



universität
wien

DIPLOMARBEIT

Titel der Diplomarbeit

„Bestimmung der Heiz- und Kühlgradtage im Alpenraum“

verfasst von

Mag. Matthias Schlaisich

angestrebter akademischer Grad

Magister der Naturwissenschaften (Mag. rer. nat.)

Wien, 2013

Studienkennzahl lt. Studienblatt:

A 415

Studienrichtung lt. Studienblatt:

Meteorologie

Betreuerin / Betreuer:

o. Univ. Prof. Dr. Reinhold Steinacker

Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung.....	4
Abstract.....	5
Einleitung.....	7
Definitionen.....	11
Heizgradtage (HGT).....	11
Heiztage (Ht).....	12
Kühlgradtage (KGT).....	12
Kühltage (Kt).....	13
Potentielle Temperatur und isentroper Temperaturgradient.....	14
Minimumtopographie.....	15
Methode.....	17
Datengrundlage.....	17
Datenbearbeitung.....	18
Ergebnisse.....	23
Heizgradtage.....	23
Kühlgradtage.....	30
Das Jahr 2003.....	37
Interpretation.....	47
Literaturliste.....	52
Anhang A.....	55
Anhang B.....	63
Abbildungsverzeichnis.....	67
Tabellenverzeichnis.....	68
Danksagung.....	69
Curriculum vitae.....	70

Zusammenfassung

Die Alpen sind das größte Gebirge in Zentraleuropa und haben einen starken Einfluss auf die klimatischen Bedingungen der angrenzenden Länder. Ändert sich das Klima, haben sich auch die Menschen mit den Folgen für ihren Lebensstil auseinander zu setzen. Eine dieser Folgen ist die Änderung des Energiebedarfs beim Heizen und Kühlen von Gebäuden. Um den Energiebedarf mit den Temperaturänderungen in Zusammenhang zu bringen, hat man die Einheit der Gradtage eingeführt. Die Gradtage berechnen sich aus der Differenz der Temperaturen im Freien und in einem Gebäude. Der Vorteil der Verwendung der Gradtage gegenüber der Temperatur ist ein direkter proportionaler Zusammenhang mit dem Energiebedarf, den ein Heizsystem oder eine Klimaanlage bei bestimmten Temperaturen hat. Bei der Analyse der Heizgradtage und der Kühlgradtage im Alpenraum der Jahre 1971 bis 2005 wurden verschiedene Entwicklungen in Betracht gezogen. Unter anderem wurden die errechneten Daten auf Abhängigkeiten in Ost-West-Richtung und in vertikaler Richtung hin untersucht. Neben einer generellen Abnahme der Heizgradtage zeigt sich, dass die Abnahme in höher gelegenen Städten schneller voranschreitet als in Städten der Niederungen. Die Zunahme der Kühlgradtage ist deutlich niedriger als die Abnahme der Heizgradtage, dadurch ergibt sich ein leichter Rückgang der Gradtage in dem beobachteten Zeitraum und damit eine Verringerung des Energiebedarfs.

Abstract

The Alps are the biggest mountains in middle Europe, therefore they have a strong influence on the climate of the nearby countries. As a consequence of a change in climate people have to deal with modifications of their lifestyle. One of these modifications can be a change in the energy required for heating and cooling in buildings. To combine the energy requirement with the change in temperature a special unit has been introduced, the Degree Day. Degree days are the result of calculating the difference between the outside temperature and the temperature inside of a building. The use of degree days has the advantage, that there is a proportional correlation to the demand for energy of a heating or air conditioning system at special temperatures.

Heating degree days and cooling degree days have been analyzed in the Alps and the surrounding area in the period between 1971 and 2005, looking for different developments. Amongst others the computed data have been reviewed for dependencies on East – West distribution or vertical distribution.

A general decrease in heating degree days is found, but it is shown, that the decrease is faster at high lying places, than in locations of a lower level. The increase in cooling degree days is lower than the decrease in heating degree days. All in all there is a small reduction of degree days in the observed period and consequently a decrease in energy requirement.

Einleitung

Die Alpen haben einen großen Einfluss auf die Wetter- und Klimaverhältnisse in Europa. In den Klimazonenkarten von Köppen-Geiger (nach Peel et al., 2007) sind die Einflüsse von drei großen Klimazonen im Alpenraum erkennbar (Abbildung 1).

Durch ihre ausgedehnte Ausbreitung von Westen nach Osten halten die Alpen den warmen mediterranen Einfluss (Csa/Cfa) im Süden der Alpen fest, während im Norden das vom Atlantik geprägte ozeanische Klima (Cfb) des Westens auf das feuchte kontinentale Klima (Dfb) des Ostens trifft.

Der alpine Raum ist von dem global auftretenden Klimawandel dabei besonders stark betroffen und der Temperaturanstieg wird in Österreich und den anderen Alpenländern wesentlich deutlicher als im globalen Durchschnitt ausfallen. (Prettenthaler et al., 2007)

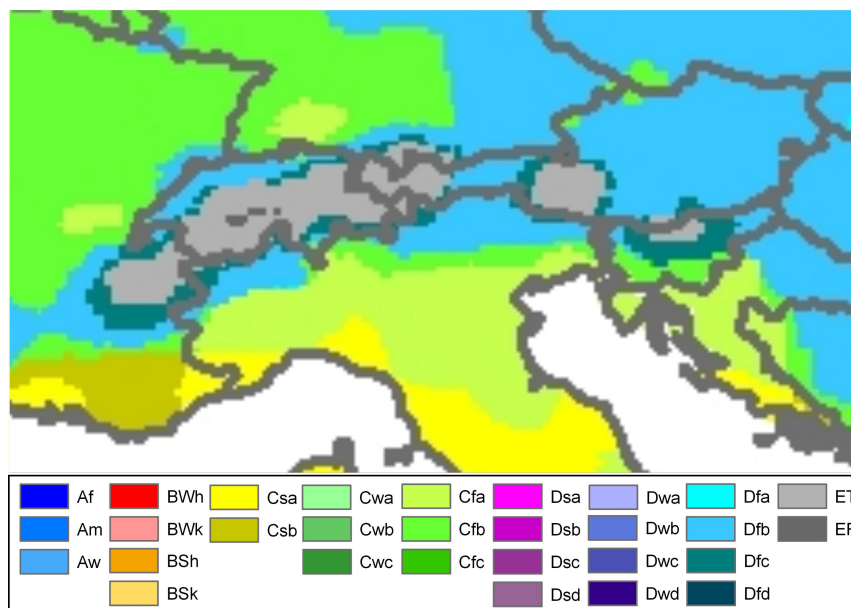


Abbildung 1: Ausschnitt der Köppen – Geiger Klimazonenkarte (Alpenraum)
(nach Peel et al., 2007)

Durch den Temperaturanstieg als direkte Auswirkung des Klimawandels wird sich in Folge auch das Heiz- und Kühlverhalten im alpinen Raum verändern. Um den Energiebedarf für das Heizen und Kühlen mit den vorherrschenden Temperaturen zu koppeln, wurde die Größe des

Gradtages eingeführt. Der Gradtag berechnet sich als eine Differenz zwischen der Temperatur, die in einem Gebäude gehalten werden soll, und der Lufttemperatur im Freien. Dabei werden Heizgradtage berechnet, wenn die Außentemperatur niedriger als eine bestimmte Grenztemperatur ist, und Kühlgradtage, wenn die Außentemperatur höher ist (www.DegreeDays.net).

Die in Österreich übliche Definition verwendet nach ÖNORM B 8135 eine Grenztemperatur von 12°C bei einer Raumtemperatur von 20°C. Eine nähere Betrachtung der Gradtage und der Grenztemperatur folgt im Kapitel **Definitionen**.

Der Energiebedarf hängt aber nicht allein von den Temperaturen ab. Mehrere klimaunabhängige Faktoren spielen ebenso eine Rolle und können den Energiebedarf erheblich variieren lassen. Als Beispiele dieser Faktoren sollen hier nur die Wärmedämmung und die unterschiedliche Nutzung eines Gebäudes erwähnt werden. Im Fall der Wärmedämmung liegt bei Passivhäusern die Heizgrenztemperatur oft unter 10°C. Bei schlecht wärmegeprägten Gebäuden kann die Grenztemperatur auch über 12°C liegen (Ragonesi, 1993).

Die Nutzung eines Gebäudes hat ebenfalls einen erheblichen Einfluss auf den Energieverbrauch, der sich, zum Beispiel, in den Nutzungszeiten niederschlägt. So wird in Schulen abends, am Wochenende und während der Ferien der Heizbetrieb abgesenkt bzw. abgeschaltet, während in Wohnhäusern im Regelfall in diesen Zeiten voll geheizt werden muss (Schöngrundner, 2002).

Auch Bürogebäude haben von Wohnhäusern verschiedene Zeiten in denen der Heizbetrieb aufrecht gehalten werden muss. Zusätzlich kommt es durch Wärmequellen in einem Gebäude, wie die Wärmeabgabe durch den Menschen selbst und durch in Betrieb stehende Elektrogeräte und Beleuchtung, zu dem Effekt, dass in einigen Bürogebäuden mehr Kühl- als Heizenergie eingesetzt werden muss (Schöngrundner, 2002, Prettenthaler et al., 2007).

Die für das Heizen oder Kühlen aufgewendete Energie kann mit Hilfe der Gradtage vom Faktor Außentemperatur bereinigt werden, indem der für einen bestimmten Zeitraum aufgewendete Energieeinsatz durch die in diesem Zeitraum ermittelten Heiz- oder Kühlgradtage dividiert wird (Schöngrundner, 2002). Das Ergebnis ist ein von den Temperaturen unabhängiger Energieaufwand, der nur noch von Faktoren abhängt, die vom Menschen beeinflusst werden können.

Kennt man seinen von Gradtagen bereinigten Energieaufwand, kann man diesen Wert nutzen um, zum Beispiel, die Wirkung von Sanierungen besser darzustellen (www.DegreeDays.net).

Einige Arbeiten haben sich mit der Auswirkung des Klimawandels in den Alpen mit Bezug auf die Heizgradtage befasst (Pretenthaler et al., 2007, Christenson et al., 2006). In diesen Arbeiten wird auf nationaler Ebene die Änderung der Heizgradtage für verschiedene Zukunftsszenarien ermittelt und die Veränderungen des Energieverbrauchs, der für das Heizen benötigt wird, berechnet.

In der vorliegenden Arbeit wird der gesamte Alpenraum mit einer einheitlichen Definition der Heiz- und Kühlgradtage in allen Ländern untersucht. Das Ziel ist eine flächendeckende Darstellung der Heiz- und Kühlgradtage eines repräsentativen klimatologischen Mittels aus der Zeit von 1971 bis 2005. Zusätzliche Analysen sollen mögliche Trends innerhalb dieses Zeitraumes aufzeigen.

Aus den Ergebnissen der Arbeit ergibt sich aufgrund des großen Datenumfangs eine gute Grundlage für weitere Untersuchungen der Entwicklung der Heiz- und Kühlgradtage. Der multinationale Ansatz soll dabei auch weitere grenzübergreifende Arbeiten anregen und neue Fragestellungen aufzeigen.

Definitionen

Heizgradtage (HGT)

Zur Wiederholung: Gradtage ergeben sich aus der Differenz der über den ganzen Tag gemittelten Lufttemperatur und einer Basistemperatur, die in einem Gebäude gehalten werden soll.

Die Gradtage sollen dabei eine direkte Verbindung zwischen der meteorologischen Größe, der Temperatur, und dem Energieverbrauch, der zum Heizen oder Kühlen benötigt wird, sein. Der Zusammenhang wird als linear und proportional angenommen (Pretenthaler et al., 2007, www.DegreeDays.net). Das bedeutet, dass mit einer Verdoppelung des Gradtages auch die aufgewendete Energie zum Einhalten der Basistemperatur doppelt so hoch ausfällt.

Heizgradtage erhält man, wenn die Außentemperaturen unter einer bestimmten Grenztemperatur liegen und in einem Gebäude geheizt werden muss. Die häufigste Definition der Grenztemperatur in der internationalen Literatur ist die amerikanische Version der Gradtage, die Degree Days. Die Grenztemperatur liegt in dieser Definition bei 65°F, das entspricht 18,3°C. Liegt die Tagesmitteltemperatur unter diesem Grenzwert werden Heizgradtage (Heating Degree Days) berechnet.

Wie Pretenthaler et al. (2007) ausführt, ist diese Grenztemperatur für den Alpenraum nur bedingt geeignet. Am Beispiel Graz (Station Flughafen) wird aufgezeigt, dass im klimatologischen Mittel (Jahre 1971 – 2000) schon bei mehr als 300 Tagen im Jahr die Tagesmitteltemperatur von 18,3°C nicht überschritten wird.

Deshalb wird in Österreich als Heizgrenztemperatur eine mittlere Tagestemperatur von 12°C angenommen, bei einer Basistemperatur des Gebäudes von 20°C.

Mit dieser auch in der ÖNORM B 8135 festgehaltenen Definition berechnen sich die Heizgradtage für einen beliebigen Zeitraum zwischen den Tagen d_1 und d_2 nach folgender Formel:

$$HGT(d_1, d_2) = \sum_{d_1}^{d_2} 20 - T_{Mittel} \quad \text{bei } T_{Mittel} \leq 12^\circ\text{C}$$

Neben Österreich verwendet auch die Schweiz und Liechtenstein eine Heizgrenze von 12°C (www.meteoswiss.admin.ch). Deutschland und Frankreich hingegen benutzen für die Berechnung der Heizgradtage einen Heizgrenzwert von 15°C (www.dwd.de, www.meteororange.fr).

In dieser Arbeit wird die in Österreich und der Schweiz verwendete Definition der Heizgradtage verwendet.

Heiztage (Ht)

Als Heiztage werden solche Tage bezeichnet an denen die Tagesmitteltemperatur kleiner gleich 12°C ist und nach der Definition für die Heizgradtage daher Heizen notwendig wird. Mit Hilfe der Heiztage kann das Verhältnis der Heizgradtage pro Heiztag innerhalb eines Zeitraums ermittelt werden. Dieses Verhältnis gibt die durchschnittliche Abweichung von der Heizgrenztemperatur pro Heiztag an, d.h. aus diesem Verhältnis lassen sich Rückschlüsse darauf ziehen, ob z.B. ein Monat, in dem geheizt werden musste, besonders kalt oder mild ausgefallen ist. Je höher dabei der Wert Heizgradtag pro Heiztag ist, desto niedriger sind die Temperaturen.

Kühlgradtage (KGT)

Kühlgradtage werden wieder aus der Differenz der Außentemperatur und der Temperatur im Gebäude berechnet, nur dass in diesem Fall die Außentemperatur über einem bestimmten Grenzwert liegt. Der verwendete Grenzwert ist mit der amerikanischen Version identisch und liegt bei den bereits erwähnten 18,3°C.

In einer Untersuchung von Christenson et al. (2006) in der Schweiz wurden die

Grenztemperaturen 18,3°C, 20°C und 22°C miteinander verglichen, mit dem Ergebnis, dass sich der Schätzfehler mit höherer Grenztemperatur ebenfalls erhöhte. Auch Pretenthaler et al. (2007) verwendeten die drei Grenztemperaturen in einer Vergleichsreihe der Temperaturen in Graz (Flughafen). Sie stellten fest, dass je höher die Grenztemperatur angesetzt wird, desto höher sind auch die relativen Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren. Sowohl Christenson et al. (2006) als auch Pretenthaler et al. (2007) benutzten den Grenzwert von 18,3°C für ihre Untersuchungen.

Der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Kühlenergiebedarf wurde von Sailor (2001) in den USA untersucht, mit dem Ergebnis, dass nur in einem von 8 untersuchten Bundesstaaten ein signifikanter Zusammenhang festgestellt werden konnte. Auch in einer Untersuchung von Lam (1998) wurde auf den Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf den Kühlenergiebedarf in Hongkong eingegangen, doch auch hier konnte kein signifikanter Zusammenhang gefunden werden. Es scheint, dass die Luftfeuchtigkeit, im Gegensatz zur Temperatur, nur eine untergeordnete Rolle für den Kühlenergiebedarf spielt.

In der vorliegenden Arbeit wird daher die Luftfeuchtigkeit bei der Berechnung der Kühlgradtage nicht berücksichtigt und der Grenzwert von 18,3°C benutzt, auch um mit den anderen Arbeiten vergleichbar zu sein. Damit werden die Kühlgradtage für einen bestimmten Zeitraum zwischen den Tagen d_1 und d_2 wie folgt berechnet:

$$KGT(d_1, d_2) = \sum_{d_1}^{d_2} T_{Mittel} - 18,3 \quad \text{bei } T_{Mittel} \geq 18,3^\circ\text{C}$$

Kühltage (Kt)

Ähnlich der Definition für Heiztage, sind Kühltage solche Tage, an denen die Tagesmitteltemperatur über 18,3°C, dem Grenzwert für Kühlgradtage, liegt und daher gekühlt wird.

Auch hier kann wieder das Verhältnis Kühlgradtag pro Kühltage berechnet werden, woraus sich ableiten lässt, ob ein Monat oder ein Jahr, in dem gekühlt werden musste, besonders heiß war. In diesem Fall gilt, je höher der Wert Kühlgradtag pro Kühltage ist, desto höher waren auch die Temperaturen im untersuchten Zeitraum.

Potentielle Temperatur und isentroper Temperaturgradient

(nach Holton, 2004 und Hantel, 2012)

Die potentielle Temperatur ist eine Größe, die man erhält, wenn man ein Luftpaket betrachtet, bei dem kein Energieaustausch mit der Umgebung (Isentropie) stattfindet.

Die Gibbssche Gleichung:

$$dh = T ds + \alpha dp$$

sagt aus, dass die Enthalpieänderung (dh) eines homogenen Systems von der Änderung der Entropie (ds) und der Änderung des Drucks (dp) abhängt. Mit einer weiteren Definition der Enthalpie (mit der spezifischen Wärmekapazität bei konstantem Druck c_p)

$$dh = c_p dT$$

lässt sich die Variable h aus der Gibbsschen Gleichung eliminieren.

$$c_p dT = T ds + \alpha dp$$

Da sich das Luftpaket isentrop verhalten soll, wird die Formel nach der Änderung der Entropie aufgelöst und $ds = 0$ gesetzt. Mit Zuhilfenahme der allgemeinen Gasgleichung (1) kann α ausgetauscht werden und es ergibt sich:

$$\alpha = \frac{RT}{p} \quad (1) \quad ds = 0 = c_p \left(\frac{dT}{T} - \frac{R}{c_p} \frac{dp}{p} \right) \rightarrow \frac{dT}{T} = \frac{R}{c_p} \frac{dp}{p} \quad (2)$$

Nun wird noch integriert und auslogarithmiert. Mit $\frac{R}{c_p} = \kappa$ und $T_0 = \theta$ ergibt sich schließlich die potentielle Temperatur:

$$\theta = T \left(\frac{p_0}{p} \right)^\kappa$$

Die potentielle Temperatur θ gibt also jene Temperatur an, die ein trockenes Luftpaket haben würde, wenn man es aus seiner aktuellen Position, mit Temperatur T und dem Druck p , isentrop auf das Niveau des Standarddrucks p_0 absenkt. Der Wert von p_0 wird mit 1000 hPa angenommen.

Der isentrope Temperaturgradient gibt die Temperaturänderung mit der Höhe an. Diesen Gradienten berechnet man mit Hilfe der allgemeinen Gasgleichung (1) der logarithmischen differentiellen Form der potentiellen Temperatur (2) und der hydrostatischen Gleichung:

$$\frac{dp}{dz} = -\rho g \rightarrow (1): \rho = \frac{1}{\alpha} = \frac{p}{RT} \rightarrow \frac{dp}{p} = -g \frac{dz}{RT} \quad (3)$$

Setzt man nun die Form (3) der hydrostatischen Gleichung in Formel (2) ein

$$\frac{dT}{T} = -\frac{R}{c_p} g \frac{dz}{RT}$$

erhält man, nach Kürzen und Umschreiben, den isentropen vertikalen Temperaturgradienten:

$$\frac{dT}{dz} = -\frac{g}{c_p} \approx -\frac{1\text{K}}{100\text{m}} = -0,01 \text{ K m}^{-1}$$

der damit aussagt, dass die Temperatur um etwa 1 Kelvin alle 100 Höhenmeter abnimmt.

Minimumtopographie

(nach Mayer et al. 2012)

Bei der Minimumtopographie handelt es sich um eine modifizierte Darstellung der realen Topographie in der Gipfel und raue Berghänge geglättet werden und Täler hervorgehoben werden, ohne dass sich die Seehöhe der Täler oder Ebenen ändert.

Das geschieht, indem die reale Höhe an jedem beliebigen Punkt durch den Punkt mit der niedrigsten Erhebung in einem Radius von 10 km ersetzt wird.

Die Folge sind erweiterte Tallagen und sanftere Anstiege, die auch zu einer Erniedrigung der Berggipfel führen. Das kann sogar so weit führen, dass genügend schmale Berge zwischen zwei Tälern vollständig reduziert werden.

Methode

Datengrundlage

Als Basis für die Auswertung der Daten, dient die MESOCLIM Datenbank.

Die MESOCLIM Datenbank enthält Messdaten für den europäischen Raum zwischen 14,5 Grad westlicher und 37,28 Grad östlicher Länge, sowie zwischen den nördlichen Breiten 32,5986 Grad und 60,7235 Grad. Der Abstand der Rasterpunkte beträgt 16 km.

Die zeitliche Auflösung der Daten entspricht einem 3 Stunden Intervall über einen Zeitraum von 35 Jahren, beginnend mit dem 1. Januar 1971 um 0 Uhr und endet am 31. Dezember 2005 um 21 Uhr.

Zu den gespeicherten Klimagrößen zählen neben der für diese Arbeit relevanten potentiellen Temperatur und dem reduzierten Luftdruck noch weitere Größen, wie Wind, Niederschlagsmenge und äquivalent-potentielle Temperatur.

Die Daten liegen als .nc files vor, die den gesamten Datensatz eines Monats enthalten. Ausgelesen und ausgewertet wurden die Daten mit Hilfe des Programms MatLab. Für einige Abbildungen wurde auch das Programm Open Office Calc verwendet.

Als Referenz für die Seehöhe wurde eine Karte der Minimumtopographie für Europa verwendet. Das der Karte zugrundeliegende Raster reicht vom 21. Grad westlicher Länge bis zum 51. Grad östlicher Länge und dem 24. Grad nördlicher Breite bis zum 76. Grad nördlicher Breite. Der Abstand der einzelnen Gitterpunkte beträgt dabei 30 Gradsekunden.

Tabelle 1: Vergleich der beiden verwendeten Datenraster

	Koordinaten system	Westlicher Rand	Östlicher Rand	Südlicher Rand	Nördlicher Rand	Gitterpunkt Abstand
Mesoclim	x-y	14,5° W	37,28° O	32,5986° N	60,7235° N	16 km
Minimum-topographie	Lambda-Phi	21° W	51° O	24° N	76° N	30"

Aufgrund der stark unterschiedlichen Auflösungen der MESOCLIM Daten und der Karte der Minimumtopographie kann es, bedingt durch die Anpassung der Raster, zu graphischen Diskontinuitäten kommen, vor allem an den Rändern der Gebirge (Alpen, Dinarisches Gebirge, Apennin). Diese Artefakte könnten durch eine Mittelung der Minimumtopographie und damit einer größeren Auflösung der Karten reduziert werden. Da großflächige Mittelungen immer auch einen Informationsverlust bedeuten, wurde in dieser Arbeit davon abgesehen.

Datenbearbeitung

Für die Berechnung der Heizgradtage bzw. der Kühlgradtage wird die Tagesmitteltemperatur verwendet. Die Temperaturwerte in den MESOCLIM Daten liegen in einem 3 Stunden Intervall vor, wobei die Werte so interpretiert werden, dass z.B. der 12 Uhr Wert ein gemittelter Wert aus den 3 Stunden von 10.30 Uhr bis 13.30 Uhr ist. Dadurch tragen aber sowohl der Wert um 0 Uhr als auch der Wert um 24 Uhr nur jeweils die halbe Zeit zu einem Tag bei. Das wird berücksichtigt, indem beide Werte halbiert werden. Somit wird der Tagesmittelwert (T_M) für die Temperatur auf folgende Weise berechnet:

$$\left(\frac{T_0}{2} + T_3 + T_6 + T_9 + T_{12} + T_{15} + T_{18} + T_{21} + \frac{T_{24}}{2} \right) / 8 = T_M$$

In den MESOCLIM Datenreihen wird, wie oben bereits erwähnt, allerdings die potentielle Temperatur gespeichert. Zur Umrechnung der potentiellen Temperatur in die gemessene Lufttemperatur wird der Luftdruck benötigt (siehe auch Definition der potentiellen Temperatur). Daher wird neben der potentiellen Temperatur auch der Luftdruck nach der selben Methode über den Tag gemittelt.

Da der Luftdruck aber nur in auf Meeressniveau reduzierter Form vorkommt, werden die Werte für die Seehöhe aus der Minimumtopographie zur Umrechnung benötigt. Das Raster der Minimumtopographie und der MESOCLIM Daten musste dazu angeglichen werden. Das x-y Koordinatensystem der MESOCLIM Daten wurde in ein Lambda-Phi Koordinatensystem umgerechnet und auf ein Gitter mit einem 30 Gradsekunden Abstand erweitert. Da beide Gitter sich über einen großen Teil Europas erstrecken, sich aber in ihrer Ausdehnung unterscheiden, wurden die beiden Gitter so angepasst, dass es zu einer idealen Überlagerung im Bereich der Alpen kommt.

Der zurechtgeschnittene Bereich des Alpenraums hat folgende Koordinaten:

03° 55' 30" O – 19° 03' 30" O

42° 56' 30" N – 49° 55' 00" N

Abbildung 2 zeigt die Minimumtopographie in dem ausgewählten Bereich.

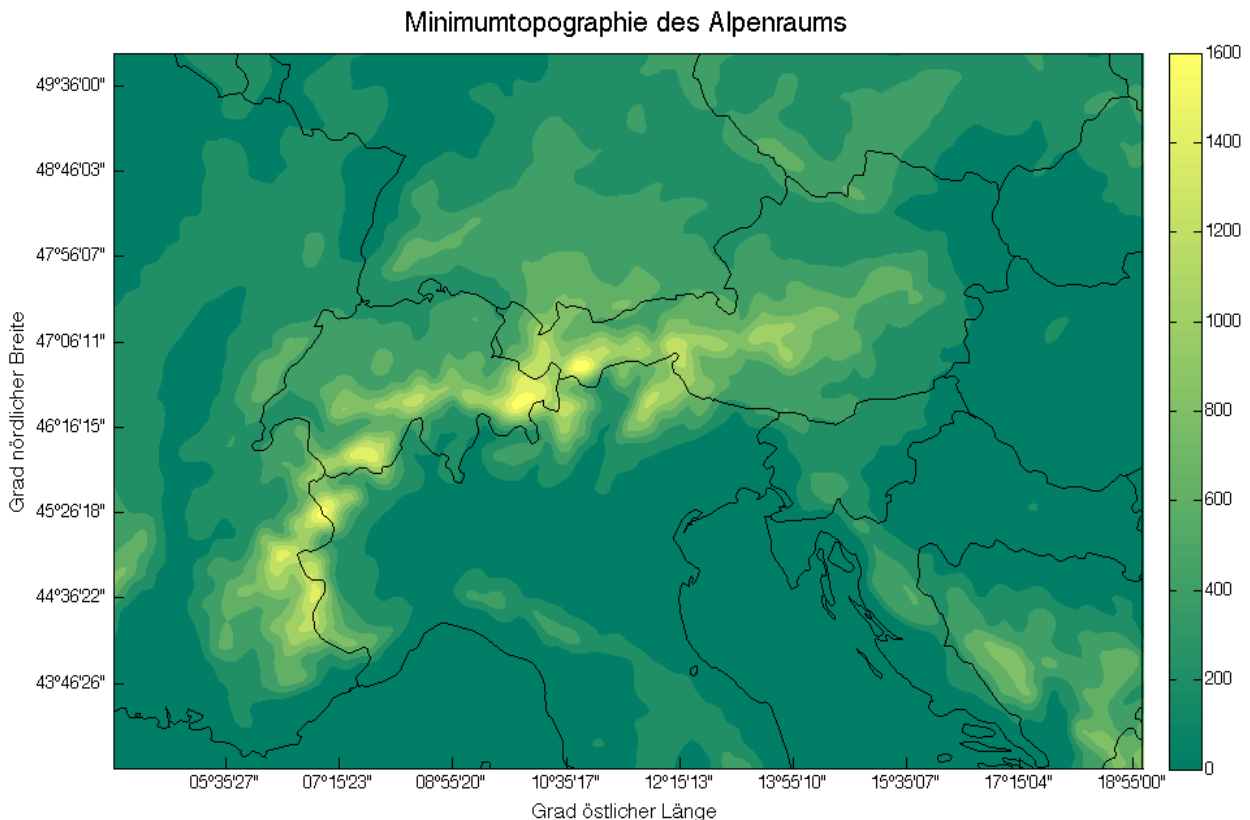


Abbildung 2: Karte der Minimumtopographie der Alpen. (Skala entspricht der Seehöhe in Meter)

In diesem Bereich ist jetzt jedem Wert der Minimumtopographie genau ein Wert der potentiellen Temperatur als auch des reduzierten Luftdrucks zugewiesen. Die Berechnung der Temperatur erfolgt nun mit Hilfe der Definition der potentiellen Temperatur und dem isentropen Temperaturgradienten:

$$T(^{\circ}C) = \theta(K) * \left(\frac{p_r}{1000} \right)^{\kappa} - 0,01 * \text{Minimumtopographie} - 273,15$$

Die erhaltenen Tagesmitteltemperaturen können nun zur Berechnung der Heiz- und Kühlgradtage verwendet werden.

Zusätzlich wird bestimmt, ob es sich um einen Heiztag oder einen Kühltag handelt.

Für die Auswertung wurden die Tageswerte zu Monatssummen und Jahressummen zusammengefasst. Aus diesen Summen wurde auch ein langjähriges Mittel über alle 35 Jahre

berechnet. Diese Klimamittel wurden sowohl für die Jahressumme als auch sämtliche Monatssummen der Heiz- und Kühlgradtage sowie der Heiztage und Kühltage berechnet.

Um Zeitreihen zu erstellen, wurden die Daten von 6 Städten im Alpenraum separat ausgelesen. Bei der Auswahl der Städte spielten eine ausgewogene Ost-West Verteilung und unterschiedliche Höhenstufen, die aber zwischen den im Osten gelegenen Städten und den im Westen gelegenen Städten vergleichbar sein sollten, eine Rolle. Die ausgewählten Städte waren für den Osten Wien, als Vertreter der tiefen Lage, und Mariazell, als Vertreter der höheren Lage. Im Westen liegen Grenoble am Fuß der Alpen und, in vergleichbarer Höhe mit Mariazell, Chamonix. Für den zentralen Bereich der Alpen wurde als Vertreter der "tiefen" Lage Innsbruck und Sankt Moritz in der Schweiz als Vertreter der hochalpinen Lage ausgewählt.

Detailliertere Angaben zu den Orten sind in der Tabelle 2 angegeben.

Aus den Daten dieser Orte wurden Zeitreihen für die Heiz- und Kühlgradtage, den Heiztagen und Kühltagen sowie den Verhältnissen von Heizgradtag zu Heiztag und Kühlgradtag zu Kühltage erstellt und Regressionsgeraden berechnet.

Tabelle 2: Geographische Angaben zu den ausgewählten Städten (von Ost nach West)

	Geographische Koordinaten		Seehöhe	Minimumtopographie
Wien	16° 22' O	48° 12' N	151 m	145 m
Mariazell	15° 19' O	47° 45' N	868 m	722 m
Innsbruck	11° 24' O	47° 16' N	574 m	554 m
Sankt Moritz	09° 50' O	46° 30' N	1822 m	1666 m
Chamonix	06° 52' O	45° 55' N	995 m	861 m
Grenoble	05° 44' O	45° 11' N	212 m	202 m

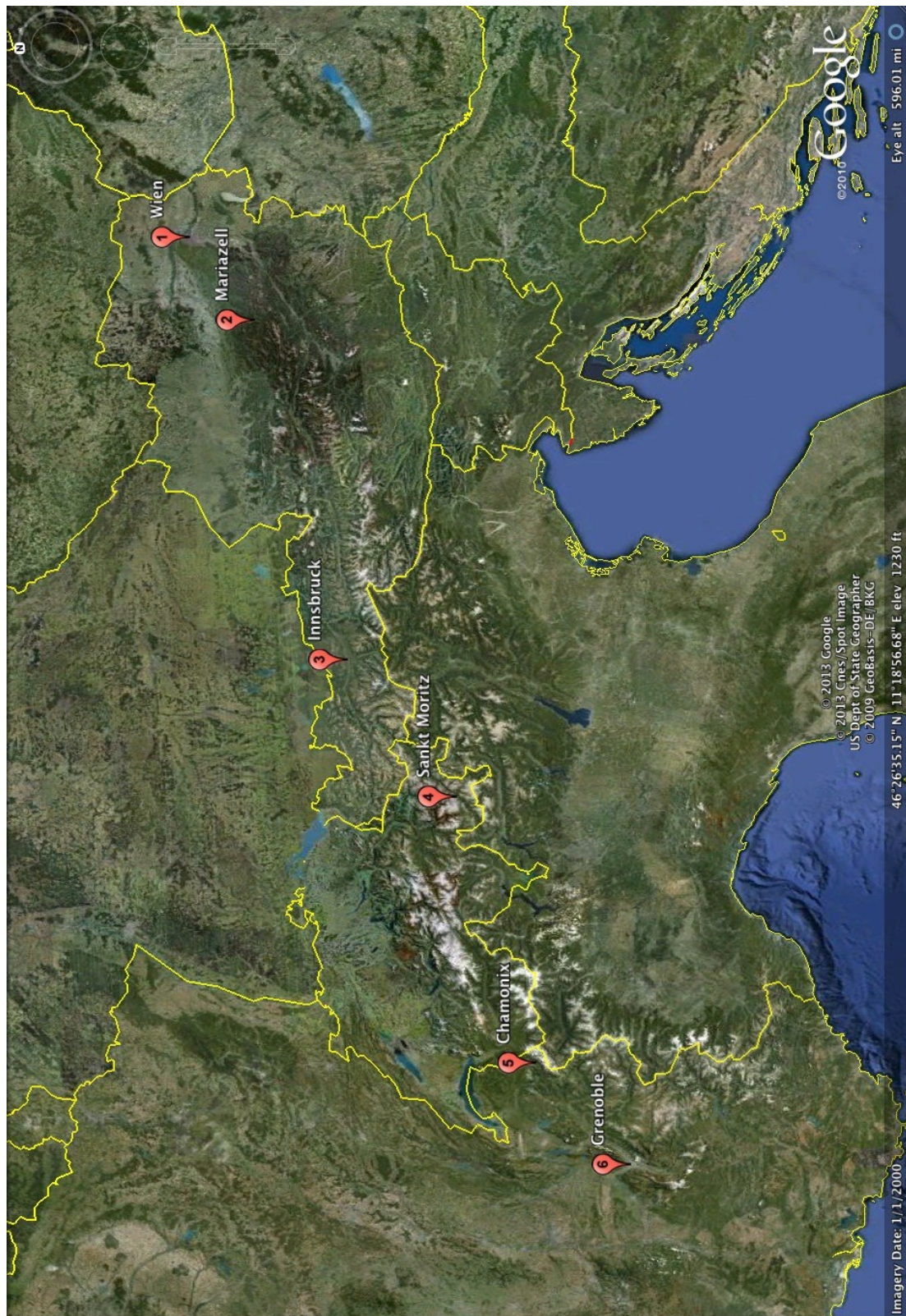


Abbildung 3: Position der ausgewählten Städte in den Alpen (erstellt mit Google Earth)

Ergebnisse

Heizgradtage

Betrachtet man die Karte der Jahressummen der Heizgradtage im klimatologischen Mittel über alle verfügbaren Jahre (1971 – 2005) in Abbildung 4, sieht man eine nicht ganz unerwartete Verteilung der Heizgradtage.

So sind die höchsten Werte entlang des Alpenhauptkamms zu finden, südlich der Alpen sind niedrigere Werte als im Norden und im Westen. Wo sich die Alpen nach Süden biegen, reichen die niedrigen Werte etwas weiter nach Norden. Im Osten südlich von Wien und im nördlichen Burgenland gibt es einen kleinen abgeschlossenen Bereich, in dem die Heizgradtage ebenfalls niedriger ausfallen als in der unmittelbaren Umgebung. Auch entlang des Rheins an der deutsch – französischen Grenze gibt es einen Bereich mit im Vergleich niedrigeren Heizgradtagen.

Die Werte reichen dabei von unter 1000 Heizgradtagen (HGT) im Bereich des Mittelmeeres bis zu über 7000 HGT in den hochalpinen Tallagen.

In Österreich, Deutschland und der Schweiz liegen die Werte der Heizgradtage in den Niederungen zwischen 3000 HGT und 3500 HGT und damit knapp unter 50% der Maximalwerte.

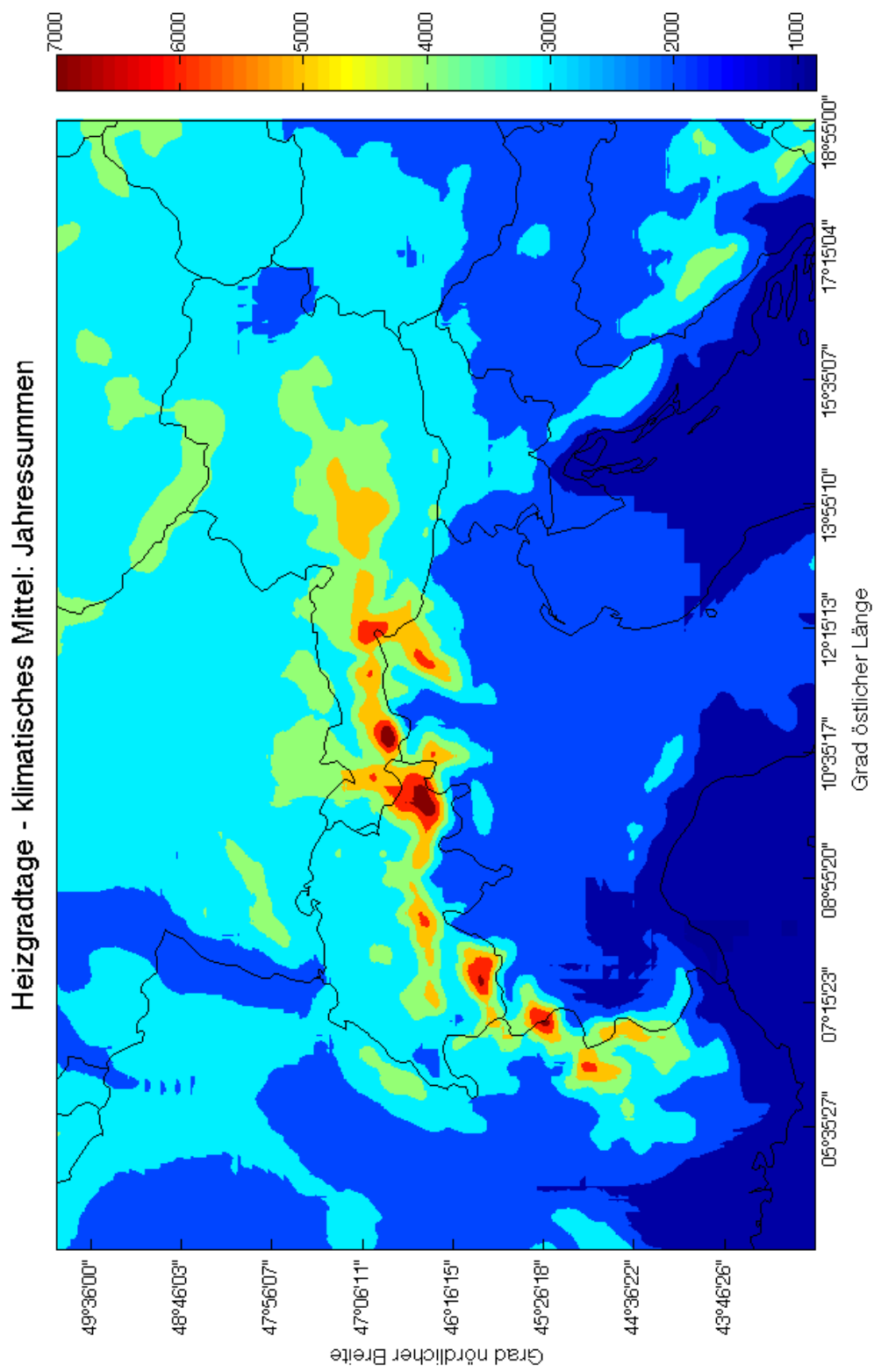


Abbildung 4: Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Heizgradtage

Vergleicht man dazu die Karte mit den Jahressummen der Heiztage im klimatologischen Mittel (Abbildung 5) sieht man, dass auch die Anzahl der Tage an denen geheizt wird ansteigt, je höher man in den Alpen aufsteigt.

Dabei kommt man in den hochalpinen Zonen auf eine Dauer, die nur knapp unter einem ganzen Jahr liegt. Die Verteilung gleicht im Großen und Ganzen der Karte mit den Heizgradtagen. Im Süden sind wieder die niedrigsten Werte zu finden und im Westen ziehen die niedrigeren Werte der Heiztage wieder weiter nach Norden. Entlang des Rheins sind, genau wie bei den Heizgradtagen, weniger Heiztage ausgewiesen.

Im Osten zeigt sich jedoch ein leicht verändertes Bild. Hier sind nicht nur in einem kleinen Bereich des nördlichen Burgenlandes niedrigere Werte zu finden, sondern in einem Bereich, der sich von Wien und der östlichen Steiermark großflächig Richtung Osten zieht.

Die Spanne der Heiztage reicht insgesamt von unter 100 Tagen im Bereich des Mittelmeeres bis zu rund 350 Tagen im hochalpinen Raum.

Der Wert der Heiztage in den Niederungen in Österreich, Deutschland und der Schweiz liegt zwischen 200 und 250 Tagen (im Osten von Österreich unter 200). Damit liegt die Anzahl der Tage, an denen geheizt werden muss, bei über 60% der maximalen Anzahl der Heiztage.

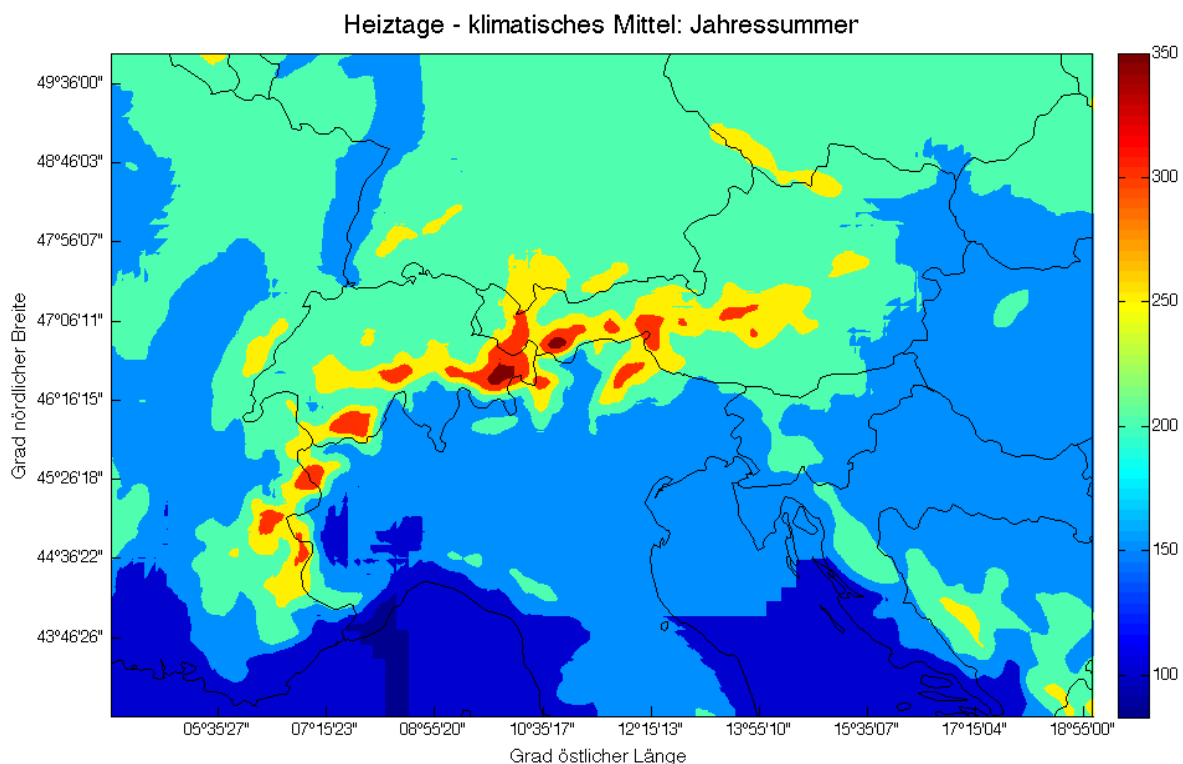


Abbildung 5: Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Heiztage

Ermittelt man aus den beiden Karten das Verhältnis der Heizgradtage pro Heiztag erhält man eine Karte mit dem klimatologischen Mittel der durchschnittlichen Abweichung von der Heizgrenztemperatur (Abbildung 6). In den hohen alpinen Lagen sind wieder die höchsten Werte und in Italien, im Einflussbereich des Mittelmeeres, die niedrigsten Werte zu finden. Die Abweichungen nehmen dabei Werte zwischen 10 und 21 Heizgradtage pro Heiztag an. Im Unterschied zu den beiden oberen Abbildungen kann man nördlich der Alpen einen deutlichen Gradienten ausmachen, der die durchschnittlichen Abweichungen von der Heizgrenztemperatur von Westen nach Osten, leicht von rund 13 Heizgradtagen pro Heiztag auf rund 16 Heizgradtage pro Heiztag, ansteigen lässt. Die Abgrenzung entlang des Rheins ist in dieser Darstellung nicht erkennbar. In der Umgebung von Wien, entlang der Donau Richtung Linz und dem nördlichen Burgenland sind jedoch, entgegen dem Gradienten, die Abweichungen wieder etwas geringer als in der weiteren Umgebung.

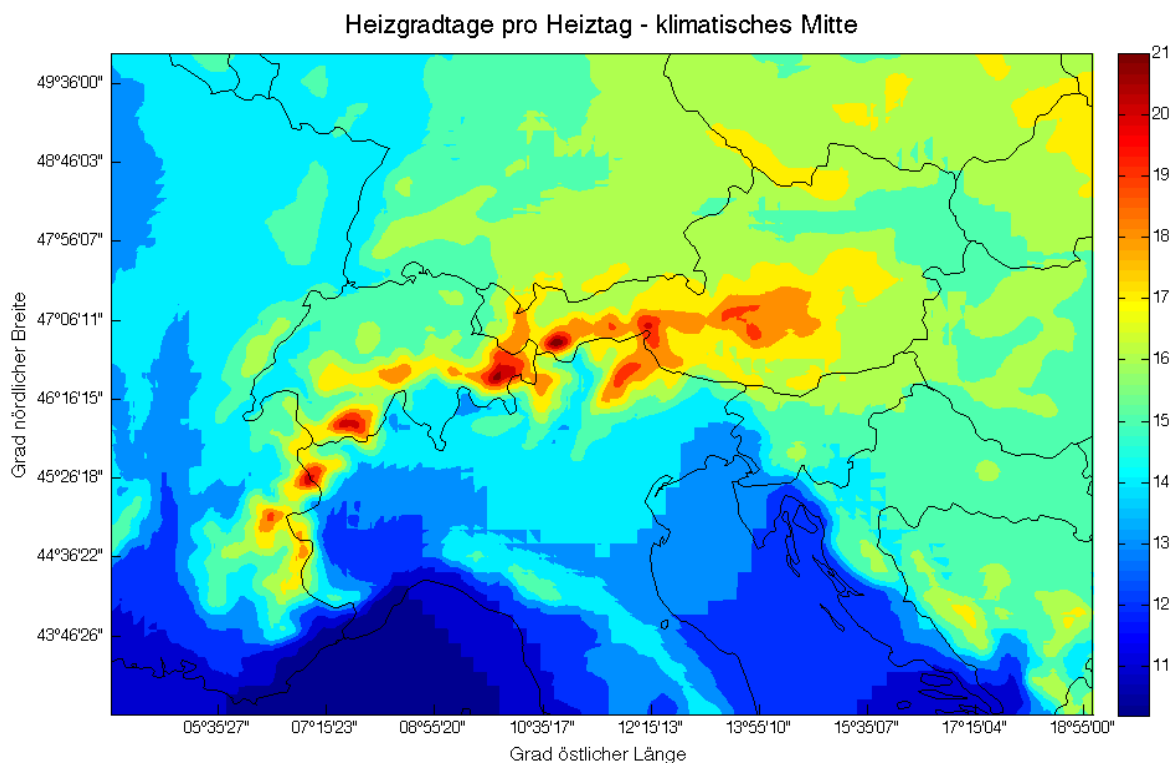


Abbildung 6: Verhältnis Heizgradtage pro Heiztag, gemittelt über alle 35 Jahre

Nach den gemittelten Jahressummen wenden wir uns nun den Zeitreihen der ausgewählten Städte zu. In Abbildung 7 (obere Grafik) sind die Heizgradtage als Summe jedes Jahres für alle Städte in einer Grafik dargestellt. Die Verläufe der Kurven sehen sich dabei sehr ähnlich, und zeigt die Kurve einer Stadt einen besonderen Einschnitt, findet man bei den anderen

Städten meist einen ähnlich markanten Verlauf, wie z.B. in dem Jahr 1994.

Das Jahr 2003 weist in dieser Hinsicht eine Besonderheit auf, da in diesem Jahr St. Moritz sein absolutes Minimum für den Zeitraum bis 2005 aufweist, aber in keiner anderen Stadt eine Abnahme der Heizgradtage dargestellt wird. Wien hat im Jahr 2003 sogar ein kleines lokales Maximum.

Neben der Gleichmäßigkeit der Kurven sieht man auch, dass die beiden Kurven der Städte Chamonix und Mariazell, die auf einer vergleichbaren Seehöhe liegen, gerade in den ersten Jahren ähnlich hohe Werte annehmen.

Im Gegensatz dazu weisen die Kurven von Grenoble und Wien, die ebenfalls auf einer vergleichbaren Seehöhe liegen, von Anfang an Unterschiede von rund 700 Heizgradtagen auf.

Für jede Zeitreihe ist auch eine Regressionsgerade berechnet worden. In allen Städten weist die Regressionsgerade eine negative Steigung auf. In den Zeitserien der Heizgradtage hat St. Moritz die stärkste Abnahme von über 25 Heizgradtagen in jedem Jahr.

Bemerkenswert ist der Unterschied in den Steigungen von Chamonix (-21 Heizgradtage pro Jahr) und Mariazell (-14 Heizgradtage pro Jahr). Dadurch erhöht sich der Abstand der beiden Regressionsgeraden während der beobachteten 35 Jahre um rund 150% (1971: 160,9 → 2005: 404,6). Die Regressionsgeraden von Grenoble und Wien haben dafür sehr ähnliche Steigungen und der Abstand, der am Anfang schon 704 Heizgradtage betragen hat, ändert sich daher nur um 11% auf 782 Heizgradtage.

Die zweite Grafik in Abbildung 7 zeigt die Entwicklung der Heiztage von 1971 bis 2005. Obwohl die Steigungen der Regressionsgeraden nur sehr geringe Zahlenwerte aufweisen, sind die Auswirkungen doch beträchtlich. So ergibt sich aus der Steigung von Grenoble ($-0,92$), dass in der Zeit von 1971 bis 2005 dem Trend folgend um 32 Tage weniger geheizt werden musste.

Wenn man die Steigungen in Abhängigkeit zur Höhenlage der Städte betrachtet, erkennt man eine Verringerung des Abfalls mit der Höhe. So hat St. Moritz mit einem Koeffizienten von $-0,28$ den niedrigsten Abfall und verliert in den 35 Jahren umgerechnet nur knapp 10 Heiztage.

Bei einem Ost-West Vergleich zeigt sich, dass die Steigung in Wien 77,4% der Steigung von Grenoble entspricht. Die Steigungen von Chamonix und Mariazell haben ein sehr ähnliches Verhältnis von 75,1%.

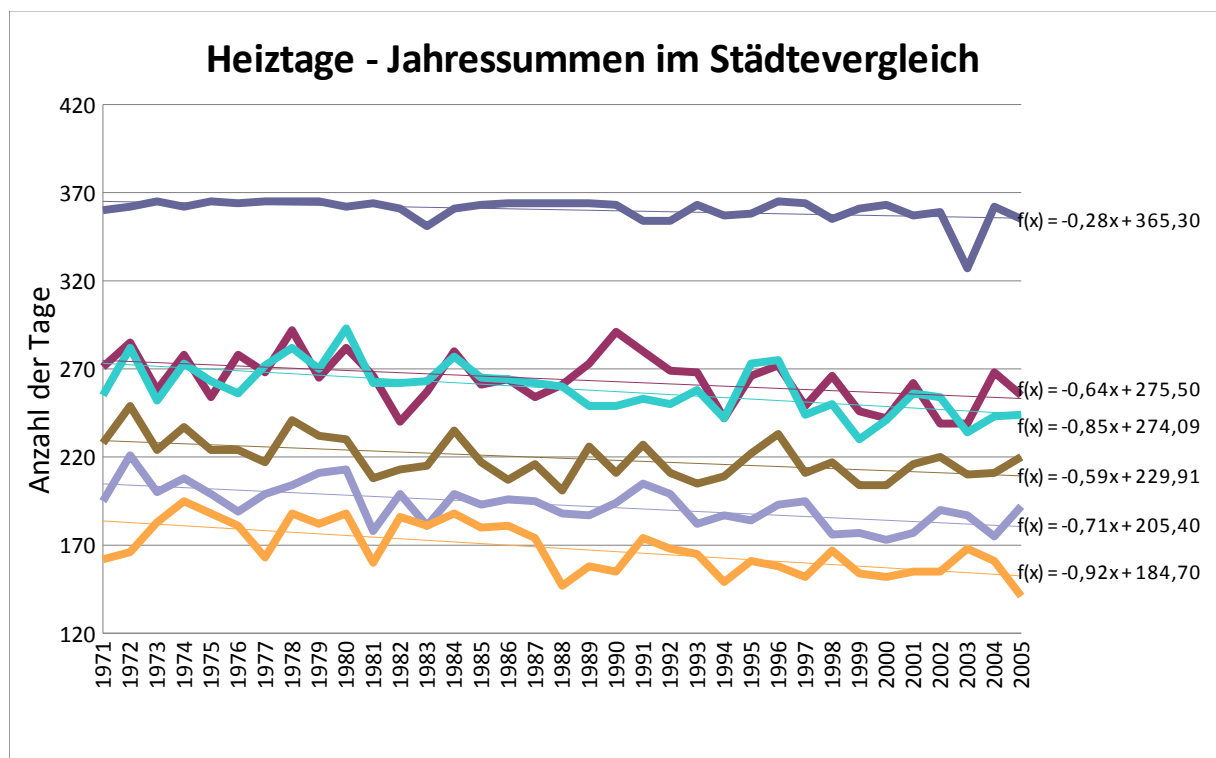
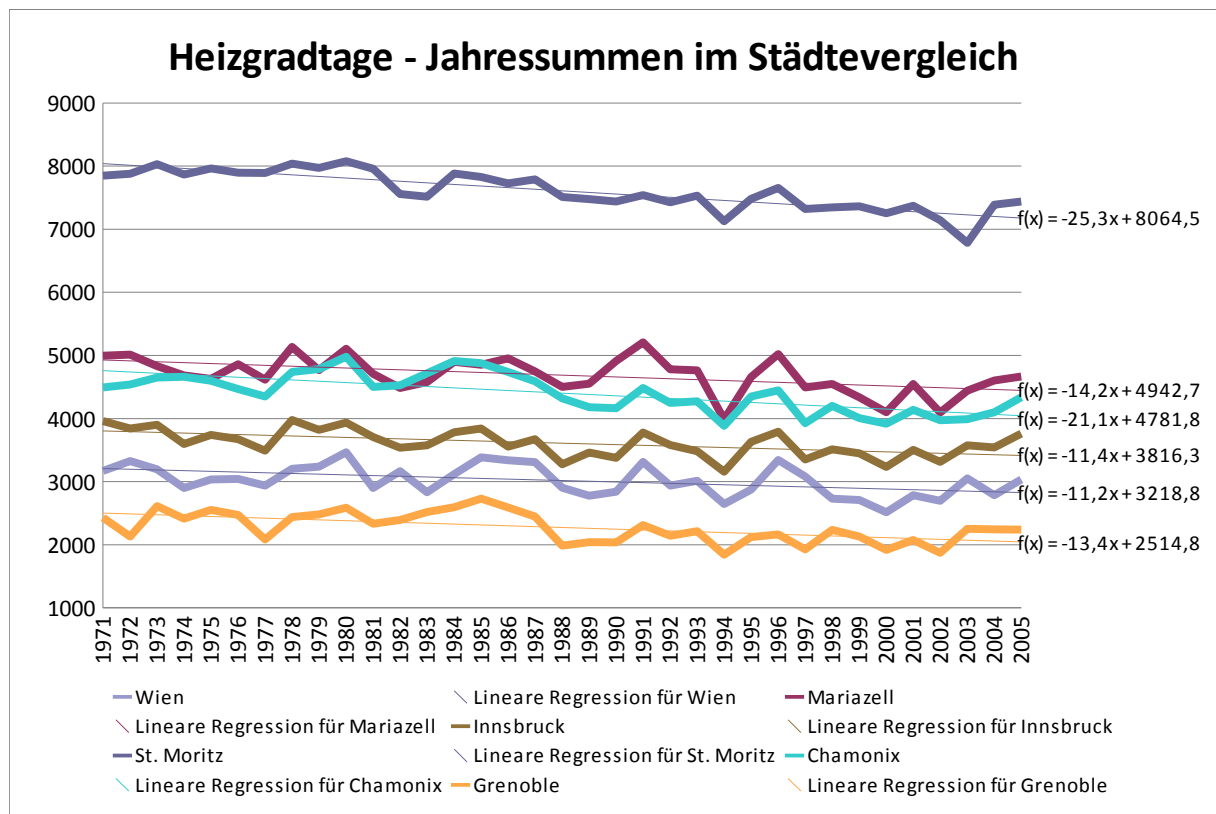


Abbildung 7: Zeitreihen der Jahressummen der Heizgradtage (oben) und der Heiztage (unten) mit dazugehörigen Regressionsgeraden. (Legende gilt für beide Abbildungen)

In Abbildung 8 kann man die Zeitreihen für die Heizgradtage pro Heiztag sehen. Die Steigungen der Regressionsgeraden sind noch deutlich geringer als bei den Heiztagen. Im Gegensatz zu den Heiztagen in Abbildung 7 (unten) nimmt hier jedoch der Abfall mit der Höhenlage der Stadt zu, so dass St. Moritz die Stadt mit dem stärksten Rückgang der Heizgradtage pro Heiztag ist. Hier ist die Abhängigkeit von der Höhe am deutlichsten zu erkennen. Sind die Heizgradtage pro Heiztag in den Ebenen und Tallagen nahezu stabil (selbst in Innsbruck würde es bei einem gleichbleibenden Trend mehr als 100 Jahre dauern, bis sich die Heizgradtage pro Heiztag um 1 verringern), so wird der Abfall mit zunehmender Höhe immer steiler. In St. Moritz sind die Heizgradtage pro Heiztag im untersuchten Zeitraum bereits um 1,88 geringer geworden, was bedeutet, dass es zu Beginn des neuen Jahrtausends tendenziell an Heiztagen um fast 2°C wärmer gewesen ist, als es noch 1971 war.

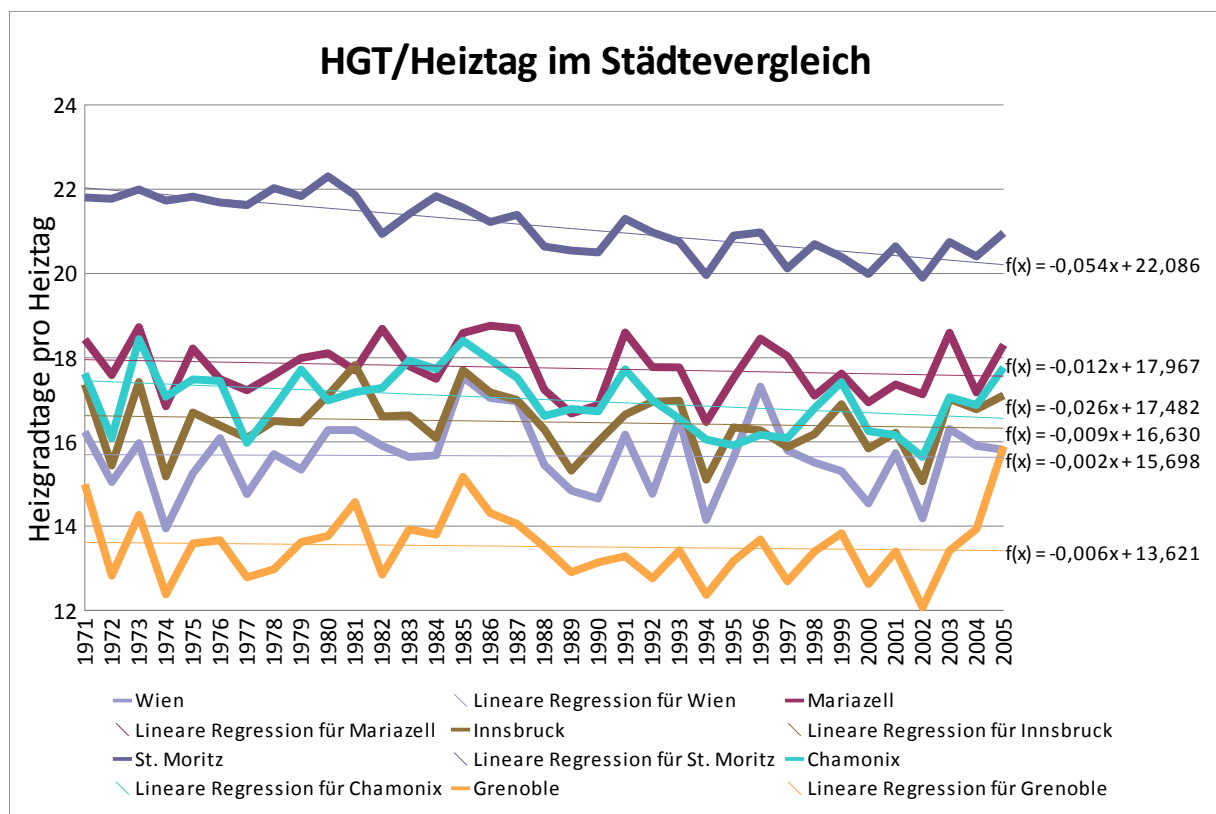


Abbildung 8: Zeitreihen des Verhältnisses Heizgradtage pro Heiztag mit dazugehörigen Regressionsgeraden.

Kühlgradtage

Auch für die Jahressummen der Kühlgradtage wurde ein klimatologisches Mittel aus den verfügbaren Daten der Jahre 1971 bis 2005 berechnet. Die daraus resultierende Karte ist in Abbildung 9 dargestellt.

Vergleicht man die Legende der Kühlgradtage mit der Legende der Heizgradtage aus Abbildung 4 erkennt man sofort, dass die Kühlgradtage im Alpenraum um ein Vielfaches niedriger ausfallen. Die Verteilung der Kühlgradtage allerdings zeigt ein Bild, das beinahe wie ein Negativ der Karte der Heizgradtage aussieht mit den hohen Werten im Süden und in den Alpen selbst sehr geringe bis gar keine Kühlgradtage.

Nördlich der Alpen sind in großen Teilen geringe Werte von rund 100 Kühlgradtagen vorherrschend, aber auch in dieser Karte ist entlang des Rheins eine Abweichung zu finden, in diesem Fall jedoch eine Abweichung zu höheren Werten.

Im Westen des Alpenbogens ziehen die höheren Werte der Kühlgradtage wieder in den Norden, doch erkennt man in dieser Karte, dass der Gradient ähnlich dem Gradienten in Italien ist.

Auch im Osten zeigt sich ein deutlicherer Gradient als in den Karten der Heizgradtage und auch hier ist wieder ein örtlich begrenztes Maximum im nördlichen Burgenland zu bemerken.

Betrachtet man die Karte des klimatischen Mittels der Kühltage eines ganzen Jahres in Abbildung 10, sieht die Verteilung noch etwas differenzierter aus. Neben dem Rhein in Deutschland erkennt man hier auch einen Einfluss der Donau in Österreich auf die Anzahl der Tage an denen gekühlt werden muss. In beiden Fällen werden mehr Kühltage entlang der Verläufe der Flüsse dargestellt als in der weiteren Umgebung.

Im Gegensatz zu den mehr als 200 Tagen an denen in den Niederungen nördlich der Alpen geheizt werden muss, ist die Anzahl der Tage an denen die Grenztemperatur für das Kühlen überschritten wird mit ca. 40 bis 60 Tagen sehr gering.

In Italien und an der französischen Küste erreicht die Anzahl der Kühltage jedoch mehr als doppelt so hohe Werte (120 bis 140).

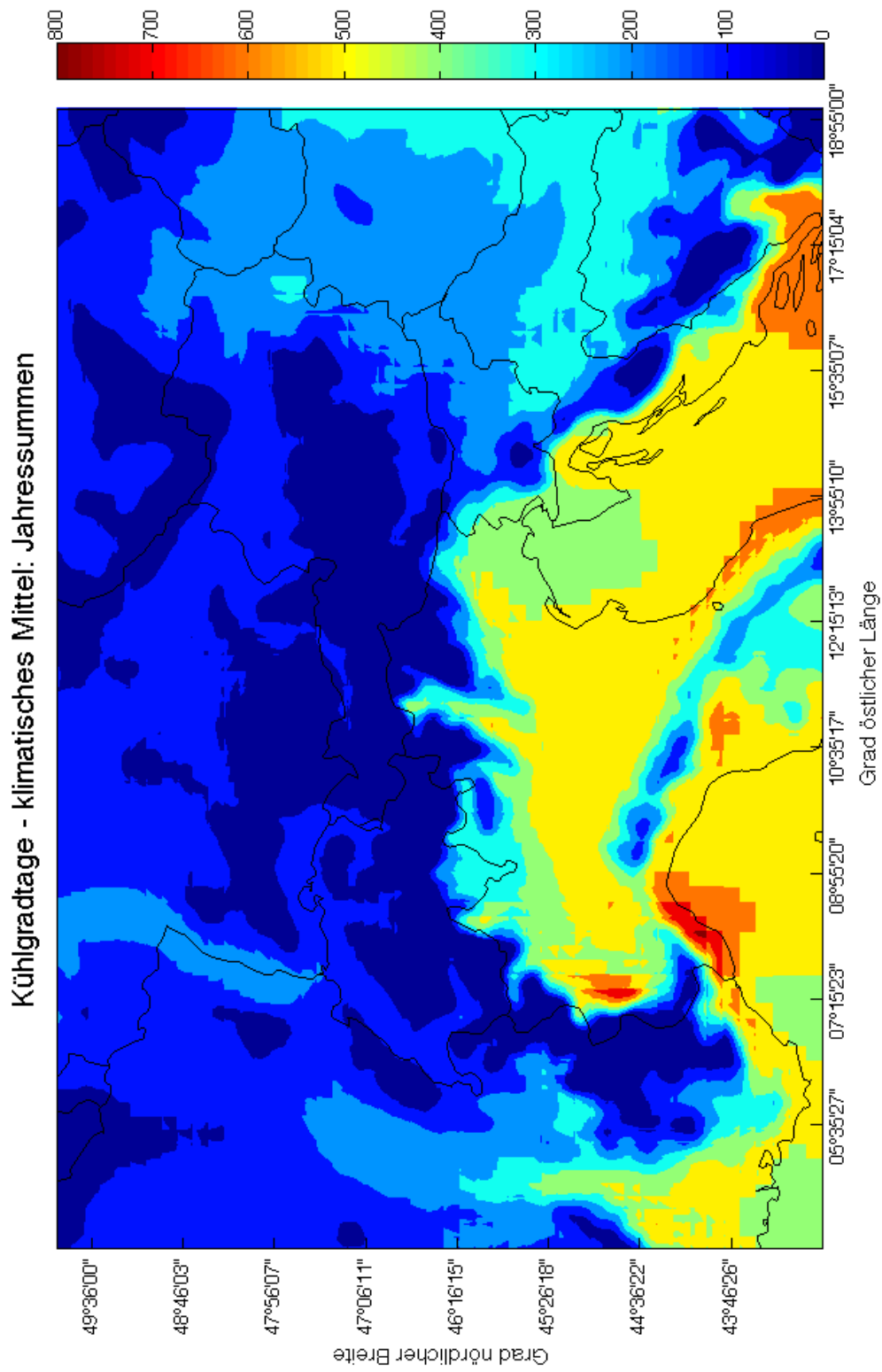


Abbildung 9: Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Kühlgradtage

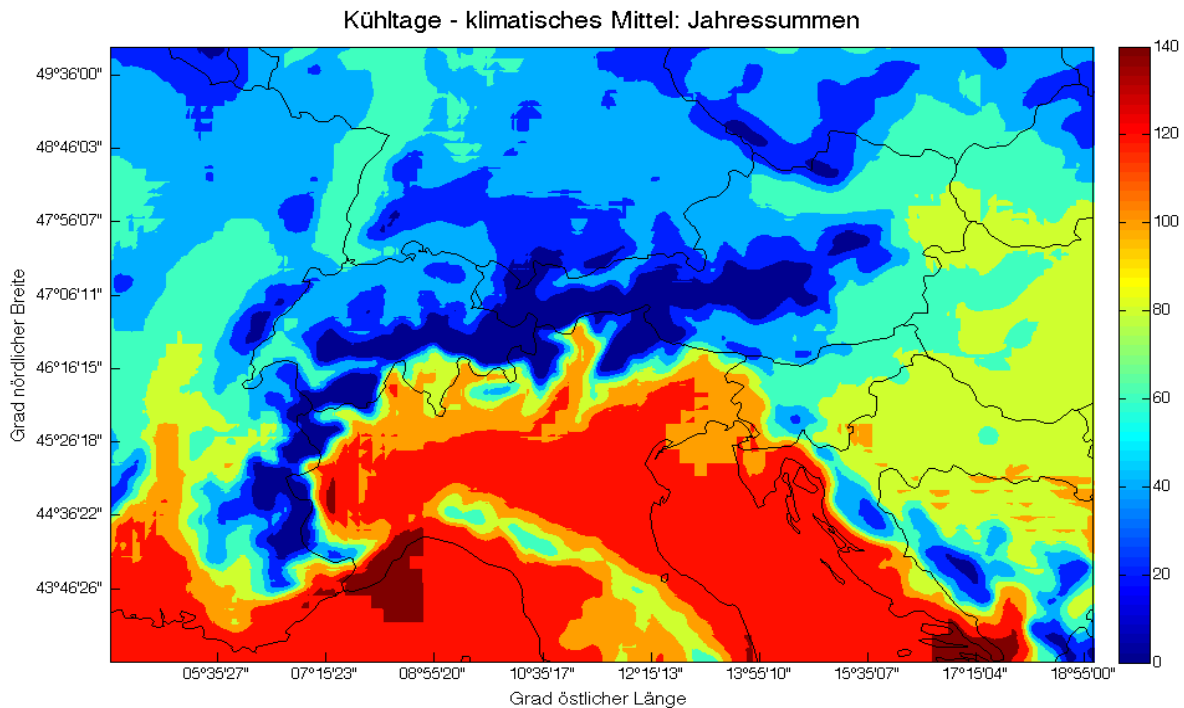


Abbildung 10: Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Kühltage

Auch für die Kühlgradtage wird das Verhältnis zu den Kühltagen (als Kühlgradtage pro Kühltage) berechnet und in Abbildung 11 dargestellt.

Die absoluten Werte sind mit maximal 5 Kühlgradtagen pro Kühltage deutlich niedriger als die Werte der Heizgradtage pro Heiztag.

Die Verteilung entspricht auch hier wieder dem üblichen Bild mit den maximalen Werten im Süden und einer stetigen Abnahme im Osten und Westen entlang der Alpen nach Norden hin. Direkt nördlich der Alpen findet man auch in den Niederungen niedrigere Werte als an den westlichen und östlichen Rändern. Die höheren Werte entlang des Rheins sind deutlicher zu erkennen als bei den Heizgradtagen pro Heiztag.

Ermittelt man nun auch für die Kühlgradtage die Jahressummen als Zeitreihen für die einzelnen Städte, erhält man die obere Grafik in Abbildung 12. Wie nach der Ansicht der Flächenkarten zu erwarten, finden sich die Kurven der Städte aus den Niederungen in den oberen Bereichen der Skala, während St. Moritz über den gesamten Zeitraum keinen einzigen Kühlgradtag aufweist. Die Kurve von St. Moritz hat daher keinen weiteren Informationsgehalt, wurde aber der Vollständigkeit halber in der Grafik belassen.

In weiterer Folge dieses Kapitels wird daher von einer Analyse in St. Moritz abgesehen und wenn von *allen Kurven* gesprochen wird, so wird St. Moritz dabei immer ausgelassen.

Alle Kurven (mit Ausnahme von St. Moritz) zeigen bei den Kühlgradtagen eine gute

Übereinstimmung, wenn es um die Charakteristik des Verlaufs der Kurven geht. So findet man in allen Kurven in den selben Jahren starke Anstiege wie zum Beispiel im Jahr 2003, das bei fast allen Städten den absoluten Höchstwert in der gesamten Zeitreihe darstellt. Nur in Mariazell haben die Jahre 1994 und 2003 gleich hohe Kühlgradtage.

Aufgrund der besonderen Abweichung wird das Jahr 2003 in dem nächsten Kapitel eigens betrachtet.

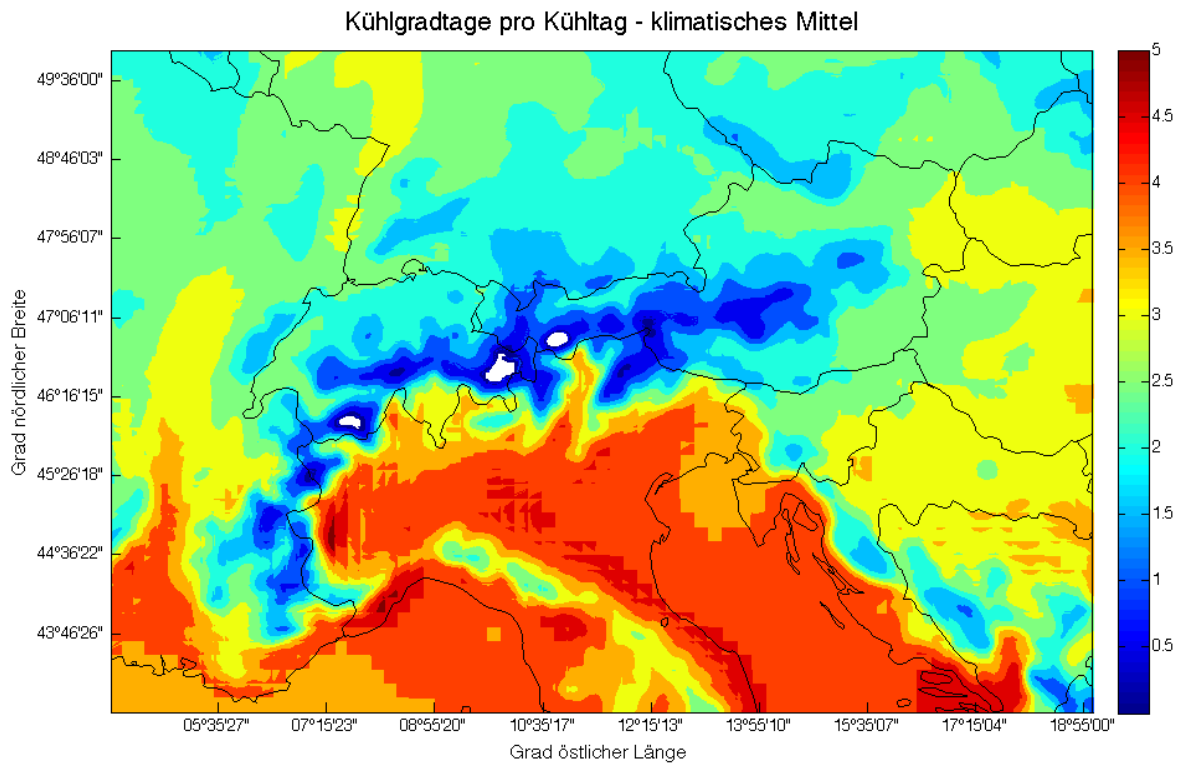


Abbildung 11: Verhältnis Kühlgradtage pro Kühltag, gemittelt über alle 35 Jahre

Die Kurven weisen alle einen Anstieg auf, wobei aber alle Anstiege unterschiedlich stark ausfallen, was ein deutlicher Unterschied zu den Steigungen der Heizgradtage ist, bei denen zumindest einige der Städte recht ähnliche Werte aufwiesen. Den stärksten Anstieg besitzt Grenoble, der mit einem Steigungskoeffizienten von 7,79 mehr als doppelt so hoch (mal 2,23) ausfällt, wie der Anstieg von Wien (3,49), der Stadt mit dem zweithöchsten Anstieg.

Die Anstiege von Chamonix (1,44) und Mariazell (0,8) besitzen ein nicht ganz so großes Verhältnis wie das zwischen Wien und Grenoble. Der Anstieg von Chamonix ist nur 1,8 mal so stark wie der in Mariazell.

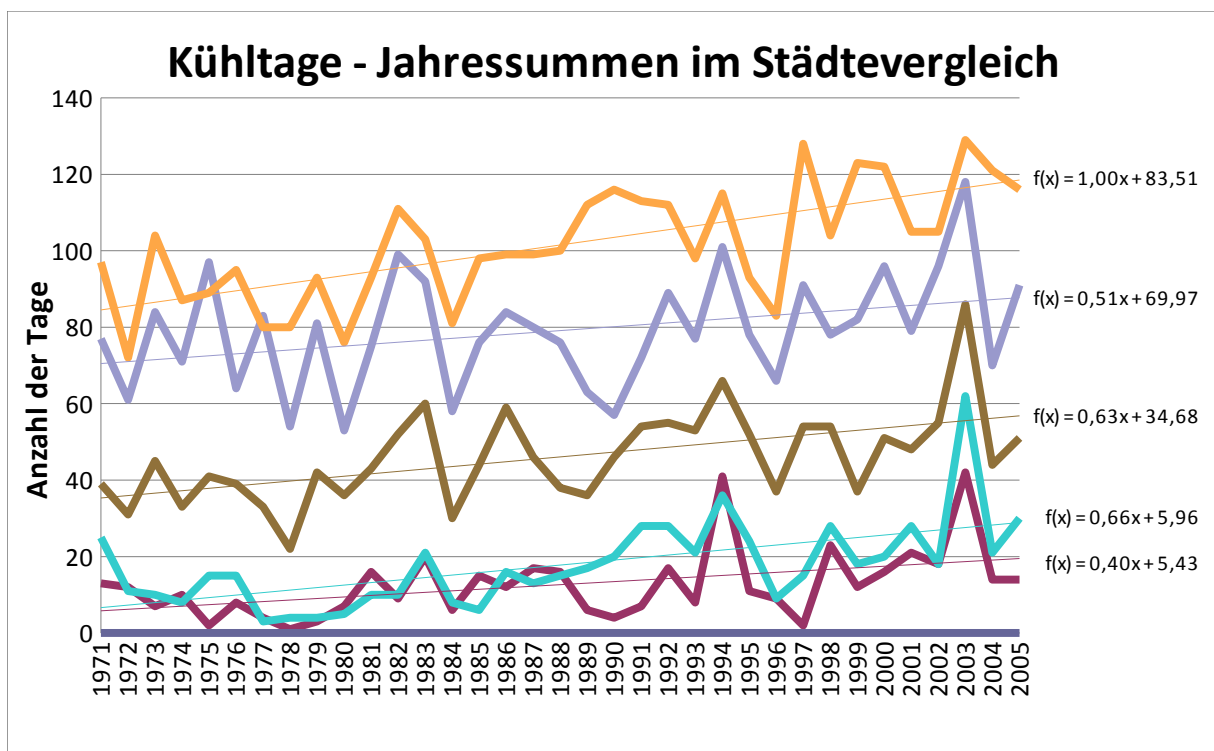
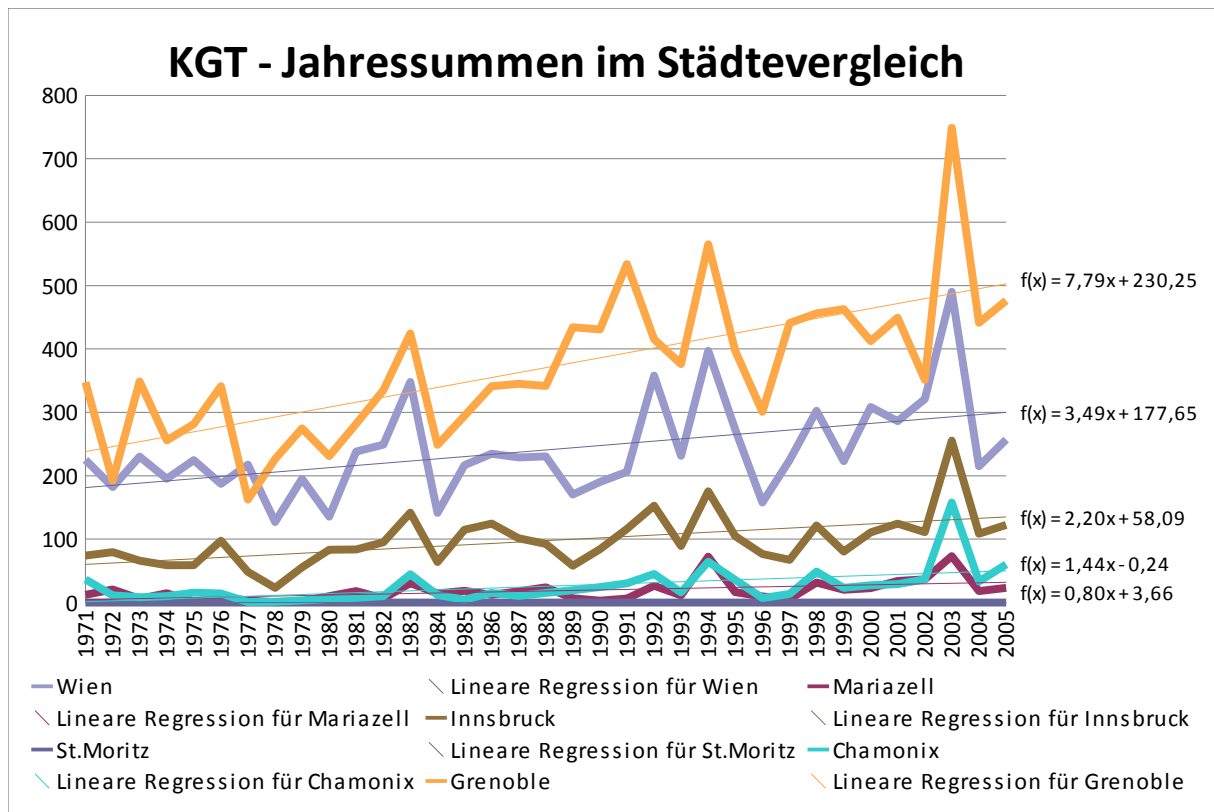


Abbildung 12: Zeitreihen der Jahressummen der Kühlgradtage (oben) und der Kühltage (unten) mit dazugehörigen Regressionsgeraden. (Legende gilt für beide Abbildungen)

Betrachtet man nach den Kühlgradtagen nun die Zeitserien der Kühltage (Abbildung 12 unten) zeigt sich, dass hier die Steigungen der Regressionsgeraden von Wien und Grenoble in einem Verhältnis von 1:2 vorliegen. Während Wien in 2 Jahren 1 Kühltage dazu bekommt, erhält Grenoble im selben Zeitraum 2 Kühltage zusätzlich. Im gesamten Zeitraum von 35 Jahren hat Grenoble damit mehr als einen Monat dazu gewonnen, in dem gekühlt werden muss.

Eine besondere Abhängigkeit von der Höhe ist bei der Entwicklung der Kühltage nicht zu erkennen, da Wien sogar eine geringere Steigung als Innsbruck und Chamonix aufweist.

In Abbildung 13 werden noch die Zeitreihen für das Verhältnis von Kühlgradtagen pro Kühltage dargestellt. Auch hier ist der Anstieg der Regressionsgeraden von Grenoble beinahe doppelt so groß wie der Anstieg der Regressionsgeraden von Wien. Dem linearen Trend folgend hat sich in Grenoble damit in den 35 Jahren der Wert der Kühlgradtage pro Kühltage um rund 1,5 erhöht, das heißt, dass sich in diesem Zeitraum die Durchschnittstemperatur an den Tagen, an denen gekühlt wird, um $1,5^{\circ}\text{C}$ erhöht hat.

Die Anstiege der Regressionsgeraden von Chamonix und Mariazell besitzen die gleiche Steigung und liegen noch dazu sehr eng beisammen. Die Steigung ist dabei ein wenig stärker als die von Wien. Die geringste Steigung weist bei den Kühlgradtagen pro Kühltage Innsbruck auf. Hier wird es rund 56 Jahre dauern, bis sich, bei gleichbleibendem Trend, die Kühlgradtage pro Kühltage um 1 erhöht haben.

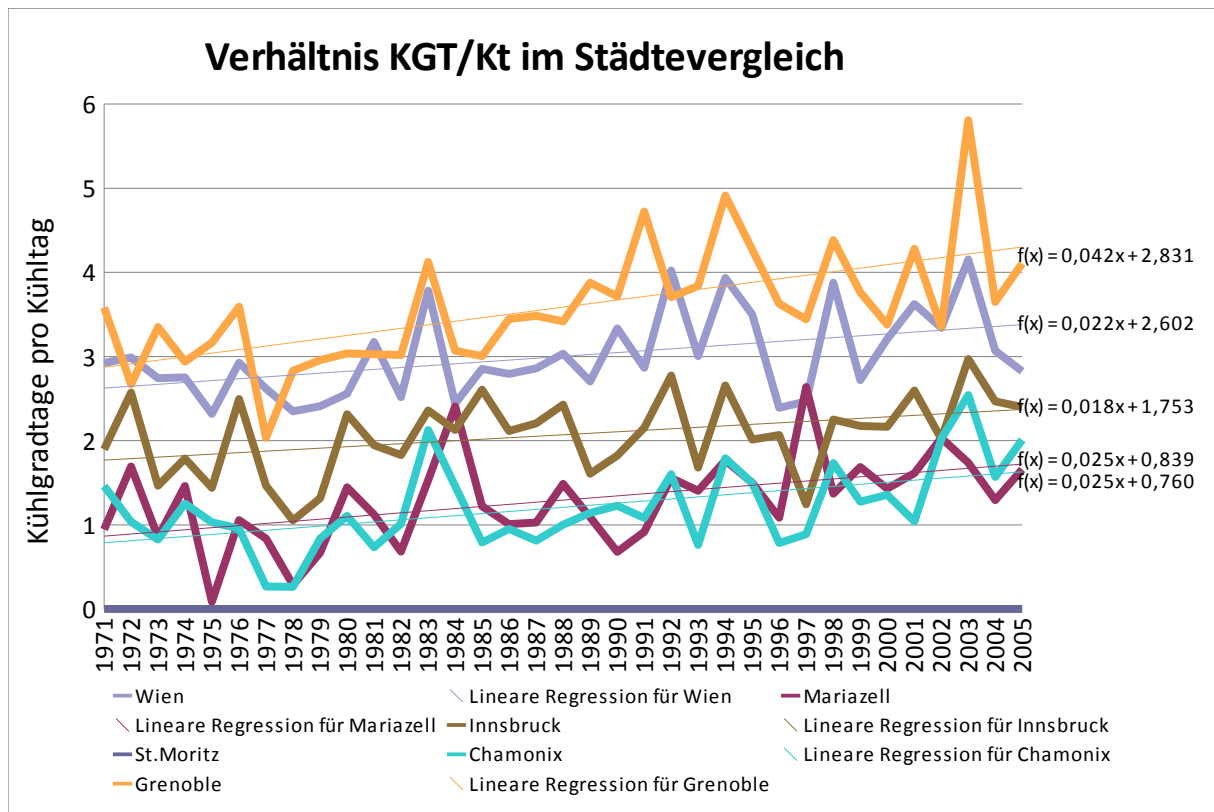


Abbildung 13: Zeitreihe des Verhältnisses Kühlgradtage pro Kühhtag mit dazugehörigen Regressionsgeraden.

Das Jahr 2003

In den Zeitreihen der Kühlgradtage und Kühltage sticht das Jahr 2003 mit seiner markanten Abweichung deutlich hervor, daher wird dieses Jahr etwas genauer betrachtet.

Auch wenn die größten Auffälligkeiten bei den Kühlgradtagen liegen, betrachten wir zuerst die Heizgradtage. In Abbildung 14a ist die Karte für die Summe der Heizgradtage im Jahr 2003 dargestellt. Bei einem schnellen Vergleich mit der Karte des klimatologischen Mittelwertes der Heizgradtage in Abbildung 4 fallen keine großen Unterschiede ins Auge. Daher wurden von dieser Karte die klimatologischen Mittelwerte abgezogen, um nur die Differenzwerte zu erhalten. Das Ergebnis sieht man in Abbildung 14b.

Anhand der Skala für die Heizgradtage erkennt man bereits, dass im gesamten Jahr eher weniger Heizgradtage erreicht wurden. Nur im Osten und in der Region um das Mittelmeer wurden ähnlich hohe Heizgradtage erreicht wie im langjährigen Durchschnitt, mit einem leichten Plus von ca. 200 Heizgradtagen in Ungarn. In den höher gelegenen Gebieten der Alpen werden sogar beträchtliche Verminderungen von bis zu 900 Heizgradtagen angezeigt. Das Ergebnis spiegelt sich auch in den Zeitreihen der Heizgradtage in Abbildung 7 wieder, bei denen ein starker Abfall in der Zeitreihe von St. Moritz im Jahr 2003 erkennbar ist, aber keine besonderen Verläufe der anderen Städte zu erkennen sind.

Um das Jahr genauer analysieren zu können, wird die Jahressumme der Heizgradtage in ihre Anteile in den einzelnen Monaten aufgespalten. In Abbildung 15 (oben) sind die über alle Jahre gemittelten Monatssummen der Heizgradtage für die sechs verschiedenen Städte als Balkendiagramm dargestellt. Flächenkarten für die klimatischen Mittel der Heizgradtage für die einzelnen Monate sind im Anhang A dargestellt.

Man erkennt, dass durchgängig durch alle Monate Grenoble geringere Werte aufweist als Wien und beide Städte in den Sommermonaten keine erkennbaren Heizgradtage erzeugen. Chamonix und Mariazell haben während des gesamten Jahres vergleichbar hohe Heizgradtage. In dem hochalpinen Ort St. Moritz werden das ganze Jahr über Heizgradtage erzeugt.

In der unteren Grafik in Abbildung 15 sind die Abweichungen von den klimatischen Mittelwerten im Jahr 2003 dargestellt, die sich daraus ergeben, dass von den Werten im Jahr 2003 die Mittelwerte abgezogen werden.

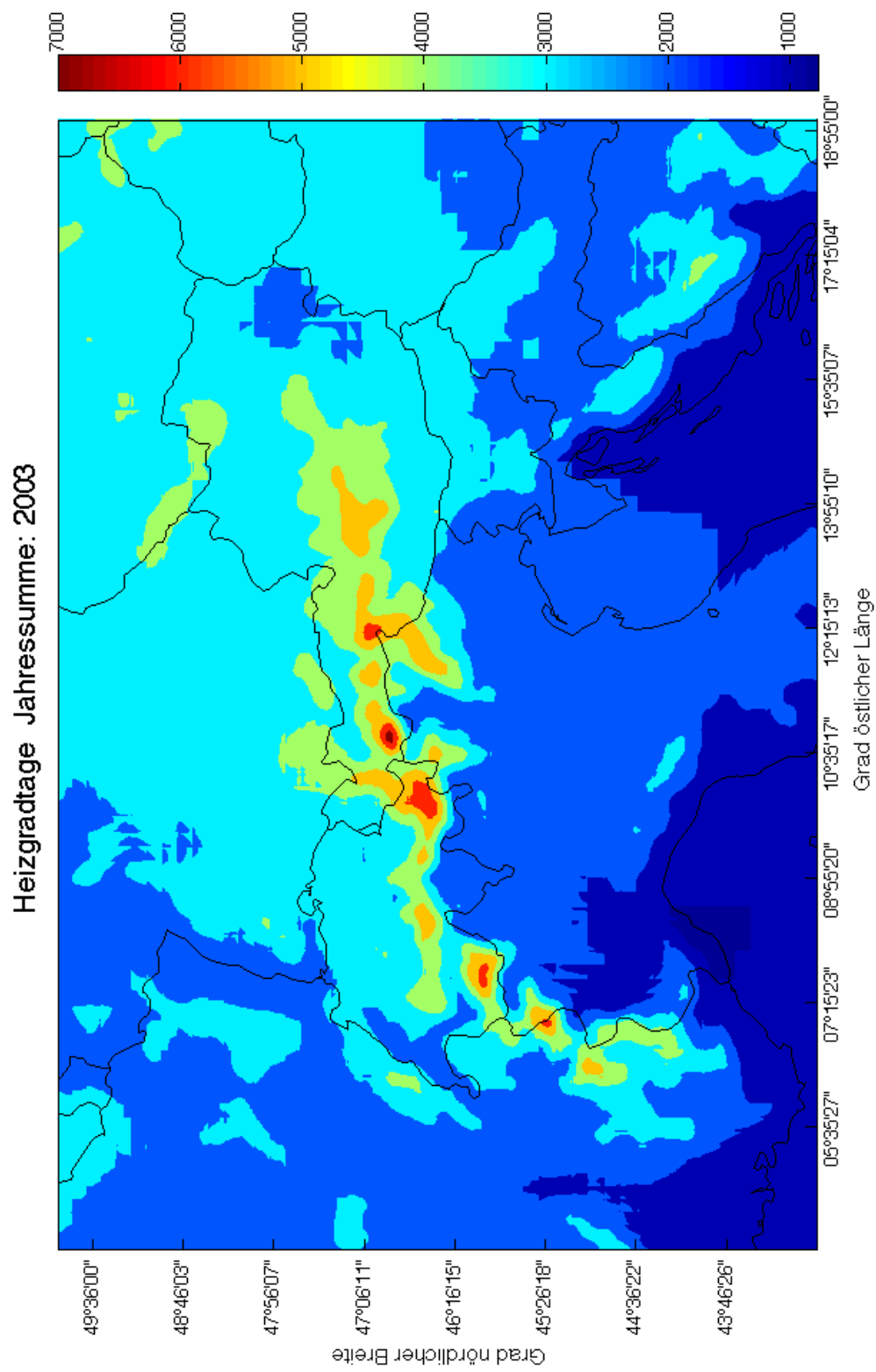


Abbildung 14a: Jahressummen der Heizgradtage für das Jahr 2003

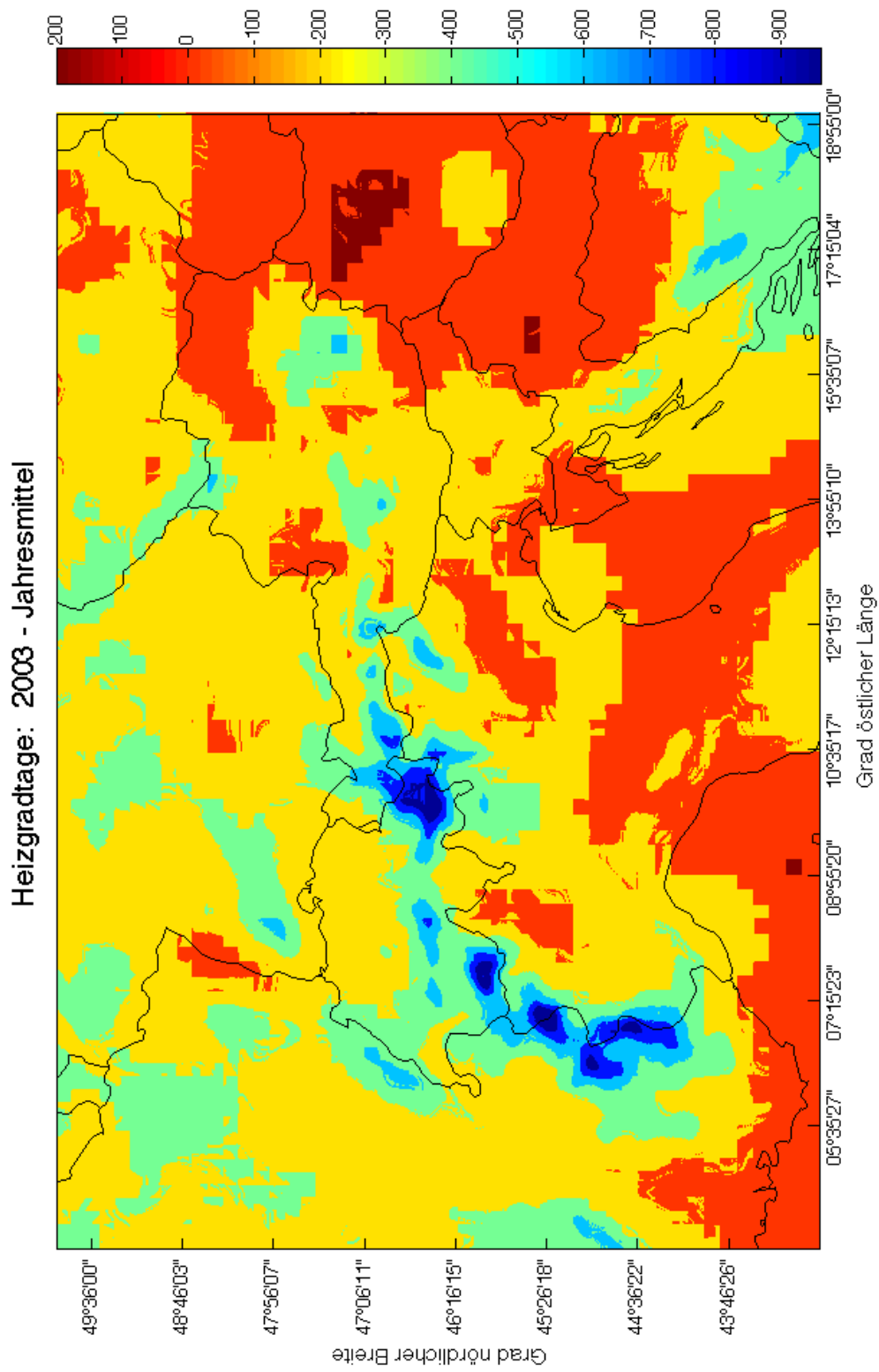


Abbildung 14b: Differenz der Heizgradtage 2003 weniger dem langjährigen Mittel

Zwei Sachen fallen dabei sofort auf. Erstens gibt es zwei Monate in denen alle Städte einen leichten Zuwachs an Heizgradtagen gegenüber dem langjährigen Mittel aufweisen. Im Februar und im Oktober wurden also etwas mehr Heizgradtage erzeugt als im Mittel.

Zweitens sieht man eine sehr starke negative Abweichung für St. Moritz in den Monaten Juni und August in denen jeweils mehr als 200 Heizgradtage weniger als im langjährigen Mittel erreicht wurden.

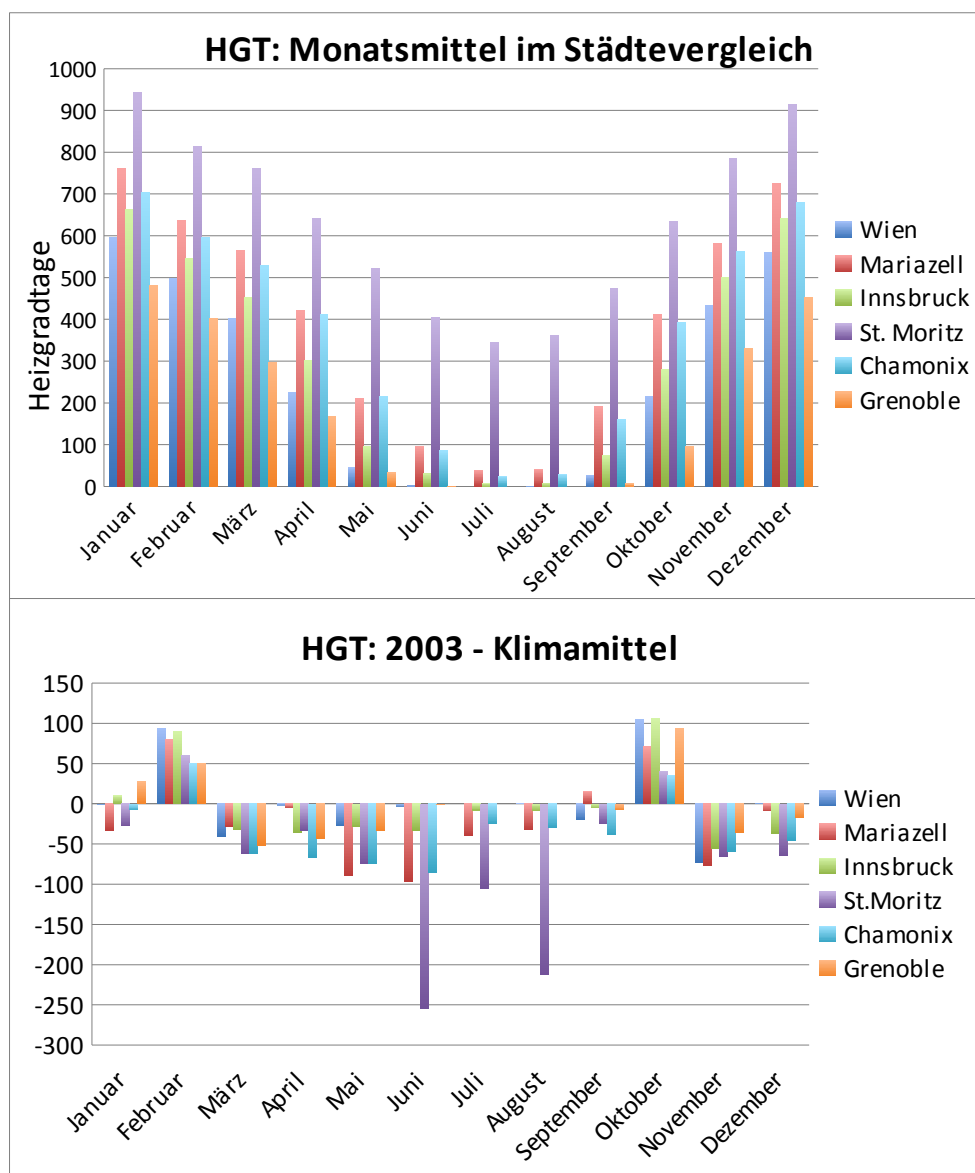


Abbildung 15: Oben: Klimatische Mittelwerte der Heizgradtage (Jahre 1971 – 2005)
Unten: Differenz der Heizgradtage von 2003 und den Klimamitteln

Dass die Abweichung für St. Moritz durch einen starken Rückgang der Anzahl der Heiztage zustande kommt, zeigt Abbildung 16, in der die Heiztage für die einzelnen Monate dargestellt werden. Nach dem selben Schema wie in Abbildung 15 sind in der oberen Grafik die

klimatischen Mittelwerte eingetragen und in der Grafik darunter die Abweichungen im Jahr 2003.

Muss man in St. Moritz beinahe das ganze Jahr hindurch heizen, so hat sich in den Monaten Juni und August die Anzahl der Heiztage beinahe halbiert. In Mariazell und Chamonix sind die Heiztage im Juni, Juli und August sogar beinahe vollständig verschwunden.

Obwohl auch im Februar ein Zuwachs an Heizgradtagen zu bemerken war, gibt es hier aber keine Abweichungen bei den Heiztagen. Im Gegensatz dazu wurde das Plus an Heizgradtagen im Oktober, zumindest bei den Städten in den tieferen Lagen, auch durch eine Zunahme von Heiztagen unterstützt.

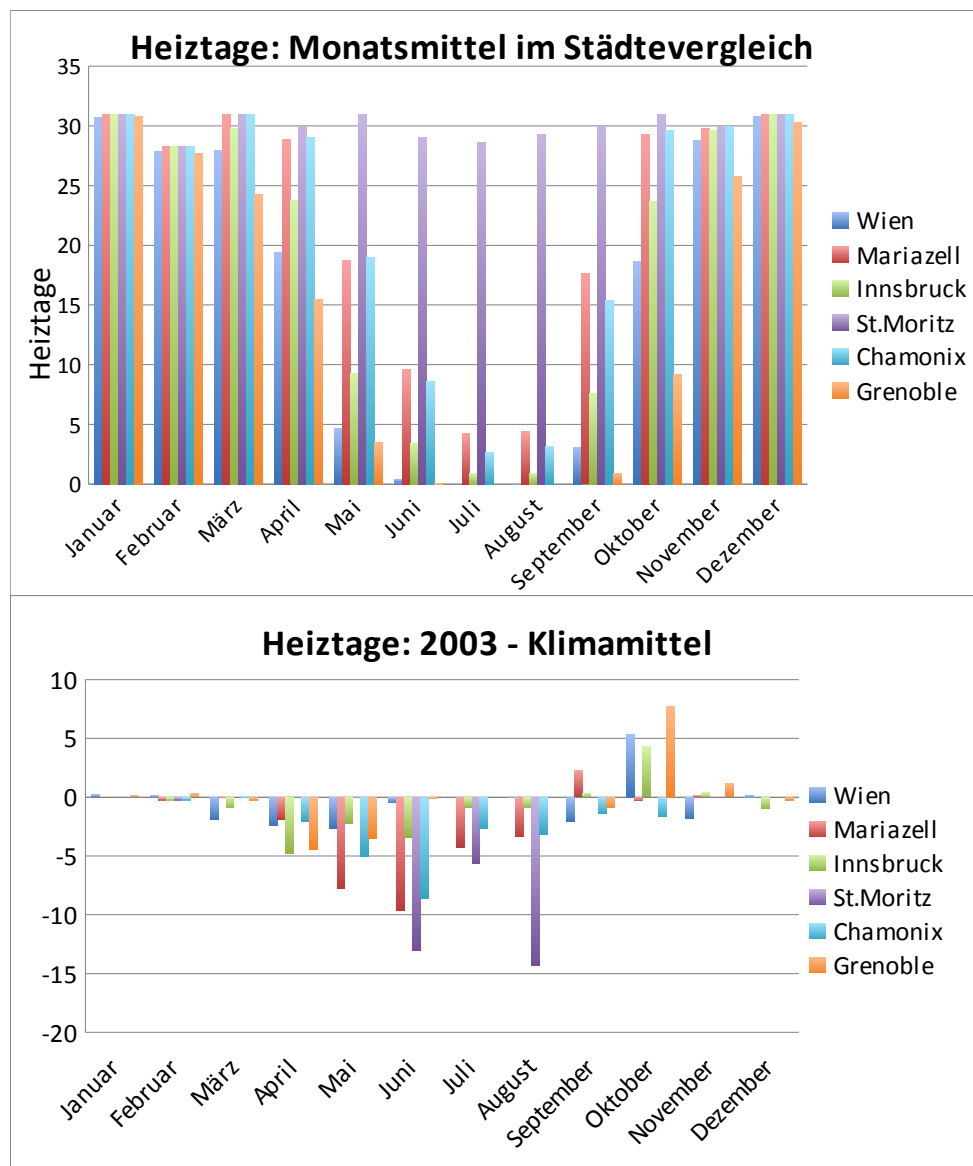


Abbildung 16: Oben: Klimatische Mittelwerte der Heiztage (Jahre 1971 – 2005)
Unten: Differenz der Heiztage von 2003 und den Klimamitteln

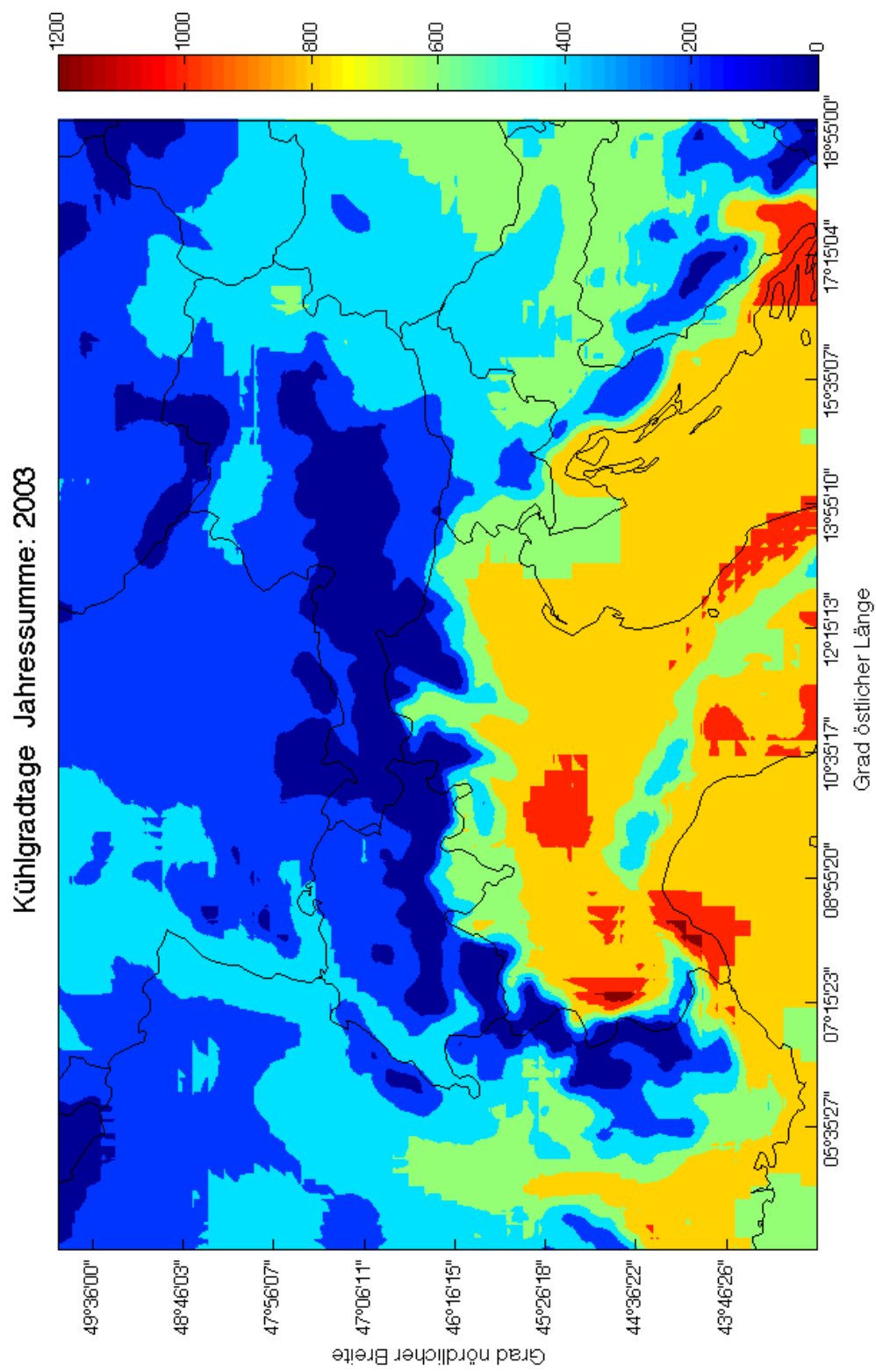


Abbildung 17a: Jahressummen der Kühlgradtage für das Jahr 2003

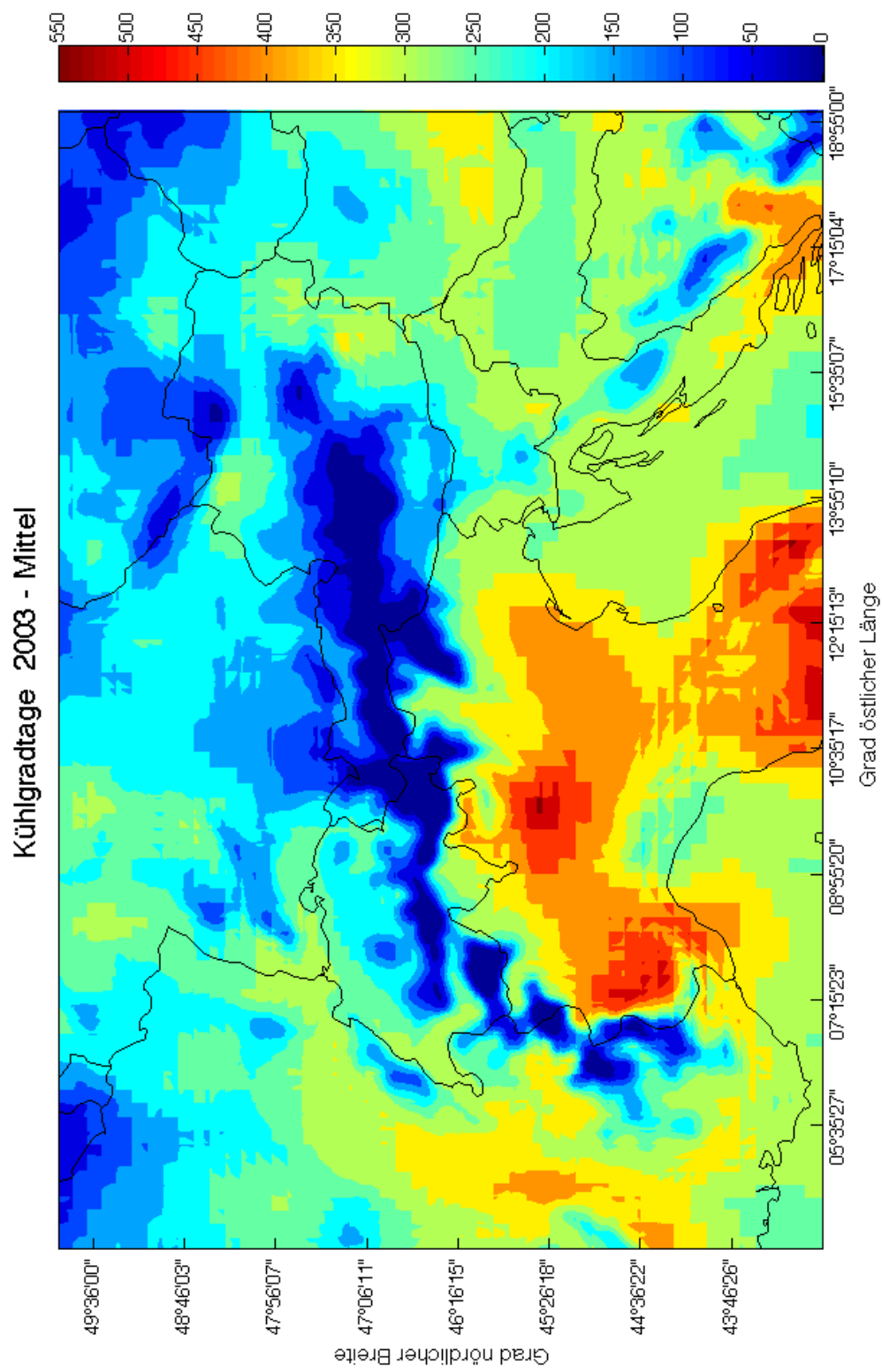


Abbildung 17b: Differenz der Kühlgradtage 2003 weniger dem langjährigem Mittel

Nach dem Überblick über die Heizgradtage im Jahr 2003 werden auch die Änderungen der Kühlgradtage analysiert. Betrachtet man die Karte der Summe der Kühlgradtage für das gesamte Jahr in Abbildung 17a, erkennt man bereits an der Skala der Kühlgradtage einen wesentlichen Unterschied zu der Karte mit dem klimatischen Mittel in Abbildung 9. Hatte die Skala des klimatischen Mittels einen maximalen Wert von 800 Kühlgradtagen, so erhöht sich dieser Wert in der Skala im Jahr 2003 um 50% auf 1200 Kühlgradtage.

Auch in der Verteilung der Kühlgradtage in der Karte selbst fallen einem Unterschiede auf. Der Bereich mit niedrigen Werten um die Alpen wird deutlich enger und die Bereiche mit höheren Werten breiten sich deutlich aus. Ebenso erscheint die Karte durchwegs hellere Farben darzustellen, was darauf schließen lässt, dass im gesamten Alpenraum die Kühlgradtage zugenommen haben. Dieser Punkt lässt sich leicht mit der Differenzkarte in Abbildung 17b überprüfen. Es wurden wieder die Werte des klimatischen Mittels von den Kühlgradtagen aus dem Jahr 2003 abgezogen.

Auf der gesamten Karte gibt es keine Stelle an der die Kühlgradtage abgenommen haben. Es werden nur positive Abweichungen dargestellt oder keine Veränderung, wie in den hochalpinen Zonen in denen noch keine Kühltage erreicht werden. Die stärksten Änderungen finden dabei im Süden der Alpen, in Italien, statt, während im Norden der Anstieg in absoluten Zahlen deutlich niedriger ausfällt. Bedenkt man aber, dass im Norden der Alpen im klimatischen Mittel meist nur Werte von rund 100 Kühlgradtagen erreicht wurden, so entspricht eine Zunahme von „nur“ 200 Kühlgradtagen, wie es in manchen Regionen vorkommt, einer Verdreifachung der Kühlgradtage.

In Abbildung 18 wurde die Jahressumme der Kühlgradtage wieder in die Anteile, die von den einzelnen Monaten geliefert werden, aufgespalten. In der oberen Grafik sieht man die über alle Jahre gemittelten Monatssummen der Kühlgradtage und in der unteren Grafik wieder die Abweichungen von den Mittelwerten in dem Jahr 2003.

Im Gegensatz zu den Heizgradtagen finden sich Kühlgradtage nur in wenigen Monaten im Jahr. In den Sommermonaten Juli und August werden die höchsten Werte erreicht, wobei Grenoble mit über 120 Kühlgradtagen in jedem der beiden Monate mit Abstand die meisten Kühlgradtage vorweisen kann.

Da in den Zeitreihen schon gezeigt wurde, dass St. Moritz keine Kühlgradtage erreicht gibt es auch in diesen Diagrammen keine Werte. Die Auflistung in der Legende erfolgt wiederum der Vollständigkeit halber. Chamonix und Mariazell erreichen nur sehr geringe Werte von Kühlgradtagen und auch nur in den Monaten Juni, Juli und August. Die übrigen Städte,

Grenoble, Wien und auch Innsbruck, weisen dafür Kühlgradtage in den Monaten von Mai bis September auf.

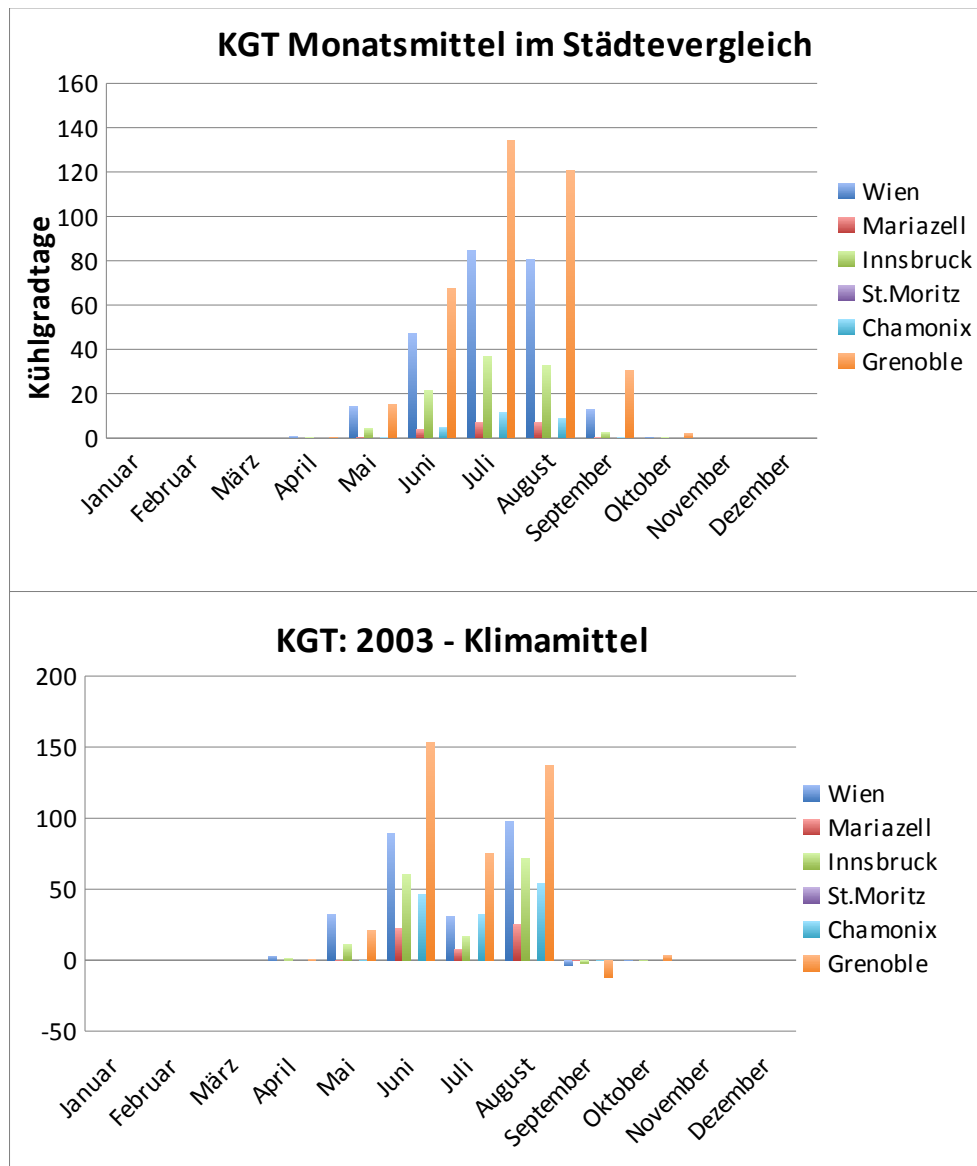


Abbildung 18: Oben: Klimatische Mittelwerte der Heizgradtage (Jahre 1971 – 2005)
Unten: Differenz der Heizgradtage von 2003 und den Klimamitteln

Sieht man sich die Änderungen der Kühlgradtage im Jahr 2003, in der Abbildung 18 unten, an, zeigen sich die größten Abweichungen im Monat Juni und August. Dabei haben sich die Werte in allen Städten zumindest verdoppelt. In Chamonix waren die relativen Zunahmen sogar noch viel stärker und betrugen im August etwa das Fünffache des klimatischen Mittels. Eine sehr geringe Abnahme an Kühlgradtagen erlebte Grenoble im September.

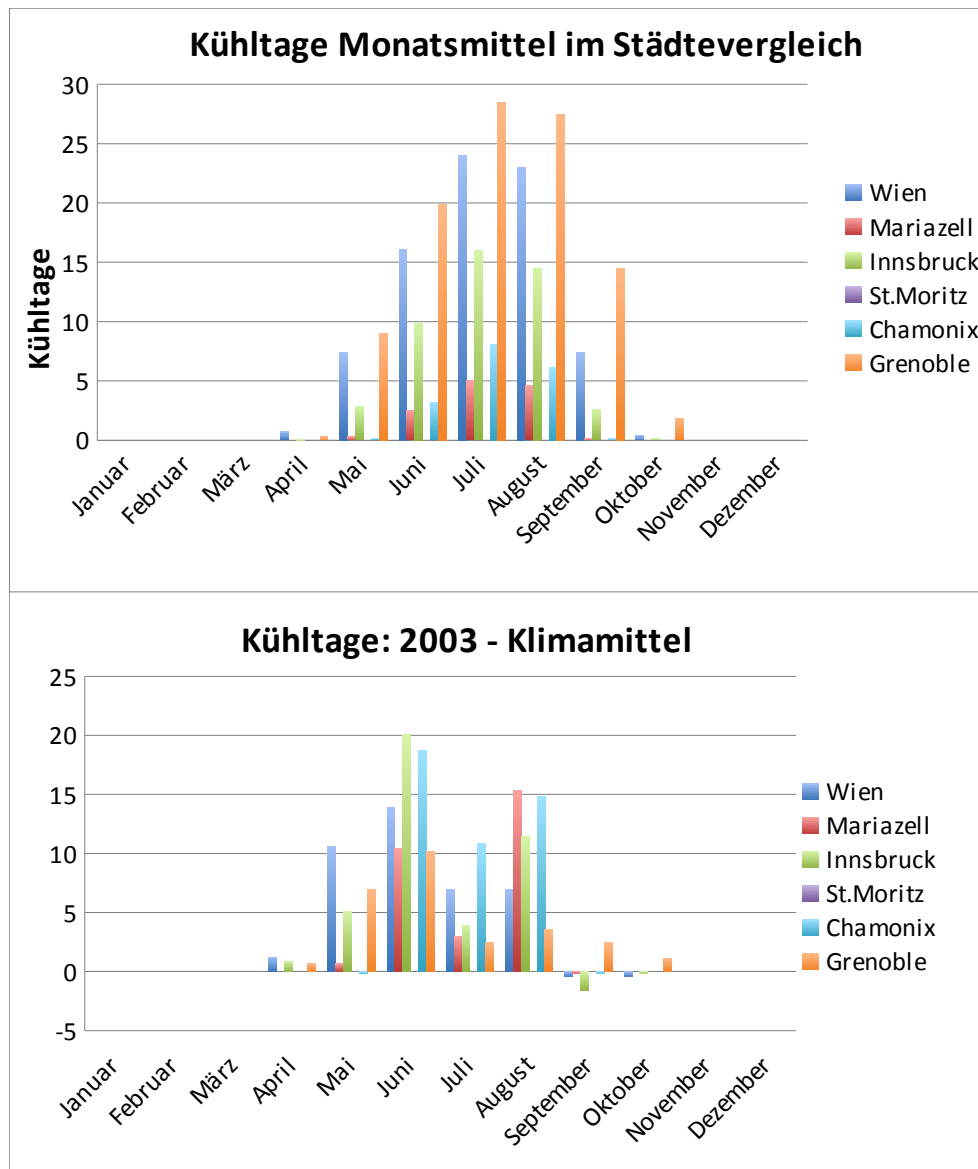


Abbildung 19: Oben: Klimatische Mittelwerte der Kühltage (Jahre 1971 – 2005)
Unten: Differenz der Kühltage von 2003 und den Klimamitteln

Das Diagramm für die Abweichung der Kühltage des Jahres 2003 vom klimatischen Mittel in Abbildung 19 (unten) zeigt, dass Innsbruck im Juni die stärkste Zunahme an Kühltagen erfährt. Hier ist in diesem Jahr während des gesamten Monats die Kühlgrenztemperatur überschritten worden. In Grenoble und Wien waren sogar alle Tage von Juni bis August Kühltage.

Im August zeigen Mariazell und Chamonix die größte Abweichung vom klimatischen Mittel. In diesem Monat hat sich die Anzahl der Kühltage in diesen Städten vervierfacht.

Hat im September die Zahl der Kühlgradtage in Grenoble leicht abgenommen, so hat sich die Anzahl der Tage an denen die Grenztemperatur überschritten wurde sogar leicht erhöht.

Interpretation

Legt man der Analyse der Karten die Definitionen der Gradtage zugrunde, sieht man eigentlich nur eine besondere Form der Temperaturverteilung. Dementsprechend überrascht es nicht, dass die Verteilung der Heizgradtage der Klimakarte von Köppen-Geiger recht ähnlich sieht.

Die wärmsten Regionen liegen im Bereich des mediterranen Einflussgebietes und werden an einer Ausbreitung nach Norden von den Alpen gehindert. Im Westen reicht das atlantische Klima bis an die Alpen heran und trifft dort auf das kontinentale Klima im Osten. Auch bei den Heizgradtagen erkennt man einen leichten Gradienten in zonaler Richtung mit etwas geringeren Werten im Westen. Dieser Gradient wird deutlicher, wenn man sich die Karten der Heiztage und der Heizgradtage pro Heiztag ansieht. Das kommt hauptsächlich davon, dass die Spannweite der Daten geringer ist und deshalb Unterschiede finer aufgelöst werden können. Dass entlang des Rheins, der Donau und in dem nördlichen Burgenland, in der Gegend des Neusiedlersees, Bereiche zu finden sind, die niedrigere Heizgradtage, weniger Heiztage und auch ein niedrigeres Verhältnis von Heizgradtagen pro Heiztag aufweisen, lässt einen Zusammenhang mit den Gewässern vermuten, die als Wärmespeicher dienen können. Wahrscheinlicher ist jedoch, dass der Grund darin liegt, dass diese Regionen eine geringere Seehöhe als ihre Umgebung aufweisen. Der Rhein passiert den Schwarzwald, die Donau fließt zwischen dem Alpenvorland und dem Böhmischem Wald und der Seewinkel im Burgenland ist die tiefst gelegene Region in Österreich.

Durch die Proportionalität der Heizgradtage mit dem Energiebedarf beim Heizen lässt sich von dem Verhältnis der Heizgradtage zwischen zwei Regionen auf das Verhältnis des Energiebedarfs in den selben Regionen schließen. Vergleicht man also die Heizgradtage in den hochalpinen Tallagen (7000) mit den Heizgradtagen in den Niederungen Österreichs, Deutschlands und der Schweiz (3500), so ergibt sich durch Abschätzungen aus der Farbskala ein Verhältnis von 2:1. Das bedeutet, dass der Energiebedarf in den Niederungen nur halb so groß ist wie in den hochalpinen Lagen, wobei das Verhältnis der Bevölkerungsdichte aber deutlich zugunsten der Niederungen ausgeht. In Österreich z.B. leben mehr als drei Viertel der

Bevölkerung unterhalb von 600m Seehöhe (Prettenthaler et al., 2007). Der höhere Bedarf an Energie wird daher immer noch von dieser Bevölkerungsschicht gestellt.

Anhand der Zeitreihen einiger ausgewählter Orte wurde das Verhalten der Heizgradtage im Verlauf der 35 Jahre untersucht. Die Orte wurden so gewählt, dass auf drei Städten in Tallage, drei Städte in höheren Lagen kommen. Dabei war jeweils ein Vertreter in den West-, Zentral- und Ostalpen zu finden. Durch diese Konstellation sollten verschiedene Abhängigkeiten der Heizgradtage erkannt werden. Dass man mit einer so geringen Anzahl an Städten keine aussagekräftige Statistik betreiben kann, ist dem Verfasser dieser Arbeit sehr wohl bewusst. Es sollen hier aber vor allem generelle Tendenzen und Möglichkeiten aufgezeigt werden.

Dass die Summe der Heizgradtage Jahr für Jahr abnimmt, sollte in einer Zeit in der meteorologische Phänomene, wie Klimawandel und globale Erwärmung, als politische Schlagwörter benutzt werden nicht weiter überraschen.

Anhand der Steigung der linearen Regressionsgeraden kann man ablesen wie schnell die Änderung der Heizgradtage vonstatten geht. Die Regressionsgeraden der Heizgradtage besitzen bei allen Städten eine negative Steigung, die in den höher gelegenen Städten deutlich stärker ausfällt. Innsbruck, als Vertreter einer inneralpinen Tallage, liegt, wenn man es allein über die Seehöhe betrachtet, ziemlich genau in der Mitte zwischen den Städten der Niederungen (Wien und Grenoble) und den Städten in mittlerer Höhenlage (Chamonix und Mariazell). Die Werte der Heizgradtage von Innsbruck liegen ebenfalls in der Mitte der Werte der Heizgradtage der Niederungen und der Höhenlagen, allerdings zeigt die Regressionsgerade eine ebenso geringe Steigung wie es bei den Städten der Niederungen der Fall ist.

Die Abnahme der Heizgradtage kann durch 2 Faktoren ausgelöst werden. Entweder durch Wegfallen ganzer Tage an denen geheizt werden muss, oder durch eine Zunahme der durchschnittlichen Temperatur an den Tagen an denen geheizt werden muss. Die zweite Möglichkeit wird durch eine Abnahme des Wertes der Heizgradtage pro Heiztag repräsentiert. Sieht man sich diese beiden Möglichkeiten an, zeigt sich, dass die Städte der Niederungen eine sehr stabile Durchschnittstemperatur der Tage, an denen geheizt werden musste, über all die Jahre aufweisen, aber dafür beinahe jedes Jahr einen Heiztag verlieren. In Sankt Moritz, dem einzigen Vertreter der hochalpinen Lage, zeigt sich ein komplett anderes Bild. Hier dauert der Wegfall ganzer Heiztage deutlich länger, aber dafür steigen die Durchschnittstemperaturen an Heiztagen 6 mal schneller als in Innsbruck.

Zeigen die Heizgradtage pro Heiztag eine Abhängigkeit von der Höhe, ist die Entwicklung der Heiztage möglicherweise Ost – West orientiert. Vergleicht man die Steigungen der Städte in ähnlichen Höhenstufen zeigt sich, dass die Steigungen der Städte im Osten rund drei Viertel der Steigungen der Städte im Westen ausmachen.

Das Kühlen der Gebäude hat, vor allem in privaten Haushalten, in den Alpen einen eher niedrigen Stellenwert. Das erkennt man daran, dass die ermittelten Kühlgradtage um ein Vielfaches niedriger sind als die Heizgradtage. So erreichen die Kühlgradtage in den Niederungen nördlich der Alpen selten 10% der Heizgradtage in den selben Regionen. In den Regionen südlich der Alpen können deutlich höhere Verhältnisse erreicht werden, in Küstennähe sogar bis zu 50%.

In der Entwicklung der Kühlgradtage bemerkt man einen leichten Anstieg in allen Städten, ausgenommen St. Moritz, wo bis jetzt noch nie die Grenztemperatur von 18,3°C im Tagesmittel überschritten wurde. Die Steigungen zeigen hier sowohl eine Abhängigkeit von der Höhe als auch eine mögliche Ost – West Abhängigkeit. Da Grenoble und Chamonix nicht nur im Westen der Alpen liegen, sondern auch auf einer südlicheren geographischen Breite als Wien und Mariazell, kann auch der Einfluss des warmen mediterranen Klimas die Unterschiede zwischen den Steigungen dieser Städte verursachen.

Sollten sich solche Rekordjahre wie das Jahr 2003 häufen, kann auch das Kühlen rasch zu einem wichtigen Aspekt in dem Alpenraum werden. Insgesamt nur auf Rang 4 der heißesten Jahre in Österreich seit den Aufzeichnungen, war der Sommer 2003 allerdings der heißeste überhaupt seit 1775 (www.zamg.ac.at).

Da die gravierendsten Unterschiede in den Sommermonaten auftraten, zeigte sich in den Zeitserien der Heizgradtage nur in St. Moritz eine deutliche Abweichung. Sieht man sich dazu die Abweichungen der Heiztage vom langjährigen Mittel an, zeigt sich, dass nur während der warmen Monate die Heiztage abnehmen. Da aber nur in den höher gelegenen Städten auch im Sommer Heiztage auftreten, kann es auch nur dort zur Reduzierung der Heizgradtage kommen.

Bei den Kühltage sieht es dagegen anders aus. Hier haben durchgängig alle Städte, mit Ausnahme von St. Moritz, zusätzliche Kühltage bekommen. Dass dabei die etwas höher gelegenen Städte mehr Kühltage dazugewinnen als die Städte in den Niederungen, ist allein der Tatsache geschuldet, dass ein Monat nur eine maximale Anzahl an Tagen hat. Ein zusätzlicher Anstieg der Heizgradtage kommt dann nur durch eine Erhöhung der

durchschnittlichen Temperatur zustande, wie es in Grenoble der Fall war.

Berechnet man die Nettoänderung der Gradtage, indem man die Werte der Steigungen der Regressionsgeraden miteinander addiert, kann man sich die gesamte Änderung der Gradtage und damit der eingesetzten Energie für die untersuchten 35 Jahre in Prozent ausrechnen, unabhängig davon ob man Heizen oder Kühlen musste. In Tabelle 3 sind die Werte für alle sechs Städte angegeben. Die Steigungskoeffizienten wurden von den Regressionsgeraden der Heizgradtage und Kühlgradtage übernommen. Die Abstände von der x-Achse im Jahr 1971 aus den Regressionsgeraden für die Heiz- und Kühlgradtage wurden miteinander addiert und als Basiswert für die Prozentrechnung genommen. Der prozentuale Anteil an der Nettosteigung an diesem Basiswert wurde mit 35 multipliziert, um die gesamte Änderung im Laufe der Jahre zu erhalten.

Tabelle 3: Berechnung der Änderung der Gradtage in den Jahren von 1971 bis 2005 in %.

	Steigungskoeffizient		Netto	Σ GT 1971	Abnahme in 35 Jahren in %
	HGT	KGT			
Wien	-11,21	3,49	-7,71	3396,5	-7,95%
Mariazell	-14,16	0,80	-13,36	4946,4	-9,45%
Innsbruck	-11,43	2,20	-9,23	3874,4	-8,34%
St. Moritz	-25,32	0,00	-25,32	8064,5	-10,99%
Chamonix	-21,13	1,44	-19,69	4781,6	-14,41%
Grenoble	-13,42	7,79	-5,63	2745,1	-7,18%

Die Gradtage haben in den 35 Jahren, die hier untersucht wurden, um 7,18% in Grenoble bis 14,41% in Chamonix abgenommen. In den untersuchten Städten in Österreich liegen die Änderungen dazwischen, aber noch unter dem 10% Bereich.

In dem Energiestatusbericht 2012, der von dem Bundesministerium für Wirtschaft, Familie und Jugend herausgegeben wird, kann die Entwicklung der Energiepreise im Zeitraum 1990 bis 2011 abgelesen werden (Abbildung 20).

Bis zum Jahr 2005 hat jede der angeführten Energiequellen eine Preissteigerung von mehr als 20% erfahren und hat in den folgenden Jahren noch mehr zugelegt, so dass die Energiekosten in den 21 angeführten Jahren je nach Energieträger um 40% bis fast 100% teurer geworden sind.

In den letzten Jahrzehnten wurde somit die rückläufige Änderung der Gradtage durch die Steigung der nominellen Energiepreise überkompensiert.

Berücksichtigt man für den selben Zeitraum (1990 – 2011) die Inflation auf Basis des

Verbraucherpreis Index (VPI) von 1986 ergibt sich eine allgemeine Preissteigerung auf 172% (1986: 100%) (www.statistik.at). Um den Wert mit Abbildung 20 vergleichbar zu machen, wurde die Inflation auf das Jahr 1990 normiert (Tabelle 4).

Tabelle 4: Inflation von 1990 bis 2011 (Quelle: Statistik Austria)

	1990	2005	2011
VPI 1986	109,5	152,2	172,0
1990 normiert	100,0	139,0	157,1

Bis zum Jahr 2005 liegen die Preise für Fernwärme, Holz und Strom, mit etwas mehr als +20%, deutlich unter der Inflation (+39%) und der Gaspreis nur knapp darüber (ca. +45%).

In der Zeit bis zum Jahr 2011 steigen die Energiepreise jedoch stärker als die Inflation. Die Preise für Holz (+46,6%), Strom (+46,0%) und Fernwärme (+53,5%) liegen noch unter der Inflation (+57,1%), während der Gaspreis (+94,8%) sogar weit darüber liegt.

Nicht in der Grafik dargestellt ist die Entwicklung des Ofenheizöls, da Rohölprodukte im Energiestatusbericht gesondert behandelt werden. Mit einem Anstieg von 184,0% bis 2011 liegt der Heizölpreis weit jenseits der Inflation.

Da in naher Zukunft nicht abzusehen ist, dass sich die Energiepreisgestaltung ändern wird, werden zusätzliche Maßnahmen zur Gebäudedämmung, sowohl aus ökologischer als auch ökonomischer Sicht weiterhin an Bedeutung gewinnen.

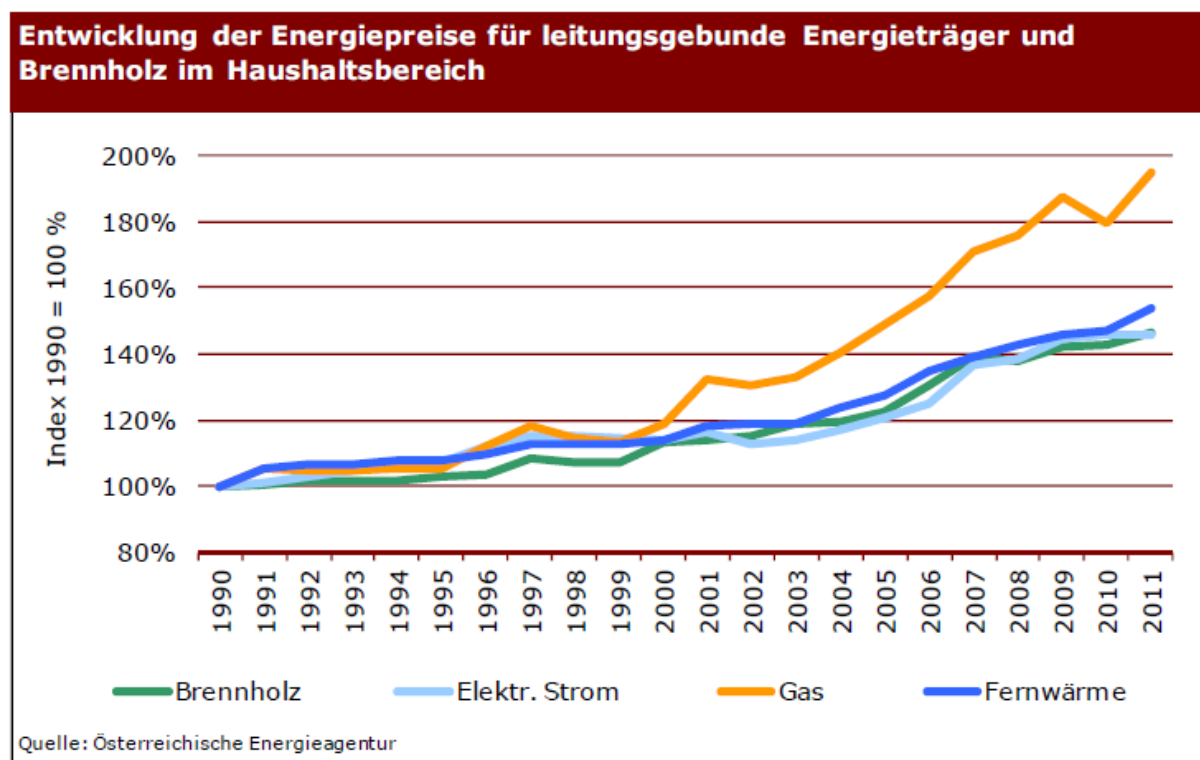


Abbildung 20: Energiepreisentwicklung seit 1990. (aus Energiestatus Österreich 2012)

Literaturliste

BMWFJ, Energiestatus Österreich 2012, www.bmwfj.gv.at

Christenson M., Manz H., Gyalistras D.: Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. In: Energy Conversion and Management 47 671 – 686, 2006

Hantel M.: Einführung in die Theoretische Meteorologie, Erste Edition, Springer Verlag Berlin Heidelberg, 2012

Holton J.R.: An Introduction to Dynamic Meteorology. Fourth Edition, Elsevier Academic Press, 2004

Lam J. C.: Climatic and Economic Influences on Residential Electricity Consumption. Energy Conversion and Management 39 (1998), 623 – 629, 1998

Mayer D., Steiner A., Steinacker R.: Innovations and applications of the VERA quality control. Geosci. Instrum. Method. Data Syst., 1, 135 – 149, 2012

ÖNORM B 8135: Vereinfachte Berechnung des zeitbezogenen Wärmeverlustes (Heizlast) von Gebäuden, 1983

Peel M. C., Finlayson B. L., McMahon T. A.: Updated world map of the Köppen-Geiger climate classification, Hydrol. Earth Syst. Sci., 11, 1633-1644, 2007

Prettenthaler F., Gobiet A., Habsburg-Lothringen C., Steinacker R., Töglhofer C., Türk A.: Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich, StartClim2006.F, 2007 (www.austroclim.at/startclim/)

Ragonesi M.: Bautechnik der Gebäudehülle, Bau und Energie, Band 4, Verlag der Fachvereine Zürich, 1993

Schöngrundner K.: Heizgradtagbereinigung des Heizenergieeinsatzes. Diplomarbeit, FH Pinkafeld, 2002

Sailor D. J.: Relating residential and commercial sector electricity loads to climate- evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. Energy 26, 645 – 657, 2001

Internet Seiten:

www.DegreeDays.net – Stand: 23.02.2013

www.meteoschweiz.admin.ch/web/de/faq/Heizgradtag.html – Stand: 24.02.2013

www.dwd.de – Stand 24.02.2013

www.meteorange.fr/info_degre_jour.php – Stand 26.02.2013

www.zamg.ac.at/fix/klima/wiewars03.pdf – Stand 24.02.2013

www.statistik.at/web_de/statistiken/preise/verbraucherpreisindex_vpi_hvpi/zeitreihen_und_verkettungen/025206.html – Stand 15.03.2013

Anhang A

Karten der Heizgradtage
im klimatologischen Mittel der einzelnen Monate
in der Heizperiode von Oktober bis April

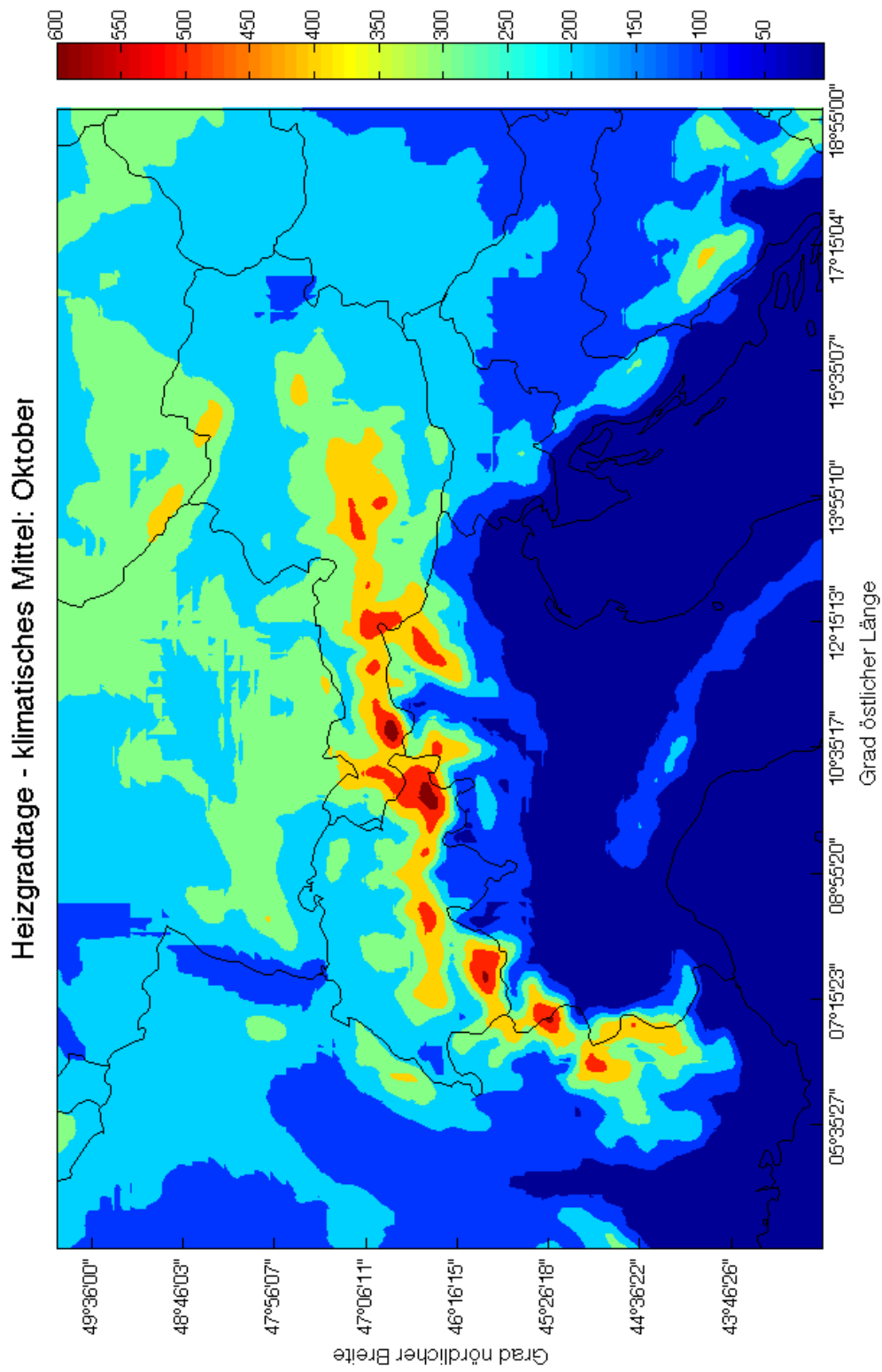


Abbildung A.1: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Oktober

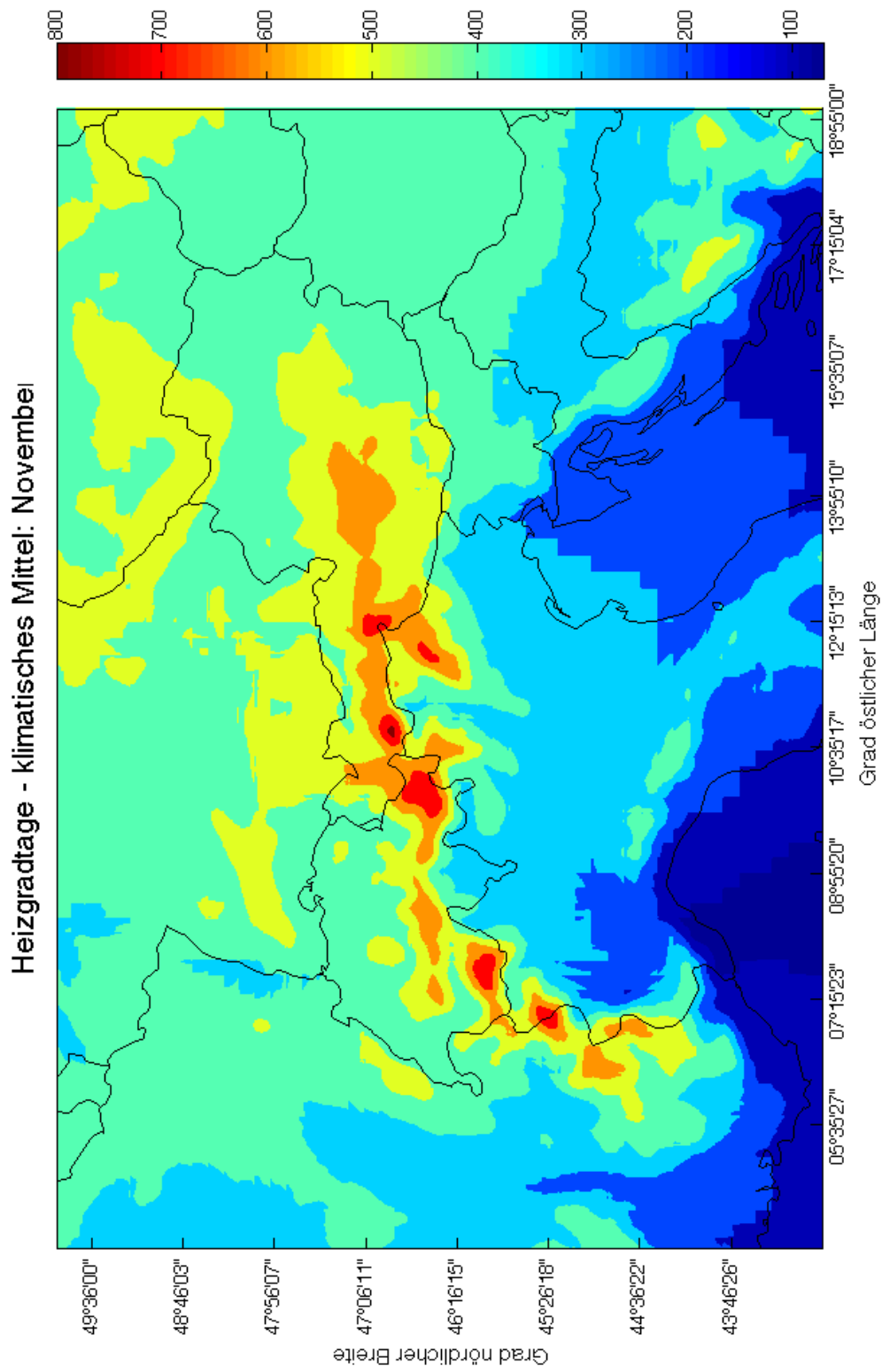


Abbildung A.2: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats November

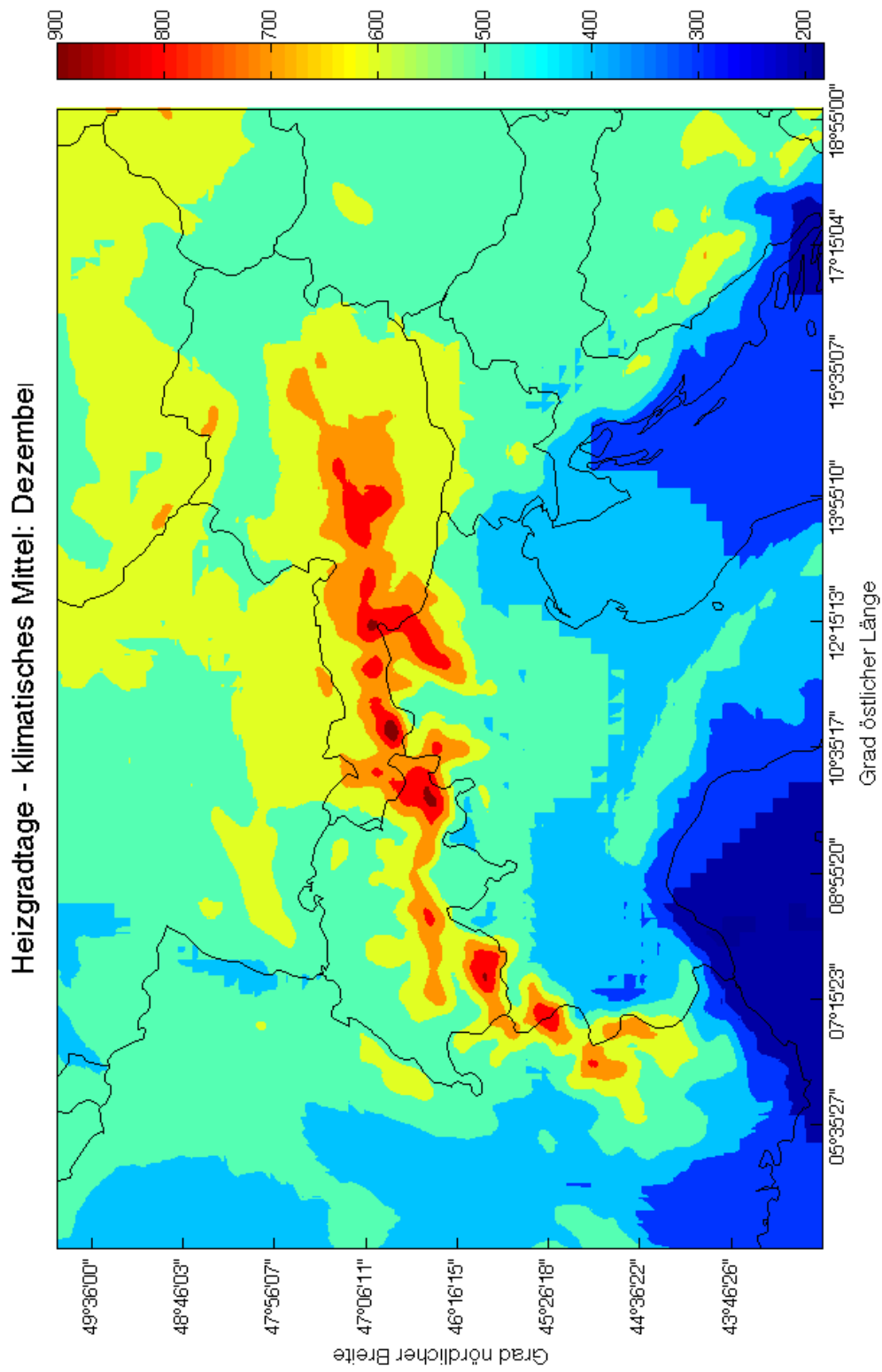


Abbildung A.3: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Dezember

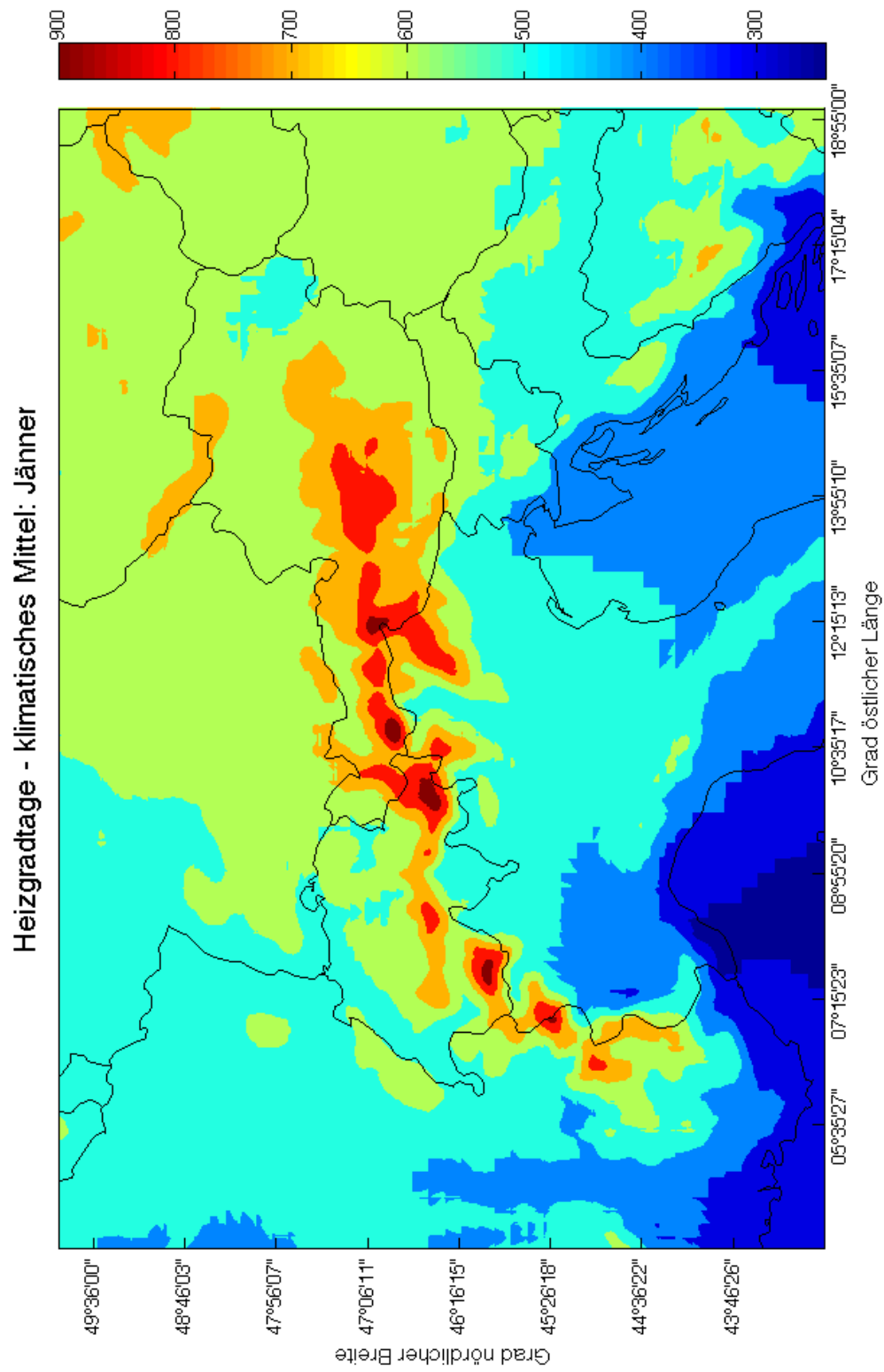


Abbildung A.4: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Jänner

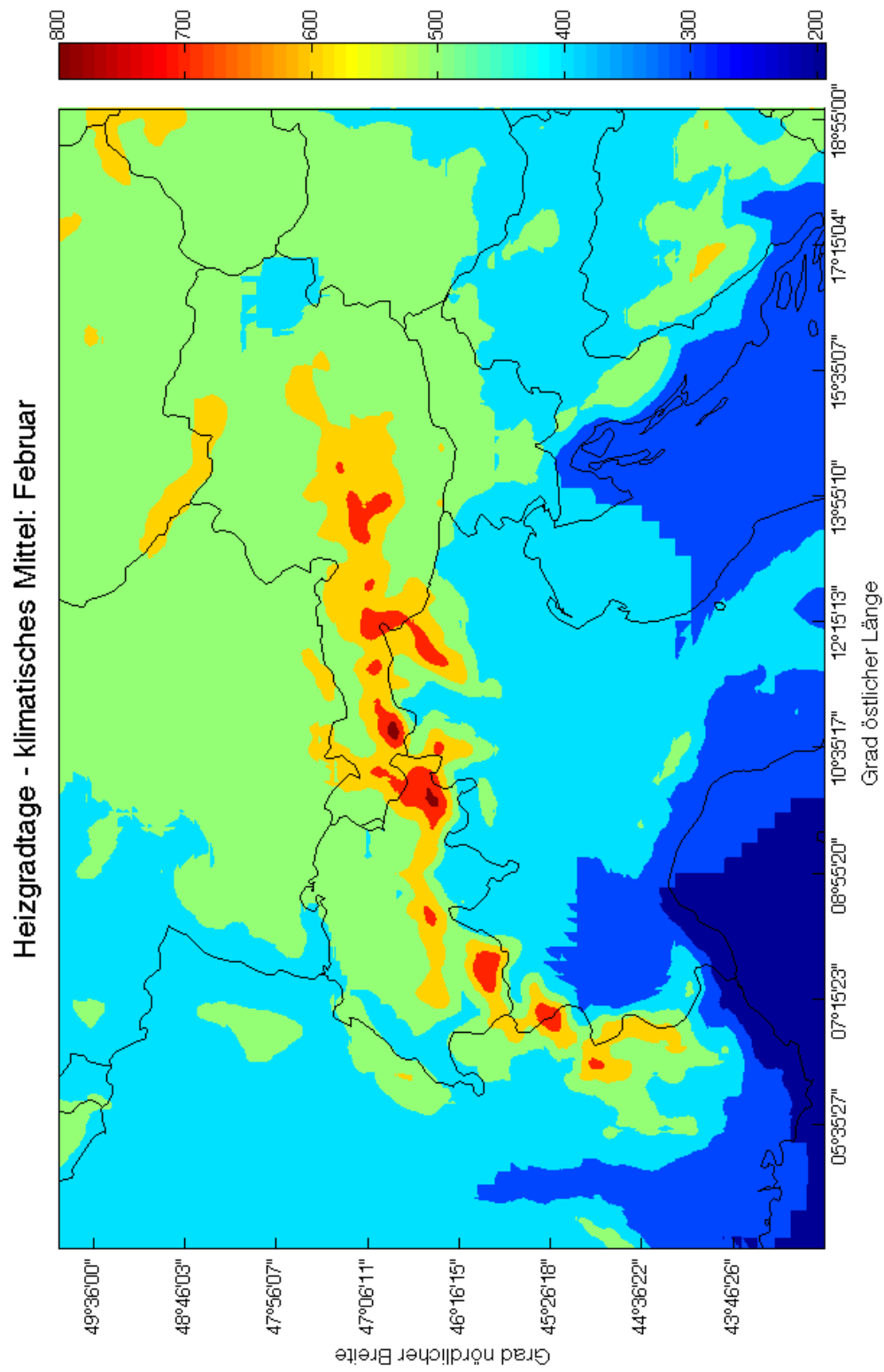


Abbildung A.5: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Februar

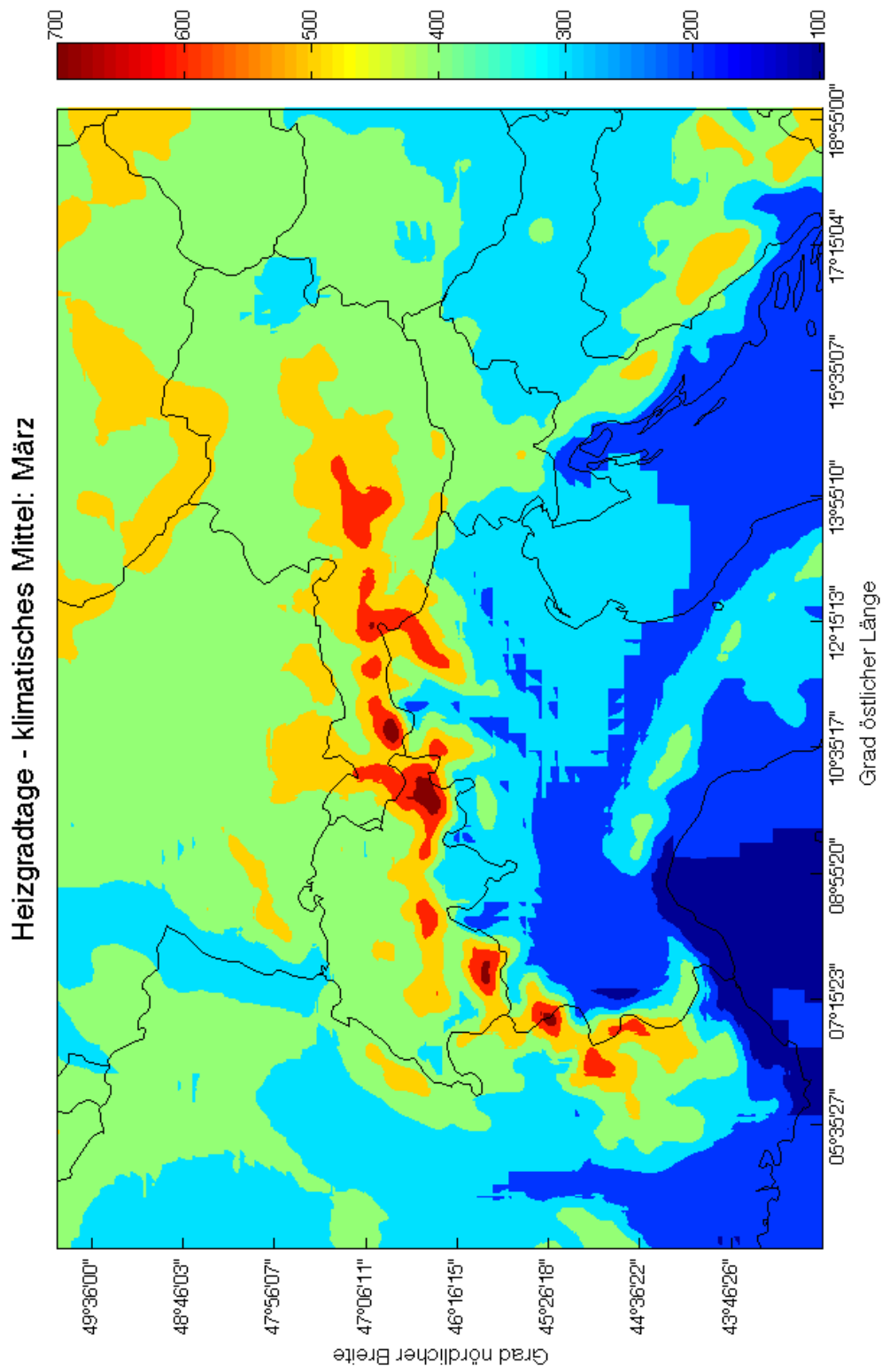


Abbildung A.6: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats März

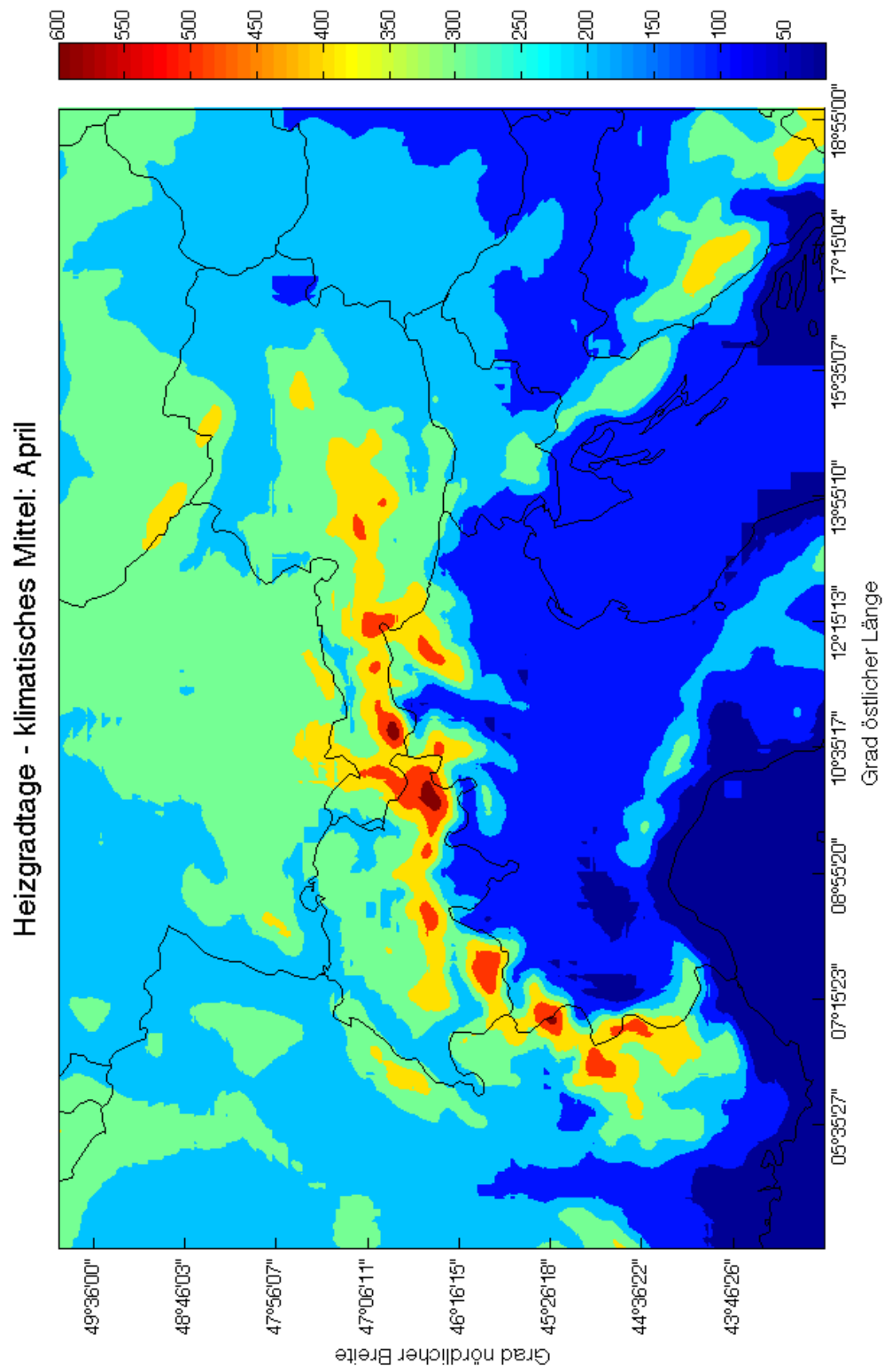


Abbildung A.7: Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats April

Anhang B

Karten der Kühlgradtage
im klimatologischen Mittel der einzelnen Monate
Juni Juli und August

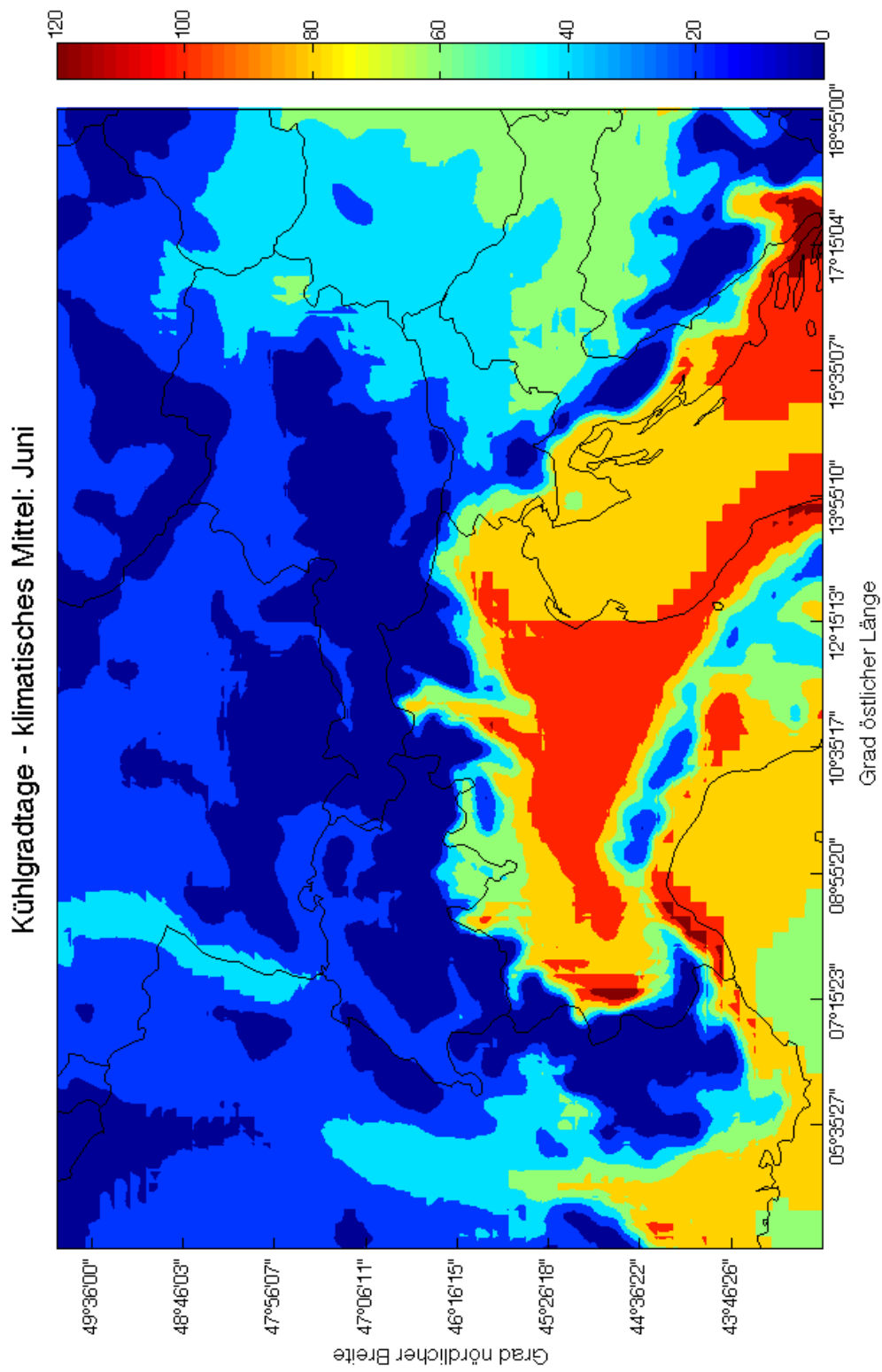


Abbildung B.1: Karte der Kühlgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Juni

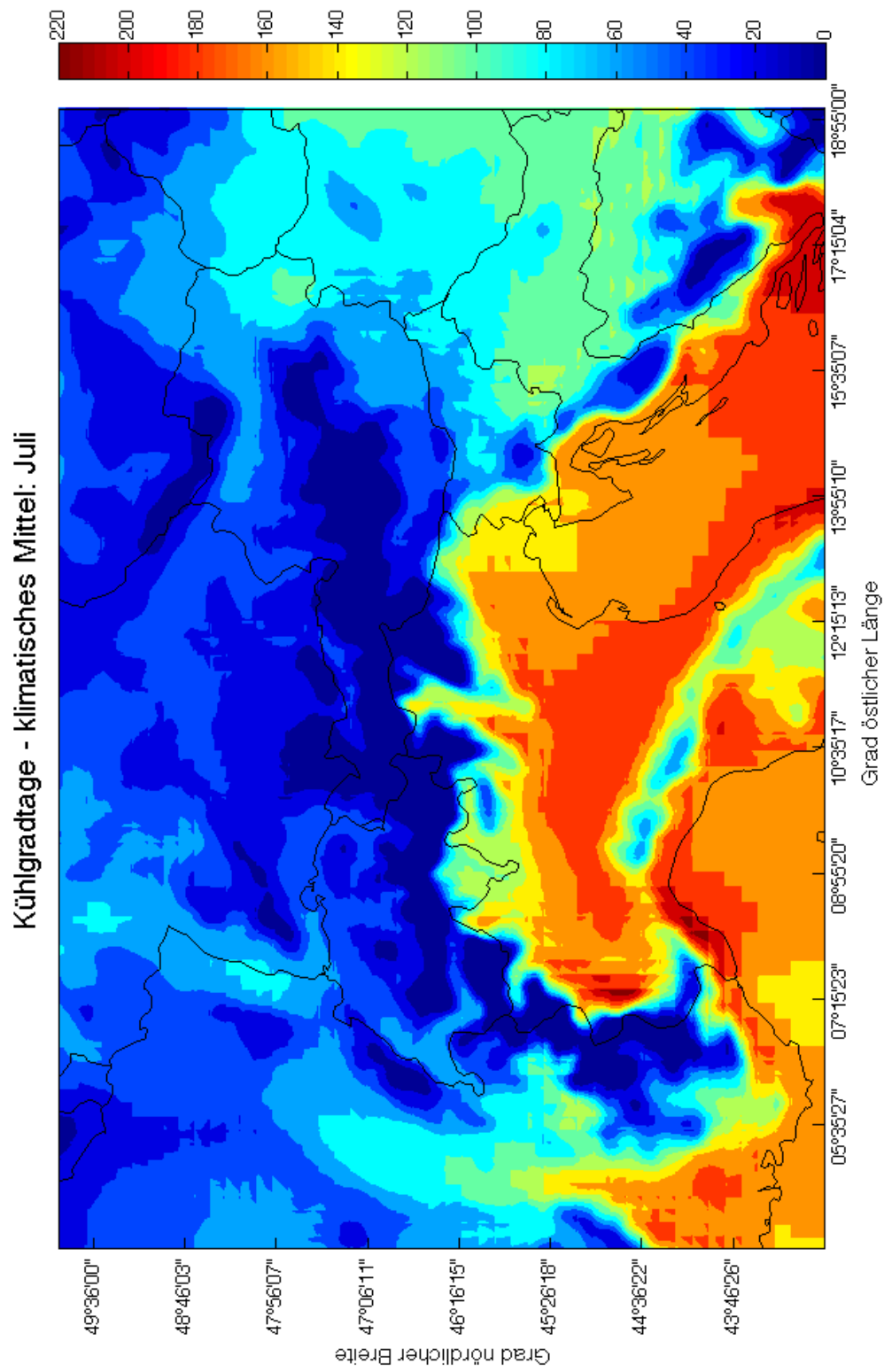


Abbildung B.2: Karte der Kühlgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Juli

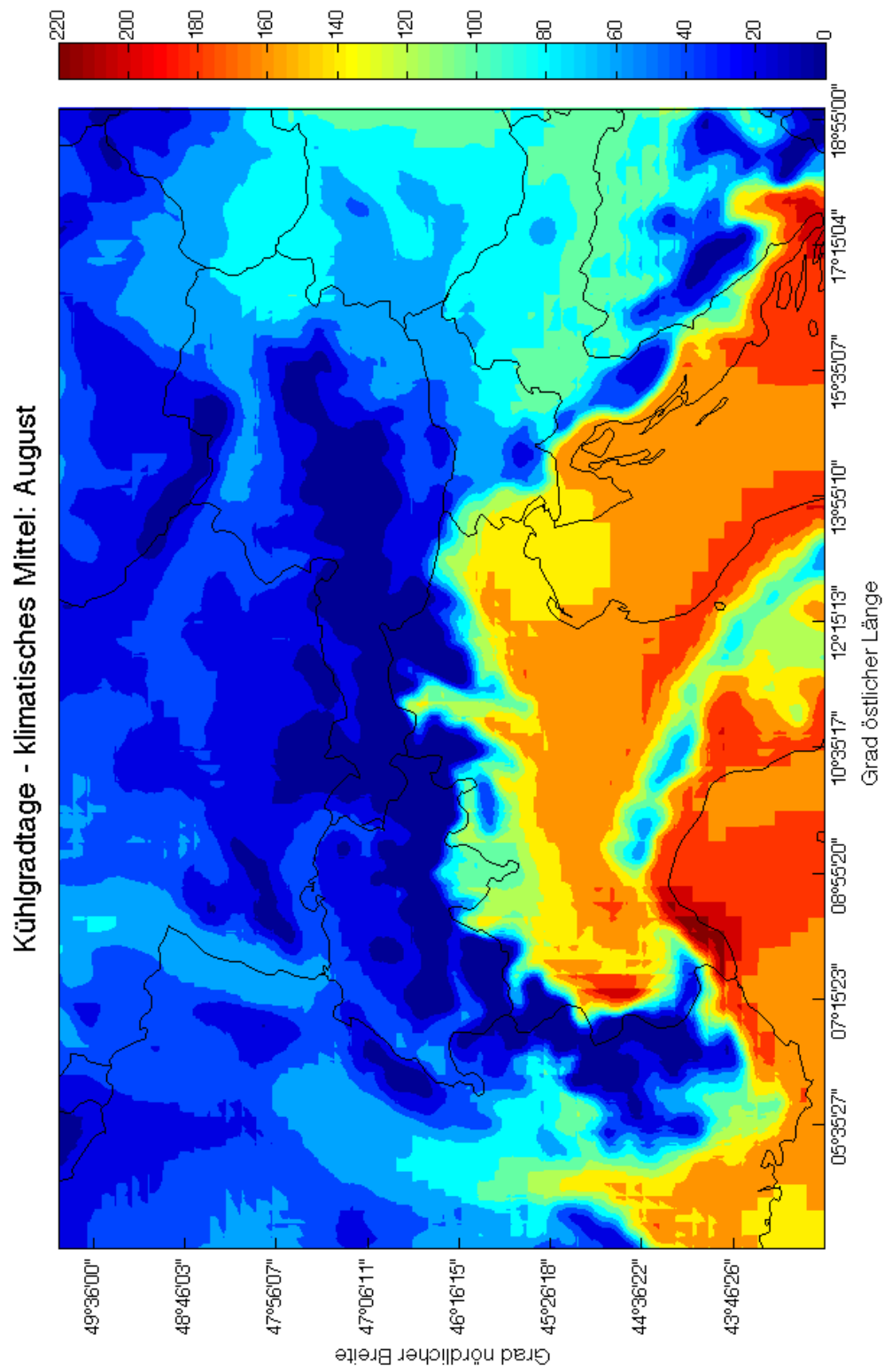


Abbildung B.3: Karte der Kühlgradtage des klimatologischen Mittels des Monats August

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Ausschnitt der Köppen – Geiger Klimazonenkarte (Alpenraum).....	7
Abbildung 2:	Karte der Minimumtopographie der Alpen.....	19
Abbildung 3:	Position der ausgewählten Städte in den Alpen.....	21
Abbildung 4:	Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Heizgradtage.....	24
Abbildung 5:	Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Heiztage	25
Abbildung 6:	Verhältnis Heizgradtage pro Heiztag, gemittelt über alle 35 Jahre.....	26
Abbildung 7:	Zeitreihen der Jahressummen der Heizgradtage und der Heiztage mit dazugehörenden Regressionsgeraden.....	28
Abbildung 8:	Zeitreihen des Verhältnisses Heizgradtage pro Heiztag mit dazugehörenden Regressionsgeraden.....	29
Abbildung 9:	Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Kühlgradtage.....	31
Abbildung 10:	Über alle 35 Jahre gemittelte Jahressummen der Kühltage.....	32
Abbildung 11:	Verhältnis Kühlgradtage pro Kühltage, gemittelt über alle 35 Jahre.....	33
Abbildung 12:	Zeitreihen der Jahressummen der Kühlgradtage und der Kühltage mit dazugehörenden Regressionsgeraden.....	34
Abbildung 13:	Zeitreihe des Verhältnisses Kühlgradtage pro Kühltage mit dazugehörenden Regressionsgeraden.....	36
Abbildung 14a:	Jahressummen der Heizgradtage für das Jahr 2003.....	38
Abbildung 14b:	Differenz der Heizgradtage 2003 weniger dem langjährigen Mittel.....	39
Abbildung 15:	Oben: Klimatische Mittelwerte der Heizgradtage (Jahre 1971 – 2005) Unten: Differenz der Heizgradtage von 2003 und den Klimamitteln.....	40
Abbildung 16:	Oben: Klimatische Mittelwerte der Heiztage (Jahre 1971 – 2005) Unten: Differenz der Heiztage von 2003 und den Klimamitteln.....	41
Abbildung 17a:	Jahressummen der Kühlgradtage für das Jahr 2003.....	42
Abbildung 17b:	Differenz der Kühlgradtage 2003 weniger dem langjährigem Mittel.....	43
Abbildung 18:	Oben: Klimatische Mittelwerte der Heizgradtage (Jahre 1971 – 2005) Unten: Differenz der Heizgradtage von 2003 und den Klimamitteln.....	45
Abbildung 19:	Oben: Klimatische Mittelwerte der Kühltage (Jahre 1971 – 2005) Unten: Differenz der Kühltage von 2003 und den Klimamitteln.....	46
Abbildung 20:	Energiepreisentwicklung seit 1990.....	51

Abbildung A.1:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Oktober.....	56
Abbildung A.2:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats November.....	57
Abbildung A.3:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Dezember.....	58
Abbildung A.4:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Jänner.....	59
Abbildung A.5:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Februar.....	60
Abbildung A.6:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats März.....	61
Abbildung A.7:	Karte der Heizgradtage des klimatologischen Mittels des Monats April.....	62
Abbildung B.1:	Karte der Kühlgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Juni.....	64
Abbildung B.2:	Karte der Kühlgradtage des klimatologischen Mittels des Monats Juli.....	65
Abbildung B.3:	Karte der Kühlgradtage des klimatologischen Mittels des Monats August.....	66

Ich habe mich bemüht, sämtliche Inhaber der Bildrechte ausfindig zu machen und ihre Zustimmung zur Verwendung der Bilder in dieser Arbeit eingeholt. Sollte dennoch eine Urheberrechtsverletzung bekannt werden, ersuche ich um Meldung bei mir.

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Vergleich der beiden verwendeten Datenraster.....	17
Tabelle 2:	Geographische Angaben zu den ausgewählten Städten.....	20
Tabelle 3:	Berechnung der Änderung der GT in den Jahren von 1971 bis 2005 in %.....	50
Tabelle 4:	Inflation von 1990 bis 2011.....	51

Danksagung

An erster Stelle danke ich meinen Eltern, die die Geduld und die Energie aufgebracht haben, mich nach dem Abschluss des Studiums der Biologie noch durch ein weiteres interessantes Studium zu begleiten.

Weiters danke ich meinen Professoren Dr. Reinhold Steinacker und Dr. Manfred Dorninger, die über die perfekte Vermittlung der Materie hinaus, immer wieder spannende Exkursionen organisierten und so aus einem theoretischen Lehrstoff ein greifbares Erlebnis machten.

Mein besonderer Dank gilt meinen Studienkollegen, vor allem Elena Stautzebach, Marion Rothmüller und Michael Marte, die mir über manch schwierige Prüfungshürde geholfen haben und den Studienalltag durch viele gemeinsame Aktivitäten aufgelockert haben.

Curriculum vitae

Mag. Matthias Schlaisich

1983 – 1987	Volksschule in Baden, NÖ
1987 – 1996	Realgymnasium Baden, Frauengasse, NÖ
Juni 1996	Reifeprüfung
Oktober 1996	Immatrikulation an der Universität Wien
	Studienrichtung Biologie
September 2001	1. Diplomprüfung
21. März 2007	2. Diplomprüfung
Oktober 2007	Inskription an der Universität Wien
	Studienrichtung Meteorologie und Geophysik
Dezember 2009	1. Diplomprüfung
Sommersemester 2012	Tutor in der Wetterbesprechung
	Tutor bei einer Auslandsexkursion