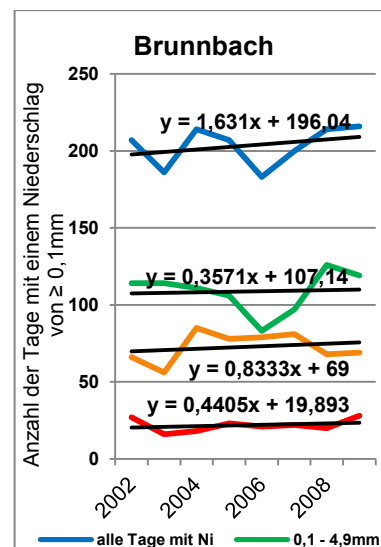
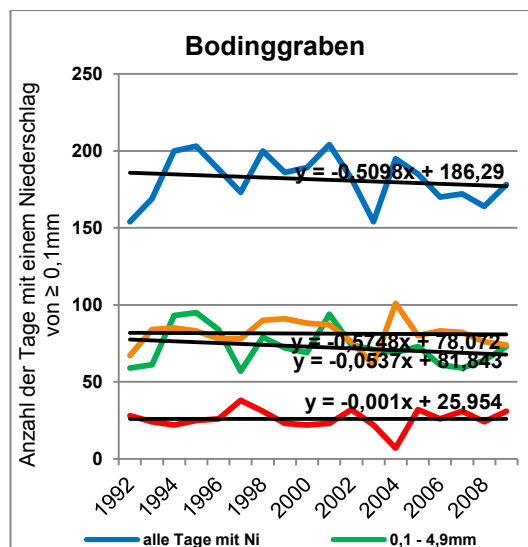
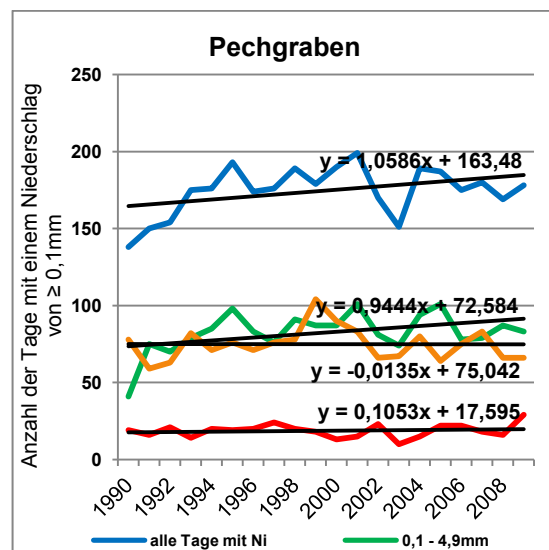
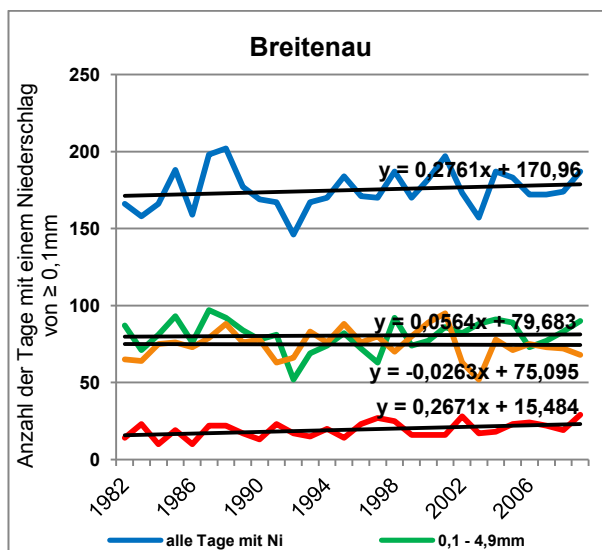
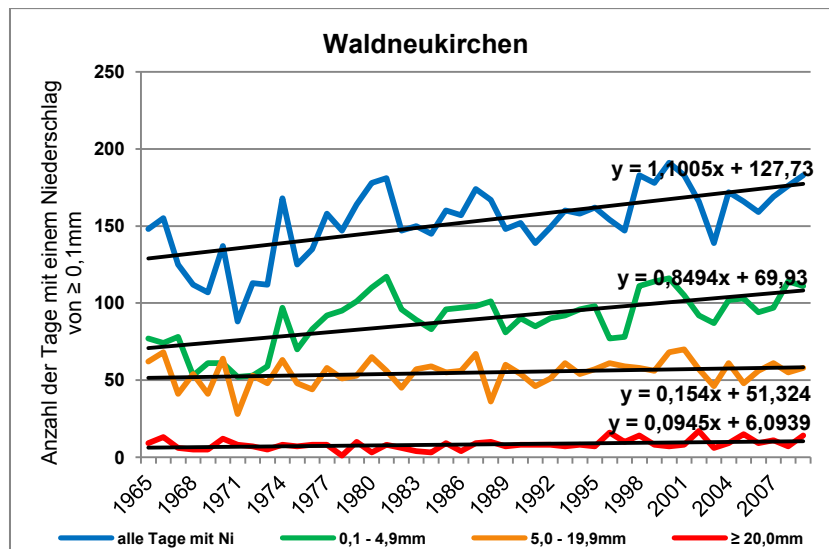
Häufigkeit der Niederschläge











Anzahl der Tage mit einem Tagesmittel von $\geq 20^\circ\text{C}$

