7. Internationale
Energiewirtschaftstagung
an der TU Wien

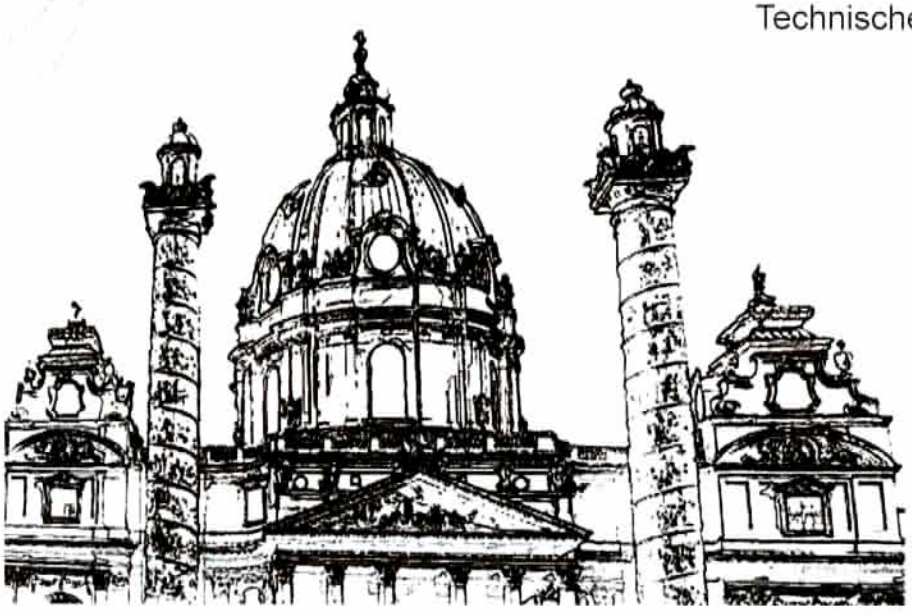
# IEWT 2011

Kurzfassungsband

# Energieversorgung 2011: Märkte um des Marktes Willen?

**16. – 18. Februar 2011**
**Wien, Österreich**

**Tagungsort:**
Technische Universität Wien
Karlsplatz 13
1040 Wien



**Veranstalter:**

Institut für Energiesysteme und
Elektrische Antriebe der TU Wien

AAEE (Austrian Association for Energy Economics)

bmvit

Bundesministerium
für Verkehr,
Innovation und Technologie

# Kühlen und Heizen 2050: Klimawandel und andere Einflussfaktoren

**Lukas KRANZL[(1)], Andreas MÜLLER[(1)], Herbert FORMAYER[(2)]**

[(1)]Technische Universität Wien, Institut für Energiesysteme und elektrische Antriebe, Energy Economics Group, Gußhausstraße 25/373-2, A-1040 Wien, Lukas.Kranzl@tuwien.ac.at, www.eeg.tuwien.ac.at
[(2)]Universität für Bodenkultur, Institut für Meteorologie

**Kurzfassung:**

Kurzfassungstext

Heizen und Kühlen zählen zu denjenigen Sektoren, die am stärksten durch den kommenden Klimawandel betroffen sein könnten. Gleichzeitig stehen beide Sektoren vor großen Umbrüchen. In diesem Paper werden die möglichen Auswirkungen des Klimwandels auf die Sektoren Kühlen und Heizen in Österreich bis zum Jahr 2050 untersucht. Adaptionsmaßnahmen werden diskutiert. Zur Abbildung der möglichen Diffusionsraten der Raumklimatisierung wurden vier Szenarien (je Klimaszenario) unterschieden: zwei Szenarien bzgl. eines nicht-klimasensitiven Trends zur Klimatisierung und zwei Szenarien zur klimasensitiven Abhängigkeit der Diffusion. In Kombination mit drei Klimaszenarien ergeben sich 12 Szenarien zur Entwicklung der Nachfrage nach Kühlenergie. Im Maximal-Szenario ergibt sich ein Anstieg des Kühlenergieverbrauchs von derzeit ca. 0.5 $TWh_{el}$ auf knapp 12 $TWh_{el}$. Dieses Szenario würde allerdings nicht nur einen entsprechend starken Anstieg des Stromverbrauchs mit sich bringen, sondern vielmehr auch eine Verlagerung der Lastspitze in den Sommer. Die Bandbreite der Enwicklung zeigt den großen Handlungsspielraum, der sich durch Umsetzung entsprechender Anpassungsmaßnahmen ergibt, darunter relativ kostengünstige Maßnahmen, wie Abschattung. Die Szenarien zum Raumwärmesektor weisen in die gegenteilige Richtung. Durch thermisch effizienten Neubau sowie qualititativ hochwertige thermische Sanierungen kann der Energieverbrauch des Gebäudebestands für Raumwärme und Warmwasser bis zum Jahr 2050 im Referenzszenario um knapp 60% reduziert werden. Das Klimasignal führt je nach Klimaszenario zu einer zusätzlichen Reduktion des Energiebedarfs um etwa 3-6%.

**Keywords:** Heizen, Kühlen, Klimawandel, Anpassung, Szenarien

## 1 Motivation

Heizen und Kühlen zählen zu denjenigen Sektoren, die am stärksten durch den kommenden Klimawandel betroffen sein könnten. Gleichzeitig stehen beide Sektoren vor großen Umbrüchen: Im Bereich der Raumwärmebereitstellung sind große Effizienzsteigerungen sowie der weit verbreitete Einsatz erneuerbarer Energie möglich bzw. zu erwarten. Der gegenwärtige Trend im Bereich der Raumkühlung und –klimatisierung hingegen zeigt in die

genau entgegengesetzte Richtung einer verstärkten Diffusion von Klimageräten und einem entsprechend wachsenden Energieverbrauch.

Die Ergebnisse dieses Beitrags wurden im Rahmen des Projekts KlimAdapt (Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel) im Rahmen der Programmlinie „Energie der Zukunft“ erarbeitet. Das Projekt wurde im Herbst 2010 abgeschlossen und untersuchte neben den Sektoren Kühlen und Heizen auch die Bereiche Stromerzeugung und forstliche Bioenergieproduktion (www.eeg.tuwien.ac.at/klimadapt).

# 2 Fragestellung

Die zentralen Fragestellungen dieses Papers lauten:

- Was sind mögliche Auswirkungen des Klimwandels auf die Sektoren Kühlen und Heizen in Österreich bis zum Jahr 2050?
- Was sind andere Trends und Einflussfaktoren in diesen Sektoren?
- Welche Maßnahmen zur Adaption an den Klimawandel sollten in diesen Bereichen getätigt werden?

# 3 Methodik

Der methodische Ansatz zur Erzielung dieser Projektergebnisse besteht aus den folgenden Schritten: In einem ersten Schritt werden die klimatologischen Basisdaten aufbereitet. Der zweite Schritt besteht aus der Analyse der Auswirkungen auf die Sektoren Kühlen und Heizen auf Basis einer bottom-up-Modellierung des Gebäudebestands bis zum Jahr 2050. Der dritte Schritt stellt die Identifizierung und Beschreibung von Anpassungsmaßnahmen dar. Abschließend werden Schlussfolgerungen abgeleitet, insbesondere hinsichtlich der Priorisierung von Anpassungsmaßnahmen.

Nähere Details zur methodischen Vorgangsweise sowie der verwendeten Input-Daten sind in (Kranzl et al. 2010) ausführlicher dargestellt.

## 3.1 Aufbereitung Klimadaten

Basis für die Aufbereitung lokaler Klimaszenarien für die Anwendung in Klimafolgenmodellen in diesem Projekt sind gekoppelte Globale Klimamodelle GCMs. Konkret werden die REMO-UBA Modellergebnisse (Jacob et al. 2008) verwendet. Diese basieren auf den Ergebnisse des GCMs ECHAM5 angetrieben mit den Emissionsszenarien B1, A1B und A2. Unter Zugrundelegung diese Szenarien wurde auf Gemeinde-Ebene die Entwicklung von Kühlgradtage, Hitzegradtagsummen sowie Heizgradtagen dargestellt.

Bei der Temperatur zeigen alle drei Szenarien einen Anstieg , wobei das A1b und das A2 Szenario sehr ähnlich sind und bis zum Ende des Jahrhunderts einen Temperaturanstieg von mehr als 3 Grad ergeben, beim B1 Szenario beträgt der Anstieg hingegen nur knapp 2

Grad. Bei der Jahresniederschlagssumme zeigen alle drei Szenarien keinen Trend, die Modelle zeigen jedoch Schwankungen auf dekadischer Zeitskala von einigen Prozent.

Insgesamt ist der Temperaturanstieg im Regionalen Klimamodell um etwa einem Grad geringer als im treibenden GCMs. Grund könnte die realistischere Niederschlagsmodellierung im Alpenraum im RCM sein.

Aufgrund der hohen räumlichen Auflösung zeigt dieses Modell durchaus plausible räumliche Strukturen bei den Szenarien (**Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**und **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**). Der Temperaturanstieg ist ziemlich homogen, wobei die Erwärmung in Süden und Westen von Österreich etwas höher ist als im Norden und Osten. Beim Niederschlag zeigt sich eine Niederschlagszunahme am östlichen Alpenhauptkamm bis ins Wiener Becken und im Mühl- und Waldviertel. Der Westen und Süden Österreichs zeigt hingegen eher eine Niederschlagsabnahme.

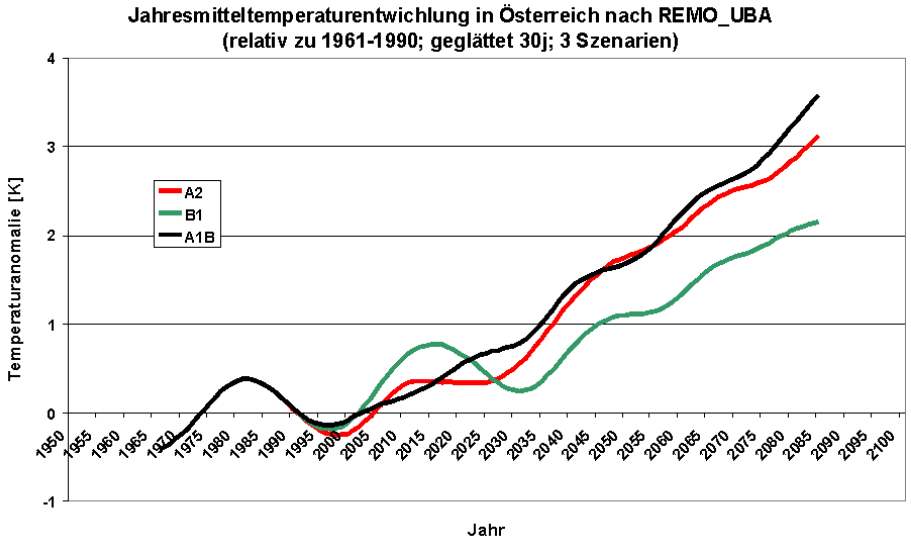



*Abbildung 3-1: Entwicklung der Jahresmitteltemperatur in Österreich (relativ zu 1961-1990) nach drei verschiedenen Emissionsszenarien des RCM REMO-UBA bis Ende 2100*

Die Szenarien der Heizgradtage zeigen eine markante Abnahme bereits bis zur Jahrhundertmitte. In den Abbildungen 2-19 and 2-20 sind die Ergebnisse der Gemeinden für die Referenzperiode 1931-1978 und das Szenario für 2036-2065 dargestellt. Heizgradtagsummen wie sie derzeit nur in den wärmsten Regionen in Österreich um Wien und im Seewinkel auftreten dominieren dann das gesamte Flachlandgebiet Österreichs einschließlich der großen alpinen Täler wie Rhein und Inn.

Bei den Kühlgradtagen ist die Entwicklung sogar noch ausgeprägter. In den wärmsten Regionen Österreich kamen in der Klimanormalperiode Werte zwischen 200 und 250 Grad vor. Derartige Werte werden um 2050 bereits entlang des gesamten Donautals, im Grazer Becken und auch im Rheintal erreicht. Besonders in der Großstadt Wien werden großflächig Werte über 250 Grad erreicht werden.

Bei der Temperatursumme der Hitzetage treten um 2020 großflächig Werte unter 200 Grad auf (Abbildung 2-23), nur in den heißesten Regionen kommen Werte über 300 und somit

mehr als 10 Hitzetage im langjährigen Mittel vor. Für den Zeitraum um 2080 kommen in den Flachlandgebieten mindestens Werte über 600 Grad (mehr als 20 Hitzetage) und in den heißesten Regionen Werte über 1000 Grad (mehr als 30 Hitzetage). Für Wien Innere Stadt ergibt sich ein kontinuierlicher Anstieg der Temperatursumme in allen drei Emissionsszenarien, jedoch ist dieser Anstieg im A1B und A2 Szenario deutlich höher als im B1 Szenario. Erreichen die ersten beiden Szenarien Werte um 1000 Grad bis 2080, so liegen sie beim B1 nur bei rund 700 Gradsummen. Beim B1 Szenario gebe es damit in der Wiener Innenstadt um rund 10 Hitzetage im Mittel weniger als in den beiden anderen Szenarien.

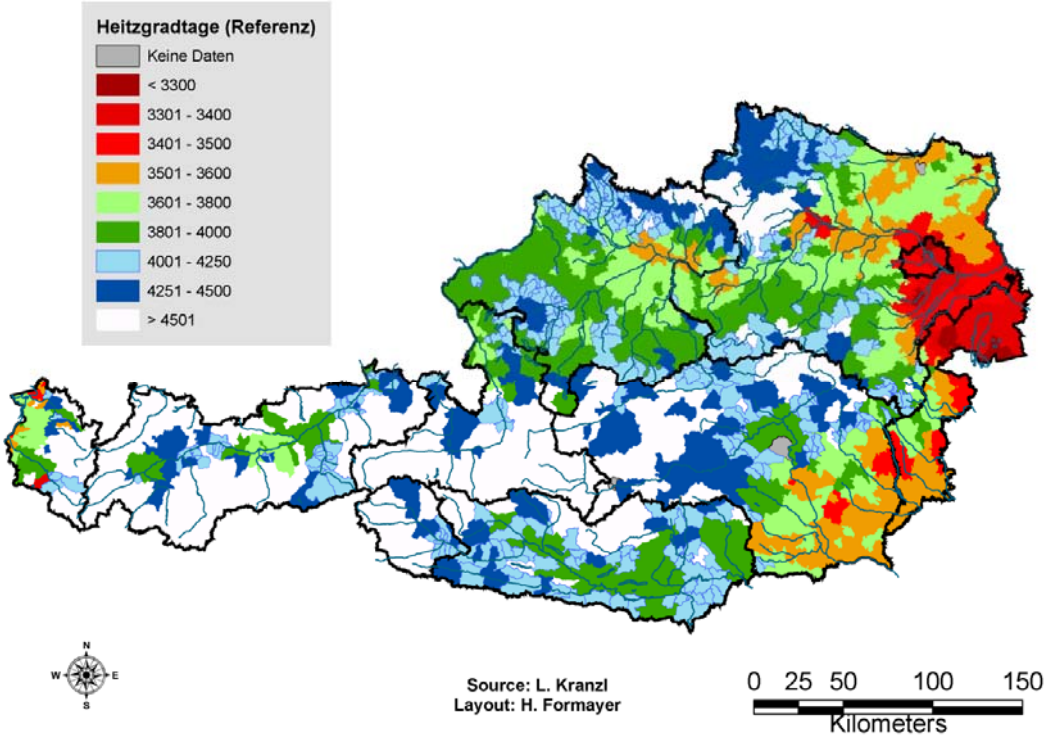



*Abbildung 3-2: Mittlere Heizgradtage auf Gemeindeebene in Österreich für die Referenzperiode 1931-1978 (Datenquelle: OIB-382-011/99).*

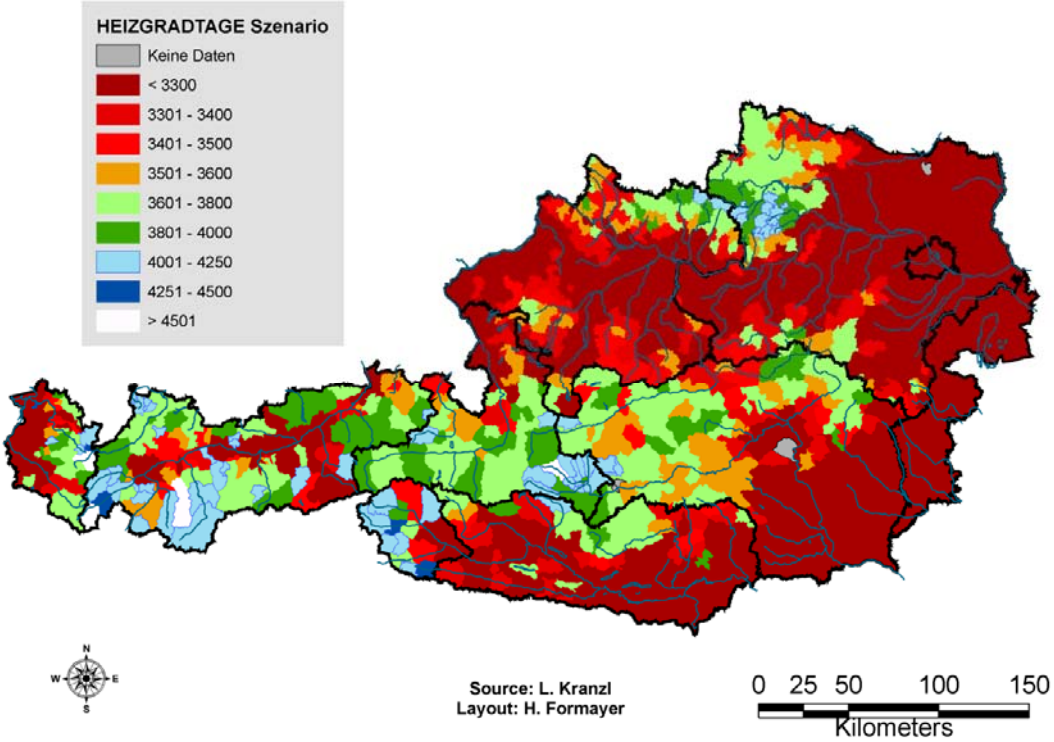



*Abbildung 3-3: Szenario für mittlere Heizgradtagsumme auf Gemeindeebene in Österreich für die Periode 2036-2065 basierend auf dem Klimaänderungssignal von REMO-UBA (A1B).*

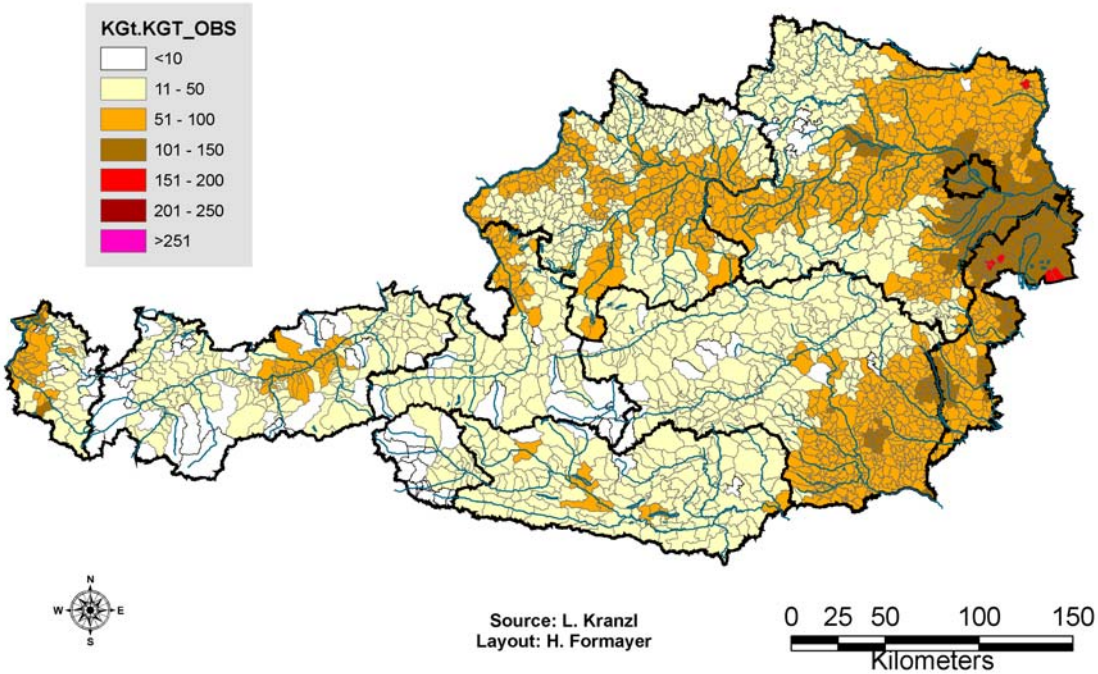



*Abbildung 3-4: Mittlere beobachtete Kühlgradtage auf Gemeindeebene in Österreich für die Referenzperiode 1961-1990.*

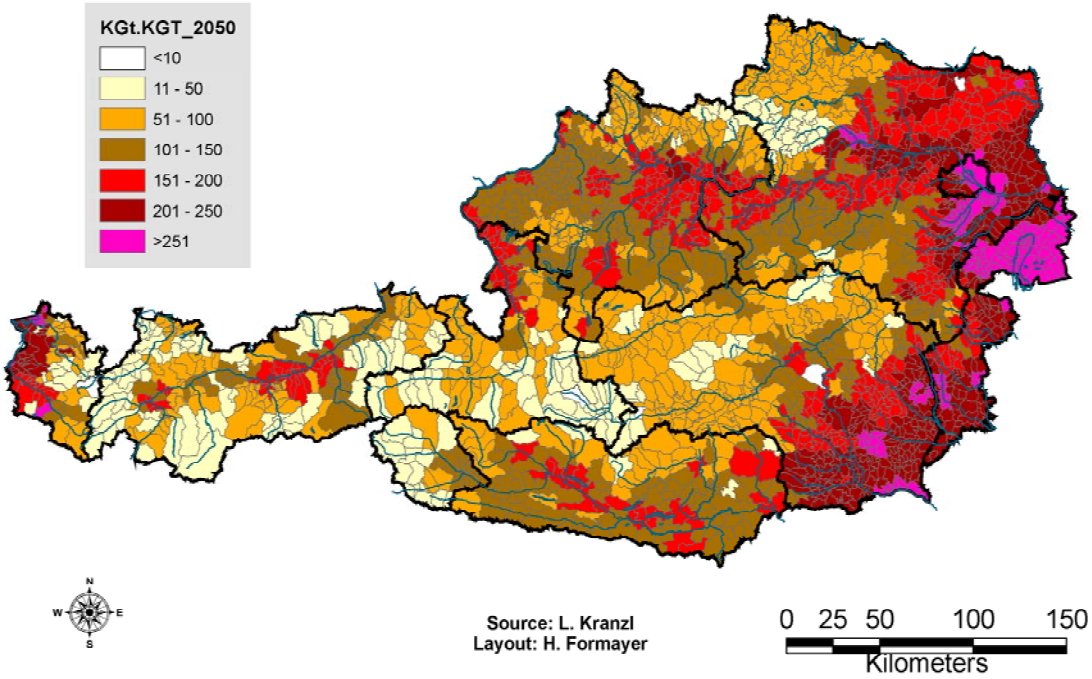



*Abbildung 3-5: Szenario für mittlere Kühlgradtagsumme auf Gemeindeebene in Österreich für die Periode 2036-2065 basierend auf dem Klimaänderungssignal von REMO-UBA (A1B).*

## 3.2 Methodik Kühlen und Heizen

Die Methodik im Sektor Heizen und Kühlen basiert auf einer bottom-up Beschreibung des Gebäudebestands. Auf Gemeinde-Ebene werden die Gebäude-Daten mit den regionalen Klimasezenarien hinsichtlich Heizgradtagen, Kühlgradtagen und Hitzeindikatoren zusammengeführt. Für den Sektor Raumwärme und Warmwasser wird der Bezug zum Modell Ernstl/EE-Lab (siehe z.B: (Schriefl 2007), (Kranzl et al. 2007), (Müller 2010)) hergestellt, das einen myopischen, multinominal-logit mit gekoppeltem logistischen Wachstumsmodell darstellt. Für den Sektor Kühlen werden Diffusionsszenarien der Raumklimatisierung in Kopplung zu klimasensitiven Hitze-Indikatoren entwickelt.

### 3.2.1 Gebäudebestand

Als Datenbasis für den aggregierten, bestehenden Gebäude- und Heizungsbestand und den damit einhergehenden nationalen Energieverbrauch werden die vorhandenen Publikationen der Statistik Austria herangezogen. Im Bereich disaggregierter Daten werden Datenbanken der Autoren verwendet (Biermayr, 1998; Schriefl, 2007), wobei der Abgleich aller verwendeten Daten mittels nationaler Statistiken erfolgt. Zusammenfassend können folgende wesentlichen Quellen angegeben werden:

- Gebäudedaten: Statistik Austria, 2004, “Gebäude- und Wohnungszählung 2001“; Statistik Austria, 2006, Schriftenserie “Wohnungen 2002“ bis „Wohnen 2009“;

Statistik Austria, 2003-2010, “Arbeitsstättenzählung 2001“, Statistik Austria: „Blick auf die Gemeinde: 4.27 Fertiggestellte Gebäude mit Wohnungen“ und „Merkmale: Gebäude und Wohnungen“; Statistik Austria, 2009, „Errichtung von Gebäuden und Wohnungen: Baubewilligungen und Fertigstellungen 2002-2009“, Statistik Austria, 2009, „Heizungen 2003/2004, 2005/2006 und 2007/2008“.

- Energieverbrauch und Energieverbrauchsstrukturen: Statistik Austria, 2005, “Nutzenergieanalyse 2008“; Statistik Austria, 1997, “Energieverbrauch der Haushalte 1996/1997“, Mikrozensuserhebungen der Statistik Austria; Statistik Austria, 2009, „Energieeinsatz der Haushalte 2003/2004, 2005/2006 und 2007/2008“

### 3.2.2 Methodik Kühlen

Zur Analyse möglicher Klimaauswirkungen auf den Kühlenergieverbrauch wurden die folgenden Schritte durchgeführt:

- Mittlere spezifische Nutzflächen je Gebäude wurden aus der Literatur und bisherigen Analysen (Haas et al 2009) ermittelt und bis zum Jahr 2050 konstant gehalten.
- Der Anteil klimatisierter Flächen wurde nach Gebäudekategorien und Gemeinden auf Basis eines klimasensitiven sowie nicht-klimasensititven Trends für vier verschiedene Diffusions-Szenarien ermittelt. Diese Vorgangsweise ist weiter unten detaillierter dargestellt.
- Typische Referenz-Energieverbräuche für Kühlung nach unterschiedlichen Gebäudetypen wurden ermittelt (Haas et al 2009, Zoll 2010) und in Abhängigkeit der thermischen Sanierungsraten die Effekte durch Wärmschutzmaßnahmen in Abzug gebracht.
- Auf Basis dieser Daten wurde der Kühlenergiebedarf unter Berücksichtigung des Anstiegs der Kühlgradtage (KGT) für jede Gemeinde i, jede Gebäudekategorie j, für Voll- und Teilklimatisierung (k) und jede Dekade bis zum Jahr 2050 (t) ermittelt und schließlich aufaggregiert:

$$Q_{Cool,t} = \sum_i \sum_j \sum_k n_{i,j,t} \cdot A_{j,t} \cdot \alpha_{i,j,k,t} \cdot e_{ref,k} \cdot \frac{KGT_{i,t}}{KGT_{ref}}$$

| | |
|---|---|
| Q | Energienachfrage Kühlung (kWh) für Dekade t |
| i | Gemeinden |
| j | Gebäudekategorie |
| k | Voll-/Teilklimatisierung |
| n | Anzahl Gebäude |
| A | Nutzfläche je Gebäude (m²/Geb) |
| a | Diffusion Teil- bzw. Vollklimatisierung |
| $e_{ref}$ | spezifischer Energieverbrauch für Teil- bzw. Vollklimatisierung für Referenz-Klima (kWh/m²/a) (Haas et al 2009, Zoll 2010) |
| KGT | Kühlgradtage |

Es wird damit in diesem Teil des Papkers keine ökonomische Modellierung des Energiesystems durchgeführt, da die Entscheidung über ein Kühlsystem aus heutiger Sicht weniger aus energiewirtschaftlichen Entscheidungen (d.h. beeinflusst von Energiepreisen etc.) stattfindet als durch Komfortansprüche oder auch aktuell gegebene Erfordernisse z.B. des Büro-Marktes getrieben ist.

Einige Arbeiten befassten sich in der Vergangenheit bereits mit möglichen Auswirkungen des Klimawandels auf den Kühlenergiesektor. Insbesondere sei hier auf Prettenthaler, Gobiet 2008 verwiesen.

### 3.2.3 Heizen

Die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heizendenergieeinsatzes werden in einem 2-stufigem Verfahren ermittelt. In der ersten Stufe wird für den betrachteten Zeithorizonts 2000-2050 der Endenergieeinsatz unter konstantem Klima ermittelt. Bei einer räumlichen Auflösung von 3 Hauptregionen: Wien, verbleibenden städtisch geprägten Räume und ländlich geprägten Räume) sowie mehrere Subregionen die sich hinsichtlich der Energieträgerverfügbarkeit unterschieden, werden im Modell ERNSTL/EE-LAB die Veränderungen des betrachteten Energieverbrauches aufgrund der Änderungen des Gebäudebestandes (Abriss, Neubau, Sanierungen) sowie der eingesetzten Gebäudetechnik (Tausch von Heizungssystemen) abgebildet.

In einer nachfolgenden Stufe erfolgt unter der Annahme konstanter Entscheidungen – sowohl im Bezug auf Sanierungen, Wahl des Heizungssystems als auch Gebäudeabriss – eine Berechnung des Energieeinsatzes mit einer räumlichen Auflösung auf Gemeindeebene. Dazu werden die Daten der GWZ 2001 auf Gemeindebasis (Statistik Austria, Blick auf die Gemeinde), Entwicklung der Gebäudebestandsdaten auf Bezirksebene (ÖROK, 2005) sowie die Entwicklung der Klimadaten auf Gemeindeebene aus Arbeitspaket 1 herangezogen.

### 3.2.4 Identifizierung und Priorisierung von Adaptionsmaßnahmen

Ein Ziel dieses Papers ist es auch, Aussagen hinsichtlich der Identifizierung und Priorisierung von Adaptions Maßnahmen zu tätigen: Inwiefern ist es überhaupt möglich, Prioritäten für die Adaptionsmaßnahmen zu identifizieren? Nach welchen Kriterien sind dabei anzusetzen? In dem Projekt KlimAdapt wurde in Abstimmung mit dem Projektbeirat in einem ersten Schritt ein Kriterienkatalog entwickelt. Darauf aufbauend wurden anschließend die Maßnahmen nach diesen Kriterien bewertet und wiederum einer Diskussion unterzogen. Das Ergebnis dieses Prozesses ist in Kapitel 6 dokumentiert.

# 4 Klimasensitive Szenarien Energieverbrauch für Raumkühlung in Österreich bis zum Jahr 2050

Die folgenden Aspekte beeinflussen die Entwicklung des künftigen Kühlenergiebedarfs: (1) Anstieg von Kühlgradtagen, (2) Diffusion von Klimageräten, (3) Maßnahmen zur Reduktion des Kühlenergiebedarfs an Gebäuden, (4) Wechselwirkungen von Wärmeschutzmaßnahmen (die zur Reduktion des Heizenergiebedarfs getätigt werden) und dem Kühlenergieverbrauch. Der methodische Ansatz zur Berücksichtigung dieser Aspekte wird im Folgenden jeweils kurz beschrieben:

1. Anstieg von Kühlgradtagen (KGT)
   Kühlgradtage sind der wesentliche klimatologische Einflussparameter auf den Kühlenergiebedarf klimatisierter Gebäude. Das Niveau der KGT variiert naturgemäß stark mit der Seehöhe. Auch die Klima bedingte Änderung ist regional stark unterschiedlich. Die Analysen werden daher auf Gemeindeebene disaggregiert durchgeführt.
   In Arbeitspakt 1 dieses Projekts (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wurde die Entwicklung von Kühlgradtagen auf Gemeindeebene aus Basis des REMO-UBA-Modells für die drei Szenarien A1B, A2, B1 aufbereitet.

2. Diffusion von Klimatisierung
   Während bei der Analyse des Heizenergieverbrauchs davon ausgegangen werden kann, dass prinzipiell in jedem Gebäude ein Art von Heizsystem installiert ist, ist das für die Kühlung nicht der Fall. Vielmehr ist die Entwicklung des Kühlenergieverbrauchs stark von der Diffusion von Klimatisierung abhängig. Wir unterscheiden dabei zwischen einem klimasensitiven und einem nicht-klimasensitiven Trend. Bei ersterem kann davon ausgegangen werden, dass er vor allem von der Entwicklung von Temperatur-Maxima sowie dem Ausmaß von Hitzeperioden abhängig ist. In Arbeitspakt 1 dieses Projekts (siehe Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) wurde dafür ein Indikator definiert, der vergleichbar zu den Heiz- bzw. Kühlgradtagen die Temperatur an Hitzetagen (d.h. an Tagen mit einer Temperatur über 30°C) aufsummiert (s. Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).
   Der zweite, nicht klimasensitive Faktor ist im Wesentlichen durch steigende Komforansprüche, Lebensstil und strukturelle Verhaltensmuster verschiedener Akteure geprägt.
   Daraus ergibt sich die Diffusion ($\alpha$) von Teil- bzw. Vollklimatisierung (k) in einer bestimmten Gemeinde (i) und Gebäudekatetorie (j) im Jahr t. Die Referenz-Diffusion $\alpha^*$ stellt dabei den nicht-klimasensitiven Trend dar. Dieser wird aus der Literatur (Haas et al 2009) bis zum Jahr 2020 übernommen und extrapoliert. Als Sensitivität wird außerdem der Fall untersucht, der sich mit konstanten Diffusionsraten ergibt (d.h. Anteil klimatisierter Flächen in jeder Gebäudekategorie bleibt auf dem Niveau von 2007). Das Verhältnis des Indikators Temperatursumme-Hitzetage (THT) im Jahr t und einer bestimmten Gemeinde i zu einem Referenz-Wert dieses Indikators dient zur Bestimmung des klimasensitiven Trends. Da keine empirischen Daten zur genauen zeitlich-ursächlichen Wirkung dieses Indikators auf die Klimatisierung vorliegen, werden zwei Szenarien mit verschiedenen Exponenten a gerechnet. Für die Szenarien mit „hohem“ klimasensitiven Trend wurde a=1 gesetzt, für jene mit „niedrigem“ klimasensitiven Trend wurde a=0.3 gesetzt. Die Bandbreite soll dabei den Handlungsspielraum aufzeigen, der durch Adaptionsmaßnahmen zur Verringerung

des Kühlenergieverbrauchs und der Diffusion von Klimatisierung besteht. Bei der Interpretation sowohl des Indikators als auch des Exponenten ist auch zu berücksichtigen, dass der Indikator keine Extremjahre beinhaltet, die sich aber auch die Diffusion von Klimagerägen stark auswirken können.

$$\alpha_{i,j,k,t} = \alpha^{*}_{i,k,t} \cdot \left( \frac{THT_{i,t}}{THT_{ref}} \right)^{a}$$

| | |
|---|---|
| $\alpha$ | Diffusion der Teil- bzw. Vollklimatisierung (k) im Jahr t in Gemeinde i und Gebäudekategorie j |
| i | Gemeinden |
| j | Gebäudekategorie |
| k | Voll-/Teilklimatisierung |
| $\alpha^{*}$ | Referenz-Diffusion Teil- bzw. Vollklimatisierung (Szenarien aus Literatur ohne Klimasensitivität) |
| THT | Temperatursumme Hitzetage |
| a | Parameter zur Kalibrierung der Diffusionskurve (nicht klimasensitiv): Szenarien für Verhalten bzw. politische Maßnahmen (z.B. Standards für Bauvorschriften) |

Somit ergeben sich vier Szenarien zur Diffusion von Klimageräten, die für jedes der drei Klimaszenarien dargestellt werden. Außerdem erfolgt eine Auswahl von 3 „Hauptszenarien“. Diese ergeben sich aus der Logik der drei IPCC –Szenarien: im A2-Szenario liegt der höchste Klimatisierungsanteil vor, im A1B ein geringerer und im B1-Szenario der geringste:

Tabelle 1: Übersicht der Szenarien zur Diffusion der Klimatisierung von Gebäuden

| | | Trend zur Klimatisierung (nicht klimasensitiv) ($\alpha$*) | |
|---|---|---|---|
| | | ja | nein |
| Klimasensitiver Trend (a) | hoch (a=1) | max (A2) | |
| | Nieder (a=0.3) | (A1B) | min (B1) |

3. Maßnahmen zur Reduktion des Kühlbedarfs an Gebäuden
   Zahlreiche Maßnahmen können sowohl im und am Gebäude sowie auch außerhalb des Gebäudes gesetzt werden, um den Kühlbedarf von Gebäuden zu verringern (Redution interner Lasten, Abschattung, Speichermassen, Nachtkühlung, Vermeidung von Wärmeinseln in urbanen Räumen etc; siehe dazu auch die in Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** beschriebenen

Adaptionsmaßnahmen[1]. Es war im Rahmen dieses Projekts nicht möglich, die Wirkungsweise jede dieser vielfältigen Maßnahmen im Detail zu modellieren und zu quantifizieren. Im Wesentlichen haben diese Maßnahmen zwei Wirkungen: Zum einen die Reduktion des Kühlenergiebedarfs in jenen Gebäuden, die klimatisiert sind. Zum anderen aber auch die Reduktion der Diffusion klimatisierter Flächen, da in vielen Fällen eine Klimatisierung dann von den Nutzern nicht mehr als notwendig erachtet wird. Da sich diese beiden Effekte überlagern und nur schwer zu trennen sind, wurden beide in die Diffusion klimatisierter Gebäudeflächen zusammengefasst (siehe oben). Das heißt, es geht uns dabei darum, die Bandbreite des Gestaltungsspielraums aufzuzeigen, der sich durch diese Maßnahmen ergibt und weniger um den quantitativen Effekt einzelner Maßnahmen.

4. Wechselwirkungen von Wärmeschutzmaßnahmen und dem Kühlenergieverbrauch
   Zur Reduktion des Heizenergieverbrauchs werden Wärmeschutzmaßnahmen (im Wesentlichen Wärmedämmung und Fenstertausch) an Gebäuden gesetzt. In Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** sind die Modellergebnisse aus dem Modell Ernstl/EE-Lab zu den diesbezüglichen Szenarien und Wirkungen im österreichischen Gebäudebestand auch dokumentiert. Diese Maßnahmen wirken sich auch auf den Kühlenergiebedarf von Gebäuden aus. Modell-basierte Analysen (z.B.Zoll 2010) zeigen, dass für die wichtigsten Gebäudetypen dieser Effekt zwischen 5% und 20% des Kühlenergieverbrauchs liegt. Das bedeutet, dass der überwiegende Teil der möglichen Einsparungen nicht durch durch Wärmeschutzmaßnahmen, sondern durch spezifische (passive) Kühlmaßnahmen, wie z.B. Abschattung erzielt werden kann. Basierend auf diesen Ergebnissen wurde je nach Gebäudekategorie eine Reduktion des Kühlenergieverbrauchs aufgrund von Wärmeschutzmaßnahmen in der Sanierung und im Neubau von 8% bis 15% angenommen. Mit den Sanierungs- bzw. Neubauraten folgt daraus die entsprechende mittlere effektive Reduktion des spezifischen Kühlenergieverbrauchs für verschiedene Gebäudetypen zwischen 2% und 5% im Jahr 2020 und 4% und 13% im Jahr 2050, wobei der untere Wert jeweils für Glasfassaden anzusetzen ist.
   Dabei erfolgte keine Differenzierung nach den drei Klimaszenarien. Dies hätte zusätzliche Analyse dieser Effekte erfordert, die im Rahmen dieses Projekts nicht möglich waren.

Abbildung 4-1 zeigt eine große Bandbreite zwischen den verschiedenen Szenarien. Durchgezogene Linien repräsentieren dabei die in jedem Klimaszenario die Maximal-Szenarien (hoher nicht-klimasensitiver und klimasenstiver Trend zur Klimatisierung, d.h. geringe Maßnahmen zur Reduktion des Kühlenergieverbrauchs); punktierte Linien stellen die Minimal-Szenarien dar (kein nicht-klimasensitiver Trend und niederiger klimasensitiver Trend zur Klimatisierung, d.h. umfangreiche und effektive Maßnahmen zur Minimierung des Kühlenergieverbrauchs werden gesetzt); die strichpunktierten und strichliierten Linien stehen für die „mittleren“ Kombinationen. Je nach Klimaszenario sowie je nach Diffusion der Raumklimatisierung und der Umsetzung von Effizienzmaßnahmen zur Reduktion des Kühlenergiebedarfs ergibt sich ein gesamter End-Energieverbrauch

[1] Darüber hinaus sei auch auf die Maßnahmen verwiesen, die im Rahmen der Workshops zur Erarbeitung einer österreichischen Anpassungsstrategie im Aktivitätsfeld „Bauen und Wohnen“ erarbeitet wurden.

Die Wirkung des Handlungsspielraums, der sich durch Adaptionsmaßnahmen ergibt, ist umso größer, je heißer das jeweilige Klimaszenario. Das bedeutet, dass im A1B-Szenario der Handlungsspielraum, der sich zwischen dem Minimal- und dem Maximal-Szenario aufspannt, einen Energieverbrauch von knapp 10 TWh im Jahr 2050 ausmacht. Die Wirkung des Klimawandels ist natürlich in den Maximal-Szenarien (keine Adaptionsmaßnahmen) am stärksten ausgeprägt: Der Unterschied zwischen A1B und B1 Szenario beträgt in diesen Fällen über 6 TWh. In den Minimal-Szenarien (starke Wirkung von Adaptionsmaßnahmen zur Reduktion des Kühlenergieverbrauchs) ist der Unterschied zwischen A1B und B1 Szenario weniger als 1 TWh.

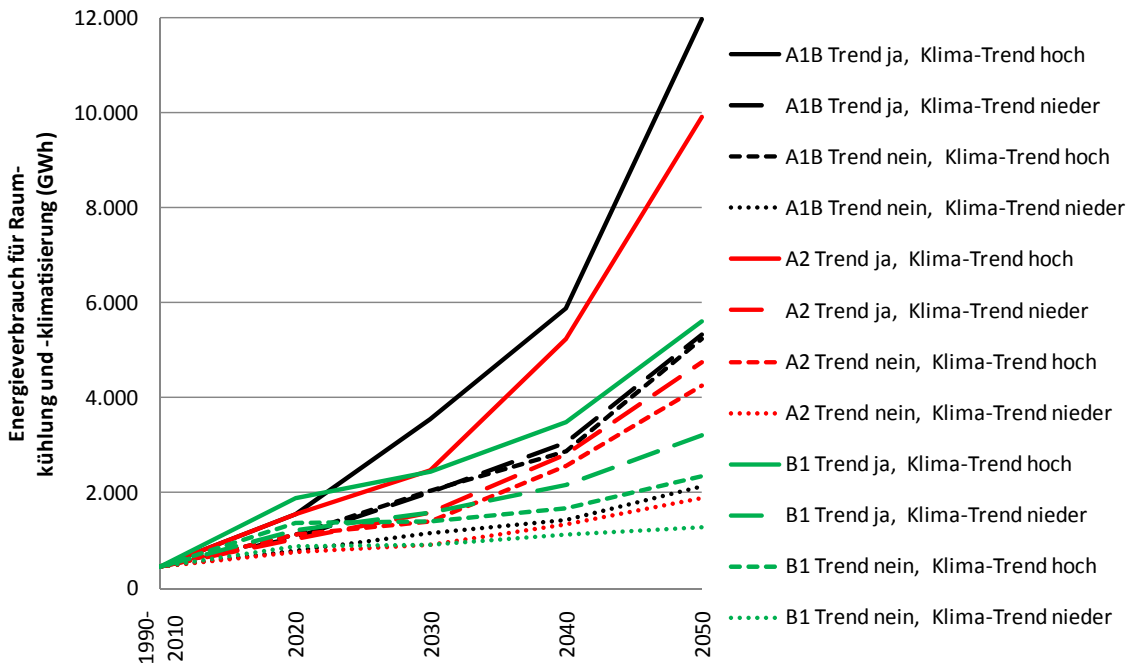



*Abbildung 4-1: Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich*
*Trend ja / Trend nein steht für den nicht-klimasensitiven Trend zur Raumklimatisierung.*
*Klima-Trend hoch / Klima-Trend nieder steht für das Ausmaß des klimasensitiven Trends (Korrelation mit dem Indikator Temperatur-Summen-Hitzetage)*

Um die Schnittstelle mit Abschnitt **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** (Stromversorgung) eindeutig herzustellen, werden im Folgenden für jedes Klima-Szenario „Hauptszenarien“ definiert. Nach der Logik der IPCC-Storylines A1B, A2, B1 (siehe Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) interpretierten wir das A2 Szenario als jenes mit dem maximalen Anteil klimatisierter Flächen in Österreich. Das entspricht der Annahme, dass in der heterogenen Welt des A2-Szenarios Österreich weiterhin zu den reicheren Regionen zählen dürfte, in der Klimatisierung gemäß einem nicht-nachhaltigen Trend stark im Vormarsch ist. In der stärker Technologie-getriebenen Welt des A1B-Szenarios können sich intelligente Technologien zur Reduktion des Kühlenergiebedarfs durchsetzen, wobei allerdings der Trend zur Klimatisierung trotzdem prinzipiell weiterhin vorhanden ist. Das B1 Szenario zeigt im Gegensatz zu den beiden anderen Entwicklungen eine Welt, in der vielfältigste Maßnahmen zur Reduktion des Kühlenergieverbrauchs gesetzt

werden (minimal-Szenarien). Dies besteht einerseits in technologischen Maßnahmen im und am Gebäude sowie außerhalb des Gebäudes. Andererseits entwickeln die Menschen in diesem Szenario auch Lebensstile und Verhalten, in denen ein geringer Bedarf an Klimatisierungsdienstleistungen nachgefragt werden (z.B. Arbeitszeitmodelle).

Die folgende Abbildung zeigt die Entwicklung des End-Energieverbrauchs für Raumkühlung und –klimatisierung in diesen Haupt-Szenarien, wobei wir davon ausgehen, dass dieser jeweilige Energieverbrauch durch Elektrizität gedeckt wird (d.h. im B1 bzw. A1B Szenario gäbe es neben Effizienz-Maßnahmen auch einen entsprechend höheren Anteil an Erd- und Solarkühlung etc.).

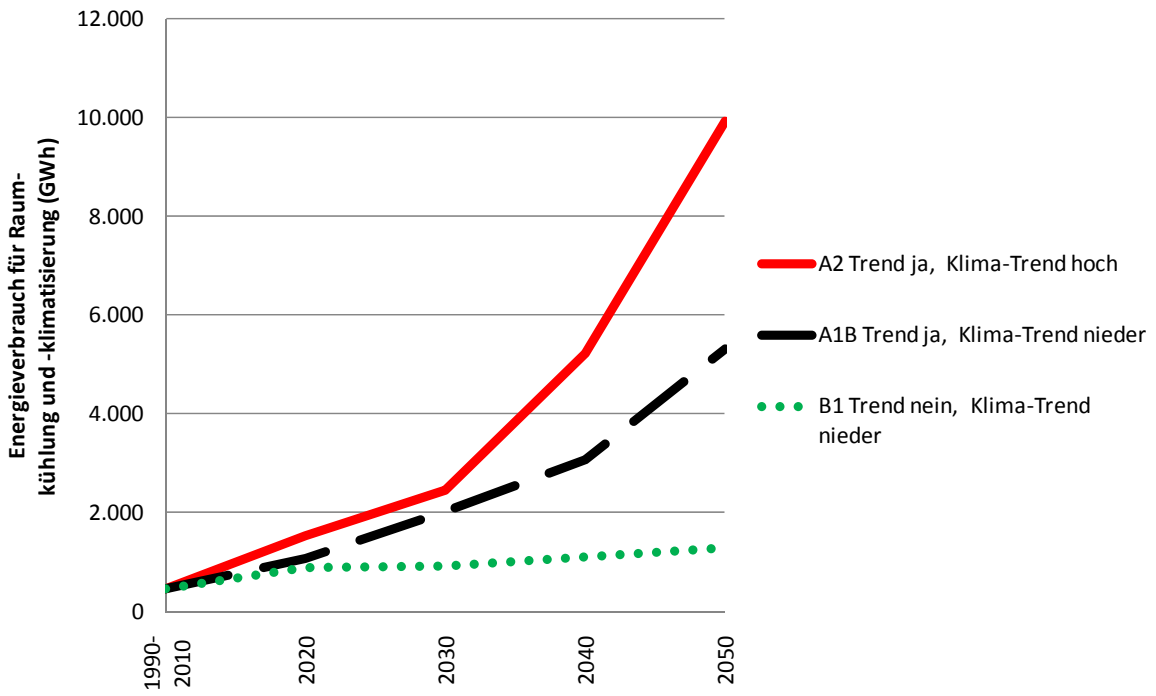



*Abbildung 4-2: Szenarien des Energieverbrauchs für Raumkühlung und Klimatisierung in Österreich in den Haupt-Szenarien A1B, A2, B1*
*Trend ja / Trend nein steht für den nicht-klimasensitiven Trend zur Raumklimatisierung.*
*Klima-Trend hoch / Klima-Trend nieder steht für das Ausmaß des klimasensitiven Trends (Korrelation mit dem Indikator Temperatur-Summen-Hitzetage)*

Zur Abschätzung der Spitzenlasten wurden die mittleren, nach Gebäudekategorie gewichteten Volllaststunden von Klimageräten abgeschätzt. Mit den sich daraus ergebenden Werten von ca. 1030 h/a ergibt sich im Maximal-Szenario A2 bis zum Jahr 2030 ein durch Kühlung induzierter Spitzenlastwert von etwa 2,4 GW, der bis 2050 auf 9,7 GW ansteigen würde. Die derzeitige (2009) gesamte Stromspitzenlast beträgt in Österreich etwa 9 GW (und liegt im Winterhalbjahr). Daraus ist zu erkennen, dass die durch Kühlung induzierte Spitzenlast in diesem Szenario eine substanzielle zusätzliche Belastung und Verschiebung der Last darstellen würde. Es ist daher zu vermuten, dass in diesem Fall rechtzeitig Maßnahmen gesetzt würden, um dieses Szenario abzuwenden. Die Darstellung des Szenarios zeigt aus unserer Sicht auf, dass es eben notwendig ist, eine derartige Entwicklung abzuwenden.

Im Anhang (Kapitel **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**) findet sich ein internationaler Vergleich von Spitzenlast-Daten in ausgewählten Ländern unter dem Gesichtspunkt der saisonalen Unterschiede zwischen Winter und Sommer. Dabei sind sowohl kulturelle Aspekte als auch ökonomische Unterschiede zu betrachten. Unter Beachtung diser Unterschiede können die hier dargetstellten Ergebnisse auch hinsichtlich der Stromspitzenlasten als durchaus plausibel erachtet werden.

Im Folgenden werden die Anteile der klimatisierten Flächen nach Gebäudekategorien in den verschiedenen Haupt-Szenarien aufgezeigt, um eine Einordnung und Interpretation der Diffusions-Szenarien zu erleichtern. Während die Anteile klimatisierter Flächen in Gebäuden des Groß- und Einzelhandels, Bürogebäuden sowie Hotels im A2-max Szenario bis zum Jahr 2050 auf etwa 90% ansteigen, beträgt dieser Wert im A1B-Szenario nur etwa 60% bis knapp 75%. Der Anteil klimatisierter Wohnflächen steigt im A2-max Szenario bis zum Jahr 2050 auf 20% bis 30%, im A1B-Szenario auf 14% bis 20%. Im B1 Szenario steigen die Anteile klimatisierter Flächen nach 2010 nur geringfügig an.

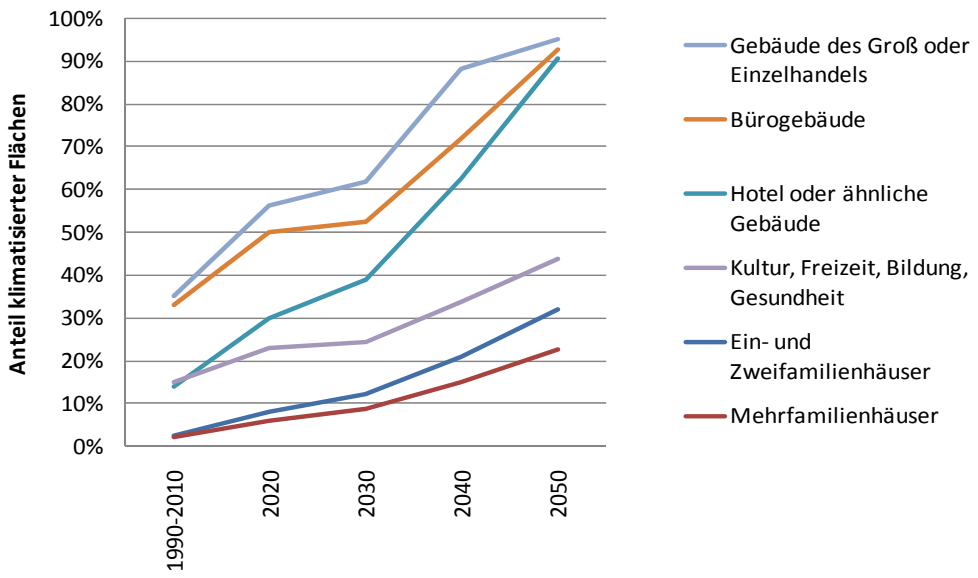



*Abbildung 4-3: Szenarien des Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im A2 Haupt-Szenario*

*Das A2-Haupt-Szenario stellt ein Szenario hohen Kühlenergieverbrauchs dar (nicht-klimasensitiver Trend zur Klimatisierung, hohe Kopplung des klimasensitiven Trends mit dem Indikator Temperatursumme-Hitzetage).*

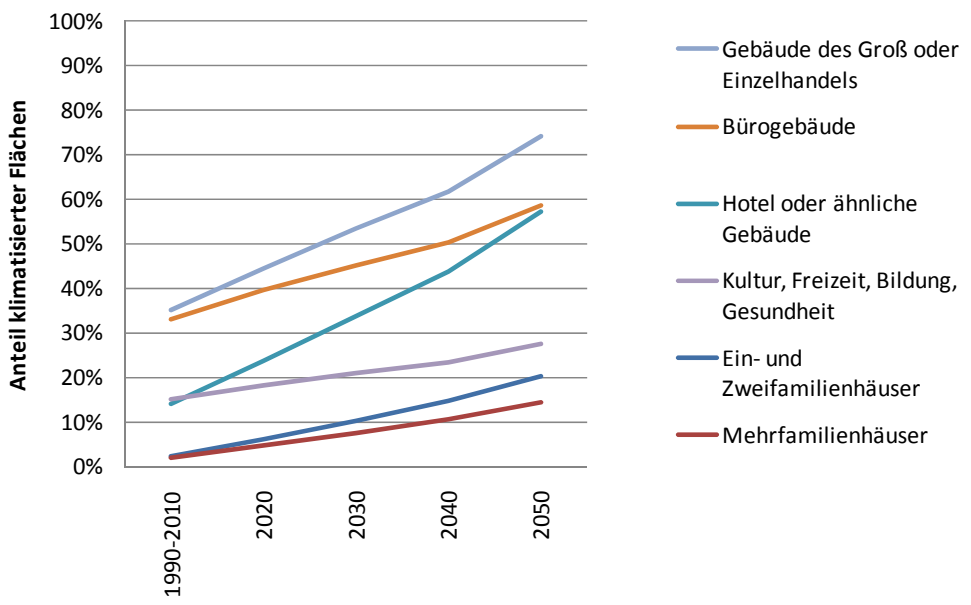



*Abbildung 4-4: Szenarien des Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im A1B Haupt-Szenario*

*Das A1B-Haupt-Szenario stellt ein Szenario mittleren Kühlenergieverbrauchs dar (nicht-klimasensitiver Trend zur Klimatisierung, niedere Kopplung des klimasensitiven Trends mit dem Indikator Temperatursumme-Hitzetage).*

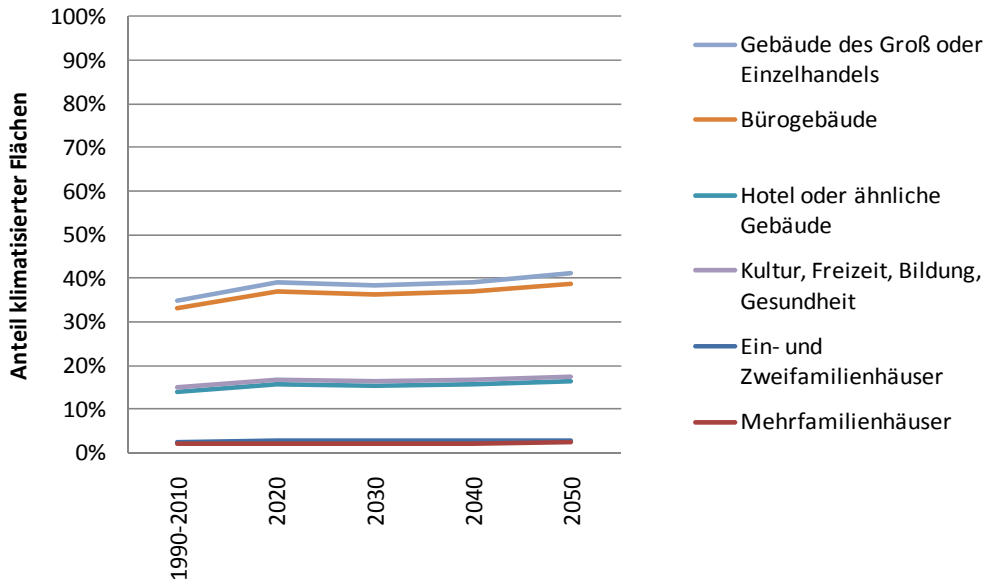



*Abbildung 4-5: Szenarien des Anteils klimatisierter Flächen nach Gebäudekategorien im B1 Haupt-Szenario*

*Das B1-Haupt-Szenario stellt ein Szenario niedrigen Kühlenergieverbrauchs dar (kein nicht-klimasensitiver Trend zur Klimatisierung, niedere Kopplung des klimasensitiven Trends mit dem Indikator Temperatursumme-Hitzetage).*

# 5 Klimasenstive Szenarien Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser in Österreich bis zum Jahr 2050

### Klimaszenarien

Um die Auswirkungen auf den betrachteten Endenergiebedarf zu analysieren, werden die Gebäude, wie sie sich aus der oben dargestellten Simulation ergeben, auf Basis der GWZ 2001 nach Gemeinden disaggregiert und dem jeweils gemeindespezifischen Verlauf der klimatischen Änderungen in den drei Szenarien A1B, A2 und B1 ausgesetzt. In den zwei wärmeren Szenarien A1B und A2 entspricht das Ausmaß des Klimaeinflusses in 2050 in etwa dem Unterschied zwischen Referenzszenario und dem Ambitioniertem Szenario. Ausgehend von 49 TWh Referenzszenario bzw. 44 TWh im Ambitionierten Szenario unter konstantem Klimasignal in 2050, sinken diese Werte auf 43 TWh (38 TWh) in den Szenarien A1B und A2, bzw. 46 TWh (41 TWh) im B1 Szenario.

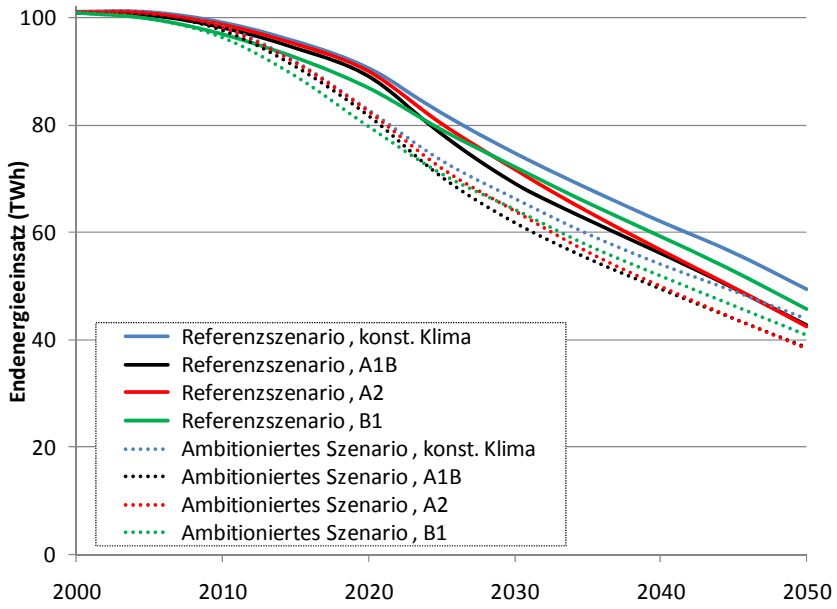



*Abbildung 5-1. Einfluss der klimatischen Änderung in Szenarien A1B, A2 und B1 auf den österreichischen Endenergieeinsatz für Heizen und Warmwasser.*

Damit setzt sich die Reduktion im Referenzszenario des hier betrachteten Energieeinsatzes gegenüber der Referenzentwicklung bis 2050 (siehe **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**, Bestand bleibt unverändert, Neubau entspricht durchschnittlichem Bestand) wie folgt zusammen: 23,6% des Energieeinsatzes werden durch effiziente Neubauten (inkl. Abriss bestehender Gebäude und deren Ersatz) erzielt. Die Sanierung von bestehenden Gebäuden reduziert den Einsatz bis 2050 um 33,6%. Der Einfluss der Energieverbrauchsreduktion durch die klimatischen Änderungen liegt je nach Klimaszenario im Bereich von 3%-6% (Klimasignal 2050) bzw. 7%-11% sofern das Klimasignal 2080 auf den simulierten Gebäudebestand von 2050 angewendet wird. 38%-40% des Referenzenergieeinsatzes verbleibt 2050 unter den dargestellten Bedingungen im Referenzszenario und muss aktiv durch Energieträger (z.B.: Solarthermie) gedeckt werden.

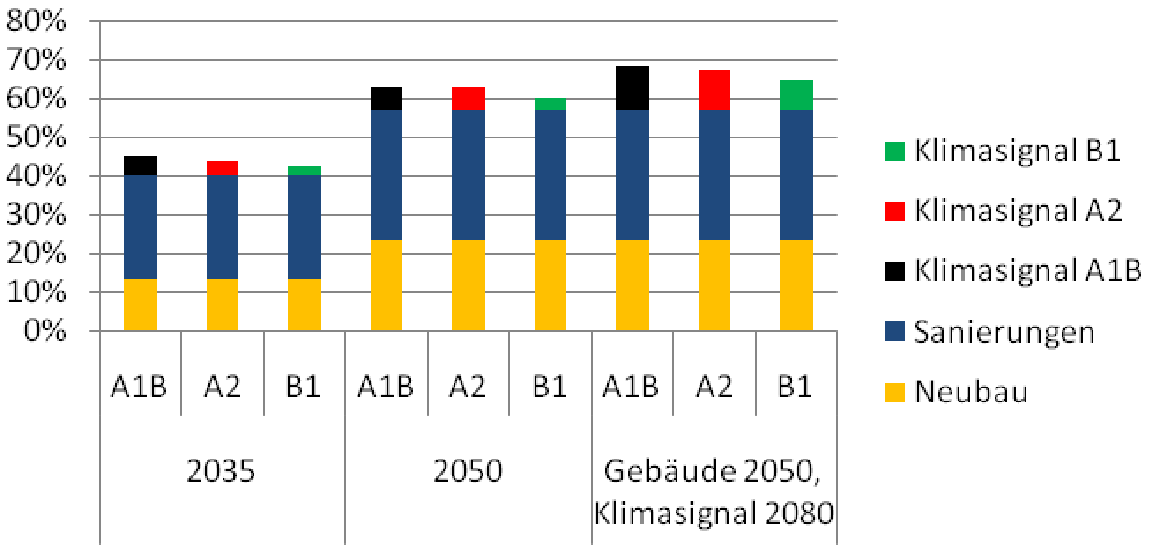



*Abbildung 5-2. Emissionsreduktion gegenüber Referenzbedarf im Referenzszenario nach Maßnahmen.*

Zusätzlich zu hohen Effizienzsteigerungen ist im Bereich der Raumwärme- und Warmwasserbereitstellung auch mit einer zunehmenden Marktdurchdringung von Solarthermie und anderen Erneuerbaren zu rechnen, was insgesamt einen signifikanten Wandel des gesamten Sektors in den kommenden Jahrzehnten möglich und sogar wahrscheinlich erscheinen lässt.

# 6 Schlussfolgerungen und Adaptionsmaßnahmen

Bei der Identifikation, Beschreibung und Strukturierung von Adaptionsmaßnahmen können Maßnahmen auf sehr unterschiedlichen Ebenen identifiziert werden. Um eine in sich möglichst konsistente Beschreibung und einen Vergleich der Maßnahmen zu ermöglichen, wurden drei Ebenen unterschieden, die im Folgenden dargestellt sind:

1. Die erste Ebene stellt die „**Meta“-Adaptionsmaßnahme** bzw. das allen weiteren Maßnahmen zugrunde liegende Prinzip dar: Diese Maßnahme wurde definiert als die Berücksichtigung des Klimawandels bei allen langfristigen Entscheidungen im Energiesystem.

2. Abbildung 6-1 stellt die prinzipiellen Aspekte der Vulnerabilität im Energiesektor dar (vgl. Schneider et al 2007). Die Exposition stellt Charakter, Größenordnung und Geschwindigkeit der Klimaänderung dar. Die Anpassungskapazität ist im Energiesystem wesentlich durch die relativ langen Investitionszyklen der Energieinfrastruktur geprägt. Ein wesentliches Handlungsfeld ist im Bereich der Sensitivität gegeben. Die **Sensitivität der Gesellschaft gegenüber Änderungen im Energiesystem** ist umso höher, je größer der Energieverbrauch und damit die

Abhängigkeit von Energie ist. Als zweite Ebene identifizieren wir damit drei Maßnahmen, die diese Abhängigkeit reduzieren:

a. Reduktion des Energieverbrauchs und der Spitzenlast
b. Diversifizierung des Energieträger-Mix‘, insbesondere durch erneuerbare Energieträger
c. Dezentralisierung des Energiesystems

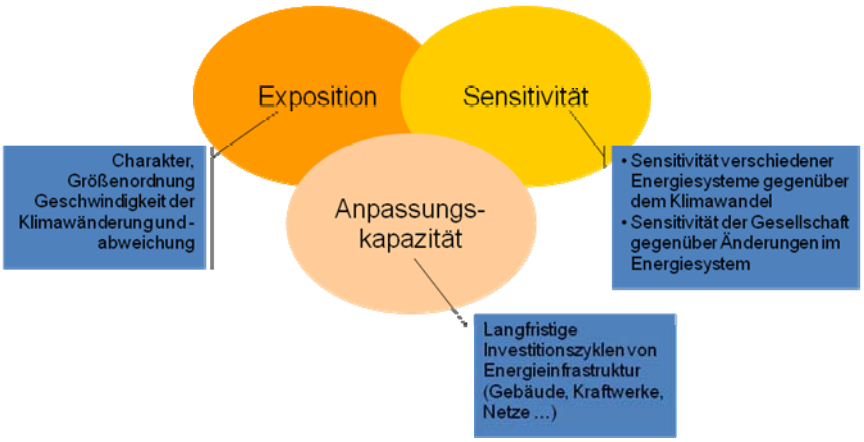



*Abbildung 6-1: Aspekte der Vulnerabilität im Energiesektor*

3. Auf der dritten Ebene wurden im Bereich Heizen und Kühlen die folgenden **Detail-Maßnahmen** identifiziert:
   a. Kühlen:
      - Passive Maßnahmen zur Reduktion von Kühllasten am Gebäude
      - Maßnahmen zur Reduktion von Kühllasten außerhalb des Gebäudes
      - Reduktion innerer Lasten
      - Ressourcenschonende aktive Kühlmaßnahmen
      - (PV als Kapazitätsbeitrag im Sommer)
      - Thermische Speicher zur Vermeidung von Lastspitzen
   b. Heizen:
      - Berücksichtigung des Klimawandels bei der Planung, Auslegung, Erweiterung von Wärmenetzen
      - Weiterentwicklung Biomasse-Heizungen im kleinen und kleinsten Leistungsbereich (incl. Rohstoffflexibilität)

Ein Ziel des Paoers ist es, Aussagen zur Priorisierung von Adaptionsmaßnahmen zu treffen. Daraus ergibt sich zuerst die Frage nach den anzusetzenden Kriterien, die für die Priorisierung von Relevanz sind. Es wurde daher gemeinsam mit dem Projektbeirat des Projekts KlimAdapt ein Kriterienkatalog erarbeitet. Den Mitgliedern des Projektbeirats wurde vorerst ein Set von den folgenden fünf Maßnahmen vorgeschlagen (1) Bedeutung / Relevanz der Maßnahme, (2) Kosten-Nutzen-Relation, (3) simultane Klimaschutzwirkung durch die Adaptionsmaßnahme, (4) Synergien mit anderen Maßnahmen im Energiesystem und (5) Vorlaufzeit zur Realisierung und Wirksamkeit. Nach dem Feed-Back des Projektbeirats

wurden diese Kriterien erweitert bzw. umformuliert zu einem Kriterienkatalog (Kranzl et al. 2010).

Gemäß dem Diskussionsprozess im Projektbeirat kommt folgenden Kriterien eine zentrale Bedeutung zu: positive Umweltauswirkung, hohe Relevanz und Robustheit sowie simultaner Klimaschutzwirkung. Aus den oben dargestellten Ergebnissen sowie den detaillierten Ergebnis-Tabellen in Anhang **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** ergibt sich, dass einige Maßnahmen alle diese Kriterien in hohem Maße erfüllen. Daher kommt diesen folgenden Maßnahmen eine besondere Bedeutung und Priorität zu:

- Kühlen
    - Passive Maßnahmen am Gebäude zur Reduktion von Kühlenergie
    - Passive Maßnahmen außerhalb des Gebäudes zur Reduktion von Kühlenergie
    - Reduktion innerer Lasten
    - Ressourcenschondene aktive Kühlmaßnahmen
- Heizen: Biomasseheizsysteme kleiner Leistung weiterentwickeln

Praktisch alle Maßnahmen weisen **lange Vorlaufzeiten** auf. Das führt zu der – wenn vielleicht auch trivialen – Einsicht, dass bei den meisten der beschriebenen Adaptionsmaßnahmen hoher Handlungsbedarf besteht, wenn sie rechtzeitig ihre Wirkung bei der Verringerung der Vulnerabilität des Energiesystems gegenüber dem Klimwandel zeigen sollen.

**Literatur**

Jacob, D. et al., 2008. *Klimaauswirkungen und Anpassung in Deutschland Phase 1: Erstellung regionaler Klimaszenarien für Deutschland*, Umweltbundesamt.

Kranzl, L. et al., 2007. Integrating policies for renewables and energy efficiency: Comparing results from Germany, Luxembourg and Northern Ireland. In eceee 2007 summer study. La colle sur Loup, France.

Kranzl, L. et al., 2010. *Ableitung von prioritären Maßnahmen zur Adaption des Energiesystems an den Klimawandel.Endbericht im Rahmen der Programmlinie "Energie der Zukunft".*, Wien.

Müller, A., 2010. Hat Heizen Zukunft? Eine langfristige Betrachtung für Österreich. In Symposium Energieinnovation. Graz.

Schriefl, E., 2007. *Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im Österreichischen Wohngebäudebestand unter Annahme verschiedener Optimierungsziele*. Wien: Technische Universität Wien.