ÖAW - GLOBAL CHANGE PROGRAMME

HEAT.AT:
DIE AUSWIRKUNGEN DES KLIMAWANDELS AUF HEIZ- UND KÜHLENERGIEBEDARF IN ÖSTERREICH II

Climate Change impacts on energy use for space heating and cooling in Austria II

ENDBERICHT (2. JAHR)

OKTOBER 2009

Christoph Töglhofer, Andreas Gobiet, Clemens Habsburg-Lothringen,
Richard Heimrath, Markus Michlmair, Franz Prettenthaler,
Hermann Schranzhofer, Wolfgang Streicher, Heimo Truhetz

Auftraggeber:

Österreichische Akademie der Wissenschaften
Dr. Ignaz Seipel-Platz 2
A-1010 Wien
www.oeaw.ac.at

Projektteam:

Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel
Universität Graz
Leechgasse 25
A-8010 Graz
www.wegcenter.at

Andreas Gobiet (Leitung)
Christoph Töglhofer (Projektkoordination)
Heimo Truhetz

Kontakt:
Dr. Andreas Gobiet
andreas.gobiet@uni-graz.at
Tel: 0316-380-8448
Fax: 0316-380-9830

Institut für Technologie- und Regionalpolitik
JOANNEUM RESEARCH
Elisabethstraße 20/II
A-8010 Graz
www.joanneum.at/rtg

Clemens Habsburg-Lothringen
Franz Prettenthaler

Kontakt:
Dr. Franz Prettenthaler
franz.prettenthaler@joanneum.at
Tel: 0316-876-1455
Fax: 0316-876-91455

Institut für Wärmetechnik
Technische Universität Graz
Inffeldgasse 25 B
A-8010 Graz
www.iwt.tugraz.at

Richard Heimrath
Markus Michlmair
Hermann Schranzhofer
Wolfgang Streicher

Kontakt:
Dr. Hermann Schranzhofer
hermann.schranzhofer@tugraz.at
Tel: 0316-873-7314
Fax: 0316-873-7305

Inhaltsverzeichnis

1 KURZFASSUNG 9

2 EINLEITUNG 13

3 LITERATUR- UND METHODENÜBERBLICK 15

3.1 INTERNATIONALE AUSWIRKUNGEN 15
3.2 METHODOLOGISCHE ZUGANGSWEISEN 16
3.3 ÜBERBLICK ÜBER DIE EIGENE METHODIK 19

4 REFERENZGEBÄUDE 23

4.1 EINLEITUNG 23
4.2 REFERENZWERTE HEIZWÄRMEBEDARF 23
4.2.1 Energiebedarf Einfamilienhäuser (EFH) 23
4.2.2 Energiebedarf Mehrfamilienhäuser (MFH) 25
4.2.3 Energiebedarf Bürogebäude (BÜRO) 26
4.2.4 HWB-Zielmatrix 29
4.3 REFERENZGEBÄUDE 30
4.3.1 Einfamilienhaus 31
4.3.2 Mehrfamilienhaus 33
4.3.3 Bürogebäude 34
4.3.4 Heizwärmebedarfs-Matrix 36
4.4 RANDBEDINGUNGEN 37
4.4.1 Klima 37
4.4.2 Nutzungsprofile 37

5 HOCHAUFGELÖSTE KLIMADATEN 39

5.1 AUSGANGSLAGE UND AUFGABENSTELLUNG 39
5.2 METHODIK 39
5.3 ERGEBNISSE DER KLIMASIMULATION 43

6 ERGEBNISSE 47

6.1 EINFAMILIENHÄUSER (EFH) 48
6.2 MEHRFAMILIENHÄUSER (MFH) 52
6.3 BÜROGEBÄUDE 53
6.4 SOLAREFFEKT 55
6.4.1 Quantifizierung des Solareffekts 56
6.4.2 Gegenüberstellung von Solar- und Temperatureffekt 59
6.4.3 Additive Darstellung von Temperatur- und Solareffekt 60
6.5 SENSITIVITÄTEN AUF MONATSEBENE 62
6.5.1 Temperatursensitivität 64
6.5.2 Globalstrahlungssensitivität 65

6.5.3 Sensitivitäten auf Jahresebene 66

7 AUSWIRKUNGEN AUF DEN ÖSTERREICHISCHEN GEBÄUDEBESTAND 69

7.1 DATEN UND ANNAHMEN ZUM GEBÄUDEBESTAND 69
7.1.1 Wohngebäude 69
7.1.2 Nicht-Wohngebäude 70
7.1.3 Zuordnung der Bauperioden zu Gebäudestandards 72
7.2 ÄNDERUNGEN DES KUMULIERTEN HEIZWÄRME- UND KÜHLBEDARF-ES 75
7.2.1 Einfamilienhäuser (EFH) 77
7.2.2 Mehrfamilienhäuser (MFH) 80
7.2.3 Bürogebäude 83

8 ÖKONOMISCHE AUSWIRKUNGEN 87

8.1 METHODISCHE DISKUSSION 87
8.1.1 Verbrauchsgebundene Mengeneffekte 89
8.1.2 Verbrauchsgebundene Preiseffekte 89
8.1.3 (Langfristige) Investitionseffekte 92
8.1.4 Makroökonomische Effekte 94
8.2 UNTERSTELLTE ANNAHMEN 95
8.2.1 Energiepreise 95
8.2.2 Umrechnung von Heizwärme- und Kühlbedarf zu Heiz- und Kühlenergiebedarf 97
8.3 GEGENÜBERSTELLUNG DER KLIMAINDUZIERTEN KOSTENÄNDER-UNGEN 99
8.3.1 Einfamilienhäuser (EFH) 101
8.3.2 Mehrfamilienhäuser (MFH) 104
8.3.3 Bürogebäude 106

9 SCHLUSSFOLGERUNGEN 109

10 BIBLIOGRAPHIE 113

11 GLOSSAR 118

12 ANHANG 122

12.1 ANHANG A: GEOMETRIEANGABEN DER VERSCHIEDENEN GEBÄUDE-TYPEN UND ENERGIEKLASSEN 122
12.2 ANHANG B: REFERENZKLIMA 126
12.3 ANHANG C: NUTZUNGSPROFILE 127

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: HGT und KGT in der Periode 1981/90 (links) und laut Klimaszenario reclip:more in der Periode 2041/50 (rechts) für Österreich 17
Abbildung 2: Überblick über die Vorgehensweise im Projekt HEAT.at 21
Abbildung 3: Verteilung des Heizenergieverbrauchs für Zweifamilienhäuser 24
Abbildung 4: Verteilung des Heizenergieverbrauchs für Mehrfamilienhäuser 25
Abbildung 5: Heizenergieverbrauch in Bürogebäuden 27
Abbildung 6: Heizenergieverbrauch in Bürogebäuden 27
Abbildung 7: Heizenergieverbrauch in Bürogebäuden 28
Abbildung 8: Literaturangaben zu Heizenergieverbrauch von Bürogebäuden 28
Abbildung 9: Schematische Darstellung des Referenzgebäudes EFH (Grundriss und Ansichten) 31
Abbildung 10: Schematische Darstellung des Referenzgebäudes MFH mit 12 Wohnungen (Grundriss und Schnitt) 33
Abbildung 11: Schematische Darstellung des Referenzgebäudes BÜRO (Grundriss und Schnitt) 35
Abbildung 12: Räumliche Konfiguration der Simulationsgebiete von MM5 40
Abbildung 13: Die sieben Klimazonen der ÖNORM B 8110-5 gerastert auf dem Modellgitter im Alpenraum (Gebiet 2 mit 10 km × 10 km Gitterzellen) 41
Abbildung 14: Mittlere Klimaänderung im Alpenraum (Gebiet 2 mit 10 km × 10 km Gitterzellen) errechnet aus Differenzen der Perioden 2041-2050 und 1981-1990 44
Abbildung 15: Flächenmittel der monatlichen Klimaänderungen errechnet aus Differenzen der Klimasimulationen der Perioden 2041-2050 und 1981-1990 pro Klimaregion auf dem Modellgitter von Gebiet 2 (10 km × 10 km Gitterzellen). 45
Abbildung 16: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Altbau) 48
Abbildung 17: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Standard) 48
Abbildung 18: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Niedrigenergiehaus) 49
Abbildung 19: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Passivhaus) 49
Abbildung 20: Heizwärme- und Kühlbedarf MFH (Altbau) 52
Abbildung 21: Heizwärme- und Kühlbedarf MFH (Standard) 52
Abbildung 22: Heizwärme- und Kühlbedarf MFH (Niedrigenergiehaus) 53
Abbildung 23: Heizwärme- und Kühlbedarf Büro (Altbau) 54
Abbildung 24: Heizwärme- und Kühlbedarf Büro (Standard) 54
Abbildung 25: Heizwärme- und Kühlbedarf Büro (Niedrigenergiehaus) 55
Abbildung 26: Solareffekt für den HWB (in kWh/m²/a) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe), Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH) 57
Abbildung 27: Solareffekt für den KB (in kWh/m²/a) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH) 58

Abbildung 28: Solareffekt für den HWB im Vergleich zum Temperatureffekt (relativer Anteil) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH) 59
Abbildung 29: Solareffekt für den KB im Vergleich zum Temperatureffekt (relativer Anteil) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH) 60
Abbildung 30: Klimabedingte Änderung des HWB (in kWh/m²/a) mit (strichlierte Linie) und ohne Einbeziehung der Solarstrahlungsänderung, für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH) 61
Abbildung 31: Klimabedingte Änderung des KB (in kWh/m²/a) mit (strichlierte Linie) und ohne Einbeziehung der Solarstrahlungsänderung, für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot=Altbau, orange= Standard, blau = NEH, grün = PH) 62
Abbildung 32: HWB und KB auf Monatsbasis auf 200 Meter Seehöhe in der Klimazone Nord in der Basisperiode (durchgängige Linie) und dem Klimaszenario (gepunktete Linie) 63
Abbildung 33: Änderung des HWB und KB bei einer Temperaturerhöhung um ein Grad Celsius 64
Abbildung 34: Änderung des HWB und KB bei einer Erhöhung der Globalstrahlung um ein Prozent 65
Abbildung 35: Sensitivität der einzelnen Gebäudetypen und standards gegenüber einer Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius bzw. einer Solarstrahlungsänderung um 1 Prozent auf einer Seehöhe von 200 Metern 66
Abbildung 36: Sensitivität der einzelnen Gebäudetypen und -standards gegenüber einer Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius bzw. einer Solarstrahlungsänderung um 1 Prozent auf einer Seehöhe von 600 Metern 67
Abbildung 37: Kumulierte Höhenverteilung der EFH und MFH in Österreich nach Nutzflächen der Wohnungen 70
Abbildung 38: Kumulierte Höhenverteilung der Anzahl der Gebäude in Österreich für unterschiedliche Gebäudetypen 72
Abbildung 39: Entwicklung der thermischen Qualität (spez. Heizlast pro Bruttogeschoßfläche) von Wohngebäuden in Österreich 73
Abbildung 40: Zuordnung der Bauperioden zu Baustandards (Eigene Abschätzung) 75
Abbildung 41: Verteilung der Änderung des HWB und KB für EFH 77
Abbildung 42: Verteilung der Änderung des HWB und KB für EFH (derzeitiger Gebäudebestand) 79
Abbildung 43: Verteilung des HWB und KB für EFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand) 80
Abbildung 44: Verteilung der Änderung des HWB und KB für MFH 80
Abbildung 45: Verteilung der Änderung des HWB und KB für MFH (derzeitiger Gebäudebestand) 82

Abbildung 46: Verteilung des HWB und KB für MFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand) 82
Abbildung 47: Verteilung der Änderung des HWB und KB für Büro 83
Abbildung 48: Verteilung der Änderung des HWB und KB für Büro (derzeitiger Gebäudebestand) 84
Abbildung 49: Verteilung des HWB und KB für Bürogebäude unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand) 85
Abbildung 50: Klimabedingte Änderung der verbrauchsgebundenen Heiz- und Kühlkosten 89
Abbildung 51: Klimabedingte Änderung der verbrauchsgebundenen Heiz- und Kühlkosten unter Berücksichtigung von Tarifanpassungen 90
Abbildung 52: Änderung der Elektrizitätslast an extrem heißen Tagen im Netzgebiet eines österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen 90
Abbildung 53: EXAA Base Load Spotpreise im Jahr 2003 in Euro 91
Abbildung 54: Klimabedingte Änderung der verbrauchsgebundenen Heiz- und Kühlkosten bei Einführung von Real Time Pricing 91
Abbildung 55: Klimabedingte Änderung der Heiz- und Kühlkosten ohne Anpassung der Fixkosten 92
Abbildung 56: Klimabedingte Änderung der Heiz- und Kühlkosten mit Anpassung der Fixkosten 92
Abbildung 57: Links: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern im Jahr 2007 (in TJ); Rechts: Anzahl der Wohnungen je Energieträger im Jahr 2004 97
Abbildung 58: Verteilung der Änderung der variablen Heiz- und Kühlkosten für EFH 101
Abbildung 59: Verteilung der Heiz- und Kühlkosten für EFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand, derzeitige Preise) 103
Abbildung 60: Änderung der Heiz- und Kühlkosten für ein durchschnittliches EFH (179 m^2_{BGF}) jeweils für die Gemeinde mit dem kältesten, durchschnittlichen und wärmsten Klima in Österreich 103
Abbildung 61: Verteilung der Änderung der variablen Heiz- und Kühlkosten für MFH 104
Abbildung 62: Verteilung der Heiz- und Kühlkosten für MFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand, derzeitige Preise) 105
Abbildung 63: Änderung der Heiz- und Kühlkosten für ein durchschnittliches MFH (886 m^2_{BGF}) jeweils für die Gemeinde mit dem kältesten, durchschnittlichen und wärmsten Klima in Österreich 106
Abbildung 64: Verteilung der Änderung der variablen Heiz- und Kühlkosten für Bürogebäude 106
Abbildung 65: Verteilung der Heiz- und Kühlkosten für Bürogebäude unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand, derzeitige Preise) 108
Abbildung 66: Änderung der Heiz- und Kühlkosten für ein durchschnittliches Bürogebäude (2732 m^2_{BGF}) jeweils für die Gemeinde mit dem kältesten, durchschnittlichen und wärmsten Klima in Österreich 108

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Änderungen des Heiz-und Kühlenergiebedarfs in Europa 15
Tabelle 2: Korrekturfaktoren Einfamilienhäuser 24
Tabelle 3: Heizenergieverbrauch (VDI, 1994) und Heizwärmebedarf für Einfamilienhäuser verschiedener Energieklassen in [kWh/m²$_{BGF}$.a] 25
Tabelle 4: Korrekturfaktoren Mehrfamilienhäuser 26
Tabelle 5: Heizenergieverbrauch (VDI, 1994) und Heizwärmebedarf für Mehrfamilienhäuser verschiedener Energieklassen in [kWh/m²$_{BGF}$.a] 26
Tabelle 6: Charakteristische Werte des Energiebedarfs für verschiedene Energieklassen von Bürogebäuden 29
Tabelle 7: Heizwärmebedarf (HWB_{BGF}) für Bürogebäude verschiedener Energieklassen in [kWh/m²$_{BGF}$.a] 29
Tabelle 8: Zielwerte des spezifischen Heizwärmebedarfs (HWB_{BGF}) für verschiedene Gebäudetypen und Baualtersklassen bei Referenzklima 30
Tabelle 9: Default-Werte für U-Werte verschiedener Bauteile 30
Tabelle 10: Flächen und Kubaturen des Referenz-Wohngebäudes EFH der Energieklasse „Standard“ 32
Tabelle 11: U-Werte verschiedener Bauteile für die einzelnen Energieklassen des Referenzgebäudes EFH 32
Tabelle 12: Flächen und Kubaturen des Referenz-Wohngebäudes MFH der Energieklasse „Standard“ mit 12 Wohneinheiten 34
Tabelle 13: U-Werte verschiedener Bauteile für die einzelnen Energieklassen des Referenzgebäudes MFH 34
Tabelle 14: Flächen und Kubaturen des Referenzgebäudes BÜRO der Energieklasse „Standard“ 35
Tabelle 15: U-Werte verschiedener Bauteile für die einzelnen Energieklassen des Referenzgebäudes BÜRO 36
Tabelle 16: Spezifischer Heizwärmebedarf (HWB_{BGF}) der verschiedenen Gebäudetypen je Energieklasse bei Referenzklima (siehe Kapitel 4.4) 36
Tabelle 17: Spezifischer Kühlbedarf (KB_{BGF}) der verschiedenen Gebäudetypen je Energieklasse bei Referenzklima (siehe Kapitel 4.4) 37
Tabelle 18: Durch die Klimaänderung adaptierte Werte der Regressionskoeffizienten a^* [°C] pro Höhenschicht und Monat zur Implementierung in das Dreischicht-Regressionsmodell der ÖNORM B 8110-5 46
Tabelle 19: Durch die Klimaänderung adaptierte Werte der Regressionskoeffizienten a_0^* [kWh/m²] pro Monat zur Implementierung in das Regressionsmodell der ÖNORM B 8110-5 46
Tabelle 20: Änderung des HWB bzw. KB mit zunehmender Seehöhe (kWh/100m) 51
Tabelle 21: Nutzungsflächen in Österreich nach Gebäudenutzung im Jahr 1991 71
Tabelle 22: Zuordnung Baustandards zur Bauperiode 74
Tabelle 23: Anteil sanierter Gebäude je Bauperiode 74
Tabelle 24: Gebäudestandard nach Sanierung gesondert nach Bauperiode 74
Tabelle 25: Klimabedingte Änderungen des HWB und KB für den österreichischen Gebäudebestand 76
Tabelle 26: Auswirkungen eines Temperaturanstiegs auf die Heiz- und Kühlkosten 88

Tabelle 27: Kostenanpassung bei unterschiedlichen Kessel-Technologien 93
Tabelle 28: Energiepreise (inkl. Steuern und Abgaben) im Durchschnitt der Periode 2002 bis 2006 für österreichische Haushalte 96
Tabelle 29: Benutzungsfaktoren in Abhängigkeit von Gebäudestandard und Automatisierungsgrad 98
Tabelle 30: Durchschnittliche Jahresnutzungsgrade für Heizsysteme 98
Tabelle 31: Verwendete Korrekturfaktoren von HWB zu EEB_{RH} 98
Tabelle 32: Verwendete Korrekturfaktoren von KB zu EEB_{RK} 99
Tabelle 33: Klimabedingte Änderungen der Heiz- und Kühlkosten für den derzeitigen Gebäudebestand 100
Tabelle 34: Geometrieangaben Gebäudetyp Einfamilienhaus der Energieklassen Altbau und Standard 122
Tabelle 35: Geometrieangaben Gebäudetyp Einfamilienhaus der Energieklassen Niedrigenergie und Passivhaus 123
Tabelle 36: Geometrieangaben Gebäudetyp Mehrfamilienhaus der verschiedenen Energieklassen 124
Tabelle 37: Geometrieangaben Gebäudetyp Bürogebäude der verschiedenen Energieklassen 125
Tabelle 38: Temperatur- und Strahlungswerte des Referenzklimas 126
Tabelle 39: Nutzungsprofile 127

1 Kurzfassung

Die bisher durchgeführten Arbeiten umfassten aus gebäudetechnischer Sicht im Wesentlichen die Auswahl jener Kriterien, mit denen die Referenzgebäude definiert werden. Dazu wurde in einem ersten Schritt mithilfe einer Literaturanalyse ermittelt, wie die Verteilung des Gebäudebestands in Österreich, Deutschland und der Schweiz innerhalb der einzelnen Energieklassen aussieht. Auf Grundlage der Literaturquellen wurde abgeleitet, wie der Gebäudebestand in Österreich mit einem Referenzgebäude-Modell dargestellt werden kann.

Für dieses Referenzgebäude-Modell wurden zehn Modellgebäude – unterschieden in die Gebäudetypen Bürogebäude, Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser – definiert. Auf Basis der Geometrieangaben dieser Modellgebäude wurde mithilfe der Berechnungsalgorithmen des Energieausweises unter Verwendung von Nutzerprofilen von Referenz-Klimadaten in weiterer Folge Bedarfswerte für Heizen und Kühlen berechnet. Die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs beruht im Wesentlichen auf den Algorithmen der ÖNORM B 8110-6. Die berechneten Werte wurden als Grundlage für den weiteren Projektverlauf in einer Heizwärme- bzw. Kühlbedarfsmatrix zusammengefasst.

Aus klimatologischer Sicht galt es zunächst die Vorgaben der relevanten ÖNORM B 8110-5 zu analysieren, um eine Abstimmung mit den auf Basis des hoch aufgelösten regionalen Klimaänderungsszenario reclip:more (Loibl et al., 2007) am Wegener Zentrum durchgeführten Simulationen (Gobiet et al., 2006) zu ermöglichen. Dabei zeigte sich, dass eine Vereinbarkeit der beiden Modelle durch Verwendung eines sogenannten „Delta-Ansatzes“ ermöglicht werden kann.

Im konkreten Fall bedeutete dies, dass die Methodik zur Berechnung der klimatologischen Werte in der ÖNORM B 8110-5 als Basis herangezogen wurde. Diese Methodik beruht auf einem Dreischichten-Regressionsmodell, bei dem für sieben definierte Klimazonen seehöhenabhängig monatliche Temperatur- und Globalstrahlungswerte ausgewiesen werden. Dieses Modell, bei welchem als klimatologische Werte die Durchschnittswerte der Klimanormalperioden 1961 bis 1990 bzw. 1971 bis 2000 herangezogen werden, wurde sodann um die für die jeweiligen Regionen errechneten Klimaänderungssignale für die Periode 2041 bis 2050 erweitert. Mit dieser Vorgehensweise konnte sichergestellt werden, dass einerseits die räumliche Differenzierung des Klimaänderungssignals gewährleistet bleibt, andererseits eine Übertragung des systematischen Teils des Modellfehlers der Klimasimulationen unterbunden werden kann.

Durch diese Vorgehensweise konnten der Heizwärme- und der Kühlbedarf der Modellgebäude nicht nur anhand der derzeit in der ÖNORM B 8110-5 implementierten historischen Klimadaten, sondern auch anhand des Szenarios der zukünftigen Klimaentwicklung für unterschiedliche Seehöhen und Klimazonen ermittelt werden. Die

Ergebnisse zeigen für alle Gebäudetypen eine deutliche klimabedingte Verschiebung vom Heizwärme- zum Kühlbedarf. Das Ausmaß dieses Effekts hängt neben den Gebäudetypen auch wesentlich von der Klimazone und der Seehöhe ab. Beim Heizwärmebedarf ist die relative Änderung in etwa konstant. Die klimabedingte Abnahme beträgt hier zwischen 20 und 35 Prozent. Schlecht gedämmte Gebäude verzeichnen damit in absoluten Werten eine stärkere Abnahme des Heizwärmebedarfs, während der zusätzliche Kühlbedarf bei zunehmender Dämmung stärker steigt. Bei einigen Gebäudetypen (Passivhäuser, bzw. Niedrigenergiehäuser in geringer Seehöhe) überwiegt der zusätzliche Kühlbedarf dahingehend deutlich die Reduktion des Heizwärmebedarfs.

Weiters wurden die Änderungen von Heizwärme- und Kühlbedarf gesondert auf Sensitivitäten gegenüber den Klimaelementen Temperatur und Solarstrahlung hin untersucht. Insbesondere zur Solarstrahlung ist anzumerken, dass die Klimaszenarien hohe Unsicherheiten enthalten und die Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden müssen. Die ausgewiesene Änderung der Solarstrahlung (leichte Zunahmen in der Heizperiode, deutliche Zunahmen im Spätsommer) resultiert sowohl in einer Verstärkung der temperaturbedingten Abnahme des Heizwärmebedarfes im Winter als auch in einer Verstärkung der temperaturbedingten Zunahme des Kühlbedarfes im Sommer. Im Verhältnis zur Temperaturänderung sind die Auswirkungen der Solarstrahlungsänderung jedoch relativ bescheiden. Je nach Klimazone beträgt der Solareffekt für die verwendeten Referenzgebäude bis zu 5 Prozent des Temperatureffektes beim Heizen beziehungsweise bis zu 10 Prozent beim Kühlen.

Eine Aufsummierung der errechneten Sensitivitäten auf Jahresbasis unterstreicht die Wichtigkeit, bei Aussagen zur Temperatur- und Globalstrahlungssensitivität zwischen einzelnen Gebäudestandards zu differenzieren. Für Gebäude auf 200 Meter Seehöhe (Nordösterreich) bedeutet eine Temperaturzunahme von einem Grad Celsius eine Abnahme des Heizwärmebedarfes von 2 kWh (EFH, Passivhaus) bis 15 kWh (EFH, Altbau), während der Kühlbedarf um 1 kWh (MFH, Altbau) bis 4 kWh (Büro, Niedrigenergie) ansteigt. Bei einer Erhöhung der Solarstrahlung um ein Prozent (vom jeweiligen Monatsdurchschnitt) sinkt der Heizwärmebedarf um 0,1 kWh (EFH, Passivhaus) bis 0,25 kWh (EFH, Altbau). Der errechnete Kühlbedarf steigt hingegen um 0,05 kWh (MFH, Altbau) bis 0,2 kWh (EFH, Niedrigenergie) an. Während also bei Gebäuden mit geringer Dämmung die Temperatur- und Globalstrahlungssensitivität des HWB um ein Vielfaches stärker ausgeprägt sind, überwiegt bei hoch gedämmten Gebäuden jeweils eine Verstärkung des KB. Diese unterschiedlichen Sensitivitäten bei verschiedenen Dämmstandards sind ebenfalls auf höheren Seehöhen zu beobachten, auch wenn sich hierbei die Proportionen zwischen den Änderungen des HWB und KB deutlich verschieben.

In weiterer Folge wurden die für den Gebäudebestand ermittelten Änderungen des Heizwärme- und Kühlbedarfs herangezogen, um erstmalig eine Abschätzung der monetären Auswirkungen dieser Änderungen durchzuführen. Die Abschätzung erfolgte für die klimabedingten, verbrauchsgebundenen Mengeneffekte auf Basis derzeitiger

Energiepreise und wird wesentlich von den getroffenen Annahmen bezüglich der technischen Effizienz der eingesetzten Systeme (z.B. beim Kühlbedarf der EER als Maß für das Verhältnis zwischen eingesetzter Elektrizität und Kühlenergie-Output) und des Nutzungsverhaltens (z.B. Anteil der temperierten Flächen) beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Bürogebäuden reine Betrachtungen des Heizwärme- und Kühlbedarf das Verhältnis zwischen Heizkostenabnahme und Kühlkostenzunahme etwa um den Faktor 1,5 unterschätzen. Im Gegensatz dazu muss bei Wohngebäuden davon ausgegangen werden, dass ein Gutteil der Nutzflächen mit „theoretischem Kühlbedarf“ gar keiner Raumtemperierung unterzogen wird, was geringere ökonomische Folgen impliziert. Die vorliegenden Analysen bestätigen also die Wichtigkeit, in die Betrachtungen nicht nur energetische, sondern auch monetäre Änderungen einzubeziehen.

2 Einleitung

Der Bereich Raumwärme und -kühlung spielt im Hinblick auf den globalen Klimawandel in zweierlei Hinsicht eine wichtige Rolle. Einerseits trägt der Energieeinsatz für Raumwärme und Klimatisierung wesentlich zum Klimawandel bei. In Österreich werden derzeit in etwa 30 Prozent des gesamten energetischen Endverbrauchs im Bereich Raumwärme und Klimaanlagen eingesetzt, wobei zur Erzeugung derzeit noch überwiegend auf fossile Brennstoffe zurückgegriffen wird. Andererseits wirken sich höhere Temperaturen unmittelbar auf den Energieeinsatz für Raumwärme und -kühlung aus und führen zu einer Verschiebung von Wärme- zu Kühldienstleistungen. Österreich ist dabei als alpines Land besonders stark von den Auswirkungen des Klimawandels betroffen. Ähnlich wie in anderen kontinental geprägten Regionen wird in Österreich mit einem Temperaturanstieg von ungefähr 0,4 °C pro Jahrzehnt gerechnet [Gobiet et al, 2006], was etwa doppelt so hoch ist wie der globale Durchschnittswert.

Während in Österreich derzeit eine breite gesellschaftliche Diskussion darüber stattfindet, wie eine Reduktion von Treibhausgasen im Bereich Raumwärme und -kühlung erfolgen soll, erfahren die Auswirkungen des Klimawandels auf diesen Bereich erst in jüngster Zeit eine gewisse Aufmerksamkeit (siehe Abschnitt 3). Betrachtet man die Größenordnung der diskutierten Änderungen im Vergleich zu anderen Bereichen, so ist diese alleinige Fokussierung auf Mitigationsmaßnahmen durchaus bemerkenswert und sicherlich durch zweierlei Faktoren begünstigt: (1) Die diskutierten Gesamteffekte scheinen, im Gegensatz etwa zum Tourismus in Österreich, durchaus positiv zu sein. (2) Die Verursacher der Treibhausgase sind relativ einfach und eindeutig identifizierbar und die Effekte quantifizierbar (was beispielsweise im Tourismussektor wiederum nicht der Fall ist).

Dabei wäre verstärkt eine integrierte Betrachtung, sowohl von möglichen Treibhausgasreduktionsmaßnahmen als auch von Auswirkungen und Anpassungsstrategien, unbedingt erforderlich. Das Ziel, einen minimalen Ausstoß von Treibhausgasemissionen zu gewährleisten, kann bei der Planung der zukünftigen Energieversorgung bzw. bei der Errichtung und Sanierung von Gebäuden nur dann erreicht werden, wenn CO_2-Reduktionsmaßnahmen und Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel gemeinsam untersucht werden. Es muss sichergestellt werden, dass Anpassungsstrategien durch die positive Rückkoppelung das Klimaproblem nicht weiter verschärfen bzw. dass ausgeklügelte CO_2-Reduktionspakete auch unter sich ändernden Klimabedingungen im Hinblick auf die einzusetzenden Mittel optimal gewählt werden können.

Die Wichtigkeit, die klimabedingte Verschiebung von Heiz- hin zu Kühldienstleistungen möglichst frühzeitig zu erkennen, ergibt sich auch insbesondere dadurch, dass sowohl der Energie- und Bausektor sehr kapitalintensiv sind, Entscheidungsprozesse sehr langwierig sind und einmal getroffene Entscheidungen sich auf den Energieverbrauch mehrerer

Jahrzehnte auswirken. Eine Mitberücksichtigung zukünftiger klimatischer Änderungen sollte also möglichst rasch erfolgen, um die Folgen einer ungenügenden Anpassung zu minimieren. Wie Jentsch et al. (2008) jedoch betonen, werden derzeitige Erkenntnisse zum globalen Klimawandel bei der Simulation der energetischen Performanz von Gebäuden in den standardmäßig verfügbaren Softwaretools vernachlässigt, obwohl diese Simulationen eine immer wichtigere Entscheidungsgrundlage im Planungsprozess darstellen.

Explizites Ziel dieser Arbeit ist es daher, die Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf so aufzubereiten, dass sie in die Planung eines zukünftig optimierten Gebäudebestandes auch miteinbezogen werden können. Dazu sollen die Ergebnisse sowohl für die unterschiedlichen klimatischen Bedingungen im österreichischen Bundesgebiet (abhängig von Seehöhen und Klimazonen) als auch anhand von Referenzgebäuden für die Breite an Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Bürogebäude) und Gebäudestandards (Altbau, Standard, Niedrigenergie- und Passivhaus) aufgezeigt werden.

3 Literatur- und Methodenüberblick

3.1 INTERNATIONALE AUSWIRKUNGEN

Auf globaler Ebene sind die Auswirkungen von Temperaturänderungen auf den Energieverbrauch von großer Bedeutung, weil es wahrscheinlich ist, dass dieser Effekt einen bedeutenden Anteil an den ökonomischen Klimafolgen einnimmt. Dabei kann in den temperierten Zonen der Erde, welche derzeit für einen Großteil des Outputs der Weltwirtschaft verantwortlich sind - zumindest bei einem moderaten Temperaturanstieg - mit günstigen Auswirkungen aufgrund reduzierter Heizkosten gerechnet werden. Währenddessen konzentriert sich die Mehrheit der Weltbevölkerung auf tropische Gebiete, wo unmittelbar mit vermehrtem Kühlbedarf zu rechnen ist (Tol 2009).

Für Europa werden die Effekte geänderter Temperaturen im vierten IPCC-Bericht (IPCC, 2007) durch eine Darstellung mehrerer nationaler Studien gezeigt. Allerdings sind die Ergebnisse nicht direkt vergleichbar, da in den Studien unterschiedliche Methoden, Zeithorizonte, Gebäudetypen und vor allem Klimaszenarien verwendet werden. Tabelle 1 gibt die dargestellten Änderungen wieder und vergleicht die für die verschiedenen Intervalle ausgewiesenen klimabedingten Rückgänge des Heizenergiebedarfs und Zuwächse des Kühlbedarfs auf dekadischer Basis (unter vereinfachter Annahme linearer Wachstumsraten). Bei der Interpretation der dargestellten relativen Änderungsraten sind die unterschiedlichen klimatischen Ausgangsniveaus zu berücksichtigen, da beispielsweise beim Kühlenergiebedarf in gemäßigten Klimaten von einem niedrigen Ausgangsniveau ausgegangen wird, und dadurch relative Veränderungsraten sehr hoch ausfallen können.

Tabelle 1: Änderungen des Heiz-und Kühlenergiebedarfs in Europa

Heizenergiebedarf/Heizgradtage											
Studie	Region	Basisperiode	Zielperiode	proz. Rückgang				**Rückgang/Dekade**			
Venalainen et al. 2004	Finnland	1961-1990	2021-2050			10	%			**1.7**	**%**
Carter & Kankaanpaa 2003	Finnland	1961-1990	2080	20	-	30	%	**1.9**	**-**	**2.9**	**%**
Vadja et al. 2004	Ungarn, Rumänien	1961-1990	2021-2050	6	-	8	%	**1.0**	**-**	**1.3**	**%**
Frank 2005	Schweiz (Wohnen)	1961-1990	2050-2100	33	-	44	%	**3.3**	**-**	**4.4**	**%**
Frank 2005	Schweiz (Bürogeb.)	1961-1990	2050-2100	36	-	58	%	**3.6**	**-**	**5.8**	**%**
Christenson et al. 2006	Schweiz	1975	2085	13	-	87	%	**1.2**	**-**	**7.9**	**%**
Cartalis et al. 2001	Griechenland+Umg.	1990	2030			10	%			**2.5**	**%**
Kühlenergiebedarf/Kühlgradtage											
Studie	Region	Basisperiode	Zielperiode	proz. Steigerung				**Steigerung/Dekade**			
Carter & Kankaanpaa 2003	Finnland	1961-1990	2080			100	%			**9,5**	**%**
Frank 2005	Schweiz (Bürogeb.)	1961-1990	2050-2100	223	-	1050	%	**22.3**	**-**	**105,0**	**%**
Christenson et al. 2006	Schweiz	1975	2085	10	-	2100	%	**0.9**		**190,9**	**%**
Cartalis et al. 2001	Griechenland+Umg.	1990	2030			28	%			**7,0**	**%**
Fronzek & Carter 2007	Südeuropa (Madrid)	1961-1990	2071-2100	111	-	148	%	**10.1**	**-**	**13,4**	**%**

Quelle: IPCC, 2007, aufbereitet.

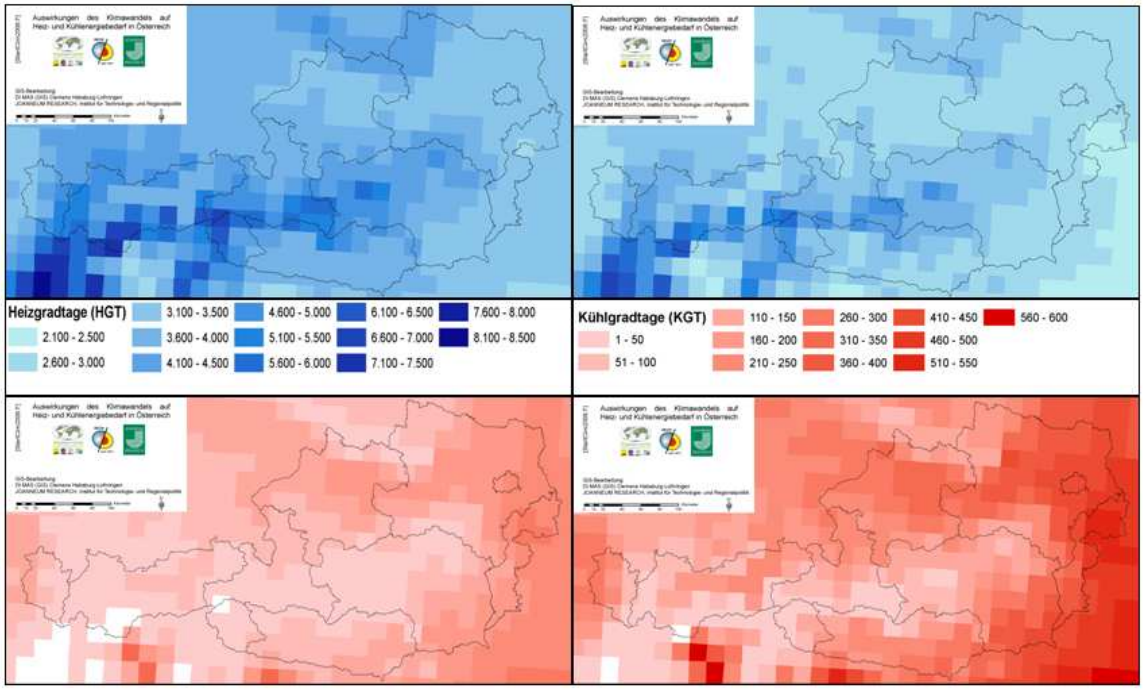
3.2 METHODOLOGISCHE ZUGANGSWEISEN

Je nach Ziel der Untersuchungen wird derzeit eine Vielzahl an methodologischen Zugangsweisen verwendet, um die Auswirkungen von Klimaänderungen auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf abzuschätzen. Prinzipiell lassen sich dabei drei Ansätze unterscheiden: (1) Gradtagsverfahren, (2) empirische Schätzungen der historischen Sensitivität des aggregierten Energieverbrauchs, und (3) Gebäudesimulationen.

Ein Großteil der in Tabelle 1 angeführten Studien fokussiert auf eine Beschreibung der klimabedingten **Änderung der Heiz- und Kühlgradtage** (HGT und KGT). Christenson et al. (2006) zeigen beispielsweise für vier Schweizer Orte mit unterschiedlichen klimatischen Bedingungen (Genf, Lugano, Davos und Zürich) die historische Entwicklung der HGT/KGT für die Periode 1901 bis 2003 und die zukünftige Entwicklung für 41 unterschiedliche regionale Klimaszenarien für die Periode 1975 bis 2085. Die Ergebnisse illustrieren sehr deutlich, dass in alpinen Ländern die Änderungsrate der Heiz- und Kühlgradtage extrem sensitiv gegenüber dem Standort ist.

Aus diesem Grund verwenden Töglhofer et al. (2008) für Österreich eine hoch aufgelöste Klimatologie der Niederungen (VERACLIM) und ein Klimaänderungsszenario (reclip:more), um die Änderung der HGT/KGT im klimatologisch komplexen Terrain des Alpenraums darstellen zu können. Eine Temperaturänderung zwischen 1981/80 und 2041/50 um 1,8 °C bis 2,7 °C im Bundesmittel (Frühling: 2,4 °C, Sommer: 2,3°C, Herbst: 2,7°C, Winter: 1,8 °C) resultiert in einer Abnahme der HGT je nach Höhenlage um etwa 20 Prozent (-600 HGT in den tiefer gelegenen Regionen) und einer Zunahme der KGT durchschnittlich um 130 Prozent (+250 KGT in den tiefer gelegenen Regionen). Die Resultate werden in Abbildung 1 illustriert.

Abbildung 1: HGT und KGT in der Periode 1981/90 (links) und laut Klimaszenario reclip:more in der Periode 2041/50 (rechts) für Österreich



Quelle: Toeglhofer et al., 2008.

Während die Heiz- und Kühlgradtage meteorologische bzw. wärme- und kältetechnische Kenngrößen sind, die zumindest die Richtung und Intensität des erwarteten Einflusses darstellen, geben diese jedoch nicht Auskunft über die Sensitivität des tatsächlichen Heiz- und Kühlenergiebedarfes gegenüber Temperaturänderungen. Diese kann je nach unterschiedlichen regionalen Klimabedingungen (Ausgangswerten), Gebäudestandards, Gebäudenutzungsarten etc. massiv variieren.

Um zumindest auf aggregierter Ebene dieses methodische Defizit zu beheben, wählen beispielsweise Amato et al. (2005) ein **Zwei-Schritt-Verfahren**, um Änderungen der klimabedingten Energienachfrage im US-Bundesstaat Massachusetts aufzuzeigen. Dabei wird in einem ersten Schritt mittels einer Regressionsanalyse die historische Sensitivität des Heizöl-, Gas- und Elektrizitätsverbrauchs im Haushalts- bzw. Dienstleistungssektor gegenüber Änderungen der Heiz- und Kühlgradtage festgestellt. In einem zweiten Schritt werden diese historischen Sensitivitäten sowie die unter Verwendung von regionalen Klimaänderungsszenarien ermittelten Änderungen der Heiz- und Kühlgradtage herangezogen, um die klimabedingte Nachfrageänderung zu schätzen.

Ein Vorteil dieses Ansatzes ist es, dass auch grundlegende sozio-ökonomische Parameter wie Einkommen, Energiepreise, Substitutspreise (für andere Energieträger) etc. in das Framework integriert werden können. Eine Herausforderung bei dieser Schätzung von Sensitivitäten aus historischen Daten mittels Regressionsverfahren stellt jedoch die

Annahme dar, dass die Sensitivitäten (pro Energieeinheit) über die Zeit konstant sind[1]. In anderen Worten, es wird unterstellt, dass historische Zusammenhänge auch für zukünftige Perioden übernommen werden können und daher bleiben jegliche Transformation des Gebäudebestandes, Änderungen des Konsumverhaltens etc. unberücksichtigt.

Eine alternative Möglichkeit zur Abschätzung unterschiedlicher Sensitivitäten stellen daher Ansätze dar, welche auf **Gebäudesimulationen** basieren. Diese Vorgehensweisen ermöglichen es, sowohl historische als auch mittels Klimaszenarien ausgewiesene zukünftige meteorologische Parameter für unterschiedliche Standorte und Gebäudeparameter (Dämmstandards, Glasflächenanteil, interne Lasten etc.) mit einzubeziehen. Dieser Ansatz wird von Frank (2005) für die Schweiz verwendet. Die Ergebnisse dieser Studie weisen darauf hin, dass sowohl bei Wohngebäuden als auch bei Bürogebäuden die Temperatursensitivität des Heizenergiebedarfs mit steigendem Dämmstandard abnimmt, während die Temperatursensitivität des Kühlenergiebedarfs bei Bürogebäuden deutlich zunimmt. Diese Ergebnisse zeigen die Wichtigkeit, bei Studien zur Auswirkung des Klimawandels auf den Heiz- und Kühlenergiebedarf die Änderungen im Gebäudebestand und dementsprechend die Änderungen der Sensitivität im Zeitverlauf mit einzubeziehen.

Die Vorteile von Gebäudesimulationen umfassen neben der Flexibilität bei der Abbildung von unterschiedlichen klimatologischen und gebäude-technischen Bedingungen vor allem auch die Möglichkeiten Nicht-Linearitäten in der Sensitivität gegenüber Temperaturänderungen abzubilden. Wie beispielsweise Haas et al. (1998) anhand empirischer Daten für Haushalte mit Zentralheizungen in Österreich zeigen, besteht zwischen den Heizgradtagen und dem Energieverbrauch ein nicht-linearer Zusammenhang. Auch Petrick et al. (2009) verweisen in einer ökonometrischen Untersuchung des Heizenergiebedarfs in den OECD-Ländern auf die Notwendigkeit Nicht-Linearitäten zu berücksichtigen.

Trotzdem darf, neben den Vorteilen die Gebäudesimulationen bieten, nicht vernachlässigt werden, dass es sich dabei um vereinfachte Modelle handelt, die von einer Vielzahl von Annahmen beeinflusst werden. Dies betrifft zum einen die Abbildung des Gebäudebestandes einer Untersuchungsregion mithilfe von Modellgebäuden. Zum anderen muss eine Reihe von Annahmen zu diesen Gebäuden (Luftzirkulation, Dämmstandards, Fensterflächenanteil, Geometrieangaben, Nutzungsprofile) getroffen werden. Auch wenn vielfach empirische Erfahrungswerte verwendet werden und die Modelle bereits eine Fülle an Details abbilden können, so sind die Resultate dieser

1 Damit ist gemeint, dass in Amato et al. (2003) zwar Änderungen in Form eines linearen Zeittrends einbezogen werden und damit in der Interpretation etwa eine Verbrauchsänderung auch automatisch eine Änderung der Temperaturvariabilität bedeutet (z.B. Verdoppelung der Stromnachfrage führt zu einer Verdoppelung der Sensitivität gegenüber höheren Temperaturen), die Änderung der Sensitivität pro Einheit (z.B. KGT/kWh) wird damit aber trotzdem als konstant angenommen.

Modellrechnungen trotzdem von den Annahmen abhängig und entsprechend vorsichtig zu interpretieren.

3.3 ÜBERBLICK ÜBER DIE EIGENE METHODIK

Amato et al. (2005) leiten vier Implikationen ab, die bei (zukünftigen) Analysen der Auswirkungen des Klimawandels auf den Energiesektor berücksichtigt sein sollen:

(1) Die Auswirkungen hängen stark von der **räumlichen Ebene** der Untersuchung ab.

(2) Die Analysen sollen die **intra-annuale Variabilität** des Energieverbrauchs berücksichtigen.

(3) Die unterschiedlichen Auswirkungen auf Energieträger (Elektrizität, Gas, Öl) und Sektoren (Haushalte, Gewerbe) machen **disaggregierte Analysen** notwendig.

(4) Um zukünftige Nachfrageänderungen zu verstehen, muss auch die **Dynamik historischer Sensitivitäten** verstanden werden.

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wird ein Ansatz verwendet, der diese Kriterien möglichst erfüllt:

(1) Auf **räumlicher Ebene** werden die Sensitivitäten für sieben charakteristische österreichische Klimazonen und abhängig von der Seehöhe, dem aus klimatologischer Sicht wichtigsten Kriterium im Alpenraum, dargestellt.

(2) Die Analyse erfolgt prinzipiell auf **monatlicher Ebene**. Damit können Unterschiede zwischen den einzelnen Saisonen und Energieträgern aufgezeigt werden. Eine Verwendung von Tagesdaten (wie etwa in Frank 2005) ist durch das verwendete Modell zur Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs nicht möglich, stellt jedoch ohnedies kein primäres Ziel der vorliegenden Arbeit dar.

(3) Der verwendete Ansatz macht es möglich, die Sensitivitäten für **einzelne Referenzgebäude** darzustellen. Damit kann sowohl nach Gebäudetyp (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus und Bürogebäude) als auch Gebäudestandard (Altbau, Standard, Niedrigenergie- und Passivhaus) unterschieden werden. Während zwischen Heiz- (Öl, Gas, Holz, Fernwärme, Elektrizität) und Kühlenergieträgern (Elektrizität) unterschieden wird, fokussiert die vorliegende Analyse nicht auf Unterschiede zwischen den einzelnen Heizenergieträgern.

(4) Die **Dynamik historischer Sensitivitäten** kann mit dem gewählten Ansatz insofern gut beschrieben werden, da der Gebäudetyp und -standard (neben einer Fülle weiterer Faktoren) einen Haupteinfluss auf die Sensitivität gegenüber Klimaänderungen hat. Änderungen des Gebäudebestandes, etwa durch Neubau-, Sanierungs- oder Abrissaktivitäten, haben also einen

unmittelbaren Einfluss auf die Klimasensitivität und können in weiterer Folge miteinbezogen werden.

Der Fokus der Arbeit liegt dabei in der Bearbeitung von mehreren Problemstellungen, die bisher in der internationalen Literatur weitgehend ausgeklammert wurden. Zunächst ermöglicht die Methodik eine Bearbeitung der Thematik auf kleinräumiger regionaler Ebene. Des Weiteren können Aussagen über die Sensitivität des Gebäudebestandes nicht nur gegenüber klimabedingten Temperaturänderungen, sondern auch gegenüber Globalstrahlungsänderungen getroffen werden. Diese Thematik erscheint insbesondere mit Zunahme der Gebäudestandards an Bedeutung zu gewinnen. Nicht zuletzt werden die Ergebnisse für den kumulierten österreichischen Gebäudebestand ausgewiesen (um die unterschiedliche Besiedelungsdichte im Bundesgebiet zu berücksichtigen) und darüber hinaus auch die Grundlagen dafür gelegt, die ökonomische Bedeutung der Verschiebung vom Heizenergie- zum Kühlbedarf zu bewerten. Die Bedeutung der Kostenunterschiede zwischen Heizen und Kühlen (unterschiedliche Energieträger, technische Systeme und Jahresnutzungsstunden) wird vielfach erwähnt (z. B. Christenson et al. 2006), jedoch im Bezug auf Klimaänderungen bisher nicht diskutiert.

Die Beschreibung der zukünftigen Klimabedingungen beschränkt sich demgegenüber in dieser Arbeit auf ein regionales Klimaänderungsszenario (reclip:more[2]) und einen Zeithorizont (2041-2050). Einerseits erscheint dies notwendig, weil zumindest zum Zeitpunkt der Durchführung dieses Projekts für Österreich auf regionaler Ebene keine weiteren Szenarien zur Verfügung stehen[3]. Andererseits hilft diese Limitierung auf ein Szenario und einen Zeithorizont die Komplexität der Arbeit in Grenzen zu halten, was angesichts der großen Bandbreite an klimatologischen (Klimazonen, Seehöhe) und gebäudetechnischen Bedingungen (Gebäudetyp und -standard) hilfreich erscheint. Zudem befindet sich das Szenario beim Klimaelement Temperatur etwa in der Mitte der Einschätzungen weiterer Szenarien (siehe dazu auch Gobiet et al. 2006) und der Zeithorizont der 2040er Jahre kann für Einschätzungen im Gebäudebereich durchaus als günstig angesehen werden, da Maßnahmen im Gebäudebereich durchaus Auswirkungen für 30 bis 50 Jahre haben, d.h. derzeitige Neubau- bzw. Sanierungsaktivitäten beeinflussen bereits jetzt wesentlich den Energiebedarf in diesem Zeitraum.

Abbildung 2 gibt einen Überblick über den Ablauf der einzelnen Arbeitsschritte in „Heat.AT“. Details zu diesen sowie jeweils eine nähere Methodenbeschreibung finden sich in den angeführten Kapiteln.

---

2 Dieses regionale Klimaszenario für den Alpenraum wurde im Rahmen des Projekts „reclip:more“ von fünf österreichischen im Bereich Klimaforschung tätigen Institutionen erstellt. Details zum Szenario sind in Gobiet et al. (2006) beschrieben.

3 Die Erstellung eines Basisdatensatzes regionalisierter Klimaszenarien für unterschiedliche Zeithorizonte erfolgt derzeit im Projekt „reclip:century“ (siehe http://www.zamg.ac.at/forschung/klimatologie/klimamodellierung/reclip_century/). Es ist auch anzumerken, dass die technische Konzeption der Arbeiten in diesem Projekt so gewählt wurde, dass Berechnungen für zusätzliche Inputs (etwa neue Klimaszenarien) problemlos möglich sind.

Abbildung 2: Überblick über die Vorgehensweise im Projekt HEAT.at

4 Referenzgebäude

4.1 EINLEITUNG

In diesem Kapitel wird dargestellt, welche Kriterien bei der Auswahl der Referenzgebäude zur Beurteilung der Entwicklung des Energiebedarfs für Beheizung und Kühlung herangezogen wurden. Dazu wird im ersten Teil dieses Abschnitts erläutert, wie die Verteilung des Gebäudebestands in Österreich, Deutschland und der Schweiz hinsichtlich der unterschiedlichen Energieklassen aussieht. Auf Grundlage verschiedener Literaturquellen wird abgeleitet, wie der Gebäudebestand in Österreich mit einem Referenzgebäude-Modell dargestellt werden kann.

Für dieses Referenzgebäude-Modell werden Modellgebäude – unterschieden in die Gebäudetypen Bürogebäude, Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser – definiert. Auf Basis der Geometrieangaben dieser Modellgebäude wurden mithilfe der Berechnungsalgorithmen des Energieausweises Bedarfswerte für Heizen und Kühlen berechnet. Die Berechnung des Heizwärme- und Kühlbedarfs beruht im Wesentlichen auf den Algorithmen der ÖNORM B 8110-6 (ÖNORM, 2007c). Die zugrunde gelegten Nutzerannahmen und die Klimadaten des Referenzklimas sind in Kapitel 4.4 beschrieben.

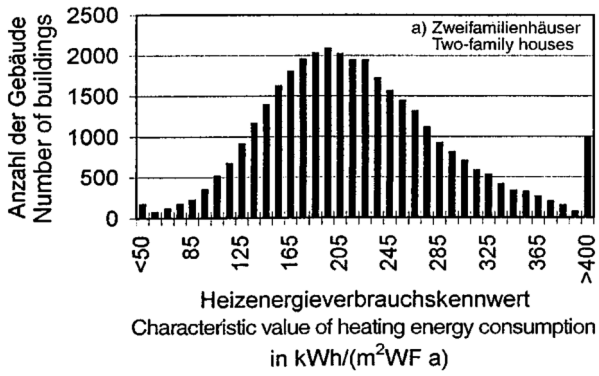
4.2 REFERENZWERTE HEIZWÄRMEBEDARF

In diesem Abschnitt wird beschrieben, auf Basis welcher Literaturquellen die Einteilung der Referenzgebäude in verschiedene Energieklassen erfolgt. Die zur Verfügung stehenden Literaturangaben beziehen sich dabei in erster Linie auf gemessene Verbrauchswerte (auf Primärenergie-, Endenergie- oder Heizenergie-Ebene) verschiedener Gebäudetypen. Im Zuge dieser Untersuchung wurde die Annahme getroffen, dass sich diese Verbrauchswerte im Wesentlichen mit berechneten Bedarfswerten decken. Die dargestellten Abbildungen und Tabellen zeigen jeweils den Heizenergie-Verbrauch bezogen auf die Bruttogrundfläche (BGF) des Gebäudes. Der Heizenergie-Verbrauch entspricht jenem Wert, der bei einer Bedarfsberechnung dem Endenergiebedarf für Beheizung (EEB_{Heiz}) gleichzusetzen ist. Zur schlussendlichen Darstellung der erforderlichen Nutzenergie der Gebäude auf Ebene des Heizwärmebedarfs (HWB) ist somit eine Umrechnung von EEB_{Heiz} auf HWB erforderlich. Abschließend wird in Matrixform zusammengefasst, welcher Wert für den Heizwärmebedarf im Zuge dieser Untersuchung für die verschiedenen Gebäudetypen gewählt wird.

4.2.1 Energiebedarf Einfamilienhäuser (EFH)

Für die Ermittlung von Heizwärmebedarfs-Zielwerten für den Gebäudetyp Einfamilienhaus (Referenzgebäude EFH) wurden im Wesentlichen Statistiken über Werte des Heizenergieverbrauchs der VDI-Richtlinie 3807, Blatt 2 (VDI, 1998) herangezogen. Die dabei zugrunde gelegte Verteilung ist in Abbildung 3 dargestellt.

Abbildung 3: Verteilung des Heizenergieverbrauchs für Zweifamilienhäuser



Quelle: Darstellung aus VDI 3807-2 (VDI, 1998).

Diese Abbildung zeigt die Verteilung des Heizenergieverbrauchs von Zweifamilienhäusern bezogen auf die Wohnfläche. Durch die Entwicklung des Dämmstandards in den Jahren seit der Erstellung dieser Statistik im Jahr 1998 kann angenommen werden, dass die Kennwerte mittlerweile niedriger sind und sich somit die gesamte Verteilung tendenziell nach links verschoben hat.

Unter Zuhilfenahme verschiedener Korrekturkoeffizienten werden auf Basis dieser Untersuchung charakteristische Werte[4] für den Heizwärmebedarf ermittelt. Dazu sind folgende Korrekturfaktoren erforderlich:

Tabelle 2: Korrekturfaktoren Einfamilienhäuser

Faktor	Beschreibung	Wert
f_{BGF}	Korrektur der Bezugsfläche von Wohnnutzfläche auf Bruttogrundfläche (BGF)	0,80 1)
f_{HWB}	Korrektur des Verbrauchswertes von Heizenergie auf Nutzenergie	0,70 2)
f_{EFH}	Korrektur von Zweifamilienhäusern auf Einfamilienhäuser	1,08 2)

1)…aus ÖNORM B 8110-6 (ÖNORM, 2007c)
2)…Erfahrungswerte aus zahlreichen thermischen Gebäudesimulationen etc.

Für die Energieklassen „Altbau“ und „Standard“ wurden Werte für den Heizenergieverbrauch angenommen, die in Abbildung 3 links bzw. rechts des Verteilungsgipfels zu liegen kommen (250 bzw. 150 kWh/m²a). Mithilfe der angenommenen Korrekturfaktoren lassen sich die in Tabelle 3 dargestellten Referenzwerte für die verschiedenen Energieklassen berechnen. Der für das Passivhaus angegebene Wert stellt dabei den Grenzwert dar, der zum Erreichen von

4 An dieser Stelle ist anzumerken, dass die in der VDI 3807-2 erhobenen Verbrauchswerte grundsätzlich nicht analog auf die mithilfe der Berechnungsalgorithmen des Energieausweises ermittelten Bedarfswerte für Heizwärmebedarf (HWB) und Kühlbedarf (KB) umgelegt werden können. Für die im Zuge dieser Untersuchung getroffene Festlegung von Referenzwerten für Energieklassen erscheint diese Vereinfachung jedoch als zulässig.

Passivhausqualität eingehalten werden muss (Feist, 1998). Für das Niedrigenergiehaus wurde ein Wert für den Heizwärmebedarf gewählt, der in etwa den Festlegungen in der Richtlinie 6 des harmonisierten Baugesetzes entspricht (OIB, 2007).

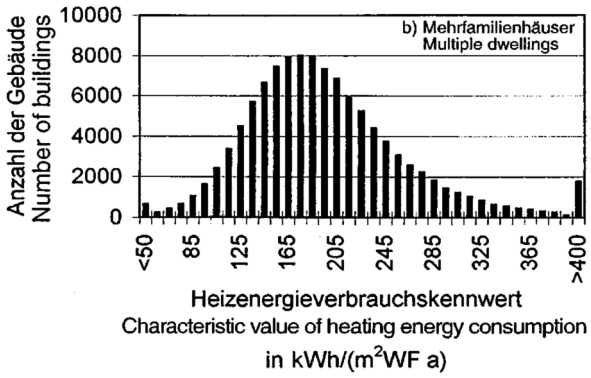
Tabelle 3: Heizenergieverbrauch (VDI, 1998) und Heizwärmebedarf für Einfamilienhäuser verschiedener Energieklassen in [kWh/m²$_{BGF}$.a]

Energieklasse	Heizenergieverbrauch	Heizwärmebedarf
Altbau	250	151
Standard	150	91
Niedrigenergie	--	55
Passivhaus	--	15

4.2.2 Energiebedarf Mehrfamilienhäuser (MFH)

Die Einteilung der Mehrfamilienhäuser in verschiedene Energieklassen wurde ebenfalls auf Basis der VDI 3807-2 (VDI, 1998) durchgeführt. Nach einer überschlägigen Verschiebung der Verteilung der Verbrauchswerte des Jahres 1998 (Abbildung 4) aufgrund der veränderten Dämmstandards wurde analog zur Vorgehensweise bei Einfamilienhäusern eine Einteilung in Energieklassen vorgenommen (Tabelle 3). Auch hier wurden für die Energieklassen „Altbau“ und „Standard“ Werte links und rechts des Verteilungsgipfels gewählt (220 bzw. 140 kWh/m²a).

Abbildung 4: Verteilung des Heizenergieverbrauchs für Mehrfamilienhäuser



Quelle: Darstellung aus VDI 3807-2 (VDI, 1998).

Analog zur Ermittlung der Bedarfswerte der Energieklassen der Einfamilienhäuser war auch für Mehrfamilienhäuser eine Korrektur der aus der VDI 3807-2 (VDI, 1998) entnommenen Verbrauchswerte erforderlich. Die entsprechenden Korrekturfaktoren und Bedarfswerte der Energieklassen sind Tabelle 4 und Tabelle 5 zu entnehmen.

Tabelle 4: Korrekturfaktoren Mehrfamilienhäuser

Faktor	Beschreibung	Wert
f_{BGF}	Korrektur der Bezugsfläche von Wohnnutzfläche auf Bruttogrundfläche (BGF)	0,80 [1)]
f_{HWB}	Korrektur des Verbrauchswertes von Heizenergie auf Nutzenergie	0,70 [2)]

1)…aus ÖNORM B 8110-6 (ÖNORM, 2007c)
2)…Erfahrungswerte aus zahlreichen thermischen Gebäudesimulationen etc.

Tabelle 5: Heizenergieverbrauch (VDI, 1998) und Heizwärmebedarf für Mehrfamilienhäuser verschiedener Energieklassen in [kWh/m²$_{BGF}$.a]

Energieklasse	Heizenergieverbrauch	Heizwärmebedarf
Altbau	220	123
Standard	140	78
Niedrigenergie	--	45

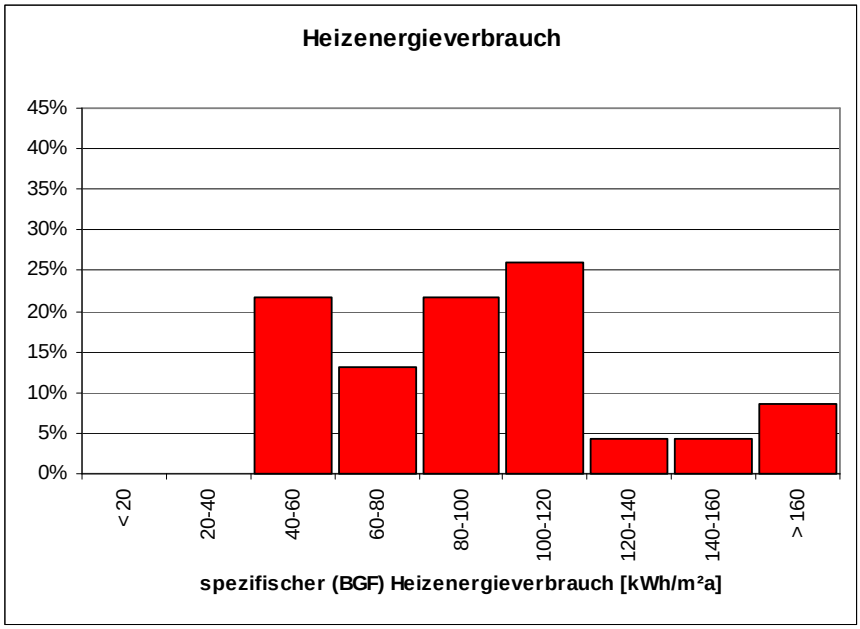
4.2.3 Energiebedarf Bürogebäude (BÜRO)

Für die Einteilung der Bürogebäude in verschiedene Energieklassen stehen in der benötigten Form keine umfassenden Untersuchungsdaten wie für Zwei- und Mehrfamilienhäuser zur Verfügung. Die in der VDI 3807-2 (VDI, 1998) dargestellten Dienstleistungsgebäude sind in verschiedene Gebäudetypen unterteilt, die mit der hier gewählten Kategorie „Bürogebäude“ nicht vereinbar sind. Daher wurden verschiedene Untersuchungen derart zusammengefasst, dass vergleichbare Bedarfswerte extrahiert werden können.

Die dargestellten Verteilungen zeigen jeweils den Heizenergieverbrauch[5]. In der Abbildungsbeschriftung werden die Parameter der Untersuchungen näher erläutert.

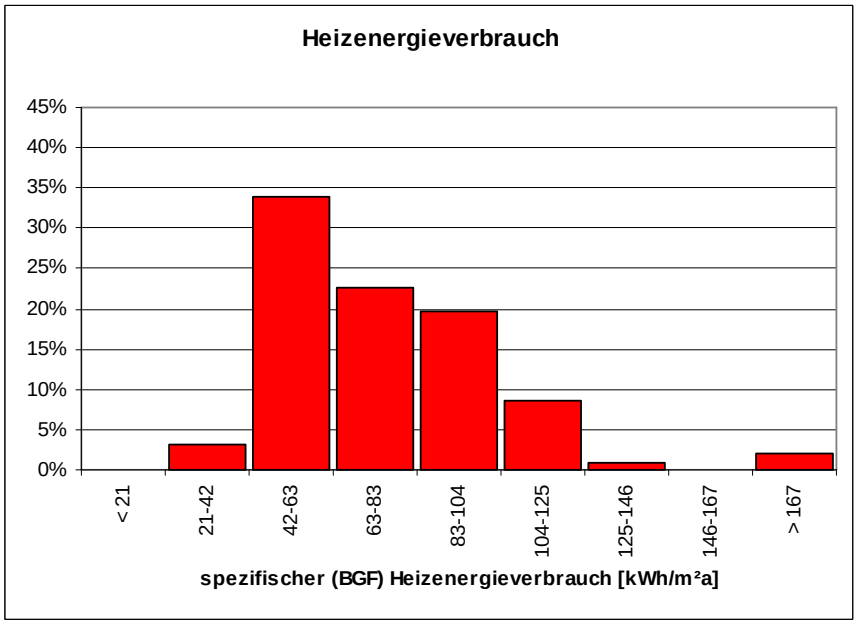
5 In den Literaturangaben sind Verbrauchswerte auf Ebene von Primär-, End- und Heizenergie dargestellt. Die Ermittlung der Endenergie-Bedarfswerte für Beheizung erfolgte mithilfe von Korrekturfaktoren, die je nach Untersuchung individuell angenommen wurden.

Abbildung 5: Heizenergieverbrauch in Bürogebäuden



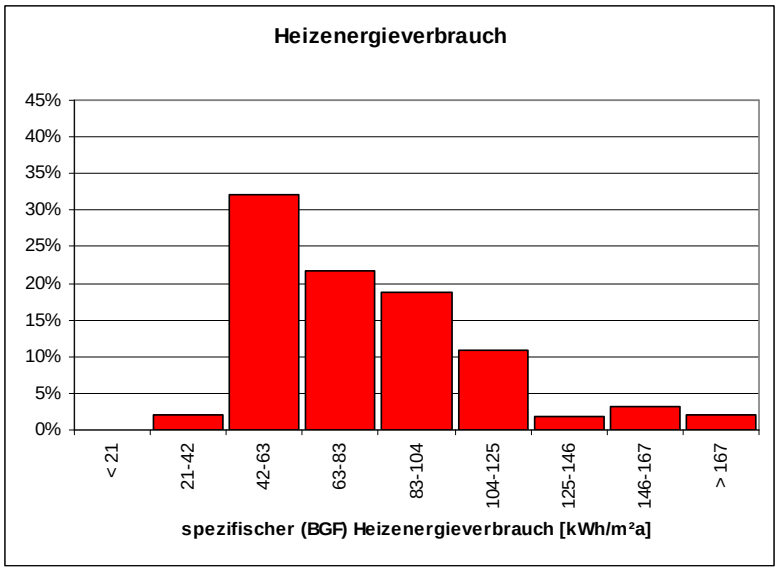
Quelle: Lummerstorfer, 2004: 23 Gebäude untersucht; Daten aus Beratungsgesprächen; Daten bezogen auf BGF; Mittelwert EEB_{Heiz} 98 kWh/m²a.

Abbildung 6: Heizenergieverbrauch in Bürogebäuden



Quelle: Weber, 2002: 100 Gebäude untersucht, 1986-1996, Schweiz; ursprüngliche Daten bezogen auf Energiebezugsfläche (Korrekturfaktor auf BGF 0,75); Mittelwert EEB_{Heiz} 79 kWh/m²a.

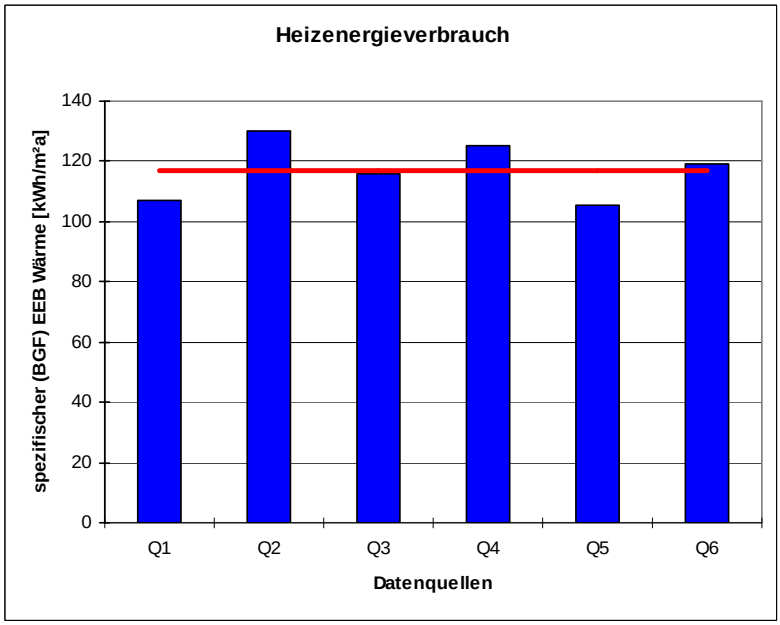
Abbildung 7: Heizenergieverbrauch in Bürogebäuden



Quelle: Weber et al., 1999: 100 Gebäude untersucht; wärme-spezifische Energiekennzahlen bezogen auf Energiebezugsfläche (Korrekturfaktor auf BGF 0,75); Mittelwert $EEB_{Hei}z$ 81 kWh/m²a.

Ergänzend zu den in Abbildung 5 bis Abbildung 7 dargestellten Verteilungen mit den jeweiligen Mittelwerten stellt Voss einen Vergleich der Mittelwerte des Heizenergieverbrauchs von Bürogebäuden aus verschiedenen Literaturquellen (Q1 bis Q6) gegenüber. Dieser Vergleich ist in Abbildung 8 dargestellt.

Abbildung 8: Literaturangaben zu Heizenergieverbrauch von Bürogebäuden



Quelle: Voss, 2005: Endenergieverbrauch (Wärme) von Verwaltungsgebäuden; Werte bezogen auf die Nettogrundfläche (Korrektur auf BGF: 0,85); Mittelwert EEBHeiz 117 kWh/m²a.

Die bisher gezeigten Abbildungen geben Auskunft über die Verteilung und Mittelwerte von Energieverbrauchswerten von Bürogebäuden in verschiedenen Studien. In der folgenden Tabelle 6 wird gezeigt, wie eine mögliche Einordnung in unterschiedliche Energieklassen vorgenommen werden kann:

Tabelle 6: Charakteristische Werte des Energiebedarfs für verschiedene Energieklassen von Bürogebäuden

	EEB	EEB_{Heiz}	HWB
Altbau	214	144	121
Standard	201	83	60
Niedrigenergie	117	53	32

Quelle: :Hennings, 2000: Primärenergieverbrauch in [kWh/m²$_{NGF}$.a] bezogen auf Nettogeschoßfläche (Korrektur auf BGF: 0,85, Korrektur von PEB auf EEB: 1/1,10).

Auf Grundlage der dargestellten Untersuchungen wurden für den Gebäudetyp Bürogebäude (BÜRO) die in Tabelle 7 gezeigten Referenzwerte für die verschiedenen Energieklassen festgelegt. Dabei wurde der Wert der Energieklasse „Niedrigenergie“ analog zu den Wohngebäuden in Anlehnung an die Festlegungen der Richtlinie 6 des harmonisierten Baugesetzes (OIB, 2007) definiert. Für die Energieklassen „Standard“ und „Altbau“ wurden charakteristische Werte des Heizwärmebedarfs aus den dargestellten Verteilungskurven und Literaturangaben herangezogen.

Tabelle 7: Heizwärmebedarf (HWB_{BGF}) für Bürogebäude verschiedener Energieklassen in [kWh/m²$_{BGF}$.a]

Energieklasse	Heizwärmebedarf
Altbau	120
Standard	65
Niedrigenergie	40

4.2.4 HWB-Zielmatrix

Abschließend erfolgt hier eine Zusammenfassung der einzelnen Referenzwerte der Energieklassen ausgehend von den vorherigen Analysen in einer HWB-Matrix, die in Tabelle 8 dargestellt ist.

Tabelle 8: Zielwerte des spezifischen Heizwärmebedarfs (HWB_{BGF}) für verschiedene Gebäudetypen und Baualtersklassen bei Referenzklima

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau	Standard	Niedrigenergie	Passivhaus
Einfamilienhäuser (EFH)	151 kWh/m²a	91 kWh/m²a	55 kWh/m²a	15 kWh/m²a
Mehrfamilienhäuser (MFH)	123 kWh/m²a	78 kWh/m²a	45 kWh/m²a	--
Bürogebäude (BÜRO)	120 kWh/m²a	65 kWh/m²a	40 kWh/m²a	--

4.3 REFERENZGEBÄUDE

Entsprechend der in Tabelle 8 dargestellten HWB-Zielmatrix, die auf Grundlage von Literaturrecherchen erstellt wurde, wurden in weiterer Folge Referenzgebäude definiert, bei denen durch Variation verschiedener Parameter die festgelegten Zielwerte für den Heizwärmebedarf erreicht werden können. Je Gebäudeklasse wurde ein Referenzgebäude ausgewählt. Diese Gebäude werden in der Folge näher beschrieben.

Bei der Variation der Parameter „U-Werte der Bauteile“ und „Fensterflächenanteil“ wurde versucht, möglichst realitätsnah vorzugehen. Es wurde daher den einzelnen Energieklassen ein Baualter zugewiesen, für das jeweils U-Werte der verschiedenen Bauteile bekannt sind. Für die Energieklasse „Altbau“ wurde die Annahme getroffen, dass sie in der Periode 1945-1960 errichtet wurde, die Energieklasse „Standard“ entstand in den Jahren zwischen 1976 und 1990 und die Bauteile der Klasse „Niedrigenergie“ entsprechen im Wesentlichen den derzeitigen Anforderungen an wärmeübertragende Bauteile der Richtlinie 6 des harmonisierten Baugesetzes (OIB, 2007). Default-Werte für die anderen Gebäude-Energieklassen sind abhängig vom Gebäudealter im „Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden“ zur Richtlinie 6 des Baugesetzes vorgegeben (OIB, 2007a). Die Obergrenzen für U-Werte von Passivhäusern entstammen dem Kriterienkatalog für Passivhäuser (Feist, 1998). Die Vorgabewerte für alle Energieklassen sind in Tabelle 9 zusammengefasst.

Tabelle 9: Default-Werte für U-Werte verschiedener Bauteile

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau (nach 1945) W/m²K	Standard (nach 1976) W/m²K	Niedrigenergie (Grenzwert RL 6) W/m²K	Passivhaus (PH-Kriterien) W/m²K
Kellerdecke	1,35	0,71	0,40	0,15
Außenwände	1,30	1,00	0,35	0,15
oberste Geschoßdecke	1,10	0,85	0,20	0,15
Fenster	2,50	2,50	1,40	0,80

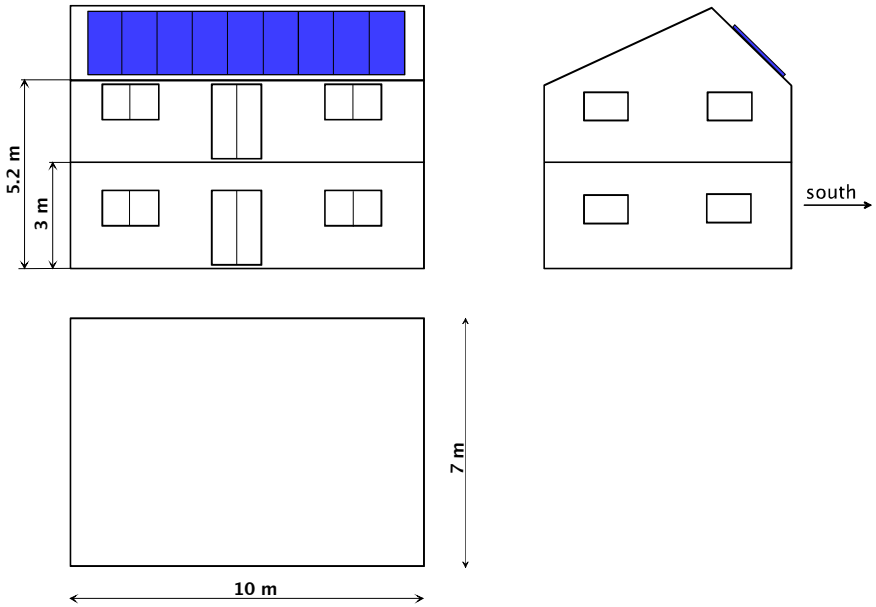
Quelle: OIB, 2007; Feist, 1998.

Bei der Beschreibung der einzelnen Referenzgebäude ist jeweils die Energieklasse „Standard“ dargestellt und näher erläutert. Die Angaben zu den übrigen Energieklassen finden sich in Anhang A.

4.3.1 Einfamilienhaus

Das Referenzgebäude EFH (Schema siehe Abbildung 9) entstammt den Arbeiten des IEA-SHC Task 26 (Heimrath, 2003).

Abbildung 9: Schematische Darstellung des Referenzgebäudes EFH (Grundriss und Ansichten)



Quelle: Heimrath, 2003.

Das gewählte Einfamilienhaus verfügt über zwei Geschoße, die jeweils eine Raumhöhe von 2,60 m aufweisen. Das Gebäude ist nicht unterkellert, auch der Dachraum ist nicht ausgebaut. Die Gebäudelängsachse ist West-Ost-orientiert.

Für das Referenzgebäude EFH wurden Außenabmessungen (Außenkante der tragenden Konstruktion) von 10,0 x 7,0 m festgelegt. Somit ergibt sich bei zwei Geschoßen – je nach Außenwand-Dämmstärke der jeweiligen Energieklasse, die nach außen zur tragenden Konstruktion angefügt wird – eine Bruttogrundfläche von circa 140 m². Das konditionierte Bruttovolumen des Gebäudes beträgt rund 462 m³. Die thermische Gebäudehülle setzt sich einerseits aus den Fassadenflächen und andererseits aus der obersten Geschoßdecke zum unbeheizten Dachraum und der Bodenplatte im Erdgeschoß zusammen. Die Werte für die Bruttoflächen der Zonenbegrenzungen sind beispielhaft für die Energieklasse „Standard“ in Tabelle 10 aufgelistet.

Das Oberflächen-Volums-Verhältnis (A/V) beträgt für das Referenzgebäude EFH 0,79 m^{-1}, die charakteristische Länge l_c 1,26 m.

Tabelle 10: Flächen und Kubaturen des Referenz-Wohngebäudes EFH der Energieklasse „Standard“

Bez.								
EFH STD	Gebäudetyp: Einfamilienhaus Energieklasse: Standard Zielwert HWB: 91 kWh/m²a							
A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	10,16	7,16	6,35			
BGF	Bruttogrundfläche	145,5	--	--	--			
V	Bruttovolumen	461,9	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	116,4	--	--	--			
B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	72,7	--	--	--	--	0,42	--
FA	Fassadenfläche	220,0	64,5	45,5	64,5	45,5	0,42	--
EB	erdberührter Boden	72,7	--	--	--	--	0,57	--
FE	Fensterflächen	44,0	6,5	9,1	19,4	9,1	2,20	0,67
	Fensterflächen-Anteil	20,0%	10,0%	20,0%	30,0%	20,0%	--	--

Auf Basis der Geometrieangaben des dargestellten Referenzgebäudes wurden durch die Verwendung charakteristischer Bauteilaufbauten und Fensterflächenanteile die Heizwärmebedarfs-Werte für die verschiedenen Energieklassen ermittelt. Angelehnt an die in der OIB-Richtlinie 6 festgelegten Default-Werte für Gebäude verschiedener Altersklassen (OIB, 2007) – die Default-Werte sind in Tabelle 9 aufgelistet – wurden die in Tabelle 11 dargestellten U-Werte festgelegt.

Tabelle 11: U-Werte verschiedener Bauteile für die einzelnen Energieklassen des Referenzgebäudes EFH

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau W/m²K	Standard W/m²K	Niedrigenergie W/m²K	Passivhaus W/m²K
Kellerdecke	0,76	0,57	0,32	0,14
Außenwände	0,67	0,42	0,24	0,14
oberste Geschoßdecke	0,64	0,42	0,15	0,10
Fenster	2,40	2,20	1,10	0,80

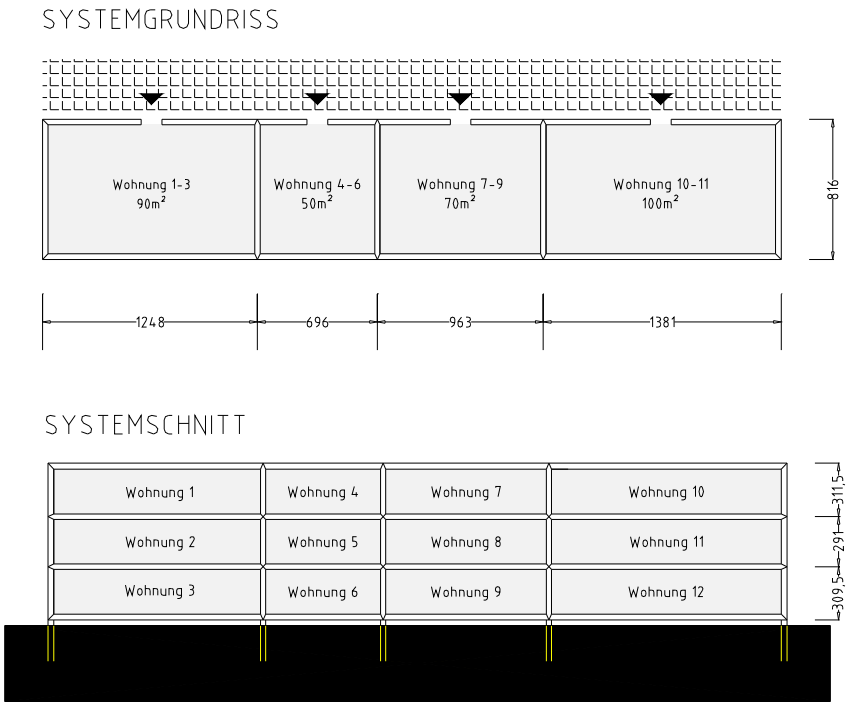
Zur Energieklasse „Passivhaus“ – die nur beim Gebäudetyp Einfamilienhaus dargestellt wird – ist festzuhalten, dass ein wesentliches Kriterium zum Erreichen dieses hohen Energiestandards der Einbau einer Wärmerückgewinnungsanlage (WRG) mit einem Wirkungsgrad von zumindest 75 % ist (Feist, 1998). Bei der Berechnung des Heizwärmebedarfs dieser Energieklasse wurde daher eine entsprechende Wärmerückgewinnungsanlage berücksichtigt. Es sei jedoch an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, dass die Berechnungsalgorithmen des Energieausweises nicht dafür vorgesehen sind Passivhäuser korrekt zu bewerten. Diese Bewertung kann nur mit dem

Passivhausprojektierungspaket (PHPP) vorgenommen werden (Feist, 2007). Auch wurde dieses virtuelle Beispielgebäude nicht gemäß den Planungsrichtlinien für Passivhäuser (Feist, 1998) entworfen. Aus diesen Gründen ist dieses Beispielgebäude eher als hochgedämmtes Niedrigenergiehaus denn als ein Passivhaus zu sehen. Die Bezeichnung „Passivhaus“ soll in dieser Arbeit demnach nicht als Markenbezeichnung, sondern nur zur Abgrenzung zu den Modellen für Niedrigenergiegebäude dienen.

4.3.2 Mehrfamilienhaus

Als Basis für das Referenzgebäude Mehrfamilienhaus (MFH) wurde ein Gebäude mit 12 Wohneinheiten, welches in Könighofer et al. (2001) entwickelt wurde, herangezogen, um ein typisches Referenzgebäude im mehrgeschoßigen Wohnbau darzustellen.

Abbildung 10: Schematische Darstellung des Referenzgebäudes MFH mit 12 Wohnungen (Grundriss und Schnitt)



Quelle: Darstellung gemäß Könighofer, 2001.

Beim Referenzgebäude MFH handelt es sich um einen dreigeschoßigen, langgestreckten Baukörper, dessen Längsachse Ost-West-orientiert ist. Die Erschließung erfolgt linear und offen an der nördlichen Längsseite. Jedes der drei Geschoße mit einer Raumhöhe von 2,60 m besteht aus vier Wohneinheiten mit 50, 70, 90 und 100 m² Bruttogrundfläche. Der Baukörper wird als vollständig unterkellert angenommen. Der Fensterflächenanteil der Südfassade liegt in der Energieklasse Standard bei 30 %, der Fensterflächenanteil der Nordfassade bei 10 %. Die Ost- und Westfassade weisen einen Fensterflächenanteil von

jeweils 20 % auf. Aufgrund der gewählten Baukörperabmessungen ergibt sich ein A/V-Verhältnis von 0,50 m^{-1} und ein l_c-Wert von 1,99 m.

Abbildung 10 zeigt das Gebäude in Grundriss und Schnitt. Die Bruttogrundfläche des gesamten Gebäudes liegt hier bei rund 1065 m². Die Werte für die Bruttoflächen der Zonenbegrenzungen des Referenzgebäudes MFH sind in Tabelle 12 aufgelistet. Die U-Werte der verschiedenen Energieklassen sind in Tabelle 13 dargestellt.

Tabelle 12: Flächen und Kubaturen des Referenz-Wohngebäudes MFH der Energieklasse „Standard“ mit 12 Wohneinheiten

Bez.								
MFH STD	*Gebäudetyp:* **Mehrfamilienhaus** *Energieklasse:* **Standard** *Zielwert HWB:* **78 kWh/m²a**							
A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	42,98	8,26	9,30			
BGF	Bruttogrundfläche	1065,0	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3301,6	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	852,0	--	--	--			
B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	355,0	--	--	--	--	0,42	--
FA	Fassadenfläche	953,1	399,7	76,8	399,7	76,8	0,42	--
EB	erdberührter Boden	355,0	--	--	--	--	0,57	--
FE	Fensterflächen	190,6	40,0	15,4	119,9	15,4	2,20	0,67
	Fensterflächen-Anteil	20,0%	10,0%	20,0%	30,0%	20,0%	--	--

Tabelle 13: U-Werte verschiedener Bauteile für die einzelnen Energieklassen des Referenzgebäudes MFH

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau W/m²K	Standard W/m²K	Niedrigenergie W/m²K	Passivhaus W/m²K
Kellerdecke	0,95	0,57	0,32	--
Außenwände	0,67	0,42	0,24	--
oberste Geschoßdecke	0,91	0,42	0,18	--
Fenster	2,40	2,20	1,30	--

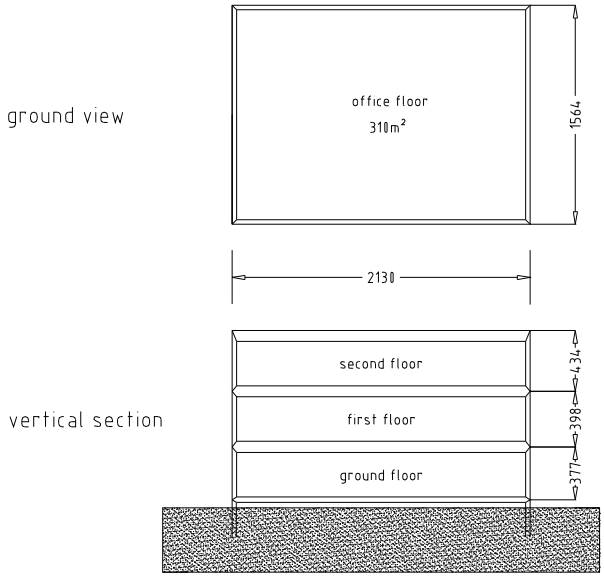
4.3.3 Bürogebäude

Das hier dargestellte Referenzgebäude BÜRO entstammt dem IEA SHC-Task 25 (Streicher, 2005). Es handelt sich dabei um ein dreigeschoßiges Bürogebäude, das vollständig unterkellert ist. Die Gebäudeachse ist auch hier Ost-West-orientiert, die Erschließung erfolgt im Inneren des Gebäudes. Die Bruttogrundfläche eines Geschoßes (Raumhöhe 3,00 m) beträgt rund 337 m², die Bruttogrundfläche des gesamten Gebäudes rund 1010 m². Der Fensterflächenanteil für die Energieklasse „Standard“ der Süd-, Ost-

und Westfassade beträgt rund 30 %, jener der Nordfassade rund 15 %. Das A/V-Verhältnis dieses Bürogebäudes beläuft sich auf 0,41 m^{-1}, der l_c-Wert auf 2,43 m.

Abbildung 11 zeigt eine schematische Darstellung des Referenzgebäudes BÜRO. In der daran anschließend abgebildeten Tabelle 14 sind die Flächen und Kubaturen des Gebäudes aufgelistet. Die U-Werte der verschiedenen Energieklassen sind in Tabelle 15 dargestellt.

Abbildung 11: Schematische Darstellung des Referenzgebäudes BÜRO (Grundriss und Schnitt)



Quelle: Darstellung gemäß Streicher, 2005.

Tabelle 14: Flächen und Kubaturen des Referenzgebäudes BÜRO der Energieklasse „Standard“

Bez.								
BUE STD	Gebäudetyp: Bürogebäude Energieklasse: Standard Zielwert HWB: 70 kWh/m²a							
A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	21,40	15,74	10,50			
BGF	Bruttogrundfläche	1010,5	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3536,8	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	808,4	--	--	--			
B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	336,8	--	--	--	--	0,42	--
FA	Fassadenfläche	779,9	224,7	165,3	224,7	165,3	0,42	--
EB	erdberührter Boden	336,8	--	--	--	--	0,57	--
FE	Fensterflächen	200,3	33,7	49,6	67,4	49,6	2,20	0,67
	Fensterflächen-Anteil	25,7%	15,0%	30,0%	30,0%	30,0%	--	--

Tabelle 15: U-Werte verschiedener Bauteile für die einzelnen Energieklassen des Referenzgebäudes BÜRO

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau	Standard	Niedrigenergie	Passivhaus
Kellerdecke	0,95	0,57	0,39	--
Außenwände	0,81	0,42	0,28	--
oberste Geschoßdecke	0,91	0,42	0,18	--
Fenster	2,40	2,20	1,30	--

4.3.4 Heizwärmebedarf- und Kühlbedarfs-Matrix

Für die beschriebenen Referenzgebäude wurden mithilfe der Berechnungsalgorithmen des Energieausweises (ÖNORM B 8110-6, 2007) die Heizwärmebedarfs-Werte für die einzelnen Gebäudetypen mit den spezifischen U-Werten und Fensterflächenanteilen je Energieklasse, unter Annahme der in Kapitel 4.4 dargestellten Randbedingungen, errechnet. Die ermittelten Werte sind in Tabelle 16 dargestellt.

Tabelle 16: Spezifischer Heizwärmebedarf (HWB_{BGF}) der verschiedenen Gebäudetypen je Energieklasse bei Referenzklima (siehe Kapitel 4.4)

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau	Standard	Niedrigenergie	Passivhaus
Einfamilienhäuser	173 kWh/m²a	123 kWh/m²a	55 kWh/m²a	15 kWh/m²a
Mehrfamilienhäuser	123 kWh/m²a	79 kWh/m²a	41 kWh/m²a	--
Bürogebäude	114 kWh/m²a	70 kWh/m²a	36 kWh/m²a	--

Die errechneten Werte unterscheiden sich geringfügig von den in Tabelle 8 festgelegten HWB-Zielwerten. Diese Abweichungen sind in erster Linie darauf zurückzuführen, dass versucht wurde, die U-Werte und Fensterflächenanteile möglichst realistisch zu wählen und vor allem ähnliche Aufbauten für die verschiedenen Gebäudetypen zu verwenden. Dabei wurde beispielsweise berücksichtigt, dass private Bauherren von Einfamilienhäusern meist versuchen, höhere Dämmstandards zu erreichen als Errichter von Wohnhausanlagen. Die Mehrinvestitionen in bessere Dämmung wirken sich später direkt auf die Heizkosten aus, die bei Einfamilienhäusern meist vom Bauherrn selbst getragen werden. Im Unterschied dazu versuchen Errichter von Mehrfamilienhäusern, die die späteren Heizkosten auf die Mieter oder Eigentümer abwälzen, die Errichtungskosten möglichst zu minimieren und Dämmstärken so weit wie möglich zu reduzieren.

Die Unterschiede im Heizwärmebedarf zwischen den beiden Gebäudetypen EFH und MFH ergeben sich in erster Linie durch die unterschiedlichen A/V-Verhältnisse der beiden Gebäudetypen. Durch die verhältnismäßig größere Fläche der thermischen Gebäudehülle des Referenzgebäudes EFH sind auch die entstehenden Wärmeverluste

über die Gebäudehülle wesentlich größer. Dies verursacht einen wesentlich größeren Heizwärmebedarf.

Die Unterschiede zwischen Mehrfamilienhaus und Bürogebäude ergeben sich primär aus dem Einfluss der internen Lasten aus der Gebäudebeleuchtung. Der dadurch eingesparte Heizwärmebedarf macht die zusätzlich erforderliche Energie, die durch das im Fall der Referenzgebäude schlechtere A/V-Verhältnis des Bürogebäudes notwendig wird, mehr als wett.

Zusätzlich zum Heizwärmebedarf stellt der Kühlbedarf einen gebäudespezifischen Kennwert dar. Der Kühlbedarf der Referenzgebäude für die verschiedenen Energieklassen ist in Tabelle 17 dargestellt.

Tabelle 17: Spezifischer Kühlbedarf (KB_{BGF}) der verschiedenen Gebäudetypen je Energieklasse bei Referenzklima (siehe Kapitel 4.4)

Gebäudetyp / Energieklasse	Altbau	Standard	Niedrigenergie	Passivhaus
Einfamilienhäuser	1,1 kWh/m²a	2,2 kWh/m²a	3,0 kWh/m²a	1,7 kWh/m²a
Mehrfamilienhäuser	0,5 kWh/m²a	1,1 kWh/m²a	1,7 kWh/m²a	--
Bürogebäude	1,6 kWh/m²a	4,4 kWh/m²a	6,1 kWh/m²a	--

4.4 RANDBEDINGUNGEN

4.4.1 Klima

Die Werte für den Heizwärmebedarf und den Kühlbedarf der dargestellten Referenzgebäude gemäß ÖNORM B 8110-5 (ÖNORM, 2007b) wurden hier für ein Referenzklima mit den in Tabelle 38 (Anhang B) dargestellten klimatischen Bedingungen berechnet. Dieses Referenzklima wird in weiterer Folge um die in Kapitel 5.3 ausgewiesenen Klimaänderungssignale für die einzelnen Klimazonen erweitert. Die Ergebnisse dieser umfassenden Integration des Klimaänderungssignals für die Parameter Temperatur und Globalstrahlung in den Energieausweis werden in Kapitel 6 dargestellt.

4.4.2 Nutzungsprofile

Die Berechnung der erforderlichen Nutzenergie für Beheizung und Kühlung der Referenzgebäude erfolgt auf Basis von Nutzungsprofilen, die in der ÖNORM B 8110-5 festgelegt sind (ÖNORM, 2007b). Durch Verwendung dieser Nutzungsprofile ist gewährleistet, dass der Einfluss des Nutzerverhaltens auf die Ergebnisse der Bedarfsberechnungen berücksichtigt wird. In Tabelle 39 (Anhang C) sind diese Standard-Nutzungsprofile für verschiedene Arten der Gebäudenutzung dargestellt. In dieser

Untersuchung kommen lediglich die ersten beiden Nutzungskategorien (Wohngebäude, Bürogebäude) zur Anwendung.

5 Hochaufgelöste Klimadaten

5.1 AUSGANGSLAGE UND AUFGABENSTELLUNG

Klimaszenarien beschreiben die für die Zukunft zu erwartenden Veränderungen des Klimasystems und sind Grundlage für jegliche weiterführende Abschätzung der Auswirkungen des Klimawandels auf unsere Gesellschaft. Klimaszenarien werden auf Basis von Emissionsszenarien und daraus resultierenden Treibhausgaskonzentrationen in der Atmosphäre mit räumlich meist grob aufgelösten globalen Klimamodellen erstellt (die typische Seitenlänge einer Zelle solcher Klimamodelle beträgt ~200 km). Auf der globalen Skala kann der zu erwartende Klimawandel, z.B. der zu erwartende Anstieg der weltweiten Durchschnittstemperatur, im Rahmen gewisser Unsicherheitsbereiche gut beschrieben werden (z. B. IPCC, 2007).

Für die Gesellschaft relevante Auswirkungen des Klimawandels spielen sich aber meist auf regionaler und lokaler Skala ab. Um diese Diskrepanz zu überbrücken, wurde im vorliegenden Fall die Methode der Dynamischen Regionalen Klimamodellierung (Giorgi and Mearns, 1999) angewandt, die es als einzige ermöglicht, den Zustand der Atmosphäre als Gesamtes konsistent mit physikalischen Grundgesetzen (Navier-Stokes Gleichungen) auf höhere Auflösungen zu bringen. Dazu werden regionale Klimamodelle (RCM) mit Simulationsergebnissen globaler Klimamodelle (GCM) angetrieben. In ihrer Auflösung sind RCMs aus verschiedenen Gründen auf horizontale Gitterpunktabstände von 10 km oder größer limitiert. Klimamodellierungen mit höherer (d.h. lokaler) Auflösung sind zwar technisch und physikalisch sinnvoll, aber in ihrer Qualität derzeit noch fragwürdig. Diesbezüglich ist eine weitere Entwicklung der Modelle nötig und auch im Gange.

Im Rahmen des nationalen Forschungsprojekts „Research for Climate Protection: Model Run Evaluation“ (reclip:more[6]) (Loibl et al., 2007) hat das Wegener Zentrum ein Klimaszenario für Österreich und den gesamten Alpenraum in einer Auflösung von 10 km × 10 km erstellt (Gobiet et al., 2006). Basierend auf diesen Daten wurde eine räumlich stark differenzierte Analyse des zu erwartenden Klimawandels für Österreich in Subregionen durchgeführt, um die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heizwärme- und Kühlbedarf von Gebäuden entsprechend ÖNORM B 8110-6 (ÖNORM, 2007) abschätzen zu können.

5.2 METHODIK

Für das zugrunde liegende Klimaszenario wurden die Simulationsergebnisse des globalen Klimamodells ECHAM5 (Roeckner et al., 2003) mithilfe des regionalen Klimamodells MM5 (Dudhia, 1993) verfeinert. Das resultierende Klimaszenario liegt gerastert in Gitterzellen von 10 km × 10 km für den gesamten Alpenraum vor und beschreibt, basierend auf beobachteten Treibhausgaskonzentrationen, den Vergleichszeitraum 1981-

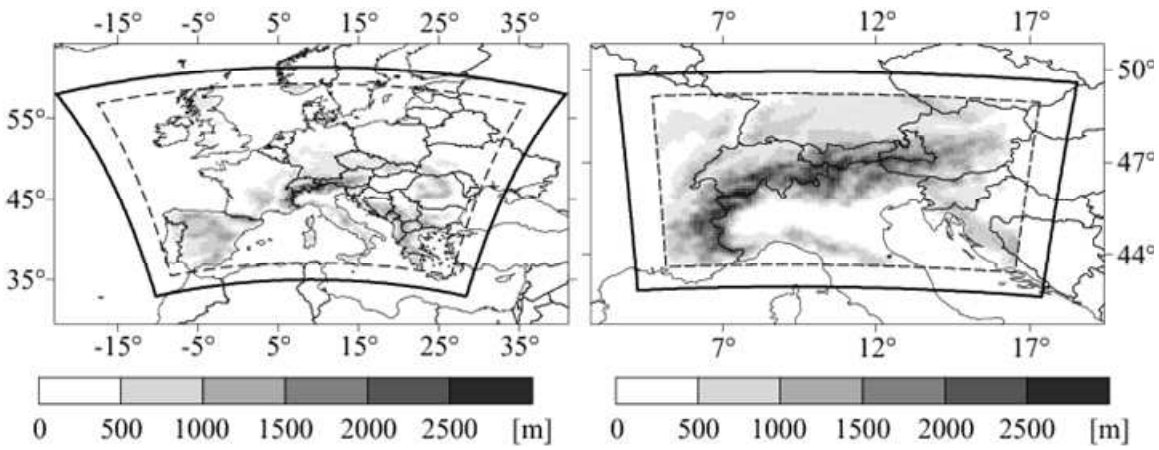
6 siehe dazu auch: http://systemsresearch.ac.at/projects/climate/

1990 und, basierend auf dem IPCC Emissions-Szenario IS92a (Leggett et al., 1992), den zukünftigen Zeitraum 2041-2050. Aus dem Vergleich der Simulationen beider Zeiträume kann ein Klimaänderungsszenario abgeleitet werden, das der zu erwartenden Klimaänderung während eines Zeitraums von 60 Jahren entspricht.

Um die nötige hohe Zielauflösung zu erreichen, wurden die grob aufgelösten Datenfelder aus dem globalen Modell (~120 km Gitterweite) durch zweifaches Einbetten kleinerer Simulationsgebiete, in denen MM5 in hoher räumlicher Auflösung betrieben wurde, sukzessive auf höhere Auflösungen gebracht (30 km × 30 km Gitter für den Großteil von Europa und 10 km × 10 km für den Alpenraum; siehe Abbildung 12). Weitere Details zur Modellkonfiguration können dem reclip:more Arbeitsbericht (Gobiet et al., 2006) entnommen werden.

Abbildung 12: Räumliche Konfiguration der Simulationsgebiete von MM5

.

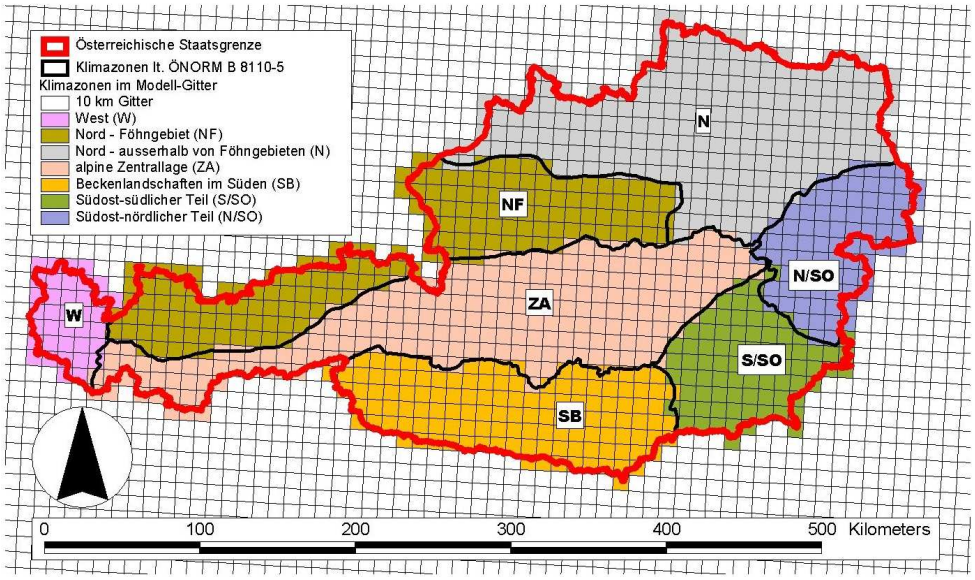


Links: Gebiet 1 (Europa mit 30 km × 30 km Gitterzellen). Rechts: Gebiet 2 (Alpenraum mit 10 km × 10 km Gitterzellen). Die Topographie im Modell ist grau schattiert und die Übergangszone, in der das Modell an seine Randbedingungen ankoppelt ist, strichliert eingezeichnet.

Zur Quantifizierung der Klimaänderung in den Subregionen wurde die höchste Auflösungsstufe (Alpenraum, 10 km Gitterweite; Abbildung 12 rechts) herangezogen. Es wurden ausschließlich Differenzen zwischen den Simulationen der beiden Perioden 1981-1990 (Basissimulation) und 2041-2050 (Szenariosimulation) in Betracht gezogen, um mögliche systematische Modellfehler zu reduzieren und die Qualität der Aussagen zu erhöhen.

Die Vorschriften der ÖNORM B 8110-5 teilen das österreichische Staatsgebiet in sieben Klimaregionen ein (Abbildung 13):

Abbildung 13: Die sieben Klimazonen der ÖNORM B 8110-5 gerastert auf dem Modellgitter im Alpenraum (Gebiet 2 mit 10 km × 10 km Gitterzellen)



Innerhalb jeder Region werden zur Beschreibung des Standortklimas eines Gebäudes mittlere Monatsmittel der Temperatur sowie mittlere Monatssummen der Globalstrahlung ausgewiesen, welche über die Seehöhe am jeweiligen Standort des Gebäudes zu korrigieren sind. Die angegebenen Werte der Temperaturen und deren Koeffizienten zur Höhenkorrektur basieren auf Beobachtungsdaten der Klimanormalperiode 1961 bis 1990, entsprechende Werte der Strahlung auf der Periode 1971 bis 2000. Zur Berechnung der korrigierten mittleren Monatsmitteltemperatur (θ_e) wird in der Norm ein lineares Dreischichten-Regressionsmodell (Höhen bis 750 m, größer 750 m bis 1500 m und größer 1500 m) nach folgender Gleichung verwendet:

$$\theta_e = \begin{cases} a_{h \le 750} \\ a_{750 < h \le 1500} \\ a_{1500 < h} \end{cases} + \begin{cases} b_{h \le 750} \\ b_{750 < h \le 1500} \\ b_{1500 < h} \end{cases} \cdot h \qquad \text{Glg. 1}$$

θ_e mittlere Monatsmitteltemperatur [°C]

a Regressionskoeffizient pro Höhenschicht (konstanter Term) [°C]

b Regressionskoeffizient pro Höhenschicht (linearer Term) [°C/100 m]

h Seehöhe [100 m]

Die Regressionskoeffizienten a und b variieren je nach Klimaregion, Höhenschicht und Monat. Die korrigierten Monatssummen der Globalstrahlung (I_s) ergeben sich aus einem Polynom zweiten Grades:

$$I_s = a_0 + a_1 \cdot h + a_2 \cdot h^2$$ Glg. 2

I_s mittlere Monatssummen der Globalstrahlung [kWh/m²]

a_0 Regressionskoeffizient (konstanter Term) [kWh/m²]

a_1 Regressionskoeffizient (linearer Term) [kWh/m]

a_2 Regressionskoeffizient (quadratischer Term) [kWh/m²]

h Seehöhe [m]

Die Koeffizienten a_0, a_1 und a_2 variieren je nach Klimaregion und Monat. Darüber hinaus sind seehöhenunabhängige Transpositionsfaktoren angegeben, mit denen es möglich ist, die korrigierten Monatssummen der Globalstrahlung durch einfache Multiplikation auf beliebig geneigte und beliebig orientierte Flächen umzurechnen.

Da sich die Regressionskoeffizienten als Flächenmittel der Klimazonen verstehen, werden die Klimazonen auf das diskrete Modellgitter mit 10 km Auflösung übertragen (Abbildung 13). Unter folgenden, vereinfachenden Annahmen reduziert sich die weitere Implementierung des Klimaszenarios in die Rechenvorschriften der ÖNORM auf die Quantifizierung der Klimaänderung der Koeffizienten a und a_0 auf Monatsbasis als Flächenmittel der Klimazonen im Modellgitter:

- Der (sehr geringe) Fehler, der sich durch das Übertragen der Klimazonen der ÖNORM auf das diskrete, begrenzt aufgelöste Modellgitter ergibt, wird vernachlässigt.
- Die Höhenabhängigkeit der Klimaänderung wird nur grob berücksichtigt indem die Klimazonen Bereiche mit unterschiedlichen Seehöhen repräsentieren (vgl. Region ZA mit Region S/SO). Der Einfluss dieser Vereinfachung auf das Klimaänderungssignal wird auf unter 10 % geschätzt.
- Weiters wird der Einfluss des Klimawandels auf die Transpositionsfaktoren der Globalstrahlung (Richtungsabhängigkeit) vernachlässigt.

Zur Berechnung der geänderten Regressionskoeffizienten a^* wird ein Additionsansatz gewählt, der darin besteht, die Flächenmittel der monatlichen Temperaturänderungen ($\overline{\Delta a}$, gleitendes 3-Monats-Mittel) pro Klimazone unabhängig von der Seehöhe zu den Koeffizienten a hinzuzuzählen (Glg. 3).

$$\begin{cases} a^*_{h \le 750} \\ a^*_{750 < h \le 1500} \\ a^*_{1500 < h} \end{cases} = \begin{cases} a_{h \le 750} \\ a_{750 < h \le 1500} + \overline{\Delta a} \\ a_{1500 < h} \end{cases}$$ Glg. 3

a^* geänderter Regressionskoeffizient pro Höhenschicht und Monat im Dreischicht-Regressionsmodell (konstanter Term) [°C].

a Regressionskoeffizient pro Höhenschicht und Monat (konstanter Term) [°C].

$\overline{\Delta a}$ Flächenmittel der monatlichen Temperaturänderung [°C] in der jeweiligen Klimazone.

Durch diese Vorgangsweise („Delta-Ansatz“) werden systematische Klimamodellfehler verringert und damit die Verlässlichkeit des Klimaszenarios wesentlich verbessert.

Bei der Globalstrahlung wird ein konzeptionell ähnlicher Ansatz gewählt, wobei aber entsprechend der Charakteristik der Globalstrahlung (Monatssummen) das Klimawandelsignal als multiplikativer Faktor eingebracht wird. Zur Berechnung der geänderten Koeffizienten a_0^* werden die Flächenmittel der relativen Änderungen der Monatssummen der Globalstrahlung ($\overline{\Delta_r I_s}$, gleitendes 3-Monats-Mittel) herangezogen (Glg. 4), wobei die Modellfehler dadurch wieder stark reduziert werden.

$$a_0^* = a_0 \cdot \overline{\Delta_r I_s} \qquad \text{Glg. 4}$$

a_0^* geänderter Regressionskoeffizient [kWh/m²]

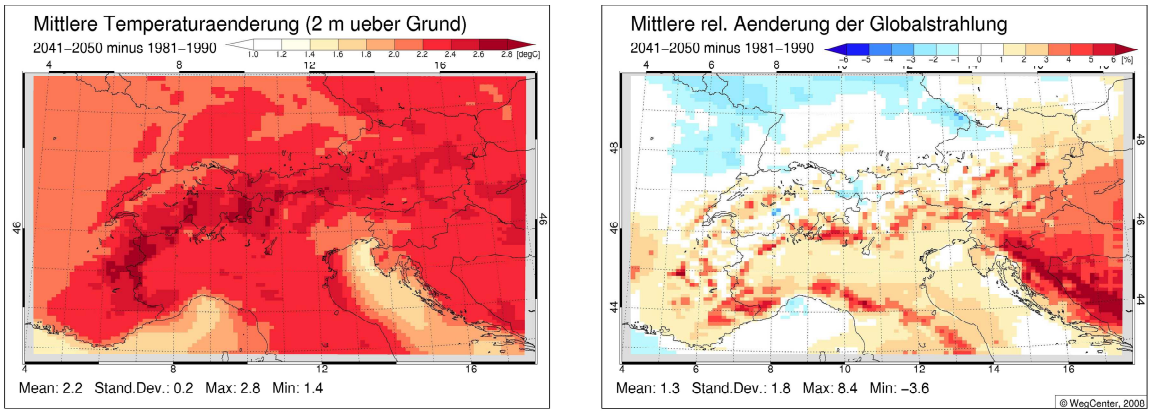
a_0 Regressionskoeffizient (konstanter Term) [kWh/m²]

$\overline{\Delta_r I_s}$ Flächenmittel der relativen Änderungen der Monatssummen der Globalstrahlung

5.3 ERGEBNISSE DER KLIMASIMULATION

Die Auswertungen der Klimasimulationen ergeben eine mittlere jährliche Temperaturerhöhung von +2,2 C° im gesamten Alpenraum mit stärkeren Zunahmen von +2,8 °C in den höchsten Gebieten der Alpen (Schweiz, Frankreich). Die Änderung der jährlichen Globalstrahlung beträgt im Mittel +1,3 % wobei es nordwestlich der Alpen zu Abnahmen um bis zu 3,6 % und zu Zunahmen um bis zu +8,4 % südöstlich der Alpen kommt. Innerhalb von Österreich ergeben sich jährliche Änderungen im Bereich zwischen ±3 % (Abbildung 14).

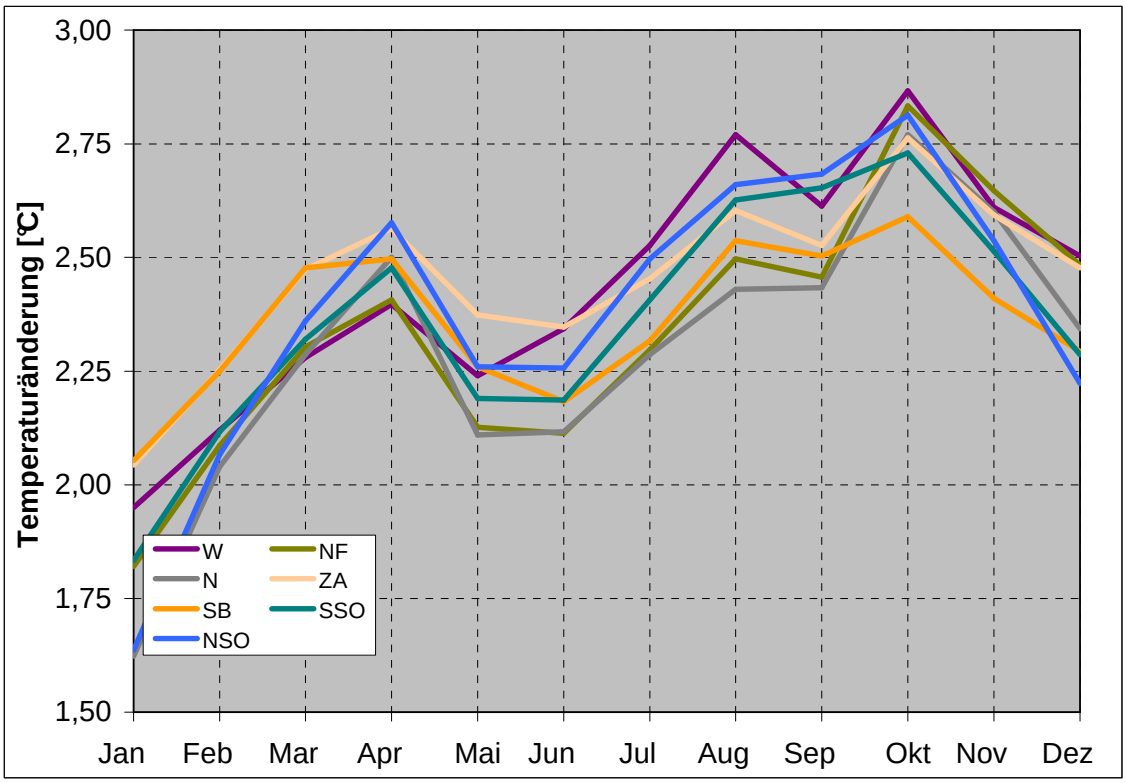
Abbildung 14: Mittlere Klimaänderung im Alpenraum (Gebiet 2 mit 10 km × 10 km Gitterzellen) errechnet aus Differenzen der Perioden 2041-2050 und 1981-1990



Links: Mittlere Änderung der Jahresdurchschnittstemperatur [°C] (2 m über Grund). Rechts: Mittlere relative Änderung der Jahressummen der Globalstrahlung [%].

Die Monatsmittel der Klimaänderungen in den einzelnen Klimaregionen der ÖNORM zeigen höhere Variabilitäten mit ausgeprägten Jahresgängen: die Temperaturänderungen schwanken je nach Region zwischen +1,6 C° im Jänner (N) und +2,9 °C im Oktober (W) (Abb. 15, links). Dennoch verhalten sich die Klimaregionen innerhalb einer Bandbreite von ~0,5 °C sehr ähnlich, was die schwach ausgeprägte Höhenabhängigkeit der Temperaturänderung zum Ausdruck bringt. Die Änderungen der Globalstrahlung liegen zwischen +11,2 % im Oktober (S/SO) und 8,1 % im November (W) (Abb. 15, rechts). Die einzelnen Klimaregionen zeigen unterschiedliches Verhalten, wobei Ähnlichkeiten zwischen Regionen mit hohem Gebirgsanteil (W, NF und ZA) und jenen mit geringem Gebirgsanteil festzustellen sind. Generell ergibt sich innerhalb Österreichs ein Gradient von Nordwest (geringe Zunahmen) nach Südost (stärkere Zunahme). In den Monaten Juli bis Oktober zeigen alle Regionen Zuwächse im Bereich zwischen +1,2 % und +11,2 %. In den Gebirgsregionen kommt es in den Monaten April bis Juni zu Rückgängen zwischen 0,9 % und 5,0 %.

Abbildung 15: Flächenmittel der monatlichen Klimaänderungen errechnet aus Differenzen der Klimasimulationen der Perioden 2041-2050 und 1981-1990 pro Klimaregion auf dem Modellgitter von Gebiet 2 (10 km × 10 km Gitterzellen).



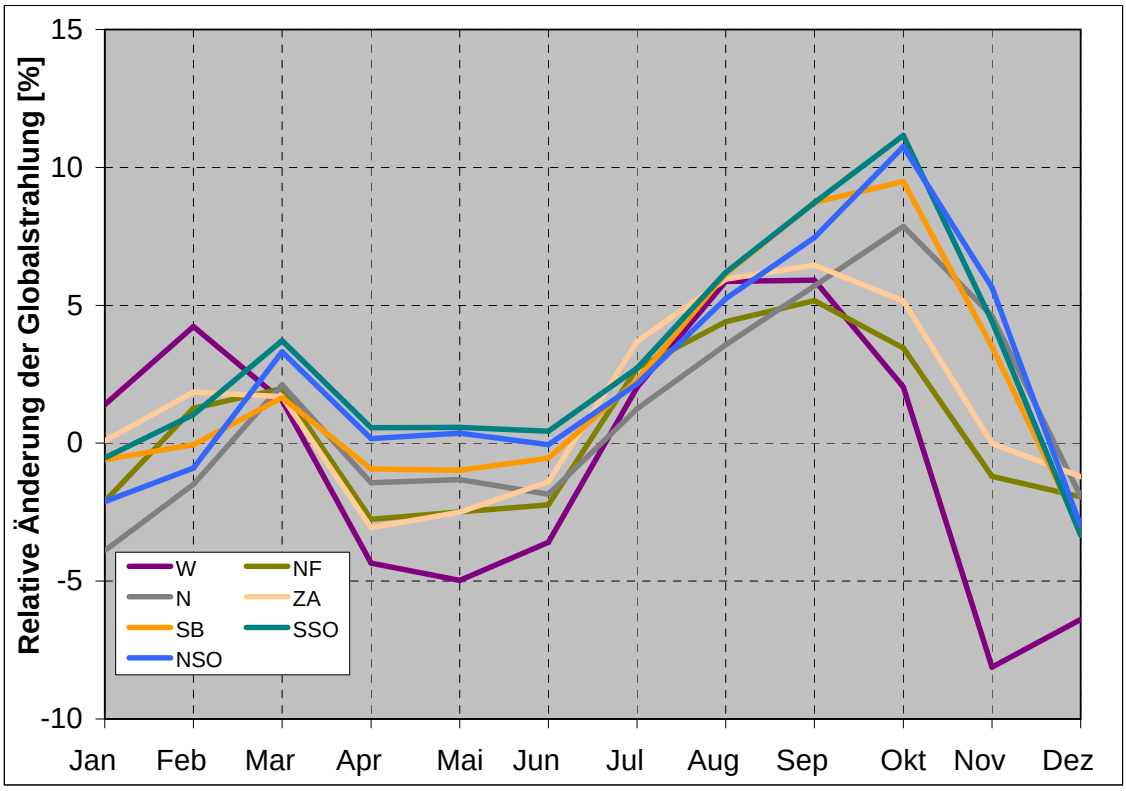


Bild 1: Mittlere monatliche Temperaturänderungen ($\overline{\Delta a}$) [°C]. Bild 2: Mittlere relative Änderungen der Monatssummen der Globalstrahlung ($\overline{\Delta_r I_s}$) [%].

Die geänderten Koeffizienten a^* und a_0^* zur Implementierung in die Regressionsmodelle der ÖNORM sind in Tabelle 18 und Tabelle 19 aufgelistet.

Tabelle 18: Durch die Klimaänderung adaptierte Werte der Regressionskoeffizienten a^* [°C] pro Höhenschicht und Monat zur Implementierung in das Dreischicht-Regressionsmodell der ÖNORM B 8110-5

		Jan	Feb	Mar	Apr	May	Jun	Jul	Aug	Sep	Oct	Nov	Dez
W	h <= 750 m	2,60	4,65	8,67	13,37	17,60	20,83	23,03	22,58	18,84	13,83	8,42	4,87
W	750 m < h <= 1500 m	0,52	3,71	8,29	12,84	17,04	19,99	22,05	21,00	17,69	12,29	6,23	1,28
W	1500 m < h	6,26	7,18	10,86	15,12	19,74	23,25	25,61	25,32	22,24	17,88	11,48	7,51
NF	h <= 750 m	1,56	3,84	8,14	13,01	17,27	20,36	22,27	21,99	18,33	13,30	7,88	4,11
NF	750 m < h <= 1500 m	-1,42	2,12	7,21	12,13	16,50	19,27	20,75	20,10	16,81	11,27	5,12	-0,22
NF	1500 m < h	6,13	7,14	10,88	15,13	19,63	23,02	25,38	25,04	22,08	17,84	11,52	7,49
N	h <= 750 m	0,70	3,15	7,48	12,72	16,99	20,13	21,96	21,66	17,79	12,65	7,38	3,64
N	750 m < h <= 1500 m	-2,94	0,79	5,90	11,45	15,95	18,80	20,14	19,51	15,76	10,04	4,17	-1,02
N	1500 m < h	5,93	7,10	10,86	15,23	19,61	23,02	25,37	24,98	22,06	17,78	11,47	7,35
ZA	h <= 750 m	0,91	3,52	8,00	13,18	17,61	20,56	22,35	22,12	18,35	12,94	7,38	3,24
ZA	750 m < h <= 1500 m	-2,94	1,30	6,76	12,31	16,92	19,44	20,77	20,25	16,79	10,62	4,17	-1,95
ZA	1500 m < h	6,35	7,31	11,05	15,29	19,88	23,25	25,54	25,15	22,15	17,77	11,47	7,48
SB	h <= 750 m	0,16	3,54	8,47	13,76	18,19	21,41	23,34	22,90	18,95	13,02	7,03	2,43
SB	750 m < h <= 1500 m	-4,46	1,36	7,69	13,53	18,18	21,31	22,87	21,87	18,01	10,95	3,65	-3,39
SB	1500 m < h	6,36	7,31	11,05	15,22	19,76	23,09	25,40	25,08	22,13	17,60	11,28	7,30
SSO	h <= 750 m	0,82	3,73	8,22	13,51	17,79	20,98	22,79	22,39	18,68	13,25	7,62	3,37
SSO	750 m < h <= 1500 m	-0,54	3,07	7,90	13,17	17,48	20,66	22,38	21,83	18,23	12,65	6,56	1,53
SSO	1500 m < h	6,14	7,17	10,90	15,20	19,69	23,09	25,49	25,17	22,28	17,74	11,39	7,29
NSO	h <= 750 m	1,26	3,83	8,31	13,56	17,76	20,93	23,01	22,68	18,92	13,50	7,93	4,01
NSO	750 m < h <= 1500 m	-1,83	2,12	7,50	13,06	17,34	20,27	22,04	21,31	17,77	11,69	5,33	-0,16
NSO	1500 m < h	5,94	7,12	10,94	15,30	19,76	23,16	25,58	25,21	22,31	17,82	11,41	7,23

Tabelle 19: Durch die Klimaänderung adaptierte Werte der Regressionskoeffizienten a_0^* [kWh/m²] pro Monat zur Implementierung in das Regressionsmodell der ÖNORM B 8110-5

	Jan	Feb	Mar	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez
W	22,94	39,95	69,51	100,73	137,81	146,02	164,42	142,56	96,57	52,16	20,64	16,66
NF	22,08	41,90	71,24	98,89	146,27	144,59	161,21	137,51	93,67	58,85	22,92	17,83
N	24,78	47,64	84,70	115,57	159,91	164,12	165,72	144,70	105,22	70,30	30,34	18,85
ZA	30,69	48,42	74,69	98,28	139,40	140,94	150,10	128,58	87,29	61,46	28,32	22,62
SB	30,69	60,44	95,24	114,88	159,57	166,20	177,34	154,70	114,20	73,78	29,73	21,68
SSO	32,12	57,08	94,81	119,35	169,94	173,80	182,01	161,07	118,35	83,02	37,56	24,91
NSO	25,86	49,35	87,23	123,33	171,90	176,93	180,58	158,24	112,10	74,88	31,21	19,32

6 Ergebnisse

In diesem Kapitel werden nun die Ergebnisse der Integration des Klimaänderungssignals für die Parameter Temperatur und Globalstrahlung in das Drei-Schichten-Höhenmodell der ÖNORM B 8110-5 (ÖNORM, 2007b) dargestellt. Um eine Interpretation der Ergebnisse zu ermöglichen, wird zunächst für alle drei Gebäudetypen eine systematische graphische Darstellung der Werte für die einzelnen Modellgebäude gezeigt. Folgende Hinweise erleichtern die Interpretierbarkeit der Abbildungen:

- der Heizwärmebedarf (HWB) wird in Rot-Tönen, der Kühlbedarf (KB) jeweils in Blautönen dargestellt.
- Die Werte werden bei allen Auswertungen in Abhängigkeit von der Seehöhe (x-Achse), von 100 bis 1500 Höhenmeter gezeigt, was mit wenigen Ausnahmen (z.B. Hochsölden) dem Siedlungsraum in Österreich entspricht.
- Die Abbildungen auf der linken Seite stellen jeweils die HWB- und KB-Werte für die derzeit in der ÖNORM implementierten historischen Klimamittel und nach Berücksichtigung des Klimaänderungssignals (strichliert) dar. Die y-Achsen der Graphiken sind so skaliert, dass eine Einheit HWB einer Einheit KB entspricht. Wichtig ist, dass der KB, wie in der internationalen Literatur üblich, spiegelverkehrt dargestellt wird.
- Die Abbildungen auf der rechten Seite zeigen jeweils die absolute (oben) und relative (unten) Änderung des HWB bzw. KB.
- Die „Auffälligkeiten“ beim HWB jeweils zwischen 750 und 800 Höhenmetern sind durch Sprünge im Höhenschichtregressionsmodell der ÖNORM B 8110-5 zwischen zwei Regressionsgleichungen bedingt. Für einige Klimazonen weisen diese linearen Regressionsgleichungen für 800 Höhenmeter (2. Gleichung) geringere Werte aus als für 750 Höhenmeter (1. Gleichung), was jedoch auf keine tatsächlich beobachtbare meteorologische Ursache zurückzuführen ist.
- Die Kürzel der Klimazonen werden wie in Abbildung 16 verwendet (und entsprechen):

  N Nord (Wien, nördliches Niederösterreich und Oberösterreich)

  NF nördliches Föhngebiet (nördliches Tirol, Salzburger u. oberösterreichisches Seengebiet)

  NSO Südost/Nördlicher Teil (Nordburgenland)

  SB Beckenlandschaften im Süden (Osttirol, Kärnten)

  SSO Südost-Südlicher Teil (Ost-/West-Südsteiermark, Südburgenland)

  W West (Vorarlberg)

  ZA Alpine Zentrallage (südliches Nordtirol, Bundesland Salzburg, Obersteiermark).

6.1 EINFAMILIENHÄUSER (EFH)

Abbildung 16: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Altbau)

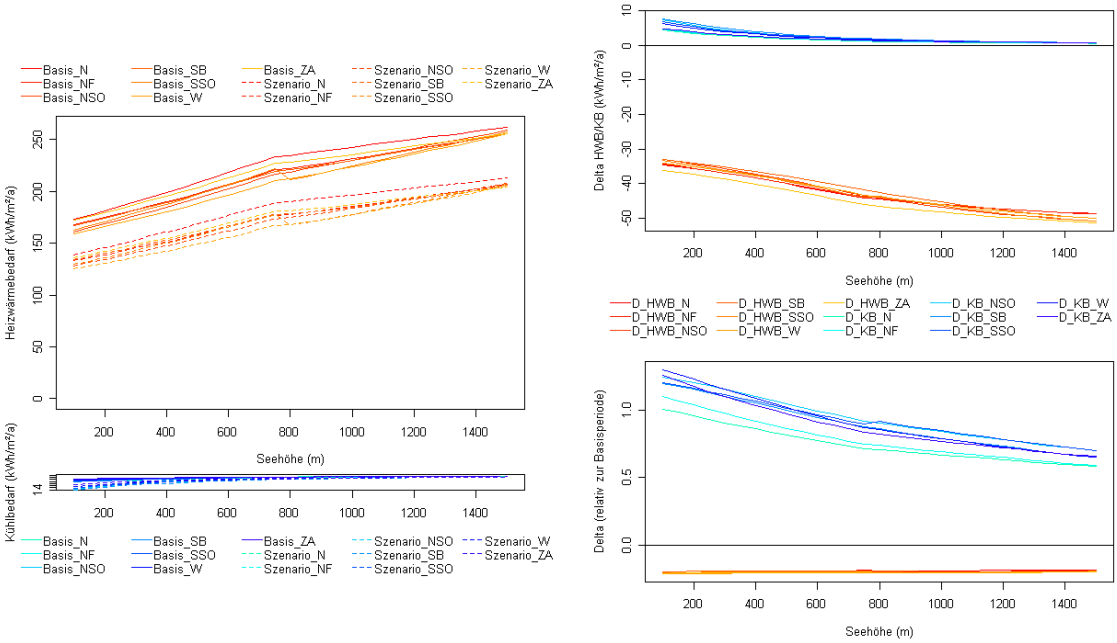


Abbildung 17: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Standard)

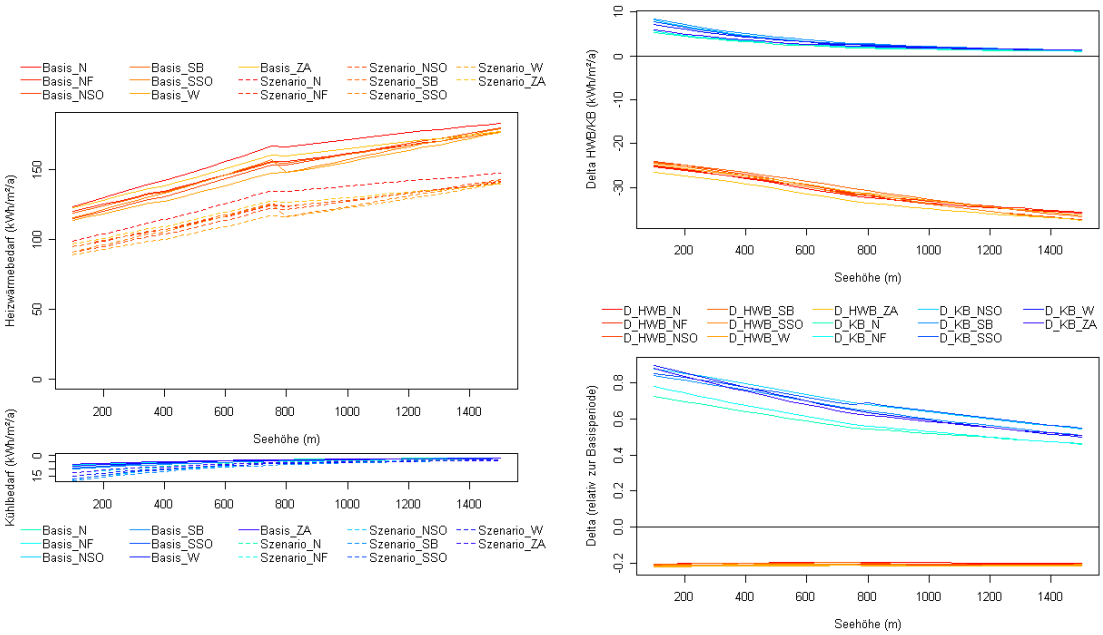


Abbildung 18: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Niedrigenergiehaus)

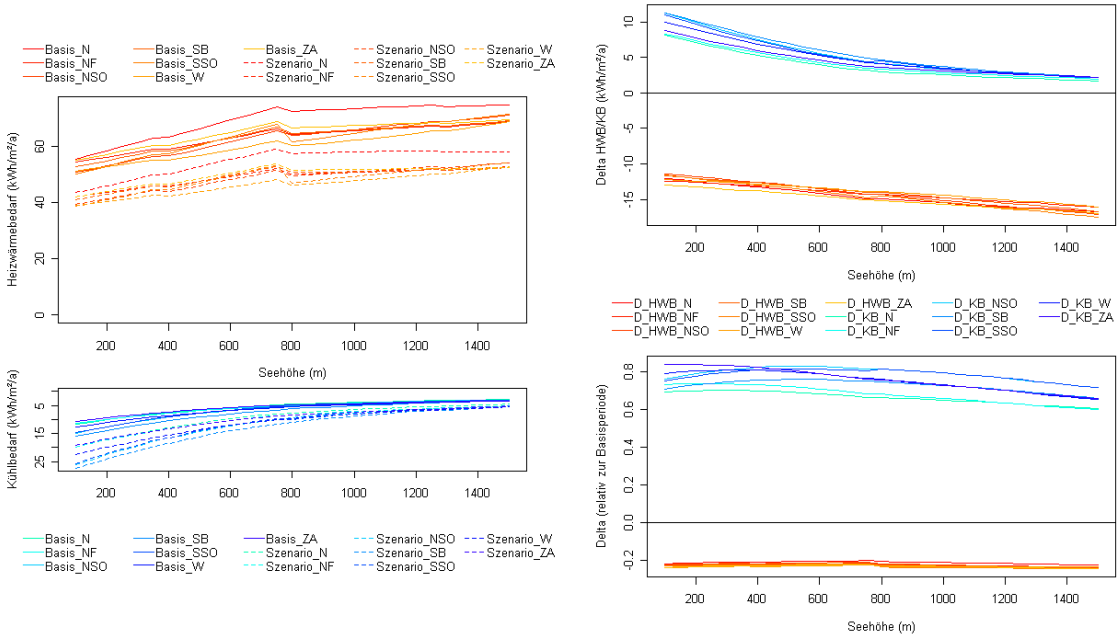
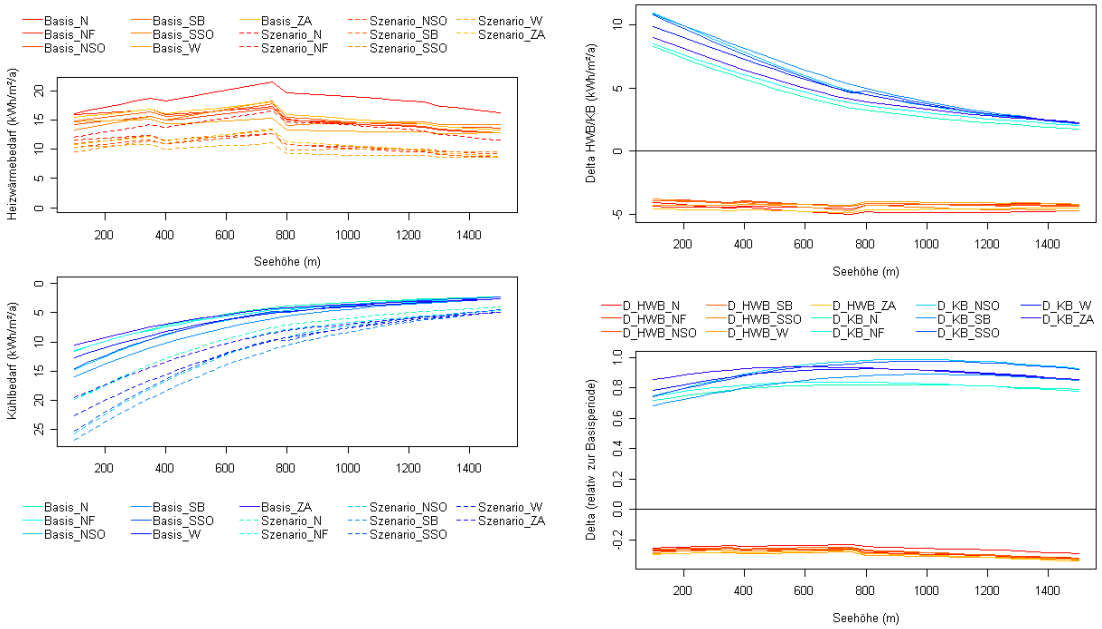


Abbildung 19: Heizwärme- und Kühlbedarf EFH (Passivhaus)



Ein erster Blick auf die Auswertungen zeigt, dass sich durch die Einbeziehung des Klimaszenarios in die Kalkulation von HWB und KB deutliche Änderungen ergeben. Der ausgewiesene Anteil des Kühlbedarfes in Proportion zum Heizwärmebedarf steigt auf

100 Meter Seehöhe[7] je nach Klimazone von 2 bis 4 Prozent auf 6 bis 10 Prozent bei Altbau, von 5 bis 9 Prozent auf 13 bis 20 Prozent bei Standard und von 19 bis 30 Prozent auf 46 bis 67 Prozent beim Niedrigenergiehaus. Beim „Passivhaus“ ändert sich das Verhältnis zwischen Kühl- und Heizbedarf von 70 Prozent bis 100 Prozent mit den Basiswerten, zu 160 Prozent bis 260 Prozent mit dem Szenario. Immer wieder ist zu betonen, dass bei letzterem diese Prozentwerte hoch erscheinen mögen, jedoch diese insbesondere aus der bei diesem Gebäudetyp angestrebten Minimierung des Heizwärmebedarfes hervorgehen, während das Passivhaus in absoluten Zahlen immer noch den niedrigsten Energiebedarf hat.

Der HWB nimmt bei allen Gebäudetypen relativ unabhängig von der Seehöhe ab, etwa um 20 Prozent bei Altbau und Standard, 21 bis 24 Prozent beim Niedrigenergiehaus und 25 bis 35 Prozent beim Passivhaus. In absoluten Werten bedeutet dies dennoch, dass die Abnahme umso höher ist, je größer die Seehöhe bzw. je geringer der Dämmstandard ist. Die Abnahme beträgt dementsprechend bei Altbau zwischen 33 kWh/m²/a (100 Meter Seehöhe) und 51 kWh/m²/a (1500 Meter Seehöhe), bei Niedrigenergiehäusern zwischen 11 kWh/m²/a (100 Meter Seehöhe) und 17 kWh/m²/a (1500 Meter Seehöhe).

Beim Kühlbedarf hingegen ist bei der absoluten Zunahme kaum ein Unterschied zwischen den einzelnen Gebäudetypen erkennbar, bei hohem Dämmstandard ist diese etwas größer. Die absolute Zunahme beträgt auf 100 m Seehöhe je nach Klimazone zwischen 4 und 8 kWh/m²/a bei Altbau und Standard sowie zwischen 8 und 11 kWh/m²/a bei Niedrigenergie- und Passivhaus. Mit zunehmender Seehöhe nimmt der zusätzliche KB insbesondere bei Altbau und Standard relativ schnell ab und beträgt auf 500 Meter Seehöhe nur noch 2 bis 4 kWh/m²/a (Altbau, Standard) und 5 bis 7 kWh/m²/a (NEH und PH).

Dies bedeutet, dass bei gut gedämmten Gebäuden der klimabedingte Anstieg des KB höher ist als die Abnahme des HWB. Konkret lässt sich das beim „Passivhaus“ für alle Höhenlagen unter 550 m im Wiener Raum (Klimazone Nord) bzw. unter 950 m in Kärnten (Klimazone SB) feststellen. Auch bei Niedrigenergiehäusern in sehr niedrigen Höhenlagen entspricht die Zunahme des KB noch der Abnahme des HWB. Der Klimawandel wirkt sich also auf unterschiedliche Gebäudetypen mit deutlich unterschiedlicher Intensität aus. Während bei herkömmlichen Bauten der Haupteffekt in dem durch die zunehmenden Temperaturen verringerten HWB liegt, hat bei gut gedämmten Objekten der zunehmende KB eine wichtige Bedeutung, welchem deshalb auch verstärkt Aufmerksamkeit geschenkt werden muss.

Zur Seehöhenabhängigkeit können folgende Aussagen getroffen werden, wobei diese auch auf die in den folgenden Abschnitten näher erläuterten Gebäudetypen MFH und Büro zutreffen:

7 100 Meter Seehöhe entspricht etwa den tiefsten Siedlungspunkten in Österreich im Raum Neusiedlersee.

1) Abnahme der Seehöhenabhängigkeit beim HWB

Die Seehöhenabhängigkeit des HWB nimmt mit zunehmendem Gebäudestandard deutlich ab, d.h. je besser gedämmt ein Gebäude ist, desto weniger wichtig wird der Standort eines Gebäudes. Dies zeigt sich beim „Passivhaus“ besonders deutlich, wo die mit der Seehöhe zunehmende Solarstrahlung bewirkt, dass der HWB mit der Seehöhe sogar leicht abnimmt. Ebenfalls ist zu beobachten, dass durch die im Klimaszenario ausgewiesenen höheren Temperaturen die Seehöhenabhängigkeit des HWB bei allen Gebäudestandards abnimmt.

2) Zunahme der Seehöhenabhängigkeit beim KB

Hingegen nimmt die Seehöhenabhängigkeit des KB mit zunehmendem Gebäudestandard deutlich zu, weil mit zunehmender Höhe auch die Solarstrahlung stärker auf die Gebäude im Sommer einwirkt. Die Seehöhenabhängigkeit verstärkt sich durch das Klimaänderungssignal weiter und führt dazu, dass bei den Gebäudetypen Niedrigenergiehaus und Passivhaus mit zunehmender Seehöhe der HWB weniger rasch steigt, als der Kühlbedarf sinkt (siehe Tabelle 20). Dies würde bedeuten, dass es (rein aus gebäudetechnischer Sicht und nur für die angenommenen Referenzgebäude!) günstiger wäre, diese in höheren Lagen zu errichten, um dem steigenden Kühlbedarf entgegenzuwirken.

Tabelle 20: Änderung des HWB bzw. KB mit zunehmender Seehöhe (kWh/100m)

	EFH				MFH			Büro		
	ALT	STD	NE	PH	ALT	STD	NE	ALT	STD	NE
Basis HWB	6.5	4.3	1.3	-0.1	4.9	2.9	1.0	4.5	2.5	1.0
Basis KB	-0.3	-0.4	-0.7	-0.8	-0.2	-0.3	-0.5	-0.5	-0.9	-1.2
Szenario HWB	5.4	3.5	0.9	-0.1	4.1	2.3	0.8	3.6	2.0	0.7
Szenario KB	-0.7	-0.8	-1.3	-1.3	-0.5	-0.7	-1.0	-1.1	-1.5	-1.8

6.2 MEHRFAMILIENHÄUSER (MFH)

Abbildung 20: Heizwärme- und Kühlbedarf MFH (Altbau)

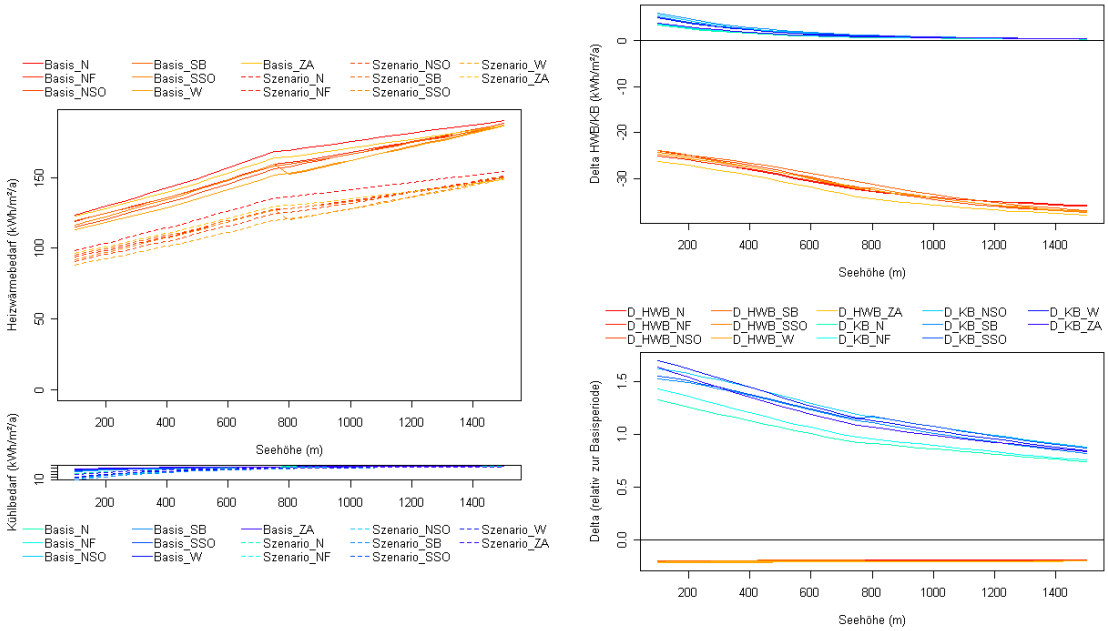


Abbildung 21: Heizwärme- und Kühlbedarf MFH (Standard)

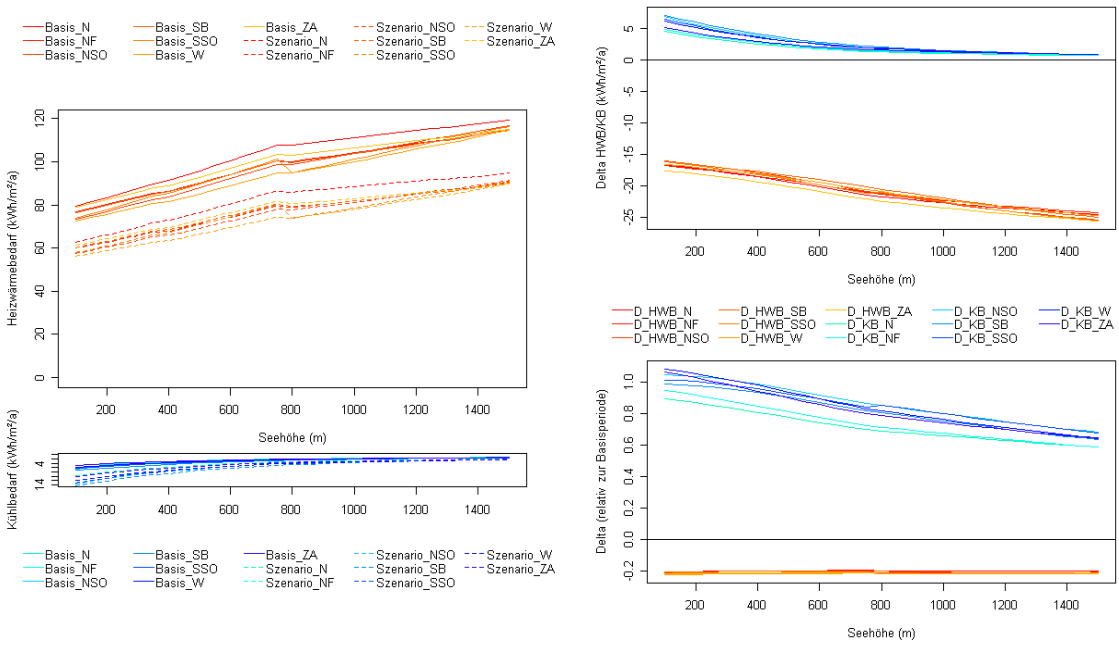
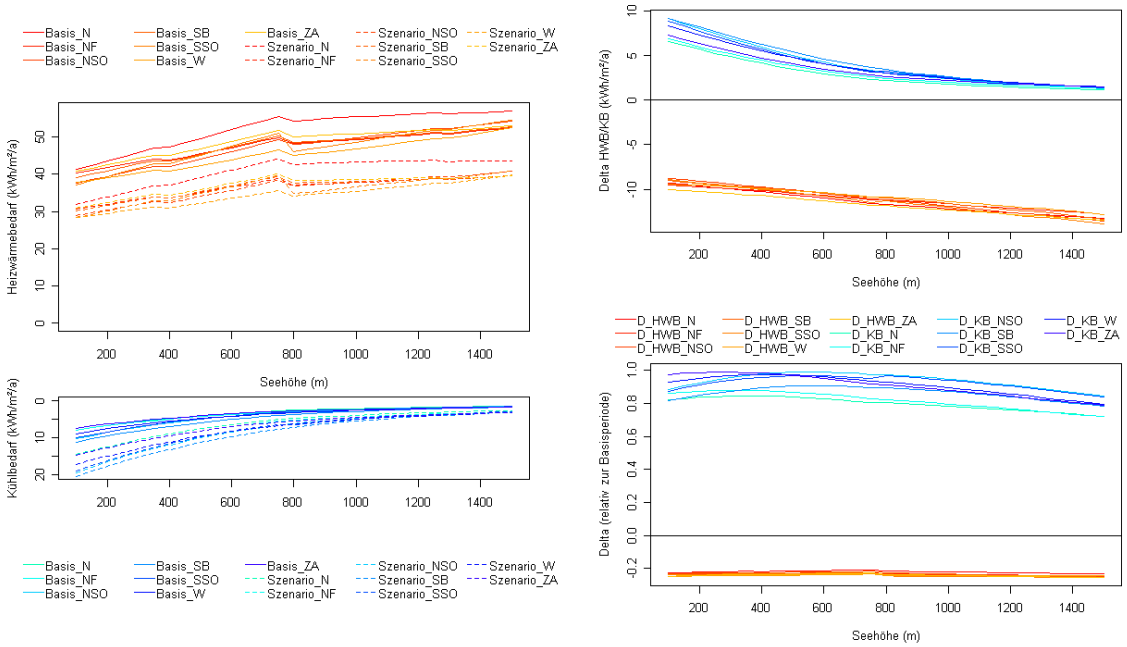


Abbildung 22: Heizwärme- und Kühlbedarf MFH (Niedrigenergiehaus)



Die Aussagen für die gerechneten Mehrfamilienhäuser stimmen im Prinzip mit der Kategorie Einfamilienhaus überein. Insgesamt ergibt sich für die unterschiedlichen Standards für das Mehrfamilienhaus sowohl ein geringerer HWB als auch ein geringerer KB. Die Ursache hierfür liegt darin, dass diese insgesamt weniger Außenflächen aufweisen und daher bei gleichem Dämmstandard weniger den Außenverhältnissen (Temperatur, Solarstrahlung) ausgesetzt sind als vergleichbare Einfamilienhäuser.

6.3 BÜROGEBÄUDE

Die Kategorie Bürogebäude weicht von den Wohnhäusern dahingehend ab, dass bei dieser durch unterschiedliche Nutzungsmuster (höhere interne Lasten etc.) insgesamt ein geringerer Heizwärme- und ein höherer Kühlbedarf bestehen. Durch die Einbeziehung des Klimaszenarios bei der Berechnung des HWB und KB der verwendeten Modellgebäude ergibt sich insgesamt eine deutliche Verschiebung vom HWB zum KB.

Abbildung 23: Heizwärme- und Kühlbedarf Büro (Altbau)

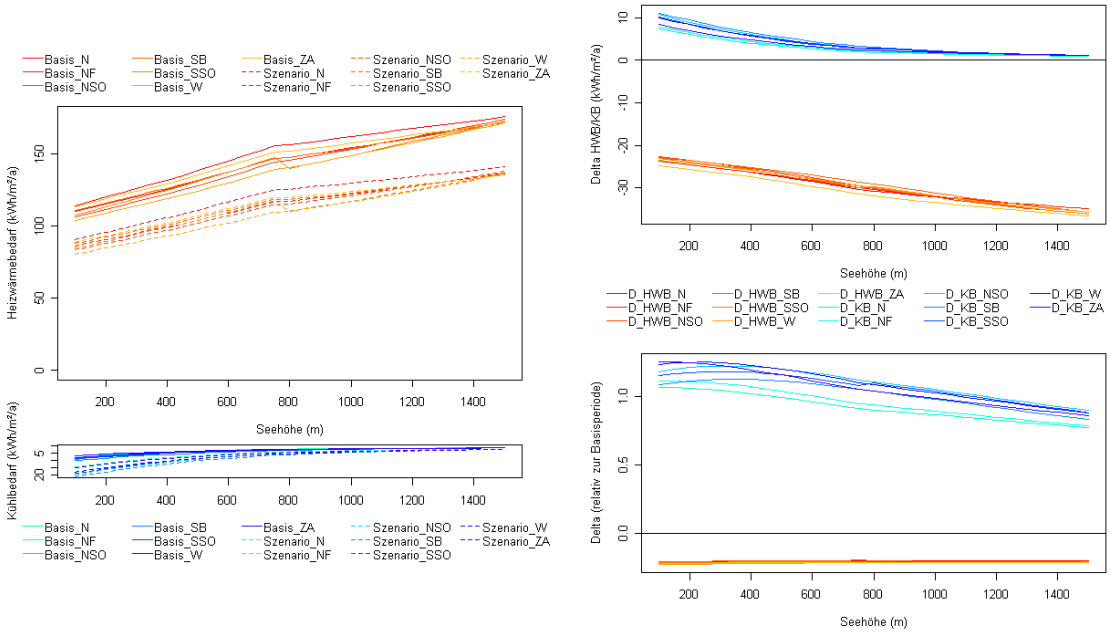


Abbildung 24: Heizwärme- und Kühlbedarf Büro (Standard)

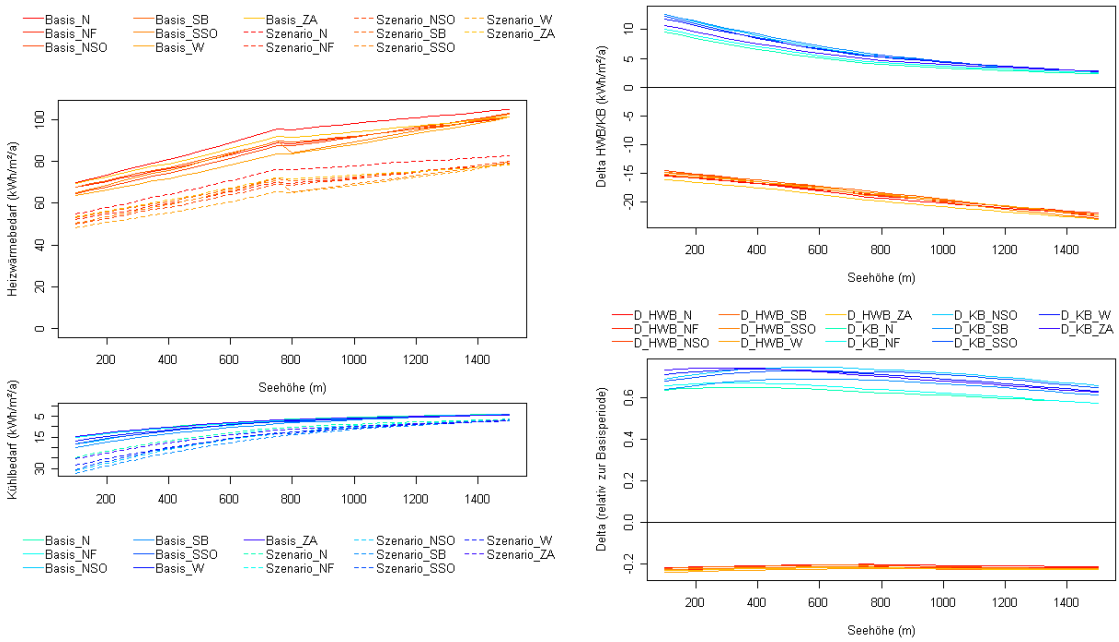
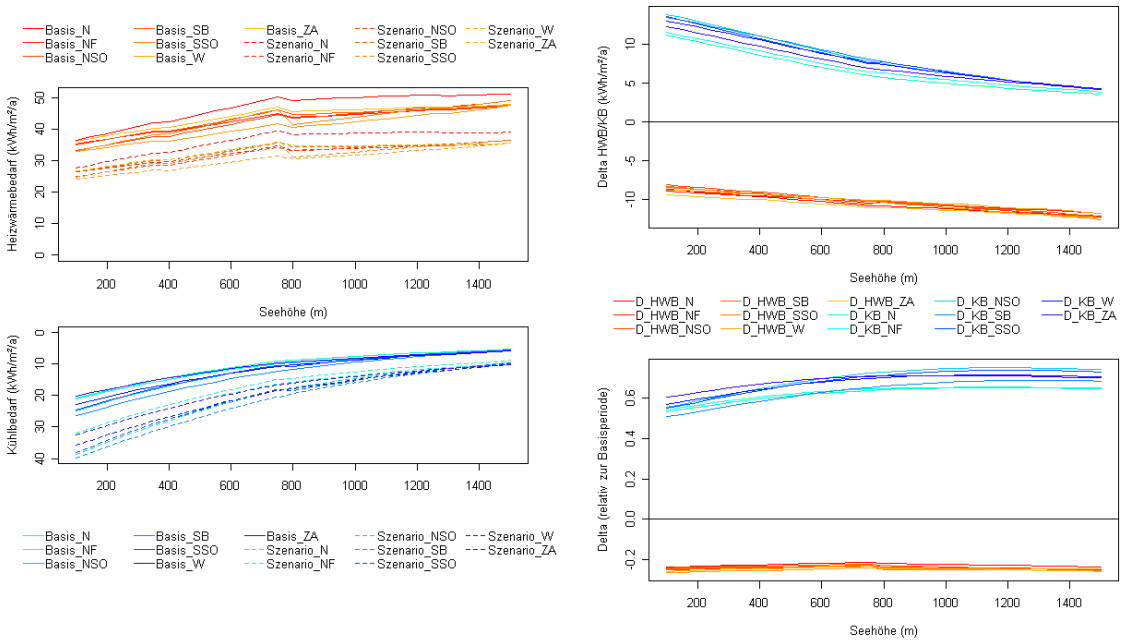


Abbildung 25: Heizwärme- und Kühlbedarf Büro (Niedrigenergiehaus)



Der ausgewiesene Anteil des Kühlbedarfes in Proportion zum Heizwärmebedarf steigt auf 100 Meter Seehöhe je nach Klimazone von 6 bis 9 Prozent auf 15 bis 24 Prozent bei Altbau, von 21 bis 29 Prozent auf 45 bis 62 Prozent bei Standard und von 56 bis 76 Prozent auf 115 bis 155 Prozent beim Niedrigenergiehaus. Im Vergleich mit den Wohnhäusern verringert sich dieses Verhältnis mit zunehmender Seehöhe wesentlich langsamer. Beim Niedrigenergiehaus besteht laut Szenario je nach Klimazone erst auf 200 bis 450 Meter gleich viel Heizwärme- als Kühlbedarf. Die gleiche Proportion zwischen HWB und KB wie im Basisszenario auf 100 Meter ist unter geänderten Klimabedingungen auf etwa 600 Meter Seehöhe zu beobachten.

6.4 SOLAREFFEKT

Eine weitere Analyse, die durch die Integration des Klimaänderungssignals in das Drei-Schichten-Höhenmodell der ÖNORM B 8110-5 (ÖNORM, 2007b) ermöglicht wird, ist eine gesonderte Betrachtung der Globalstrahlungsänderung innerhalb der klimabedingten Änderung des HWB und KB. Im Gegensatz zur Änderung der Temperatur unterblieb bisher in der Literatur eine systematische Diskussion der Effekte von Solarstrahlungsänderungen auf Gebäude, unter anderem auch deshalb, weil in der Klimaforschung derzeit noch größere Unsicherheiten bezüglich des Änderungssignals für dieses Klimaelement vorliegen. Dementsprechend müssen die nachfolgenden Auswertungen als Möglichkeit verstanden werden, die Effekte „eines“ von vielen

möglichen Änderungssignalen und dessen Auswirkungen auf unterschiedlich sensitive Gebäudetypen, Klimazonen und Höhenlagen zu zeigen.

Als Solareffekt wird in der Folge jene Änderung von HWB und KB definiert, die durch Miteinbeziehung der Änderung der Solarstrahlung entsteht, während in beiden Fällen mit den zukünftigen Temperaturwerten gerechnet wird:

$$\text{Solareffekt}_{HWB} = HWB_{\text{Temperatur Zukunft, Solarstrahlung Zukunft}} - HWB_{\text{Temperatur Zukunft, Solarstrahlung Basis}}$$
$$\text{Solareffekt}_{KB} = KB_{\text{Temperatur Zukunft, Solarstrahlung Zukunft}} - KB_{\text{Temperatur Zukunft, Solarstrahlung Basis}}$$

Positive Werte beim SolareffektHWB bedeuten, dass durch Einbeziehung der Solarstrahlung der HWB weniger stark abnimmt als bei reiner Betrachtung der Temperaturänderung. Es wird also durch geringere Solarstrahlung im Winter dem Effekt eines durch den Temperaturanstieg bedingten geringeren HWB entgegengewirkt. Umgekehrt gilt für den SolareffektKB, dass positive Werte einen höheren Anstieg des KB bedeuten, weil zusätzlich zu den höheren Temperaturen die höhere Solarstrahlung zu mehr Kühlbedarf führt.

Analog dazu wird zu Vergleichszwecken der Temperatureffekt wie konventionell als Änderung des HWB/KB unter geänderter Temperatur, aber unter konstanter (Basis-Temperatur) berechnet als:

$$\text{Temperatureffekt}_{HWB} = HWB_{\text{Temperatur Zukunft, Solarstrahlung Basis}} - HWB_{\text{Temperatur Basis, Solarstrahlung Basis}}$$
$$\text{Temperatureffekt}_{KB} = KB_{\text{Temperatur Zukunft, Solarstrahlung Basis}} - KB_{\text{Temperatur Basis, Solarstrahlung Basis}}$$

6.4.1 Quantifizierung des Solareffekts

In Abbildung 26 bis Abbildung 31 wird eine Übersicht über den Solareffekt in Abhängigkeit von der Klimazone, dem Gebäudetyp und den unterschiedlichen Baustandards gegeben. Die Abbildungen sind wie folgt strukturiert:

(1) die einzelnen Klimazonen werden jeweils gesondert dargestellt, jede Reihe stellt eine Klimazone dar (Abkürzungen wie in Abbildung 13 aufgeführt),

(2) die Ausprägungen der unterschiedlichen Gebäudetypen werden jeweils in einer eigenen Spalte dargestellt (e = EFH, m = MFH, b = Bürogebäude),

(3) die unterschiedlichen Baustandards werden jeweils in einer Graphik zusammengefasst und in unterschiedlichen Farben illustriert (rot = Altbau, orange = Standard, blau = Niedrigenergiehaus, grün = Passivhaus).

Abbildung 26: Solareffekt für den HWB (in kWh/m²/a) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe), Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH)

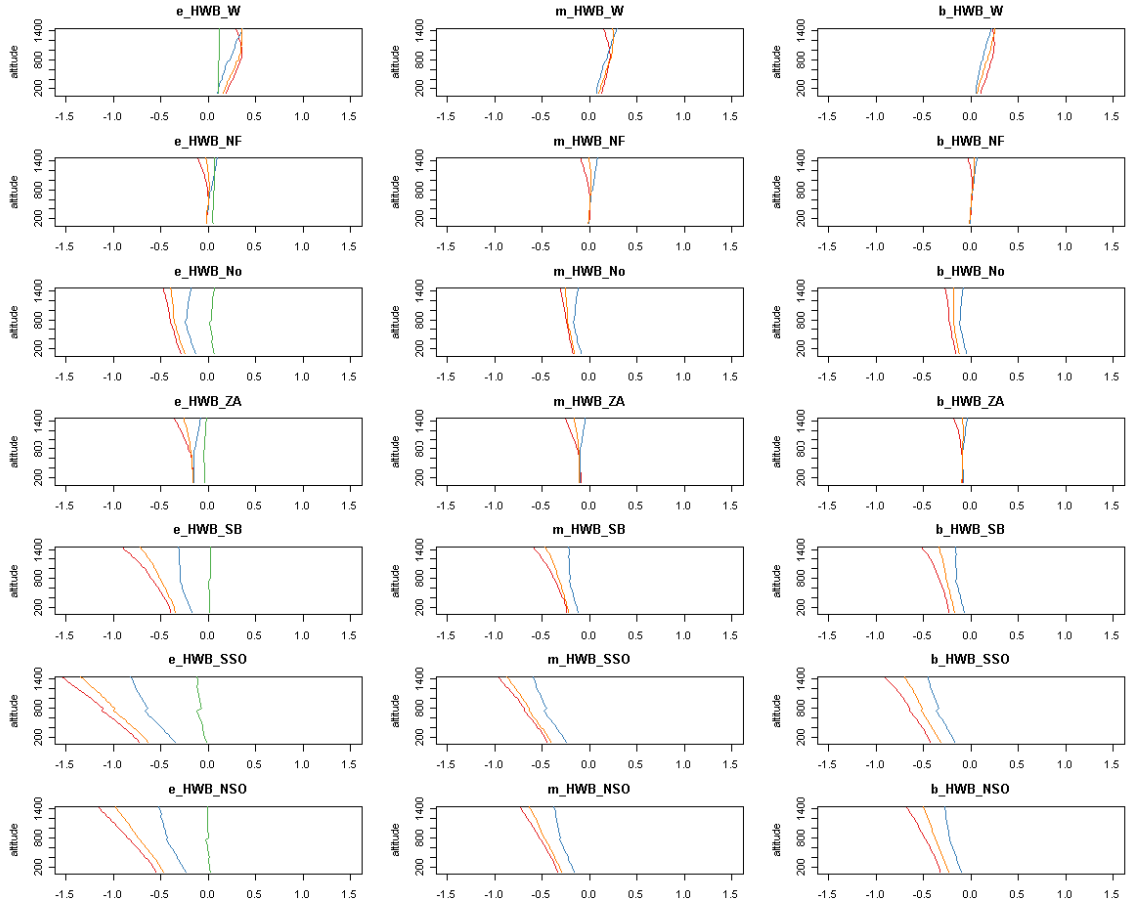
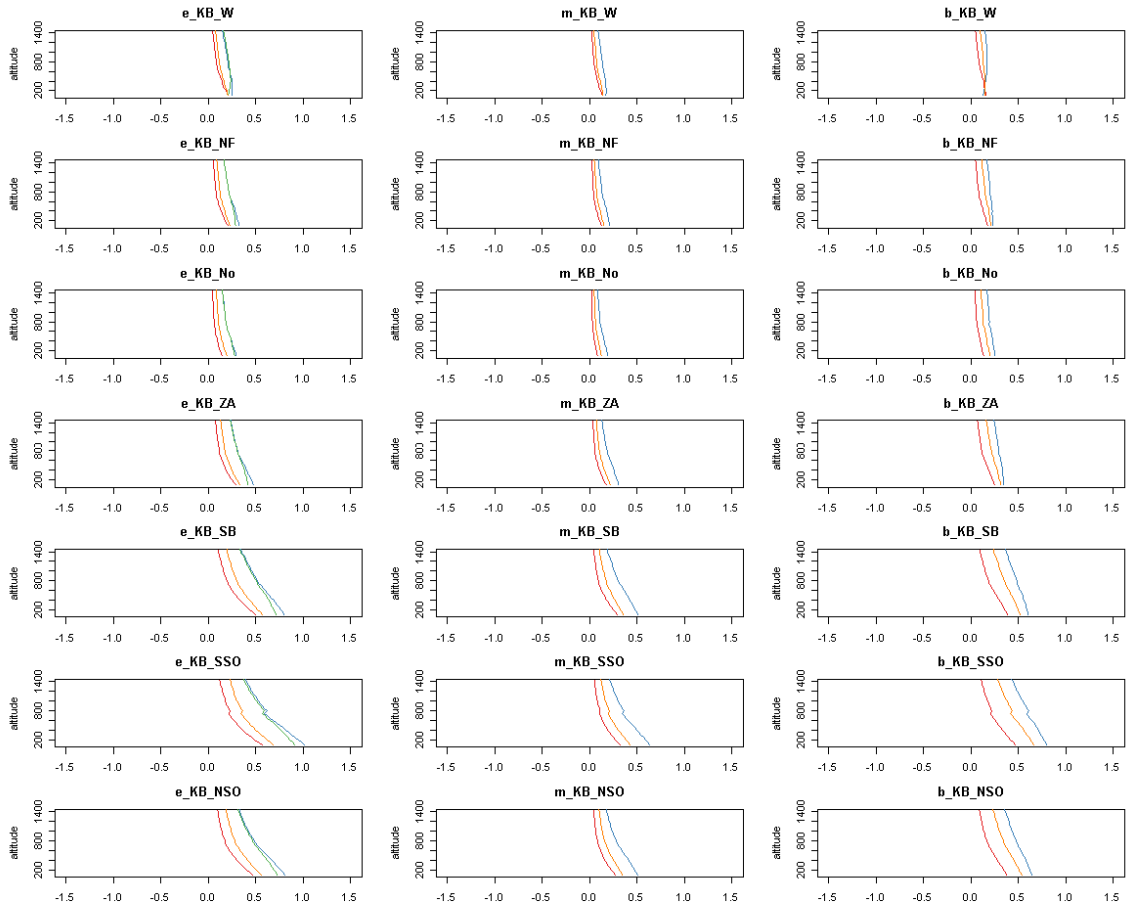


Abbildung 26 stellt den Solareffekt für den HWB dar, wobei die Werte für die unterschiedlichen Landesteile sehr stark variieren. Ein deutlich negativer Solareffekt, d.h. eine Abnahme des HWB durch die Miteinbeziehung des Änderungssignals für die Solarstrahlung, ergibt sich für die östlichen Landesteile (Klimazonen SSO und NSO) und auch für den Süden (Klimazone SB), während der Solareffekt in den anderen Landesteilen relativ gering ist. Im Gegensatz zu den anderen Landesteilen ist er für Vorarlberg (Klimazone W) sogar positiv (HWB steigt).

Insbesondere im Norden (Klimazone N) ergibt sich die paradoxe Situation, dass die Änderungen der Solarstrahlung in den Wintermonaten nur beim Passivhaus zu einem positiven Solareffekt führen, bei den anderen Gebäudetypen hingegen zu einem negativen Solareffekt. Dies liegt darin begründet, dass für die Berechung des Passivhauses insbesondere die Monate Dezember, Januar und Februar eine Rolle spielen, in denen eine leichte Abnahme der Solarstrahlung in dieser Klimazone erfolgt. Währenddessen wirken sich die teilweise deutlichen Zunahmen der Solarstrahlung vor alle im Oktober und November, aber auch im März stärker auf die restlichen Gebäudetypen aus. Ähnliches ist auch für die übrigen Klimazonen zu beobachten.

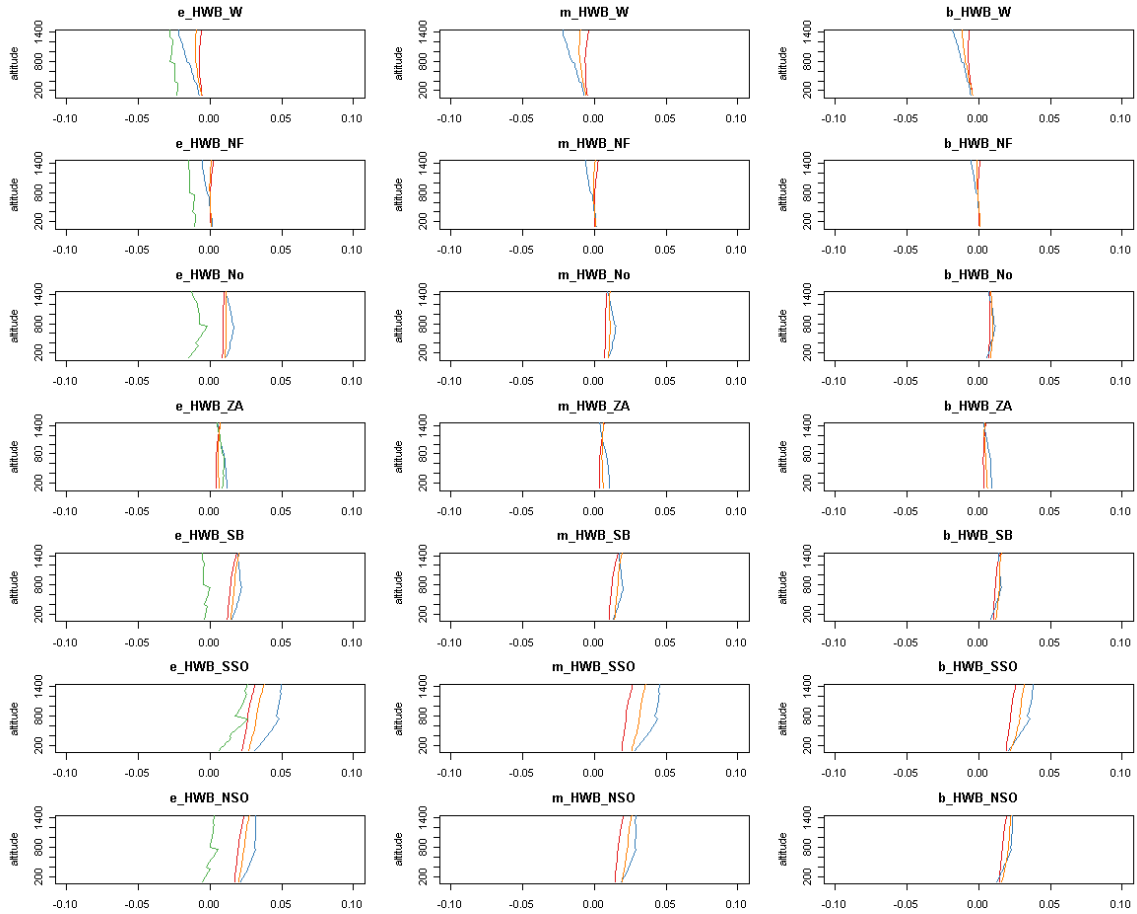
Abbildung 27: Solareffekt für den KB (in kWh/m²/a) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH)



Durchwegs eine Zunahme der Globalstrahlung ist in den Sommermonaten zu beobachten, was sich im positiven Solareffekt für den Kühlbedarf in allen Klimazonen widerspiegelt (Abbildung 27). Dieser positive Solareffekt, d.h. ein höherer KB durch Einbeziehung der Globalstrahlungsänderung, ist in den südlichen Landesteilen am deutlichsten ausgeprägt und beträgt hier in den niedriggelegenen Landesteilen bis zu 1 kWh/m²/a. Der Solareffekt für den KB nimmt mit steigender Seehöhe ab (im Gegensatz zum Solareffekt im Winter in Abbildung 26), weil mit der Seehöhe insgesamt der hauptsächlich temperaturabhängige KB zurückgeht, und so die Änderung der Solarstrahlung weniger stark als Treiber in das Berechnungsmodell eingeht.

6.4.2 Gegenüberstellung von Solar- und Temperatureffekt

Abbildung 28: Solareffekt für den HWB im Vergleich zum Temperatureffekt (relativer Anteil) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH)

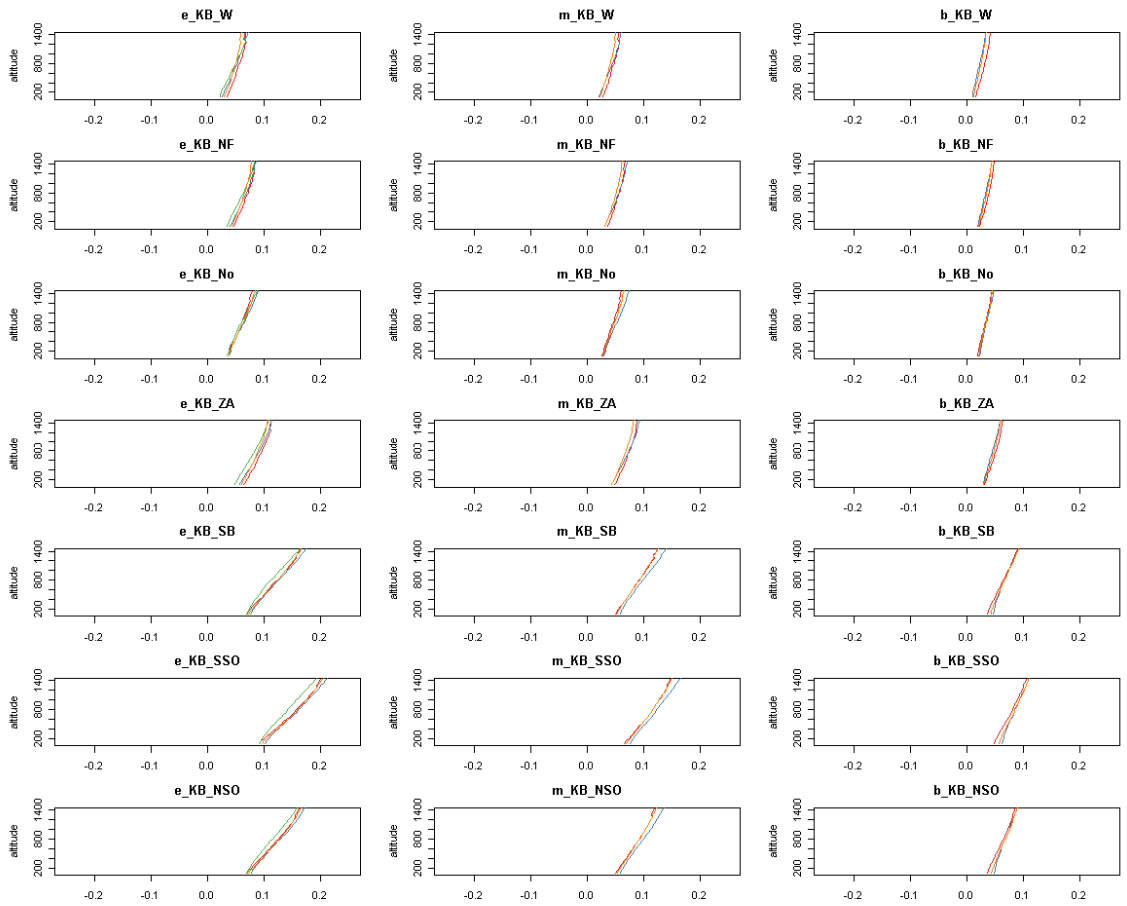


Eine Gegenüberstellung des Solareffektes mit dem Temperatureffekt zeigt, dass die Änderung der Solarstrahlung in den Wintermonaten vergleichsweise relativ bescheidene Auswirkungen hat. Der Temperatureffekt verstärkt sich maximal um 5 Prozent (Standard, Klimazone SSO), wie in Abbildung 28 ersichtlich ist. Im Vergleich dazu wirkt sich die Änderung der Solarstrahlung in den Sommermonaten stärker aus (Abbildung 29), mit einem Einfluss von bis zu 10 Prozent in den niedrig gelegenen Teilen der südlichen und östlichen Klimazonen (andere Klimazonen 2 bis 7 Prozent), sowie von bis zu 20 Prozent in höheren Lagen (hier nimmt der Temperatureffekt stärker ab).

Stellt man die Ergebnisse relativ zum Basisszenario dar, so beträgt die Reduktion des HWB durch den Solareffekt bis zu 1 Prozent (Standard, Klimazone SSO) des Basis-HWB, während der klimabedingte Anstieg des KB im Osten und Süden 5 bis 10 Prozent, im Norden und Westen 2 bis 6 Prozent des Basis-KB entspricht.

Zu diesen relativen Darstellungen des Solareffektes ist es unbedingt notwendig anzumerken, dass diese Prozentuellen Änderungen saisonale Mittelwerte sind. Dabei wird die Zunahme der Globalstrahlung in den Monaten Juli, August und September durch Abnahmen in den Monaten Mai und Juni in allen Klimazonen zum Teil kompensiert. Demgegenüber ist der Temperatureffekt in allen Monaten positiv, wodurch der Solareffekt bei einer Betrachtung auf Monatsebene viel stärkeren Einfluss hat. Eine Darstellung auf Monatsebene erfolgt noch gesondert in Abschnitt 6.5.

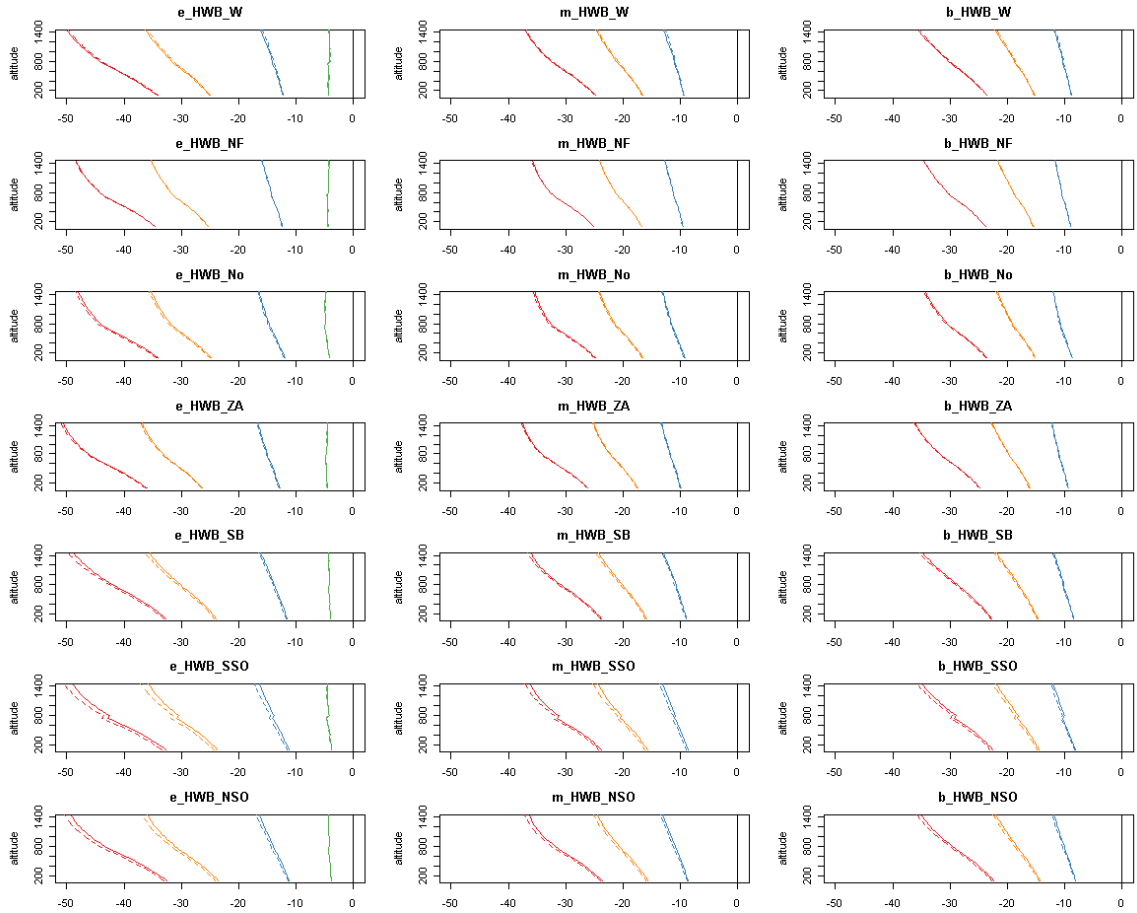
Abbildung 29: Solareffekt für den KB im Vergleich zum Temperatureffekt (relativer Anteil) für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH)



6.4.3 Additive Darstellung von Temperatur- und Solareffekt

Eine kombinierte Darstellung des Temperatur- und Solareffekts auf die Änderung des HWB und KB erfolgt in Abbildung 30 bzw. Abbildung 31. In diesen Abbildungen wird jeweils die Änderung des HWB und KB nur unter Berücksichtigung des Temperatureffekts (durchgängige Linien) sowie unter Miteinbeziehung des Solareffekts (strichlierte Linie) gezeigt.

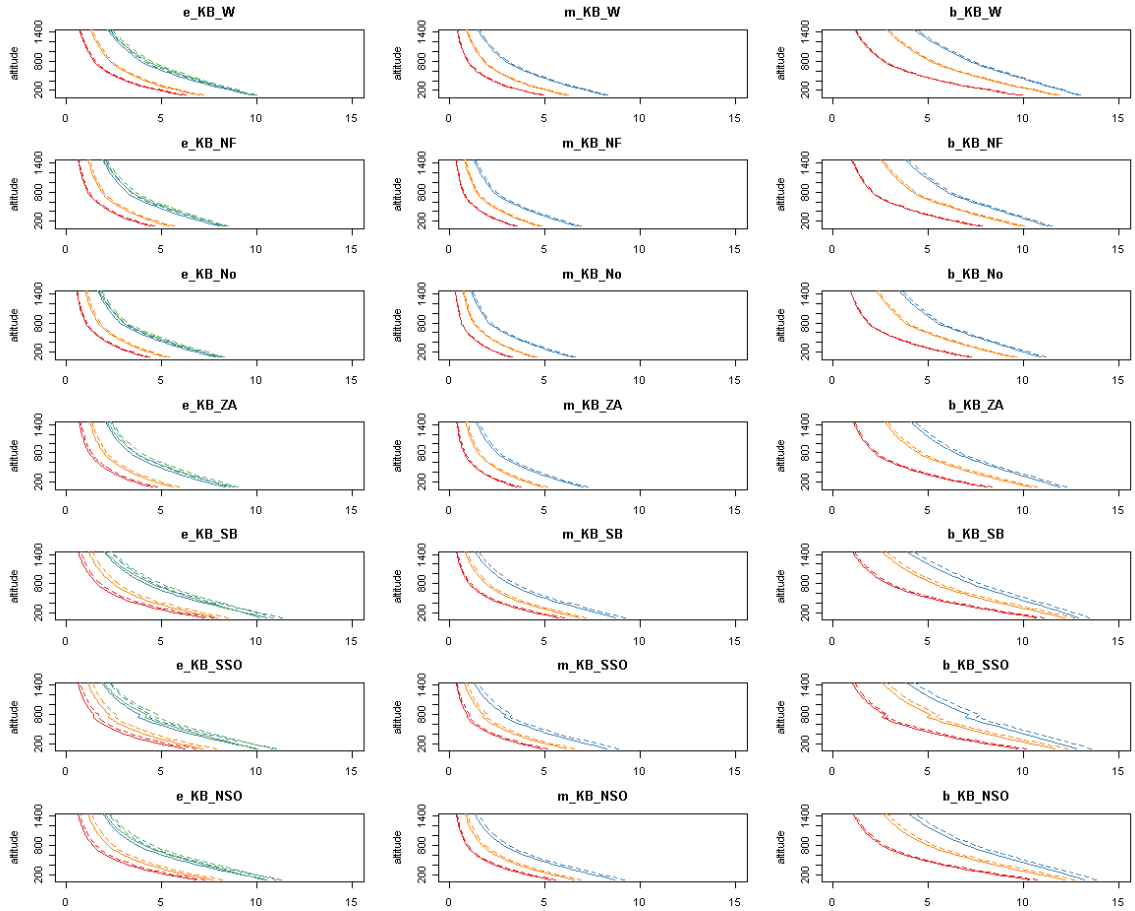
Abbildung 30: Klimabedingte Änderung des HWB (in kWh/m²/a) mit (strichlierte Linie) und ohne Einbeziehung der Solarstrahlungsänderung, für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot = Altbau, orange = Standard, blau = NEH, grün = PH)



Wie Abbildung 30 zusammenfassend für alle Klimazonen, Gebäudetypen, und -standards illustriert, bringt die für fast alle Klimazonen gezeigte Verstärkung der temperaturbedingten HWB-Abnahme durch den Solareffekt eine insgesamt nur unwesentlich geänderte Situation hervor. Ebengleiches gilt für die Verstärkung der temperaturbedingten KB-Zunahme im Sommer (Abbildung 29). Auch hier spielt die über den Jahresverlauf aggregierte, klimabedingte Solarstrahlungsänderung bei allen Gebäudetypen eine kleinere Rolle.

An dieser Stelle sei jedoch wiederum auf zwei Limitationen der vorliegenden Untersuchung aufmerksam gemacht. Erstens ist die ausgewiesene klimabedingte Änderung der Solarstrahlung mit großen Unsicherheiten behaftet. Zweitens wurde bei den einzelnen Gebäudetypen der Anteil der Fensterflächen an der Gebäudehülle mit überwiegend 20 bis maximal 28 Prozent angesetzt. Höhere Werte, wie sie derzeit in der Praxis insbesondere bei Bürogebäuden durchaus anzufinden sind, würden sich entsprechend auch auf die relative Bedeutung des Solareffekts auswirken.

Abbildung 31: Klimabedingte Änderung des KB (in kWh/m²/a) mit (strichlierte Linie) und ohne Einbeziehung der Solarstrahlungsänderung, für die unterschiedlichen Klimazonen (1. bis 7. Reihe) und Gebäudetypen (1. bis 3. Spalte), jeweils abhängig von der Seehöhe (y-Achsen) und vom Baustandard (rot=Altbau, orange= Standard, blau = NEH, grün = PH)



6.5 SENSITIVITÄTEN AUF MONATSEBENE

Nachdem in den bisherigen Abschnitten der HWB und KB jeweils auf Jahresebene aggregiert dargestellt wurden, soll in diesem Kapitel eine Quantifizierung des Solar- und Temperatureffektes auf Monatsebene erfolgen. Dies ermöglicht es auch, beim Solareffekt die bei Aufsummierung auf Jahresbasis auftretende Kompensation der Zunahme der Globalstrahlung in den Monaten Juli, August und September durch Abnahmen in den Monaten Mai und Juni in allen Klimazonen zu umgehen. Um eine graphische Überschaubarkeit zu gewährleisten, werden die Ergebnisse für 200 m Seehöhe und die Klimazone Nord dargestellt. Damit sind diese Darstellungen als repräsentativ für den Großraum Wien anzusehen.

Abbildung 32: HWB und KB auf Monatsbasis auf 200 Meter Seehöhe in der Klimazone Nord in der Basisperiode (durchgängige Linie) und dem Klimaszenario (gepunktete Linie)

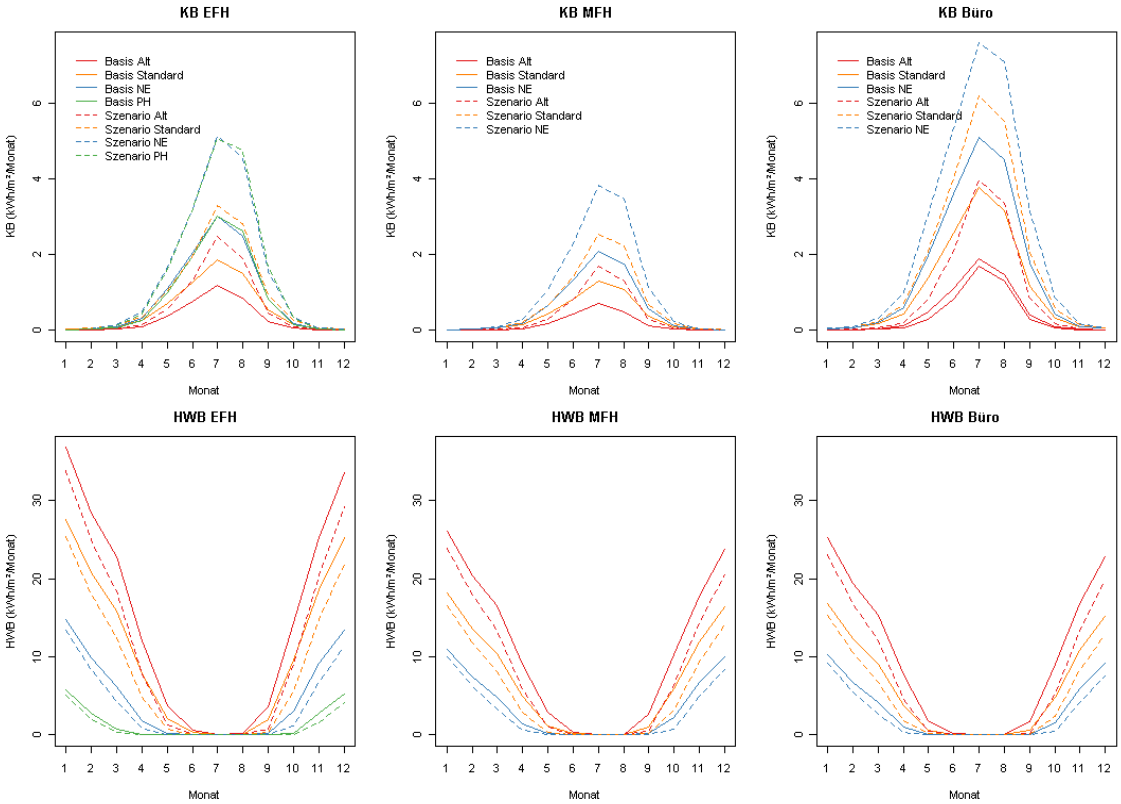


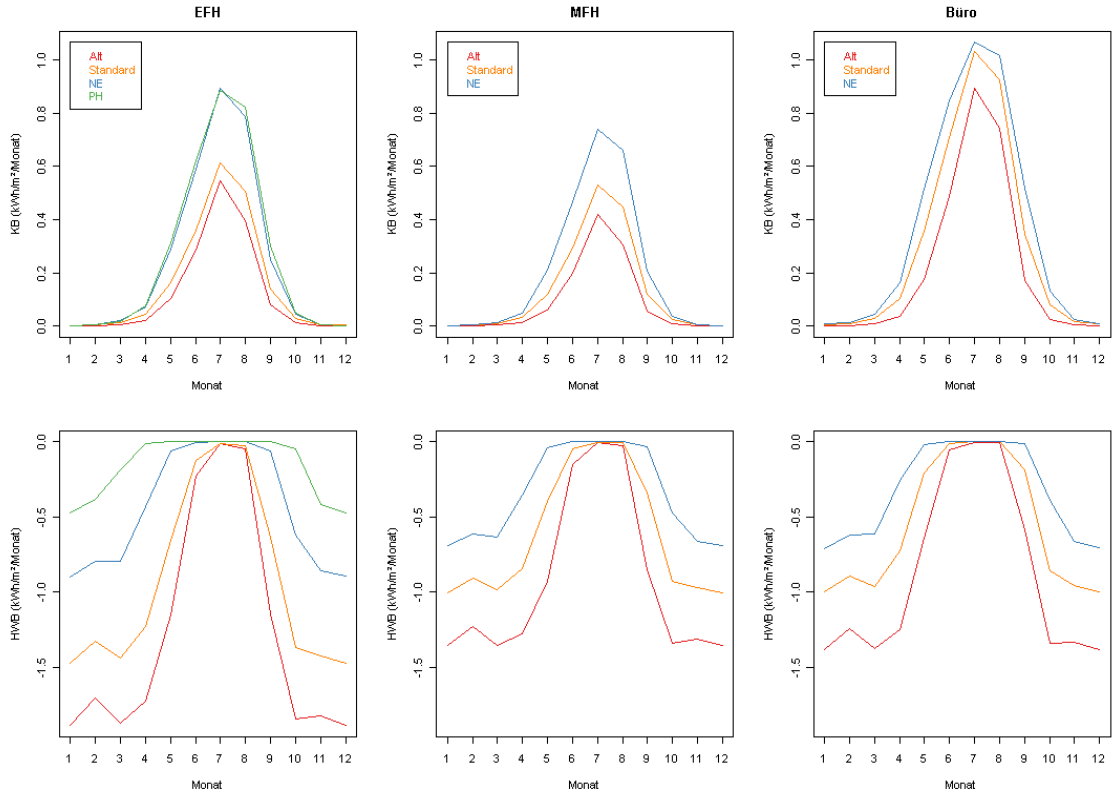
Abbildung 32 zeigt für unterschiedliche Gebäudetypen und -standards die monatliche Änderung des HWB und KB in der Klimazone Nord. Ausgehend von diesen Werten erfolgt eine differenzierte Betrachtung der Sensitivität gegenüber Temperatur- und Globalstrahlungsänderungen auf monatlicher Basis.

Damit sowohl der Temperatur- als auch der Solareffekt in den einzelnen Monaten verglichen werden können, werden jeweils HWB und KB durch die monatlichen Änderungen aus dem Klimaszenario dividiert. Somit kann als Maß für die Temperatursensitivität der einzelnen Gebäudetypen die Änderung des HWB und KB bei einer Temperaturerhöhung von einem Grad Celsius betrachtet werden. Bei der Solarstrahlung bezieht sich die Änderung des HWB und KB auf eine Erhöhung der Globalstrahlung um ein Prozent.

Diese errechneten Sensitivitäten, welche von den Werten im Klimaszenario faktisch unabhängig sind, erlauben es theoretisch auch, relativ leicht Hochrechnungen im Sinne von Schlussrechnungen anzustellen. Dabei ist allerdings zu bedenken, dass solche wegen der Nicht-Linearität vor allem der KB-Änderungen Effekte unterschätzen können, insbesondere wenn massive Änderungen angenommen werden (z.B. 6 Grad Celsius). Im Falle der vorliegenden Berechnungen sollte diese Ungenauigkeit jedoch minimal sein, da das monatliche Änderungssignal in der analysierten Klimazone Nord bei der Temperatur zwischen 1,75 und 2,75 Grad Celsius, bei der Solarstrahlung zwischen -5 und +7 Prozent liegt.

6.5.1 Temperatursensitivität

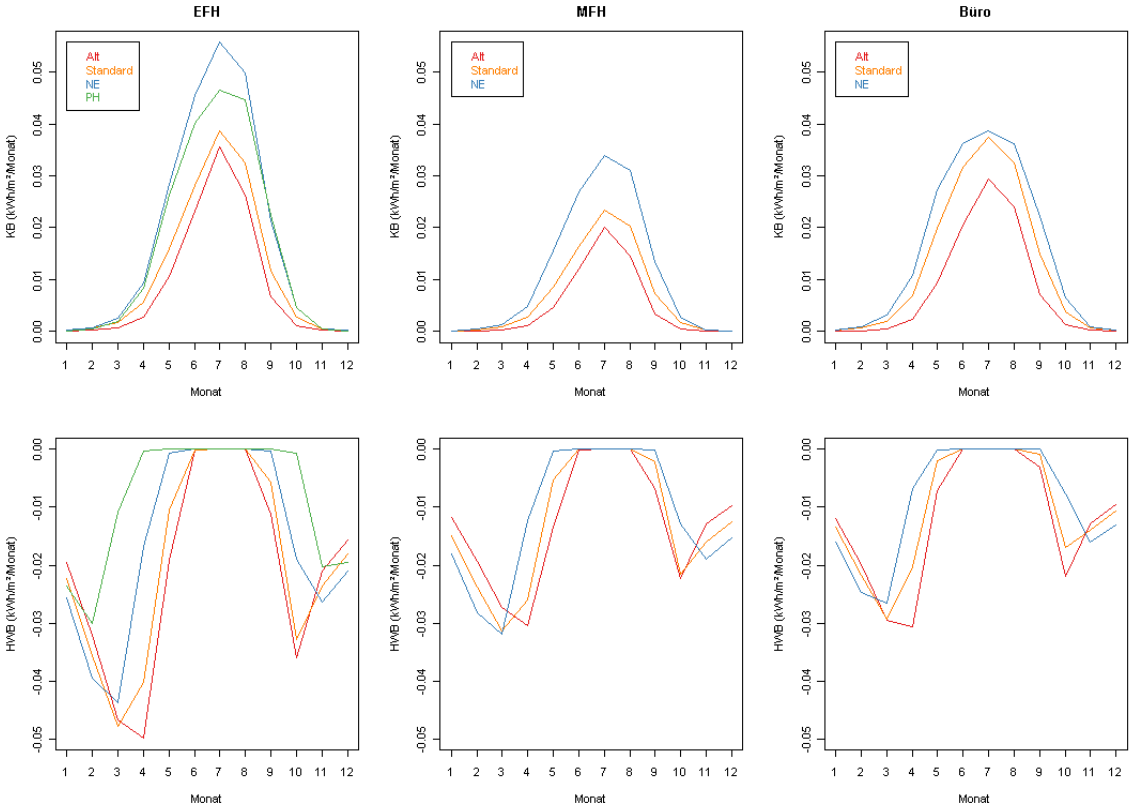
Abbildung 33: Änderung des HWB und KB bei einer Temperaturerhöhung um ein Grad Celsius



In Abbildung 33 wird der Effekt einer Erhöhung der Monatsmitteltemperatur um ein Grad Celsius auf den HWB und KB der unterschiedlichen Gebäudetypen und -standards illustriert. Die ermittelte Sensitivität gegenüber Temperaturänderungen im Winter sinkt erwartungsgemäß stark mit zunehmender Gebäudedämmung, während in den Sommermonaten Bautypen mit hohem Dämmstandard eine etwas stärkere Sensitivität aufweisen. Die Modellrechnungen zeigen weiters, dass Temperaturänderungen während der gesamten Heizsaison etwa denselben Einfluss haben, wobei die Länge der Heizsaison wiederum deutlich vom Gebäudestandard abhängt. Demgegenüber zeigt die Temperatursensitivität beim Kühlen eine deutlich Spitze in den Sommermonaten Juli und August.

6.5.2 Globalstrahlungssensitivität

Abbildung 34: Änderung des HWB und KB bei einer Erhöhung der Globalstrahlung um ein Prozent

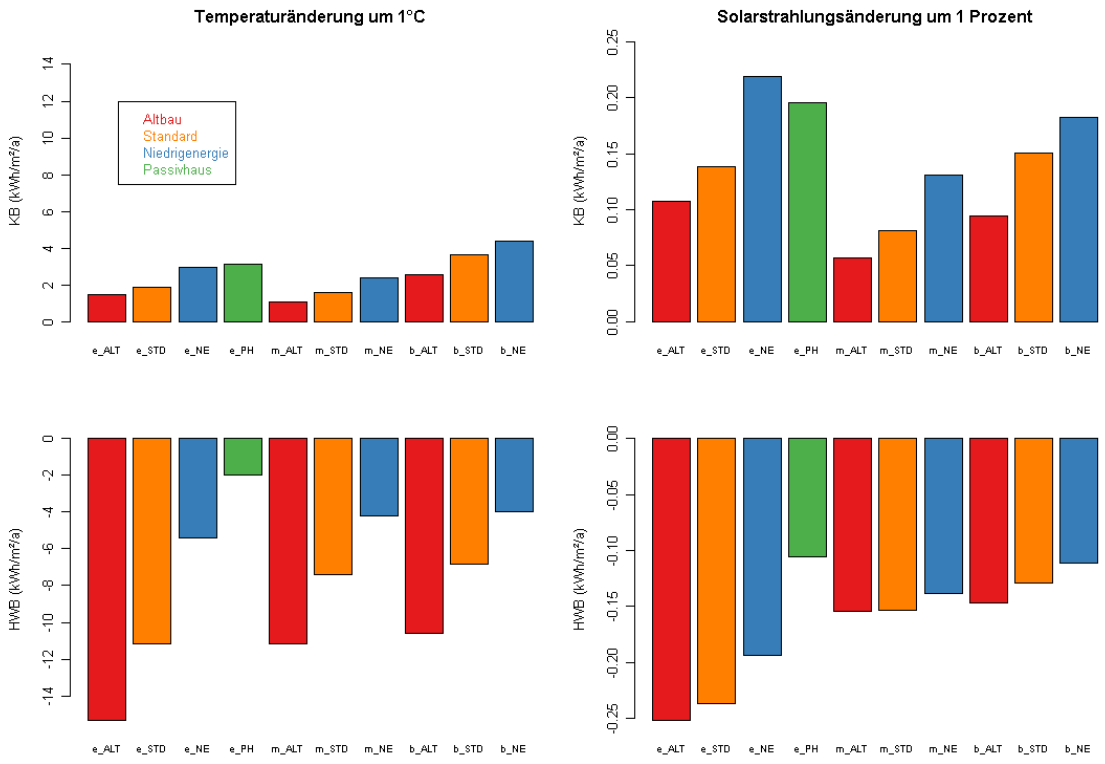


Wie Abbildung 34 veranschaulicht, wirken sich Änderungen der Solarstrahlung am stärksten in der jeweiligen Übergangszeit der Heizsaison aus. Dies ist auch dadurch erklärbar, dass die Globalstrahlung hier relativ gemessen wird und die absoluten Durchschnittswerte in diesen Monaten viel höher sind. Eine einprozentige Änderung wirkt sich dementsprechend stärker aus.

In absoluten Zahlen weisen beim HWB alle simulierten Gebäudestandards etwa dieselbe Globalstrahlungssensitivität aus. In relativen Zahlen gesehen bedeutet dies, dass Gebäude mit hohem Dämmstandard bei zunehmender Solarstrahlung insgesamt eine stärkere Reduktion verzeichnen. Beim KB ergibt sich analog zur Temperatursensitivität bei höheren Baustandards eine stärkere Sensitivität gegenüber Solarstrahlungsänderungen.

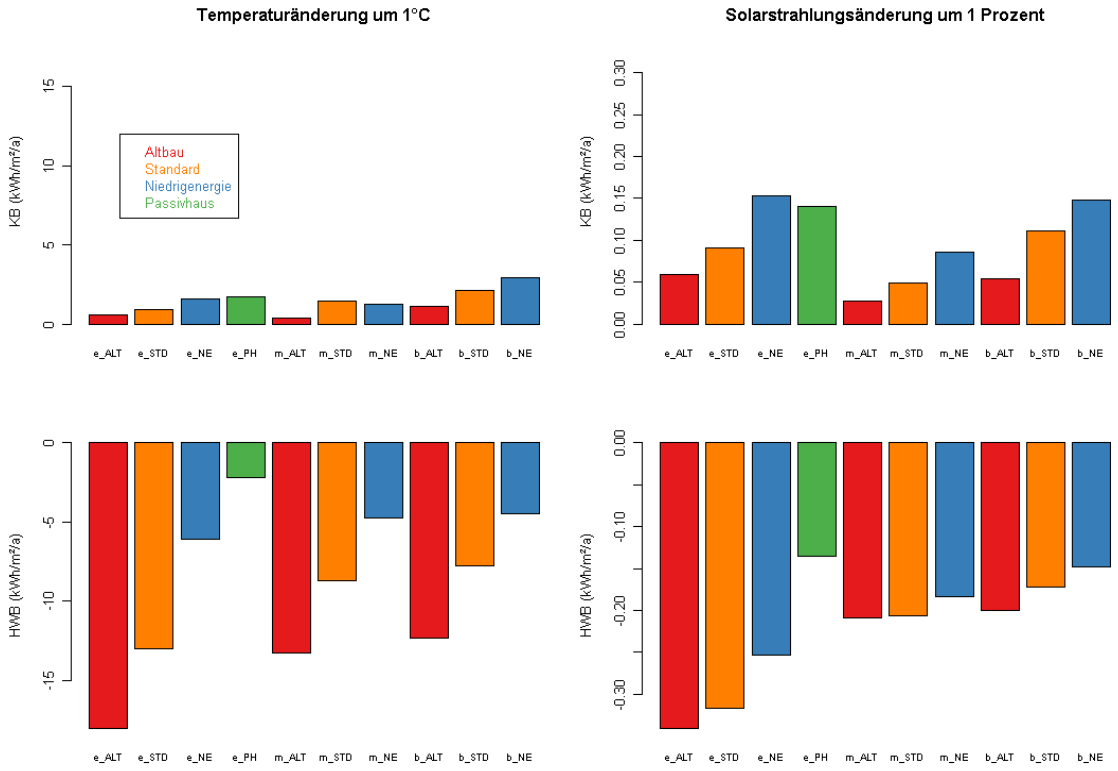
6.5.3 Sensitivitäten auf Jahresebene

Abbildung 35: Sensitivität der einzelnen Gebäudetypen und standards gegenüber einer Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius bzw. einer Solarstrahlungsänderung um 1 Prozent auf einer Seehöhe von 200 Metern



Eine Aufsummierung der errechneten Sensitivitäten auf Jahresbasis (Abbildung 35) unterstreicht die Wichtigkeit, bei Aussagen zur Temperatur- und Globalstrahlungssensitivität zwischen einzelnen Gebäudestandards zu differenzieren. Während bei Gebäuden mit geringer Dämmung die Temperatur- und Globalstrahlungssensitivität des HWB um ein Vielfaches stärker ausgeprägt sind, überwiegt bei hoch gedämmten Gebäuden jeweils eine Verstärkung des KB. Diese unterschiedlichen Sensitivitäten bei verschiedenen Dämmstandards sind ebenfalls auf höheren Seehöhen zu beobachten, auch wenn hierbei sich die Proportionen zwischen den Änderungen des HWB und KB deutlich verschieben, wie Abbildung 36 für eine Seehöhe von 600 Metern illustriert.

Abbildung 36: Sensitivität der einzelnen Gebäudetypen und -standards gegenüber einer Temperaturerhöhung um 1 Grad Celsius bzw. einer Solarstrahlungsänderung um 1 Prozent auf einer Seehöhe von 600 Metern



7 Auswirkungen auf den österreichischen Gebäudebestand

In diesem Kapitel werden Daten zum österreichischen Gebäudebestand in die Analysen miteinbezogen. In den vorherigen Abschnitten wurde der Heizenergie- und Kühlbedarf in Abhängigkeit zur Seehöhe und den unterschiedlichen Klimazonen dargestellt. Es ist notwendig diese Darstellungen zu erweitern, weil die Bevölkerung und damit der Gebäudebestand ungleich auf das österreichische Bundesgebiet verteilt sind. Daher müssen bei einer Gesamtbewertung der klimabedingten Änderungen von Heizenergie- und Kühlbedarf niedriger gelegene Gebiete bzw. die Bevölkerungszentren im Osten stärker in die Berechnungen eingehen sowie die unterschiedliche zeitliche Entwicklung des Gebäudebestandes und deren Folgen für dessen Energiestandard berücksichtigt werden.

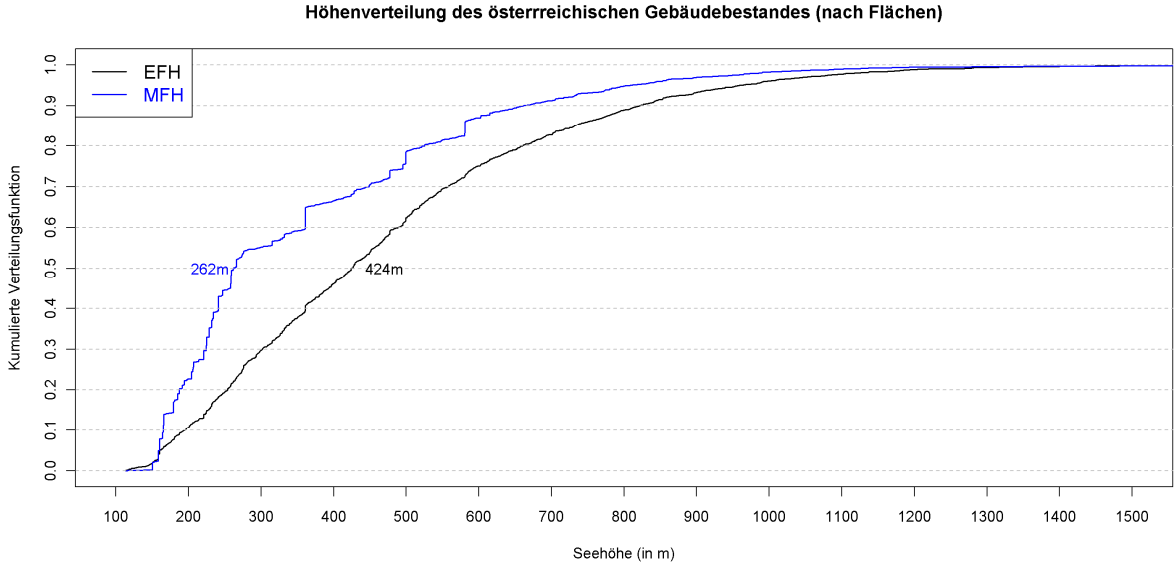
7.1 DATEN UND ANNAHMEN ZUM GEBÄUDEBESTAND

7.1.1 Wohngebäude

Als Datenbasis stehen Gebäudedaten der Statistik Austria (2009) auf Gemeindeebene zur Verfügung. Um kompatibel mit den Daten zu Heizwärme- und Kühlbedarf zu sein, welche für die einzelnen Gebäudetypen in kWh/m²Bruttogeschoßfläche/a gegeben sind, werden die Nutzflächen, wie von der Statistik Austria definiert, auf Bruttogeschoßflächen mit einem Korrekturfaktor von 0,8 umgerechnet (siehe dazu auch Unterabschnitt 4.2). Weiters werden Höheninformationen in Form der Seehöhe der Siedlungsschwerpunkte der Gemeinden (meist gemessen an der Eingangsschwelle der Hauptkirche) miteinbezogen. Es liegt also die Annahme zugrunde, dass die Gebäude eines Ortes höhenmäßig um den Siedlungsschwerpunkt verteilt sind, was durchaus eine Annäherung an die realen Gegebenheiten sein sollte. Weil der Heizenergie- und Kühlbedarf zudem in 50 Meter Höhenintervallen berechnet wurde, werden die Energiewerte der Referenzgebäude für die jeweiligen Gemeinden (exakte Höheninformationen) linear korrigiert.

Abbildung 37 zeigt den Zusammenhang zwischen der Seehöhe und der kumulierten Anzahl der Nutzflächen der Wohnungen für die Wohnungstypen Einfamilienhaus (EFH) und Mehrfamilienhaus (MFH). Es besteht ein deutlicher Unterschied zwischen den EFH, welche üblicherweise in ländlichen Gebieten dominieren, und MFH, die in den zumeist tiefer gelegenen Städten liegen. So liegen 50 Prozent der Wohnnutzflächen in EFH unter 424 m Seehöhe im Vergleich zu 262 m bei MFH. 75 Prozent der EFH befinden sich unter 598 m (MFH 485 m). Es ist zu erwarten, dass diese Unterschiede in der Höhenverteilung massive Auswirkungen insbesondere auf den Kühlbedarf haben, da dieser gerade in tiefer gelegenen Gebieten sehr sensitiv zur Seehöhe ist (siehe Kapitel 6).

Abbildung 37: Kumulierte Höhenverteilung der EFH und MFH in Österreich nach Nutzflächen der Wohnungen



Quelle: Eigene Berechnungen, Datenquelle: Statistik Austria.

7.1.2 Nicht-Wohngebäude

Einen gesonderten Problemfall stellen Daten zu den Flächen von Nicht-Wohngebäuden in Österreich dar, welche insbesondere im Rahmen dieser Arbeit für den Gebäudetyp „Büro“ benötigt würden. Im Zuge der Gebäude- und Wohnungszählung 2001 wurden nur die Flächen von Wohngebäuden erhoben, Daten zu den Flächen von Nicht-Wohngebäuden sind laut Auskunft der Statistik Austria[8] nur aus dem Jahr 1991 vorhanden. Geschäfts- und Bürogebäude nehmen laut dieser Zählung 10 Prozent der gesamten Flächen ein, wie in Tabelle 21 ersichtlich ist. Dieser Anteil dürfte sich allerdings seit 1991 schon aufgrund des Wandels in Richtung Dienstleistungs-/Informationsgesellschaft verändert haben.

8 Persönliches Gespräch mit Mag. Margareta Mahidi, 02.09.2009.

Tabelle 21: Nutzungsflächen in Österreich nach Gebäudenutzung im Jahr 1991

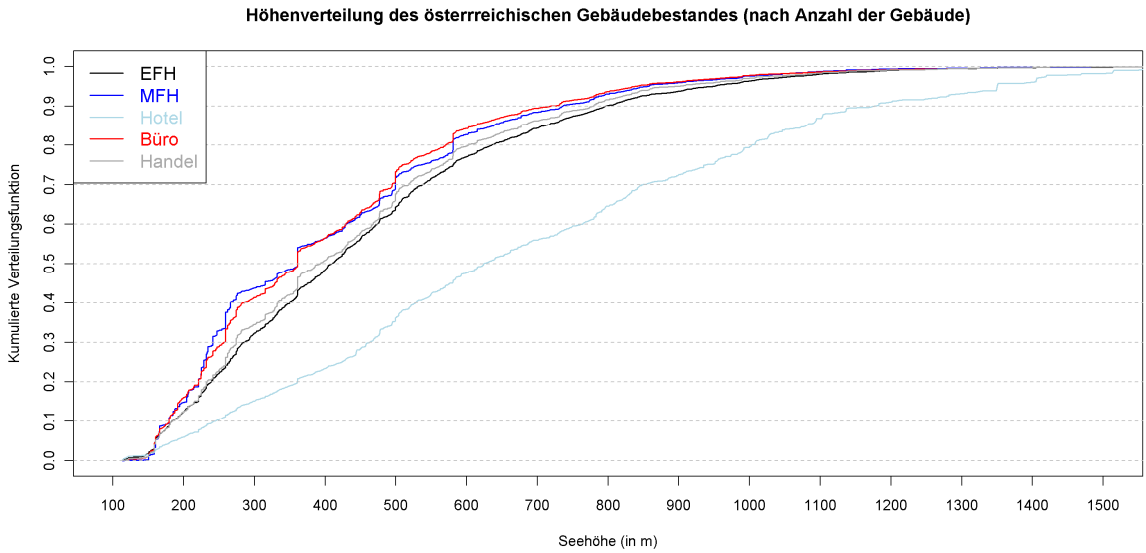
Wohngebäude mit Sitz eines landw. Betriebes	27.975.971
Wohngebäude mit 1 oder 2 Wohnungen	130.067.478
Wohngebäude mit 3 oder mehr Wohnungen	27.637.475
Wohngebäude mit zusätzlicher anderer Nutzung	21.634.820
Summe Wohngebäude	**207.315.744**
Geschäfts-. Bürogebäude	39.519.894
Werkstättengebäude. Fabriks-, Lagerhalle	57.970.841
Hotel. Gasthof. Pension	9.238.515
öffentliches Gebäude	18.127.867
sonstiges Gebäude	52.298.893
Summe Nichtwohngebäude	**177.156.010**
Summe GESAMT	**384.471.754**

Quelle: Statistik Austria.

Für eine Abschätzung der Verteilung des Bürogebäudebestandes auf das Bundesgebiet, wie sie für die nachfolgenden Auswertungen nötig ist, sind somit weder die Daten des Jahres 1991, noch die für das Jahr 2001 gegebene Verteilung der Bürogebäude nach Gemeinden gut geeignet. Da letztere keine Größenangaben zulassen, dürfte eine massive Verzerrung durch Größeneffekte gegeben sein, da Bürogebäude üblicherweise in Städten größere Nutzungsflächen haben. Beispielsweise wurden allein in Wien um das Jahr 2000 mehrere überwiegend als Bürogebäude genutzte Hochhäuser mit mehr als 100 Metern Höhe gebaut, wie die Vienna Twin Towers, der Millenium Tower oder der IZD Tower (www.emporis.com, 02.09.2009).

Aus diesem Grund scheint es realitätsnäher zu sein, die Flächenverteilung der MFH, wie sie aus dem Jahr 2001 gegeben ist (Abbildung 37), auf Bürogebäude zu übertragen und um die durchschnittliche Steigerungsrate der Flächen (58 %, 4,7 % p.a.) zu korrigieren. Dem liegt die Überlegung zu Grunde, dass Bürogebäude wie auch MFH charakteristischerweise in den urbanen Zentren anzufinden sind. Abbildung 38 bestätigt diese Überlegungen einer ähnlichen Höhenverteilung von MFH und Bürogebäuden anhand der Anzahl der Gebäude im Jahr 2001. Im Vergleich zu diesen beiden Kategorien sind EFH, Handel und vor allem Hotels eher in höher gelegenen Regionen gelegen, was sich entsprechend auf die klimatischen Bedingungen für Heizen und Kühlen auswirkt.

Abbildung 38: Kumulierte Höhenverteilung der Anzahl der Gebäude in Österreich für unterschiedliche Gebäudetypen



Quelle: .Eigene Berechnungen, Datenquelle: Statistik Austria.

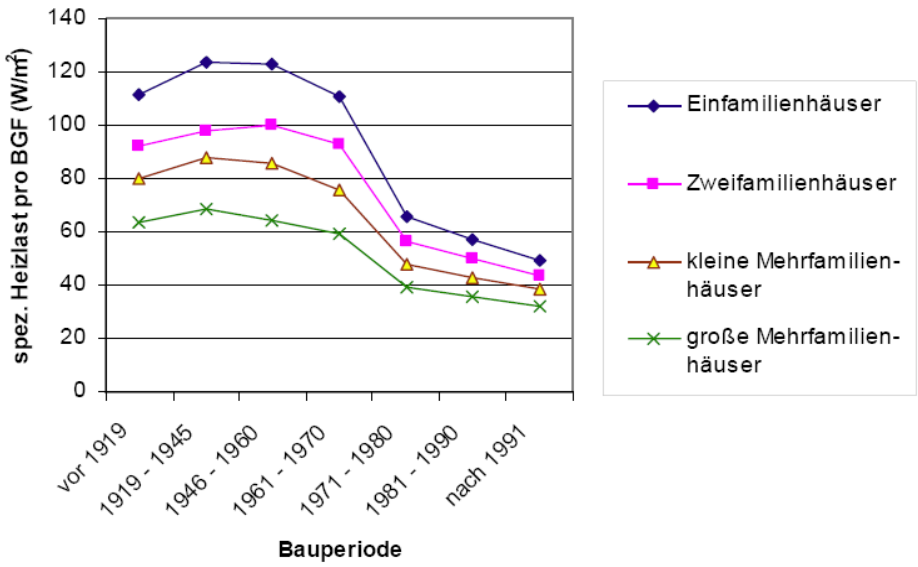
7.1.3 Zuordnung der Bauperioden zu Gebäudestandards

Da auf Gemeindeebene zwar die Bauperioden der Wohnungen, aber keine Informationen über den thermischen Standard der Gebäude vorliegen, erfolgt im Rahmen dieser Arbeit eine Abschätzung der Gebäudestandards anhand einer Verschneidung von empirischen Erfahrungswerten zum Energieverbrauch mit den Bauperioden. Es muss betont werden, dass diese Abschätzung eine Vereinfachung darstellt, die nicht auf die realen Gegebenheiten in den einzelnen Bundesländern Rücksicht nehmen kann (welche beispielsweise durch die unterschiedliche Evolution der Bauordnungen oder Wohlstandseffekte beeinflusst werden). Dennoch stellt die Bauperiode ein charakteristisches Merkmal bezüglich des Baustandards dar und hilft so die regionale Verteilung besser zu verstehen. Dazu sind Annahmen zu folgenden Aspekten zu treffen:

(1) Entwicklung der thermischen Qualität

Studien zur Entwicklung der thermischen Qualität (z.B. Jungmeier et al. 1996, Schriefl 2007) zeigen, auch wenn sich die Bezugsgrößen unterscheiden können, eine sehr ähnliche Tendenz bezüglich des Energieverbrauchs unterschiedlicher Baualtersklassen. Gebäude, die seit den 1970er Jahren gebaut wurden, weisen deutlich bessere Standards auf als die Gebäude zuvor. Die niedrigsten Standards werden Gebäuden aus der Nachkriegszeit (1945 bis 1960) bzw. Zwischenkriegszeit (1919-1945) zugeschrieben. Abbildung 39 zeigt die Entwicklung (bis 2001) für unterschiedliche Wohngebäudetypen anhand der in Schriefl (2007) dargestellten Werte.

Abbildung 39: Entwicklung der thermischen Qualität (spez. Heizlast pro Bruttogeschoßfläche) von Wohngebäuden in Österreich



Quelle: Schriefl, 2007.

In Berücksichtigung dieser Gegebenheiten erfolgt die Zuordnung der unsanierten Gebäude zu den durch die Referenzgebäude abgebildeten Gebäudestandards mit Grenzen in den Jahren 1971, 1991 und 2001 (siehe Tabelle 22). Für die Bauperiode vor 1971 wird angenommen, dass nur Gebäude des Altbau-Standards gebaut wurden (dementsprechend die Zweiteilung der Bauperiode 1961-1980), zwischen 1971 und 1990 entsprechen die gebauten Gebäude dem Standard-Gebäude. Nach 1991 werden zunächst 10 Prozent und nach 2001 50 Prozent dem Niedrigenergie-Referenzgebäude (∅ 55 kWh/ HWB/m^2_{BGF}/a für das Referenzklima) zugeschrieben. Dies ergibt sich aufgrund deutlicher Verbesserungen der vorgeschriebenen Baustandards in allen Bundesländern innerhalb der letzten Jahre. Allerdings variieren diese Mindeststandards, sind nicht immer vergleichbar (unterschiedliche Bezugsgrößen) und unterliegen auch verschiedenen Förderbestimmungen (Form der Förderung, Zusatzanreize anhand ökologischer Kriterien).[9] Dementsprechend ist eine exakte Differenzierung nach Bundesländern bzw. eine Abgrenzung wie groß der Anteil der Niedrigenergiebauten wirklich ist, schwierig. Für Passivhäuser wird bis 2008 mit einem Bestand von 4000 Wohneinheiten (IG Passivhaus, 2007) gerechnet, dies entspricht etwa einem Prozent aller Neubauten in der Periode 2001-2008.

9 Siehe Kletzan-Slamanig et al. (2008) für eine Darstellung der Neubau- und Sanierungsförderungen in den einzelnen Bundesländern.

Tabelle 22: Zuordnung Baustandards zur Bauperiode

	vor 1919	1919-1944	1945-1960	1961-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2008
Altbau	100 %	100 %	100 %	50 %			
Standard				50 %	100 %	90 %	50 %
Niedrigenergie						10 %	49 %
Passivhaus							1 %

Quelle: Eigene Abschätzung.

(2) Anteil sanierter Gebäude

Neben Annahmen zu den Baustandards in den einzelnen Bauperioden ist es auch notwendig den Anteil jener Gebäude zu definieren, die seit Erbauung thermisch saniert wurden. Dieser Anteil nimmt mit Gebäudealter zu und wurde im Rahmen dieser Studie mit den in Kletzan-Slamanig et al. (2008) dargestellten Werten angenommen (Tabelle 23).

Tabelle 23: Anteil sanierter Gebäude je Bauperiode

	vor 1919	1919-1944	1945-1960	1961-1980	1981-1990	1991-2000	2001-2008
saniert	70 %	50 %	40 %	30 %	15 %	0 %	0 %
unsaniert	30 %	50 %	60 %	70 %	85 %	100 %	100 %

Quelle: Kletzan-Slamanig et al. 2008.

(3) Gebäudestandard nach Sanierung

Neben dem Anteil der sanierten Gebäude ist auch abzuschätzen, welchem der Energiestandards die Gebäude nach Sanierung zuzuordnen sind. Die Abschätzung erfolgte (1) anhand der Überlegung, dass einerseits die Sanierungsquote in den ersten Jahren nach Errichtung gegen Null geht (je nach Bauperiode etwa 20 Jahre) und dann mit Entfernung zum Errichtungszeitpunkt ansteigt, (2) anhand des Baustandards der jeweiligen Sanierungsperiode und (3) unter Berücksichtigung der erschwerten Sanierbarkeit historischer Gebäude (Errichtung vor 1919). Die angenommenen Werte sind in Tabelle 24 dargestellt.

Tabelle 24: Gebäudestandard nach Sanierung gesondert nach Bauperiode

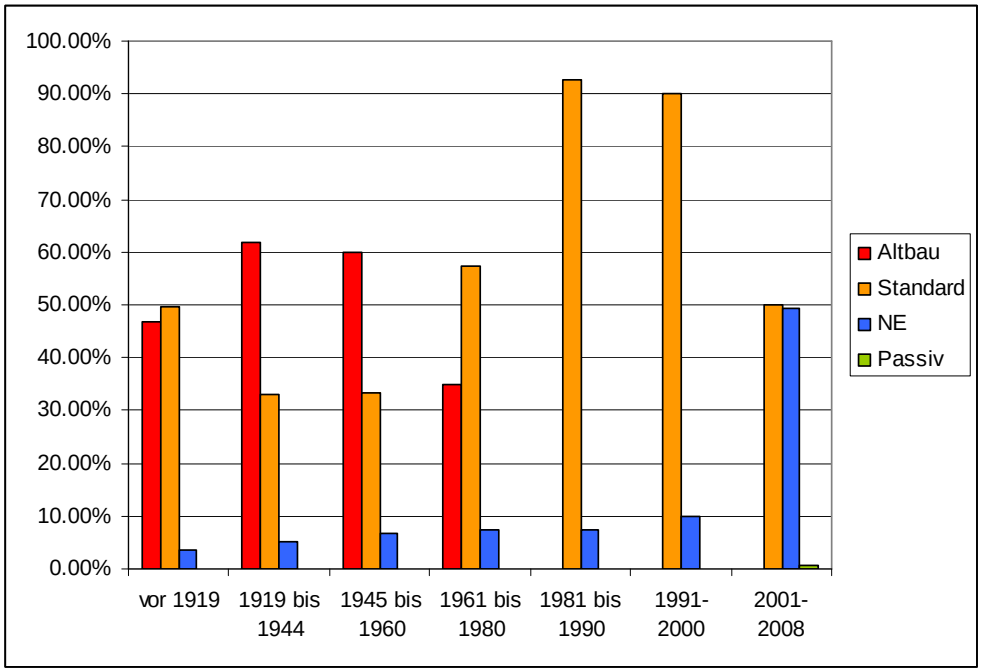
	vor 1919	1919-1944	1945-1960	1961-1980	1981-1990
Altbau	24 %	24 %			
Standard	71 %	66 %	83 %	75 %	50 %
Niedrigenergie	5 %	10 %	17 %	25 %	50 %
Passivhaus					

Quelle: Eigene Abschätzung.

Anhand der in Tabelle 22 bis Tabelle 24 getroffenen Überlegungen ergibt sich die in Abbildung 40 dargestellte Prozentuelle Zuordnung der Bauperioden zu Energiestandards.

Mit Ausnahme der Periode vor 1919 ergibt sich eine kontinuierliche Verbesserung des Anteils der Gebäude mit höheren thermischen Standards.

Abbildung 40: Zuordnung der Bauperioden zu Baustandards (Eigene Abschätzung)



7.2 ÄNDERUNGEN DES KUMULIERTEN HEIZWÄRME- UND KÜHLBEDARFES

In weiterer Folge wird nun für den gesamten österreichischen Gebäudebestand gezeigt, welche Auswirkungen die in Kapitel 5 beschriebenen Klimaänderungen auf die jeweiligen Gebäudekategorien haben. Bei der Interpretation der Auswertungen müssen die Schwerpunkte der zugrundeliegenden Methodik und daher insbesondere folgende Annahmen berücksichtigt werden:

- Der derzeitige Gebäudebestand wird durch Erfassung von zehn möglichst repräsentativen Referenzgebäuden abgebildet. Dies bedeutet aber auch, dass etwa eine Reihe von Spezialfällen und Extremwerten nicht dargestellt werden kann. So haben Bürogebäude mit hohem Glasflächenanteil, wie sie gerade in jüngster Vergangenheit mehrfach errichtet wurden, sicherlich einen deutlich höheren Kühlbedarf. Andererseits wurde gerade in den letzten Jahren in diesem Bereich auch wieder sehr energiebewusst gebaut (einige Bürogebäude in Passivhausstandard, passive Kühlkonzepte). Gebäude mit anderer Nutzung (z.B. Hotel, Krankenhaus, Geschäftsgebäude) haben ebenso deutlich abweichende Energiekennzahlen und werden mit den verwendeten Referenzgebäuden nicht richtig abgebildet.

- Es handelt sich bei den Berechnungen um theoretische Werte, die auf den Algorithmen der ÖNORM B 8110-6 (2007) beruhen. Der tatsächliche Verbrauch an Endenergie für Heizen und Kühlen kann davon deutlich abweichen (siehe Kapitel 8.2).
- Es wird der derzeitige Gebäudebestand im Jahr 2007 dargestellt, während eine Abbildung zukünftiger Bauweisen und Gebäudestandards in diesem Teil der Untersuchungen unterbleibt.[10] Eine grundlegende Annahme dabei stellt auch die Zuordnung der Bauperioden zu den Baustandards dar (siehe Kapitel 7.1).

Aus diesen Annahmen heraus scheint eine Interpretation der mit diesem Bottom-Up-Ansatz erhaltenen absoluten Werte nicht unmittelbar sinnvoll, da sie den tatsächlichen aggregierten Effekt der klimatischen Änderungen auf den österreichischen Gebäudebestand maßgeblich über- oder unterschätzen können. Vielmehr können die dargelegten Untersuchungen aber Basis zur Beantwortung der Frage sein, wie sich der Effekt des Klimawandels auf Heizen und Kühlen bei einer Transformation des Gebäudebestandes verändert.

Tabelle 25: Klimabedingte Änderungen des HWB und KB für den österreichischen Gebäudebestand

Gebäudetyp	Flächen (in Mio. m^2_{BGF})	ΔHWB_{spez} (in kWh/m²/a)			**ΔHWB (in GWh/a)**	ΔKB_{spez} (in kWh/m²/a)			**ΔKB (in GWh/a)**
		min	∅	max		min	∅	max	
EFH	***278.5***	***-3.8***	***-29.9***	***-53.0***	***-8321.9***	***0.5***	***3.7***	***11.1***	***1034.6***
Altbau	82.7	-33.2	-39.1	-53.0	**-3233.1**	0.5	2.8	7.0	**227.7**
Standard	165.3	-24.2	-28.3	-39.3	**-4684.5**	0.9	3.8	8.0	**621.6**
Niedrigenergie	30.4	-11.4	-13.3	-18.7	**-403.6**	1.5	6.1	11.1	**184.4**
Passivhaus	0.1	-3.8	-4.3	-5.0	**-0.6**	1.5	6.4	10.9	**0.9**
MFH	***183.5***	***-8.8***	***-20.7***	***-38.9***	***-3792.5***	***0.2***	***3.1***	***9.0***	***562.3***
Altbau	64.3	-24.1	-27.4	-38.9	**-1758.7**	0.2	2.2	5.4	**139.8**
Standard	102	-16.0	-18.2	-27.1	**-1859.6**	0.6	3.3	6.7	**335.3**
Niedrigenergie	17.3	-8.8	-10.1	-15.1	**-174.2**	1.0	5.0	9.0	**87.2**
Büro	***88.1***	***-8.2***	***-19.1***	***-38.4***	***-1683***	***0.7***	***7.1***	***13.7***	***621.3***
Altbau	30.8	-22.8	-25.8	-38.4	**-795.4**	0.7	5.3	10.5	**162.7**
Standard	48.9	-14.6	-16.5	-25.0	**-809.2**	1.9	7.7	12.5	**378.9**
Niedrigenergie	8.3	-8.2	-9.4	-13.9	**-78.4**	2.9	9.6	13.7	**79.7**

Tabelle 25 stellt die spezifischen und kumulierten Änderungen für die jeweiligen Gebäudetypen und -standards dar. Es zeigt sich, dass die deutlichsten Gesamteffekte beim EFH zu erwarten sind, sowohl wegen der Dominanz an der Gesamtfläche, aber auch

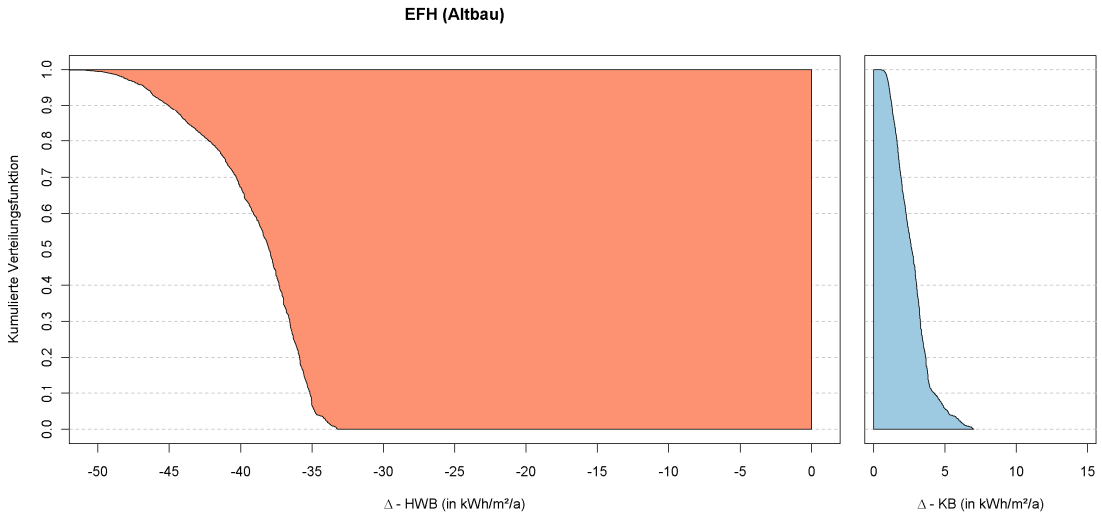
10 Diese Arbeitsschritte sind im dritten Projektjahr vorgesehen.

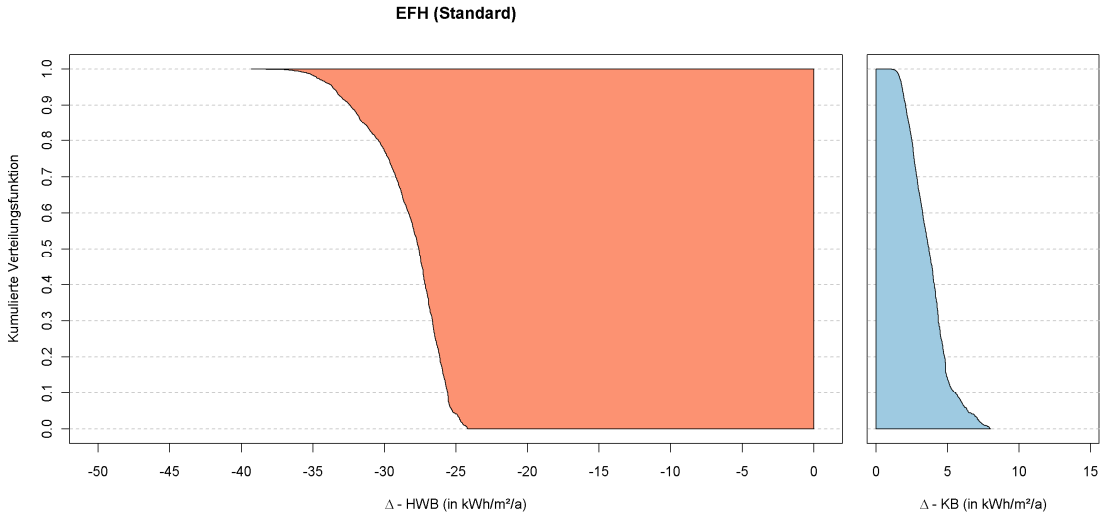
wegen der gegenüber MFH deutlich stärker ausgeprägten spezifischen Effekte bei der Änderung des HWB (ΔHWBspez). Zwischen EFH bzw. MFH und Bürogebäuden besteht für den derzeitigen Gebäudebestand vor allem im Verhältnis der HWB-Änderung (ΔHWB) und der KB-Änderung (ΔKB) ein massiver Unterschied. Dieses beträgt etwa bei EFH 8:1, bei MFH 7:1 und bei Bürogebäuden 2,5:1.

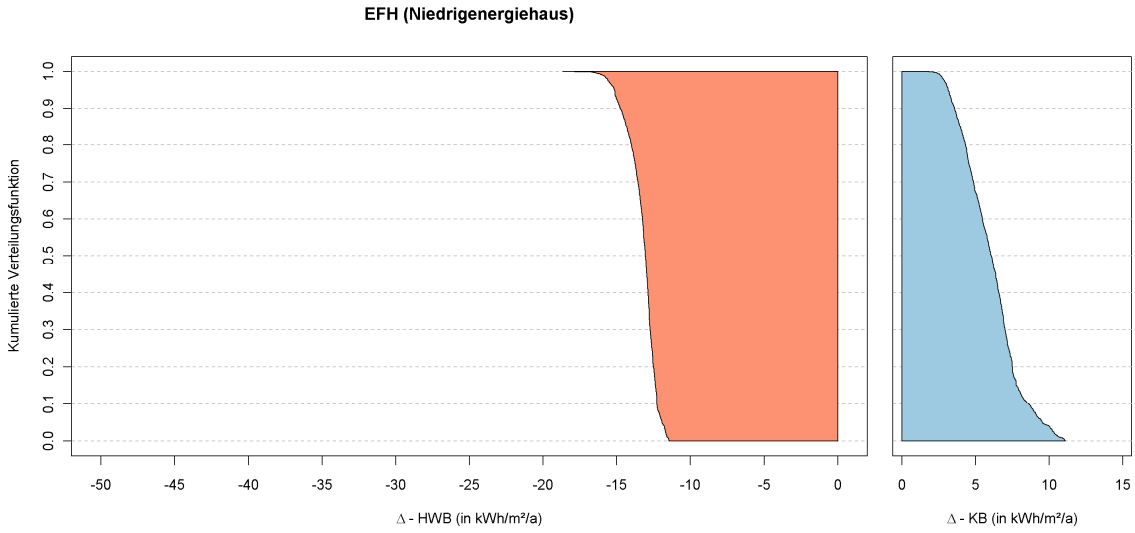
Die Intervalle bei den einzelnen Gebäudestandards zwischen minimalem und maximalem ΔHWBspez bzw. ΔKBspez ergeben sich rein aufgrund der unterschiedlichen Standorte, da für alle anderen standortunabhängigen Faktoren ceteris paribus Bedingungen unterstellt werden. Die Konzentration der MFH und Bürogebäude in den tiefer gelegenen Lagen manifestiert sich auch darin, dass die durchschnittlichen ΔHWBspez-Werte viel näher an den Minimal- als an den Maximalwerten liegen. Umgekehrt orientieren sich bei Bürogebäuden die ΔKBspez näher an den Maxima als den Minima. Eine genauere Darstellung für die einzelnen Gebäudetypen und -standards erfolgt nun in den Unterabschnitten 7.21 bis 7.23

7.2.1 Einfamilienhäuser (EFH)

Abbildung 41: Verteilung der Änderung des HWB und KB für EFH




EFH (Standard)
Kumulierte Verteilungsfunktion
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0
Δ - HWB (in kWh/m²/a)
0 5 10 15
Δ - KB (in kWh/m²/a)


EFH (Niedrigenergiehaus)
Kumulierte Verteilungsfunktion
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0
Δ - HWB (in kWh/m²/a)
0 5 10 15
Δ - KB (in kWh/m²/a)

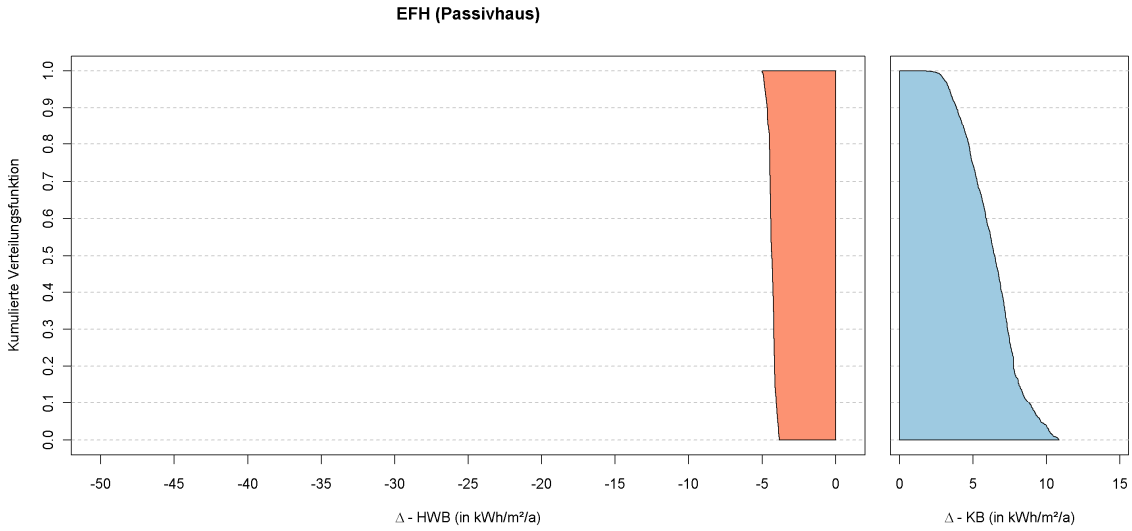
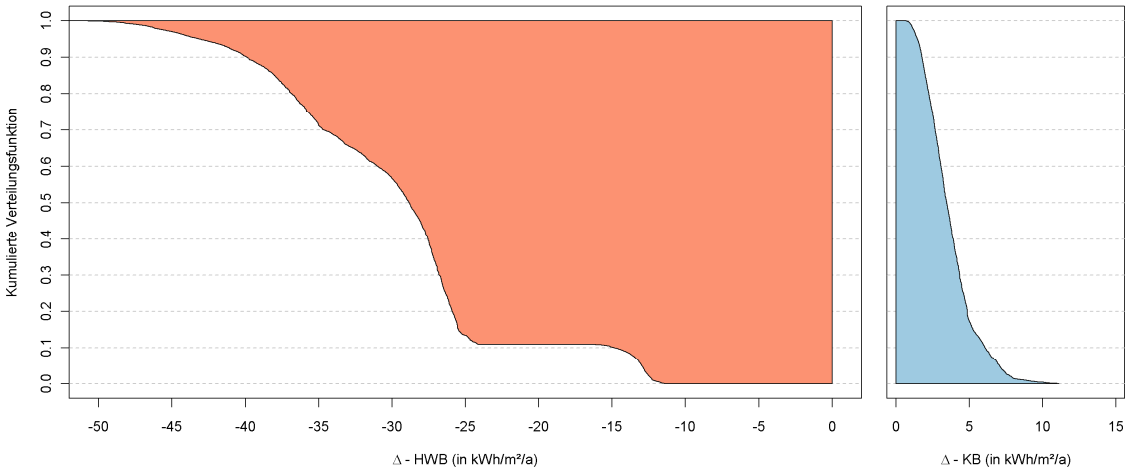

EFH (Passivhaus)
Kumulierte Verteilungsfunktion
0.0 0.1 0.2 0.3 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9 1.0
-50 -45 -40 -35 -30 -25 -20 -15 -10 -5 0
Δ - HWB (in kWh/m²/a)
0 5 10 15
Δ - KB (in kWh/m²/a)

Abbildung 41 illustriert die Auswirkungen der klimabedingten Änderung des HWB und KB für die unterschiedlichen Gebäudestandards unter Einbeziehung der zugrundeliegenden Variation der Klimabedingungen im österreichischen Bundesgebiet. Die stärkere Besiedelung höher gelegener Gebiete mit EFH zeigt sich etwa im Vergleich mit den MFH an den deutlichen Unterschieden beim HWB der unteren 70 Prozent der Gebäudeflächen, vor allem bei niedrigerem Gebäudestandard. Bei höherem Gebäudestandard hingegen sind die Änderungen des HWB deutlich homogener als die Änderungen des KB, bei welchen im Spektrum der klimatischen Bedingungen massive Unterschiede bestehen.

Abbildung 42: Verteilung der Änderung des HWB und KB für EFH (derzeitiger Gebäudebestand)



In Abbildung 42 werden die in Abbildung 41 dargestellten Änderungen für den derzeitigen Gebäudebestand (auf Basis der Referenzgebäude) illustriert. Im Vergleich zu den MFH und Bürogebäuden sind hier aufgrund der durchschnittlich höheren Seehöhen der Gebäude und vor allem des höheren Ausgangsniveaus beim spezifischen HWB die stärksten Einsparungen beim HWB zu erwarten, welche die Zunahme des KB um den Faktor 8 übertreffen.

Abbildung 43: Verteilung des HWB und KB für EFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand)

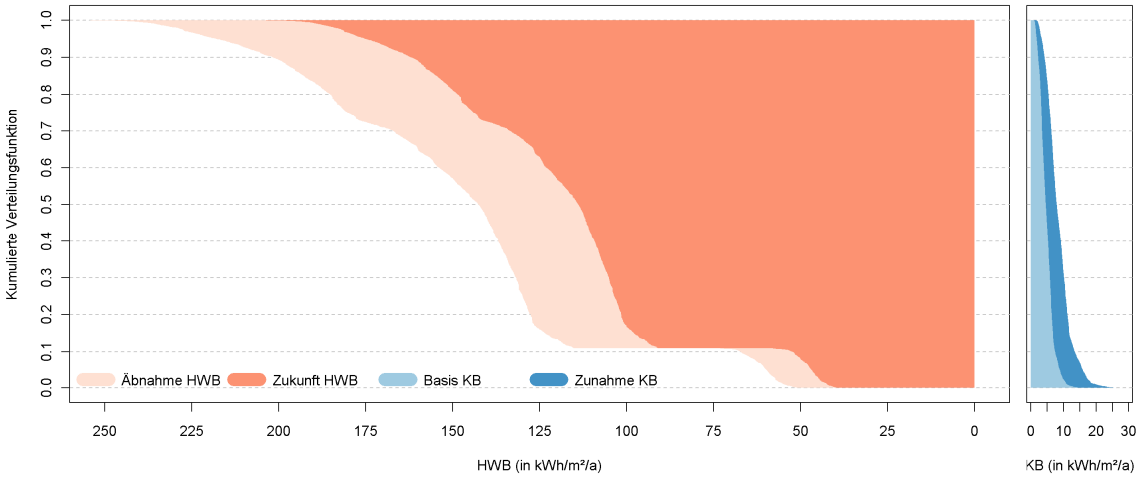
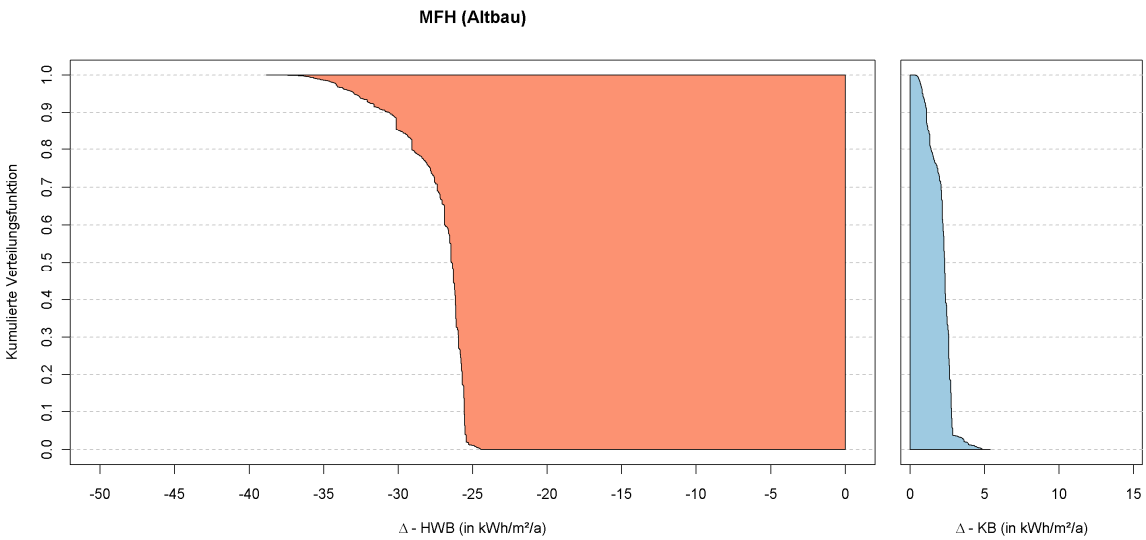
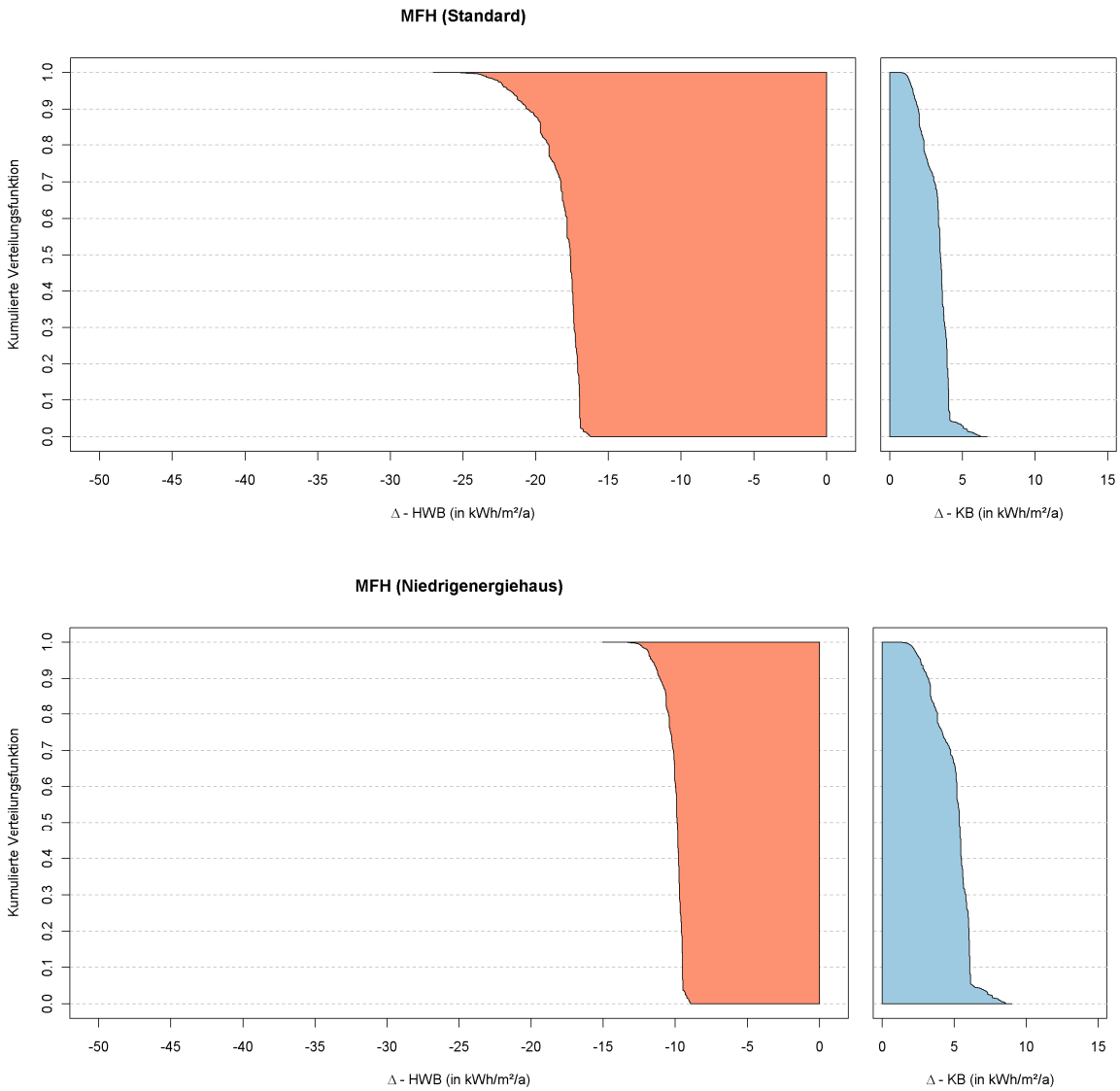


Abbildung 43 zeigt die in Abbildung 42 gezeigte Abnahme des HWB und Zunahme des KB im Kontext der Ausgangsbasis. Ein Rückschluss aus beiden Abbildungen könnte sein, dass für einen Großteil des derzeitigen Bestandes an EFH der klimabedingte Anstieg des KB keine drastischen Änderungen mit sich bringen sollte. Der Anstieg des theoretischen KB liegt bei 80 % der Gebäude unter 5 kWh/m²/a, und der Gesamtbedarf unter Annahme des Klimaszenarios liegt damit bei 70 % der Gebäude unter 10 kWh/m²/a, bei 90 % unter 15 kWh/m²/a. Dieser KB sollte weiterhin großteils mit herkömmlichen Kühlstrategien (Nachtlüftung, passive Kühlung etc.) gehandhabt werden können.

7.2.2 Mehrfamilienhäuser (MFH)

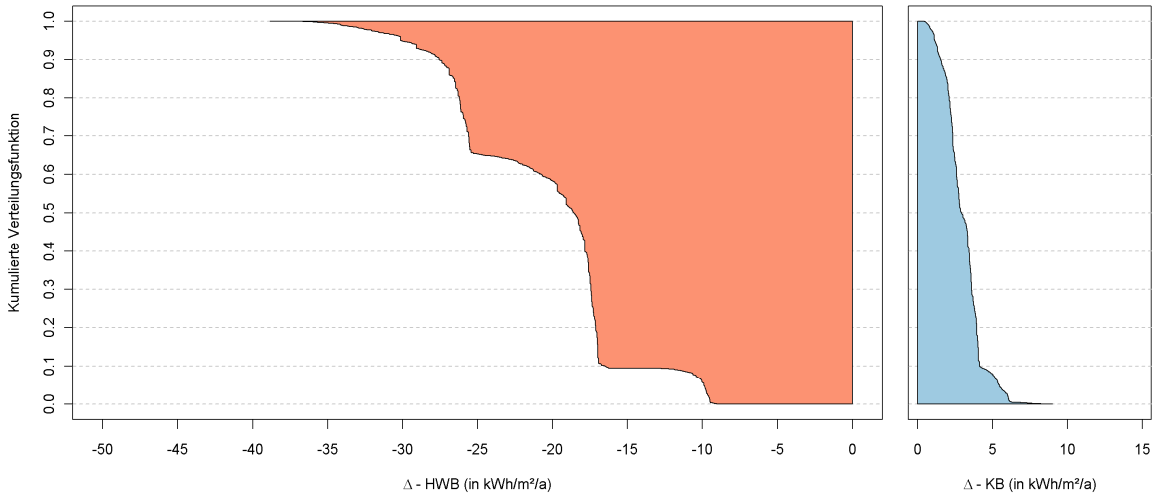
Abbildung 44: Verteilung der Änderung des HWB und KB für MFH





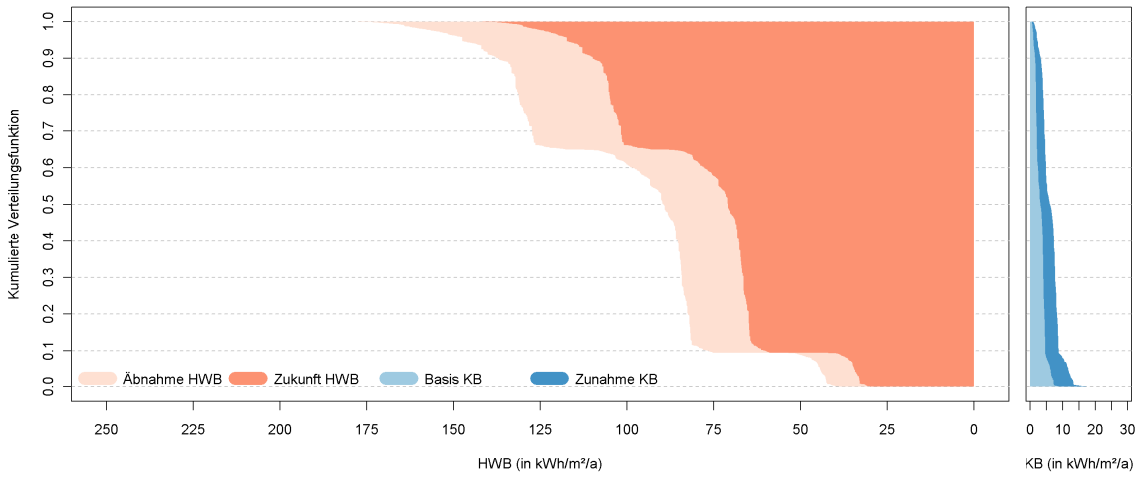
Wie Abbildung 44 veranschaulicht, ergibt sich bei MFH für die jeweiligen Gebäudestandards ein ähnliches Verhältnis zwischen HWB-Abnahme und KB-Zunahme wie bei EFH (siehe auch Tabelle 25). Wegen der Konzentration des Bestandes in tiefer gelegenen Lagen (nur etwa 15 Prozent liegen über 600 Metern und haben damit einen vergleichsweise höheren HWB und geringeren KB) bestehen jedoch sehr wenige Unterschiede innerhalb der jeweiligen Standards.

Abbildung 45: Verteilung der Änderung des HWB und KB für MFH (derzeitiger Gebäudebestand)



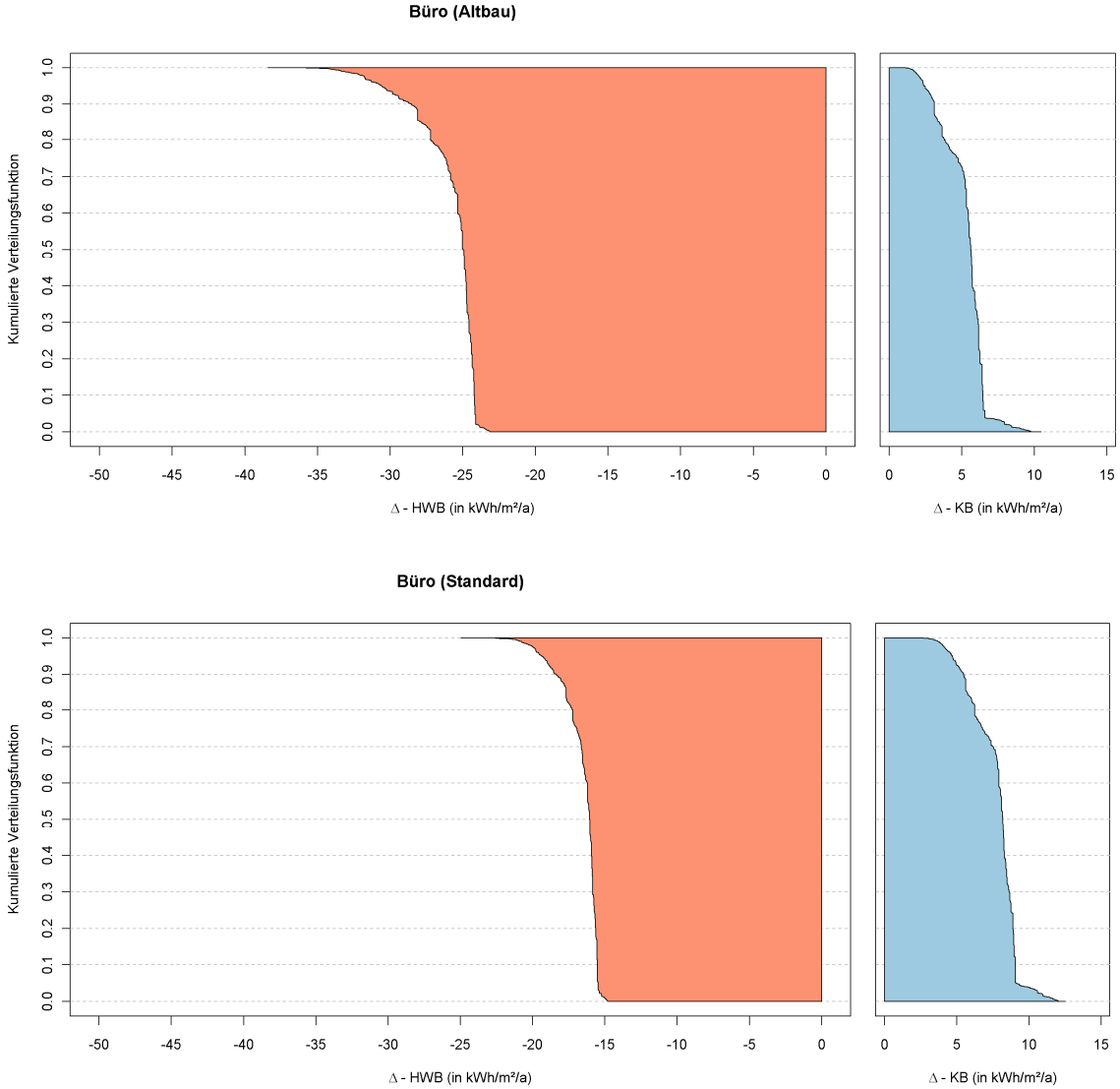
In Abbildung 45 werden die dargestellten Änderungen für den derzeitigen Gebäudebestand zusammengefasst. Für diesen beträgt das Verhältnis der HWB-Abnahme zur KB-Zunahme 7:1. Auch für MFH kann analog zu EFH geschlossen werden, dass für einen Großteil des Bestandes die Zunahme des KB kein großes Problem darstellen sollte, da dieser bei weniger als 10 Prozent des Bestandes um mehr als 5 kWh/m²/a zunimmt und dann insgesamt mehr als 10 kWh/m²/a beträgt. Abbildung 46 zeigt die Änderung von HWB und KB im Vergleich zur klimatologischen Ausgangsbasis.

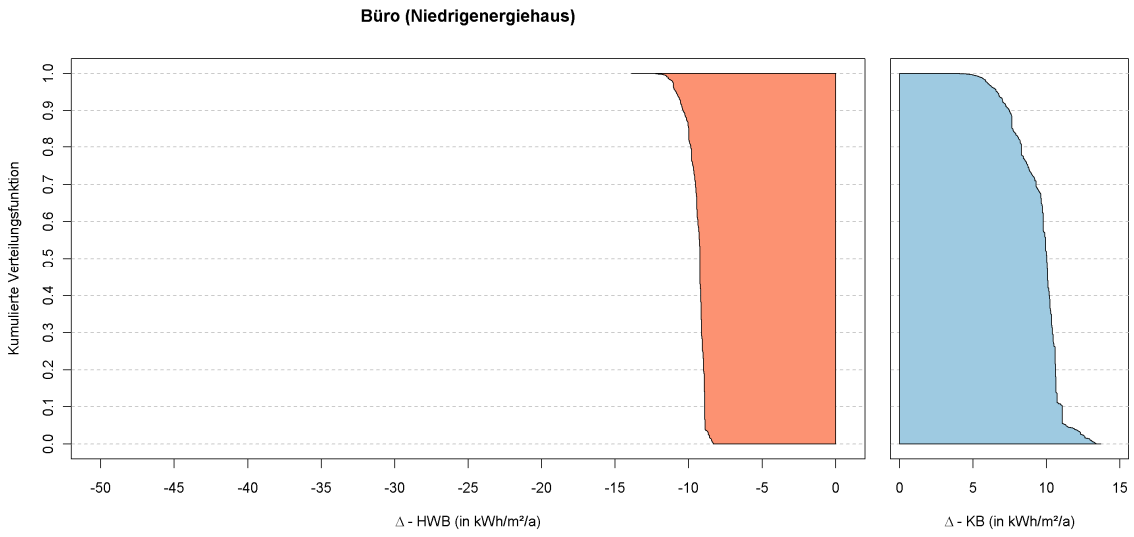
Abbildung 46: Verteilung des HWB und KB für MFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand)



7.2.3 Bürogebäude

Abbildung 47: Verteilung der Änderung des HWB und KB für Büro





Der KB von Bürogebäuden ist gegenüber Temperaturänderungen deutlich sensitiver als jener von EFH und MFH, während beim HWB ähnliche Muster wie bei den MFH erkennbar sind. Abbildung 47 illustriert, dass vor allem bei Niedrigenergiebauweise die Zunahme des KB höher ausfällt als die Abnahme des HWB. Auch bei Standardgebäuden fällt der Unterschied vergleichsweise gering aus. Innerhalb der jeweiligen Gebäudestandards besteht beim HWB ein geringeres Differential als beim KB.

Abbildung 48: Verteilung der Änderung des HWB und KB für Büro (derzeitiger Gebäudebestand)

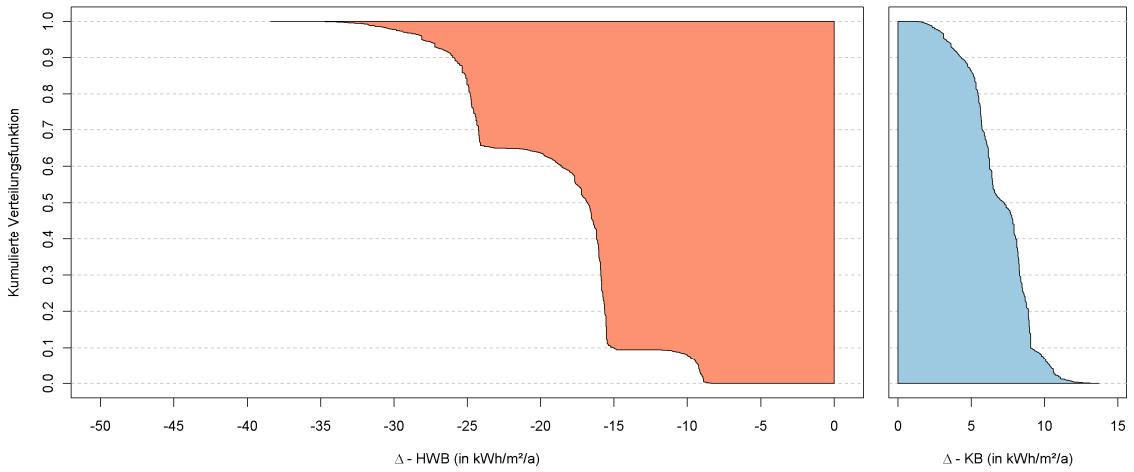
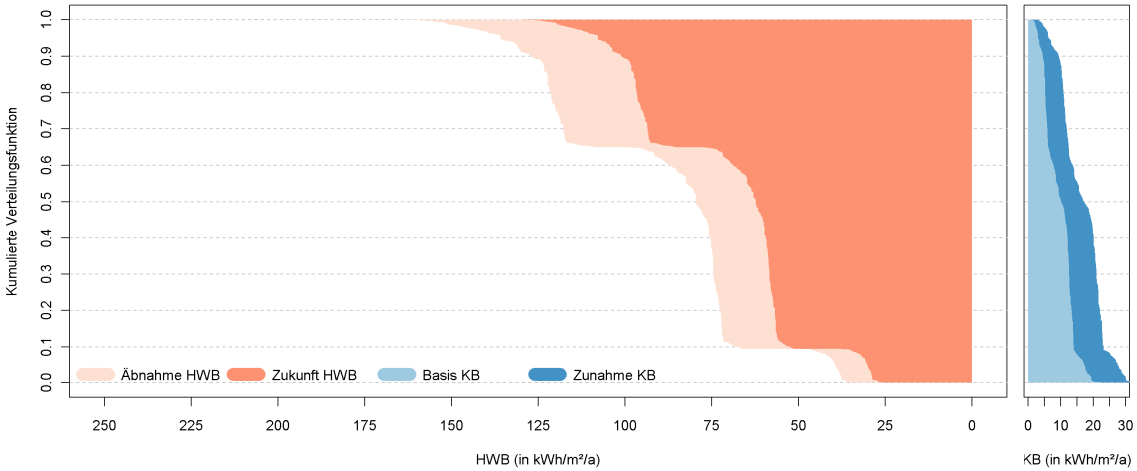


Abbildung 48 zeigt die kumulierten Änderungsfunktionen für den derzeitigen Gebäudebestand. Das Verhältnis zwischen der HWB-Abnahme und der KB-Zunahme beträgt 2,5 zu 1, wobei bei Gebäuden mit hohem Dämmstandard sogar ein Verhältnis von 1:1 vorliegt und vor allem in niedrigen Lagen die Zunahme des KB dominiert. Bei Bürogebäuden kann also gesagt werden, dass diese Zunahme des KB um durchschnittlich 7 kWh/m²/a eine klare Änderung darstellt, deren tatsächliches Ausmaß bzw. deren

Zusatzkosten jedoch von den gewählten Adaptionsstrategien abhängen (siehe dazu die Diskussionen in Kapitel 8.2). Abbildung 49 fasst die Änderungen von HWB und KB für den derzeitigen Gebäudebestand im Vergleich zur Ausgangsbasis zusammen.

Abbildung 49: Verteilung des HWB und KB für Bürogebäude unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand)



8 Ökonomische Auswirkungen

Während eine Quantifizierung der Auswirkungen von Klimaänderungen auf Heizen und Kühlen auf energetischer Ebene mehrfach erfolgt ist (siehe Kapitel 10), sind detaillierte ökonomische Abschätzungen der Effekte bisher nach unserer Kenntnis, zumindest für gemäßigte Klimate, unterblieben. Dies dürfte daran liegen, dass vor allem für Gebäudekühlung hier kaum Erfahrungswerte vorliegen und je nach technischem System, Jahresnutzungsdauern etc. massive Kostenunterschiede bestehen. Die Ergebnisse einer derartigen Abschätzung hängen also in hohem Ausmaß von den getroffenen Annahmen über die derzeitigen und zukünftigen Heiz- und Kühlsysteme und die verwendeten Energieträger ab, wobei insbesondere die Wahl der Systemgrenze eine entscheidende Rolle spielt.

Aus zweierlei Hinsicht scheint jedoch eine ökonomische Zugangsweise bzw. eine Quantifizierung des Kostenunterschieds zwischen Heiz- und Kühlenergie unumgänglich zu sein. Erstens besteht zwischen den wichtigsten Heizenergieträgern (Öl, Gas und Holzprodukte) und dem dominierenden Kühlenergieträger Elektrizität ein signifikanter Preisunterschied (siehe auch Unterabschnitt 8.2). Zweitens erfordern die derzeitigen klimatischen Bedingungen in gemäßigten Klimaten üblicherweise bei Heizsystemen eine höhere Anzahl an Jahresnutzungsstunden als bei Kühlsystemen. Damit spielen die Kapital-/ bzw. Investitionskosten bei Heizsystemen eine verhältnismäßig geringere Rolle an den Gesamtkosten, weil sie gegenüber den Brennstoffkosten für mehrere tausend Betriebsstunden zumeist relativ gering ausfallen.

Aus diesen Gründen erscheint es vernünftig, zumindest auf vereinfachte Weise, den Kostenunterschied zwischen Heiz- und Kühlenergie zu erfassen und dem energetischen Mengeneffekt gegenüberzustellen. Im Rahmen dieser Arbeit erfolgt daher zunächst eine Diskussion der methodischen Grundlagen (Unterabschnitt 8.1), bevor eine Abschätzung der Effekte für den österreichischen Gebäudebestand erfolgt (Unterabschnitte 8.2 und 8.3).

8.1 METHODISCHE DISKUSSION

Amato et al. (2005) betonen die Notwendigkeit, die vorherrschenden Heiz- und Kühlenergieträger gesondert zu betrachten und neben der Änderung der kurzfristigen Brennstoffkosten auch die langfristigen Kapitalkosten durch den Rück-/Ausbau der relevanten Energiesysteme zu berücksichtigen:

> *"We assume the separation of energy forms used predominantly for heating (i.e. natural gas, fuel oil) and those for cooling (i.e. electricity) is important, because climate change is anticipated to have unique impacts on the use of each form of energy and subsequently on the different energy delivery systems. Analyses focusing on total energy use may find only negligible changes in energy use or expenditure given the potential for changes in*

> *cooling and heating energy to offset one another. While the implications may not be significant in physical energy terms, the implications may be significant in terms of the large capital costs associated with cooling energy system expansion and heating energy system contraction."* (S. 185).

Aus ökonomischer Sicht impliziert dies, dass auf individueller Ebene neben den üblicherweise betrachteten Mengeneffekten auch Preis- und Investitionseffekte einbezogen werden müssen. Zudem sind auf langfristige Sicht auch Systemeffekte (makroökonomische Effekte) zu berücksichtigen, etwa wenn Anpassungen etwa von Gas- oder Elektrizitätsnetzen notwendig werden und sich wiederum in den Preisen widerspiegeln.

Tabelle 26: Auswirkungen eines Temperaturanstiegs auf die Heiz- und Kühlkosten

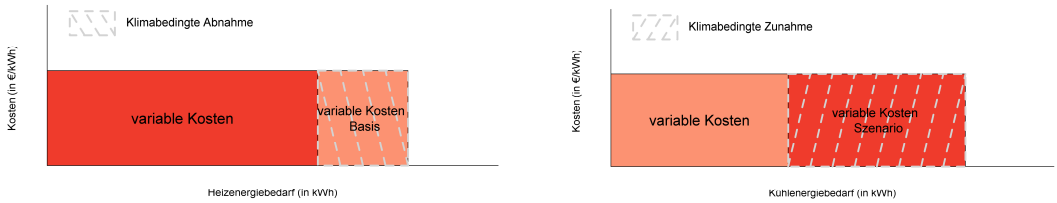
	I **verbrauchs-gebundene Mengen-effekte**	II **verbrauchs-gebundene Preiseffekte**	III **(langfristige) Investitionseffekte**	IV **makroökonomische Preiseffekte**
Heizen	⇓ Temperatur-bedingte Minderkosten	⇑ Möglicher Reboundeffekt (höhere Tarife bei mengen-abhängigen Preisen)	⇓ Geringere Lager-erfordernisse ⇓ Geringere Heizsystem-größen	⇓ Kurzfristig: geringere Nachfrage führt zu geringeren Preisen ? Langfristig: Preisanpassung je nach Energieträger abhängig von Marktmacht der Anbieter, möglichen Kapazitätsrückbauten und Substitutionsmöglichkeiten
Kühlen	⇑ Temperatur-bedingte Mehrkosten	⇓ Möglicher Reboundeffekt (durch niedrigere Tarife bei mengen-abhängigen Preisen) ⇑ Möglicher Verstärkungs-effekt (bei Time-of-use Pricing)	⇑ Zusätzliche Kühlgeräte und Kühlsysteme	⇑ Kurzfristig: höhere Nachfrage führt zu höheren Preisen ⇑ Langfristig: Im Falle, dass zusätzliche Kühlaktivitäten Bedarfsspitzen im Sommer erhöhen (z.B. Südeuropa), führt die Schaffung zusätzlicher Netz- und Spitzenlastkapazitäten zu höheren Strompreisen

Tabelle 26 gibt einen Überblick über mögliche Auswirkungen eines Temperaturanstiegs auf die Heiz- und Kühlkosten. Die einzelnen Effekte werden in den Unterabschnitten 8.1.1 bis 8.1.4 näher beschrieben werden, wobei jeweils eine schematische Darstellung dieser getrennt nach Heizen und Kühlen erfolgt. Die Darstellungen erfolgen vereinfachend und ohne Zugrundelegung empirischer Werte, orientieren sich jedoch in etwa an Richtung und Größenordnung der beschriebenen Effekte.

8.1.1 Verbrauchsgebundene Mengeneffekte

Verbrauchsgebundene Mengeneffekte beschreiben die direkte Reduktion der Heizenergiekosten durch die temperaturbedingte Abnahme des Heizenergiebedarfes bzw. die zusätzlichen Kühlenergiekosten durch die temperaturbedingte Zunahme des Kühlbedarfes. Abbildung 50 illustriert diesen Effekt schematisch, wobei die Gesamtkosten jeweils aus dem Produkt von Energiepreis (in €/kWh) und Verbrauchsmenge (in kWh) bestehen.

Abbildung 50: Klimabedingte Änderung der verbrauchsgebundenen Heiz- und Kühlkosten



Die Höhe der Minder- bzw. Mehrkosten hängt maßgeblich von den eingesetzten Heiz- bzw. Kühlenergieträgern ab. Hier zeigt sich insbesondere beim Heizenergiebedarf, dass durch Abnahmen (durch höhere Wintertemperaturen, aber auch etwa durch zusätzliche Wärmedämmung) Technologien mit in der Regel niedrigeren Investitionskosten und höheren verbrauchsgebundenen Kosten (z.B. Heizöl, Erdgas) stärker betroffen sind. So zeigen Prettenthaler et al. (2008) beispielsweise, dass bei einer Abnahme der Heizgradtage um sechs Prozent (Investitionshorizont: 20 Jahre) die Abnahme der Gesamtheizkosten etwa für Hackgutheizungen zwei Prozent, für Öl- und Gasheizungen aber wegen des höheren Anteils der verbrauchsgebundenen Kosten vier Prozent beträgt.

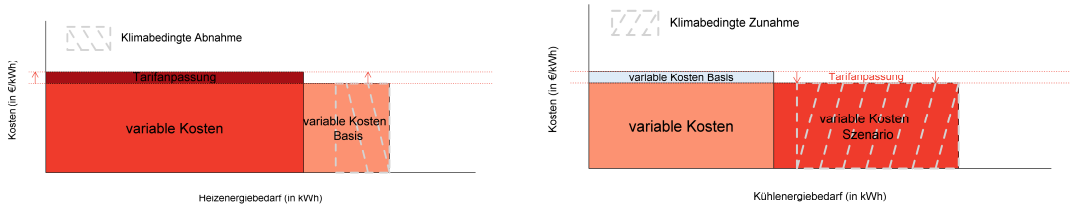
Dieser direkte Effekt auf individueller Ebene, der vergleichsweise einfach ermittelbar ist, kann jedoch massiv durch kurz- oder langfristige Preisänderungen verstärkt oder abgeschwächt werden und enthält keine langfristigen Investitionskosten, sodass eine alleinige Betrachtung zu einer Unter- bzw. Überschätzung der klimabedingten Effekte führen kann.

8.1.2 Verbrauchsgebundene Preiseffekte

Je nach Tarifstruktur für die jeweiligen Energieträger können Preisänderungen Mengeneffekte verstärken bzw. abschwächen. Als klassisches Beispiel für einen Rebound-(Kompensations-)Effekt gelten beispielsweise mengenabhängige Preisstrukturen, wie sie etwa derzeit in der Elektrizitäts- oder Gasversorgung üblich sind. Die Preise hängen vielmehr vom Jahresverbrauch ab (Mengendegression). Ein temperaturbedingter Minderbedarf im Winter könnte dementsprechend zu höheren Tarifen, ein temperaturbedingter Zusatzbedarf an Elektrizität im Sommer könnte zu niedrigeren Tarifen führen. Die klimabedingte Kosteneinsparung würde also durch die

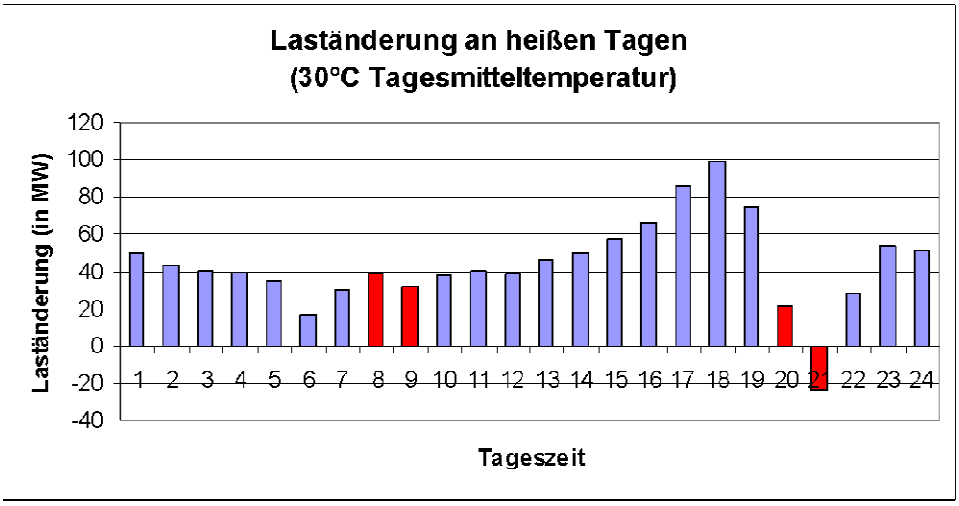
Tarifsteigerung verringert werden bzw. die klimabedingten Zusatzkosten durch die Tarifreduktion abgeschwächt werden (Abbildung 51).

Abbildung 51: Klimabedingte Änderung der verbrauchsgebundenen Heiz- und Kühlkosten unter Berücksichtigung von Tarifanpassungen



Insbesondere für den Elektrizitätsbedarf für Kühlung im Sommer gilt jedoch, dass die vermehrte Einführung von marktpreisabhängigen Bepreisungsschemen, wie etwa Time-of-Use-Tarifen bzw. Real-Time-Pricing[11] dazu führen könnte, dass für diesen überdurchschnittliche Preise zu zahlen sind. Dies ergibt sich daraus, dass Kühllasten hauptsächlich an Wochentagen und untertags auftreten, zu Zeiten wo die Preise üblicherweise höher sind. Abbildung 52 illustriert beispielsweise die Kühllast im Netzgebiet eines österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmens im Tagesverlauf (rote Balken stellen nicht-signifikante Ergebnisse dar).

Abbildung 52: Änderung der Elektrizitätslast an extrem heißen Tagen im Netzgebiet eines österreichischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen

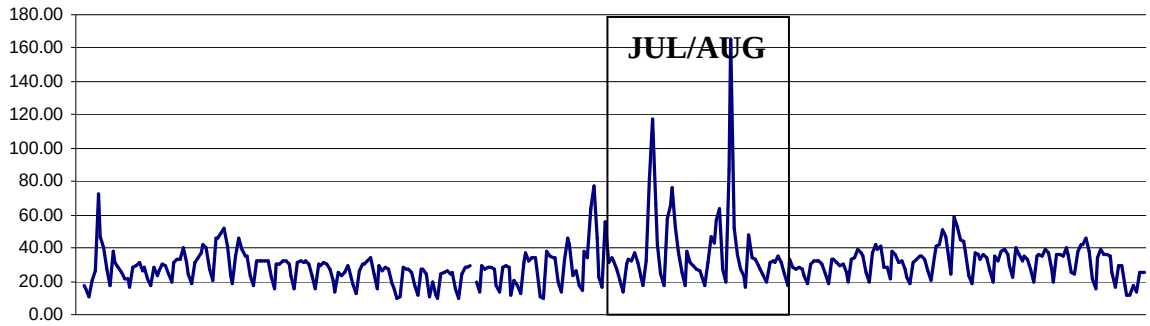


Quelle: Prettenthaler et al. 2008.

11 Für eine nähere Beschreibung der unterschiedlichen Bepreisungssysteme siehe etwa Holland und Mansur (2006), Kiesling (2007) oder Borenstein (2007).

Nicht nur der heimische, sondern vor allem der Zusatzbedarf an Kühlleistung aus Südeuropa könnte in diesem Fall zu höheren Preisen für Kühllast führen. Als Beispiel kann die Situation im Sommer 2003 angeführt werden, wo wegen hoher Temperaturen und wenig Niederschlag ein Rückgang des Angebotes (Wasserkraftproduktion, Kühlwasserprobleme) einer vermehrten Nachfrage gegenüberstand, was in einer hohen Volatilität der Elektrizitätspreise resultierte (siehe Abbildung 53).

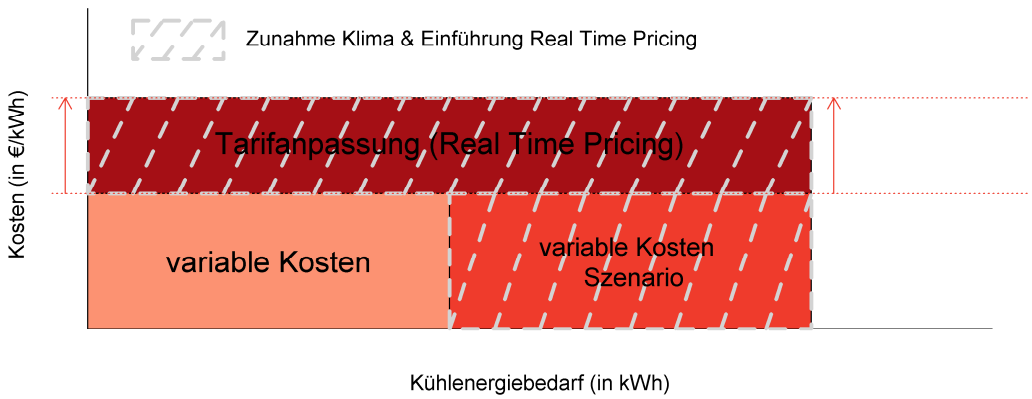
Abbildung 53: EXAA Base Load Spotpreise im Jahr 2003 in Euro



Datenquelle: EXAA 2008

Die Kombination aus vermehrter Kühlnachfrage durch höhere Temperaturen und dem Einsatz von marktpreisabhängigen Bepreisungsschemen (besonders ‚Real Time Pricing') könnte also die verbrauchsgebundenen Kühlkosten wesentlich höher ausfallen lassen als unter den derzeitigen zeitunabhängigen bzw. Tag/Nacht-Tarifen. Abbildung 54 stellt den sowohl mengen- als auch preisbedingten Anstieg der Kühlkosten für diesen Fall schematisch dar.

Abbildung 54: Klimabedingte Änderung der verbrauchsgebundenen Kühlkosten bei Einführung von Real Time Pricing

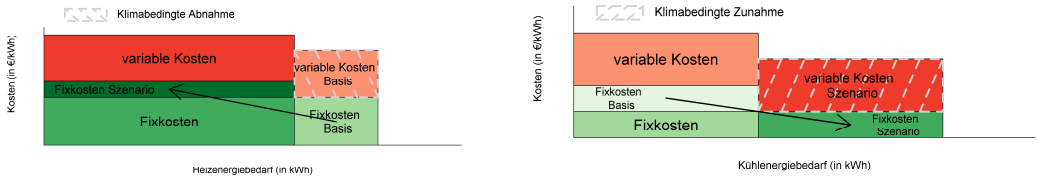


8.1.3 (Langfristige) Investitionseffekte

Neben kurzfristigen Mengen- und Preiseffekten für Energieträger sind auch die langfristigen Investitionskosten in Heiz- und Kühlsysteme bzw. kombinierte Systeme zu berücksichtigen. Die monetären Auswirkungen des Klimawandels auf diese Systeme hängen zu einem Gutteil davon ab, inwieweit diese unter den geänderten Bedingungen rückgebaut werden können bzw. ausgebaut werden müssen.

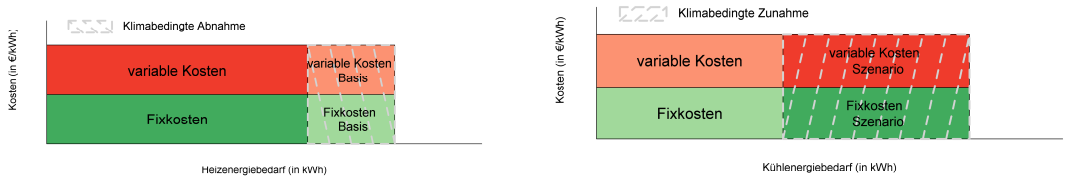
Aus theoretischer Sichtweise können diesbezüglich zwei Extremfälle unterschieden werden. Einerseits besteht die Option, dass die technischen Systeme gänzlich unverändert bleiben. In diesem speziellen Fall würden die Fixkosten vernachlässigbar sein. Diese würden zwar bei geänderten Temperaturen auf weniger bzw. mehr Energieeinheiten aufgeteilt werden, d.h. die Kosten pro Einheit steigen bzw. sinken, die Gesamtkosten werden aber dennoch nur von der Änderung der variablen Kosten beeinflusst werden (Abbildung 55).

Abbildung 55: Klimabedingte Änderung der Heiz- und Kühlkosten ohne Anpassung der Fixkosten



Andererseits besteht die Option, dass die technischen Systeme gänzlich adaptiert werden, d.h. das Heizsystem kann rückgebaut bzw. das Kühlsystem muss entsprechend erweitert werden. In diesem Fall ändern sich sowohl die variablen Kosten als auch die Fixkosten und eine Gesamtkostenbetrachtung ist notwendig (Abbildung 56).

Abbildung 56: Klimabedingte Änderung der Heiz- und Kühlkosten mit Anpassung der Fixkosten



Wie hoch die langfristige Anpassungsfähigkeit der Heiz- und Kühlsysteme ist, ist schwer abschätzbar und hängt massiv von den derzeit installierten Systemen, Systemgrößen und baulichen Gegebenheiten ab.

Bei der Beheizung von klassischen EFH und MFH mit Zentralheizungen bzw. Einzelöfen dürften die Anpassungsmöglichkeiten eher gering ausfallen. Selbst wenn bei einer Ersatzinvestition einige Komponenten wie etwa der Heizkessel oder Lagerbehälter kleiner dimensioniert werden können, liegt bei diesen Komponenten oft eine beachtliche Größendegression bei den Preisen vor, d h. der Kauf kleinerer Komponenten ist unwesentlich billiger als die zuvor eingesetzten Komponenten. Deutlich zeigt sich dieser Effekt beim zumeist größten Kostenfaktor, nämlich dem Heizkessel selbst. Beispielsweise würde eine Reduktion der Heizlast um 33 Prozent von 15 auf 10 kW eine Reduktion der Heizkessel-Kosten um 3 bis 11 Prozent hervorrufen, mit Ausnahme von Elektroheizungen (33 Prozent). Damit könnten in Proportion je nach Technologie nur etwa 9 bis 33 Prozent der Fixkosten für Heizkessel auch tatsächlich abgebaut werden (mit Ausnahme von Elektroheizungen). Hinzu kommt, dass etwa die Kosten der Installation ebenfalls durchaus unabhängig von der Größe der Komponente sein dürften, also auch hier keine Anpassung möglich ist.

Tabelle 27: Kostenanpassung bei unterschiedlichen Kessel-Technologien

Technologie	Kosten 10 kW(*)	Kosten 15 kW(*)	Heizlastreduktion 15-->10kW	Kosten-einsparung	Fixkosten-Anpassung
Pelletsofen (Raumaustragung)	10.847 €	11.165 €	33 %	3 %	9 %
Pelletsofen (Wasser)	5.470 €	6.145 €	33 %	11 %	33 %
Gaskessel	2.973 €	3.148 €	33 %	6 %	17 %
Gas (Brennwert)	4.799 €	5.053 €	33 %	5 %	15 %
Ölkessel	3.601 €	3.818 €	33 %	6 %	17 %
Öl (Brennwert)	5.255 €	5.547 €	33 %	5 %	16 %
Wärmepumpe (Luft-Wasser)	9.460 €	10.343 €	33 %	9 %	26 %
E-Konvektoren	2.538 €	3.806 €	33 %	33 %	100 %
E-Nachtspeicheröfen	3.753 €	5.630 €	33 %	33 %	100 %

(*) *Kosten für Wärmeerzeuger nach Wärmeleistung des Wärmeerzeugers (in Euro) inkl. Regelungseinrichtungen, Einrichtungen zur Brennstoffförderung und Abgasanlage (für Brennwertgeräte), ohne Montage/Installation.*

Datenquelle: Schriefl, 2007.

Auch bei Fernwärmenetzen dürfte der Anteil jener Fixkosten, die eingespart werden können, einen geringen Prozentsatz ausmachen, weil Kosten etwa für Personal, Steuerungstechnik und insbesondere die Leitungsnetze und deren Wartung wenig Anpassungspotenzial zu haben scheinen. Aus dieser Überlegung heraus muss eine temperaturbedingte sinkende Nachfrage zu höheren Tarifen führen, um die Fixkosten decken zu können. Der Effekt für den Kunden würde dem in Abbildung 51 (linke Graphik) beschriebenen Rebound-Effekt gleichkommen.

Beim Kühlen dürften hingegen massive Unterschiede zwischen den einzelnen Technologien bestehen. Zunächst ist vor allem die Möglichkeit zu erwähnen, dass derzeit noch kein System im Einsatz ist und klimabedingte Temperaturänderungen eine

Erstinvestition notwendig machen. Während Einzelraumkühlsysteme wie z.B. Single- oder Multi-Split Geräte, wie im Wohnbereich überwiegend eingesetzt, geringe Investitionen hervorrufen, kann vor allem eine nachträgliche Aufrüstung mit aufwendigeren technischen Systemen (etwa zentrale Kühlsysteme mit Luftverteilung im Gebäude oder auch Kühldecken) höhere Kosten verursachen als, wenn diese Systeme bereits zu Beginn eingeplant sind. Bei bestehenden Kompressionskälteanlagen ist die Frage der Kosten von Anpassungen bei geänderten klimatologischen Bedingungen wegen des hohen Fixkostenanteils[12] von zentraler Bedeutung, jedoch über den Einzelfall hinaus schwer abzuschätzen.

8.1.4 Makroökonomische Effekte

Aus makroökonomischer Sicht kommt hinzu, dass sich die Preise nicht nur durch Tarifgestaltung beim einzelnen Kunden (Abschnitt 8.1.2), sondern auch durch die Preisgestaltung an den internationalen Rohstoffmärkten ändern können. Kurzfristig hat die Nachfrage einen bedeutenden Einfluss auf den Preis. Eine exogene Nachfragesenkung (etwa durch hohe Temperaturen im Winter) führt in der Regel zu niedrigeren Preisen (etwa für Erdgas), was für den einzelnen Kunden neben geringeren Verbrauchsmengen auch geringere Tarife bedeutet (sofern der Anbieter den Preisvorteil weitergibt).

Mittel- und langfristig kommt es jedoch darauf an, um welche Infrastruktur es sich handelt. Wenn ein langfristiger Rückbau der Infrastruktur möglich ist (z.B. durch Unterlassung von Ersatzinvestitionen) dann sollte der Nachfragerückgang keine Rolle spielen. Sind hingegen die Fixkosten nicht im selben Ausmaß reduzierbar (etwa wenn Gasleitungen trotzdem erhalten werden müssen), müsste eine Weitergabe dieser über die Preise die Folge sein. Verkompliziert werden die Überlegungen dadurch, dass etwa bei sinkender Rentabilität von Leitungsnetzen einige andere Faktoren hinzukommen, etwa die Substituierbarkeit von Transportwegen mit hohem Fixkostenanteil durch Transportwege mit hohem variablen Kostenanteil oder die Substituierbarkeit von Energieträgern. Der langfristige Gesamteffekt einer temperaturbedingten Nachfragesenkung ist also schwer einschätzbar.[13]

Zumindest bei Elektrizität als vorherrschendem Kühlenergieträger scheint hingegen der Effekt abschätzbar zu sein. Im Falle, dass zusätzliche Kühlaktivitäten Bedarfsspitzen im Sommer erhöhen, wie dies etwa in Südeuropa zu beobachten ist, führt die Investition in zusätzliche Netz- und Spitzenlastkapazitäten langfristig zu höheren Strompreisen. Adnot et al. (1999, S. 87) schätzen beispielsweise für Italien, dass aufgrund von vermehrten Kühlspitzen bis 2020 zusätzliche 3500 MW Kapazität benötigt werden, mit etwa zwei Milliarden Euro an zusätzlichen Investitionen in die Elektrizitätsinfrastruktur.

---

12 Simader et al. (2005, S. 108) gehen beispielsweise bei einer Wirtschaftlichkeitsrechnung für ein Bürogebäude von einem Investitionskostenanteil von etwa 67 Prozent aus, der Rest entfällt hauptsächlich auf Elektrizitätskosten.

13 Dieser Abschnitt wurde in Zusammenarbeit mit Sebastian Petrick, Institut für Weltwirtschaft, Universität Kiel, verfasst.

8.2 UNTERSTELLTE ANNAHMEN

Ausgehend von den im Kapitel 8.1 detailliert beschriebenen Effekten von Klimaänderungen auf die Heiz- und Kühlkosten erfolgt nun eine erstmalige Quantifizierung für den österreichischen Gebäudebestand. Eine seriöse Abschätzung der Kostenänderungen ist im Rahmen dieses Projektes ausschließlich für den zu erwartenden Haupteffekt, nämlich die Änderung der verbrauchsgebundenen Mengenänderung möglich. Eine empirische Abschätzung der Preiseffekte ist wegen der beschriebenen Komplexität der Zusammenhänge ohne weitere Detailstudien, die den Rahmen dieser Arbeiten deutlich sprengen würden, unzulässig. Eine Miteinbeziehung langfristiger Investitionseffekte wäre aus unserer Sicht jedenfalls erstrebenswert. Allerdings hängen hier, wie theoretisch gezeigt, die Ergebnisse ausschließlich vom angenommenen Anpassungsgrad ab. Dementsprechend sind für eine Abschätzung des Klimaeffektes auf die langfristigen Investitionskosten vor allem nähere empirische Untersuchungen zu dessen Struktur und zum Anpassungsgrad notwendig, wie sie im Rahmen dieser Arbeit nicht möglich sind.

Aus diesem Grund beziehen sich die in der Folge ermittelten Effekte rein auf die verbrauchsgebundenen Mengeneffekte (siehe Abbildung 50), das heißt es werden für den Gebäudebestand die klimabedingten Energiekostenänderungen (Klimaeffekt mal derzeitige Energiepreise) dargestellt. Für eine Quantifizierung dieser Kostenänderungen sind mehrere grundlegende Annahmen zu treffen, die nun in diesem Abschnitt näher ausgeführt werden.

8.2.1 Energiepreise

Die Brennstoffkosten variieren in hohem Ausmaß und Annahmen über die Preissituation können dementsprechend Ergebnisse sehr stark beeinflussen. Grundsätzlich gilt unter Ökonomen, dass langfristige Durchschnittspreise weniger volatil sind als oft verwendete stichtagsbezogene Preise und daher zu bevorzugen sind. In dieser Arbeit wird für Erdgas, Heizöl und Elektrizität der 5-Jahresdurchschnitt der Periode 2002 bis 2006 verwendet und um Preisschätzungen für Holzprodukte und Fernwärme ergänzt (Tabelle 28). Der Durchschnittspreis von 4,9 Cent/kWh Heizöl entspricht etwa einem Literpreis von 50 Cent und ist damit etwa am gleichen Niveau wie der Durchschnittspreis in den ersten beiden Quartalen des Jahres 2009, liegt aber deutlich unter den Preisspitzen im Jahr 2008 von einem Euro pro Liter.

Tabelle 28: Energiepreise (inkl. Steuern und Abgaben) im Durchschnitt der Periode 2002 bis 2006 für österreichische Haushalte

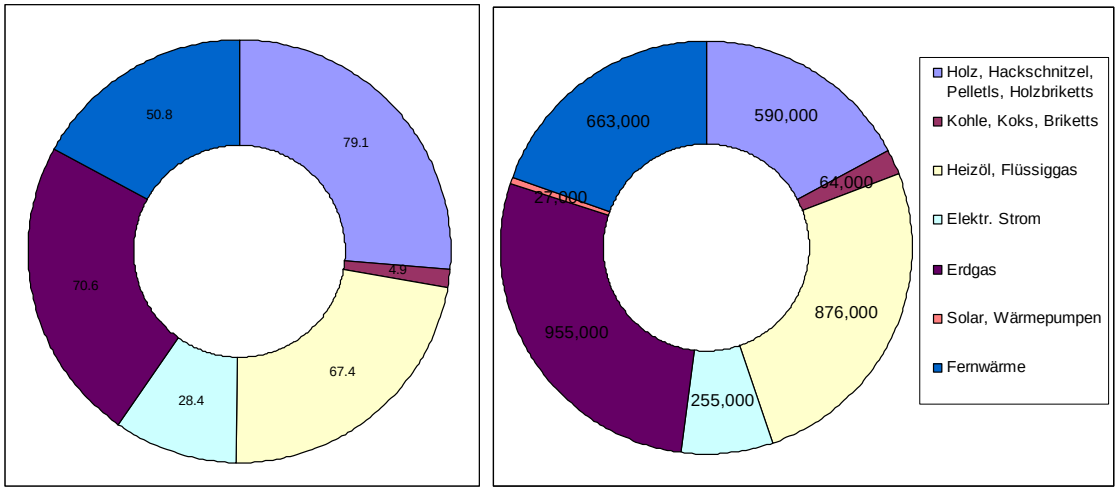
Erdgas Berechnungsbasis: Jahresverbrauch: 83,7 Gigajoule	0,049 €/kWh
Heizöl Berechnungsbasis: Lieferungen zwischen 2 000 und 5 000 Litern jährlich	0,049 €/kWh
Holzprodukte (Holz, Hackgut, Pellets)* Berechnungsbasis: Eigene Berechnungen (siehe Steininger et al. 2008. S. 130 ff) *Die Preise variieren in hohem Maße je nach Produkt, Beschaffungsform und Menge	0,025-0,044 €/kWh*
Fernwärme Berechnungsbasis: Mittleres steirisches Fernwärmenetz im Jahr 2006. die Kosten können je nach Anbieter stark variieren (siehe Steininger et al. 2008. S. 130 ff und Schriefl 2007)	0,054 €/kWh
Elektrizität Berechnungsbasis: Jahresverbrauch: 3 500 kWh. darunter 1 300 kWh Nachtstrom **Hochgerechnet anhand der mit 1.7.2009 geltenden Tarife der Verbund AG	0,138 €/kWh (Tagstrom 0,143 €/kWh)** (Nachtstrom 0.,93 €/kWh)**

Datenquelle: Eurostat, 2008 und eigene Berechnungen.

Für die Gewichtung der Heizenergiepreise wird auf den Anteil der Energieträger am energetischen Endverbrauch für Raumheizung und Klimatisierung im Jahr 2007 zurückgegriffen, wie er in der Nutzenergieanalyse der Statistik Austria (2007) ausgewiesen wird. Der gewichtete Heizenergieträgerpreis beträgt 5,02 Cent/kWh. Diese in der Nutzenergieanalyse abgebildete Verteilung wird zwar durch den nicht getrennt dargestellten Bereich Klimatisierung verzerrt, die Abweichung dürfte hingegen lediglich im Promillebereich liegen. Alternativ könnte die Gewichtung nach der Anzahl der Wohnungen je Beheizungsart erfolgen, wie sie im Mikrozensus 2004 der Statistik Austria ausgewiesen sind. Damit wäre jedoch die Verzerrung viel stärker, da bei diesem Größeneffekte nicht berücksichtigt sind (Erdgas vermehrt in kleineren Wohneinheiten etc.). Abbildung 57 illustriert den Unterschied in der Verteilung zwischen beiden Statistiken.

Als Kühlenergiepreis wird der Elektrizitätspreis bei einem konstanten Tarif (Tag- und Nachtstrom nicht unterschieden) von 0,138 €/kWh unterstellt.

Abbildung 57: Links: Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern im Jahr 2007 (in TJ); Rechts: Anzahl der Wohnungen je Energieträger im Jahr 2004



Datenquelle: Statistik Austria.

8.2.2 Umrechnung von Heizwärme- und Kühlbedarf zu Heiz- und Kühlenergiebedarf

Die Preise für den Heizenergieträgermix bzw. für den Kühlenergieträger Elektrizität beziehen sich auf den Endenergiebedarf, welcher durch mehrere Faktoren vom Heizwärme- bzw. Kühlbedarf (HWB/KB) abweicht. Für die Kostenabschätzung muss der gegebene HWB/KB in Endenergiebedarf (EEB) umgerechnet werden, wofür Annahmen bezüglich der verwendeten technischen Systeme sowie des tatsächlichen Benutzerverhaltens zu treffen sind.

Der Endenergiebedarf für Raumheizung (EEB_{RH}) wird zunächst gemäß folgender Formel berechnet (vgl. Schriefl, 2007):

$$EEB_{RH} = \frac{HWB * fs}{\eta_{RH}}$$

wobei:

fs *Benutzungs- bzw. Servicefaktor*

η_{RH} *Jahresnutzungsgrad des Raumheizsystems*

Der Benutzungs- bzw. Servicefaktor bezieht diverse Aspekte des Benutzerverhaltens (wie die Wahl der Innenraumtemperatur oder das Lüftungsverhalten) in die Berechnungen ein, und drückt so die Relation zwischen dem tatsächlich gemessenen Endenergieverbrauch und dem berechneten theoretischen Endenergiebedarf aus. Empirische Daten zeigen, dass der Benutzungsfaktor mit Gebäudestandard und Automatisierungsgrad zunimmt (Schriefl, 2007). Aus diesem Grund wird für unsere Berechnungen der Benutzungsfaktor in Abhängigkeit des Gebäudestandards miteinbezogen. Da dieser nicht zwischen der Beheizungsart (Einzelöfen, Zentralheizung etc.) differenziert, erfolgt die Gewichtung der

Benutzungsfaktoren nach dem durchschnittlichen Zentralisierungsgrad im Jahr 2000 (75 Prozent). Für das „Passivhaus“ werden dieselben Werte unterlegt wie für Niedrigenergiehäuser, zumal es sich bei der ausgewiesenen Passivhausvariante ohnedies um ein sehr gut gedämmtes Niedrigenergiehaus handelt. Die verwendeten Benutzungsfaktoren werden in Tabelle 29 ausgewiesen.

Tabelle 29: Benutzungsfaktoren in Abhängigkeit von Gebäudestandard und Automatisierungsgrad

	EFH – nicht automatisiert	EFH – automatisiert	**EFH gewichtet**	MFH – nicht automatisiert	MFH – automatisiert	**MFH gewichtet**
Altbau	0,47	0,59	**0,56**	0,61	0,65	**0,64**
Standard	0,52	0,65	**0,62**	0,65	0,71	**0,69**
NEH	0,54	0,72	**0,67**	0,7	0,77	**0,75**
Passivhaus	0,54	0,72	**0.67**			

Datenquelle: Schriefl, 2007, S. 58, nach Biermayr et al. 2004.

Der Jahresnutzungsgrad des Raumheizsystems wird, analog zu Schriefl (2007), als von den Wärmeabgabeflächen abgegebene Energie in Relation zu Endenergieeinsatz für Raumheizung gesehen. Die aus dieser Studie übernommenen Jahresnutzungsgrade stammen aus dem Jahr 2000 und sind eher als Durchschnittswerte des IST-Bestands und nicht als Werte für Neuanlagen zu sehen. Wie in Tabelle 30 abgebildet, unterscheiden sich diese deutlich in Abhängigkeit vom eingesetzten Brennstoff.

Tabelle 30: Durchschnittliche Jahresnutzungsgrade für Heizsysteme

Brennstoff	Holz, Hackschnitzel, Pellets, Holzbriketts	Heizöl, Flüssiggas	Elektrischer Strom	Erdgas	Fernwärme
durchschnittlicher Jahresnutzungsgrad	0,72	0,85	0,98	0,89	0,91

Datenquelle: Schriefl, 2007.

Unter Berücksichtigung der in Tabelle 29 ausgewiesenen Benutzungsfaktoren und der in Tabelle 30 dargestellten Jahresnutzungsgrade ergeben sich Korrekturfaktoren in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Brennstoff (Tabelle 31):

Tabelle 31: Verwendete Korrekturfaktoren von HWB zu EEB_{RH}

Gebäudetyp	Holz, Hackschnitzel, Pellets, Holzbriketts	Heizöl, Flüssiggas	Elektr. Strom	Erdgas	Fernwärme
e_alt	0,78	0,66	0,57	0,63	0,62
e_standard	0,86	0,73	0,63	0,69	0,68
e_NEH	0,94	0,79	0,69	0,76	0,74
e_passiv	0,94	0,79	0,69	0,76	0,74
m_alt	0,89	0,75	0,65	0,72	0,70
m_standard	0,97	0,82	0,71	0,78	0,76
m_NEH	1,05	0,89	0,77	0,85	0,83

Für die Umrechnung vom Kühlbedarf zum Endenergiebedarf für Kühlen (EEBRK) ist es nötig, die Effizienz der eingesetzten technischen Systeme, die Diskrepanz zwischen der in der ÖNORM B 8110-6 (2007c) definierten Kühlgrenztemperatur von 26 Grad Celsius und dem tatsächlichem Niveau in temperierten Gebäuden sowie den Anteil der (bei Bestehen von Kühlbedarf) temperierten Flächen abzuschätzen. Der EEB_{RK} wird in Anlehnung an ÖNORM H 5058 (2009) wie folgt berechnet:

$$EEB_{RK} = \frac{KB * freg * fn}{EER}$$

wobei:

freg *Korrekturfaktor Regelungsverluste*

fn *Nutzungsfaktor (Anteil temperierter Flächen)*

EER *Energieeffizienz-Größe (Verhältnis zwischen eingesetzter Elektrizität und Kühlenergie-Output)*

Tabelle 32: Verwendete Korrekturfaktoren von KB zu EEB_{RK}

eingesetztes Kühlsystem	EER	Korrekturfaktor Regelungsverluste	Nutzungs-faktor	**Korrektur-faktor**
Raumklimasysteme (EFH,MFH)	2,92	1,35	0,5	**0,23**
Kompressionskältemaschinen (Büros)	3,24	1,35	1	**0,42**

Tabelle 32 gibt die verwendeten Korrekturfaktoren für EFH und MFH sowie Büros wieder. Es wird vereinfachend angenommen, dass in Wohnhäusern nur Raumklimasysteme (z.B. Single-Split, Multi-Split, Kompaktklimaanlagen), in Büros nur luftgekühlte Kompressionskältemaschinen eingesetzt werden. Die unterstellten EERs sind Durchschnittswerte der im Entwurf der ÖNORM H 5058 (Österreichisches Normungsinstitut, 2009) in der jeweiligen Kategorie angegebenen Nenn-Kälteleistungszahlen. Der Korrekturfaktor für die Anpassungs- und Regelungsfähigkeit wird aus empirischer Erfahrung über dem Standardwert in der ÖNORM (1,25) mit 1,35 eingeschätzt. Bei den angenommenen Nutzungsfaktoren wird ebenfalls zwischen Wohngebäuden und Büros unterschieden und stellen eher das Potenzial für Raumkühlung als die derzeitigen Gegebenheiten dar.

8.3 GEGENÜBERSTELLUNG DER KLIMAINDUZIERTEN KOSTENÄNDERUNGEN

In diesem Abschnitt werden nun basierend auf der Kostendarstellung in Abschnitt 8.2 und auf Grundlage der Darstellung des österreichischen Gebäudebestandes in Abschnitt 7.2 die klimainduzierten Änderungen der verbrauchsgebundenen Kosten für die einzelnen Referenzgebäude ausgewiesen. Bei den Darstellungen ist zu beachten, dass die Kosten aufgrund des derzeitigen Projektstandes zwar eine räumlich differenzierte Mengenkomponente (HWB und KB) enthalten, die Preiskomponente für die einzelnen

Gebäudetypen aber noch vereinfacht nach dem bundesweiten Heizenergieträgermix berechnet wird.[14] Damit werden die Kosten für Heizen und Kühlen für jede Gemeinde wie folgt berechnet:

$$\Delta Kosten_{Heizen} = \Delta HWB * Korrekturfaktor_{Heizenergieträgermix} * Preis_{Heizenergieträgermix}$$

$$\Delta Kosten_{Kühlen} = \Delta KB * Korrekturfaktor_{Kühlenergie} * Preis_{Kühlenergie}$$

Tabelle 33 gibt einen Überblick über die Änderungen der Heiz- und Kühlkosten für die einzelnen Gebäudetypen für den derzeitigen Gebäudebestand. Es zeigt sich, dass die durchschnittliche Abnahme der Heizkosten bei den EFH schon allein wegen des höheren Ausgangsniveaus beim energetischen Verbrauch deutlicher ausfällt (-1,07 €/m²/a) als bei MFH (-0,83 €/m²/a) und Bürogebäuden (-0,77 €/m²/a). Umgekehrt ist der ausgewiesene Anstieg der Kühlkosten bei Bürogebäuden (0,41 €/m²/a) um den Faktor 4 höher als bei EFH(0,12 €/m²/a) und MFH (0,10 €/m²/a). Dementsprechend sind bei einer kumulierten Betrachtung der Heizkostenabnahme die EFH überdurchschnittlich vertreten (im Bezug auf den Flächenanteil) und beim Kühlen stellen die Bürogebäude die größte Gruppe dar.

Tabelle 33: Klimabedingte Änderungen der Heiz- und Kühlkosten für den derzeitigen Gebäudebestand

Gebäudetyp	Flächen (in Mio. m^2_{BGF})	$\Delta Heizkosten_{spez}$ (in €/m²/a)			**ΔHeizkosten (in Mio. €/a)**	$\Delta Kühlkosten_{spez}$ (in kWh/m²/a)			**ΔKühlkosten (in Mio. €/a)**
		min	∅	max		min	∅	max	
EFH	***278,5***	***-0,15***	***-1,07***	***-1,78***	***-297,86***	***0,01***	***0,12***	***0,35***	***32,95***
Altbau	82,7	-1,11	-1,31	-1,78	**-108,38**	0,01	0,09	0,22	**7,25**
Standard	165,3	-0,89	-1,05	-1,45	**-173,15**	0,03	0,12	0,26	**19,80**
Niedrigenergie	30,4	-0,46	-0,54	-0,75	**-16,31**	0,05	0,19	0,35	**5,87**
Passivhaus	0,1	-0,15	-0,18	-0,20	**-0,02**	0,05	0,2	0,35	**0,03**
MFH	***183,5***	***-0,40***	***-0,83***	***-1,49***	***-152,59***	***0,01***	***0,10***	***0,29***	***17,91***
Altbau	64,3	-0,92	-1,05	-1,49	**-67,37**	0,01	0,07	0,17	**4,45**
Standard	102	-0,67	-0,76	-1,13	**-77,36**	0,02	0,1	0,21	**10,68**
Niedrigenergie	17,3	-0,40	-0,45	-0,68	**-7,85**	0,03	0,16	0,29	**2,78**
Büro	***88,1***	***-0,37***	***-0,77***	***-1,47***	***-67,67***	***0,04***	***0,41***	***0,79***	***35,77***
Altbau	30,8	-0,87	-0,99	-1,47	**-30,47**	0,04	0,30	0,60	**9,37**
Standard	48,9	-0,61	-0,69	-1,04	**-33,66**	0,11	0,45	0,72	**21,82**
Niedrigenergie	8,3	-0,37	-0,43	-0,63	**-3,53**	0,17	0,55	0,79	**4,59**

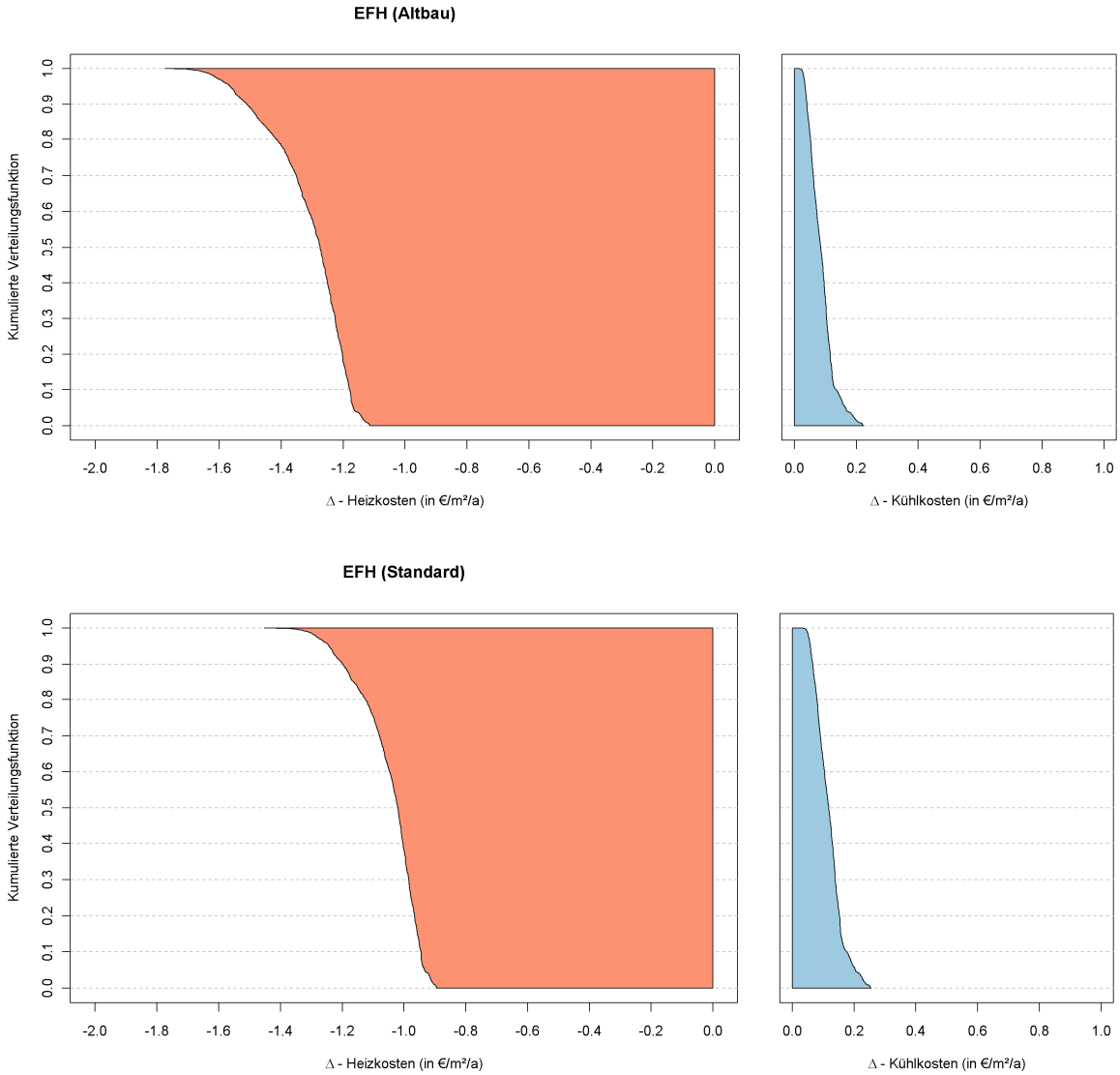
In der Folge werden die Ergebnisse wiederum für die einzelnen Gebäudetypen und -standards als kumulierte Verteilungsfunktion für den derzeitigen österreichischen Bestand gezeigt. Die kumulierten Kosten, wie sie in Tabelle 33 aufgeführt sind, ergeben sich dabei als die abgebildeten Flächen multipliziert mit den Bruttogeschoßflächen der jeweiligen Kategorie. Die minimale Heizkostenänderung bezieht sich jeweils auf die Gemeinde mit den wärmsten klimatischen Bedingungen, die maximale Änderung dementsprechend auf

14 Eine detaillierte Unterscheidung der Heizenergieträger nach Gemeinden erfolgt im Projektjahr 3.

die kälteste Gemeinde. Umgekehrt tritt die maximale Kühlkostenänderung in der wärmsten Gemeinde, die minimale in der kältesten Gemeinde auf. Daher wird in den nachfolgenden Balkendiagrammen vereinfachend nur noch jeweils auf den jeweils kältesten (max Heizen, min Kühlen) und wärmsten (min Heizen, max Kühlen) Gemeinden verwiesen, während die kumulierten Verteilungsfunktionen ohnedies die unterschiedlichen Klimabedingungen beinhalten.

8.3.1 Einfamilienhäuser (EFH)

Abbildung 58: Verteilung der Änderung der variablen Heiz- und Kühlkosten für EFH



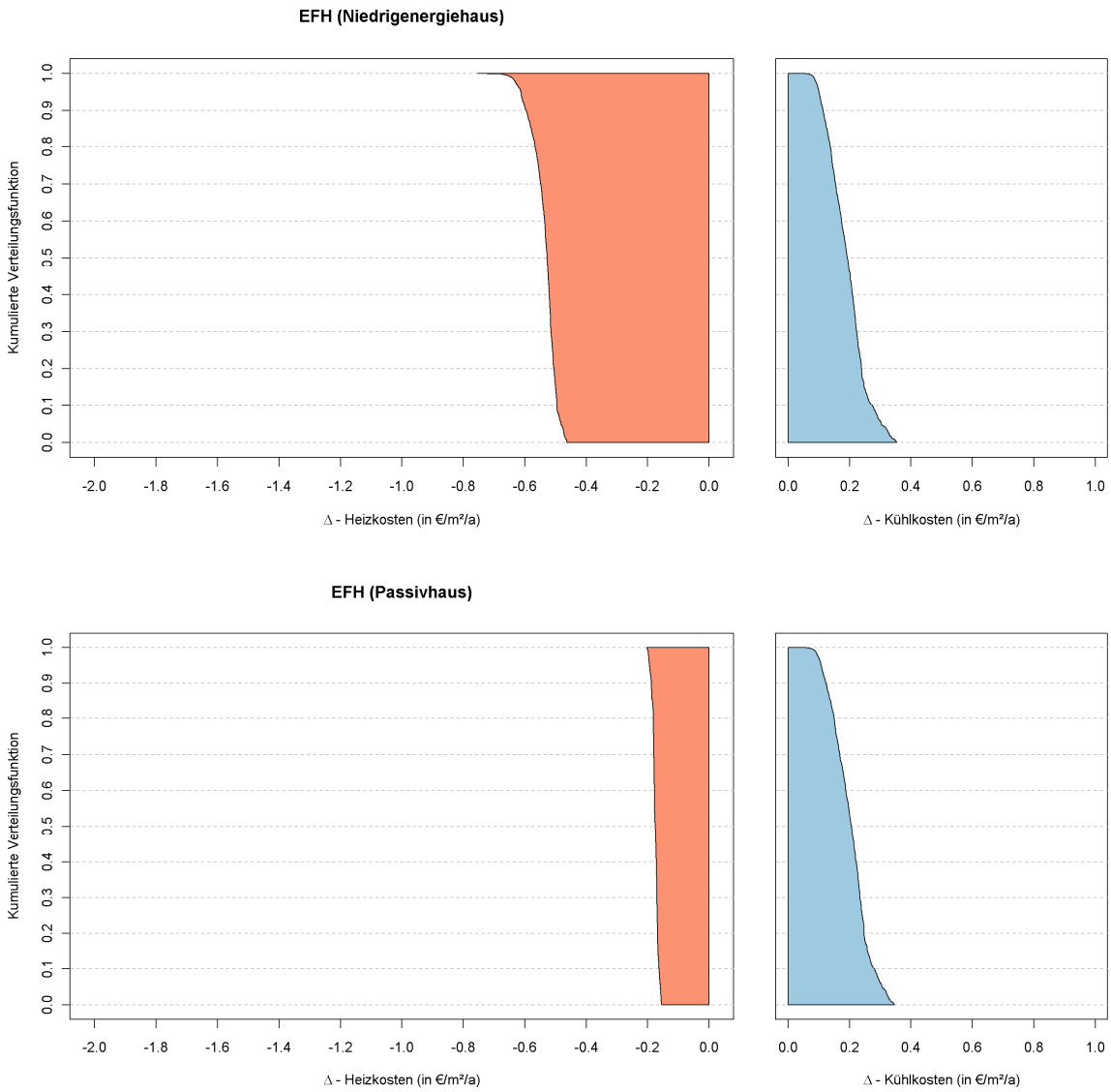
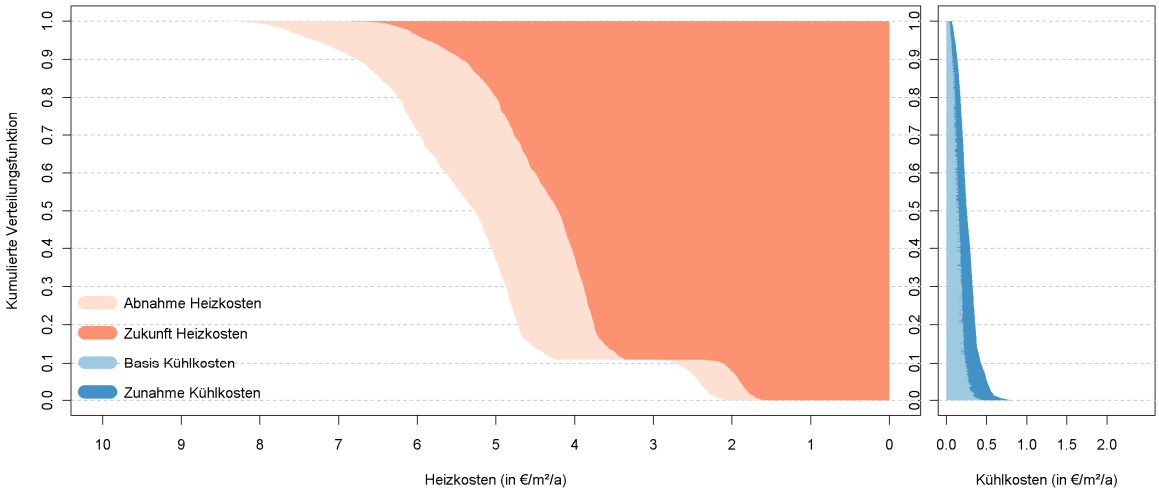


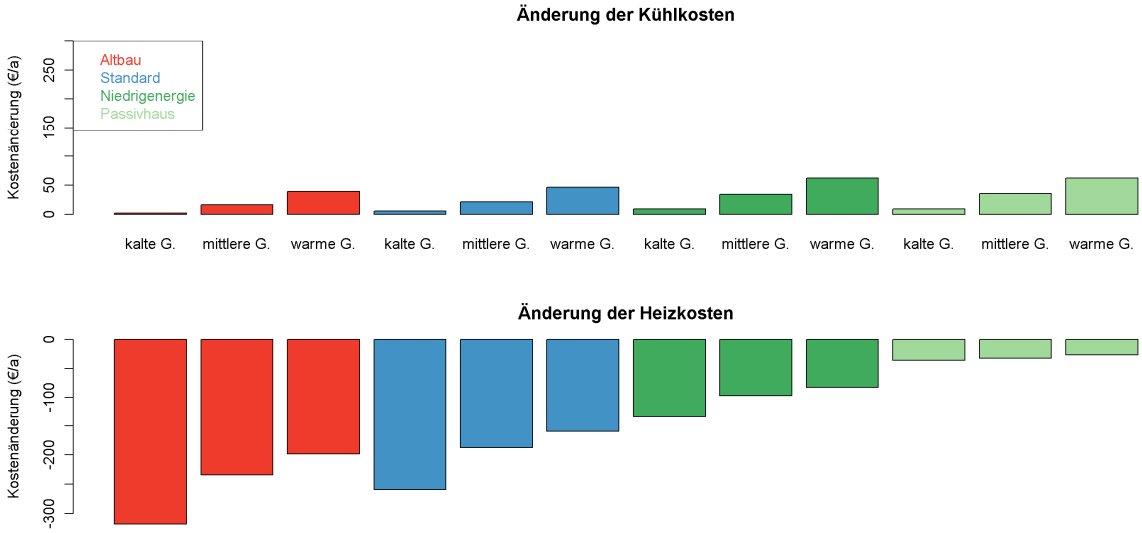
Abbildung 58 stellt die Kostenänderungen für die einzelnen Gebäudestandards bei EFH dar. Die Darstellungen sind für EFH von der Proportion Heizen zu Kühlen sehr ähnlich wie die dargestellten energetischen Effekte (vergleiche Abbildung 41). Dies ist damit zu begründen, dass die höheren Kosten für den Kühlenergieträger Elektrizität (Faktor 3) sowohl durch die verwendeten EERs (Verhältnis zwischen eingesetzter Elektrizität und Kühlenergie-Output) als auch durch den angenommenen Nutzungsfaktor von 0,5 (Hälfte der Flächen haben Kühlpotenzial) kompensiert werden. Änderungen der Annahmen würden sich auch entsprechend auf die Ergebnisse niederschlagen. Fasst man die in Abbildung 58 gezeigten Effekte für den derzeitigen Gebäudebestand zusammen, so ergeben sich im Vergleich zur klimatischen Ausgangsbasis die in Abbildung 59 gezeigten Änderungen der Heiz- und Kühlkosten.

Abbildung 59: Verteilung der Heiz- und Kühlkosten für EFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand, derzeitige Preise)



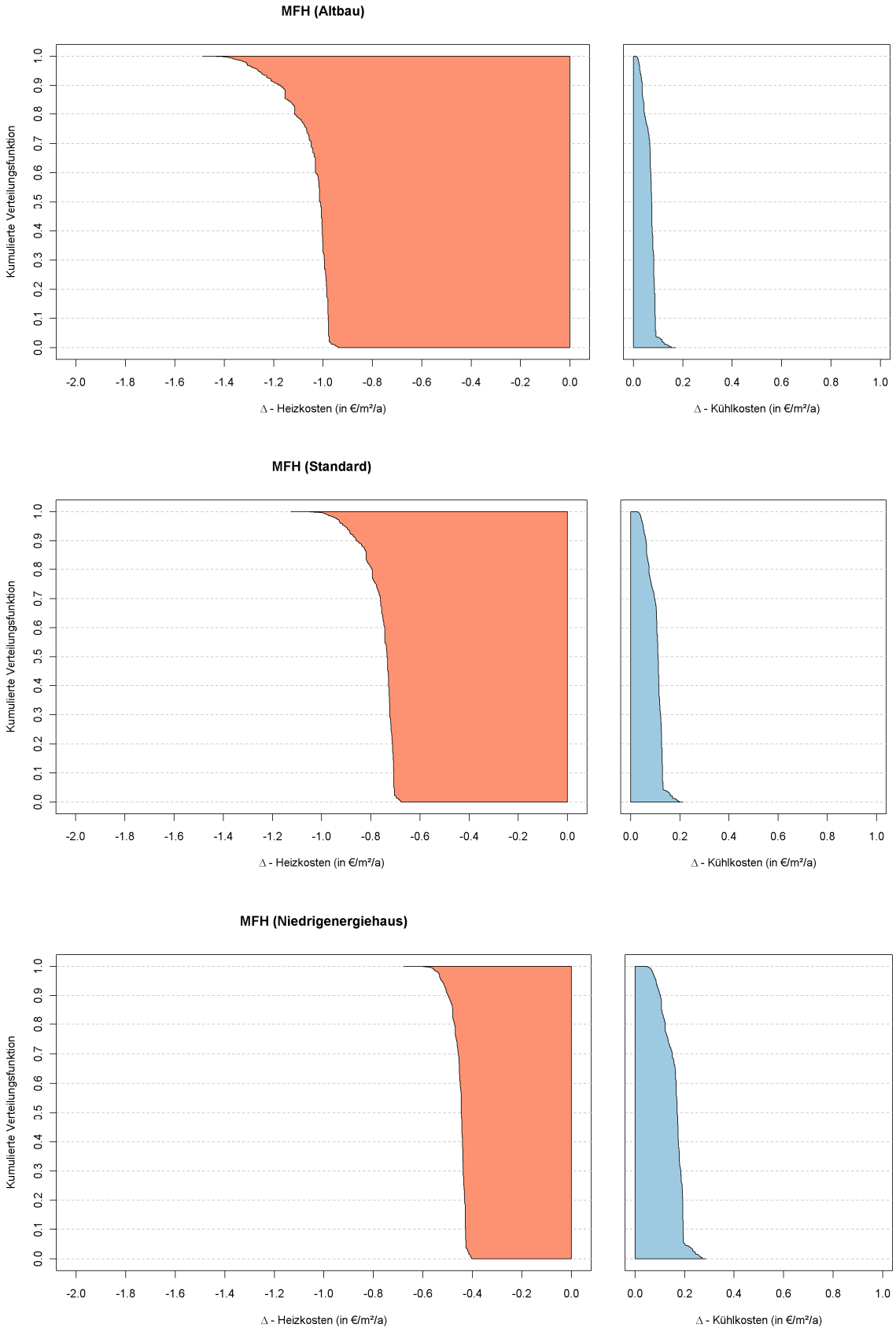
Um die Ergebnisse nicht nur in der Kennzahl „Kosten/m²/a“ abzubilden, werden die Änderungen in Abbildung 60 jeweils auch für ein durchschnittliches EFH (1 bis 2 Wohneinheiten) mit 179 m² $_{BGF}$ gezeigt. Die Änderungen unterscheiden sich bei den Heizkosten vor allem je nach Gebäudetyp (∅ Altbau: -235 €, ∅ Niedrigenergiehaus: -97 €), während bei den Kühlkosten vor allem in Bezug auf die klimatischen Bedingungen (Höhenlage etc.) große Unterschiede erkennbar sind. Die errechneten zusätzlichen Kühlkosten sind in den wärmsten Gebieten etwa doppelt so hoch (+39 bis +62 €) wie im Durchschnitt (+16 bis +35€).

Abbildung 60: Änderung der Heiz- und Kühlkosten für ein durchschnittliches EFH (179 m² $_{BGF}$) jeweils für die Gemeinde mit dem kältesten, durchschnittlichen und wärmsten Klima in Österreich



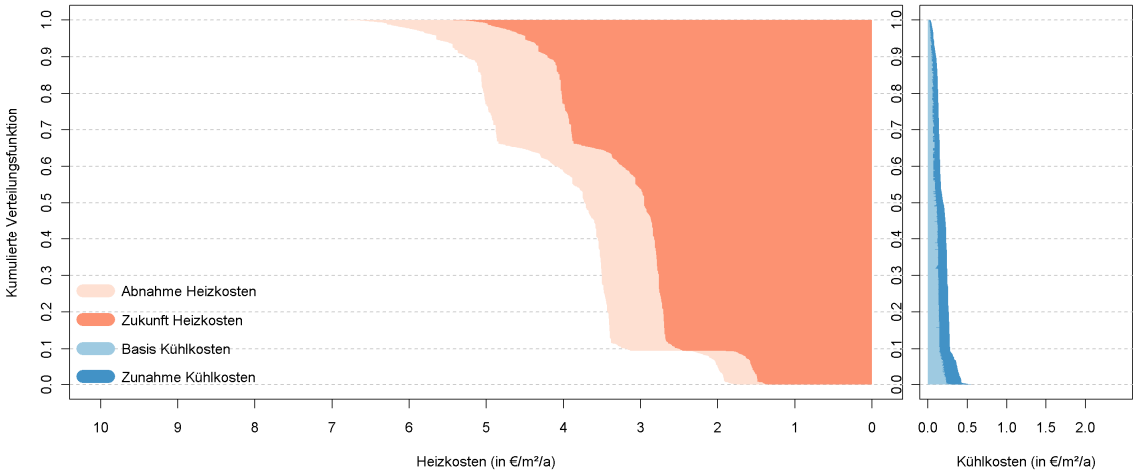
8.3.2 Mehrfamilienhäuser (MFH)

Abbildung 61: Verteilung der Änderung der variablen Heiz- und Kühlkosten für MFH



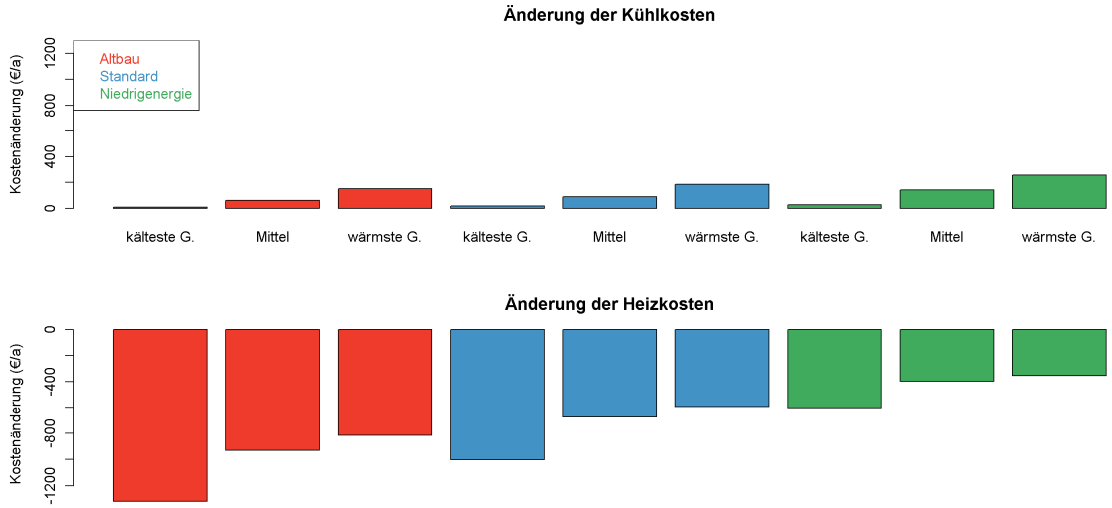
In Abbildung 61 werden die Kostenänderungen für die einzelnen Gebäudestandards bei MFH gezeigt. Wie für EFH gilt auch bei den MFH, dass die Proportion von Heizen zu Kühlen sehr ähnlich wie bei den energetischen Effekten ist, da höhere Kosten des Kühlenergieträgers Elektrizität durch die EER und Nutzungsfaktoren ausgeglichen werden. Abbildung 62 zeigt bei den MFH die kumulierte Verteilungsfunktion sowohl für die klimatische Ausgangsbasis als auch für das verwendete Klimaszenario für den derzeitigen Gebäudebestand.

Abbildung 62: Verteilung der Heiz- und Kühlkosten für MFH unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand, derzeitige Preise)



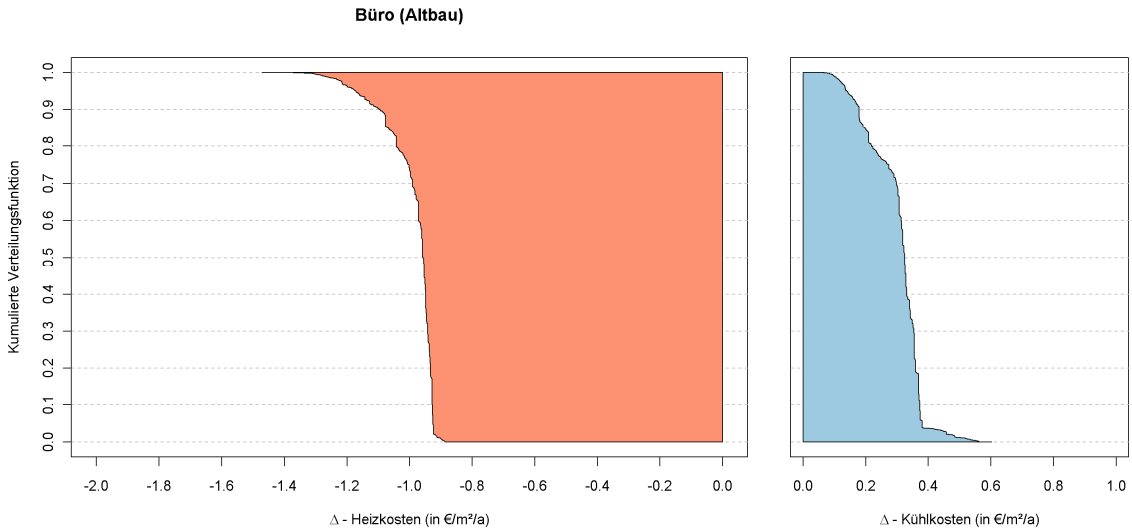
Wie in Abbildung 63 gezeigt, ergibt eine Hochrechnung der Kosten für ein durchschnittliches MFH (886 m² $_{BGF}$) ähnliche Muster wie für EFH, nur dass eine entsprechend höhere BGF entsprechend auch höhere Kostenänderungen ergibt, die fürs Heizen zwischen -355 € und -1320 € im Jahr beträgt und fürs Kühlen zwischen 9 € und 257 €. Natürlich muss berücksichtigt werden, dass die Kosten im Regelfall von mehreren Bewohnern gemeinsam getragen werden können und die Kostenänderungen, auch bedingt durch die geringere Größe der durchschnittlichen Wohneinheit im Vergleich zu EFH, pro Wohneinheit deutlich geringer ausfallen.

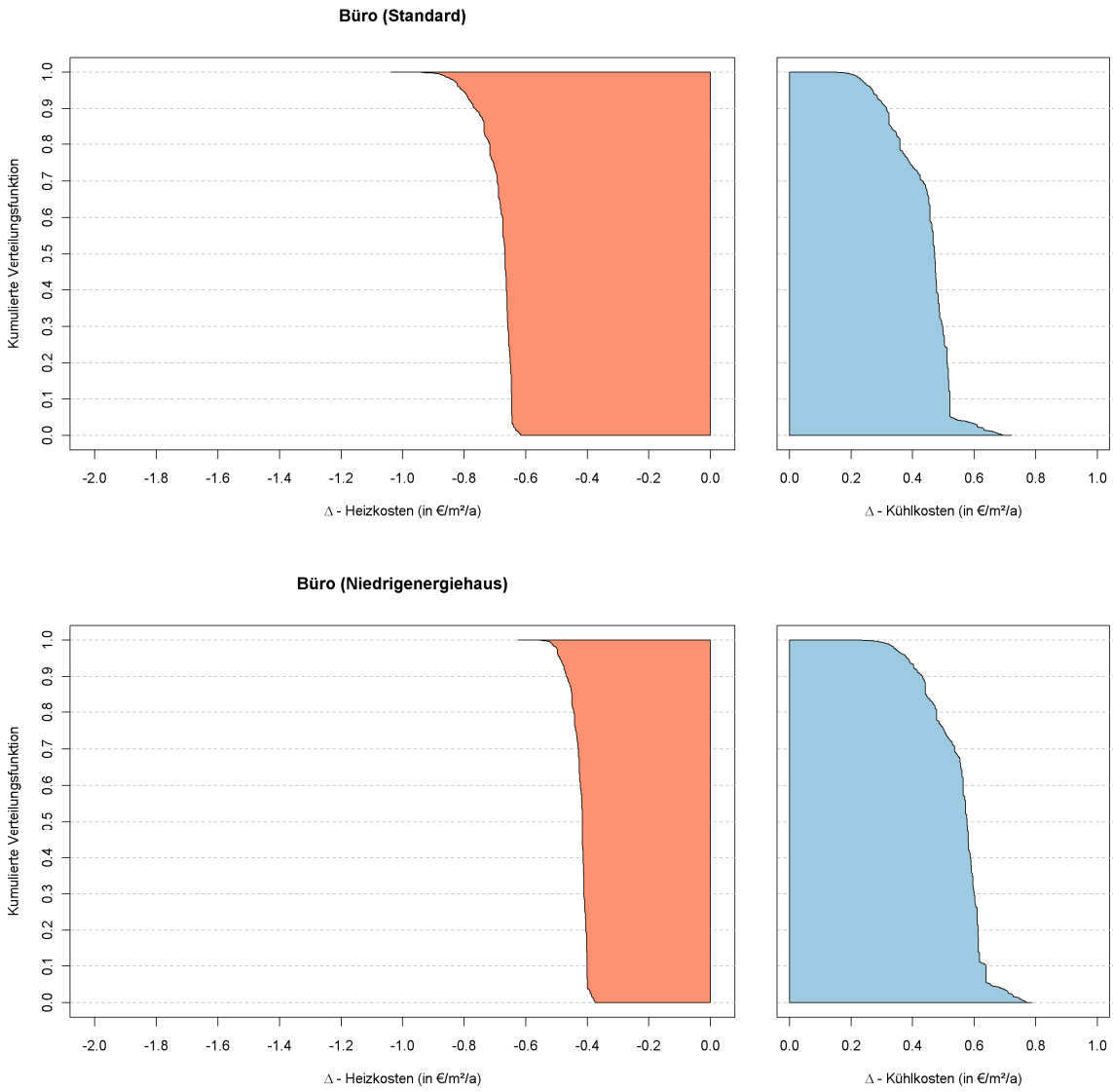
Abbildung 63: Änderung der Heiz- und Kühlkosten für ein durchschnittliches MFH (886 m² $_{BGF}$) jeweils für die Gemeinde mit dem kältesten, durchschnittlichen und wärmsten Klima in Österreich



8.3.3 Bürogebäude

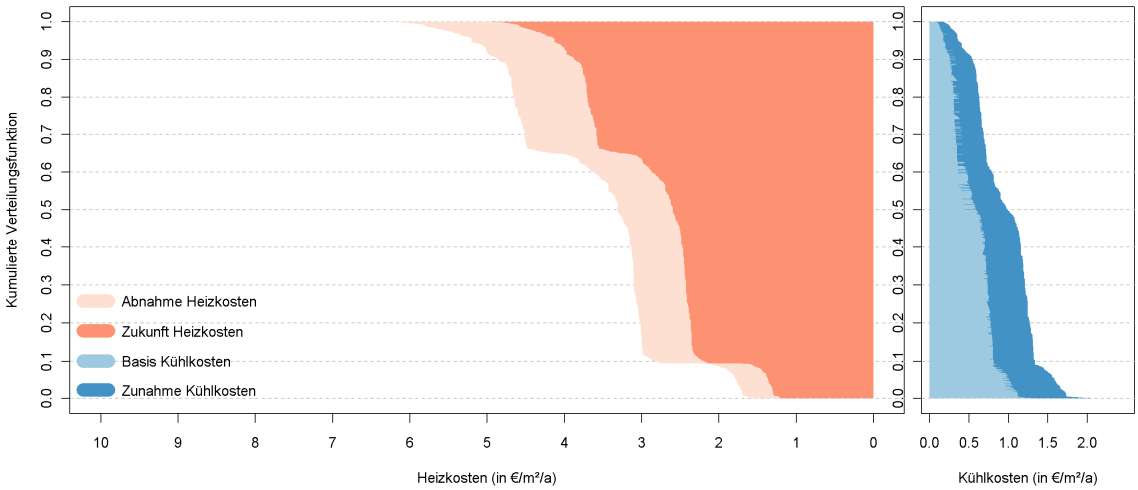
Abbildung 64: Verteilung der Änderung der variablen Heiz- und Kühlkosten für Bürogebäude





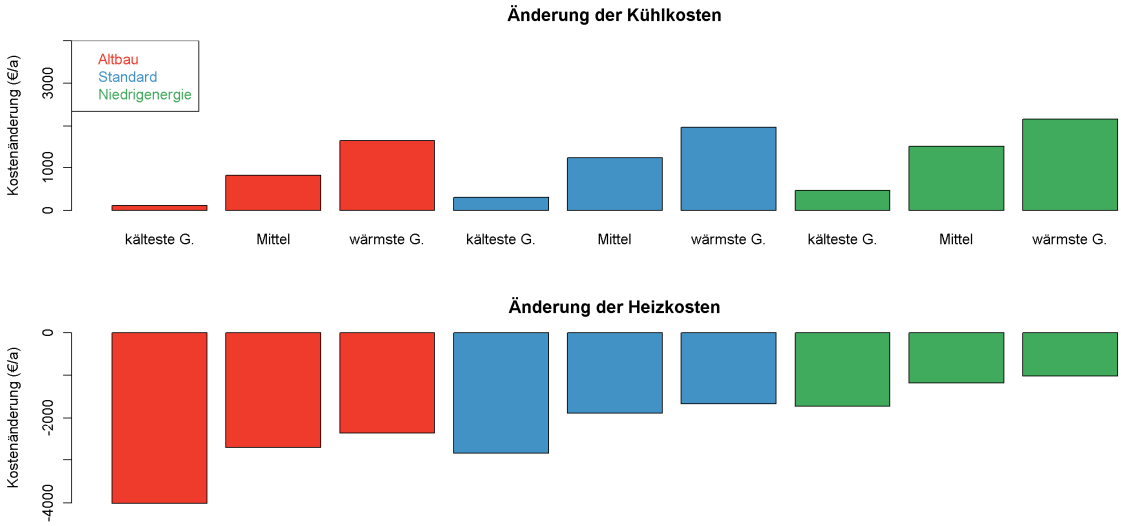
Bei Bürogebäuden unterscheiden sich die Kostenänderungen für die einzelnen Gebäudestandards (Abbildung 64) grundsätzlich von den dargestellten energetischen Effekten (vergleiche Abbildung 49). Die Kostenänderung pro kWh HWB ist etwa 1,5mal niedriger als pro kWh KB, da der Kostenunterschied zwischen dem Heizenergieträgermix und dem Kühlenergieträger Elektrizität durch die Berücksichtigung der Effizienz der eingesetzten Technologien sowie der Nutzungsfaktoren nicht ausgeglichen wird. Dementsprechend ist bereits bei Gebäuden mit Standard-Dämmung für mittlere und wärmere klimatische Bedingungen eine Substitution der Heizkosten durch die Kühlkosten gegeben. Beim Niedrigenergie-Standard überwiegen die zusätzlichen Kühlkosten die Abnahme der Heizkosten deutlich. Dabei ist davon auszugehen, dass die dargestellten Effekte den zusätzlichen Kühlbedarf eher unterschätzen, da den Berechnungen „traditionelle Bürogebäude“ zugrunde liegen, und die in den letzten Jahrzehnten verstärkt eingesetzte „Glasarchitektur“ in den Referenzgebäuden nicht repräsentiert wird. Abbildung 65 fasst die Kostenänderung zwischen Basisklima und Klimaszenario für den derzeitigen Gebäudebestand und derzeitige Preise zusammen.

Abbildung 65: Verteilung der Heiz- und Kühlkosten für Bürogebäude unter dem Basisklima und dem Klimaszenario (derzeitiger Gebäudebestand, derzeitige Preise)



In Abbildung 66 wird die Änderung der Kühl- und Heizkosten wiederum für ein durchschnittliches Bürogebäude (2732 m²) dargestellt. Die gezeigte Abnahme der Heizkosten beträgt je nach klimatischen Bedingungen und Dämmstandard zwischen 1000€ bis 4000€, während die Kühlkosten um 100 € bis 2100 € ansteigen. Während das Verhältnis Heizkostenabnahme zu Kühlkostenzunahme bei Altbauten mit durchschnittlichen klimatischen Bedingungen noch 3,4:1 beträgt, weisen Standardgebäude ein Verhältnis von 1,5:1 und Gebäude im Niedrigenergiestandard ein Verhältnis von 1:1,4 auf. Für letztere tritt für die wärmsten Gemeinden sogar ein Verhältnis von 1,2 auf.

Abbildung 66: Änderung der Heiz- und Kühlkosten für ein durchschnittliches Bürogebäude (2732 m² BGF) jeweils für die Gemeinde mit dem kältesten, durchschnittlichen und wärmsten Klima in Österreich



9 Schlussfolgerungen

In dieser Arbeit wurden die Auswirkungen des Klimawandels auf den Heizwärme- und Kühlbedarf des österreichischen Gebäudebestandes näher untersucht. Dazu wurden zehn Referenzgebäude für unterschiedliche Gebäudetypen (Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Bürogebäude) und Gebäudestandards (Altbau, Standard, Niedrigenergiehaus, Passivhaus) definiert. Für diese Referenzgebäude wurden der Heizwärme- und Kühlbedarf unter Referenzklimabedingungen bzw. unter Berücksichtigung des regionalen Klimaänderungsszenarios reclip:more jeweils für unterschiedliche Seehöhen und Klimazonen berechnet.

Die Ergebnisse zeigen für alle Gebäudetypen eine deutliche klimabedingte Verschiebung vom Heizwärme- zum Kühlbedarf. Das Ausmaß dieses Effekts hängt neben den Gebäudetypen auch wesentlich von der Klimazone und der Seehöhe ab. Beim Heizwärmebedarf ist die relative Änderung unabhängig von Gebäudetyp und Seehöhe in etwa konstant und beträgt zwischen 20 und 30 Prozent. In absoluten Werten verzeichnen damit Gebäude mit niedrigem Dämmstandard und in höher gelegenen Regionen eine stärkere Abnahme des Heizwärmebedarfs, etwa um 8 kWh/m²/a (Büro, Niedrigenergie, 200m) bis 50 kWh /m²/a (Einfamilienhaus, Altbau, 1000m). Der zusätzliche Kühlbedarf steigt hingegen mit abnehmender Seehöhe deutlich und bei zunehmender Dämmung geringfügig an. Die Zunahmen betragen hier in niedriger gelegenen Regionen in absoluten Zahlen zwischen 4 kWh/m²/a (Mehrfamilienhaus, Altbau) und 15 kWh/m²/a (Büro, Niedrigenergie) beziehungsweise in relativen Zahlen zwischen 60 und 120 Prozent. Damit überwiegt bei einigen Gebäudetypen (Passivhäuser bzw. Niedrigenergiehäuser) in geringer Seehöhe der zusätzliche Kühlbedarf die Reduktion des Heizwärmebedarfs.

Weiters wurden die Änderungen von Heizwärme- und Kühlbedarf gesondert auf Sensitivitäten gegenüber den Klimaelementen Temperatur und Solarstrahlung hin untersucht. Insbesondere zur Solarstrahlung ist anzumerken, dass die Klimaszenarien hohe Unsicherheiten enthalten und die Ergebnisse entsprechend vorsichtig interpretiert werden müssen. Die ausgewiesene Änderung der Solarstrahlung (leichte Zunahmen in der Heizperiode, deutliche Zunahmen im Spätsommer) resultiert sowohl in einer Verstärkung der temperaturbedingten Abnahme des Heizwärmebedarfes im Winter als auch in einer Verstärkung der temperaturbedingten Zunahme des Kühlbedarfes im Sommer. Im Verhältnis zur Temperaturänderung sind die Auswirkungen der Solarstrahlungsänderung jedoch relativ bescheiden. Je nach Klimazone beträgt der Solareffekt für die verwendeten Referenzgebäude bis zu 5 Prozent des Temperatureffektes beim Heizen, beziehungsweise bis zu 10 Prozent beim Kühlen.

Da der österreichische Gebäudebestand sehr ungleich auf die einzelnen Klimazonen und vor allem Seehöhen verteilt ist und auch die Verteilung der Bauperioden, welche maßgeblich Einfluss auf den Dämmstandard der Gebäude haben, regional unterschiedlich

ist, wurden in die weiteren Analysen Gebäudedaten auf Gemeindebasis einbezogen. Dies ermöglichte eine kumulierte Darstellung der Heizwärme- und Kühlbedarfsänderungen für den derzeitigen österreichischen Gebäudebestand. Die Ergebnisse zeigen hier, dass beim Heizwärmebedarf die massivste Änderung bei den Einfamilienhäusern zu erwarten ist. Die Ursachen dafür sind zum einen die vergleichsweise höhere Ausgangsbasis beim spezifischen Heizwärmebedarf, der sowohl von den Dämmstandards als auch von der durchschnittlichen Höhenlage abhängt. So geht aus den Daten hervor, dass 50 Prozent der Wohnnutzflächen bei Einfamilienhäusern unter 424 m Seehöhe liegen, während der Median bei Mehrfamilienhäusern bei 262 m liegt. Die Auswertungen für den theoretischen Kühlbedarf zeigen, dass der Anstieg für den Wohngebäudebestand mäßig ausfällt, während bei Bürogebäuden deutlichere Effekte zu erwarten sind. Beispielsweise liegt der theoretische Zusatzbedarf bei 80 Prozent der Einfamilienhäuser, 90 Prozent der Mehrfamilienhäuser und weniger als 10 Prozent der Bürogebäude unter 5 kWh/m²/a.

In weiterer Folge wurden die für den Gebäudebestand ermittelten Änderungen des Heizwärme- und Kühlbedarfs herangezogen, um erstmalig eine Abschätzung der monetären Auswirkungen dieser Änderungen durchzuführen. Die Abschätzung erfolgte für die klimabedingten, verbrauchsgebundenen Mengeneffekte auf Basis derzeitiger Energiepreise und wird wesentlich von den getroffenen Annahmen bezüglich der technischen Effizienz der eingesetzten Systeme (z.B. beim Kühlbedarf der EER als Maß für das Verhältnis zwischen eingesetzter Elektrizität und Kühlenergie-Output) und des Nutzungsverhaltens (z.B. Anteil der temperierten Flächen) beeinflusst. Die Ergebnisse zeigen, dass bei Bürogebäuden reine Betrachtungen des Heizwärme- und Kühlbedarfs das Verhältnis zwischen Heizkostenabnahme und Kühlkostenzunahme etwa um den Faktor 1,5 unterschätzen. Im Gegensatz dazu muss bei Wohngebäuden davon ausgegangen werden, dass ein Gutteil der Nutzflächen mit „theoretischem Kühlbedarf“ gar keiner Raumtemperierung unterzogen wird, was geringere ökonomische Folgen impliziert. Die vorliegenden Analysen bestätigen also die Wichtigkeit, in die Betrachtungen nicht nur energetische sondern, auch monetäre Änderungen einzubeziehen.

Wichtig ist es, bei der Interpretation der derzeitigen Ergebnisse das Augenmerk auch auf eine Reihe methodisch bedingter Einschränkungen zu legen. Einerseits wurden die zehn Referenzgebäude zwar so gewählt, dass sie möglichst repräsentativ für den derzeitigen Gebäudebestand sind, allerdings ist auch evident, dass damit Spezialfälle und Extremwerte nicht dargestellt werden können. Andererseits beschränkt sich die Darstellung der zukünftigen Klimabedingungen in dieser Arbeit auf ein regionales Klimaänderungsszenario (reclip:more) und einen Zeithorizont (2041-2050).

Des Weiteren ist zu beachten, dass die derzeitigen Berechnungen statischer Natur sind, weil sie sich auf den derzeitigen Gebäudebestand, nicht aber auf zukünftige Änderungen beziehen. Eine derartige Einbeziehung von Änderungen ist erstrebenswert, wurde im vorliegenden Projekt auch eingeplant und soll im dritten Projektjahr[15] erfolgen. Damit könnten in die derzeit vorliegende Untersuchung der Auswirkungen von

15 Vorbehaltlich Genehmigung der vorgesehenen Mittel für das dritte Projektjahr.

Klimaänderungen auch Analysen zur Abhängigkeit dieser von unterschiedlichen Mitigationsstrategien einfließen.

Ein Schwerpunkt zukünftiger Studien sollte, basierend auf den Ergebnissen der vorliegenden Untersuchung, die Adaptionsfähigkeit des Gebäudesektors hinsichtlich Änderungen des Heizwärme- und Kühlbedarfes darstellen. Gerade im Fall eines erhöhten Kühlbedarfes steht eine Vielzahl an Anpassungsstrategien zur Verfügung, die eine zusätzliche Kühlung durch elektrische Energie, wie sie in der vorliegenden Arbeit unterlegt wurde, vermeidbar erscheinen lassen. Zum einen ist hier eine Reduktion der anfallenden internen und externen Wärmequellen (bessere Verschattung, Verringerung des Glasflächenanteils, Einsatz von energiesparenden Geräten etc.) zu erwähnen, die oftmals aber bereits in der Planungsphase angedacht werden muss. Zur Deckung des verbleibenden Kühlbedarfs können verstärkt passive oder zumindest hybride Kühlkonzepte eingesetzt werden, wie etwa eine Erhöhung der Speichermassen, Fensternachtlüftung bzw. Luftkonzepte für die Nachtlüftung über mechanische Lüftungsanlagen sowie wasser- oder luftdurchströmte Erdreichwärmetauscher. Für eine ausführliche Diskussion dieser Strategien wird im Zuge dieses Berichts auf die Arbeit von Schranzhofer et al. (2008) verwiesen.

10 Bibliographie

Adnot J., M. Orphelin, C. Carretero, D. Marchio, P. Waide, M. Carre, C. Lopes, A. Cedial-Galan, M. Santamouris, N. Klitsikas, B. Mebane, M. Pressuto, E. Rusconi, H. Ritter, S. Becirspahic, D. Giraud, E. Bossoken, L. Meli, S. Cassadrini, P Auffret (1999). Energy Efficiency of Room Air Conditioners (EERAC). Study for the D.G. for Energy (DGXVII) of the Commission of the EU. Final Report, Paris

Amato, A., Ruth, M., Kirshen P. (2005). Regional energy demand responses to climate change: Methodology and application to the commonwealth of Massachusetts. Climatic Change 71 (2005), 175–201.

Borenstein, S. (2007). Wealth transfers among large customers from implementing real-time retail electricity pricing. Energy Journal. 28(2). 131-149.

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

Dudhia, J. (1993): A nonhydrostatic version of the Penn State – NCAR mesoscale model: Validation and simulation of an atlantic cyclone and cold front, Mon. Wea. Rev., 121, 1493-1513.

Eurostat (2008): Energiestatistik-Preise. http://epp.eurostat.ec.europa.eu/portal/page/portal/energy/data/database (Stand: 10.7.2009).

Feist, W. (2007): PHPP: Mehr als nur eine Energiebilanz. Online im Internet: http://www.passivhaustagung.de/Passivhaus_D/PHPP.html. Stand: 2008-04-07

Feist, W. (Hrsg.) (1998): Das Passivhaus – Baustandard der Zukunft? Protokollband Nr. 12 des Arbeitskreis kostengünstige Passivhäuser. Passivhausinstitut, Darmstadt, 1. Auflage.

Giorgi, F., L.O. Mearns (1999): Introduction to the special section: Regional climate modeling revisited. J. Geophys. Res., 104, 6335-6352.

Gobiet, A., H. Truhetz, A. Riegler (2006): A climate scenario for the Alpine region. WegCenter progress report project year 3, Wegener Center for Climate and Global Change, Graz.

Haas, R., Auer, H., Biermayr, P. (1998). The impact of consumer behavior on residential energy demand for space heating. Energy and Buildings 27 (1998), 195-205.

Heimrath, R., Streicher, W. (2003): Structure of the Reference Buildings of Task 26. A Report of IEA SHC – Task 26: Solar Combisystems. Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Graz.

Hennings, D., Knissel, J. (2000): Energieeffiziente Bürogebäude. In: Fachinformationszentrum Karlsruhe (Hrsg.): profiinfo II/00. Bonn.

Holland, S. P.. & Mansur. E. T. (2006). The short-run effects of time-varying prices in competitive electricity markets. Energy Journal. 27(4). 127-155.

IPCC, 2007: Climate Change (2007): The Physical Science Basis, Contribution of Working Group I to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, Solomon, S., D. Qin, M. Manning, Z. Chen, M. Marquis, K.B. Averyt, M. Tignor and H.L. Miller (eds.), Cambridge University Press, Cambridge, United Kingdom and New York, NY, USA, 996 pp.

IPCC (2007). Climate Change 2007: Impacts, Adaptation, and Vulnerability. Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change. Cambridge University Press, Cambridge.

Jentsch, M., AbuBakr, B. James, P. (2008). Climate change future proofing of buildings - Generation and assessment of building simulation weather files. Energy and Buildings 40 (2008), 2148–2168.

Jungmeier, G., G. Fankhauser, K. Könighofer, J. Spitzer (1996). GEMIS-Österreich – Energetische Kennzahlen im Prozesskettenbereich: Endenergie – Nutzenergie. Joanneum Research, Institut für Energieforschung, Graz.

Kiesling, L. (2007). The Role of Retail Pricing in Electricity Restructuring. In: A. Kleit. (ed.) Electric Choices: The Challenge of Electricity Restructuring. Rowman and Littlefield.

Kletzan-Slamanig, D., A. Köppl, H. Artner, A. Karner, T. Pfeffer (2008). Energieeffiziente Gebäude: Potentiale und Effekte von emissionsreduzierenden Maßnahmen. Österreichisches Institut für Wirtschaftsforschung, Wien.

Königshofer et al. (2001): Anforderungsprofile für Biomassefeuerungen zur Wärmeversorgung von Objekten mit niedrigem Energiebedarf. Joanneum Research, Institut für Energieforschung, Graz.

Leggett, J., W.J. Pepper, R.J. Swart (1992): Emissions scenarios for the IPCC: an Update in Climate Change 1992: the supplementary report to the IPCC scientific assessment edited by J.T. Houghton, B.A. Callander, and S.K. Varney, pp75-95, Cambridge Univ. Press, Cambridge.

Loibl, W., A. Beck, M. Dorninge, H. Formayer, A. Gobiet, W. Schöner (2007): reclip:more – Research for Climate Protection: Model Run Evaluation, Final Report, Austrian Research Centers systems research.

Lummerstorfer, K. (2004): Branchenkonzept Büro- und Dienstleistungsgebäude. Energie Institut Linz.

Mach, T. (2004): Modellentwicklung für einen umsetzungsorientierten Wissenstransfer in Gebäudeplanungsprozessen. 2. Zwischenbericht / Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Graz.

Murphy, J. (1999): An Evaluation of Statistical and Dynamical Techniques for Downscaling Local Climate, J. Climate, 12, 2256-2284.

ÖNORM B 8110 Teil 1 (2007a): Wärmeschutz im Hochbau – Teil 1: Anforderungen an den Wärmeschutz und Deklaration des Wärmeschutzes von Gebäuden/Gebäudeteilen – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM B 8110 Teil 3 (1999): Wärmeschutz im Hochbau – Teil 3: Wärmespeicherung und Sonneneinflüsse. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM B 8110 Teil 5 (2007b): Wärmeschutz im Hochbau – Teil 5: Klimamodell und Nutzungsprofile. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM B 8110 Teil 6 (2007c): Wärmeschutz im Hochbau – Teil 6: Grundlagen und Nachweisverfahren – Heizwärmebedarf und Kühlbedarf. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

ÖNORM H 5058 (2009): Kühltechnik-Energiebedarf. Österreichisches Normungsinstitut, Wien.

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) (Hrsg.) (2007): OIB-Richtlinie 6. Energieeinsparung und Wärmeschutz. April 2007.

Österreichisches Institut für Bautechnik (OIB) (Hrsg.) (2007a): Leitfaden Energietechnisches Verhalten von Gebäuden. April 2007.

Petrick, S., Rehdanz, K., Tol, R. (2009). The Impact of Temperature Changes on Residential Energy Consumption. Kiel Working Paper 5 2009, Institut für Weltwirtschaft, Kiel.

Prettenthaler. F., Gobiet. A., Habsburg-Lothringen. C, Steinacker. R.,Töglhofer, C. & Türk, A. (2007). Auswirkungen des Klimawandels auf Kühl- und Heizenergiebedarf in Österreich. Endbericht StartClim2006.F.,Wegener Zentrum für Klima und Globalen Wandel, Graz.

Prettenthaler. F.. Toeglhofer. C.. Habsburg-Lothringen. C. & Türk. A. (2008). Klimabedingte Änderungen des Heiz- und Kühlenergiebedarfes. in: Prettenthaler F.. A. Gobiet (Hrsg): Heizen und Kühlen im Klimawandel. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.

Roeckner, E., G. Baeuml, L. Bonaventura, R. Brokopf, M. Esch, M. Giorgetta, S. Hagemann, I. Kirchner, L. Kornblueh, 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.

Schranzhofer, H., Heimratz, R., Heinz, A., & Streicher, W. (2008). Warum passive Kühlung?. In: Prettenthaler F.. A. Gobiet (Hrsg): Heizen und Kühlen im Klimawandel. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.

Schriefl, E. (2007). Modellierung der Entwicklung von Treibhausgasemissionen und Energieverbrauch für Raumwärme und Warmwasser im österreichischen Wohngebäudebestand unter der Annahme verschiedener Optimierungsziele. Dissertation, Technische Universität Wien.

Simader G., C. Rakos (2005). Materialband: Klimatisierung, Kühlung und Klimaschutz: Technologien, Wirtschaftlichkeit und CO2- Reduktionspotenziale. Österreichische Energieagentur, Wien

Statistik Austria (2004). Gebäude- und Wohnungszählung 2001 – Wohnungen nach Gebäudealter und Gemeinde, Wien.

Statistik Austria (2007). NEA: Nutzenergieanalyse 2007 – Energetischer Endverbrauch nach Energieträgern , Wien.

Statistik Austria (1991). Häuser- und Wohnungszählung 1991 - Geschoßlage, Nutzung, Eigentümer der Gebäude, Wien.

Statistik Austria (2004). Mikrozensus – Anzahl der Wohnungen nach Energieträger, Wien.

Steininger, K., Kettner, C., Kufleitner, A., Loibnegger, T., Pack, A., Schleicher, S., Trink, T., Töglhofer, C. (2008). Volkswirtschaftliche Effekte einer erweiterten Biomasse-Energie-Nutzung in der Energieregion Oststeiermark. Wissenschaftlicher Bericht Nr. 21-2008, Wegener Center Verlag, Graz.

Streicher, W. (2005): Teilnahme am Task 25 des Implementing Agreements on Solar Heating and Cooling der internationalen Energieagentur (IEA). Endbericht. Technische Universität Graz, Institut für Wärmetechnik, Graz.

Toeglhofer, C., Gobiet, A., Truhetz, H., & Habsburg-Lothringen, C. (2008). In welchem Klima werden wir künftig heizen & kühlen? In: Prettenthaler F.. A. Gobiet (Hrsg): Heizen und Kühlen im Klimawandel. Verlag der Österreichischen Akademie der Wissenschaften, Wien.

Tol, R. (2009). The Economic Effects of Climate Change. Journal of Economic Perspectives 23(2), S. 29–51.

VDI 3807 – Blatt 2 (1998): Energieverbrauchskennwerte für Gebäude. Heizenergie- und Stromverbrauchskennwerte.

Voss, K. et al. (Hrsg.) (2005): Bürogebäude mit Zukunft. Köln : TÜV-Verlag, 2005.

Weber, L. (2002): Energie in Bürogebäuden. Verbrauch und energierelevante Entscheidungen. vdf, Hochsch.-Verl. an der ETH Zürich.

Weber, L; Menti, U.-P.; Keller, I. (1999): Energieverbrauch in Gebäuden / ETH Zürich ; Amstein + Walthert AG, Zürich 1999. – Forschungsbericht.

11 Glossar

Bruttogrundfläche (BGF):

Definition gemäß ÖNORM B 1800 (ÖNORM, 2002): „Die Brutto-Grundfläche ist die Summe der Grundflächen aller Grundrissebenen eines Bauwerkes. Die Brutto-Grundfläche ist in Netto-Grundfläche und Konstruktions-Grundfläche gegliedert."

Die Definition der *konditionierten Bruttogrundfläche* entstammt der ÖNORM B 8110-6 (ÖNORM, 2007c). Sie weicht in einzelnen Punkten von der Bruttogrundfläche gemäß ÖNORM B 1800 ab und dient speziell als Bezugsgröße für die Darstellung von spezifischen Energiebedarfswerten.

Charakteristische Länge l_C:

Die charakteristische Länge ist ein Maß für die Kompaktheit eines Gebäudes. Sie stellt den Kehrwert des → *A/V-Verhältnisses* dar und dient als Kenngröße für die geometrischen Verhältnisse eines Gebäudes. Sie wird wie folgt berechnet:

$$l_c = V / A$$

Einfamilienhaus (EFH):

Ein Einfamilienhaus ist ein Gebäude, das als Wohnhaus für eine einzelne Familie (bzw. allgemeiner für eine überschaubare Gruppe von Menschen, die einen gemeinsamen Haushalt führen) dient und nur eine Wohneinheit enthält. Es gehört damit zu den Gebäuden mit nur einer Nutzungseinheit. (Wikipedia, 2008a)

Endenergie:

Auf Endenergie-Ebene werden zusätzlich zur erforderlichen → *Nutzenergie* jene thermischen Verluste berücksichtigt, die bei der Bereitstellung dieser Nutzenergie auftreten. Diese Bereitstellung erfolgt ausschließlich über die im Gebäude vorhandene gebäudetechnische Ausrüstung. Es werden Bereitstellungs-, Speicherungs- und Verteilverluste berücksichtigt, die bei der Deckung des Nutzenergiebedarfs auftreten. Die erforderliche Endenergie ist somit jene Energiemenge, die dem Gebäude zugeführt werden muss, um den Heizwärme- und Kühlbedarf decken zu können. Dabei stellt die Grundgrenze die symbolische Bilanzierungsgrenze dar.

Endenergiebedarf (EEB):

Der Endenergiebedarf (EEB) stellt die Energiemenge dar, die dem Heizsystem und allen anderen energietechnischen Systemen zugeführt werden muss, um den → *Heizwärmebedarf*, den → *Kühlbedarf* sowie die erforderlichen Komfortanforderungen an Belüftung und Beleuchtung decken zu können.

Energiebedarf:

Der Energiebedarf stellt im Unterschied zum → *Energieverbrauch* keinen gemessenen, sondern einen berechneten Wert dar. Dabei werden standardisierte Nutzungs- und Klimabedingungen zugrunde gelegt.

Energieverbrauch:

Im engeren Sinne bezieht sich „Energieverbrauch" auf den menschlichen Verbrauch von Brennstoffen und elektrischem Strom (Wikipedia, 2008b). Angaben zu Verbrauchswerten sind in der Regel gemessene Werte unter realen Nutzungs- und Klimabedingungen,

Heizwärmebedarf (HWB):

Der Heizwärmebedarf ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge (→ *Nutzenergie*), die zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur im Heizfall benötigt wird. (ÖNORM, 2007c).

Heizwärmebedarf, spezifisch (HWB_{BGF}):

Der spezifische Heizwärmebedarf dient zum Vergleich der Energiebedarfswerte verschiedener Gebäude durch Bezug des absoluten → *Heizwärmebedarfs* auf die (konditionierte) → *Bruttogrundfläche* (BGF).

Heizenergie:

Die Heizenergie stellt jene Energiemenge dar, die dem Heizsystem zur Deckung des → *Heizwärmebedarfs* zugeführt werden muss.

Heizenergieverbrauch:

Der Heizenergieverbrauch ist jener an existierenden Gebäuden gemessene Wert, der dem Heizsystem zur Deckung des → *Heizwärmebedarfs* zugeführt werden muss.

Kühlbedarf (KB):

Der Kühlbedarf ist die rechnerisch ermittelte Wärmemenge (→ *Nutzenergie*), die zur Aufrechterhaltung einer vorgegebenen Innentemperatur im Kühlfall benötigt wird. (ÖNORM, 2007c).

Kühlbedarf, spezifisch (KB):

Der spezifische Kühlbedarf dient wie der spezifische Heizwärmebedarf zum Vergleich der Energiebedarfswerte verschiedener Gebäude durch Bezug des absoluten → *Kühlbedarfs* auf die (konditionierte) → *Bruttogrundfläche* (BGF).

Mehrfamilienhaus (MFH):

Ein Mehrfamilienhaus (MFH) ist ein Wohngebäude, beziehungsweise Wohnhaus, das für mehrere Familien beziehungsweise Nutzer oder Mietparteien konzipiert ist. Die einzelnen Wohnungen eines Mehrfamilienwohnhauses sind in der Regel auf mehrere Geschoße verteilt. Größere Mehrfamilienhäuser werden insofern zum Geschoßwohnungsbau gezählt. Auch bei einer Gruppe von Reihenhäusern, die nicht als Geschoßwohnungsbau betrachtet werden, kann es sich um ein Mehrfamilienwohnhaus handeln. (Wikipedia, 2008d)

Nutzenergie:

Auf Ebene der Nutzenergie wird abgebildet, welcher Energieeinsatz raumseitig erforderlich ist, um die zu konditionierenden Räume auf die gewünschte Temperatur zu klimatisieren. Man bezeichnet die erforderliche Energie dabei im Heizfall (Wintermonate) als → *Heizwärmebedarf* und im Kühlfall (Sommermonate) als → *Kühlbedarf*. Von entscheidender Bedeutung sind dabei die entstehenden Verluste und Gewinne des Gebäudes, die in der → *Wärmebilanz* abgebildet werden. Der Energiebedarf auf Nutzenergie-Ebene wird hauptsächlich durch bauplanerische und bautechnische Parameter bestimmt.

Oberflächen-Volums-Verhältnis bzw. Kompaktheit (A/V):

Das A/V-Verhältnis (manchmal auch "Formfaktor" genannt) beschreibt die Oberfläche der thermischen Gebäudehülle dividiert durch beheiztes Volumen. Je kleiner dieses Verhältnis ist, desto kompakter (energiesparender) ist das Haus. (Energiesparhaus, 2008)

Primärenergie:

Je nach eingesetztem Energieträger unterscheidet sich die erforderliche Primärenergie, die zur Deckung des → *Endenergiebedarfs* eines Gebäudes erforderlich ist. Die benötigte Primärenergie umfasst auch jene energetischen Aufwendungen, die bei Gewinnung und Transport des Primärenergieträgers (Rohöl, Erdgas, Biomasse etc.) und anschließender Umwandlung in eine nutzbare Energieträgerform (Heizöl, Hackschnitzel, Pellets, elektrischer Strom) anfallen. Der Primärenergiefaktor von elektrischem Strom ist besonders hoch, da es sich dabei um einen besonders hochwertigen Energieträger handelt.

Primärenergiebedarf (PEB):

Der Primärenergiebedarf eines Systems umfasst zusätzlich zum eigentlichen → *Endenergiebedarf* an einem Energieträger jene Energiemenge, die durch vorgelagerte Prozessketten außerhalb der Systemgrenze „Grundstück“ bei der Gewinnung, Umwandlung und Verteilung des Energieträgers benötigt werden. Der Bedarfswert beruht grundsätzlich auf einer rechnerischen Ermittlung.

Wärmebilanz:

Die Wärmebilanz ist eine spezielle Form der Energiebilanz. Unter einer Energiebilanz versteht man allgemein die Bilanzierung der Energieströme eines offenen oder geschlossenen Systems, wobei eine negative Energiebilanz für einen Energieverlust und eine positive Energiebilanz für einen Energiegewinn des Systems stehen (Wikipedia, 2008c).

Im Fall der Wärmebilanz eines Gebäudes stellen die bilanzierten Energieströme Wärmeströme dar, das betrachtete System ist das jeweilige Gebäude, für das die Wärmebilanz aufgestellt wird.

Wärmedurchgangskoeffizient (U-Wert):

Der Wärmedurchgangskoeffizient U (auch Wärmedämmwert, U-Wert, früher k-Wert) ist ein Maß für den Wärmestromdurchgang durch eine ein- oder mehrlagige Materialschicht, wenn auf beiden Seiten verschiedene Temperaturen anliegen. Er gibt die Energiemenge (in Joule = Wattsekunden) an, die in einer Sekunde durch eine Fläche von 1 m² fließt, wenn sich die beidseitig anliegenden Lufttemperaturen stationär um 1 K unterscheiden. Der Wärmedurchgangskoeffizient in W/(K.m²) ist eine spezifische Kennzahl der Materialzusammensetzung eines Bauteils. (Wikipedia, 2008e)

Wärmerückgewinnung (WRG):

Wärmerückgewinnung (WRG) ist ein Sammelbegriff für Verfahren zur Wiedernutzbarmachung der thermischen Energie eines den Prozess verlassenden Massenstromes. Grundsätzliches Ziel der Wärmerückgewinnung ist die Minimierung des Primärenergieverbrauchs. (Wikipedia, 2008f).

12 Anhang

12.1 ANHANG A: GEOMETRIEANGABEN DER VERSCHIEDENEN GEBÄUDETYPEN UND ENERGIEKLASSEN

Tabelle 34: Geometrieangaben Gebäudetyp Einfamilienhaus der Energieklassen Altbau und Standard

Bez.								
EFH ALT	*Gebäudetyp:* **Einfamilienhaus** *Energieklasse:* **Altbau** *Zielwert HWB:* **151 kWh/m²a**							
A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	10,40	7,40	6,35			
BGF	Bruttogrundfläche	153,9	--	--	--			
V	Bruttovolumen	488,7	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	123,1	--	--	--			
B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	77,0	--	--	--	--	0,64	--
FA	Fassadenfläche	226,1	66,0	47,0	66,0	47,0	0,67	--
EB	erdberührter Boden	77,0	--	--	--	--	0,76	--
FE	Fensterflächen	45,2	13,2	9,4	13,2	9,4	2,40	0,67
	Fensterflächen-Anteil	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	--	--

Bez.								
EFH STD	*Gebäudetyp:* **Einfamilienhaus** *Energieklasse:* **Standard** *Zielwert HWB:* **91 kWh/m²a**							
A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	10,16	7,16	6,35			
BGF	Bruttogrundfläche	145,5	--	--	--			
V	Bruttovolumen	461,9	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	116,4	--	--	--			
B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	72,7	--	--	--	--	0,42	--
FA	Fassadenfläche	220,0	64,5	45,5	64,5	45,5	0,42	--
EB	erdberührter Boden	72,7	--	--	--	--	0,57	--
FE	Fensterflächen	44,0	6,5	9,1	19,4	9,1	2,20	0,67
	Fensterflächen-Anteil	20,0%	10,0%	20,0%	30,0%	20,0%	--	--

Tabelle 35: Geometrieangaben Gebäudetyp Einfamilienhaus der Energieklassen Niedrigenergie und Passivhaus

Bez.		
EFH NE	*Gebäudetyp:*	**Einfamilienhaus**
	Energieklasse:	**Niedrigenergie**
	Zielwert HWB:	**55 kWh/m²a**

A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	10,24	7,24	6,47			
BGF	Bruttogrundfläche	148,3	--	--	--			
V	Bruttovolumen	479,7	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	118,6	--	--	--			

B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	74,1	--	--	--	--	0,15	--
FA	Fassadenfläche	226,2	66,3	46,8	66,3	46,8	0,24	--
EB	erdberührter Boden	74,1	--	--	--	--	0,32	--
FE	Fensterflächen	51,9	6,6	9,4	26,5	9,4	1,10	0,63
	Fensterflächen-Anteil	22,9%	10,0%	20,0%	40,0%	20,0%	--	--

Bez.		
EFH PH	*Gebäudetyp:*	**Einfamilienhaus**
	Energieklasse:	**Passivhaus**
	Zielwert HWB:	**15 kWh/m²a**

A)	**Gebäudegeometrie**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	10,50	7,50	6,74			
BGF	Bruttogrundfläche	157,5	--	--	--			
V	Bruttovolumen	530,8	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	126,0	--	--	--			

B)	**Gebäudehüllflächen**							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	78,8	--	--	--	--	0,10	--
FA	Fassadenfläche	242,6	70,8	50,6	70,8	50,6	0,14	--
EB	erdberührter Boden	78,8	--	--	--	--	0,14	--
FE	Fensterflächen	54,1	3,5	7,6	35,4	7,6	0,80	0,57
	Fensterflächen-Anteil	22,3%	5,0%	15,0%	50,0%	15,0%	--	--

Tabelle 36: Geometrieangaben Gebäudetyp Mehrfamilienhaus der verschiedenen Energieklassen

Bez.		
MFH ALT	*Gebäudetyp:*	**Mehrfamilienhaus**
	Energieklasse:	**Altbau**
	Zielwert HWB:	**123 kWh/m²a**

A)	Gebäudegeometrie							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	43,28	8,56	9,26			
BGF	Bruttogrundfläche	1111,4	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3430,6	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	889,1	--	--	--			

B)	Gebäudehüllflächen							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	370,5	--	--	--	--	0,91	--
FA	Fassadenfläche	960,1	400,8	79,3	400,8	79,3	0,67	--
EB	erdberührter Boden	370,5	--	--	--	--	0,95	--
FE	Fensterflächen	192,0	80,2	15,9	80,2	15,9	2,40	0,67
	Fensterflächen-Anteil	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	20,0%	--	--

Bez.		
MFH STD	*Gebäudetyp:*	**Mehrfamilienhaus**
	Energieklasse:	**Standard**
	Zielwert HWB:	**78 kWh/m²a**

A)	Gebäudegeometrie							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	42,98	8,26	9,30			
BGF	Bruttogrundfläche	1065,0	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3301,6	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	852,0	--	--	--			

B)	Gebäudehüllflächen							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	355,0	--	--	--	--	0,42	--
FA	Fassadenfläche	953,1	399,7	76,8	399,7	76,8	0,42	--
EB	erdberührter Boden	355,0	--	--	--	--	0,57	--
FE	Fensterflächen	190,6	40,0	15,4	119,9	15,4	2,20	0,67
	Fensterflächen-Anteil	20,0%	10,0%	20,0%	30,0%	20,0%	--	--

Bez.		
MFH NE	*Gebäudetyp:*	**Mehrfamilienhaus**
	Energieklasse:	**Niedrigenergie**
	Zielwert HWB:	**45 kWh/m²a**

A)	Gebäudegeometrie							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	43,28	8,56	9,46			
BGF	Bruttogrundfläche	1111,4	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3504,7	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	889,1	--	--	--			

B)	Gebäudehüllflächen							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	370,5	--	--	--	--	0,18	--
FA	Fassadenfläche	980,8	409,4	81,0	409,4	81,0	0,24	--
EB	erdberührter Boden	370,5	--	--	--	--	0,32	--
FE	Fensterflächen	237,1	40,9	16,2	163,8	16,2	1,30	0,63
	Fensterflächen-Anteil	24,2%	10,0%	20,0%	40,0%	20,0%	--	--

Tabelle 37: Geometrieangaben Gebäudetyp Bürogebäude der verschiedenen Energieklassen

Bez.		
BUE ALT	*Gebäudetyp:*	**Bürogebäude**
	Energieklasse:	**Altbau**
	Zielwert HWB:	**120 kWh/m²a**

A)	Gebäudegeometrie							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	21,70	16,04	10,46			
BGF	Bruttogrundfläche	696,1	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3640,8	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	556,9	--	--	--			

B)	Gebäudehüllflächen							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	348,1	--	--	--	--	0,91	--
FA	Fassadenfläche	789,5	227,0	167,8	227,0	167,8	0,81	--
EB	erdberührter Boden	348,1	--	--	--	--	0,95	--
FE	Fensterflächen	174,7	34,0	41,9	56,7	41,9	2,40	0,67
	Fensterflächen-Anteil	22,1%	15,0%	25,0%	25,0%	25,0%	--	--

Bez.		
BUE STD	*Gebäudetyp:*	**Bürogebäude**
	Energieklasse:	**Standard**
	Zielwert HWB:	**65 kWh/m²a**

A)	Gebäudegeometrie							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	21,40	15,74	10,50			
BGF	Bruttogrundfläche	1010,5	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3536,8	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	808,4	--	--	--			

B)	Gebäudehüllflächen							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	336,8	--	--	--	--	0,42	--
FA	Fassadenfläche	779,9	224,7	165,3	224,7	165,3	0,42	--
EB	erdberührter Boden	336,8	--	--	--	--	0,57	--
FE	Fensterflächen	200,3	33,7	49,6	67,4	49,6	2,20	0,67
	Fensterflächen-Anteil	25,7%	15,0%	30,0%	30,0%	30,0%	--	--

Bez.		
BUE NE	*Gebäudetyp:*	**Bürogebäude**
	Energieklasse:	**Niedrigenergie**
	Zielwert HWB:	**40 kWh/m²a**

A)	Gebäudegeometrie							
Kürzel	*Beschreibung*	*Fläche [m²]*	*Länge [m]*	*Breite [m]*	*Höhe [m]*			
	Abmessungen (außen)	--	21,30	15,64	10,66			
BGF	Bruttogrundfläche	666,3	--	--	--			
V	Bruttovolumen	3551,2	--	--	--			
BF	Nutzfläche (Bezugsfläche)	533,0	--	--	--			

B)	Gebäudehüllflächen							
Kürzel	*Beschreibung*	*Gesamtfl. [m²]*	*Nord [m²]*	*Ost [m²]*	*Süd [m²]*	*West [m²]*	*U-Wert [W/m²K]*	*g-Wert [-]*
OD	oberste Geschoßdecke	333,1	--	--	--	--	0,18	--
FA	Fassadenfläche	787,6	227,1	166,7	227,1	166,7	0,28	--
EB	erdberührter Boden	333,1	--	--	--	--	0,39	--
FE	Fensterflächen	219,6	22,7	41,7	113,5	41,7	1,30	0,63
	Fensterflächen-Anteil	27,9%	10,0%	25,0%	50,0%	25,0%	--	--

12.2 ANHANG B: REFERENZKLIMA

Tabelle 38: Temperatur- und Strahlungswerte des Referenzklimas

Referenzklima (Temperatur- und Strahlungswerte)				
Monate	**Jänner**	**Februar**	**März**	**April**
Temperatur	-1,53 ℃	0,73 ℃	4,81 ℃	9,62 ℃
Strahlung	29,79 kWh/m²	51,42 kWh/m²	83,40 kWh/m²	112,81 kWh/m²
S	39,63 kWh/m²	60,16 kWh/m²	78,40 kWh/m²	78,97 kWh/m²
SW + SO	31,88 kWh/m²	49,36 kWh/m²	69,22 kWh/m²	77,84 kWh/m²
W + O	19,66 kWh/m²	32,39 kWh/m²	52,54 kWh/m²	67,69 kWh/m²
NW + NO	13,71 kWh/m²	22,62 kWh/m²	35,03 kWh/m²	50,76 kWh/m²
N	13,11 kWh/m²	21,08 kWh/m²	28,36 kWh/m²	39,48 kWh/m²
horizontal	29,79 kWh/m²	51,42 kWh/m²	83,40 kWh/m²	112,81 kWh/m²
Monate	**Mai**	**Juni**	**Juli**	**August**
Temperatur	14,20 ℃	17,33 ℃	19,12 ℃	18,56 ℃
Strahlung	153,36 kWh/m²	155,23 kWh/m²	160,58 kWh/m²	138,50 kWh/m²
S	87,41 kWh/m²	77,61 kWh/m²	81,90 kWh/m²	87,25 kWh/m²
SW + SO	92,02 kWh/m²	86,93 kWh/m²	91,53 kWh/m²	90,02 kWh/m²
W + O	88,95 kWh/m²	88,48 kWh/m²	93,14 kWh/m²	81,71 kWh/m²
NW + NO	70,55 kWh/m²	74,51 kWh/m²	75,47 kWh/m²	59,55 kWh/m²
N	55,21 kWh/m²	58,99 kWh/m²	59,42 kWh/m²	44,32 kWh/m²
horizontal	153,36 kWh/m²	155,23 kWh/m²	160,58 kWh/m²	138,50 kWh/m²
Monate	**September**	**Oktober**	**November**	**Dezember**
Temperatur	15,03 ℃	9,64 ℃	4,16 ℃	0,19 ℃
Strahlung	98,97 kWh/m²	64,35 kWh/m²	31,46 kWh/m²	22,33 kWh/m²
S	82,14 kWh/m²	70,14 kWh/m²	41,85 kWh/m²	34,39 kWh/m²
SW + SO	75,22 kWh/m²	59,20 kWh/m²	33,35 kWh/m²	27,02 kWh/m²
W + O	60,37 kWh/m²	41,18 kWh/m²	20,14 kWh/m²	14,74 kWh/m²
NW + NO	43,55 kWh/m²	27,03 kWh/m²	13,84 kWh/m²	10,05 kWh/m²
N	35,63 kWh/m²	23,81 kWh/m²	13,21 kWh/m²	9,60 kWh/m²
horizontal	98,97 kWh/m²	64,35 kWh/m²	31,46 kWh/m²	22,33 kWh/m²

Quelle: Eigene Tabelle gemäß (ÖNORM, 2007b).

12.3 ANHANG C: NUTZUNGSPROFILE

Tabelle 39: Nutzungsprofile

		Wohngebäude	Bürogebäude	Kindergarten und Pflichtschulen	Höhere Schulen und Hochschulen	Krankenhäuser	Pflegeheime	Pensionen	Hotels	Gaststätten	Veranstaltungsstätten	Sportstätten	Verkaufsstätten
$d_{Nutz,1}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$d_{Nutz,2}$	[d/M]	28	20	20	20	28	28	28	28	28	28	28	24
$d_{Nutz,3}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$d_{Nutz,4}$	[d/M]	30	22	22	22	30	30	30	30	30	30	30	26
$d_{Nutz,5}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$d_{Nutz,6}$	[d/M]	30	22	22	22	30	30	30	30	30	30	30	26
$d_{Nutz,7}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$d_{Nutz,8}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$d_{Nutz,9}$	[d/M]	30	22	22	22	30	30	30	30	30	30	30	26
$d_{Nutz,10}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$d_{Nutz,11}$	[d/M]	30	22	22	22	30	30	30	30	30	30	30	26
$d_{Nutz,12}$	[d/M]	31	23	23	23	31	31	31	31	31	31	31	27
$t_{Nutz,d}$	[h/d]	24	12	12	12	24	24	12	12	12	7	12	12
$d_{Nutz,a}$	[d/a]	365	269	269	269	365	365	365	365	365	365	365	317
$t_{Tag,a}$	[h/a]	-	2970	2860	2930	5020	5020	1550	1550	3130	1295	3690	2970
$t_{Nacht,a}$	[h/a]	-	258	368	298	3740	3740	2830	2830	1250	1260	690	834
$t_{RLT,d}$	[h/d]	-	14,0	14,0	14,0	24,0	24,0	14,0	14,0	14,0	9,0	14,0	14,0
$d_{RLT,a}$	[d/a]	-	269	269	269	365	365	365	365	365	365	365	317
$t_{h,d}$	[h/d]	24	14	14	14	24	24	14	14	14	9	14	14
$d_{h,a}$	[d/a]	365	269	269	269	365	365	365	365	365	365	365	317
$t_{c,d}$	[h/d]	-	12	12	12	24	24	12	12	12	7	12	12
$d_{c,a}$	[d/a]	-	269	269	269	365	365	365	365	365	365	365	317
θ_{ih}	[°C]	20	20	20	20	22	22	20	20	20	20	20	20
θ_{ic}	[°C]	-	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26	26
θ_{iu}	[°C]	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13
x	[-]	-	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.	m.T.
$n_{L,RLT}$	[1/h]	-	2,00	2,00	3,00	2,00	1,00	1,00	2,00	3,50	5,00	5,00	3,00
$n_{L,FL}$	[1/h]	0,40	1,20	1,20	1,80	2,00	1,00	0,60	1,20	2,00	1,80	3,00	1,80
$n_{L,NL}$	[1/h]	-	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50	1,50
E_m	[Lux]	-	380	300	300	240	240	200	200	200	390	220	215
h_{Ne}	[1/h]	-	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
k_A	[1/h]	-	0,9	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0	0,9	1,0	1,0	0,9
$C_{A,m}$	[1/h]	-	0,4	0,4	0,4	0,3	0,3	0,4	0,4	0,1	0,3	0,4	0,4
k_R	[1/h]	-	1,4	1,8	1,8	1,4	1,4	1,2	1,2	2,3	3,2	2,2	2,1
$F_{t,n,m}$	[1/h]	-	0,9	0,9	0,9	0,7	0,7	0,5	0,5	1,0	0,9	1,0	1,0
$q_{i,HWB}$	[W/m²]	3,75	3,75	3,75	7,50	7,50	3,75	3,75	7,50	7,50	7,50	7,50	3,75
$q_{i,KB}$	[W/m²]	-	7,50	7,50	11,25	11,25	7,50	3,75	7,50	15,00	15,00	7,50	7,50
wwwb	[Wh/m²d]	35,0	17,5	35,0	35,0	70,0	70,0	35,0	35,0	17,5	35,0	70,0	17,5

Quelle: Eigene Tabelle gemäß (ÖNORM, 2007b).