



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für
Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Energieforschung und Cleantech

Jahresbericht vom 01.12.2020

VenTSol

Erfassung des Benutzerverhaltens bezüglich
Lüftung, Raumtemperatur und Verschattung in
Abhängigkeit des Aussenklimas

Vorläufige Resultate!



INSTITUT FÜR
SOLARTECHNIK

econcept
Forschung / Beratung / Evaluation

Datum: 01.12.2020

Ort: Rapperswil

Subventionsgeberin:

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Energieforschung und Cleantech
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger/innen:

SPF Institut für Solartechnik
HSR Hochschule für Technik Rapperswil
Oberseestrasse 10, CH-8640 Rapperswil SG
www.spf.ch

econcept AG
Gerechtigkeitsgasse 20, CH-8002 Zürich
www.econcept.ch

Autoren/innen:

Igor Mojic, SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik Rapperswil, igor.mojic@spf.ch
Michel Haller, SPF Institut für Solartechnik, Hochschule für Technik Rapperswil
Corinne Moser, econcept AG, corinne.moser@econcept.ch

BFE-Projektbegleitung:

Andreas Eckmanns, andreas.eckmanns@bfe.admin.ch
Rolf Moser, moser@enerconom.ch

BFE-Vertragsnummer: SI/501880-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren/innen dieses Berichts verantwortlich.



Zusammenfassung

Das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer hat einen wesentlichen Einfluss auf die Abweichung zwischen dem gemessenen Energieverbrauch eines Gebäudes und dem in der Planung ausgewiesenen. Dieser Einfluss der Nutzerinnen und Nutzer auf den sogenannten "Performance Gap" konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden. Im Projekt VentSol soll überprüft werden, ob und wie stark das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer bezüglich Fensteröffnung und Fensterverschattung von den klimatischen Bedingungen abhängig ist. Im Projekt werden fünf Mehrfamilienhäuser genauer untersucht, dabei werden möglichst alle Fassadenseiten mit Thermografie- und Fotografie erfasst um Öffnung und Verschattung der Fenster zu ermitteln. Zusätzlich werden in möglichst vielen Wohnungen Komfortsensoren installiert und eine Befragung der Bewohnerinnen und Bewohner durchgeführt. Die Daten aller Mehrfamilienhäuser wurden erhoben und die Auswertung hat begonnen. Erste Resultate zeigen jedoch noch keine Abhängigkeit des Verhaltens der Nutzerinnen und Nutzer von der Aussentemperatur wie dies anhand der Hypothese vermutet wurde. Gegenüber dem Jahresbericht 2019 konnten mehr Fenster ausgewertet dank der Implementierung einer neuen Methode zur Bildauswertung. Leider waren die Witterungsbedingungen während den Messungen nicht ideal, da in beiden Winterperioden (18/19 und 19/20) kaum kalte Tage vorhanden waren. Zusätzlich hat auch die COVID-19 Pandemie die Ergebnisse mitbeeinflusst, da während dem Frühling 2020 viele Personen vermehrt zuhause waren.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Inhaltsverzeichnis	4
1 Einleitung	5
1.1 Ausgangslage und Hintergrund.....	5
1.2 Motivation des Projektes	7
1.3 Projektziele	7
2 Vorgehen und Methode	8
3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	9
3.1 Ausgewählte Resultate aus den Messungen	11
3.2 Ausgewählte Resultate aus der Befragung	13
3.2.1 Einschätzung der Raumtemperatur.....	13
3.2.2 Lüftungsverhalten	14
3.2.3 Verschattungsverhalten.....	15
4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse	17
5 Weiteres Vorgehen	17
6 Nationale und internationale Zusammenarbeit	18
7 Publikationen	18
8 Literaturverzeichnis	18



1 Einleitung

1.1 Ausgangslage und Hintergrund

Das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer hat einen wesentlichen Einfluss auf die Abweichung zwischen dem gemessenen Energieverbrauch eines Gebäudes und dem in der Planung ausgewiesenen. Dieser Einfluss der Nutzerinnen und Nutzer auf den sogenannten "Performance Gap" konnte in verschiedenen Studien gezeigt werden. Im BFE Projekt ImmoGap [1] konnten teilweise technische Gründe für die Abweichung zwischen Planung und Betrieb für 65 Mehrfamilienhäuser ermittelt werden. Jedoch lässt sich auch nach Wetter- und Raumtemperaturkorrekturen damit nur ein Teil der Abweichungen erklären. Auf Grund der Resultate wird davon ausgegangen, dass das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer bezüglich Fensterlüften, Verschattung und gewünschter Raumtemperatur einen grösseren Einfluss auf die Abweichungen hat als Aspekte der Gebäudetechnikanlagen. Diverse internationale Studien kommen zu ähnlichen Schlussfolgerungen [2,3]. In Abbildung 1 und Abbildung 2 werden für zwei repräsentative Gebäude (grün/rot) reale Messdaten mit den Berechnungen nach SIA 380/1:2009 verglichen. Dabei wird in Abbildung 1 der Monatsanteil am Heizwärmeverbrauch in Abhängigkeit vom Monatsmittel der Aussentemperatur dargestellt. Es fällt auf, dass im Winter, bei tiefen Aussentemperaturen, im Verhältnis zum Gesamtbedarf in Realität weniger Heizwärme benötigt wird als mit der Norm berechnet. Dafür ist in der Übergangszeit der Anteil viel grösser. Betrachtet man die absoluten Werte wie in Abbildung 2 dargestellt, dann wird deutlich, dass ein Mehrverbrauch gegenüber der Berechnung (Performance Gap) vor allem auf die Übergangszeit zurück zu führen ist. Man kann auch im Winter eine Differenz erkennen zwischen Normrechnung und realem Betrieb. Diese Abweichung, die möglicherweise ein Resultat generell höherer Raumtemperatureinstellungen ist, fällt jedoch viel geringer aus als in der Übergangszeit. Eine Erklärung für die festgestellten Unterschiede zwischen Winter und Übergangszeit könnte sein, dass im Vergleich zum Winter in der Übergangszeit die Fenster häufiger geöffnet und die Fensterstoren öfter gesenkt sind, als dies in den Normen angenommen wird. Diese Hypothese konnte im Projekt ImmoGap mit dynamischen Simulationen von unterschiedlichem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer gestützt werden. Die Hypothesen konnte jedoch nicht mittels realen Messungen validiert werden, da keine Daten bezüglich der Fensteröffnung und Verschattung zur Verfügung standen.

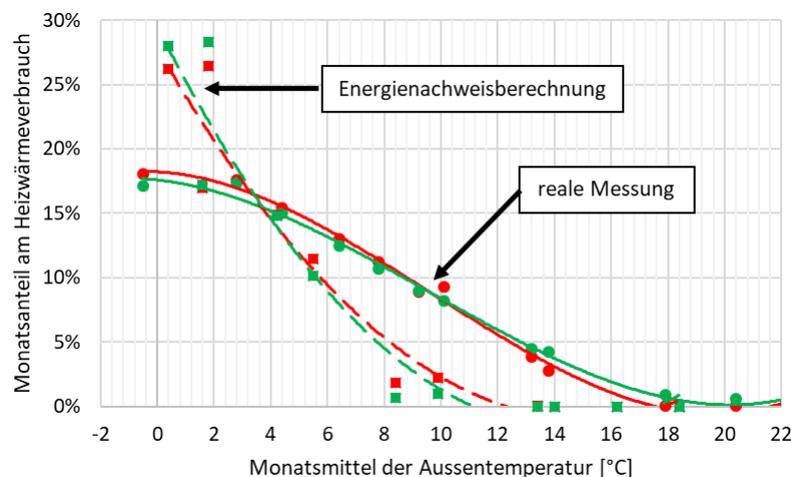


Abbildung 1: Vergleich des monatlichen Anteils am Heizwärmeverbrauch von Berechnung mit Standardwerten (Energienachweis) und realen Messwerten von zwei im Detail untersuchten Gebäuden [1].

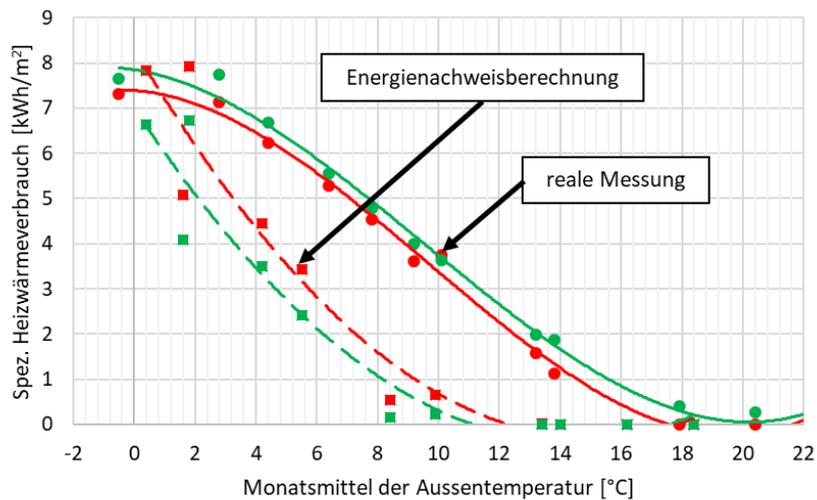


Abbildung 2: Vergleich der Energiekennlinie (absolute Werte) von Berechnung mit Standardwerten (Energienachweis) und realen Messwerten von zwei im Detail untersuchten Gebäuden [1].

Das Fehlen von Daten zum realen Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer betrifft auch wesentlich die Gebäudesimulationen. In der Praxis sind häufig Vorbehalte gegenüber den Gebäudesimulationen anzutreffen, gerade weil die Ergebnisse nicht immer mit der Realität übereinstimmen. Dabei ist die Abweichung zwischen Simulation und realer Messung heute vorwiegend auf die fehlenden Daten zum Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer zurückzuführen. Die rein physikalischen Zusammenhänge ohne Einfluss der Nutzerinnen und Nutzer wie zum Beispiel Wärmeverluste über die Wände und Fenster oder solare Gewinne werden durch moderne Simulationsprogramme relativ gut abgebildet. Die hohe Anzahl an eher neuen Studien zum Thema Modellierung des Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer in Simulationen bestätigt die Relevanz, dieses Verhalten besser zu verstehen. Denn je besser die Gebäudehülle wird, desto grösser wird der Einfluss des Verhalten auf den Energiebedarf eines Gebäudes [1]. Wenn dieses realistisch abgebildet werden kann, wird ein grosser Teil der Differenz zwischen Berechnung (Simulation) und Messung eliminiert.

Im Rahmen des vorliegenden "VenTSol" Projektes und bereits in den Vorbereitungen dazu wurden gesamthaft 26 Beiträge (Journal Paper, Konferenzbeiträge etc.) zum Thema analysiert. Berücksichtigt man die Review Papers zum Thema [2,3] welche bis zu 500 Studien ausgewertet haben, kann man davon ausgehen, dass mit dieser Literaturanalyse eine grosse Anzahl relevanter Ergebnisse erfasst wurde. Nachfolgend einige Kernaussagen aus dieser Literaturanalyse:

- Die meisten der ausgewerteten Studien befassen sich mit dem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer im Bürogebäude, nur wenige Studien betrachten Mehrfamilienhäuser.
- Fast alle Studien befassen sich mit dem Fensteröffnen, nur wenige mit dem Sonnenschutz.
- Keine Studie hat den kombinierten Einfluss von Sonnenschutz und Fensteröffnung auf den Heizwärmebedarf für Wohnhäuser untersucht.
- Es kann ein deutlicher Zusammenhang zwischen Aussentemperatur und Lüftungsverhalten festgestellt werden. Mit zunehmender Aussentemperatur steigt die Wahrscheinlichkeit von offenen Fenstern.
- In mechanisch gelüfteten Gebäuden werden die Fenster seltener geöffnet.



- Es wurden unterschiedliche (stochastische) Modelle erarbeitet, um ein realistisches Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer in Gebäudesimulationen abzubilden. Diese sind jedoch komplex und können nicht für eine direkte Verbesserung der Normberechnung verwendet werden.

1.2 Motivation des Projektes

Um die Differenz zwischen Planung und Messung (Performance Gap) zu reduzieren, müssen sowohl die Norm-Berechnungen als auch die Gebäudesimulationen mit einem realistischem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer durchgeführt werden. Eine Reduktion des User-Gaps, respektive Norm-Gaps [1], hilft in Zukunft, in Kombination mit vermehrtem Monitoring, Fehler bei der Gebäudetechnik zu erkennen. Heute wird eine Abweichung zwischen Planung und Messung häufig durch das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer erklärt, da dieses die Messwerte in einem gut gedämmten Gebäude am stärksten beeinflussen kann. Durch bessere Normberechnungen wird die Grundlage geschaffen, ein Gebäudeassessment, und damit auch eine zielführende Betriebsoptimierung, mit geringem Aufwand durchzuführen.

Mit dieser Studie wird durch ein umfangreiches Monitoring von ausgewählten Mehrfamilienhäusern die Hypothese aus dem BFE Projekt ImmoGap [1] geprüft, dass der Performance Gap vor allem durch das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer im Frühling und Herbst verursacht wird. Dabei wird auf neuere Gebäude mit gutem bis sehr gutem Dämmstandard fokussiert. Für solche Gebäude liegen kaum Informationen zum Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer vor. Im Vergleich zu früher kann man heute eine Zunahme des Fensteranteils in den Bauten (Veränderung in der Architektur) oder eine Zunahme von Fussbodenheizungen und Lüftungen (Veränderungen in der Haustechnik) feststellen. Diese Beispiele können die Komfortsituation und damit auch den Energiebedarf in einem Gebäude stark beeinflussen.

Durch die hohe zeitliche Messauflösung von Verschattungsverhalten, Fensterlüftungsverhalten, Heizwärmeverbrauch und Raumkomfortwerten ist diese Studie im internationalen Kontext für Wohngebäude einzigartig. Kombiniert wird das Monitoring mit einer Befragung der Bewohnenden, um Hinweise auf die Hintergründe für das beobachtete Verhalten zu erheben. Damit sollen die Zusammenhänge zwischen Aussenklima, Innenklima, Reaktion der Nutzenden und Energieverbrauch besser verstanden werden, was wiederum zu besseren Energieverbrauchsprognosen führen soll.

1.3 Projektziele

Im Projekt sollen folgende Fragestellungen geklärt werden:

- Welche Aussenklima-Parameter beeinflussen das Verhalten bezüglich Verschattung und Fensterlüftung? Folgende Parameter werden untersucht: Globalstrahlung, Aussenlufttemperatur, relative Feuchte, Wind und Niederschlag.
- Inwiefern beeinflussen Innenklima-Parameter wie CO₂-Konzentration, relative Feuchte oder Temperatur das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer?
- Können aus einer begrenzten Menge an Gebäuden repräsentative Benutzerprofile erstellt werden, die zu besseren Simulationsergebnissen führen (geringe Abweichung zwischen Messung und Simulation)?

Das Ziel des Projektes ist es, durch Klärung der oben beschriebenen Fragen Grundlagen zu erarbeiten, welche zu einem realistischen Jahresverlauf des Heizwärmebedarfs nach SIA 380/1 für Wohngebäude führen.



2 Vorgehen und Methode

Das Projekt ist auf Mehrfamilienhäuser beschränkt und könnte in Folgeprojekten auf Einfamilienhäuser oder Verwaltungsbauten (Büros und Schulen) ausgeweitet werden.

Monitoring

In einer ersten Messkampagne wurde eine erste Überbauung von zwei MFH in der Stadt Zürich mit Messgeräten ausgerüstet. Die Überbauung mit Baujahr 2001 umfasst 79 Wohnungen die zwischen 2.5 und 6 Zimmer aufweisen, plus eine Wohnung mit 9 und eine mit 12 Zimmern. Von Februar bis Juni 2019 (Abschluss der Heizperiode und Übergang zum Sommer) wurden folgende Werte erfasst:

- Heizwärmeverbrauch pro Wohnung
- Temperatur, relative Feuchte und CO₂-Konzentration pro Wohnung
- Thermografie-Aufnahmen der wichtigsten Fassadenseiten um das Lüftungsverhalten zu erfassen
- Fotoaufnahmen der Fassaden um das Verschattungsverhalten zu erfassen

In der zweiten Messkampagne vom 01.10.19 bis 30.08.20 wurden zwei weitere Gebäude im Raum Zürich (Baujahr 2016) und ein Gebäude im Raum Bern (Baujahr 2018) mit demselben Monitoringkonzept erfasst. Zusätzlich zu den schon weiter oben erwähnten Messungen werden in diesen Häusern auch noch nachfolgende Werte pro Wohnung aus der bereits in den Wohnungen vorhandenen Steuerungen ausgelesen:

- Lüftungsstufe
- Zulufttemperatur
- Ablufttemperatur
- Volumenstrom Heizkreis
- Vor- und Rücklauftemperatur Heizkreis
- Innenraumtemperatur Sollwert (gemäss Einstellung der Bewohner/innen)

Für alle oben genannten Objekte werden neben den technischen Aspekten auch soziale Aspekte, Zufriedenheit und Komfortansprüche der Bewohnerinnen und Bewohner mittels Befragung erhoben. Die Antworten werden anschliessend den effektiven Messresultaten gegenübergestellt. Über die Befragung sollen Ursachen für das beobachtete Verhalten ermittelt werden. Die Resultate des Monitorings sowie der Befragungen helfen, das Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer besser zu verstehen und damit die unterschiedlichen Heizwärmeverbräuche im Zusammenhang mit eventuellen Unterschieden bei den Komfortparametern besser zu verstehen.

Bei allen Objekten wird das effektive Verhalten bezüglich Verschattung und Lüften mittels Thermografie- und Photographie-Aufnahmen erfasst. Dies liefert eine Ergänzung zum in der Befragung erfassten deklarierten Verhaltens. Das detaillierte Monitoring jeder Wohnung erlaubt den Einfluss des effektiven und nicht nur des deklarierten Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer auf den Energieverbrauch zu ermitteln.



Auswertung und Resultate

Nach der Auswertung aller Gebäude bezüglich Energieverbrauch und Verhalten werden Benutzerprofile erarbeitet, die möglichst der Realität entsprechen und soziale Ausprägungen der Bewohnerinnen und Bewohner mitberücksichtigen. Diese Profile werden mit einer Begleitgruppe aus Planenden, Behörden und Spezialisten/innen aus dem Normwesen besprochen und analysiert. Die Begleitgruppe setzt sich aus folgenden Personen zusammen:

- Christoph Gmür, AWEL Zürich
- Franz Sprecher, AHB Zürich
- Martin Ménard, Lemon Consult AG
- Michel Haller, SPF
- Robert Minovsky, Minergie
- Rolf Moser, BFE
- Sven Moosberger, EUQA Schweiz

3 Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse

In der ersten Messkampagne in der Stadt Zürich (zwei Gebäude) konnten in 49 von 82 Wohnungen Komfortsensoren (CO₂, Luftfeuchtigkeit, Temperatur) installiert werden. In der zweiten Messkampagne konnten 29 von 52 Wohnungen mit Sensoren ausgerüstet werden. In beiden Fällen wurden die Sensoren vorwiegend im Wohnzimmerbereich installiert. Leider konnten nicht alle Bewohnerinnen und Bewohner motiviert werden an der Studie teilzunehmen. Beschwerden bezüglich den Aufnahmen der Fassade, welche im Vorfeld als kritisch eingestuft wurden, sind keine eingegangen. In Tabelle 1 sind die Anzahl an Wohnungen und Fenster die ausgewertet werden konnten zusammengefasst und der gesamten Anzahl gegenübergestellt. Weiter ist erfasst, wie viele Bewohnerinnen und Bewohner sowie Wohnungen durch die Befragung abgedeckt werden konnten. Die Befragung ist mit einer durchschnittlichen Rücklaufquote von 67% sehr erfolgreich gewesen. Die Auswertung der Fenster hat sich als schwieriger erwiesen, da beispielsweise versetzte Fenster (z.B. Loggia) nicht erfasst werden konnten oder durch Bäume verdeckte Fenster im Frühling nicht ausgewertet werden konnten. Weiter war die Kameraposition nicht immer frei wählbar, da die Anbringung der Aufnahmegерäte vom Wohlwollen von Nachbarinnen und Nachbarn oder der Gebäudeeigentümerschaften abhängig war. Dies führte dazu, dass die Aufnahmen zum Teil mit einem grossen Winkel zur Fassadenfläche erfolgt sind, was wiederum zu einer reduzierten Anzahl an Auswertungen führte. Zwei dieser Fälle sind beispielhaft in Abbildung 3 dargestellt.



Tabelle 1: Übersicht zur Anzahl ausgewerteter Wohnungen und Fenster

Haus	A	B	C	D	E	Total	% von Total
Total Wohnungen	58	24	19	27	6	134	100% (Referenz)
Teilnahme Befragung (Personen)	83	19	22	22	4	150	
Vertreten durch Befragung (Wohnungen)	41	18	13	14	4	90	67%
Komfort Messung	33	16	14	10	5	78	58%
80% Fenster + Komfort	19	7	11	4	5	46	34%
Total Fenster	380	134	82	119	37	752	100% (Referenz)
Fenster Öffnung	219	87	67	73	35	481	64%
Fenster Verschattung	245	86	63	73	35	502	67%

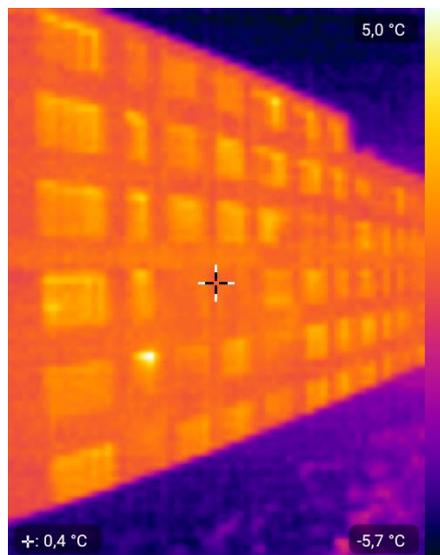


Abbildung 3: Links: Thermografieaufnahme mit Fenstern welche gut ausgewertet werden können (linker Rand) und Fenstern, die kaum ausgewertet werden können (rechter Rand). Rechts: Zwei Fensterreihen die sehr gut ausgewertet werden können und eine Reihe mit Balkonen die kaum ausgewertet werden kann (versetzte Fenster).

Wir erachten die Anzahl an Wohnungen und Fenster die ausgewertet werden können als ausreichend für dieses Projekt. Die in diesem Projekt gemachten Erfahrungen bezüglich der hier angewendeten Methode zur Auswertung des Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer sind nach unserem Wissen einmalig und können für zukünftige Forschungsprojekte hilfreich sein.



3.1 Ausgewählte Resultate aus den Messungen

Die Auswertung der Messungen ist noch nicht abgeschlossen, deshalb sind die nachfolgenden Ergebnisse als vorläufig zu betrachten. Die hier im Jahresbericht gezeigten Ergebnisse stellen eine begrenzte Auswahl dar, die jedoch allgemein gültig sind für alle untersuchten Gebäude, falls nicht anders beschrieben.

Die vorläufige Auswertung der Fensteröffnungsrate lässt für die untersuchten Gebäude darauf schliessen, dass die Aussentemperatur nicht im erwarteten Ausmass die Nutzung der Fenster und Verschattung beeinflusst. In Abbildung 4 ist die Fensteröffnungsrate in Abhängigkeit der Tagesmitteltemperatur für das Haus A und Haus B dargestellt. Dabei fällt auf, dass im Haus B die Fensteröffnungsrate höher ist als im Haus A, was möglicherweise darauf zurückzuführen ist, dass Haus A über eine Komfortlüftung verfügt, und Haus B nicht. Anders als erwartet, steigt der Anteil offener Fenster nicht deutlich an bei höheren Aussentemperaturen. Ein komplett anderes Resultat konnte in einer Studie aus Deutschland ermittelt werden [4]. In Abbildung 5 ist für einen modernen Neubau mit Komfortlüftung und gutem Dämmstandard die Fensteröffnungsrate in Abhängigkeit der mittleren Tagesaussentemperatur dargestellt. Dabei kann man eine deutliche Abhängigkeit des Fensteröffnungsverhalten der Bewohner von der Aussentemperatur feststellen, wie dies im Vorfeld der hier vorliegenden Studie erwartet wurde. Mögliche Gründe für die grossen Unterschiede im Projekt VenTSol zur deutschen Studien könnten sein:

- Methode zur Erfassung der offenen Fenster:
 - In der deutschen Studie werden die Fenster über Kontaktsensoren ermittelt. Was mit grosser Wahrscheinlichkeit zu einer genaueren Erfassung führt, als mit Thermografieaufnahmen, im speziellen bei höheren Aussentemperaturen.
- Alle Gebäude in der VenTSol Studie besitzen Fenster die nicht gekippt werden können. Dies führt mit grossen Wahrscheinlichkeit dazu, dass die Fenster deutlich seltener über längere Zeit offenstehen, als beim Gebäude aus Deutschland, bei welchem die Fenster gekippt werden können.

Aufbauend auf den Erkenntnissen aus der Deutschen Studie wurde in VenTSol eine Gleichung entwickelt, die den Anteil offener Fenster in Abhängigkeit der Aussentemperatur beschreibt. Diese Gleichung wurde verwendet, um ein realistisches Benutzerverhalten für ein Referenz-Mehrfamilienhaus [1] in TRNSYS zu simulieren. In Abbildung 6 ist die Verteilung des relativen Heizwärmebedarfs in Abhängigkeit der Aussentemperatur für zwei unterschiedliche Verhaltensweisen dargestellt. Das «ideale Verhalten» entspricht den Annahmen in der SIA380/1 wo eine konstante Infiltration, tiefe Raumtemperaturen (21 °C) und hohe solare Gewinne angenommen werden. Das «realistische Verhalten» berücksichtigt das neue Fensterverhalten, hohe Raumtemperaturen (23 °C) und starke Reduktion der solaren Gewinne (Verschattung nach SIA180). Mit dem realistischen Verhalten kann die Verteilung des Heizwärmebedarfs deutlich näher an die real gemessenen Werte aus der BFE Studie ImmoGap [1] angeglichen werden. Das Modell zum Nutzerverhalten bedarf jedoch weiterer Optimierung um die Abweichung zu den Messungen zu reduzieren. Aktuell vermuten wir, dass das Optimierungspotenzial bei der Verschattung und den Raumtemperaturen eine saisonale Abhängigkeit aufweist. Die Auswertung zur Nutzung der Storen in Abbildung 7 zeigt, dass diese eine leichte Abhängigkeit von der Aussentemperatur aufweist. Zwischen 20-30% der Fenster haben im Schnitt geschlossene Storen (Haus A). Berücksichtigt man auch gezogene Vorhänge oder halb verschattete Fenster (Storen nicht ganz geschlossen) steigt die Verschattungsquote auf über 50%. Im Fall von Haus C und D steigt die Verschattungsrate auf fast 80%, was eher mit den Erkenntnissen aus der SolarGap Studie [5] übereinstimmt. Die detaillierte Auswertung ist aktuell in Ausarbeitung.

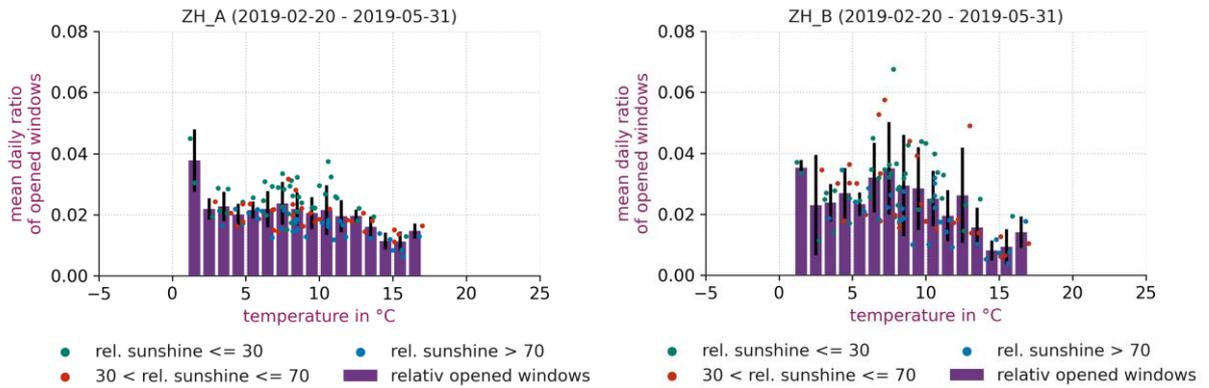


Abbildung 4: Fensteröffnungsrate in Abhängigkeit der gemessenen mittleren Tagesaussentemperatur für das Haus A links und für Haus B rechts (violette Balken). Zusätzlich sind die Tageswerte (Punkte) aufgeführt mit einer Unterscheidung zwischen sonnigen (rel. Sunshine >70%), teils bewölkten (30-70%) und bewölkten Tagen (<30%). Der schwarze Balken zeigt die Varianz.

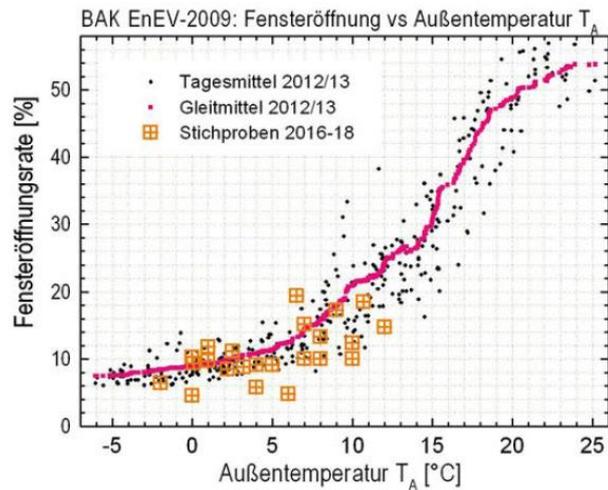


Abbildung 5: Fensteröffnungsrate in Abhängigkeit der gemessenen mittleren Tagesaussentemperatur für ein Wohngebäude in Deutschland [4].

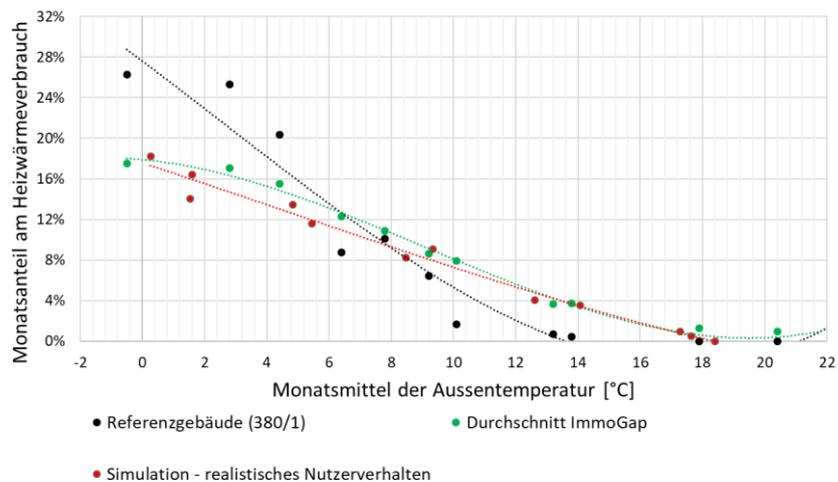


Abbildung 6: Vergleich der monatlichen Verteilung des Heizwärmeverbrauchs in Abhängigkeit der Aussentemperatur für drei Fälle; Berechnung nach SIA380/1, reale Messungen aus dem Projekt ImmoGap und Simulation eines Referenzgebäudes mit neuem Fensteröffnungsverhalten.

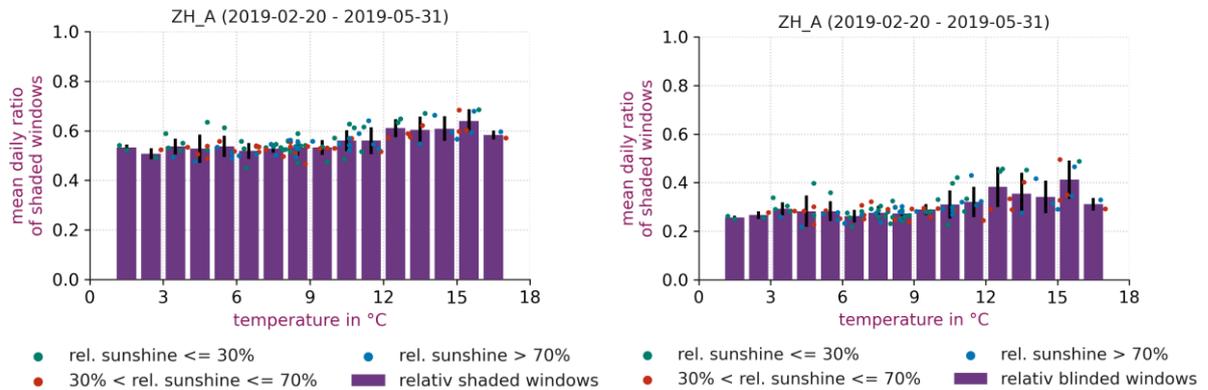


Abbildung 7: Anteil Fenster mit aktivem Sonnenschutz in Abhängigkeit der gemessenen mittleren Tagesaussentemperatur für das Haus A. Links mit Berücksichtigung von gezogenen Vorhängen und teilweise verschatteten Fenstern (Storen halb unten) und rechts sind nur komplett verschattete Fenster berücksichtigt. Zusätzlich sind die Tageswerte (Punkte) aufgeführt mit einer Unterscheidung zwischen sonnigen (rel. Sunshine >70%), teils bewölkten (30-70%) und bewölkten Tagen (<30%). Der schwarze Balken zeigt die Varianz.

3.2 Ausgewählte Resultate aus der Befragung

Die folgenden Analysen fokussieren auf die zwei Siedlungen bestehend aus Haus A, B, C und D. Aufgrund der tiefen Fallzahlen werden die Antworten aus der dritten Siedlung Haus E ausgeschlossen. Tabelle 1 gibt einen Überblick über die Anzahl der teilnehmenden Personen und der abgedeckten Wohnungen in den verschiedenen Gebäuden.

3.2.1 Einschätzung der Raumtemperatur

Den Befragten in der Siedlung A/B ist es im Winter eher zu warm, besonders, wenn draussen eher warme Temperaturen herrschen. Wenn es draussen sehr kalt ist, schätzen sie die Temperatur als «gerade richtig» ein (s. Abbildung 8).

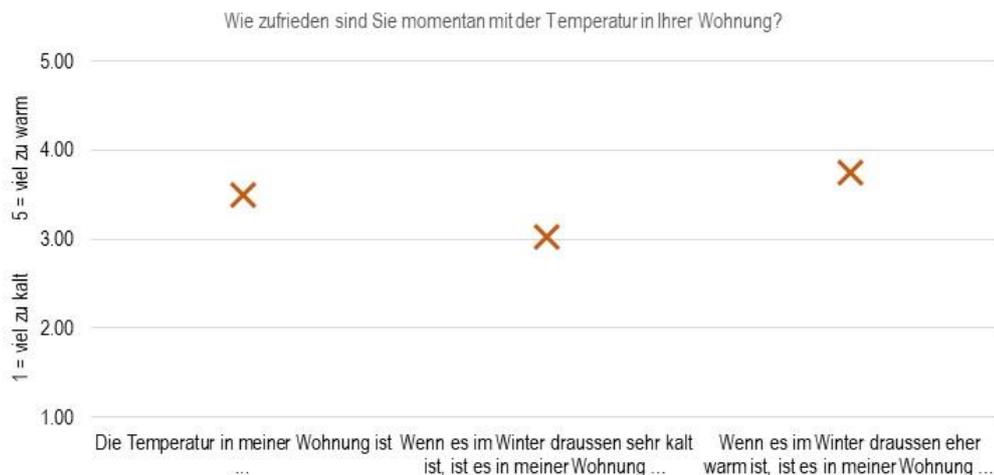


Abbildung 8: Einschätzung der Raumtemperatur in der Siedlung A/B. N = 102, Mittelwerte.



Die von den Befragten in Haus A und B eingeschätzten oder gemessenen Temperaturen des Wohnzimmers betragen im Mittel 22.1 °C. Angaben, die auf Schätzungen basieren, fallen etwas geringer aus als Angaben, die auf Messung beruhen (s. Tabelle 2).

Tabelle 2: Geschätzte oder gemessene Temperatur im Wohnzimmer in Haus A und B.

Quelle	Temperatur °C, Mittelwert	Temperatur °C, Standardabweichung	N
Messung	22.5	1.2	38
Schätzung	21.9	1.4	64

Den Befragten in der Siedlung C/D ist es hingegen eher zu kühl. Dies trifft auch auf die Einschätzung der Temperatur des Fussbodens zu – eine Frage welche spezifisch für diese Siedlung ergänzt wurde. Nur wenn es draussen eher zu warm ist, schätzen die Befragten die Temperatur als «gerade richtig» ein (s. Abbildung 9).

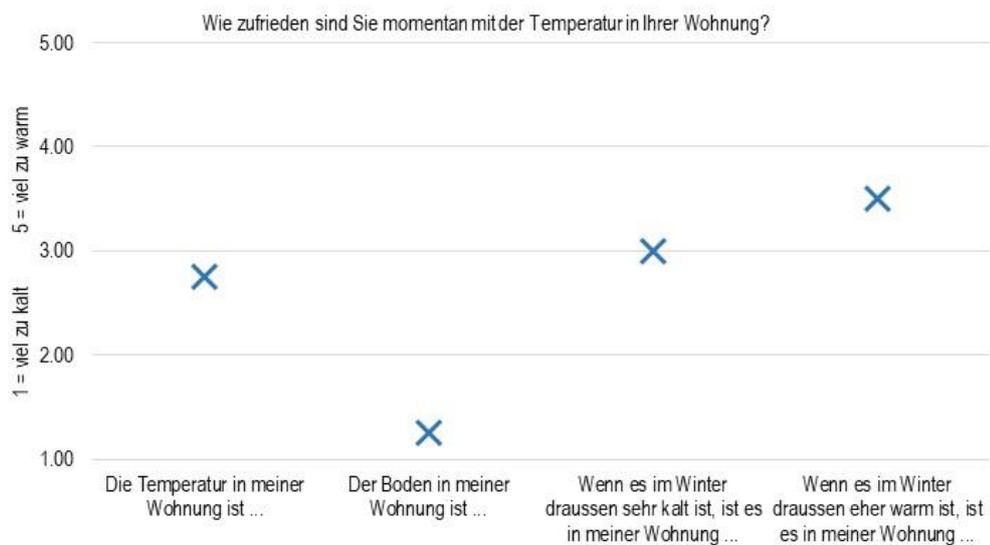


Abbildung 9: Einschätzung der Raumtemperatur in der Siedlung C/D. N = 38-43; Mittelwerte.

Die von den Befragten im in Haus C und D eingeschätzten oder gemessenen Temperaturen des Wohnzimmers betragen im Mittel 23.1 °C. Wie in der Siedlung A/B fallen Angaben, die auf Schätzungen basieren, etwas geringer aus als Angaben, die auf Messung beruhen (s. Tabelle 3).

Tabelle 3: Geschätzte oder gemessene Temperatur im Wohnzimmer in Haus C und D.

Quelle	Temperatur °C, Mittelwert	Temperatur °C, Standardabweichung	N
Messung	23.5	0.9	26
Schätzung	21.6	1.1	9

3.2.2 Lüftungsverhalten

In der Siedlung A/B haben die Fenster keine Kippfunktion. Von den zwei Häusern verfügt Haus A über eine Lüftung und Haus B nicht. Insgesamt gaben 78 (76%) der Befragten an, dass ihre Fenster praktisch nie über längere Zeit geöffnet sind. Tabelle 4 zeigt, dass dieser Anteil in beiden Häusern etwa gleich



ist, d.h. die Tatsache, dass Haus A eine Lüftung hat, führt nicht signifikant dazu, dass in diesem Haus die Fenster seltener über einen längeren Zeitraum geöffnet sind.

Tabelle 4: Handhabung der Fenster in der Siedlung A/B. N = 102.

Fensteröffnung	Total	Haus A (mit Lüftung)	Haus B (ohne Lüftung)
Fenster sind praktisch nie länger geöffnet	78 (76%)	64 (77%)	14 (74%)
Es kommt vor, dass Fenster über längere Zeit geöffnet sind	24 (24%)	19 (23%)	5 (26%)
Total	102 (100%)	83 (100%)	19 (100%)

Von den befragten Bewohner/innen in Haus A und B gaben 24 (24%) an, dass ihre Fenster bisweilen über längere Zeit geöffnet sind. Dies mitfolgenden Begründungen (Mehrfachnennung möglich):

- 20 Befragte: um frische Luft zuzuführen (z.B. zum Schlafen)
- 11 Befragte: um Essens- und andere Gerüche zu vertreiben
- 8 Befragte: weil es zu warm ist
- 7 Befragte: um frische Luft in Bad / WC zuzuführen
- 2 Befragte: andere Gründe
- 2 Befragte: um eine Verbindung nach draussen zu haben

Auch in der Siedlung C/D gibt es keine Kippfenster. 29 (67%) der Befragten gaben an, dass ihre Fenster praktisch nie über längere Zeit gekippt sind. 14 (33%) gaben an, dass dies vorkommt und zwar aus folgenden Gründen (Mehrfachnennung möglich):

- 10 Befragte: um Essens- und andere Gerüche zu vertreiben
- 8 Befragte: um frische Luft zuzuführen (z.B. zum Schlafen)
- 2 Befragte: weil es zu warm ist
- 2 Befragte: um frische Luft in Bad / WC zuzuführen
- 2 Befragte: andere Gründe
- 1 Befragte: um eine Verbindung nach draussen zu haben

3.2.3 Verschattungsverhalten

Ungefähr zwei Drittel der Befragten in Haus A und B (n = 65) gaben an, tagsüber die Storen praktisch immer geöffnet zu haben. Die andere gaben an, dass ihre Storen ab und zu (n = 26) oder oft (n = 11) geschlossen seien tagsüber (s. Tabelle 5)

Tabelle 5: Schliessung der Storen tagsüber in Haus A und B. N = 102.

Schliessung der Storen tagsüber	Anzahl Personen	Prozentualer Anteil
Storen sind tagsüber praktisch immer geöffnet	65	64 %
Es kann vorkommen, dass die Storen tagsüber geschlossen sind	26	25 %
Es kommt oft vor, dass die Storen tagsüber geschlossen sind	11	11 %
Total	102	100 %



Die 37 Personen, welche ihre Storen ab und zu oder oft geschlossen zu haben, gaben an, dies vor allem zu tun um den Lichteinfall zu reduzieren oder als Blend-, Sicht-, und Wärmeschutz. (s. Tabelle 6).

Tabelle 6: Gründe weshalb die Storen in Haus A und B tagsüber geschlossen sind. Mehrfachnennung möglich. N = 37.

Gründe, weshalb die Storen tagsüber geschlossen sind	Anzahl Nennungen
Um den Lichteinfall zu reduzieren (z. B. zum Schlafen)	20
Damit mich das Sonnenlicht nicht blendet	16
Damit man mir nicht direkt in die Wohnung sieht	15
Damit es von der Sonne nicht zu heiss wird	12
Anderer Grund (bitte angeben)*	8
Weil ich diese Räume tagsüber nicht nutze	5
Weil ich vergesse, die Storen jeweils hochzudrehen	4
Wenn ich weggehe, schliesse ich die Storen	2

* Legende. Bei anderes nannten die Befragten Dinge wie Bequemlichkeit, oder Anpassung der Lamellenstellung anstatt Hochdrehen der Storen.

Ungefähr zwei Drittel (n = 28) der Befragten in Haus C und D gaben an, tagsüber die Storen praktisch immer geöffnet zu haben. Die andere (n = 16) gaben an, dass es vorkommen kann, dass ihre Storen geschlossen seien tagsüber (s. Tabelle 5)

Tabelle 7: Schliessung der Storen tagsüber in Haus C und D. N = 44.

Schliessung der Storen tagsüber	Anzahl Personen	Prozentualer Anteil
Storen sind tagsüber praktisch immer geöffnet	28	64 %
Es kann vorkommen, dass die Storen tagsüber geschlossen sind	16	36 %
Total	44	100 %

Die 16 Personen, welche ihre Storen ab und zu oder oft geschlossen zu haben, gaben an, dies vor allem zu tun um den Lichteinfall zu reduzieren sowie als Blend-, Sicht-, und Wärmeschutz. (s. Tabelle 8).

Tabelle 8: Gründe weshalb die Storen in Haus C und D tagsüber geschlossen sind. Mehrfachnennung möglich. N = 16.

Gründe, weshalb die Storen tagsüber geschlossen sind	Anzahl Nennungen
Um den Lichteinfall zu reduzieren (z. B. zum Schlafen)	10
Damit man mir nicht direkt in die Wohnung sieht	9
Damit mich das Sonnenlicht nicht blendet	8
Damit es von der Sonne nicht zu heiss wird	8
Weil ich diese Räume tagsüber nicht nutze	4
Wenn ich weggehe, schliesse ich die Storen	3
Schutz vor Einbrüchen	5
Anderer Grund (bitte angeben)*	1
Weil ich vergesse, die Storen jeweils hochzudrehen	1

* Legende. Bei anderes nannte die befragte Person: Schutz des Fensters vor Regenwasser.



4 Bewertung der bisherigen Ergebnisse

Mit dem Rücklauf der Umfragen sind wir sehr zufrieden. Mit einer Rücklaufquote von 67% konnten die Erwartungen übertroffen werden. Speziell zu erwähnen ist, dass eine breite Diversität von Haushalten (z.B. unterschiedliche Haushaltsgrößen, unterschiedliche Bildungsniveaus) mit der Umfrage abgedeckt werden konnte. Detailliertere Auswertungen werden im Schlussbericht präsentiert. Dieser beinhaltet auch kombinierte Auswertungen von Antworten aus der Befragung und Messdaten. Das Bild-Monitoring konnte im Vergleich zum Antrag deutlich (um das 2.5-fache) ausgeweitet werden. Die automatische Bildauswertung konnte erfolgreich realisiert werden. Die Methode konnte im Verlauf des Projektes optimiert werden, so dass mehr Fenster ausgewertet wurden im Vergleich zum Jahresbericht 2019. Die Resultate decken sich jedoch nicht mit den Erwartungen und weisen einen grossen Unterschied zu einer ähnlichen Analyse aus Deutschland auf.

Leider waren die Witterungsbedingungen während den Messungen nicht ideal, da in beiden Winterperioden (18/19 und 19/20) kaum richtig kalte Tage vorhanden waren. Zusätzlich hat auch die COVID-19 Pandemie die Ergebnisse mitbeeinflusst, da während dem Frühling 2020 viele Personen vermehrt Zeit zuhause verbracht haben.

Im August 2020 wurde eine Sitzung mit der Begleitgruppe durchgeführt, wo die ersten Resultate den Mitgliedern der Begleitgruppe vorgestellt und gemeinsam diskutiert wurden. Das Projektteam hat von wertvollen Inputs profitiert und diese in den anschliessenden Auswertungen umgesetzt.

5 Weiteres Vorgehen

In Absprache mit dem BFE wird abgeklärt, ob eine Verlängerung der Messperiode Sinn macht, um zusätzliche Messungen bei kalten Aussentemperaturen zu realisieren. Unabhängig davon wird in den nächsten Monaten die Auswertung der Daten vorangetrieben, und die Erkenntnisse aus den Befragungen werden mit den Messdaten zu Komfort und Energie in Verbindung gesetzt.

Bei einer Erweiterung der Messperiode müsste das Projekt um mindestens sechs Monate verlängert werden, damit auch die neuen Messdaten ausgewertet werden können.

Auf Wunsch der Begleitgruppe wird im Projekt überprüft, ob in den verwendeten Simulationsprogrammen die Fensterlüftung auch korrekt abgebildet wird. Es soll verhindert werden, dass ungenaue Modelle zur Fensterlüftung, zu fehlerhaften Interpretationen bezüglich dem Verhalten der Nutzerinnen und Nutzer führt.

Eine zweite Sitzung mit der Begleitgruppe wird voraussichtlich im Frühling 2021 stattfinden. Dann werden die finalen Ergebnisse präsentiert und zu diskutiert. Bei einer Projektverlängerung wird diese Sitzung entsprechend verschoben.



6 Nationale und internationale Zusammenarbeit

Mittelfristig könnte ein Austausch mit dem IEA-EBC Annex 66 interessant sein. Hier bestehen Kontakte zu Andreas Wagner vom KIT in Deutschland.

7 Publikationen

Aktuell sind noch keine Publikationen geplant. Diese werden jedoch erfolgen, wenn die Auswertung aller Objekte abgeschlossen ist.

8 Literaturverzeichnis

- [1] I. Mojic, M. Luzzatto, M. Haller, M. Lehmann, M. Benz, S. Van Velsen, ImmoGap - Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser, SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Rapperswil, 2018.
- [2] A. Paone, J.-P. Bacher, The Impact of Building Occupant Behavior on Energy Efficiency and Methods to Influence It: A Review of the State of the Art, *Energies*. 11 (2018) 953. <https://doi.org/10.3390/en11040953>.
- [3] T. Hong, D. Yan, S. D'Oca, C. Chen, Ten questions concerning occupant behavior in buildings: The big picture, *Building and Environment*. 114 (2017) 518–530. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2016.12.006>.
- [4] F. Schröder, B. Gill, M. Güth, T. Teich, A. Wolff, Entwicklung saisonaler Raumtemperaturverteilungen von klassischen zu modernen Gebäudestandards - Sind Rebound-Effekte unvermeidbar?, *Bauphysik*. 40 (2018) 151–160.
- [5] L. Carisch, M. Ménard, M. Mühlebach, M. Talattad, SolarGap - Auswirkung von Sonnenschutzsystemen auf den Heizwärmebedarf von Gebäuden, (2018).