

# StartClim2005.F

## GIS-gestützte Ermittlung der Veränderung des Lebensraumes alpiner Wildtierarten (Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild, Steinwild) bei Anstieg der Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung

Joanneum Research  
HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Gesellschaft für Wildtier und  
Lebensraum - Greßmann & Deutz OEG



## **Autoren**

### **Jakob Schaumberger**

Joanneum Resarch Graz/ HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Wörschachberg 52  
8942 Wörschach  
Email: [jakob.schaumberger@gmx.at](mailto:jakob.schaumberger@gmx.at)

### **Univ. Prof. Dipl.-Forstwirt Dr.rer.nat. Mathias Schardt**

Joanneum Research Graz  
Leiter des Institutes für Digitale Bildverarbeitung  
Professor an der TU Graz und Leiter des Institutes für Fernerkundung und Photogrammetrie  
Wastiangasse 6  
8010 Graz  
Email: [mathias.schardt@joanneum.at](mailto:mathias.schardt@joanneum.at)

### **Mag. Thomas Guggenberger**

HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Abteilung Innenwirtschaft und Ökolometrie  
Altirdning 11  
8952 Irdning  
Email: [thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at](mailto:thomas.guggenberger@raumberg-gumpenstein.at)

### **DI Heinz Gallaun - Projektleitung**

Joanneum Research Graz  
Institut für Digitale Bildverarbeitung  
Wastiangasse 6  
8010 Graz  
Email: [heinz.gallaun@joanneum.at](mailto:heinz.gallaun@joanneum.at)

### **Mag. Andreas Schaumberger**

HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Leiter des Referates für Geoinformation im ländlichen Raum  
Altirdning 11  
8952 Irdning  
Email: [andreas.schaumberger@raumberg-gumpenstein.at](mailto:andreas.schaumberger@raumberg-gumpenstein.at)

### **Univ. Doz. Dr. Armin Deutz**

Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum – Greßmann & Deutz OEG  
Vogeltenn 6  
8813 St. Lambrecht  
Email: [armin.deutz@stmk.gv.at](mailto:armin.deutz@stmk.gv.at)

### **Dr. Gunther Greßmann**

Gesellschaft für Wildtier und Lebensraum – Greßmann & Deutz OEG  
Salzburgerstraße 14  
8950 Stainach  
Email: [gunther.gressmann@gmx.at](mailto:gunther.gressmann@gmx.at)

### **Dr. Johann Gasteiner**

HBLFA Raumberg-Gumpenstein  
Leiter des Institutes für Artgemäße Tierhaltung und Tiergesundheit  
Altirdning 11  
8952 Irdning  
Email: [johann.gasteiner@raumberg-gumpenstein.at](mailto:johann.gasteiner@raumberg-gumpenstein.at)

Wien, im November 2006

StartClim2005.F, Teilprojekt von StartClim2005 „Klimawandel und Gesundheit!“

Projektleitung von StartClim2005:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt  
Institut für Meteorologie, Peter Jordan-Straße 82, 1190 Wien  
URL: <http://www.austroclim.at/startclim/>  
StartClim2005 wurde aus Mitteln des BMLFUW und des BMGF gefördert.

## Inhaltsverzeichnis

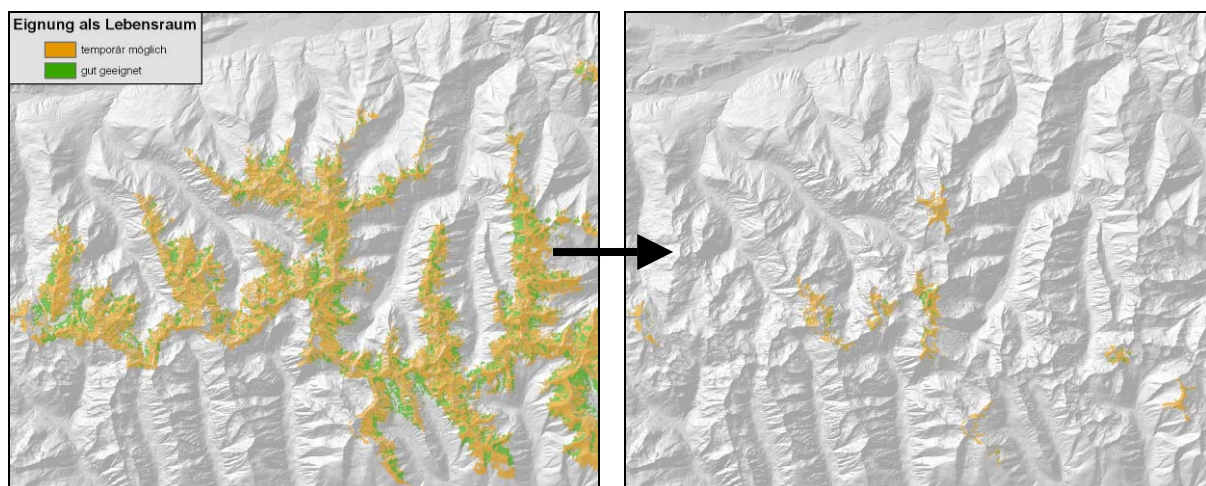
<b>Kurzfassung</b>	<b>4</b>
<b>Abstract 5</b>	
<b>F-1 Problemstellung</b>	<b>6</b>
<b>F-1.1 Projektgebiet und untersuchte Wildtierarten</b>	<b>6</b>
<i>F-1.1.1 Projektgebiet</i>	<i>6</i>
<i>F-1.1.2 Habitatansprüche der ausgewählten Tierarten</i>	<i>8</i>
<b>F-2 Material und Methoden</b>	<b>13</b>
<b>F-2.1 Temperaturveränderungen</b>	<b>13</b>
<b>F-2.2 Temperaturdaten der ZAMG</b>	<b>13</b>
<i>F-2.2.1 Definition von Zeiträumen und Gruppierung in Dekaden</i>	<i>13</i>
<i>F-2.2.2 Höhenabhängige räumliche Interpolation</i>	<i>14</i>
<b>F-2.3 Klimamodell MM5</b>	<b>18</b>
<i>F-2.3.1 Datenaufbereitung</i>	<i>19</i>
<b>F-2.4 Waldgrenze</b>	<b>20</b>
<i>F-2.4.1 Definition der Waldgrenze</i>	<i>20</i>
<i>F-2.4.2 Waldgrenze und Klima</i>	<i>21</i>
<i>F-2.4.3 Waldgrenze und Isothermen</i>	<i>22</i>
<i>F-2.4.4 Veränderungen der 6,9°C Mai-Oktober Isotherme</i>	<i>25</i>
<i>F-2.4.5 Auswirkungen einer Erwärmung auf die Waldgrenze</i>	<i>26</i>
<b>F-2.5 Wissensbasierte Habitatmodelle auf Landschaftsebene</b>	<b>27</b>
<b>F-3 Ergebnisse</b>	<b>32</b>
<b>F-3.1 Aktuelle Habitatmodelle</b>	<b>32</b>
<b>F-3.2 Verifizierung der Habitatmodelle</b>	<b>32</b>
<b>F-3.3 Veränderung von Lebensräumen</b>	<b>32</b>
<b>F-3.4 Auswirkung des Ansteigens der Waldgrenze auf die Habitate</b>	<b>34</b>
<b>F-4 Schlussfolgerung</b>	<b>36</b>
<b>F-5 Literaturverzeichnis</b>	<b>37</b>
<b>F-6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis</b>	<b>41</b>
<b>F-6.1 Abbildungen</b>	<b>41</b>
<b>F-6.2 Tabellen</b>	<b>42</b>

## Kurzfassung

Die Wildtierarten Birkhuhn, Schneehuhn sowie Gams- und Steinwild haben sich im Laufe ihrer Evolution perfekt an das Leben in alpinen Lagen, hauptsächlich über der Waldgrenze, angepasst und sind somit Teil dieses sehr empfindlichen Ökosystems. Unter Annahme des Ansteigens der Waldgrenze aufgrund Klimaerwärmung verringert sich der Lebensraum dieser Wildtierarten massiv. Als Grundlage für die Ermittlung der Veränderungen wurde die Temperaturentwicklung der vergangenen 50 Jahre genauer betrachtet sowie das Klimamodell MM5 für eine Abschätzung der zukünftigen Erwärmung herangezogen. Die Temperaturentwicklung in den vergangenen 50 Jahren zeigt für die ersten zwei Dekaden sogar eine Abkühlung, seit 1970 aber einen starken Anstieg. Das Klimamodell prognostiziert für die nächsten 50 Jahre eine Erwärmung von ca. 2,2°C für das Untersuchungsgebiet in den Niederen Tauern.

Das Baumwachstum ist sehr stark von der Temperatur abhängig und eine hohe Korrelation zwischen der Wachstumsgrenze von Bäumen und der 10°C Juli-Isotherme wurde nachgewiesen. Das Klimamodell MM5 zeigt für die nächsten 50 Jahre einen prognostizierten Anstieg der Isothermen um ca. 450 Höhenmeter. Prognostizierte Temperaturveränderungen hängen jedoch sehr stark vom verwendeten Klimamodell ab. Über die Geschwindigkeit, mit der sich die Waldgrenze zur temperaturbedingten Wachstumsgrenze hin bewegt, kann keine Aussage getroffen werden und wäre Gegenstand zukünftiger Forschungsarbeiten. Weiters übt die Bewirtschaftung durch den Menschen einen sehr großen Einfluss auf den Verlauf der Waldgrenze aus. Daher ist noch nicht absehbar, wie diese sich verändern wird.

Die aktuellen Lebensräume wurden nach einem wissenschaftlichen Habitatmodell mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) erstellt. Unter der Annahme, dass die zukünftige Waldgrenze die Höhe der berechneten Isotherme für die Dekade 2040-2050 erreicht, führt diese Verschiebung zu einem dramatischen Verlust an Lebensraum.



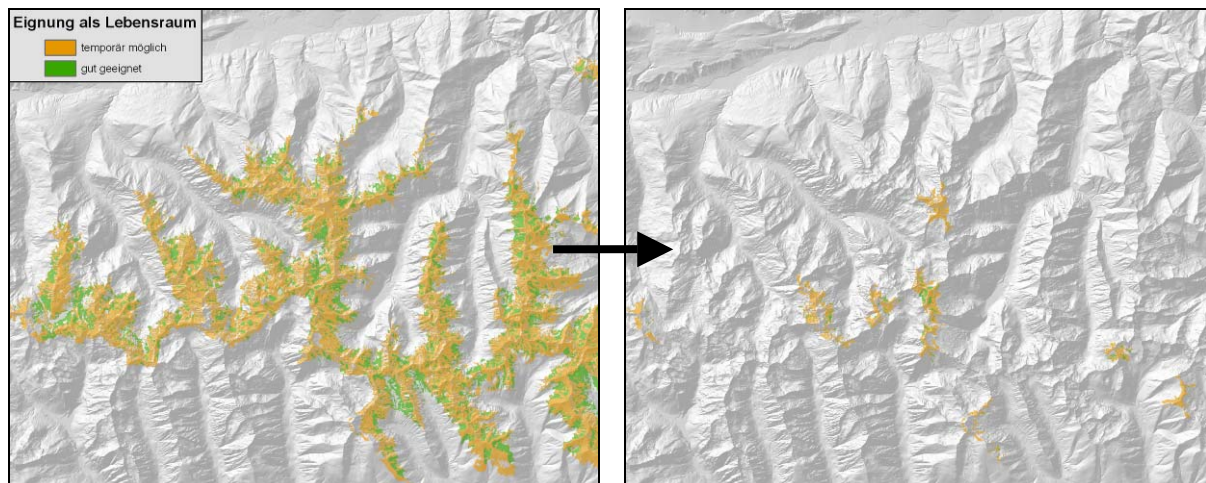
**Abb. F-1:** Aktuelle und zukünftige Habitateignung für Schneehuhn unter Annahme des Ansteigens der Waldgrenze aufgrund Klimaerwärmung (Modell MM5)

## Abstract

Wild animal species such as the black grouse, snow grouse, chamois and ibex have adapted to life in an Alpine environment above the tree line in the course of their evolution and thus form part of this very sensitive ecosystem. The habitat of these wild animal species might be substantially reduced by a potential upward movement of the tree line as a result of climate change. An attempt was made to quantify these changes with the aid of models and a geographical information system (GIS). The calculations were based on the temperature development of the past 50 years and an estimate of future warming. The scenario derived from the climate model used predicts a warming of approx. 2.2°C for the area under investigation (Niedere Tauern) over the next 50 years.

The elevation of the tree line strongly depends on the temperature and a high correlation was found between the growth limit of trees and the 10°C July isotherm. The climate model shows that the relevant isotherms will rise by approx. 450 m over the next 50 years. The temperature changes, however, strongly depend on the climate model used. Without additional research work, no statement can be made on how fast the tree line is advancing towards the temperature related growth limit. Human management practices also have a substantial influence on tree line position so that future changes in the tree line cannot be derived from climatic data alone.

The current habitats of the animal species investigated were determined and mapped using a knowledge based habitat model and a GIS. The present suitable habitats for snow grouse, e.g., are shown in Figure 1. Assuming that the future tree line will adjust to the changed temperature of the decade 2040 - 2050, this shift will lead to a dramatic loss in suitable habitats, which may range from 78% to 98% depending on the season and animal species. The habitat loss to be expected for snow grouse is illustrated in the Figure.



**Figure:** Current and predicted habitat suitability for snow grouse assuming a temperature increase of 2.2.°C and derived shift in the tree line

## **F-1 Problemstellung**

Die Temperaturveränderung für die vergangenen 50 Jahre sollen anhand von gemessenen Temperaturdaten erhoben werden, sowie die Vorhersage einer Temperaturentwicklung für die nächsten 50 Jahre von einem Klimamodell abgeleitet werden.

Die Auswirkungen des Klimas auf den Verlauf der Waldgrenze und die dafür entscheidenden Einflussfaktoren werden untersucht.

Unter Annahme einer Klimaerwärmung verändern sich diese Einflussfaktoren und bewirken eine Verschiebung der Waldgrenze. Die Sensibilität der Waldgrenze auf sich ändernde Bedingungen soll festgestellt werden.

Die Lebensräume von Wildtieren, welche ihren Lebensraum an bzw. über der Waldgrenze haben, können mit Hilfe eines Geografischen Informationssystems (GIS) ermittelt werden. Die ermittelten Habitate sollen mit den aktuellen Daten der Wildtierbestandserhebungen verglichen werden.

Veränderungen der Lebensräume aufgrund eines Ansteigens der Waldgrenze können flächenhaft dargestellt und quantifiziert werden.

Die angeführten vier Wildtierarten dienen dabei als sehr empfindliche Indikatoren zum Nachweis der negativen Lebensraumveränderungen durch den Anstieg der Waldgrenze infolge der Klimaveränderung.

Ergebnisse aus diesem Projekt sollen Grundlagen für die Verwendung von Wildtieren als Indikatoren für Lebensraumveränderungen schaffen sowie Anstoß für den Aufbau eines flächendeckenden und stabilen Netzes für ein Wildtiermonitoring und zur Überwachung von Wildkrankheiten sein.

### **F-1.1 Projektgebiet und untersuchte Wildtierarten**

#### ***F-1.1.1 Projektgebiet***

Die Niederen Tauern erheben sich als Teil der österreichischen Zentralalpen zwischen dem Ennstal im Norden und dem oberen Murtal im Süden. Entlang der markanten Grate und der steil abfallenden Hänge oberhalb der Baumgrenze prägen ausgedehnte Zwergstrauchheiden und alpine Rasengesellschaften sowie vereinzelt hochalpine Torfmoore die Landschaft (SACKL & ZECHNER, 1995).





**Abb. F-2:** Aufnahme im Bereich Deneck im Süden der Niederen Tauern

Den Charakter der Region prägt das enge Nebeneinander von unbesiedelten Naturräumen und Kulturlandschaften, die durch jahrhundertelange, extensive land- und forstwirtschaftliche Bewirtschaftungsformen geprägt wurden.

Das Natura 2000 Gebiet „Niedere Tauern“ gilt als „Besonderes Schutzgebiet“ bzw. „Special Protected Area (SPA)“ im Sinne der EU-Vogelschutzrichtlinie. Diese Richtlinie hat den Schutz aller einheimischen wildlebenden Vogelarten sowie ihrer Nester, Eier und Lebensräume zum Ziel. Im Anhang I sind jene Vogelarten angeführt, für die Schutzgebiete auszuweisen sind. Nach SACKL & ZECHNER (1995) beherbergt das Gebiet insgesamt 16 Brutvogelarten sowie national bedeutende Bestände von Birkhuhn, Steinadler (ZECHNER, 1996) und Wanderfalke. Große Teile des Vogelschutzgebietes Niedere Tauern sind auch nach der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (FFH) als Schutzgebiet ausgewiesen. Mit einer Fläche von 107.000 ha sind die Niederen Tauern das größte Natura 2000 Gebiet der Steiermark.

Die Niederen Tauern werden fast zur Gänze von polymetamorphen Kristallingesteinen, dem so genannten Obersteirischen Altkristallin, eingenommen. Großflächig dominieren Gneise und Glimmerschiefer verschiedener Ausprägung. Im Osten (Seckauer Tauern) treten vermehrt auch Granitgneise und Quarzite auf. Ultramafitkörper (meist hornblendereiche Schiefer und Amphibolite) sind in manchen Teilen der Niederen Tauern recht verbreitet, erreichen aber keine großen Mächtigkeiten. Entlang einer Nordwest-Südost verlaufenden Zone zwischen Großsölk und Pöls sind Marmorkörper charakteristisch, die aufgrund ihrer Verwitterungsresistenz meist gipfelbildend auftreten.

An den Nordabhängen entlang des Ennstals haben die Ennstaler Phyllite Anteil an den Niederen Tauern. Diese werden in tektonischer und stratigraphischer Hinsicht als Äquivalent der Grauwackenzone betrachtet. Die paläozoische Schichtfolge besteht aus Phylliten mit Einschaltungen von Grünschiefern und einigen geringmächtigen Karbonatlagen. Die Landschaftsformen in diesem Bereich sind sanfter, jedoch haben sich die Bäche vor ihrer Einmündung in die Enns tief in das weiche Gestein eingeschnitten. Diese Kerbtalabschnitte weisen stark rutschungsgefährdete Einhänge auf.

In der westlichsten Gebirgsgruppe der Niederen Tauern, den Radstädter Tauern, ist dem Schladminger Kristallinkomplex eine Serie permomesozoischer epimetamorpher Sedimentgesteine eingefaltet (Karbonate, Quarzite, Quarzphyllite). Hier, aber auch in

den Marmoren der Wölzer Tauern, können kleinräumig Karstformen (z.B. Dolinen und Karren) auftreten.

In den quartären Vereisungsperioden war das Gebirge stark vergletschert. Das heutige Landschaftsbild ist vor allem vom Formenschatz der letzten pleistozänen Vereisung (Würmzeit) geprägt. Trogtäler mit steilen, streckenweise tiefgründig instabilen Flanken und breiten, mit mächtigen Lockermassen verfüllten Talböden bilden das übergeordnete Entwässerungssystem zwischen den schroffen, bis über 2500 m Seehöhe reichenden Gipfeln mit ihren zahlreichen Karen als Zeugen der einstmals ausgedehnten, heute nur mehr in kleinsten Resten vorhandenen Vergletscherung. Durch das gering durchlässige Kristallingestein werden zahlreiche Kare und Wannen von Seen erfüllt (z. B. Klafferkesel in den Schladminger Tauern). Großflächig werden auch die Gesteine des Grundgebirges von quartären Lockergesteinsakkumulationen, die im Wesentlichen auf die während der Eiszeiten wirksamen Prozesse zurückzuführen sind, bedeckt. Grundmoränen des würmzeitlichen Ennsgletschers mit einem hohen Anteil an Ferngeschieben sind etwa im Gipfelbereich der Planai erhalten. Spuren der spätglazialen Entwicklung der Lokalgletscher (Terrassen, End- und Seitenmoränen) sind in den größeren Tauerntälern verbreitet.

Im Mittelalter und bis in das 19. Jahrhundert hinein wurden in den Schladminger und Wölzer Tauern Metallerze (vor allem Silber, Kupfer, Blei, aber auch Nickel und Kobalt) gefördert. Spuren dieser Tätigkeiten findet man heute noch in Form von Halden und meist verschlossenen Stollenmundlöchern.

Die Dominanz saurer silikatischer Gesteine bewirkt, dass artenarme Pflanzengesellschaften vorherrschen. Als typisches Beispiel einer derartigen Pflanzengesellschaft besitzt Nardetum in der montanen bis subalpinen Stufe weite Verbreitung. Die Zirbe ist nur in einigen Restbeständen in der hochsubalpinen Stufe erhalten. Großflächig steht vor allem im Bereich der Seitentäler des Ennstals in den nördlichen Niederen Tauern die Schutzfunktion des Waldes im Vordergrund. In den meisten Fällen geht es dabei um den Schutz von Verkehrswegen, teilweise aber auch von Siedlungen, vor Lawinen.

Klimatologisch stellen die Niederen Tauern eine Staulage zweiter Ordnung für Strömungslagen aus dem Sektor West bis Nord dar, umgekehrt aber auch für Strömungslagen aus südlichen Richtungen, deren Anteil am Niederschlagsgeschehen jedoch deutlich zurückbleibt. Die Jahresniederschlagsmengen nehmen sowohl von Westen nach Osten als auch von Norden nach Süden ab. In den Kambereichen der Radstädter und der Schladminger Tauern dürften 2000 mm im Jahr überschritten werden. Das Niederschlagsregime ist hier, wenn auch in abgeschwächter Form, ganzjährig geprägt vom Witterungsgeschehen nordalpiner Verhältnisse mit teilweise lang anhaltenden Niederschlagsperioden. In den Sommermonaten kommt es darüber hinaus zu einer, lokal oftmals eng begrenzten Gewittertätigkeit mit großen Intensitäten in kurzen Zeiteinheiten. Zu Föhnlagen kann es sowohl bei Strömungslagen aus nördlichen als auch solchen aus südlichen Richtungen kommen. Die Täler am Südfuß der Tauern sind durch die Abschirmung thermisch begünstigt. Außerdem zählt diese Zone zu den sonnenscheinreichsten Gebieten der Steiermark. Bezüglich der Niederschlagsverhältnisse sind die Bedingungen bedeutend kontinentaler als an der Nordseite der Tauern; insbesondere die Winter fallen wesentlich niederschlagsärmer aus. Innerhalb dieser Zone gibt es Kältepole in den Talbeckenlagen, wo Minima unter - 30°C keine Seltenheit sind.

### ***F-1.1.2    Habitatansprüche der ausgewählten Tierarten***

Als Grundlage für die weiteren Arbeiten wurde eine Literaturrecherche bezüglich der Habitatansprüche der ausgewählten Tierarten durchgeführt. Im Folgenden werden die zusammengefassten Ergebnisse der Literaturrecherche zusammengefasst.



F-1.1.2.1 Birkhuhn (*Tetrao tetrix*)

Verbreitung: Das Birkhuhn (Familie Tetraonidae, Raufusshühner) ist paläarktisch verbreitet und bewohnt die borealen und subarktischen Wälder Eurasiens sowie die klimatisch ähnlichen Gebirgszonen Europas und Zentralasiens (SACKL & SAMWALD, 1997).

Verbreitung in Österreich: Vom Bregenzer Wald in Vorarlberg über die Niederösterreichischen Kalkalpen bis zum Wechsel und in die westliche Bucklige Welt sowie bis zur steirischen Koralpe bewohnen die Birkhühner in Österreich den gesamten Ostalpenraum (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973).

In den Alpen schließt der Lebensraum des Birkhuhns im Bereich der klimatisch bedingten oberen Waldgrenze an den Lebensraum des Alpenschneehuhns an (KLAUS et al., 1990). Als Bewohner der Übergangsbereiche zwischen Wald und offenen Freiflächen meidet das Birkhuhn dichte Wälder wie beispielsweise den geschlossenen subalpinen Nadelwald (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1962).

Das standorttreue Birkhuhn bewohnt das ganze Jahr über denselben Lebensraum.

Die essentiellen Merkmale eines günstigen Birkhuhnhabitats in den Alpen sind:

- halboffene Landschaft bzw. offene Waldstruktur mit Freiflächen (Bäume müssen vorhanden sein)
- hügeliges Gelände mit weiten Hängen
- gute Strukturierung des Geländes (Steilhänge, Stufen, Felsbänder etc.)
- gut ausgebildete Ericaccen- und Vacciniaceenvegetation
- Weichlaubhölzer für Winternahrung
- Schneesicherheit

(nach GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973; SCHERZINGER, 1976; PAULI, 1980; SACKL & SAMWALD, 1997; LINDSTRÖM et al., 1998)

Diese Bedingungen findet das Birkhuhn in der Krummholzregion (LINDNER, 1977), an Moorrändern und Sumpfgeländen mit lockerem Baumbestand (KLAUS et al., 1990), in der bäuerlichen Kulturlandschaft mit Anschluss an Feuchtgebiete und Wälder (SCHERZINGER, 1976), auf Almwiesen sowie teilweise auch in stark aufgelichteten, abwechslungsreichen Wäldern (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973).

Da das Birkhuhn sehr anpassungsfähig ist, kann es auch kurzlebige Sukzessionsstadien vorübergehend bewohnen (SCHERZINGER, 1976). Wachsen diese Habitate zu, wandern die Vögel ab.

Die ausgesprochene Ortstreue der Art (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973) bedingt die Ausstattung des Habitats mit sämtlichen Strukturen, die das Birkhuhn im Jahresverlauf braucht.

Balzplatz:

Das Gelände des Balzplatzes muss großflächig überschaubar sein (SCHERZINGER, 1976). Kennzeichnend sind offene, flache Stellen (KLAUS et al., 1990; SACKL & SAMWALD, 1997) mit sehr niedriger Bodenvegetation (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973; SACKL & SAMWALD, 1997).

SCHERZINGER (1976) nennt als geeignete Balzplätze Almmatten, Torfmoosböden, zugefrorene Seen, windgepresste Schneeflächen, aber auch Kulturflächen, sofern diese an Feldgehölze oder Moore angrenzen.

Neststandort:

Wie bei allen Bodenbrütern muss das Nest durch eine strukturreiche Nestumgebung (KLAUS et al., 1990; SACKL & SAMWALD, 1997) ausreichend geschützt sein. Im Ge-

gensatz zum Balzplatz ist hier die Bodenvegetation höher – laut GLUTZ v. BLOTZHEIM et al. (1973) ca. kniehoch.

Jungenaufzuchtgebiete:

Das Charakteristikum dieses Teilbiotops ist das Vorhandensein von Beerensträuchern (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1962). Meile (1980) gibt darüber hinaus eine Vegetationshöhe von 10 – 40 bzw. 40 – 100 cm als einen weiteren wichtigen Faktor an.

Raumansprüche:

Die Arealgröße von Birkhühnern wird mit mindestens 90 ha (Zwergstrauchfläche) angegeben (STARLING-WESTERBERG, 2001). Der Abstand zwischen den einzelnen Balzplätzen beträgt in den Alpen mindestens 200 m, in der Regel aber 1 km und mehr (KLAUS et al., 1990).

Negative Auswirkungen auf den Birkhuhnlebensraum haben das Auflassen von Almen durch den Verlust von offenen Flächen (SACKL & SAMWALD, 1997), das Aufforsten mit Monokulturen (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973), die Ausbreitung des Pfeifengrases (*Molinia coerulea*) (LINDNER, 1977) sowie der Verlust von Moorflächen (HÖLZINGER, 1980). Darüber hinaus stellt die gebietsweise ganzjährige Nutzung der Lebensräume durch Schifahrer, Schitourengeher und Wanderer eine zusätzliche Störung dar (SACKL & SAMWALD, 1997).

#### F-1.1.2.2      *Alpenschneehuhn (Lagopus mutus helveticus)*

Verbreitung: Das ausgesprochen Kälte liebende Schneehuhn (Familie Tetraonidae, Raufußhühner) bewohnt als zirkumpolar verbreitete Art sowohl die gesamte Tundrenregion Eurasiens und Nordamerikas als auch zentralasiatische Hochgebirge. Isolierte Verbreitungsinselformen gibt es in Schottland, Japan, in den Alpen und den Pyrenäen (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1962; SACKL & SAMWALD, 1997).

In den Alpen lebt *Lagopus mutus helveticus*, eine von 13 paläarktischen Rassen (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973).

Verbreitung in Österreich: In Österreich ist das Alpenschneehuhn ein verbreiteter Brutvogel der Nord-, Zentral- und Südalpen von Vorarlberg bis ins südliche Ober- und Niederösterreich, in die West- und Oststeiermark und SE-Kärnten (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973).

Alpenschneehühner sind typische Bewohner der hochalpinen Zonen zwischen 1500 und 3500 m Seehöhe und besiedeln in den Alpen ausschließlich die baumfreien Hochgebirgslagen (LINDNER, 1977; SACKL & SAMWALD, 1997).

Ihr bevorzugter Lebensraum ist charakterisiert durch:

- offenes Gelände
- Geröll- und Blockhalden
- schattige Schneetälchen
- spärliche Vegetation mit niederen Gräsern und Zwergsträuchern
- lebhaftes Kleinrelief (Runsen, Grate, Kuppen, Mulden etc.)

Felsübersäte Hänge die zugleich Deckung und Aussichtswarten bieten, prägen den Lebensraum des Alpenschneehuhns (LINDNER, 1977). Daneben sind unterschiedliche Hangneigung (meist 10 – 45°) und Exposition sowie abwechslungsreiche mikroklimatische Bedingungen erforderlich (SCHÖNBECK, 1955; HUBER & INGOLD, 1991). Auch scheinen die Alpenschneehühner von Eis und Schnee förmlich angezogen zu werden

und suchen daher vorzugsweise schattige Schneetälchen auf (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1962; HÖHN, 1969). Die Vegetation setzt sich aus Alpenrosen, Heidekraut, Krüppelsträuchern, Zwergweiden sowie Heidel- und Preiselbeeren zusammen (LINDNER, 1977).

Zur Brutzeit bewohnt das Alpenschneehuhn die alpine Stufe und wandert nach dem Schlüpfen der Jungen in die höheren Lagen der Subnivalstufe hinauf (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973). Bei Einbruch des Winters zieht es sich wieder in tiefere Lagen zurück (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1962).

Sommerlebensraum/Brutgebiet:

Im Sommer bevorzugen die Alpenschneehühner weitgehend kühle, eher feuchte und zum Teil schneereiche Blockfelder in Nordhängen und meiden die warmen, trockenen Südhänge (SLOTTA–BACHMAYR & WINDIG, 1994; BERTERMANN et al., 1998).

Alpenschneehühner wählen für ihre Brutplätze in der Regel die Nähe von hochgelegenen Schneefeldern. Vereinzelt Brutvorkommen finden sich auch im Randbereich von Latschengruppen (HAFNER, 1993). SCHÖNBECK (1955) gibt für die Nistplätze unterschiedliche Standorte wie Legföhren, Almrauschgestrüpp oder Grünerlen an. Ungleich regelmäßiger finden sich die Nester aber zwischen Geröll und Felsblöcken.

Winterlebensraum:

Im Winter findet man die Alpenschneehühner an steilen Runsen und an vom Wind schneefrei gefegten Rippen und Graten zwischen 1800 m und 3000 m Seehöhe, nach Schneefällen manchmal auch in Grünerlengebüschen der tieferen Lagen. Steile, rasch ausapernde Südhänge werden zu dieser Jahreszeit bevorzugt (GLUTZ v. BLOTZHEIM et al., 1973; HAFNER, 1993; SACKL & SAMWALD, 1997).

Nach GLUTZ v. BLOTZHEIM et al. (1973) halten sich Alpenschneehühner gelegentlich auch an Abfallplätzen von Gasthäusern und Touristenraststätten auf. Unregelmäßige Störungen durch Touristen vor allem während der Paarungs- und Brutzeit wirken sich auf Dauer negativ aus (HÖHN, 1969). ZEITLER (1995) beobachtete, dass die Alpenschneehühner nach einem Zusammentreffen mit Menschen ihr zuvor ausgewähltes Gebiet für den Rest des Tages verließen, bei wiederholten Interaktionen sogar für Tage oder Wochen.

#### *F-1.1.2.3      Gamswild (*Rupicapra rupicapra*)*

Der Lebensraum von Gamswild erstreckt sich von aufgelockerten Waldgrenzbereichen bis ins Hochgebirge (DEUTZ und GRESSMANN, 2001). Gamswild kann in Rudel von über 100 Stück beobachtet werden. Die Größe des Bestandes ist von der Überschaubarkeit des Geländes abhängig (SCHNIDRIG-PETRIG und SALM, 1998). Das Leben im Rudel verschafft den Gämsen Vorteile bei feindlichen Angriffen. Das Sicherheitsgefühl ist in der Gruppe höher. Felsen und ein übersichtliches Gelände sind für das Sicherheitsbedürfnis des Gamswildes sehr wichtig und beeinflussen auch ihr Fluchtverhalten (KNAUS und SCHRÖDER, 1975). Im Spätsommer befindet sich Gamswild in den höchsten Regionen. Mit den ersten Schneefällen ziehen sie in die Wintereinstände. Im April und Mai findet man Gamswild auch in tiefen Tallagen, wo die erste frische Grünäsung aufgenommen wird und dann mit den grünenden Pflanzen wieder in die Höhe zu ziehen. Die Tragzeit beim Gamswild beträgt 180 bis 190 Tage. Die Gämsen bringen ihre Jungen in Felsnischen mit gutem Ausblick zur Welt.

#### F-1.1.2.4 Steinwild (*Capra ibex*)

Das Steinwild lebt meist ganzjährig oberhalb der Waldgrenze. Es bevorzugt niederschlagsärmere Gebiete, da es sich an hohe Schneelagen durch sein hohes Gewicht und seine relativ kurzen Läufe schlecht anpassen kann (DEUTZ und GRESSMANN 2001). Im Vergleich zu Gamswild leben vor allem Steingeißeln eher in felsigem Gebiet. Steinwild wurde seit 1936 in der Steiermark ausgesetzt. Die erste Aussetzung erfolgte in Wildalpen und diese Kolonie existiert noch heute. In den folgenden Jahren wurden noch mehrere Aussetzungen in den unterschiedlichsten Gebieten durchgeführt. Derzeit befinden sich in der Steiermark mehrere Kolonien mit insgesamt rund 700 Tieren. Der jährliche Zuwachs liegt zwischen 6 und 16,5% (GRESSMANN 1997). Die Kolonie der Sölkttäler in den Niederen Tauern erlitt 10 Jahr nach ihrer Aussetzung durch Räude einen schweren Rückschlag. Von 75 Stück blieben nur mehr 15 bis 20 Stück übrig und die Kolonie erreichte in den nachfolgenden Jahren nie mehr die Stückzahl, die sie vor dem Räudeeinbruch erlangt hatte. Wie Untersuchungen an Dickhornschafen zeigen, sind kleine Populationen mit weniger als 50 Tieren auf Dauer vom Aussterben bedroht. Populationen von über 100 Stücke gelten als gesichert (ZEILER, 1996). Die Populationsgröße hat also einen entscheidenden Einfluss auf das Überleben einer Kolonie. Beim Steinwild ist die genetische Variabilität stark eingeschränkt, da diese Wildart kurz vor der Ausrottung stand und bei der Neugründung von Kolonien wieder nur ein Bruchteil der genetischen Vielfalt der Ausgangspopulation erhalten blieb (HARTL, 1987). Steinwild reagiert zum Teil auch sehr empfindlich auf Umwelteinflüsse, was durch die spezielle Populationsökologie dieser Wildart noch verstärkt wird (FILLI, 2002).

Folgende Faktoren sind nach GRESSMANN et al. (2000) vor allem für die Lebensraumbeurteilung von Steinwildwinterlebensräumen relevant, da diese Faktoren freiliegende Gräser bewirken:

##### Exposition:

Die Sonneneinstrahlung ist an südseitigen Hängen stärker, darum schmilzt der Schnee schneller und das Steinwild kann Energie sparen.

##### Hangneigung:

Die meisten Lawinen bilden sich nur an Hängen mit weniger als 40° Hangneigung. Der Schnee rutscht ab dieser Neigung ständig ab, es können sich auf diesen Flächen keine größeren Schneemassen bilden und das Steinwild gelangt leichter zur Pflanzendecke. Das Freischlagen von Äsung ist im steilen Gelände auch leichter. Bei zu großer Hangneigung nimmt jedoch das Nahrungsangebot rasch ab.

##### Felsanteil:

Das ganze Fluchtverhalten von Steinwild ist auf Felsen ausgerichtet und deshalb entspricht felsiges Gebiet am besten dem Sicherheitsbedürfnis dieser Tiere. Während der Schneefälle bietet Fels einen wichtigen Einstand. In der Nähe von Felsen gelangen die Tiere leichter zu der Pflanzendecke. Die Sonneneinstrahlung führt zu einer Erwärmung der Felsen, wodurch der Schnee in der Nähe von Felsen rascher schmilzt.

##### Nichtwaldanteil:

Ein dichter Baumbestand verhindert das Abrutschen und verzögert dadurch die Schmelze des Schnees. Ein geringer Baumbestand wirkt sich positiv aus, da er als Witterungsschutz dienen kann.

## F-2 Material und Methoden

### F-2.1 Temperaturveränderungen

Damit eine Aussage über die Temperaturentwicklung für die Zukunft gemacht werden kann, ist es hilfreich, die Entwicklung in der Vergangenheit zu betrachten. Dafür genügen nicht einzelne Jahre, sondern durch Berücksichtigung mehrerer Dekaden erhält man einen besseren Überblick, um die aktuelle Entwicklung besser einordnen zu können. Weiß man über die aktuellen Temperaturverhältnisse bescheid, kann mit Hilfe eines Klimamodells eine Annahme für die zukünftige Entwicklung der Temperatur getroffen werden.

### F-2.2 Temperaturdaten der ZAMG

Für die Untersuchung der Temperaturentwicklung sind Monatsmittelwerte der letzten 50 Jahre von Messstationen der Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik Wien (ZAMG) herangezogen worden. Die Messstationen sind über ganz Österreich verteilt.

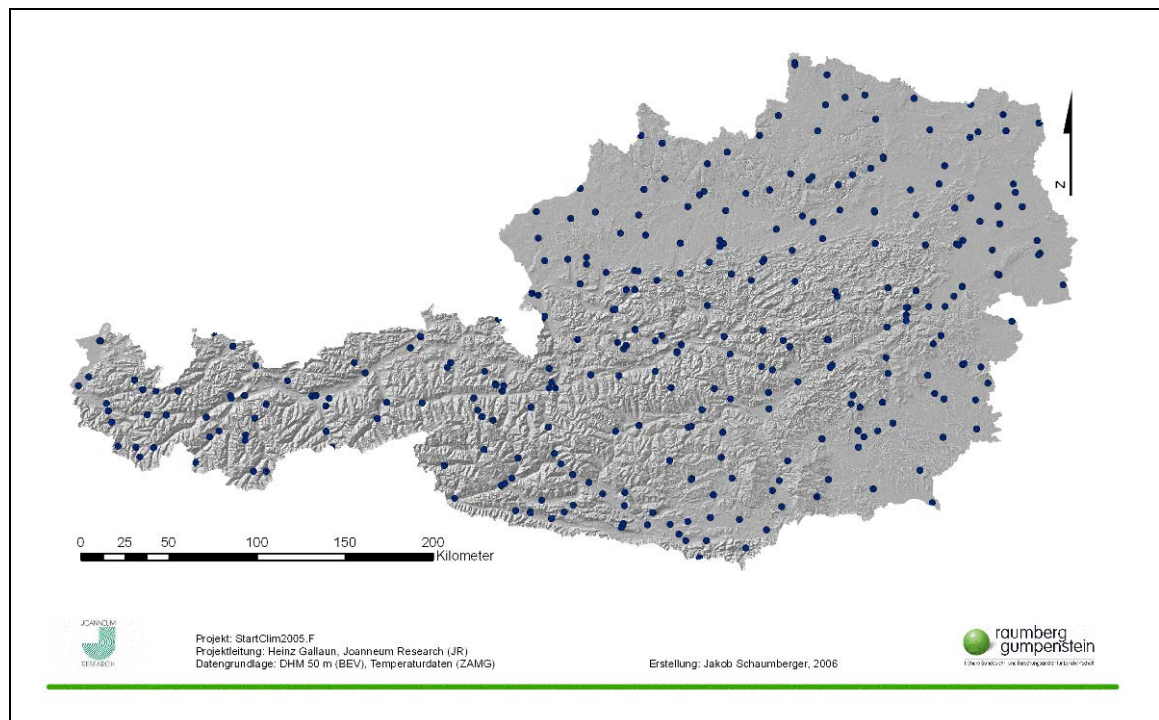


Abb. F-3: Verwendete Wettermessstationen der ZAMG

Durch die Verwendung der Monatsmittel werden räumlich bedingte tägliche Einflüsse geglättet, sowie die Handhabung mit dieser ohnehin schon großen Datenmenge erleichtert.

#### F-2.2.1 Definition von Zeiträumen und Gruppierung in Dekaden

Für weitere Bearbeitungen werden die Monate Mai bis Oktober ausgewählt, da sie der Wachstumsperiode gut entsprechen. Aus diesen Monaten wird ein Mittelwert gebildet und wiederum ein Mittel aller Wachstumsperioden für eine Dekade errechnet. Temperaturdaten einer Messstation können nur dann für die Mittelwertbildung herangezogen werden, wenn eine durchgehende Messreihe für die jeweilige Dekade vorliegt. Dadurch werden für die einzelnen Dekaden unterschiedlich viele Messstationen herangezogen.



So können z.B. für die Dekade 1950 bis 1960 117 und für die Dekade 1980 bis 1990 151 Messstationen verwendet werden. Diese Daten geben nur über die Temperatur an der jeweiligen Messstation Auskunft, darum muss eine geeignete Methode gefunden werden, mit der diese „Punktdaten“ auf die Fläche umgelegt werden können.

### **F-2.2.2 Höhenabhängige räumliche Interpolation**

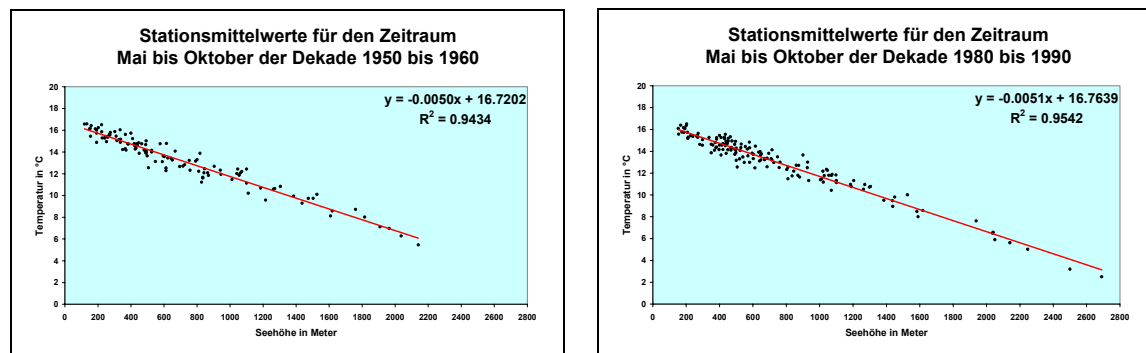
Temperaturdaten weisen eine lineare Höhenabhängigkeit auf, welche von OZENDA (1988) als Mittelwert für unterschiedliche Gebiete mit  $0,55^{\circ}\text{C}$  Abnahme pro hundert Meter angegeben wird. Dieser Gradient ist nahezu eine Universalkonstante, welche durch lokale Bedingungen aufgrund des unregelmäßigen, hügeligen Reliefs verzerrt werden kann. Diese Abweichungen überschreiten selten  $\pm 1^{\circ}\text{C}$  (OZENDA, 1988).

#### **F-2.2.2.1 Ableitung der Methodik**

In BARTELME (2005) wird ein Ansatz vorgestellt, bei dem nur die Abweichungen einer linearen Trendfunktion ausgeglichen werden. Dieser Ansatz wurde von SCHAUMBERGER (2005) aufgegriffen und für die räumliche Interpolation von Temperaturdaten angewendet. BLÖSCHL und MERZ (2002) bezeichnen diese Methode als „Georegression“, beziehen sich auf OBLED (1990) und GOOVAERDS (2000) und wird angewandt, wenn z.B. eine Höhenabhängigkeit einer Größe gegeben ist. Dabei wird eine Regression zwischen der zu interpolierenden Größe (z.B. Temperatur) und einer Zusatzvariablen (z.B. Seehöhe) aufgestellt. Durch eine Regressionsgleichung wird für alle Punkte (Messstationen), an denen Zusatzinformationen vorhanden sind, Werte errechnet. Die Residuen die sich aus der Differenz von beobachtetem und errechnetem Wert ergeben, werden räumlich interpoliert und dem Ergebnis der Regressionsgleichung hinzugezählt (BLÖSCHL und MERZ, 2002).

#### **F-2.2.2.2 Regressionen**

Für jede Dekade wurde eine Regression errechnet. Die Steigungen der Regressionsgeraden entsprechen sehr gut dem von OZENDA (1988) angegebenen Temperaturgradienten.



**Abb. F-4:** Regressionsgeraden für die Dekaden 1950 bis 1960 und 1980 bis 1990

#### **F-2.2.2.3 Höhenabhängiger Temperaturanteil**

Aus den ermittelten linearen Funktionen für jede Dekade wird der höhenabhängige Anteil der Temperatur errechnet. Mit Hilfe von GIS lässt sich in so eine Funktion das Digitale Höhenmodell (DHM) einsetzen und erhält darauf für jede Rasterzelle die höhenabhängige Temperatur.

Die Geradengleichung lautet:  $y = k \cdot x + d$

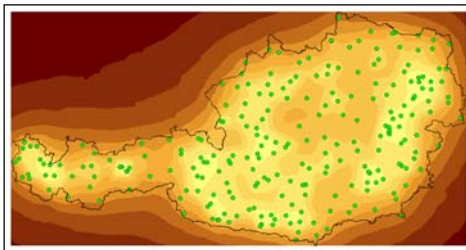
In der Gleichung entspricht die Steigung  $k$  dem Temperaturgradienten und drückt die Höhenabhängigkeit der Temperatur aus.  $k$  gibt an, wie stark die Temperatur ( $x$ ) mit der Höhe ( $y$ ) abnimmt.

#### *F-2.2.2.4      Interpolation der Residuen*

Die Abweichungen (Residuen) der Messwerte von der Regressionsgeraden werden räumlich interpoliert. Die Interpolation wird mit dem „Geostatistical Analyst“ in ArcGIS (ESRI) durchgeführt. Für die vorliegende Problemstellung hat sich die Interpolationsmethode „Ordinary Kriging“ als besonders geeignet erwiesen.

Kriging beruht auf einem geostatistischen Interpolationsmodell, das aus Distanz sowie Richtung der Werteverteilung (Anisotropie) eine räumliche Korrelation bestimmt, welche für die Bildung einer Oberfläche herangezogen wird.

Es wird eine passende Funktion erstellt, die durch Einbeziehung einer definierten Anzahl von Nachbarwerten und deren statistischen Auswertungen neue Werte für den nicht beobachteten Raum bestimmt (vergleiche CHILDS, 2004).



Geostatistische Techniken können aufgrund der statistischen Eigenschaft der gemessenen Daten neben der vorhergesagten Oberfläche auch Fehler oder Unsicherheiten als Oberflächen darstellen, welche einen Überblick über die Qualität der Vorhersagen schaffen (JOHNSTON et al., 2001).

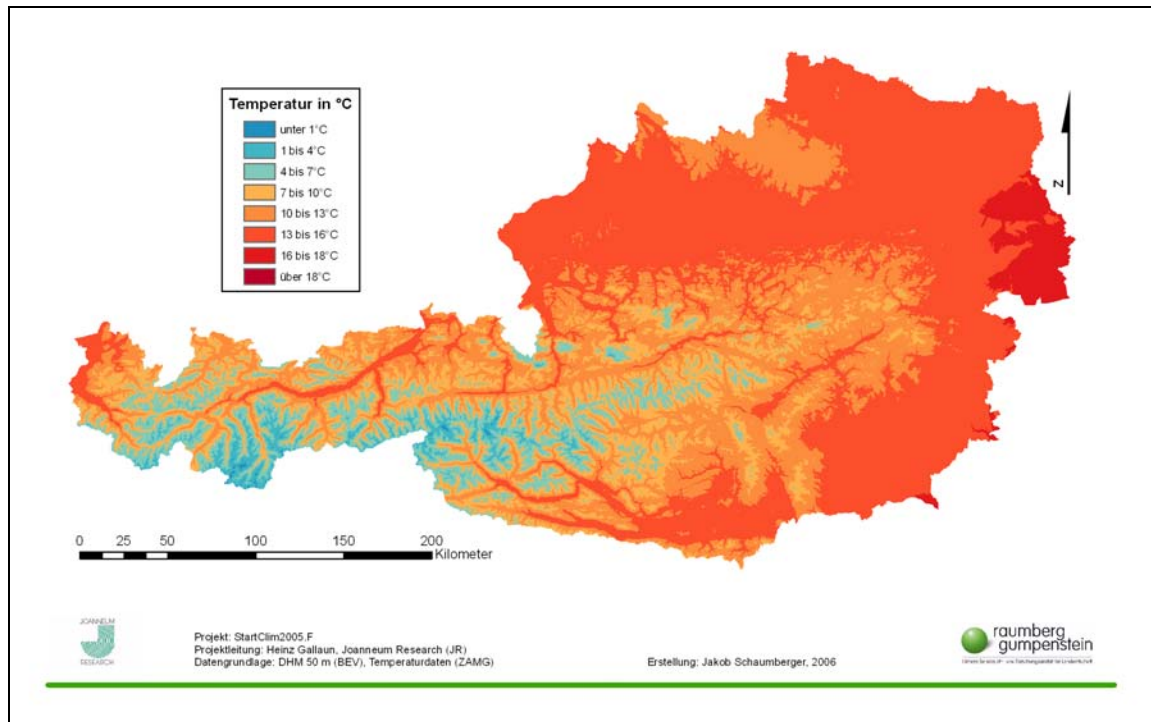
**Abb. F-5:** Oberfläche über die Qualität der Interpolation (hellere Flächen – geringere Fehler)

#### *F-2.2.2.5      Addition der Residuen mit der höhenabhängigen Temperatur*

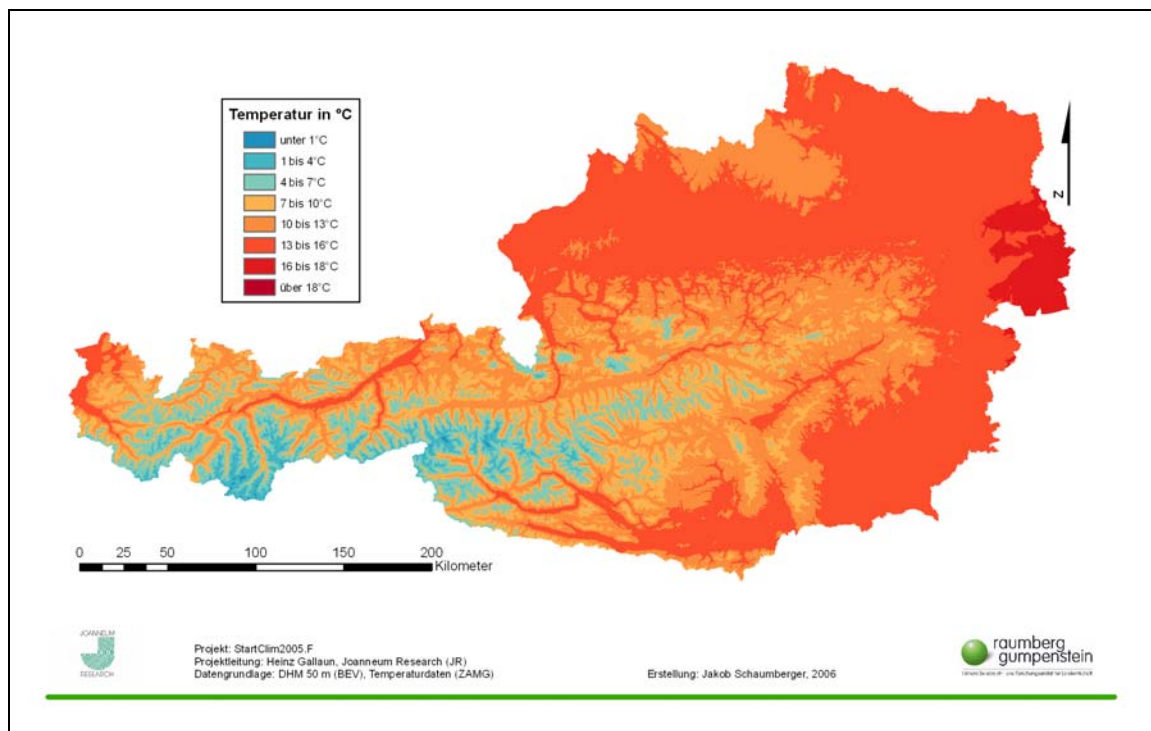
Das Ergebnis der Interpolation der Residuen wird dann zur höhenabhängigen Temperatur addiert und man bekommt damit einen Temperaturraster, der nicht nur die höhenabhängige Temperatur, sondern auch lokale Abweichungen berücksichtigt.

In diesem Projekt wurde unter Berücksichtigung der vorhandenen technischen Ressourcen eine Auflösung von 50 Meter gewählt. Die Durchführung der Berechnungen war somit für ganz Österreich in einer vertretbaren Zeit möglich.

F-2.2.2.6 Temperaturveränderungen in den letzten 50 Jahren



**Abb. F-6:** Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1950 bis 1960



**Abb. F-7:** Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1960 bis 1970

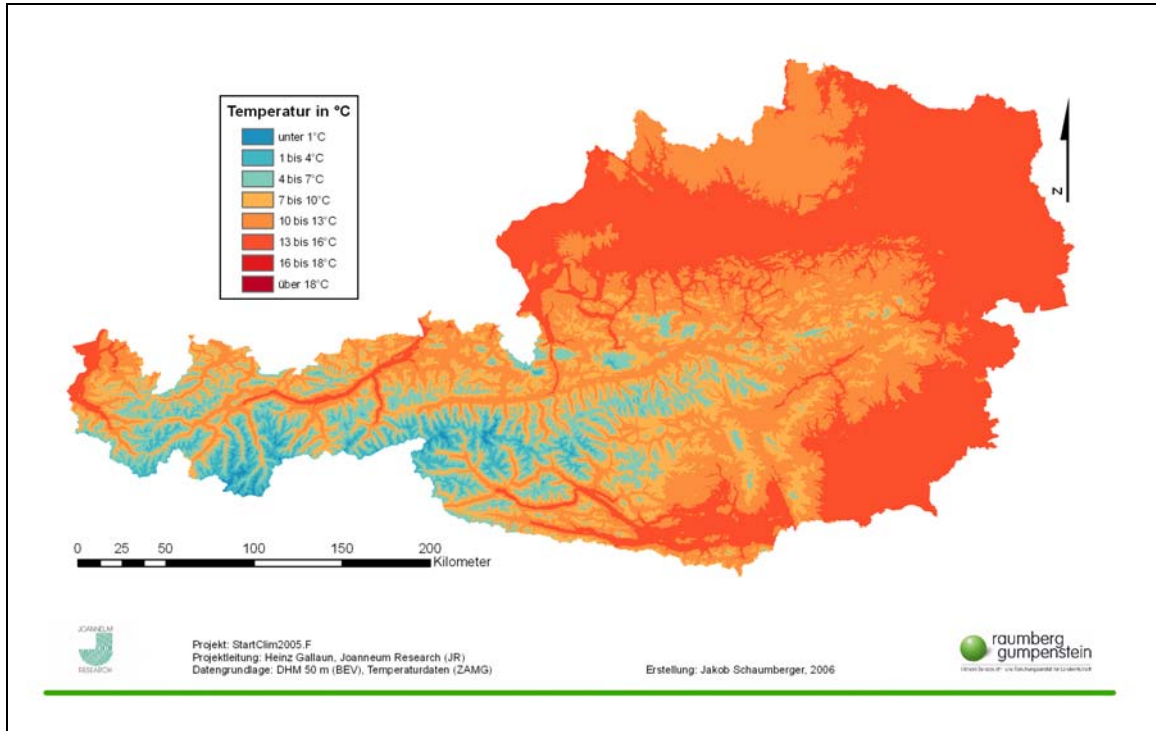


Abb. F-8: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1970 bis 1980

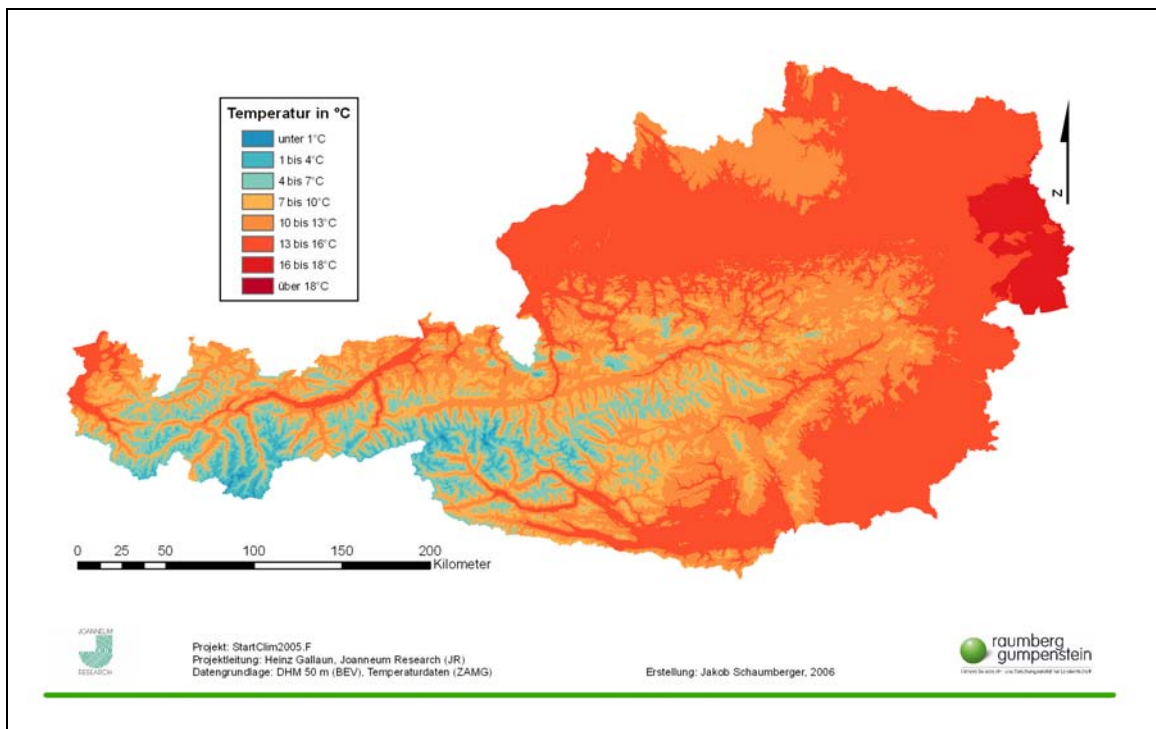
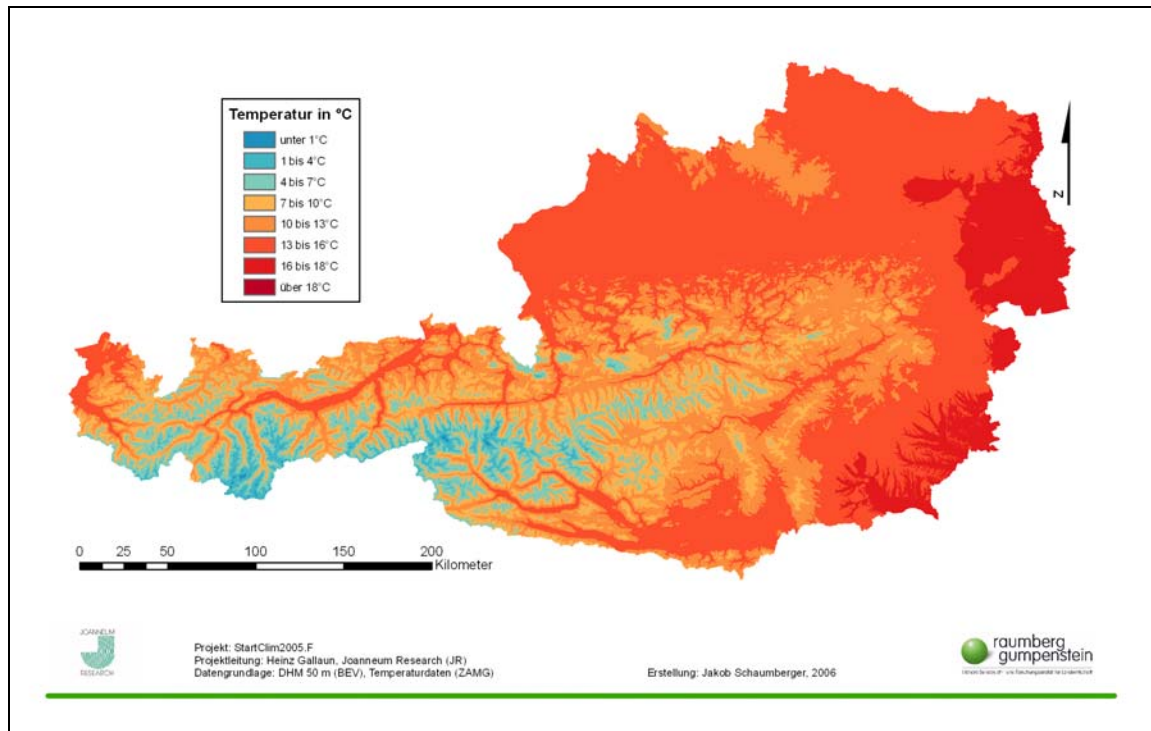
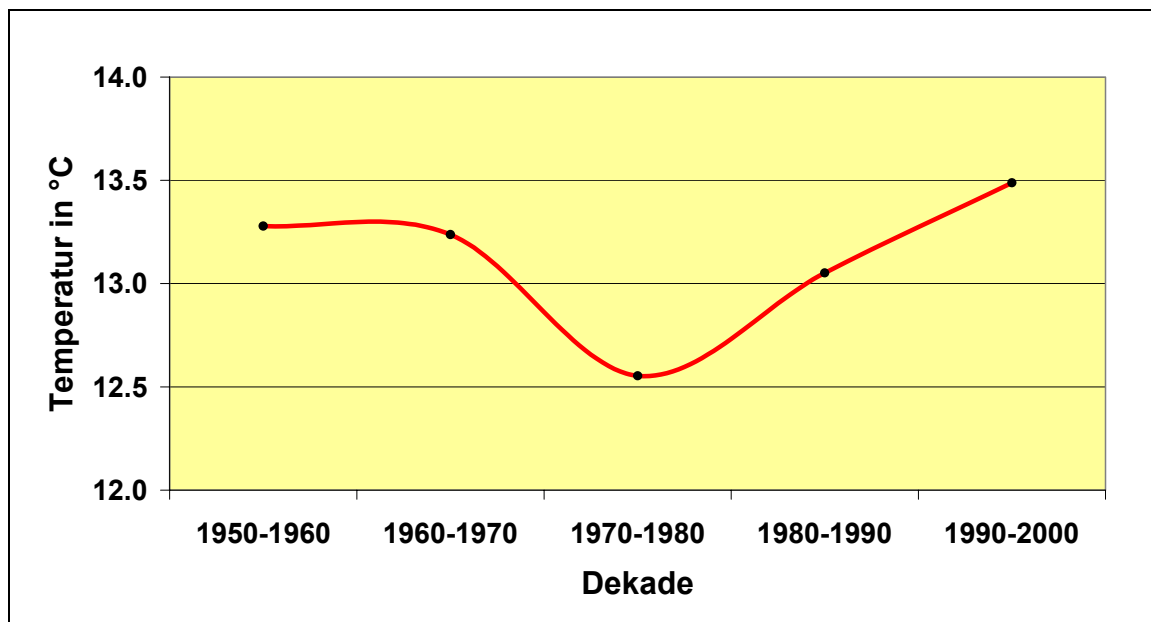


Abb. F-9: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1980 bis 1990



**Abb. F-10:** Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1990 bis 2000

Die Temperaturentwicklung der 5 Dekaden in der Vergangenheit lässt bis zur Dekade 1970 bis 1980 einen Temperaturrückgang feststellen. Seit dieser Dekade stieg die Temperatur wieder an.



**Abb. F-11:** Temperaturentwicklung der vergangenen 5 Dekaden

### F-2.3 Klimamodell MM5

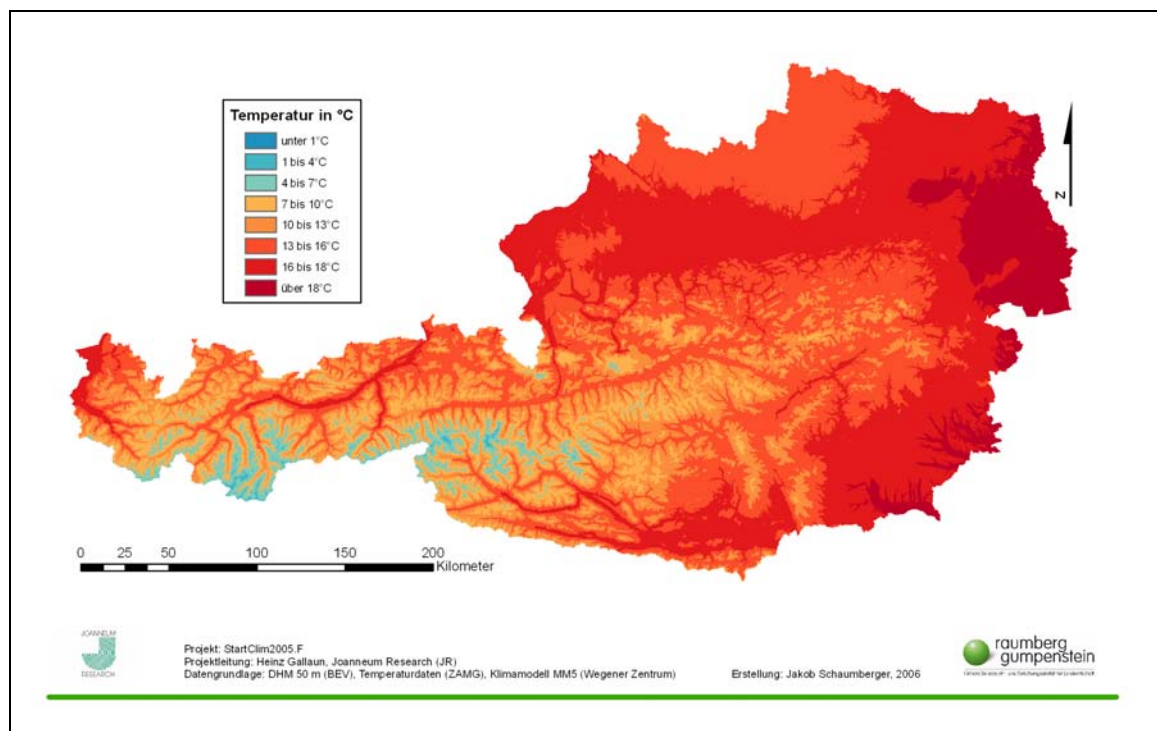
Für die Annahme der künftigen Erwärmung für die Dekade 2040 bis 2050 wurde das Klimamodell MM5 verwendet. Dieses Klimamodell ist ein regionales Klimamodell, wurde in den USA entwickelt und im Rahmen des Projektes „Research for Climate Protection: Model run evaluation“ (reclip:more), an dem das Wegener Zentrum Graz beteiligt ist,



mit dem französischen Klimamodell ALADIN verglichen und für den Alpenraum verfeinert (RECLIP:MORE TEAM, 2006). So wurden für das Gebiet der Ostalpen Ergebnisse für die Dekade 1981 bis 1990 und für die Dekade 2041 und 2050 in einer Auflösung von 10 Kilometer erzielt (GOBIET et al. 2006).

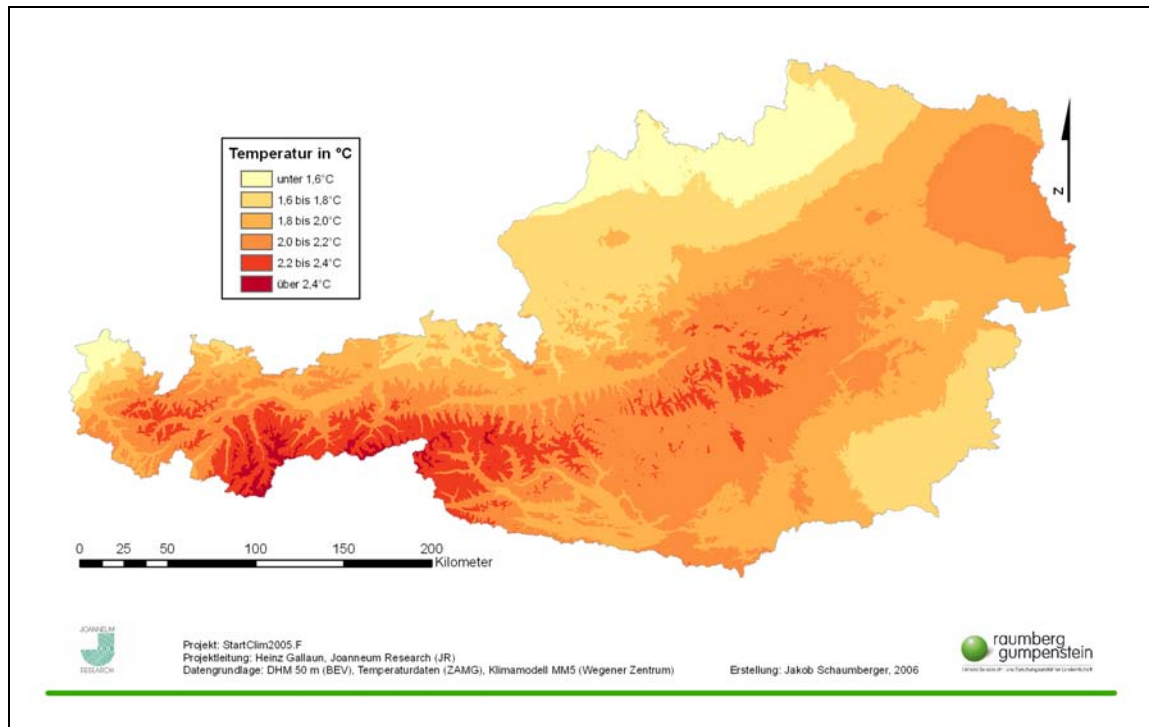
### F-2.3.1 Datenaufbereitung

Die Differenzwerte der im reclip:more herangezogenen Dekaden wurden vom Wegener Zentrum für dieses StartClim Projekt in der Auflösung von 10 Kilometer zur Verfügung gestellt. Diese Temperaturdaten beziehen sich auch auf den Zeitraum Mai bis Oktober. Für alle 10 Kilometer liegt ein Punkt mit einem Differenzwert vor. Diese Punktdaten werden mittels Interpolation in ein Raster mit einer Auflösung von 1000 Meter transformiert. Aus diesem Temperatur raster werden die interpolierten Differenzwerte des MM5 Klimamodells an den ZAMG-Messstation extrahiert, die für die Berechnung der Temperatur in der Dekade 1980 bis 1990 verwendet werden konnten. Diese Differenzwerte werden den errechneten Mittelwerten der ZAMG Daten für die Dekade 1980 bis 1990 hinzugezählt und so wie die Temperaturdaten der ZAMG in den anderen Dekaden mittels Kriging interpoliert. Als Ergebnis erhält man Temperaturdaten für das Gebiet von Österreich für die Dekade 2040 bis 2050 in einer Auflösung von 50 Meter.



**Abb. F-12:** Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 2040 bis 2050

Das Szenario für die Dekade 2040 bis 2050, das vom Klimamodell MM5 abgeleitet wird, zeigt eine deutliche Erwärmung. Für das Gebiet von Österreich bedeutet das eine durchschnittliche Erwärmung von ca.  $2^{\circ}\text{C}$ . In KROMP-KOLB und FORMAYER (2005) werden Temperaturzunahmen von 2 bis  $4^{\circ}\text{C}$  in Österreich für die nächsten 30 Jahre für möglich gehalten.



**Abb. F-13:** Temperaturveränderung von Dekade 1990 bis 2000 zur Dekade 2040 bis 2050 (Klimamodell MM5)

Es wird in KROMP-KOLB und FORMAYER (2005) auch darauf hingewiesen, dass die Erwärmung im Gebirge stärker ausfällt, das auch in der Karte Abb. F-13, zu erkennen ist.

## F-2.4 Waldgrenze

### F-2.4.1 Definition der Waldgrenze

Es gibt eine klimatische Grenze, bis zu welcher Seehöhe Baumwachstum im Gebirge möglich ist. In dieser Höhe wird eine Holzpflanze erst dann als Baum angesehen, wenn sie an den meisten Standorten über die mittlere Schneehöhe hinausragt und den rauen Bedingungen des Winters frei ausgesetzt ist (ELLENBERG, 1996). Eine genaue Grenzhöhe kann nicht angegeben werden, jedoch lässt sich laut ELLENBERG (1996) nach HOLTMEIER ein zwei Meter hoher Stamm schon als Baum bezeichnen. Im subalpinen Bereich ist es schwierig eine allgemeine Definition für Wald zu finden. Verschiedene Autoren bearbeiteten diese Thematik und bezeichnen einen Baumbestand mit einem Kronenschluss über 50% und über fünf Meter Höhe, sowie eine Fläche von zumindest einem Ar als Wald. Für ELLENBERG (1996) ist diese Definition doch etwas zu eng gefasst, er würde einen Kronenschluss auch schon von 30 bis 40% als Wald ansehen (ELLENBERG, 1996).

Es kann weiters eine Unterscheidung zwischen Waldgrenze und Baumgrenze gemacht werden. Bis zur Waldgrenze reichen zahlreiche Bäume als geschlossener Bestand und bis zur Baumgrenze können vereinzelt freistehende Bäume vorkommen. An sehr sonnenexpositionierten, felsigen Stellen reichen vereinzelt Zirben, Lärchen oder Fichten über die Baumgrenze hinaus, bleiben aber aufgrund des eingeschränkten Wachstums „Krüppel“. Die Verbindungslinie dieser Holzpflanzen wird als „Krüppelgrenze“ bezeichnet (ELLENBERG, 1996).

Die Wald- und Baumgrenze ist entweder natürlich ausschließlich durch klimatische Einflüsse entstanden oder durch den Einfluss von Mensch und Vieh heruntergedrückt worden (ELLENBERG, 1996).

Es ist eine vieldiskutierte Frage, ob die Bäume an der natürlichen, klimatisch bedingten Grenze eine Waldgrenze bilden oder ob dort vereinzelt Bäume die Baumgrenze formen (ELLENBERG, 1996).

In Gebirgen, in denen die Waldgrenze kaum von Menschen beeinflusst wurde, wie z.B. in Norwegen oder in Argentinien, bildete sie eine nahezu geschlossene Front. Diese Tatsache bestärkt eine Theorie in ELLENBERG (1986) von SCHARFETTER (1938), in welcher die klimatische Waldgrenze mit der klimatischen Baumgrenze identisch ist. Abweichungen der Baumgrenze von der Waldgrenze entstehen demnach nur durch Einflüsse von Viehwirtschaft und Holzwirtschaft (ELLENBERG, 1986 nach SCHARFETTER, 1938).

Auch in den Ostalpen decken sich bei geringem Einfluss durch Almbewirtschaftung Waldgrenze und Baumgrenze über weite Strecken (ELLENBERG, 1986 nach MAYER, 1976).

Wie man aufgrund der Literatur erkennen kann, ist es eine Streitfrage, wie man die Waldgrenze definiert und ob über der Waldgrenze noch zusätzlich eine Baumgrenze definiert werden soll. Die klimatische Wald- und Baumgrenze ist die Grenze, bis zu der Wachstum von Bäumen aufgrund des Klimas möglich ist. Man kann diese Grenze auch als potentielle Waldgrenze bezeichnen. Der Verlauf der tatsächlichen Waldgrenze liegt meist unter der potentiellen Waldgrenze und wurde durch die Bewirtschaftung des Menschen mitgestaltet. Aber auch durch verschiedene Einflüsse, wie z.B. Bodenbeschaffenheit, kann die aktuelle Waldgrenze nach unten gedrückt werden.

Der exakte Verlauf der Waldgrenze ist nur sehr schwer zu modellieren und hängt von sehr vielen verschiedenen Einflüssen wie Bewirtschaftung, Boden, Exposition, Niederschlag, Kleinklima, usw. ab. Darum muss abstrahiert werden und dafür eignet sich am besten der potentielle Verlauf der Waldgrenze. Im nächsten Schritt muss herausgefunden werden, mit welchen Parametern die Waldgrenze modelliert werden kann. Es muss herausgefunden werden, durch welche Faktoren die Waldgrenze beeinflusst werden kann. Im Hinblick auf die Fragestellung, ob die Waldgrenze aufgrund Klimaveränderung ansteigen könnte, wird der Einfluss des Klimas genauer untersucht.

#### **F-2.4.2 Waldgrenze und Klima**

Welchen Einfluss das Klima auf die Waldgrenze hat, ist nicht sehr leicht zu beantworten. In ELLENBERG (1986) wird darauf hingewiesen, dass nicht der Einfluss einzelner Faktoren, sondern der gesamte Klimacharakter als natürliche Ursache für die Höhengrenze des Waldes verantwortlich gemacht werden kann.

Einer dieser Faktoren, die auf den Wald wirken, ist die Temperatur. Ihr wird eine sehr große Bedeutung für die vertikale Verbreitung von Bäumen zugeschrieben.

Alpine Pflanzen erleiden selten Wassermangel, denn Niederschläge nehmen bis in eine Seehöhe von 4000 Meter zu, bzw. die Pflanzen haben genügend Anpassungen entwickelt, um auch längere Trockenperioden problemlos überstehen zu können. Im Frühjahr enthalten Feinerdeböden über der Waldgrenze genug Wasserreserven, um für die ganze Vegetationsperiode ausreichend Wasser bereitstellen zu können. Nur an schneefreien und windreichen Standorten kann bei starker Erwärmung Trockenheit negativ auf das Wachstum einwirken (vergleiche ELLENBERG, 1996).

Von den Komponenten, die das Gebirgsklima bestimmen, ist die Abnahme der Temperatur vom ökologischen Standpunkt aus der wichtigste Faktor (OZENDA, 1988).

„Der höhenbedingte Temperaturrückgang verursacht eine Reduktion der Photosynthese, die in Grenzlagen innerhalb von wenigen Metern um die Hälfte zurückgehen kann... Die Assimilation ist auf einige Monate im Jahr beschränkt.“(OZENDA, 1988)

Es ist allgemein anerkannt, dass Wärmemangel ein Schlüsselfaktor für das Wachstum, die Verjüngung und das Überleben von Bäumen ist (PEZZI und FERRARI, 2004 nach KÖRNER, 1998).

Pflanzen im alpinen Raum befinden sich an ihren Kältengrenzen, eine Erwärmung wirkt sich hier besonders stark aus (GRABHERR et al. 2003).

In OZENDA (1988) wird die vertikale Verschiebung der biologisch definierten Vegetationsstufen von der Temperatur abhängig gemacht. In Untersuchungen wurde gezeigt, dass ein Unterschied von einem Breitengrad (111 km) eine Höhendifferenz von 111m bewirkt. Dies ist lediglich eine Faustregel und gilt nur zwischen dem 30. und 60. Breitengrad (OZENDA, 1988).

Aber nicht nur die Abhängigkeit der Höhe der Waldgrenze von den Breitengraden wurde von OZENDA (1988) festgestellt sondern ELLENBERG (1986) hebt auch den kontinentalen Einfluss hervor.

Kontinentales Klima begünstigt eine höhere Waldgrenze, wie man sie in den Innenalpen oder der zentralen Tatra feststellen kann. Das kann auf hohe Temperaturen im Sommer während der hellen Tagesstunden zurückgeführt werden. Tage mit einem Temperaturmittel über 10°C mit günstigen Photosynthesebedingungen bei gleicher Seehöhe sind in den Zentralalpen wesentlich häufiger als in den Randalpen (ELLENBERG, 1986).

Die unterschiedlichen Einflüsse, begründet durch Breitengrade und kontinentale Bedingungen, lassen sich im Wesentlichen auf die herrschenden Temperaturverhältnisse zurückführen. Natürlich gibt es auch andere wichtige Einflüsse, aber ein sehr großer dürfte doch mit der Temperatur begründet werden können.

Auch in KÖRNER (1999) wird auf einen Zusammenhang der Temperatur mit den Breitengraden hingewiesen. Bewegt man sich entlang eines Längengrades in niedrigere Breitengrade so können unter anderen höhere Temperaturmittelwerte, geringere Temperaturschwankungen, längere Wachstumsperioden, höherer Sonnenstand, häufig Abnahme von Bewölkung, Niederschlag und Evapotranspiration beobachtet werden. Im Falle der alpinen Baumgrenze können alle diese Komponenten von Bedeutung sein. Bei bestimmten Temperaturmittelwerten und der Position der Baumgrenze besteht eine angemessene Korrelation (KÖRNER, 1999).

Weiters schreibt KÖRNER (1999) darüber, dass Mittelwerte oft problematisch sind. Oft sind sie jedoch die einzig verfügbaren Informationen, die dazu beitragen, das Phänomen der Baumgrenze besser verstehen zu können. Es ist nicht hilfreich, wenn alle Klimafaktoren berücksichtigt werden müssen und keine Mittelwerte verwendet werden. Damit dieses Problem gelöst werden kann, ist es notwendig, Faktoren nach ihrer Priorität zu reihen bzw. Schlüsselrollen zu bestimmen. Dadurch ist eine erste Approximation möglich, auch wenn später weitere Determinanten für wichtig gehalten werden (KÖRNER, 1999).

In diesem Sinne wird weiter vorgegangen. Die Temperatur wurde aufgrund zahlreicher Literaturzitate für besonders wichtig erkannt. Es muss eine Methode gewählt werden, wie man die Temperatur mit der Waldgrenze in Verbindung bringen kann. Dabei wurde eine Studie von PEZZI und FERRARI (2004) herangezogen, in welcher der Einfluss verschiedenster Temperaturmittelwerte auf die Waldgrenze beschrieben wird.

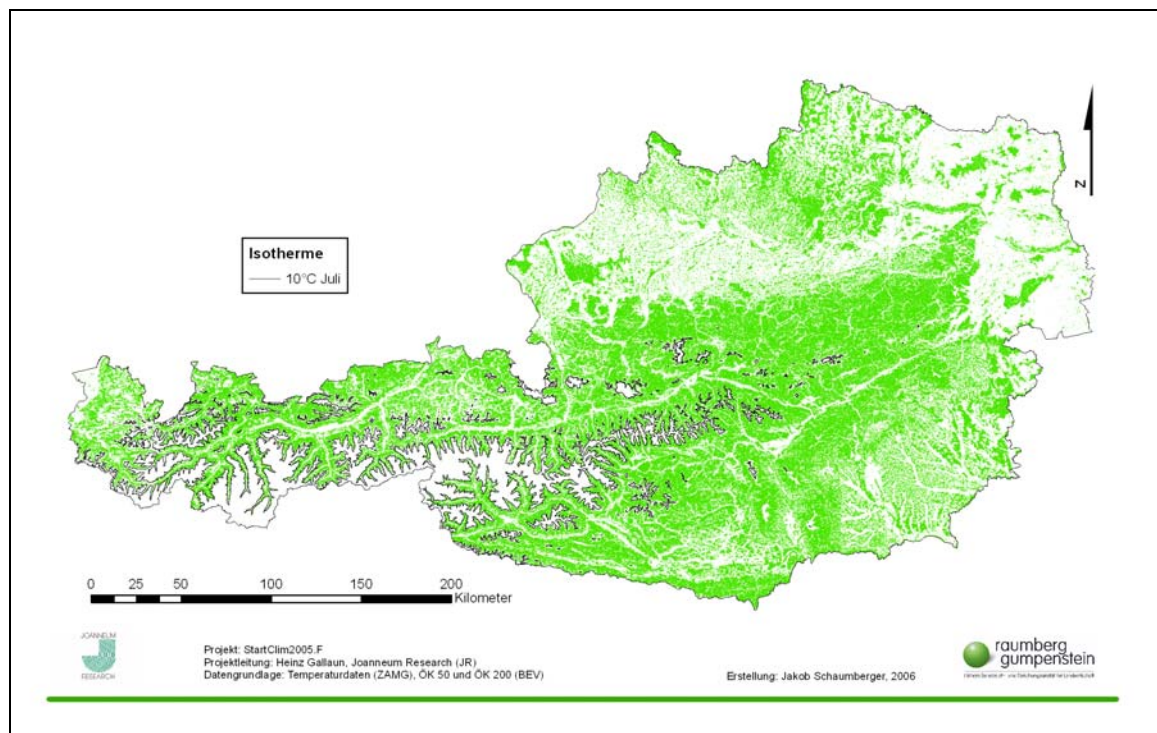
#### **F-2.4.3 Waldgrenze und Isothermen**

Viele Versuche wurden unternommen, die Waldgrenze mit bestimmten Isothermen zu korrelieren. In PEZZI und FERRARI (2004) wird darüber geschrieben, dass von DAU-

BENMIRE (1954) der Nachweis eines Zusammenhanges zwischen der Höhe der Waldgrenze und der mittleren Temperatur des wärmsten Monats ( $10^{\circ}\text{C}$ ) erbracht.

Aufgrund dieser Erkenntnisse wird mittels einer Funktion im GIS eine  $10^{\circ}\text{C}$  Isotherme für den Monat Juli erstellt. Dafür müssen zuvor für ganz Österreich Temperaturmittelwerte des Monats Juli nach dem gleichen Schema höhenabhängig räumlich interpoliert werden, wie das für die Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober für jede Dekade gemacht wurde.

Nach der Erstellung der  $10^{\circ}\text{C}$  Juli Isotherme für die vergangenen Dekaden von 1950 bis 2000 wurde nach einer Möglichkeit gesucht, diese mit der aktuellen Bewaldung zu vergleichen. In den Österreichischen Karten ÖK 50 und ÖK 200 vom Bundesamt für Eich- und Vermessungswesen (BEV) wurde die aktuelle Bewaldung aufgrund von Luftbildern erfasst. Diese Karten liegen als Rasterdatensätze mit verschiedenen Schichten vor. Eine dieser Schichten steht für die Waldfläche und kann im GIS selektiert werden. Durch die Überlagerung der Waldflächen mit den Isothermen kann visuell eine Übereinstimmung für ganz Österreich überprüft werden. (siehe Abb. F-14)



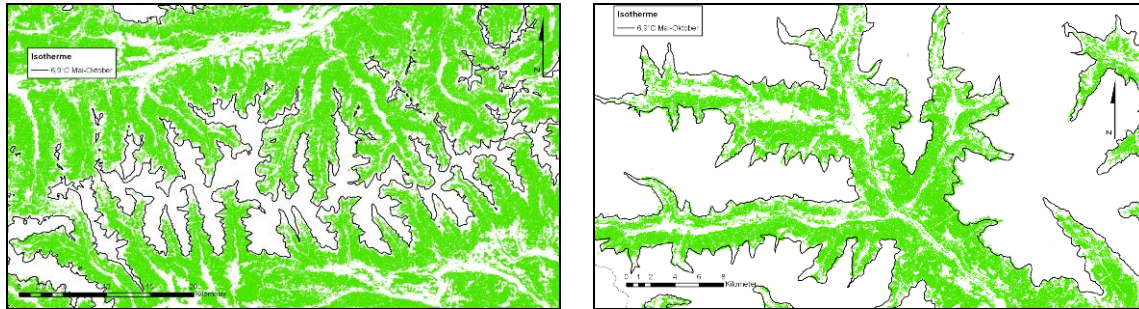
**Abb. F-14:**  $10^{\circ}\text{C}$  Juli Isotherme mit Waldflächen der ÖK 50 und ÖK 200

Weiters wurden die Unterschiede von verschiedenen Isothermen untersucht. Laut KÖRNER (1999) werden durch die Regel des „wärmsten Monats“ die aktuellen Temperaturen der Wachstumsperiode in höheren Breitengraden systematisch überschätzt. Die Abweichungen der „Baumgrenz-Temperaturen“ von der tatsächlichen Baumgrenze sind entlang der Breitengrade bei Heranziehung von Temperaturmittelwerten der Wachstumsperiode geringer als bei Temperaturmittelwerten des wärmsten Monats (KÖRNER, 1999).

Die Abweichungen zwischen Julimittel und Mittel der Wachstumsperiode, von denen in KÖRNER (1999) zu lesen ist, kann bei der Überlagerung der Isothermen festgestellt werden. Die  $10^{\circ}\text{C}$  Juli Isotherme liegt im Bereich nördlich (Salzburg) des Alpenhauptkammes um ca. 30 bis 40 Meter unter der Isotherme der Wachstumsperiode, südlich (Kärnten) ca. 40 bis 50 Meter darüber.

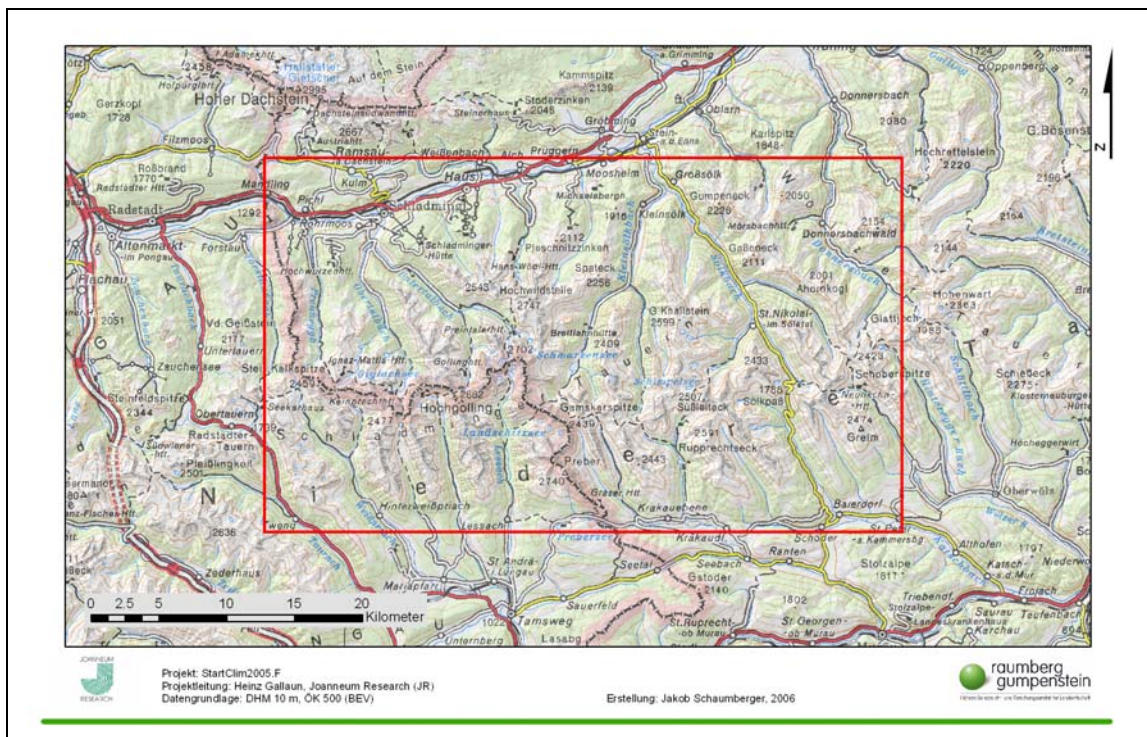


Deshalb werden für die weiteren Schritte in diesem Projekt Temperaturmittelwerte der Wachstumsperiode von Mai bis Oktober herangezogen. So wurde eine Isotherme der Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober visuell an die 10°C Juli Isotherme angenähert. Dabei wurde vor allem eine Übereinstimmung im Bereich des Untersuchungsgebietes gesucht. Man erhält eine Isotherme bei 6,9°C. (siehe Abb. F-15) Dieser Wert liegt in der Mitte des Bereiches von 5,5 bis 7,5°C, für den KÖRNER (1999) die Position der Waldgrenze aufgrund von Temperaturmittelwerte der Wachstumsperiode für möglich hält.

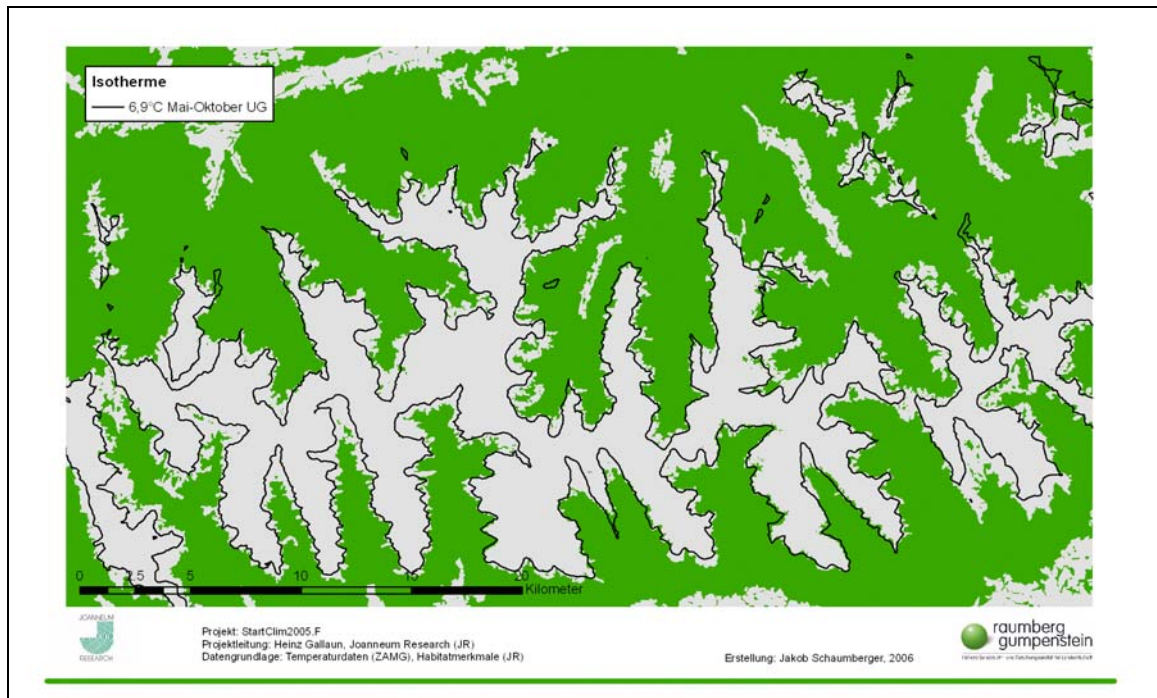


**Abb. F-15:** 6,9°C Mai-Oktober Isothermen mit Waldflächen der ÖK 50 und ÖK 200 im Untersuchungsgebiet und im Gebiet von Mauter in Osttirol

Die Isothermen werden weiters auf kartierte Waldflächen gelegt, die im Rahmen des Projektes von GALLAUN et al. (2006) mittels visueller Luftbildinterpretation ermittelt worden sind und als Parameter für die Habitatmodellierung verwendet wurden. Diese kartierten Waldflächen sind eine sehr genau Bestandesaufnahme der aktuellen Waldflächen im Untersuchungsgebiet. (siehe Abb. F-17) Zunächst soll ein Überblick über das Untersuchungsgebiet verschafft werden. Die weiteren Untersuchungen werden sich mit diesem Gebiet genauer auseinander setzen.



**Abb. F-16:** Untersuchungsgebiet in den Niederen Tauern



**Abb. F-17:** 6,9°C Mai-Oktober Isothermen mit kartierten Waldflächen von GALLAUN et al. (2006)

Die Übereinstimmung der temperaturbedingten Wachstumsgrenze mit der aktuellen Waldgrenze kann gut nachgewiesen werden. Im nächsten Schritt soll eine Veränderung dieser temperaturbedingten Wachstumsgrenze aufgrund der Annahme einer Erwärmung nach dem Klimamodell MM5 untersucht werden.

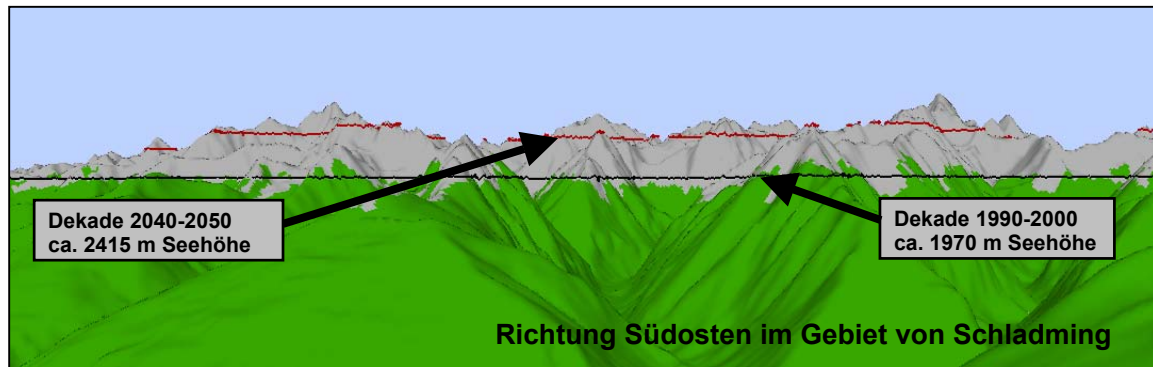
#### **F-2.4.4 Veränderungen der 6,9°C Mai-Oktober Isotherme**

Im Punkt F-2.2.2.6 wurden österreichweite Temperaturkarten in den Abbildungen F-6 bis F-10 und F12 für jede untersuchte Dekade gezeigt. Dabei wurde die Klassifizierung so vorgenommen, dass die roten Bereiche für das Wachstum von Bäumen geeignet sind und die blauen Bereiche kein Wachstum von Bäumen aufgrund der Temperatur zulassen. Die blauen Bereiche befinden sich oberhalb der 6,9°C Mai-Oktober Isotherme.

In der Abbildung F-18 werden die kartierten Waldflächen auf ein dreidimensionales Modell umgelegt und die Isothermen eingezeichnet. Wie man sehen kann, stimmen die kartierten Waldflächen mit dem Verlauf der Isotherme der Dekade 1990 bis 2000 sehr gut überein. In dieser Abbildung kann man auch die Auswirkungen einer Erwärmung nach dem Klimamodell MM5 auf die Lage der Isotherme für die Dekade 2040 bis 2050 feststellen. Der Unterschied beträgt nahezu 450 Höhenmeter.

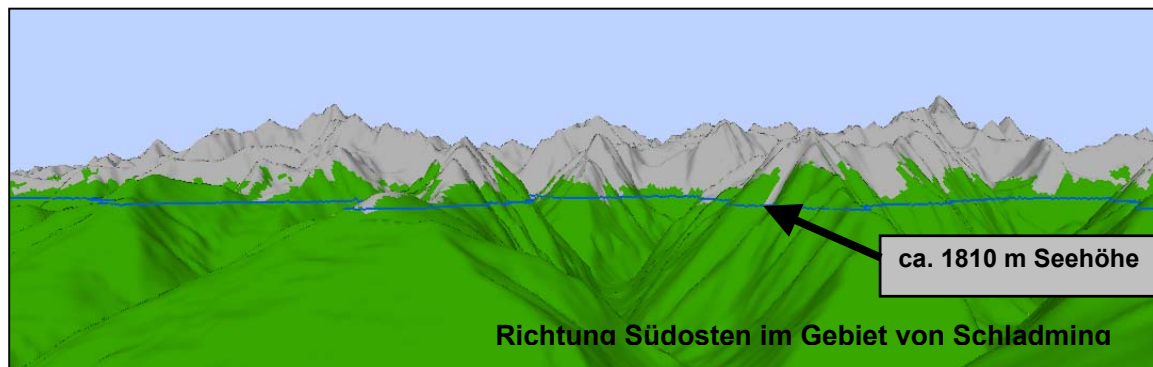
An dieser Stelle wird ausdrücklich darauf hingewiesen, dass sich diese Aussage auf ein Klimamodell stützt. Ob sich das Klima auch wirklich auf diese Weise verändert, ist mit einer großen Unsicherheit behaftet. Alle weiteren Aussagen stützen sich auf das verwendete Klimamodell, diesen Hintergrund soll man bei der Betrachtung der Ergebnisse dieses Projektes nicht unberücksichtigt lassen.





**Abb. F-18:** 6,9°C Mai-Oktober Isothermen der Dekade 1990 bis 2000 und der Dekade 2040 bis 2050 mit kartierten Waldflächen von GALLAUN et al. (2006)

Die Entwicklung der Temperatur zeigt in Abb. F-19 in der Dekade 1970 bis 1980 einen deutlichen Temperatureinbruch. Die 6,9°C Mai-Oktober Isotherme sank im Untersuchungsgebiet auf eine Höhe von ca. 1810 Meter Seehöhe. In NICOLUSSI et al. (2005) wurde im Zuge von dendrochronologischen Untersuchungen festgestellt, dass in der kältesten Periode der zweiten Hälfte des 20. Jahrhunderts (NICOLUSSI et al. 2005 nach BÖHM et al. 2001), in der Dekade von 1970 bis 1980 Bäume abstarben.



**Abb. F-19:** 6,9°C Mai-Oktober Isotherme der Dekade 1970 bis 1980 mit kartierten Waldflächen von GALLAUN et al. (2006)

Diese kalte Periode war allerdings zu kurz, um die Waldgrenze nachhaltig zu verschieben. Durch die Beobachtung des Absterbens von Bäumen, kann man jedoch einen deutlichen Einfluss der Isothermenverschiebung auf die Waldgrenze erkennen.

#### **F-2.4.5 Auswirkungen einer Erwärmung auf die Waldgrenze**

Es ist sehr schwer, eine Aussage darüber zu treffen, wie schnell sich die Waldgrenze unter veränderter Temperatur nach oben bewegen wird.

In HEIRI et al. (2006) wurde in einer Studie erarbeitet, dass die Baumgrenze im Holozän zwischen 2375 und 2600 Meter Seehöhe schwankte. Die Reaktion der Höhe der Baumgrenze auf Temperaturveränderungen erfolgt unmittelbar und kann innerhalb eines Zeitraumes von 50 Jahren erfolgen. Eine abrupte Änderung der Waldgrenze um 50 Höhenmeter nach unten, kann aber auch einen Zeitraum von 150 bis 200 Jahren für das Ansteigen auf die Ausgangshöhe beanspruchen (HEIRI et al. 2006).

In GRACE et al. (2002) wird bei einer angenommenen Erwärmung von 1 bis 5°C für dieses Jahrhundert ein möglicher Anstieg der Baumgrenze von 140 bis 700 Meter für

möglich gehalten. Es wird aber darin die Ansicht vertreten, dass sich die Baumgrenze in 100 Jahren nicht mehr als 100 Meter nach oben bewegen wird.

NICOLUSSI und PATZELT (2006) haben in den letzten 25 Jahren in den Tiroler Zentralalpen eine starke Verjüngung auch über der bereits etablierten Waldgrenze beobachtet. Vor allem die Zirbe reagiert unmittelbar auf verbesserte Klimabedingungen. Wenn es zu keinem Klimarückschlag kommt, wird sich die neue Wald- und Baumgrenze durch diesen Jungwuchs ungefähr 100 bis 150 Meter über jener der zur Mitte des 19. Jahrhunderts vorhandenen einstellen (NICOLUSSI und PATZELT, 2006).

Es kann davon ausgegangen werden, dass der Anstieg der Waldgrenze nicht so schnell vor sich gehen wird, wie die Isothermen nach oben steigen. Hält die Klimaerwärmung jedoch an, dann ist es nur eine Frage der Zeit, bis die Waldgrenze die vorhergesagte Isotherme für die Dekade 2040 bis 2050 erreichen wird.

### F-2.5 Wissensbasierte Habitatmodelle auf Landschaftsebene

Zur Einschätzung der Habitateignung bzw. Ableitung von Potenzialarealen (potenziellen Vorkommensgebieten) wurden für folgende 4 Tierarten Habitatmodelle erstellt:

- Alpenschneehuhn
- Birkhuhn
- Gamswild
- Steinwild

Dabei wurden wissensbasierte Habitatmodelle erstellt, wobei die Definition der entsprechenden Regeln anhand von Literaturrecherchen und der Fachexpertise der beteiligten Wildökologen erfolgte. Im Gegensatz zu fallbasierten Habitatmodellen, die umfangreiche empirische Beobachtungsdaten erfordern, werden empirische Beobachtungsdaten bei dieser wissensbasierten Habitatmodellierung nur für die Verifizierung der Bewertungsergebnisse eingesetzt (vgl. auch weiter unten).

Die Bewertung erfolgt getrennt für die ausgewählten Tierarten, wobei die Habitateignung für alle Parameter entsprechend der folgenden Tabelle kodiert wurde.

**Tab. F-1:** Kodierung für die Bewertung der Habitateignung

ZAHLENWERT	MAß FÜR DIE PRINZIPIELLE HABITATEIGNUNG
0	weitgehend ungeeignet (Ausschlussfläche)
1	schlecht geeignet, aber möglich
3	eingeschränkt geeignet
5	geeignet (keine Einschränkung)
U	unbekannt
NN	Nicht relevant

Bei der Bewertung der Habitatparameter traten im Wesentlichen zwei Probleme auf. Zum ersten mussten die meist sehr komplex beschriebenen Habitatmerkmale den einzelnen Kategorien zugeordnet bzw. zu genau beschriebene Habitatmerkmale grober gefasst oder zum Teil sogar weggelassen werden. Letzteres war vor allem dann der Fall, wenn es sich um zu detaillierte Untersuchungen außerhalb der Alpen handelte. Zum zweiten bestand die Schwierigkeit darin, die Literaturangaben in Zahlenwerte zu übersetzen. Hierbei erschien es für Birkhuhn und Schneehuhn sinnvoll, die Bewertung nur auf drei Werte (0, 1, 5) zu beschränken. Literaturangaben die nicht direkt mit diesen drei Werten ausgedrückt werden konnten, sondern entsprechend der Fachexpertise der

beteiligten Wildökologen angegeben sind, wurden in den Regelwerksmatrizen in eckige Klammern gesetzt. Für Gams- und Steinwild wurden die Bewertungen (0, 1, 3, 5) verwendet.

Eines der Projektziele ist eine Simulation, welche die Veränderungen für Wildlebensräume, bedingt durch das Ansteigen der Waldgrenze, darstellen sollte. Damit dies dargestellt werden kann, müssen Parameter festgelegt werden, welche die Lebensräume der ausgewählten Arten Birkhuhn, Schneehuhn, Gamswild und Steinwild definieren. Grundlage der Lebensraummodelle war die Studie von GALLAUN et al. (2006) in welcher für die Niederen Tauern unter anderem die Lebensräume für Birk- und Schneehuhn erhoben wurden. Dieses sehr umfassende Modell wird unter anderem als Grundlage herangezogen, da hierfür zahlreiche notwendige Parameter (rund 140 Lebensraumeigenschaften) bereits erhoben wurden. Für Birkhuhn und Schneehuhn können diese Faktoren übernommen werden. Durch das vorhandene Datenmaterial betreffend der Lebensraumfaktoren und der gegebenen Vergleichsmöglichkeiten wird auch die Lebensraumbewertung für Gams- und Steinwild auf der Grundlage dieses Modells erarbeitet. Für diese beiden Wildarten ist es allerdings notwendig, zwischen Sommer und Winter zu unterscheiden, da sich im Winter die Lebensraumsprüche stark ändern. Um die Methodik zu vereinfachen, wird auf den Großteil der Landbedeckungsparameter, welche bei der Modellierung für Birk- und Schneehuhn Verwendung finden, verzichtet, da hier größtenteils für diese beiden Arten nicht relevante Landbedeckungsformen zu finden sind. So werden die Vegetation betreffend nur zwei relevante Faktoren, nämlich Anteil der Waldbedeckung (Landschaftstyp) und der Vegetationsbedeckungsgrad, verwendet.



Tab. F-2: Bewertung für Gamswild

<b>Gamswild</b>					
		<b>VEGETATIONS- PERIODE</b>	<b>WINTER- PERIODE</b>	<b>Literatur</b>	<b>Anmerkungen</b>
<b>HÖHENSTUFE</b>					
nival		3	0		
hochalpin		5	3	17,22,26,27	
alpin		5	5	14,17,20,22,26,27	
hochsubalpin		5	5	14,17,20,22,26,27	
tiefsubalpin		5	5	14,17,20,22,26,27	
hochmontan		3	5	14,16,26,27	
mittelmontan		3	3	14,16,18	
tiefmontan		1	1	14,17,18	
submontan		1	1	14	
<b>SONNENEXPOSITION</b>					
hoch		5	5	14,17,19	
mittel		5	3	19,20	
gering, schattig		5	1	14,19,20	
<b>NEIGUNG [°]</b>					
eben [0 - 5]		5	0	24	
flacher Hang [5 - 20]		5	1	14,24	
mittelsteiler Hang [20 - 30]		5	3	22,23,24,25	
steiler Hang [30 - 45]		5	5	14,17,22,24,25	
sehr steiler Hang/Felswand [45 - 60]		5	5	14,17,22,24,25	
Felswand [> 60]		3	3	20,22,23	
<b>KAMMERUNG</b>					
sehr hoch		5	5	20	
hoch		5	5	20,24,25,26	
mittel		5	5	20,23,24,25,26	
gering		3	5	20,23,24,25,26	
sehr gering		3	3	14,17,24	
<b>GROSSRELIEF</b>					
Talboden		3	1	14,24,25	
Graben		5	3	14,17,20,21,27	
Hang		5	5	14,17,20,21,27	
Plateaus, Kuppen		5	3	14,17,20	
Kammlage, Grate, Gipfel		5	3	20,26,27	
<b>LANDSCHAFTSTYP (Anteil der Waldbedeckung)</b>					
	geschlossen	1	1	14,16,17,18,21	
	halboffen	5	5	14,16,17,18,21	
	offen	5	5	14,16,17,21	
<b>VEGETATIONS- BEDECKUNGSGRAD [%] (für waldfreie Flächen wie alpine Matten, Kahlschlagflächen, Sturmschadensflächen)</b>					
	0 - 10 (keine/gering)	1	1	17,20,21	
	11 - 50 (spärlich)	5	5	17,20,21	
	51 - 89 (lückig)	5	5	17,20,21	
	90 - 100 (geschlos- sen)	5	5	17,20,21	

Tab. F-3: Bewertung für Steinwild

<b>Steinwild</b>					
		<b>VEGETATIONS- PERIODE</b>	<b>WINTER- PERIODE</b>	<b>Literatur</b>	<b>Anmerkungen</b>
<b>HÖHENSTUFE</b>					
nival		5	1	1,2,3	
hochalpin		5	3	1,2,3,15	
alpin		5	5	1,2,3,15	
hochsubalpin		3	5	1,2,3,15	
tiefsubalpin		1	5	1,2,3	
hochmontan		1	3*	1,2,3	* wenn Felswände und lichter Baumbe- stand; Exposition passend
mittelmontan		0	1	1,2	
tiefmontan		0	0	1,2	
submontan		0	0	1,2	
<b>SONNENEXPOSITION</b>					
hoch		5	5	1,2,3,4,7,8,14	
mittel		5	3	1,2,3,4,7,8	
gering, schattig		5	1	1,2,3,4,7,8	
<b>NEIGUNG [°]</b>					
eben [0 - 5]		5	0	4,5,6	
flacher Hang [5 - 20]		5	0	4,5,6	
mittelsteiler Hang [20 - 30]		5	1	4,5,6,9	
steiler Hang [30 - 45]		5	5	4,5,6,9,15	
sehr steiler Hang/Felswand [45 - 60]		5	5	4,5,6,15	
Felswand [> 60]		3	3	4,5,6	
<b>KAMMERUNG</b>					
sehr hoch		5*	5	8,9	*führende Geißen
hoch		5*	5	8,9	
mittel		3	3	8,9	
gering		1*	1	8,9	* für Böcke besser geeignet
sehr gering		1*	1	8,9	
<b>GROSSRELIEF</b>					
Talboden		1	0	1	
Graben		3	1	9	
Hang		5	5	9,14,15	
Plateaus, Kuppen		5	1	1,2	
Kammlage, Grate, Gipfel		5	3	1,2,9	
<b>LANDSCHAFTSTYP (Anteil der Waldbedeckung)</b>					
	geschlossen	0	0	1,14	
	halboffen	3	5	1,4,8,14	
	offen	5	5	1,4,8,14	
<b>VEGETATIONS- BEDECKUNGSGRAD [%] (für waldfreie Flächen wie alpine Matten, Kahlschlagflächen, Sturm- schadensflächen)</b>					
	0 - 10 (keine/gering)	1	1	11,12,13	
	11 - 50 (spärlich)	5	5	11,12,13,14	
	51 - 89 (lückig)	5	5	9,11,13	
	90 - 100 (geschlossen)	5	5		

**Tab. F-4:** Literaturangaben für Gamswild

Nr.	Quelle
16	REIMOSER, F., 2001: Problem Waldgams. Weidwerk <b>3</b> , 10-13.
17	NERL, W., MESSNER, L., SCHWAB, P., 1995: Das große Gamsbuch. Klosterneuburg; Hubertus.
18	REIMOSER, F., 2002: Das Waldgamsproblem. Schriftenreihe des LJV Bayern e. V. <b>9</b> , 15-20. In: Int. Symp. D. LJV Bayern e.V. u. d. Bayr. Ak. F. Tiersch., Umwelt und Jagdwiss.
19	SCHATZ, H., 1998: Das Gamswild und die Sonne. Anblick <b>8</b> , 8-11.
20	KNAUS W., SCHRÖDER W., 1975: Das Gamswild. 2. Auflage, Berlin: Paul Parey
21	DEUTZ, A., ASTE, C., 1985: Das Gamswild in der Steiermark. Anblick <b>11</b> , 8-11
22	SÄGESESSER, H., KRAPP, F., 1986: Rupicapra rupicapra (Linnaeus 1758). In: Handb. der Säugetiere Europas. Wiesbaden: Aula.
23	FILLI, F., CAMPPELL, S., 2005: Der Sommerlebensraum der Gämse Rupicapra rupicapra in einem inneralpinen Lebensraum am Beispiel der Gebiete Il Fuorn und Val Trupchun im Schweizerischen Nationalpark. Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Bd. <b>95</b> , 149-170.
24	HAMR, J., 1984: Home range sizes and determinant factors in habitat use and activity of teh chamois (Rupicapra rupicapra L.) in northern Tyrol, Austria. Diss. Univ. Innsbruck
25	MILLER, C., 1999: Gamswild: Die Felsenziege – ein vitaler Sonderling. In: Muffel-, Gams- und Steinwild – Vorkommen, Biologie, Hege, Jagd. Sonderheft Wild und Hund – Exklusiv, 58-81. Singhofen: Paul Parey.
26	SCHNIDRIG-PETRIG, R., SALM, U. P., 1998: Die Gemse – Biologie und Jagd. Bern: Salm.
27	BRIEDERMANN, L., 1985: Gamswild – Rupicapra r. r. (L.). In: Buch der Hege, Band <b>1</b> , Haarwild; Hrsgb.: Stubbe H., 210-233.

**Tab. F-5:** Literaturangaben für Steinwild

Nr.	Quelle
1	MEILE, P., GIACOMETTI, M., RATTI, P., 2003: Der Steinbock – Biologie und Jagd. Bern: Salm.
2	ONDERSCHEKA, K., HARTL, G. B., 1985: Steinwild. Capra ibex L. In: Buch der Hege, Band <b>1</b> , Haarwild; Hrsgb.: Stubbe H., 236-247.
3	WIERSEMA, G., 1982: Zur Wiedereinbürgerung des Alpensteinbockes. Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt, 9-15.
4	GRESSMANN, G., DEUTZ, A., ASTE, C., SCHRÖDER, W., 2000: Die Bedeutung der Topographie für das Populationswachstum von Steinwildkolonien am Ostalpenrand. Z. Jagdwiss. <b>46</b> , 14-22.
5	NIEVERGELT, B., 1965: Der Alpensteinbock in seinem Lebensraum. Diss. Univ. Zürich.
6	WIERSEMA, G., SCHRÖDER, W., 1983: How to find Suitable Ibx Habitat Using Landsat Imagery. S. Lovari ed.: The Biology and Management of Mountain Ungulates. Croom Helm, 226-230.
7	WIERSEMA, G., 1984: Seasonal use and quality assesment of ibex habitat. Acta Zool. Fennica. In: Proceedings of the Third International Theriological congress, Helsinki 15.-20. August 1982.
8	CARMIGNOLA, G., 2000: Das Steinwild in Südtirol. Hrsgb.: Autonom. Prov. Bozen, Amt für Jagd und Fischerei. Bozen: Athesia.
9	ABDERHALDEN, W., 2005: Raumnutzung und sexuelle Segregation beim Alpensteinbock, Capra ibex ibex. Nationalpark-Forschung in der Schweiz. Bd. 92.
10	GRESSMANN, G., 2005: Lebensraumbewertung für das Steinwild im Bundesland Salzburg. Unveröffentl. Endbericht im Auftrag der Salzburger Jägerschaft.
11	GRESSMANN, G., 1997: Populationsentwicklung von ausgesetzten Alpensteinböcken (Capra ibex L.) am Ostalpenrand. Diplomarbeit, Naturwiss. Fak. Univ. Graz
12	FILLI, F., 2002: Der Steinbock im Spiegel von Theorie und Management. Diss. Univ. München.
13	DAVID, A., 1999: Das Steinwild. In: Muffel-, Gams- und Steinwild – Vorkommen, Biologie, Hege, Jagd. Sonderheft Wild und Hund – Exklusiv 82-95. Singhofen: Paul Parey.
14	DEUTZ, A., GRESSMANN, G., 2001: Gams- und Steinwild – Biologie, Krankheiten, Jagdpraxis. Graz: Leopold Stocker.
15	GRIGNOLIO, S., PARRINI, F., BASSANO, B., LUCCARINI, S., APOLLINIO, M., 2003: Habitat selection in adult males of Alpine ibex, Capra ibex ibex. Folia Zool. <b>52(2)</b> , 113-120.

## **F-3 Ergebnisse**

### **F-3.1 Aktuelle Habitatmodelle**

Problematisch für die Lebensraumbewertung war bei Gams- und Steinwild, vor allem aber beim Gamswild, die hohe ökologische Plastizität. Dies bedeutet, dass unter gewissen Bedingungen auch auf den ersten Blick ungeeignete Einstände kurzzeitig genutzt werden bzw. die Bandbreite nutzbarer Einstände sehr groß ist. Am Beispiel Steinwild soll dies verdeutlicht werden. Es zeigt im Winter zwar eine äußerst starke Bindung an SO bis SW-seitige Areale, kann aber auch unter speziellen Bedingungen, vor allem bei fehlendem Schnee, immer wieder andere Expositionen nutzen, welche langfristig gesehen aber für eine Population keine Überlebenschancen bieten könnten. Wie dieses Beispiel zeigt, war es schwierig, für Stein- und Gamswild die Parameter so einzustufen, dass sie zwar die Möglichkeit einer Eignung bieten könnten, aber dennoch klar wird, dass es sich nicht um dauerhaft mögliche Einstände im Winter handeln kann. Somit weist die Bewertung zwar manche Einstände als temporär möglich aus, welche vermutlich nur äußerst selten bis gar nicht genutzt werden und lassen vor allem für das Steinwild das mögliche Verbreitungsbild wesentlich größer erscheinen. Vergleicht man die Karten der Stein- und Gamswildlebensräume im Winter, so muss auch folgender Punkt diskutiert werden. Auf den ersten Blick erscheinen die geeigneten Lebensräume beim Steinwild verhältnismäßig groß. In der Lebensraumstudie von GALLAUN et al. (2006) wurde allerdings auf Parameter wie Niederschlagsmengen und Schneehöhen verzichtet, da diese wegen der extremen kleinklimatischen Unterschiede auf kleinstem Raum im Gebirge nur schwer erfassbar sind. Diese beiden Faktoren fanden aufgrund dieser schweren Erfassbarkeit auch für Gams- und Steinwild keine Berücksichtigung. Die Niederschlagsmenge in Form von Schnee stellt allerdings für das Steinwild einen limitierenden Faktor dar, den die Topografie nur bedingt ausgleichen kann. Aufgrund dieser Tatsache ist im Freiland der tatsächlich nutzbare Lebensraum, der als temporär oder mäßig geeignet bewerten Einstände vor allem für das Steinwild prozentual kleiner einzustufen als errechnet. Beim Gamswild kommt diese Tatsache hingegen nur in geringerem Ausmaß zum Tragen, da diese Wildart aufgrund seiner körperlichen Bauweise gegenüber dem Faktor Schnee wesentlich flexibler ist.

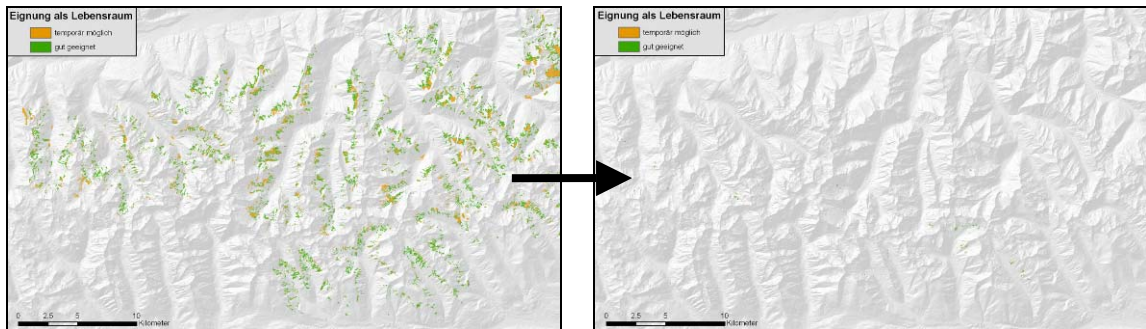
### **F-3.2 Verifizierung der Habitatmodelle**

Damit die Richtigkeit der erarbeiteten Lebensraumanalysen, welche die Summe der einzelnen Parameter dargestellt werden kann, wurden der „Ist-Zustand“ auch auf seine Richtigkeit überprüft. Hierzu wurde mit einem Berufsjäger eines großen Forstbetriebes in den Niederen Tauern die tatsächliche Verteilung des Wildes (Gamswild, Birkwild, Schneehuhn) in Bezug auf die errechneten Lebensräume verglichen. Die als geeignet errechneten Gebiete, deckten sich zu einem großen Prozentsatz mit der tatsächlichen Wildverteilung. Unterschiede traten beim Gamswild zum Beispiel lediglich in Arealen auf, wo im Winter Lawinenabgänge kurzfristig Äsungsflächen schaffen können, diese Situation aber in einem Lebensraummodell schwer zu berechnen ist, da sie keine Konstanten darstellen. Beim Birkhuhn ergaben sich insofern Unterschiede, dass nicht mehr alle errechneten Lebensräume derzeit genutzt werden, da die Bestandeszahlen ein wenig rückläufig sind. Das wären z.B. Balzplätze, auf denen diese Hühnerart nur mehr sehr vereinzelt anzutreffen ist.

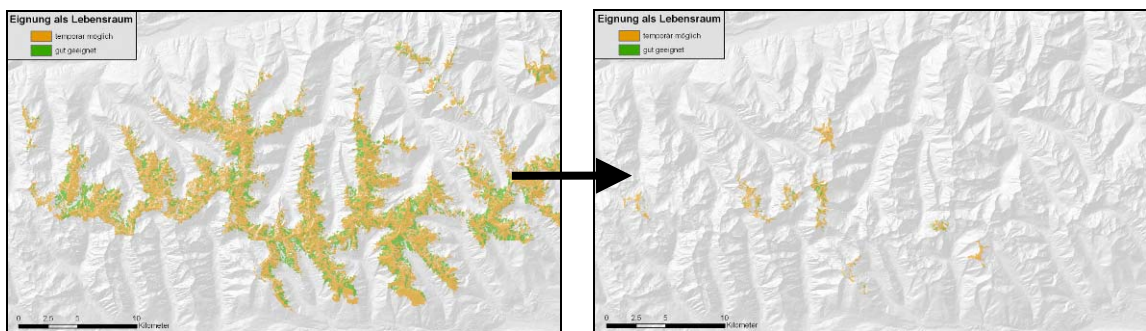
### **F-3.3 Veränderung von Lebensräumen**

Für die Ermittlung der zukünftigen Habitate wird davon ausgegangen, dass alle Flächen, die eine Landbedeckung von über 50% aufweisen und unterhalb der vorhergesagten

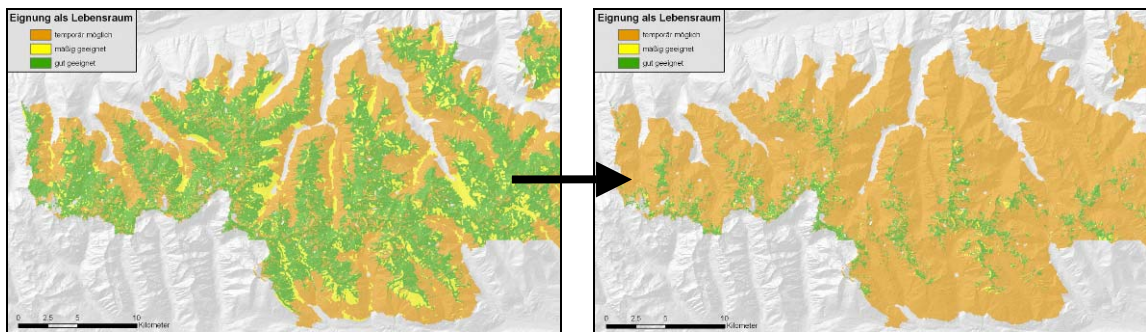
6,9°C Isotherme für die Dekade 2040 bis 2050 liegen, zu Wald werden. Die Habitate werden mit den veränderten Merkmalen neu berechnet.



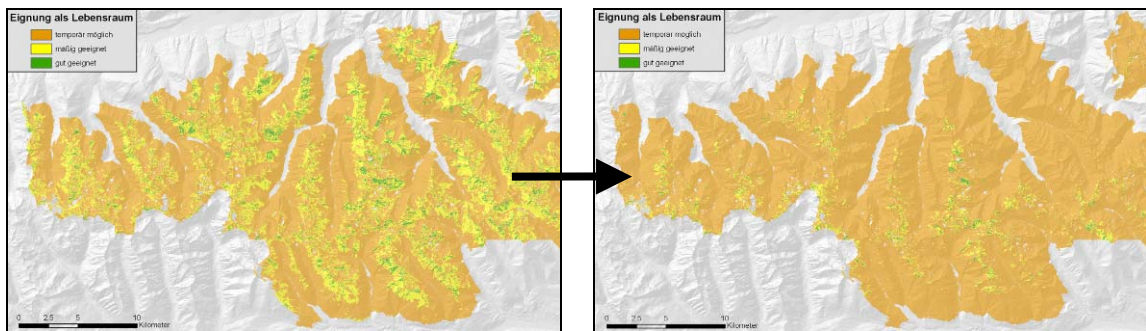
**Abb. F-20:** Habitatmodell für Birkhuhn; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht



**Abb. F-21:** Habitatmodell für Schneehuhn; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht

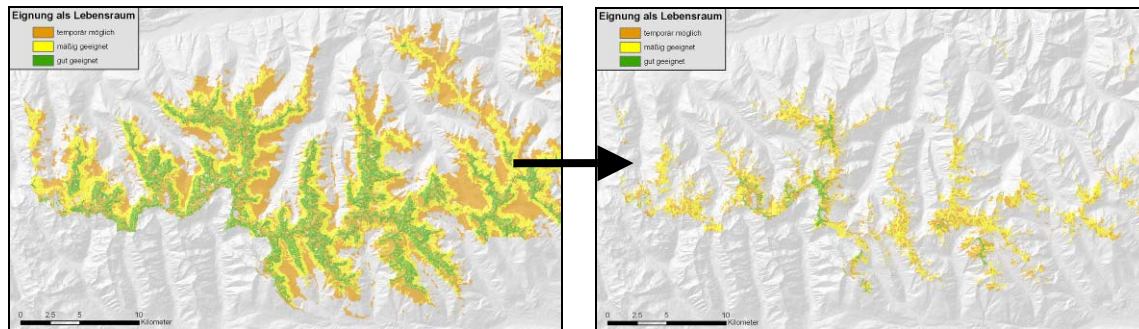


**Abb. F-22:** Habitatmodell für Gamswild Sommer; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht

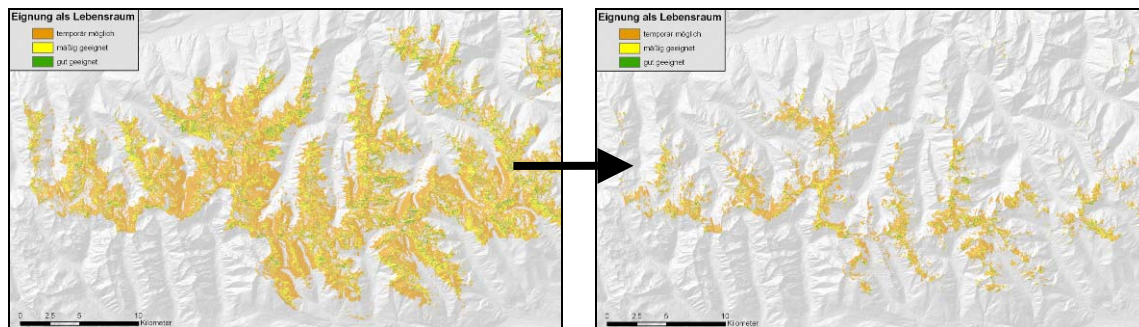


**Abb. F-23:** Habitatmodell für Gamswild Winter; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht





**Abb. F-24:** Habitatmodell für Steinwild Sommer; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht



**Abb. F-25:** Habitatmodell für Steinwild Winter; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht

### F-3.4 Auswirkung des Anstiegens der Waldgrenze auf die Habitate

Die Wildtierarten Schneehuhn, Birkhuhn sowie Gams- und Steinwild haben sich im Laufe ihrer Evolution perfekt an das Leben in alpinen Lagen hauptsächlich über der Waldgrenze angepasst und sind somit Teil dieses sehr empfindlichen Ökosystems. Unter Annahme des Anstieges der Waldgrenze aufgrund Klimaerwärmung verringert sich der Lebensraum dieser Wildtierarten massiv. Tierartenspezifische Ausweichmöglichkeiten gibt es nur sehr bedingt. Durch die Entstehung suboptimaler Lebensräume, Lebensraumzerstückelung sowie durch eine zu erwartende Übernutzung der restlichen Almflächen infolge touristischer und sportlicher Freizeitaktivitäten kommt es bei Wildtieren zur Abnahme der Stückzahlen in einzelnen Populationen und zur Verarmung genetischer Ressourcen, zur Schwächung des Immunsystems des Einzelindividuums und damit vermehrt zu parasitär- oder stressbedingten Gesundheitsproblemen und Infektionskrankheiten. Einzelne Populationen geraten dann auch unter ihre kritische Bestandsgröße und können mittel- bis langfristig aufgelöst werden. Wie Untersuchungen an Bighorn-Schafen (*Ovis canadensis*) zeigten, starben Populationen mit weniger als 50 Tieren innerhalb von 50 Jahren aus, während Populationen mit 100 Tieren und aufwärts überlebten. Grundsätzlich kann man davon ausgehen, dass für die Aufrechterhaltung der genetischen Variabilität wenigstens 50 Tiere notwendig sind, für ein langfristiges Überleben jedoch mindestens 500 Tiere, wobei mit der effektiven Populationsgröße gerechnet werden muss, also mit jenen Tieren, die sich aktiv an der Fortpflanzung beteiligen.



**Tab. F-6:** Veränderung der Flächen geeigneter Lebensräume unter Annahme einer Klimaerwärmung und zukünftiger Verschiebung der Waldgrenze

Bewertung	Veränderung der Habitatfläche in %		
	gut geeignet	mäßig geeignet	temporär geeignet
Birkhuhn	-97,95	0	-99,65
Schneehuhn	-98,02	0	-93,85
Gamswild Sommer	-79,76	-89,86	103,72
Gamswild Winter	-80,00	-82,05	29,00
Steinwild Sommer	-93,35	-62,34	-75,65
Steinwild Winter	-77,52	-79,43	-71,63

Wie aus der Arbeit hervorgeht, sind die Verluste an geeigneten Lebensräumen für alle vier untersuchten Wildtierarten erheblich und es ist mit einer Auflösung derzeitiger vorhandener Teilpopulationen vor allem aufgrund Lebensraumverlust, erhöhter Krankheitsanfälligkeit in suboptimalen Lebensräumen sowie erhöhter Anfälligkeit gegenüber Beutegreifern wegen verringerter Übersichtlichkeit des Geländes bei Zunahme der Vegetation zu rechnen. Am dramatischsten sind die Verluste geeigneter Lebensräume für das Birkhuhn, bei dem zu erwarten ist, dass es nach dem vorgezeichneten Szenario in den Niederen Tauern nicht mehr oder höchstens in kleinen Inselbeständen vorkommen wird. Schneehühner können sich in baumfreien felsigen Lebensraumnischen vermutlich noch etwas länger halten. Wenn jedoch diese Restlebensräume rund herum bewaldet sind, ist auch für sie ein Überleben fraglich. Im Zusammenhang mit Gams- und Steinwild wird durch das Abdrängen in Waldregionen zunehmend die Frage der Verbiss- und Schlag-schäden an den Bäumen relevant werden.

## F-4 Schlussfolgerung

Die Temperaturentwicklung der vergangenen 50 Jahren zeigt seit den 70er Jahren einen deutlichen Anstieg. Das Klimamodell MM5, welches vom Wegener Zentrum untersucht wurde, diente als Grundlage für die Abschätzung der zukünftigen Entwicklung herangezogen. Es muss dabei festgehalten werden, dass es sich dabei um ein Modell handelt, mit dem versucht wird, die komplexen Vorgänge der Klimaveränderung nachzubilden. Wie sich das Klima tatsächlich entwickelt, kann nur mit einer gewissen Unsicherheit vorhergesagt werden. Betrachtet man die Entwicklung der vergangenen Dekaden, deutet alles auf eine Erwärmung hin.

Es wurde versucht, einen Zusammenhang des Klimas mit dem Verlauf der Waldgrenze herzustellen. Dabei wurde festgestellt, dass die Temperatur ein entscheidender Faktor für die Höhe der Waldgrenze darstellt. Die Temperatur nimmt mit steigender Höhe ab und es ergibt sich damit eine Höhe, bis zu welcher das Wachstum von Bäumen möglich ist.

Steigt die Temperatur um ca.  $2,2^{\circ}\text{C}$ , wie es das Klimamodell für das Untersuchungsgebiet vorhersagt, steigt die temperaturbedingte Wachstumsgrenze für Bäume um fast 450 Meter Seehöhe. Das bedeutet für die Niederen Tauern, dass eine temperaturbedingte Wachstumsgrenze für Bäume nahezu verschwindet.

Durch die Bewirtschaftung von Almen wurde die aktuelle Waldgrenze meist hinuntergedrückt. Die Aufgabe der Bewirtschaftung würde zu einer raschen Verwaldung von freien Flächen unter der potentiellen Waldgrenze führen und langfristig würden bei ansteigenden Temperaturen nur mehr jene Flächen waldfrei bleiben, die aufgrund des Bodens kein Wachstum von Bäumen zulassen.

Der Lebensraum der untersuchten Wildtiere würde sich aufgrund eines Anstieges der Waldgrenze enorm verringern.

Die vier untersuchten alpinen Tierarten sind lediglich als Beispiele für die Auswirkung von Klimaveränderungen aufzufassen. Insgesamt ist eine große Zahl weiterer alpiner Tier- und auch Pflanzenarten von den Auswirkungen eines zu erwartenden Anstieges der Temperaturen betroffen. Mit ihnen aber auch wir Menschen, die wir alpine Lebensräume in Form von Almen über der Waldgrenze für Viehhaltung, Tourismus, Jagd und Freizeitaktivitäten zu nutzen gewohnt sind. Dies bedeutet, dass durch diese Lebensraumveränderungen neben den massiven ökologischen Problemen auch ökonomische Verluste in einem vermutlich noch ungeahnten Ausmaß auftreten werden.

Die Bearbeitung dieses Projektes mit Methoden eines Geografischen Informationssystems hat sich als äußerst zweckmäßig erwiesen, da auf einer gemeinsamen räumlichen Ebene Informationen aus verschiedensten Fachbereichen miteinander kombiniert und einer gemeinsamen Analyse zugeführt werden konnten. Damit gelang es, Temperaturveränderungen mit Wachstumsgrenzen direkt in Verbindung zu bringen und deren Auswirkungen auf die untersuchten Habitate zu analysieren.

## F-5 Literaturverzeichnis

- ABDERHALDEN, W. (2005): Raumnutzung und sexuelle Segregation beim Alpensteinbock, *Capra ibex ibex*. Nationalpark-Forschung in der Schweiz. Bd. 92.
- BARTELME, N. (2000): Geoinformatik. Modelle, Strukturen, Funktionen. 3. Auflage, Springer Verlag.
- BERTERMANN, C., C. WEBER-SPARENBERG, A. PECHURA, A.-I. RENARD, H.-H. BERGMANN (1998): Zur Ernährung von Alpenschneehühnern *Lagopus mutus helveticus* im Sommer. *Egretta* 41:15-26.
- BLÖSCHL, G. und R. MERZ (2002): Methoden der hydrologischen Regionalisierung im Zusammenhang mit der Niederschlag-Abflussmodellierung. In: Wiener Mitteilungen, Wasser-Abwasser-Gewässer, Band 164, Technische Universität Wien, 149-178.
- BÖHM, R., I. AUER, M. BRUNETTI, M. MAUGERI, T. NANNI, W. SCHÖNER (2001): Regional Temperature Variability in European Alps 1760-1998 from homogenised instrumental Time Series. *International Journal of Climatology* 21/14: 1779-1801.
- BRIEDERMANN, L. (1985): Gamswild – *Rupicapra r. r.* (L.). In: Buch der Hege, Band 1, Haarwild; Hrsgb.: Stubbe H., 210-233.
- CARMIGNOLA, G. (2000): Das Steinwild in Südtirol. Hrsgb.: Autonom. Prov. Bozen, Amt für Jagd und Fischerei. Bozen: Athesia.
- CHILDS, C. (2004): Interpolating Surfaces in ArcGIS Spatial Analyst. ESRI Education Services. ArcUser July-September 2004.
- DAUBENMIRE, R. (1954): Alpine timberlines in the Americas and their interpretation. *Butler Univ. Bot. Studies*, 11. 119-136.
- DAVID, A. (1999): Das Steinwild. In: Muffel-, Gams- und Steinwild – Vorkommen, Biologie, Hege, Jagd. Sonderheft Wild und Hund – Exklusiv 82-95. Singhofen: Paul Parey.
- DEUTZ, A., C. ASTE (1985): Das Gamswild in der Steiermark. *Anblick* 11, 8-11.
- DEUTZ, A. und G. GRESSMANN (2001): Gams- und Steinwild – Biologie, Krankheiten, Jagdpraxis. Graz: Leopold Stocker.
- ELLENBERG, H. (1986): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart; 520 pp.
- ELLENBERG, H. (1996): *Vegetation Mitteleuropas mit den Alpen*. Verlag Eugen Ulmer, Stuttgart.
- FLACKE, W. und B. KRAUS (2003): *Koordinatensysteme in ArcGIS. Praxis der Transformationen und Projektionen*. Points Verlag Norden, Halmstad.
- FILLI, F. (2002): *Der Steinbock im Spiegel von Theorie und Management*. Diss. Techn. Univ. München.
- FILLI, F. und S. CAMPPELL (2005): *Der Sommerlebensraum der Gämse *Rupicapra rupicapra* in einem inneralpinen Lebensraum am Beispiel der Gebiete Il Fuorn und Val Trupchun im Schweizerischen Nationalpark*. Nationalpark-Forschung in der Schweiz, Bd. 95, 149-170.
- KLAUS, S., H.-H. BERGMANN, C. MARTI, F. MÜLLER, O.A. VITOVIČ, J. WIESNER (1990): *Die Birkhühner*. Die Neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen Verlag; 288 pp.
- KROMP-KOLB, H. und H. FORMAYER (2005): *Schwarzbuch Klimawandel. Wie viel Zeit bleibt uns noch?* ecowin Verlag der TopAkademie GmbH, Salzburg.
- GALLAUN, H., P. SACKL, C. PRASCHK, M. SCHARDT, P. TRINKAUS (2006): *IPAM-Toolbox. Großflächige Inventur eines Alpinen Natura 2000 Gebietes mittels Fernerkundung in den Niederen Tauern / Steiermark*. Im Auftrag der Steiermärkischen Landesregierung, Graz, 167p.
- GLUTZ, V. BLOTZHEIM, U. N., P. GÉROUDET, M. SCHWARZ, P. GRÜNIG (1962): „Die Brutvögel der Schweiz“ - Aargauer Tagblatt AG, Aarau; 648 pp.
- GLUTZ, V. BLOTZHEIM, U. N., K. BAUER, E. BEZZEL (1973): *Handbuch der Vögel Mitteleuropas*. Band 5, Akademische Verlagsgesellschaft Wiesbaden; 699 pp.

- Gobiet, A., A. Beck, H. Truhetz, M. Dorninger, H. Formayer, A. Riegler, W. Loibl (2006): High resolution climate hindcasts and scenarios for the Alpine Region. Geophysical Research Abstracts, Vol. 8, 06788. European Geosciences Union 2006
- GOOVAERTS, P. (2000): Geostatistical approaches for incorporating elevation into the spatial interpolation of rainfall. J. Hydrology (228) 1-2. 113-129
- GRABHERR, G., M. Gottfried, H. Pauli (2003): Klimawandel und Vegetationsveränderungen im Hochgebirge. Beobachtungen, Messungen, Prozessmodellierungen. In: Colloquium Geographicum, Vol. 26, 104-113.
- GRACE, J., F. Berninger, L. Nagy (2002): Impacts of Climate Change on the Tree Line. Institute of Ecology & Resource Management, University of Edinburgh, UK and Department of Forest Ecology, University of Helsinki, Finland.
- GRESSMANN, G. (1997): Populationsentwicklung von ausgesetzten Alpensteinböcken (*Capra ibex* L.) am Ostalpenrand. Dipl.arbeit, Naturwiss. Fak. Univ.Graz.
- GRESSMANN, G. (2005): Lebensraumbewertung für das Steinwild im Bundesland Salzburg. Unveröffentl. Endbericht im Auftrag der Salzburger Jägerschaft.
- GRESSMANN, G., A. Deutz, C. Asté, W. Schröder (2000): Die Bedeutung der Topographie für das Populationswachstum von Steinwildkolonien am Ostalpenrand. Z. Jagdwiss. 46, 14-22.
- GRIGNOLIO, S., F. Parrini, B. Bassano, S. Luccarini, M. Apollinio (2003): Habitat selection in adult males of Alpine ibex, *Capra ibex ibex*. Folia Zool. 52(2), 113-120.
- HAFNER, F. (1993): Untersuchungen an den Rauhfußhühnern und dem Steinhuhn in den Hohen Tauern. Ökologische Bildungsstätte Oberfranken: 79-84.
- HAMR, J. (1984): Home range sizes and determinant factors in habitat use and activity of the chamois (*Rupicapra rupicapra* L.) in northern Tyrol, Austria. Diss. Univ. Innsbruck.
- HARTL, G. B. (1987): Genetische Gefährdung des Alpensteinbocks? Der Anblick 1, 34–36.
- HEIRI, C., H. Bugmann, W. Tinner, O. Heiri, H. Lischke (2006): A model-based reconstruction of Holocene treeline dynamics in the Central Swiss Alps. Journal of Ecology. British Ecological Society 2006.
- HÖHN, O. E. (1969): „Die Schneehühner“ – A. Ziemsen Verlag Wittenberg Lutherstadt; 82 pp.
- HOLTMEIER, F.K. (2003): Mountain timberlines. Ecology, patchiness and dynamics. Advances in Global Change Research, Band 14. Kluwer Academic Publisher, Netherlands.
- HÖLZINGER, J. (1980): Der Untergang des Birkhuhns *Lyrurus tetrix* in Baden-Württemberg und dessen Ursachen. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, 16: 123-134.
- HUBER, B. und P. Ingold (1991): Bestand und Verteilung der Territorien des Alpenschneehuhns *Lagopus mutus* am Augstmatthorn BE. Der Ornithologische Beobachter 88: 1-7.
- JOHNSTON, K., J.M. Ver Hoef, K. Krivoruchko and N. Lucas (2001): Using ArcGIS Geostatistical Analyst. ESRI, Redlands, USA.
- KLAUS, S., H.-H. Bergmann, C. Marti, F. Müller, O.A. Vitovič, J. Wiesner (1990): Die Birkhühner. Die Neue Brehm-Bücherei, A. Ziemsen Verlag; 288 pp.
- KÖRNER, CH. (1998): A re-assessment of high elevation treeline position and their explanation. Oecologia, 115. 445-459.
- KÖRNER, CH. (1999): Alpine plant life. – Functional Plant Ecology of High Mountain Ecosystems. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- KNAUS, W., und W. Schröder (1975): Das Gamswild. 2. Auflage, Berlin: Paul Parey.
- LINDNER, A. (1977): Die Waldhühner. Hamburg, Berlin: Parey; 148 pp.
- LINDSTRÖM, J., P. Rintamäki, I. Storch (1998): *Tetrao tetrix* (Black Grouse) In: BWP Update, The Journal of the Birds of the Western Palearctic. Vol. 2 No. 3, Oxford University Press; 173-191.
- MAYER, H. (1976): Gebirgswaldbau-Schutzwaldpflege. Gustav Fischer-Verlag, Stuttgart: 436.

- MEILE, P. (1980): Zur Platzkonkurrenz von Balzplätzen und Wintersportanlagen. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, 16: 51-58.
- MEILE, P., M. GIACOMETTI, P. RATTI (2003): Der Steinbock – Biologie und Jagd. Bern: Salm.
- MILLER, C., (1999): Gamswild: Die Felsenziege – ein vitaler Sonderling. In: Muffel-, Gams- und Steinwild – Vorkommen, Biologie, Hege, Jagd. Sonderheft Wild und Hund – Exklusiv, 58-81. Singhofen: Paul Parey.
- NERL, W., L. MESSNER, P. SCHWAB (1995): Das große Gamsbuch. Klosterneuburg; Hubertus.
- NICOLUSSI, K., M. KAUFMANN, G. PATZELT, J. PFLICHT VAN DER, A. THURNER (2005): Holocene tree-line variability in the Kauner Valley, Central Eastern Alps, indicated by dendrochronological analysis of living trees and subfossil logs. Vegetation History and Archaeobotany 14. Springer-Verlag Berlin Heidelberg.
- NICOLUSSI, K., G. PATZELT (2006): Klimawandel und Veränderungen an der alpinen Waldgrenze - aktuelle Entwicklungen im Vergleich zur Nacheiszeit. BFW-Praxisinformation 10, April 2006, Wien. 3 – 5.
- NIEVERGELT, B. (1965): Der Alpensteinbock in seinem Lebensraum. Diss. Univ. Zürich.
- OBLED, C. (1990): Hydrological modelling in regions of rugged relief. In: Lang, H. and Musy, A. (Eds.) Hydrology in Mountainous Regions. I-Hydrological Measurements; the Water Cycle (Proc. Lausanne Symp., Aug. 1990). IAHS Publ. 193, 599-613.
- ONDERSCHEKA, K., G.B. HARTL (1985): Steinwild. *Capra ibex* L. In: Buch der Hege, Band 1, Haarwild; Hrsgb.: Stubbe H., 236-247.
- OZENDA, P. (1988): Die Vegetation der Alpen im europäischen Gebirgsraum Aus d. franz. Übers. von Hannes Mayer u. Andreas Zirinig. Gustav Fischer Verlag. Stuttgart - New York.
- PAULI, H-R. (1980): Nahrungsökologische Untersuchungen am Birkhuhn in den Schweizer Alpen. Beihefte zu den Veröffentlichungen für Naturschutz und Landschaftspflege in Baden-Württemberg, 16: 28-35.
- PEZZI, G. und C. FERRARI (2004): Spatial pattern of the upper timberline and heath deficiency of *Fagus sylvatica* L. in the Northern Apennines. 14<sup>th</sup> Meeting of the Italian Society of Ecology. 4.-6. Oktober 2004, Siena.
- RECLIP:MORE TEAM (2006): Project reclip:more - overview: Objectives, tasks and results 2004-2005. In: Klimaforschungsinitiative AustroClim: 9. Österreichischer Klimatag „Klima, Klimawandel und Auswirkungen“, 16. und 17. März 2006, Wien.
- REIMOSER, F. (2001): Problem Waldgams. Weidwerk 3, 10-13.
- REIMOSER, F. (2002): Das Waldgamsproblem. Schriftenreihe des LJV Bayern e. V. 9, 15-20. In: Int. Symp. D. LJV Bayern e.V. u. d. Bayr. Ak. F. Tiersch., Umwelt und Jagdwiss..
- SACKL, P. und SAMWALD (1997): Atlas der Brutvögel der Steiermark. Austria Medien Service, Graz, 432 pp.
- SACKL, P. und L. ZECHNER (1995): „Niedere Tauern“ In : Dvorak, M. & Karner, E. (1995): „Important Bird Areas in Österreich. Umweltbundesamt Monogr. 71, Wien: 367-373. Schaffer, A. (1904): Pfarrer P. Blasius Hanf als Ornitholog. Selbstverlag Benediktiner-Abtei, St. Lambrecht, 384 pp..
- SÄGESSER, H. und F. KRAPP (1986): *Rupicapra rupicapra* (Linnaeus 1758). In: Handb. der Säugetiere Europas. Wiesbaden: Aula.
- SCHATZ, H. (1998): Das Gamswild und die Sonne. Anblick 8, 8-11.
- SCHARFETTER, R. (1938): Das Pflanzenleben der Ostalpen. Wien: 419 p.
- SCHAUMBERGER, A. (2005): Ertragsanalyse im österreichischen Grünland mittels GIS unter besonderer Berücksichtigung klimatischer Veränderungen. Höhere Bundeslehr- und Forschungsanstalt für Landwirtschaft Raumberg- Gumpenstein, Irdning.
- SCHERZINGER, W. (1976): Rauhfuß-Hühner. Nationalparkamt Bayerischer Wald, Heft 2; 71 pp.
- SCHÖNBECK, H. (1955): Die Verbreitung des Alpenschneehuhnes in der Steiermark. Vogelkundliche Nachrichten aus Österreich Folge 6: 2-5.
- SCHNIDRIG-PETRIG, R. und U.P. SALM (1998): Die Gemse. Biologie und d Jagd. Bern: Salm..

- SLOTTA-BACHMAYR, L. und N. WINDIG (1994): Verteilung und Siedlungsdichte von Schnee- und Birkhuhn (*Lagopus mutus*, *Tetrao tetrix*) im Laufe der Vegetationsperiode im Wald- und Baumgrenzbereich (Hohe Tauern, Österreich). *Der Ornithologische Beobachter* 91: 195-202.
- STARLING-WESTERBERG, A. (2001): The habitat use and diet of Black Grouse (*Tetrao tetrix*) in the Pennine Hills of Northern England. *Bird Study* 48: 76-89.
- WIERSEMA, G. (1982): Zur Wiedereinbürgerung des Alpensteinbockes. *Jahrbuch des Vereins zum Schutz der Bergwelt*, 9-15.
- WIERSEMA, G. (1984): Seasonal use and quality assesment of ibex habitat. *Acta Zool. Fennica*. In: *Proceedings of the Third International Theriological congress, Helsinki 15.-20. August 1982*.
- WIERSEMA, G. und W. SCHRÖDER (1983): How to find Suitable Ibex Habitat Using Landsat Imagery. S. Lovari ed.: *The Biology and Management of Mountain Ungulates*. Croom Helm, 226-230.
- ZECHNER, L. (1996): Siedlungsdichte und Reproduktion des Steinadlers (*Aquila chrysaetos*) in den südlichen Niederen Tauern (Steiermark). In: *Abhandlungen der zoologisch-botanischen Gesellschaft Österreich*; 29: 123-139.
- ZEILER, H. (1996): *Jagd und Nachhaltigkeit*. Monographien Band 73, Umweltbundesamt Wien.
- ZEITLER, A. (1999): Rauhußhühner und Wintersport. *Laufener Seminarbeitr.* 6/99: 47-51.



## F-6 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

### F-6.1 Abbildungen

Abb. F-1: Aktuelle und zukünftige Habitataignung für Schneehuhn unter Annahme des Ansteigens der Waldgrenze aufgrund Klimaerwärmung (Modell MM5)-----	4
Abb. F-2: Aufnahme im Bereich Deneck im Süden der Niederen Tauern -----	7
Abb. F-3: Verwendete Wettermessstationen der ZAMG -----	13
Abb. F-4: Regressionsgeraden für die Dekaden 1950 bis 1960 und 1980 bis 1990 -----	14
Abb. F-5: Oberfläche über die Qualität der Interpolation (hellere Flächen – geringere Fehler) -----	15
Abb. F-6: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1950 bis 1960 -----	16
Abb. F-7: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1960 bis 1970 -----	16
Abb. F-8: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1970 bis 1980 -----	17
Abb. F-9: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1980 bis 1990 -----	17
Abb. F-10: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 1990 bis 2000 -----	18
Abb. F-11: Temperaturentwicklung der vergangenen 5 Dekaden -----	18
Abb. F-12: Temperaturmittelwerte für den Zeitraum Mai bis Oktober der Dekade 2040 bis 2050 -----	19
Abb. F-13: Temperaturveränderung von Dekade 1990 bis 2000 zur Dekade 2040 bis 2050 (Klimamodell MM5) -----	20
Abb. F-14: 10°C Juli Isotherme mit Waldflächen der ÖK 50 und ÖK 200 -----	23
Abb. F-15: 6,9°C Mai-Oktober Isothermen mit Waldflächen der ÖK 50 und ÖK 200 im Untersuchungsgebiet und im Gebiet von Matri in Osttirol -----	24
Abb. F-16: Untersuchungsgebiet in den Niederen Tauern -----	24
Abb. F-17: 6,9°C Mai-Oktober Isothermen mit kartierten Waldflächen von GALLAUN et al. (2006) -----	25
Abb. F-18: 6,9°C Mai-Oktober Isothermen der Dekade 1990 bis 2000 und der Dekade 2040 bis 2050 mit kartierten Waldflächen von GALLAUN et al. (2006) -----	26
Abb. F-19: 6,9°C Mai-Oktober Isotherme der Dekade 1970 bis 1980 mit kartierten Waldflächen von GALLAUN et al. (2006) -----	26

<b>Abb. F-20: Habitatmodell für Birkhuhn; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht -----</b>	<b>33</b>
<b>Abb. F-21: Habitatmodell für Schneehuhn; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht-----</b>	<b>33</b>
<b>Abb. F-22: Habitatmodell für Gamswild Sommer; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht-----</b>	<b>33</b>
<b>Abb. F-23: Habitatmodell für Gamswild Winter; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht-----</b>	<b>33</b>
<b>Abb. F-24: Habitatmodell für Steinwild Sommer; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht-----</b>	<b>34</b>
<b>Abb. F-25: Habitatmodell für Steinwild Winter; Aktuell → Waldgrenze hat 6,9°C Isotherme der Dekade 2040 bis 2050 erreicht-----</b>	<b>34</b>

## **F-6.2 Tabellen**

<b>Tab. F-1: Kodierung für die Bewertung der Habitataignung -----</b>	<b>27</b>
<b>Tab. F-2: Bewertung für Gamswild -----</b>	<b>29</b>
<b>Tab. F-3: Bewertung für Steinwild -----</b>	<b>30</b>
<b>Tab. F-4: Literaturangaben für Gamswild -----</b>	<b>31</b>
<b>Tab. F-5: Literaturangaben für Steinwild -----</b>	<b>31</b>
<b>Tab. F-6: Veränderung der Flächen geeigneter Lebensräume unter Annahme einer Klimaerwärmung und zukünftiger Verschiebung der Waldgrenze -----</b>	<b>35</b>