

BEURTEILUNG DES EINFLUSSES DES KLIMAWANDELS AUF DEN HEIZ- UND KÜHL ENERGIEBEDARF VON SCHWEIZER BÜROBAUTEN

Christian Struck¹, Dominic Jurt¹, Axel Seerig¹ und Diego Hangartner¹ Thomas Heim², Doris Ehrbar², Patrick Baschnagel³, Volker Wouters³

¹Zentrum für Integrale Gebäudetechnik; Hochschule Luzern, Horw, Switzerland

²Kompetenzzentrum Typologie & Planung, Hochschule Luzern, Horw, Switzerland

³Herzog Kull Group Basel (HKG), Pratteln, Switzerland

KURZFASSUNG

Planer und Betreiber haben keine Möglichkeit die Energiebilanz Ihrer Entwürfe (Neubau & Sanierung) auf deren Robustheit hinsichtlich der künftigen Klimavariabilität und des Nutzerverhaltens zu testen. Jedoch sind diese massgebend für die Erreichung der geplanten Energiebilanz während des Gebäude- und Anlagenbetriebes. Was fehlt sind direkt nutzbare Datensätze, welche die Variabilität des Klimas als auch des Nutzerverhaltens zu beschreiben, sowie an dokumentiertem methodologischem Wissen, um diese Analysen zielführend durchzuführen. In diesem Beitrag werden verfügbare Schweizer Klimadaten auf Ihre Eignung zur Robustheitsbewertung diskutiert und der Wert der Analysen anhand exemplarischer Ergebnisse für die Planungspraxis diskutiert. Dabei wird auf folgende Forschungsaktivitäten Bezug genommen: Interviews mit Architekten, Planern und Betreibern; Literatur- und Datenrecherchen zu Schweizer Bürobautypologien und Klimadaten als auch dynamisch thermische Gebäudesimulationen.

EINLEITUNG

Planer und Betreiber haben aktuell keine Möglichkeit die Energiebilanz Ihrer Entwürfe (Neubau & Sanierung) auf deren Robustheit hinsichtlich der künftigen Klimavariabilität und des Nutzerverhaltens zu testen. Jedoch sind diese massgebend für die Erreichung der geplanten Energiebilanz während des Gebäude- und Anlagenbetriebes. Was fehlt sind direkt nutzbare Datensätze, welche die Variabilität des Klimas als auch des Nutzerverhaltens zu beschreiben, sowie an dokumentiertem methodologischem Wissen, um die Analysen zielführend durchzuführen.

In der Praxis wird dem Risiko der fehlenden Robustheit durch ein Überdimensionieren der gebäude-technischen Komponenten begegnet. Die Überdimensionierung führt dazu, dass die Gebäudetechnik mehrheitlich im ineffizienten Teillastbereich betrieben wird, was nachweislich den Energiebedarf erhöht. Weiterhin birgt die punktgenaue Dimensionierung der Technik aufgrund der fehlenden Leistungsreserven das Risiko, nicht auf kurzfristig auftretende Lastspitzen reagieren zu

können, was zu einem unbehaglichen Raumklima führen kann.

HERANGEHENSWEISE

Der Beitrag präsentiert erste Ergebnisse aus dem laufenden und durch das Bundesamt für Energie unterstützte Projekt: „Robustheitsbewertung von integrierten gebäudetechnischen Systemen in Verwaltungsbauten hinsichtlich Klima und Nutzervariabilität“. Die dokumentierten Ergebnisse basieren auf folgenden Forschungsaktivitäten: (1) Interviews mit Architekten, Planern und Betreibern; (2) Literatur- und Datenrecherchen Schweizer Gebäudetypologien und Klimadaten als auch (3) dynamisch-thermische Gebäudesimulationen.

Es wurden fünf Interviews wurden mit Architekten und Gebäudebetreibern und Planern in der Gebäudetechnik durchgeführt, um deren Perspektive auf die Gewährleistung der geplanten Energiebilanz zu erfahren. Zur Durchführung der Interviews wurden den Teilnehmenden vorab die zu diskutierenden Kernfragen geschickt. Die Interviews multidisziplinär geführt und digital aufgenommen. Es wurde jeweils ein Protokoll erarbeitet und den Interviewteilnehmern zugeschickt. Die Literatur- und Datenrecherchen wurden durchgeführt, um den Datenbestand zu Schweizer Bürobautypologien festzustellen und die verfügbaren Daten zur Prognose der Klimavariabilität zu ermitteln. Basierend auf der festgestellten Datengrundlage wurden Bürobautypologien definiert und repräsentative Gebäude identifiziert. Diese Gebäude bilden die Grundlage für die dynamisch-thermische Simulation. Dynamisch-thermische Simulation. Die identifizierten Gebäude wurden in IDA-ICE v.4.6.1 modelliert und mittels Energiekennwerten kalibriert. Die kalibrierten Modelle wurden mit dann mit verschiedenen Klimaveränderungsszenarien simuliert. Dabei diente die Periode vom 1. Januar 1980 bis 31. Dezember 2009 als Referenzperiode. Das bedeutet, dass gegenüber der üblichen Einjahresbetrachtung die Untersuchung eines 30-mal längeren Zeitraum nötig ist.

ROBUSTE INTEGRIERTE GEBÄUDEKONZEPTE

Bedürfnisse aus der Schweizer Planungs- und Betreiberperspektive

Als Kernbedürfnisse der Schweizer Planungsbeteiligten und Gebäudebetreiber wurden die folgenden zwei Punkte identifiziert: (1) den geplanten Energiebedarf über die Lebensdauer zu gewährleisten und (2) die nötige Adaptivität der Gebäude und deren Technik während der Nutzungsphase zu sichern.

In Abhängigkeit ihrer Rolle in Bezug auf die Gebäudenutzung variieren jedoch Ihre Anforderungen und Ansätze. Während die Architekten und Planer die Förderung der interdisziplinären Zusammenarbeit durch mögliche Massnahmen wie der Optimierung des Zusammenspiels zwischen Architektur und Gebäudetechnik in den Vordergrund setzen, fokussieren die Betreiber eine stärkere Integration des Gebäudebetriebs und des Planungsprozesses. Folgende Massnahmen wurden zur Sicherstellung eines robusten Gebäudebetriebes identifiziert: (1) der Einsatz von modularen Bauteilen und einer Strukturtrennung zwischen der Trag- und Installationsstruktur, (2) die Definition einer angemessenen Flexibilität in Bezug auf Raum- und Gebäudenutzung sowie (3) die frühe Optimierung und Planbarkeit der Betriebsenergie durch Berechnungen und Betriebsmonitoring. Um eine rechnerische Bewertung der Robustheit des Energiebedarfs von Bürobauten zu ermöglichen bedarf es Wissen zu den vorhandenen Gebäudetypologien als auch zu den aktuellen Prognosen zur Klimavariabilität.

Bürobautypologien in der Schweiz

Bedingt durch die vergleichbar hohen internen Lasten und hohe Belegungsdichte sind Bürobauten die Gebäudetypen die als besonders kritisch in Bezug auf einen robusten Betrieb betrachtet werden. Der Anteil Büro- und Geschäftsflächen (Bürogebäude, Handels- und Warenhäuser sowie Hotels und Gaststätten) haben einen Anteil von 7% am Gesamtvolumen des Gebäudebestands der Schweiz (Schmid, Guerra et al. 2013). Das entspricht ca. 52'137'600m² Bruttogeschossfläche bei einer Leerstandsquote von 1.5% - 3.3% in den Schweizer Grossstädten (Bernhard, Fries et al. 2013).

Die Gebäudetypologie hat einen massgeblichen Einfluss auf die Robustheit gebäudetechnischer Systeme. Die Gebäude- und Raumtypologie beeinflusst die Robustheit gebäudetechnischer Systeme z.B. durch die Gebäudeform und Materialisierung. Die Gebäudeform bestimmt das Verhältnis von Fläche und Volumen und damit die Kompaktheit. Die damit verbundene Materialisierung

von Fassaden, Boden und Decke beeinflussen die thermische Speicherkapazität (z.B. Massivbau vs. Leichtbau) und den Anteil des solaren Eintrags (z.B. Fensterflächenanteil). Die Nutzung beeinflusst die Robustheit gebäudetechnischer Systeme z.B. durch die Belegungsdichte und das Verhalten. Nicht zuletzt durch die Komplexität und Fehleranfälligkeit der Technik im Betrieb. Für diese Studie wurden fünf Bürobautypen und Beispiele differenziert.

Für die vorliegende Studie wurde das Referenzgebäude - Typ 1 betrachtet. Dieses wurde mit IDA-ICE v4.6.1 modelliert und simuliert. Publierte Energiekennwerte wurden genutzt um das Modell zu kalibrieren (Markus Gwerder 2013).

Typ 1 Referenz:

Actelion, Allschwil/CH



Architektur / Raum:	Gebäudetechnik:
Bestandsbau; Punkt; Lochfassade mit 50% Verglasung, Einzel- und Gruppenbüros, Decke Beton roh	Kühlung und Grundbeheizung durch Betonkernaktivierung; mechanische Lüftung im Deckenbereich, Deckenleuchten, Erschliessung der Arbeitsplätze über Brüstungskanäle

Typ 2 Altbau (Riegel):

Landis und Gyr Gebäude, Zug/CH



Architektur / Raum:	Gebäudetechnik:
Bestandsbau; Riegel; Lochfassade mit 30%-40% Verglasung, vor-wiegend Einzelbüros, Unterlagsboden mit fugenloser Abdeckung, Decke Beton roh	Kühlung und Grundbeheizung durch Betonkernaktivierung; mechanische Lüftung im Deckenbereich, Deckenleuchten, Erschliessung der Arbeitsplätze über Brüstungskanäle

Typ 3 Riegel mit Atrium: BAG, Liebfeld/CH



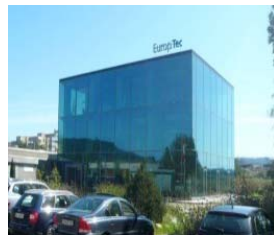
Architektur / Raum:	Gebäudetechnik:
Bestandbau mit Atrium; Riegel mit Atrium; Bandfassade; 30-60% Verglasung; Einzel und Gruppenbüros; Unterlagsboden mit fugenloser Abdeckung; Akustik-decke	Natürlich belüftet; Nachtauskühlung über Atrium; Radiatorheizung; Fernwärme; Deckenintegrierte Beleuchtungselemente

Typ 4 Hohe Lasten: Anaxo, Pratteln/CH



Architektur / Raum:	Gebäudetechnik:
Bestand oder Neubau; U-Form; Bandfassade; 30-60% Verglasung; Doppelboden; Decke roh; Einzel- und Gruppenbüros	Quelllüftung über Doppelboden; mechanische Kühlung; Gaskessel mit Radiatorenheizung; Stehleuchten

Typ 5 Headquarters: EuropTec, Oftringen/CH



Architektur / Raum:	Gebäudetechnik:
Bestand oder Neubau; Bandfassade; bis 90% Verglasung; Doppelboden; Decke Beton roh; überwiegend Grossraumbüros	mechanische durch deckennahe Kühlsegel, Sole/Wasser Wärmepumpe; verwenden; Deckenheizung; Quelllüftung über den Doppelboden, Stehleuchten.

Klimavariabilität in der Schweiz

Bei der Diskussion zur Klimavariabilität werden drei Regionen differenziert die Nordost-, West- und Südschweiz. Es wird erwartet, dass die Mitteltemperaturen in allen Regionen und allen Jahreszeiten ansteigen. Die Winter werden in der Nordostschweiz bis 2035 verglichen mit der Periode 1980 bis 2009 um 0,4 bis 2,1 Grad wärmer werden, siehe Abbildung 1. Im Frühling kann bis 2035 mit einer zusätzlichen Erwärmung von 1 Grad gerechnet werden. Im Sommer wie auch im Winter wird bis 2035 die stärkste Erwärmung prognostiziert. Bis 2035 werden die Sommer im Mittel 18,9°C warm sein. Wärmer waren seit Messbeginn lediglich vier Sommer, darunter der Hitzesommer 2003. Der Herbst hat sich in der Nordostschweiz bisher nur geringfügig erwärmt. Bis zum Jahr 2035 dürften die Herbstmonate aber um 1,3 Grad wärmer werden.

Um die Variabilität des Klimas abzubilden werden die Swiss-Climate-Change Szenarios genutzt (CH2011 2011). Diese basieren auf den Projektionen des IPCC 2011. Die Daten werden durch das Center for Climate Systems Modeling (C2SM) der ETH Zürich verfügbar gemacht und umfassen die zwei Parameter Temperatur und Niederschlag. Die Szenarien zur Klimaänderung in der Schweiz wurden für drei verschiedene Regionen (Nordostschweiz, Westschweiz, Südschweiz) und für drei Zeitperioden (2035, 2060, 2085) ermittelt, wobei es sich beim Wert 2035 um ein 30-jähriges Mittel der Jahre 2020 bis 2049 handelt, bei 2060 um den Mittelwert der Jahre 2045 bis 2074 und bei 2085 um die Periode 2070 bis 2099. Die Datensätze sind in drei Formaten verfügbar:

- Klimaszenarien mit saisonalen Mittelwerten [vier Jahreszeiten, drei Regionen, drei verschieden Projektionsperioden and drei CO2 Emissionsszenarien];
- Tagesmittelwerte für die drei Regionen Nordost-, West- und Südschweiz je drei Projektionsperioden 2035 [2020-2049], 2060 [2045-2074], 2085 [2070-2099]) und drei Emissionsszenarios (A1B, A2 and RCP3PD)
- Tagesmittelwerte für das Emissionsszenario A1B, für 188 Schweizer Standorte für die Projektionsperioden 2035, 2060 und 2085. Für jeden Standort und jede Projektionsperiode werden Resultate aus 10 GCM-RCM Modelketten publiziert.

Begründet durch die höhere temporäre Auflösung der Datensätze wurden für die Simulationsstudien die letztgenannten zwei Datenformate.

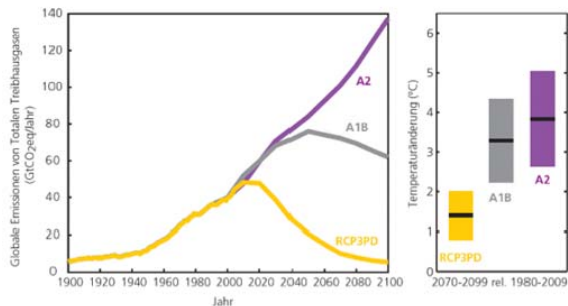


Abbildung 1, Schweizer Klimaszenarien (CH2011 2011)

Eignung der lokalen und standort-bezogenen Klimadatenätze

Die Vielfalt der verfügbaren Datensätze macht es nötig den Charakter der Datensätze zu differenzieren, um beurteilen zu können, welche der Datensätze am besten geeignet sind die Zielgrößen Jahresenergiebedarf zum Heizen und Kühlen zu berechnen. Als Basis für die Beurteilung wird der Standort Basel in der Region Nordost-Schweiz betrachtet. Als Beurteilungskriterium wird die repräsentierte Variabilität genutzt. Bei der Analyse der in Abbildung 2 und Abbildung 3 dargestellten Temperaturänderungsprofile wird deutlich, dass die Resultate aus den zehn Modellketten der regionalen Zirkulationsmodelle (RCM) zur Abbildung des Emissionsszenarios A1B für den Standort Basel eine höhere Amplitude aufweisen als die Resultate aus den globalen Zirkulationsmodellen für die drei Szenarien A2, A1B und RCP3PD für die Region Nordost-Schweiz. Weiterhin ist ersichtlich, dass die saisonalen Schwankungen für den Standort Basel stärker als für die Region Nordost-Schweiz ausgeprägt sind, während die mittleren Profile der Emissionsszenarien für die Nordost-Schweiz sehr eng beieinanderliegen und dem Mittel der Profile für den Standort Basel entsprechen.

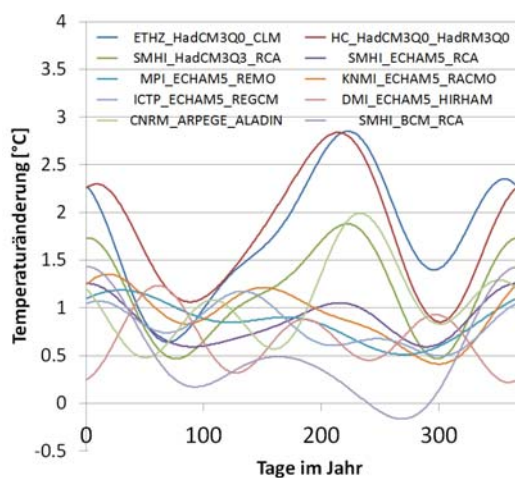


Abbildung 2, Emissionsszenario A1B; Temperaturänderungsprofile für Basel, 2035

Basierend auf dem Vergleich der Datensätze kann geschlossen werden, dass es nötig ist die standort-bezogenen Profile zu nutzen, wenn saisonal differenzierte Aussagen zum Gebäudebetrieb gemacht werden sollen, wie z.B. zur Variabilität der Überhitzungsstunden oder zur max. Heiz- und Kühllast. Wenn Aussagen zu, über ein Jahr kumulierte Variablen, wie z.B. zum Energiebedarf, gemacht werden sollen genügt es die regionalen Klimaprojektionen zu nutzen.

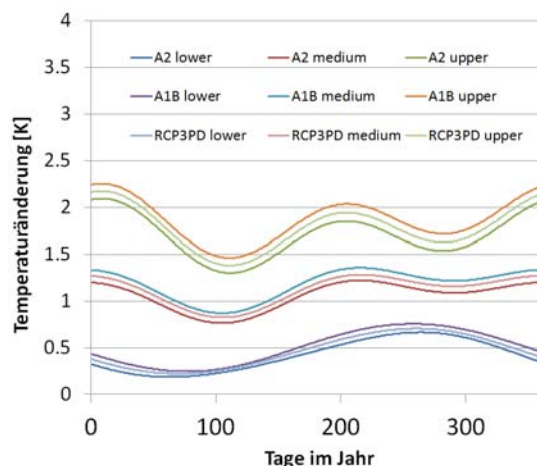


Abbildung 3, Emissionsszenarien A2, A1B und RCP3PD, Temperaturänderungsprofile für die Region Nordost, 2035

Robustheitsbewertung des Bürotyps 1 in Bezug auf die Standorte Basel und Locarno

Mit dem Ziel die Robustheit von Heiz- und Kühlenergiebedarf des Referenzgebäudes in Bezug auf die zwei Standorte Basel und Locarno zu bewerten wird in einem ersten Schritt die im obigen Abschnitt geschlussfolgerte Eignung der regionalen Szenarien quantifiziert.

Tabelle 1, Energiebedarfs für Kühlung, Vergleichende Bewertung der Eignung regionaler und standortbezogener Klimadatenätze zur Ermittlung des, Typ 1

	Kühlenergiebedarf	
	Mittelwert [kWh/m ² a]	Std. Abw. [kWh/m ² a]
Referenzperiode: 1980-2009, Basel	23.0	/
Prognose 2035: Region Nordost-CH	25.1	0.1
Prognose 2035: Standort Basel	25.1	1.3

Tabelle 1 und Tabelle 2 zeigen die für den Zeithorizont 2035 [2021-2050] ermittelten Ergebnisse. Diese zeigen erwartungsgemäss, dass der

Heizenergiebedarf ggü. der Referenzperiode [1980-2009] sinkt und der Kühlenergiebedarf steigt. Weiterhin ist ersichtlich, dass die über die drei Szenarien (Region Nordost) bzw. zehn Modellketten (Standort Basel) gemittelte Werte sehr dicht beieinanderliegen, die Standardabweichungen jedoch qualitativ der Variabilität in der Datensätze entspricht. Die Simulationsergebnisse bestätigen somit die Eignung der regionalen Datensätze zur Bewertung des Kühl- bzw. des Heizenergiebedarfs.

Tabelle 2, Energiebedarfs für Heizung, Vergleichende Bewertung der Eignung regionaler und standortbezogener Klimadatenätze, Typ 1

	Heizenergiebedarf	
	Mittelwert	Stnd. Abw.
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Referenzperiode: 1980-2009, Basel	32.3	/
Prognose 2035: Region Nordost-CH	28.8	0.1
Prognose 2035: Standort Basel	29.2	0.9

Um festzustellen wie stark sich Heiz- und Kühlenergiebedarf für das Referenzgebäude auf Basis der verfügbaren Datensätze bis 2085 ändern könnten wurden weitere Simulationen durchgeführt.

Tabelle 3, Entwicklung des Energiebedarfs für Heizung und Kühlung in Bezug auf die Zeithorizonte 2035, 2060 und 2080, Referenztyp

	Heizenergiebedarf	
	Mittelwert	Stnd. Abw.
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Referenzperiode: 1980-2009, Basel	32.3	
Projektion 2035: Region Nordost-CH	28.8	0.1
Projektion 2060: Region Nordost-CH	26.6	1.2
Projektion 2085: Region Nordost-CH	24.6	2.6

Die in Tabelle 3 und Tabelle 4 dargestellten Simulationsergebnisse legen nahe das sich für den als Referenz genutzten Gebäudetyp bei gleicher Nutzung der Heizenergiebedarf im Mittel um 24% sinkt und der Kühlenergiebedarf um bis zu 29% steigt.

Tabelle 4, Entwicklung des Energiebedarfs für Kühlung in Bezug auf die Zeithorizonte 2035, 2060 und 2080, Referenztyp

	Kühlenergiebedarf	
	Mittelwert	Stnd. Abw.
	[kWh/m ² a]	[kWh/m ² a]
Referenzperiode: 1980-2009, Basel	23.0	
Projektion 2035: Region Nordost-CH	25.1	0.1
Projektion 2060: Region Nordost-CH	27.1	1
Projektion 2085: Region Nordost-CH	29.5	2.7

Bedingt durch das lokale Klima wird sich ein Gebäudetyp je nach Standort unterschiedlich verhalten. Um das Potential der verfügbaren Daten und deren Nutzung für die Planungspraxis zu demonstrieren wurde für den Referenztyp der Einfluss der Klimavariabilität für Basel und Locarno berechnet und verglichen, siehe Abbildung 4 und Abbildung 5.

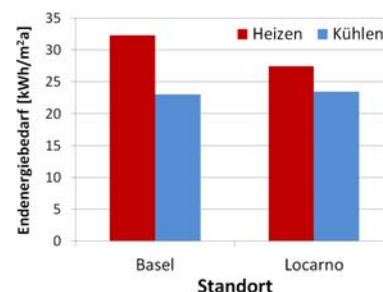


Abbildung 4, Nutzenergiebedarf (Heizen & Kühlen) des Referenztyps für Basel und Locarno, Periode 1980-2009

Die Abbildungen 4 und 5 zeigen exemplarisch für Basel und Locarno, dass sich der Heiz- und Kühlenergiebedarf unterschiedlich stark ändern. Während die Änderung des Heizenergiebedarfs in Bezug auf die thermische Behaglichkeit unbedenklich ist, ist die mittlere Zunahme des Kühlenergiebedarfs um 9% für Basel und 14% für Locarno kritisch zu beurteilen.

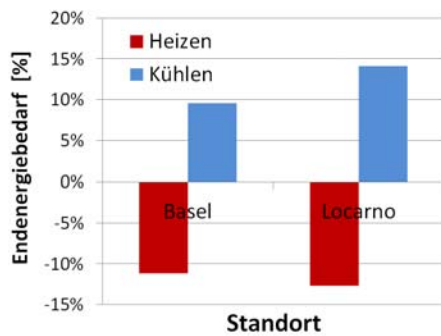


Abbildung 5. Änderung des Nutzenergiebedarfs (Heizen & Kühlen) in Bezug auf 2035

Die exemplarische Anwendung der erarbeiteten Klimadatensätze demonstriert deren möglichen Einsatz in der Planungspraxis. Die Datensätze erlauben die vergleichende Beurteilung der Entwicklung der Gebäudeenergiebilanz in Abhängigkeit von Gebäudetyp und Standort.

ZUSAMMENFASSUNG

Das Bedürfnis der Schweizer Planungsbeteiligten und Gebäudebetreiber den geplanten Energiebedarf über die Lebensdauer der gebäudetechnischen Anlagen zu gewährleisten und die nötige Adaptivität der Gebäude und deren Technik über deren Nutzungsphase zu sichern, macht eine Robustheitsbewertung der Planungskonzepte notwendig. Variablen mit grossem Einfluss auf eine robuste Energiebilanz sind sowohl das Klima als auch die Nutzung. Dieser Beitrag bewertet die verfügbaren Datensätze zur Bewertung der Energiebilanz über ein Jahr und kommt zu dem Schluss, dass die regionalen Datensätze für die Nordost-, West-, und Südschweiz im Vergleich zu den standortbezogenen Datensätzen vergleichbare Ergebnisse liefern. Jedoch sollten diese bei nicht kumulierbaren Zielgrössen, wie z.B. Überhitzungsstunden und Lastspitzen nur mit Vorsicht genutzt werden, da diese die in den regionalen Szenarien anwesenden saisonalen Schwankungen nicht darstellen. Die erarbeiteten Gebäudetypen präsentieren eine gute Ausgangsbasis für die Robustheitsbewertung für Bürobauten. Die standortbezogene Änderung des Heiz- und Kühlenergiebedarfs für den Referenztyp macht deutlich, dass die Robustheitsbewertung eines Gebäudetypes nach Standort differenziert werden sollte, um als Planungsinformation nutzbar zu sein.

LITERATUR

- Bernhard, M., D. Fries, et al. (2013).
Immobilienmarkt 2013 - Strukturen und
Perspektiven. Swiss Issues Immobilien
Credit Suisse. 2013: 123.

CH2011 (2011). Swiss Climate Change Scenarios
CH2011. Zürich, Switzerland, C2SM,
MeteoSwiss, ETH, NCCR Climate, and
OcCC, Zurich, Switzerland: 88.

Markus Gwerder, D. G., Carina Sagerschnig, Roy S.
Smith, David Sturzenegger (2013). "Final
Report: Use of Weather And Occupancy
Forecasts For Optimal Building Climate
Control – Part II: Demonstration
(OptiControl-II)."

Schmid, P., F. Guerra, et al. (2013). Fassaden in
Metall / Glas - Ergebnisse der Marktanalyse
2013. Zürich.