

Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich



ProjektmitarbeiterInnen und AutorInnen des Berichts:

Franz Prettenthaler (Projektleitung)^{1,2}

Andreas Gobiet^{2,3}

Clemens Habsburg-Lothringen¹

Reinhold Steinacker⁴

Christoph Töglhofer²

Andreas Türk^{2,5}

¹ Institut für Technologie- und Regionalpolitik, JOANNEUM RESEARCH

² Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Universität Graz

³ Institut für Geophysik, Astrophysik und Meteorologie, Universität Graz

⁴ Institut für Meteorologie und Geophysik, Universität Wien

⁵ Institut für Energieforschung, JOANNEUM RESEARCH

Graz, im Juli 2007

StartClim2006.F

Teilprojekt von StartClim2006

Projektleitung von StartClim2006:

Universität für Bodenkultur, Department für Wasser – Atmosphäre – Umwelt

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

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

StartClim2006 wurde aus Mitteln des BMLFUW, des BMGFJ, des BMWF, des BMWA und der Österreichischen Hagelversicherung gefördert.

Kurzfassung

Dieses Projekt untersuchte den Einfluss der Klimaveränderung auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich. Auf Basis einer räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Klimatologie des Alpenraums und eines hoch aufgelösten Klima-Änderungsszenarios für die Periode 2041-2050 wurden ausgehend von der Basisperiode 1981-90 die zu erwartende Änderung der Heiz- und Kühlgradtage österreichweit flächendeckend berechnet. Diese Änderung wurde mit Daten zum österreichischen Gebäudebestand und dessen Heizenergiebedarf kombiniert und der Nutz- und Endenergiebedarf sowohl auf regionaler Ebene als auch für ganz Österreich berechnet. Die Ergebnisse weisen für die Periode 2041-2050 eine klimabedingte Abnahme des mittleren Heizenergiebedarfs von etwa 20 Prozent gegenüber der Ausgangsperiode 1981-90 auf, dies entspricht einer Abnahme von etwa 10.800 Gigawattstunden bei derzeitigem Gebäudebestand. Dabei zeigt sich, dass die absolute Abnahme des Heizenergiebedarfs in den Alpenregionen stärker ausfällt als in den Niederungen. Umgekehrt nimmt die Zahl der Kühlgradtage vor allem in den tiefer gelegenen Regionen deutlich stärker zu. Die Aussagen wurden anhand der Schwerpunktregionen Wien und Lienz verdeutlicht. Weiters wurde das Verhältnis zwischen der Abnahme der Heizgradtage und der Zunahme der Kühlgradtage untersucht. Während in höherliegenden Gebieten pro zusätzlichen Kühlgradtag zwischen 5 (400 Meter Seehöhe) und 20 (900 Meter Seehöhe) Heizgradtage wegfallen, beträgt das Substitutionsverhältnis auf 300 Metern 1:4, auf 200 Metern 1:3 und auf 100 Metern 1:2. Auch wurde die durch das Klimaänderungsszenario bedingte Seehöhenverschiebung der Heiz- und Kühlgradtage berechnet. Es zeigte sich, dass sowohl bei den Heizgradtagen als auch bei den Kühlgradtagen eine Höhenverschiebung um etwa 300 Meter stattfindet. Dies würde beispielsweise bedeuten, dass die in der Basisperiode 1981-90 typischen Werte auf 200 Meter Höhe (z. B. Wien) in der Zielperiode für Orte mit etwa 500 Meter Seehöhe (z. B. Aspang) zu erwarten sind.

Abstract

This project examined the influence of climate change on the energy demand for space heating and cooling. Therefore the heating and cooling degree days for the period 2041-2050 (with 1981-90 as base period) were calculated for the whole country with a resolution of 10X10 km on the basis of regional high resolution climate data. Then this data was combined with a dataset of the Austrian buildings and their heating systems to calculate the final and the useful energy of different types of buildings on a regional scale as well as for the whole country. The results show a climate-induced decrease of the average demand for heating of 20 per cent in the period 2041-2050 compared to the base period 1981-90. The average decrease of space heating demand is thereby higher in alpine regions whereas especially in the lowlands the amount of cooling degree days increases. The results show that the absolute decrease of the heating energy demand is greater in alpine regions than in the lowlands, while the cooling degree days increase mostly in low regions. These results were illustrated with case studies for the two cities Vienna and Lienz. Furthermore, the relationship between the decrease of heating degree days and the increase of cooling degree days was examined. While in higher regions per additional cooling degree day the amount of heating degree days drops between 5 (400m) and 20 (900m), this relationship is 1:4 on the 300 meter level, 1:3 on 200 meter, and 1:2 on the 100 meter level. In addition, the sea level shift of heating and cooling degree days due to climate change was examined. The results show that heating as well as cooling degree days shift by about 300 meters until the period 2041-50.

F-1	Einleitung -----	5
F-2	Methodik-----	6
F-3	Klimadaten und Klimaänderungsszenario -----	7
F-3.1	VERACLIM -----	7
F-3.2	Klimaänderungsszenario -----	7
F-4	Berechnung der Heiz und Kühlgradtage-----	10
F-4.1	Definition Heizgradtage -----	10
F-4.2	Definition Kühlgradtage -----	11
F-5	Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs -----	15
F-5.1	Definition Nutz- und Endenergiebedarf -----	15
F-5.2	Datenbasis zum Nutzenergiebedarf für Raumheizung -----	15
F-5.3	Datenbasis zu Gebäudestruktur -----	16
F-5.4	Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Periode 2041-2050 -----	18
F-5.5	Berechnung des Endenergiebedarfs für die Periode 2041-2050 -----	20
F-5.6	Statistische Angaben zum Energiebedarf für Raumheizung und -kühlung --	22
F-6	Ergebnisse-----	23
F-6.1	Änderungen der Heizgradtage -----	23
F-6.2	Änderungen der Kühlgradtage-----	25
F-6.3	Höhenabhängigkeit der Heiz- und Kühlgradtage-----	27
F-6.4	Verschiebung der Heizgradtage zu Kühlgradtagen -----	28
F-6.5	Bevölkerungsgewichtete Heiz- und Kühlgradtage-----	29
F-6.6	Vergleich der Schwerpunktregionen-----	30
F-6.7	Klimabedingte Änderungen des Energieeinsatzes -----	31
	Schlussfolgerungen -----	35
F-7	Literaturverzeichnis -----	36
F-8	Abbildungs- und Tabellenverzeichnis -----	38

F-1 Einleitung

Österreich ist als alpines Land besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Der Temperaturanstieg wird in Österreich wesentlich deutlicher als im globalen Durchschnitt ausfallen.

Ein wichtiger Aspekt der Klimafolgenforschung sind die Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiebedarf für Heizen und Kühlen. Auf Grund langer Planungshorizonte sowohl im Energie- als auch Gebäudesektor ist eine frühzeitige Abschätzung dieser Effekte von großer Bedeutung. Für die Schweiz errechnen Christenson et al. [2006] beispielsweise für die Periode 1975-2085 eine Abnahme des Heizenergiebedarfes von 13 bis 87 Prozent, abhängig von Gebäudetyp, Gebäudestandort und vom zugrundeliegenden Temperatur-Szenario. Für Österreich wurden bisher noch keine Untersuchungen dazu durchgeführt.

Bei der Berechnung des zukünftigen Heiz- und Kühlenergiebedarfs müssen Heiz- und Kühlgradtage auf lokaler Ebene berechnet werden, um sie mit sozioökonomischen Daten verknüpfen zu können. Bislang war eine flächendeckende Berechnung der zu erwarteten Änderung der Gradtage durch die niedrige Auflösung der Klimaänderungsszenarien vor allem für die komplexe Klimatologie des Alpenraums nur eingeschränkt möglich.

Neue Ansätze der regionalen Klimamodellierung für Österreich machen es jedoch möglich Aussagen über die zu erwartende Änderung in bislang unerreichter räumlicher Auflösung (20 x 20 km Gitter) zu treffen. Auf Basis einer räumlich und zeitlich hoch aufgelösten Klimatologie des Alpenraums und eines hoch aufgelösten Klimaänderungsszenarios für die 2040er Jahre kann die zu erwartende Änderung der Heiz- und Kühlgradtage nun österreichweit flächendeckend berechnet werden.

Diese kumulierten Heiz- und Kühlgradtagswerte für die Basisperiode 1981-1990 und für die Zielperiode 2040-2050 erlauben in weiterer Folge detaillierte Aussagen über die räumliche und zeitliche Verteilung der errechneten Veränderung zu treffen. Einerseits ist es möglich den Einfluss des Klimafaktors Seehöhe zu bestimmen, das heißt wie sich Heiz – und Kühlgradtage in Abhängigkeit von der Seehöhe verändern werden und in welchem Ausmaß ein Anstieg der Kühlgradtage durch die Abnahme der Heizgradtage kompensiert wird. Andererseits ist es möglich die erwarteten Änderungen für ausgewählte Klimaregionen auch auf Monatsbasis darzustellen.

Weiters kann die Relevanz dieser Veränderungen in Hinblick auf den zukünftigen Nutz- und Energiebedarf für Österreich untersucht werden. Dafür werden die Änderungen in stärker besiedelten Regionen entsprechend stärker gewichtet und die Heizgradtage auf regionaler Ebene mit Gebäudedaten verknüpft. Dies ermöglicht sowohl Aussagen über regionale Veränderungen des Energiebedarfs von Gebäuden als auch nach Aggregation der regionalen Daten eine Abschätzung über den Einfluss des Klimawandels auf den zukünftigen Nutz- und Endenergiebedarf für Raumheizung in ganz Österreich.

F-2 Methodik

Im Folgenden wird die in diesem Projekt verwendete Methodik dargestellt und beschrieben.

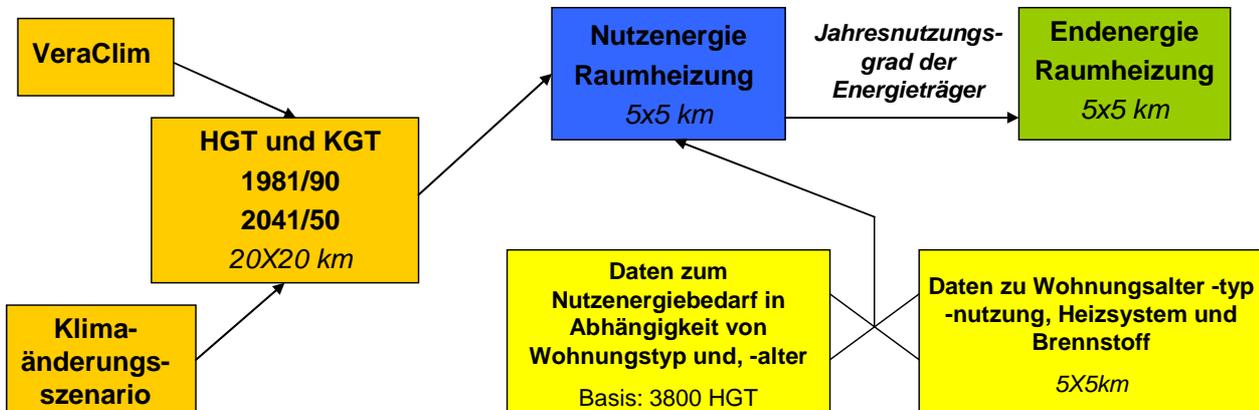


Abb. F-1: Überblick über die Methodik

Abbildung F-1 gibt einen Überblick über die die wesentlichen Berechnungsschritte und Datenquellen.

Wie aus der Abbildung ersichtlich ist, werden in einem ersten Arbeitsschritt die Heiz- und Kühlgradtage für die Periode 1981 bis 1990 und 2041 bis 2050 in einer Auflösung von 20X20 km berechnet. Basis dafür ist das VERA Modell, das eine räumlich und zeitlich hoch aufgelöste Klimatologie des Alpenraums ermöglicht (siehe Kapitel F-3.1) und ein Klima-Änderungsszenario für die 2040iger Jahre, das im Rahmen des Projektes reclip:more berechnet wurde (siehe Kapitel F-3.2). Ausgangspunkt für die weiteren Arbeitsschritte sind einerseits bestehende Daten zum Nutzenergiebedarf in Abhängigkeit vom Wohnungstyp und -alter (diese Berechnungen beziehen sich auf einen Standort mit 3800 Heizgradtagen) und andererseits Daten zum österreichischen Gebäudebestand (Wohnungsalter, -typ, -nutzung, Heizsystem und Brennstoff).

Mit den berechneten Heiz- und Kühlgradtagen für die Periode 2041 bis 2050 und dem bekannten Nutzenergiebedarf pro Heizgradtag wird nun der Nutzenergiebedarf für Raumheizung für die Periode 2041 bis 2050 mit einer Auflösung von 5X5 km berechnet. Es wird in einer ersten Näherung angenommen, dass die Veränderung der Heizgradtage und des Nutz- bzw. Endenergiebedarfs auf lineare Weise zusammenhängen. Im letzten Schritt wird schließlich über die Jahresnutzungsgrade verschiedener Energieträger die Endenergie für Raumheizung für die Periode 2041-2050 mit derselben Auflösung berechnet. Eine nähere Beschreibung dazu erfolgt in Kapitel F-5.

F-3 Klimadaten und Klimaänderungsszenario

F-3.1 VERACLIM

Im Rahmen des VERACLIM (Vienna Enhanced Resolution Analysis Climatology) Projekts wurde der komplexe Einfluss topographischer Strukturen auf die räumliche Verteilung meteorologischer Parameter untersucht und klimatologisch ausgewertet. Mit dem Analyse-System VERA können mesoskalige Strukturen aufgelöst werden, die kleiner als der mittlere Stationsabstand sind, indem Vorwissen über den Einfluss der Orographie auf die räumliche Verteilung meteorologischer Parameter in die Analyse eingebracht wird. VERA kann alle skalaren und vektoriellen Parameter, die an unregelmäßig verteilten Stationen vorliegen, auf ein regelmäßiges Gitter bringen.

Als Datenbasis dienen die Analysen der potentiellen Temperatur und des reduzierten Luftdrucks aus der VERACLIM Reihe (1980-2001). Es werden keine Stationen verwendet, die 400 m Höhe über der Minimumtopographie liegen, um potentielle Ausreißer zu vermeiden. In der Minimumtopographie werden Täler und Beckenlagen hervorgehoben und umgekehrt Berge und einzelne Gipfel herausgefiltert.

Das Interpolations- und Analyse-Verfahren VERA besteht aus einer Fehlerkorrektur, die die einzelnen Messwerte auf ihre räumlich physikalische Konsistenz prüft und aus der Interpolation, für die ein Variationsansatz verwendet wird, der auf der „thin plate spline“ Methode beruht. Die Einflüsse der Topographie auf das zu analysierende Feld gehen in Form der so genannten „fingerprints“ ein. Dabei werden vom System orographische Einflüsse auf das betrachtete Feld erkannt und zum „downscaling“ genutzt. Das Herzstück von VERA ist ein Variationsalgorithmus, der die Quadrate der räumlichen ersten und/oder zweiten Ableitungen des Messfeldes minimiert. Dabei wird davon ausgegangen, dass sich viele Feldverteilungen meteorologischer Parameter (z.B. Druck, Temperatur etc.) so verhalten, dass ihre Krümmungen minimal sind.

Für die in der Folge durchgeführten Berechnungen der Heiz- und Kühlgradtage wurden aus der VERA-Datenbasis die Tagesmitteltemperaturen der Niederungen für die Periode 1981-1990 extrahiert, wobei für jede der 20x20 Kilometer Rasterzellen eine Datenreihe vorliegt und als Basis für das Klimaänderungsszenario verwendet wird.

F-3.2 Klimaänderungsszenario

Um die Auswirkungen des Klimawandels auf Heiz- und Kühlgradtage abschätzen zu können wurde ein kürzlich im Rahmen des Projekts „reclip:more“ (<http://systemsresearch.arcs.ac.at/projects/climate/>) fertig gestelltes regionales Klimaszenario für den Alpenraum ausgewertet. Das Szenario wurde mit einem regionalen Klimamodell (MM5 [Dudhia et al., 2004]) auf Basis des globalen Modells ECHAM5 [Roeckner et al., 2003] und des Emissionsszenarios IS92a [IPCC, 2000] erstellt und beschreibt den Zeitraum 2041 – 2050 im Vergleich zur Periode 1981 – 1990. Die Gitterweite des Modells beträgt 10 Kilometer, was einer tatsächlichen Auflösung von etwa 20 Kilometern entspricht. Details zum Szenario sind in Gobiet et al. [2006] beschrieben.

Laut Szenario wird die Temperatur im Alpenraum in 60 Jahren um 1.8 °C bis 2.7 °C zunehmen wobei die Temperaturänderung im Frühling (2.4 °C), Sommer (2.3°C) und Herbst (2.7°C) stärker als im Winter (1.8 °C) ausfällt (siehe Abb. F-2).

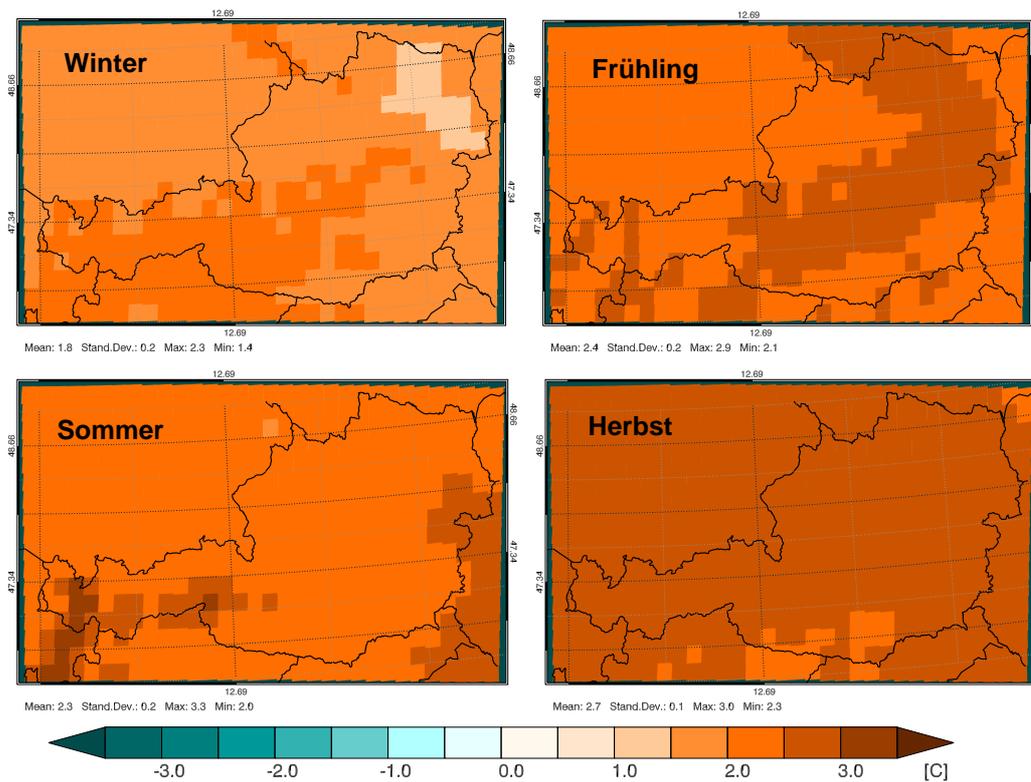


Abb. F-2: Temperaturzunahme in Österreich laut Szenario (2041-2050 verglichen mit 1981-1990), dargestellt auf dem 20 × 20 km Gitter des VERA Datensatzes. Oben links: Winter (Dez., Jan., Feb.); oben rechts: Frühling (Mär., Apr., Mai); unten links: Sommer (Jun., Jul., Aug.); unten rechts: Herbst (Sep., Okt., Nov).

Da Klimamodelle bis zu einem gewissen Grad immer fehlerhaft sind, wurde versucht den Einfluss dieser Fehler auf das spätere Ergebnis (Heiz- und Kühlgradtage) so klein wie möglich zu halten. Das kann durch die geeignete Kombination der Modellergebnisse mit wesentlich genaueren beobachtungs-basierten Datensätzen erreicht werden.

Einige Methoden zur Fehlerkorrektur sind z.B. in Déqué [2007] beschrieben. Im vorliegenden Fall wurde der so genannte „Delta Ansatz“ gewählt, bei dem davon ausgegangen wird, dass ein großer Teil des Modellfehlers in beiden Simulationen (1981-1990 und 2041-2050) gleichermaßen auftritt. Durch die Bildung der Differenz beider Ergebnisse wird dieser systematische Teil des Fehlers entfernt. Die fehlende „Basistemperatur“ wird daraufhin durch einen Beobachtungs-Datensatz (in diesem Fall VERA - siehe Abschnitt F-3.1) ersetzt. Erfahrungen zeigen, dass dieser Ansatz besonders für Temperatur geeignet ist.

Umgesetzt wurde der Ansatz indem das Klimaänderungssignal vom Modellgitter auf das VERA-Gitter interpoliert wurde und diese Werte zu den täglichen VERA Tagestemperaturen zwischen 1981 und 1990 addiert wurden (je nach Saison ein anderer Wert). Da aus dem Szenario ausschließlich saisonal gemittelte Temperaturänderungen Verwendung finden, wird zusätzlich zum systematischen Fehler im Mittelwert ein eventueller Fehler in der täglichen Temperaturvariabilität des Modells korrigiert. Die dahinter liegende Annahme, dass die tägliche Temperaturvariabilität (repräsentiert durch tägliche Temperaturen der Periode 1981-1990 aus VERA) durch den Klimawandel keiner Änderung unterworfen ist, ist zwar nicht beweisbar, allerdings kann davon ausgegangen werden, dass ein etwaiger aufgrund der Verletzung der Annahme entstehender Fehler wesentlich kleiner als der entsprechende (entfernte) Modellfehler ist.

Das Ergebnis dieser Prozedur sind tägliche Temperaturen für die Perioden 1981-1990 und 2041-2050 aus denen, Tag für Tag, Heiz- und Kühlgradtage gemäß der im folgenden Kapitel näher diskutierten Definition berechnet wurden. Daraus wurden für beide Perioden Monatsmittel (über 10 Jahre gemittelt) gebildet, die die Grundlage für die weitere Arbeit im Projekt bildeten.

F-4 Berechnung der Heiz und Kühlgradtage

Das Konzept der Gradtage stellt eine Kenngröße dar, die den Einfluss des Klimaelements Temperatur auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf wiedergibt. Diese wird von unterschiedlichsten Anwendergruppen wie beispielsweise Energieversorgungsunternehmen, Architekten, Ingenieuren etc. verwendet. Je nach Anwendungszweck, Klimazone und Gebäudetyp variieren die eingesetzten Definitionen. Einerseits ist beispielsweise die zugrundeliegende Raumtemperatur für Krankenhäuser oder Schwimmbäder wesentlich höher als für Produktionshallen. Andererseits sinkt die theoretische Heizgrenztemperatur mit zunehmender Gebäudedämmung, die Bedeutung von Größen wie der solaren Einstrahlung sowie interner Lasten (Personen, Elektrogeräte etc.) nimmt zu.

In der internationalen Literatur dominiert die amerikanische Definition der ‚Heating and Cooling Degree Days‘ (HDD und CDD). Diese geht von einer sogenannten ‚Balance Point Temperature‘ von 65 Grad Fahrenheit (18,3 Grad Celsius) aus. Liegt die Tagesmitteltemperatur über dieser Temperatur werden Kühlgradtage ausgewiesen, darunter Heizgradtage. Es wird also angenommen, dass stets entweder gekühlt oder geheizt wird. Für einen Zeitraum (T_1, T_2) können demnach mithilfe der Tagesmitteltemperaturen θ_t die HDD und CDD berechnet werden:

$$CDD(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (\theta_t - 18,3)$$

für Tage an denen: $\theta_t \geq 18,3$

$$HDD(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (18,3 - \theta_t)$$

für Tage an denen: $\theta_t \leq 18,3$

F-4.1 Definition Heizgradtage

Diese internationale Definition ist für Aussagen über den Heizenergiebedarf des österreichischen Gebäudebestandes jedoch nur bedingt geeignet. Die verwendete Heizgrenztemperatur von 18,3 Grad Celsius stimmt keinesfalls mit der tatsächlichen Heizgrenztemperatur in Österreich überein. Selbst für das im Vergleich zu den meisten Gebieten Österreichs relativ warme Graz (Station Flughafen) fallen im klimatologischen Mittel 1971-2000 mehr als 300 Tage an, an denen die Tagesmitteltemperatur kleiner als 18,3 Grad Celsius war.

Aus diesem Grund werden im Alpenraum zur Berechnung der Heizgradtage abweichende Definitionen verwendet. Vom Deutschen Wetterdienst wird beispielsweise eine Grenztemperatur von 15 °C bei angenommener Raumtemperatur von 20 °C für die Berechnung der Heizgradtage herangezogen [DWD 2007]. In Österreich wird hingegen überwiegend die in der ÖNORM 8135 festgehaltene Definition verwendet. Gemäß dieser sind die Heizgradtage die durchschnittliche Temperaturdifferenz eines Tages zwischen einer konstanten Raumtemperatur von 20°C und dem Tagesmittel der Temperatur der Außenluft, die unter einer theoretischen Heizgrenztemperatur von 12°C liegt [Bittermann 2005].

Die Heizgradtagsumme ergibt sich entsprechend gemäß folgender Formel:

$$HGT(T_1, T_2) = \sum_{t=T_1}^{T_2} (20 - \theta_t)$$

für Tage an denen: $\theta_t \leq 12$

Diese Definition beruht auf der Annahme, dass Faktoren wie die solare Einstrahlung, interne Lasten etc. eine Beheizung ab dieser Grenztemperatur von 12°C nicht mehr nötig machen. Folglich ergeben sich beispielsweise bei einer Tagesmitteltemperatur von 11 °C neun Heizgradtage, bei 13°C jedoch null Heizgradtage. Ein Vergleich der amerikanischen Degree Day Definition mit dieser Definition zeigt deutlich diesen Sprung bei 12 °C:

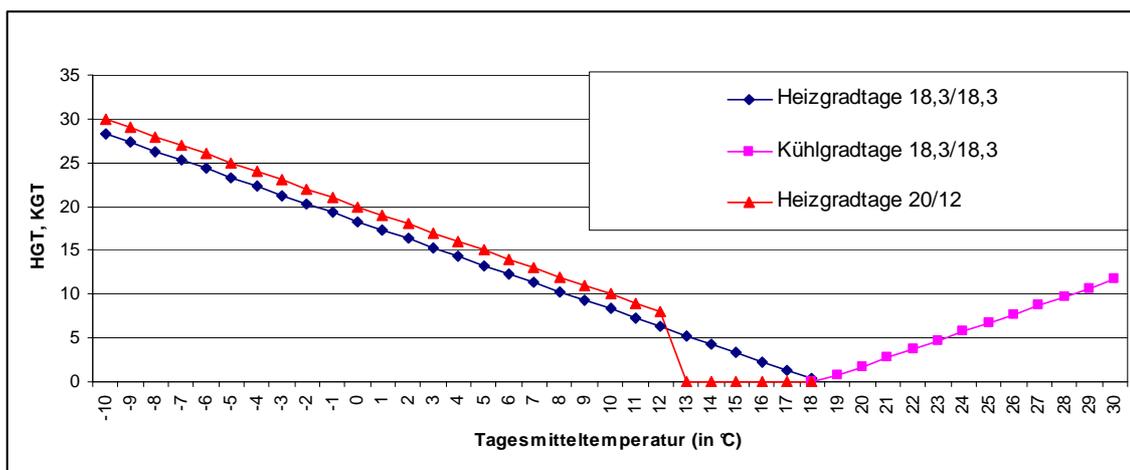


Abb. F-3: Heizgradtage (20/12), Heizgradtage (18,3/18,3) und Kühlgradtage (18,3/18,3) in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur

Abbildung F-3 zeigt, dass für Tagesmitteltemperaturen unter 12 Grad Celsius bei Verwendung der Methode 20/12 höhere Heizgradtage errechnet werden, dafür fallen in der Übergangsperiode im Gegensatz zur Degree Day Definition keine Heizgradtage an.

Für weitere Berechnungen wird im Rahmen dieses Berichts nur noch auf die Definition 20/12 zurückgegriffen. Diese ist einerseits auf das Alpenklima und die derzeitigen österreichischen Bedingungen zugeschnitten. Andererseits ist eine Vergleichbarkeit zu den Veröffentlichungen der ZAMG gegeben, wo überwiegend die Methode 20/12 verwendet wird.

F-4.2 Definition Kühlgradtage

Im Gegensatz zu den Heizgradtagen gibt es zur Berechnung der Kühlgradtage (KGT) keine gängige Definition für Österreich, auch ist der Kühlenergiebedarf wesentlich heterogener als der Heizenergiebedarf. Während in Österreich derzeit bei vielen Wohngebäuden kein Kühlenergiebedarf besteht, muss beispielsweise in einigen Bürogebäuden mehr Kühl- als Heizenergie eingesetzt werden. Daher wurde versucht in der internationalen Literatur beschriebene Definitionen auf ihre mögliche Anwendbarkeit in Österreich hin zu überprüfen.

Studienautor	Land	Verwendete Definitionen und Ergebnisse
Sailor 2001	Vereinigte Staaten	CDD _{18,3} ; ELD: Von acht untersuchten Bundesstaaten hatten die ELD nur in Louisiana signifikanten Einfluss auf den Kühlenergiebedarf.
Sailor et al. 2003	Vereinigte Staaten	CDD _{18,3} : Andere Basistemperaturen ließen für die untersuchten Bundesstaaten keine signifikante Verbesserung des Zusammenhangs mit dem Kühlenergiebedarf erkennen.
Lam 1998	Hongkong	CDD; ELD; CRD: CDD beeinflussen signifikant den Kühlenergiebedarf, während der Einfluss von ELD und CRD nicht signifikant ist, vor allem bei den ELD ist der Regressionskoeffizient in einigen Jahren sogar negativ.
Christenson et al. 2006	Schweiz	CDD _{18,3} ; CDD ₂₀ ; CDD ₂₂ : Der Schätzfehler erhöhte sich mit höherer Grenztemperatur, daher wurden für diese Studie CDD _{18,3} verwendet.
Cartalis et al. 2001	Griechenland	CDD ₁₈

CDD_τ: ‚Cooling Degree Days‘ sind die bei Überschreitung der Grenztemperatur τ die Differenz zwischen Tagesmitteltemperatur und der Grenztemperatur τ , ab welcher ein Kühlenergiebedarf angenommen wird.

ELD: ‚Enthalpy Latent Days‘ werden verwendet um die Einflüsse der Luftfeuchtigkeit auf den Kühlenergiebedarf zu ermitteln.

CRD: ‚Cooling Radiation Days‘ werden zur Untersuchung des Einflusses der Solarstrahlung auf den Kühlenergiebedarf ermittelt.

Tab. F-1: Kühlgradtag-Definitionen in der Literatur

Tabelle F-1 gibt einen Überblick über verschiedene Kühlgradtagdefinitionen. Es zeigt sich, dass eine Miteinbeziehung von Parametern wie Luftfeuchtigkeit und Solarstrahlung, die nicht nur die Temperaturabhängigkeit des Kühlenergieverbrauchs berücksichtigen, keine Verbesserungen bezüglich der Darstellung der Wetterabhängigkeit des Kühlenergiebedarfs brachten.

Ermittelt man die Kühlgradtage für die Messstation Graz-Flughafen anhand der in Christenson et al [2006] für die Schweiz verwendeten Grenztemperaturen 18,3, 20 und 22 Grad Celsius, erhält man für die Periode 1961 bis 2004 folgende Jahressummen:

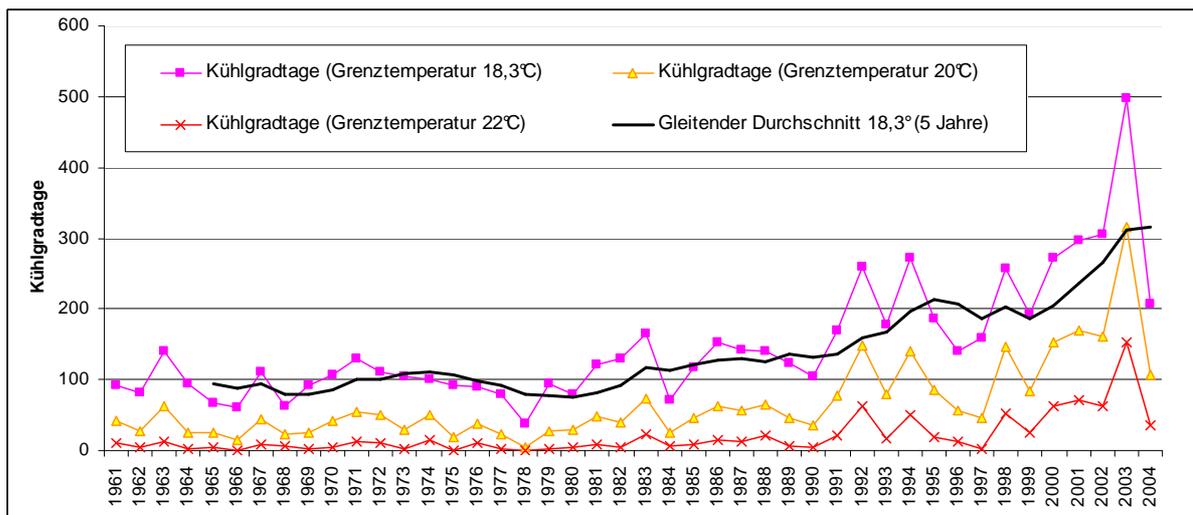


Abb. F-4: Kühlgradtage an der Station Graz-Flughafen bei Grenztemperaturen von 18,3, 20 und 22 Grad Celsius (Eigene Berechnungen; Datenquelle: ZAMG)

Abbildung F-4 zeigt, welche Auswirkungen die Wahl der Grenztemperatur auf die Anzahl der errechneten Kühlgradtage hat. Alle drei Grenztemperaturen lassen einen deutlichen Anstieg der Kühlgradtage ab 1990 erkennen. Eine besonders hohe Zahl an Kühlgradtagen ist im Hitze- und Trockenjahr 2003 zu verzeichnen.

Die Grenztemperatur von 18,3 Grad Celsius scheint für die Berechnung der Kühlgradtage im Rahmen dieses Projekts am günstigsten zu sein. Zum einen können die Resultate leichter mit internationalen Erfahrungen verglichen werden. Zum anderen lässt eine Betrachtung der Variabilitäten am Standort Graz-Flughafen den Schluss zu, dass bei diesem Grenzwert die jährlichen Unterschiede des Kühlenergiebedarfs besser beschrieben werden können als bei höheren Grenzwerten. Tabelle F-2 illustriert die Unterschiede zwischen den Grenztemperaturen anhand der Kühlgradtage für die Periode 1971-2000, sowie für das extrem heiße Jahr 2003 und das sehr kühle Jahr 1990:

Periode	Kühlgradtage			Anzahl der Tage		
	CDD _{18,3}	CDD ₂₀	CDD ₂₂	>18,3°C	>20°C	>22°C
1971-2000	142	61	16	61	34	13
Standardabweichung	61	39	18	16	13	9
Variationskoeffizient	0,43	0,65	1,07	0,26	0,38	0,74
2003 – heißer Sommer	497,6	315,2	151,7	113	99	64
<i>in % zu 71/00</i>	<i>350%</i>	<i>516%</i>	<i>921%</i>	<i>185%</i>	<i>294%</i>	<i>509%</i>
1990 – kühler Sommer	105,2	34,9	4,9	51	30	5
<i>in % zu 71/00</i>	<i>74%</i>	<i>57%</i>	<i>30%</i>	<i>84%</i>	<i>89%</i>	<i>40%</i>

Tab. F-2: Interannuale Variabilität bei Grenztemperaturen von 18,3, 20 und 22 Grad Celsius (Eigene Berechnungen; Datenquelle: ZAMG)

Je höher der Grenzwert festgelegt wird, desto größer sind die relativen Schwankungen zwischen den einzelnen Jahren. Dies gilt sowohl für die Gesamtsumme der Kühlgradta-

ge als auch für die Anzahl der Tage, an denen der Grenzwert überschritten wird. Vergleicht man das Extremjahr 2003 mit dem Mittel der Periode 1971-2000, so sind die Kühlgradtage im Jahr 2003 bei einem Grenzwert von 18,3 Grad um den Faktor 3,5 höher, bei einem Grenzwert von 22 Grad jedoch um den Faktor 9. Umgekehrt weisen Jahre mit kühlen Sommern wie beispielsweise 1990 bei einem Grenzwert von 22 Grad nur 30 Prozent des Mittels auf, bei einem Grenzwert von 18,3 Grad sind es 74 Prozent.

Obwohl derzeit für Österreich noch keine geeigneten empirischen Daten zum aggregierten jährlichen Kühlenergiebedarf vorliegen (siehe Kapitel F-5.6) kann davon ausgegangen werden, dass die mit einem Grenzwert von 18,3 Grad Celsius errechnete jährliche Summe der Kühlgradtage die tatsächlichen Schwankungen besser beschreiben.

F-5 Berechnung des Nutz- und Endenergiebedarfs

Nutz- und Endenergiebedarf für Raumheizung sind wichtige Kenngrößen sowohl was die Gebäudeplanung als auch die Energieversorgung betrifft. In diesem Kapitel wird näher auf die durchgeführten Berechnungen des Nutz- und Endenergiebedarfs für Raumheizung eingegangen. Zuerst werden jedoch die Definitionen der Begriffe Nutz- und Endenergie erläutert und die den Berechnungen zugrundeliegenden Datengrundlagen beschrieben.

F-5.1 Definition Nutz- und Endenergiebedarf

Die Nutzenergie ist die Energie, die dem Endnutzer für die gewünschte Energiedienstleistung, z.B. Raumheizung, Licht zur Verfügung steht. Unter Nutzenergiebedarf versteht man die jährliche Nutzenergiemenge, die eine Anlage zur Erbringung der gewünschten Energiedienstleistung bereitzustellen hat (Jungmeier et al. 1996).

Es wird weiters zwischen theoretischem Nutzenergiebedarf und praktischem Nutzenergiebedarf unterschieden. Der theoretische Nutzenergiebedarf ist eine rechnerische Größe, die angibt, wie viel Nutzenergie bei Zugrundelegung von Standardwerten für die Benutzung von Wohnräumen zur Aufrechterhaltung z. B. der Normaltemperatur während eines Jahres nötig sind. Er ist abhängig von den Transmissionen und Lüftungsverlusten, berücksichtigte die Wärmegewinne durch Sonneneinstrahlung sowie Abwärme von Bewohnern, Elektrogeräten und Warmwasserspeicherung und Verteilung. Er ist unabhängig vom Heizsystem (Jungmeier et al. 1996)

Die praktische Nutzenergie ist die vom Benutzer in seinem Fall in Anspruch genommene Nutzenergie. Die Abweichung vom theoretischen Nutzenergiebedarf ergibt sich durch das Benutzerverhalten. Dazu gehört beispielweise der Arbeitsaufwand beim Betrieb Wärmeversorgungsanlage, die gewünschte Raumtemperatur, die Energiekosten etc. Der praktische Nutzenergiebedarf ist daher vom Heizsystem abhängig. Die Abweichung des praktischen Nutzenergiebedarfs vom theoretischen wird durch den Benutzungsfaktor berücksichtigt. Dieser wird in Abhängigkeit von Gebäudetyp- Heizsystem sowie Endenergeträger definiert (Jungmeier et al. 1996).

Als Endenergiebedarf bezeichnet man diejenige Energiemenge, die zur Deckung des Nutzenergiebedarfs, nach Abzug von Transport- und Umwandlungsverlusten, nötig ist.

Die Verluste die beim Endverbraucher beim Umwandeln von Endenergie in Nutzenergie auftreten werden im Jahresnutzungsgrad berücksichtigt. Im Jahresnutzungsgrad sind z.B. Verbrennungs- und Umwandlungsverluste oder Abstrahlverluste berücksichtigt. (Jungmeier et al. 1996).

F-5.2 Datenbasis zum Nutzenergiebedarf für Raumheizung

Der Nutzenergiebedarf für Raumheizung wird in kWh/m²a angegeben. Basis für die Berechnung des Nutzenergiebedarfs sind bautechnische und standortbezogene Gebäudedaten.

Als Datenbasis für den Nutzenergiebedarf für die Raumheizung wurde in diesem Projekt auf Berechnungen zurückgegriffen, die im Rahmen des Projektes GEMIS-Österreich-Energetische Kennzahlen im Prozesskettenbereich-Nutzenergie-Energiedienstleistung am JOANNEUM RESEARCH berechnet und in Jungmeier et. al, 1996 publiziert wurden. Dabei wurde der Nutzenergiebedarf für vier Gebäudearten – Einfamilienhaus, kleines Mehrfamilienhaus, großes Mehrfamilienhaus und Nichtwohngebäude – für verschiedene

Bauperioden und Energieträger ermittelt. Die Klassifizierung der Gebäudedaten stimmt mit jener der Statistik Austria überein.

Eingang in die Berechnungen fanden standortbezogene Daten, wie Normaußentemperatur (-15°C), Heizgradtage (Basis: 3800 HGT), Heiz tage (200d), jährliche Globalstrahlung (1.150 kWh/m²) und Lage (in Bezug auf Wind und Sonneneinstrahlung), aber auch gebäudespezifische Parameter, Geometrie, Fensterflächen und Bewohneranzahl. Die Berechnungen wurden mit dem Programmsystem EBSYS, die für die GEMIS Berechnungen ergänzt wurde, durchgeführt.

F-5.3 Datenbasis zu Gebäudestruktur

Als Datenbasis dienten Daten der Statistik Austria zur österreichischen Gebäudestruktur, die seit 1951 alle 10 Jahre gemeinsam mit der Volkszählung im Rahmen der Gebäude- und Wohnungszählung erhoben werden. Die von der Statistik Austria für das Projekt angeforderten Daten zu Gebäudestruktur liegen in einer Auflösung von 5X5 km vor und beziehen sich auf die letzte Erhebung aus dem Jahre 2001.

Datensatz A: mit nachfolgenden Kategorien (77 Kategorien, in m² Wohnnutzfläche)

1. Gebäude nach der überwiegenden Nutzung des Gebäudes (11)

- Wohngebäude mit 1 od. 2 Wohnungen
- Wohngebäude mit 3 bis 10 Wohnungen
- Wohnungen mit 11 od. mehr Wohnungen
- Wohngebäude von Gemeinschaften
- Hotel oder ähnliche Gebäude
- Bürogebäude
- Gebäude des Groß- od. Einzelhandels
- Gebäude des Verkehrs- oder Nachrichtenwesens
- Werkstätte, Industrie- oder Lagerhalle
- Geb. f. Kultur/Freizeit, Bildungs-/Gesundheitswesen
- sonstige Gebäude

2. Gebäude nach Bauperiode (7)

- vor 1919
- 1919-1945
- 1946-1960
- 1961-1980
- 1981-1990
- 1991 und später
- nicht rekonstruierbar

Datensatz B: mit nachfolgenden Kategorien (54 Kategorien; Anzahl der Wohnungen)

3. Wohnungen nach dem Energieträger für die Wohnungsbeheizung (9)

- Fernwärme (Brennstoff)
- Heizöl f. Block-, Haus/Wohnungszentralhgz/Einzelöfen
- Holz f. Block-Haus/Wohnungszentralhgz/Einzelöfen
- Kohle, Koks, Brik. f. Block-, Haus/Wohnungszentralhgz/Einzelöfen
- Elektr. Strom f. Haus-/Wohnungszentralhgz/Einzelöfen
- Gas f. Block-, Haus/Wohnungszentralhgz/Einzelöfen
- Alternat. WärmebereitstSyst.f.Block/Hauszentralhgz
- Hacks/Sägesp/Pellets/Stroh f.Block-/Hauszentralhgz
- sonst. Brennstoff f. Block-, Haus/Wohnungszentralhgz/Einzelöfen

4. Wohnungen nach der überwiegenden Heizungsart (6)

- Fernheizung oder Blockheizung
- Hauszentralheizung
- Gaskonvektoren
- Elektroheizung
- Wohnungszentralheizung
- Einzelöfen

Im Folgenden soll ein kurzer Überblick über die Charakteristika der Gebäudestruktur und der Beheizungsart gegeben werden:

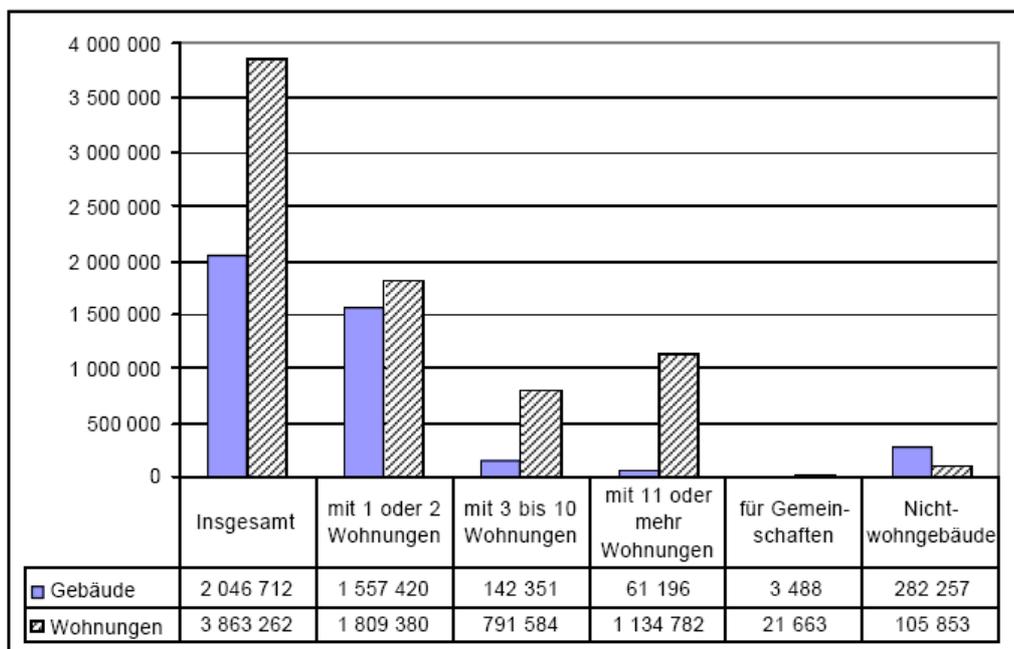


Abb. F-5: Gebäude und Wohnungen nach Art des (Wohn-) Gebäudes, 2001 (Quelle: Institut für Wärmetechnik 2006, basierend auf Statistik Austria 2004).

Abbildung F-5 zeigt, dass der überwiegende Teil der Gebäude nur ein bis zwei Wohnungen umfasst, es handelt sich dabei vorwiegend um Einfamilienhäuser. Insgesamt befindet sich in etwa die Hälfte aller Wohnungen in Gebäuden mit mehr als 3 Wohnun-

gen. Diese Differenzierung ist vor allem bezüglich des geringeren durchschnittlichen Energieeinsatzes pro Quadratmeter Wohnfläche in Mehrfamiliengebäuden von Bedeutung.

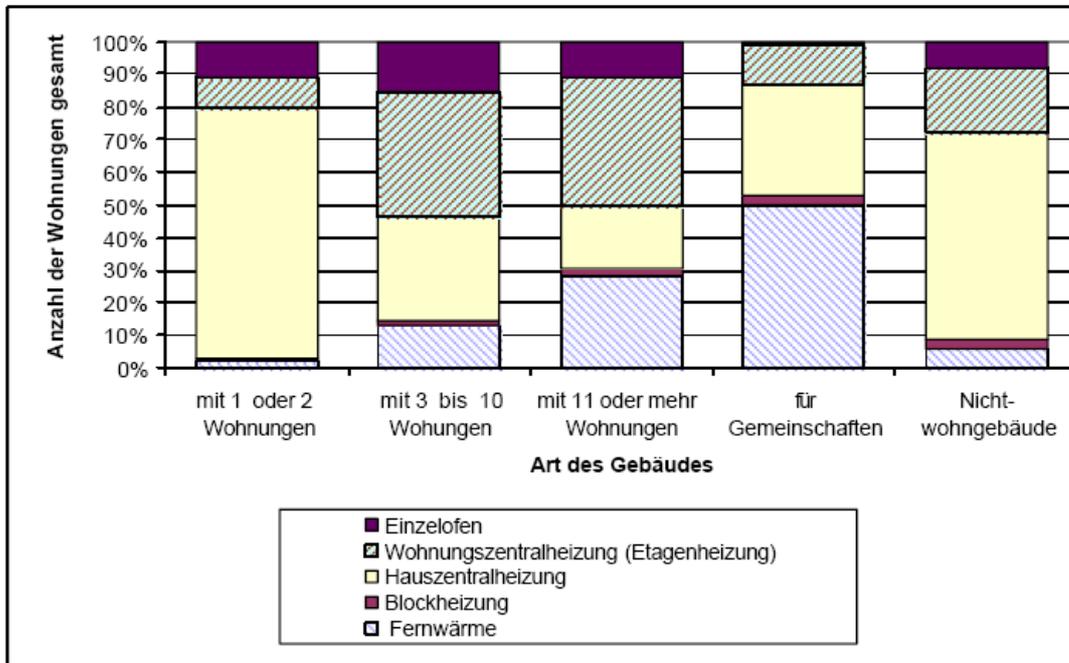


Abb. F-6: Beheizungsart nach Gebäudeart (Quelle: Institut für Wärmetechnik 2006, basierend auf Statistik Austria 2004)

Abbildung F-6 zeigt, dass die Hauszentralheizung sowohl bei Gebäuden mit einer oder zwei Wohnungen als auch bei Nichtwohngebäuden die häufigste Beheizungsart ist. Der Anteil der Fernwärme nimmt mit der Anzahl der Wohnungen in einem Gebäude deutlich zu.

F-5.4 Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Periode 2041-2050

Überprüfung der VERA Rasterzellen

Zuerst wurde überprüft, ob die VERA-Rasterzellen auch tatsächlich Siedlungsschwerpunkte beinhalten, danach wurde der Nutzenergiebedarf für die Periode 2041-50 berechnet.

Zur Verifizierung der dem VERA-Modell zugrundeliegenden Höhenangaben (diese beziehen sich immer auf den tiefsten Punkt innerhalb der VERA-Rasterzelle) wurden die z-Koordinaten sämtlicher Gemeinden Österreichs herangezogen.

Hierbei wurde auf eine ebenfalls rasterzellenbezogene Auswertung der Statistik Austria zurückgegriffen. In der angesprochenen Auswertung wurde für jede Gemeinde der Dauersiedlungsraum anhand der Gebäudebestände definiert und nachfolgend der Schwerpunkt für diesen Dauersiedlungsraum ermittelt.

Diese Siedlungsschwerpunkte wurden in weiterer Folge mit einem digitalen Höhenmodell der NASA (90x90km) verschnitten um so zu den entsprechenden z-Koordinaten zu gelangen.

Das Ergebnis zeigt, dass von den 285 VERA-Rasterzellen, die das österreichische Bundesgebiet betreffen, 271 zumindest einen Siedlungsschwerpunkt (=Gemeindehauptort) enthalten. Im Durchschnitt entfielen 9 Siedlungsschwerpunkte auf eine VERA-Rasterzelle (max. 27). Für jede VERA-Rasterzelle wurde sodann jener Siedlungsschwerpunkt ermittelt, der den niedrigsten z-Wert aufwies. Dieser Wert (DSR_MIN) wurde dann dem VERA-Wert (Z_VERA) gegenübergestellt. Wie in Abbildung F-7 ersichtlich, stimmen die Werte vor allem in Regionen unter 600 Meter, wo ein Großteil der österreichischen Bevölkerung lebt, gut überein, während mit zunehmender Höhe die Streuung zunimmt.

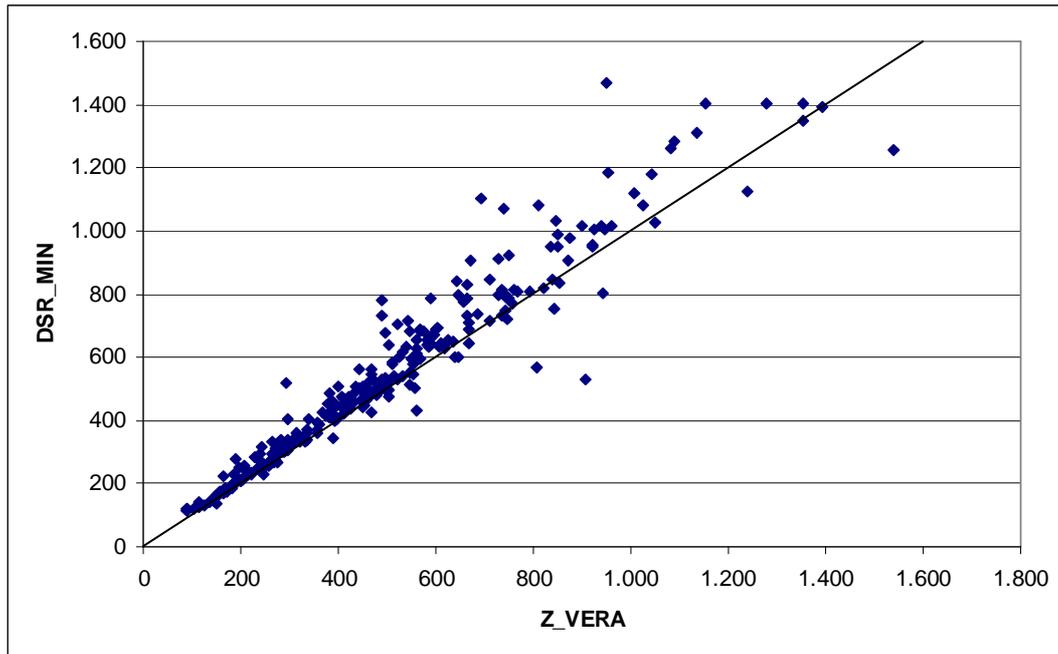


Abb. F-7: Höhenangaben Dauersiedlungsraum versus VERA

Berechnung des Nutzenergiebedarfs

Auf Basis der Nutzenergiekosten für verschiedene Gebäudeklassen, Bauperioden und Energieträger (vgl. Kapitel F-5.2) und den berechneten Heizgradtagen für die Perioden 1981-1990 und 2041-2050 wird nun der Nutzenergiebedarf für die Perioden 1981-1990 und 2041-2050 berechnet. Es wird dabei die Annahme getroffen, dass die Veränderung der Heizgradtage und der Nutzenergie auf lineare Weise zusammenhängen.

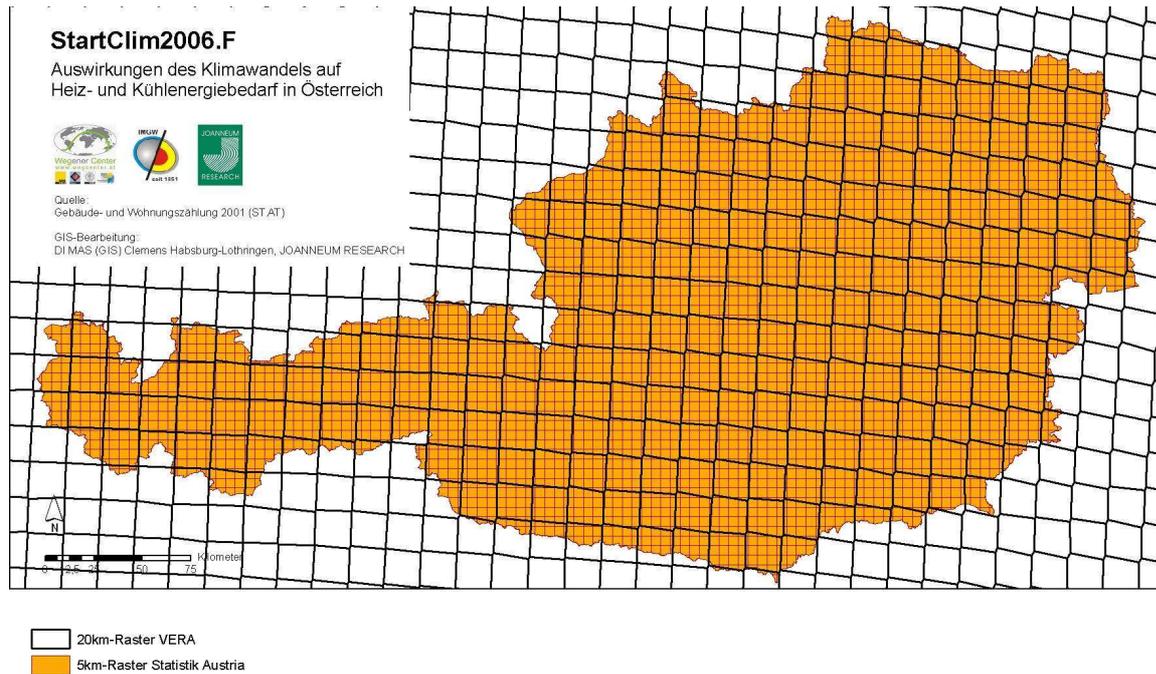


Abb. F-8: Verschneidung des VERA-Raster mit dem Statistik Austria Raster

Abbildung F-8 illustriert die Verschneidung des 20X20km Rasters der VERA-Daten mit dem 5X5 km Raster der Gebäudedaten der Statistik Austria.

In einem ersten Schritt wurde durch Verschneidung der VERA-Raster (20x20km) mit dem leicht quer dazuliegenden STAT-Raster (5x5km) jeder einzelnen STAT-Rasterzelle die Informationen bezüglich HGT/KGT übertragen. Danach wurden die kWh/m²-Werte für den **theoretischen Nutzenergiebedarf** pro Jahr (Berechnungsbasis standardisierte 3800 HGT in Jungmeier et al. 1996) mit den individuellen Werten aus VERA neuberechnet.

Um nun zum praktischen Nutzenergiebedarf zu gelangen wurden die Datensätze bezüglich Bauperiode und Wohnungstyp sowie Heizungsart und Energieträger miteinander verschnitten und eine modifizierte Matrix der **praktischen Nutzenergie** für Raumheizung erstellt.

F-5.5 Berechnung des Endenergiebedarfs für die Periode 2041-2050

Nach Berechnung des Nutzenergiebedarfs für die Periode 1981-90 und 2041-50 wurde jeweils der Endenergiebedarf berechnet. Der Endenergiebedarf errechnet sich aus dem Nutzenergiebedarf dividiert durch den Jahresnutzungsgrad.

Die Jahresnutzungsgrade für verschiedene Heizsysteme wurden aus Jungmeier et al. [1996] entnommen, wobei die Werte für Neuanlagen 1996 herangezogen wurden. Geht man von einer Nutzungsdauer bei Heizanlagen von etwa 20 Jahren aus, so dürften diese Werte gut den durchschnittlichen Jahresnutzungsgrad des derzeitigen Heizungsbestandes repräsentieren.

Wo in Jungmeier et al. [1996] Nutzungsgrade zwischen Einzelanlagen und Zentralheizungen unterschiedlich hoch waren, wurde eine Gewichtung durch im Mikrozensus der Statistik Austria [2004] ausgewiesene Anteile der Energieträger durchgeführt und dann der Durchschnitt gebildet.

Energieträger	Jahrsnutzungsgrad
Fernwärme	96 %
Elektrischer Strom	98 %
Heizöl	74 %
Gas	82 %
Holz	63 %
Alternativ (Wärmepumpe)	273 %
Kohle, Koks	53 %
Hackgut/Sägespäne/Pellets	69 %

Tab. F-3: Durchschnittlicher Jahresnutzungsgrade verschiedener Energieträger

Tabelle F-3 gibt einen Überblick über die herangezogenen Jahresnutzungsgrade für verschiedene Heizsysteme (Werte für Neuanlagen 1996).

Als Ergebnis dieser Berechnungen erhält man nun für jede Rasterzelle einen ausgewiesenen Endenergiebedarf. Dieser ist also durch die einzelnen getroffenen Unterscheidungen abhängig von:

- der Zahl der durchschnittlichen Heizgradtage in diesem Gebiet
- der Zahl der Wohnungen und deren Nutzfläche
- der Bauperioden der Wohnungen und der Zahl der Wohnungen pro Gebäude
- der Heizenergieträger und der Beheizungsart

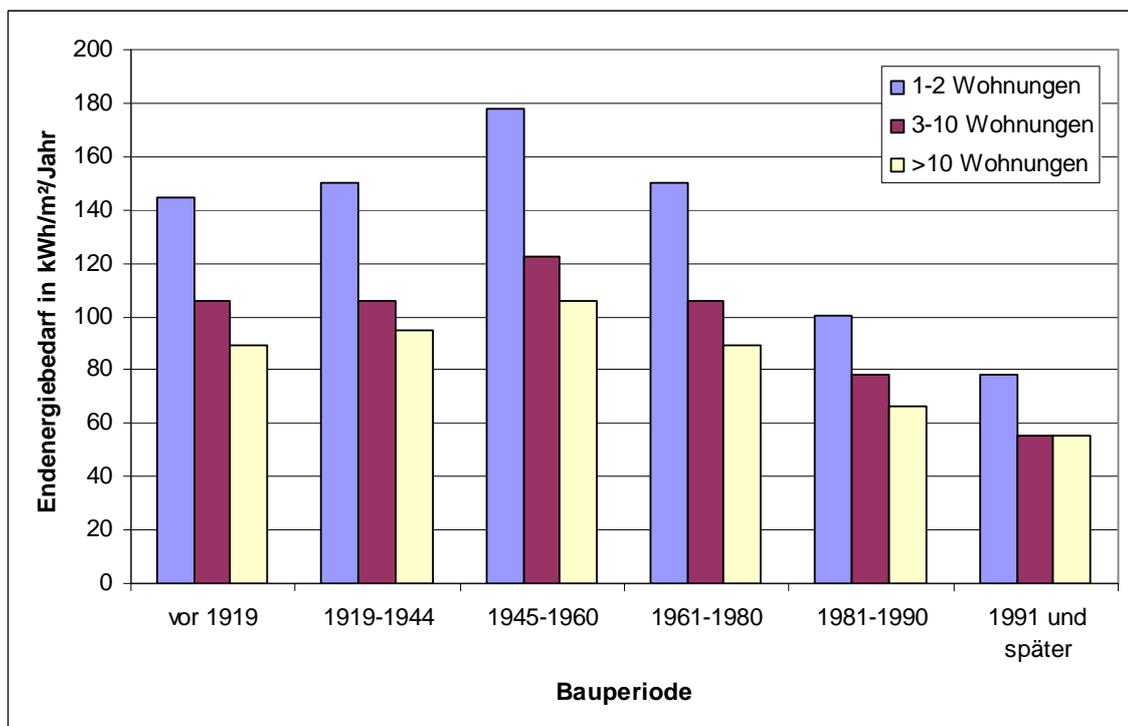


Abb. F-9: Errechneter Endenergiebedarf für Wohnungen mit Zentralheizung in Abhängigkeit von der Zahl der Wohnungen pro Gebäude und der Bauperiode (bei 3800 HGT)

Abbildung F-9 illustriert die ausgewiesenen Unterschiede zwischen den einzelnen Bauperioden und Gebäudetypen für Wohnungen mit Zentralheizung für Standorte mit 3800 Heizgradtagen. Die angegebenen Endenergiewerte müssen als Minimalwerte angesehen werden, da auch die verwendeten Nutzenergie-Input-Daten nach Auskunft der Autoren [Jungmeier et al, 1996] als Minimalwerte zu verstehen sind, die den tatsächlichen Durchschnittsverbrauch der einzelnen Kategorien eher unterschätzen dürften.

F-5.6 Statistische Angaben zum Energiebedarf für Raumheizung und -kühlung

Für einen Vergleich des in diesem Projekt durch Aggregation der einzelnen Rasterzellen erhaltenen Endenergiebedarfs wurden von der Statistik Austria Werte über den ausgewiesenen Gesamtendenergiebedarf für Raumenergie und Warmwasser im Privaten Sektor in Österreich eingeholt. Dieser betrug im Jahr 2004 laut Angaben von Dr. Bittermann [Pers. Auskunft, 6.6.2007] 61 898 Gigawattstunden.

Subtrahiert man von diesem Wert die für die Warmwasserbereitung benötigte Endenergie für die österreichische Bevölkerung im Jahr 2004 (8,155 Millionen), bei Annahme eines Bedarfs von 650 kWh Nutzenergie [Handbuch für Energieberater 1994] pro Person und Jahr, sowie eines mittleren Nutzungsgrads von 80 Prozent, so erhält man folgenden Wert:

Gesamtendenergiebedarf für Raumwärme und Warmwasser im Privaten Sektor 2004 (Statistik Austria)	61 898 GWh
abzüglich Warmwasser (Endenergie)	6 626 GWh
Endenergieeinsatz für Raumwärme Privater Sektor:	55 272 GWh

Tab. F-4: Berechnung des Endenergieeinsatzes für Raumwärme Privater Sektor

Im Gegensatz zum Energieeinsatz für Raumwärme gibt es derzeit keine statistischen Aufzeichnungen bezüglich des Energieeinsatzes für Kühlenergie in Österreich. Einer Projektion von Adnot et al. [2003] zu Folge betrug der in Österreich im Jahr 2005 für Kühlzwecke im gesamten Gebäudebereich benötigte Energieeinsatz 549 Gigawattstunden bei einer insgesamt gekühlten Fläche von 26 Millionen Quadratmeter. Dieser Wert entspricht in etwa ein Prozent des in Tabelle F-4 ausgewiesenen Endenergieeinsatzes für Raumwärme im privaten Sektor, beziehungsweise weniger als ein Prozent des für die EU-15 angegebenen Kühlenergiebedarfs (78 100 GWh).

Obwohl der Vergleich mit dem Heizenergiebedarf zeigt, dass das Thema Kühlen zur Zeit in Österreich noch eine untergeordnete Rolle spielt, weisen die in Adnot et al. [2003] ausgewiesenen Projektionen eine rasante Steigerung des Kühlenergiebedarfs auf. Für Österreich wird beispielsweise eine Steigerung von 296 GWh im Kyoto-Basisjahr 1990 auf in etwa 700 GWh im Jahr 2020 vorausgesagt. Damit würden im Jahr 2020 durch Kühlung in etwa 250.000 Tonnen Treibhausgase verursacht werden (in Adnot et al. [2003] werden für den zusätzlichen Kühlenergiebedarf 350g CO₂/kWh, also in etwa die Emissionen eines CC-Gas Kraftwerkes unterstellt).

Um so wichtiger erscheint es im Kontext dieser rasanten Zunahme nochmals darauf hinzuweisen, dass die im folgenden Kapitel dargestellten Ergebnisse keine Berechnungen zum tatsächlichen Kühlenergiebedarf sind, sondern die Kühlgradtage vielmehr als meteorologische Kenngröße gesehen werden müssen, die als einer von mehreren Faktoren den Kühlenergiebedarf bestimmen. Neben dieser Größe sind zur Beurteilung des Kühlenergiebedarfes vor allem Gebäudestandards, Entwicklungen der Energieeffizienz von Klimaanlage, Preistrends bei Klimaanlage, sowie Konsum- und Verhaltensänderungen zu berücksichtigen. Im Rahmen dieser Studie liegt der alleinige Fokus jedoch bei einer Interpretation der Auswirkungen der Klimaänderungen.

F-6 Ergebnisse

Im Folgenden werden zuerst die Auswirkungen des Klimawandels auf die Zahl der Heiz- und Kühlgradtage dargestellt, danach die Höhenabhängigkeit der Heiz- und Kühlgradtage sowie die Verschiebung von Heiz- und Kühlgradtagen (ebenso in Abhängigkeit der Höhe) und die Änderungen im Monatsverlauf an Hand von Beispielregionen näher betrachtet. Schließlich werden die klimabedingten Auswirkungen auf den Endenergiebedarf dargestellt.

F-6.1 Änderungen der Heizgradtage

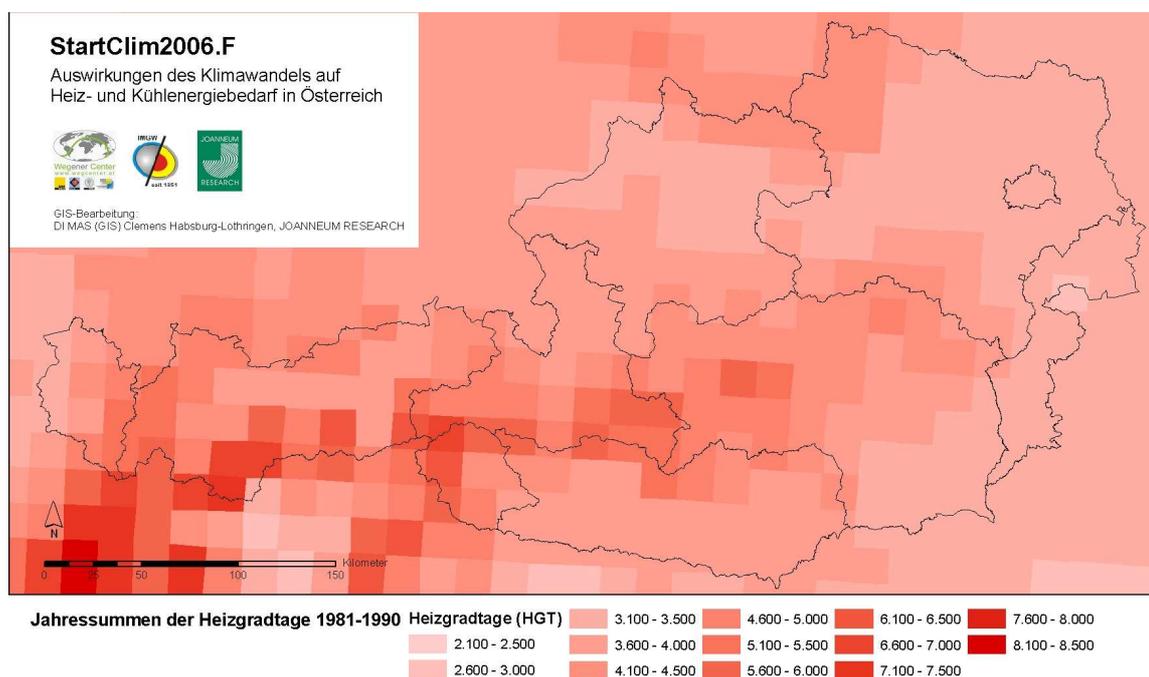


Abb. F-10: Jahressummen der Heizgradtage 1981-1990

Abbildung F-10 zeigt die durchschnittlichen Jahressummen der Heizgradtage für die Periode 1981 bis 1990. Besonders hohe Werte finden sich wie erwartet in höher gelegenen Alpenregionen. Im Inntal, Salzachtal und Drautal findet man überwiegend Werte zwischen 3600 und 4000 Heizgradtage, während in den Niederungen im Osten (Ballungszentren Wien, Linz und Graz) bzw. im Rheintal die Werte zwischen 3100-3500 liegen. Die geringste Zahl an Heizgradtagen wird für die Gegend um den Neusiedlersee ausgewiesen.

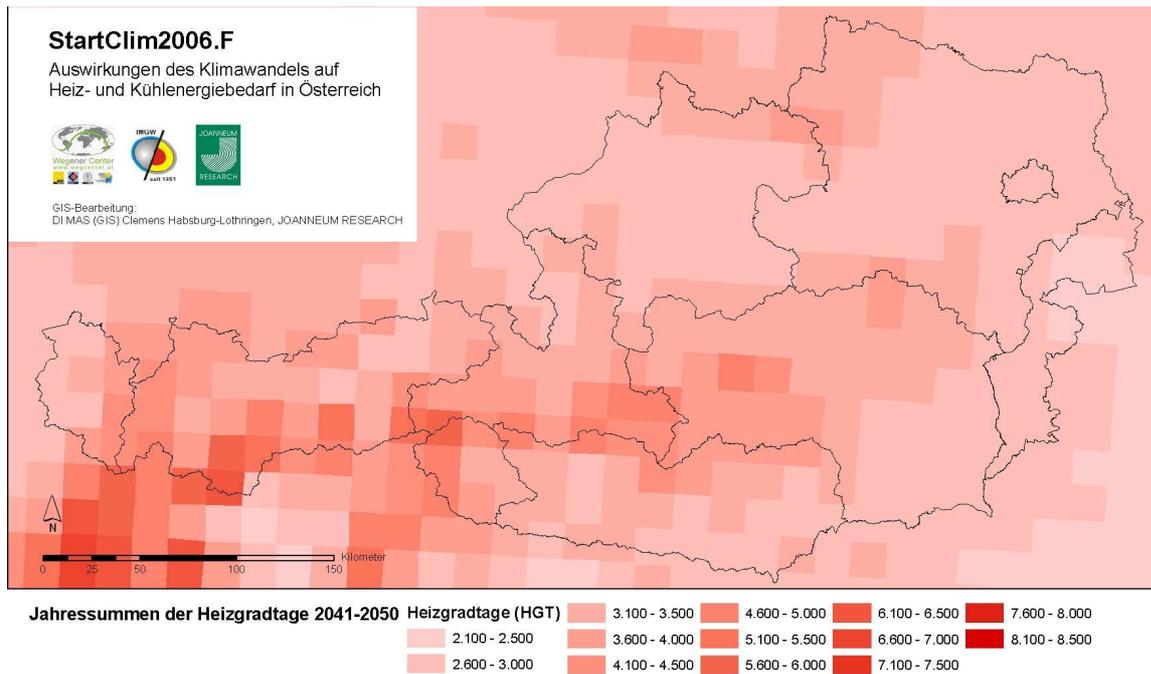


Abb. F-11: Jahressummen der Heizgradtage 2041-2050

Abbildung F-11 zeigt die Jahressummen der Heizgradtage im Vergleich dazu für die Periode 2041 bis 2050. Alle Landeshauptstädte (mit Ausnahme von Innsbruck), sowie große Teile im Osten liegen nun zwischen 2600 und 3000 Heizgradtagen. Im Nordburgenland rund um den Neusiedlersee liegen die Werte sogar darunter (2100-2500 Heizgradtage).

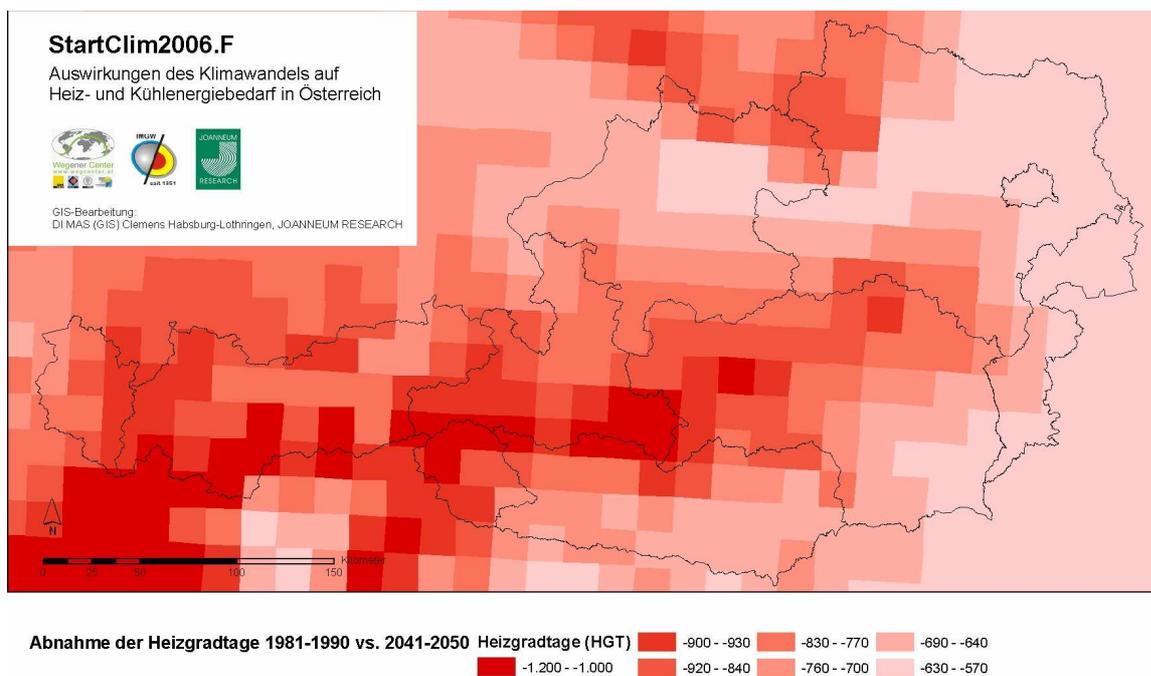


Abb. F-12: Abnahme der Heizgradtage 1981-1990 vs. 2041-2050

Abbildung F-12 illustriert die absolute Änderung der Heizgradtage zwischen der Periode 1981-1990 und der Periode 2041-2050. Es zeigt sich, dass die absolute Änderung im alpinen Bereich deutlich höher ist als in den Niederungen. Allerdings liegt die Abnahme auch im Donautal, in Wien und in den niedergelegenen Regionen Niederösterreichs, des Nordburgenlands und der Südsteiermark um 600 HGT.

In relativen Werten liegt die Abnahme zwischen 15 und 23 Prozent gegenüber der Basisperiode, wobei die meisten Regionen nahe dem Mittelwert von 19,59 Prozent liegen. Die höheren Werte (21-23 Prozent) wurden für Vorarlberg ermittelt, während die geringeren relativen Abnahmen (15-17 Prozent) auf Regionen im Hochgebirge (Öztaler Alpen, Hohe Tauern etc.) zurückzuführen sind.

F-6.2 Änderungen der Kühlgradtage

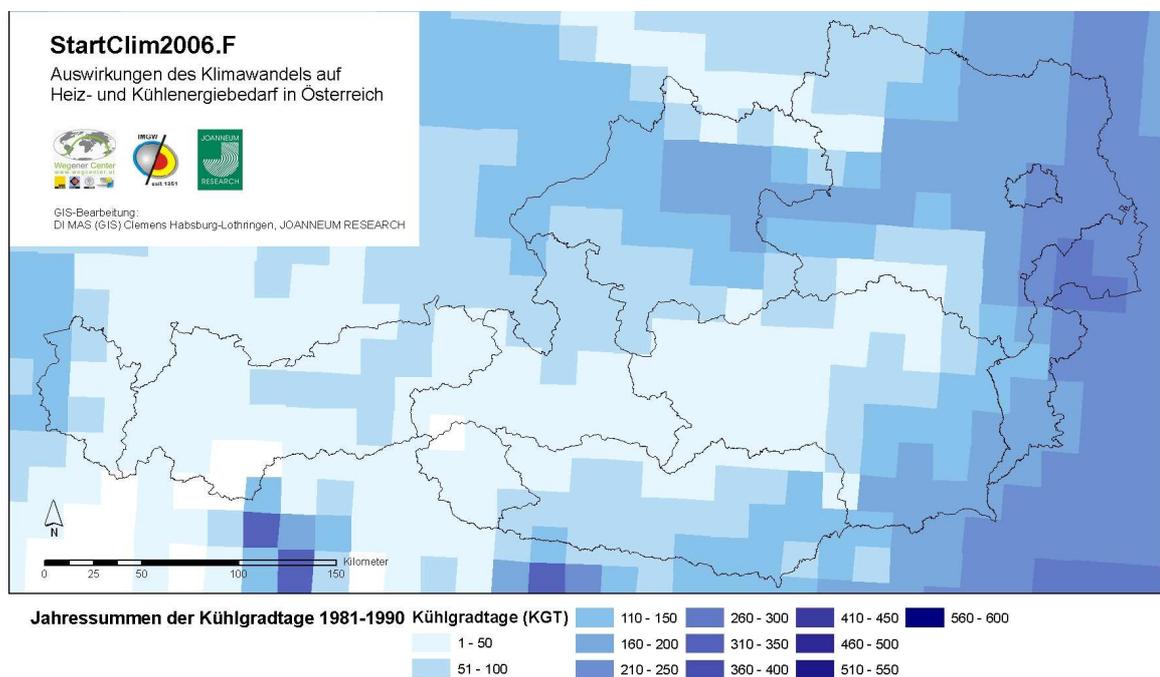


Abb. F-13: Jahressummen der Kühlgradtage 1981-1990

Abbildung F-13 illustriert die Verteilung der durchschnittlichen Kühlgradtage für die Periode 1981 bis 1990. Während für weite Teile des Alpenraums beinahe keine Kühlgradtage ausgewiesen werden (1-50 KGT) und im Inn-, Drau- und Salzachtal Werte zwischen 51 und 100 Kühlgradtage dominieren, erreicht die Zahl der Kühlgradtage in den tiefer gelegenen Gebieten bis zu 300. Die höchsten Werte werden dabei für den Nordosten Österreichs, besonders für die Gegend um den Neusiedlersee ausgewiesen.

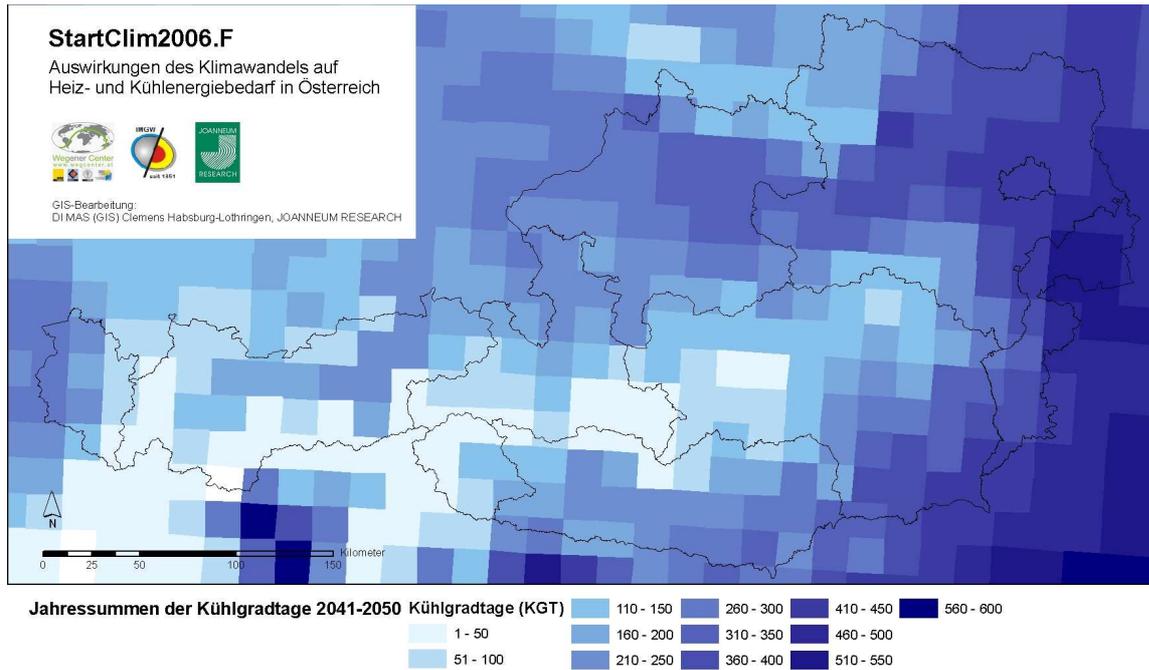


Abb. F-14: Jahressummen der Kühlgradtage 2041-2050

Wie Abbildung F-14 illustriert, erhöht sich die Zahl der Kühlgradtage in der Periode 2041 bis 2050 im Vergleich zum Ausgangsszenario signifikant. Nur wenige alpine Gebiete weisen (in deren Niederungen) weniger als 50 Kühlgradtage auf. Für die einzelnen Täler zeigt sich eine ausgeprägte Differenzierung entlang der Flussverläufe (Inntal und Salzachtal bis 250 KGT, Drautal bis 350 KGT, Unteres Murtal bis 450 KGT, Donautal 260 bis 400 KGT). Die Werte um den Neusiedlersee erreichen bis zu 550 KGT.

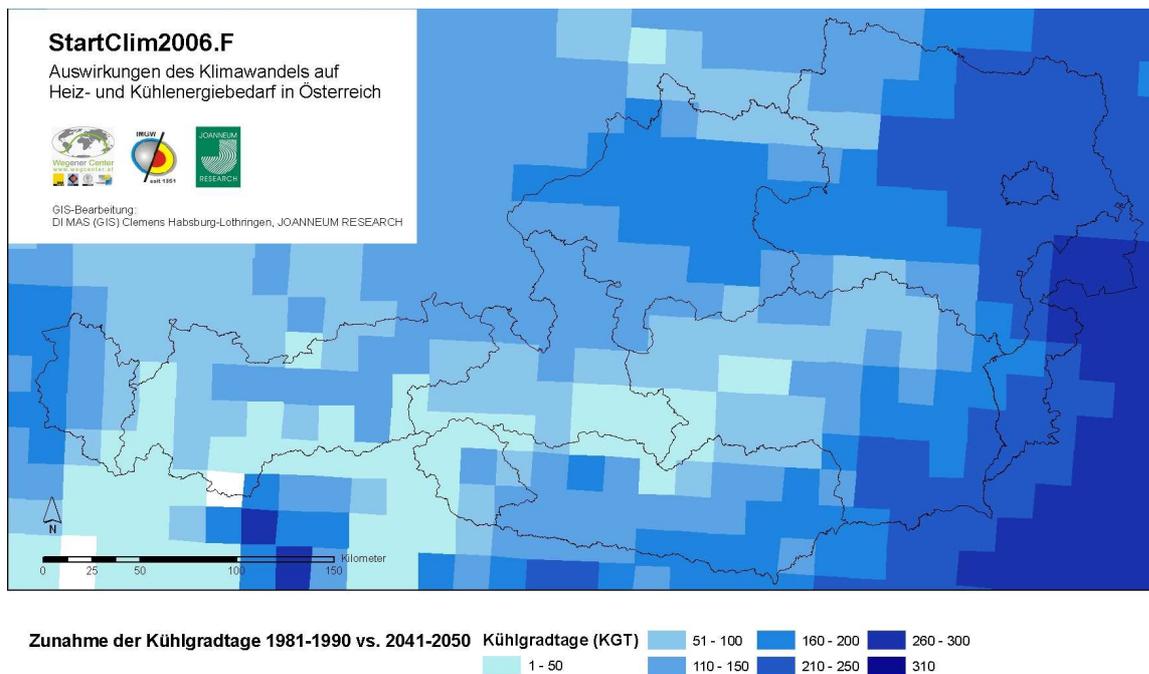


Abb. F-15: Zunahme der Kühlgradtage 1981-1990 vs. 2041-2050

Wie Abbildung F-15 zeigt, ist die absolute Zunahme in jenen Gebieten am stärksten, in denen auch in der Ausgangsperiode die meisten Kühlgradtage ausgewiesen werden, also in Nordostösterreich sowie in der Südoststeiermark und dem Südburgenland. Hier beträgt die Zunahme zwischen 200 und 300 Kühlgradtage. Aber auch in weiten Teilen Oberösterreichs, dem Rheintal und Unterkärnten beträgt die Zunahme bis zu 200 Kühlgradtage.

Eine Betrachtung der relativen Zunahme der Kühlgradtage erscheint in vielen Fällen problematisch, da diese in Regionen mit niedrigem Ausgangsniveau entsprechend hoch ist, obwohl die absolute Zunahme verhältnismäßig gering ausfällt.

F-6.3 Höhenabhängigkeit der Heiz- und Kühlgradtage

Die Auswirkungen der gezeigten Änderungen der Heiz- und Kühlgradtage sollen anhand des in Österreich für deren Berechnung dominanten Klimafaktors Seehöhe näher gezeigt werden. Abbildung F-16 illustriert den Zusammenhang zwischen den für 1981/90 bzw. 2041/50 errechneten Heiz- und Kühlgradtagen und der in VERA für die jeweiligen Rasterzellen ausgewiesenen Höhenangaben. Wichtig ist es, bei Interpretation dieser und weiterer Auswertungen zur Höhenabhängigkeit zu berücksichtigen, dass mehr als die Hälfte der Österreicher unter einer Seehöhe von 400 Meter lebt, mehr als zwei Drittel unter 500 Metern, und mehr als drei Viertel unter 600 Metern.

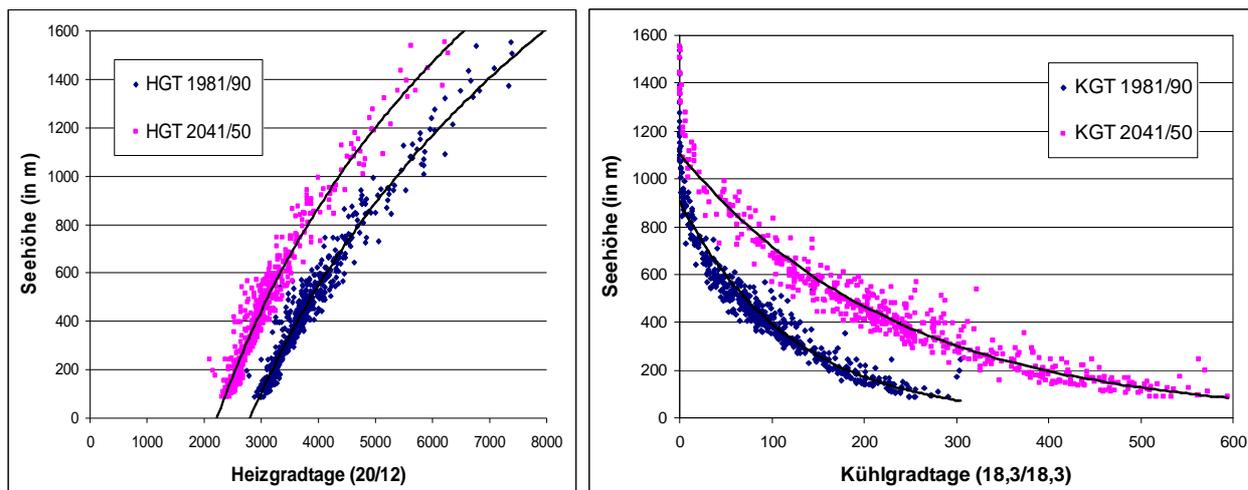


Abb. F-16: Höhenabhängigkeit der Heiz- und Kühlgradtage in Österreich

Wie Abbildung F-16 verdeutlicht, kann weder die Beziehung zwischen Heizgradtagen und Höhenlage noch jene zwischen Kühlgradtagen und Höhenlage durch eine lineare Funktion ausreichend beschrieben werden. Die Höhenfunktion der Heizgradtage kann am besten durch eine logarithmische Beziehung dargestellt werden, d. h. im konkreten Fall, dass die Heizgradtage mit zunehmender Höhe überproportional zunehmen. Währenddessen kann die Funktion der Kühlgradtage am besten durch eine Exponentialfunktion beschrieben werden, d. h. die Kühlgradtage nehmen mit abnehmender Höhe überproportional zu.

Eine Auswertung der Kühl- und Heizgradsummen auf Basis der mit den Funktionskurven ermittelten Höhenlagen zeigt für die Basis- und Zielperiode folgende Ergebnisse:

KGT	Seehöhe 1981/90	Seehöhe 2041/50	Differenz	HGT	Seehöhe 1981/90	Seehöhe 2041/50	Differenz
50	598 m	893 m	+ 295 m	3000	106	442	+ 336 m
100	395 m	720 m	+ 325 m	3500	343	671	+ 328 m
150	261 m	581 m	+ 320 m	4000	548	869	+ 322 m
200	172 m	468 m	+ 296 m	4500	728	1044	+ 316 m
250	114 m	378 m	+ 264 m	5000	890	1201	+ 311 m

Tab. F-5: Höhenverschiebung von Heiz- und Kühlgradtagen

Tabelle F-5 zeigt, dass durch das Klimaänderungsszenario sowohl bei den Heizgradtagen als auch bei den Kühlgradtagen eine Höhenverschiebung um in etwa 300 Meter stattfindet. Dies würde beispielsweise bedeuten, dass die in der Basisperiode 1981-90 typischen Werte auf 200 Meter Höhe (Wien etc.) in der Zielperiode für Orte auf ca. 500 Meter Seehöhe (Aspang etc.) zu erwarten sind. Ein Höhenunterschied von 300 Metern besteht etwa auch zwischen Graz und Aigen/Ennstal, Salzburg und Abtenau, bzw. Innsbruck und Reutte.

F-6.4 Verschiebung der Heizgradtage zu Kühlgradtagen

Um für die einzelnen Regionen Aussagen über die durch Temperaturänderungen bedingte Verschiebung von Heiz- zu Kühlenergiebedarf treffen zu können, soll untersucht werden, in welchem Ausmaß eine Abnahme der Heizgradtage mit einer Zunahme der Kühlgradtage einhergeht. Dafür wird die Rate der Verschiebung von Heiz- zu Kühlgradtagen, in der Folge „Substitutionsverhältnis“ genannt, berechnet. Das Substitutionsverhältnis gibt bei gegebener Temperaturänderung an, wie viele Heizgradtage innerhalb eines Jahres pro zusätzlichen Kühlgradtag wegfallen.

Abbildung F-17 stellt die Verminderung der Heizgradtage der Zunahme der Kühlgradtage gegenüber. Für die einzelnen Substitutionsgeraden (auf jeder dieser Geraden ist das Substitutionsverhältnis konstant) wird jeweils jene Seehöhe ausgewiesen, für welche das angeführte Substitutionsverhältnis typisch ist.

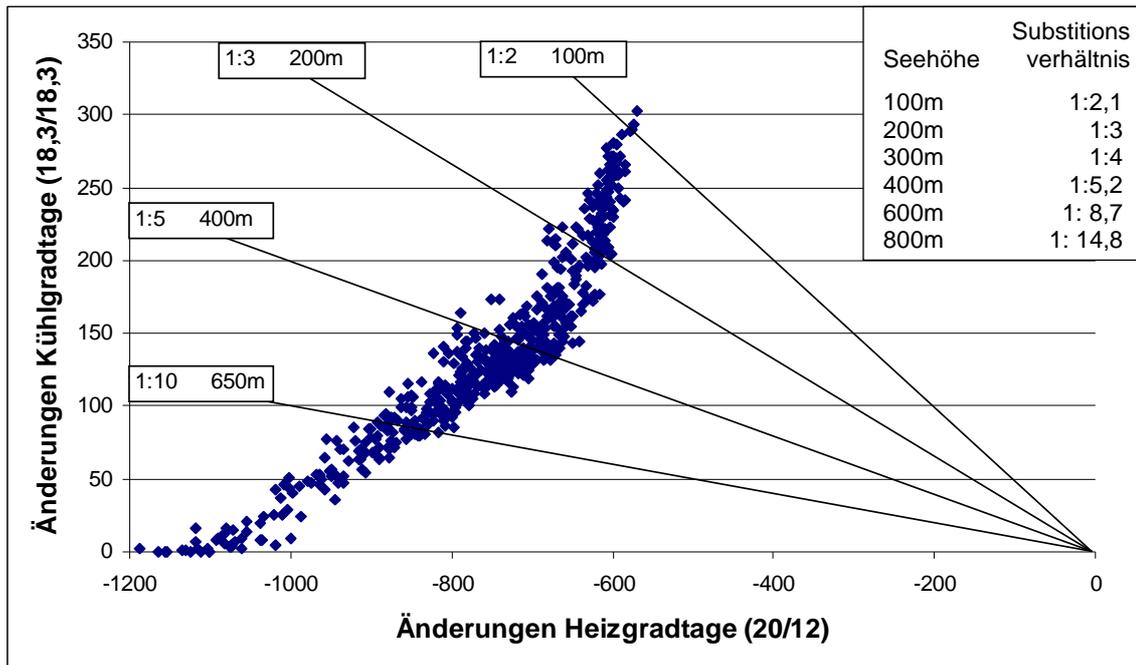


Abb. F-17: Verschiebung der Heizgradtage zu Kühlgradtagen in Österreich

Aus Abbildung F-17 ist erkennbar, dass in jenen Gebieten, in denen die Kühlgradtage am stärksten zunehmen, die geringste Abnahme der Heizgradtage erfolgt. Diese Entwicklung ist für alpine Lagen günstiger, da hier der Heizenergiebedarf im Vergleich mit den Niederungen stärker sinkt, jedoch der Kühlenergiebedarf verhältnismäßig geringer zunehmen wird. So fallen in höherliegenden Gebieten pro zusätzlichem Kühlgradtag zwischen 5 (400 Meter Seehöhe) und 20 (900 Meter Seehöhe) Heizgradtage weg. In den Niederungen beträgt das Substitutionsverhältnis 1:4 auf 300 Metern, 1:3 auf 200 Metern und 1:2 auf 100 Metern.

F-6.5 Bevölkerungsgewichtete Heiz- und Kühlgradtage

Für Einschätzungen des zukünftigen Heiz- und Kühlenergiebedarfs ist es notwendig, die für das gesamte Bundesgebiet berechneten Heiz- und Kühlgradtage mit der Bevölkerung zu gewichten. Als Gewichtungskriterium wurde die durch die Verschneidung mit den Gebäudedaten verfügbare Größe „Anzahl der Wohnungen pro Rasterzelle“ verwendet. Einmal mehr muss betont werden, dass auch bereits die Temperaturen der Niederungen, die für die Berechnung der HGT und KGT verwendet wurden, eine erste Gewichtung enthalten. Trotz dieser Annahme, dass die Bewohner überwiegend in den Tälern wohnen, scheint eine weitere Gewichtung zwischen den Tälern sinnvoll, da die Bevölkerungs-(Wohnungs)zahl beispielsweise in den Rasterzellen die Täler, wie etwa das Virgen- oder Ötztal umschließen, wesentlich geringer ist als in den großen Ballungszentren.

	Heizgradtage				Kühlgradtage			
	1981/90	2041/50	Abnahme	In %	1981/90	2041/50	Zunahme	in %
flächengewichtet	3.871	3.112	-758	-20%	95	236	140	147%
wohnungsgewichtet	3.501	2.815	-686	-20%	137	315	178	130%

Tab. F-6: Vergleich zwischen flächen- und bevölkerungsgewichteten Heiz- und Kühlgradtagen

Durch die Bevölkerungsgewichtung verändern sich die für Österreich ausgewiesenen Heiz- und Kühlgradtage wesentlich im Vergleich zur Flächengewichtung (jede Rasterzelle zählt gleich viel). Bedingt durch die höhere Bevölkerungsdichte in tiefer gelegenen und damit generell wärmeren Regionen ergeben sich bei Bevölkerungsgewichtung sowohl für Basis- und Zielperiode höhere Kühlgradtage, ebenso ist die absolute Zunahme höher. Umgekehrt werden weniger Heizgradtage für Basis- und Zielperiode ausgewiesen, die absolute Abnahme ist ebenfalls geringer.

Daraus folgt, dass je nach Betrachtung unterschiedliche Aussagen über die klimabedingte Verschiebung von Heiz- zu Kühlgradtagen gemacht werden können. Flächengewichtet ergibt sich ein Substitutionsverhältnis von 1:5,4 d. h. für jeden zusätzlichen Kühlgradtag fallen 5,4 Heizgradtage weg. Wohnungsgewichtet ergibt sich ein Verhältnis von 1:3,9. Nimmt man nur die Zahlen für Wien, kommt man sogar auf ein Verhältnis von 1:2,6. Für Einschätzungen der tatsächlichen Verschiebung scheinen die wohnungsgewichteten Werte am besten geeignet zu sein, während flächengewichtete Werte die Zunahme der Kühlgradtage unterschätzen. Die Verwendung von Werten ausschließlich für mehrere große Städte wie Wien und Graz würde das Substitutionsverhältnis hingegen überschätzen.

F-6.6 Vergleich der Schwerpunktregionen

Für drei ausgewählte Regionen erfolgte eine nähere Analyse der Änderungen der Heiz- und Kühlgradtage auf Monatsbasis. Bei der Auswahl der Regionen war zu berücksichtigen, dass die geographischen Bedingungen der gewählten Städte auch tatsächlich mit den Rasterzellen übereinstimmten. Tabelle F-7 vergleicht Seehöhe und Koordinaten der jeweiligen Stadtzentren und der jeweils verwendeten Rasterzellen.

	Stadtzentrum (Quelle: www.austrianmap.at)			Rasterzelle			
	geogr. Lage		Seehöhe	geogr. Lage (Rastermittelpunkt)		Seehöhe min	Seehöhe max
Lienz	12° 46'	46° 49'	673 m	12° 48'	46° 46'	612 m	2368 m
Feldbach	15° 53'	46° 57'	282 m	15° 59'	46° 55'	206 m	614 m
Wien	16° 22'	48° 12'	171 m	16° 28'	48° 14'	142 m	340 m

Tab. F-7: Geografische Koordinaten der Rasterzellen von Lienz , Feldbach und Wien

Die jeweiligen Rasterzellen beschreiben die ausgewählten Städte sehr gut. Die Seehöhe der Stadtzentren liegt jeweils relativ nahe an der für die Temperaturen der Niederungen ausschlaggebenden minimalen Seehöhen der 20x20 Rasterzellen. Die Rastermittelpunkte liegen jeweils südöstlich der Stadtzentren von Feldbach und Lienz, sowie nordöstlich vom ersten Bezirk in Wien (in Donaustadt). Für die jeweiligen Rasterzellen wurden folgende Jahressummen der Heiz- und Kühlgradtage ermittelt:

	Heizgradtage				Kühlgradtage			
	1981/90	2041/50	Abnahme	in %	1981/90	2041/50	Zunahme	in %
Lienz	3873	3144	-729	-19%	59	178	119	201%
Feldbach	3244	2626	-618	-19%	183	405	223	121%
Wien	3171	2548	-623	-20%	202	438	236	117%

Tab. F-8: Heiz und Kühlgradtage für die Rasterzellen von Lienz, Feldbach und Wien

Tabelle F-8 zeigt, dass Feldbach und Wien, was die Anzahl und die Zunahme der Heizgradtage betrifft, sehr ähnlich sind. Bei den weiteren Vergleichen auf Monatsbasis werden daher nur die Werte für Wien und Lienz herangezogen.

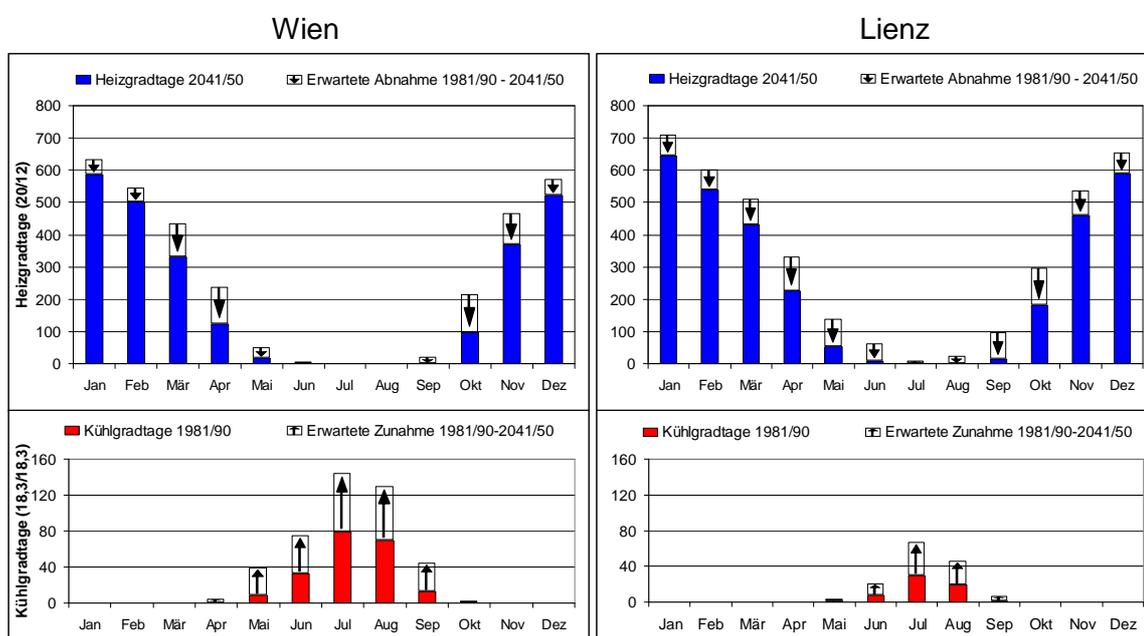


Abb. F-18: Vergleich der Schwerpunktregionen Wien (linke Graphik) und Lienz (rechte Graphik)

Abbildung F-18 zeigt die Ab- und Zunahme der Heiz- und Kühlgradtage für Wien und Lienz auf Monatsbasis. Lienz hat auf Grund der Höhenlage eine längere Heizsaison und höhere Heizgradtage in den einzelnen Wintermonaten als Wien. Die jeweils stärkste Abnahme, die sich in den Übergangsmonaten bei den HGT findet, hat konzeptionelle Ursachen: Die Heizperiode ist durch die Temperaturänderung kürzer, und an jedem Tag, an dem ein Tagesmittel von 12 Grad übersprungen wird, fallen neben dem Temperaturanstieg auch die 8 HGT zwischen 12 und 20 weg (siehe Definition Kapitel F-4.1).

Der Zuwachs bei den KGT ist für Lienz in absoluten Zahlen relativ gering- einen Zuwachs findet man eigentlich nur im Juli und August, während in Wien für die gesamte Periode Mai bis September Zunahmen zu verzeichnen sind. Insgesamt gibt es in Lienz weniger Kühlgradtage in der Periode 2041/50 als in Wien in der Periode 1981/90.

F-6.7 Klimabedingte Änderungen des Energieeinsatzes

Durch Aufsummierung der einzelnen Rasterzellen wurde für den Gebäudebestand laut Ergebnisse der Gebäudezählung 2001 der Endenergiebedarf für Heizzwecke in Wohn-

gebäuden (zur Methodik siehe Kapitel F-5) errechnet. Der angegebene Wert ist als reine Einschätzung der Größenordnung gedacht und lässt die zukünftige Entwicklung des Gebäudebestandes unberücksichtigt.

Jährlicher Endenergiebedarf für Heizzwecke in Wohngebäuden in Gigawattstunden:	
auf Basis der Heizgradtage für die Periode 1981/90	38 600 GWh
auf Basis der Heizgradtage für die Periode 2041/50	31 000 GWh
klimabedingte Änderung des Heizenergiebedarfs:	-7 600 GWh

Tab. F-9: Jährlicher Endenergiebedarf für Heizzwecke in Wohngebäuden in Gigawattstunden

Ein Vergleich mit dem in Kapitel F-5.6 angegeben tatsächlichen Heizenergiebedarf für Privathaushalte von 55 000 Gigawattstunden pro Jahr zeigt, dass die in Tabelle F-9 durchgeführten Berechnungen den Gesamtenergiebedarf etwa um den Faktor 1,5 unterschätzen. Diese Abweichung lässt sich zum Grossteil damit erklären, dass die verwendeten Energieeinsatzdaten als Minimalwerte zu verstehen sind. Außerdem weicht die Annahme von 3800 HGT (siehe Kapitel F-5.2) deutlich von den tatsächlichen Heizgradtagen am durchschnittlichen Wohnungsstandort von 3500 HGT (siehe Tabelle F-6) ab. Allerdings wird durch Annahme eines konstanten Gebäudebestandes der durch Klimaänderungen tatsächlich eingesparte Endenergiebedarf überschätzt, da thermische Verbesserungen des Gebäudebestands ignoriert werden.

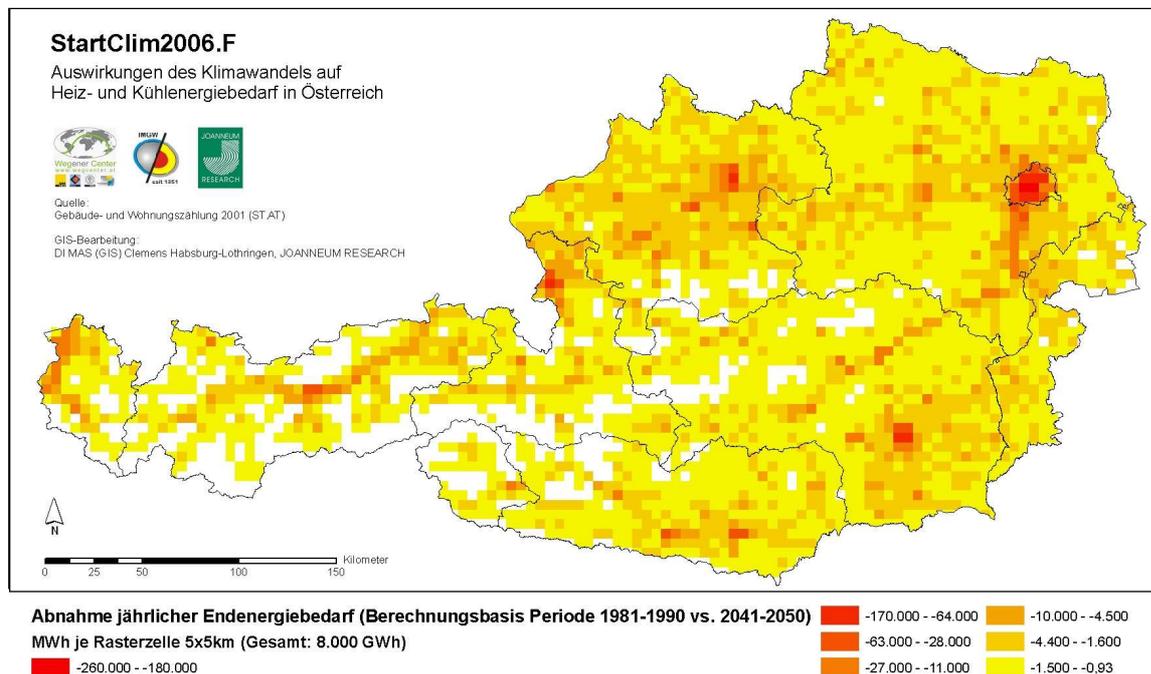


Abb. F-19: Klimabedingte Änderungen des Energieeinsatzes

Abbildung F-19 zeigt die Verteilung der Änderung des Energieeinsatzes. Die Grafik verdeutlicht, dass dort wo Ballungszentren sind, am meisten Endenergie für Raumwärme eingesetzt und damit eingespart wird. Ermittelt man jedoch den Endenergiebedarf pro Wohnung, ergibt sich ein völlig konträres Bild. Abbildung F-20 illustriert sehr deutlich die derzeitigen Unterschiede zwischen urbanen und peripheren Gebieten:

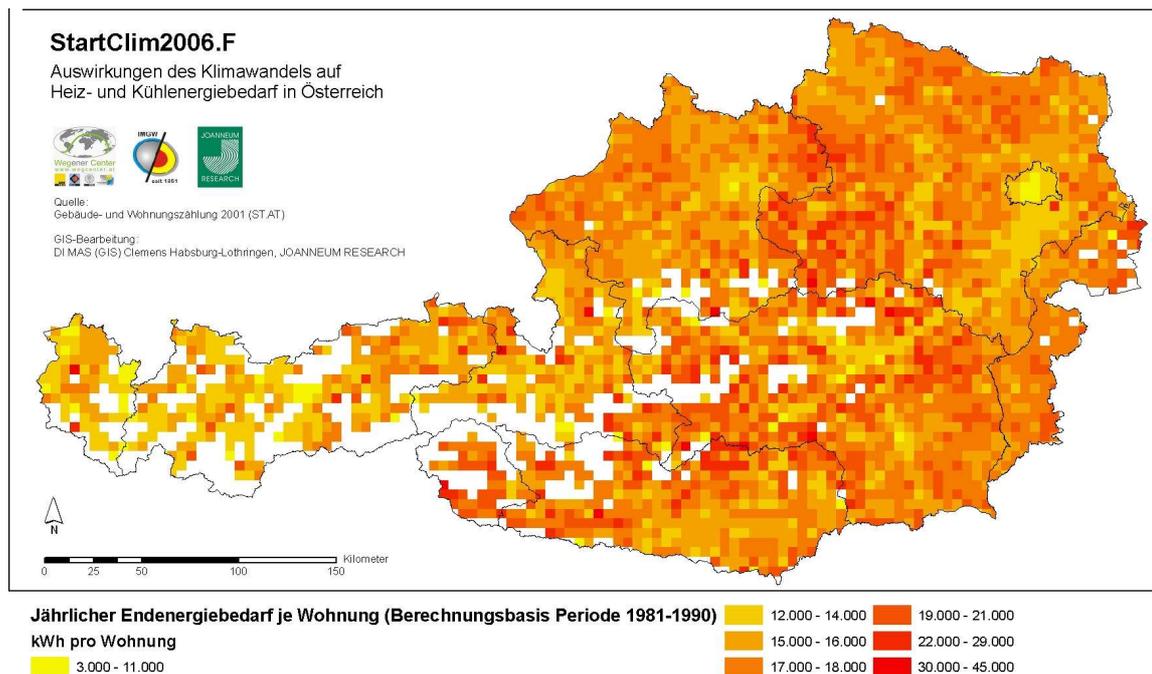


Abb. F-20: Jährlicher Endenergiebedarf für Raumwärme je Wohnung

Wie aus Abbildung F-20 ersichtlich ist, ist der Endenergiebedarf für Raumwärme je Wohnung in den Ballungszentren (wie beispielsweise in Wien, Innsbruck oder Linz) am niedrigsten. Dieser Effekt ist einerseits durch den höheren Anteil an Ein- und Zweifamilienhäusern in ländlichen Regionen, mit entsprechend höherem Raumwärmebedarf, bedingt. Andererseits liegen die großen Ballungszentren in den tieferen und daher wärmeren Landesteilen. Folgende Abbildungen illustrieren den Zusammenhang zwischen der Wohnungsdichte und der Anteil der Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern (Abb. F-21) sowie der Seehöhe (Abb. F-22):

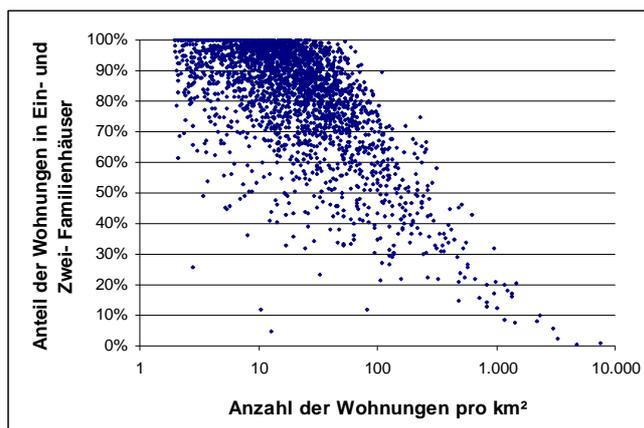


Abb. F-21: Anzahl der Wohnungen pro km² in Abhängigkeit vom Anteil der Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäusern

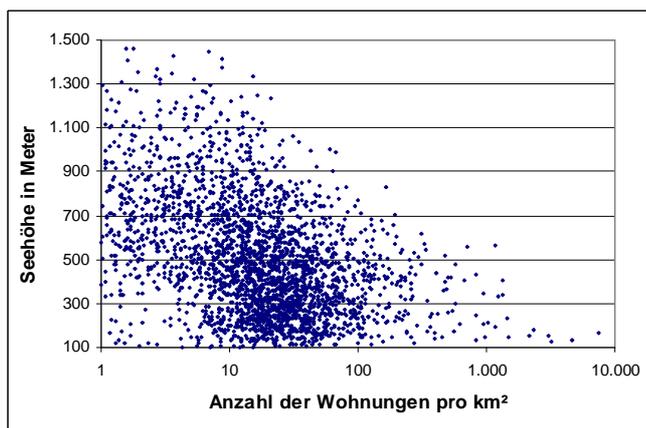


Abb. F-22: Anzahl der Wohnungen pro km² in Abhängigkeit von der Seehöhe

Eine Zusammenfassung der in Abbildung F-20 gezeigten Werte für die einzelnen Rasterzellen für die Kategorien „dünn besiedelt“ (< 10 Wohnungen pro km²), „relativ dünn besiedelt“ (10-99 Wohnungen pro km²), „dicht besiedelt“ (100-999 Wohnungen pro km²), sowie „sehr dicht besiedelt“ (>999 Wohnungen pro km²), sowie die für die Zielperiode

2041-2050 ermittelten Abnahmen werden in Abbildung F-23 dargestellt. Die für die einzelnen Kategorien ausgewiesenen Kühlgradtage sind zum Vergleich in Abbildung F-24 dargestellt:

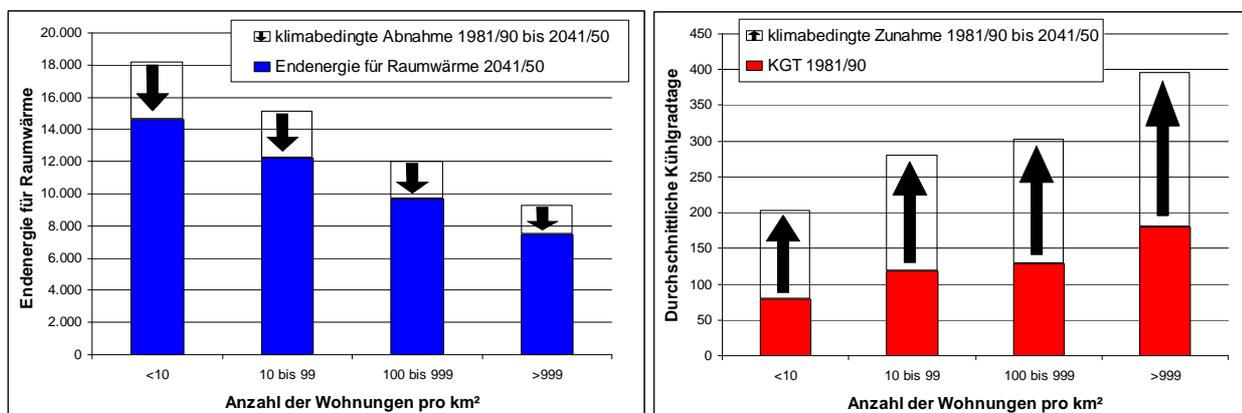


Abb. F-23: Klimabedingte Abnahme der Endenergie in Abhängigkeit von der Wohnungsdichte

Abb. F-24: Durchschnittliche Kühlgradtage in Abhängigkeit von der Wohnungsdichte

In dünn besiedelten Gebieten ist der Heizenergiebedarf sowohl in der Basisperiode als auch in der Zielperiode pro Wohnung um in etwa den Faktor zwei höher als in Ballungszentren. Im Gegensatz dazu weisen die Ballungszentren im Schnitt mehr als doppelt so viele Kühlgradtage auf wie dünn besiedelte Gebiete. Damit liegen die für die Zielperiode für dicht besiedelte Gebiete ausgewiesenen Kühlgradtage (396) deutlich über dem bevölkerungsgewichteten Durchschnitt (315).

Schlussfolgerungen

In diesem Projekt wurde zum ersten Mal der Einfluss des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf in Österreich auf regionaler Ebene berechnet. Es hat sich gezeigt, dass die hohe räumliche Auflösung der Klimadaten und der Gebäudedaten wesentlich differenziertere Aussagen über den zukünftigen Nutz- und Endenergiebedarf auf lokaler und regionaler Ebene, bzw. für verschiedene österreichische Klimazonen ermöglicht.

Die für den Zeitraum 2041-2050 gegenüber der Basisperiode 1981-1990 ausgewiesene Abnahme der Heizgradtage beträgt zwischen 15 und 23 Prozent, wobei die meisten Regionen nahe dem Mittelwert von 19,59 Prozent liegen. Für den durchschnittlichen österreichischen Wohnungsstandort ergibt sich damit eine Abnahme von 3501 auf 2815 Heizgradtage. Im Vergleich dazu verläuft die Zunahme der Kühlgradtage sehr heterogen. Während in Alpenregionen die absolute Zunahme gering ausfällt, werden besonders unter 400 Meter Seehöhe deutliche Zunahmen erwartet. Für den durchschnittlichen österreichischen Wohnungsstandort ergibt sich eine Zunahme von 137 auf 315 Kühlgradtage und somit ein Anstieg um den Faktor 2,3. Insgesamt zeigt sich, dass die Haushalte im Alpenraum bezüglich der Veränderungen des zukünftigen Heiz- und Kühlenergiebedarf deutlich begünstigt sind, da die Heizgradtage in absoluten Zahlen stärker abnehmen als im Flachland und die Kühlgradtage weniger stark zunehmen.

Aussagen über klimabedingte Änderungen des Nutz- und Endenergiebedarfs für Raumwärme wurden sowohl auf regionaler als auch auf Bundesebene getroffen. Die Ergebnisse zeigen ausgehend vom realen Endenergiebedarf für Raumheizung für 2004 eine Abnahme um etwa 10800 Gigawattstunden für die Periode 1981/90-2041/50. Es ist jedoch zu erwarten, dass die tatsächliche klimabedingte Abnahmen wegen zu erwartender thermischer Verbesserungen im Gebäudebereich geringer ausfallen wird. Außerdem soll an dieser Stelle betont werden, dass angesichts der Klimaerwärmung und weiterer energiepolitischer Problemfelder diese umgerechnet pro Dekade etwa dreiprozentige Abnahme des Heizenergiebedarfs in keiner Weise als Rechtfertigung dafür dienen kann, weitere dringende Energieeinsparungen im Bereich Gebäudedämmung vorzunehmen.

Da sich Raumkühlung in Österreich erst seit einigen Jahren verstärkt ausbreitet, gibt es derzeit keine geeigneten statistischen Daten, die eine Umlegung der errechneten Kühlgradtage auf den tatsächlichen Kühlenergiebedarf ermöglichen. Es ist jedoch davon auszugehen, dass der Kühlenergiebedarf auch ohne Berücksichtigung der in diesem Projekt gezeigten starken Zunahme der Kühlgradtage steigen wird, zum einen aufgrund von Konsum- und Verhaltensänderungen, zum anderen aufgrund derzeitiger Entwicklungen in der Gebäudeplanung. Daher sollten jetzt schon die richtigen Anreize gesetzt werden, um eine starke Zunahme des Endenergiebedarfs für Raumkühlung zu vermeiden. Andernfalls könnten die Endenergieeinsparnisse bei Raumheizung durch verstärkte Raumkühlung mehr oder weniger wieder kompensiert werden.

Für die Planung der zukünftigen Energieversorgung sowie für die Planung neuer Gebäude können diese ersten Ergebnisse schon jetzt von großer Bedeutung sein. Außerdem wurden im Rahmen dieses Projektes eine Reihe weiterer Forschungsfragen aufgeworfen. Wichtig wird es sein, die Aussagen auch für andere Zeithorizonte (2020, 2100 etc.) zu untersuchen, sowie weitere Klimaszenarien miteinzubeziehen. Außerdem stellt vor allem eine Umlegung der Ergebnisse auf einzelne Branchen beziehungsweise Unternehmen eine interessante Fragestellung dar. Vor allem im Kühlenergiebereich wird es notwendig sein, einen Zusammenhang zwischen der meteorologischen Komponente (Kühlgradtage) und dem tatsächlichen Kühlenergiebedarf herzustellen, um eine Abschätzung der klimabedingten Verschiebung von Heiz- zu Kühlenergiebedarf zu ermöglichen.

F-7 Literaturverzeichnis

- Adnot J., P. Waide, P. Riviere, D. Marchio, M. Holmstrom, J. Naeslund, J. Saba, S. Beircspahic, C. Lopes, I. Blanco, L. Perez-Lombard, J. Ortiz, N. Papakonstantinou, P. Doukas, C. Joppolo, C. Casale, G. Benke, D. Giraud, N. Houdant, P. Riviere, F. Colomines, R. Gavriliuc, R. Popescu, S. Burchiu, B. Georges, R. Hitchin, 2003: Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC). Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the EU. Final Report, Paris
- Bittermann, W., 2005: Energiebilanzen 1970 (1988) - 2004: Dokumentation der Methodik. Statistik Austria, Wien.
- Bittermann, W., 6.6.2007: Persönliche Auskunft
- Cartalis C., A. Synodinou, M. Prodedrou, A. Tsangrassoulis, M. Santamouris, 2001: Modifications in energy demand in urban areas as a result of climate changes: An assessment for the south-east mediterranean region. In: Energy Conversion and Management 42 (2001) 1647-1656
- Christenson M., H. Manz, D. Gyalistras, 2006: Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland. In: Energy Conversion and Management 47 (2006) 671–686
- Déqué, M., 2007, Frequency of precipitation and temperature extremes over France in an anthropogenic scenario: Model results and statistical correction according to observed values, Glob. Planet. Change, 57, 16-26. doi:10.1016/j.gloplacha.2006.11.030.
- Deutscher Wetterdienst: Die Gradtagszahl. <http://www.dwd.de/de/wir/Geschaeftsfelder/KlimaUmwelt/Leistungen/Statistiken/GTZ.html> (Stand: 18.6.2007)
- Dudhia, J., D. Gill, K. Manning, W. Wang, and C. Bruyere, 2004: PSU/NCAR Mesoscale Modeling System Tutorial Class Notes and User's Guide: MM5 Modelling System Version 3, Software Manual, Mesoscale and Microscale Meteorology Division of the NCAR, Boulder.
- Gobiet, A., H. Truhetz, A. Riegler, A climate scenario for the Alpine region, reclip:more project year 3 - WegCenter progress report, Wegener Center, Univ. of Graz, Austria, 2006.
- JOANNEUM RESEARCH, 1994: Handbuch für Energieberater, Graz.
- Jungmeier, G., G. Fankhauser, K. Könighofer, J. Spitzer, 1996: GEMIS-Österreich - Energetische Kennzahlen im Prozesskettenbereich: Endenergie – Nutzenergie. Joanneum Research, Institut für Energieforschung, Graz.
- Lam J. C., 1998: Climatic and Economic Influences on Residential Electricity Consumption. In: Energy Conversion and Management 39 (1998) 623-629
- Loibl, W., A. Beck, M. Dorninger, H. Formayer, A. Gobiet, W. Schöner, 2006: Wissens-Programm reclip:more, research for climate protection: model run evaluation, Project year 2 – Report 2005, ARC-Berichte, ARC systems research, Wien, Österreich.
- Roeckner, E., G. Baeuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornbluh, E. Manzini, A. Rhodin, U. Schlese, U. Schulzweida, A. Tompkins, 2003: The atmospheric general circulation model ECHAM5. Part 1: Model description, Report 349, Max Planck Institute for Meteorology (MPI), Hamburg.
- Sailor D. J, 2001: Relating residential and commercial sector electricity loads to climate—evaluating state level sensitivities and vulnerabilities. In: Energy 26 (2001) 645-657

Sailor D. J., A. Pavlova, 2003: Air conditioning market saturation and long-term response of residential cooling energy demand to climate change. In: Energy 28 (2003) 941–951

Statistik Austria: Energiebilanzen 1970 (1988) - 2004

Steinacker, R., B. Bica, C. Lotteraner, M. Suklitsch, 2005: Mittelkarten der Temperatur der Niederungen – Eine klimatologische Auswertung im Alpenraum (Klimaatlas). IMGW – Institut für Meteorologie und Geophysik der Universität Wien

Zentralanstalt für Meteorologie und Geodynamik: Tagesmitteltemperaturen für die Station Graz-Flughafen 1961-2004

F-8 Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abb. 1: Methodik	6
Abb. 2: Prognostizierte Temperaturzunahme in Österreich bis 2050 (2041-2050 verglichen mit 1981-1990), dargestellt auf dem 20 x 20 km Gitter des VERA Datensatzes. Oben links: Winter (Dez., Jan., Feb.); oben rechts: Frühling (Mär., Apr., Mai); unten links: Sommer (Jun., Jul., Aug.); unten rechts: Herbst (Sep., Okt., Nov).	8
Abb. 3: Heizgradtage (20/12), Heizgradtage (18,3/18,3) und Kühlgradtage (18,3/18,3) in Abhängigkeit von der Tagesmitteltemperatur	11
Abb. 4: Kühlgradtage an der Station Graz-Flughafen bei Grenztemperaturen von 18,3, 20 und 22 Grad Celsius (Eigene Berechnungen; Datenquelle: ZAMG).....	13
Abb. 5: Gebäude und Wohnungen nach Art des (Wohn-) Gebäudes, 2001 (Quelle: Institut für Wärmetechnik 2006, basierend auf Statistik Austria 2004).	17
Abb. 6: Abbildung 3. Beheizungsart nach Gebäudeart. (Quelle: Institut für Wärmetechnik 2006, basierend auf Statistik Austria 2004)	18
Überprüfung der VERA Rasterzellen	18
Abb. 7: Höhenangaben Dauersiedlungsraum versus VERA	19
Abb. 8: Verschneidung des VERA Raster mit dem Statistik Austria Raster	20
Abb. 9: Errechneter Endenergiebedarf für Wohnungen mit Zentralheizung in Abhängigkeit von der Zahl der Wohnungen pro Gebäude und der Bauperiode (bei 3800 HGT)	21
Abb. 10: Jahressummen der Heizgradtage 1981-1990.....	23
Abb. 11: Jahressummen der Heizgradtage 2041-2050.....	24
Abb. 12: Abnahme der Heizgradtage 1981-1990 vs. 2041-2050	24
Abb. 13: Jahressummen der Kühlgradtage 1981-1990.....	25
Abb. 14: Jahressummen der Kühlgradtage 2041-2050.....	26
Abb. 15: Zunahme der Kühlgradtage 1981-1990 vs. 2041-2050.....	26
Abb. 16: Höhenabhängigkeit der Heiz- und Kühlgradtage in Österreich	27
Abb. 17: Verschiebung der Heizgradtage zu Kühlgradtagen in Österreich	29
Abb. 18: Vergleich der Schwerpunktregionen Wien (linke Graphik) und Lienz (rechte Graphik)	31
Abb. 19: Klimabedingte Änderungen des Energieeinsatzes	32
Abb. 20: Jährlicher Endenergiebedarf für Raumwärme je Wohnung.....	33
Abb. 21: Anzahl der Wohnungen pro km ² in Abhängigkeit vom Anteil der Wohnungen in Ein- und Zweifamilienhäuser	33
Abb. 22: Anzahl der Wohnungen pro km ² in Abhängigkeit von der Seehöhe	33
Abb. 23: Klimabedingte Abnahme der Endenergie in Abhängigkeit von der Wohnungsdichte	34
Abb. 24: Durchschnittliche KGT in Abhängigkeit von der Wohnungsdichte.....	34

Tab. F-1: Kühlgradtag-Definitionen in der Literatur	12
Tab. F-2: Interannuale Variabilität bei Grenztemperaturen von 18,3, 20 und 22 Grad Celsius (Eigene Berechnungen; Datenquelle: ZAMG)	13
Tab. F-3: Durchschnittlicher Jahresnutzungsgrade verschiedener Energieträger.....	21
Tab. F-4: Berechnung des Endenergieeinsatzes für Raumwärme Privater Sektor	22
Tab. F-5: Höhenverschiebung von Heiz- und Kühlgradtagen	28
Tab. F-6: Vergleich zwischen flächen- und bevölkerungsgewichteten Heiz- und Kühlgradtagen	29
Tab. F-7: Geografische Koordinaten der Rasterzellen von Lienz , Feldbach und Wien	30
Tab. F-8: Heiz und Kühlgradtage für die Rasterzellen von Lienz, Feldbach und Wien.....	31
Tab. F-9: Jährlicher Endenergiebedarf für Heizzwecke in Wohngebäuden in Gigawattstunden	32