

MAßNAHMEN ZUR REDUKTION DES KÜHLENERGIEBEDARFS IM ÖSTERREICHISCHEN GEBÄUDEBESTAND

Lukas MAYRHOFER¹(*), Andreas MÜLLER¹, Lukas KRANZL²

Abstract

Eine Steigerung des Nutzenergiebedarfs für Kühlung über die nächsten Jahrzehnte ist aufgrund des Klimawandels und damit einhergehend steigender Nutzung aktiver Kühltechnologien zu erwarten. Eine Abhilfe könnten hier passive Maßnahmen schaffen. In diesem Beitrag wird der Einfluss des Klimawandels und der Maßnahmen Gebäudeverschattung, Nachtkühlung und Erhöhung der Innenraumtemperatur auf den Kühlenergiebedarf im österreichischen Gebäudebestand mithilfe des Modells Invert untersucht, wobei auch das Einsparungspotenzial der Einzelmaßnahmen analysiert wurde. Hierbei wurde ein steigender Kühlenergiebedarf um bis zu 10 TWh auf über 31 TWh im Jahr 2050 gefunden, wobei etwa 30% des Gesamtenergiebedarfs auf den Klimawandel rückführbar sind. Eine konsequente Maßnahmensetzung könnte diesen Energiebedarf um 68% bis 73% reduzieren und für eine Stagnation des Kühlenergiebedarfs sorgen, wobei sich eine Gebäudeverschattung als besonders zielführend erweist. Diese könnte zu einer Reduktion des Kühlenergiebedarfs um ca. 13 TWh im Jahr 2050 führen, verglichen mit 2,5 TWh durch eine Nachtkühlung und etwa 5,2 TWh durch eine höhere Innenraumtemperatur.

Keywords: Kühlenergiebedarf, Invert, Passivkühlung

Einleitung

Raumkühlung ist die am schnellsten wachsende Form der Energienutzung in Gebäuden in Schwellen- und Industrieländern. Zwischen 1990 und 2016 hat sich der Kühlenergieverbrauch mehr als verdreifacht und macht weltweit bereits über 2020 TWh (6%) des Endenergiebedarfs in Gebäuden aus und verschiedene Abschätzungen und Szenarien weisen auf einen weiterhin deutlich steigenden Kühlenergiebedarf und damit einhergehende Sommer-Spitzenlasten in den kommenden Jahren und Jahrzehnten weltweit und insbesondere in Österreich hin. [1], [2] Besonders ist der Einfluss des Klimawandels zu berücksichtigen und wurde bereits in früheren Arbeiten analysiert. [3], [4] Gleichzeitig bestehen Möglichkeiten zur Reduzierung des Kühlenergiebedarfs durch passive Maßnahmen am Gebäude, durch Maßnahmen auf Seiten der Stadtplanung (Vermeidung von städtischen Hitzeinseln) oder auch durch effizientere aktive

¹ e-think, Argentinierstrasse 18/10, 1040 Wien, mayrhofer@e-think.ac.at, e-think.ac.at

² Technische Universität Wien, Institut für Energiesystems und elektrische Antriebe, Gußhausstraße 25-29/370-3, +43 1 58801 370351, kranzl@eeg.tuwien.ac.at, eeg.tuwien.ac.at

Kühltechnologien, die einen wertvollen Beitrag leisten könnten den zuvor erwähnten Anstieg im Kühlenergiebedarf möglichst gering zu halten.

Dieser Beitrag beschäftigt sich mit der Frage, welchen Beitrag passive Maßnahmen zur Reduktion des Kühlenergiebedarfs im österreichischen Gebäudebestand unter Berücksichtigung des Klimawandels bis 2050 leisten können.

Methodik

Zur Bearbeitung dieser Fragestellung bauen wir auf dem Gebäudebestandsmodell Invert auf. Das Modell verfolgt einen dynamischen bottom-up Ansatz und berücksichtigt Parameter wie unter anderem ökonomische Anreize, regulatorische Instrumente oder technologischen Fortschritt um zukünftigen Energiebedarf und Energieverbrauch für Raumheizung, Kühlung, Warmwasser und Beleuchtung für verschiedene Szenarien und Länder zu simulieren. [5], [6] Ohne auf das Entscheidungskalkül von Gebäudeeigentümern einzugehen, simulieren wir die Entwicklung des Gebäudebestands unter exogenen Annahmen, die hinsichtlich des Energiebedarfs im Wesentlichen mit dem Ziel einer Dekarbonisierung konsistent sind, wie z.B. einer thermischen Sanierungsrate von 2,5%. Sonstige Annahmen zur Entwicklung des Gebäudebestands basieren auf [7].

Aufbauend auf diesem Basis-Szenario zur Entwicklung des Gebäudebestands und seiner energetischen Eigenschaften simulieren wir verschiedene Szenarien zum Kühlenergiebedarf für die Jahre 2030, 2040 und 2050. Dabei variieren wir die Klimadaten, die wir aus zwei verschiedenen RCP-Klimawandel-Szenarien ableiten³. Dafür werden in jedem dieser Szenarien in der Variante „Hot“ diejenigen Jahre aus einer 10-Jahres-Periode des Klimamodells ausgewählt, die im Sommer die heißeste Woche aufweisen. In der Variante „Median“ wird das Jahr ausgewählt, das dem Median der Kühlgradtage aller Jahre in der jeweiligen 10-Jahres-Periode entspricht.

Simulation von Maßnahmenbündeln

In einer ersten Analyse (Schritt 1) wird der Effekt von passiven Maßnahmen zur Reduktion des Kühlenergiebedarfs in unterschiedlichen Ausprägungen für verschiedene Gebäudekategorien untersucht (Hoch, Mittel, Niedrig). Dabei werden die Parameter Verschattung (Verschattung von Gebäuden), Nachtkühlung (Kühlung des Gebäudes durch Luftzirkulation während der Nacht), Temperatur (Maßnahmen, die eine höhere Innenraumtemperatur ermöglichen, z.B. durch sinnvolle Steuerung, Bekleidungs Vorschriften bzw. –gewohnheiten, erhöhte Luftgeschwindigkeit, etc.) und Klimawandel (Auswirkung der RCP-Klimawandelszenarien auf den Kühlenergiebedarf) variiert und simuliert. Im Hoch-Szenario werden keine bzw. nur geringfügige Verschattungs-, Nachtkühlungs-, oder Temperaturmaßnahmen gesetzt, während sie für das Mittel-Szenario und das Niedrig-Szenario kontinuierlich erhöht werden (siehe Tabelle 1). Diese drei Varianten werden für jedes RCP-Klimaszenario simuliert.

³ RCP45 Szenario: rsdsAdjust_EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_rcp45_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005_3hr
und
RCP85 Szenario: rsdsAdjust_EUR-11_ICHEC-EC-EARTH_rcp85_r1i1p1_KNMI-RACMO22E_v1-IPSL-CDFT22-WFDEI-1979-2005_3hr

	Hoch / Baseline	Mittel	Niedrig / Schritt 2
Verschattung^(a)	40%	50%	80%
Nachtkühlung Wohngebäude	0,5	1,5	2,5
Nachtkühlung Nichtwohngebäude	1,2	1,5	2
Temperatur	24°C	25°C	26°C
Klima	RCP / Konstantes Klima	RCP	RCP / RCP8.5 - Hot

a) Die Verschattung wird nur bei sanierten Gebäuden implementiert

Tabelle 1: Simulationsparameter für Baselineszenario und Alternativszenarien

Simulation von Einzelmaßnahmen

Weiters werden in einer zweiten Analyse die Einzeleffekte aller Maßnahmen auf den Kühlenergiebedarf untersucht (Schritt 2). Insbesondere soll hier das maximale Einsparungspotential der drei Maßnahmen Temperatur, Nachtkühlung und Verschattung evaluiert werden. Es wird daher eine konsequente Verschattung, sowie Nachtkühlung und eine hohe Innenraumtemperatur im gesamten Gebäudebestandes entsprechend der Niedrigvariante in Schritt 1 angenommen (siehe Tabelle 1).

Aufgrund von Interaktionen zwischen den vier Szenarien (Vollverschattung, Nachtkühlung, Temperatur, Klimawandel) werden diese in verschiedenen Permutationen durchgeführt und für jedes Szenario die mittlere Differenz berechnet, um die Haupteffekte zu isolieren. Für die Szenarien Verschattung, Nachtkühlung und Temperatur ergeben sich unter Annahme des RCP8.5 – Hot Szenarios jeweils drei verschiedene Varianten (Baseline vs. Baseline mit Alternativszenario, Baseline und RCP8.5 - Hot vs. Baseline und RCP8.5 - Hot mit Alternativszenario, alle Maßnahmen gesetzt vs. alle Maßnahmen außer jeweiliges Alternativszenario gesetzt). Für das Klimawandelszenario ergeben sich unter Annahme des RCP8.5 – Hot Szenarios zwei Varianten (Baseline vs. Baseline mit RCP8.5 – Hot, alle Maßnahmen außer RCP8.5 – Hot gesetzt vs. alle Maßnahmen gesetzt). Für den Effekt des Klimawandels wird der Effekt des RCP8.5 – Hot Klimawandelszenarios ohne Maßnahmen herangezogen.

Da wir ausschließlich auf den Nutzenergiebedarf fokussieren, nehmen wir als Basis-Variante an, dass 100% des Kühlenergiebedarfs gedeckt wird und stellen mögliche Entwicklungen der Diffusion aktiver Klimatisierung als Parametervariation dar.

Ergebnisse

Effekte von Maßnahmenbündeln

Die Szenarien zeigen, dass aufgrund des Klimawandels und des veränderten Gebäudebestands der Kühlenergiebedarf in der Hoch-Variante deutlich steigt. In der RCP8.5

Hot Hoch-Variante, die in Abbildung 1 dargestellt ist, beträgt dieser über 31 TWh im Jahr 2050, wovon 56% allein auf Ein- und Mehrfamilienhaushalte entfallen, die jedoch 64% des Gebäudebestandes 2050 ausmachen. Weitere 10% des Energiebedarfs entfallen auf Krankenhäuser die unter 7% des Gebäudebestandes ausmachen, 12% auf Werkstätten die etwa 10% des Gebäudebestandes ausmachen, über 7% auf Bürogebäude die etwa 6% des Gebäudebestandes ausmachen, je über 5% auf Handelsgebäude und Schulen die etwa 4% bzw. 6% des Gebäudebestandes ausmachen und 3% des Kühlenergiebedarfs entfallen auf Hotel- und Gastronomiebetriebe die etwa 4% des Gebäudebestandes ausmachen. Der Rest entfällt auf Sport- und Freizeitinfrastruktur, die einen minimalen Bedarf an Kühlenergie aufweist. Insgesamt kann der Bedarf jedoch um knapp zwei Drittel auf 10 TWh durch passive Maßnahmen gesenkt werden.

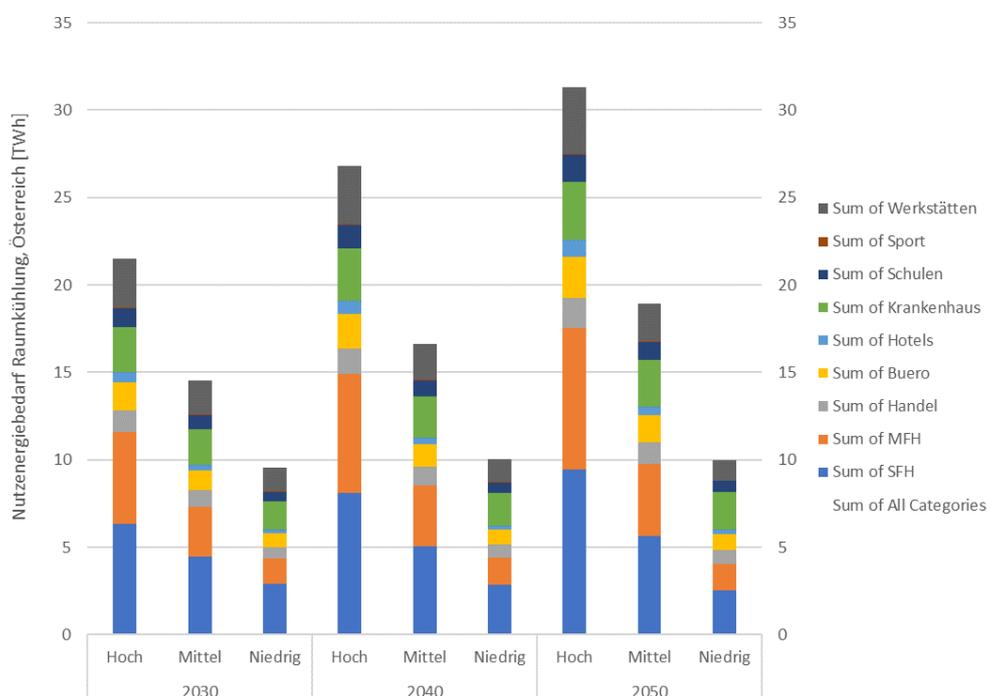


Abbildung 1: Nutzenergiebedarf für Raumkühlung im Szenario starker Klimawandel in jeweils ausgewählten heißen Jahren (Variante RCP8.5 - Hot), Österreich

Die RCP8.5 Median Hoch-Variante zeigt als einzige einen Abfall des Kühlenergiebedarfs zwischen 2040 und 2050 (Abbildung 2). Dennoch ist der Kühlenergiebedarf mit 22 TWh um etwa 4 TWh höher als 2030, wobei die Einführung passiver Maßnahmen diesen um etwa 68% auf 7 TWh reduzieren könnte. Ähnlich zeigt sich im RCP4.5 Hot Szenario eine Einsparung um 69% von 29 TWh auf 9 TWh und im RCP4.5 Median Szenario sogar eine Einsparung um 73% von 26 TWh auf 7 TWh. Ein wesentlicher Einfluss des Klimawandels auf den Effekt der Maßnahmen selbst scheint demnach nicht vorzuliegen.

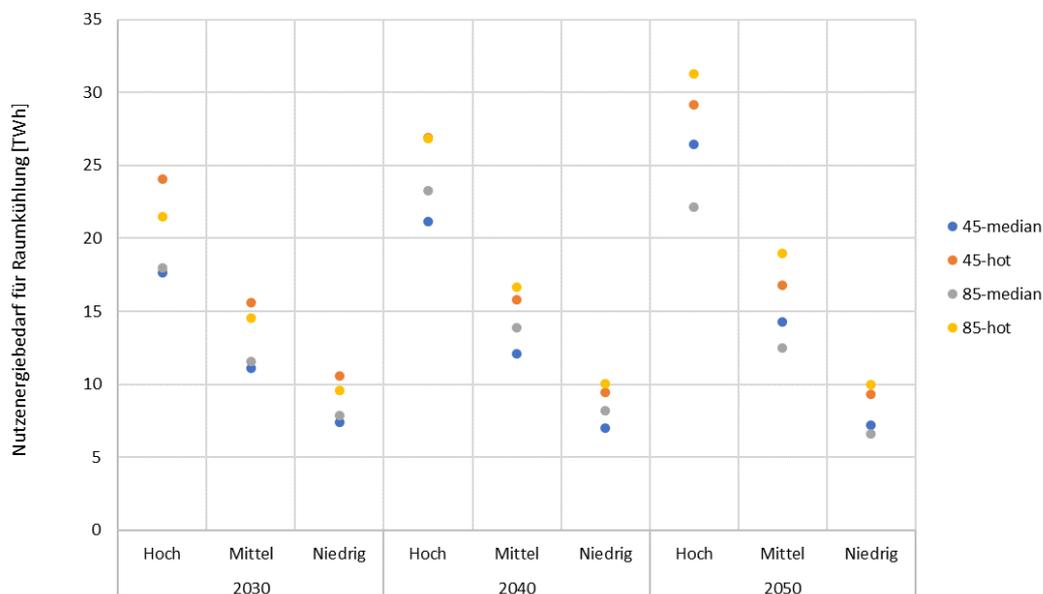


Abbildung 2: Nutzenergiebedarf für Raumkühlung in jeweils ausgewählten heißen Jahren, Gegenüberstellung aller RCP-Klimawandelszenarien, Österreich

Haupteffekte einzelner Maßnahmen

Die Analyse der Einzelmaßnahmen zeigt wie zuvor einen Anstieg des Kühlenergiebedarfs im Baseline auf über 31 TWh im Jahr 2050, wovon rund 30% (ca. 10 TWh) auf den Klimawandel zurückzuführen sind (Abbildung 3). Eine striktere Verschattung und höhere Nachtkühlung führen hier allerdings zu einer Reduktion des Nutzenergiebedarfs um über 65% auf knapp über 10 TWh bei Implementierung aller Maßnahmen. Das langfristig größte Einsparungspotential liegt in einer konsequenten Verschattung des Gebäudebestandes mit über 13 TWh im Jahr 2050 gegen knapp über 2,5 TWh durch eine Nachtkühlung und knapp über 5 TWh durch eine erhöhte Innenraumtemperatur. Auffällig ist, dass die Effekte einer Verschattung von 2030 bis 2050 um über 170% ansteigen, während die Effekte einer Nachtkühlung und höheren Innenraumtemperatur etwa gleichbleiben. Dies ist durch eine Renovationsrate für die Verschattungsmaßnahme zu erklären. Der Anteil verschatteter Gebäude steigt also über Zeit an, während die anderen beiden Maßnahmen mit sofortiger Wirkung für den gesamten Gebäudebestand einsetzen. Dies führt zu einem relativ konstanten Kühlenergiebedarf zwischen 2030 und 2050.

Schlussfolgerungen

Einige Treiber wie eine steigende Verbreitung von aktiven Kühl-Technologien oder der Klimawandel wirken in Richtung eines steigenden Kühlenergiebedarfs. Allerdings lassen sich gebäudeseitige, passive Maßnahmen umsetzen, die diesen Treibern entgegenwirken. Insbesondere eine Verschattung erweist sich als langfristig besonders sinnvoll zur Reduktion des Kühlenergiebedarfs, wobei eine umfangreiche Verschattung des Gebäudebestandes mit kaum direkter Sonneneinstrahlung wie in unserem Szenario wenig realistisch ist.

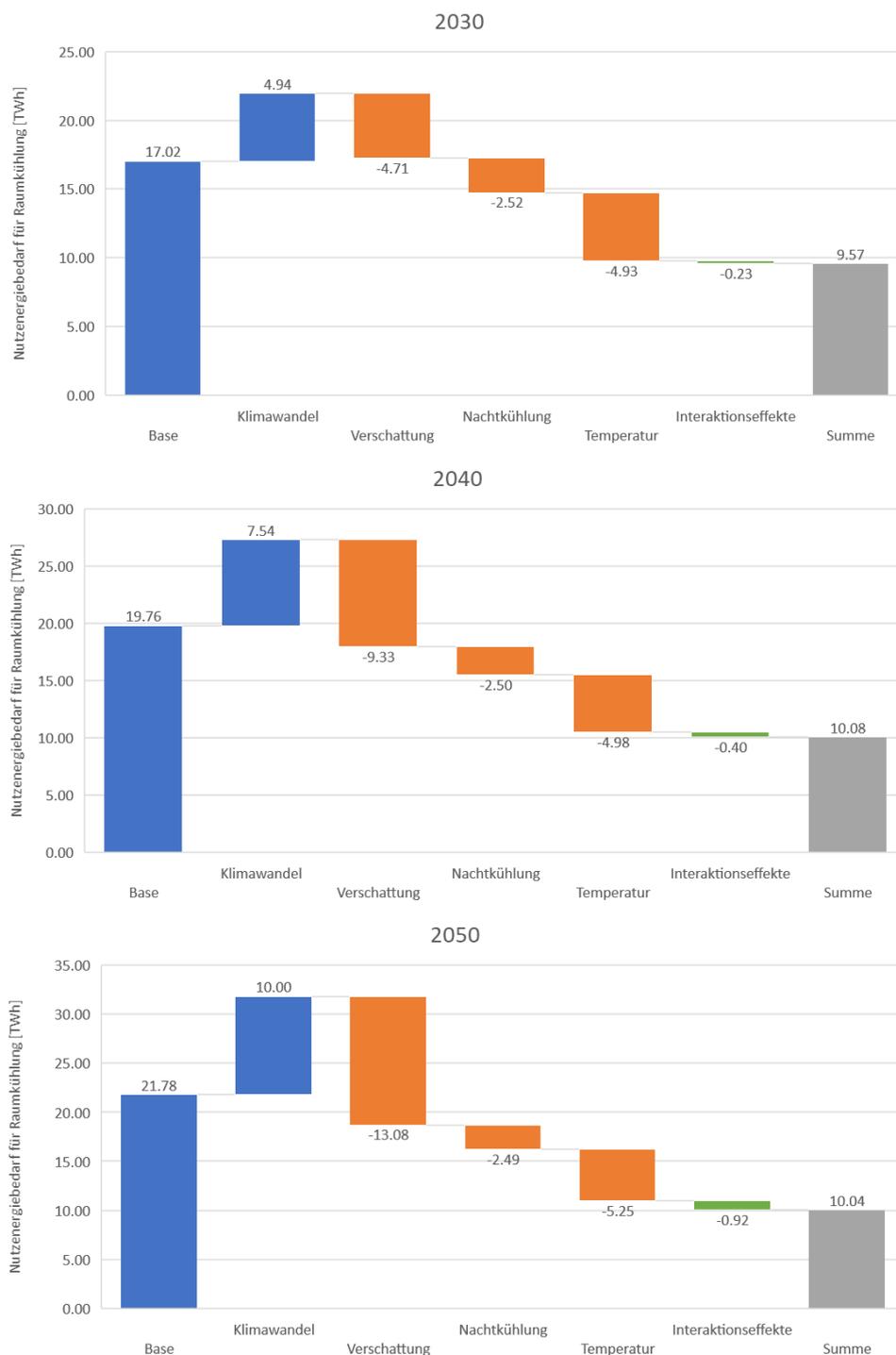


Abbildung 3: Einfluss von Klimawandel, passiven Maßnahmen und Interaktion dieser auf den Nutzenergiebedarf für Raumkühlung im Szenario RCP8.5 - Hot, Österreich

Nichtsdestotrotz können mit konsequent umgesetzten Maßnahmen zur Verschattung sowie zur Nachtkühlung und Erhöhung der Innenraumtemperatur eine Reduktion des Kühlenergiebedarfs um über 65% bis 73% im Vergleich zu einem Referenz-Szenario ohne derartige Maßnahmen im Jahr 2050 erzielt werden, sowie eine relative Stagnation des Kühlenergiebedarfs zwischen 2030 und 2050.

Eine weitere Reduktion des Endenergiebedarf-Anstiegs für die Raumkühlung lässt sich durch den Einsatz effizienter aktiver Kühltechnologien erwarten. Diese stehen allerdings nicht im Fokus dieses Beitrags und sollten in künftigen Arbeiten neben dem Einsatz passiver Maßnahmen weiter untersucht werden.

Darüber hinaus können weitere passive Maßnahmen getroffen werden, die in diesem Beitrag nicht näher betrachtet wurden. Beispielsweise kann der Nutzen anderer Oberflächen oder Baumaterialien den Einfluss der Sonneneinstrahlung auf die Innenraumtemperatur reduzieren, sowie eine Dachbegrünung bzw. eine gezielte Begrünung von Städten [8].

Referenzen

- [1] IEA, 'The Future of Cooling. Opportunities for energy efficient air conditioning', International Energy Agency, 2018.
- [2] M. Hartner *et al.*, 'Summary report on case study: Energy demand and supply in buildings and the role for RES market integration', Mar. 2018 [Online]. Available: www.set-nav.eu
- [3] L. Kranzl *et al.*, 'Power through resilience of energy system. Final report of the project PRESENCE.', Vienna, Feb. 2014 [Online]. Available: www.eeg.tuwien.ac.at/presence
- [4] G. Totschnig *et al.*, 'Climate change impact and resilience in the electricity sector: The example of Austria and Germany', *Energy Policy*, vol. 103, pp. 238–248, Apr. 2017, doi: 10.1016/j.enpol.2017.01.019.
- [5] A. Müller, 'Energy Demand Assessment for Space Conditioning and Domestic Hot Water: A Case Study for the Austrian Building Stock', PhD-Thesis, Technische Universität Wien, Wien, 2015.
- [6] L. Kranzl, E. Aichinger, R. Büchele, S. Forthuber, M. Hartner, A. Müller, and A. Toleikyte, 'Are scenarios of energy demand in the building stock in line with Paris targets?', *EnergyEfficiency*, vol. 12, no. 1, pp. 225–243, 2018.
- [7] A. Müller, S. Fritz, and L. Kranzl, 'Energieszenarien bis 2050: Wärmebedarf der Kleinverbraucher. Ein Projekt im Rahmen der energiewirtschaftliche Szenarien für den klima- und energiepolitischen Rahmen 2030 und 2050 und den Monitoring Mechanism 2017. Endbericht', TU Wien, e-think, Wien, Ausarbeitung im Auftrag der Umweltbundesamt GmbH, Wien, Jul. 2017.
- [8] M. Santamouris, 'Cooling the cities – a review of reflective and green roof mitigation technologies to fight Heat Island and improve comfort in urban environments', *Solar Energy*, vol. 103, pp. 682–703, 2014.