DOI 10.5281/zenodo.3900180

brenet

21. Status-Seminar

Konferenzband

Erneuern! Sanierungstrategien für den Gebäudepark

3. & 4. September 2020
Kultur- und Kongresszentrum Aarau

Herausgegeben von:
Prof. Dr. Jürg Bichsel
Michael Sattler
Dr. Roman Rudel
Prof. Dr. Olivier Steiger
Prof. Dr. Frank Tillenkamp

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Partner

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Bundesamt für Energie BFE

HIGHTECH ZENTRUM AARGAU

sccer | future energy efficient buildings & districts

KGTV

Unterstützt durch

Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Innosuisse – Schweizerische Agentur für Innovationsförderung

source: https://doi.org/10.24451/arbor.13500 | downloaded: 26.4.2024

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Konferenzband

21. Status-Seminar

Erneuern! Sanierungstrategien für den Gebäudepark

3. & 4. September 2020 | Kultur- und Kongresshaus Aarau

IMPRESSUM

Tagungsorganisation:
Michael Sattler
Ökozentrum, Langenbruck

Tagungsband 21. Status-Seminar
Erneuern! Sanierungsstrategien für den Gebäudepark

Digitale Veröffentlichung © Copyright (auch auszugsweise) bei den AutorInnen

brenet-Geschäftsstelle, c/o Ökozentrum
Schwengiweg 12, 4438 Langenbruck
E-Mail: geschaeftsstelle@brenet.ch
www.brenet.ch

Published on:
www.zenodo.org/communities/LORY

LORY
Lucerne Open Repository
Universität Luzern
Hochschule Luzern
Pädagogische Hochschule Luzern
Historisches Museum Luzern

CC by 4.0 International Lizenz

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Vorwort

Status-Seminar

Das Status-Seminar präsentiert im Zweijahresrhythmus aktuelle Themen aus der Praxis und Forschung im Bereich Gebäude und Quartiere mit Fokus auf Energie- und Umweltthemen. Das Seminar richtet sich an Fachpersonen aus Industrie, Ingenieur- und Architekturbüros sowie Forschung und Behörden. An der zweitägigen Veranstaltung wird dargestellt, wo die Praxis mit ihren Erfahrungen und Fragen steht sowie sich der Stand der Forschung in der Schweiz präsentiert.

Das Status-Seminar 2020 widmete sich dem Thema «Erneuerung». Während die Klima- und Energieziele im Neubau einfacher erreichbar sind, ist die Erneuerung des Bestandes eine Knacknuss. Für das Erreichen der Klimaziele muss die Sanierungsrate von Gebäuden verdreifacht werden. Dazu müssen neue Technologien und die Digitalisierung in allen Bereichen umgesetzt und in bestehende Prozesse integriert werden. Im Kultur- und Kongresszentrum Aarau standen am ersten Seminartag die Themen CO_2-armes Heizen & Kühlen, Digitalisierung am Bau und die energetische Aktivierung der Gebäudehülle im Fokus.

Der Freitag war der angewandten Forschung gewidmet. In themenbezogenen Sessionen wurden die für die Zukunft relevanten Themen der Gebäudetechnik und erneuerbarer Energien vorgestellt.
Am Status-Seminar präsentieren zwischen 70 und 100 Autoren ihre aktuellen Projekte. Der vorliegende Konferenzband präsentiert diejenigen Beiträge, die von den Autoren zur Veröffentlichung in Form eines Papers eingereicht wurden.

brenet

Das Status-Seminar wird durch den Verein brenet organisiert. brenet versteht sich als Plattform, an die sich Industrie, Gewerbe, Planende wie auch die Behörde zu den Themen Nachhaltiges Bauen, Quartierentwicklung, Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien wenden können.

Im Nationalen Kompetenznetzwerk im Bereich Gebäudetechnik und Erneuerbare Energien (brenet) erforschen seit 2001 Institute von Fachhochschulen, Empa (ETH-Annexanstalt) und unabhängigen privaten Organisationen institutsübergreifend Lösungen für eine nachhaltige Zukunft.

Durch die verschiedenen Kompetenzen der brenet-Mitgliederinstitute ergeben sich dank der Synergien innovative Lösungen für Forschungs- und Entwicklungsvorhaben aber auch für neue Dienstleistungen. brenet-Projekte haben den klaren Schwerpunkt auf der praxisorientierten und wirtschaftlichen Umsetzung. Mit der klaren Mission, die Zukunft aktiv zu gestalten und an Lösungen mit einem langen, nachhaltigen Zeithorizont mitzuwirken.

Jürg Bichsel, Präsident brenet

Michael Sattler, Geschäftsleiter brenet

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Inhalt

06 **Retro-nova im Wolf-Areal Basel: Ertüchtigen von Bestandsgebäuden durch smarte Energie- und Nutzungskonzepte**
Bichsel, Jürg (1); Bringolf, Matthias (1); Rücker, Matthias (2)
1: FHNW, Schweiz
2: SBB, Energie, Schweiz

15 **Kostenoptimierte Auslegung von Erdsondenfeldern**
Büsser, Simon; Wemhöner, Carsten; Rominger, Lukas; Meier, Christoph
HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz

23 **Method for the cost evaluation of BIPV facades and multilevel cost analysis of the solar envelope of six Swiss case studies**
Corti, Paolo (1); Büsser, Andy (2); Bonomo, Pierluigi (1)
1: SUPSI-ISAAC, Institute for Applied Sustainability to the Built Environment
2: Viridén+Partner AG, Architectural practice

36 **Human an Building - envelop interaction in open area - Which constructive choises to improve summery comfort?**
Guillot, Victor; Camponovo, Reto; Gallinelli, Peter; Rey, Joan
HES-SO // Genève - HEPIA, Suisse

41 **Smarte Gebäude - netzdienlich oder nicht?**
Hall, Monika; Geissler, Achim
Fachhochschule Nordwestschweiz, Schweiz

47 **U-Wert Messung vor Ort mit drei unterschiedlichen Messgeräten**
Hoffmann, Caroline (1); Geissler, Achim (1); Geyer, Christoph (2); Wehle, Barbara (2)
1: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau, Schweiz
2: Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur, Schweiz

58 **CO_2 optimized planning of e-bus routes through neighbourhoods**
Huber, Joachim
Berner Fachhochschule AHB, Schweiz

63 **Transformation von bestehenden Quartieren – das 2000-Watt-Arealzertifikat**
Kellenberger, Daniel (1); Gugerli, Heinrich (2)
1: Intep - Integrale Planung GmbH, Projektleiter 2000-Watt-Areal;
2: Gugerli Dolder Umwelt & Nachhaltigkeit GmbH, Technischer Leiter 2000-Watt-Areal

69 **Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen**
King, Marvin (1); Heim, Thomas (2); Menti, Urs-Peter (1); Salzmann, Beat (3);
Schwehr, Peter (2); Settembrini, Gianrico (1); Trübestein, Michael (4)
1: Hochschule Luzern - Technik & Architektur, IGE, Schweiz;
2: Hochschule Luzern - Technik & Architektur, CCTP, Schweiz;
3: Hochschule Luzern - Technik & Architektur, IIA, Schweiz;
4: Hochschule Luzern - Wirtschaft, IFZ, Schweiz

80 **Stromverbrauch der Gebäudeautomation: eine Fallstudie**
Kräuchi, Philipp; Steiger, Olivier
Hochschule Luzern, Schweiz

90 **Analysis of lifetimes of building elements in the literature and in renovation practices and sensitivity analyses on building LCA & LCC**
Lasvaux, Sébastien (1); Goulouti, Kyriaki (1); Favre, Didier (1); Giorgi, Morgane (1); Padey, Pierryves (1); Farsi, Mehdi (2); Volland, Benjamin (2); Galimshina, Alina (3); Habert, Guillaume (3)
1: HES-SO, HEIG-VD IGT-LESBAT Suisse;
2: UniNE, Suisse;
3: ETHZ, Suisse

DOI 10.5281/zenodo.3900180

104 **Heizungsersatz: Vergleich ausgewählter Städte und Gemeinden**
Lehmann, Meta; Odermatt, Basil; Moser, Corinne; Buser, Benjamin; Ott, Walter
econcept AG, Schweiz

112 **GIS-based analysis of space cooling demand in the Swiss service sector**
Li, Xiang; Chambers, Jonathan; Yilmaz, Selin; Patel, Martin
University of Geneva, Suisse

119 **Vollständig solar beheizte MFH mit saisonalem Wasserspeicher, Solarthermie, PV und Wärmepumpe**
Lichtensteiger, Fabio; Battaglia, Mattia; Ruesch, Florian; Haller, Michel
Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz

128 **Feldmessunge Wärmepumpen**
Prinzing, Manuel; Berthold, Matthias; Eschmann, Mick; Bertsch, Stefan
NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, Schweiz

142 **Real Estate portfolio steering tool for a public Foundation in canton Geneva**
Rinquet, Lionel (1); Susini, Alberto (2)
1: HES SO / HEPIA, Suisse;
2: Foundation communale de Versoix - Samuel May

152 **Krise als Impuls? Strategien für die resiliente Stadt in Zeiten von Covid-19 und Klimawandel**
Schwehr, Peter
HSLU T&A, Schweiz, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)

161 **New Visualization Approach for Building Facility Data Analysis**
Seerig, Axel; Zakovorotnyi, Andrii
Hochschule Luzern, Schweiz

174 **LoRa-Minitoring in der Gebäudetechnik**
Sitzmann, Bernd
Energie Zukunft Schweiz, Schweiz

180 **Augmented presence detection in buildings**
Steiger, Olivier; Marek, Reto; Häfliger, Reto
Hochschule Luzern, Institut für Gebäudetechnik und Energie, Schweiz

187 **Kühlleistung von aktivierten Gebäudeoberflächen mit Verdunstung**
Wemhöner, Carsten; Büsser, Simon; Rominger, Lukas; Meier, Christoph
HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Schweiz

194 **A comparative analysis of patterns of electricity use and flexibility potential of domestic and non-domestic building archetypes through data mining techniques**
Yilmaz, Selin (1); Chambers, Jonathan (1); Branca, Giovanni (2); Vetterli, Nadech (3); Patel, Martin (1)
1: University of Geneva, Suisse;
2: SUPSI;
3: Anex Ingenieur

202 **Ein neuer, ganzheitlicher Ansatz zur Erhöhung der Erneuerungsrate im Bestand**
Zeyer, Christian
swisscleantech, Schweiz

227 **Dynamic Life Cycle Assessment of the building electricity demand**
Pierryves Padey (1); Kyriaki Goulouti (1), Didier Beloin Saint-Pierre (2), Sébastien Lasvaux (1), Massimiliano Capezzali (1), Vasco Medici (3), Jalomi Maayan Tardif (3), Stéphane Citherlet (1)
1: School of Management and Engineering Vaud, University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland
2: EMPA – Advancing Life Cycle Assessment Group
3: University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, SUPSI

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Retro-nova: Ertüchtigen von Bestandsgebäuden durch smarte Energie- und Nutzungskonzepte

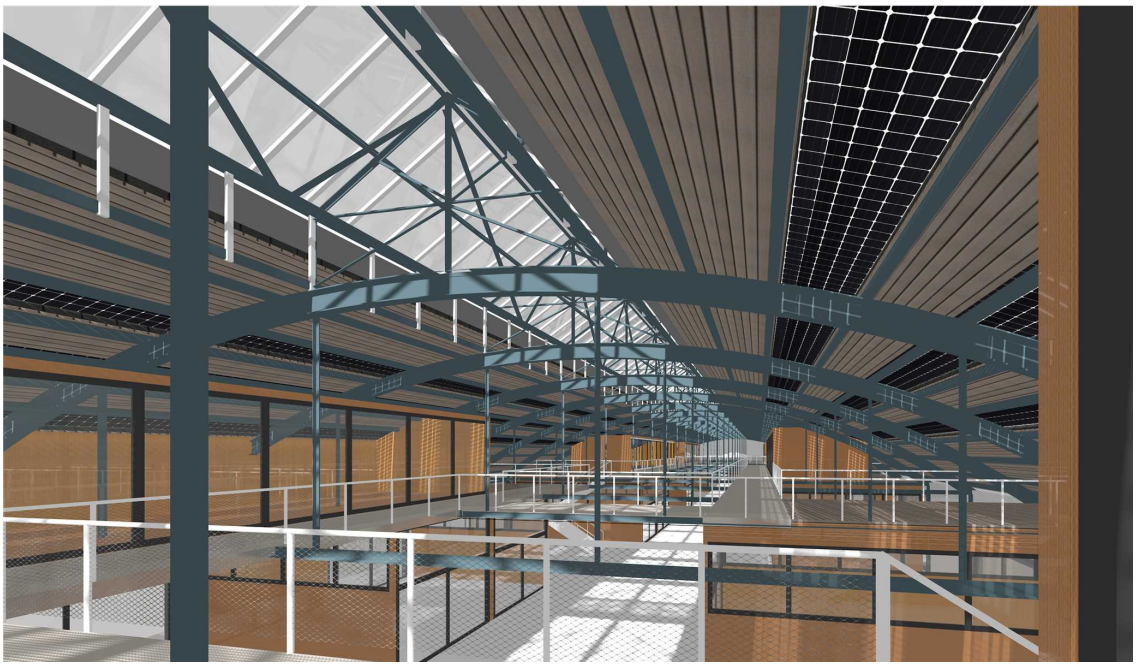


Abbildung 1 3-D-Visualisierung der Hallen 3 und 4 des Wolf-Areals, nach [2]

Jürg Bichsel, Matthias Bringolf, Matthias Rücker
Kontaktperson: Jürg Bichsel, FHNW, Institut Energie am Bau, Hofackerstrasse 30, 4132 Muttenz, juerg.bichsel@fhnw.ch, https://www.fhnw.ch/de/die-fhnw/hochschulen/architektur-bau-geomatik/institute/iebau

Zusammenfassung

Das Logistikareal Wolf in Basel wird in den nächsten Jahren in «das smarteste Areal der Schweiz» mit Mischnutzung transformiert. Hier stehen die Hallen 3/4, welche bestehen bleiben und dem Denkmalschutz unterstellt sind. Es sind Stahlkonstruktionen ohne Dämmung und Gebäudetechnik. In diesen Gebäuden lohnen sich Investitionen in eine strom- oder wärmeerzeugende Hülle, in Wärmedämmung, Gebäudetechnik und eine natürliche Belichtung. Dies sind die Grundlagen für verschiedene zukünftige Nutzungsformen der Gebäude mit smarten Konzepten und Technologien und Begrünungsmöglichkeiten. Die Hallen 3/4 liegen zwischen Rangierbahnhof und Containerbereich und weisen ein speziell warmes Stadtklima auf. Bei der Umnutzung werden sehr hohe Anforderungen an die Ästhetik gestellt. Für eine zukünftige flexible Nutzung wird als Favorit die Lösung «Haus in Haus» vorgeschlagen. Diese hat eine energetisch aktive Aussenhülle mit einem guten Wärmeschutz und lokaler Energiegewinnung. Das Innenleben kann durch Container, teilweise in zweistöckiger Bauweise, flexibel gestaltet werden. Hiermit hat das Projekt die erste Planungsphase «vor Baueingabe» erreicht.

Over the next few years, the Wolf logistics site of Basel will be transformed into "the smartest site in Switzerland" with a mixed-use concept. This is where halls 3/4 will be located, which will remain in place and are subject to monument protection. They are steel constructions without insulation and building technologies. In these buildings, it is worthwhile investing in a shell that generates electricity or heat, in thermal insulation, building technologies and natural lighting. These are the foundations for various future forms of use of the buildings with smart concepts and technologies, taking into account the possibilities of greening. The halls 3/4 are located between the marshalling yard and the container area and have a special warm urban climate. Very high demands are placed on the aesthetics during the conversion. For a future flexible use, the "house in house" solution is proposed as a favourite. This has an energetically active outer shell with good thermal insulation and local energy generation. The interior can be flexibly designed with containers, some of them in two-storey construction. Herewith the project has reached the first planning phase "before building application".

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Das Wolf-Areal in der Stadt Basel soll in den nächsten Jahren in das smarteste Areal der Schweiz transformiert werden. Hierbei soll das heutige Logistikareal neu einer Mischnutzung mit Wohnen, Büros, Dienstleistung, Gewerbe, Verkauf, Gastro und Logistik zugeführt werden (siehe Abbildung 2). Im westlichen Drittel sind Wohnungen geplant (blau hinterlegt), im mittleren Teil öffentliche Nutzungen und im östlichen Teil wird die Logistik (gelb hinterlegt) weiterhin die wichtigste Rolle spielen. Die Transformation wird mit dem westlichen Drittel starten. Im mittleren Teil ist eine innovative Zwischennutzung für die nächsten sechs Jahre vorgesehen. Hier stehen drei Gebäude, welche auch nach der Zwischennutzung weiterhin bestehen bleiben und dem Denkmalschutz unterstellt sind. Während das Dienstgebäude ein Massivbau ist, sind die Hallen 3 und 4 Stahlkonstruktionen ohne Dämmung und Gebäudetechnik. In diesen Gebäuden lohnen sich amortisierbare Investitionen in eine energieerzeugende Hülle, in Wärmedämmung und Gebäudetechnik. Im Workshop Wolf-Areal vom 15. Februar 2019 hat das interdisziplinäre Innovationsteam (AUE Basel, IWB, SBB, FHNW) vorgeschlagen, diese historisch wertvollen Gebäude in eine smarte, energieeffiziente Zukunft zu führen. Hierbei soll der Vorbildcharakter dieser Transformation hervorgehoben werden: Lokale Erzeugung und vernetzte Nutzung erneuerbarer Energien, angepasste Dämmung der Hülle und natürliche Beleuchtung der Arbeitsflächen. Dies sind die Grundlagen für verschiedene zukünftige Nutzungsformen der Gebäude mit smarten Konzepten und Technologien unter Einbezug von Begrünungsmöglichkeiten im urbanen Raum.

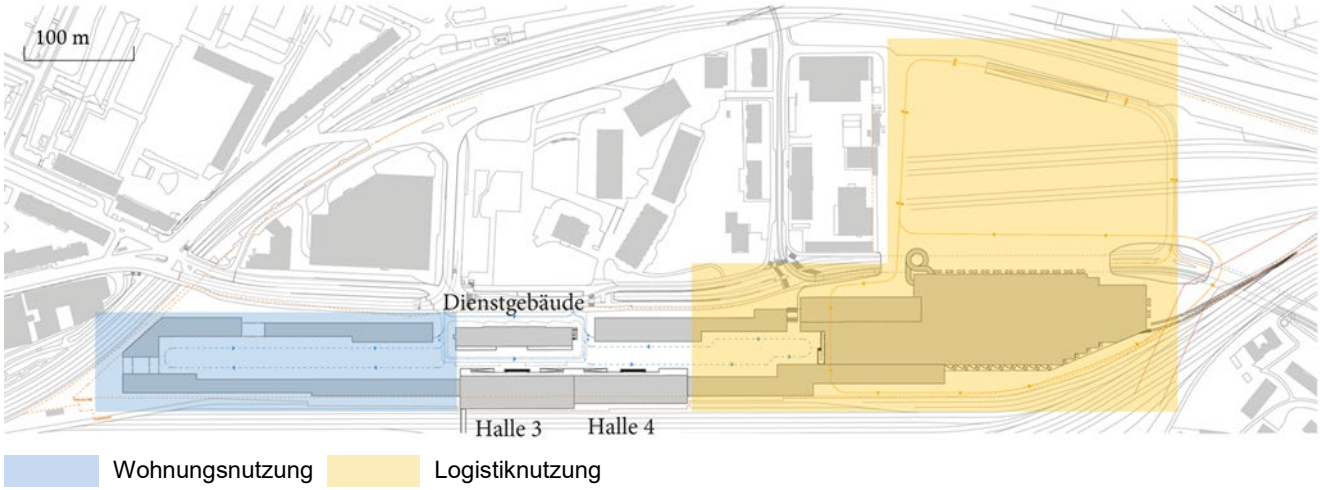


Abbildung 2 Darstellung Nutzungsarten des Wolf-Areals nach 2024, nach [1]

Das Dienstgebäude und die Hallen 3 und 4 (siehe Abbildung 2) stehen im Besitz der SBB und sind gleichzeitig als schützenswerte Objekte auf dem Areal Wolf ausgewiesen. Dies eröffnet die Chance, sich hier langfristige Gedanken zu machen: Wie können die Gebäude energetisch (Dämmung der Hülle, Gebäudetechnik, lokale Energieerzeugung und Vernetzung) und nutzungsmässig (flexibel, anpassbar) für die nächsten 30 bis 40 Jahre aufgerüstet werden? Die Lösung dieser Herausforderungen hat im urbanen Raum Vorbildcharakter: Denkmalgeschützte Gebäude so zu transformieren, dass diese der 2000W Gesellschaft näherkommen und gleichzeitig flexible und anpassbare Strukturen aufweisen, die eine spätere Umnutzung einfach möglich machen. Denkmalpflegerische Vorgaben und PV-Nutzung dürfen damit einhergehend nicht in Widerspruch stehen. PV-Anlagen stehen heute in allen Formen und Farben zur Verfügung. Im denkmalgeschützten Bestand finden sich aber bisher noch wenige Beispiele, die eine Integration von Photovoltaik in Dachflächen und vor allem nicht in der Fassade gestalterisch und denkmalpflegerisch befriedigend lösen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2. Vorgehen

In einem ersten Schritt sollen unter der Randbedingung, dass die Gebäude ihren historischen Wert behalten, Vorschläge und Konzepte für die bauliche Substanzerneuerung mit anderen Nutzungsarten und die lokale Energieerzeugung und -Nutzung für die drei Gebäude aufgestellt werden. Es wird aufgezeigt, wie eine zukünftige, flexible Nutzung möglich ist. Ein zirkulärer Ansatz für die Vor- und Nachkette im Sinne einer «Circular Economy» wird bei der Auswahl der Materialien sowie baulichen Massnahmen (z.B. Verbindung von Komponenten) verfolgt, um diese für Folgenutzungen verfügbar zu machen.

Um ein zielgerichtetes Resultat zu erhalten wird wie folgt vorgegangen:

- Bestandsaufnahme vor Ort (Situation des Wolf-Areals, Stand der Planung, geografische Lage, Zustand der Gebäude und klimatische Verhältnisse)
- Bestandsaufnahme von speziellen Anforderungen (schützenswerte Objekte, zukünftige Nutzungsvarianten, zeitliche Umsetzung)
- Vorgaben bezüglich Energie (Energiegesetz [7] und Energierichtplan des Kantons Basel-Stadt [6], energetische Ansprüche an Gebäude im Kanton Basel-Stadt als Funktion der Nutzungsart, lokale Energieerzeugung und Vernetzung)
- Abschätzung des technischen Potentials für lokale Energiebereitstellung [2]
- Technische Untersuchungen der Hallen 3 und 4 (Statik [3], natürliches Licht und Beleuchtung [5], Photovoltaik [2] und Dämmung [4])
- Erarbeitung von Lösungen für flexible Nutzungsarten der Hallen 3 und 4 unter Beachtung der vorgegebenen Randbedingungen [2]

3. Resultate

Die Vorgaben des Energiegesetzes [7] und des Energierichtplan des Kantons Basel-Stadt [6] sind klar: Die erneuerten Gebäude müssen sowohl bezüglich Dämmung wie auch der Verwendung von CO_2-freier Heizung - beispielsweise mit Wärmepumpen - umgerüstet werden. Ein lokaler Wärmeverbund ist zu prüfen.

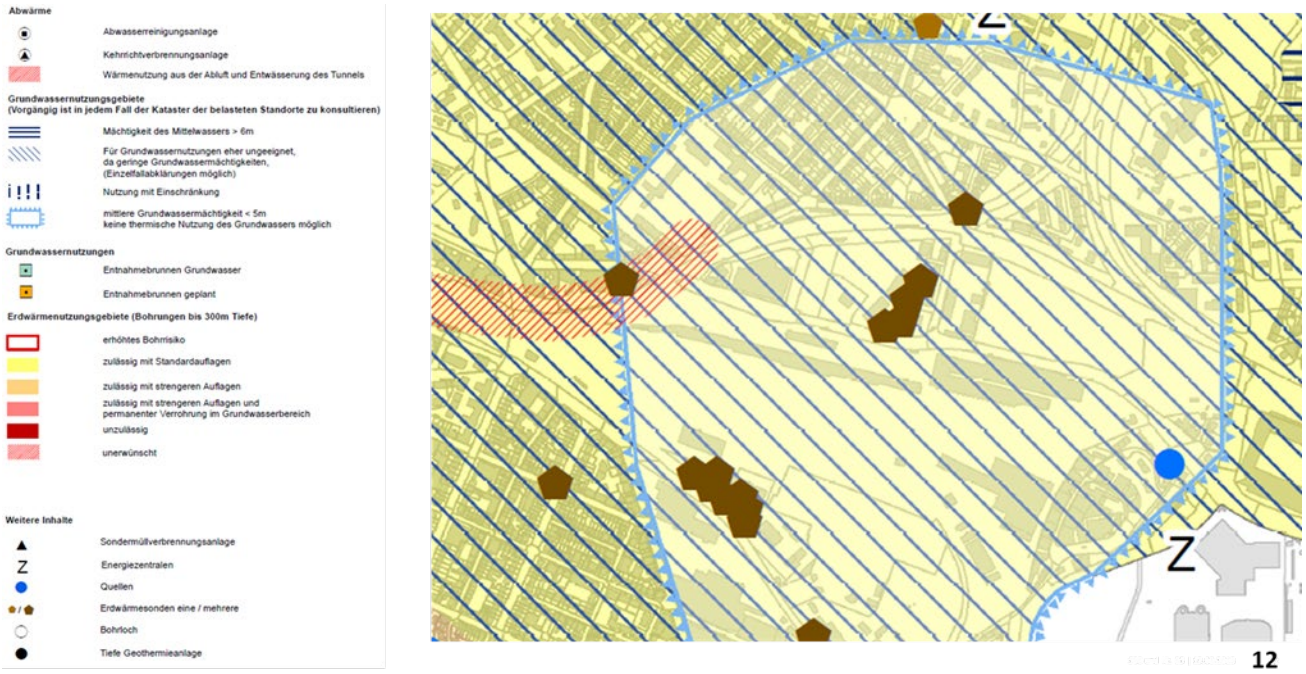


Abbildung 3 *Energierichtplan des Kantons Basel-Stadt [7]; Nutzung von Erdwärme erlaubt, Nutzung von Grundwasser nicht erlaubt*

Ebenfalls wird die lokale Bereitstellung von Energie geprüft. Hier bietet sich neben der Umweltwärme (Boden oder Luft) vor allen Dingen die Erzeugung von elektrischer Energie auf den

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Hallendächern an. Das Potential lässt sich einfach mit dem Tool sonnendach.ch abschätzen. In der Summe liesse sich auf den Dachflächen der Hallen 3, 4 und des Dienstgebäudes in etwa 1400 MWh/Jahr elektrischer Strom erzeugen. Dies entspricht dem Strombedarf von 300 Haushaltungen.

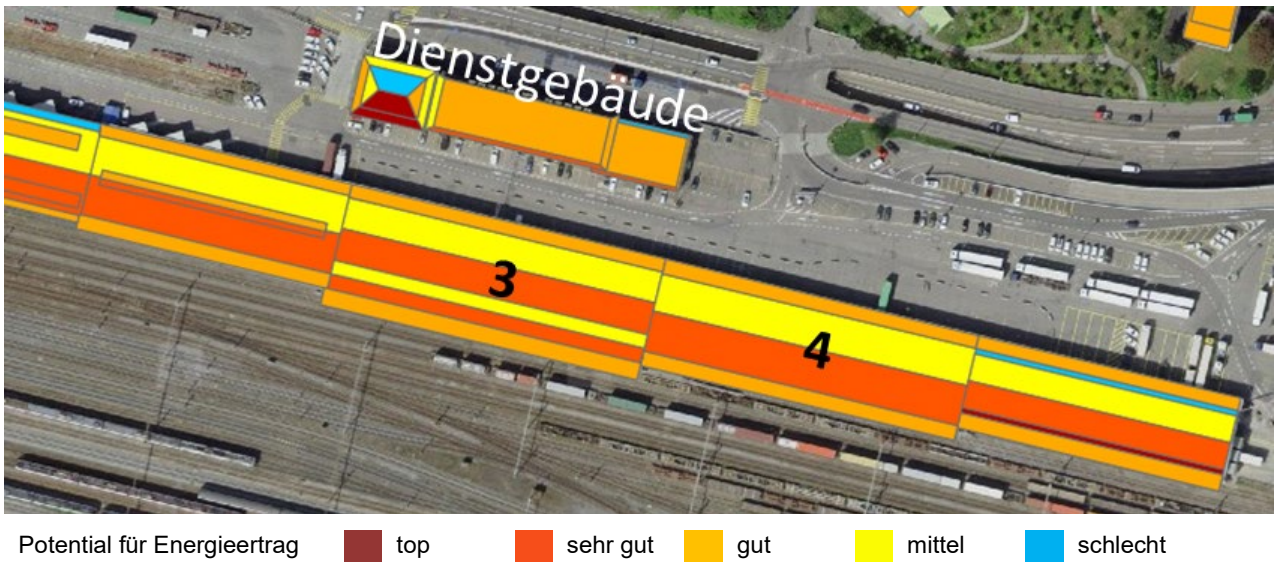


Abbildung 4 *Ausschnitt Halle 3,4 und Dienstgebäude nach sonnendach.ch*

Zwei weitere grosse Herausforderungen, eine technische und eine ästhetische, sind zu lösen:

- Wie transformieren wir ungedämmte, über 100jährige Logistikhallen in die Zukunft? Die Anforderungen sind eine effiziente, CO_2-arme Energieversorgung und neue Nutzungsarten, bei welchen die Ansprüche an das Innenraumklima anspruchsvoller sind.
- Wie setzen wir die notwendigen baulichen Massnahmen um, so dass auch das ästhetische Gesamtbild der Hallen weiterhin den ursprünglichen Charakter widerspiegelt?

Die technischen Analysen zeigen erfreulicherweise auf, dass die Statik der Hallen auch für eine grössere Belastung durch eine Dämmung und der Installation einer Photovoltaikanlage ausgelegt sind.

Die statische Berechnung wurde mit der Software AxisVM durchgeführt und hat folgende maximale Normalspannungen (S_{max}) und Ausnutzungsgrade (μ) ergeben:

	Hauptträger S_{max} [N/mm²]	μ [%]	Zugband S_{max} [N/mm²]	μ [%]	Hänger S_{max} [N/mm²]	μ [%]
Halle 3						
Bogen 20 m	53.94	24.52	62.31	28.32	10.66	4.85
Bogen 9 m	28.29	12.86	31.75	14.43	4.64	2.11
Längsträger (zwischen den Bogenträgern)	39.45	17.93			29.08	13.55
Halle 4 25 m	57.91	26.32	88.30	40.14	12.33	5.60

Abbildung 5 *Statische Berechnung der Dächer der Hallen 3 und 4 mit einer Dämmung von 20cm und Photovoltaik-Modulen [3]; liegt der Ausnutzungsgrad μ unter 100%, genügt die Stahlkonstruktion auch dieser grösseren Auflast auf dem Dach*

Die natürliche Belichtung durch das zentral angeordnete Lichtband in Form eines langen Glasdachs genügt den Ansprüchen neuer Nutzungsarten nicht. Die natürliche Belichtung ist über die Hallenfläche stark inhomogen, in den Randbereichen sehr schwach und im Bereich des Glasdachs sehr hell. Deshalb wird hier vorgeschlagen, das ganze Dach inklusive der Vordächer mit semitransparenter Photovoltaik auszurüsten. Hiermit können wir sowohl lokal Energie bereitstellen wie auch eine gleichmässigere, natürliche Belichtung der Hallen erreichen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

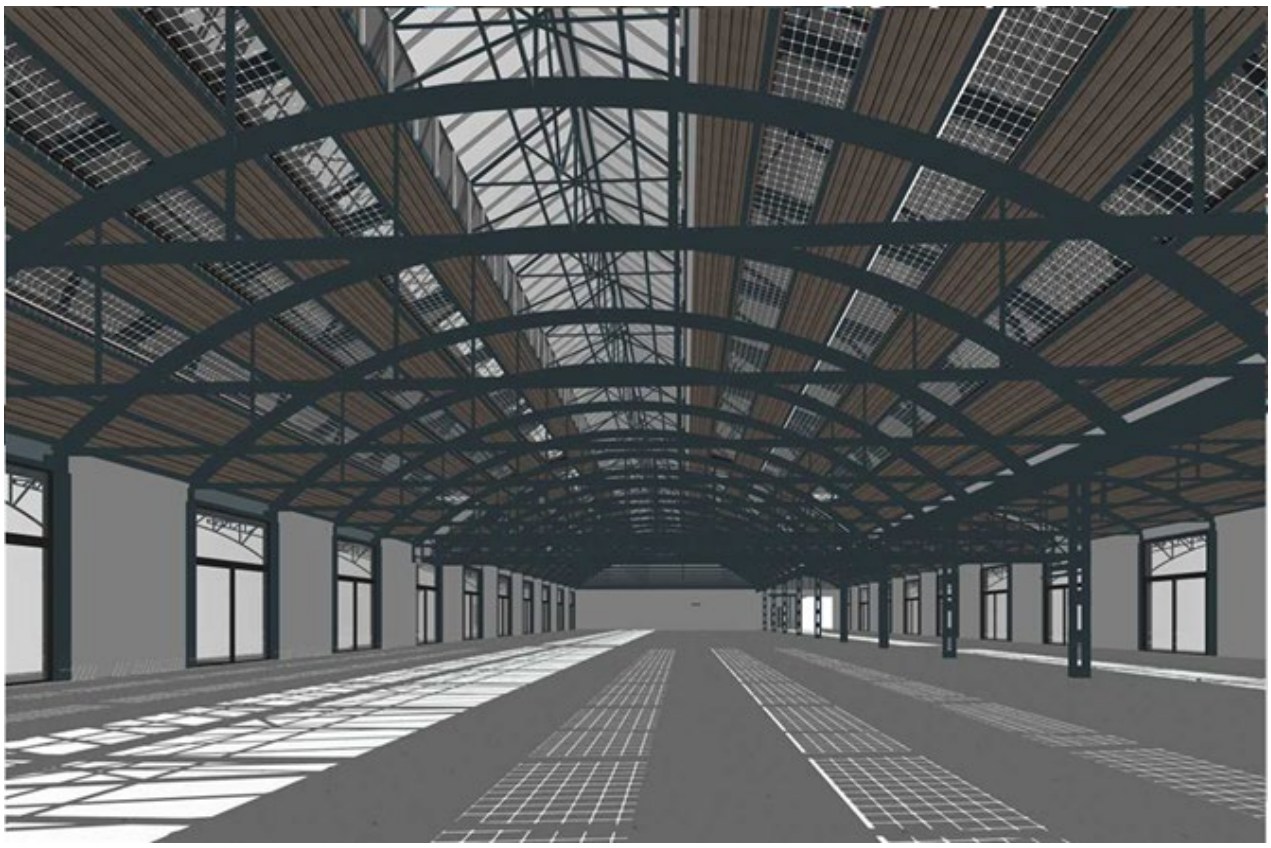


Abbildung 6 *3-D Visualisierung der Hallen 3 und 4 mit semitransparenten Photovoltaikmodulen und der natürlichen Belichtung der Hallen, nach [2]*

Die filigrane Tragstruktur der Hallen aus genieteten Stahlträgern soll optische auch nach der Umnutzung sichtbar sein. Deshalb wird die Dämmung der Hallen auf der Aussenseite vorgenommen und die Tragstruktur ist von Innen weiterhin sichtbar.

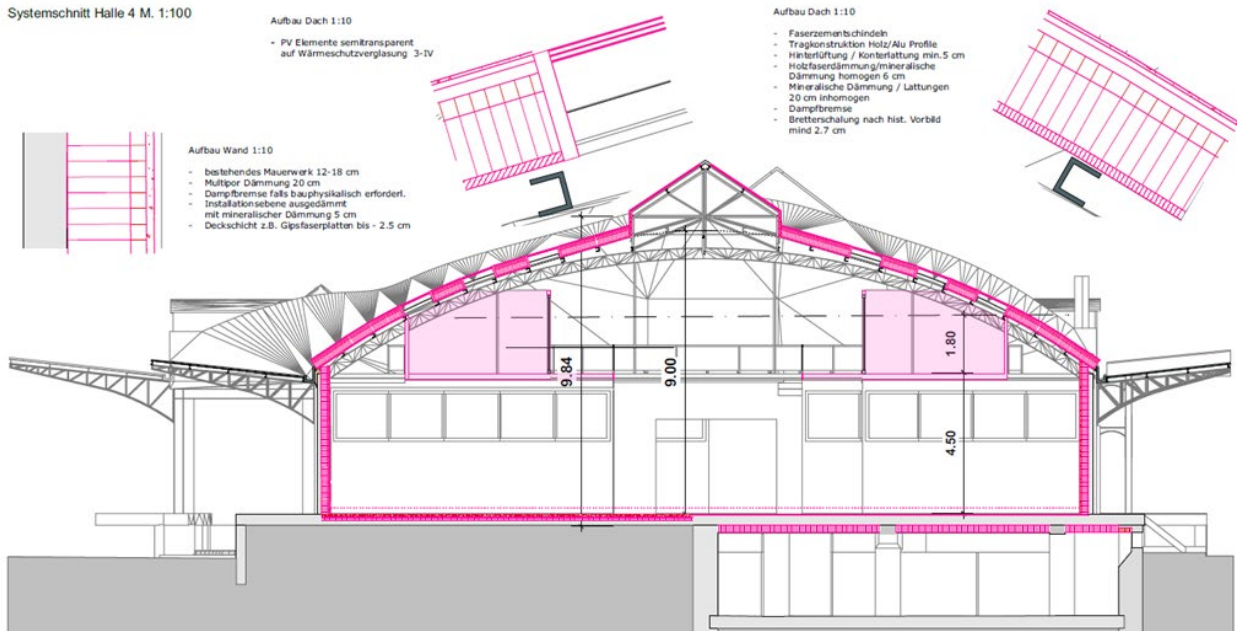


Abbildung 7 *Schnitt der Hallen 3 und 4 mit Dämmmassnahmen, welche die Tragstruktur weiterhin sichtbar machen, nach [2]*

Da heute noch nicht absehbar ist, welche Nutzungsarten schlussendlich in den Hallen geplant sind, wird eine minimale Erneuerung der Hallenwände und -dächer durch Dämmung und Einsatz von semitransparenter Photovoltaik vorgeschlagen. Für die eigentliche Nutzung in den Hallen sind

DOI 10.5281/zenodo.3900180

dann verschiebbare Container angedacht. Diese Container sind auch in zweistöckiger Ausführung möglich. Sie werden mit den entsprechenden technischen Ausrüstungen für den elektrischen Strom, für die Heizung, für die Kühlung und für die Luft vorbereitet.

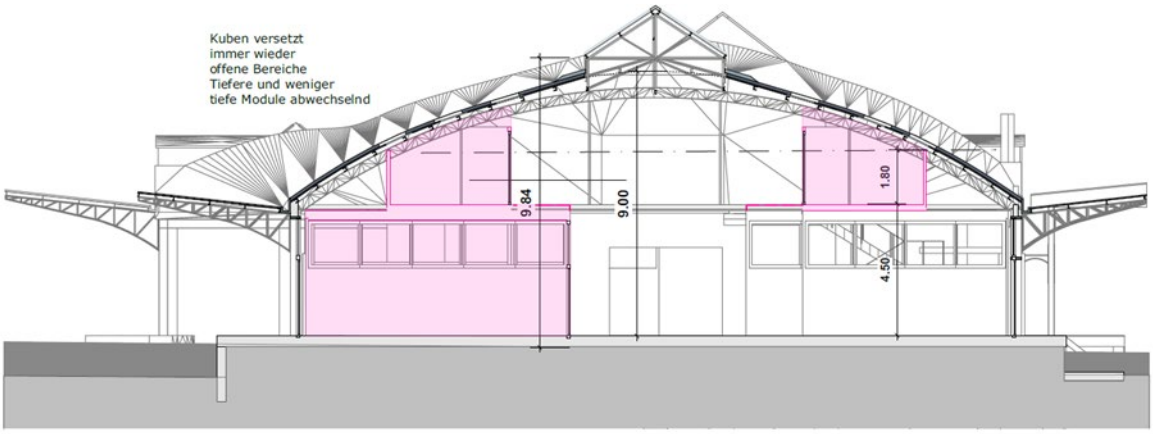


Abbildung 8 Schnitt der Halle 4 mit möglichen, zweistöckigen Containern, nach [2]

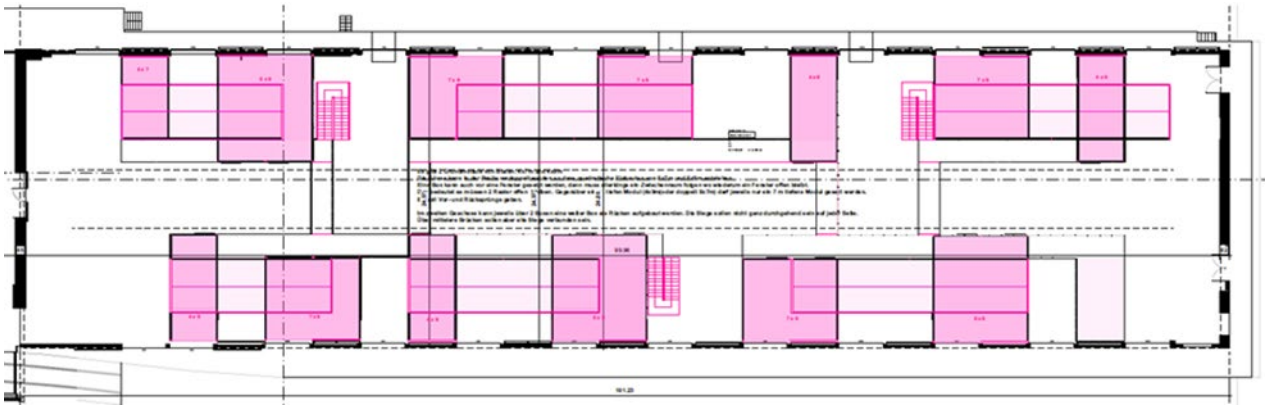


Abbildung 9 Grundriss der Halle 4 mit Container-Grundrissen und Treppenaufgänge auf zweite Etage, nach [2]

Abbildung 10 3-D Darstellung der Halle 4 mit zweistöckigen Containern, nach [2]

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abbildung 11 3-D Darstellung der Hallen 4 mit zweistöckigen Containern, Sicht von der Grundebene, nach [2]

4. Diskussion

Durch die Analyse und die anschliessende Erarbeitung von Lösungsvorschlägen konnte gezeigt werden, dass denkmalgeschützte Gebäude so transformiert werden können, dass diese der 2000W Gesellschaft näherkommen und gleichzeitig flexible und anpassbare Strukturen aufweisen, die eine spätere Umnutzung einfach möglich machen. Hierbei wird die Stahlkonstruktion als Grundstruktur beibehalten, die Hülle wird von aussen minimal gedämmt und die natürliche Belichtung verbessert. Die Integration einer Photovoltaikanlage sollte auch den denkmal-pflegerischen Vorgaben genügen. Im Innern wird mit verschiebbaren ein- oder zweistöckigen Containern gearbeitet, welche mit zusätzlicher Technik in Abhängigkeit der Nutzungsart ausgerüstet werden. Die Studie ist praxisnah und hat den Entwicklungsstand «vor Baueingabe». Der nächste logische Schritt ist deshalb, das Projekt für die Baueingabe aufzubereiten.

5. Ausblick

Das Studienobjekt hat gezeigt, dass sich verschiedene Vorschläge kurzfristig umsetzen lassen, andere mittelfristig während der Zwischennutzung des Areals und schlussendlich die langfristigen Vorschläge, welche erst ab 2024 zum Tragen kommen. Hier eine kleine Auswahl:

Kurzfristig:

- Installation einer PV-Anlage auf den Rampendächern mit zirka 976m^2 Fläche, dies ergibt eine Jahresproduktion von über 150 MWh
- Erstellen Energienachweis für die Hallen 3 und 4 für die Baueingabe

DOI 10.5281/zenodo.3900180

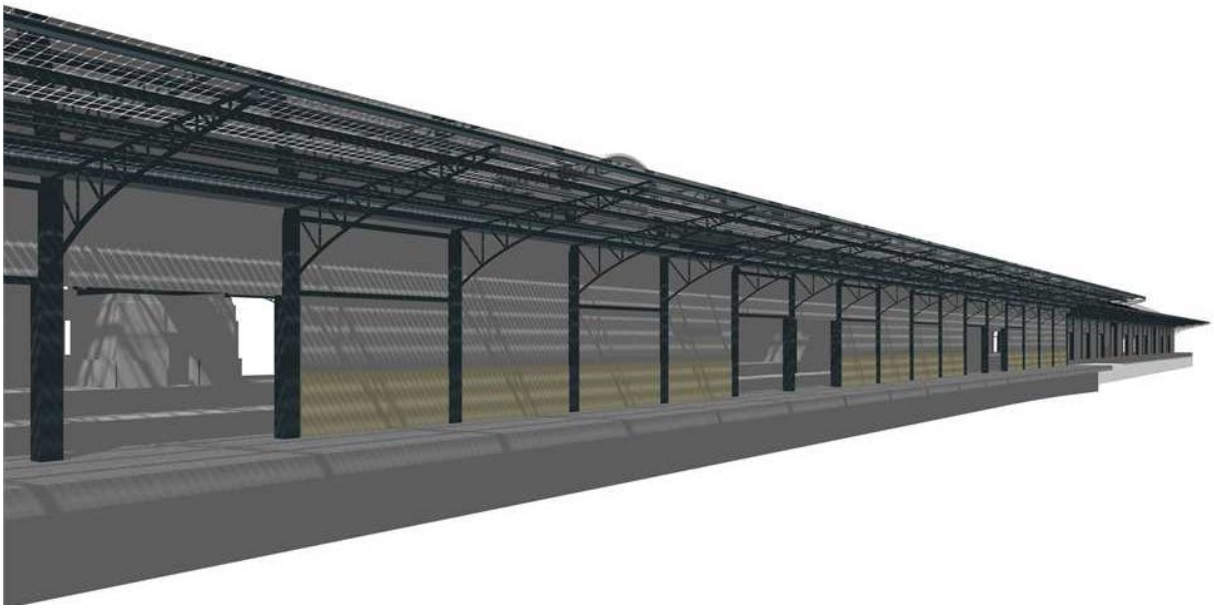


Abbildung 12 3D-Visualisierung der Hallen 3 und 4 mit semitransparenter Photovoltaik auf den Vordächern, nach [2]

Mittelfristig:

- Marktuntersuchung ob es bereits kommerziell erhältliche Container gibt, die die Vorgaben an die Nutzungsart und energetische Aspekte erfüllen
- Untersuchung ob ein Anergienetz auf dem Wolf-Areal Sinn macht
- Erarbeiten eines Versorgungs- und Entsorgungskonzepts der Hallen 3 und 4 (stofflich, energetisch und kommunikativ)
- Erarbeiten eines Verschattungskonzepts für den sommerlichen Wärmeschutz

Abbildung 13 3D-Visualisierung der Container in den Hallen 3 und 4; diese werden mit der entsprechenden Technik wie Stromversorgung, Heizung, Kühlung und Lüftung ausgerüstet, nach [2]

Langfristig

- Reale Umsetzung der Ideen im Wolf-Areal

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Anhang

Literatur/Referenzen

[1] Christ, E., Gantenbein, C. (November 2018). Entwicklungsplanung Wolf Basel Richtprojekt, 134 Seiten

[2] Bichsel J., Bringolf M. (2020), Wolf-Areal: Projekt retro-nova Ertüchtigen von Bestands-gebäuden durch smarte Energie- und Nutzungskonzepte, FHNW, Institut Energie am Bau

[3] Altwegg, S. (2019), Abschätzung der statischen Tragfähigkeit, Dach Hallen 3 und 4

[4] Bringolf, M. (2019), Analyse Gebäudehülle und Situation Hallen 3 und 4, Wolf Areal

[5] Weickgenannt, B. (2019), Tageslichtanalyse Wolf-Areal

[6] Kanton Basel-Stadt (16.11. 2016), Energiegesetz (EnG), 772.100

[7] Kanton Basel-Stadt (17.3. 2020), Kantonaler Teilrichtplan Energie

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Kostenoptimierte Auslegung von Erdsondenfeldern

Simon Büsser, Carsten Wemhöner, Lukas Rominger, Christoph Meier

IET Institut für Energietechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, http://www.iet.hsr.ch

Kontaktperson: Carsten Wemhöner, IET Institut für Energietechnik, carsten.wemhoener@ost.ch, http://www.iet.hsr.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Erdgekoppelte Wärmepumpen-Systeme bedingen höhere Investitionskosten im Vergleich zu Systemen mit Luft als Wärmequelle. In dicht bebauten Gebieten oder bei Sanierungen kann es auch problematisch sein, die benötigte Anzahl Erdsonden auf dem zur Verfügung stehenden Grundstück zu platzieren. Aus diesen Gründen wurde untersucht, mit Hilfe von Regeneration die Anzahl Sonden zu reduzieren und dabei die kostenoptimalste Auslegung zu finden. Dabei werden die Sonden sehr intensiv genutzt, so dass bereits nach wenigen Jahren die Temperaturen in den Sonden nahe am Auslegungskriterium von -3 °C / 0 °C nach SIA 384/6 zu liegen kommen, aber in 50 Jahren nicht unterschritten werden. Es wurde eine Simulationsstudie für ein Beispielsquartier mit 6 Mehrfamilienhäusern durchgeführt. Dabei konnte gezeigt werden, dass sich mit Regeneration die Anzahl Sonden deutlich reduzieren lässt. Auch die Gesamtkosten für Bau und Betrieb des Systems können je nach Situation stark gesenkt werden. Trotz der tieferen Quellentemperaturen kann die Gesamteffizienz gesteigert werden, weil teils das Trinkwarmwasser vorgewärmt werden kann.

Ground-coupled heat pump systems require higher investment costs compared to systems with outdoor air as heat source. In densely built-up districts or in case of renovations, it can also be problematic to place the required number of ground probes on the available space. For these reasons, investigations have been made to reduce the number of probes by using regeneration in order to find the most cost-optimal design. The probes are thereby used very intensively, so that only after a few years the temperatures in the probes are close to the design criterion of -3 °C / 0 °C according to SIA 384/6, but do not fall below this value within 50 years. A simulation study was carried out for an example district with 6 residential buildings. It is shown that the number of probes can be significantly reduced by regeneration. Depending on the situation, the total costs for construction and operation of the system can also be reduced. At the same time the overall efficiency can be increased despite the lower source temperatures in the probes, since the domestic hot water can be preheated.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Wärmepumpensysteme ermöglichen die CO_2-arme Beheizung von Gebäuden. Das Erdreich wird häufig als Wärmequelle genutzt. Die Vorteile von erdgekoppelten Wärmepumpensystemen im Vergleich zu den ebenfalls weit verbreiteten Luft-Wasser-Systemen sind die geringen Lärmemissionen, auch bei grossen Anlagen, und der effizientere Betrieb bei kälteren Witterungsbedingungen. Für erdgekoppelte Systeme sind jedoch höhere Anfangsinvestitionskosten erforderlich. Bei grossen Bauprojekten oder Sanierungen kann es unter Umständen zu Problemen bei der Anordnung der Erdsonden kommen. Aus Platzgründen müssen die Sonden unter Umständen in kompakten Feldern angeordnet werden, was zu einem starken Temperaturabfall im Erdreich führen kann.

Eine Möglichkeit, diesem Problem vorzubeugen, ist die Regeneration des Erdreichs mit Hilfe einer zweiten Wärmequelle. Dadurch kann der langfristige Temperaturabfall während des Einsatzes der Erdsonden über mehrere Jahrzehnte begrenzt werden. Darüber hinaus kann auch die Temperaturabsenkung während eines einzelnen Winters reduziert werden. Es wurde angenommen, dass sich mit Hilfe Regeneration Kostenvorteile ergeben würden. Zum einen, da die Anzahl der Erdsonden reduziert werden könnte, zum anderen, da ein Teil des Trinkwarmwassers je nach Regenerationsquelle direkt erwärmt werden kann und somit weniger elektrische Energie und weniger Quellenenergie für den Betrieb der Wärmepumpe benötigt wird. Diese Annahmen sollen am Beispiel der Regeneration mit Hilfe von Solarkollektoren überprüft werden.

In der Praxis besteht das Ziel einer solaren Regeneration in der Regel darin, die Temperatur des Erdreichs über das natürliche Niveau anzuheben, um einen effizienteren Betrieb der Wärmepumpe zu ermöglichen. Dies erfordert einen Wärmeeintrag in das Erdreich, der den Wärmeentzug in der Jahresbilanz übersteigt. Der Schwerpunkt liegt dabei eher auf der Energie- als auf der Kosteneffizienz.

Um das Potenzial einer konsequent kostenoptimierten Auslegung zu ermitteln, wurde eine Simulationsstudie durchgeführt. Als Fallstudie wird ein aus sechs Gebäuden bestehendes Wohnquartier mit einer beheizten Gesamtfläche von 16.800 m^2 verwendet. Der aktive Kühlbetrieb wurde für diese Anwendung nicht analysiert, da aktive Raumkühlung in der Schweiz in Wohngebäuden noch nicht üblich ist.

2. Vorgehen

Das Ziel der Simulationsstudie war es, die erforderliche Mindestanzahl der Erdsonden in Abhängigkeit der Kollektorfläche zu bestimmen. Darüber hinaus wurde der Strombedarf der Wärmepumpen und der Pumpen für den Quellen-Kreislauf ermittelt. Auf diese Weise konnte die Höhe der Investitions- und der Betriebskosten sowie der Verbrauch an elektrischer Energie ermittelt werden. Für alle Simulationsvarianten wurde dasselbe Modell verwendet. Variiert wurden einzig die Anzahl der Sonden, der Abstand zwischen den einzelnen Sonden und die Fläche der Kollektoren.

Das Simulationsmodell wurde mit Matlab/Simulink und der Carnot Toolbox [1] erstellt. Die Gebäude wurden nach den Zielwerten aus der dem SIA Merkblatt 2028 aufgebaut. Der Wärmebedarf für die Trinkwarmwassererwärmung (19.8 kWh/m^2/a) ist etwas geringer als der Wärmebedarf für die Raumheizung (21.2 kWh/m^2/a), Der Standort der Gebäude ist Zürich. Die Heizperiode dauert von Anfang Oktober bis Mitte Mai. Die Kollektoren sind mit einer Neigung von 30° nach Süden ausgerichtet. Jedes Gebäude verfügt über zwei Speicher. Ein Speicher dient zur Vorwärmung durch die Kollektoren, der zweite Speicher wird durch die Wärmepumpe versorgt. Um die Berechnungszeit zu verkürzen, wurde auf eine detaillierte Modellierung der Gebäude verzichtet. Stattdessen wurden im Voraus erstellte Lastprofile für die Nutzwärme verwendet.

Es wurden unverglaste, selektive Kollektoren verwendet. In der ersten Priorität heizen die Kollektoren das Trinkwarmwasser vor, in der zweiten Priorität liefern sie Regenerationswärme an die Erdsonden. Die Kollektoren wurden in Abhängigkeit der Geschossflächen auf den Dächern der sechs Gebäude verteilt.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Die Wärmequelle für die Wärmepumpen ist ein zentrales Erdsondenfeld mit einem bidirektionalen Niedertemperaturnetz mit einer kalten und einer warmen Verteilungsleitung, an die alle Wärmepumpen und Kollektoren angeschlossen sind. Jedes Gebäude verfügt über eine eigene Wärmepumpe. Der Temperaturunterschied zwischen dem Warm- und dem Kaltleiter beträgt 5 K.

Für die Erdsonden wird ein selbstentwickeltes Modell verwendet, das auf dem von Huber [2] entwickelten EWS-Modell für das Sondenrohr und den Nahbereich (3 m um die Erdsonde) basiert. Für die Randbedingungen wurde die Methode zur analytischen Berechnung der g-Funktionen nach Lamarche und Beauchamp [3] verwendet. Zusätzlich werden die Einflüsse des Sondenbetriebs für ein halbes Jahr im Abstand von sieben Tagen überlagert. Die Sonden haben in allen Fällen eine Länge von 200 m, die mittlere Bodenoberflächentemperatur beträgt 9 °C und der geothermische Gradient 0.03 K/m. Weitere Parameter der Hinterfüllung und des Untergrunds sind in Tabelle 1 aufgeführt. Die Erdsondenfelder haben immer eine quadratische Form.

Tabelle 1. Materialeigenschaften der Hinterfüllung und des Untergrunds

	Hinterfüllung	Untergrund
Thermische Leitfähigkeit [W/m/K]	0.81	2.4
Spezifische Wärmekapazität [J/kg/K]	3040	1000
Dichte [kg/m^3]	1180	2600

Die für unterschiedlich grosse Erdsondenfelder erforderliche Kollektorfläche wurde so festgelegt, dass der Untergrund nicht zu stark abkühlt. Auslegungskriterium war, dass die Temperatur des Kaltleiters gemäss der SIA 384/6:2010 [4] während den ersten 50 Betriebsjahren nicht unter -3 °C fallen darf.

Um die Konfigurationen aus energetischer Sicht zu beurteilen, wird der elektrische Verbrauch der Wärmepumpen und der Pumpen im Quellkreislauf bewertet. Dabei wurde das Kennfeld einer kommerziell erhältlichen, drehzahlgeregelten Wärmepumpe verwendet. Bei der Berechnung des elektrischen Verbrauchs der Umwälzpumpen wurde nur der Druckverlust im Erdsondenfeld gemäss dem Druckabfall-Berechnungstool von Huber et al. berücksichtigt [5]. Der Druckverlust der horizontalen Verbindungsleitungen wurde vernachlässigt. Die Rohre der Erdsonden haben einen Durchmesser von 32 mm. Der Wirkungsgrad der Umwälzpumpen beträgt 0.5.

Es wurden Konfigurationen der folgenden Kombinationen von Erdsondenfeldern und Sondenabständen untersucht:

- Erdsondenfelder: 3×3 / 4×4 / 5×5 / 6×6 / 7×7 / 8×8
- Abstand der Erdsonden: 6 m / 8 m / 10 m / 20 m

Es wurde jeweils versucht, die Kollektorfläche so zu wählen, dass die Mindesttemperatur im Kaltleiter möglichst nahe an -3 °C liegt. Die genauen Werte für die Kollektorfläche, den elektrischen Energieverbrauch, den Systemwirkungsgrad und den Regenerationsanteil wurden schliesslich interpoliert. Die folgenden Definitionen wurden verwendet:

- Elektrischer Energieverbrauch: Durchschnittlicher jährlicher Stromverbrauch von Wärmepumpen und Quellenpumpen über 50 Jahre
- Systemeffizienz: Quotient aus Wärmebedarf für Raumheizung und Warmwasserbereitung und Stromverbrauch
- Regenerationsanteil: Gesamter Kollektorertrag geteilt durch den gesamten Quellenenergiebedarf für Raumheizung und Trinkwarmwassererwärmung. Der Quellenenergiebedarf umfasst die Wärme, welche direkt für die Vorwärmung des Trinkwarmwassers durch die Kollektoren verwendet wurde und die Wärme, welche den Erdsonden für die Wärmepumpe entzogen wurde.

Zum Vergleich wurde für die verschiedenen Sondenabstände auch die Anzahl der Sonden ermittelt, die notwendig ist, um das Auslegungskriterium ohne Regeneration zu erreichen. Die Ergebnisse wurden ebenfalls interpoliert. Aus diesem Grund können sich für die benötigte Anzahl Sonden Resultate ergeben, die keine quadratische Anordnung zulassen.

Aus den interpolierten Werten für die Kollektorflächen und die Anzahl der Sonden werden die Systemkosten berechnet. Es wurden folgende, in der Schweiz übliche Werte angenommen:

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Elektrizität: 0.15 CHF/kWh
- Investitionskosten Erdsonden: 80 CHF/m
- Investitionskosten Kollektoren: 400 CHF/m^2 (inklusive Planung, Aufständerung, Verrohrung und Installation)

3. Resultate

Abbildung 1 zeigt die Werte für die minimale Temperatur des Kaltverteilungsrohres in den ersten 50 Betriebsjahren aller Simulationsvarianten. Der Bereich des links markierten Quadrats ist in der rechten Abbildung vergrössert.

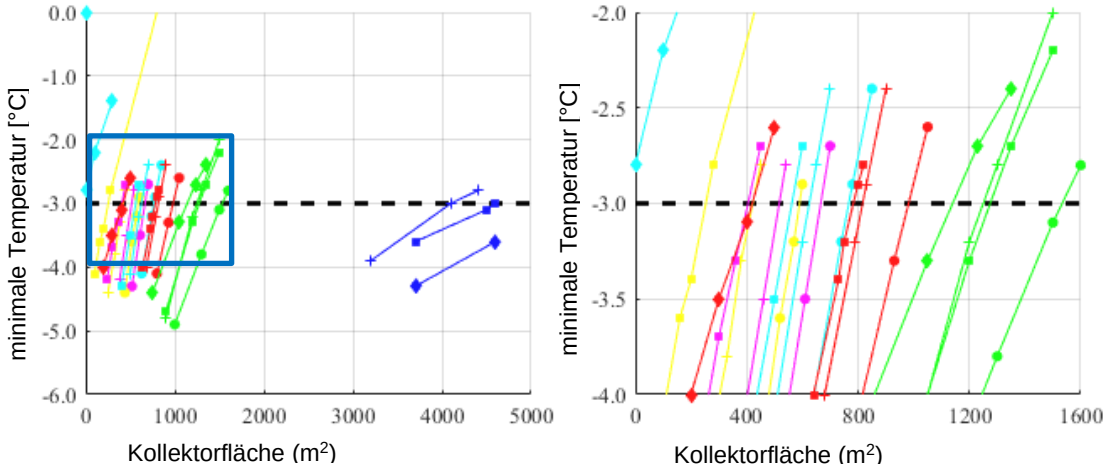


Abbildung 1. Minimale Temperatur des Kaltleiters in den ersten 50 Betriebsjahren. Erdsondenfelder: blau: 3×3, grün: 4×4, rot: 5×5, türkis: 6×6, violett: 7×7, gelb: 8×8 Sondenabstände: Punkte: 6 m, Kreuze: 8 m, Quadrate: 10 m, Rhomben: 20 m).

Abbildung 2 zeigt den Verlauf der Temperaturen des Warm- und des Kaltleiters mit und ohne Regeneration im Vergleich. Es ist zu erkennen, dass durch die Reduktion der Anzahl Erdsonden das System bereits nach einigen Betriebsjahren negative Temperaturen erreicht, die Temperaturen aber von da an fast konstant bleiben. Das nicht regenerierte System kommt auch nach 50 Jahren nicht annähernd in einen stationären Zustand. Der Unterschied zwischen der maximalen und der minimalen Temperatur ist im regenerierten Fall wegen der geringeren nutzbaren Wärmekapazität des Bodens im Vergleich zum grösseren, nicht regenerierten Feld deutlich höher.

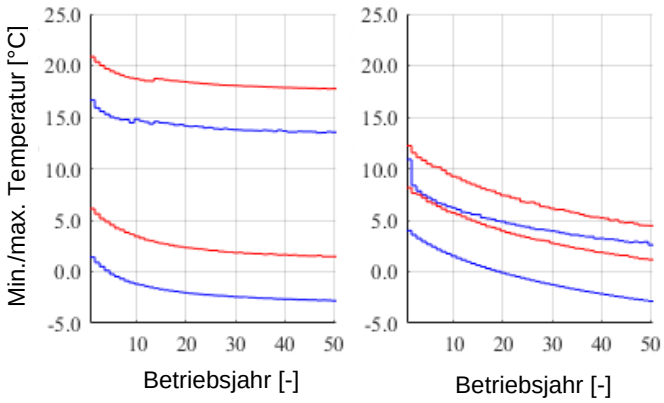


Abbildung 2. Verlauf der minimalen und der maximalen Temperaturen des Warm- (rot) und des Kaltleiters (blau) pro Jahr (links: 5×5-Erdsondenfeld mit 10 m Sondenabstand und 820 m^2 Kollektorfläche) (rechts: 10×10-Erdsondenfeld mit 10 m Sondenabstand ohne Regeneration)

DOI 10.5281/zenodo.3900180

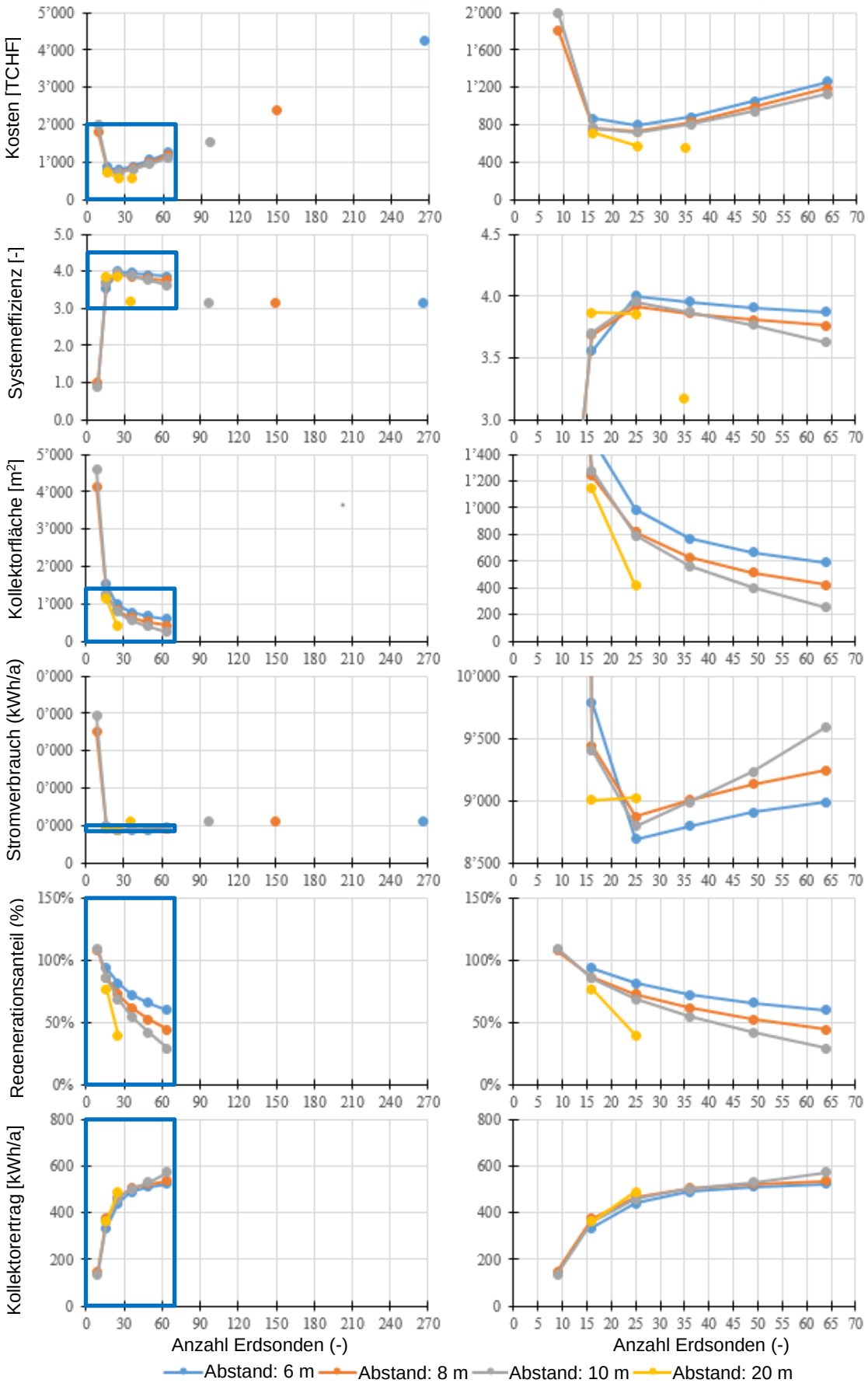


Abbildung 3. Kosten, System Effizienz, Kollektorfläche, Stromverbrauch und Regenerationsanteil in Abhängigkeit des Erdsondenfeldes

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abbildung 3 zeigt die interpolierten Werte für die kalkulierten Kosten, den Systemwirkungsgrad, die Kollektorfläche, den Stromverbrauch und den Regenerationsanteil für die verschiedenen Systemkonfigurationen. Die einzelnen Punkte stellen die Fälle ohne Regeneration dar. Der markierte Bereich in der linken Abbildung ist in der rechten Abbildung vergrössert dargestellt.
Die Ergebnisse zeigen, dass mit Hilfe von Regeneration nicht nur die Gesamtkosten gesenkt, sondern auch die Effizienz der Wärmeversorgung verbessert werden kann. Darüber hinaus bestehen ausserdem gute Voraussetzungen für Freecooling über die Erdsonden.
Der Abstand zwischen den Sonden hat einen grossen Einfluss auf das Reduktionspotential der Kosten. Je kleiner der Abstand zwischen den Sonden ist, desto höher ist das Einsparpotential gegenüber dem Fall ohne Regeneration. Im Falle eines Sondenabstands von 10 m wird das Kostenoptimum mit ca. 16-25 Sonden erreicht. Im Vergleich zum Fall ohne Regeneration mit 97 Sonden bedeutet dies eine Reduzierung der Gesamtsondenlänge um 74-84% und der Kosten um ca. 42%. Dies kann bei Sanierungen von Vorteil sein, wenn der Platz begrenzt ist. Aber auch bei Neubauten kann es vorteilhaft sein. Indem der Bedarf an Erdsonden mit Hilfe der Regeneration reduziert wird, kann der Abstand zwischen den Erdsonden möglicherweise vergrössert werden. Dies könnte eine weitere Reduzierung der Anzahl der Erdsonden ermöglichen. Die niedrigsten Gesamtkosten werden für den grössten Abstand von 20 m erreicht.

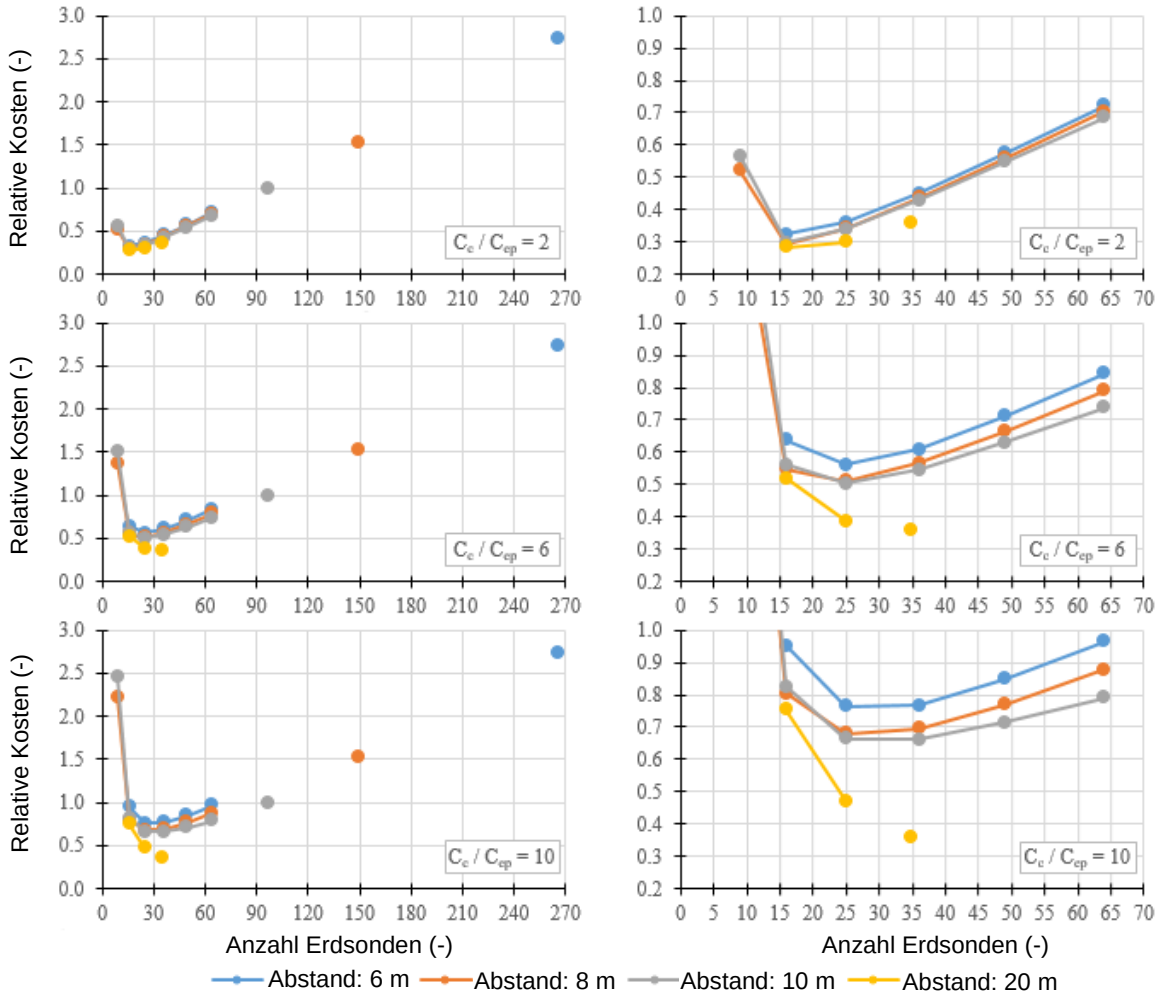


Abbildung 4. Relative Kosten für verschiedene Verhältnisse der spezifischen Kosten pro Quadratmeter Kollektorfläche (C_c) und pro Meter Erdsondelänge (C_{ep}) im Vergleich zu den Gesamtkosten einer Konfiguration mit einem 5×5-Erdsondenfeld mit Sondenabstand 10 m.

Die Systemeffizienz wird erhöht, obwohl die Temperaturen im Kaltleiter im Winter bereits nach wenigen Jahren negative Werte erreichen. Das liegt zum einen an der teilweise direkten Trinkwarmwassererwärmung durch die Kollektoren, zum anderen an den zeitweise hohen Quellentemperaturen für die Wärmepumpen. Abbildung 2 links zeigt den Fall mit einem Erdsondenfeld 5×5 und einem Sondenabstand von 10 m und einer Kollektorfläche von 820 m^2, was nahe am Kostenoptimum liegt.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abbildung 2 rechts zeigt den Fall ohne Regeneration mit 100 Sonden, die in einem Abstand 10 m angeordnet sind, was der Mindestanzahl von Sonden ohne Regeneration entspricht.
Aufgrund der geringeren Anzahl von Sonden sind die Temperaturen nur während der Heizperiode niedriger. In den übrigen Jahreszeiten kann das Brauchwasser sehr effizient mit höheren Quellentemperaturen erzeugt werden. Im beschriebenen Fall beträgt der Anteil des von den Kollektoren erzeugten Brauchwassers 49%. Somit ist insbesondere in grösseren Neubauten, bei denen der Brauchwasseranteil die gleiche Energiemenge erreicht oder sogar höher ist als der Raumwärmebedarf eine Effizienzsteigerung zu erwarten.
Nur bei kleinen Feldern hat der Energieverbrauch der Pumpen einen signifikanten Einfluss auf den Stromverbrauch. Bei den 3×3 Feldern kann er bis zu 80% erreichen. Bei den 4×4-Feldern beträgt er 6-25% und bei den 5×5-Feldern wird er auf weniger als 5% reduziert. Der höhere Strombedarf den kleinen Feldern ist auf den höheren Rohrleitungswiderstand zurückzuführen, da der Massenstrom gleichbleibt wie bei grösseren Feldern. Zusätzlich muss aufgrund der grösseren Kollektorfläche ein höherer Kollektorertrag in den Untergrund geleitet werden. Dies ist auch der Grund, warum bei den kleinen Feldern die Systemeffizienz deutlich reduziert wird, da der Stromverbrauch für das Pumpen der Sole sehr gross wird. Aufgrund der grossen Kollektorflächen bei kleinen Feldern steigen auch die Gesamtkosten überproportional an. Diese Systemauslegungen sind daher weder unter Energie- noch unter Kostengesichtspunkten sinnvoll und werden bei der Bewertung der Ergebnisse künftig nicht mehr berücksichtigt.
Die Kosten für die Erdsonden und die Kollektoren können je nach Region und Systemgrösse erheblich variieren. Daher wurden in Abbildung 4 die relativen Kosten in Abhängigkeit des Verhältnisses des Preises pro Quadratmeter Kollektorfläche (C_c) zum Preis pro Meter Erdsonde (C_{ep}) berechnet. Der Strompreis wurde in allen Fällen auf 0.00 CHF/kWh festgelegt. Der Einfluss des Strompreises im Bereich von 0.00 CHF/kWh – 0.20 CHF/kWh auf die Gesamtkosten beträgt in allen Fällen weniger als 0.5% und ist daher vernachlässigbar. Als Basis wurden die Kosten für den Fall mit einem 5×5-Erdsondenfeld mit 10 m Sondenabstand zugrunde gelegt. In Abbildung 3 beträgt das Verhältnis C_c / C_{ep} = 5.
Es ist zu erkennen, dass sich die Ergebnisse auch bei grossen und kleinen Verhältnissen C_c/C_{ep} nicht grundlegend ändern. Je billiger aber die Erdwärmesonden sind, desto weniger vorteilhaft ist eine Substitution durch Kollektoren.

4. Diskussion / Ausblick

Die Ergebnisse der Untersuchungen zeigen, dass eine kleinere Auslegung des Erdsondenfeldes mit Hilfe von Regeneration zu einer Kosten- und Effizienzsteigerung führen kann. Die Effizienzsteigerung kann auf die teilweise direkte Erzeugung des Trinkwarmwassers durch das Regenerationssystem, in diesem Fall die selektiven, unverglasten Kollektoren, zurückgeführt werden. Die aktuellen Untersuchungen spiegeln jedoch nur einen bestimmten Wetterdatensatz, eine bestimmte Lastsituation und Systemkonfiguration wider. Daher sind weitere Untersuchungen notwendig, auch z.B. hinsichtlich längerer Kälteperioden. Aufgrund der geringeren Anzahl von Erdsonden im Vergleich zu einer konventionellen Konfiguration ohne Regeneration ist das System anfälliger für Kälteperioden. Während mehrtägiger Kälteperioden kann sich der Bereich um die Sonden erheblich abkühlen. Aufgrund der geringeren Anzahl von Sonden ist die verfügbare Wärme um die Sonden herum geringer, was zu einer stärkeren Kühlung führt.

Bei den betrachteten Gebäuden steigt die Systemeffizienz mit Hilfe der Regeneration, insbesondere bei begrenztem Platz für die Erdsonden. Für den betrachteten Fall liegt der jährliche Warmwasserbedarf jedoch im gleichen Bereich wie der Energiebedarf für die Raumheizung, so dass der Sommerbetrieb ausgeprägter ist. Daher sollte bei unterschiedlichen Gebäudelasten auch die Auswirkung auf die Systemleistung berücksichtigt werden. Da das minimale Temperaturniveau im Winter für die betrachteten regenerierten Fälle niedriger ist als im Referenzfall ohne Regeneration, siehe Vergleich in Abb. 2, könnte die Systemeffizienz für bestimmte Zeiten gegenüber dem Referenzfall abnehmen.

Zudem wird für die Regeneration mit unverglasten Sonnenkollektoren eine grosse Kollektorfläche benötigt. Der Einfluss alternativer Wärmequellen für die Regeneration, wie z.B. Aussenluft, Abwasser oder Freecooling der angeschlossenen Gebäude, sollte ebenfalls eingehender untersucht werden.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

In diesem Zusammenhang ist auch die geringe Systemeffizienz bei nur wenigen Erdsonden näher zu analysieren, die jedoch nach der vorliegenden Bewertung aufgrund eines sehr grossen Regenerationsbedarfs nicht kosteneffizient ist.

Literatur/Referenzen

[1] CARNOT-Toolbox 6.1 für Matlab-Simulink. 2018. Solar Institute Juelich, FH Aachen

[2] Huber A, Schuler O. Berechnungsmodul für Erdwärmesonden. Forschungsprogramm Umgebungs- und Abwärme, Wärmekraftkopplung, Bundesamt für Energie Bern. 1997.

[3] Lamarche L, Beauchamp B. A new contribution to the finite line-source model for geothermal boreholes. Ecole de Technologie Supérieure. 2006.

[4] SIA 384/6:2010 Erdwärmesonden. Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein Zürich. 2010

[5] Huber A, Ochs M. Hydraulische Auslegung von Erdwärmesondenkreisläufen mit der Software„EWSDruck“ vers. 2.0. Bundesamt für Energie Bern. 2007.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Method for the cost evaluation of BIPV facades and multilevel cost analysis of six Swiss case studies.

Paolo Corti, Andreas Büsser, Pierluigi Bonomo, Karl Viridén, Francesco Frontini.
Contact person: Corti, Paolo, SUPSI-ISAAC, Campus Trevano, CH 6952, Canobbio, Switzerland, paolo.corti@supsi.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

In Switzerland, over the last few years, the integration of photovoltaic systems in the vertical envelope of buildings has been largely implemented, by representing a very positive trend towards the transition to energy positive buildings. However, the multiplication of energy efficient buildings didn't match with a similar trend in the BIPV market which continues to occupy a niche of both PV and building claddings. Despite many years of experimentation, one of the missing aspect in making solar constructions mainstream is that architects, installers and experts still lack the basis for assessing the economic viability of BIPV facades according to a reliable and harmonized approach.

The hybrid and multidisciplinary sector of BIPV still often tied to the traditional PV approach, in the absence of consolidated references and studies on cost effectiveness and competitiveness according to a construction perspective, discourages many building investors from realizing a solar façade.

The aim of this study is to present a method developed for the cost comparison of BIPV facades that permits to transparently identify the details of the end user costs, as built in real cases, including the cost of planning, materials, logistics, permits and labour. The method has been validated through six BIPV façades in real Swiss case studies realized in the recent years. The project-based cost analysis of the construction details, by involving the real players such as planners and industry, permitted to get accurate datasets and results.

In der Schweiz wurde in den letzten Jahren die Integration von Photovoltaikanlagen (BIPV) in die vertikale Gebäudehülle realisiert. Der BIPV-Markt erreichte jedoch nicht die prognostizierte Umsetzung und besetzt weiterhin eine Nische in der Anwendung als Fassadenbekleidung. Meist fehlen den Architekten, Fachplanern und Ausführenden die Grundlage, um die Wirtschaftlichkeit von BIPV-Fassaden zuverlässig zu beurteilen.

Der Hybridsektor von BIPV, der immer noch häufig mit dem traditionellen PV-Ansatz verbunden ist, hält viele Bauinvestoren und Planer von der Realisierung einer Solarfassade ab.

Ziel dieser Studie ist es, eine Methode für den Kostenvergleich von BIPV-Fassaden zu entwickeln mit der die Details der Endnutzerkosten von Solarfassaden, wie sie in realen Fällen erstellt wurden, einschließlich der Kosten für Planung, Material, Logistik, Genehmigungen und Arbeit, transparent identifiziert werden können. Die Methode wurde geprüft, indem die BIPV-Fassaden von sechs Schweizer Fallstudien analysiert wurden, welche in den letzten Jahren erstellt worden sind. Mit der projektbasierten Analyse der Konstruktions- und den Kostendetails, mit Einbeziehung von Endbenutzern, Planern und der Industrie, ermöglichte es genaue Datensätze und Ergebnisse zu erhalten.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage – Contexte – Scope

The building integrated photovoltaic systems (BIPV) offer a huge potential to exploit available surfaces in the built environment for a decentralized renewable energy production, as well as a key-opportunity for a market development and the establishment of a competitive solar value chain. The progress of the solar industry made available a wide range of multifunctional products for the building facades. However, the BIPV market didn't reach relevant results and continues to occupy a niche of both PV and building claddings. Architects, installers and experts of the building sector mainly lack the basis for assessing the economic viability of BIPV facades in a reliable way in order to clearly identify key performance indexes and sensitivity aspects of competitiveness. Several stakeholders have to be coordinated and clarified in such a multidisciplinary field and the complexity of the process risks to further increase the final construction costs affecting competitiveness. The cost assessment approaches coming from the traditional PV sector, often still tied to the BIPV, discourages many building investors and planners from realizing a solar facade. As a result, since the key-values of BIPV are not put into light in economic terms, the few stakeholders involved often include a "fear surcharge" for the costs, which frequently leads to compromise the decision making process in a negative way.

Moreover, under the value of cost on m^2, still many details are hidden: the aim of this study is to develop a method for the cost comparison of BIPV facades that permits to transparently identify the details of the end user costs of solar façades, as built in real cases, including the cost of planning, materials, logistic, permits and labour. The method has been validated by analysing the BIPV façades of six Swiss case studies, experimented as pilot buildings in the recent years. The project-based analysis of the construction and cost details, the involvement of end users, planners and the industry permitted to get accurate datasets and results.

The results lay the foundation for identifying some cost reduction strategies regarding products and processes along the value chain, enabling a more aware implementation of zero emission buildings and removing some preventive barriers. Moreover, this method is scalable on the level of different technological systems (e.g. roof, curtain wall, etc.) since it's pretty based on a construction approach. Results also highlight some economic trends during the years, the key drivers that influenced the cost change, both on technological and market level. Further replicability of such analysis will allow monitoring next cases and overcome the economic obstacles for a more affordable BIPV exploitation a gradual shift from pilot cases to ordinary affordable applications.

This study, developed by SUPSI with the architecture office Viridén+Partners AG and the construction company Ernst Schweizer AG, is part of the Pilot and Demonstration project "BIPV-Fassaden Benchmark" supported by the Swiss Federal Office of Energy (BFE).

2. Vorgehen – Méthode – Methods

The basis of the method for evaluating the cost-competitiveness of a BIPV solution is definitely based on a cost breakdown approach, by relating the individual parts of the building envelope construction with the related cost details. The facade of six BIPV case studies has been broken up according to such a top-down and multi-level approach and a specific cost has been assigned.

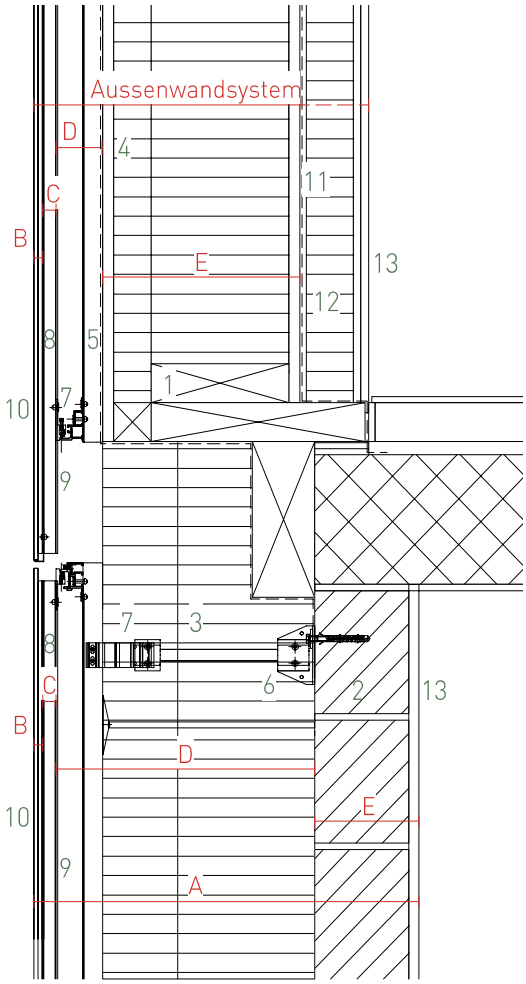
As a result of a multidisciplinary discussion based on the combined experience of architects, producers, installers and researchers, the most significant and influent stages of the construction process related to cost, have been identified by highlighting the following steps:

- BIPV building process (1-3): it represents the most relevant stages of a BIPV building process. It is subdivided in planning, manufacture/construction and in use/maintenance.
- Main cost group (A-L): it represents a subdivision of each BIPV building process. The groups B-E are represented into the schema of the Figure 1, that shows two typologies of standard building envelopes (up: lightweight construction, down: massive construction)
- Sub-cost group (AA, AB…HF): it represents, if necessary, a specification of each main cost group (e.g. cladding active vs cladding non-active)

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Specification (BA1, BA2…LA3): it represents a subdivision of the sub-cost group according to material, logistic and assembly. If necessary each item of this group could be further subdivided in more detailed items (e.g. cladding active with crystalline cells vs cladding active with thin film cells, etc.)

Figure 1 shows the external wall layering and the building skin construction breakdown.



Cost group
B Cladding (BA active / BB non-active)
C Suspension system
D Substructure system
E Load-bearing system

Building skin layers
1 Load bearing system
2 Load bearing wall
3 Thermal insulation
4 Protective layer
5 Wind-tight layer
6 Anchor
7 Substructure
8 Backrail
9 Air gap
10 BIPV cladding
11 Moisture control layer
12 Interior panelling
13 Interior plaster

Figure 1 Schema of the BIPV façade: lightweight construction (above) and massive construction (below)

A specific cost has been assigned to each level, in particular a cost per reference surface (CHF/m2) and a total cost (CHF). For the “main cost group” A-B-C-D-E-F-G-I-J, as reported in Tab. 1, the reference surface is identified as the sum of active and non-active cladding surface since it is generally referred to the analysed building as a whole. For the “main cost group” H-K-L the reference surface considered is only focused on the active cladding part object of investigation. Some “sub-cost group” or “specification” are related to the non-active surface (e.g. cladding non-active) or to the active surface (e.g. cladding active, electrical planner DC side, maintenance planning) by definition.

An example of the technical data collection is shown in the Annex 1, by reporting:

- Building details: including photos and information about the manufacturers of the building.
- BIPV specification: PV and not PV surface, energy production, nominal power yield, self-consumption, energy demand, etc. An explanation of these terms is included.
- Technical detail: vertical section of the building skin envelope.
- Specific description: detailed definition of the element used, including the cladding typology and manufacturer, suspension system typology, kind of inverter and related power, etc.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

The multilevel breakdown of this method (Tab. 1) permits to examine projects according with a different level of accuracy of the data collected. Indeed, the analysis could be also validated only covering one of the three stages: BIPV building process, element (cost group) or sub-element group.

BIPV building process	Main cost group	Sub-cost group	Specification
1 Planning	A Planning effort	AA Architecture	
		AB Facade planner	
		AC Work operation (AVOR) – façade	
		AD Structural engineer	
		AE Electrical planner DC side	
		AF Construction site planning	
		AG Safety planning	
		AH Quality control	
		AI Maintenance planning	
2 Manufacture and construction	B Cladding	BA Cladding active	BA1 Material[1]
			BA2 Logistic[1]
			BA3 Assembly[1]
		BB Cladding non-active	
	C Suspension system		
	D Substructure system	DA Substructure with insulation, aluminium	
		DB Substructure without insulation, aluminium	
		DC Substructure with insulation, thermal bridge free	
	E Load-bearing system	EA Load-bearing system without insulation layer	
		EB Load-bearing system with insulation layer	
		EC Load-bearing system for parapets	
	F Frame element		
	G End parts		
	H Electric installation	HA Inverter	
		HB Power electronics (optimizers, microinverter, etc)	
		HC Cabling AC side	
		HD Cabling DC side	
		HE Batteries	
		HF Monitoring system	
	I Construction equipment		
	J Other		
	K Monitoring		
3 In use maintenance	L Maintenance		

Tab. 1 BIPV cost breakdown. [1]This subdivision is similar for each element of the "cost group specification" (or "cost group" if the "cost group specification" is missing) included within the BIPV building process "Manufacturer and construction".

3. Case studies

Six Swiss BIPV case studies realized during the last years have been identified: five multifamily houses and one administrative building. The vertical BIPV envelope was realized between 2012 and 2019 in Switzerland. The Figure 2, Figure 3, Figure 4, Figure 5, Figure 6 and Figure 7 show the case studies, the year of construction of the BIPV façade and the building typology.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Figure 2 MFH Alleestrasse 44, Romanshorn, 2012. Viridèn+Partner

Figure 3 Administrative Flumroc, Flums, 2014. Viriden+Partner

Figure 4 MFH Hofwiesen/Rothstrasse, Zürich, 2016. Viridèn+Partner

Figure 5 MFH deltaROSSO, Vacallo, 2017. DeltaZeroArchitects

Figure 6 MFH SonnenparkPLUS, Wetzikon, 2018. Arento ag

Figure 7 MFH Seewadelstrasse 9, Affoltern a.A., 2019. Viridèn+Partner

4. Resultate – Résultats – Results

This chapter shows the outcome of the cost breakdown method applied on the cases and outlines some strategies for BIPV cost optimization. The results are divided in sections in which different groups of elements are analyzed and the different BIPV case studies, technologies and working approaches are compared. The sections are: general overview, cladding and electrical installation.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

General overview

The Figure 8 and the Figure 9 show the average cost breakdown of the case studies analyzed. This cost analysis includes material, logistics and assembling costs. The level of accuracy of the data permits to obtain a detailed overview of the cost parameters and lays the foundations for a cost optimization of the whole process. The photovoltaic cladding (B) covers about 26% of the whole building skin costs breakdown with an average absolute cost of about 400CHF/m2. It represents the parameter that most affects the cost of the building skin system. This value changes on the base of the BIPV technology (including glass treatments/effects, colors, customization, etc.), the level of maturity of the technology (if already market implemented or specifically developed for the project) and some project-related parameters that will be discussed in the following sections. Load-bearing (15%) and substructure (14%) parts account together for about 29% of the final user investment costs. The load-bearing solution cost (E) is higher for the lightweight solutions because the thermal insulation cost is included (Seewadelstrasse, SonnenparkPLUS and partially, Hofwiesenstrasse), about 320-390 CHF/m2, while the substructure system cost (D) is higher for massive solutions because the thermal insulation cost is included (Alleestrasse, Flumroc, DeltaROSSO and, partially, Hofwiesenstrasse), in the range of about 200-380 CHF/m2. The planning expenditure (A) for a BIPV façade is about the 11%. It includes, within this analysis, the architectural planning (4%), the façade planning (3%), the work operation (3%) and the electrical planning (1%). For more complex facades such as Alleestrasse, Seewadelstrasse and SonnenparkPLUS, the costs are about 200 CHF/m2. The planning expenditure for the BIPV façade Hofwiesenstrasse, equally complex, is about 140 CHF/m2, considering the large BIPV surface. With the case studies Flumroc (140 CHF/m2) and DeltaROSSO (45 CHF/m2) the planning effort is lower due to the uniform PV size and facade area. The electrical installation (H) covers about the 8% of the whole building skin costs breakdown and about 100 CHF/m2). The monitoring system (K) and the maintenance (L) are irrelevant costs for the analysed cases (<1%). The Figure 9 shows the cost breakdown analysis of the “cost group” elements of each case study. The case studies in Figure 8 and Figure 9 are organized by year of installation of the BIPV system, from 2012 (Allestrasse) to 2019 (Seewadelstrasse).

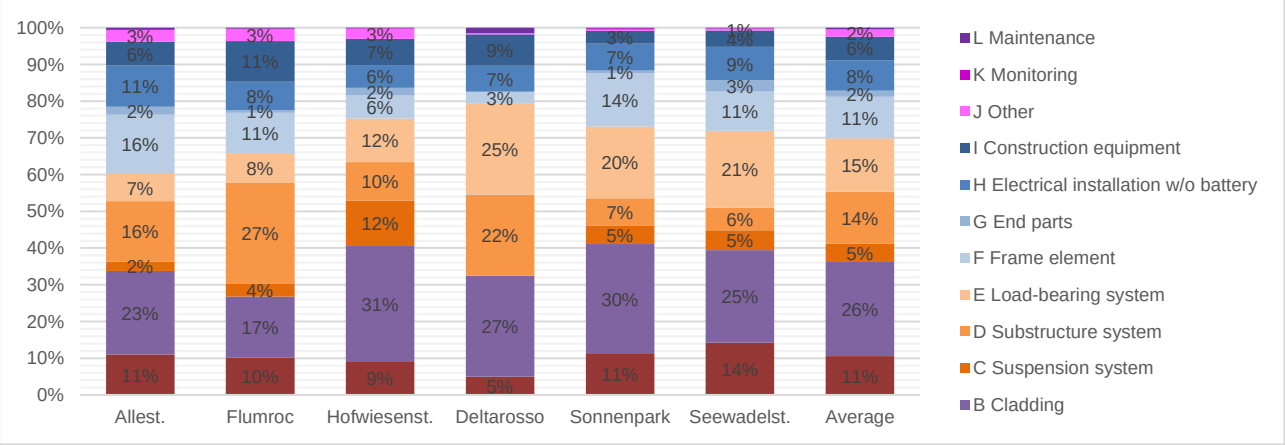


Figure 8 Cost breakdown of the BIPV facade elements in percentage

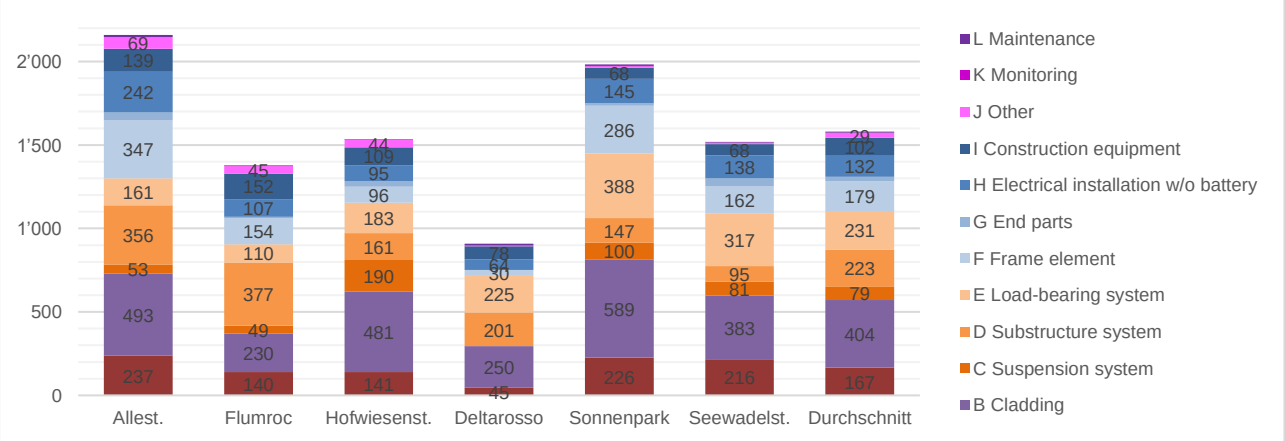


Figure 9 Cost breakdown of the BIPV façade elements by cost per square meter of the reference area

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Since each case study shows a specific peculiarity and is a consequence of individual studies, the trend of costs is not linear and it is not related to any kind of specific learning curve at this stage of research. Each building herein analyzed results as a single case study that follows a specific technology/process, realized with specific materials according to the project needs. If on one hand this could appear as a limitation for a scientific analysis of conclusive results, on the other hand it pretty reveals the nature of the construction process which is very often based on a case-by-case approach and it mainly differentiate a BIPV application from a conventional PV plant. Within the Tab.2 a short description of the buildings:

	Canton	Ext. wall construction	PV technology	Module typology
Allestrasse (2012)	TG	Massive	Crystalline - HIT	Standard, framed
Flumroc (2014)	SG	Massive	Thin film - CIS	Standard, framed
Hofwiesenstrasse (2016)	ZH	Massive and Lightweight	Crystalline	Glass/glass, Ceramic digital print in the front cover
DeltaROSSO (2017)	TI	Massive	Crystalline	Glass/glass
SonnenparkPLUS (2018)	ZH	Lightweight	Crystalline	Glass/glass
Seewadelstrasse (2019)	ZH	Lightweight	Crystalline	Glass/glass, Ceramic digital print in the front cover

Tab. 2 Brief description of the buildings analysed

The cost of the manpower, different for each region of Switzerland, the kind of PV technology, the kind of load-bearing/substructure system and the use of a storage system, only to mention some examples, could influence considerably the final cost. Furthermore, the cost of the specific elements depends on the amount of the material ordered and the building size. In most of cases a specific discount could be applied when the amount of material increases. In general, the analysis of each element and the breakdown of the BIPV process permits to identify the influence of every single item on the whole building process and create the ground for a possible cost reduction analysis. In the following chapter a focus on the classing and electrical installation is reported.

Cladding and electric installations

In the analysed cases, the cladding itself (B) represents the most relevant part of the end-user cost for the façade construction with a share of about 26% of the total cost, like no other element of the system represented in Figure 1 (similarly to the load-bearing part). In terms of cost per square meter, considering the case studies analyzed, anyway it reports a variable range by changing from a minimum of 156 CHF/m2 for standard (already commercialized) thin film glass substrate PV cladding (Flumroc) to a maximum of 531 CHF/m2 for a laminated glass/glass module 4mm, PVB (Polyvinyl butyral), crystalline photovoltaic cells, PVB and tempered glass 4mm (SonnenparkPLUS). The change of costs is defined on the base of different parameters, such as PV technology, manufacturer, customization in aesthetics, size, material, color, etc. It is expected that in some years, considering the PV price reduction and the BIPV manufacturing optimization, the BIPV cladding will experience a reduction in price.

The Tab. 3 resumes the main costs of the building skin cladding for each case study. The cladding includes only the material cost, it does not include the logistic and the assembly.

BUILDING			1. 2012	2. 2014	3. 2016	4. 2017	5. 2018	6. 2019
Active cladding [CHF/m^2]			396	156	426[1]	316	531	336[1]
	PV standard							
		C-Si	x					
		Thin film		x				
	BIPV							
		C-Si			x	x	x	x
		Thin film						
	Colored				x			x

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Non-active cladding [CHF/m^2]		516	120	471	80	503	270
	W/o cells			x	x	x	x
	Dummies	x		x			
	Other	x	x				
	Colored			x			x

Tab. 3 Overview of the cladding systems. [1]Same cladding and same manufacturer

The cost breakdown method subdivides the cladding in active (BA) and non-active (BB). The active cladding is represented by photovoltaic modules that produce energy. The active cladding is further subdivided in PV standard modules and BIPV modules. Standard PV modules, already commercialized at a large scale, have a lower impact on the total cost in comparison with the BIPV modules with a lower price per square meter. During the last years, standard PV modules were submitted to a strong price reduction [1] but the standard PV modules that do not satisfy the building requirement (CPR 305/2011) not always can be used as BIPV elements. Furthermore, the normative in the future will be even more strictly regarding the integration of standard PV in building facades if they do not accomplish both the building and PV normative.

Typical BIPV modules are thus often customized. The analysis of the six case studies shown that the price for a standard module changes from 156 CHF/m2 of a standard thin film glass substrate PV cladding (Flumroc) to 396 CHF/m2 of standard crystalline module with frame (Allestrasse), while for a BIPV cladding component the cost changes from 316 CHF/m2 of a glass/glass BIPV module including a surface darkening/opaque glass treatment (deltaROSSO) to 531 CHF/m2 for a laminated glass/glass module 4mm, PVB, crystalline photovoltaic cells, PVB and tempered glass 4mm (SonnenparkPLUS). The BIPV envelope of two case studies (Hofwiesenstrasse and Seewadelstrasse) are colored. During the last years, architects and manufacturers are pushing towards new customized PV modules that fulfil the building normative, are aesthetically attractive and cost effective. Because of the special manufacturing on the customized modules (coating, color, frosting, etc.), the nominal power is slightly lower in comparison with standard modules. In order to keep high the efficiency of the module, c-Si PV cells have been used during the last years. It is possible that in the next years other PV technologies with different features (e.g. CIGS – flexibility and lightweight) will be exploited.

The case studies Hofwiesenstrasse and Seewadelstrasse are provided with the same kind of façade cladding technology, material customization level and manufacturer. The solar cladding elements installed in the case study Seewadelstrasse, sold three years after, have been paid about 20% less. It is assumed that the reduction in costs during the last years was pushed by the increasing of concurrency, as consequence of a learning process. During the last years, thanks to good performance, aesthetically pleasant aspect and special requirements forced by the regulation, customized cladding solutions are increasing their market share.

Within the Tab. 3 the cost of non-active cladding is also shown. In some cases, non-active cladding solutions are even more expensive than those (BI)PV due to the fact that some non-active solution tries to reproduce in color and aesthetics the active module (for the non-active modules of Alleestrasse a pictures of the cells was printed on the glass). These procedures are difficult and costly. Other solutions consist of non-active claddings such as glass/glass modules (e.g. Hofwiesenstrasse) or special press plates (Flumroc). The non-PV façades and the roof of the case study DeltaROSSO is equipped with glass/glass standard cladding. The cost of this solution is 80 CHF/m2, only the 25% of the corresponding PV solution. In general, the cost changes from case to case.

Interesting results are shown within the analysis of the cladding cost, split by material and labor. Due the high value of uncertainness, the logistic costs have been included into the final material cost. In average the 85% of the total cladding cost is represented by the active cladding element, while the labor affects only a 5% (Figure 10). The case studies with the lowest cost for BIPV modules (Flumroc and DeltaROSSO) correspond with the case studies with the highest cost of labor, both in percentage and as absolute value per square meter. Even though with remarkable differences, the same trend is visible in Figure 11. The labor cost reach the 50% in the case studies Flumroc and DeltaROSSO, where the non-BIPV material is considerably cheaper in comparison with other

DOI 10.5281/zenodo.3900180

cladding solutions. For the case study Hofwiesenstrasse was not possible to evaluate the labor cost for non-BIPV solutions.

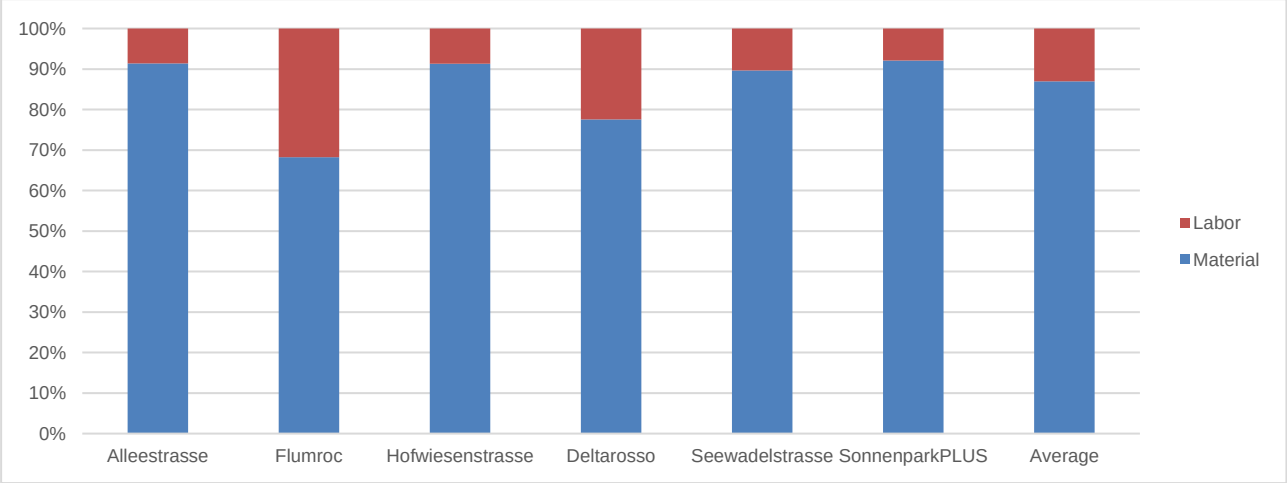


Figure 10 Labor and material cost for BIPV cladding

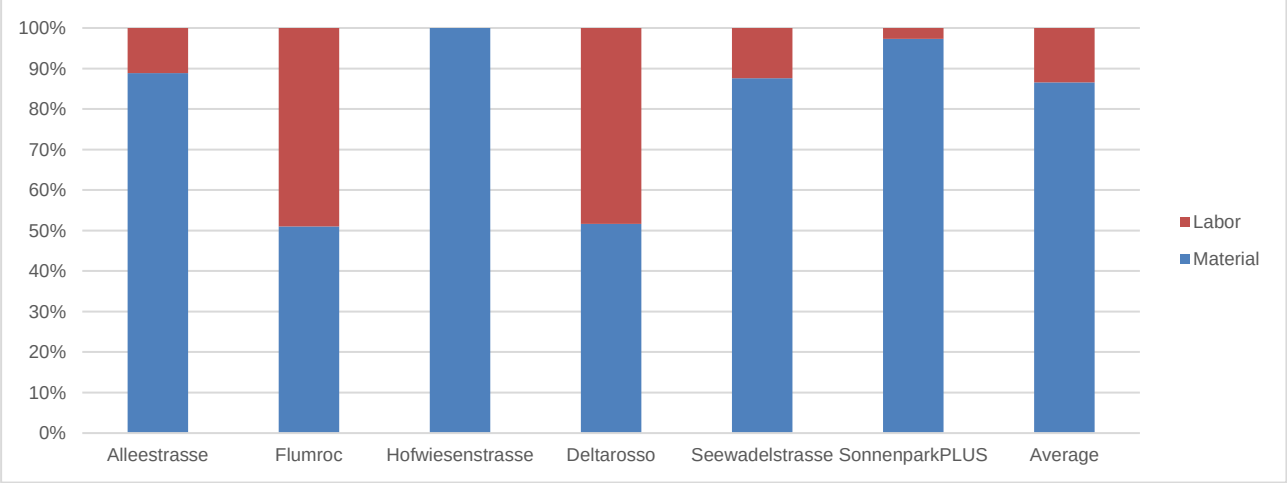


Figure 11 Labor and material cost for non-BIPV cladding (traditional solution)

About the 26% of the whole BIPV façade costs is represented by cladding construction (B) and only the 8% by the electric installations (H), that includes inverter, power electronics, cablings and monitoring system (material, logistic and labor). According to the average value of the case studies, inverter and cablings represent about the 80% of the electric installations (30% inverter and 50% cabling). The electrical material cost represents about the 80% in average, while the labor the 20%.

Nowadays, an important cost reduction of the electric installation seems difficult. The analysis conducted by the NREL [2] shown that for residential PV systems inverter and hardware BOS (structural and electrical components) cost did not experience substantial cost reduction in the period 2016-2018.

The accuracy of the cost breakdown method permitted to separate specific elements from the rest of the cost analysis. In this case the cost of BOS with and without a storage system. This analysis shows that the use of a storage system doubles the cost of the investment of the electrical installation. The case studies Hofwiesenstrasse and SonnenparkPLUS are equipped with a storage system:

- Hofwiesenstrasse: 95 CHF/m2 without batteries vs 172 CHF/m2 with batteries;
- SonnenparkPLUS: 145 CHF/m2 without batteries vs 306 CHF/m2 with batteries.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

5. Diskussion – Discussion – Discussion

This method allowed to create a detailed cost overview of each construction element included in the BIPV façade on the base of real data of six Swiss case studies, evaluating the incidence of each item on the whole construction process and laying the foundation for the definition of possible end-user cost reduction strategies. The method provided within this study is replicable and scalable to other case studies and permits to assess the costs breakdown of any kind of building.

In terms of total cost, it was difficult to define a learning curve for the end-user cost, most probably because the case studies selected for this analysis are part of a first pioneering group of buildings realized in Switzerland during the last BIPV wave focusing on facades over the recent period. In part, the active building envelope of these projects shows costs that could be probably reduced in the future. Indeed, they are a consequence of specific R&D and manufacturing activities that will be cut off after this preliminary stage in a mass market perspective. By analyzing individually the elements, the hints to decrease costs can be identified in some technological main costs (cladding) and process activities (e.g. planning). The cladding (26%), the substructure (14%) and the load-bearing (15%) in fact represent about the 55% of the facade total costs and many customization techniques (coloring, glass treatment, etc.) are a specific topic under progressive investigation by BIPV producers towards cost reduction [3]. An important cost reduction of the whole system could be thus a consequence of specific technical optimization of these four elements by e.g. improving the manufacturing processes with flexible and automated lines and assemblies between PV and construction parts with highly efficient and multifunctional energy producing construction materials. On the other hand, also process improvements through digitalization are expected to introduce a more efficient and collaborative process in the coming years by contributing in the cost reduction. The analysis of some first examples showed a cost reduction of the same customized module of about 20% in three years thanks also to the increasing of Swiss concurrency. However, the nature of the building process – its methods and logic – resulted again the key factor affecting technological transfer. The main challenge for BIPV industry will be in providing holistic solutions complying with key demands from the market, such as aesthetics, flexibility of design and cost-effectiveness. Also by putting emphasis on standardisation and regulatory compliance to allow for a fast market uptake. In this sense, a joint industrial effort is crucial to conceive and develop highly-efficient and multifunctional energy producing construction materials that enable boosting market opportunities at a world-wide level for the European BIPV value chain [4].

6. Ausblick – Perspectives – Perspectives

This method allowed to create a detailed cost overview and database of each element of the BIPV façade and to identify the details of the end user costs of solar façades from real data firstly available in six Swiss cases. This analysis permitted to evaluate, for the first time in literature, the incidence of each cost item on the whole construction process, by considering a whole building perspective and referring to the real construction process, by further laying the foundation for the definition of a cost reduction approach, on which authors are currently engaged as a next step of the research.

Along with the multilevel cost breakdown of the whole end-user BIPV cost, ongoing research of authors is focusing on the definition of BIPV competitiveness as the fact of being able to compete successfully with other traditional construction materials, systems and electric generating units. Positive aspects are in favor of facades such as the case of high-rise buildings (where roof surfaces are not sufficient), the building in which roofs are more and more used for green and vegetation, the potential to exploit different orientations and thus enhancing self-consumption by optimally matching the intra-day consumption profile, the opportunity to have a reduced initial extra cost (since conventional façade systems are already very expensive). Moreover, in many cases, the opportunity for achieving nearly-zero energy or plus-energy targets simply mobilize the need for the whole building skin to become active [5]. Last competitiveness assessment of BIPV, consists in a project-based holistic evaluation, taking into account not only the total costs of ownership but also the total revenues by considering the yearly cash-flows associated with the BIPV project case -study as well as all costs and revenues occurring over the lifetime of the system. This further step of research is planned to demonstrate that the extra cost due to BIPV, compared to a competing conventional building envelope solution, can be covered by the additional revenues linked to this unique “active” characteristic, in many cases [6].

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literatur/Referenzen – Littérature/références – Literature/references

[1] Aktuelle Fakten zur Photovoltaik in Deutschland, Fraunhofer ISE, Download von www.pv-fakten.de, Fassung vom 10.06.2020

[2] US Solar Photovoltaic System Cost Benchmark: Q1 2018, NREL

[3] COLOURED BIPV Market, Research and Development | IEA PVPS Task 15, Subtask E

[4] BIPVBOOST project, bringing down costs of BIPV multifunctional solutions and processes along the value chain, enabling widespread nZEBs implementation, start date: October 2018, duration four years.

[5] Comparative Analysis of BIPV Solutions to Define Energy and Cost-Effectiveness in a Case Study, P. Corti, L. Capannolo, P. Bonomo, P. De Berardinis, F. Frontini, Energies, 2020

[6] Competitiveness status of BIPV solutions in Europe, BIPVBOOST project, 2019

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Annex 1 – Annex 1 – Annex 1

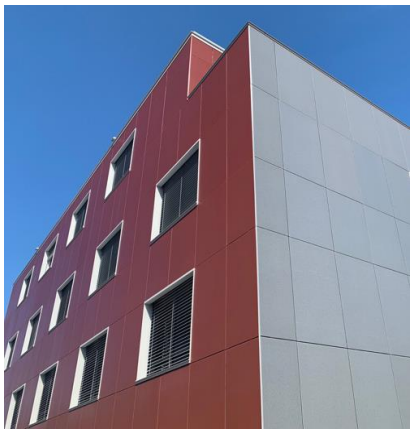
Technical data

Case study Seewadelstrasse 9 Affoltern am Albis (ZH)

Description

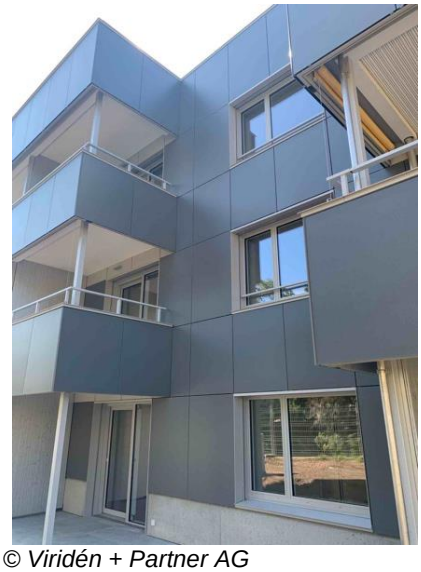
The renovation of this apartment building in Affoltern am Albis is characterized by the low energy consumption and a high comfort. With a BIPV system installed on the facades and a traditional PV system on the roof, the building is plus energy. It produces more energy from renewable energy sources than it imports from external sources.
This is a compact three-story building with a three-sided recessed attic floor. On the other side of the street, Seewadelstrasse, on southeast, are arranged the terraces and the balconies of the apartments.
The building is a hybrid construction. The ceilings, the facade supports and the staircase core are in concrete, the external walls, the rooftop and partly interior walls are made of wood.
There are a total of 14 apartments with 2.5 to 4.5 rooms.

© Viridén + Partner AG


© Viridén + Partner AG

Building details

Location	Seewadelstr. 9, Affoltern a. Albis
Building construction	2018/2019
PV facade construction	2018/2019
Architect (renovation)	Viridén + Partner AG
Substructure system	Ecolite AG
Façade maker	Ernst Schweizer AG
PV modules supplier	PVP Photovoltaik GmbH, Wies A


© Viridén + Partner AG

BIPV specifications

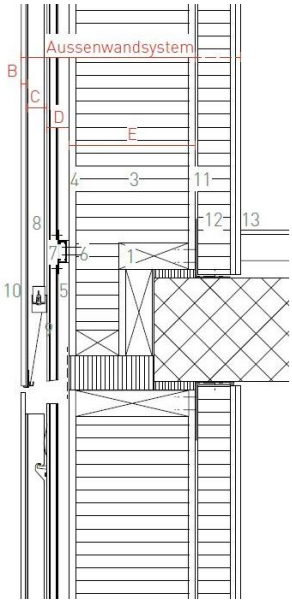
Active cladding surface	690 m^2
Non-active cladding surface	50 m^2
Orientation	SSW, WNW, NNE, ESE
PV percentage for orientation	23, 31, 22, 25%
Tilt	90°
Nominal power	65 kWp
Energy production - façade	25'000 kWh/y (calculated)
Final yield - façade	385 kWh/kWp
Energy production - façade+roof	56'000 kWh/y (calculated)
Final yield - total	590 kWh/kWp
Self-consumption (without battery)	29'000 kWh/a
Self-consumption rate	38.6 %
Electric energy demand	24'000 kWh/a (calculate)

Active cladding surface: photovoltaic modules used as cladding that produce energy;
Non active cladding surface: photovoltaic modules used as cladding not connected, modules without cells or other surfaces with the same constructive system of the active cladding surface;
Final yield: ratio between the energy production and the PV power installed;
Self-consumption rate: energy produced with the BIPV system and used outright;
Self-sufficiency rate: percentage of the energy demand covered by the energy produced with the BIPV system and used outright

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Building skin system

Detail



ELEMENTS
B_A Active cladding
B_B Non active cladding
C Suspension system
D Substructure system
E Load-bearing system

BUILDING SKIN LAYER
1 Load bearing system
2 Load bearing wall
3 Thermal insulation
4 Protective layer
5 Wind-tight layer
6 Anchor
7 Substructure
8 Backrail
9 Air gap
10 BIPV cladding
11 Moisture control layer
12 Interior panelling
13 Interior plaster

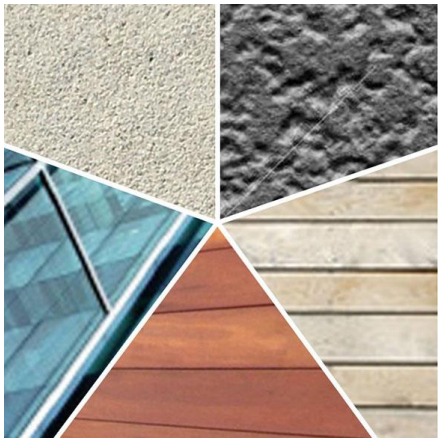
© Viridén + Partner AG

Specific description

Element	Specification
A	AA Architecture: Viridén + Partner AG AB Facade planner: VF+S Metallbautechnik on behalf of Ernst Schweizer AG AC Work operation (AVOR) - facade: Ernst Schweizer AG AD Structural engineer: Ecolite AG on behalf of Ernst Schweizer AG AE Electrical planner DC side: BE Netz on behalf of Ernst Schweizer AG
B	B_A: Glass/glass module with mono-/polycrystalline cells 5,13 W, the frontsheet of the module is 4mm thick, heat strengthened (HS) glass ceramic digital printed. produced. The encapsulation is in EVA. The back sheet is 4 mm thick, HS glass. B_B: Modules without cells or modules with cells not connected
C	C: Acryl-Tape
D	DB: Substructure without insulation, in aluminium. System KA-Solar of Ecolite AG
E	EB: Wooden element insulated with glass wool, lightweight system EC: Parapets with wooden panel
F	F: Lacquered metal frames with shutter box F: Metal parts for balconies
G	G: End part such as metal plate base course, edge of the roof and angular profile.
H	HA: Inverter Fronius Symo

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Human and Building-envelop interaction in open area - Which constructive choices to improve summery comfort?



Victor Guillot[1], Reto Camponovo[1], Peter Gallinelli[1], Joan Rey[1]

Victor, Guillot, victor.guillot@hesge.ch

[1] www.hesge.ch/hepia/groupe/energie-environnement-architecture

[1] HES-SO University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland - Geneva

[1] Geneva School of Engineering, Architecture and Landscape – HEPIA

Abstract

Facades represent an important part of urban envelop in dense areas. They play a major role in the thermal comfort of pedestrians as well as on the city (in)-ability to stay reasonably fresh during the day or to cool at night.

This study focuses on differences in thermal comportment of different kind of vertical elements – heavy or light, pale or dark, absorbent - reflective or transparent based on measurements of different real situations.

The study shows the differences between vertical surface's temperatures but also highlights the differences of speed at which surfaces reach their highest temperature and so the time necessary to cool after solar exposure.

Finally, it also underlines the ability of reflective surfaces (eg. glass facades) to worsen the comfort of pedestrians by adding up to 40% of incoming solar radiation intensity.

Findings from this study show that surfaces do not only affect the apparent temperature by adding up to several degrees but also to a lesser extent the urban heat island effect.

These results show the importance of material and constructive choices regarding the mitigation of exacerbation of global warming in cities.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Scope

1.1 Introduction

In the current context of urban densification and global warming, climate and urban micro-climate issues are central in the concerns of construction stakeholders.

Impacting not only the comfort but also the health of city users and their ability to take full advantage of the city, these local climate issues are the subject of numerous studies which aims at improving the resilience of cities to climate change.

However, most of these studies are focused on “improving” the city-wide climate, such as addressing the urban heat island effect, and very little information is available about immediate human – built environment interactions.

The facades representing a large part of the built environment, and their constructive choices offering the greatest freedom (less constraints than the streets for example), they are then the focus of this study.

1.2 Study’s goal

The main objective of this study is therefore the development of a guide, simple and illustrated with real examples measured and compared, showing the impact of the main typological families of facades on the comfort felt by a person in the immediate environment of these constructions.

2. Methods

2.1 Measurement tool – the uCM : “microclimamètre”

The main instrument used for the whole set of measure is the “microclimamètre” [1], a measurement tool developed by the LEEA – Laboratory of Energy, Environment and Architecture – at Geneva School of Engineering, Architecture and Landscape. The so called “microclimamètre” allows to measure several environmental parameters such as air temperature, surrounding surfaces temperature, solar irradiance – which were used for this study – as well as other parameters such as air quality, sound intensity, wind and so on.

The “microclimamètre” allows to take continuous measurement side by side with pictures of the surrounding environment at the exact moment of the measure. It allows to easily retrieve the exact condition at the moment of the measure and help to explain some phenomenon observed in the dataset.

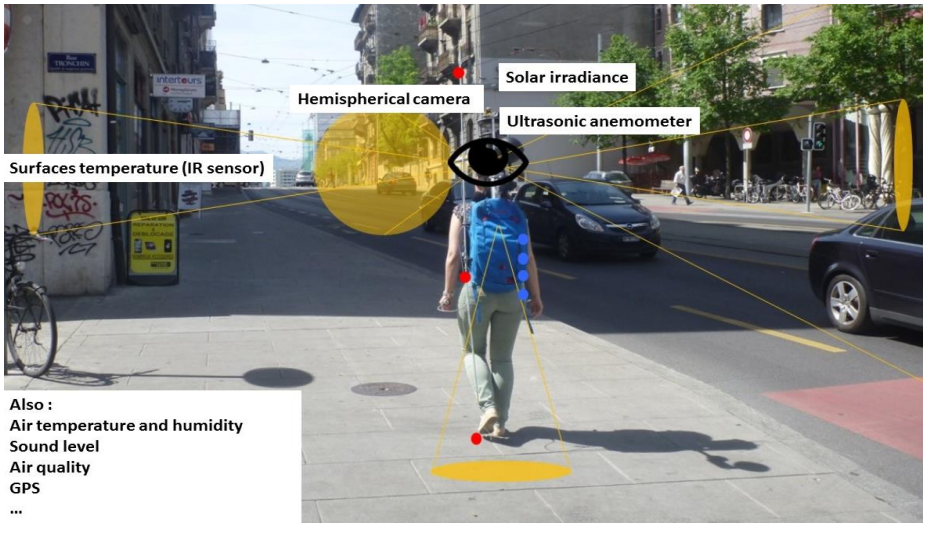


Figure 1 *The “microclimamètre” tool representation*

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2.2 Facade classification

As there are a large number of constructive typologies of facades, the first stage was devoted to the elaboration of a classification into a limited number of facade families. To do this the main thermal characteristics of the facades directly impacting the thermal comfort of a person in the immediate vicinity have been retained to be easily identifiable by all the actors of construction.

Once the large typological families useful for the study were defined, a phase of identification was carried out in order to select, in a real built environment (city of Geneva), a number of representative examples.

2.3 Measurement process

The focus of the study is then to measure the selected examples using the “microclimamètre” several times during a typical summer day to observe the thermal behaviour of the facades and their impact/contribution on comfort in their immediate environment. At this stage, the study focuses on the direct impact of facades on daytime comfort.

For facades thermal behaviour, measurements made in the early morning, early afternoon and late afternoon were used, while for facades direct impact with phenomenon such as direct solar reflection direct measurement where used in comparison of references taken in the near surrounding environment.

3. Results

3.1 Elaboration of facades families

The facades have been classified into 5 families, detailed in the table below, according to their thermal inertia, albedo, and their mode of reflection of incoming solar energy.

In order to remain in clear notions allowing a simple classification, the thermal inertia as well as the albedo have been simplified as being Low or High and the mode of reflection as totally Diffuse or totally Specular.

Although “in-between” exists for each of these parameters, experience shows that this simplification allows a good representation of the real cases that can be observed in the built environment.

The table 1 below shows the main families retained for the study and their principals thermal characteristics.

Table 1 Facades families and their main characteristics

	Thermal inertia	Albedo	Reflection mode
Heavy pale	High	High	Diffuse
Heavy dark	High	Low	Diffuse
Light pale	Low	High	Diffuse
Light dark	Low	Low	Diffuse
Reflective	Low to High	Medium to High	Specular

The 5th family of facades, namely the reflective facades, includes all facades having a specular reflection of the solar radiation incident, and in particular glazed facades, which also transmit a significant proportion of solar radiation directly to the interior of buildings.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3.2 Thermal behaviour of surfaces

The study first highlighted the differences of surfaces temperature existing between the five families.

While some facades showed a surface temperature close to the one of surrounding air, the warmest ones showed temperature up to 10 to 20 degrees higher under the same environmental exposure.

This elevation of temperature was then calculated in term of impact on mean radiant temperature and on felt temperature for pedestrians, showing a difference of several degrees.

Heavy facades and reflective one showed the lowest surface temperature while light ones showed the highest.

The study also highlighted the speed at which the highest temperature for each family was recorded. While heavy facades tend to takes longer to warm up, light ones showed very fast temperature elevation.

The figure 2 bellow shows the different profile of thermal changes of the four non reflective families under heavy solar exposure, assuming that all facades will at some point reaches their maximum temperature and that surfaces have a similar emissivity, so a similar maximum temperature under the same exposure.

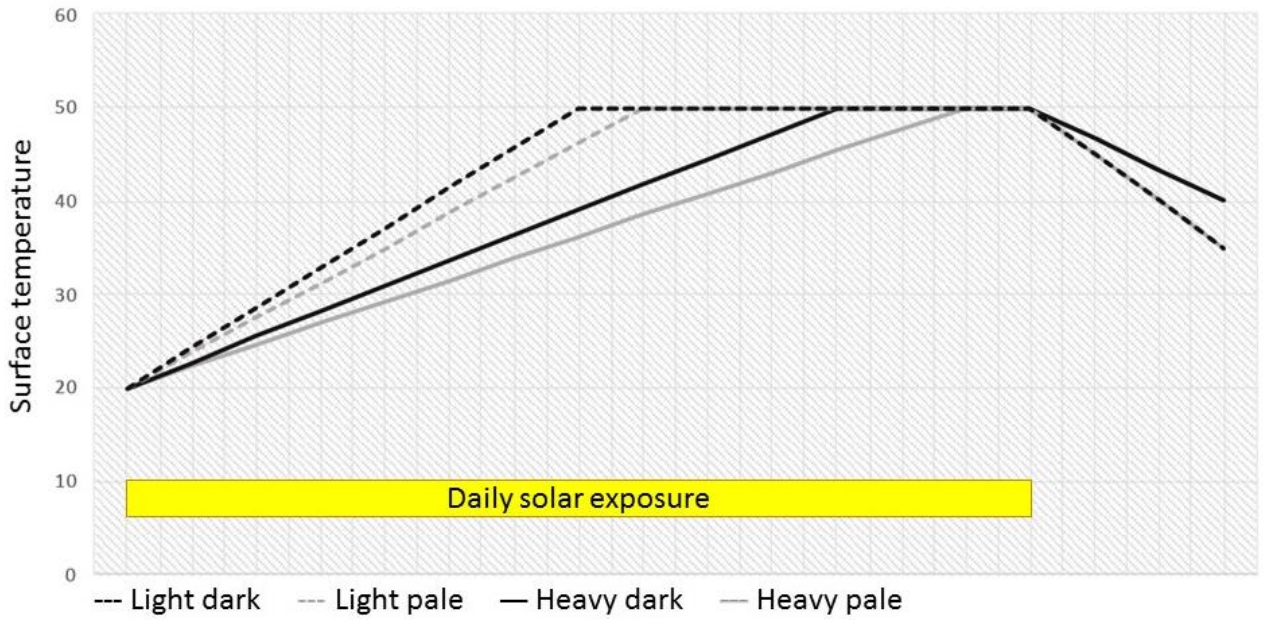


Figure 2 Surfaces temperature modification profile for the non-reflective families under heavy solar exposure.

3.3 Solar reflection

Measurements made in front of reflective facades, such as glazed one, showed an elevation of the solar radiation received at the pedestrian level up to 40% in an open environment. This phenomenon of a “second sun” perceived can considerably worsen the comfort by adding up to few degrees of felt temperature.

In narrower environment such as urban canyon, the solar radiation measured at the pedestrian level was up to three time higher by exposing the subject to a portion of the direct sun while the reference spot without solar reflection was under complete shadow. This results in an elevation of mean radiant temperature of up to 6 degrees and on the felt temperature of about 2 to 3 degrees. It also shows the impact reflective facades can have concerning radiative traps and hence on canyon radiative balance.

Pictures 3 and 4 shows to example of measured solar reflection situation due to glazed facades.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Figure 3 & 4 Solar reflection on glazed facades in an open area (figure 3) and in a narrow canyon (figure 4)

4. Discussion

The comparison of thermal dynamics between heavy and light facades underline the beneficial impact of heavy facades on daytime thermal comfort of the pedestrian. Indeed, heavy surfaces require a much greater amount of energy compared to light facades to warm up. On a sunny day, like it is the case of a summer day, the temperatures of heavy facades will be therefore less important than those of the light facades and they will provide to the pedestrian better thermal comfort. In maximum exposure conditions, probability that the temperature of a heavy facade reaching its equilibrium temperature is high, as is for light facades.

Conversely, in environments where the exposure of the facade to incoming solar radiation due to the urban geometry characterized by the sky view factor (Sky View Factor) is less, such as the urban canyon, the probability that the solar radiation equilibrium temperature of the heavy facade is reached is low. This is especially true for facades with low exposure to solar radiation, when the maximum temperature of the surface is not reached. There is therefore a real advantage to the use of heavy facades in order to improve thermal comfort in the city.

Finally, we must not neglect the nocturnal thermal impacts associated with the typology of the facade. The night-time release of the energy stored during the day is differentiated for heavy and light facades. Heavy facades will restore energy more slowly than light facades. In other words, heavy facades have a significant impact on the thermal conditions at night, as they act like radiators until they have cooled down.

Glass facades can contribute significantly to the thermal discomfort of the pedestrian. The phenomenon of double sun, which can increase the reflection of solar radiation by 30 to 40% in an open environment, can induce a significant increase in the temperature felt. If only considering the surface temperature for the radiative balance on pedestrians, they can perform as well as heavy pale facades when not exposed to the direct sun.

5. Perspectives

These day comparisons, when the temperature felt is mainly influenced by exposure to direct sunlight or not, do not take into account the night period. It would be interesting to extend this study to this nocturnal phase, when the temperature felt is mainly affected by the air temperature and the radiative environment.

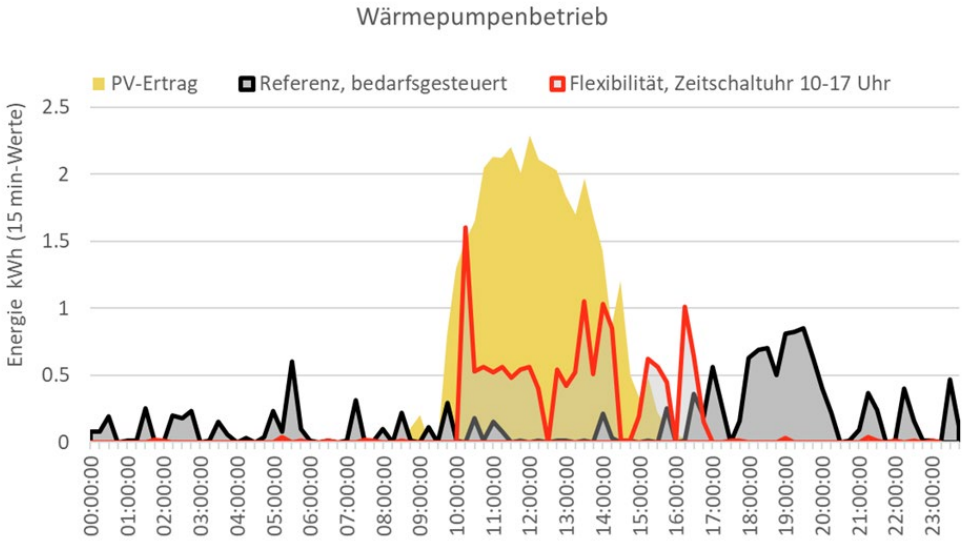
Also, while this study focuses mainly on pedestrian comfort, it would also be useful to then confront these results with the impact on city ability to globally cool at night.

Literature/references

[1] https://leea.hesge.ch/index.php?article33/cityfeel

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Smarte Gebäude - netzdienlich oder nicht?



Monika Hall, Achim Geissler
Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau
Hofackerstasse 30, CH - 4132 Muttenz
monika.hall@fhnw.ch

Zusammenfassung **Résumé** **Abstract**

Die Laststeuerung nach Strompreisen (Hoch-/Niedertarif, Spotmarktpreise), $CO_{2\text{-eq}}$-Emissionen bzw. dem Eigenverbrauch wird für die Wärmepumpe eines kleinen Mehrfamilienhauses untersucht. Die Ergebnisse werden anhand von vier verschiedenen Flexibilitätskenngrössen dargestellt. Die Berechnungsmethodik der vorgestellten Kenngrössen GSC_{abs}, RIP, FF und FI ist sehr unterschiedlich. Somit sind auch die Wertebereiche, die eine Kenngrösse annehmen kann bzw. Zielwerte, die eine hohe Flexibilität anzeigen, sehr verschieden. Dies macht die Vergleichbarkeit der Kenngrössen schwierig. Die vorgestellten Flexibilitätskenngrössen zeigen jedoch grundsätzlich dieselben Tendenzen an, so dass jede Kenngrösse genutzt werden kann. Die Ziele von Netz- und Gebäudebetreiber widersprechen sich nicht. Es muss jedoch entschieden werden, ob der Fokus auf einer Netzentlastung bei tiefen Stromkosten oder auf der Reduktion der $CO_{2\text{-eq}}$-Emissionen liegt.

Demand side management based on electricity prices (high/low tariff, spot market prices), $CO_{2\text{-eq}}$ emissions or self-consumption is investigated for the heat pump of a small apartment building. The results are presented using four different flexibility factors. The calculation methodology of the presented flexibility factors GSC_{abs}, RIP, FF and FI is very different. Thus, the value range that a factor can assume and target values that indicate high flexibility are also very different. This makes direct comparison of the flexibility factors difficult. However, the flexibility factors basically show the same tendencies. The objectives of network and building operators are not contradictory. However, it must be decided whether the focus should be on grid relief at low electricity costs or on the reduction of $CO_{2\text{-eq}}$ emissions.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Durch den stetig steigenden, aber fluktuierenden Anteil an erneuerbaren Energien in den Stromnetzen wird neben der Höhe des Strombezugs bzw. der Netzeinspeisung auch das zeitliche Bezugs- und Einspeiseprofil immer wichtiger. In diesem Zusammenhang ist das zeitliche Lastmanagement (Demand Side Management DSM) ein wichtiges Instrument. Mit gezieltem Aktivieren bzw. Abschalten von elektrischen Verbrauchern werden dabei Lastprofile so verändert, dass diese den Strombedarf z.B. aus Spitzenlastzeiten zu Niedriglastzeiten hin oder in Stunden mit Solarertrag verschieben. Die Laststeuerung erfolgt in den meisten Fällen aus Sicht der Gebäudebetreiber nach

- Erhöhung des Eigenverbrauchs und des Autarkiegrades und/oder der
- Minimierung der Stromkosten.

Für den Netzbetreiber hat die Laststeuerung andere Ziele, z.B.

- Ausgleich von Netzschwankungen
- Vermeidung von Spitzenbezugs und -einspeisungslasten

Es wurde schon mehrfach gezeigt, dass in Wohngebäuden die Wärmepumpe bzw. Warmwasserboiler die einzigen grossen, flexibel steuerbaren Verbraucher sind. In dem hier beschriebenen Projekt wird die Flexibilität der Wärmepumpenlaufzeit im Zusammenhang mit folgenden Führungsgrössen (penalty signals) untersucht:

- Optimierung der Stromkosten bei Hoch-/Niedertarif
- Regelung nach Spotmarktpreisen (Annahme: Ein tiefer Spotmarktpreis bedeutet ein Stromüberschuss im Netz und es ist für das Netz vorteilhaft, Verbraucher in diesen Zeiten zu aktivieren)
- Regelung nach $CO_{2\text{-eq}}$ Emissionskoeffizienten des Strommixes (Annahme: Ein tiefer $CO_{2\text{-eq}}$ Koeffizient des Strommixes bedeutet einen hohen Anteil an erneuerbaren Energien (EE) im Netz und es ist für das Netz vorteilhaft, Verbraucher in diesen Zeiten zu aktivieren, damit die EE nicht gespeichert oder gar abgeregelt werden müssen)
- Optimierung des Eigenverbrauchs (hohe Eigennutzung des eigenen Photovoltaikertrages führt zu geringeren Bezugs- und Einspeisemengen und –spitzen)

Mit einer thermischen Gebäudesimulation inkl. integrierter expliziter Anlagentechnik wird der Einfluss o.g. Führungsgrössen auf das Flexibilitätspotential untersucht und in verschiedenen Flexibilitätskenngrössen dargestellt. Der Vergleich zwischen der Führung der Wärmepumpe nach Wärmebedarf (Basisfall) und den o.g. Grössen weist das Flexibilitätspotential des Gebäudes aus. Zu beachten ist dabei, dass der Komfort nicht beeinträchtigt wird. Die Ergebnisse geben Antworten auf folgende Fragen:

- Wie beeinflussen verschiedene Führungsgrössen die Netzinteraktion und die Stromkosten?
- Welchen Einfluss hat die Optimierung einer Führungsgrösse auf die anderen?
- Widersprechen sich die Ziele der Netz- und Gebäudebetreiber?

2. Vorgehen

2.1 Beispielgebäude

Die Basis für die Untersuchungen ist ein kleines Minergie-P Mehrfamilienhaus mit drei Wohnungen in Massivbauweise [1], [2]. Die internen Lasten für Personen, Geräte und Beleuchtung entsprechen den Profile von Merkblatt SIA 2024 [3]. Es wird eine Lüftungsanlage mit Wärmerückgewinnung (80 %) berücksichtigt. Die modulierende Erdsonden Wärmepumpe hat eine Nenn-Leistung von 9 kW (B0/W35, 100 %) und die Wärme wird über eine Fussbodenheizung abgegeben. Die Erwärmung des Warmwassers (800 l Tank) erfolgt in zwei festgelegten Blockzeiten (Dauer: 1 h und 2 h) pro Tag in Abhängigkeit von der Führungsgrösse. Für die Quellentemperatur wird die gemäss [4] aus der Aussenlufttemperatur ermittelte monatliche Erdreichtemperatur in 10 m Tiefe angenommen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Der Warmwassertank wird zum Legionellenschutz jeden Samstag für zwei Stunden auf 65 °C erhitzt. In der übrigen Zeit wird der Tank maximal auf 53 °C erwärmt. Es wird ein stochastisches Warmwasserzapfprofil aus dem Simulationsprogramm ESP-r verwendet [5]. Pro Tag werden 175 l Warmwasser dem Tank entnommen (8.3 Personen mit je 35 l/d Warmwasserbedarf [3], Annahme: 40 % Frischwasserzumischung).

Die Jahressimulation wird gebäudeseitig in fünfminuten Zeitschritten und anlagenseitig in einminuten Zeitschritten mit dem Klima Buchs-Aarau durchgeführt.

2.2 Varianten/Führungsgrössen

Die Steuerung der Wärmepumpenlaufzeit erfolgt nach verschiedenen Führungsgrössen: Hoch-/Niedertrarif «HTNT», Spotmarktpreise «SPOT», $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten «CO2» und Eigenverbrauch «EVR» (Tabelle 1). Im Basisfall «NABE» wird nach Bedarf geheizt.

Tabelle 1 Untersuchte Varianten

Variante	**Erlaubte Zeitfenster für Heizbetrieb** (exkl. Bockzeiten für Warmwasser)	**Blockzeiten für Warmwasserbereitung**
#NABE	nach Bedarf (Basisfall)	5-6 Uhr, 13-15 Uhr
#HTNT	nur im Niedertarif, d.h. immer ausser Mo-Fr 6-20 Uhr	4-6 Uhr, 20-21 Uhr
#SPOT	wenn der Spotmarktpreis ≤ 100% dem Tagesmittelwert ist	2-4 Uhr, 14-15 Uhr
#CO2	wenn der $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizient ≤ 100 % dem Tagesmittelwert ist	8-9 Uhr, 18-20 Uhr
#EVR	zwischen 7-18 Uhr	5-6 Uhr, 13-15 Uhr

2.3 Flexibilitätskenngrössen

Die Wirksamkeit der betrachteten Führungsgrössen wird mit verschiedenen Flexibilitätskenngrössen ausgedrückt. Bei den Kenngrössen wird der Strombezug mit einer stromnetzrepresentativen Grösse (Strompreis, $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizient) verrechnet. Das Flexibilitätspotential eines Gebäudes drückt sich darin aus, ob der Strombezug eher zu hohen oder tiefen Preisen/$CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten stattfindet. Nur die Flexibilitätskenngrösse FI vergleicht einen Basisfall mit einer Variante. Die Höhe des Energiebedarfs wird in den Kenngrössen nicht bewertet. In Tabelle 2 sind die untersuchten die Flexibilitätskenngrössen zusammengefasst.

Tabelle 2 Zusammenfassung der Flexibilitätskenngrössen.

Flexibilitäts-kenngrösse	**Werte-bereich**	**Netzdienlich, wenn …**	**Welche Daten werden benötigt?**
GSC_{abs} Grid Support Coefficient [6]	> 0	< 1	Zeitschrittwerte für Energie/Netzgrösse, Tagessumme Energie, Tagesmittelwerte der Führungsgrösse
RIB Relative Import Bill [7]	0 - 1	Tiefer Wert	Zeitschrittwerte für Energie, tiefster bzw. höchster Tageswert der Führungsgrösse
FF Flexibility Factor [8]	-1 bis +1	Hoher Wert	Zeitschrittwerte für Heizleistung/Energie, erste/vierte Quartil der Führungsgrösse
FI Flexibility Index [9]	-1 bis +1	Hoher pos. Wert, neg. Wert = Verschlechterung gg. Basisfall	Zeitschrittwerte für Energie/Führungsgrösse für Variante und Basisfall

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3. Resultate

Die hohe Wärmespeicherfähigkeit in Kombination mit dem guten Dämmstandard des Gebäudes wird genutzt, um die Wärmepumpe flexibel über ein Lastmanagement in Abhängigkeit von verschiedenen Führungsgrössen zu betreiben. Da nur die Lastverschiebung der Wärmepumpe betrachtet wird, erfolgt die gesamte Auswertung nur für die Wärmepumpe.

Die Flexibilitätskenngrössen werden in fünfminuten Zeitschritten jeweils pro Tag berechnet und anschliessend zu einem Jahreswert zusammengezogen. Der Energiebezug wird entweder mit dem Strompreis oder den ausgelösten $CO_{2\text{-eq}}$-Emissionen bewertet:

- Hoch-/Niedertarif (HTNT): HT: Mo-Fr 6-20 Uhr, NT übrige Zeit [10]
- Spotmarktpreise (SPOT): 15 min Werte, Deutschland 2015 [11]
- $CO_{2\text{-eq.}}$-Koeffizienten ($CO_{2\text{-eq}}$): Stundenwerte, Schweizer Strommix 2015 [12]

Abbildung 1 zeigt die Resultate der Flexibilitätskenngrössen für alle Varianten. Dabei wird jede Variante bzgl. des Einflusses auf die Kosten für Hoch-/Niedertarif, Spotmarktpreise und $CO_{2\text{-eq}}$-Emissionen bewertet. Über alle Varianten zeigen GSC_{abs}, RIB und FF folgende Tendenzen:

- NABE: GSC_{abs}/RIB zeigen an, dass der Energiebezug häufiger im Hochtarif als im Niedertarif stattfindet, während FF den Bezug ausgeglichen bei den beiden Tarifen darstellt (gelb). Die Bewertung nach Spotmarktpreisen (rot) und $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten (blau) weist aus, dass der Energiebezug im Schnitt bei dem Tagesmittelwert erfolgt.
- HTNT, SPOT: Bei der Führung nach Kosten (HTNT (gelb), Spotmarktpreise (rot)) zeigen die strompreisbewerteten Kenngrössen entsprechend gute Werte für einen Bezug bei tiefen Kosten an, jedoch schneiden diese Varianten mit der Bewertung nach $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten (blau) weniger gut ab.
- CO2, EVR: Bei diesen Varianten wird Energie bei tiefen $CO_{2\text{-eq}}$- Koeffizienten (blau) bezogen, was jedoch zu höheren Kosten (gelb, rot) führt.

Die Flexibilitätskenngrösse FI gibt die Veränderung zur Basisvariante, hier NABE, an. So zeigt eine Bewertung nach HTNT (gelb) bei den kostenbasierten Varianten (HTNT, SPOT), dass ein Anteil der Energiekosten gegenüber der Basisvariante reduziert wird (pos. Werte). Bei HTNT werden z.B. die Kosten um 24 % reduziert. Die negativen Werte der Varianten CO2 und EVR zeigen den Anteil der Energiekostenerhöhung gegenüber dem Basisfall auf. Genau spiegelbildlich ist das Ergebnis für die Bewertung der Varianten nach $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten (blau). Bei der Bewertung nach Spotmarktpreisen (rot) zeigt nur die Variante HTNT eine leichte Energiekostenreduktion gegenüber der Basisvariante. Die anderen Varianten führen zu einer Kostenerhöhung. FI stellt dieselben Tendenzen wie GSC_{abs}, RIB und FF dar, wenn man dort die Varianten mit dem Basisfall NABE vergleicht.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

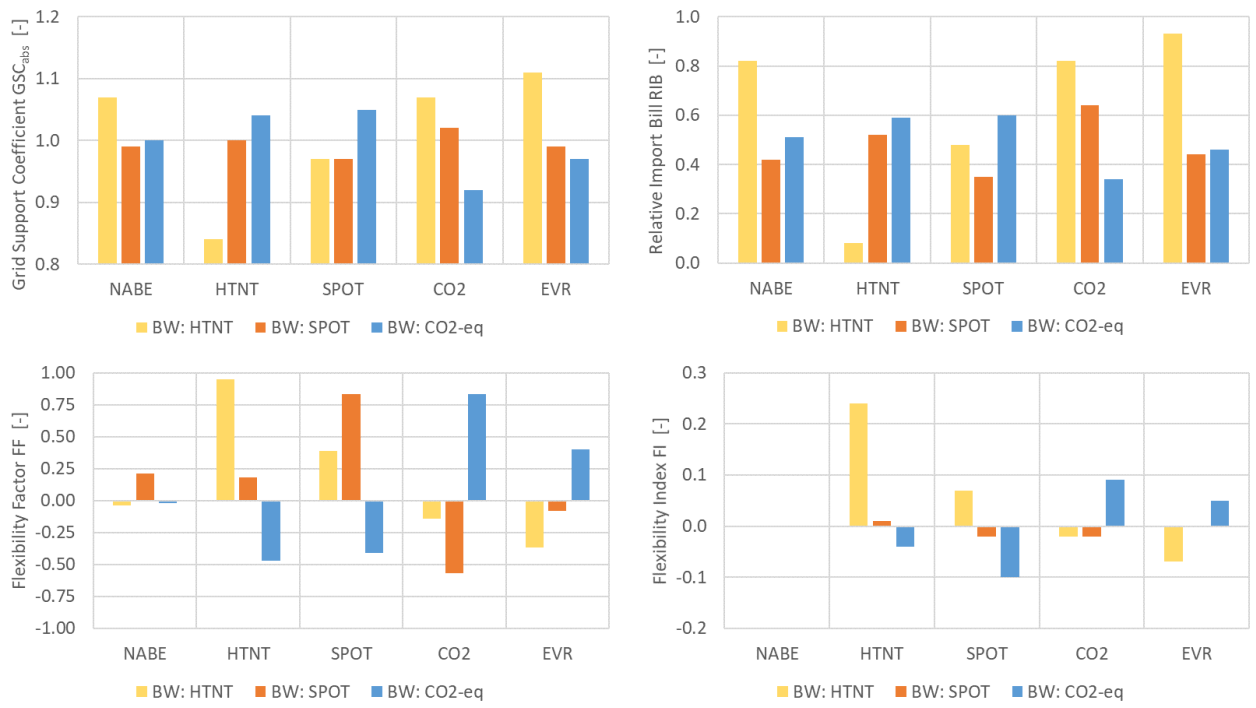


Abbildung 1 *Darstellung der Flexibilitätskenngrössen GSC_{abs} (oben links), RIB (oben rechts), FF (unten links) und FI (unten rechts) für alle Varianten und deren Bewertungen (BW).*

4. Diskussion

Die Berechnungsmethodik der Flexibilitätskenngrössen GSC_{abs}, RIP, FF, FI und EVR/AG ist sehr unterschiedlich. Somit sind auch die Wertebereiche, die eine Kenngrösse annehmen kann bzw. Zielwerte, die eine hohe Flexibilität anzeigen, sehr verschieden. Dies macht die Vergleichbarkeit der Kenngrössen schwierig. Die vorgestellten Flexibilitätskenngrössen GSC_{abs}, RIP, FF, FI zeigen jedoch dieselben Tendenzen, so dass prinzipiell jede dieser Kenngrössen zur Quantifizierung der Flexibilität genutzt werden kann.

Vergleicht man die Optimierung nach Strompreis (HTNT/SPOT), $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten und Eigenverbrauch, ergeben sich folgende Empfehlungen für das Einschalten der Verbraucher:

- Optimierung nach Strompreisen: Verbraucher laufen in der Nacht
- Optimierung nach Eigenverbrauch und $CO_{2\text{-eq}}$- Koeffizienten: Verbraucher laufen am Tag

Die Optimierung nach Strompreisen, $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten und Eigenverbrauch ist positiv für Gebäudenutzer und Netzbetreiber:

- Tiefe Strompreise werden von den Energiedienstleistern angeboten, wenn sie Stromabnehmer brauchen. Im Moment verschieben der übliche Hoch-/Niedertraif oder die Spotmarktpreise den Netzbezug in die Nacht. Dies kann sich mit zukünftigen Preisstrukturen ändern.
- Strombezüge sollten gemäss Strommix 2015 am Morgen und Abend in Zeiten mit tiefen $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten stattfinden. Tiefe $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten bedeuten, dass ein hoher Anteil an Erneuerbaren Energien im Netz vorhanden ist. Wird dieser zeitgleich verbraucht, muss nicht in Speicher für Erneuerbare Energien investiert werden.
- Der Eigenverbrauch reduziert grundsätzlich den Strombezug und die Netzeinspeisung. Im Strommix 2015 reduziert der Eigenverbrauch am Nachmittag die Nutzung von Strom mit hohen $CO_{2\text{-eq}}$-Koeffizienten, d.h. es muss weniger Strom aus fossilen Erzeugern bereitgestellt werden.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Danksagung

Die vorgestellten Ergebnisse wurden im Rahmen des Projekts "Energetische Flexibilität von Gebäuden" [13] erarbeitet, welches das Bundesamt für Energie BFE (Schweiz) unter dem Kennzeichen SI/501240-01 fördert. Das Projekt ist ein Beitrag zum IEA Annex 67 "Energy Flexible Buildings" (http://www.annex67.org/).

5. Literatur

[1] F. Dorusch, M. Hall, and R. Dott, “Mehrfamilienhaus mit Elektromobilität in Rupperswil,” FHNW, Institut Energie am Bau, Schlussbericht, BFE SI/500645 // SI/500645-01, www.fhnw.ch/habg/iebau, 2014.

[2] M. Hall and A. Geissler, “Einfluss der Wärmespeicherfähigkeit auf die energetische Flexibilität von Gebäuden,” *Bauphysik*, vol. 37, no. 2, pp. 115–123, 2015.

[3] Merkblatt SIA 2024, “Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik.” 2015.

[4] T. Kusuda, “Earth temperatures beneath five different surfaces: final report,” National Bureau of Standards, Final report 10 373, 1971.

[5] N. Kelly, A. Samuel, and P. Tuohly, “The effect of hot water use patterns on heating load and demand shifting opportunities,” in *Building Performace Simulation Association*, 2015, pp. 1298–1305.

[6] K. Klein, S. Herkel, H.-M. Henning, and C. Felsmann, “Load shifting using the heating and cooling system of an office building: Quantitative potential evaluation for different flexibility and storage options,” *Appl. Energy*, vol. 203, pp. 917–937, 2017.

[7] U. I. Dar, I. Sartori, L. Georges, and V. Novakovic, “Advanced control of heat pumps for improved flexibility of Net-ZEB towards the grid,” *Energy Build.*, vol. 69, pp. 74–84, Feb. 2014, doi: 10.1016/J.ENBUILD.2013.10.019.

[8] J. Le Dréau and P. Heiselberg, “Energy flexibility of residential buildings using short term heat storage in the thermal mass,” *Energy*, vol. 111, pp. 991–1002, Sep. 2016, doi: 10.1016/J.ENERGY.2016.05.076.

[9] R. G. Junker *et al.*, “Characterizing the energy flexibility of buildings and districts,” *Appl. Energy*, vol. 225, pp. 175–182, Sep. 2018, doi: 10.1016/J.APENERGY.2018.05.037.

[10] Industrielle Werke Basel, “Stromtarife 2020 inkl. MwSt.” https://www.iwb.ch/Fuer-Zuhause/Strom/Stromtarife.html (accessed Apr. 30, 2020).

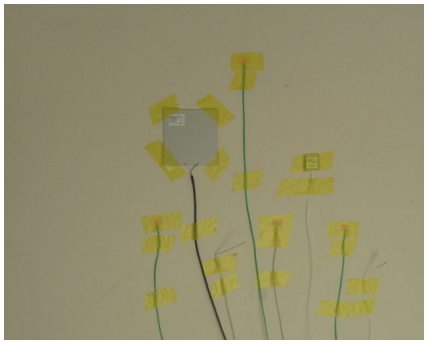
[11] EPEX SPOT Market DATA, “Intraday Auctions Data DE 2015.” https://www.epexspot.com.

[12] Pronovo AG, “Cockpit Stromkennzeichnung Schweiz, Stand Februar 2020.” https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/60212.pdf (accessed May 12, 2020).

[13] M. Hall and A. Geissler, “Energetische Flexibilität von Gebäuden,” BFE SI/501240-01 Schlussbericht, FHNW IEBau, 2020.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

U-Wert Messungen vor Ort mit drei unterschiedlichen Messgeräten



Caroline Hoffmann, Achim Geissler
Kontaktperson: Caroline, Hoffmann, Caroline.Hoffmann@fhnw.ch, https://www.fhnw.ch

Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Energie am Bau

Zusammenfassung

Übergeordnetes Ziel des Projektes ist es die Durchführung von U-Wert Messungen im Feld zu erleichtern. Dazu soll eine Anwendungshilfe erstellt werden. Um die Einflussgrössen auf die U-Wert Messung besser eingrenzen zu können, werden im Winter 2019/20 an zwei Mauerwerkswänden (M1 und M2) und einer Betonwand (B1) mit drei unterschiedlichen mobilen U-Wertmessgeräten insgesamt 11 Messungen durchgeführt. Die einzelnen Messgerätetypen weisen unterschiedliche Ausstattungen mit Fühlern und Wärmeflussplatten auf. Daher werden die U-Werte pro Gerät aus unterschiedlichen Eingangsgrössen berechnet. Eine Kontrollmessung der Bauteilfeuchte zu Beginn und nach Abschluss der gesamten Messperiode zeigt, dass der Feuchtegehalt aller Wände (fast) gleichgeblieben ist und daher das Messergebnis für die U-Werte nicht beeinflusst. Bei den durchgeführten Messungen wird hauptsächlich die Befestigung der Fühler und Wärmeflussplatten an den Bauteilen variiert. Trotz der unterschiedlichen Befestigung sind die Messungen für die Bauteile untereinander vergleichbar und es kann pro Messgerät und Bauteil ein Mittelwert gebildet werden. Diese mittleren U-Werte liegen für M1 zwischen 1.5 (Messgerät Firma Ahlborn), 1.1 (Messgerät Firma GreenTEG) und 1.0 W/(m^2 K) (Messgerät Firma Testo) und für B1 zwischen 1.8 (Ahlborn) und 1.2 W/(m^2 K) (GreenTEG; Testo = ungültige Werte). Der berechnete U-Wert liegt für alle Bauteile (M1, M2 und B1) zwischen 1.2 und 1.3 W/(m^2 K). Damit überschreiten die gemessenen U-Werte für das Messgerät Ahlborn deutlich (M1, B1) die berechnete Bandbreite. Die gemessenen U-Werte mit dem Messgerät GreenTEG liegen etwas unter (M1) oder in der berechneten Spannweite (B1) für beide Bauteile. Der U-Wert mit dem Messgerät Testo unterschreitet die berechnete Spannweite für das Mauerwerk (für B1 gibt es keine gültige Messung). Ergänzende Labormessungen und Simulationen stehen noch aus, daher ist die Interpretation der Ergebnisse noch nicht abgeschlossen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Gerade im Kontext von geschützten bzw. historischen Bauten liefert die sichere und zerstörungsfreie Bestimmung des Wärmedurchgangskoeffizienten wichtige Hinweise zu den energetischen Bauteileigenschaften und dem entsprechenden Verbesserungspotential.

Heute erhältliche mobile U-Wert Messgeräte sind sehr nutzerfreundlich. Allerdings sind die Randbedingungen einer Messung vor Ort komplex, da sich beispielsweise Einflussgrössen wie das Wetter schlecht kontrollieren lassen.

Dass die Komplexität der Messungen bekannt ist, zeigen Befragungen: Von den Büros, welche derzeit keine in-situ U-Wert Messungen anbieten (gesamt 70 %, davon planen 23 % ein zukünftiges Angebot, N = 22) werden Barrieren im Bereich Fachkenntnisse und Grundlagenerarbeitung für die Messung und Vertrauen in Fremdmessungen identifiziert. Hier setzt das Forschungsprojekt an, aus dem erste Ergebnisse vorgestellt werden. Ziel des Projektes ist es, die Anwendung von U-Wert Messungen zu unterstützen, indem das Vorgehen bei der in-situ Messung erläutert und Hinweise für die Handhabung der Messgeräte gegeben werden.

Basis dafür ist es, die wesentlichen Einflussparameter auf die Qualität einer Messung einzugrenzen. Dazu wird der Wärmedurchgangskoeffizient einer Beton- und einer Mauerwerkswand unter definierten Einflüssen im Labor in einer Doppelklimakammer (Hotbox) gemessen. Unter gleichen Randbedingungen wird der U-Wert mit drei mobilen Messgerätetypen unterschiedlicher Hersteller bestimmt. Damit können Aussagen zur Messgenauigkeit der mobilen Geräte getroffen werden. Mit thermisch dynamischen Simulationen werden ergänzend einzelne Einflussgrössen analysiert und Randbedingungen variiert. Messungen im freien Feld von zwei mit den Labor-Prüfkörpern identischen Konstruktionen erlauben die Identifikation kritischer Parameter und die Ableitung von Hinweisen für die Wegleitung.

Eine grösstmögliche Ähnlichkeit der Konstruktionen für die Messungen vor Ort und im Labor wird gewährleistet, indem in einer Siedlung, die etappenweise abgerissen wird, gemessen wird. Ein ungedämmter Mauerwerksprüfling und ein Betonprüfling werden im Sommer 2019 einem abzureissenden Gebäude entnommen. Die Messungen vor Ort finden im Winter 2020 in baugleichen Gebäuden der Siedlung statt. Die Untersuchungen basieren so auf der Annahme, dass die Prüfkörper für die Labormessung und die Wände für die in-situ Messung bezüglich Wärmeleitfähigkeit und Dichte gleich sind.

Der vorliegende Beitrag konzentriert sich auf die Messungen vor Ort. Gemessen wird mit drei mobilen U-Wert Messgeräten unterschiedlicher Hersteller. Alle U-Wert Messgeräte verfügen entweder über Messfühler zur Erfassung der Wandoberflächentemperatur und/oder der Wärmestromdichte (siehe Abschnitt 2.2). Ein wichtiger Punkt ist daher, wie die Messfühler auf der Wandinnenseite befestigt werden können. Geht man von einer bewohnten Wohnung aus, so ist eine fleckenfreie, thermisch gut leitende Befestigung gewünscht. Im Vorfeld werden daher auf sieben unterschiedlichen Wandoberflächen (variiert werden Mattigkeitsgrade von Wandfarbe und unterschiedliche Körnung von Putz) 14 unterschiedliche handelsübliche Haftmaterialien geprüft. Bezüglich Haltbarkeit und Fleckenarmut bewähren sich für gestrichene Flächen zwei Klebebänder und für Putz zwei Kontaktmassen.

Ziel der Messung vor Ort ist es, den Einfluss unterschiedlicher Befestigungen auf die Messung und mögliche Fehlerquellen bei der Erfassung der Aussentemperatur zu quantifizieren. Für Mauerwerk und Beton werden jeweils unterschiedliche Messsituationen erfasst. Variiert werden dabei die Befestigung der Temperatur- und Wärmestromsensoren auf der Wand und die Positionen der Messfühler, welche die Aussentemperatur erfassen.

Ausblick: Ab August 2020 werden Messungen im Labor durchgeführt. Dort werden die im Sommer 2019 entnommenen Prüflinge aus Mauerwerk und Beton untersucht. Den Messungen in der Doppelklimakammer (Hotbox) unter definierten Einflüssen (Temperatur, Strömungsgeschwindigkeit erzwungene Konvektion) werden Messungen unter gleichen Randbedingen mit den drei mobilen Messgeräten gegenübergestellt. Daraus kann die Messgenauigkeit der mobilen Messgeräte abgeleitet werden.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2. Vorgehen

2.1 Untersuchte Wände

Prüfkörper für die Labormessung

Der Prüfkörper Mauerwerk ist ungedämmt, der Prüfkörper Beton hat aussenseitig eine Dämmung aus ca. 1.5 cm starkem Kork. Es resultieren die folgenden Aufbauten (von aussen nach innen):

- Mauerwerk Prüfkörper: Aussenputz (2.0 cm), Mauerwerk (Ziegelsteine und Mörtel: 39.0 cm), Innenputz (1.0 cm), Gesamt: 42.0 cm, Rohdichte (gewogen): 1470 kg/m^3
  (dieser Prüfkörper wird ab August 2020 im Labor gemessen)
- Beton Prüfkörper: Aussenputz (1.0 cm), Kork (1.5 cm), Beton (41.5 cm), Innenputz (1.0 cm), Gesamt: 45 cm
  Rohdichte (gewogen): 2057 kg/m^3
  (dieser Prüfkörper wird ab August 2020 im Labor gemessen)

Wände für die in-situ Messung

Die in-situ Messungen an zwei Mauerwerkswänden werden im 3. OG durchgeführt. Abweichend vom Prüfkörper aus dem 1. OG für die Labormessung weist das Mauerwerk dort die folgende Wandstärke auf:

- Mauerwerk 1 und 2: Aussenputz (2.0 cm), Mauerwerk (Ziegelsteine und Mörtel: 33.0 cm), Innenputz (1.0 cm), Gesamt: 36.0 cm
- Beton 1: die Betonwand entspricht dem Beton Prüfkörper

2.2 U-Wert Messung in-situ

Die Messungen werden im Zeitraum zwischen dem 12.12.2019 und dem 02.03.2020 durchgeführt. Die drei Räume, in denen gemessen wird, sind unbewohnt, aber durchgängig beheizt. Die Messungen 1 - 6 werden am Mauerwerk 1 (M1), Messung 7 wird an einer anderen Mauerwerkswand (M2) durchgeführt. Messung 7 dient als Kontrollmessung, um zu sehen, ob die Mauerwerkswände im Gebäude vergleichbar sind. Messungen 8 – 11 erfolgen an einer Betonwand (B1).

Es werden drei in-situ U-Wert Messgeräte mit den folgenden Messfühlern eingesetzt:

- Almemo (Fa. Ahlborn): eine Wärmeflussplatte, jeweils ein Fühler Wandoberflächentemperatur innen und aussen, ein Fühler wandnahe Lufttemperatur innen und ein Fühler Lufttemperatur aussen
- gSKIN U-Value KIT (Fa. GreenTEG): eine Wärmeflussplatte, ein Fühler wandnahe Lufttemperatur innen und ein Fühler Lufttemperatur aussen
- Testo 635-2 U-Wert-Set (Fa. Testo): drei Fühler Wandoberflächentemperatur innen, ein Fühler Lufttemperatur innen am Fühlerstecker des Messgerätes und ein Fühler Lufttemperatur aussen

Die Messfühler werden auf unterschiedliche Art und Weise auf der Wandoberfläche befestigt:

- Punktuelle Befestigung der Oberflächen-Temperaturfühler
  - Kontaktmassen: «Putty» (Firma GreenTEG), UHU «Patafix» und Bostik «Blu tack»
  - Sonstiges: Fühler mit Kupferklebeband an der Wand befestigt
- Flächige Befestigung Wärmeflussplatte
  - Kontaktmassen: «Putty» (Firma GreenTEG), «Wacker» = (Silikon) Wärmeleitpaste der Firma Wacker (λ 0.6 – 0.8 W/(m K)).
  - Sonstiges: Haftpads «Mount» der (Firma GreenTEG), «trockene» Verbindung («Luft» = Wärmeflussplatte nur mit Klebeband an der Wand befestigt)

Die Aussenluft-Temperaturfühler sind mit einem Strahlungsschirm versehen (ausser bei Messung 6) und mit einem Abstand von mindestens ca. 20 cm zur Hauswand angebracht. Aufgrund der

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abschirmung wird aussen die Lufttemperatur, innen eine Mischtemperatur erfasst. Die Messdaten werden im Abstand von 10 Minuten aufgezeichnet.

Die Messungen werden gemäss ISO 9869-1 [1] ausgewertet. Je nach Ausstattung der Messgeräte werden die in Tabelle 1 angegebenen Formeln verwendet.

Tabelle 1: Möglichkeiten der U-Wert Berechnung in Abhängigkeit vom Messgerät, bzw. den erfassten Messgrössen.

Formel	Benennung im Text	Almemo (Ahlborn) [2]	gSKIN U-Value KIT (GreenTEG) [3]	Testo 635-2 U-Wert-Set (Testo) [4]
$U = \frac{1}{\left(\frac{1}{h_{si}}+\frac{1}{\Lambda}+\frac{1}{h_{se}}\right)}$ (F1)	UWert_F1$_m$	☑	☒	☒
$U = \frac{q}{T_i - T_e}$ (F2)	UWert_F2$_m$	☑	☑	☒
$U = h_{si}\ \frac{\Delta T1}{\Delta T2}$ (F3) mit 7.69 W/(m^{2}K) für h_{si}	UWert_F3$_m$	☑	☒	☑

Für die Datenanalyse wird die «Average Method» aus [1] verwendet. Dabei wird der aufsummierte Wärmefluss durch die aufsummierte Temperaturdifferenz geteilt.

$$U = \frac{\sum_{j=1}^{n} q_j}{\sum_{j=1}^{n} (T_{ij} - T_{ej})} \quad \text{(F4)}$$

Dabei sind für eine Messung im Intervall [τ_1 … τ_n] mit n Zeitschritten

n	Anzahl Messungen / Zeitschritte im betrachteten Zeitraum
j	Index der Messung zum Zeitpunkt τ_j
T_{ij}, T_{ej}	Innentemperatur bzw. Aussen(luft)temperatur in K zum Zeitpunkt τ_j
q_j	Wärmestromdichte in W/m^2 zum Zeitpunkt τ_j

Diese Näherung gilt nur unter der Voraussetzung möglichst konstanter Randbedingungen:

- Nahezu gleichbleibender Wärmegehalt des Bauteils während der Datenerfassungsperiode (gleiche Temperaturen und Feuchtegehalt).
- Die Wärmeflussplatte und der Temperaturfühler aussen sind keiner direkten Sonnenstrahlung ausgesetzt.
- Die Wärmeleitzahl des Prüfkörpers ist konstant.

Die der Analyse zugrunde zu legende Mittelungsdauer beträgt für mittlere und schwere Elemente mit spezifischer Wärmekapazität (> 20 kJ/(m^2 K)) immer ein Vielfaches von 24 h. Die Messung kann dann gestoppt werden, wenn die drei Abbruchkriterien gemäss [1] erfüllt sind:

1. Minimaldauer 72 h
2. der Messwert (U-Wert) am Ende der Messung weicht nicht mehr als ±5 % vom Wert 24 h zuvor ab.
3. Der Messwert, der während der ersten 2/3 der Analyseperiode erhalten wird, weicht nicht mehr als ±5 % vom Wert der letzten 2/3 der Analyseperiode ab.

Als Messunsicherheit wird die Angabe in [1] verwendet, wonach diese bei guten Messgeräten und sorgfältigem Messen unter der Annahme, dass sämtliche Einzelfehler unabhängig und zufälliger Natur sind, bei 14 % und bei additiven Fehlern bei 28 % liegt. In vorliegendem Beitrag wird vereinfachend von 28 % ausgegangen.

Bei der Benennung der Messungen kommt die Systematik gemäss Abbildung 1 zum Einsatz.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

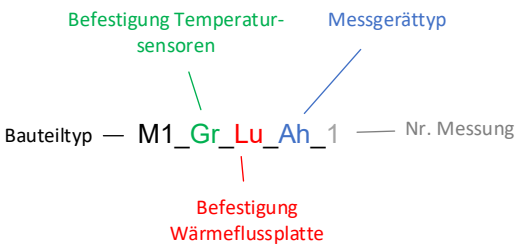


Abbildung 1: Systematik für die Benennung der Messungen. Die Abkürzungen werden in Abbildung 2 erläutert.

2.3 Messung Feuchte

Die Wärmeverluste eines feuchten Bauteils sind infolge der höheren Wärmeleitfähigkeit und höherer Verdunstungskühlung (Oberflächentemperaturabsenkung) höher als die eines trockenen Bauteils. Daher ist für die gesamte Messperiode eine gleichbleibende Bauteilfeuchte von Interesse. Um herauszufinden, ob sich die Bauteilfeuchte im Verlauf der Messperiode ändert, werden Feuchtemessungen kurz nach Beginn (08.01.2020) und nach Abschluss (09.03.2020) der U-Wert Messungen durchgeführt. Verwendet wird das Gerät «Hydromette, M4050» mit einer Aktiv-Elektrode B 60, der Firma GANN. Die Messungen werden nach dem Widerstands-Messprinzip (Scanbereich) durchgeführt.

2.4 U-Wert Berechnung

Die U-Werte für die Wände Mauerwerk (M1 und M2) und Beton (B1) können wie folgt berechnet werden.

$U = \frac{1}{R_{si}+\sum_k\left(\frac{l}{\lambda}\right)_k+R_{se}}$ (F5), Benennung in weiteren Text: UWert_F5$_b$

Annahmen bei der Berechnung:
Für R_{si} und R_{se} werden die Werte 0.13 m^2 K/W (h_i = 8 W(m^2 K)) und 0.04 m^2 K/W (h_e = 25 W(m^2 K)) gemäss [5] verwendet.

Berechneter U-Wert M1 und M2:
Da die exakte Wärmeleitfähigkeit der verwendeten Ziegel nicht bekannt ist, ergibt sich für den UWert_F5$_b$ eine Spannweite von 1.2 – 1.3 W/(m^2 K) (mit Ziegel 1´470 kg/ m^3, λ = 0.52 [6], bzw. 0.58 W/(m K) [7]).

Berechneter U-Wert B1:
Der berechnete Wert für die Betonwand hat aufgrund der unbekannten Wärmeleitfähigkeit eine Bandbreite von ebenso 1.2 - 1.3 W/(m^2 K) (mit Beton 2´057 kg/m^3, λ = 1.2 [6], bzw. 1.35 W/(m K) [7]).

3. Messergebnisse

3.5 U-Wert

Auswertung verschiedene Befestigungsmethoden Sensoren

Beim Mauerwerk (M1) sind für jedes Messgerät die Messungen 1 – 6, beim Beton die Messungen 8 - 10 grundsätzlich vergleichbar, da es sich um dasselbe Bauteil handelt, die Messgeräte lediglich unterschiedlich mit der Wand verbunden sind, oder die Aussentemperatur ohne Strahlungsschirm erfasst wird (Messung 6). Ziel des folgenden Abschnittes ist die Betrachtung der Streuung aufgrund verschiedener Befestigungsmethoden.

Für die Messgeräte ergeben sich unterschiedliche U-Werte (alle U-Werte ± 28 %):

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Ahlborn: mittlerer UWert_F1$_m$ Mauerwerk 1 (M1): 1.5 W/(m^2 K), Beton 1 (B1): 1.8 W/(m^2 K), Abweichungen Messung 1 - 6 von diesem Mittelwert bei M1: +14 und -20 %, Abweichungen Messung 8 - 10 von diesem Mittelwert bei B1: + 10 und -15 %
- GreenTEG: mittlerer UWert_F2$_m$ M1: 1.1 W/(m^2 K), B1: 1.2 W/(m^{2}K), Abweichungen Messung 1 - 6 von diesem Mittelwert bei M1: +21 und -13 %, Abweichungen Messung 8 - 10 von diesem Mittelwert bei B1: +10 und -10 %
- Testo: mittlerer UWert_F3$_m$ M1: 1.0 W/(m^2 K), B1: ungültig, Abweichungen Messung 1 - 6 von diesem Mittelwert bei M1: +13 und -8 %, B1: ungültig

Es zeigt sich, dass Ahlborn die höchsten U-Werte ausweist. Die Abweichungen der Einzelmessungen vom Mittelwert Messung 1 – 6, bzw. Messung 8 - 10 sind bei Ahlborn und GreenTEG ähnlich hoch, bei Testo etwas tiefer. Insgesamt streuen also bei allen Geräten die gemessenen U-Werte.

Die Vergleichsmessung M2 ergibt die folgenden Werte (alle U-Werte ± 28 %):

- UWert_F1$_m$ (Ahlborn): 1.4 W/(m^2 K), UWert_F2$_m$ (GreenTEG): 1.3 W/(m^2 K), UWert_F3$_m$ (Testo): 0.6 W/(m^2 K)

In Abbildung 2 sind die aus den Messergebnissen resultierenden U-Werte für das Mauerwerk 1 und 2 wiedergegeben. Abbildung 3 zeigt die Ergebnisse für den Beton. Für alle Ergebnisse, die in der Grafik nicht gefüllte Markierungen aufweisen, kann kein gültiger U-Wert berechnet werden, d.h., die Abbruchkriterien gemäss Abschnitt 2.2 [1] können nicht erfüllt werden. Die Messergebnisse sind entsprechend den Befestigungsarten für die Wärmeflussplatte angeordnet. Für das Messgerät Testo (keine Wärmeflussplatte) sind die Messungen dargestellt, bei denen die Befestigung der Temperaturfühler identisch ist.

Bei der Befestigung der Wärmeflussplatte ist anzunehmen, dass bei keiner oder einer wenig leitenden Verbindung zwischen Wandoberfläche und Wärmeflussplatte ein eher zu tiefer U-Wert gemessen wird.

Messergebnisse mit Messgerät Ahlborn

Die Differenzen zwischen den einzelnen Messungen am Bauteiltyp Mauerwerk (Abbildung 2) entsprechen nicht den Erwartungen, da sich z.B. zwischen den Messungen mit trockener Verbindung (Lu) und den Messungen mit Wärmeleitpaste kein systematischer Unterschied ausmachen lässt. Beim Beton (Abbildung 3) lässt sich die erwartete Tendenz schon eher feststellen, hier weisen die Messungen 8 (Lu) und 10 (sonstige, Kontaktpaste «Putty») einen tieferen UWert_F1$_m$ als die Messung 9 (Wp, Wärmeleitpaste) auf. Allerdings sind alle beschriebenen Abweichungen innerhalb der Messunsicherheit und nicht konsistent zwischen Mauerwerk und Beton zu beobachten, daher ist das Ergebnis möglicherweise auch zufällig.

Messergebnisse mit Messgerät GreenTEG

Mit diesem Messgerät kann das erwartete Messverhalten beim Mauerwerk 1 und Beton etwas besser beobachtet werden: beim M1 wird der höchste UWert_F2$_m$ bei Messung 5 (Wärmeleitpaste) gemessen, gefolgt von Messung 2 mit Kontaktmasse «Putty». Die tiefsten UWerte_F2$_m$ werden mit «trockener» Verbindung («Luft», Messung 4) und Haftpads («Mount», Messung 3) erfasst. Bezieht man allerdings die Messungen 6 (kein Strahlungsschirm) und 7 (Kontrollmessung andere Mauerwerkswand M2) mit ein, werden die Erwartungen nicht mehr ganz so gut erfüllt, da beispielsweise bei «trockener» Verbindung ein hoher U-Wert gemessen wird. Bei der Betonwand wird der höchste U-Wert mit der Kontaktmasse «Putty» gemessen. Tiefere Werte werden für «trockene» Verbindung («Luft») und die Wärmeleitpaste erreicht.

Messergebnisse mit Messgerät Testo

Hier liegen für M1 drei gültige Messungen mit gleichen Befestigungsmitteln für die Temperaturfühler vor (das Gerät hat keine Wärmeflussplatte). Daher ist zu erwarten, dass die Werte für UWert_F3$_m$ nahe beieinanderliegen. Diese Erwartung wird mit Werten zwischen 1.0 und 1.1 W/(m^2 K) (± 28 %) erfüllt. Der UWert_F3$_m$ für M2 (gleiche Befestigungsmittel) ist mit 0.6 W/(m^2

DOI 10.5281/zenodo.3900180

K) (± 28 %) deutlich tiefer (die Ursache dafür ist nicht klar). Bei der angenommenen Messunsicherheit von 28 % ist diese Abweichung nicht signifikant.

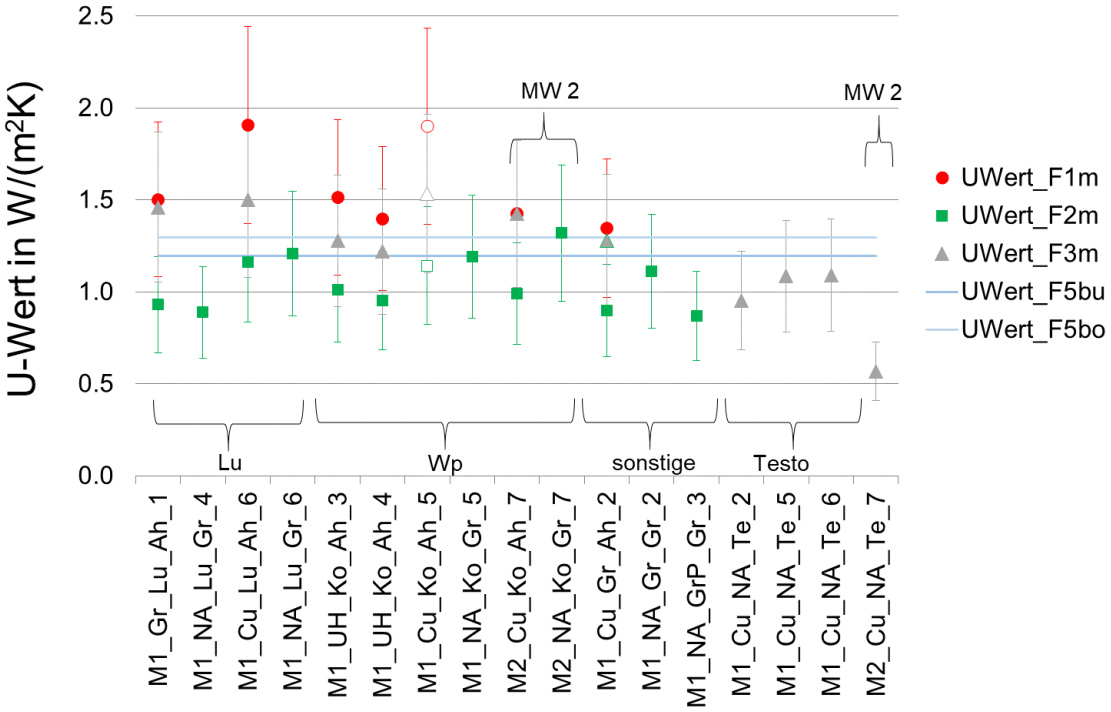


Abbildung 2: U-Wert Messungen Mauerwerk 1 und 2 (alle U-Werte ± 28 %). Zum besseren Vergleich sind die Messungen mit gleicher Befestigungsart der Wärmeflussplatte nebeneinander aufgeführt. Verwendete Abkürzungen: Ah = Ahlborn, Gr = GreenTEG, Te = Testo, Lu = Luft (kein Haftmittel), Wp = Thermische Leitpaste der (Firma Wacker), UWert_F5bo = berechneter U-Wert obere Grenze Spannweite, UWert_F5bu = berechneter U-Wert untere Grenze Spannweite. Ungefüllte Symbole stehen für ungültige Messungen.

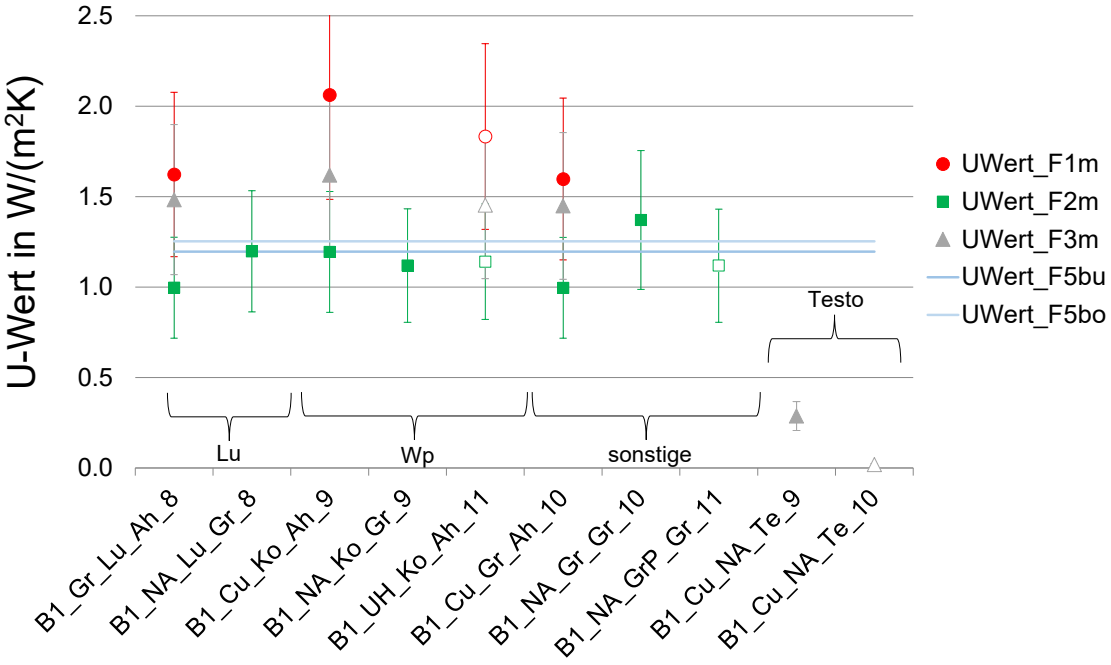


Abbildung 3: U-Wert Messungen Beton 1 (alle U-Werte ± 28 %). Zum besseren Vergleich sind die Messungen mit gleicher Befestigungsart der Wärmeflussplatte nebeneinander aufgeführt. Verwendete Abkürzungen: siehe Abbildung 2. Die Messergebnisse von Testo sind sehr niedrig.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Auswertung bezogen auf Gerät

Wie Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigen, resultiert bei allen Messungen mit dem Messgerät Ahlborn (UWert_F1$_m$) stets der höchste (schlechteste) U-Wert. Werden aus den Messergebnissen dieses Messgerätes der UWert_F2$_m$ und der UWert_F3$_m$ berechnet (Formeln Tabelle 1), so ist die Rangfolge immer gleich: UWert_F1$_m$: höchster Wert, UWert_F3$_m$: Abweichung zwischen 0 und -27 % gefolgt von UWert_F2$_m$: Abweichung zwischen -44 und -64 %. Vergleicht man den UWert_F2$_m$ der Messgeräte Ahlborn und GreenTEG, so ergeben sich Abweichungen zwischen +25 und -16 %. Die höchsten Abweichungen ergeben sich beim UWert_F3$_m$ der Messgeräte Ahlborn und Testo mit -22 bis -151 %. Bei diesem Vergleich werden nur Messungen, welche die Abbruchkriterien gemäss [1] innerhalb von identischen Auswertungsperioden erfüllen, berücksichtigt.

Sonderfragen

Für die Auswertung der Messungen werden Sonderfragen untersucht, deren Antwort nachfolgend kurz vorgestellt wird:

- Auswirkung unterschiedlich langer Zeiträume auf das Ergebnis der Messung: Bei der Auswertung einer Messung für drei und für sechs Tage ergibt sich für den UWert_F2$_m$ und den UWert_F3$_m$ von + 2 % und für den UWert_F1$_m$ eine Abweichung von +3 %.
- Auswirkung unterschiedlicher Zeitspannen innerhalb eines Messzeitraumes: Es ergeben sich Abweichungen zwischen + 2 % (UWert_F2$_m$ und UWert_F3$_m$) und +3 (UWert_F1$_m$).
- Auswirkung unterschiedlicher Messintervalle auf das Ergebnis der Messung: Der Vergleich der Auswertung einer Messung, die in minütlichen Abständen erfasst wird, mit einem Messintervall von 10 Minuten zeigt bei der vorliegenden Auswertungssystematik (F4) keine Abweichung bei den UWert_F1$_m$ Berechnungen. Aufgrund der Summenbildung ist dies erwartbar, könnte sich bei einer anderen Auswertung aber ändern.
- Auswirkung unterschiedliche Erfassung der Aussentemperatur: Die Aussentemperatur ist über einen Aussentemperaturfühler mit Strahlungsschirm zu messen. Zum Vergleich wird eine Messung durchgeführt, bei der die Aussentemperatur einmal mit und einmal ohne Strahlungsschirm sowie einmal ohne Strahlungsschirm hinter einem Fensterladen für 24 h an der Nordwestwand erfasst wird. Gemessen wird vom 21.01.2020 8:50 Uhr bis zum 22.01.2020 8:20 Uhr. Der Himmel ist klar (Beitrag oberste Wolkenschicht 1 octa). Für die Temperaturerfassung hinter dem Fensterladen ergeben sich die höchsten Temperaturen (Mittelwert 0.8 °C), gefolgt von der ungeschützten Erfassung (Mittelwert 0.3 °C). Die tiefsten Temperaturen werden mit dem Strahlungsschirm gemessen (Mittelwert 0.1 °C). Wird überschlägig für die Messung M1_UH_Ko_Ah_3 die jeweilige Temperaturdifferenz zu den Messdaten für die Aussentemperatur hinzuaddiert, so verändert sich der U-Wert wie folgt:
  - Hinter Fensterladen ohne Strahlungsschirm Abweichung zur Referenz: UWert_F1$_m$ +5 %, UWert_F2$_m$ +3 %, UWert_F3$_m$ +3 %
  - Ohne Strahlungsschirm Abweichung zur Referenz: UWert_F1$_m$ +1 %, UWert_F2$_m$ +1 %, UWert_F3$_m$ +1 %

3.6 Feuchte

Die Messungen zeigen, dass sich die Feuchte der Wände während des Messverlaufs nicht oder nur geringfügig geändert hat. Grundsätzlich kann davon ausgegangen werden, dass der Feuchtegehalt der Wände das Messergebnis für die U-Wert Messung nicht beeinflusst hat.

4. Zusammenfassung und Diskussion

Zwischen dem 12.12.2019 und dem 02.03.2020 werden an zwei Mauerwerkswänden (M1 und M2) und an einer Betonwand (B1) mit drei unterschiedlichen Messgeräten insgesamt 11 U-Wert Messungen durchgeführt. Eine Kontrollmessung der Bauteilfeuchte vor Beginn und nach

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abschluss der gesamten Messperiode zeigt, dass der Feuchtegehalt der Wände (fast) gleichgeblieben ist und daher das Messergebnis für den U-Wert nicht beeinflusst.

Bei den durchgeführten Messungen wird hauptsächlich die Befestigung der Temperaturfühler und Wärmeflussplatten an den Wänden variiert. Trotz der unterschiedlichen Befestigung sind die Messungen für die Bauteile untereinander vergleichbar und es kann pro Messgerät und Bauteil ein Mittelwert gebildet und mit der Spannweite des rechnerischen U-Wertes verglichen werden (Abbildung 4). Es zeigt sich so, dass Ahlborn mit UWert_F1$_m$ mit der angenommenen Messunsicherheit von 28 % nicht-signifikant über dem rechnerischen UWert_F5$_b$ von M1 und demjenigen von B1 liegt. Der Messwert mit dem Gerät von GreenTEG liegt mit dem UWert_F2$_m$ beim Mauerwerk etwas unter dem UWert_F5$_b$, jedoch nicht signifikant. Beim Beton stimmen Messung und rechnerischer Wert sehr gut überein. Der Messwert mit dem Gerät von Testo liegt mit UWert_F3$_m$ nicht-signifikant unter dem UWert_F5$_b$ beim Mauerwerk, beim Beton gab es keine gültigen Messungen.

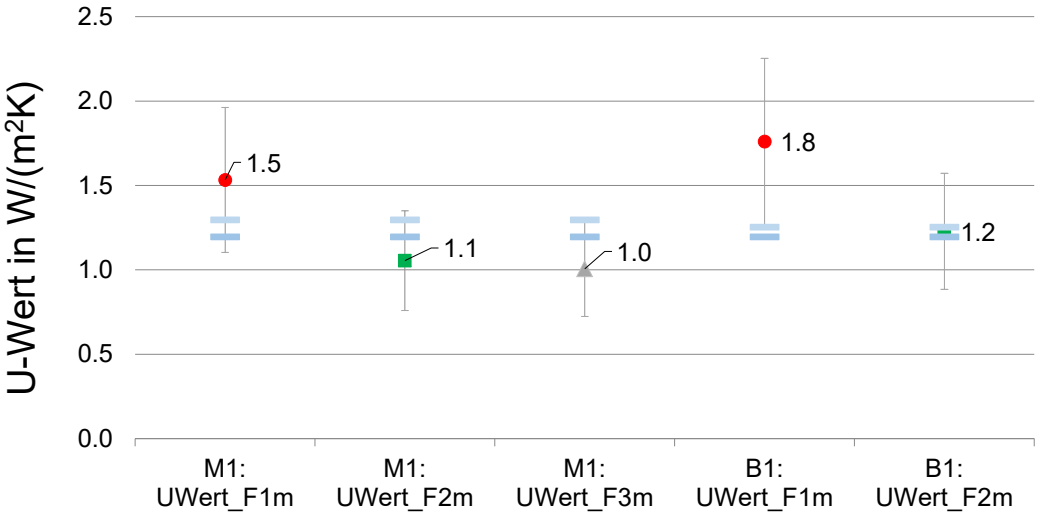


Abbildung 4: Übersicht mittlere U-Werte Messung und Berechnung (UWert_F5). Dabei werden die folgenden Messungen berücksichtigt: MW 1: UWert_F1$_m$: Messung 1-4,6; M1: UWert_F2$_m$: Messung 1-6; M1: UWert_F3m: Messung 1-6; B1: UWert_F1m: Messung 8-10; B1: UWert_F2m: Messung 8-10. Die blauen Balken zeigen die obere (hellblau) und untere (mittelblau) Grenze der Spannweite des berechneten U-Wertes.

Beim Vergleich der Messungen von M1 und M2 liegen die Differenzen (M2 UWert_F1$_m$: 1.4 W/(m^{2}K)) im Bereich der Messunsicherheit und es handelt sich um baugleiche Bauteile.
Für die Befestigung der Wärmeflussplatte an der Wand bieten sich für die Messgeräte Ahlborn und GreenTEG (das Gerät Testo enthält keine Wärmeflussplatte) unterschiedliche Möglichkeiten an: «trockene» Verbindung («Luft»), Kontaktmasse («Putty») und Wärmeleitpaste. Die Auswertung der entsprechenden Messungen zeigen, dass die Befestigung einen Einfluss auf den gemessenen U-Wert hat. Da der Unterschied zwischen den einzelnen Befestigungsmethoden und den betrachteten Bauteilen aber nicht konsistent ist, ist es nicht schlüssig, für die Abweichungen die Befestigung der Wärmeflussplatte alleine verantwortlich zu machen. Dies gilt auch für die Befestigung der Temperaturfühler.
Da das Messgerät Ahlborn die meisten Grössen erfasst, können für dieses Messgerät neben dem UWert_F1$_m$ auch der UWert_F2$_m$, sowie der UWert_F3$_m$ berechnet und somit die Ansätze der Messgeräte miteinander verglichen werden (siehe Tabelle 1). Der UWert_F1$_m$ ist immer am höchsten, gefolgt vom UWert_F2$_m$ (Abweichung zwischen 0 und –27 %) und schliesslich dem UWert_F3$_m$ (Abweichung zwischen –44 und –64 %). Damit beeinflusst die Anzahl der in die Berechnung einfliessenden Messgrössen, bzw. die der impliziten Annahmen den U-Wert erheblich. Vergleicht man die Messgeräte untereinander, so ergeben sich beim UWert_F2$_m$ (Ahlborn und GreenTEG) Abweichungen zwischen +25 und –16 %. Beim UWert_F3$_m$ (Ahlborn und Testo) treten mit –22 bis –151 % die höchsten Abweichungen auf.

Nur einen sehr geringen Einfluss auf das U-Wert Ergebnis haben die folgenden Faktoren:

- Unterschiedlich lange Zeitspannen (3 versus 6 Tage) für die U-Wert Berechnung: 2 – 3 %

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Unterschiedliche Zeitspannen innerhalb eines Messzeitraumes: 2 – 3 %
- Unterschiedliche Messintervalle (1 Minute versus 10 Minuten) bei vorliegender Auswertungssystematik (F4): 0 %
- Unterschiedliche Erfassung der Aussentemperatur (Basis für den Vergleich: Strahlungsschirm): hinter Fensterladen ohne Strahlungsschirm: 3 – 5 %, ohne Strahlungsschirm: 1 %

Der Einfluss des Strahlungsschirms muss im Weiteren noch überprüft werden. Da die untersuchte Messperiode sonnig war (mit täglichen Maximalwerten für die Globalstrahlung auf die nordwestorientierte Fassade zwischen 290 und 340 W/m^2), widerspricht das Ergebnis den Erwartungen. Mit nur einer Messung ist die Basis für den Vergleich klein.

5. Ausblick

Die Messergebnisse des Projektes überraschen in zweierlei Hinsicht: zum einen weichen die Ergebnisse zwischen den Geräten voneinander ab, zum anderen variieren die Messergebnisse bei ein und dem selben Gerät. Insbesondere die Tatsache, dass das Gerät von Ahlborn, welches eigentlich die meisten Grössen erfasst, eher über dem berechneten Wert liegt, muss noch eingehender analysiert werden. Ob die Unterschiede bei ein und demselben Gerät alleine auf die Befestigungsart der Sensoren zurückzuführen ist, ist mit den vorhandenen Messungen nicht zu beurteilen. Dazu wäre die Wiederholung ein und derselben Messung mit gleichbleibender Befestigungsart der Messfühler notwendig. Es ist anzunehmen, dass äussere Einflüsse wie das Klima eine Ursache für die Abweichungen sind. Als nächster Arbeitsschritt im Projekt folgen ab August 2020 die Messungen im Labor und die Simulationen des U-Wertes. Mit den Simulationen ist zum Beispiel auch die Frage zu klären, wie die Messresultate durch mögliche Wärmebrücken-einflüsse im Wandbereich der Messung beeinflusst werden. Insgesamt soll mit diesem Vorgehen aus Messungen vor Ort und im Labor, sowie den Simulationen geklärt und gegebenenfalls quantifiziert werden, welche Einflüsse auf die Messungen einwirken.

Anhang

Literatur

[1] ISO 9869-1, *Thermal insulation - Building elements - In-situ measurement of thermal resistance and thermal transmittance - Part 1: Heat flow meter method*. 2014.

[2] Ahlborn, “Wärmeflussplatte (Typ 117), Thermodratfühler (NiCr-Ni) Datenlogger Almemo 809 (V7),” 2018.

[3] greenTEG, “gSKIN KIT-2615C calibrated (U-Value Kit),” 2018.

[4] Testo, “Feuchte-/Temperatur-Messgerät mit Messwertspeicher, Testo 635-2,” 2018.

[5] SIA 180, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*. Schweiz, 2014, pp. 1–72.

[6] K. Schild and W. M. Willems, *Wärmeschutz*. Wiesbaden: Viehweg + Teubner, 2011.

[7] H. W. Bobran and I. Bobran-Wittfoht, *Handbuch der Bauphysik*, 8th ed. Köln: Verlagsgesellschaft Rudolf Müller GmbH & Co KG, 2010.

Abkürzungsverzeichnis

k = Konstruktion
l = Länge
q = Wärmestromdichte [W/m^2]
R = Wärmedurchlasswiderstand [m^2 K/W]
R_{si} = innerer Wärmeübergangswiderstand [m^2 K/W]
R_{se} = äusserer Wärmeübergangswiderstand [m^2 K/W]
R_T = Wärmedurchgangswiderstand [m^2 K/W]

DOI 10.5281/zenodo.3900180

T_i = Umgebungstemperatur innen; im Weiteren gemäss Definition des U-Wertes auf Grundlage der Lufttemperatur wird hier die Lufttemperatur angesetzt (für Details siehe [1], 4.2 & Annex A) [K]

T_e = Umgebungstemperatur aussen; dito. [K]
T_{si} = Oberflächentemperatur innen [K]
T_{se} = Oberflächentemperatur aussen [K]
U = Wärmedurchgangskoeffizient [W/(m^2 K)]
Λ = Wärmeleitzahl [W/(m^2 K)]
$\Delta T1 = T_i - T_{si}$

$\Delta T2 = T_i - T_a$

Dank

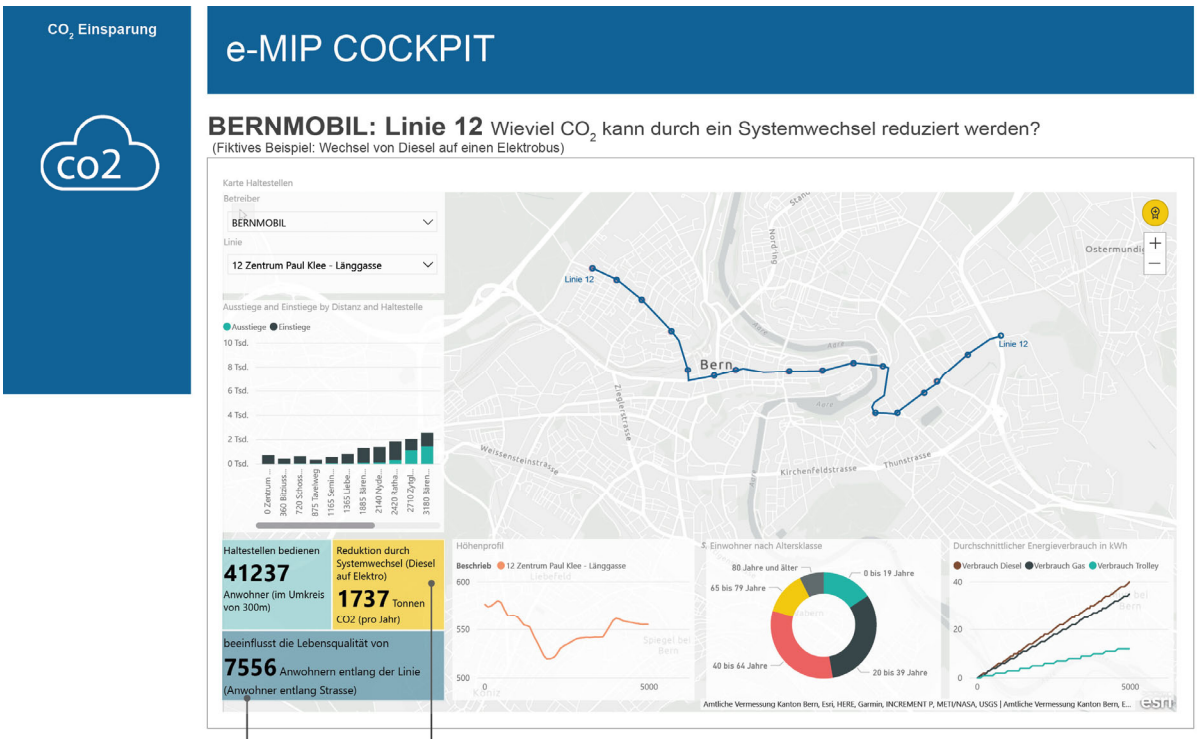
Das Projekt wird vom Bundesamt für Energie, BFE, unter dem Vertrag SH/8100049-01-01-22 gefördert. Die Entnahme der Prüfkörper sowie die Messungen konnten in Gebäuden der Baugenossenschaft des Bundespersonals Basel (BBB) durchgeführt werden.

Projektpartner

Berner Fachhochschule, Institut für Holzbau, Tragwerke und Architektur

DOI 10.5281/zenodo.3900180

CO2 optimized planning of e-bus routes through neighbourhoods



e-MIP Graphical User Interface, example Bernmobil (Source: Dencity)

Prof. Dr. Joachim Huber, dipl. Arch. ETH EMBA HSG
Dencity - Institut für Siedlungsentwicklung und Infrastruktur
Berner Fachhochschule
Architektur, Bau und Holz
Pestalozzistrasse 20
3401 Burgdorf
joachim.huber@bfh.ch
www.dencity.ch

Abstract

An interdisciplinary CTI/Innosuisse project of the Berne University of Applied Sciences with Carrosserie Hess AG simulates and visualizes the advantage in the CO2 balance by using a modern "in-motion-charging" e-trolleybus for line optimizations by quarters or extensions into the agglomeration and region. The replacement of diesel buses by e-buses create an urban quality in addition to the energetic one. The scientific objective was summarized as followed: a coherent, big data based, quantitative spatial simulation and evaluation of optimized, modified as well as new bus routes. This with special consideration of the affected neighbourhoods and CO2 neutrality or zero emissions. The result is a spatial visualization of optimized bus routes, passenger capacities, utilization and urban density in a decision-supporting cockpit in the procurement process.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. From SCCER fundamental research to applied interdisciplinary research with industrial implementation partner HESS AG

How is electric mobility in public transport related to quality of life in the neighbourhood? The rapidly growing demand for mobility and digitalization are among the greatest challenges of the 21st century. In order to shape the future, global trends must be taken into account and local conditions must be used in a targeted manner. Digitization and big data are increasingly penetrating the systems of our living space. In recent years, the Swiss research landscape has undergone a transformation. The influence of methodological and content-related, but also technical questions regarding the role of Big Data in research institutions has increased significantly. Through its participation in the Swiss Competence Center for Energy Research (SCCER) Mobility 2014-2020 [1], Dencity has acquired expertise in the spatialization of socio-geographic data from Big Data, the Institute for Urban Development and Infrastructure at the Berne University of Applied Sciences, and documented this in an interim report [2] for SCCER Phase I (2014-2016), which the Swiss bus company Carrosserie HESS AG took as the starting point for interdisciplinary cooperation in a CTI/Innosuisse project (2017-2019) [3]. The aim was to develop a tool to optimise the planning of e-trolleybus lines for the (then) new SwissTrolley® plus, which was to be used primarily in the acquisition process.

2. Interdisciplinary challenge – from quantitative data to urban quality

The research cluster was formed by three teams from the Bern University of Applied Sciences: Dencity - Urban Development and Mobility [4], Competence Area, Management and Market Research IdBH [5], ICT-Based Management ICTM [6] and the team from HESS AG [7].
The partners of the used application examples were also involved: Bernmobil and Biel public transport VBB.
The interdisciplinary challenge was not only in terms of project management, but especially in terms of content. E-mobility generates a lot of new data, parallel to this more and more data is available through the BfS (Federal Office for Statistics) ore other open data sources. How can this quantitative wealth be brought together in a qualitative assessment of the urban context of a new bus line or one that is to be extended? And how does one integrate the statements obtained into an acquisition process?
The jointly developed e-MIP tool offers an approach to make bus networks more flexible. e-MIP stands for **e**lectro-**M**obility-**I**nformation **P**lanning. The tool combines electromobility in public transport with the need for better quality of life and emission reduction in urban areas and the goal of reducing CO2 emissions compared to conventional drives (i.e.: diesel bus).

3. Quality of life through e-mobility

The new electric bus from HESS AG, the SwissTrolley® plus owns a so-called "in-motion charging" feature. This means that the bus can charge its batteries at the overhead wire and thus cover up to 40 percent of the travel distance of a battery charging process without overhead wire. By charging at the overhead wire, the SwissTrolley® plus does not need any additional charging infrastructure.

The challenge in the research project is now how to effectively use and demonstrate this flexibility so that added value is generated for public transport and the urban context. The scientific goal was summarized: a coherent, big data based, quantitative spatial simulation and evaluation of optimized, modified, as well as new bus routes. This with special consideration of the affected neighbourhoods and CO2-neutrality or zero emissions. The

DOI 10.5281/zenodo.3900180

result is a spatial visualization of optimized bus routes, passenger capacities, utilization and urban density in a decision-supporting cockpit in the procurement process. The navigation in the cockpit was developed from the analysis of typical acquisition processes and was integrated into a carefully designed graphical user interface (GUI).
e-MIP is a two-part tool. On the one hand, it consists of a product for trade fair use, which was developed from the analysis of initial contacts in the acquisition process. Here, the case studies are provided in an exemplary and static way and present all possible options and sales arguments for line optimization of a SwissTrolley® plus. The clarity of the graphical-user-interface makes the options generally understandable. The exhibition tool was successfully used by Hess AG and Dencity at Smart Suisse 2019 [8], at the Swiss e-Prix Bern 2019 and at the national Digital Day Switzerland 2019.
The second part of the tool is an in-depth consulting tool into which specific trolley bus lines of the respective customer can be entered by arrangement in order to plausibly present the options of the SwissTrolley® plus technology using real examples. Great importance is attached to the visualization of the results. Together with the participating transport companies Biel and Bernmobil, which had already purchased SwissTrolley® plus buses, exemplary route scenarios were selected for the development of the consulting tool, which have the potential for extensions, route changes or new routes.

4. Database and datacockpit

Dencity worked originally mainly with parametric design, which can link programs (especially CAD programs) [9] and data sources. Already during the e-MIP project it became apparent that the trend is towards (3d) GIS solutions with corresponding database solutions [10]. A path that was ultimately successful here.
The first step was to create a SQL postGIS database with filtering and customization and to enter the required statistical and spatial characteristics of the selected routes: length, topography, stops, passenger numbers etc. These data are provided by the transport companies (Bernmobil, VB Biel). The different route scenarios are evaluated and compared with each other. The coefficients for evaluating the scenarios are generated from the repertoire of urban density indicators - Dencity's actual core competence. This has long since ceased to be just the building mass, but rather an interplay of population density, job density, open space density, infrastructure density and cultural density. Spatial data, data on user behaviour and environmental data are also included. Within the Project, we named this the “e-MIP index”. As an innovation, arguments and criteria are being compiled which place urban space in direct relation to energy emissions, with current criteria on density and spatial quality. The selected quarters will then be classified on the basis of the ARE community types [11].
The tool combines freely available data from, among others, the Federal Statistical Office BfS, official cadastral surveying (cantons), GIS (Open Street Map OSM) as well as specific data from the participating transport companies. It examines settlement patterns and maps indexed categories on an (anonymised) hectare grid. This led to an innovative interaction between quantitative, statistical data, which in their selected combination led to qualitative contextual optimizations. This also answers the initial question: By replacing diesel buses, emissions in the neighbourhood are reduced, public transport connections are improved by line optimisation and thus the quality of life for the population as a whole is improved. By replacing old trolley buses, more flexible route planning is made possible and the neighbourhoods are better developed. The issue of detours and diversions should not be underestimated in the everyday life of transport companies. Construction sites, sporting events, traffic accidents or demonstrations require flexible routing almost every day. Traditionally, the transport companies also own "old" diesel buses, but these are now slowly reaching the end of their life cycle. Here, new battery buses offer the desired

DOI 10.5281/zenodo.3900180

flexibility. The visualization in the designed GUI also plays an important role for the cockpit of the in-depth consulting tool to address political public transport makers.
The tool does not replace classic traffic planning in public transport but complements it. Rather, it is intended to visualize arguments for decision support in the procurement process for SwissTrolley® plus. On the one hand within the processes of public administration and the involved commissions, on the other hand for political and economic decision makers. The test showed that the tool has an important function in marketing and communication of a procurement.

5. Databased smart mobility

In the future, more and more data will be available for and from every e-vehicle. The art will be to select and process raw data from the abundance of real-time raw data and to present the results in a meaningful way. Experiential data and real-time data are to be incorporated, for which a tool must remain adaptable and capable of development. It will be a learning system.
It is becoming apparent in current research calls for proposals that increasingly not only the processing of data is considered innovative, but also the integration of specially generated and processed data is required. Various public transport providers are evaluating future concepts based on dynamic timetables and route guidance. Here e-MIP will make a contribution.
The challenge for a company, an SME like HESS AG will certainly be database maintenance and adaptivity. In today's boom of digitization projects, this applies to almost all projects. How will they be maintained in the long term in the future?
Tools for targeted data preparation like e-MIP are not isolated cases. There is an obvious trend to use data for the sustainable optimization of our environment. This is not simply a matter of technology development, but of dealing with a Smart City strategy, or in this case, Smart Mobility. Smart systems should create added value for all stakeholders, not only the participating companies and administrations, but also for the users - the population. Well-functioning sustainable public transport is at the heart of urban quality. This indicates a paradigm shift. The e-SwissTrolley® plus is then no longer just an infrastructure element of public transport, but an integral part of a Smart City [12].

Dencity Urbane Entwicklung und Mobilität
HESS
sccer mobility
Supported by:
Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra
Swiss Confederation
Innosuisse – Swiss Innovation Agency

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literature/references

[1] Swiss Competence Center for Energy Research - Efficient Technologies and Systems for Mobility (SCCER Mobility) https://www.sccer-mobility.ch/

[2] Michael Walczak, Joachim Huber; SCCER Mobility, Phase I; Automated Dencity Analysis Model (ADAM) 26.01.2017, https://www.sccer-mobility.ch/

[3] KTI/Innosuisse-Projekt Nr. 25634.1PFES-ES: e-MIP (Electro-Mobility-Information Planning)

[4] Team Dencity BFH-AHB: Prof.Dr.Joachim Huber, Jürg Bührer, Dimitry Demin, Marcel Abegglen

[5] Team Management and Market Research IdBH BFH-AHB; Prof.Birgit Neubauer Letsch, Franziska Hänni, Anina Havelka

[6] Team ICT-Based Management ICTM BFH-TI: Prof.Dr.Urs Sauter, Christoph Schaller

[7] Team Carrosserie HESS AG: Alex Naef (CEO), Hans-Jörg Gisler, Yves Brügger, Michel Piquet, Nicolas Amacker

[8] Nomination for the BFE Smart City Innovation Award 2019; Smart Suisse 2019

[9] Usually the term «parametric design" is used for the linkage between the two CAD tools "Grasshopper" and "Rhino" – but today these form an integrated tool anyway and the term is widely opened to similar linkages between quantitative parameters and 3D modelling. The popular BIM applications form a small section of possible opportunities.

[10] Christoph Schaller; Parametrisches (Geo)Design für Testplanungen Vorgehensmodell zur Unterstützung von Planungen zur inneren Verdichtung; Master Thesis UNIGIS Msc, Universität Salzburg, 26.08.2018, http://unigis.sbg.ac.at/files/Mastertheses/Full/104551.pdf

[11] https://www.bfs.admin.ch/bfs/de/home/statistiken/querschnittsthemen/raeumliche-analysen/raeumliche-gliederungen/raeumliche-typologien.html

[12] This essay is using text modules and phrases of the following publications:

- Joachim Huber; «Un pas de plus vers la smart mobility»; bulletin.ch 3/2020; dossier mobilité, p.48-51

- Joachim Huber; "E-Bus routen optimal planen"; spirit BFH TI/AHB 24.oct.2019 https://www.spirit.bfh.ch/de/artikel/e-bus-routen-optimal-planen?tx_magazine_main%5BarticleSequence%5D=301&tx_magazine_main%5BarticleSequenceHash%5D=236212a83c8392e793358970f73b2980a35ace41&cHash=038f0abc854b9b5c10f9b281659bea67

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Transformation von bestehenden Quartieren – das 2000-Watt-Arealzertifikat

Kontaktperson: Daniel Kellenberger, Intep Integrale Planung GmbH. Pfingstweidstrasse 16, 8005 Zürich
Heinrich Gugerli, Gugerli Dolder Umwelt & Nachhaltigkeit GmbH, Solistrasse 2, 8180 Bülach

Zusammenfassung Résumé Abstract

2016 bis 2019 wurde zusätzlich zum 2000-Watt-Areal-Zertifikat in Entwicklung und im Betrieb erfolgreich die dritte Ausprägung für Bestandsquartiere in Transformation entwickelt. Die Erprobung in einer Pilotphase ist mit der Zertifizierung der vier Pilotareale und der Erweiterung der Bewertungsinstrumente erfolgreich abgeschlossen. Die Beurteilung baut auf der bewährten 2000-Watt-Areal-Methodik auf. Neu dazu kommen der Transformationspfad, welcher das Areal innerhalb von längstens zwei Jahrzehnten vom Ausgangs- zum Sollzustand führt, sowie die Methodik für die Bewertung der grauen Energie von Bestandsbauten.

2016 à 2019, outre le certificat Site 2000 watts en développement et en exploitation, la troisième version pour les quartiers existants en transformation a été développée avec succès. Les tests dans une phase pilote ont été menés à bien avec la certification des quatre sites pilotes et l'extension des instruments d'évaluation. L'évaluation est basée sur la méthodologie éprouvée du site de 2000 watts. Les nouveaux éléments sont la voie de transformation, qui fait passer le site de l'état initial à l'état cible dans un délai maximum de deux décennies, et la méthodologie d'évaluation de l'énergie grise des bâtiments existants.

2016 to 2019, in addition to the 2000-Watt Site certificate in development and operation, the third version for existing neighbourhoods in transformation was successfully developed. Testing in a pilot phase has been successfully completed with the certification of the four pilot sites and the expansion of the assessment instruments. The assessment is based on the well-established 2000-Watt Site methodology. New additions are the transformation path, which leads the site from the initial to the target state within a maximum of two decades, and the methodology for evaluating the embodied energy of existing buildings.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Das seit 2012 bestehende 2000-Watt-Areal-Zertifikat des Bundesamtes für Energie gehört zur neusten Generation von Nachhaltigkeitszertifikaten im Immobilienbereich. 2012 wurde es mit der Ausprägung Entwicklung für Neubauareale lanciert. 2017 kam die zweite Ausprägung für Areale im Betrieb dazu (Abbildung 1).

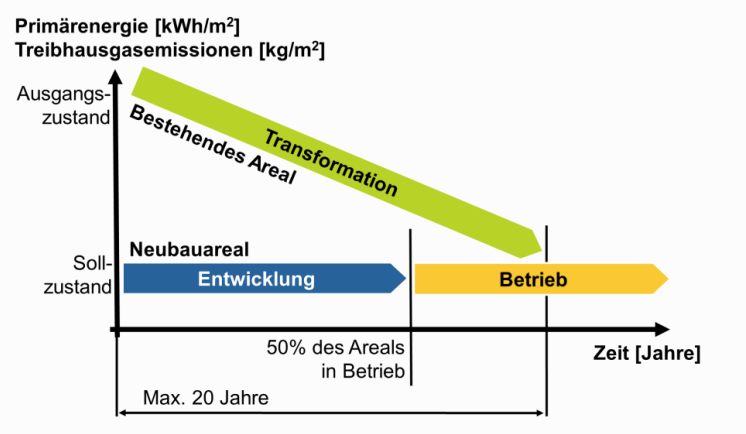


Abbildung 1 Die drei Ausprägungen des 2000-Watt-Areal-Zertifikats: Entwicklung, Betrieb und Transformation.

2016 bis 2019 wurde aus der bestehenden 2000-Watt-Areal Methodik erfolgreich die dritte Ausprägung für Bestandsquartiere in Transformation entwickelt und in einer Pilotphase erprobt, die nun mit der Zertifizierung der ersten vier Transformations-Areale erfolgreich abgeschlossen ist. Die vier Pilotareale sind je im Besitz einer einzelnen Eigentümerschaft:

- Campus Sursee des Baumeisterverbands in Oberkirch LU
- Campus Mythenquai der Swiss Re am Mythenquai in Zürich
- Firmensitz der AXA an der Römerstrasse in Winterthur
- Campus Dorigny der Universität von Lausanne (UNIL) in Ecublens, Chavannes-près-Renens, St Sulpice und Lausanne

Die vollständigen Ergebnisse der Pilotphase sind im umfangreichen Schlussbericht [1] dokumentiert. Zu jedem zertifizierten Areal wurde ein Faktenblatt [6] veröffentlicht.

2. Vorgehen

Um das Zertifikat 2000-Watt-Areal in Transformation zu erhalten, erarbeiten und verpflichten sich die Eigentümer der betroffenen Liegenschaften zu einem Entwicklungskonzept inklusive Sanierungsstrategie für die nächsten maximal 20 Jahre. Die Summe der Massnahmen muss dazu führen, dass die Zielwerte und Zusatzanforderungen des SIA-Effizienzpfades Energie am Ende des Betrachtungszeitraums erreicht werden.

Die qualitative Bewertung des Prozesses mit dem Kriterienkatalog [3] unterstützt den kontinuierlichen Verbesserungsprozess über den ganzen Lebenszyklus der Arealentwicklung.

2.1 Quantitativer Nachweis

Der quantitative Nachweis gemäss Handbuch zum Zertifikat 2000-Watt-Areal [2] wird basierend auf den methodischen Grundlagen des SIA Effizienzpfads Energie (SIA-Merkblatt 2040:2017) über die drei Bereiche Erstellung (Graue Energie der Baumaterialien), Betrieb (Raumheizung, Raumkühlung, Warmwasser, elektrische Hilfsenergie, Lüftung, Beleuchtung, Geräte) und standortinduzierte Alltagsmobilität geführt. Die Indikatoren sind Primärenergie total, Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen. Sowohl die Zielwerte als Summe der Richtwerte aller drei Bereiche als auch die Zusatzanforderung als Summe von Erstellung plus Betrieb müssen von den Projektwerten eines Areals unterschritten werden. Der quantitative Nachweis wird mit dem eigens für 2000-Watt-Areale entwickelten, frei verfügbaren Programm Rechenhilfe II [4] erfasst und berechnet.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Im Gegensatz zu den bisherigen Ausprägungen Entwicklung und Betrieb werden bei Arealen in Transformation neben dem Sollzustand auch die Zertifizierungszeitpunkte auf dem Weg dorthin im Abstand von vier Jahren bewertet (Abbildung 2): «Zusätzlich zur Einhaltung der Zielwerte und Zusatzanforderungen im Sollzustand des Areals ist über den Betrachtungszeitraum der Nachweis zu erbringen, dass zu jedem Zertifizierungszeitpunkt die Transformationspfade in der Regel unter den Zielpfaden liegen. Dies gilt analog auch für die Zusatzanforderungen.» (Handbuch, S. 27 & Anhang A3 [2]). Vereinfachung: Linearer Zielpfad.

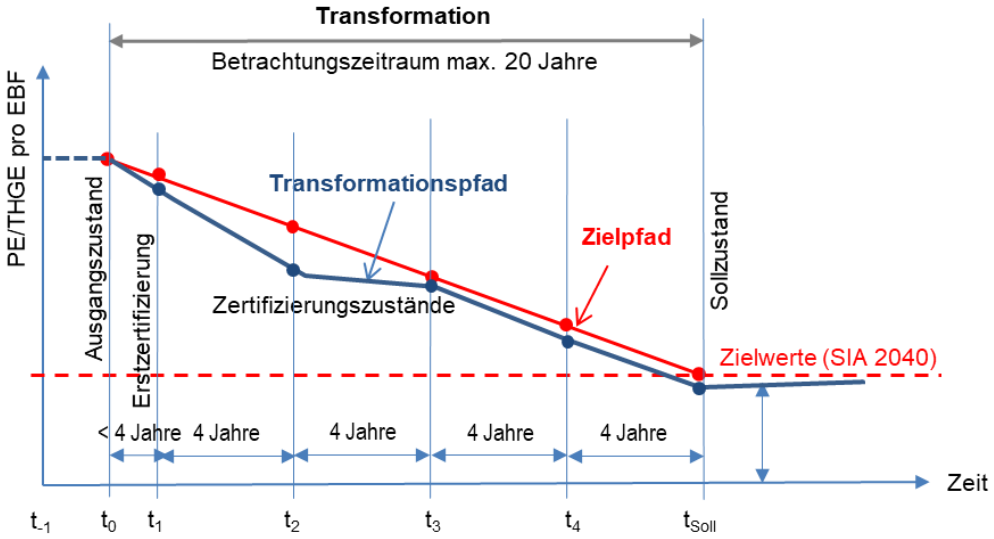


Abbildung 2 *Schematischer Transformationsprozess mit Transformations- (blau, Projektwerte) und Zielpfad (rot) (Handbuch, S. 27).*

Mögliche Massnahmen welche einen Transformationspfad positiv prägen können sind:

- Ersatzneubauten mit hoher Energieeffizienz (Bsp. Tiefe Gebäudehüllzahl, keine/wenige Untergeschosse, etc.)
- Energetische Sanierung der Gebäudehülle (Bsp. Fensterersatz, Fassaden- und/oder Dachisolation)
- Umstellung der Energieversorgung auf erneuerbare Energien (Bsp. Holzschnitzelheizung, Fernwärmeanschluss (falls erneuerbar betrieben), Wärmepumpe mit Ökostrom)
- Erstellen und umsetzen eines Mobilitätskonzeptes (Bsp. Reduktion der Parkplätze, div. Angebote für Langsamverkehr, gute Erschliessung mit ÖV)

2.2 Graue Energie von Bestandsbauten

In der aktuellen Version des SIA MB 2040:2017 ist der Umgang mit der grauen Energie für die Erstellung von Bestandsbauten, die während dem Betrachtungszeitraum nicht rückgebaut oder umgebaut werden, unbefriedigend geregelt. Die Vorgabe, die nicht amortisierten Graue Energie für Gebäude jünger als 30 Jahre anteilmässig einzurechnen, entspricht keinem kohärenten Modell.

Im Rahmen des Pilotprojektes wurde folgende neue Regelung entwickelt (Handbuch [2]): Die Graue Energie für den Werterhalt der Bauteile ist nach SIA MB 2032:2020 abzuschätzen für den Fall, dass die Bestandsbauten während dem Betrachtungszeitraum nicht rückgebaut oder umgebaut werden. Der Ausgangszeitpunkt der Transformation ist so zu wählen, dass Neubauten, welche wenige Jahre vor der Erstzertifizierung erstellt wurden, in den betrachtungszeitraum eingeschlossen werden. Für weitere Hinweis zur detaillierten Handhabung und Beispiele siehe Wegleitung «Graue Energie für die Erstellung von Bestandsbauten» [5].

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3. Resultate

3.3 Treibhausgasemissionen

Ein Vergleich der Treibhausgasemissionen zwischen dem Ausgangs- und dem Sollzustand zeigt ein differenziertes Bild der Arealentwicklung (Abbildung 3).

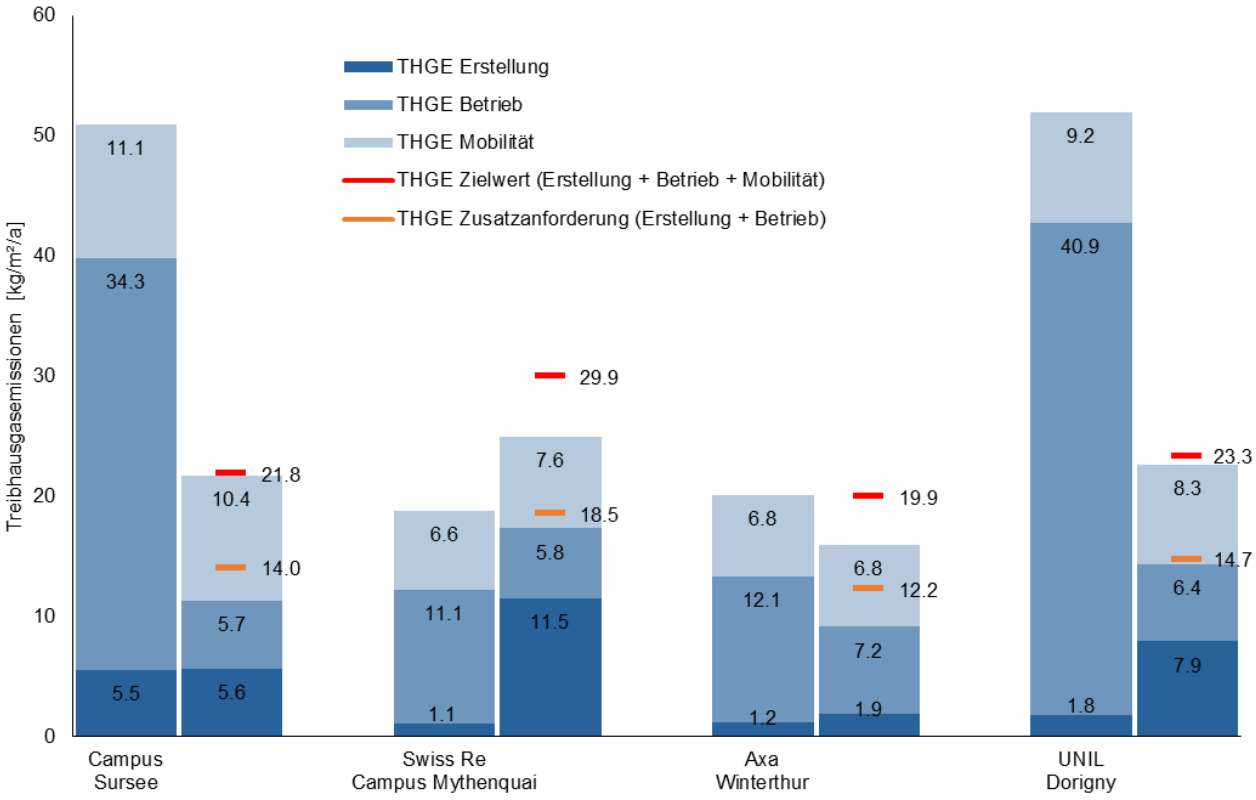


Abbildung 3 *Resultate des quantitativen Nachweises (Treibhausgasemissionen) im Ausgangs- (links) und Sollzustand (rechts) der 4 Areale*

Im Bereich Betrieb sinken die Treibhausgasemissionen im Sollzustand bei den Arealen, welche im Ausgangszustand noch mit fossiler Wärmeerzeugung versorgt wurden, markant um 83% (Campus Sursee) resp. 84% (UNIL). Beim Campus Mythenquai (Ausgangszustand: Wärme-/Kälteversorgung Seewasser) fällt die Reduktion mit 48% und bei AXA Winterthur (Fernwärme) mit 40% geringer aus. Im Sollzustand liegen die Treibhausgasemissionen in einem engen Band zwischen 5.7 und 7.2 kg/m2, wobei die Richtwerte Betrieb in allen Arealen eingehalten werden. Die 2000-Watt-Areale sind gemäss einer vergleichenden Analyse der vier Standards der BFE Gebäudelabelfamilie für Wohn- und Verwaltungsgebäude [7] im Bereich Betrieb das strengste Energielabel.

Im Bereich Erstellung fallen die Treibhausgasemissionen sehr unterschiedlich aus, je nach Anteil der Erweiterung mit Neubauten und Eingriffstiefe in den Gebäudebestand (Strategie Werterhaltung, Umbau, Ersatzneubau). Am grössten ist der Anteil beim Campus Mythenquai mit hohem Anteil an THGE-intensiven Ersatzneubauten (Neubauten 67% Energiebezugsfläche EBF), gefolgt von der UNIL mit der Erweiterung mit Neubauten (Erweiterung durch Neubauten +34% EBF). Beim Campus Sursee (Bestands-/Umbauten 100% EBF) und Axa Winterthur (Bestandsbauten 100% EBF) mit einem hohen Anteil an Bestandsbauten und Umbauten ist der Anteil Erstellung dagegen kleiner.

Im Bereich Mobilität sind die Unterschiede kleiner, was primär damit zusammenhängt, dass sowohl der Ausgangs- als auch der Sollzustand mit der Flotte 2050 (Elektromobilität resp. 3 Liter-Auto gemäss SIA 2039) bewertet werden. Aber auch die Eckwerte des Mobilitätskonzeptes verändern sich bei den vier Arealen nicht grundlegend.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3.4 Primärenergie

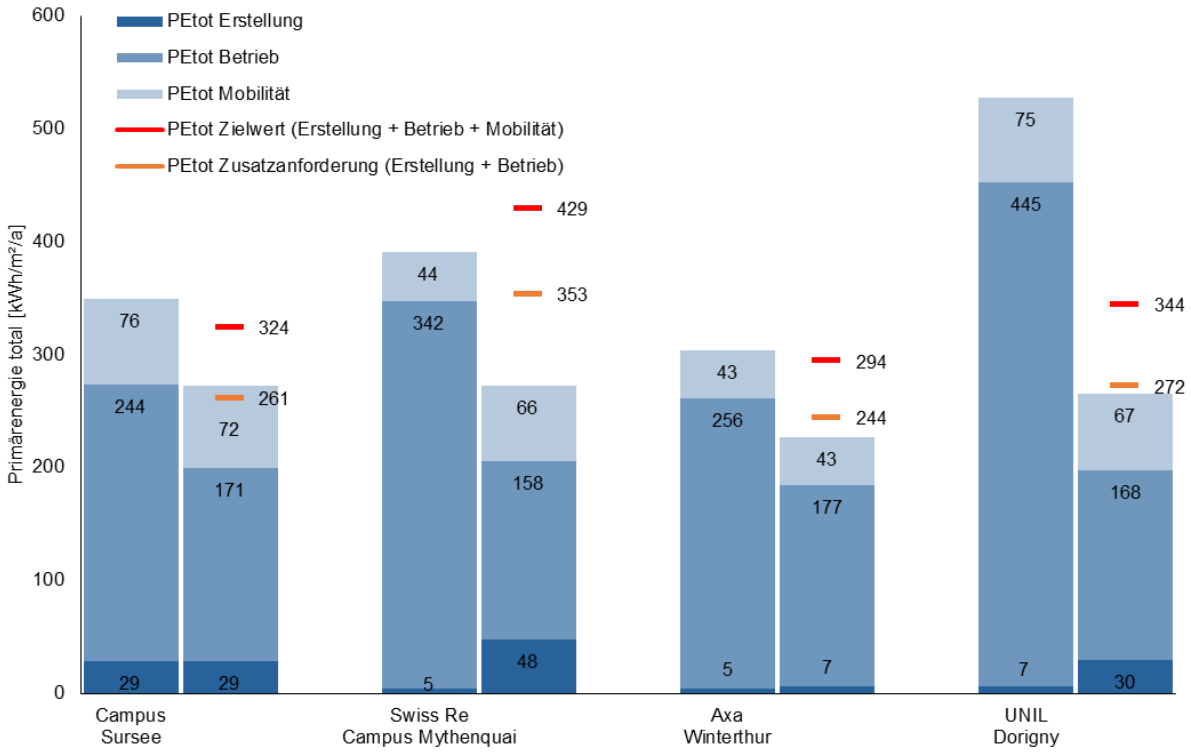


Abbildung 3 *Resultate des quantitativen Nachweises (Primärenergie total) im Ausgangs- (linke Säule) und Sollzustand (rechte Säule) der vier zertifizierten Areale*

Der Anteil erneuerbarer an der totalen Primärenergie Im Bereich Betrieb steigt bei den Arealen, welche im Ausgangszustand noch fossil beheizt werden, von 8% beim Campus Sursee resp. 11% bei der UNIL im Ausgangszustand auf 69 resp. 65% im Sollzustand an. Im Bereich Erstellung nimmt die Graue Energie typischerweise aufgrund von baulichen Massnahmen wie (Ersatz-) Neubauten und Erneuerungen zu, während dadurch gleichzeitig die Betriebsenergie gesenkt werden kann. Die Mobilität bleibt dagegen wohl v.a. aufgrund fehlender mobilitätswirksamer Massnahmen eher konstant – zumindest sofern keine diesbezüglichen Massnahmen ergriffen werden. Eine Ausnahme stellt der Campus Mythenquai dar, bei dem die Mobilitätsenergie infolge der starken Verdichtung stark anwächst. Im Sollzustand nach der Transformation erfüllen die Areale die Anforderungen gemäss SIA-Effizienzpfad Energie für das Gesamtareal.

4. Diskussion

Es konnte aufgezeigt werden, dass Bestandsquartiere mit einer Kombination kontextangepasster Massnahmen innerhalb von zwei Jahrzehnten bereit für die 2000-Watt-Gesellschaft gemacht werden können. Durch bauliche Massnahmen wie (Ersatz-) Neubauten und Umbauten steigen zwar die Primärenergie und Treibhausgasemissionen für die Erstellung, was jedoch durch deutliche Einsparungen beim Betrieb mehr als kompensiert wird. Eine Schlüsselmassnahme zur Zielerreichung ist ausserdem die Umstellung der Wärmeversorgung von fossilen auf erneuerbare Energieträger.

Die Areale erreichen durchschnittlich (flächengewichtet) eine deutliche Senkung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen (Abbildung 4). Allein für den Bereich Betrieb fallen die Reduktionen wesentlich grösser aus (Abbildung 4 links).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

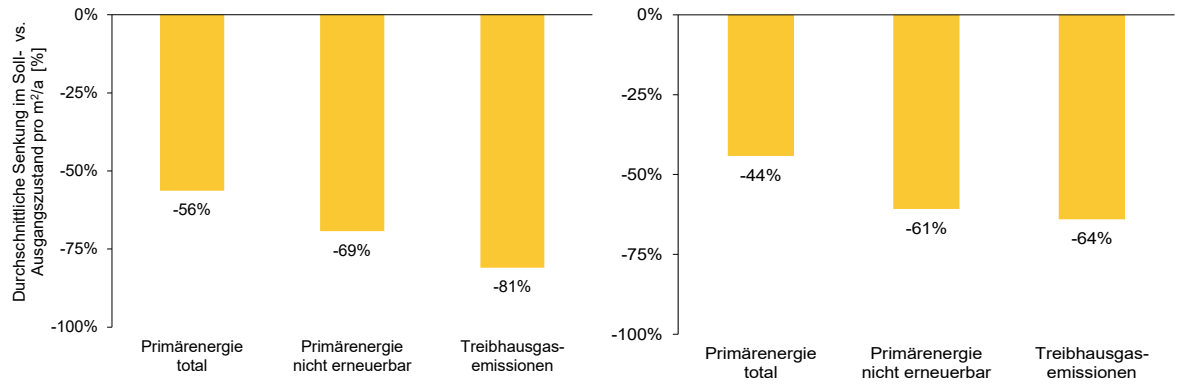


Abbildung 4 *Senkung des Primärenergiebedarfs und der Treibhausgasemissionen der vier Areale vom Ausgangs- zum Sollzustand für den Bereich Betrieb (links) resp. Erstellung, Betrieb und Mobilität (rechts)*

Die flächengewichtete Reduktion nach abgeschlossener Transformation beträgt allein für den Bereich Betrieb 81 % (49 %) bei den Treibhausgasemissionen, 69 % (53 %) bei der nicht erneuerbaren Primärenergie und 56 % (43 %) bei der gesamten Primärenergie. Die Werte in Klammern beziffern die Einsparungen für alle drei Bereiche (Erstellung, Betrieb und Mobilität).

5. Ausblick

Die Erfahrungen aus dem Pilotprojekt zeigen, dass sich die neue Auszeichnung für Bestandsquartiere aus mehreren Gründen lohnt: Eine Zertifizierung dient als umfassende externe Qualitätssicherung und als Zeichen gegenüber der Standortgemeinde, den beteiligten Grundeigentümern und der Öffentlichkeit, dass eine qualitativ hochwertige Arealentwicklung geplant und die Umsetzung eingeleitet wurde. Die Orientierung an der 2000-Watt-Gesellschaft kann helfen, die Beteiligten und Betroffenen hinter einer gemeinsamen Vision zu vereinen. Ausserdem wird die Resilienz und Zukunftsfähigkeit der Areale durch die Abkehr von importierten fossilen Energieträgern mit entsprechend volatiler Versorgungssituation erhöht. Für nachhaltige Unternehmen ist die Zertifizierung ihres Campus der nächste Schritt ihrer Nachhaltigkeitsstrategie, um ihre Vorreiterrolle zu demonstrieren.

Transformationsareale bestehend aus einer komplexen Eigentümerschaft konnten aufgrund des langen Abstimmungsprozesses und des limitierten Zeitbudgets leider in der Pilotphase nicht untersucht werden.

Anhang : Literatur/Referenzen

[1] Kellenberger, D., Thaler, L., Gugerli, H. (2019). 2000-Watt-Areal in Transformation, Schlussbericht Pilotphase 2016-2019. Ittigen: EnergieSchweiz.

[2] Gugerli, H. et al. (2019). Handbuch zum Zertifikat 2000-Watt-Areal, Ausgabe 2019. Ittigen: EnergieSchweiz.

[3] Gugerli, H. et al. (2019). Kriterienkatalog für 2000-Watt-Areale, Ausgabe 2019. Ittigen: EnergieSchweiz. (für die qualitative Bewertung)

[4] TEP Energy (2019). Programm Rechenhilfe II, Version 1.4.1. Ittigen: EnergieSchweiz. (für den quantitativen Nachweis)

[5] Pfäffli, K. (2019). Erstellung von Bestandsbauten in 2000-Watt-Arealen, Wegleitung. Ittigen: EnergieSchweiz.

[6] Faktenblätter der vier zertifizierten Areale, 07.05.2019

[7] Vogel, U. et al. (2019). Vergleichende Analyse der energetischen Gebäudebewertung der vier Standards der BFE Gebäudelabelfamilie. Bundesamt für Energie BFE

Download: https://www.2000watt.swiss/bibliothek.html

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen

Marvin King[1], Thomas Heim[1], Urs-Peter Menti[1], Beat Salzmann[1], Peter Schwehr[1], Gianrico Settembrini[1], Michael Trübestein[2]

Kontakt: Marvin King, marvin.king@hslu.ch

[1] Hochschule Luzern – Technik & Architektur, Technikumstrasse 21, 6048 Horw
[2] Hochschule Luzern – Wirtschaft (IFZ), Suurstoffi 1, 6343 Rotkreuz

Zusammenfassung Abstract

Die Umsetzung der energie- und klimapolitischen Ziele setzt eine Zunahme umfassender Gebäudesanierungen voraus. Bei Mietliegenschaften hat der Anteil der wertvermehrenden Investitionen eine besondere Bedeutung, denn diese Kosten dürfen auf den Mietzins überwälzt werden. Die Abgrenzung zum Anteil des Gebäudeunter-halts, den der bisher geltende Mietzins abdeckt, ist jedoch komplex und kann ein Hindernis für solche baulichen Vorhaben darstellen. Aufgrund fehlender Praxisinstrumente wurde gemeinsam mit den Auftraggebern BFE & BWO und im Austausch mit der Begleitgruppe (HEV Schweiz / SMV Schweizerischer Mieterinnen- und Mieterverband) eine eigene Berechnungsmethode definiert, die nach Organisation- und Kostenstruktur dem Baukostenplan BKP entspricht. Grundlage der entwickelten «BKP-Triage» waren detaillierte Bauabrechnungen mit entsprechenden Projektbeschrieben. Die Ergebnisse der 20 untersuchten Praxisbeispiele zeigen, dass sich der wertvermehrende Anteil von umfassenden Sanierungen im Bereich von 34 bis 58 Prozent bewegt. Der Anteil liegt somit tendenziell unter dem Überwälzungssatz von 50 bis 70 Prozent gemäss VMWG. Über das entwickelte Instrumentarium wird eine Entscheidungsgrundlage zur Einschätzung des wertvermehrenden Anteils zur Verfügung gestellt, welche neben einer erhöhten Planungs- und Rechtssicherheit den Prozessbeteiligten als Anreiz für Bauerneuerungen dient.

The implementation of energy and climate policy goals requires an increase in building renovations. For rental properties, the share of value-adding investments is of major importance, as these costs may be passed on to the rental. However, the distinction between this and the share of building maintenance that is covered by the current rent is complex and can be an barrier to such refurbishment projects. Due to the lack of practical instruments, a separate calculation method was defined together with the clients SFOE/FHO and in exchange with the support group (Association of Property Owners HEV Switzerland / Swiss Association of Tenants SMV). This method corresponds to the building cost plan BKP in terms of organisation and cost structure. The basis of the developed "BKP-Triage" were detailed construction calculations with corresponding project documentations. The results of the 20 analysed examples show that the value-adding amount of larger refurbishments is in the range of 34 to 58 percent. The rate tends to be below the rate of cost transfer of 50 to 70 percent according to the VMWG. The developed toolbox provides a decision-making basis for the assessment of the value-adding part. In addition to increased planning and legal safety, it serves as an attraction for those who are involved in the process of building renovations.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Ziel der Studie ist es, den effektiven Anteil der wertvermehrenden Investitionen bei umfassenden Sanierungen gemäss heutigen Rahmenbedingungen zu klären. Hierzu werden 20 Praxisbeispiele ausgewertet[1] und eine Triage der werterhaltenden und wertvermehrenden Investitionen aufgrund von Bauabrechnungen vorgenommen.

1.1 Motivation

In der Zukunft müssen deutlich mehr Gebäude saniert werden, um die Energiestrategie 2050 des Bundes zu erreichen. Rein energetische Massnahmen sind oftmals keine Auslöser für einen Sanierungsentscheid. Für den Eigentümer stehen weitere Parameter wie die langfristige Vermietbarkeit, der Werterhalt der Bausubstanz und die Marktsituation im Vordergrund und damit verbunden die wirtschaftliche Machbarkeit.

Gemäss Artikel 14 Absatz 1 VMWG gelten die Kosten umfassender Überholungen in der Regel zu 50 bis 70 Prozent als wertvermehrende Investitionen. Der Vermieter ist dadurch vom genauen Nachweis des wertvermehrenden Anteils seiner Investition befreit. Als umfassende Überholung gelten Sanierungsarbeiten, die umfangreich sind, die offensichtlich über den normalen Unterhalt hinausgehen und mehrere wesentliche Gebäudeteile umfassen. Die Spannbreite von 50 bis 70 Prozent wurde durch den Bundesrat 1977 in der Verordnung über Massnahmen gegen Missbräuche in Mietwesen (VMM) festgelegt, um Eigentümer zu Sanierungen anzuspornen oder sie mindestens nicht davon abzuhalten. In der Praxis sind, je nach Landesteil, Überwälzungssätze zwischen 40 und 60 Prozent realisierbar.

Die hohen Investitionskosten bei umfassenden Überholungen führen bei einer Überwälzung von 50 bis 70 Prozent der Kosten zu bedeutenden Mietzinsaufschlägen, die im Bereich von mehreren Hundert Franken pro Wohnung und Monat liegen können. Diese zusätzlichen Kosten für die Mieterhaushalte lassen sich heute durch die allfällige Einsparung bei den Heizkosten nicht wettmachen. Zu beachten ist jedoch, dass die Mieterschaft oft von Komfortsteigerungen sowie von einem erhöhten Ausbaustandard profitiert. Die aus der Überwälzung entstehende finanzielle Mehrbelastung der Mieter ist in der Regel auch der Auslöser für die Anfechtung von Mietzinserhöhungen. Die Anzahl einzelner Gerichtsentscheide und die Häufigkeit der Anfechtung von Mietzinserhöhungen[2] deuten darauf hin, dass die Bemessung des wertvermehrenden Anteils von umfassenden Sanierungen und Erneuerungsinvestitionen grossen Interpretationsspielraum lässt und zu einer unzureichenden Kosten- und Rechtssicherheit für Gebäudeeigentümer und Investoren führt[3].

1.2 Fragestellungen

- Wie hoch ist der effektive Anteil von wertvermehrenden Investitionen bei umfassenden Sanierungen gemäss heutigen Rahmenbedingungen?

- Wie können die Massnahmen der Sanierungsbeispiele und deren durchschnittlichen Anteile an wertvermehrenden Investitionen einander zugeordnet bzw. anteilsmässig bestimmt werden?

Beurteilung der Fragestellung durch den HEV Schweiz:

Der HEV Schweiz hat in Bezug auf die Fragestellung den Einwand erhoben, dass die geltende Bestimmung von Artikel 14 VMWG nicht auf einer Triage von wertvermehrenden und werterhaltenden Anteilen beruht und nur dann zur Anwendung kommt, wenn es sich nicht um einzelne abgrenzbare

[1] Praxisbeispiele die gemäss mietrechtlichen Vorgaben unter den Begriff der «umfassenden Sanierung» fallen.

[2] https://www.bwo.admin.ch/bwo/de/home/mietrecht/schlichtungsbehoerden/statistik-der-schlichtungsverfahren.html

[3] Vgl. auch Formular Schweizerischer Mieterinnen- und Mieterverband (SMV): «Musterbrief – Mietzinserhöhung nach Sanierung», https://www.mieterverband.ch/mv/mietrecht-beratung/ratgeber-mietrecht/top-themen/umbau-renovation.html

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Investitionen handelt. Der Verband führt weiter aus, dass es sich vielmehr um eine betriebswirtschaftlich begründete Regelung zur Förderung kostspieliger Unterhaltsarbeiten handelt.

1.3 Rahmenbedingungen und Systemgrenzen

Die Herleitung und Klärung von Fragen der Berechnungsart des wertvermehrenden Anteils bei Investitionen soll unter Einbezug von Mietrechtsjuristinnen und -juristen erfolgen. Folgende Rahmenbedingungen und Systemgrenzen der Untersuchung sind vor der Auswertung zu klären:

- **Kriterien** für **umfassende Sanierungen**: Es braucht eine Definition, welche Sanierungen als umfassend gelten. Die Wohnung respektive das Haus wird in grösserem Umfang saniert, die Arbeiten übersteigen deutlich den laufenden Unterhalt und betreffen in der Regel mehrere Teile der Gebäudehülle oder des Gebäudeinnern.[4,5]
- Es wurden ausschliesslich Praxisbeispiele untersucht, die im **bewohnten Zustand** saniert wurden.
- **Unterteilung der Sanierungsarbeiten** in einzelne **Kategorien**: Zur Vergleichbarkeit müssen die Sanierungen in sinnvolle und vergleichbare Einheiten gegliedert werden. Möglich ist eine Unterteilung nach Bauteilen in gängige Kategorien wie Fassade, Fenster, Dach, Heizung, Warmwasseraufbereitung etc. Zu prüfen ist, inwiefern die Arbeiten gemäss Baukostenplan unterteilt werden können. Für die Bewertung der werterhaltenden und wertvermehrenden Investitionen wurden ausschliesslich die Positionen BKP 1 (Vorbereitungsarbeiten) und BKP 2 (Gebäudekosten) betrachtet.
- Es ist abzuklären, wie **Praxisbeispiele** beschafft werden können und welcher Aufwand für die Auswertung der Bauabrechnungen und Beschaffung zusätzlicher nötiger Informationen (wie Offerten) entsteht. Wichtig dabei ist, dass die Praxisbeispiele den effektiven Markt wiederspiegeln und repräsentativ sind (geographische Verteilung, Eigentümer, Preissegment, energetische Sanierung). Die Praxisbeispiele werden nach den Vorarbeiten von der Begleitgruppe genehmigt.
- **Prüfung** einer **Kategorisierung:** Zu prüfen ist, ob die Sanierungsbeispiele kategorisiert werden können um für verschiedene Typen von Sanierungen durchschnittliche Anteile an wertvermehrenden Investitionen festhalten zu können. Eine Unterteilung der Massnahmen in Innensanierung, Aussensanierung und Gesamtsanierung bietet sich an.
- **Definition** des **Begriffs Mehrleistung**: Gemäss VMWG (Art. 14 Abs. 3) kann als Mehrleistung nur jener Teil der Kosten geltend gemacht werden, der die Kosten zur Wiederherstellung oder Erhaltung des ursprünglichen Zustands übersteigt. In der Literatur finden sich verschiedene Arten der Berechnung dieser Differenz mit einer unterschiedlichen Gewichtung einzelner Elemente des Mietrechts. Für die Studie wird von Seiten Auftraggeber vorgeschlagen, die Mehrleistung als Differenz zwischen der getätigten Investition und einer Investition, welche den bisherigen Zustand wiederherstellt, zu berechnen. Dazu muss beim einzelnen Bauteil entschieden werden, ob die Investition den reinen Werterhalt übersteigt und die wertvermehrenden Kosten ausgeschieden werden. Wo dies nicht möglich ist, müssen allgemein zugängliche Informationen (z.B. Internet) gesammelt oder Offerten für jene Arbeiten eingeholt werden, die zur Wiederherstellung des bisherigen Zu-

[4] Gemäss Erläuterungen zur Anpassung der VMM vom 21. Dezember 1977 werden unter umfassenden Überholungen Dacherneuerungen, Sanierung der elektrischen Installationen, Lifterneuerungen, Treppenhausrenovationen, Fassadenrenovationen usw., d.h. in grösserem Umfang an einem Mietobjekt vorgenommene Instandstellungsarbeiten, verstanden.

[5] Im Urteil des Bundesgerichts 4A_495/2010 vom 20. Januar 2011 werden umfassende Überholungen folgendermassen definiert (Erwägung 6.1): „Umfassende Überholungsarbeiten dienen einerseits dem Unterhalt des Gebäudes, anderseits der Wertvermehrung, enthalten somit einerseits werterhaltende und anderseits wertvermehrende Investitionen (BGE 118 II 415 E. 3a). Sie unterscheiden sich von den gewöhnlichen Reparaturen oder dem laufenden Unterhalt vor allem mengenmässig und liegen vor, wenn ein Haus oder eine Wohnung in grösserem Umfang instand gestellt wird. Eine umfassende Überholung liegt in der Regel vor, wenn mehrere Teile der Gebäudehülle oder des Gebäudeinnern erneuert werden oder wenn ein Haus oder Gebäude total renoviert wird. Die Arbeiten gehen in der Regel über den normalen Unterhalt hinaus (Urteil 4C.104/1996 vom 6. September 1996 E. 3a). Unter dem Begriff der umfassenden Überholung sind demnach Arbeiten zu verstehen, die den laufenden Unterhalt deutlich übersteigen, wesentliche und in der Regel mehrere Bauteile einer Liegenschaft betreffen und dazu führen, deren Lebensdauer zu verlängern und zu modernisieren. Auch der Kostenumfang der getätigten Investitionen kann eine umfassende Überholung indizieren, wenn die Kosten im Verhältnis zum Mietertrag ein beträchtliches Ausmass erreichen."

DOI 10.5281/zenodo.3900180

stands führen oder je nach Bauteil kann auf Kostenkennwerte und Listenpreise zurückgegriffen werden. Diese Berechnungsart muss hergeleitet und begründet werden. Wie die Berechnung genau erfolgt, soll im Rahmen der Vorarbeiten geklärt werden.

2. Vorgehen

Anhand der entwickelten «BKP-Triage» wurden insgesamt 20 Praxisbeispiele ausgewertet und eine Zuordnung der werterhaltenden und wertvermehrenden Investitionen aufgrund von Bauabrechnungen (inkl. Projektbeschrieb und Ausschreibungen) vorgenommen. Dadurch konnte einerseits ein Querschnitt von wertvermehrenden und werterhaltenden Investitionen bei umfassenden Sanierungen erhoben und andererseits eine Methodik entwickelt werden, die es erlaubt eine präzise Einschätzung der Mehrwerte abzugeben. Das Arbeitsinstrument der BKP-Triage dient gleichermassen Gebäudeeigentümern und Mietern, um eine Überwälzung wertvermehrender Investitionen nachvollziehbar aufzuschlüsseln. Dies bedeutet, dass Eigentümern und Investoren bereits in frühen Planungsphasen eine Entscheidungsgrundlage zur Einschätzung des wertvermehrenden Anteils zur Verfügung gestellt und Prozessbeteiligten als ein Anreiz für die Bauerneuerung geboten werden kann.

Basierend auf dem Baukostenplan BKP (SN 506 500, CRB 2017) wird eine Triage der Sanierungskosten in werterhaltende und wertvermehrende Anteile vorgenommen. Für die Beurteilung werden ausschliesslich die Positionen BKP1 (Vorbereitungsarbeiten) und BKP2 (Gebäudekosten) betrachtet. Die hierarchisch aufgebaute Struktur des BKP stellt vier normierte Ebenen dar: Hauptgruppe (einstellig), Gruppe (zweistellig), Untergruppe (dreistellig), Gattung (vierstellig). Die BKP-Triage erfolgt über eine möglichst präzise Einschätzung der Baukosten (mindestens 3. Ebene). Um entsprechende Sanierungsmassnahmen präzise zuordnen zu können, wird empfohlen weiterführende Grundlagen entsprechender Gewerke wie Offerten oder Bauabrechnungen zur Hand zu nehmen.

Die Anwendung der entwickelten Methode erfolgt über *Erläuterungen* (Beschrieb Bauteil, Qualität, Komfort) möglicher Sanierungsmassnahmen. Sämtliche BKP-Positionen beinhalten exemplarisch einen Beschrieb, anhand diesem die Triage der Kosten möglich ist. Die *Kostenzuordnung* stellt die Empfehlung der Projektverfasser dar (werterhaltend WE, wertvermehrend WV). Die Beurteilung wurde anhand von Erfahrungswerten von Bauökonomen, Richtpreisen oder auf Grundlage geltender Rechtsprechung vorgenommen. Die Herleitung der Empfehlung ist nachvollziehbar über *Definitionen* aufgeführt.

Der Hohe Grad an Transparenz ist ein Vorteil des Modells der BKP-Triage. Es wird zudem davon ausgegangen, dass dadurch eine deutlich genauere Berechnung der wertvermehrenden Kosten erzielt werden kann als mit gängigen Methoden der Praxis (vgl. Schlussbericht vom 31.08.2019)[6]:

1. Kostenberechnung aus bestehendem Bauteil vs. Ersatzinvestition (Mehrwertberechnung).
2. Herleitung über Indexierung der ursprünglichen Investitionskosten (bestehende Bauteile).
3. Vergleich Gebäudeversicherungskosten (vor und nach Sanierung/Risikoanalyse).
4. Kostenberechnung nach Richtpreisen sämtlicher Bauteile, ggf. Entwicklung eines Berechnungstools (vgl. «Paritätische Lebensdauertabelle»).

Das vorgeschlagene Methodenmodell wurde nach einer Testphase mit Fallstudien und der Überarbeitung mit den Praxispartnern (Interviews) in einem Befragungsprozess der Begleitgruppe weiterentwickelt und in ein konsolidiertes Modell der BKP-Triage überführt.

[6] Projekt «Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen», s. Kap. 3.2 Methodenvergleich (S. 26 ff.) des Schlussberichtes, Hochschule Luzern – Technik & Architektur, M. King, BFE/BWO 2019

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3. Resultate

Die Kostenanteile der 20 untersuchten Fallstudien sind in Abbildung 1dargestellt (BKP 2-stellig). Dabei lassen sich die Positionen aufteilen in: Vorbereitungsarbeiten (BKP 1) und Arbeiten die das Gebäude betreffen (BKP 2) wie Rohbau, gebäudetechnische Installationen und Ausbau.

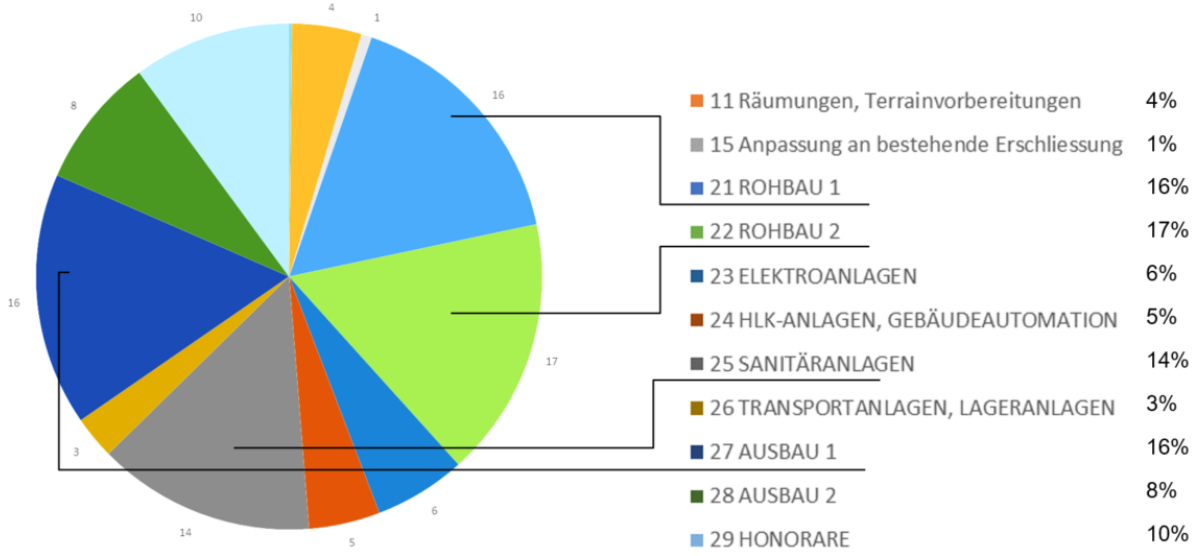


Abbildung 1: Kostenanteile der Fallstudien nach BKP gesamthaft

Folgende vier BKP-Positionen resp. Gruppen machen gesamthaft 2/3 der Sanierungskosten aus: Rohbau 1 (16 %), Rohbau 2 (17 %), Sanitäranlagen (14 %) und Ausbau 1 (16 %). D.h. die Sanierungskosten für den Rohbau wie Fenster, Aussendämmung der Gebäudehülle und Balkonersatz halten sich in etwa die Waage mit den Sanierungskosten für den Ausbau und Sanitärinstallationen wie den Ersatz von Küche (BKP 258) und Bad (BKP 251), sowie den räumlichen Anpassungen mit den Oberflächen von Boden, Wand und Decke. Weitere 14 % der Sanierungskosten entfallen auf gebäudetechnische Installationen (BKP-Gruppen Elektroanlagen, HLK-Anlagen und Transportanlagen). Die übrigen Anteile beinhalten Honorare und Vorbereitungsarbeiten.

In der nachfolgenden Abbildung 2 sind die werterhaltenden und wertvermehrenden Investitionen bei umfassenden Sanierungen der Fallstudien dargestellt, die anhand der entwickelten BKP-Triage ausgewertet wurden. Der wertvermehrende Anteil beträgt je nach Eingriffstiefe 34 % (Innensanierung) bis 58 % (Innen- und Aussensanierung). Über alle Sanierungen beträgt der werterhaltende Anteil durchschnittlich 54 % und der wertvermehrende Anteil durchschnittlich 46 % der Investitionskosten. Eine detaillierte Aufschlüsselung der 20 Fallstudien zu den werterhaltenden- und wertvermehrenden Anteilen ist in Anhang des Schlussberichtes[7] «Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen» dargestellt.

Die Rückmeldungen aus der Praxis (Interviews mit Eigentümern und Bauökonomen) zeigten ein vergleichbares Bild, die wertvermehrenden Investitionen bewegten sich dabei zwischen ca. 40 % - 60 %. Ein Anteil von bis zu 70 %, wie bei den heutigen gesetzlichen Vorgaben (50 % - 70 % vgl. Kapitel 2.3.2 des Schlussberichtes) wird in der Regel nicht erreicht.

> Fazit: Die Auswertung der Fallstudien zeigt eine Spanne der wertvermehrenden Anteile von 34 % bis 58 %, sie liegt damit deutlich unter der gesetzlichen Vorgabe von 50 % bis 70 % an wertvermehrenden Anteilen für umfassende Überholungen.

[7] Vgl. Anhang 2, Schlussbericht «Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen», BWO/BFE 2019 https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/59007.pdf

DOI 10.5281/zenodo.3900180

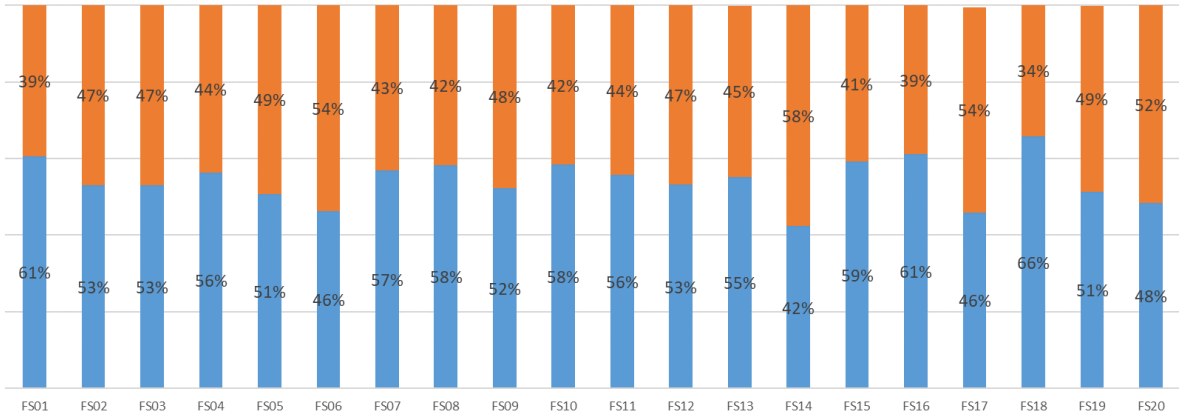


Abbildung 2: Werterhaltende Investitionen (blau) und wertvermehrende Investitionen (rot)

Fazit: Die Sanierungskosten sind in erster Linie abhängig von der Sanierungsstrategie (Art und Tiefe des Eingriffs) und entsprechenden Massnahmen, aber auch der Wohnungsanzahl pro Gebäude, Eigentümerschaft und Lage beeinflussen die Kosten einer Sanierung.

3.1 Sanierungskosten pro Gebäude, Wohnung und m² Hauptnutzfläche

Die durchschnittlichen Sanierungskosten pro Gebäude, Wohnung und m² Hauptnutzfläche belaufen sich auf:

- CHF 4'700'000 pro Gebäude bzw. Siedlung (durchschnittlich 33 Wohnungen pro Gebäude bzw. Siedlung)
- CHF 205'000 pro Wohnung (durchschnittlich 3 Zimmer pro Wohnung)
- CHF 2'560 pro m² Hauptnutzfläche (durchschnittliche HNF/ Wohnung von 87 m²)

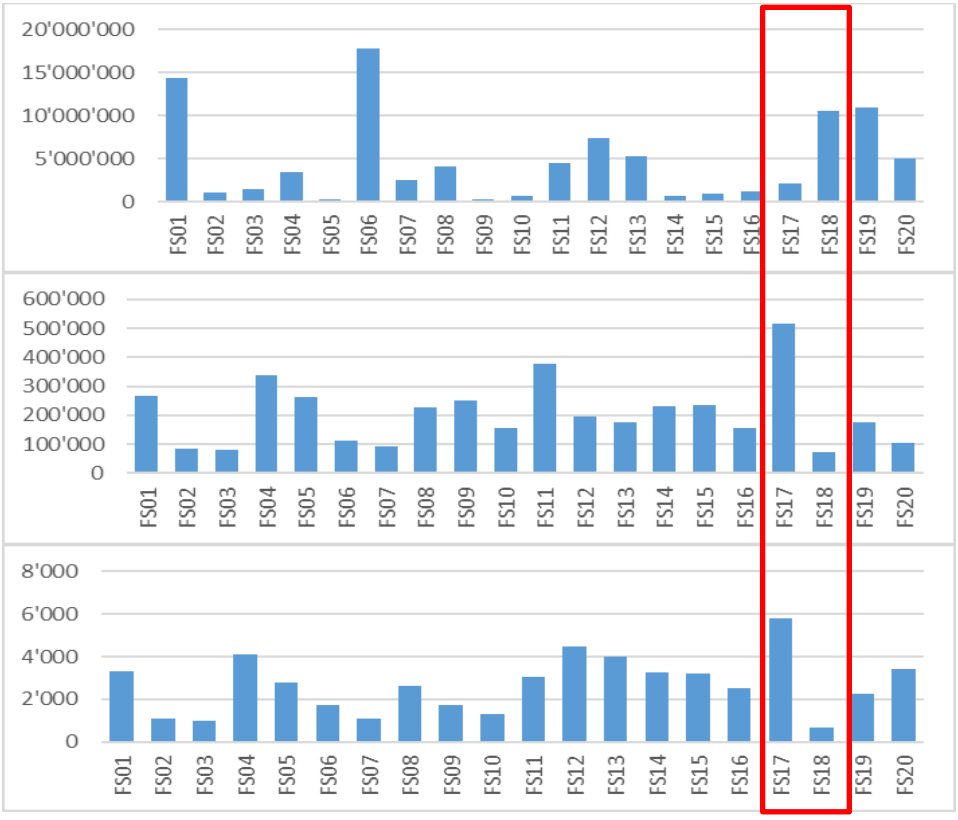


Abbildung 3: Sanierungskosten in CHF pro Gebäude, Wohnung und m² Hauptnutzfläche

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abbildung 3 zeigt die Sanierungskosten im Vergleich der Sanierungskosten in CHF pro Gebäude (oben), Wohnung (mittig) und m^2 Hauptnutzfläche (unten). Die tiefsten Sanierungskosten (CHF 75'000 pro Wohnung) wurden bei der Fallstudie FS 18 realisiert, es handelt sich dabei um die Innensanierung einer Genossenschaftssiedlung in Zürich mit 142 Wohnungen. Im Gegensatz dazu wurden die höchsten Sanierungskosten (CHF 514'000 pro Wohnung) bei einem Mehrfamilienhaus mit der Gesamtsanierung von 4 Wohnungen (FS 17) im Kanton Zug realisiert. Die Sanierungskosten pro m^2 Hauptnutzfläche reichen von CHF 700 (FS18) bis CHF 5'800 (FS17).

3.2 Sanierungskosten im Vergleich der Lage

Anhand der 20 Fallstudien ist ersichtlich, dass Sanierungen im ländlichen- oder periurbanen Raum tendenziell günstiger sind als Sanierungen im städtischen Raum. Die durchschnittlichen Sanierungskosten pro Wohnung belaufen sich auf:

- CHF 155'000 im periurbanen Raum
- CHF 160'000 im ländlichen Raum
- CHF 240'000 im städtischen Raum

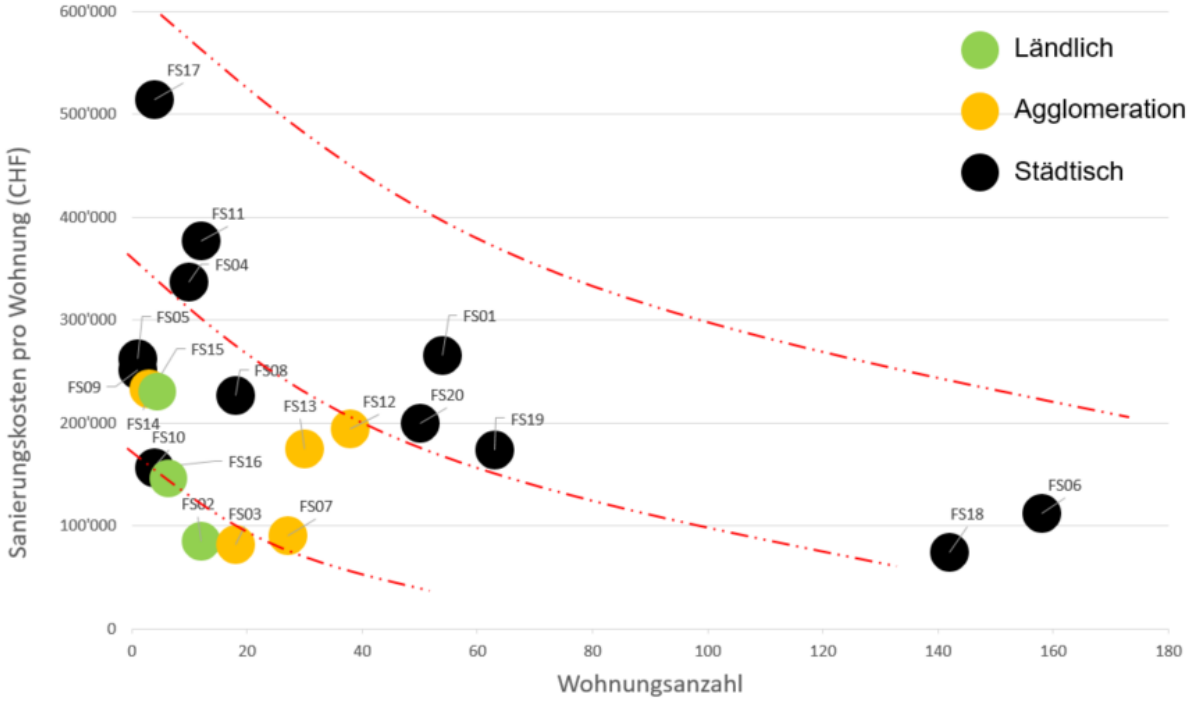


Abbildung 4: Sanierungskosten im Vergleich der Lage

Abbildung 4 zeigt die Sanierungskosten im Vergleich der Lage pro Wohnung und der Wohnungsanzahl. Die tiefsten Sanierungskosten wurden vorwiegend bei Fallstudien in ländlicher Lage oder der Agglomeration realisiert. Im Gegensatz dazu wurden die höchsten Sanierungskosten vorwiegend bei städtischen Sanierungen realisiert. Ausnahmen bilden insbesondere die Fallstudien FS06 und FS18, die aufgrund ihrer Sanierungsmassnahmen, der Wohnungsanzahl und der Eigentümerart auch im städtischen Umfeld günstige Sanierungen realisieren konnten. Die strichpunktierte Linie zeigt eine Tendenz der Sanierungskosten im Vergleich der Lage versus Wohnungsanzahl. Beispielsweise sind Sanierungen in städtischer Lage tendenziell teurer als Sanierungen im ländlichen Raum und der Agglomeration. Des Weiteren wird deutlich, dass die Sanierungskosten, neben der Lage, auch in Abhängigkeit der Wohnungsanzahl stehen. Die Sanierungskosten sinken mit zunehmender Wohnungsanzahl.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Fazit: Betreffend der 20 Fallstudien kann grundsätzlich festgehalten werden, dass die Lage die Sanierungskosten beeinflusst. Tendenziell sind Sanierungen im städtischen Umfeld teurer als Sanierungen im ländlichen Raum oder der Agglomeration. Die durchschnittlichen Sanierungskosten pro Wohnung liegen im periurbanen und ländlichen Raum bei ca. CHF 160'000 und im städtischen Raum bei ca. CHF 240'000. Damit sind Sanierungen im städtischen Raum ca. 1/3 teurer als Sanierungen im periurbanen und ländlichen Raum.

3.3 Sanierungskosten im Vergleich der Sanierungsmassnahmen

Anhand der 20 Fallstudien ist ersichtlich, dass Innen- und Aussensanierungen günstiger sind als Gesamtsanierungen und reine Aussensanierungen sich im unteren Preisspektrum bewegen. Reine Aussensanierungen bewegen sich im Vergleich der Sanierungsmassnahmen im unteren Preisspektrum. Die durchschnittlichen Sanierungskosten der 20 Fallstudien im Vergleich zu den Massnahmen belaufen sich auf:

- CHF 120'000 bei Aussensanierungen (44 % wertvermehrender Anteil)
- CHF 150'000 bei Innensanierungen (43 % wertvermehrender Anteil)
- CHF 240'000 bei Gesamtsanierungen (47 % wertvermehrender Anteil)

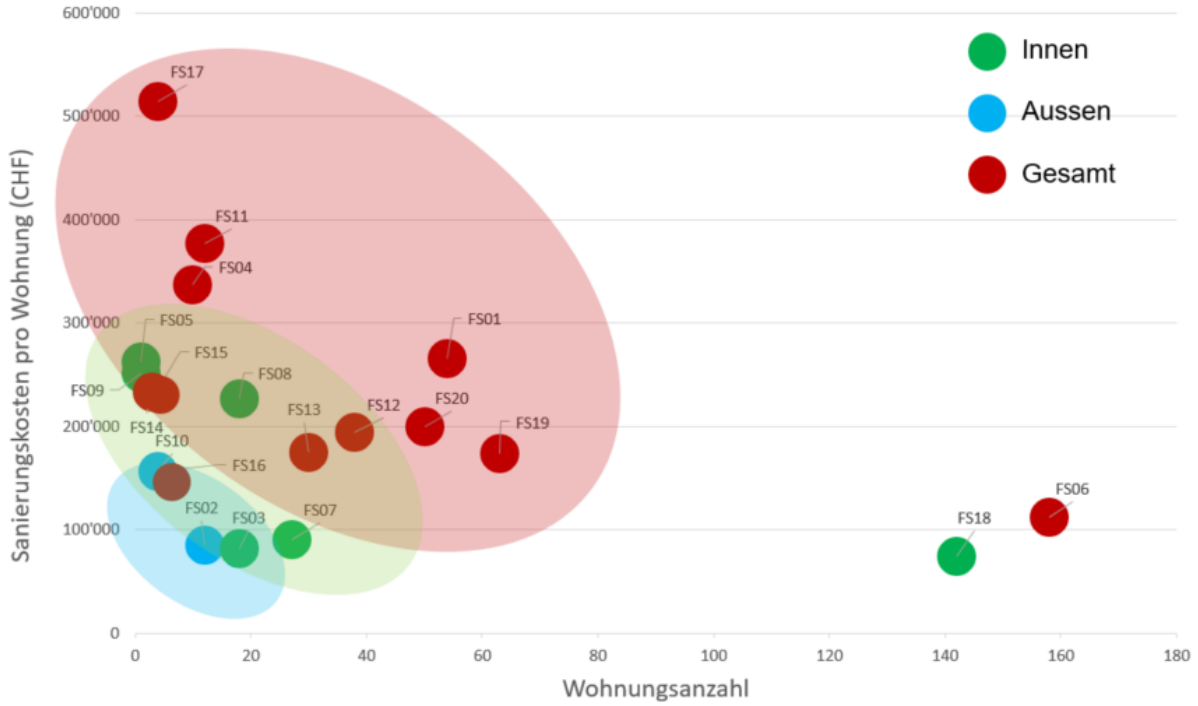


Abbildung 5: Sanierungskosten im Vergleich der Sanierungsmassnahmen

Die Abbildung 5 zeigt Sanierungskosten pro Wohnung im Vergleich zu den Sanierungsmassnahmen (Innen-, Aussen- und Gesamtsanierung) und der Objektgrösse (Wohnungsanzahl). Die niedrigsten Sanierungskosten fallen bei Objekten mit Innen- oder Aussensanierungen an (FS18, FS02, FS03, FS07). Eine Ausnahme bildet die Fallstudie FS06 (Eigentümer Hochbauamt), bei der die Gesamtsanierung mit ca. CHF 112 000/ Wohnung sehr tief ausfiel, ausschlaggebend ist hierbei die grosse Anzahl typologisch identischer Wohnungen der Siedlung. Im Gegensatz dazu fallen die höchsten Sanierungskosten bei einer Gesamtsanierung einer 4-Familien-Villa an (FS 17), herzuleiten aufgrund des hohen Standards des Objektes.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Fazit: Betreffend der 20 Fallstudien kann grundsätzlich festgehalten werden, dass die Art der Massnahme die Sanierungskosten stark beeinflussen. Tendenziell sind Innen- oder Aussensanierungen günstiger als Gesamtsanierungen. So liegen die durchschnittlichen Sanierungskosten von Aussensanierungen bei CHF 120'000/Wohnung, Innensanierungen bei ca. CHF 150'000/Wohnung und Gesamtsanierungen bei CHF 240'000/Wohnung. Damit sind Gesamtsanierungen rund doppelt so teuer wie reine Aussensanierungen. Hinsichtlich des wertvermehrenden Anteils liegen Gesamtsanierungen geringfügig über den wertvermehrenden Anteilen von Innensanierungen oder Aussensanierungen. Hinsichtlich der wertvermehrenden Investitionen liegen Gesamtsanierungen mit 47% rund drei Prozentpunkte über denjenigen bei Innen- oder Aussensanierungen.

4. Diskussion

Die vorliegende Studie stellt nach der Auswertung von 20 Fallstudien den effektiven Anteil der wertvermehrenden Investitionen bei umfassenden Sanierungen dar. Entsprechende Methode der BKP-Triage ist im Schlussbericht anschaulich erläutert und als Download verfügbar.[8]

Die Analyse lässt folgende Schlüsse zu:

- Sanierungskosten von Gebäuden stehen in **Abhängigkeit der Lage** und der **Qualität** bzw. des Standards, die Kosten sind geprägt durch die Strategie des **Eigentümers** und durch die **Anzahl der Wohnungen**.
- Generell werden **deutlich mehr Gesamt- und Innensanierungen** als reine Aussensanierungen (mit energetischen Massnahmen) bei umfassenden Überholungen durchgeführt.
- Bei den meisten Gesamtsanierungen werden **Grundrissanpassungen** vorgenommen, die sich in der Regel auf die **Vergrösserung von Küchen und Bädern** beziehen.
- Die Massnahmen des **Rohbaus, die Sanitäranlagen und der Ausbau** machen über **70 Prozent** der gesamten Sanierungskosten aus.
- Die wertvermehrenden Anteile sind abhängig von der **Eingriffstiefe** und den **Sanierungsmassnahmen,** deutliche Unterschiede der Zuteilung bestehen in einzelnen Gewerken.
- Die **Kostenzuordnungen** in werterhaltende und wertvermehrende Massnahmen sind **objektspezifisch** vorzunehmen und **umfassend zu beurteilen**.
- Die wertvermehrenden Anteile der Fallstudien betragen von **34 bis 58 Prozent.**
- Nach Anwendung der BKP-Triage ist der **wertvermehrende Anteil** von umfassenden Sa Überholungen **tendenziell unter dem Überwälzungssatz** von 50 bis 70 Prozent *(gem. Art.14 Abs.1 VMWG).*
- Einzelne wenige BKP-Positionen geben aufgrund von qualitativen Kriterien **Spielraum für die Einschätzung des wertvermehrenden Anteils**. Entsprechend sind Themen des Komforts aber auch Grundsatzentscheidungen, wie z.B. Schadstoffsanierung oder Brandschutzbekleidungen, noch im Konsens von Hauseigentümern und Mietern über entsprechende Interessensverbände festzulegen.
- Anhand der entwickelten Methode lassen sich werterhaltende und wertvermehrende **Anteile** von Sanierungen **bereits in frühen Phasen** tendenziell abschätzen (Projektbeschrieb/Ausschreibung) und anhand von Schlussabrechnungen präzisieren.
- Um die **Methode der BKP-Triage** zu festigen und diese der breiten Allgemeinheit zur Verfügung zu stellen erscheinen **weitere Untersuchungen** sinnvoll.

[8] Vgl. Konsolidierte BKP-Triage (S. 61 – 74), Anhang 1 des Schlussberichtes «Wertvermehrende und werterhaltende Investitionen bei umfassenden Sanierungen», BWO/BFE, 2019 https://www.newsd.admin.ch/newsd/message/attachments/59007.pdf

DOI 10.5281/zenodo.3900180

5. Ausblick

Um die Ziele der Energiestrategie 2050 des Bundes zu erreichen, muss der Energieverbrauch im Gebäudesektor deutlich reduziert werden. Dafür müssen in Zukunft deutlich mehr Gebäude energetisch saniert werden als dies bisher der Fall ist. Rein energetische Massnahmen sind oftmals kein Auslöser für einen Sanierungsentscheid, sondern die Anforderungen an die Nutzung.

Weiche Kriterien wie Komfort, Ästhetik, Sicherheit, soziale und ökologische Auswirkungen sind nur schwer zu bewerten, diese haben aber einen grossen Einfluss auf die ökonomische Beurteilung von Bauprojekten. Aus Investoren- und Eigentümersicht muss sich die energetische Sanierung wirtschaftlich lohnen. Dabei ist der Investitionsentscheid jedoch massgeblich von weichen Kriterien beeinflusst, die mit gängigen Methoden der Investitionsrechnung nicht abgebildet werden. Auf die Relevanz von qualitativen Faktoren wird im Vorwort der SIA 480 «Wirtschaftlichkeitsrechnung für Investitionen im Hochbau» explizit hingewiesen, jedoch bestehen keine Instrumentarien oder Berechnungsmodelle zur Bewertung von weichen Kriterien.

Im Zusammenhang der vorliegenden Studie bzw. der Mehrwertbetrachtung stellt sich die Frage, wie qualitative Faktoren bewertet werden können, um das Instrumentarium der BKP-Triage mit verbreiteten Berechnungsmethoden zu validieren und weiterzuentwickeln. Dies betrifft insbesondere die Bewertung qualitativer Faktoren, die sich nicht direkt monetär abbilden lassen, um wertvermehrende Investitionen immaterieller Werte aufzuzeigen (z.B. Definition Ausbaustandard, Qualität und Komfort). Die Methodik der BKP-Triage könnte für die Praxis weiterentwickelt werden, um so ein pragmatisches- und handhabbares Instrument zu schaffen, das eine höhere Rechtssicherheit in der Praxis zulässt und ggf. zu weniger Einzelfallentscheidungen betreffend Überwälzungen von wertvermehrenden Investitionen vor Gericht führen könnte. Insofern wäre für das weitere Vorgehen auch die Einbindung von Interessenverbänden anzustreben, um ein konsolidiertes praxistaugliches Instrument zu erhalten.

Über die Wirtschaftlichkeitsrechnung werden die während des Lebenszyklus einer Investition anfallenden Ausgaben und Einnahmen in einen ökonomischen Kennwert umgewandelt, welcher eine Beurteilung der Wirtschaftlichkeit erlaubt. Über das entwickelte Instrumentarium könnte, durch das Zusammenführen von Kostenkennwerten und qualitativen Faktoren, eine Entscheidungsgrundlage zur Einschätzung des wertvermehrenden Anteils zur Verfügung gestellt werden und den Prozessbeteiligten als Anreiz für Bauerneuerungen dienen.

Danksagung

Die Autoren danken herzlich den Vertretern der Begleitgruppe für die Unterstützung, die Anregungen, den fachlichen Austausch und das Interesse. Grossen Dank geht an den Hauseigentümerverband Schweiz (HEV) und den Schweizerischen Mieterinnen- und Mieterverband (SMV), das Bundesamt für Energie (BFE) und das Bundesamt für Wohnungswesen (BWO) für den inhaltlichen Input zur Entwicklung der BKP-Triage sowie an alle beteiligten Projektpartner. Die Beauftragten danken dem Bundesamt für Energie (BFE) und dem Bundesamt für Wohnungswesen (BWO) für die finanzielle Unterstützung und dem themenspezifischen Engagement.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literatur/Referenzen

Bächinger, C., & Meins, E. (2015). Abbau von Hemmnissen für Sanierungen von Liegenschaften institutioneller Investoren (HEMSAN). Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK, Bundesamt für Energie BFE.

Bieri, R., Gubler, A., & Meier, B. (1998). Werterhaltende – Wertvermehrende Investitionen im Wohnungsbau. Atis - Ingenieurschule HTL.

Das Schweizerische Mietrecht: Kommentar, 4. Auflage (2018). SVIT Schweiz (Hrsg.), Schulthess Verlag

Eidgenössisches Departement für Wirtschaft (2016). Auslegeordnung: Energetische Gebäudesanierungen im Mietwohnungsbereich.

Kägi, W., Giaquinto, K., & Gassmann, F. (2015). Energetische Sanierung - Auswirkungen auf Mietzinsen. BWO.

Lachat, D. et al., Mietrecht für die Praxis, 9. vollständig überarbeitete Auflage (2016). Schweizerischer Mieterinnen- und Mieterverband Deutschschweiz (Hrsg.)

mietrecht.ch. (2017). Paritätische Lebensdauertabelle. Zürich.

Rinderknecht, M., Blaser, J., & Kenworthy, G. (1976). Die Baukosten bei der Entwicklung von Wohnraum und ihr Einfluss auf die Mietzinse. BWO.

Settembrini, G., Hochschule Luzern – Technik & Architektur (2016). Vorstudie Kostenkennwerte energetischer Erneuerungsmassnahmen. BFE.

Unternährer, M., & Zwick, P. (2009). Baukostenentwicklung in der Schweiz seit 1970 und deren Ursachen. BWO.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Stromverbrauch der Gebäudeautomation: eine Fallstudie

Philipp Kräuchi[1] und Olivier Steiger[1]
[1] Hochschule Luzern – Technik und Architektur, CH-6048 Horw, www.hslu.ch
philipp.kraeuchi@hslu.ch, olivier.steiger@hslu.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Der vorliegende Beitrag zeigt den Stromverbrauch der Gebäudeautomation (GA) sowie der gesamten Gebäudetechnik für ein ausgewähltes Bürogebäude auf. Es wurden jährliche Verbrauchs-Kennwerte [kWh/m^2] bestimmt für zwei unterschiedliche GA-Systeme:
(1) realisiertes GA-System; (2) ideales GA-System, bestehend aus Geräten mit tiefem Stromverbrauch gemäss dem Stand der Technik. Zur Beurteilung der Wichtigkeit des GA-Stromverbrauchs wird dieser dem Stromverbrauch der gesamten Gebäudetechnik vergleichend gegenübergestellt. Es resultiert für das realisierte GA-System ein jährlicher Stromverbrauch von 3.6 kWh/m^2, was einem Anteil von 21% am Stromverbrauch der gesamten Gebäudetechnik entspricht. Das ideale GA-System hat einen dreifach tieferen Stromverbrauch erreicht als das realisierte.

This article examines the power consumption of the building automation and control system (BACS) as well as that of the entire building services engineering for a selected office building. Annual consumption values [kWh/m^2] were determined for two different building automation systems: (1) real BACS; (2) ideal BACS, consisting of devices with low power consumption according to the state of the art. To assess the importance of the BACS with respect to electricity consumption, this is compared to the electricity consumption of the entire building services equipment. This results in an annual electricity consumption of 3.6 kWh/m^2 for the real BACS system, which corresponds to 21% of the electricity consumption of the entire building services. The ideal GA system has achieved an electricity consumption three times lower than the real one.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Der Stromverbrauch der Gebäudeautomation (GA) wurde bisher in der Schweizerischen Planungspraxis kaum berücksichtigt. In dem vom Schweizerischen Bundesamt für Energie BFE unterstützten Projekt *Musterbeispiele von Gebäudeautomationssystemen mit geringem Stromverbrauch* [1] wurden für drei Zweckbauten (zwei Bürobauten und ein Hotel) GA-Verbrauchskennwerte berechnet. Die Kennwerte beziehen sich auf die Energiebezugsfläche [kWh/m^2]. Sie wurden jeweils für zwei GA-Systeme (realisiert, ideal) berechnet. Der jährliche GA-Stromverbrauch dieser Fallbeispiele kann den Planern als Orientierungswert dienen und sie dazu motivieren, verstärkt auf den Stromverbrauch zu achten. Die ebenfalls an der Hochschule Luzern durchgeführte, vom BFE unterstützte Studie *Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation* [2] hat die Relevanz des Themas schon im Jahr 2016 aufgezeigt. Der GA-Stromverbrauch lag für die damals untersuchten Objekte zwischen 6% und 12% des nach SIA 2024 quantifizierten Energieverbrauchs für Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung eines Gebäudes. Zudem hat die Studie aufgezeigt, dass grosse Unterschiede bestehen im Verbrauch verschiedener GA-Lösungen, bei gleicher Funktionalität.

Aus den untersuchten Zweckbauten des eingangs erwähnten Projekts [1] waren bei einem Bürobau gemessene Werte für die Gebäudetechnik (Wärme- und Kälteversorgung, Lüftung, Beleuchtung) verfügbar. Die Wärme- und Kälteversorgung wird dort ausschliesslich strombasiert sichergestellt. Damit war eine Beurteilung der Wichtigkeit des GA-Stromverbrauchs im Vergleich zum Stromverbrauch der gesamten Gebäudetechnik möglich. Dieses Fallbeispiel scheint dadurch besonders relevant für die GA-Planerbrache zu sein. Es wird nachfolgend präsentiert.

2. Vorgehen

Der Bürobau (5. Obergeschoss) wurde untersucht in Bezug auf den Stromverbrauch des verbauten Raumautomationssystems (Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung, Beschattung) sowie auf den Stromverbrauch eines idealen Raumautomationssystems. Die erhaltenen Werte wurden (1) verglichen mit dem Stromverbrauch der gesamten Gebäudetechnik und (2) hochgerechnet auf Kenngrössen in Anlehnung an Minergie.

Grundlage für die Berechnungen waren für das realisierte GA-System (Fall «Ist»): Datenblattangaben der verwendeten GA-Geräte (Speisungen, Automationsstationen, I/O-Module, Sensoren, Ventil- und Klappenantriebe …); für das ideale GA-System (Fall «Top»): von den Autoren angenommene Werte nach Stand der Technik, siehe [1].

Die Berechnungen des Stromverbrauchs wurden mit einem selbstentwickelten Tool der Hochschule Luzern durchgeführt (siehe [1], [3], [4]). Das Tool durchwandert, ausgehend von den Feldgeräten, den gesamten Speisungsbaum bis hin zum 230 V Netzbezug, um auch die leistungsabhängigen Speisungsverluste realitätsnah abzubilden.

2.1 Systemgrenze

Die GA umfasst im vorliegenden Beitrag nur die Raumautomation: Heiz- und Kühlventilantriebe, Lüftungsklappenantriebe, Storenantriebe, Betriebsgeräte der Beleuchtung, Sensoren sowie alle Geräte zur Regelung- und Ansteuerung der genannten Geräte. Sämtliche berücksichtigten Geräte sowie die Ein- und Ausgabedaten des Berechnungstools sind im Projektbericht [1] im Anhang dokumentiert. Alle Geräte befinden sich auf den Stockwerken der Hauptnutzung. Sie wurden zu 100% der GA zugeteilt, mit Ausnahme der Betriebsgeräte der Beleuchtung und der Storenantriebe. Bei diesen Geräten wurde nur der Standby-Verbrauch der GA zugeteilt, der Normalbetrieb jedoch der «gewöhnlichen» Gebäudetechnik – letztere wird in der Folge als «Nicht-Gebäudeautomation» (nGA) bezeichnet. Die Überlegung dabei war, als Vergleichsfall ohne GA ein Beleuchtungs- und motorisches Beschattungssystem zu wählen, welches lediglich über festverdrahtete, mechanische Schalter bedient wird.

Die Nicht-Gebäudeautomation (nGA) umfasst zu 100% die Heiz-/Kühldecken, die Lüftungsanlage sowie einen Anteil an den nicht vollständig der GA zugeteilten Geräte (Betriebsgeräte der Beleuchtung und Storenantriebe).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2.2 Untersuchungsobjekt (analysiertes Gebäude)

Beim untersuchten Objekt (Abbildung 1, Bau 1 im Projektbericht [1]) handelt es sich um ein Hochhaus im Minergie-Standard mit drei Unter- und 41 Obergeschossen. In den drei Untergeschossen wie auch im 18. und 39. bis 41. Obergeschoss sind die Technikzentralen untergebracht. Die Büronutzung umfasst rund 2'000 Arbeitsplätze in einem Mix von Einzel- und Gruppenbüros. Die Beleuchtung ist in LED-Technik realisiert. Die Wärme- und Kälteversorgung wird ausschliesslich strombasiert sichergestellt, als Wärmequellen dienen Abwärme und Grundwasser, als Kältequelle das Grundwasser. [5], [6].

Der Bau ist seit 2015 in Betrieb.

Tabelle 1 gibt eine Charakterisierung des GA-Systems.

Abbildung 1 *Hochhaus, Basel, September 2015 (Bildquelle: [5])*

Gewerk	Beschreibung
GA allgemein	Pro vier Raumsegmente eine mit 230 VAC gespiesene Raumautomationsstation mit integrierten Ein-/Ausgängen. Die Elemente jedes Raumsegments (Bedienung, Aktoren, Sensoren etc.) sind konventionell oder über EnOcean an die Raumautomationsstationen angeschlossen. Beleuchtung und Präsenzmelder sind über BACnet/DALI-Gateway angebunden. Die Bedienung erfolgt für alle Gewerke über energieautarke EnOcean-Bediengeräte.
Heizung, Kühlung	Elektromotorische Ventilantriebe, gespiesen mit 24 VAC Ansteuerung 2..10 V
Lüftung	Lüftungsklappenantriebe, gespiesen mit 230 VAC, mit 3 Punkt-Ansteuerung
Beleuchtung	DALI, präsenzabhängige Konstantlichtregelung in Bürozonen
Beschattung	Die Storensteuerungen sind mit 230 VAC gespiesen und haben integrierte Relais-Ausgänge zur 3-Punkt-Ansteuerung der Storenmotoren.

Tabelle 1 *Charakterisierung des GA-Systems im untersuchten Bau*

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2.3 Kennzahlen des Energiemonitorings

Zum Stromverbrauch der Gebäudetechnik und der Bürogeräte standen den Autoren auf Messwerten aus dem Jahre 2018 basierende Kennzahlen zur Verfügung:

- Heizung und Kühlung: Stromfaktoren [kWh Strom / kWh Wärme bzw. Kälte] sowie spezifische Wärme-/Kältebezüge [kWh Wärme bzw. Kälte / m^2]. In den Stromfaktoren für die Energien sind alle Stromverbräuche der arealweiten Versorgung bis an das Gebäude (z.B. Verdichter, Pumpen, Steuerung, Arealnetzpumpen) enthalten.
- Lüftung: spezifischer Stromverbrauch der Lüftungsanlage für die Luftbewegung bezogen auf den gesamten Bau (7.0 kWh/m^2)
- Beleuchtung: spezifischer Stromverbrauch über alle Leuchten im 5. Obergeschoss (2.1 kWh/m^2)
- Bürogeräte: spezifischer Stromverbrauch im 5. Obergeschoss (11.7 kWh/m^2)

Die Bezugsfläche ist jeweils die Energiebezugsfläche.

Aus den oben erwähnten Kennzahlen wurden wie folgt jährliche Stromverbrauchswerte errechnet. Diese wurden anschliessend − zur Eingabe ins Berechnungstool − in jahresmittlere Leistungswerte umgerechnet[1]. Für die Beschattung war kein Messwert verfügbar; der jährliche Stromverbrauch wurde mit dem Berechnungstool hochgerechnet[2].

Wärmepumpe/Kältemaschine (kombinierte Erzeugung von Wärme 40°C und Kälte 6°C):

$$0.182^{3}\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Wärme}}\right] * 15\left[\frac{\text{kWh Wärme}}{\text{m2}}\right] + 0.182^{4}\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Kälte}}\right] * 2\left[\frac{\text{kWh Kälte}}{\text{m2}}\right] = 3.094\ [\frac{\text{kWh Strom}}{\text{m2}}]$$

Wärme 40°C, bezogen durch:

- Heiz-/Kühldecken[5]: $0.182\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Wärme}}\right] * 7\left[\frac{\text{kWh Wärme}^{6}}{\text{m2}}\right] = 1.274\ [\frac{\text{kWh Strom}}{\text{m2}}]$
- Heizregister Lüftungsanlage: $0.182\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Wärme}}\right] * 8\left[\frac{\text{kWh Wärme}^{7}}{\text{m2}}\right] = 1.456\ [\frac{\text{kWh Strom}}{\text{m2}}]$

Kälte 6°C, bezogen durch:

- Kühlregister Lüftungsanlage (Kühlung & Entfeuchtung mit Kälte 6°C):
  $0.182\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Kälte}}\right] * 2\left[\frac{\text{kWh Kälte}}{\text{m2}}\right] = 0.364\ [\frac{\text{kWh Strom}}{\text{m2}}]$

Kälte 15°C (freie Kühlung mittels Grundwasser), bezogen durch:

- Heiz-/Kühldecken[8]: $0.0465\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Kälte}}\right] * 16.7\left[\frac{\text{kWh Kälte}}{\text{m2}}\right] = 0.7766\ [\frac{\text{kWh Strom}}{\text{m2}}]$
- Kühlregister Lüftungsanlage (Kühlung mit Kälte 15°C):
  $0.0465\ \left[\frac{\text{kWh Strom}}{\text{kWh Kälte}}\right] * 15.3\left[\frac{\text{kWh Kälte}^{9}}{\text{m2}}\right] = 0.7115\ [\frac{\text{kWh Strom}}{\text{m2}}]$

[1] Bei der Beleuchtung wurden Leuchten-Angaben (Spezifikation, Anzahl) berücksichtigt. Die Betriebszeit der Leuchten wurde so angepasst, dass der gesamte jährliche Stromverbrauch der Leuchten auf eine Kommastelle genau mit dem Messwert übereinstimmte.
[2] Dazu wurde unter anderem die Nominalleistungsaufnahme der Storenmotoren verwendet. Als zeitlicher Anteil des aktiven Betriebs (Bewegung) wurde der Wert 0.3% angenommen wie generell in den Studien [1] und [2].
[3] Die arealbezogenen Faktoren «Wärme» und «Kälte» hatten im Jahre 2018 den gleichen Zahlenwert. Zum Vergleich die Faktoren des Jahres 2019: 0.164 [kWh Strom / kWh Wärme], 0.187 [kWh Strom / kWh Kälte].
[4] Siehe obenstehende Fussnote.
[5] Nicht berücksichtigt ist der Stromverbrauch der Wärmeverteilung.
[6] Messwert für 5. Obergeschoss
[7] Endenergiebezug Wärme 40°C 2018, Areal [15 kWh/m^2] abzüglich Endenergiebezug Wärme 40°C 2018, 5. OG, Heiz-/Kühldecken [7 kWh/m^2]
[8] Nicht berücksichtigt ist der Stromverbrauch der Kälteverteilung.
[9] Endenergieverbrauch Kälte 15°C 2018, Areal [32 kWh/m^2] abzüglich Endenergieverbrauch Kälte 15°C 2018, 5. OG, Heiz-/Kühldecken [16.7 kWh/m^2]

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Zusammengefasst nach Anlage und Gewerk ergeben sich die in Tabelle 2 gezeigten, jährlichen Stromverbräuche.

Anlage → *Gewerk ↓*	Heiz-/Kühldecken [kWh/m^2]	Lüftungsanlage [kWh/m^2]	**Total** [kWh/m^2]
Heizung	1.27	1.46	**2.73**
Kühlung	0.78	1.08	**1.85**
Lüftung	0.00	7.00	**7.00**
Total	**2.05**	**9.53**	**11.58**

Tabelle 2: Auf Messwerten basierender, jährlicher Stromverbrauch HLK ohne Raumautomation

3. Resultate

Alle flächenbezogenen Werte beziehen sich auf die Energiebezugsfläche.

Der jährliche GA-Stromverbrauch, aufgegliedert nach Geräteart und nach Gewerk, ist in Abbildung 2 ersichtlich.

Alle Speisungen zusammen (Balkensegmente in hellen Farbtönen) machen im Ist-Fall 20% des GA-Stromverbrauchs aus (0.74 kWh/m^2), im Top-Fall 6% (0.07 kWh/m^2).

Werden die Speisungsverluste den gespiesenen Gerätearten zugeschrieben, sind im realisierten GA-System die drei verbrauchsmässig bedeutsamsten Gerätearten «Kontroller» (1.23 kWh/m^2), «Output-Modul» (0.95 kWh/m^2) und «Aktor» (0.65 kWh/m^2). Im Top-Fall dominieren die ersten beiden dieser Gerätearten «Kontroller» und «Output_Modul», allerdings mit stark reduzierten Verbrauchswerten. Bei der Geräteart «Aktor» ist die Reduktion grossenteils den reduzierten Speisungs-Verbräuchen zuzuschreiben.

Die Geräteart «Kontroller» umfasst hier lediglich einen Produkttyp eines Raumkontrollers. Dieser hat mehrere integrierte Ein-/Ausgänge (8 Universaleingänge, 4 Digitaleingänge, 4 Analogausgänge, 8 Triac-Ausgänge sowie 16 Schliesser-Kontakte). Im Datenblatt ist die Angabe *Verlustleistung: bis zu 15 W* aufgeführt. Im realen Betrieb dürfte die mittlere Leistungsaufnahme tiefer liegen, deshalb wurde ein geschätzter Wert von 10 W im Ist-Fall angenommen. Im Top-Fall ist − wie bei den anderen zwei Bauten – die angenommene Leistungsaufnahme von 5 W hinterlegt. Es ist kein Beitrag für die Speisungen ausgewiesen. Dies, weil die Kontroller direkt mit 230 VAC gespiesen werden.

Die Geräteart «Output_Modul» umfasst mit 230 VAC gespiesene, abgesetzte I/O-Module, mit 24 VAC gespiesene, abgesetzte I/O-Module sowie Storen-Aktoren. Die Verbrauchsangaben nach Datenblatt lauten *Verlustleistung ≤ 8 W (typ. ca. 4 W)* für die 230 VAC gespiesenen I/O-Module; *Verlustleistung ≤ 5 W (typ. ca. 0.5 W)* für die 24 VAC gespiesenen I/O-Module; und bei den Storenaktoren für die typische Verlustleistung hochgerechnet knapp 2 W pro Gerät.

Geräteart «Aktor»: Der GA-Stromverbrauch dieser Kategorie entfällt hier fast vollständig auf die Heiz- und Kühlventilantriebe (6-Wege-Ventile). Er beläuft sich im Ist-Fall jährlich auf 3.52 kWh/Gerät beziehungsweise flächenbezogen auf 0.18 kWh/m^2. Die Speisung dieser Ventilantriebe (Summe der hellen Säulensegmente der Säule «Aktor») schlägt mit 0.47 kWh/m^2 zu Buche (Verlustleistung). Dies entspricht dem 2.6-fachen der an die Ventilantriebe gelieferten, elektrischen Energie. Auf die Gesamtsäule bezogen, machen die Speisungsanteile 72% aus (Ist-Fall). Die Lüftungsklappenantriebe und Storenmotoren haben keine Standby-Leistungsaufnahme (3-Punkt-Ansteuerung).

Bei der Geräteart «Sensor» im Ist-Fall weisen die Speisungen ebenfalls einen hohen Anteil von 59% auf.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

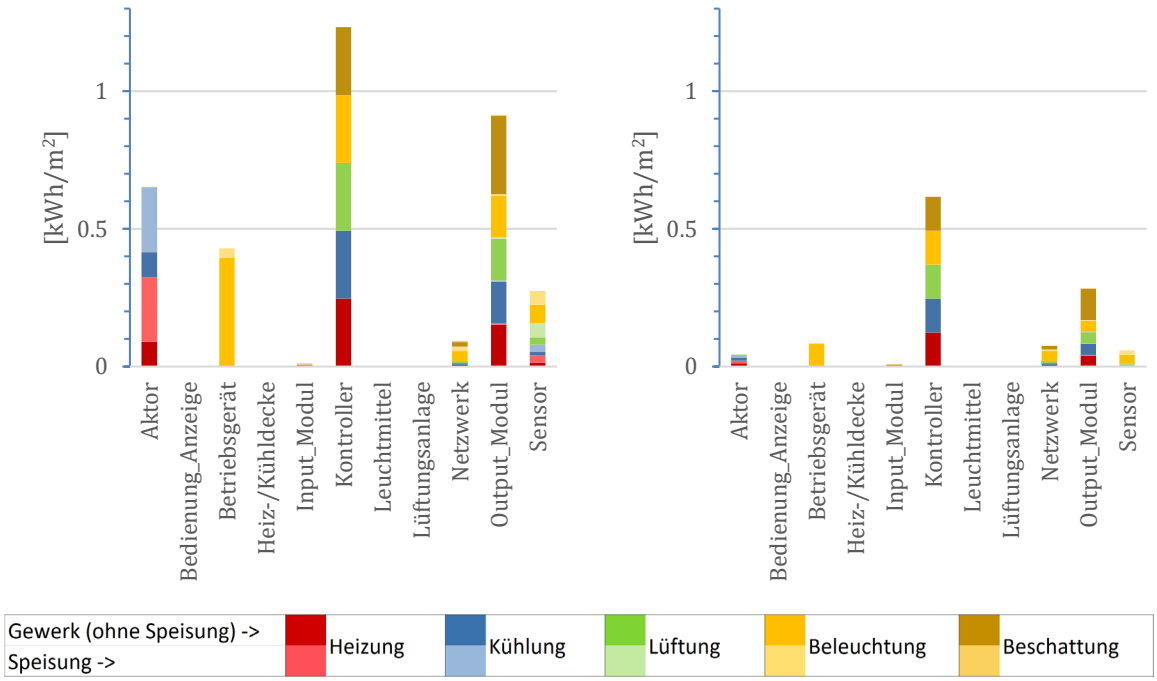


Abbildung 2: Stromverbrauch GA nach Geräteart und Gewerk; links: realisiert (Ist-Fall), rechts: ideal (Top-Fall)

In Abbildung 3 wird, im Unterschied zur Abbildung 2, zusätzlich zur GA der Verbrauch der Gebäudetechnik ohne GA gezeigt (nGA). Die Summe der Verbräuche GA und nGA bildet den gesamten Verbrauch der Gebäudetechnik.

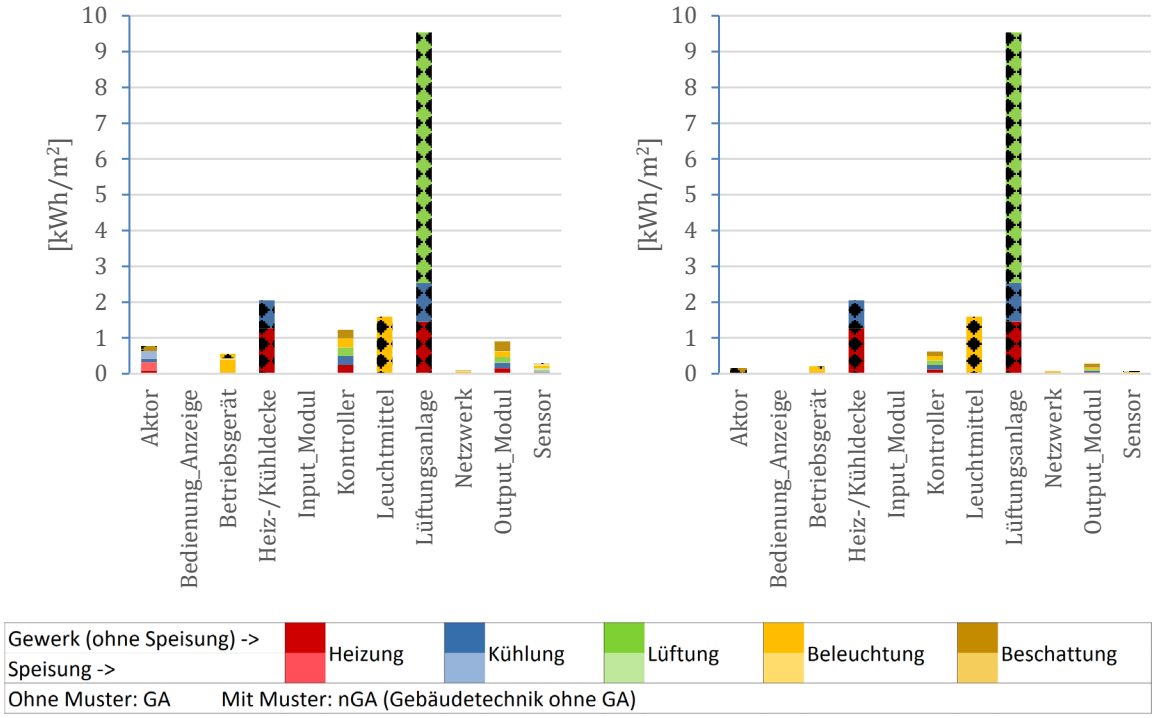


Abbildung 3: Stromverbrauch GA/GA/nGA nach Geräteart und Gewerk; links: realisiert (Ist-Fall), rechts: ideal (Top-Fall)

Die Säule «Lüftungsanlage» beinhaltet den Stromverbrauch der zentralen Lüftungsanlage (Luftförderung) wie auch jenen für die an das Heiz- und das Kühlregister gelieferte Wärme und Kälte. Da die GA der zentralen GT-Anlagen hier nicht separat ausgewiesen wird, hat die Säule «Lüftungsanlage» lediglich nGA-Säulensegmente.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Die in der Abbildung 3 gezeigten Werte sind nachfolgend mit kumulierten Balken aggregiert:

- Abbildung 4: aggregiert nach Gewerk
- Abbildung 5: aggregiert nach Geräteart

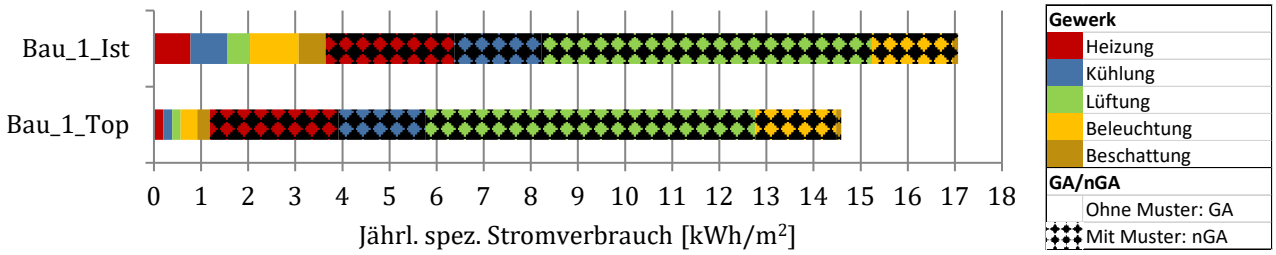


Abbildung 4: Stromverbrauch GA/nGA nach Gewerk

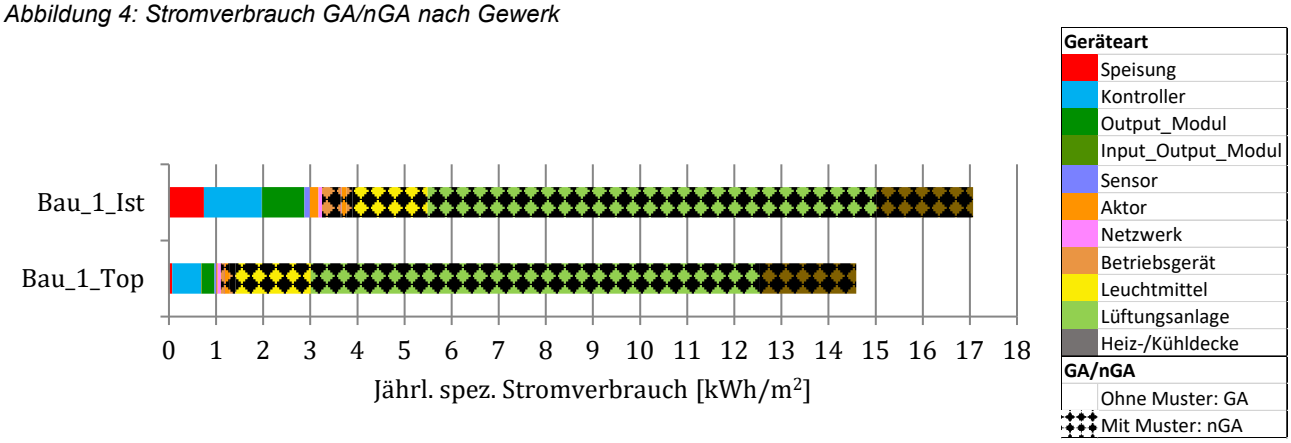


Abbildung 5: Stromverbrauch GA/nGA nach Geräteart

In Abbildung 6 sind die Daten aus Abbildung 4 in anderer Form gezeigt:

- Graue Balken (GT): Gesamtbalken aus den GA- und nGA-Balkensegmenten
- Blau/grau gestreifte Balkensegmente: GA-Teil des GT-Gesamtbalkens
- Rote Balken: GA-Anteil (prozentual) an der GT

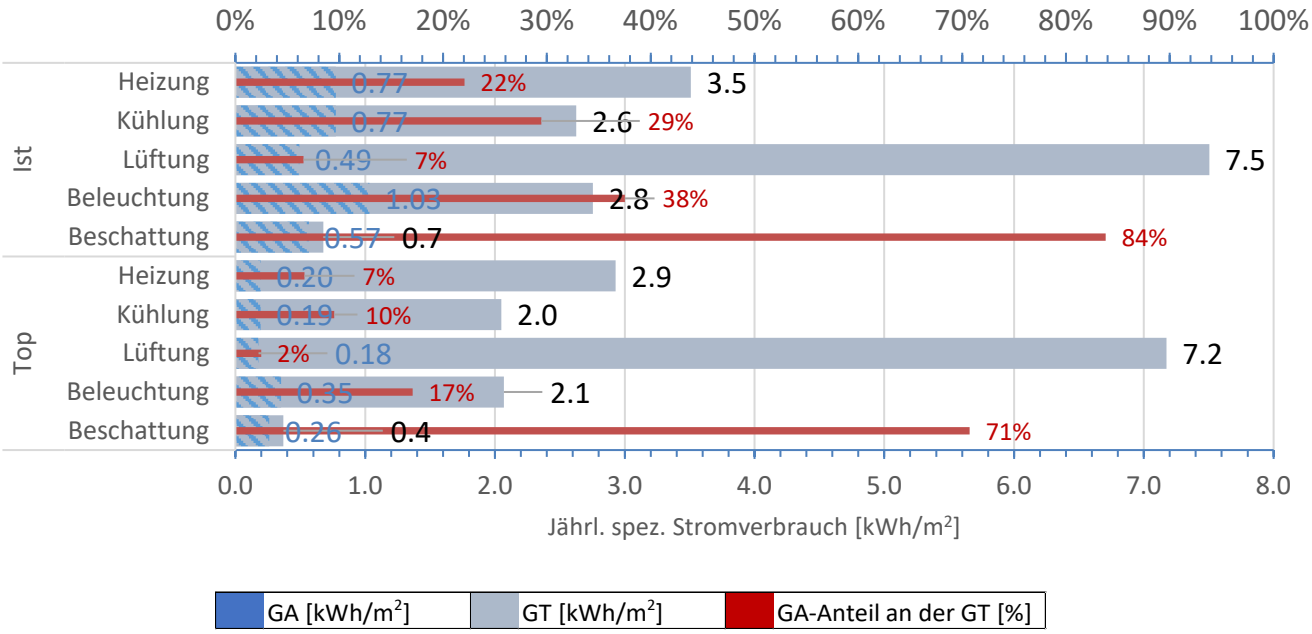


Abbildung 6: Stromverbrauch GA/GT sowie GA-Anteil an der GT

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Der spezifische Energiebedarf der Gebäudetechnik ist für das Gewerk Lüftung mit Abstand am höchsten, mit einem nicht-gewichteten jährlichen Endenergiebedarf von 7.5 kWh/m^2. Dies obwohl hier lediglich die Luftförderung der Lüftung zugeteilt wurde, nicht hingegen das Heizen/Kühlen der Zuluft. Die Zuluft-Temperierung ist in den Gewerken Heizung/Kühlung berücksichtigt. Es folgen in absteigender Reihenfolge die Gewerke Heizung (3.5 kWh/m^2), Beleuchtung (2.8 kWh/m^2), Kühlung (2.6 kWh/m^2) und Beschattung (0.7 kWh/m^2). Im Top-Fall liegen diese Werte jeweils tiefer, wegen dem geringeren Energiebedarf für die GA. Die GA ist dabei Bestandteil der Gebäudetechnik.

Die roten Balken zeigen den prozentualen Anteil der GA an der Gebäudetechnik. Als Lesebeispiel diene hier der Eintrag «Ist: Heizung»: Vom jährlichen Energiebedarf für die Heizung (3.5 kWh/m^2) entfallen 22% auf die GA, was gerundet 0.8 kWh/m^2 entspricht. Das Gewerk Beschattung zeigt den höchsten prozentualen Anteil (Ist: 84%; Top: 71%), nach der Reihenfolge für den Ist-Fall gefolgt von Beleuchtung (Ist: 38, Top: 17%), Kühlung (Ist: 29%; Top: 10%), Heizung (Ist: 22%; Top: 7%), und Lüftung (Ist: 7%; Top: 2%).

Die Summe des spezifischen, jährlichen Stromverbrauchs über alle Gewerke ergibt für die Fälle «Ist» / «Top» den absoluten Wert von 17.1 / 14.6 kWh/m^2 für die Gebäudetechnik (nur GA: 3.64 / 1.18 kWh/m^2) und damit einen GA-Anteil von 21.3% / 8.1%. Das heisst: der GA-Anteil liegt im Top-Fall 13.2 Prozentpunkte tiefer, und bezüglich absoluten Werten bei rund einem Drittel.

Die nummerischen Werte zu Abbildung 2 bis Abbildung 5 sind im Anhang des Projektberichts [1] dokumentiert.

Werden die Stromverbrauchswerte gewichtet[10], ergeben sich folgende Kennwerte in Anlehnung an Minergie©:

- Kennzahl Gesamtenergie, analog zur früheren Minergie-Kennzahl; Anteile GA/nGA/Geräte (Abbildung 7)
- Kennzahl E_{hlwk}, analog zur aktuellen Minergie Zusatzanforderung; Anteile GA/nGA (Abbildung 8)

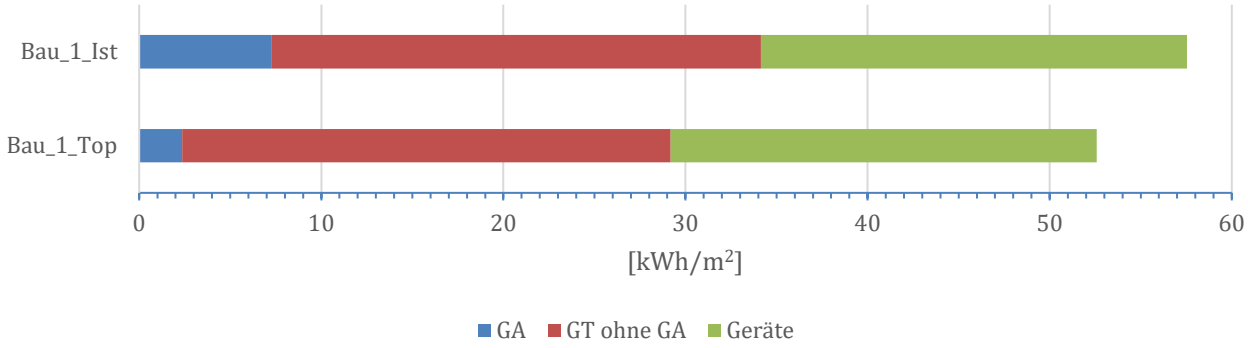


Abbildung 7: Messwertbasierte Kennzahl Gesamtenergie analog Minergie-Kennzahl

Abbildung 7 zeigt einen Kennwert, der analog ist zu der auf Planungswerten basierenden Minergie-Kennzahl. Die Balken «GT ohne GA» sowie «Geräte» basieren auf Messdaten (Jahr 2018, gleiche Werte für beide Fälle «Ist» und «Top»). Die Balken «GA» sind hochgerechnet mit dem Berechnungstool der Hochschule Luzern. Zum Gesamtwert trägt die GA 7.3 kWh/m^2 bei (Ist-Fall), was rund 13% der Summe vom GT und Geräten entspricht. Im Top-Fall liegt der GA-Wert bei 2.4 kWh/m^2, was rund 5% entspricht.

Zum Vergleich: Mit einem messwertbasierenden Wert von total 58 kWh/m^2 für den Ist-Fall dürfte der Bau im realen Betrieb die Minergie-P-Vorgabe deutlich untertreffen. Die nach Minergie berechnete Minergie-Kennzahl liegt für einen Neubau der Kategorie «Verwaltung», bei 80 kWh/m^2 für den

[10] Die Gewichtung erfolgt gemäss dem nationalen Gewichtungsfaktor g für Elektrizität, zurzeit 2.0, siehe [7] S. 48.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Standard «Minergie» bzw. 75 kWh/m^2 für den Standard «Minergie-P», dies für Bauten mit weniger als 250 m^2 Nutzfläche. Da der Bau eine weit grössere Nutzfläche als 250 m^2 aufweist, gilt eine projektspezifische Minergie-Kennzahl; diese liegt uns nicht vor. Für die Beleuchtung gilt eine separate Anforderung, welche hier nicht überprüft wurde.

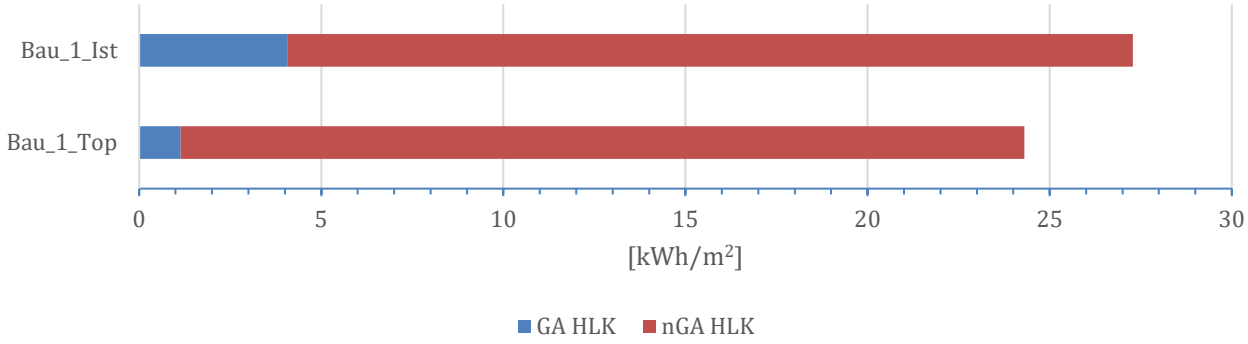


Abbildung 8: Messwertbasierter E_{hlwk} analog Minergie

Abbildung 8 zeigt einen weitgehend aufgrund von Messwerten bestimmten Kennwert, welcher analog ist zu der auf Planungswerten basierenden Minergie-Zusatzanforderung an den gewichteten Energiebedarf pro Jahr für Heizung, Warmwasser, Lüftung und Klimatisierung (E_{hlwk}). Die Balken «nGA HLK» basieren auf Messdaten (Jahr 2018, gleicher Wert für beide Fälle «Ist» und «Top»), während die Balken «GA HLK» hochgerechnet sind mit dem Berechnungstool der Hochschule Luzern. Mit einem messwertbasierenden Wert für E_{hlwk} von total 27 kWh/m^2 für den Ist-Fall untertrifft der Bau im realen Betrieb die Minergie-Vorgabe deutlich (40 kWh/m^2 für einen Neubau der Kategorie «Verwaltung», unabhängig vom Minergie Produkt). Zum Wert E_{hlwk} trägt die GA im Ist-Fall 4.1 kWh/m^2 bei, was rund 15% entspricht. Im Top-Fall liegt der Beitrag der GA zum Wert E_{hlwk} bei 1.1 kWh/m^2, was rund 5% entspricht.

4. Diskussion

Der GA-Stromverbrauch des untersuchten Baus liegt mit 3.6 kWh/m^2 im Werte-Bereich der bisherigen Untersuchungen [1], [2]. Werte-Bereich Raumautomation: 2 – 5 kWh/m^2 gemäss [1]. Der Top-Fall zeigt mit 1.2 kWh/m^2 einen GA-Stromverbrauch von rund einem Drittel des Ist-Falls (3.6 kWh/m^2). Der Top-Fall impliziert also ein signifikantes Potential zur Verbrauchsreduktion.

Verbrauchsmässig sind alle Gewerke relevant. Ein Grund dafür liegt im hohen Verbrauchsanteil der Geräteart «Kontroller». Die Kontroller erfüllen hier Funktionen für alle Gewerke; entsprechend wurden die Kontroller allen Gewerken zugeteilt.

Die relevantesten Gerätearten für den Stromverbrauch des realisierten GA-Systems – die Speisungsanteile miteingerechnet – sind hier in absteigender Reihenfolge «Kontroller», «Output_Modul», «Aktor» und «Betriebsgerät» (elektronische Vorschaltgeräte der Beleuchtung). Es dürfte sich deshalb empfehlen, ein besonderes Augenmerk auf diese Gerätearten zu legen bei der Produktewahl und bei den Speisungen zusätzlich auf deren Dimensionierung.

Die Speisungen zeigen im realisierten GA-System mit 20% (0.74 kWh/m^2) einen relevanten Anteil am GA-Stromverbrauch. Werden die Speisungsanteile innerhalb einer einzigen Geräteart betrachtet, so ergeben sich teilweise Werte von über 50% (72% bei «Aktor» und 59% bei «Sensor»). Im Top-Fall sind die GA-Speisungsverluste rund 10-fach tiefer (0.07 kWh/m^2).

Die Lüftungsklappenantriebe und die Storenmotoren werden hier 3-Punkt-angesteuert. Die Standby-Leistungsaufnahme wird dadurch vermeiden.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

5. Fazit

Für den untersuchten Bau − ein Gebäude nach Minergie-Standard mit ausschliesslicher Nutzung von Grundwasser und Abwärme für die Wärme- und Kälteerzeugung − wurde die Relevanz des GA-Stromverbrauchs im Vergleich zum Stromverbrauch der Gebäudetechnik exemplarisch ermittelt. Es ergab sich für das realisierte System ein GA-Anteil von 21%, d.h. rund ein Fünftel des Verbrauchs der gesamten Gebäudetechnik. Insbesondere für energieeffiziente Bauten scheint es demnach auch beim Fokus «Gesamtstromverbrauch» lohnend, dem GA-Stromverbrauch das gebührende Augenmerk zu widmen.

Die Ermittlung der Stromverbrauchswerte für die jeweiligen Geräte gestaltete sich teilweise aufwendig und lückenhaft. Dies weil die Verbrauchsangaben in Datenblättern nicht einheitlich erfolgen und teilweise sogar ganz fehlen. Oft wird die für die Dimensionierung notwendige Scheinleistung angegeben (Einheit Voltampere VA), während der typische mittlere Wirkleistungsbezug (Einheit Watt) fehlt. Wünschbar wären ferner detaillierte Wirkleistungsangaben nach Konfiguration[11] und Betriebsmodus[12].

6. Ausblick

Das für die Analyse verwendete Berechnungstool wird ergänzt und angepasst. Das Tool soll dann Dritten, insbesondere den Gebäudeautomations- und Gebäudetechnik-Planern, zur Verfügung gestellt werden als Planungsgrundlage und Entscheidungshilfe. Ziel ist es, damit einen tieferen Stromverbrauch der realisierten Systeme zu erreichen. Dieses Vorhaben steht im Zentrum des mittlerweile angelaufenen und vom Bundesamt für Energie unterstützten Projekts *StromGT*.

Literatur

[1] P. Kräuchi, «Projekt *Musterbeispiele von Gebäudeautomationssystemen mit geringem Stromverbrauch*», Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2020, http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/.

[2] P. Kräuchi, D. Jurt und C. Dahinden, «Projekt *Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation (EEV-GA)*. Ergebnisbericht», Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2016, http://www.bfe.admin.ch/php/modules/publikationen/.

[3] P. Kräuchi und O. Steiger, «Stromverbrauch der Gebäudeautomation: eine Berechnungsmethodik», in Brenet Status-Seminar, Zürich, 2018, http://www.brenet.ch/downloads-2018/.

[4] P. Kräuchi und O. Steiger, «Electricity consumption of building technology: a calculation method», Journal of Physics: Conference Series, Bd. 1343 , Nr. 012125, p. 5, 2019.

[5] Wikipedia, «Roche-Turm (Bau 1)», 2020 [Online], https://de.wikipedia.org/wiki/Roche-Turm_(Bau_1). [Zugriff am 9. 6. 2020].

[6] F. Hoffmann-La Roche AG, Email vom 22.6.2020.

[7] Minergie Schweiz, «Produktreglement zu den Gebäudestandards MINERGIE®/MINERGIE-P®/MINERGIE-A®, Version 2019.1», Basel, 2019.

[11] Eine Raumautomationsstation weist typischerweise etliche Anschlüsse auf, wie beispielsweise Ethernet, KNX oder DALI, und hat teilweise auch entsprechende Busspeisungen integriert. Vorstellbar wäre deshalb eine Unterscheidung der Wirkleistungsaufnahme wie folgt:
- Basis-Wirkleistungsaufnahme, ohne Busanschlüsse (ausser Ethernet), ohne Speiseleistungen, «typisch» und Wertespanne «von, bis» (minimale und maximale Auslastung)
- Mit KNX-Nutzung (3 Angaben): Wirkleistungsaufnahme mit angeschlossenem KNX-Bus, mit aktivierter interner Busspeisung bei Leerlauf / bei nominaler Leistung
- Mit DALI-Nutzung: gleiche Wirkleistungsangaben wie oben für KNX (3 Angaben)
- Weitere Wirkleistungs-Angaben zu integrierten klassischen Ein-/Ausgängen

[12] Beispielsweise bei motorischen Stellantrieben je die Wirkleistungsaufnahme für «in Ruhe» und «in Bewegung»

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Analysis of lifetimes of building elements in the literature and in renovation practices and sensitivity analyses on building LCA & LCC

Sébastien Lasvaux [1] ,Kyriaki Goulouti[1,] Didier Favre[1], Morgane Giorgi[1], Pierryves Padey[1], Benjamin Volland [2], Medhi Farsi [2], Guillaume Habert [3], Alina Galimshina [3]

[1] School of Management and Engineering Vaud, University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland [2] University of Neuchâtel, Institute of Economic Research, [3] Chair of Sustainable Construction, Institute of Construction and Infrastructure Management, Swiss Federal Institute of Technology (ETH Zurich)

Contact person : Sébastien Lasvaux, HES-SO/HEIG-VD/IGT, Av. des Sports 20, 1401 Yverdon-Les-Bains, sebastien.lasvaux@heig-vd.ch

Abstract

In this study, the service lives of the building elements, an important parameter in renovations and LCA/LCC calculations, are analyzed, based on a comprehensive literature review and a survey of Swiss households. The literature review showed that there is no consensus about the service lives, among the different countries, while the results of the survey on the renovation timing of the building elements, showed on average an agreement between the element's effective lifetime and the average from the literature data. In addition, based on the literature data, lognormal distributions were defined for the service life of the building elements and then the probabilistic LCA & LCC were calculated. The results showed that the uncertainty of 6 building elements' service lives can significantly influence the reliability of the results. For the practitioners, the study confirms that the current practice of using service life data of the SIA 2032 technical books, for building LCA and LCC, constitutes a relative good estimation of the most probable value of the probabilistic LCA.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Scope

The lifetime of building elements influence both the life cycle costs (LCC) and environmental impacts (LCA) of new constructions, during their planning stages and also the renovation of existing buildings. So far, it is not clear to which extent the lifetime values vary, i.e. values found in literature and observed in renovation practices. This potential variability may generate a lack of consistency, especially in the life cycle related studies (i.e. LCA, LCC). In that context, the DUREE project proposes a three steps approach to reduce the current knowledge gap and deal with this variability, as presented in Figure 1.

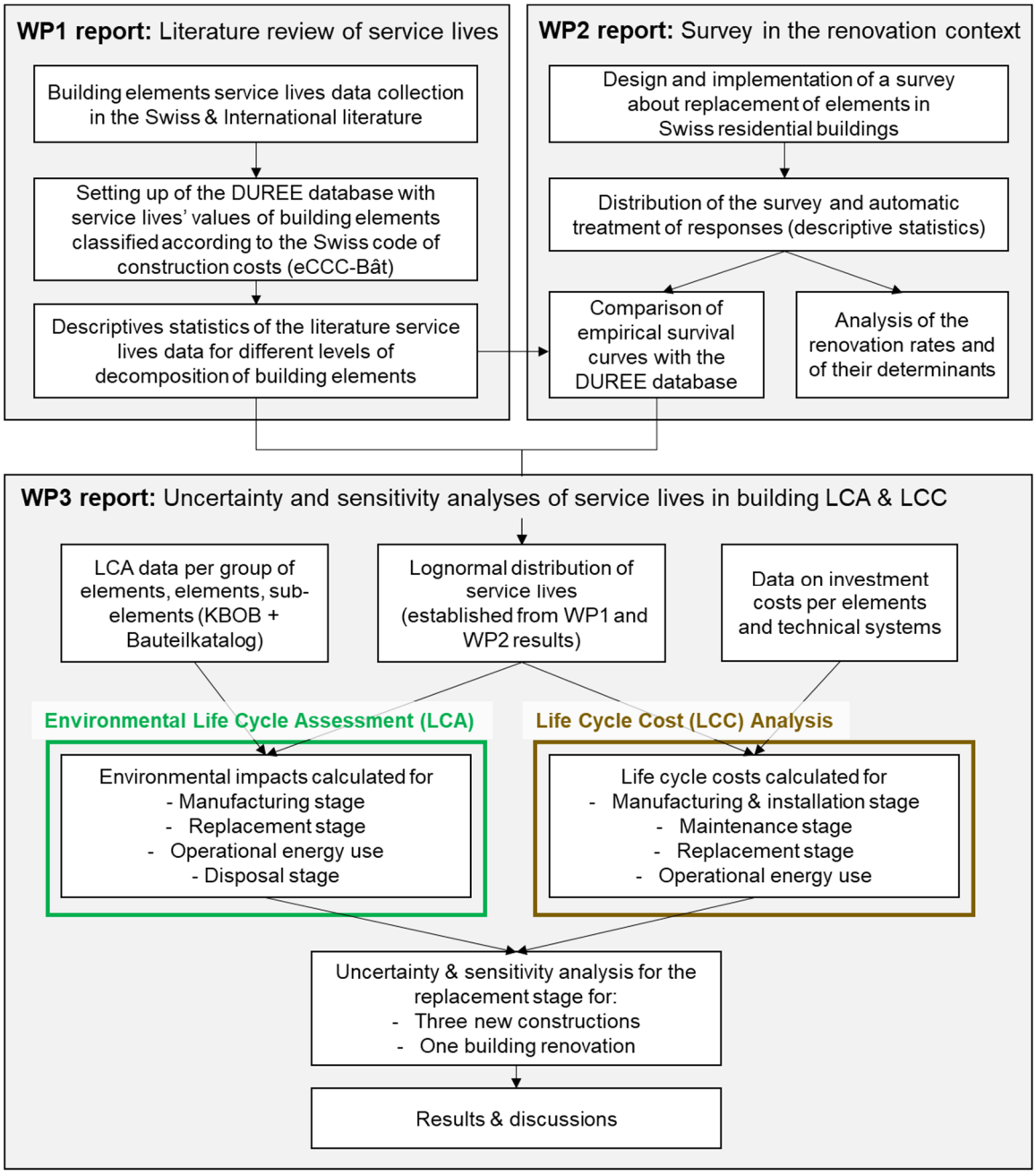


Figure 1 Three steps approach of the DUREE project

The three steps approach includes:

- First, a **state of the art** gathering the data of the building elements service life, from the Swiss and international literature (WP1);

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Second, the evaluation of what is being done in practice, through a **survey** for building owners, in order to determine the effective lifetimes of the building elements that derive from their replacement during renovations (WP2);
- Third, the analysis of the **influence of the variability** of service lives in the life cycle assessment (LCA) and life cycle cost (LCC) analysis for residential buildings (WP3);

Finally, recommendations are provided for policy makers and for the LCA/LCC community (both experts commitees and practitionners), in order to better handle the variability of the service lives of the building elements and technical systems in buildings.

2. WP1: Literature review of service lives in Switzerland and abroad

The first step of the project included a literature review of service life data for different building elements. The term ‘service life’ (or lifetime) can be differently defined, depending on the scope of the final user e.g. building designer, owner, LCA or LCC expert [1]. Thiebat [2], made a distinction among the physical, functional or economic service life of a building. The physical service life corresponds to the lifetime allowed by physical degradation procedures, while the functional one additionally takes into consideration the ‘performance/requirements ratio’. The economic service life corresponds to the residual economic value. Moreover, the international standard ISO 15686 [3], presents a variety of definitions, as for example the service life, the reference service life, the estimated service life, the predicted service life and the service life during the design. In Switzerland, the Swiss Society of Architects and Engineers (SIA) differentiates the technical service life (SIA 2047, 2015 [4]; SIA 480, 2016 [5]), from the useful life (SIA 2047, 2015; SIA 260, 2003 [6]; SIA 480, 2016) or the amortization period (SIA 2032, 2010 [7]), used for LCA calculations.

2.2. Methods

The literature search of service life data was performed in English, French and German via Google, Google Scholar and Science Direct, for all the different aforementioned terms. The identified sources (67 in total) were energy standards, LCA and LCC standards, scientific reports, documents from the public sector, private associations, banks, building management and insurance companies. The search was focused on data for the structural system, the technical installations, the façade elements and coatings, the roof elements, as well as for the interior layout. Moreover, the partners of the IEA EBC Annex 72 contributed to this research and they provided additional service life data through a survey, conducted on national LCA methodologies, in the beginning of 2019 [8]. The service life data were grouped in a database and formed the DUREE Database in an Excel spreadsheet, according to the SN506511 [9] that it is appropriate for different Level of Details - LOD calculations, in BIM-based LCA and LCC analyses. From this functional nomenclature, five main groups of building elements were extracted, which include the structural work (main group C), the technical installations (main group D), the façade elements and coatings (main group E), the roof elements (main group F) and interior layout (main group G), see Figure 2. Based on the SN 506511 nomenclature, these five main groups were additionally decomposed into two sub-categories, (i.e. the intermediate element level and the detailed element level, e.g. D.1 and D1.2a, respectively in Figure 2). Finally, five additional sub-categories were inserted to this decomposition, in order to cover lower levels for more detailed elements. In total, the database includes approximately 7’000 service lives data, for more than 2000 building elements. From these data, approximately 79% came from LCA and LCC sources. In addition, approximately 28% came from Switzerland and the rest were international data, mostly from European countries. The majority of Switzerland’s data came from the management sector, while the majority of the international data belonged to the LCA domain.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

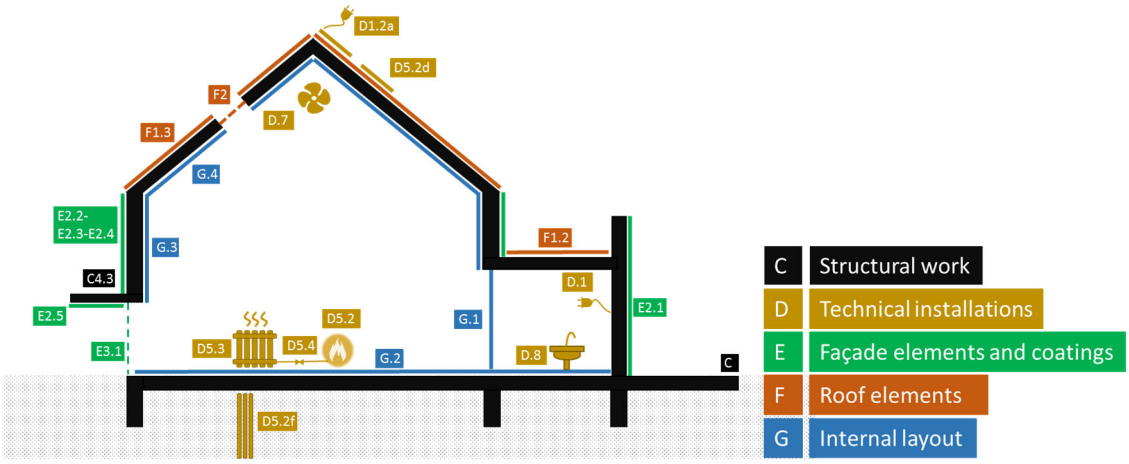


Figure 2 *Main groups and intermediate element levels from the eBKP-H - SN 506511 nomenclature, for the 24 building elements, according to SIA 2032.*

2.3. Results

The different data were analyzed, using descriptive statistics, for the different samples and levels of details, i.e. statistics were derived for the different countries (Switzerland or International data) or the different scopes (LCA, LCC and Management sources). Figure 3 presents the descriptive statistics for the global, LCA, LCC and Management samples and for a selection of eight building elements, included in the LCA calculation in Switzerland, according to the SIA 2032 and SIA 2040 technical books. The results are presented using boxplots, which represent 50% of the data in the box (interquartile interval) and 80% of the data between the upper and lower whiskers. In addition, the median is represented by the horizontal black line within the box. For example, as far as the heat distribution is concerned, 50%, of the global sample, are between 18 and 35 years, while 80% are between 16 to 60 years, the median value being equal to 27 years. For all the building components, there is a high variability in the global sample, as well as within the different samples (LCA, LCC, management). Similar findings were observed for the other samples (Swiss and International), as well. Although the variability is often substantial, for some components, median values or interquartile ranges are relatively comparable between the three sub-samples (e.g. heat production, compact façade, sloping roof). The results in Figure 3 show that there is no identified clear tendency of a specific sample, providing consistently higher or lower lifespans for the different building elements.

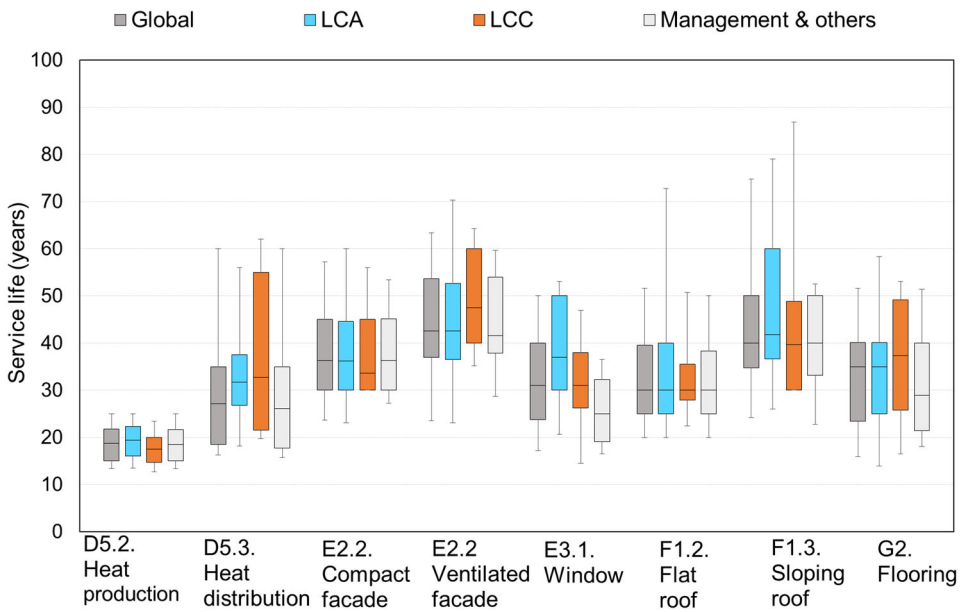


Figure 3 *Boxplots of the service lives for eight building elements, included in the system boundary of the SIA 2032 technical book, for the LCA calculation in Switzerland.*

DOI 10.5281/zenodo.3900180

In addition, Table 1 presents a comparison of the median Swiss and global DUREE samples with the SIA 2032 and the CRB (mean) values of the 16 building elements, used in building LCA & LCC (WP3 study). From this table, we notice that the service lives proposed by the SIA 2032 technical book correspond relatively well to the collected Swiss data. On the contrary, the CRB mean values are not always in accordance with the median from the Swiss and global samples, the highest deviations being for the technical systems (heat distribution and diffusion, ventilation and electrical systems).

	Operational standards		DUREE Database Switzerland	*Differences with standards*		DUREE Database Global	*Differences with standards*	
Values in years	SIA 2032	CRB (mean)	median	*SIA 2032*	*CRB (mean)*	median	*SIA 2032*	*CRB (mean)*
D1 Electrical installations	30	45	30	*0%*	*-33%*	30	*0%*	*-33%*
D5.2 Heat production	20	20	20	*0%*	*0%*	19	*-5%*	*-5%*
Solar collectors	20	-	21	*5%*	-	20	*0%*	-
D5.3 Heat distribution	30	60	30	*0%*	*-50%*	27	*-10%*	*-55%*
D5.4 Heat emission	30	60	30	*0%*	*-50%*	25	*-17%*	*-58%*
D7. Ventilation system	30	40	25	*-17%*	*-38%*	21	*-30%*	*-48%*
Sanitary equipment	30	-	30	*0%*	-	30	*0%*	-
E 2.2 Compact facade	30	35	30	*0%*	*-14%*	38	*27%*	*9%*
E2.3 Ventilated facade	40	40	40	*0%*	*0%*	43	*8%*	*8%*
E3.1 Windows	30	35	29	*-3%*	*-17%*	30	*0%*	*-14%*
F1.2 Flat roof	30	25	30	*0%*	*20%*	30	*0%*	*20%*
F1.2 Sloping roof	40	40	40	*0%*	*0%*	40	*0%*	*0%*
G1 Internal partitions	30	35	30	*0%*	*-14%*	42	*40%*	*20%*
G2 Floor coverings	30	35	26	*-13%*	*-26%*	33	*10%*	*-6%*
G3 Wall coverings	30	30	27	*-10%*	*-10%*	38	*27%*	*27%*
G4 Ceiling coverings	30	30	30	*0%*	*0%*	38	*27%*	*27%*

Table 1 *Comparison of the median data for the Swiss and global samples of the DUREE database (DB), the average values reported in the SIA 2032 and CRB documentations.*

3. WP2: Survey on renovation practices

The second step of the study was focused on the analysis of empirical lifespans of the main building elements and technical systems in owner-occupied and tenant-occupied residential buildings in Switzerland. The empirical lifespans were gathered from two annual surveys in Switzerland. The main purpose of this step is to identify to what extent the actual replacement rates follow the lifetime values reported in the WP1 study. It provides information on how replacement rates evolve as elements age - information captured in the form of “survival curves” of building elements. Here, “survival” of an element represents the continuation of the element’s lifetime before replacement that is, the element’s “effective service life”. In other words, the concept of survival curves is expressed as the conditional probability that an element remains in place (not renovated), as a function of its lifespan. In the survival analysis, it is considered that any observed replacement or major renovation is the end of the element’s service life. Thus, the observed or “empirical” survival curves are compared to the norm-based and “technical” survival curve and the lifetime values reported in the first step study.

3.1. Methods

The analysis was conducted on data extracted from two annual surveys (2017 and 2018) of the Swiss Households Energy Demand Survey (SHEDS), i.e. an online survey of approx. 5’000 households per year, in the German and French speaking parts of Switzerland. Lifespans were derived from information on the renovation history of the household’s current residence for four categories of building elements: windows, heating system (heat production and distribution), façade (compact and ventilated) and roof (flat and inclined). Compared to WP1, this study provides

DOI 10.5281/zenodo.3900180

a limited scope in terms of building elements, but has much higher data representativeness, using 5000 observations. The survey retains only individuals, who are at least partially responsible for the household decisions. The dependent variables used in this study are the survival times (life spans) in years of all four building elements. In order to use the data efficiently, for each element, one observation is used per household, focusing on the most recent reported replacement or major renovation. To obtain the age of a building element at the time of the last renovation, the following procedure was applied. For each element the respondent reports a replacement (or a major renovation) and whether this has been the only replacement throughout the building's lifetime. In that case the element's age is obtained by the difference between the replacement year and the building's construction year. When the respondent reports more than one major renovation, he is asked to indicate the renovated element's age at the time of renovation. The respondents, which do not know the specific year, have the opportunity of selecting among several 5-year intervals so that they can report a range. This applies to the renovation year, as well as the building's construction year.

The estimates of the survival time are calculated from the survival probability that is, the probability of an element not to be replaced for t years. This probability can be specified by the Kaplan Meier's formula [10], as the product of the probabilities of not being replaced over all the previous years hence:

$$\hat{S}(t) = \prod_{\substack{i=1 \\ t_{(i)} \leq t}}^{100} \frac{n_i - r_i}{n_i} \quad (1)$$

where $\hat{S}(t)$ denotes the estimate of the element's survival probability, $t_{(i)}$ is the survival time with i ranging from 1 to 100 years, n_i is the number of cases in which the element is not replaced at the beginning of year i and r_i is the number of cases where the element is replaced in that year.

In addition to the calculation of the survival curves and the comparison to the literature lifetime data, an analysis using the SHEDS data was conducted to provide a more comprehensive understanding of the factors related to delaying renovations, beyond the differences across elements identified in the preceding results. It is based on the semiparametric proportional hazards model, introduced by Cox [11]. These analyses are helpful for identifying potential barriers for renovation and thus provide important information for the political debate and the empirical evaluation of competing policy measures.

3.2. Results

Figure 3**,** plots the elements over their lifespans for the SHEDS owner-occupied households and the WP1 data. These latter data are plotted using the global sample of WP1 data and the CRB data, i.e. "CRB-RSL" (Reference Service Life) and "CRB-ELS" (Estimated Service Life). This figure provides information on the shape of survival curves of the building elements i.e. the evolution of the renovation probability with increasing element age. A new building element has a high survival probability at the outset, hence a low probability of replacement. This probability rises with the element's age. As the element's service life approaches its end, the survival probability approaches zero with the greatest likelihood of replacement. Results show that in both samples and across all building elements, replacement probabilities seem to follow a more or less similar pattern. They are very low for an initial period of 10-20 years. Replacement rates then accelerate over the ensuing survival time such that replacement rates in the period between 20 and 30 years after installation are between 3.3 times (roof) and 6.4 times (windows) higher than during the first 10 years. For the elements experiencing rapid acceleration of replacement probabilities (windows, heating systems), an abatement in replacement probabilities is observed over the lifetime's final decades. Comparing literature-based curves (WP1 study) with empirical survival curves (WP2 study), we find that renovation timing relatively coincides in their median values. That is, across all elements the period after which 50% of elements in SHEDS are replaced, is approximately the same as the corresponding period predicted based on the literature lifetimes. This is particularly valid for elements of the building envelope, such as the windows, the façade and the roof. With the exception of heating systems, a greater similarity in central tendency is found, when we use service lives provided by the CRB for

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Switzerland, than the global sample of WP1 database. It is found that CRB-based survival curves for the heating system overestimate the year of empirical heating system replacement. This may be related to the fact that a large majority of reported replacements in the SHEDS refer to boilers or furnaces, rather than to the heat distribution.

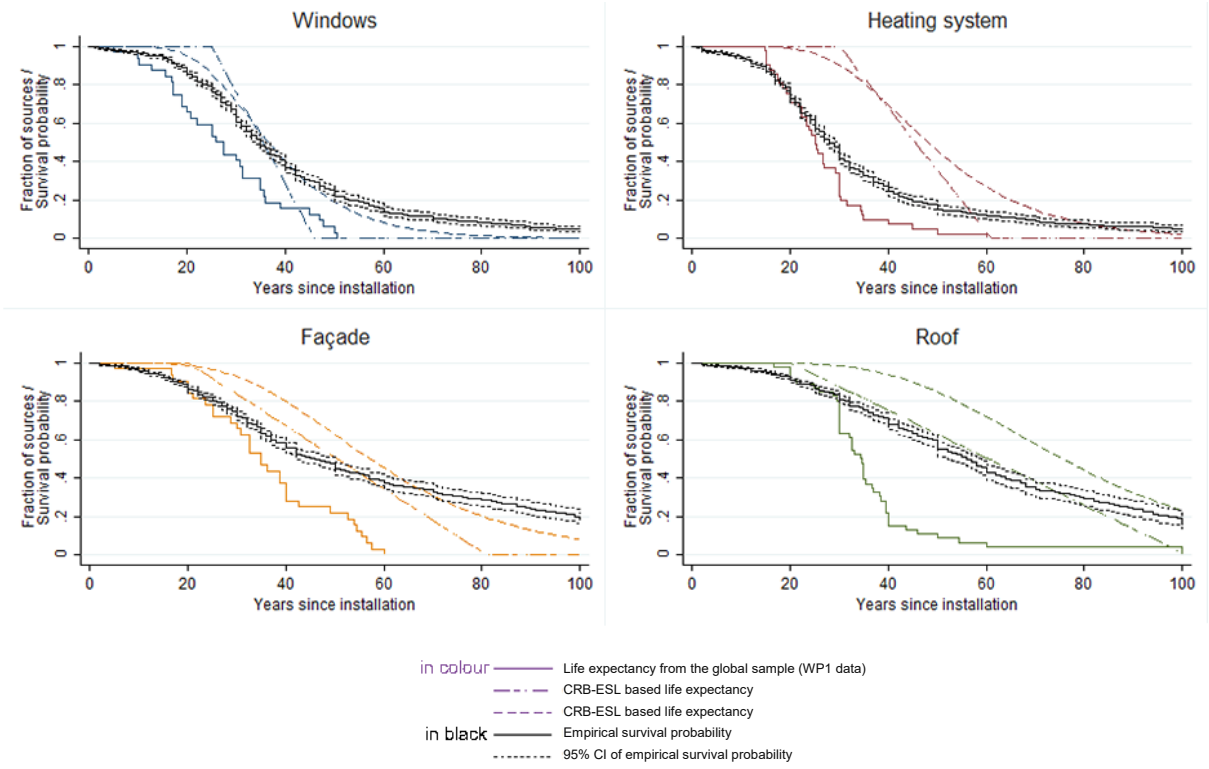


Figure 3 *Survival curves for the four building elements for the heating system using SHEDS 2017 and 2018 in comparison with the global statistics in the WP1 study and CRB data.*

Independently of the lifetimes' sources, the gap between the empirical replacement timing and that predicted from WP1 data widens when moving away from the mid-point of the survival distribution. That is, lifetime values from the WP1 study, systematically underestimate replacement rates among younger building elements, and over-estimate replacement rates among older ones. This is largely independent of the assumption underlying the construction of technical survival curves. That is, there is a significant number of elements that are replaced well before literature data from WP1 would predict such a behaviour. At the same time, there is a substantial proportion of elements that remain in the initial state long after literature data from WP1 would predict a replacement. Thus, assuming constant replacement rates independent of the element's age may be overly simplistic when aiming to predict (energy-related) changes in the building stock. Much like assuming a linear function for survival curves, assuming constant rates is likely to lead to an over-estimation of replacement behaviour in buildings with a majority of recently installed or very old elements, while it is likely to underestimate renovation behaviour in a building stock where elements are between 30 and 50 years old. Taking account of the age-structure of the element stock would therefore help to improve the predictions.

The SHEDS results also showed a non-negligible number of respondents reporting several renovated elements at the same time, i.e. a combined renovation operation. The combinations of elements from the building envelope (window, façade, roof) are more frequent than combinations of the envelope with the heating system. It seems that the thermal insulation of the building envelope appears to be considered somehow as a global approach but not related to the technical installation modifications. This observation could lead however to suboptimal renovation scenarios since the old technical installations could be oversized and could not properly account for the new building heating demand.

Finally, the results of the analysis of the derived econometric models revealed that the building type is strongly related with the length of element survival, with elements installed in multi-family

DOI 10.5281/zenodo.3900180

buildings are replaced sooner than elements in single-family houses. This finding holds independent of the ownership status of the building. Moreover, there is robust evidence that dwellings situated in rural areas and the agglomeration tend to have significantly and substantially higher replacement rates than otherwise comparable buildings located in city centres. However, less robust evidence is found that replacement timing occurs earlier among wealthier households (measured using the size of the living space and monthly household gross income), suggesting that financial reasons are still among the most important barriers to (energy-efficient) renovation. Consequently, financial incentives are likely to play an important role in encouraging replacement decisions. In general, elements belonging to a more recent age cohort (installed after 1990) are replaced more frequently than elements belonging to an older cohort. This result suggests that replacement cycles have become shorter in recent decades. This is in line with much of the previous research indicating that replacement rates in Switzerland have risen over time [12, 13]. Finally, we obtain contradicting tendencies for the effects of dwelling cohort on replacement hazards. While not statistically significant across different specifications, elements installed in newer buildings tend to show lower replacement rates.

4. WP3: Uncertainty and sensitivity analyses of service lives in building LCA&LCC

The third step of the project presents a systematic way to deal with the literature (WP1) and empirical (WP2) service life uncertainty of the building elements, in the building LCA and LCC calculations, within a probabilistic framework. Grant [14] has already summarized different studies, mentioning that the service life calculation is driven by high uncertainty. This is explained by the fact that the service life is influenced by a variety of uncertain factors, not necessarily technical, which cannot be defined objectively. Cooper [15] summarizes different studies that identified parameters, such as *'the design, the technological change, the cost of repair and the availability of parts, the household affluence, the residual and resale values, the aesthetic and the functional quality, fashion, advertising and social pressure',* among the ones that influence the service life. Hence, by taking into account the uncertainty of the service lives in the building LCA and LCC calculations the confidence in the LCA result can be increased, as already mentioned in the international literature.

4.1. Methods

The general probabilistic framework, followed in the current study, has been already proposed by Padey [16] and Cucurachi [17]. It consists of the following four steps: (1) definition of the LCA/LCC models, (2) determination of the probability density function (PDF) of the building elements' service life, (3) uncertainty analysis and (4) sensitivity analysis. The building LCA model was defined, taking into account the manufacturing, replacement, disposal and operational energy stages. Following that, the service life data, collected in WP1 (DUREE literature database), were used to define probability density functions, with a consistent way and calculate, thus, stochastically the replacement rates for each building element, by dividing each service life with the reference study period (RSP), equivalent to the building lifetime, in the DUREE project. Monte Carlo simulations were computed, in order to, probabilistically, take into account the replacement of the building elements. Like that, the Probability density functions (PDF) of the LCA and LCC outputs were defined. Finally, a global sensitivity analysis was conducted and the Sobol' Sensitivity Indices [18] were calculated, in order to determine the impact of the service lives' variability on the LCA/LCC uncertainty, for the different building elements. The first order index that represents the main effect, i.e. the influence of individual parameters was calculated, as well as the total index effect, which takes additionally into account possible interactions among the input parameters. This methodology is applied to four residential multifamily building case studies, including three new constructions and one renovation project. Here, the results of the new constructions are presented. Three LCA indicators (greenhouse gas emissions (GHGe), primary non-renewable energy (NRE), total ecopoints using the ecological scarcity method 2013 (UBP), as well as the life cycle cost (LCC) were evaluated. In addition, two scenario analyses were performed, considering different RSPs – Reference Study Periods and different calculation modes of the replacement rate, fractional, rounded up and rounded, 20%, (the replacement rate is rounded up, in case that it is higher than 20% of its integer value, otherwise it is rounded down).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

4.2. Results

The uncertainty analysis of one of the case studies, i.e. (B1, new construction), for the GHG emissions, is presented in Figure 4 (left). The probabilistic LCA [μ=22 kg $CO_{2\text{-eq}}/(m^2y)$, $\sigma^2=3^2$], along with the deterministic LCA, from SIA 2032 [20.4 kg $CO_{2\text{-eq}}/(m^2y)$] and CRB [min=43kg $CO_{2\text{-eq}}/(m^2y)$, mean=19 kg $CO_{2\text{-eq}}/(m^2y)$, max=17 kg $CO_{2\text{-eq}}/(m^2y)$] are plotted. The variance of the LCA ($\sigma^2 = 3^2$) reveals that the LCA can be significantly spread away from the mean [μ = 22.0 kgCO2-eq/(m^2y)]. The most probable LCA value i.e. the mode of the distribution, is 21.6 kg CO2-eq/(m^2y). The LCA results, calculated using the deterministic approach (SIA 2032 and CRB – mean) can be found inside the PDF of the probabilistic LCA and they exhibit a relative good approximation of the PDF mode. Figure 4-right shows the contributions of the different LCA stages for the deterministic SIA 2032 and CRB - mean, as well as for the probabilistic LCA, expressed in GHG emissions of the B1 case study (labelled as “DUREE DB”). The replacement stage in the probabilistic LCA, accounts for 14% to 36% of the GHG emissions for the B1 residential building. The manufacturing stage presents the highest share on the total GHG emissions with values between 47% - 35%, followed by the operational energy use, i.e. 30% - 23%.

The sensitivity analysis followed and the results are presented in Figure 5 for the following configurations: a) the GHG emissions of three new residential buildings (B1, B2, B3), b) the LCA and LCC indicators of the B1 case study, c) the GHG emissions of building B1 for six reference study periods and d) the GHG emissions of three calculation modes of the replacement rate for the B1 case study.

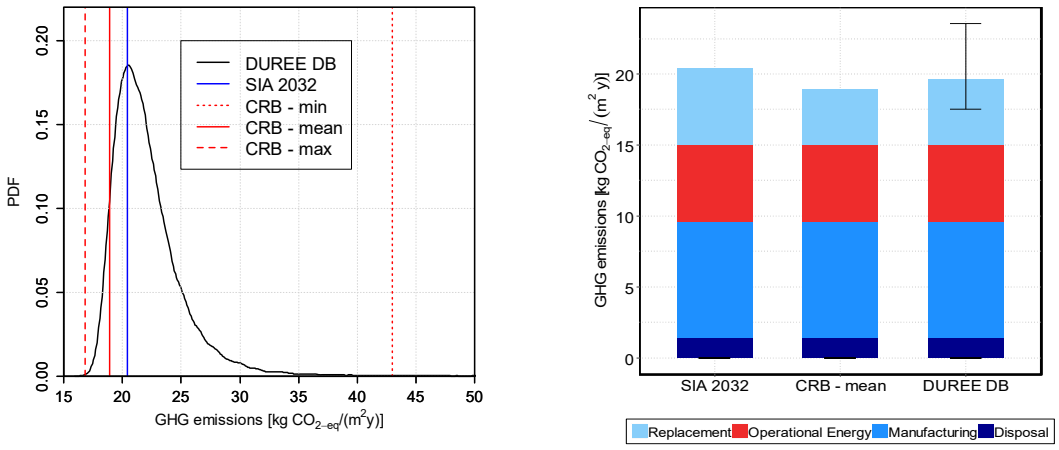


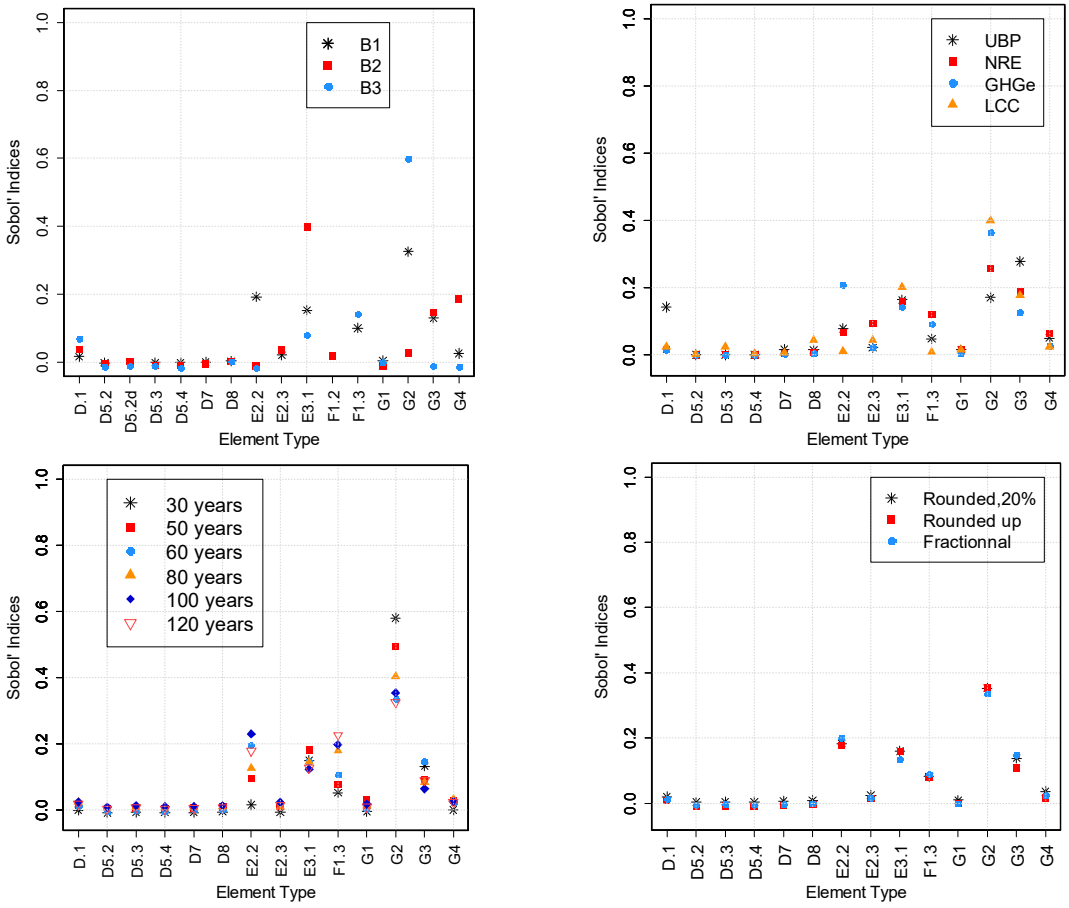
Figure 4 *PDF of the probabilistic LCA for the B1 case study and comparison with the deterministic LCA, using the SIA 2032 and CRB service lives for the GHG emissions (left); contribution analyses for the probabilistic LCA and comparison with the deterministic LCA, using the SIA 2032 and CRB - mean service lives .*

The outcomes of the sensitivity analysis are the following :

- If a threshold is defined at 0.10 for the sensitivity indices, only six element types out of 16 are the most influential on the LCA uncertainty, i.e. E2.2/E2.3 (compact & ventilated façade), the E3.1 (windows), the F1.3 (sloping roof), the G2 (flooring), G3 (internal finishing) and G4 (ceiling covering). This means that special attention should be given when defining the service lives for these element types in further LCA calculations. This result is valid independently of the building typology. The latter affects only the ranking of the 6 most influential building elements;
- The uncertainty of the technical systems service lives (D element type) present low impact on the LCA uncertainty for all the LCA indicators and the LCC.
- The same element types explain the uncertainty of all LCA and LCC indicators, apart from the D1 element type (electrical installation) for the UBP indicator and the E2.2 (compact façade) for the GHGe.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Varying the reference study period (RSP) of the building from 30 to 120 years leads to a significant variation of the sensitivity indices of the most influential element types.
- The ranking of the elements, calculated with the Sobol' Indices, are not influenced by the calculation mode of the replacement rate, i.e. fractional according to SIA 2032 / SIA 2040 or rounded up according to SN EN 15978 standard.



Names of the building elements:

D1. Electrical installations	D5.4 Heat distribution	E2.3 Ventilated facade	G1. Internal partitions
D5.2 Heat production	D7. Ventilation	E3.1 Windows	G2. Flooring
D5.2d Solar collector	D8. Sanitary equipment	F1. Flat or slanted roof	G3. Wall coverings
D5.3 Heat distribution	E2.2 Compact facade	F1.3 Slanted roof	G4. Ceiling coverings

Figure 5 *Sobol' sensitivity Indices for different simulations: a) GHG emissions for 3 buildings (top-left), b) the three LCA and LCC indicators for building B1 (top-right), c) GHG emissions of building B1 for 6 different reference study periods (bottom-left) and d) the calculation mode of the replacement rate for building B1 (bottom right).*

5. Discussion

WP1: Literature review of service lives

A literature review was conducted for service life data of different building elements, in the Swiss and international literature. The data concerned service lives for structural elements, technical systems, façade elements and coatings and they were structured in a database, namely the DUREE Database. The descriptive statistics were calculated for different samples of the data, i.e. according to the country of their origin (Switzerland and International) and the scope of the sources (LCA, LCC and Management sources). The results showed that there is a relative important variability of the service lives. This is particularly valid for the building elements currently included in the LCA calculations according to the SIA 2032 & SIA 2040 technical books and the SN EN 15978 standard. Furthermore, there is no general agreement, concerning the service life data of the building elements, among the different sources. In addition, there is no significant difference, among the LCA-LCC-Management samples, in terms of variability. Finally, no clear tendency is

DOI 10.5281/zenodo.3900180

found among the different sub-samples of service lives (global, Swiss, International, LCA uses, LCC uses, building management uses etc.) i.e. no sample systematically provides higher or lower lifespans for the different building elements. As far as the median values are concerned, two of the three sub-samples present similar values, but they are not systematically the same. Thus, the total sample can be used in further LCA analysis, for the service lives. The service lives proposed by the Swiss SIA 2032 technical book correspond relatively well to the median value of the Swiss sub-sample of the DUREE DB. For the LCC domain, the CRB mean values are not always close to the median value from the Swiss and global samples, the highest deviations being for the technical systems (heat distribution and diffusion, ventilation and electrical systems).

The DUREE database was structured, based on the CRB nomenclature, from which the five main groups were used, as well as two sub-categories. Moreover, five more sub-categories were added, in order to cover lower levels of details. This structure of the database, using a functional nomenclature, i.e. structural work, technical installations etc., offers the flexibility to the designer to attribute the service life data in different LODs, appropriate for BIM-based LCA analysis, e.g. screening LCA analysis (service lives from main groups), or more detailed LCA (service lives from sub-categories). Thus, the DUREE Database can be used for LCA calculations in the early design stages of a building, for which there is not detailed information about the components, or in the late design stages and more detailed LCA calculations.

Finally, the database includes 7000 data of service lives for different building elements and, thus, it offers the possibility to define statistical distributions, with a systematic way, for the service lives. Like that, the service lives can be taken into account using a probabilistic approach in the LCA, and thus, reliability issues in LCA, coming from the service lives uncertainty, could be mitigated.

WP2: Survey in renovation practices

The WP2 chapter concerns the investigation of the empirical lifespans of main building elements and technical systems. A survey was conducted for the renovation timing of the windows, the façade, the roof and the heating system. From this survey the empirical survival curves were calculated and the results were compared to the WP1 data. The survival curves showed that renovation cycles vary considerably across elements. The renovations tend to occur at different points of each element's effective lifetime. Moreover, even though simultaneous renovations can bring more energy savings, the empirical patterns suggest that bundled renovations (e.g., wall, roof and windows altogether) are not the most frequent practice up to date, even if the SHEDS showed it is not unusual. In addition, the results showed that replacement rates are not constant but change systematically over the life-cycle of an element. In this sense, average annual replacement rates (as reported in previous studies) can provide some information on differences in replacement rates. Yet, given the general sigmoid form of the survival curves, they are likely to over-estimate actual replacement rates among recently installed and old elements, while underestimating actual replacement rates across the medium age range.

The comparison between empirical and literature survival curves showed that, in central tendency, predicted renovation timing generally coincides, except for some elements (e.g. heating distribution and roofs), which necessitates a focused policy attention. Moreover, WP1 literature data systematically under-estimate replacement rates among younger building elements, and over-estimate replacement rates among older ones. Assuming constant replacement rates independent of the element age may thus be overly simplistic when aiming to predict (energy-related) changes in the building stock. One way to improve the predictive power of existing literature service lives, is to analyse the age-specific replacement probabilities. Finally, this comparison indicated a general tendency for suboptimal renovation across all the considered elements especially over the second half-life. In other words, building elements (roof, façade, windows, and heating system) should be renovated earlier and more frequently. This finding confirms that there is room for improvements pointing to an energy-efficiency gap and highlights the importance of policies for promoting renovation of the building stock.

Last, but not least, the existing heterogeneity in norms and technical recommendations (in WP1) could create complexity for building owners who are interested in energy savings. Simplified norms and overall recommendations could be an important step in nudging toward renovation of old building elements.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

WP3: Uncertainty and sensitivity analyses of service lives in building LCA&LCC

The WP3 chapter was focused on the uncertainty and sensitivity analysis of the service lives of the building elements. Through the uncertainty analysis, the importance of the service lives' uncertainty on the LCA&LCC was calculated, while through the sensitivity analysis, the elements, whose service life uncertainty influence the most the LCA&LCC uncertainty, were identified. Based on three new building LCA and LCC studies according to the SIA 2032 system boundary, 6 element types out of 16 are sensitive i.e. the E2.2/E2.3 (compact and ventilated façades incl. the insulation), the E3.1 (windows), the F1.3 (roofing incl. the insulation), the G2 (flooring), the G3 (internal finishing) and G4 (ceiling coverings). The findings are valid whatever the building typology and the indicators are. In addition, the uncertainty of the service lives of the technical systems (D) does not affect the LCA and LCC uncertainty, unless the Ecological Scarcity (UBP) indicator is used and only for the electrical installations. This parameter could be treated deterministically, unless it is imposed by the scope of the study (e.g. in building renovation with only a few renovated elements). It is recommended that in daily practice, for the influential element types, the minimum, mean and maximum values from CRB can be used to approximate the LCA and LCC uncertainty, in order to avoid a probabilistic analysis. The deterministic SIA 2032 service lives values present a relatively good approximation of the LCA mode, i.e. the most probable value of the probabilistic LCA.

In addition, the building lifetime (RSP) is an influential parameter on the LCA and LCC uncertainty. The RSP should be treated probabilistically, in case that it is not surely known. Otherwise, scenario analysis, using conventional RSPs, is recommended. Finally, either of the calculation modes (fractional or rounded up) for the replacement rate can be used in building LCA and LCC methodologies noticed (i.e., fractional according to SIA 2032 & SIA 2040 technical books or rounded up according to SN EN 15978 standard).

6. Perspectives

The DUREE project was focused on the investigation of the service lives of the building elements, starting from a literature review on service life data, continuing with a survey on the empirical service lives and finishing with the uncertainty and sensitivity analyses. The research, reported in this article could be continued with the following activities:

a) The DUREE Database could be enriched, in order to include more service life data. Thus, the extracted PDFs for the service lives of the building elements could represent way the uncertainty of the existing service lives, nowadays.
b) As the SHEDS is an ongoing survey, more data will become available in the near future, and will therefore lend itself to such analyses. In general, there is still considerable potential in exploiting the SHEDS dataset to further improve our understanding of renovation decisions. For instance, an important future step would be to identify parametric functions that accurately describe the empirically observed survival and replacement curves. This information would be helpful to simplify predictions of expected service life, and may therefore directly inform life-cycle analyses or the definition of norms relying on service lives of building elements.
c) Additional case studies can be used for the uncertainty and sensitivity analyses, in order to secure the findings, concerning the LCA& LCC uncertainty, caused by the uncertainty of the service life data.
d) The probabilistic methodology of the current study can be applied in order to evaluate the uncertainty of other parameters, too, e.g. calculation of the heating demand, or other parameters of the LCA & LCC analyses (e.g. manufacturing impact uncertainty). Preliminary studies can be found in [19] and [20].

DOI 10.5281/zenodo.3900180

References

[1] Lasvaux, S., Giorgi, M., Lesage, J., Wagner, G., Favre, D., Padey, P., … Habert, G. (2019). DUREE Project, Analysis of lifetimes of building elements in the literature and in renovation practices and sensitivity analyses on building LCA & LCC. Retrieved from https://www.aramis.admin.ch/Texte/?ProjectID=38626xxxx

[2] Thiebat, F. (2019). *Life Cycle Design, An Experimental Tool for Designers*. Springer IInternational Publishing.

[3] ISO/TC 59/SC 14. ISO 15686-1:2011:Buildings and constructed assets - Service life planning. , (2011).

[4] SIA 2047. (2015). *SIA 2047 - Rénovation énergétique des bâtiments*. Zürich: Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA).

[5] SIA 480. (2016). *SIA 480 - Calcul de rentabilité pour les investissements dans le bâtiment*. Zürich: Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA).

[6] SIA 260. (2003). *SIA 260 - Bases pour l'élaboration des projets de structures porteuses*. Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA).

[7] SIA 2032. (2010). *SIA 2032 - L'énergie grise des bâtiments*. Zürich: Société Suisse des Ingénieurs et des Architectes (SIA).

[8] "IEA EBC Annex 72 - Assessing Life Cycle Related Environmental Impacts Caused by Buildings", https://annex72.iea-ebc.org/

[9] CRB. SN 506511, Code des coûts de construction Bâtiment. , (2012).

[10] E. L. Kaplan and P. Meier, "Nonparametric estimation from incomplete observations," *J. Am. Stat. Assoc.*, vol. 53, no. 282, pp. 457–481, 1958.

[11] Cox, D.R., 1972. Regression Models and Life-Tables. J. R. Stat. Soc. Ser. B 34, 187–220. https://doi.org/10.2307/2985181

[12] M. Filippini, S. Banfi, M. Farsi, and M. Jakob, "An Analysis of Investment Decisions for Energy-Efficient Renovation of Multi-Family Buildings," Bern, 2012.

[13] P. Meyer, M. Büchler, K. Christen, and A. Waibel, "Alterungsverhalten von Bauteilen und Unterhaltskosten: Grundlagendaten für den Unterhalt und die Erneuerung von Wohnbauten," Bern, 1994.

[14] Grant, A. (2010). The confluence of life cycle assessment and service life prediction: An analysis of the environmental impact of material longetivity in the building envelope, PhD Dissertation. University of Florida, Gainesville, FL USA.

[15] Cooper, T. (2004). Inadequate Life?Evidence of Consumer Attitudes to Product Obsolescence. *Journal of Consumer Policy*, *27*(4), 421–449. https://doi.org/10.1007/s10603-004-2284-6

[16] Padey, P., Beloin-saint-pierre, D., Girard, R., Boulch, D. Le, Padey, P., Beloin-saint-pierre, D., … Blanc, I. (2013). Understanding LCA results variability : developing global sensitivity analysis with Sobol indices . A first application to photovoltaic systems To cite this version : *International Symposium on Life Cycle Ssessment and Construction Civil Engineering and Buildings*, 19–27.

[17] Cucurachi, S., Borgonovo, E., & Heijungs, R. (2016). A Protocol for the Global Sensitivity Analysis of Impact Assessment Models in Life Cycle Assessment. *Risk Analysis*, *36*(2), 357–377. https://doi.org/10.1111/risa.12443.

[18] Sobol′, I. . (2001). Global sensitivity indices for nonlinear mathematical models and their Monte Carlo estimates. *Mathematics and Computers in Simulation*, *55*(1–3), 271–280. https://doi.org/10.1016/S0378-4754(00)00270-6

[19] P. Padey, B. Périsset, S. Lasvaux, S. Genoud, and J. Mastelic, "Modèle probabiliste de la consommation énergétique d'un bâtiment pour l'étude de l'écart de performances," in *Status-*

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Seminar "Forschen für den Bau im Kontext von energie und Umwelt," 2018, no. September, p. 2018.

[20] H. G. Galimshina A., Hollberg A., Moustapha M., Sudret B., Favre D., Padey P., Lasvaux S., "Combining a statistical method with LCA and LCC to identify robust and reliable renovation strategies," in *Submitted to SUSTAINABLE BUILT ENVIRONMENT D-A-CH CONFERENCE 2019 Transition Towards a Net Zero Carbon Built Environment*, 2019.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Heizungsersatz: Vergleich ausgewählter Städte und Gemeinden

Autorinnen und Autoren:
Meta Lehmann*, Basil Odermatt, Benjamin Buser, Corinne Moser, Walter Ott, econcept AG

Kontaktperson: Meta Lehmann, Interface, Seidenhofstrasse 12, 6002 Luzern, lehmann@interface-pol.ch, www.interface-pol.ch

* bis Mai 2020 econcept AG, seit September 2020 Interface GmbH

Zusammenfassung Résumé Abstract

Die Energieträgerwahl beim Heizungsersatz wurde für fünf Schweizer Städte statistisch untersucht. Überall war der fossile Ersatz die Regel, der Umstieg auf erneuerbare Energieträger die Ausnahme. Es zeigte sich:

- Je geringer die Abdeckung mit dem Gasnetz, desto tiefer der Anteil des fossilen Ersatzes
- Das Vorhandensein eines hauptsächlich nicht-fossil betriebenen Fernwärmenetzes oder von entsprechenden Wärmeverbunden allein führt nicht in jedem Fall zu einem nicht-fossilen Ersatz.

Um den Umstieg auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz insbesondere in Städten zu beschleunigen braucht es:

- Gesetzliche Vorgaben, die den fossilen Ersatz effektiv einschränken
- Einen Ausbau des Angebots an erneuerbarer Fernwärme oder Wärmeverbunden
- Den Rückzug des Gasangebots in den Gebieten, wo wettbewerbsfähige Alternativen bestehen

Dabei sollen die Kommunikations-, Informations-, Förder- und Beratungsaktivitäten weitergeführt und weiterentwickelt werden. Die Studie liefert Ideen und Beispiele dazu.

The choice of the energy source when a heating is replaced was statistically analysed for five Swiss cities. Fossil substitution was the rule everywhere, the switch to renewable energy sources the exception. It became apparent:

- The lower the coverage by the gas grid, the lower the share of fossil substitutes.
- The existence of a mainly non-fossil district heating network or local heat networks is a necessary but not sufficient precondition for choosing a network as a substitute.

In order to accelerate the transition to renewable energies, especially in cities, the following is necessary:

- Legal requirements that effectively limit fossil substitution
- An expansion of the coverage by renewable district heating or heat networks
- The withdrawal of gas supply in areas where competitive alternatives exist

The communication, information, funding and advisory activities are to be continued. The study provides ideas and examples for this.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

1.1 Forschungsrahmen

Die Stadt Zürich will eine hohe Lebensqualität bei geringerem Energieverbrauch erreichen, weshalb sie die Städtevergleich-Studie [1] im Rahmen von Energieforschung Stadt Zürich durchführen liess. Energieforschung Stadt Zürich leistet einen Beitrag zur 2000-Watt-Gesellschaft, indem sie anwendungsorientierte, sozialwissenschaftliche Forschung zu neuen Effizienztechnologien unterstützt. Ziel ist es, Hemmnisse und Erfolgsfaktoren zu erkennen. Daraus sollen Vorschläge zum Abbau von Hemmnissen und zur Förderung von Energieeffizienz und erneuerbarer Energie erarbeitet werden.

1.2 Ziele der Studie

Der Ersatz von fossil betriebenen Heizungen durch Systeme mit erneuerbaren Energieträgern ist ein zentrales energie- und klimapolitisches Ziel des Bundes und zahlreicher Städte und Gemeinden. Er ist eine der Voraussetzungen, um die CO_2-Emissionen auf ein klimaverträgliches Mass zu reduzieren. Noch immer ist in Zürich der fossile Heizungsersatz die Regel und nicht die Ausnahme [2]. Vor diesem Hintergrund sollte die vorliegende Studie [1] klären:

- wo die Stadt Zürich beim Umstieg auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz im Vergleich mit anderen Städten steht
- wie sich allfällige Unterschiede erklären lassen
- was man aus den Unterschieden lernen kann.

Es wurden folgende Fragen untersucht:

1. Unterscheidet sich beim Heizungsersatz in anderen grösseren Schweizer Städten die Verteilung auf die verschiedenen Energieträger massgeblich von der Situation in Zürich?
2. Welchen Einfluss haben die Verfügbarkeit von Fernwärme resp. Gas, die Zulässigkeit von Erdwärmesonden, das Gebäudealter, die Gebäudekategorie und die örtliche Nutzungsdichte auf die Wahl eines erneuerbaren Energieträgers?
3. Welche Instrumente, Massnahmen und Rahmenbedingungen finden sich in grösseren Städten und Gemeinden und welche Erfahrungen werden damit gemacht?
4. Wie sind in diesen Städten die Energieversorgungsunternehmen (EVU) organisiert und welchen Einfluss hat das aus Sicht der Städte auf die Energieträgerwahl beim Heizungsersatz?
5. Welche Empfehlungen lassen sich auf Basis der Analysen zuhanden von kommunalen Behörden formulieren, wenn diese den Umstieg auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz fördern möchten?

1.3 Untersuchungsgegenstand

Für die Beantwortung der oben genannten Forschungsfragen 1 und 2 wurden quantitative Analysen durchgeführt. Dazu wurden Längsschnittdaten aus der Feuerungskontrolle und anderen Statistiken der Städte Basel, St.Gallen, Winterthur, Zürich und teilweise Köniz verwendet.

Die Beantwortung der Forschungsfragen 3 bis 5 fusst auf qualitativen Erhebungen zu den lokalen Rahmenbedingungen, den angewandten Instrumenten und umgesetzten Aktivitäten zur Förderung des Umstiegs auf erneuerbare Energieträger. Für die Erhebungen konnten die Städte Basel, Biel, Köniz, Lausanne, Onex, St.Gallen, Winterthur und Zürich gewonnen werden.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2. Vorgehen

2.4 Quantitative Analysen

Die quantitativen Analysen basieren auf statistischen Auswertungen der Feuerungskontrolldaten. Untersucht wurde, welche Energieträger beim Heizungsersatz zwischen 2010 und 2018 (die Zeiträume variieren je nach Datenverfügbarkeit, vgl. nachfolgende Tabelle) gewählt wurden.

Die Rohdatensätze der fünf Städte Basel, Köniz, St.Gallen, Winterthur und Zürich sehen unterschiedlich aus und können nur bedingt miteinander verglichen werden. In Zürich beispielsweise sind die Objekte, die im Referenzjahr (2010) bereits Fernwärme-Anschlüsse und Wärmepumpen hatten, nicht im Datensatz enthalten. Allerdings ist die Information vorhanden, wenn eine Feuerung nach 2010 durch einen Fernwärme-Anschluss oder eine Wärmepumpe ersetzt wurde. In den anderen Städten liegen Informationen zu diesen beiden Energieträgern für das Referenzjahr vor.

Der direkte Städtevergleich wurde auf Basis der Feuerungen (ohne Fernwärme und Wärmepumpen im Referenzjahr) erstellt. Für die Städte, in denen die Informationen vorlagen, wurde bei der Einzelstadtbetrachtung auch der Heizungsersatz bei Fernwärme und Wärmepumpen analysiert. Die nachfolgende Tabelle zeigt die untersuchten Zeiträume pro Stadt.

	Zürich	Basel	St.Gallen	Winterthur	Köniz
Referenzjahr	2010	2010	2010	2014	2010
Endjahr	2018	2016	2017	2018	2017

Tabelle 1 Untersuchte Zeiträume für den Heizungsersatz pro Stadt

Zusätzlich wurden Informationen zur Fernwärme- und Gasverfügbarkeit aus Leitungskatastern oder Energieplänen einbezogen. Bei den vier Städten Basel, St.Gallen, Winterthur und Zürich wurden für vertiefende Auswertungen das Gebäudebaujahr, die Gebäudenutzungskategorie, die örtliche Nutzungsdichte – angenähert über die Anzahl Bewohner/innen und Beschäftigte pro Hektare – und die örtliche Zulässigkeit von Erdwärmesonden als Informationen zu den Objekten mit Heizungsersatz ergänzt.

2.5 Qualitative Erhebungen

Die Instrumente, Aktivitäten und Rahmenbedingungen in Basel, Biel, Köniz, Lausanne, Onex, St.Gallen, Winterthur und Zürich wurden mit folgenden Methoden erhoben:

- Internetrecherchen zu den Rahmenbedingungen
- Literatur- und Dokumentenanalysen zu Gesetzen und angewandten Instrumenten (z. B. Fördergelder)
- 14 Leitfadengestützte Interviews mit den Energiebeauftragten der Städte und mit Vertretenden der lokalen EVU
- Die vorläufigen Ergebnisse wurden mit der Fachgruppe Energie des Schweizerischen Verbands Kommunale Infrastruktur (SVKI) diskutiert und gewichtet. Die Erkenntnisse aus der Diskussion mit den zehn Städtevertretern/innen wurden im Bericht berücksichtigt.

3. Resultate

3.6 Energieträgerwahl in den untersuchten Städten

In allen untersuchten grösseren Schweizer Städten ist der fossile Ersatz von Heizungssystemen die Regel, der erneuerbare Ersatz die Ausnahme. In Zürich zeigt sich das Phänomen besonders ausgeprägt: Der Anteil der fossil betriebenen Heizungen, die wiederum mit einem System mit

DOI 10.5281/zenodo.3900180

fossilen Energieträgern ersetzt wurden, war in Zürich im beobachteten Zeitraum mit 85 % am höchsten. In Basel, St.Gallen und Winterthur lag der Anteil ebenfalls zwischen 76 % und 81 %.

In diesen vier Städten ist die Abdeckung des Siedlungsgebiets mit dem Gasnetz mit 90 % bis 100 % in Basel und Zürich und 80 % in St.Gallen und Winterthur hoch.

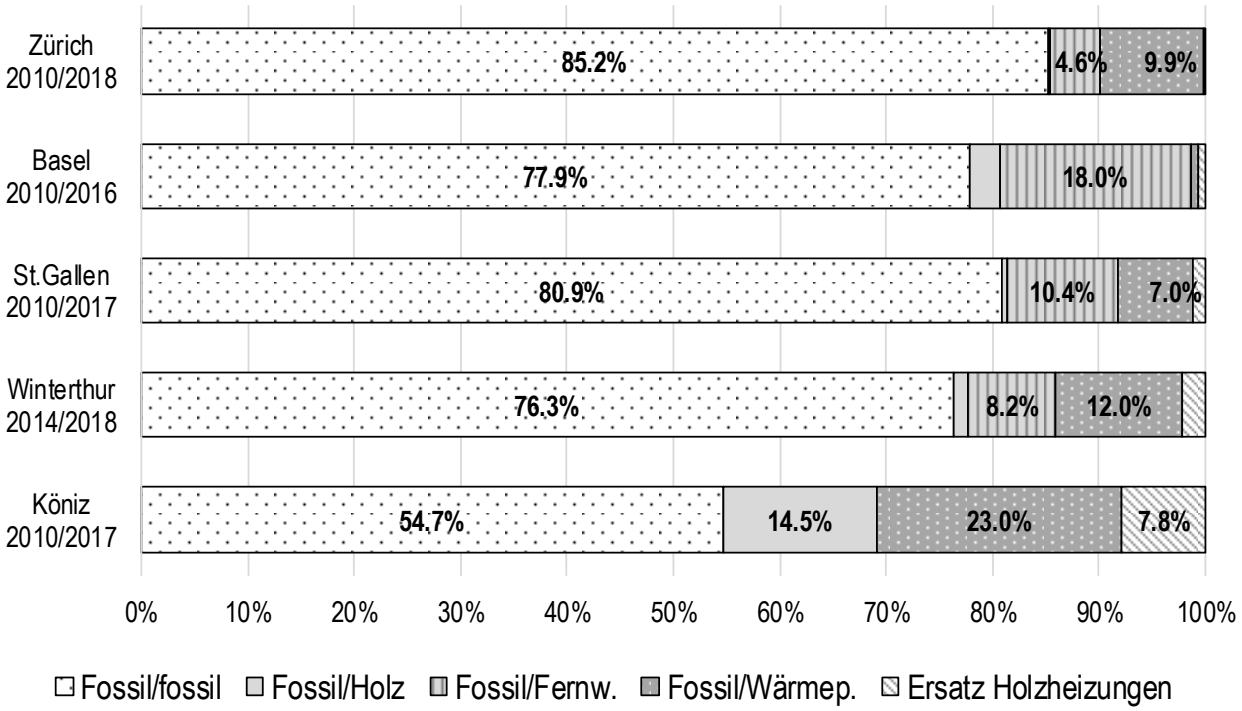


Abbildung 1 *Vergleich der Energieträgerwechsel auf Gebäudeebene von Zürich, Basel, St.Gallen, Winterthur und Köniz*

Der Anteil an Wechseln von fossilen Energieträgern zu Fernwärme war in Zürich im beobachteten Zeitraum deutlich geringer als in Basel. Das liegt daran, dass in Basel die Abdeckung des Siedlungsgebiets mit dem Fernwärmenetz mit rund 50 % doppelt so hoch ist wie in Zürich. Die Detailauswertungen zeigen, dass wenn in Zürich Fernwärme verfügbar war, in 63 % der Fälle ans Netz angeschlossen wurde. Dieser Anteil lag in Basel mit 54 % tiefer. In St.Gallen lag der Anschlussanteil in Gebieten mit Fernwärme bei rund 57 %. In Winterthur besteht eine Anschlusspflicht an Wärmeverbunde. Entsprechend lag der Anschlussanteil mit 89 % deutlich höher als in den anderen Städten.

In Köniz, einer Gemeinde, die nicht nur urbane Quartiere, sondern auch Weiler und Dörfer umfasst, sind die Anteile von Holzheizungen und Wärmepumpen beim Ersatz höher als in den anderen untersuchten Städten. In Köniz gibt es kein Fernwärmenetz, sondern einen grösseren sowie wenige kleine Wärmeverbunde und nur wenige Quartiere sind mit dem Gasnetz erschlossen.

Wenn im Gasversorgungsgebiet eine Gasheizung ersetzt wurde, geschah dies in Zürich und St.Gallen in rund 90 % der Fälle wieder mit Gas. In Basel und Winterthur lag dieser Wert rund 10 Prozentpunkte tiefer.

Die Analyse zeigt, welche zentrale Rolle das Angebot an leitungsgebundenen Energieträgern bei der Energieträgerwahl einnimmt.

3.7 Detailanalyse zu den Einflussfaktoren

Die explorativen Zusatzauswertungen zur Energieträgerwahl in Basel, St.Gallen, Winterthur und Zürich bestätigen und quantifizieren den Effekt, welcher die leitungsgebundenen Energieträger auf die Energieträgerwahl beim Heizungsersatz haben:

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Wenn am Gebäudestandort ein Gasnetz verfügbar ist, reduziert sich die Wahrscheinlichkeit, dass ein System mit erneuerbaren Energieträgern gewählt wird, statistisch gesehen um 24 %.
- Ein vor Ort verfügbares Fernwärmenetz begünstigt den Umstieg deutlich. Die Wahrscheinlichkeit, dass ein System mit erneuerbaren Energieträgern (Wärmepumpe, Fernwärme oder Holz) gewählt wird, erhöht sich um 60 %. Von allen Heizungen im Datensatz, die sich ausserhalb eines Fernwärmeversorgungsgebiets befanden, wurden 13'277 Heizungen mit einem fossilen System ersetzt. Hätte man die Möglichkeit gehabt, an ein Wärmenetz anzuschliessen, wären statistisch gesehen rund 8'020 Heizungen zusätzlich erneuerbar ersetzt worden.

In Bezug auf den Einsatz von Wärmepumpen (Erdsonden- und Luft-Wasser-Wärmepumpen) zeigen sich unter anderem folgende signifikanten Effekte:

- Bei neueren Gebäuden mit Baujahr 1970 und jünger ist die Chance, dass sich die Eigentümerschaft für eine Wärmepumpe entscheidet, leicht erhöht gegenüber älteren Liegenschaften.
- Nimmt die Nutzungsdichte in der Umgebung zu, verringert dies die Chance für eine Wärmepumpe. Dies gilt sowohl für Luft-Wasser-Wärmepumpen als auch für Erdsonden-Wärmepumpen.

3.8 Eingesetzte Instrumente zur Förderung des Umstiegs

Die gesetzlichen Rahmenbedingungen, die durch den Bund (CO_2-Gesetz) und die Kantone (Energiegesetz und Bau- und Planungsgesetzgebung) festgelegt werden, sind die stärksten Hebel zur Beeinflussung der Energieträgerwahl beim Heizungsersatz. Die Städte und Gemeinden müssen sich innerhalb dieser Rahmenbedingungen bewegen.

Den grössten direkten Einfluss auf die Energieträgerwahl haben die Gemeinden und Städte mit der Steuerung des Energieangebots. Dies gilt insbesondere für Städte, die ein eigenes EVU haben. Dieses können sie über die Eigentümerstrategie, Leistungsaufträge u. ä. für die Umsetzung ihrer energie- und klimapolitischen Zielsetzungen aktivieren. Von den befragten Städten wird eine behördenverbindliche Energieplanung als zentrale Voraussetzung für eine kohärente Politik in Bezug auf den Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger gesehen.

Die Aktivitäten zur Nachfragebeeinflussung mit Beratung, Information, finanzieller Förderung und Kooperationen sind eine wichtige Ergänzung von Gesetzen und Energieangebot. Die aus Sicht der befragten Energiebeauftragten als innovativ beurteilten Angebote bewegen sich an den Schnittstellen der verschiedenen Instrumentenkategorien: Dort wo Prozesse für die Gebäudeeigentümerschaften und andere Akteure vereinfacht und fachkundig begleitet werden.

In der nachfolgenden Abbildung werden die in den untersuchten Städten angewandten Instrumente zusammengefasst und gruppiert. Die Instrumente werden in den Städteportraits im Anhang der Studie beschrieben.

Exemplarisch werden hier vier interessante Ansätze genannt:

- St.Gallen: Identifikation von Wärmeverbundpotenzialen über die städtische Energiedatenbank und Initiation von Wärmeverbunden in Quartieren
- Zürich: Rückzug der Gasversorgung aus ausgewählten Gebieten in denen die Fernwärme ausgebaut wird
- Kanton Genf (SIG, service industriel genevois): Hilfe beim Ausfüllen der Wärmepumpen-Förderanträge in Kombination mit verbrauchsdatengestützten Energieberatungen und Kooperation mit den Installationsfirmen
- Onex: Zusammenbringen von Eigentümerschaften von 60er- und 70er-Jahrebauten mit den Bewilligungsbehörden, den Förderstellen und Beratern/innen im Projekt „Onex rénove“. Das Projekt löste im avisierten Quartier massgebliche Erneuerungstätigkeiten aus.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

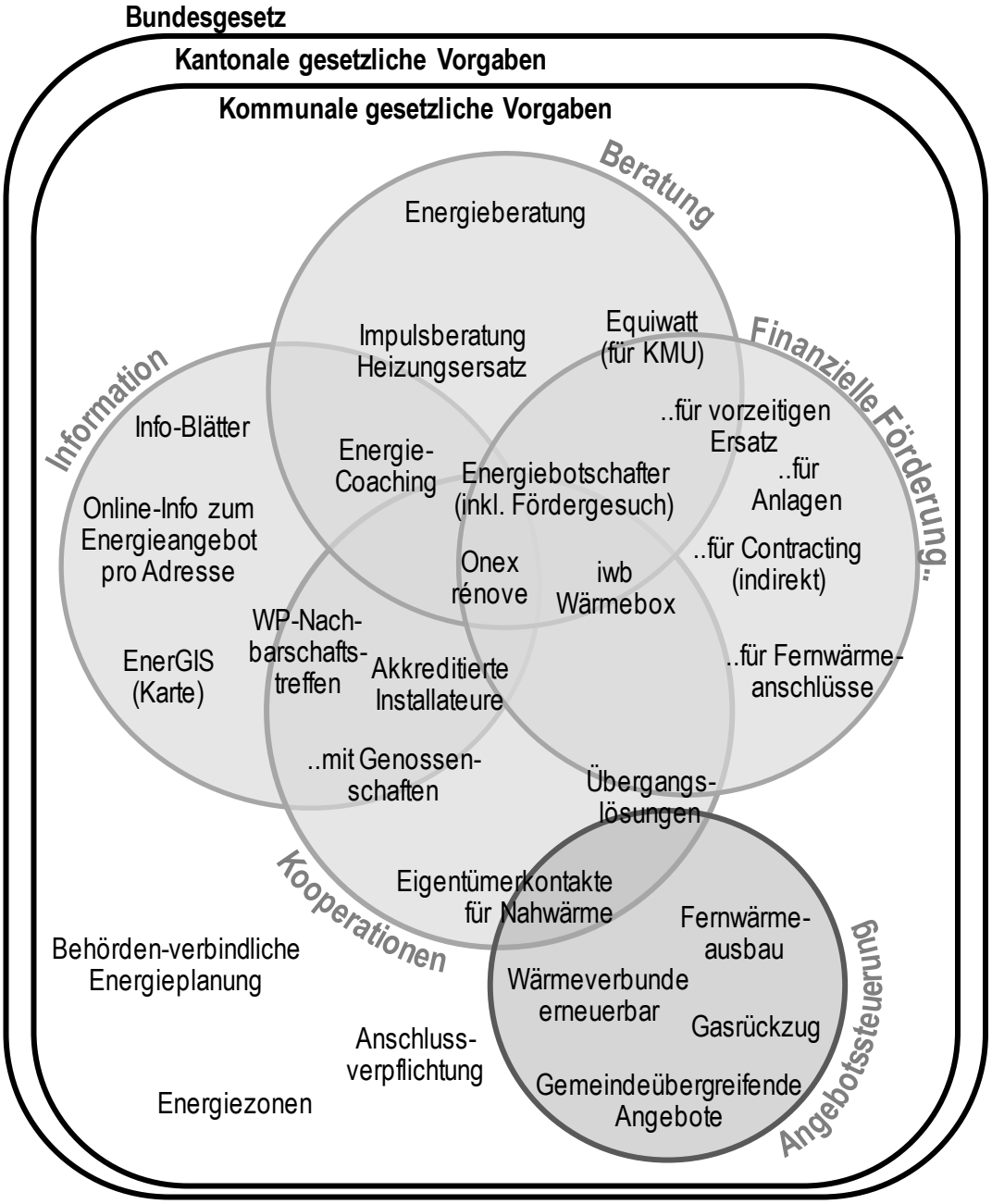


Abbildung 2 Aktivitäten zur Förderung des Umstiegs auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz

3.9 Zusammenspiel von Energieversorgungsunternehmen und Energiepolitik

Die EVU sind in den untersuchten Städten in unterschiedlichem Masse mit den Verantwortlichen für die Energiepolitik in der Verwaltung in Verbindung – sowohl organisatorisch wie auch operativ. Es gibt Städte, in welchen die Verantwortlichen für die Umsetzung der Energiepolitik und die Werke derselben städtischen Organisationseinheit angehören und denselben/dieselbe Chef/in haben (Lausanne, St.Gallen, Winterthur, teilweise Zürich). Gewisse Städte sind zwar Eigentümerin des EVU, dieses ist jedoch als selbständiges Unternehmen nicht in die Verwaltung integriert (Biel, teilweise Zürich). Andernorts ist der Standortkanton Eigentümer des EVU (Basel, Onex/Kanton Genf). Schliesslich gibt es Gemeinden, die von externen EVU, auf die sie keinen politischen Einfluss nehmen können, versorgt werden (Köniz).

Die Energiebeauftragten der einbezogenen Städte waren überzeugt, dass die Städte und Gemeinden im Rahmen ihrer Möglichkeiten Einfluss auf die EVU nehmen sollten, um diese in die Umsetzung der energiepolitischen Zielsetzungen einzubeziehen. Die EVU prägen das lokale

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Angebot an Energie – sowohl was die räumliche Verfügbarkeit betrifft als auch welchen Anteil an erneuerbarer Energie es enthält (z. B. Energiequelle für Fernwärme).

In Lausanne, St.Gallen und Winterthur sind die lokalen Energieversorger in die Stadtverwaltung integriert. In dieser Organisationsstruktur kann die kommunale Energiepolitik unmittelbaren Einfluss auf die Energieversorgung ausüben. Gemäss Einschätzung aus St.Gallen helfe es der Zusammenarbeit, dass die Werke und die Verantwortlichen fürs Energiekonzept erstens denselben Vorgesetzen haben und zweitens räumlich nahe beieinander arbeiten.

4. Diskussion

Der Ersatz von fossil betriebenen Heizungen durch Systeme mit erneuerbaren Energieträgern ist ein zentrales energie- und klimapolitisches Ziel des Bundes und zahlreicher Städte und Gemeinden. Die Studie liefert nun erstmals einen quantitativen Überblick zur Energieträgerwahl auf Städteebene. In Basel, St.Gallen, Winterthur und Zürich wurden zwischen 76 % und 85 % der Heizungen fossil ersetzt, in Köniz 54 %.

Die Studie zeigt, dass auch Faktoren die Anzahl der Wechsel hin zu einer erneuerbaren Wärmeversorgung beeinflussen, die von Gemeinden und Städten beeinflussbar sind. Jede Gemeinde kann und soll im Rahmen ihrer Möglichkeiten den für sie geeigneten Mix an Vorgaben, Angebotssteuerung, Beratung, Information und Förderung zur Beschleunigung der Transformation der Wärmeversorgung hin zu erneuerbarer Energie selbst definieren. Die vorliegende Studie liefert Ideen und Beispiele dazu.

Um den Umstieg insbesondere in Städten zu beschleunigen wird empfohlen:

- Gesetzliche Vorgaben, die den fossilen Ersatz effektiv einschränken
- Einen Ausbau des Angebots an erneuerbarer Fernwärme oder Wärmeverbunden
- Den Rückzug des Gasangebots in den Gebieten, wo wettbewerbsfähige Alternativen bestehen (insbesondere Wärmenetze oder die Möglichkeit von Erdsonden-Bohrungen)

Dabei sollen situationsspezifisch Kommunikations-, Informations-, Förder- und Beratungsaktivitäten weitergeführt und weiterentwickelt werden. Sie zeigen den Eigentümerschaften, Fachpersonen und Unternehmen die klimapolitisch sinnvollen Alternativen zum fossilen Ersatz auf und bereiten den Boden für die Akzeptanz von gesetzlichen Vorschriften oder für die Anpassung des Energieangebots.

Die Gebäude in den weniger dicht bebauten Gebieten stellen für die Energiepolitik eine wichtige Zielgruppe dar, um den Umstieg auf erneuerbare Energieträger mit Wärmepumpenlösungen zu beschleunigen. Denn dort bestehen gute Voraussetzungen für den Einsatz der relativ investitionskostengünstigen Luft-Wasser-Wärmepumpen aber auch für die Erdsonden-Wärmepumpen. In den untersuchten Zeiträumen wurde in den wenig dicht bebauten Gebieten (angenähert mittels Annahme von <100 Einwohner/innen und Beschäftigte pro Hektare) noch zwischen 75% (Winterthur) und 84% (Basel) der Heizungen fossil ersetzt.

In dicht bebauten Gebieten hingegen sollte der Umstieg durch das Angebot an Wärmeverbunden auf Basis von erneuerbaren Energieträgern unterstützt werden. Ist dies nicht möglich, müsste die Unterstützung darin bestehen, die Hindernisse für Wärmepumpen im dicht bebauten Gebiet zu reduzieren, beispielsweise durch finanzielle Beiträge und Beratung.

5. Ausblick

Aktivitäten und Programme, die auf Freiwilligkeit beruhen und eine Beeinflussung der Nachfrage anstreben, sind in den grossen Schweizer Städten und Gemeinden stark verbreitet. Sie tragen dazu bei, das Wissen und Verständnis für energiepolitische Zielsetzungen und die dafür ergriffenen Vorschriften und Instrumente zu schaffen. In Kombination mit Förderprogrammen verweisen sie auf die zweckmässigen und erwünschten Massnahmen und zeigen der Nachfrage die erwünschte Richtung an. Für eine Einschätzung der effektiven Wirkung dieser Aktivitäten fehlen jedoch meistens die erforderlichen, belastbaren Grundlagen. Bei nur ganz wenigen

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Programmen wurden und werden Zahlen zur Nutzung der Beratungsangebote und schliesslich zur Energieträgerwahl der beratenen Personen erhoben.

Für eine effiziente und effektive Ausgestaltung des energiepolitischen Instrumentenmix wäre es wertvoll, wenn mehr Programme evaluiert, quantifiziert und die Erkenntnisse daraus anderen energiepolitischen Akteuren zugänglich gemacht würden.

Aufgabe des Bundes und der Kanton ist es, den in Bezug auf die Steuerung der Nachfrage nach erneuerbaren Lösungen viel einflussreicheren übergeordneten Rahmen zu verändern. Es gilt, die Transformation der Wärmeversorgung hin zu erneuerbaren Energieträgern mit nationalen und kantonalen Gesetzen und Abgaben zu beschleunigen.

Literatur/Referenzen

[1] Lehmann M., Odermatt B., Buser B., Moser C., Ott W. (2020): Heizungsersatz: Vergleich ausgewählter Städte und Gemeinden. Synthesebericht. Energieforschung Stadt Zürich. Forschungsprojekt FP-2.8.1

[2] Lehmann M., Meyer M., Kaiser N., Ott W. (2017): Umstieg von fossilen auf erneuerbare Energieträger beim Heizungsersatz. Energieforschung Stadt Zürich, Bericht Nr. 37, Forschungsprojekt FP-2.8

DOI 10.5281/zenodo.3900180

GIS-based analysis of space cooling demand in the Swiss service sector

Xiang Li, Jonathan Chambers, Selin Yilmaz, Martin K. Patel
Kontaktperson: Xiang, Li, Bd Carl Vogt 66, 1205 Geneva, xiang.li@unige.ch

Abstract

Space cooling is not traditionally used in Switzerland. In recent years, trends in rising ambient temperature have led to an increasing interest in modelling space cooling demand, as it is essential to model the future energy systems and design policies. Today, total space cooling consumption is dominated by the service sector. However, there has been no detailed analysis of current and future space cooling demand of the Swiss service sector. To address this gap, this paper aims to estimate the space cooling demand of the service sector at building level, thereby taking into account building properties, as well as climate conditions. The results highlight an uneven spatial distribution of space cooling demand among cantons in 2015. Moreover, cantons with low space cooling penetration today contribute more to the fast growth of space cooling demand by 2050.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Scope

Space cooling is not traditionally used in Switzerland and therefore understudied. In contrast to the space heating and domestic hot water, data on the energy utilization of space cooling is scarce. In recent years, however, trends in rising ambient air temperature [1] have led to an increasing interest in modelling space cooling demand, as it is essential to model the future energy systems and design policies [2].

Previous published studies [3,4] on estimating the energy demand for space cooling in the Swiss service sector depend heavily on rough estimates of cooling related parameters at national level (e.g. saturation rate, cooling intensity) and do not come to a consensus. Other studies focus on building or district level case studies and are not applicable for the national level [5,6].

A data-driven Monte Carlo model of the building stock has been developed in the publication [7] and is used to estimate the current and future space cooling demand in the Swiss service sector under climate change. In this work, we apply the same method to investigate the spatial distribution of space cooling demand and its growth in Switzerland.

2. Methods

2.1 Input data

The model is applied to the building stock of the Swiss service sector based on data from Swiss building registry (RegBL) [8], Geneva cooling system permits [9], current regional cooling degree days (CDD) [9], future climate scenarios [10], and projected change in GDP [11]. Three representative concentration pathways (RCPs) [1] are used to estimate the future space cooling demand: RCP 2.6, RCP 4.5 and RCP 8.5.

RegBL contains basic data on all buildings in Switzerland. In this work, buildings in the categories offices, trade, hotels, and health-related services are studied. Building variables used includes EGID (unique building identifier), location, canton, construction year, building category, ground area, number of floors, total area, and service area (floor area used for activities in the service sector). Geneva cooling systems permits contains records of all air conditioners installed in the canton of Geneva. This dataset provides information on the following cooling variables: EGID, yearly cooling energy, cooled floor area, coefficient of performance (COP), and number of operating hours. Data in Geneva cooling systems permits is then assumed to be representative for the whole Switzerland.

2.2 Overview of the data-driven Monte Carlo model of the building stock

The model is proposed by Li et al. in [7], with a through description including equations and underlying assumptions. The key steps of the model are summarized in Figure 1 to facilitate the understanding of the analysis introduced in this work.

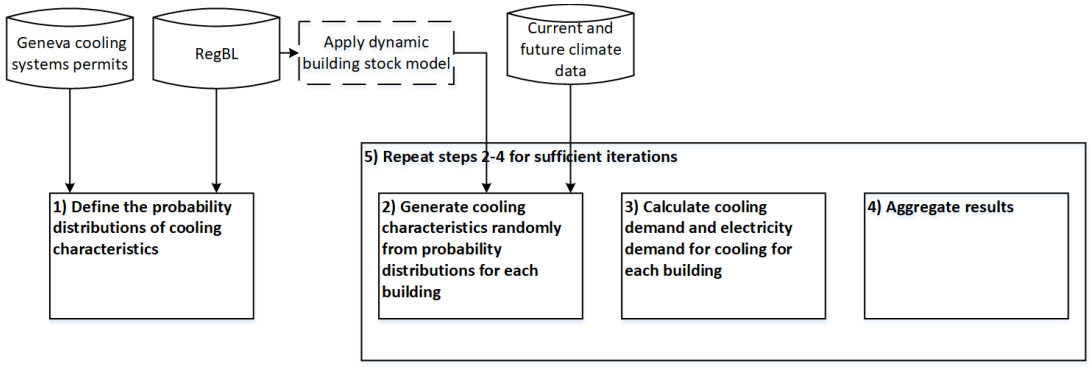


Figure 1 Overview of the Monte Carlo model of the building stock

DOI 10.5281/zenodo.3900180

To estimate the space cooling demand of each service sector building, the following variables are necessary: presence of space cooling equipment, cooled floor area, cooling power intensity, operating hours (equivalent full-load hours), and COP. The empirical cooling data in Geneva cooling system permits is available for a small part of the Swiss building stock. Thus, a Monte Carlo simulation is employed to randomly assign cooling variables from approximated probability distributions.

The Monte Carlo simulation comprises the following key steps. Firstly, probability distribution of each cooling variable is defined by analysing the empirical data in Geneve cooling systems permits. The dependence of a cooling variable on building variable is also investigated by conducting a through statistical analysis. In the case such a dependence exists, it is applied in the probability distribution. Secondly, for each building, cooling variables are randomly sampled from the corresponding probability distributions. Thirdly, building specific annual cooling demand is calculated based on the cooling variables assigned. Then, the space cooling demand is aggregated according to the objective of the analysis. For example, in this work, space cooling demand is aggregated at cantonal and national levels. In the last step, steps 2-4 are repeated for adequate runs in accordance with the principle of Monte Carlo simulation to acquire a stable distribution of the aggregated results.

In contrast to current space cooling demand, additional assumptions are made to forecast future space cooling demand. The demolition of existing building and construction of potential new buildings are simulated by a dynamic building stock model [12,13]. Two major impacts of climate change on space cooling demand are considered: diffusion of space cooling device and cooling intensity. Diffusion of space cooling device is modelled by the linear relation between probability of presence of space cooling device and historical maximum CDD [14]. Cooling intensity is assume to be proportional to CDD [15].

3. Results

3.1 Current space cooling demand

The total space cooling demand of the Swiss service sector is estimated to be 900 ± 200 GWh/y. The breakdown of space cooling demand by canton is presented in Figure 2. Cantons estimated to have insignificant space cooling due to low CDD are presented in white. Geneva (320 ± 60 GWh/y) has the highest space cooling demand among all cantons, followed by Basel (180 ± 60 GWh/y), and Zurich (140 ± 30 GWh/y). Figure 3 visualizes the three components of space cooling demand: service area, saturation rate, and cooling intensity of cooled floor.

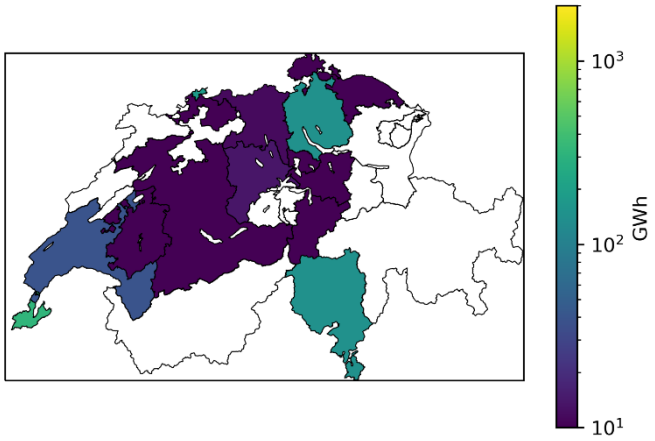


Figure 2 Distribution of space cooling demand in Swiss service sector in 2015 by canton

DOI 10.5281/zenodo.3900180

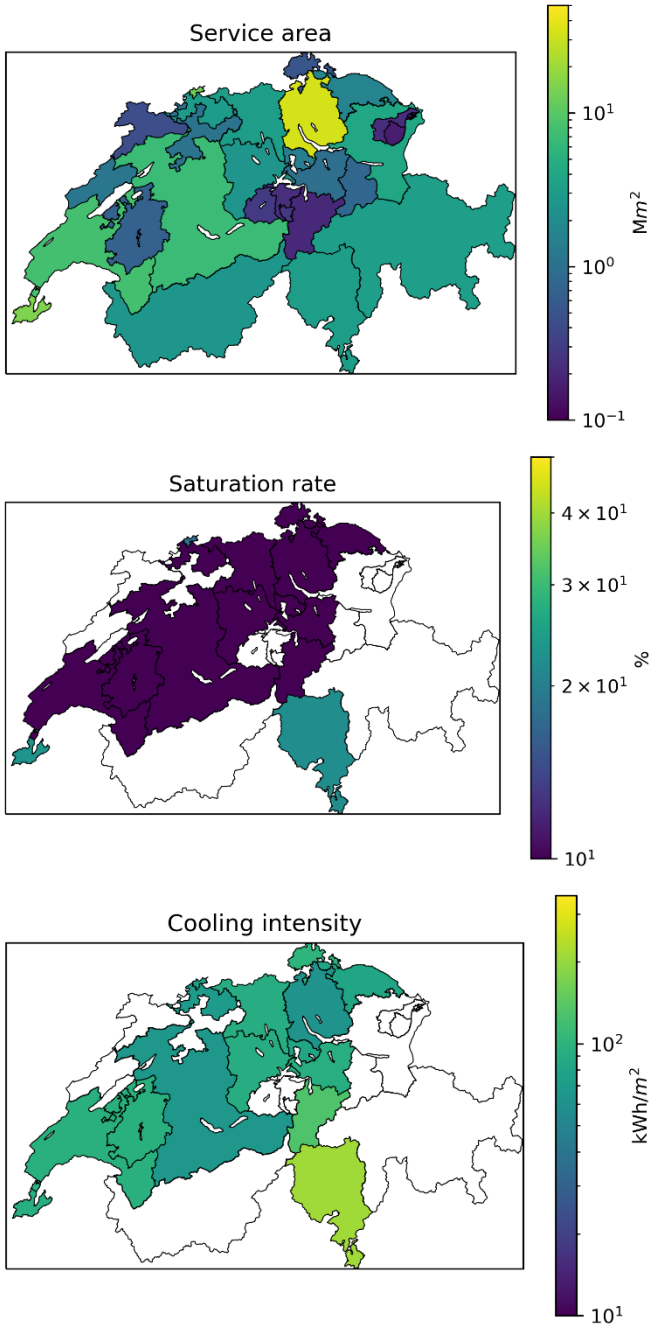


Figure 3 Distribution of service area, saturation rate, and cooling intensity in Swiss service sector in 2015 by canton

3.2 Future space cooling demand

Space cooling demand is expected to grow 400% - 600% between 2015 and 2050 in three climate scenarios. The breakdown of space cooling demand in 2050 in three climate scenarios by canton is presented in Figure 4. The three components of space cooling demand: service area, saturation rate, and cooling intensity of cooled floor in 2050 in RCP 4.5 is shown in Figure 5.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

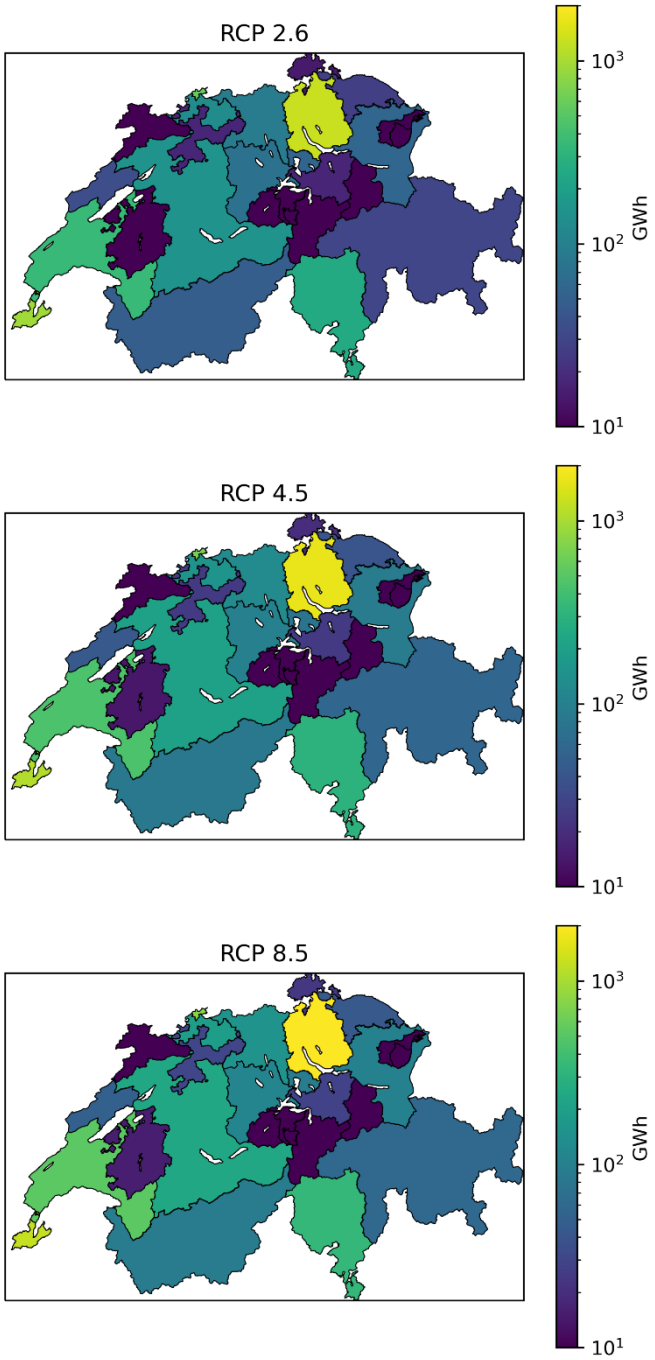
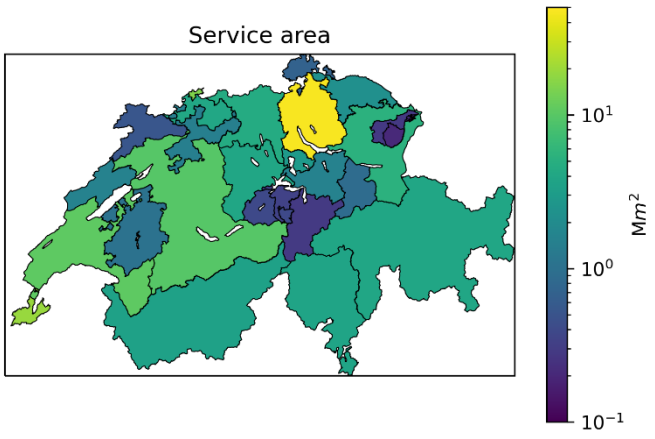


Figure 4 Distribution of space cooling demand in Swiss service sector in 2050 in RCP 2.6, RCP 4.5, RCP 8.5 by canton



DOI 10.5281/zenodo.3900180

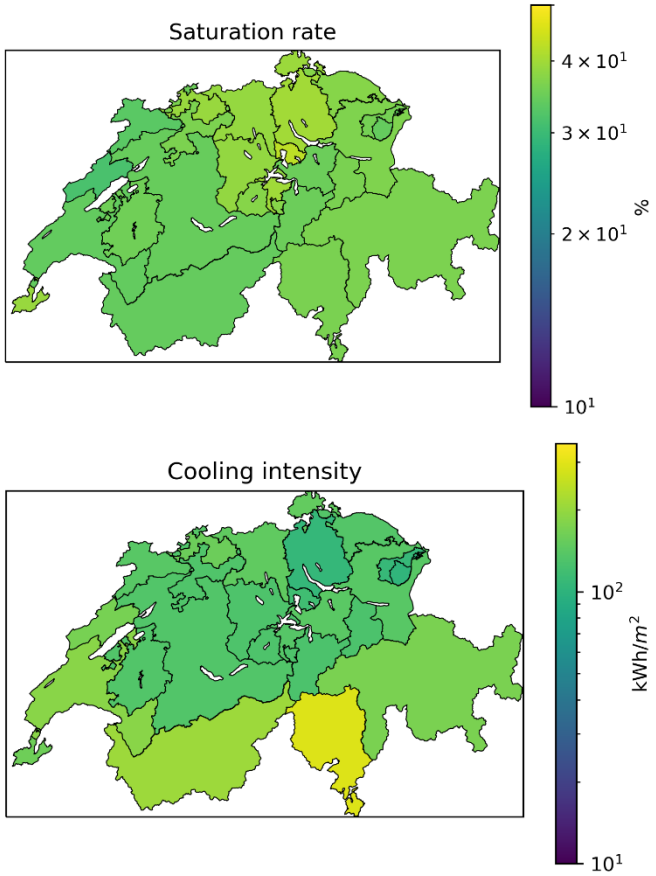


Figure 5 Distribution of service area, saturation rate, and cooling intensity in Swiss service sector in 2050 in RCP 4.5 by canton

4. Discussion

Spatial analysis reveals an uneven distribution of space cooling demand among cantons in 2015. Most cooling demand is attributed to cantons with warmer climate, such as Geneva and Ticino. These cantons are characterized with higher saturation rate and higher cooling intensity. For example, Geneva has a saturation rate of 23% and a cooling intensity of 90 kWh/m^2.y. In contrast, Zurich has a much lower saturation rate of 7% and a cooling intensity of 60 kWh/m^2.y

However, cantons with colder climate in 2015 provides the greatest growth potential of space cooling demand by 2050. In all three climate scenarios, Zurich is predicted to become the canton with highest space cooling demand in 2050. The main driver of the growth in space cooling demand is the growth in saturation rate. In the case of RCP 4.5, saturation rates of all cantons fall in the range 32% - 42%, experiencing a substantial growth from 2015. For example, saturation rate of Zurich reaches 40% by 2050, on the same level as Geneva (39%). The growth in cooling intensity is relatively moderate in RCP 4.5. The cooling intensity of Zurich increase from 60 kWh/m^2.y in 2015 to 110 kWh/m^2.y in 2050, while that of Geneva increase from 90 kWh/m^2.y to 160 kWh/m^2.y. Based on the assumption that the growth rate of service building stock is balanced within Switzerland, the growth in service area is the same among cantons.

5. Perspectives

The results highlight a rapid growth of space cooling demand in Swiss service sector in the coming decades, especially in cantons with insignificant space cooling demand today. Therefore, it is essential to analyse promising solutions for the substantial increase in energy demand for space cooling in the future, to help decarbonising heating and cooling of buildings based on renewable energy sources and free cooling, and to exploit synergy effects of district heating and cooling network. Another important practical implication is that policy makers needs to regulate the use of air conditioners in advance and promote energy efficient cooling solutions.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

References

[1] C.W. Team, R.K. Pachauri, L.A. Meyer, IPCC, 2014: Climate Change 2014: Synthesis Report. Contribution of Working Groups I, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change, IPCC, Geneva, Switzerland, 2014. https://doi.org/10.1046/j.1365-2559.2002.1340a.x.

[2] D. Connolly, Heat Roadmap Europe: Quantitative comparison between the electricity, heating, and cooling sectors for different European countries, Energy. 139 (2017) 580–593. https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.07.037.

[3] B. Aebischer, G. Henderson, G. Catenazzi, Impact of climate change on energy demand in the Swiss service sector - and application to Europe, in: Improv. Energy Effic. Commer. Build. Proceeding Int. Conf. IEECB'06 Frankfurt, Ger. 26-27 April 2006, European Commission, Institute for Environment and Sustainability, 2006: pp. 205–218.

[4] M. Christenson, H. Manz, D. Gyalistras, Climate warming impact on degree-days and building energy demand in Switzerland, Energy Convers. Manag. 47 (2006) 671–686. https://doi.org/10.1016/j.enconman.2005.06.009.

[5] T. Frank, Climate change impacts on building heating and cooling energy demand in Switzerland, Energy Build. 37 (2005) 1175–1185. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2005.06.019.

[6] D. Mauree, S. Coccolo, A.T.D. Perera, V. Nik, J.L. Scartezzini, E. Naboni, A new framework to evaluate urban design using urban microclimatic modeling in future climatic conditions, Sustainability. 10 (2018) 1134. https://doi.org/10.3390/su10041134.

[7] X. Li, J. Chambers, S. Yilmaz, M.K. Patel, A Monte Carlo building stock model of space cooling demand in the Swiss service sector under climate change, Manuscript submitted for publication.

[8] RegBL | Federal Register of Buildings and Dwellings, (n.d.). https://www.housing-stat.ch/fr/accueil.html (accessed September 30, 2019).

[9] J. Chambers, P. Hollmuller, O. Bouvard, A. Schueler, J.-L. Scartezzini, E. Azar, M.K. Patel, Evaluating the electricity saving potential of electrochromic glazing for cooling and lighting at the scale of the non-residential national building stock using a Monte Carlo model, Energy. 185 (2019) 136–147. https://doi.org/10.1016/j.energy.2019.07.037.

[10] CH2018, CH2018 – Climate Scenarios for Switzerland, Technical Report, 2018.

[11] A. Kinerrch, D. Bredow, F. Ess, habil T. Grebel, P. Hofer, A. Kemmler, A. Ley, A. Piégsa, N. Schütz, S. Strassburg, J. Struwe, M. Keller, Die Energieperspektiven für die Schweiz bis 2050 Anhang 3, Bundesamt für Energie, Basel, 2012.

[12] I. Sartori, N.H. Sandberg, H. Brattebø, Dynamic building stock modelling: General algorithm and exemplification for Norway, Energy Build. 132 (2016) 13–25. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.098.

[13] N.H. Sandberg, I. Sartori, O. Heidrich, R. Dawson, E. Dascalaki, S. Dimitriou, T. Vimm-r, F. Filippidou, G. Stegnar, M. Šijanec Zavrl, H. Brattebø, Dynamic building stock modelling: Application to 11 European countries to support the energy efficiency and retrofit ambitions of the EU, Energy Build. 132 (2016) 26–38. https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.05.100.

[14] D.N. Bird, R. de Wit, H.P. Schwaiger, K. Andre, M. Beermann, M. Žuvela-Aloise, Estimating the daily peak and annual total electricity demand for cooling in Vienna, Austria by 2050, Urban Clim. 28 (2019) 100452. https://doi.org/10.1016/j.uclim.2019.100452.

[15] M. Kolokotroni, M. Davies, B. Croxford, S. Bhuiyan, A. Mavrogianni, A validated methodology for the prediction of heating and cooling energy demand for buildings within the Urban Heat Island: Case-study of London, Sol. Energy. 84 (2010) 2246–2255. https://doi.org/10.1016/j.solener.2010.08.002.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Vollständig solar beheizte MFH mit saisonalem Wasserspeicher, Solarthermie, PV und Wärmepumpe

Fabio Lichtensteiger, Mattia Battaglia, Florian Ruesch, Michel Haller
Kontaktperson: Fabio Lichtensteiger, SPF Institut für Solartechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, fabio.lichtensteiger@spf.ch, www.spf.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Vollständig solar beheizte und wärmeautarke Mehrfamilienhäuser (MFH) benötigen grosse Wasser-Wärmespeicher, welche jedoch hohe Levelized Cost of Energy Storage (LCOES) aufweisen und wertvollen Platz in der umbauten Gebäudehülle benötigen. In einem vom BFE geförderten Projekt wird untersucht, ob die Kombination von Solarwärme, Photovoltaik und einer Wärmepumpe eine kosteneffizientere Systemauslegung für 100 % solar beheizte MFH erlaubt. Das Referenzsystem mit Solarwärme (Kollektorfläche: 160 m^2, Speicher 110 m^3) wurde um ein PV-Feld und eine Luft-Wasser-Wärmepumpe respektive einer Sole-Wasser-WP mit Fundamentplattenaktivierung erweitert und mittels dynamischen Simulationen in TRNSYS untersucht. Die Optimierung der Volumenstromregelung im Solarthermiekreis des Referenzsystems, ermöglicht bereits eine Reduktion des Speichervolumens von knapp 20 %. Wird das System um eine Wärmepumpe und ein PV-Feld erweitert, kann zusätzlich zur Deckung des Wärmebedarfs auch elektrische Energie erzeugt werden. Dabei können elektrische Autarkiegrade von bis zu 30 % erreicht werden. Mit einer Luft Wasser WP verbleibt die Speicherreduktion bei 20 %, gleich wie mit der optimierten Volumenstromregelung. Die Erweiterung des Systems um eine Sole-Wasser WP und eine Fundamentplattenaktivierung erlaubt aufgrund der höheren Quellentemperaturen das Speichervolumen um insgesamt 30 % gegenüber dem ursprünglichen Referenzsystem zu reduzieren. Auch wirtschaftlich ist die Ergänzung des rein solarthermischen Systems mit PV und Wärmepumpe interessant. Die Zusatzkosten der Wärmepumpe können durch die Einsparungen beim Speicher und der Solaranlage, sowie durch die Erträge der Eigenstromnutzung mehr als kompensiert werden. Zusätzlich hat auch der durch den kleineren Speicher gewonnene Raum je nach Standort und Rahmenbedingungen einen beträchtlichen Mehrwert.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Vollständig solar beheizte und wärmeautarke Mehrfamilienhäuser (MFH) sind bereits heute realisierbar. Im Gegensatz zu den häufig realisierten Netto-Null Konzepten ist eine echte Wärmeautarkie auch im Winter meist nur mit saisonaler Speicherung möglich. Dazu werden grosse Wasser-Wärmespeicher eingesetzt, welche jedoch hohe Levelized Cost of Energy Storage (LCOES) aufweisen und wertvollen Platz im Gebäude benötigen.

Um das Speichervolumen zu reduzieren und Kosten einzusparen, sind die solaren Wärmeerträge im Winter ausserordentlich wichtig. Solarthermische Kollektoren erreichen im Sommer hohe Temperaturen, im Winter verringert sich der Energieertrag aufgrund der geringen Aussentemperaturen und der reduzierten Sonnenscheindauer. Im Gegensatz zu thermischen Kollektoren wird der Wirkungsgrad von PV-Modulen bei kalten Temperaturen besser. Daher können PV-Anlagen in Kombination mit einer Wärmepumpe (WP) und einer geeigneten Wärmequelle im Winter höhere flächenspezifische Wärmeerträge als solarthermische Kollektoren erreichen. In einem vom schweizerischen Bundesamt für Energie geförderten Projekt wird daher untersucht, ob die Kombination aller drei Technologien (Solarwärme, Photovoltaik und WP) eine kosteneffizientere Systemauslegung für 100 % solar beheizte MFH erlaubt. Dies auch dann, wenn die WP nicht mit Elektrizität aus dem Netz, sondern nur mit direkt erzeugtem PV-Strom betrieben wird.

2. Vorgehen

Ausgehend vom Systemkonzept eines vollständig mit Solarthermie und saisonalem Wasserspeicher beheizten MFH ("Jenni-Mehrfamilienhaus") soll das Volumen des Wasser-Wärmespeichers durch die Ergänzung mit Photovoltaik und WP reduziert werden, was insgesamt zu einer Reduktion der Systemkosten führen soll. In einem ersten Schritt wurde dazu ein bestehendes System (160 m^2 Solarthermie und 110 m^3 Speicher) mittels dynamischen Simulationen in TRNSYS [1] simuliert. Diese Simulation wurde als Referenz verwendet und mit allen nachfolgenden Simulationen verglichen. Anhand von Erkenntnissen aus dem OPTSAIS Projekt der HSLU [2] wurden verschiedene Volumenstromregelungen verwendet um das Referenzsystem zu optimieren. Das optimierte Referenzsystem wurde danach um eine Photovoltaikanlage und eine WP ergänzt und mittels einer Parameterstudie analysiert. Dabei ist zu beachten, dass die WP ihren Strom ausschliesslich von der PV-Anlage bezieht. Zum einen wurde eine klassische Luft-Wasser-WP und zum anderen eine Sole-Wasser-WP, welche die Fundamentplatte des Gebäudes als Quelle und Senke verwendet, simuliert und die Wirtschaftlichkeit der beiden Varianten miteinander verglichen. Die Verwendung der Fundamentplatte als Wärmequelle könnte eine kostengünstige Alternative zu Erdsonden oder Erdkollektoren darstellen und ist im vorliegendem Projekt für das Jenni Sonnenhauskonzept untersucht worden. Für die Simulationen konnten auf Erfahrungen aus dem P&D Projekt Oblamatik aufgebaut werden, in welchem die Fundamentplatte eines Bürogebäudes thermisch aktiviert wurde [3].

Als Referenzobjekt für die Simulationen dient das erst kürzlich fertiggestellte Mehrfamilien-Sonnenhauses der Jenni Liegenschaften AG in Huttwil. Dieses besitzt eine thermische Kollektorfläche von 160 m^2 und einen saisonalen Wasserspeicher mit einem Volumen von 110 m^3. Dieses Gebäude wird über ein Monitoring wissenschaftlich vermessen und analysiert, was im späteren Projektverlauf eine genaue Validierung der Simulationsergebnisse ermöglicht. Die hier vorgestellten Simulationen konnten aber bereits mit weniger umfangreichen Messdaten und Betriebserfahrungen aus dem Solarpark Burgdorf mit zwei sehr ähnlichen MFH plausibilisiert werden. Für Angaben zur verwendeten Methodik wird auf folgende Quelle verwiesen [4]. Die nutzbare Dachfläche wurde in den Simulationen nicht verändert. Die PV-Fläche substituiert somit jeweils einen Teil der Solarthermiefläche. In der Simulation wurden die Wetterdaten vom Ort Wynau verwendet. Dies war die nächstgelegenen SIA Wetterstation in der Nähe von Huttwil. Das Benutzerverhalten wurde anhand von Erkenntnissen aus dem ImmoGap Projekt des SPF implementiert [5].

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abbildung 1 zeigt die verwendete Hydraulik für das erweiterte System mit Sole-Wasser-WP und Fundamentplattenaktivierung. Im Winter bezieht die WP ihre Wärme aus der Fundamentplatte und im Sommer kann zur Regeneration die Wärme aus dem Speicher in das Erdreich abgegeben werden. Auch in diesem Fall läuft die WP nur, wenn von der PV-Anlage genügen Strom zur Verfügung steht.

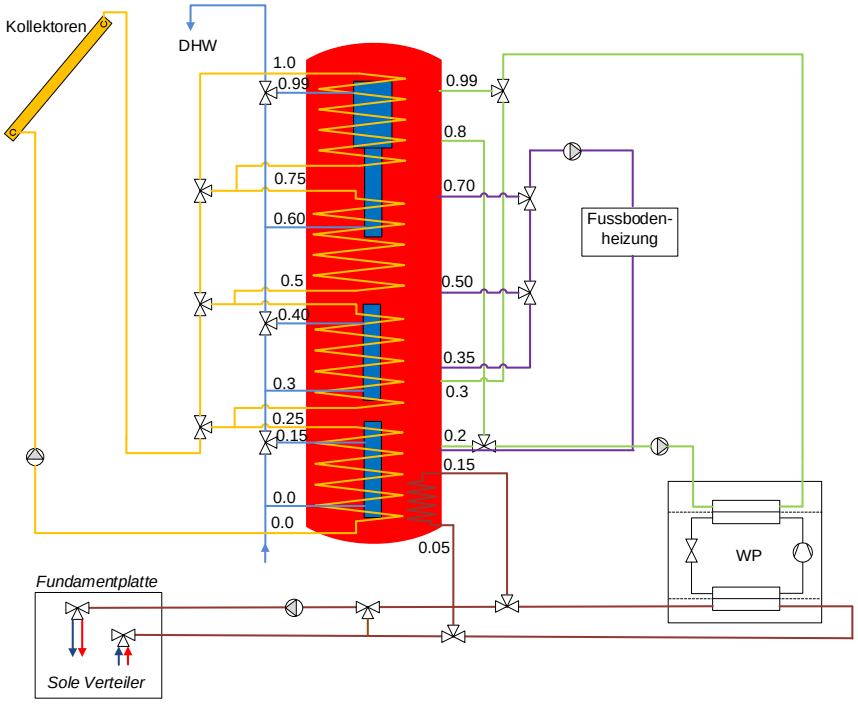


Abbildung 1: Hydraulikschema des Systems mit einer Fundamentplatte als Wärmequelle für die WP und die Erdreichregeneration

3. Resultate

3.1 Originalsystem nur Solarthermie

Der Wärme- und Warmwasserbedarf des Jenni-Mehrfamilienhauses konnte in den ersten Simulationen mit dem bestehenden Heizungssystem (nur Solarthermie) und den angenommenen Rahmenbedingungen knapp nicht gedeckt werden. Dies entspricht den Erfahrungen mit zwei bestehenden Mehrfamilienhäusern in Oberburg, bei denen, abhängig von Benutzerverhalten und Wetter, in manchen Jahren der Wärmebedarf vollständig solar gedeckt und in anderen Jahren knapp nicht gedeckt werden kann. Im zweiten Fall kommt jeweils für kurze Zeit eine mobile Pelletheizung zum Einsatz. In den Simulationen wurde der Nachheizbedarf jeweils als Elektroheizstab im Speicher implementiert welcher einspringt sobald die Temperatur zuoberst im Speicher unter 55 °C sinkt oder zu wenig Wärme für die Raumheizung zu Verfügung steht, siehe Abbildung 2 links. Der hohe Brauchwarmwasseranteil im Vergleich zur Raumwärme lässt Ende Februar die Temperatur zuoberst im Speicher unter 55 °C fallen, wodurch in der Simulation rund 140 kWh elektrisch nachgeheizt werden muss. Dies ist in der Energiebilanz in Abbildung 2 rechts als roter Balken mit Bezeichnung Heizstab DHW erkennbar. Dieser Nachheizbedarf wird für die weiteren Simulationen als Benchmark verwendet. Systeme mit geringerem Nachheizbedarf sind somit dem Referenzsystem vorzuziehen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

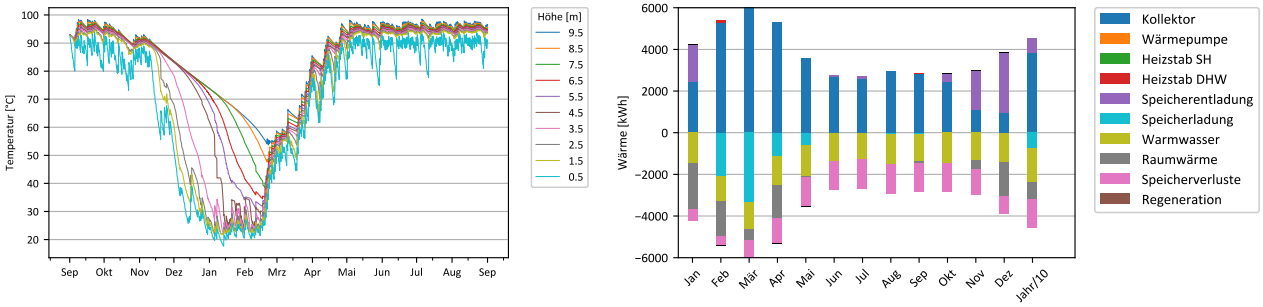


Abbildung 2: Simulierter Jahrestemperaturverlauf des Referenzsystems (links) und die Energiebilanz (rechts)

3.2 Volumenstromregelung Solarkreislauf

Ausgehend vom Originalsystem wurden unterschiedliche Volumenströme im Solarkreislauf geprüft und der Nachheizbedarf ausgewertet. Beim Referenzsystem wurde abhängig vom Ladezustand des Speichers ein stündlicher Volumenstrom pro Kollektorfläche von 25 – 43 l/(m^{2}h) verwendet. Gerade Ende Februar hat das System zwar noch genügen Wärme im Speicher um den Raumwärmebedarf decken zu können, allerdings fehlt Wärme bei Temperaturen über 55 °C.

In einer zweiten Simulation wurde ein sehr geringer Flächenvolumenstrom (low flow) von 12.5 l/(m^{2}h) verwendet. Dadurch kann das Speichervolumen bereits auf weniger als 99 m^3 (-10 %) verringert werden ohne dass mehr nachgeheizt werden muss als beim Referenzsystem. Eine permanente low flow Regelung führt allerdings auch zu einer unvollständigen Beladung des Speichers in den Sommermonaten, wodurch nur die obersten Schichten eine Temperatur über 90 °C erreichen.

Daher wurde eine kombinierte Regelung implementiert. Sobald die Temperatur zuunterst im Speicher unter 60 °C fällt, wird auf low flow umgeschaltet (12.5 l/m^{2}h). In allen anderen Fällen wird mittels high flow (40 l/m^{2}h) der Speicher komplett aufgeladen. Mit dieser Regelung kann das Speichervolumen um 20 % auf 88 m^3 reduziert werden ohne dabei einen höheren Nachheizbedarf wie das Referenzsystem mit 110 m^3 Speichervolumen zu erhalten, siehe Abbildung 3.

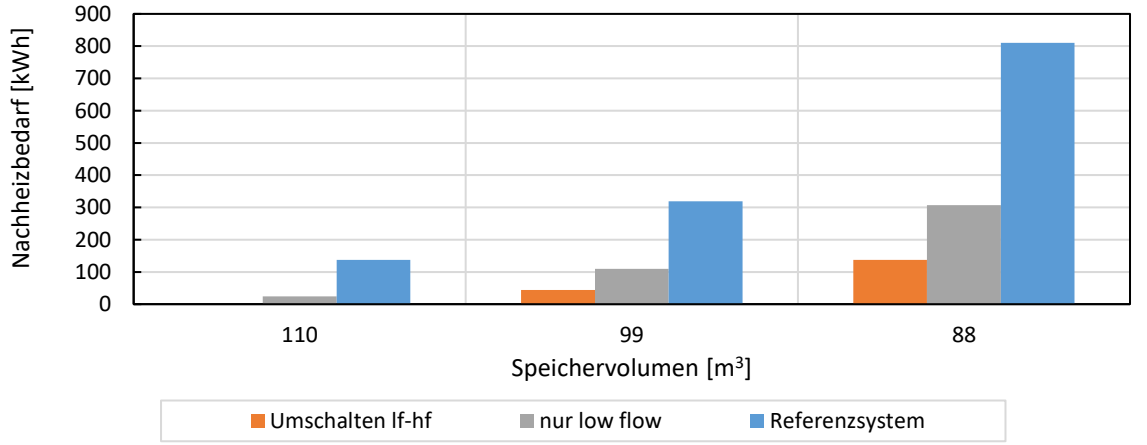


Abbildung 3: Vergleich des Nachheizbedarfs mit unterschiedlichen Regelstrategien des Volumenstroms in Abhängigkeit des Speichervolumens

3.3 Luft-Wasser-WP Systeme

Ausgehend vom optimierten Referenzsystem mit Umschaltung zwischen low flow und high flow, wurde das System um eine PV gekoppelte Luft-Wasser-WP ergänzt und mittels einer Parameterstudie ausgewertet. Die nutzbare Dachfläche wurde bei 160 m^2 belassen und der PV-Dachflächenanteil sowie verschiedene WP-Leistungen variiert. Zudem wurde das Speichervolumen in 10 % Schritten bis auf 88 m^3 reduziert. Alle Systeme, die ihren Speicher mit weniger als 140 kWh elektrischer Energie nachheizen mussten, haben besser abgeschnitten als das Referenzsystem mit Standardregelung, siehe Abbildung 4. Im Vergleich zum Referenzsystem konnte das Speichervolumen maximal um 20 % verringert werden. Allerdings vermag das

DOI 10.5281/zenodo.3900180

erweiterte System auch einen Teil des elektrischen Bedarfs zu decken und erreicht, in Abhängigkeit vom verwendeten PV-Anteil, eine elektrische Autarkie von bis zu 30 %.

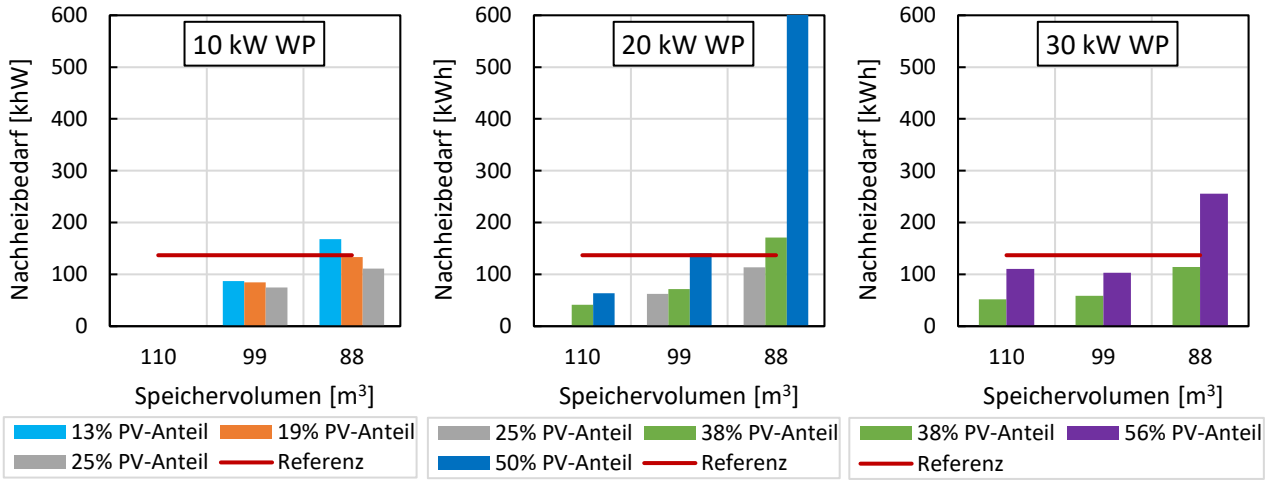


Abbildung 4: Nachheizbedarf der um PV und Luft-Wasser WP ergänzten Systeme mit unterschiedlichem Speichervolumen

Wird die Wirtschaftlichkeit der Systeme mit maximal möglicher Speichervolumenreduktion betrachtet, so sind Systeme mit einem möglichst grossen PV-Anteil klar im Vorteil. Gerade in den Sommermonaten ist die Solarthermieanlage aufgrund des geringen Wärmebedarfs überdimensioniert. Die PV-Anlage hingegen produziert Elektrizität, welche entweder gleich selbst verwendet oder ins Netz abgegeben werden kann. Eigenverbrauchter Solarstrom wurde mit 17.5 Rp/kWh und ins Netz abgegebener Solarstrom mit 7 Rp/kWh verrechnet, was den lokalen Gegebenheiten in Huttwil entspricht. Insgesamt wurde von einer Lebensdauer von 20 Jahren ausgegangen, was für heutige PV-Anlagen eher pessimistisch ist.

In Abbildung 5 werden die Kosten und Einsparungen der Systeme mit kleinstmöglichem Speichervolumen und unterschiedlichem PV-Flächenanteil angegeben, welche weniger Zusatzenergie als das Referenzsystem benötigt. Die Substitution von Solarthermie durch Photovoltaik bewirkt insgesamt eine Reduktion der Kosten. Einerseits sind PV-Module günstiger als thermische Kollektoren, andererseits können Einsparungen bei der Frostschutzmittelmenge, Expansionsgefässgrösse und der Kollektorfeldverrohrung gemacht werden. Die Zusatzkosten für Gleichrichter, Arbeiten auf der Gleichstromseite sowie der Installation fallen dabei nicht so stark ins Gewicht. Sobald die Kosten für die WP und deren Installation mitberücksichtigt werden, fallen die Investitionskosten im Vergleich zum Referenzsystem nur noch knapp tiefer aus. Die Speichervolumenreduktion verringert zum einen die Materialkosten (Dämmung und Materialeinsatz) und zum anderen wird zusätzlicher Raum im Gebäude frei. Dieser zusätzliche Raum hat je nach Standort unterschiedlichen Wert und wurde in Abbildung 5 daher als ungefährer Bereich angegeben.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

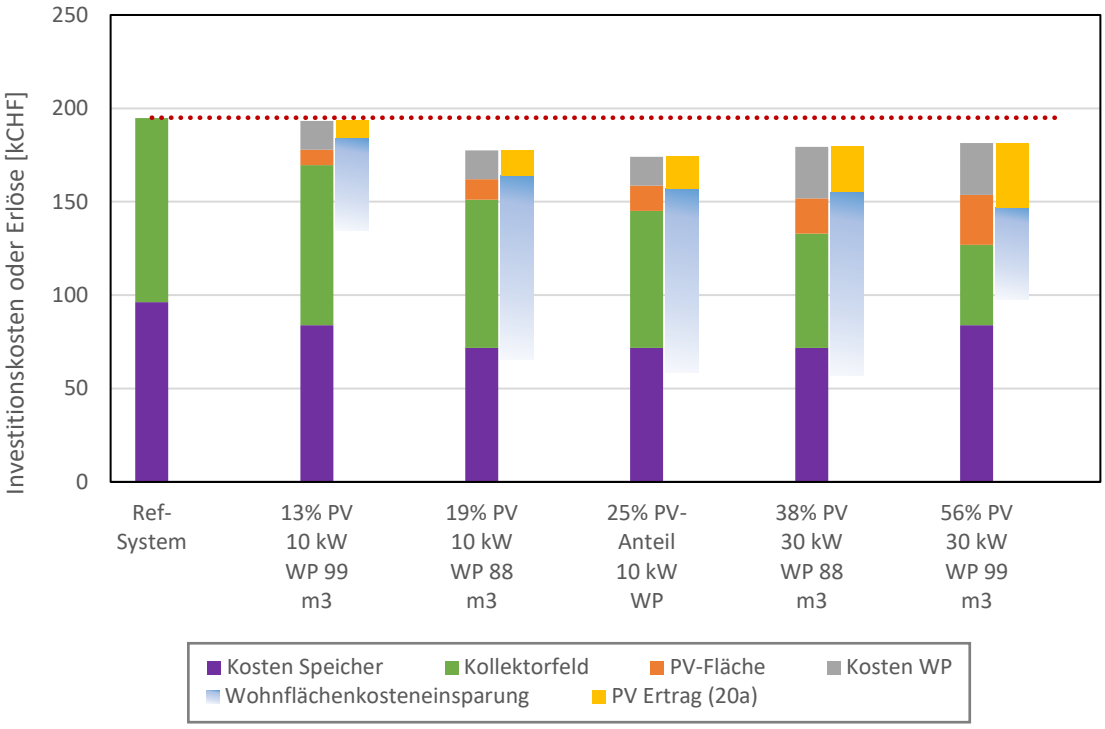


Abbildung 5: Zusammenstellung der Investitionskosten und der Erlöse der verschiedenen Luft-Wasser-WP Systeme mit reduziertem Speichervolumen im Vergleich zum Referenzsystems

Wird der PV-Stromerlös von den Investitionskosten abgezogen, so lassen sich die Gesamtkosten einiger Systeme um bis zu 25 % senken. Aufgrund der aktuell sehr tiefen Kapitalzinsen wurde hier auf eine Diskontierung der PV-Erlöse verzichtet. Die PV-Erlöse sind aber vor allem auch wegen Unsicherheiten bezüglich Lebensdauer und Preisentwicklungen im Elektrizitätsmarkt mit grossen Unsicherheiten behaftet. Vor allem grosse PV-Flächen kombiniert mit hoher WP-Leistung scheinen dabei vielversprechend zu sein.

3.4 Sole-Wasser-WP und Fundamentplatte als Quelle

Als Alternative zum konventionellen Luft-Wasser-WP System wurde die Verwendung einer Sole-Wasser-WP in Kombination mit einer thermischen Aktivierung der Gebäudefundamentplatte simuliert. Bei diesem System muss die Fundamentplatte im Sommer aktiv regeneriert werden, um es längerfristig nicht auszukühlen. Die Regeneration startet sobald der Speicher vollständig geladen wurde und Überschusswärme der Solarthermieanlage zu Verfügung steht. In Abbildung 6 wurde der maximal mögliche PV-Dachflächenanteil der Erdreichregenerationsrate gegenübergestellt. Simuliert wurden verschiedene WP-Leistungen kombiniert mit unterschiedlichen PV-Flächenanteilen. Eine ausgeglichene Energiebilanz wurde bei einem PV-Anteil von maximal 50 % erreicht, was einer PV-Fläche von knapp 80 m^2 (14.4 kWp) entspricht. Daher wurden in der weiteren Auslegung nur Systeme mit einem PV-Anteil von maximal 50 % berücksichtigt. Die PV-Fläche definiert wiederum die maximale mögliche Wärmepumpenleistung, denn bei einer zu geringen Fläche reicht der Ertrag nicht mehr aus um die WP im Nennbetriebspunkt zu betreiben.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

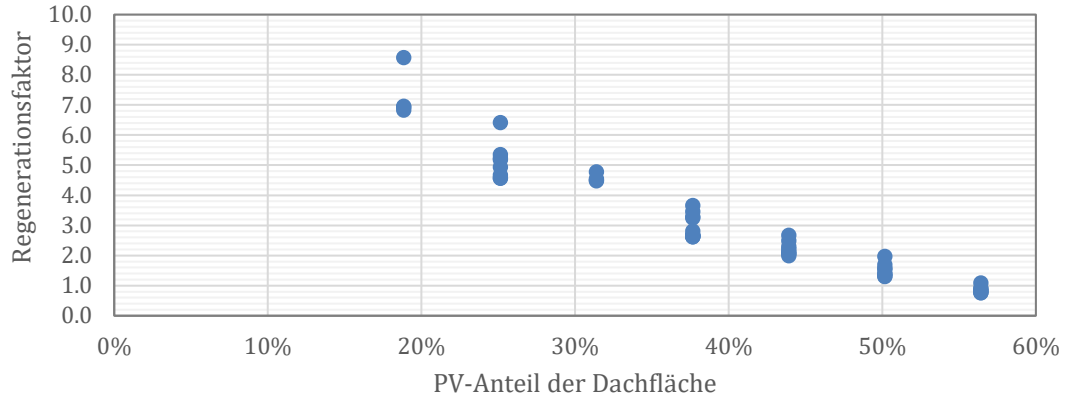


Abbildung 6: Simulierte Erdreichregenerationsrate im Verhältnis zum PV-Dachflächenanteil des um eine Fundamentplattenaktivierung und Sole-Wasser-WP erweiterten Systems

Weiter muss die Grenztemperatur zwischen Fundamentplatte und Erdreich stets grösser als 0 °C sein um keine Frostschäden an der Bausubstanz zu verursachen. Aufgrund der eher geringen PV-Flächen und der daraus resultierenden WP-Laufzeit (< 1'000 h) war die Temperatur bei allen Systemen immer grösser als 0 °C. In Abbildung 7 wurde der Nachheizbedarf der Sole-Wasser-WP Systeme mit Fundamentplattenregeneration aufgetragen. Dies in Abhängigkeit unterschiedlicher Dachflächenanteile, WP-Leistungen und Speichervolumen.

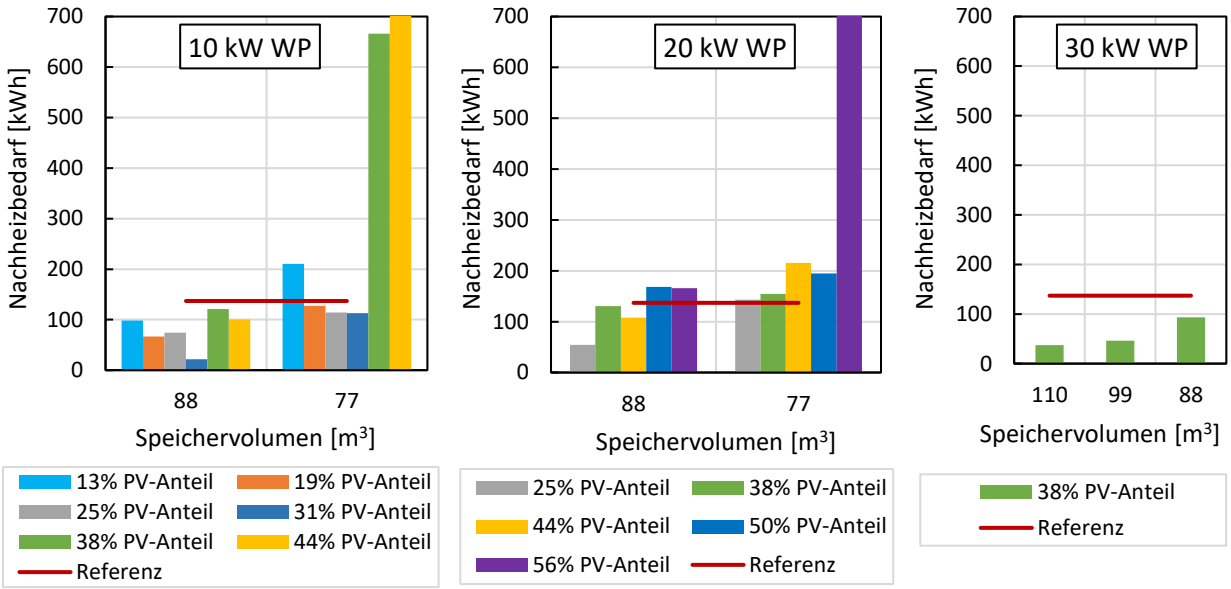


Abbildung 7: Nachheizbedarf verschiedener WP-PV Kombinationen mit Fundamentplattenaktivierung und reduziertem Speichervolumen

Im Gegensatz zu den Luft-Wasser-WP Systemen, kann mit der Sole-Wasser-WP und Fundamentplattenaktivierung das Speichervolumen nochmals weiter reduziert werden (-30 % auf 77 m^3). Bei grösserem PV-Dachflächenanteil können zwar auch WP mit höherer Leistung verwendet werden, allerdings kann damit das Speichervolumen maximal um 20 % auf 88 m^3 verringert werden. Bei Systemen mit 30 kW WP und 56 % PV-Dachflächenanteil konnte das Erdreich nicht mehr vollständig regeneriert werden.

In Abbildung 8 wurde die Wirtschaftlichkeit der Sole-Wasser-WP Systeme mit grösstmöglicher Speichervolumenreduktion betrachtet. Das System mit 10 kW WP Leistung vermag die grösstmögliche Speichervolumenreduktion herbeizuführen. Zudem kann knapp ein Drittel der Dachfläche mit PV-Modulen belegt werden, wodurch die Systemkosten weiter gesenkt werden können. Werden weiter noch die Erlöse für den PV-Stromverkauf berücksichtigt, können die Systemkosten um mehr als 25% gesenkt werden und dies ohne Berücksichtigung der Wohnflächengewinne. Auch wenn beim 10 kW WP System mit 44 % PV-Dachflächenanteil das Speichervolumen nicht weiter reduziert werden konnte, trägt der hohe PV-Anteil ebenfalls dazu

DOI 10.5281/zenodo.3900180

bei, die Kosten auf unter 150 kCHF zu reduzieren. Die PV-Strom Erlöse über 20 Jahre decken bei diesem System gerade die Investitionskosten der WP und eines Teils der PV-Fläche. Die Verwendung einer WP mit 30 kW WP scheint hingegen wirtschaftlich weniger interessant zu sein.

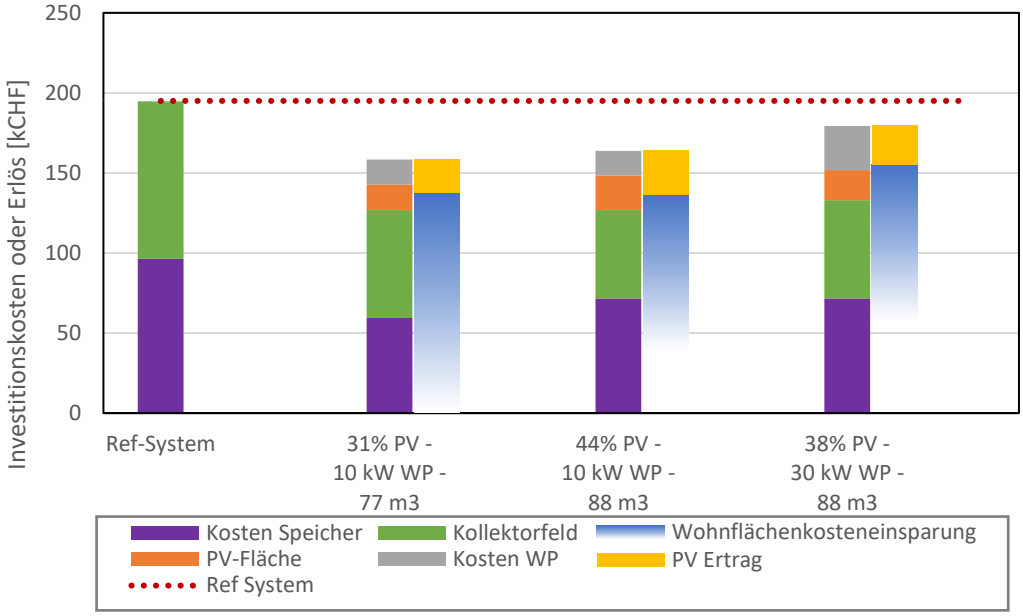


Abbildung 8: Zusammenstellung der Investitionskosten und der Erlöse für verschiedenen Sole-Wasser-WP Systeme mit Fundamentplattenaktivierung und grösstmöglicher Speichervolumenreduktion im Vergleich zum Referenzsystem

4. Diskussion

Das kombinierte System weist energetische Vorteile auf, weil der Wärmebedarf ähnlich wie beim Referenzsystem nahezu vollständig solar gedeckt werden kann und zusätzlich elektrische Energie zur Verfügung steht. Auch wirtschaftlich ist die Ergänzung des rein solarthermischen Systems mit PV und WP interessant. Die Zusatzkosten der WP können durch Einsparungen beim Speicher und der Solaranlage, sowie durch die Erträge der Eigenstromnutzung mehr als kompensiert werden. Zudem hat auch der durch den kleineren Speicher gewonnene Raum je nach Standort und Rahmenbedingungen einen beträchtlichen Mehrwert.

5. Ausblick

Als Alternative sollen im weiteren Projektverlauf noch andere Wärmequellen sowie das Potential einer Brauchwarmwasser Wärmerückgewinnung geprüft und hinsichtlich Energie- und Kosteneffizienz mit dem Referenzszenario sowie den bereits durchgeführten Simulationen verglichen werden. Dies mit dem Ziel, das Speichervolumen noch weiter reduzieren zu können.

Anhang
Literatur/Referenzen

[1] Klein et al, S.A., 2010. *TRNSYS 17: A Transient System Simulation Program, Solar Energy Laboratory, University of Wisconsin, Madison, USA*. Available at: http://sel.me.wisc.edu/trnsys.

[2] Villasmil, W., Troxler, M., Hendry, R. & Worlitschek, J., 2019. *OPTSAIS – Exergetic and Economic Optimization of Seasonal Thermal Energy Storage Systems*. Horw, Luzern.

[3] Mojic, I., Haller, M., Zenhäusern, P., Meier, R. & Vassella, C., 2018. *Deckung des Kälte- und Wärmebedarfs mit thermischer Aktivierung der Fundamentplatte und PVT Kollektoren*. In: *20. BRENET Status-Seminar*, ETH Zürich.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

[4] Lichtensteiger, F., Ruesch, F., Battaglia, M. & Haller, M., 2020. *Vollständig solar beheizte MFH mit saisonalem Wasserspeicher, Solarthermie, PV und Wärmepumpe*. In: Kloster Banz, Bad Staffelstein, Germany, 7.

[5] Mojic, I., Luzzatto, M., Haller, M., Lehmann, M., Benz, M. & Van Velsen, S., 2018. *ImmoGap – Einfluss der Kombination aus Nutzerverhalten und Gebäudetechnik auf den Performance Gap bei Mehrfamilienhäuser*. SPF Institut für Solartechnik, Rapperswil.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Feldmessung Wärmepumpen

Manuel Prinzing, Matthias Berthold, Mick Eschmann, Ralph Kuster, Stefan Bertsch

Kontaktperson: Manuel, Prinzing, NTB Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, Werdenbergstrasse 4, 9471 Buchs, manuel.prinzing@ost.ch, www.wpz.ch

Zusammenfassung

Die seit 2016 laufende Studie im Auftrag von EnergieSchweiz umfasst mittlerweile über 20 Wärmepumpenanlagen zum Heizen und zur Warmwasserbereitung, mehrheitlich verbaut in Einfamilienhäusern. Insgesamt kann eine gute und effiziente Betriebsweise der Anlagen bestätigt werden. Auswertungen zeigen deutlich die Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (JAZ) von der Vorlauftemperatur und der gewählten Wärmequelle. Luft/Wasser-Wärmepumpen (LWWP) in Neubauten erreichen eine durchschnittliche JAZ von 3.7 mit Fussbodenheizung (35 °C), während Sole/Wasser-Wärmepumpen (SWWP) auf eine JAZ von durchschnittlich 5.7 kommen. Bei höheren Vorlauftemperaturen wie etwa 50 °C in Altbauten werden durchschnittliche JAZ-Werte von 4.4 für SWWP und etwa 2.9 für LWWP gemessen. Damit kann heute eine gut umgesetzte Wärmepumpenanlage in einem unsanierten Gebäude mit Radiatorenheizung eine bestehende fossil betriebene Heizungsanlage effizient ohne elektrischen Heizstabeinsatz ersetzen. Dennoch bleibt der um ein Vielfaches höhere Energiebedarf je Bezugsfläche gegenüber Neubauten bzw. wärmegedämmten Bestandsgebäuden frappant. Mit der langjährigen Feldmessung werden zudem verschiedene Optimierungspotentiale (Heizkurve und –grenze, Warmwasser-bereitung, Reglereinstellungen, usw.) identifiziert und nach deren Umsetzung in der Wirksamkeit analysiert. Umfangreiche Publikationen (www.wpz.ch) vertiefen die Erkenntnisse dieser Studie.

Abstract

This ongoing study commissioned by EnergieSchweiz is running since 2016 and covers more than 20 heat pump systems for heating and hot water preparation, most of which are installed in detached houses. Overall a good operating performance can be confirmed. Evaluations clearly show the dependence of the annual performance factor (SPF) on the supply temperature and the selected heat source. Air-to-water heat pumps (AWHPs) in new buildings achieve an average SPF of 3.7 with underfloor heating (35 °C), while brine-to-water heat pumps (BWHPs) achieve an average SPF of 5.7. At high flow temperatures, such as about 50 °C in old buildings, average SPF values of 4.4 for BWHPs and about 2.9 for AWHPs are measured. Thus, today a well installed heat pump system in an unrenovated building with radiator heating can efficiently replace an existing fossil fuel-fired heating system without the use of an electrical backup heater. In addition, long-term field measurements are used to identify various optimisation potentials (heating curve and limit, hot water preparation, controller settings, etc.) which then were analyzed after their implementation. Extensive publications at www.wpz.ch extend the findings of this study.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Die Anzahl von Wärmepumpen (WP) in Schweizer Haushalten für Heizung und Warmwasseraufbereitung steigt stetig. Die Zahl der in der Schweiz verkauften Wärmepumpen ist 2019 gegenüber 2018 um fast 10 % [1] und gegenüber 2017 um fast 20 % gestiegen [2]. Über 70 % der Wärmepumpen sind Luft/Wasser-Wärmepumpen (LWWP), 28 % Sole/Wasser-Wärmepumpen (SWWP) und rund 1 % sind Grundwasser-Wärmepumpen (GWWP). Fast 52 % dieser verkauften Warmwasser-Wärmepumpen liegen im Bereich zwischen 5-13 kW_{th} und 84 % liegen unter 20 kW_{th} Heizleistung [1].

Neben dem steigenden Absatz von Brauchwarmwasser-Wärmepumpen (BWWP)[1] gewinnt die Abschätzung der Feldleistung solcher Wärmepumpensysteme an Bedeutung, da die Effizienz von Wärmepumpen stark von der Integration in das Heizungssystem und den Einstellungen des Wärmepumpenreglers abhängt. Solche Leistungsunterschiede können nicht durch Messungen im Labor, sondern nur am tatsächlichen Nutzungsort ermittelt werden.

Das Wärmepumpen-Testzentrum WPZ an der Hochschule für Technik Buchs (NTB), ist eine nach EN 17025 zertifizierte Prüfstelle [3]. Es bietet einen umfassenden Prüfdienst im Bereich der Wärmepumpen- und Kältetechnik an. Zurzeit werden Feldmessungen aus der erweiterten Überwachungsperiode zwischen 2016 und 2019, die von EnergieSchweiz in Auftrag gegeben wurden, ausgewertet.

Hauptziel der Monitoring Studie ist es, auf der Basis der mehrjährig gemessenen und ausgewerteten Daten Analysen durchzuführen. Anschliessend sollen mögliche Optimierungspotenziale der Systeme identifiziert werden, welche dann umgesetzt werden können. Jährlich werden etwa fünf neue Wärmepumpen in die Messreihe aufgenommen.

Die aktuelle Wärmepumpen-Feldstudie am WPZ in Buchs verfolgt folgende Strategie [3]:

- Untersuchung der installierten Leistung von Wärmepumpensystemen im Feld
- Identifikation von Optimierungspotentialen
- Jährliche Erweiterung der Messkampagne um fünf Wärmepumpen
- Verlässliche Messdaten durch Vorkalibrierung jedes Feldmesssystems
- Aussagekräftige Messdaten durch hohe Abtastrate und genaue Messgeräte
- Umsetzung von Optimierungsvorschlägen nach zwei Jahren Aufzeichnung und Auswertung

Die laufende Studie, welche über das Jahr 2020 hinaus verlängert wurde, umfasst derzeit über 20 Wärmepumpensysteme, welche sich hauptsächlich im deutschsprachigen Mittelland der Schweiz befinden.

2. Vorgehen

2.1 Messtechnik, Datenerfassung

Im Vergleich zu den ersten in der Schweiz durchgeführten Feldmessstudien, wie z.B. die Feldanalysen von Wärmepumpenanlagen (FAWA) [4] aus den 1990er Jahren, hat sich die Messmethodik und die Datenerfassungstechnologie erheblich verändert. Dank der Digitalisierung stehen heute viel mehr Möglichkeiten zur Messdatenerfassung zur Verfügung. Durch kurze Aufzeichnungsintervalle (10 s Mittelwert der mit 100 ms Abtastrate gemessenen Werte) können zeitliche Abläufe in Wärmepumpenanlagen detailliert beschrieben werden. Basierend auf den gesammelten Datenreihen ist es auch möglich, die folgenden Prozesse genauer zu untersuchen, was früher mit manuellen Messungen (Handablesungen) nicht möglich war [3]:

- Anlaufverhalten
- Abtauungen

[1] Es wird darauf hingewiesen, dass anstelle des Begriffes «Brauchwarmwasser» im Folgenden die Bezeichnung «Warmwasser» verwendet wird.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- Taktverhalten bzw. Modulation bei leistungsvariablen Wärmepumpen
- Detaillierte Aufschlüsselung nach unterschiedlichen Nutzungsgraden
- Messung an den unterschiedlichen Systemgrenzen
- Aussagen über das Gebäude
- Einfluss der Nebenaggregate auf die Effizienz (Umwälzpumpen, Heizstäbe, usw.)

Aufgrund der kurzen Abtastzeit und der damit hochauflösenden Daten können Prozesse nicht nur energetisch, sondern auch in Bezug auf die Leistung im Zeitverlauf betrachtet werden. Die Messwerte können so einer klaren zeitlichen Abfolge zugeordnet werden. So kann beispielsweise die Effizienz der Warmwasserbereitung und der Heizbetrieb getrennt betrachtet werden. Es können auch Prozesse kategorisiert werden, bei denen der Verdichter abgeschaltet ist (Standby-Stromverbrauchsanalyse, Heizstabeinsätze, etc.) [3]. Eine solche zeitliche Differenzierung wird für die Berechnung aussagekräftiger Kennzahlen immer wichtiger. Ein weiterer Vorteil hochauflösender Daten ist die Möglichkeit, zwischen dem Heiz- und Kühlbetrieb einer Wärmepumpe zu unterscheiden. Dies ist insbesondere für SWWP-Anlagen interessant, welche im Free-Cooling die überschüssige Wärme direkt in das Erdreich abgeben können.

Thermische und elektrische Energiekennzahlen werden als numerische Integration mehrerer Leistungssensoren mit einem Abtastintervall von 100 ms gemessen, was die Erfassung schneller Änderungen im System möglich macht. Die Werte werden dann alle 10 s abgespeichert, was zu einer Mittelwertbildung von 100 Datenpunkten und einem kleinen, nicht vermeidbaren Diskretisierungsfehler führt. Dies kann zu Problemen führen, wenn sich eine Messgröße abrupt ändert. Es hat sich jedoch gezeigt, dass für die Mehrzahl der Messreihen ein Aufzeichnungsintervall von 30 s bereits ausreichend wäre, da thermodynamische Systeme eine gewisse Trägheit haben und sich daher relativ langsam ändern.

Die thermischen Leistungswerte werden nach der allgemein bekannten Methodik aus den effektiven Messgrößen Durchfluss und Temperaturdifferenz gebildet. Dabei wird der Massenstrom mithilfe eines Volumenstromsensors und einer Temperaturmessung über Volumen und Dichte bestimmt ($\rho_w=f_{(T)}$). Die Wärmeleistung wird dann wie folgt berechnet:

$$\dot{Q}_{h,i} = \dot{m}_w \cdot c_{p,w} \cdot \Delta T = \dot{V}_{w,s} \cdot \rho_w\left(T_{rücklauf}\right) \cdot c_{p,w}\left(T_{rücklauf}\right)\left(T_{vorlauf} - T_{rücklauf}\right) \quad (8)$$

In Bild 1 ist die Temperaturmessung mit zwei im Medium eingetauchten PT-100 Sensoren sowie die Volumenstrommessung mittels Ultraschallverfahren abgebildet.

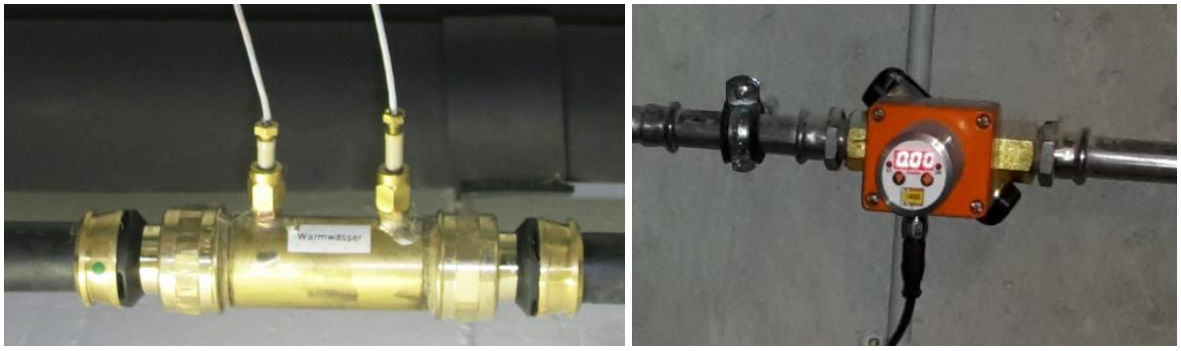


Bild 1 Links: Zweifach redundante Temperaturmessung im Medium. Rechts: Durchflussmessgerät

Auf jeder Anlage wird ein separater Schaltschrank mit einer SPS und diversen Messkarten für die Temperaturen, Volumenströme und Stromwandler für die Leistungsmessung verbaut.
Der Volumenstrom wird im Rücklauf gemessen. Die Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf wird mit zwei separaten Temperaturmessungen ermittelt. Gleichung (8) zeigt, dass die Temperaturmessungen mehrfach in die Berechnung einbezogen werden, daher hat der Messfehler der Temperaturen einen starken Einfluss auf die Gesamtmessunsicherheit der Wärmeleistung und damit auf verschiedene Leistungsfaktoren. Deshalb müssen die Temperaturmessungen möglichst

DOI 10.5281/zenodo.3900180

exakt sein. Ziel ist eine Gesamtunsicherheit der Zielwerte von <10 %. Um dieses Ziel zuverlässig zu erreichen, muss eine Messunsicherheit bei der Temperaturmessung von ± 0.1 K (absolut) und ± 0.02 K (relativ) eingehalten werden [3]. Kalibrierte PT-100-Sensoren in Vierleitertechnik werden in die Strömung eingetaucht und sind daher thermisch entkoppelt. Aus Redundanzgründen werden wichtige Temperaturpunkte doppelt gemessen. Die grundsätzliche Anordnung der wichtigsten Sensoren im System ist in Bild 2 zu sehen. Selbstverständlich kann die tatsächliche Positionierung je nach Art der WP-Anlage oder des Gebäudes leicht unterschiedlich sein [3]. Die Anzahl von bis zu 30 Messsensoren je Anlage verdeutlicht nochmals die Grösse und Komplexität jedes einzelnen Feldmessobjektes. Mit dem erwähnten Speicherintervall von 10 s ergeben sich ca. 100 Mio. Messdatenpunkte und inkl. der Berechnungen werden ca. 400 MB an Daten pro Jahr und Anlage generiert.

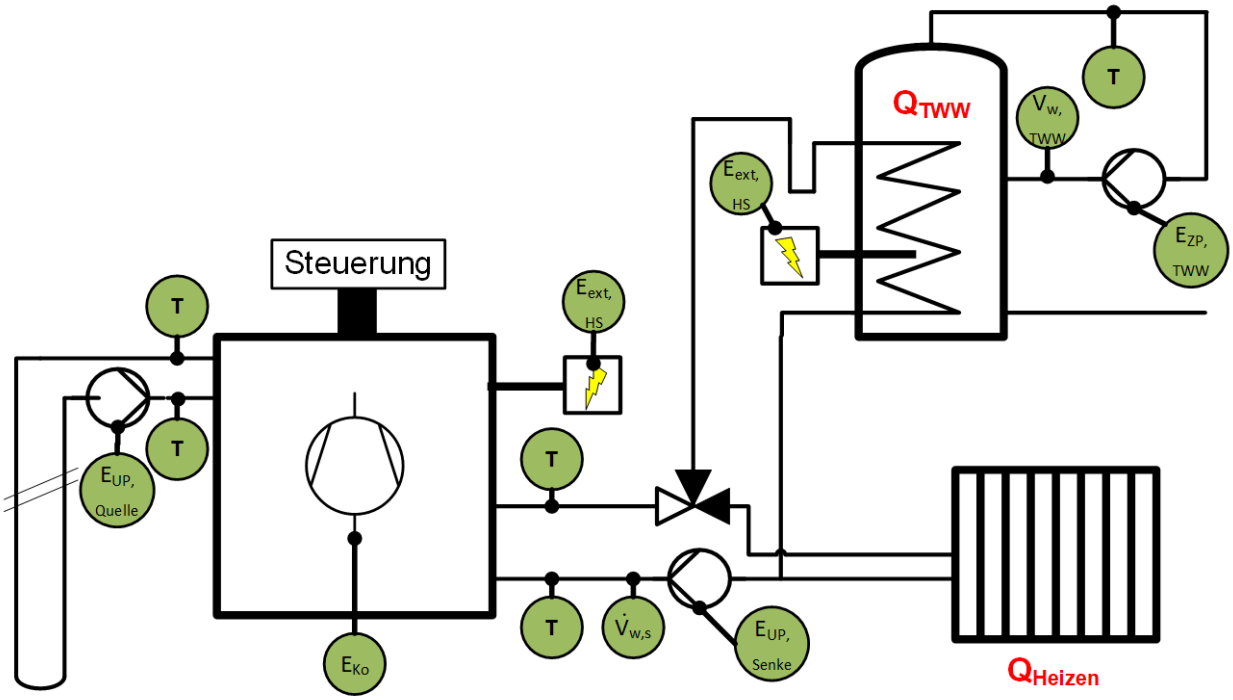


Bild 2 Übersichts-Schema Platzierung der wichtigsten Sensoren

Die Datenerfassung erfolgt vor Ort durch eine SPS, die auch einen Fernzugriff über WLAN, LAN oder GSM ermöglicht. Nach der Messung werden die Daten automatisch ausgelesen und täglich auf einem Server in der Schweiz zur Weiterverarbeitung gespeichert. Die Speicherstruktur umfasst 5 verschiedene Datenbanken und ist relational. Das heisst, jede Information wird nur einmal in einer der fünf Datenbanken gespeichert. Dies macht es sehr einfach, die Daten aktuell und konsistent zu halten [3]. Aus Datenschutzgründen erfolgt die Verknüpfung mit den Personendaten über speziell generierte ID's, wobei die Personendaten in separaten Datenbanken gespeichert werden. Das Datenbanksystem ist auch für die Auswertung von externen Messdaten ausgelegt.

2.2 Ablauf

Wie erwähnt, werden jedes Jahr etwa fünf neu installierte Wärmepumpenanlagen in die laufende Feldstudie aufgenommen. Arpagaus et al. [5] erläutert den Ablauf eines kompletten Mess- und Auswertezyklus für eine Neuinstallation einer Anlage wie folgt:

1. Bewerbung eines Kunden (der eine Wärmepumpenanlage privat installieren möchte und an einer Feldmessung interessiert ist).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2. Kalibrierung des Feldmesssytems an der Wärmepumpe, welche im WPZ in Buchs unter Laborbedingungen in Betrieb genommen und mit kalibrierten Messsystemen ausgemessen wird. Hierbei erfolgt auch der Abgleich des Feldmesssystems.
3. Vergleich der Labormessungen mit den Herstellerangaben (Datenblatt).
4. Installation der Wärmepumpenanlage und des Feldmesssystems vor Ort
5. Inbetriebnahme der Wärmepumpenanlage in Anwesenheit eines Mitarbeiters des WPZ.
6. Laufende, automatisierte Messung der Wärmepumpenanlage.
7. Vergleich und Analyse der gemessenen Daten mit Labor- und Feldmessdaten.
8. Analyse und Abschätzung des Optimierungspotentials nach zwei Jahren Messdauer
9. Umsetzung der vorgeschlagenen Optimierungsmassnahmen in Abstimmung mit dem Kunden.
10. Kontrollmessung zur Validierung der Optimierungsmassnahmen des Wärmepumpensystems.
11. Feldmessgeräte bleiben beim Kunden vor Ort und die Datenaufzeichnung wird fortgesetzt.

Unzulässige Defekte und Schwächen der Wärmepumpe selber werden in der Regel während den Labormessungen festgestellt, wobei ein Eingriff von Seiten des WPZ nur bei gravierenden Mängeln erfolgt. Es ist zu beachten, dass die Installation der Wärmepumpenanlage sowie deren Inbetriebnahme und Übergabe an den Kunden in der Verantwortung des Planungsbüros bzw. des Heizungsinstallateurs liegt. Die Mitarbeiter des WPZ koordinieren lediglich die Installation der notwendigen Sensoren und der Datenerfassung. Mögliche Fehler oder Mängel der WP-Anlagen, bei der Installation oder Inbetriebnahme, können mit Hilfe der Messdaten während der Auswertephase erkannt werden. Dem Kunden werden daraufhin geeignete Verbesserungsmassnahmen oder Optimierungen vorgeschlagen.

3. Resultate

3.1 Kennzahlen und Systemgrenzen

Leistungskennzahlen wie der COP oder die JAZ aus Wärmepumpen-Feldversuchen sind nur unter Berücksichtigung ihrer jeweiligen Systemgrenzen aussagekräftig und vergleichbar. Es muss klar definiert werden, welche Energieparameter berücksichtigt werden und wie lang der Beobachtungszeitraum ist. EnergieSchweiz legt eigene Richtlinien für Kennzahlen und Systemgrenzen fest. Diese werden vom WPZ verwendet und sind in Bezug auf die Energiekennzahlen wie folgt definiert [3]:

$$JAZ = \frac{Q_{Heizen}+Q_{Aufladung}}{E_{tot}-E_{UP,Senke}-E_{ext,HS}} \quad (1)$$

$$WNG = \frac{Q_{Heizen}+Q_{Aufladung}}{E_{tot}} \quad (2)$$

$$SNG_{TWW} = \frac{Q_{TWW}}{E_{Aufladung}} \quad (3)$$

$$QH_{HWB} = \frac{Q_{Heizen}}{EBF} \quad (4)$$

$$GWB = \frac{Q_{Heizen}+Q_{Aufladung}}{EBF} \quad (5)$$

$$TWWB = \frac{Q_{Aufladung}}{EBF} \quad (6)$$

$$\eta_{TWW} = \frac{Q_{TWW}}{Q_{Aufladung}} \quad (7)$$

Die Jahresarbeitszahl JAZ bestimmt hauptsächlich die Effizienz der Wärmepumpe. Nur die elektrische Energie des Verdichters, des Ventilators (LWWP), der Quellenpumpe (SWWP) und der Steuerelektronik der Wärmepumpe werden in dieser Kennzahl berücksichtigt. Der

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Wärmenutzungsgrad WNG umfasst zudem auch die elektrischen Energien der Wärmesenken-Umwälzpumpe und aller Zusatzheizelemente. Damit wird die Effizienz der kompletten Heizungsintegration dargestellt und mit anderen Heizsystemen vergleichbar gemacht. Der dritte Parameter, der SNG_{TWW} (Systemwirkungsgrad der Warmwassernutzung), zeigt die Warmwassereffizienz in Bezug auf die Nutzung, einschliesslich aller Speicher- und Verteilungsverluste. Darüber hinaus kann diese Kennzahl auch zur Beurteilung von BWWP verwendet werden. Der Index «Aufladung» bezieht sich dabei immer auf die Warmwasserbereitung.

Bild 3 zeigt die entsprechenden Systemgrenzen [3]. Es ist zu erkennen, dass die SEPEMO (SEasonal PErformance factor and MOnitoring) -Systemgrenzen SPF_{H1} und SPF_{H2} mit dem COP respektive der JAZ gemäss EnergieSchweiz übereinstimmen. Diese harmonisierten Systemgrenzen wurden innerhalb des SEPEMO Projekts 2011 [6] eingeführt und von vielen europäischen Feldmessstudien verwendet [7]. Der SPF_{H3} beinhaltet jedoch nicht wie der WNG die Umwälzpumpe und die Zusatzheizung des Warmwasserspeichers [8]. Im Gegensatz zur äusseren Grenze SNG_{TWW} umfasst der SPF_{H4} das gesamte WP-System mit Warmwasser- und Heizungspeicher und ist deshalb im untenstehenden Schema nicht enthalten.

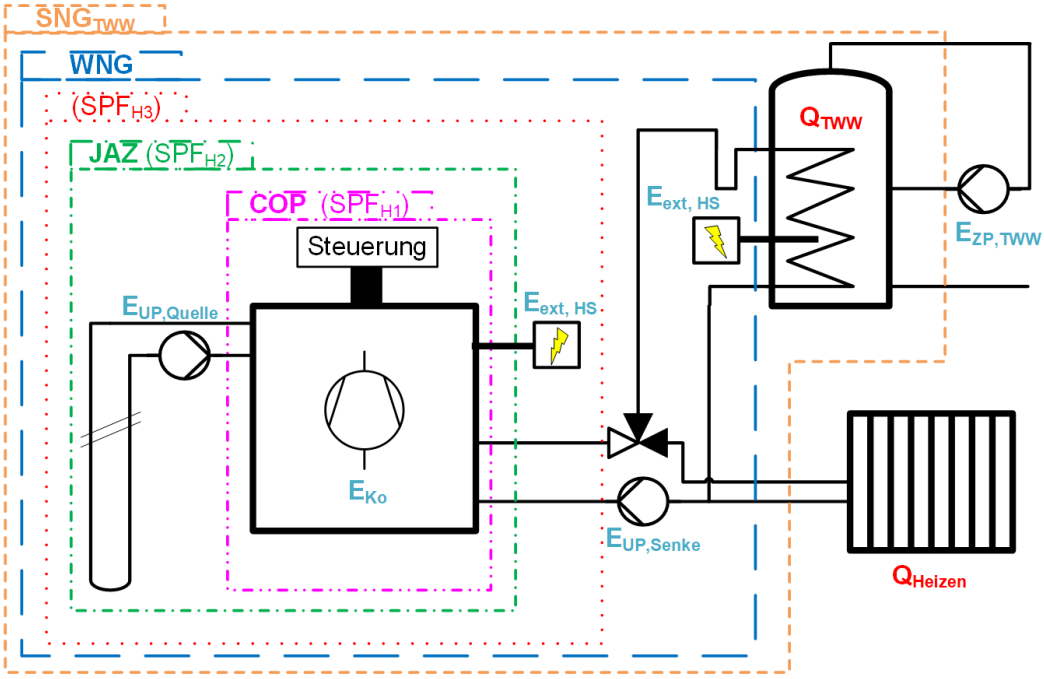


Bild 3 Schema Systemgrenzen

Die Warmwassernutzung wird über den Warmwasserwärmebedarf TWWB pro Gebäude eingestuft. Der Einfluss des Gebäudes selbst bzw. um das Nutzerverhalten und die Gebäudelage zu beurteilen, werden die Kennwerte QH_{HWB} und GWB ermittelt und dargestellt. Da jedoch für keines der untersuchten Objekte die Innenraumtemperatur erfasst wird, ist die Ermittlung der Nutzereinflüsse begrenzt.

3.2 Überblick Ergebnisse der Feldmessungen 2017-2019

Die in diesem Abschnitt vorgestellten Ergebnisse umfassen Messungen, die in der Heizperiode 2017/18 bzw. 2018/19 (zwei Jahre) durchgeführt wurden [4] [3]. Insgesamt wurden im Rahmen der aktuellen Studie 13 Wärmepumpen in Einfamilienhäusern analysiert und verglichen, von denen 7 Luft/Wasser-Wärmepumpen (LWWP) und 6 Sole/Wasser-Wärmepumpen (SWWP) mit vertikalen Bohrungen sind. Insgesamt werden 9 von 13 Wärmepumpen mit drehzahlvariablen Verdichtern betrieben. Alle untersuchten Anlagen entsprechen Standardinstallationen, die noch nicht auf der Grundlage dieser Feldstudien optimiert wurden.

Bild 4 zeigt den Zusammenhang zwischen der Jahresarbeitszahl (JAZ) und verschiedenen Auslegetemperaturen [3]. Die Daten werden in Abhängigkeit von der an der Wärmepumpe

DOI 10.5281/zenodo.3900180

voreingestellten Heizkurve angezeigt. Es ist zu erkennen, dass SWWP in Neubauten (Vorlauftemperatur von unter 35 °C im Auslegungspunkt) im reinen Heizbetrieb eine JAZ von mehr als 6 erreichen. In Kombination mit der Warmwasserbereitung (Aufladung) sinkt die JAZ auf ca. 5.2. Dagegen erreichen LWWP eine JAZ von ca. 4.0 beim Heizen und 3.7 für Heizen und Warmwassererzeugung. Erwartungsgemäss sinkt der Wirkungsgrad mit höheren Vorlauftemperaturen. Insbesondere sanierte Gebäude benötigen aufgrund ihrer Radiatorheizungen höhere Vorlauftemperaturen. Mit einer JAZ von über 4.0 sind SWWP-Systeme jedoch immer noch sehr gut für sanierte Gebäude mit erhöhter Vorlauftemperatur geeignet. Selbst im Vergleich zu modernen drehzahlvariablen LWWP weisen SWWP noch einen deutlichen Effizienzvorteil von ca. 30 % auf.

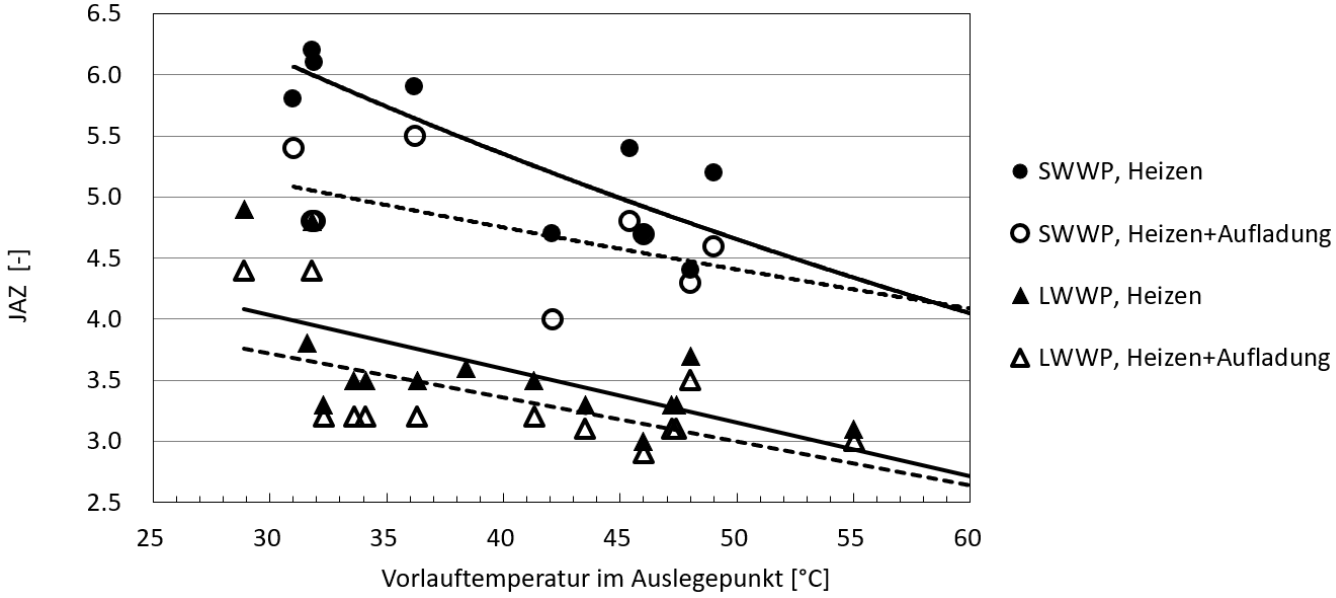


Bild 4 Jahresarbeitszahl versus Vorlauftemperatur im Auslegepunkt

Eine Zusammenfassung der gemessenen Jahresarbeitszahlen (JAZ) von LWWP und SWWP je nach Gebäudeart ist in Tabelle 1 dargestellt [3]:

Vorlauftemperatur im Auslegepunkt	35 bis 30°C (Neubau)	45 bis 40°C (Sanierung)	55 bis 50°C (Altbau)
Heizen LWWP	3.7	3.3	2.9
Heizen SWWP	5.7	5.0	4.4
Heizen + Aufladung LWWP	3.5	3.1	2.8
Heizen + Aufladung SWWP	4.9	4.6	4.3

Tabelle 1: Jahresarbeitszahlen nach Gebäudeart

Wie bereits erwähnt, ist es in der Praxis unerlässlich beim Abgleich von Systemen vergleichbare Systemgrenzen zu verwenden. Insbesondere bei der Warmwasserbereitung (Aufladung) lassen sich erhebliche Unterschiede zwischen der Effizienz der Wärmeerzeugung und der tatsächlich genutzten Wärme feststellen. Dies ist zum Teil durch den Einsatz von elektrischen Heizelementen (z.B. Legionellenprogramm), vor allem aber durch Verteilverluste mittels Zirkulation und Speicherverlusten bedingt. In Bild *5* ist der Vergleich der mittleren Jahresarbeitszahl (JAZ), des Wärmenutzungsgrads (WNG) für die Warmwasserbereitung (Aufladung) sowie des Systemnutzungsgrads (SNGTWW) zusammenfassend für alle gemessene SWWP- und LWWP-Anlagen zu sehen [3].

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Der Wirkungsgrad der Warmwasserbereitung ist aufgrund der höheren Senkentemperaturen 17.5 % bis 19 % niedriger als der Gesamtwirkungsgrad für Heizung und Warmwasserbereitung. Für SWWP ist dieser Unterschied aufgrund der niedrigeren Quelltemperaturen im Vergleich zu LWWP im Sommer viel größer (28 % bis 35 %) [3].

Bemerkenswert ist auch, dass der «WNG» um 0.2 oder 0.3 Punkte niedriger ist als die JAZ (ausser bei der Aufladung der SWWP mit 0.5). Dies ist hauptsächlich auf die elektrischen Heizelemente (Legionellenprogramm) und die Senkenpumpe der WP zurückzuführen.

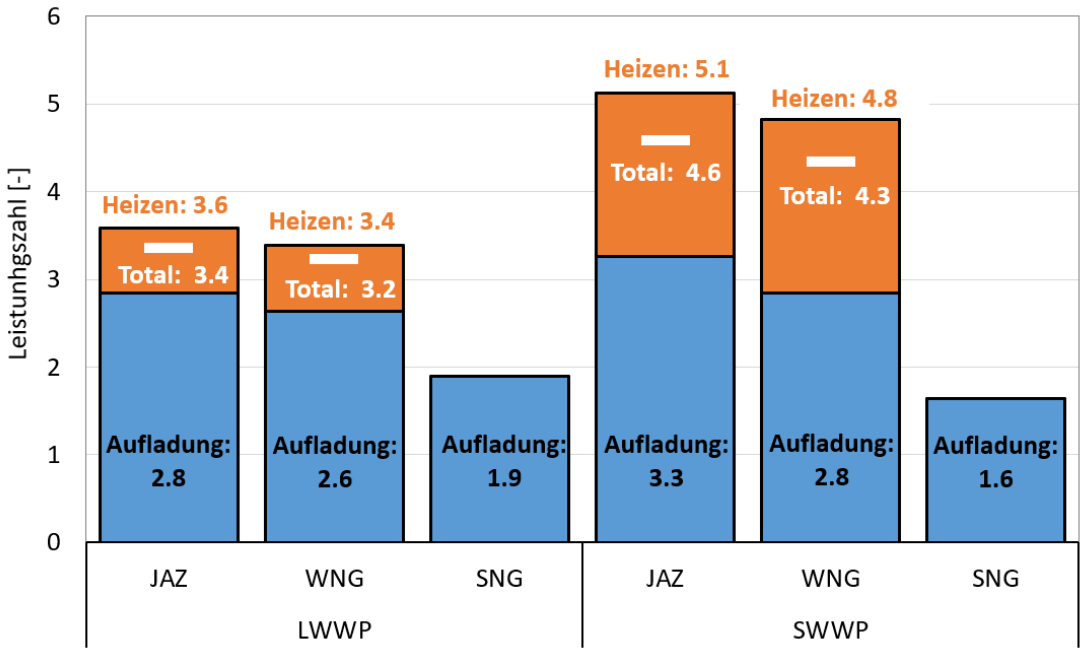


Bild 5 Diagramm Übersicht Leistungszahlen

Bei keiner der im Untersuchungszeitraum analysierten Wärmepumpen musste ein elektrisches Heizelement zur Unterstützung des Heizsystems eingesetzt werden. Dies gilt auch für die Kälteperioden Ende Februar/Anfang März 2018, in denen die durchschnittlichen Aussentemperaturen zwischen -6 bis -9 °C und damit bis zu 2 K unter der Auslegungstemperatur lagen [3]. Bei einzelnen (nicht modulierenden) Anlagen war der Verdichter dabei bis zu 24 h in Betrieb, wovon 20 h auf den Heizbetrieb entfielen, wobei der Abtauanteil (mit Verdichter) lediglich ca. 3 % betrug.

Der Systemnutzungsgrad (SNG_{TWW}) wird nur für die Warmwasserbereitung bestimmt und ist deutlich niedriger als der WNG. Dies wird vor allem durch Speicherverluste, insbesondere bei Gebäuden mit geringem Warmwasserbedarf, verursacht. Bei Einfamilienhäusern leidet die Gesamteffizienz des Systems insbesondere dann, wenn eine Warmwasserzirkulation zur Erwärmung der Verteilungsleitungen eingesetzt wird. Eine Warmwasserzirkulation ist aus energetischer Sicht daher nicht zu empfehlen.

3.3 Warmwasserbereitung, Nebenaggregate und Optimierungen

Die Warmwasserbereitung bekommt durch die stetige Verbesserung der Bausubstanz (Dämmung) ein immer grösseres Gewicht gegenüber dem Heizbetrieb einer WP-Anlage. Daher werden ihre Teilaspekte (auch in Bezug auf die Kennzahlen) im Folgenden genauer erläutert.

Einerseits wird das Brauchwasser durch die Wärmepumpe erwärmt. Das Verhältnis dieser Wärmemenge zur benötigten elektrischen Energie für Verdichter und Umwälzpumpen wird als Jahresarbeitszahl JAZ bezeichnet. Da einige Wärmepumpen Temperaturen von 60 °C nur knapp erreichen können, wird in vielen Fällen zur Durchführung des Legionellenprogramms ein elektrischer Heizstab eingesetzt. Dieser zusätzliche elektrische Energieaufwand ist im Wärmenutzungsgrad WNG enthalten, der somit tiefer als die JAZ liegt.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Schlussendlich kann aber auch die Wärmeenergie des bezogenen Warmwassers ins Verhältnis zum gesamten Strombedarf gestellt werden. Daraus berechnet sich der Systemnutzungsgrad SNG_{TWW}. In dieser Kennzahl ist somit neben dem Einfluss von Wärmepumpe und Heizstab auch die Güte des Speichers und einer eventuellen Warmwasserzirkulation enthalten. Bild 6 zeigt diese drei Kenngrössen für mehrere Wärmepumpen Anlagen in Einfamilienhäusern [3]. Es ist zu erkennen, dass die JAZ bei Luft/Wasser-Wärmepumpen für die Warmwasserbereitung bei knapp 3.0 liegt. Die Aufwände für den elektrischen Heizstab sind meistens klein und führen zu einem Wärmenutzungsgrad der um ca. 0.2 unter der Jahresarbeitszahl liegt. Bei Sole/Wasser - Wärmepumpen wird im Schnitt eine höhere Jahresarbeitszahl von 3.5 erreicht. Der Wärmenutzungsgrad ist jedoch auf demselben Niveau wie bei Luft/Wasser-Wärmepumpen. Der Grund dafür liegt vor allem im häufigeren Einsatz des Heizstabes für die Legionellenschaltung.

Der Systemnutzungsgrad liegt sowohl bei Luft/Wasser- als auch bei Sole/Wasser-Wärmepumpen signifikant tiefer. Hierfür gibt es verschiedene Gründe.

Typ	Anlage	Eigenschaften	JAZ	WNG	SNG_{TWW}	Vol. [m^3]	Temp [°C]	Heizstab
SWWP	D	S, d, Zirk	4.38	4.06	0.25	5	38	5%
	I	S, d	3.39	2.84	1.78	26	48	22%
	F	S, fix	3.24	2.63	1.58	39	55	25%
	B	N, d, Zirk	3.07	2.90	1.59	62	46	2%
LWWP	K	S, d, FWS	3.43	3.32	2.17	39	40	0%
	C	S, d	2.99	2.93	2.32	79	55	0%
	E	N, fix	2.82	2.70	2.13	66	49	16%
	A	N, fix	2.81	2.77	2.42	94	49	0%
	M	S, d	2.68	2.00	1.33	27	49	48%
	L	S, d	2.67	2.52	1.36	54	49	8%
	H	S, fix	2.52	2.22	1.53	45	50	19%
BWWP	J	S, Aussenluft	*nicht messbar*		1.25	50	56	74%
	G	S, Keller	*nicht messbar*		2.28	44	51	0%

Bild 6 *Periode 09/2018-08/2019 Effizienzwerte für die Warmwasserbereitung (S = Sanierung, N = Neubau, fix = on/off Verdichter, d = drehzahlregulierter Verdichter, Zirk = Zirkulationsleitung, FWS = Frischwasserstation, Vol. = Bezogene Warmwassermenge in der Periode, Temp.= Gemittelte Vorlauftemperatur während des Bezugs, Heizstab = Anteil des Heizstabs am Gesamtstrombezug für die Warmwassererzeugung)*

Die SWWP-Anlage D in der obersten, grün markierten Zeile von Bild 6 zeigt beispielsweise gut, wie sich eine Warmwasserzirkulation auf den Systemnutzungsgrad auswirken kann. Durch das permanente Umwälzen von Warmwasser kühlt sich der Speicher rasch ab und reduziert die Effizienz der Anlage signifikant (SNG_{TWW} deutlich unter 1, obwohl der WNG grösser 4 und der Heizstabanteil klein ist) [3]. Wie angemerkt, ist eine Zirkulation des Warmwassers wenn immer möglich zu vermeiden. Dies kann zum Beispiel durch kurze Ausstossleitungen erreicht werden.

Weiter kann sich auch eine geringe Warmwasserbezugsmenge negativ auf den SNG_{TWW} auswirken, was ebenfalls bei der Anlage D beobachtet werden kann ($Vol. \approx 5\ m^3$). Dabei ist die bezogene Wärmemenge im Verhältnis zu den Wärmeverlusten des Speichers klein. Ein ähnliches Bild zeigt sich auch bei der LWWP-Anlage M mit einem Warmwasserbezug ($Vol. \approx 27\ m^3$) [3]. Deshalb ist eine Beurteilung nur mit dem Systemnutzungsgrad mit Vorsicht zu betrachten, wenn die bezogene Warmwassermenge massiv unter der Auslegeleistung liegt.

Bei den letzten beiden Anlagen (J, G) in Bild 6 handelt es sich um Wärmepumpenboiler-Anlagen (BWWP), bei denen systemintern keine Wärmeströme gemessen werden können. Daher ist auch nur der Systemnutzungsgrad angegeben. Beim BWWP J mit direkter Aussenluftansaugung kam es zu einem Verdichterschaden, sodass die Anlage lange Zeit nur mit dem elektrischen Heizstab betrieben worden ist. Bei der Anlage G handelt es sich um eine kelleraufgestellte Version. Aufgrund

DOI 10.5281/zenodo.3900180

der warmen Kellerlufttemperatur als Quelle resultiert ein hoher Systemnutzungsgrad. Sehr positiv wirkt sich bei BWWP generell die kleine Leistung bei der Aufladung aus, die zu geringen Temperaturdifferenzen im System führt.

3.4 Energiebedarf im Jahresüberblick

Optimierungsmassnahmen können nebst der täglichen Betrachtung auch aus dem Jahresverlauf bzw. dem Verlauf der Heizsaison abgeleitet werden.
Bild 7 zeigt die aufgewendeten thermischen Energien (Wärme) zum Heizen und zur Warmwasserbereitung eines Sanierungsobjekts (Haushalt mit ca. 6 Personen) aus dem Jahr 2017. Da es sich um eine LWWP handelt ist der Einfluss der Aussentemperatur auf die Effizienz (JAZ) gut erkennbar. Auffallend ist der hohe Heizenergieanteil im Vergleich zur Warmwasserbereitung, weshalb klar ist, dass sich eine Optimierung letzterer kaum lohnt. Dagegen ist auch deutlich erkennbar, dass in den Sommermonaten Juni-August geheizt wurde. Hier konnte dank einer Anpassung der Heizkurve und der Heizgrenze mit wenig Aufwand eine Senkung der Vorlauftemperatur um über 10 K erreicht werden. Dies führte zu einer Steigerung der JAZ=2.7 (2017) auf JAZ =3.4 im folgenden Jahr (2018) [3], also um 25%, worin die klimatischen Einflüsse mitberücksichtigt sind (milderer Winter).

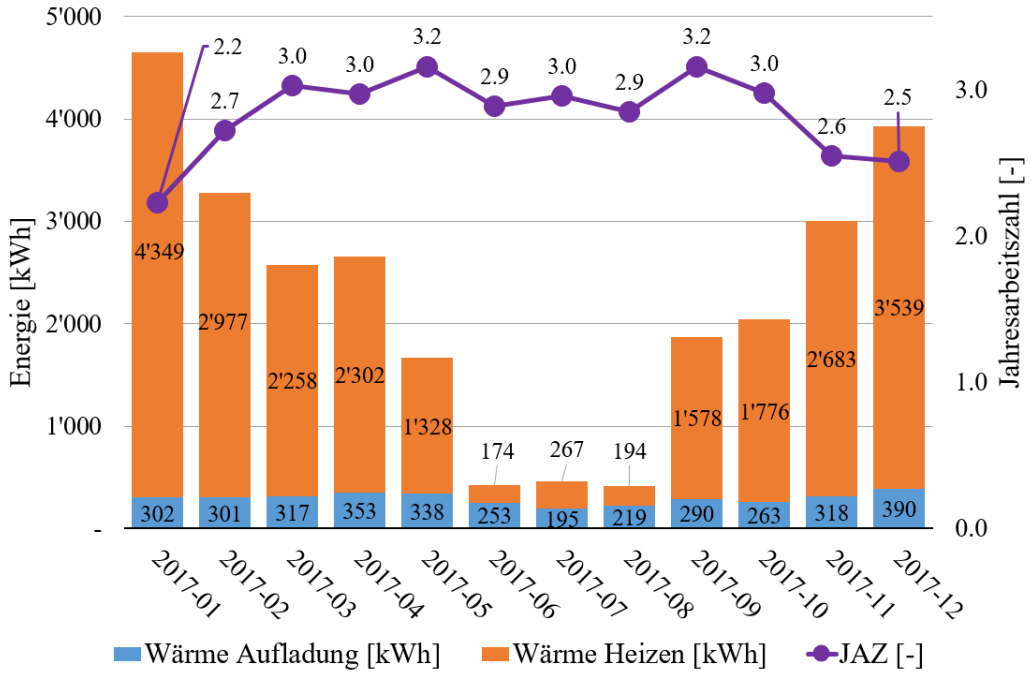


Bild 7 Jahresverlauf der thermische Energien und der JAZ einer Luft/Wasser-Wärmepumpenanlage

Die Darstellung des gewichteten Heizenergieanteils nach mittlerer Tagesaussentemperatur zeigt Bild 8. Hierbei ist deutlich zu erkennen, dass der grösste Heizenergiebedarf bei eher milden Wintertagen zwischen 2 und 8 °C auftritt. Zusätzlich ist die Effizienz der Luft/Wasser-Wärmepumpe als JAZ und die gelieferte Vorlauftemperatur für eine Radiatorenheizung abgebildet.

Um bei kalter Witterung die Wohntemperatur zu gewährleisten, muss die Vorlauftemperatur für die Radiatoren kontinuierlich mit kälterer Aussentemperatur erhöht werden. Dies kann man deutlich an dieser gemessenen orangen Kurve, welche auch als Heizkurve bezeichnet wird, erkennen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

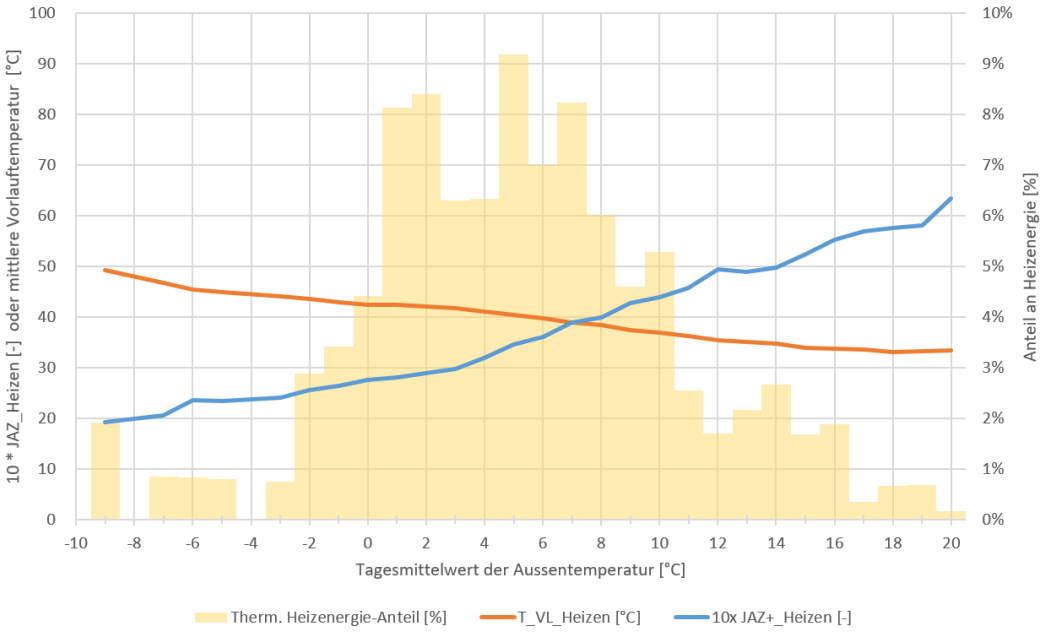


Bild 8 Gewichteter thermischer Heizenergieanteil, zugehörige Vorlauftemperatur und JAZ nach mittlerer Tagesaussentemperatur

Betrachtet man nun aber die die Effizienz einer LWWP, so nimmt diese mit der Aussentemperatur an kalten Wintertagen rapide ab. Aufgrund der Energiemengenverteilung ist es jedoch wichtig, dass die Anlage vor allem an milden Wintertagen effizient läuft, da hier die meiste Energie benötigt wird. Die gemessene Jahresarbeitszahl dieser Anlage beträgt für den Heizbetrieb 3.3. Eine verminderte Effizienz oder möglicher kurzer Einsatz eines Heizstabes zur Nachheizung bei extremer Kälte ist in der Jahresbilanz unbedeutend. Ein elektrisches Zuheizen mittels Heizstab aufgrund ungenügender Leistung konnte im gesamten Verlauf der Feldmessung noch bei keiner Anlage festgestellt werden.

4. Diskussion

Die sorgfältige Definition von Kennzahlen und insbesondere deren Systemgrenzen sind Grundvoraussetzung für aussagekräftige Ergebnisse von Feldmessstudien, wie sie zurzeit am Wärmepumpen-Testzentrum WPZ in Buchs durchgeführt werden.

Durch die Aufzeichnung von Leistungswerten anstelle von Energiewerten sind detaillierte Analysen von zeitlichen Abläufen möglich. Dies erfordert kurze Abtastintervalle (<30 s), um dynamische Prozesse adäquat abzubilden.

Der Messung der Temperatur wird wegen ihres starken Einflusses auf die Gesamtunsicherheit grosse Bedeutung beigemessen. Daher werden die Vor- und Rücklauftemperaturen mit einer Unsicherheit von ± 0.1K / ± 0,02 K (absolut/relativ) mit PT-100-Sensoren in Vierleitertechnik gemessen. Zusammen mit der vorherigen Kalibrierung der gesamten Feldmesseinrichtung im Labor wird eine Gesamtunsicherheit der Zielwerte (z.B. COP, JAZ) von <10 % erreicht. Natürlich erfordern diese Messgenauigkeiten eine entsprechend komplexe Messeinrichtung.

Die aktuelle Studie, die inzwischen über 20 Wärmepumpen-Anlagen im Feld umfasst, zeigt deutlich die starke Abhängigkeit der Jahresarbeitszahl (JAZ) von der Vorlauftemperatur und der gewählten Wärmequelle. Daher erreichen Luft/Wasser-Wärmepumpen in Neubauten eine durchschnittliche JAZ von 3.7 im Heizbetrieb mit Fussbodenheizung (35 °C), während Sole/Wasser-Wärmepumpen auf eine JAZ von durchschnittlich 5.7 kommen. Bei höheren Vorlauftemperaturen wie etwa 50 °C in Altbauten werden durchschnittliche JAZ-Werte von etwa 2.9 für LWWP und 4.4 für SWWP gemessen.

Kombinierte Systeme für Heizen und Warmwasserbereitung weisen aufgrund der erhöhten Vorlauftemperaturen um 3 bis 9 % niedrigere Gesamtleistungszahlen (z.B. JAZ) auf.

Weiter sind bei der Warmwasserbereitung vor allem die Warmwasserzirkulation und ein sehr tiefer Warmwasserbezugswert als mindernde Faktoren auf den Systemnutzungsgrad zu nennen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Nach einem Untersuchungszeitraum von mehr als einer Heizperiode wurden verschiedene Optimierungspotenziale identifiziert, wie z.B. intelligente Heizkurven oder das Legionellenprogramm mit Ansteuerung durch die Wärmepumpe. Durch Anpassung der Heizkurve mittels einfacher Einstellungen am Regler konnte die Jahresarbeitszahl teilweise um 10-20 % gesteigert werden. Typische Optimierungsmassnahmen sind:

- Anpassung der Heizkurve und der Heizgrenze
- Ladezeit der Warmwasserbereitung am Mittag bei Luft/Wasser-Wärmepumpen
- Vorwärmung des Warmwassers mit dem Verdichter (vor Legionellenprogramm)
- Verbesserte Effizienz durch reduzierte Leistung des Verdichters (drehzahlvariabel) bei der Warmwasserbereitung

Im Bereich von sanierten Gebäuden werden vor allem Sole/Wasser-Wärmepumpen empfohlen. Die aktuelle Feldstudie zeigt, dass die untersuchten Wärmepumpen insgesamt gut funktionieren und eine zuvor bestehende, fossil betriebene Heizungsanlage effizient ersetzen können. Dennoch gibt es weiteres Verbesserungspotential, insbesondere bei der Warmwasserbereitung und der Reglereinstellung.

5. Ausblick

Mit der laufenden Studie und einer zunehmenden Anzahl an Feldmessobjekten und Messsaisonen können noch weitere Detailanalysen wie z.B. die Warmwasserbereitung, das Temperaturverhalten der Erdsonden, die Leistungsmodulation von leistungsgeregelten Wärmepumpen, etc. untersucht werden. Seit 2020 werden nun auch kleinere Mehrfamilienhäuser in die Feldmessung mit aufgenommen. Dadurch soll auch analysiert werden, wie gut grössere Wärmepumpenanlagen funktionieren und welche Unterschiede sowie Herausforderungen gegenüber den bereits etablierten Kleinanlagen bestehen. Des Weiteren werden die aufgedeckten und umgesetzten Optimierungspotentiale in ihrer Wirkung betrachtet und bewertet. Die Erkenntnisse der umfangreichen Feldmessstudie werden laufend in weiteren Publikationen in Form von Jahresberichten oder auch Artikeln in Fachzeitschriften publiziert. Eine Auflistung ist unter www.wpz.ch abrufbar.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Nomenklatur

BFE	Bundesamt für Energie	
BWWP	Brauchwarmwasser-Wärmepumpe	
COP	Coefficient of performance (Leistungszahl)	[-]
$c_{p,w}$	Sepzifische Wärmekapazität Wasser	[J/kg-K]
$E_{Aufladung}$	Elektrische Aufnahmeenergie im Aufladebetrieb	[kWh]
EBF	Energiebezugsfläche des Gebäudes	[m^2]
$E_{ext,HS}$	Elektrische Aufnahmeenergie externer Heizstäbe	[kWh]
E_{Ko}	Elektrische Aufnahmeenergie Verdichter	[kWh]
E_{tot}	Gesamte elektrische Aufnahmeenergie des WP-Systems	[kWh]
E_{TWW}	Elektrische Aufnahmeenergie des WP-Systems bei Aufladung	[kWh]
$E_{UP,Quelle}$	Elektrische Aufnahmeenergie Umwälzpumpe Quelle	[kWh]
$E_{UP,Senke}$	Elektrische Aufnahmeenergie Umwälzpumpe Senke	[kWh]
$E_{ZP,TWW}$	Elektrische Aufnahmeenergie Zirkulationspumpe TWW	[kWh]
FAWA	Feldanalyse von Wärmepumpenanlagen (Feldmessungsstudie CH)	
FWS	Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz	
GSM	Global System for Mobile communications	
GWB	Gesamtwärmebedarf	[kWh/m^2]
GWWP	Grundwasser/Wasser Wärmepumpe	
$HGT_{20,12}$	Heizgradtage 20, 12 °C (Heizgrenze) für Neubauten	[°C]
$HGT_{20,16}$	Heizgradtage 20, 16 °C (Heizgrenze) für Sanierungen	[°C]
ID	Identifikator	
JAZ	Jahresarbeitszahl gemäss der Definition vom BFE	[-]
LAN/WLAN	Local Area Network/Wireless Local Area Network	
LWWP	Luft/Wasser Wärmepumpe	
$\dot{m}_w$	Massenstrom wasserseitig	[kg/s]
NTB	Interstaatliche Hochschule für Technik Buchs, SG	
$Q_{Aufladung}$	Wärmeenergie im Aufladebetrieb (Warmwasserbereitung)	[kWh]
QH_{HWB}	Heizwärmebedarf	[kWh/m^2]
Q_{Heizen}	Wärmeenergie im Heizbetrieb	[kWh]
Q_{TWW}	Wärmeenergie der Warmwassernutzung	[kWh]
$\dot{Q}_{h,i}$	Thermische Energie, i	[kW$_{th}$]
SEPEMO	SEasonal PErformance factor and Monitoring	
SNG_{TWW}	Systemnutzungsgrad gemäss der Definition vom BFE	[-]
$SPF_{H1\text{-}H4}$	Seasonal performance factors nach SEPEMO Definition	[-]
SPS	Speicherprogrammierbare Steuerung	
SWWP	Sole/Wasser Wärmepumpe	
$T_{rücklauf}$	Rücklauftemperatur	[°C]
$T_{vorlauf}$	Vorlauftemperatur	[°C]
TWW	Warmwasser	
$TWWB$	Warmwasser-Wärmebedarf	[kWh/m^2]
$\dot{V}_w$	Volumenstrom Wasserseitig	[m^3/s]
WNG	Wärmenutzungsgrad gemäss der Definition vom BFE	[-]
WP	Wärmepumpe	
WPZ	Wärmepumpen Test Zentrum in Buchs, SG	
η_{TWW}	Wirkungsgrad der Warmwassernutzung	[-]
$\rho_w(T)$	Dichte von Wasser (Temperaturabhängig)	[kg/m^3]
ΔT	Temperatur-Differenz	[K]

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literatur/Referenzen

[1] Fachvereinigung Wärmepumpen FWS, «Statistik 2018,» FWS, Bern, 2019.

[2] Fachvereinigung Wärmepumpen FWS, «Statistik 2017,» FWS, Bern, 2018.

[3] M. Prinzing, M. Berthold und M. Eschmann, «Jahresbericht WP-Feldmessung 2018,» EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie Schweiz, Ittigen, Bern, 2019.

[4] M. Erb, P. Hubacher und M. Ehrbar, «FAWA Feldanalyse von Wärmepumenanlagen,» BFE, Bundesamt für Energie, 2004.

[5] C. Arpagaus, M. Berthold und M. Eschmann , «Jahresbericht WP-Feldmessung 2017,» EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie Schweiz, Ittigen, Bern, 2018.

[6] “SEPEMO-Build”, SEPEMO, 31 May 2012. [Online]. Available: http://sepemo.ehpa.org/. [Accessed 30 September 2019].

[7] C. P. Gleeson und R. Lowe, «Meta-analysis of European heat pump field trial efficiencies,» Elsevier, London, 2013.

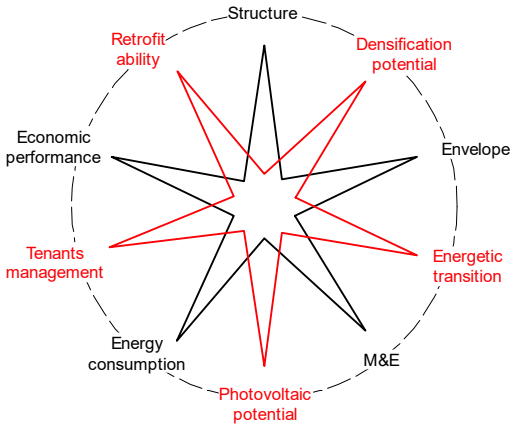
[8] R. Nordman, K. Andersson, M. Axell und M. Lindahl, «Calculation methods for SPF for heat pump systems for comparison, system choice and dimensioning,» Technical Research Institute of Sweden, Sweden, 2010.

Danksagung

Die in diesem Bericht veröffentlichten Ergebnisse wurden in enger Zusammenarbeit mit EnergieSchweiz erzielt und finanziert. Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen dieses Berichts sind allein die Autoren verantwortlich.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Real Estate portfolio steering tool development for a public foundation in canton Geneva



Authors : Lionel Rinquet, HES-SO, HEPIA, Geneva. Co-authors : Alberto Susini, Fondation communale de Versoix, Victor Guillot, HES-SO, HEPIA, Geneva

Contact : Prof. Lionel Rinquet HES-SO, HEPIA, Geneva, lionel.rinquet@hesge.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Ziel des Projekts ist es, ein einfaches und multikriterielles Verwaltungsinstrument für Immobilienbesitzer anzubieten, die einen Renovierungsprozess für ihre Gebäude einleiten möchten.
Das auf einer Excel-Datenbank entwickelte, völlig transparente und leicht zu bedienende Steuerungsinstrument ermöglicht es, Prioritäten für Sanierungseingriffe nach Zustandskriterien (Veralterung der Struktur, der Hülle und der technischen Anlagen, Energieverbrauch und wirtschaftliche Leistung) und Potenzialen (Eignung für die Sanierung, Verdichtungspotenzial, Eignung für den Energieübergang, Solarpotenzial und Verwaltung der Bewohner) zu setzen.
Das Instrument schlägt dann vier strategische Optionen vor (Energie, einfache Intervention, finanzielle Effizienz, Veralterung), die so gewichtet werden können, dass sie den spezifischen Prioritäten jedes Eigentümers am besten entsprechen, und schließlich eine Liste von Prioritäten für Interventionen in der Größenordnung des untersuchten Gebäudebestands.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Le but du projet est de proposer un outil de pilotage simple et multicritères à destination des propriétaires de parc immobilier souhaitant initier une démarche de rénovation de leurs immeubles.
Développé sur une base Excel, totalement transparent et simple d'utilisation, l'outil de pilotage permet de fixer des priorités d'intervention en rénovation d'après des critères d'état (vétusté de la structure, de l'enveloppe et des installations techniques, consommations d'énergie et performance économique) et de potentiel (aptitude à la rénovation, potentiel de densification, aptitude à la transition énergétique, potentiel solaire et gestion des occupants).
L'outil propose ensuite quatre options stratégiques (énergie, facilité d'intervention, rendement, vétusté), qui peuvent être pondérées pour correspondre au mieux aux priorités propres à chaque propriétaire, et finalement une liste de priorités d'intervention à l'échelle du parc immobilier étudié.

The aim of the project is to offer a simple and multi-criterion steering tool for property owners wishing to initiate a renovation process for their buildings.
Developed on a Excel basis, totally transparent and of simple use, the steering tool allows to set priorities for renovation intervention according to criteria of condition (obsolescence of the structure, envelope and technical installations, energy consumption and economic performance) and potential (suitability for renovation, densification potential, suitability for energy transition, solar potential and occupant management).
The tool then proposes four strategic options (energy, ease of intervention, efficiency, obsolescence), which can be weighted to best correspond to each owner's specific priorities, and finally a list of priorities for intervention at the scale of the building stock studied.

1. Scope

Existing building stock accounts for 40% of the total energy consumption in Switzerland. Many owners, especially real estate portfolio owners, are aware that their buildings have significant energy-saving potential.

The Fondation communale de Versoix – Samuel May (hereafter the Foundation) board recognised this fact and invited the leea (laboratory energy environment and architecture) of HEPIA (Geneva branch of the Western Switzerland university of applied sciences) to propose solutions to help to set priorities for intervention in renovation works indented to improve the energetic performance of its properties.

The Foundation, based in Versoix, canton Geneva, owns about twenty buildings in Versoix, mainly collective housing with some commercial activities, but very eclectic, with several buildings in need for refurbishment. Like many public owned foundations in Switzerland, the Foundation is run by a "militia" foundation board, made up of members chosen on a political base in which each political party present in the Municipal council is represented by a member, whose experience in the real estate and construction fields can be very varied. On the operational level for the every day business, the Foundation is run by a permanent set of two collaborators under the supervision of its president and co-president. A property management agency is contracted by the foundation to handle the relations with the tenants and their daily needs.

For the Foundation board, setting priorities for action is not straightforward, because i) decision making is a collective process and board members come from various backgrounds and politic parties ii) until now decisions were made on a opportunistic "piecemeal" basis iii) decisions cannot

DOI 10.5281/zenodo.3900180

be based on sole criterion (energy for instance), the approach has to be multi-criteria, with sometimes unclear views on all implications.

A simple steering tool that can be adapted to the circumstances would therefore prove to be very valuable in identifying priorities for action and launch the reflexion about renovation and energy transition throughout a building stock, at an early stage in the decision process and with a broad and coherent vision of the state and potential of the portfolio.

Tools to produce technical and energy consumption diagnostics of a building by qualified professionals already exist. The idea of the project was to go beyond such diagnose in three ways:

- The owner does not only need buildings diagnostics. He requires a steering tool to set priorities amongst some 20 buildings, and to draw a long-term plan for the refurbishment of his portfolio, taking advantage of the synergies that can emerge form a global overview.
- Technical obsolescence and energy consumption are part of the criteria to set priorities, but decision making should include other aspects (economic, legal, human factors, etc.).
- The owner must be in full control of the tool. It has to be simple, transparent and he should be able to use it without the need for external experts.

Figure 1 : exemple of buildings part of the Foundation portfolio, showing ist diversity

2. Methods

The work was divided in three steps:

- Development of the multi criteria steering tool
- Data collection
- Option weight and priority setting applied to the building stock

The first step consisted in establishing which decision-making criteria would be applied to the building stock and to set the strategic options proposed to the owner in order to steer the prioritization process in a direction that reflects its own objectives.

The second step is a real field work, based on the Foundation assets. It was divided in four phases : i) collection of information from the real estate agency that manages the Foundation portfolio on a daily basis and documentation search in the Foundation archives to get original drawings of the buildings, ii) detailed visit of each building to assess its current state iii) collection of information about the building rights and restrictions, the heat networks and production opportunity, the solar potential, etc. iv) production of a report for each building

In the third step, the steering tool robustness was tested using the Foundation's portfolio, the weights of the options were discussed with the Foundation's delegate (however not formally adopted by the Foundation board) and applied to the portfolio to set refurbishment priorities. Finally, the steering tool was integrally transferred to the Foundation.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3. Results

The objective of the project is to develop a method for analysing and prioritising works applicable to any building stock. However, each owner presents particularities and does not necessarily pursue the same goals.

The project therefore had to offer an objective analysis of the portfolio under review, but also allow for customization in order to set priorities that take into account the owner's specific objectives and look for synergies through a building stock.

The steering tool is a simple Excel file, totally transparent to the user, in order to ensure a total independence to the owner, free to use the tool without the assistance of specialists. It was a clear will of all parties to avoid any “black box” system, with no one able to understand what’s behind the end result.

The method of analysis included in the steering tool thus comprises two distinct phases:

1- Multicriteria analysis of the portfolio

In general, building diagnostic tools are focused on technical aspects concerning the state of disrepair of the building, i.e. state of the structure, envelope and M&E installations (heat production and distribution, ventilation, electricity, and so on) and its energetic performance (1) (2). The ambition of the project was to go further.

The first step was to define a limited number of criteria, applicable to any building, in order to have a clear view of i) the state of the building including (economic aspects) ii) its potential for a refurbishment and densification.

Five “condition” criteria were selected:

1. State of disrepair of the structure (state of load bearing elements)
2. State of disrepair of the envelope (state of the roof, façade, windows, balconies, blinds, etc.)
3. State of disrepair of the M&E installations (type and state of the heat production and distribution and ventilation)
4. Energy consumption (energy used for heating and hot water production)
5. Economic performance (combination of return on investment, rent per square meter, running expenses per square meter and ratio running expenses / income)

Five “potential” criteria complete the analysis

1. Retrofit ability (is the building listed on a heritage census or does it present a specific architecture interest? Complexity of the geometry and constructive modes, compliance with standards, availability of technical rooms and service ducts, site access)
2. Densification potential (does the building show any opportunity of vertical or horizontal extension with respect to the local regulation as far as building rights, noise protection, or major accident risks are concerned?)
3. Energetic transition potential (in case fossil energy is used for heating and hot water production, is it possible to plan a transition to renewable energies?
4. Photovoltaic potential (potential for the installation of photovoltaic panels on the roof, based on the roof geometry and occupancy and on the solar exposure of the surfaces)
5. Tenants management (social and legal issues with respect to the building occupants).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

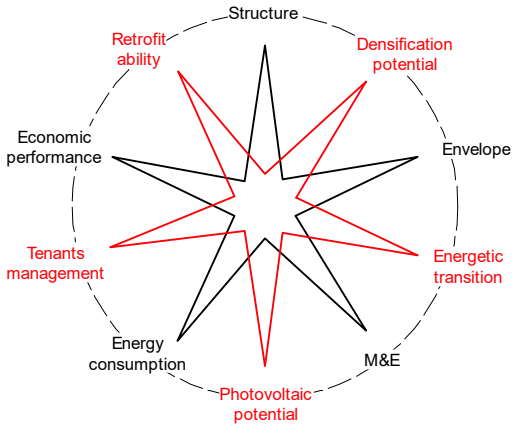


Figure 2 : Condition criteria / Potential criteria

All buildings in the portfolio under review have to be assessed against these 10 criteria, that are then converted to a rating from 1 to 5. A low mark reflects a good condition for the "state" criterion, and a bad prospective for the "potential" criteria. For instance, a building showing a very bad envelope (mark 5) and a good retrofit ability (mark 5) will be ranked amongst top priorities.

At this stage, we see that a first ranking is beginning to emerge, by calculating an average of all criteria, considered at the same level, with no interaction between them, either looking at each criterion separately, either looking at all criteria, by calculating an average.

Fondation communale de Versoix - Samuel May MULTI CRITERIA MATRIX			Buildings															
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
ETAT	I.1	Envelope	3	1	2	2	3	3	3	1	2	1	1	1	2	2	2	1	3
	I.2	Structure	2	1	1	1	1	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	2	2
	I.3	M&E	2	1	2	1	1	1	1	1	2	1	2	1	2	2	2	1	3
	I.4	Energy consumption	5	3	2	3	4	4	3	1	2	2	5	2	4	2	2	1	4
	I.5	Economic performance	3	3	2	4	4	5	5	3	4	1	3	2	3	2	4	3	1
POTENTIEL	II.1	Retrofit ability	3	5	3	5	4	4	3	5	5	5	3	2	3	4	2	3	5
	II.2	Densification potential	4	4	2	1	3	2	2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	5
	II.3	Energetic transition	5	5	2	4	5	4	3	0	4	4	5	4	5	4	4	4	5
	II.4	Photovoltaic potential	4	2	2	4	5	2	2	5	5	5	3	3	3	3	4	4	5
	II.5	Tenants management	2	1	3	2	3	2	3	3	4	5	5	5	3	4	5	4	5
Priority (rank on average of criteria)			2	9	14	6	2	3	6	10	2	5	2	6	2	3	2	2	1

Good	Good state, no work needed / good potential
Correct	Slightly degraded, to be monitored, maintenance works to be planned
Medium	Degraded, retrofit works to be planned / medium potential
Bad	Very degraded, works to be carried out in near future / bad potential
Very Bad	End of life, works to be undertaken as a matter of urgency / very bad potential

Figure 3 : Stage one ranking of Versoix Foundation buildings

This first stage of "raw analysis" is not sufficient to set priorities because i) there are synergies between criteria to be considered to form refurbishment strategic options (looking at the sole envelope, for instance, is not a strategic option) and ii) the strategic options can be weighted to reflect as close as possible the owner's sensitivity to these options.

2- Set priorities according to the owner's strategic options

Four strategic refurbishment options have been established, each of them assembling various criteria, with different weight. They are as follows:

- Energy
- Obsolescence
- Ease of intervention
- Profitability

DOI 10.5281/zenodo.3900180

The Energy option, for instance, brings together the criteria of energy consumption, obsolescence of the envelope, ease of intervention, energy reference area, potential for the transition to renewable energy agents and photovoltaic potential. These different criteria, resulting from the detailed analysis of each building in phase 1, receive different weightings: energy consumption and potential for transition to renewable energy sources receive a higher weighting than the others.

Each building gets a mark for each strategic option by calculating the weighted average of the criteria included in the option and converted to a scale of zero to five.

At this second stage of analysis, all options are equally considered to define priorities of retrofit intervention.

FONDATION COMMUNALE DE VERSOIX SAMUEL MAY	Buildings																
Strategic options	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Energy strategy	5.00	4.55	0.13	2.29	0.89	1.42	1.97	1.21	2.85	1.04	0.20	0.00	0.96	0.20	0.07	0.43	0.03
Obsolescence strategy	3.50	1.50	2.00	2.50	3.00	3.50	2.50	1.50	3.00	1.50	1.00	0.00	2.00	2.50	1.50	1.00	5.00
Ease of intervention strategy	0.00	1.00	1.00	2.00	2.00	1.00	1.00	3.00	4.00	5.00	3.00	2.00	1.00	3.00	2.00	2.00	5.00
Profitability strategy	1.11	1.11	0.00	3.33	3.61	4.72	5.00	2.22	4.44	0.00	2.78	0.83	1.67	0.83	4.17	2.22	0.00
Rank (priority)	**4.00**	**9.00**	**16.00**	**3.00**	**7.00**	**6.00**	**5.00**	**8.00**	**1.00**	**13.00**	**10.00**	**17.00**	**15.00**	**12.00**	**11.00**	**14.00**	**2.00**

Figure 4 : Stage 2 ranking of Versoix Foundation buildings

We note that the ranking has evolved between stage 1 analysis exclusively based on the primary criteria, and stage 2, already oriented towards strategic options (all with the same weight at this stage). For instance, building no. 8, which was penultimate on the basis of the simple average of the criteria, moves up to 8th place out of 17 in the ranking of unweighted strategic options, and others stay more or less in the same area of the ranking.

The third stage of the analysis implies that the real estate portfolio owner now weights the different strategic options, according to his own goals, set by his vision. An owner can be exclusively focused on profitability, or attracted by projects that will run smoothly, have a focus on long term life expectancy of his buildings and obsolescence or more concerned by environmental and energy saving issues. the truth is likely to be a mixture of all of the above, with nuances depending on the owner's profile.

The steering tool therefore has to offer the possibility to weight the different options, to reach a mix as close as possible to the owner sensitiveness. A sensitivity check proved that the tool works at its best with weights set between zero and five. The owner now has the ability to decide which weight to give to the different strategic options, between zero, (no interest at all, and 5, maximum interest).

Once the weights for the various options are determined, the steering tool produces a ranking (priority for interventions), and a radar diagram for each building (3), showing the relative weight of each option in the classification of each building. in other words, the reason why the building is at this ranking level, which is a complementary information to understand and analyse the priorities.

The example below shows a balanced profile, with the following weights: Energy = 4, Obsolescence = 5, Profitability = 3 , Ease of intervention = 2. We see that the overall picture has not fundamentally changed against step 2. This is because the weights

We give hereunder two possible combinations of options weighting i) the “lazy moneymaker’s profile” with a primary focus on profitability (weight = 5) and a secondary focus on ease of intervention (weight = 3), the two remaining options weighted at zero ii) the “virtuous owner’s profile” equally focused on energy and obsolescence (both weighted at 5) with the remaining two options weighted at zero. The radar diagrams display the impact of each option weight in the ranking (her for three buildings).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

	Energy	Obsolescence	Ease of intervention	Profitability
Weights	0	0	3	5

	Buildings																
Strategic options	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Energy strategy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Obsolescence strategy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Ease of intervention strategy	0.00	3.00	3.00	6.00	6.00	3.00	3.00	9.00	12.00	15.00	9.00	6.00	3.00	9.00	6.00	6.00	15.00
Profitability strategy	5.56	5.56	0.00	16.67	18.06	23.61	25.00	11.11	22.22	0.00	13.89	4.17	8.33	4.17	20.83	11.11	0.00
Rank (priority)	**14.00**	**13.00**	**14.00**	**6.00**	**4.00**	**8.00**	**7.00**	**5.00**	**1.00**	**14.00**	**2.00**	**11.00**	**12.00**	**10.00**	**3.00**	**9.00**	**14.00**

Figure 5: Stage 3 ranking of Versoix Foundation buildings, with options Profitability and Ease of intervention overweighted (lazy moneymaker's profile)

	Energy	Obsolescence	Ease of intervention	Profitability
Weights	5	5	0	0

	Buildings																
Strategic options	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Energy strategy	25.00	22.76	0.66	11.43	4.47	7.12	9.86	6.06	14.24	5.18	1.02	0.00	4.81	1.00	0.33	2.17	0.16
Obsolescence strategy	17.50	7.50	10.00	12.50	15.00	17.50	12.50	7.50	15.00	7.50	5.00	0.00	10.00	12.50	7.50	5.00	25.00
Ease of intervention strategy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Profitability strategy	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Rank (priority)	**1.00**	**3.00**	**13.00**	**4.00**	**7.00**	**5.00**	**6.00**	**9.00**	**2.00**	**10.00**	**14.00**	**17.00**	**8.00**	**11.00**	**16.00**	**12.00**	**15.00**

Figure 6 : Stage 3 ranking of Versoix Foundation buildings, with options Energy and Obsolescence overweighted (virtuous owner's profile)

DOI 10.5281/zenodo.3900180

These two examples show to which extend the strategic options weights can modify the priorities, and the radars give additional information: Building n°2, for instance, is worthless touching as far as ease of intervention is concerned and already quite good with respect to profitability. No reason to work on it for the “lazy moneymaker”. It becomes much more interesting for the “virtuous owner”, with a high potential for energetic improvement, despite a relatively low obsolescence.

In the case of the Foundation, it was not clear how the strategic options should be weighted. But one of the advantages of the steering tool is to be very simple and the weights can be changes in 2 clicks. Playing with them already gives an idea of which building is amongst the top priorities, whatever the weights of the options.

4. Discussion

The tool developed for the Foundation is a steering tool, not a decision-making tool, in the sense that decision making remains in human hands. Its goal is to help the owner to form a clear and objective vision of the current state and of the potential of its building stock seen as a whole (with possible synergies and economies of scale in case of works), taking into account his strategic vision.

The decision-making process of the Board may be based on the priorities extracted from the tool, but it will inevitably need to be completed by elements of analysis, often decisive, which are not taken into account in the analysis criteria because they are too subjective or subject to rapid change over time. We think here about political issues, neighborly relations, investment capacity, etc.

Two major findings appeared during the project, only partially related to its goals:

i)

Information about the buildings was very dispersed between the Foundation, the real estate agency and the building concierges, each of them detaining part of the information. Furthermore, it not only often incomplete, but also in many instances inconsistent between the various sources. In this kind of structure, over time, information is diluted, and very dependent on human factors: when someone quits the Foundation or the agency, or at the occasion of agency changes, part of the building history disappears, because it was never correctly documented.

Governance issues also emerged. The division of responsibilities between the Foundation Board and the property management agency is unclear. Some daily decisions (mainly on maintenance works) are taken directly by the board, without consulting or even notifying the agency, because some members are active as entrepreneurs in the construction industry and find it more efficient to manage issues directly. As a result, the level of information is inconsistent and financial statements may be corrupted.

The project has helped to raise these issues and the duly documented multi-criteria diagnostics at least provide a clear and objective view of the condition and potential of the various buildings. They are supposed to be updated on a regular basis, as refurbishment and maintenance works are carried out, which in turn will update the steering tool data base. This is essential, because the tool is to be used in the long run, with priorities being updated to reflect the works undertaken at any time.

ii)

When time came to define the Foundation board strategic profile (allocate weights to the four strategic options), it appeared to be unclear for the board on which side to tip the balance. The Board was clearly aware that its building stock needed to be maintained and renovated in some cases and decided to launch the project for the sake of good management and to meet the challenges of maintaining the value and habitability of its buildings and improving their energy performance and

DOI 10.5281/zenodo.3900180

carbon footprint but did not have a strategic vision to weigh the options. This situation is certainly the lot of many owners, a fortiori those whose decision-making body is composed of a more or less heterogeneous assembly of individuals.

In this case, no steering or decision-making tool will help. The first duty of the owner is to question its strategic objectives in the context of the life cycle and renovations of its portfolio. What is the deep reason or mix of reasons between the need for refurbishment? This work of reflection still needs to be carried out in Versoix.

5. Perspectives

Perspectives are of two natures

- Follow up with the Foundation
- Dissemination of the steering tool to other owners

The desire to improve the energetic balance sheet of the properties was the starting point of the project. As seen before, a real estate portfolio cannot be considered on this sole criterion. The steering tool already introduces the multi-criteria analysis but is of course not able to decide which strategic option or mix of options is reflecting the strategic intentions of the Foundation. The issue here is that, as said above, the Foundation has to date not set a clear strategic orientation.

Capitalising on the positive experience and lessons learned during the project, we asked ourselves whether it would be appropriate to extend the reflection and perfect the way of reading the Foundation's built heritage beyond technical criteria (obsolescence, energy, construction, etc.). This leads us to propose a strategic reflection on the long term.

On the one hand, the lifestyles and housing expectations of the population are changing. On the other hand, the City of Versoix is undergoing a transformation, with a revaluation of the town centre (redevelopment of the Place de la Gare, requalification of the Route Suisse), the construction of new buildings and a sustained increase in the population (+30% since 2000, source OCSTAT).

The implementation of a 20-year strategy to guide the Foundation in terms of the actions to be undertaken on its real estate stock, in accordance with its statutes and taking into account the realities set out above, would be very valuable. The technical aspects (energy, etc.) are not set aside but will follow automatically.

If this extension of the mandate is granted, it might also be extended to other organisations, especially public hand real estate foundations

Dissemination to other owners, especially real estate foundations under public law with structures and challenges similar to that of Versoix would be interesting. The public pension funds of the various bodies of the public service may also be interested. Contacts will be taken and the steering tool presented in near future to some players in canton Geneva, and possibly elsewhere in Switzerland.

Future perspective of further evolution of this methodology could be the ethical investment funds which must take into account possible real estate investment policies of their clients linked with environmental criterias.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literature/references

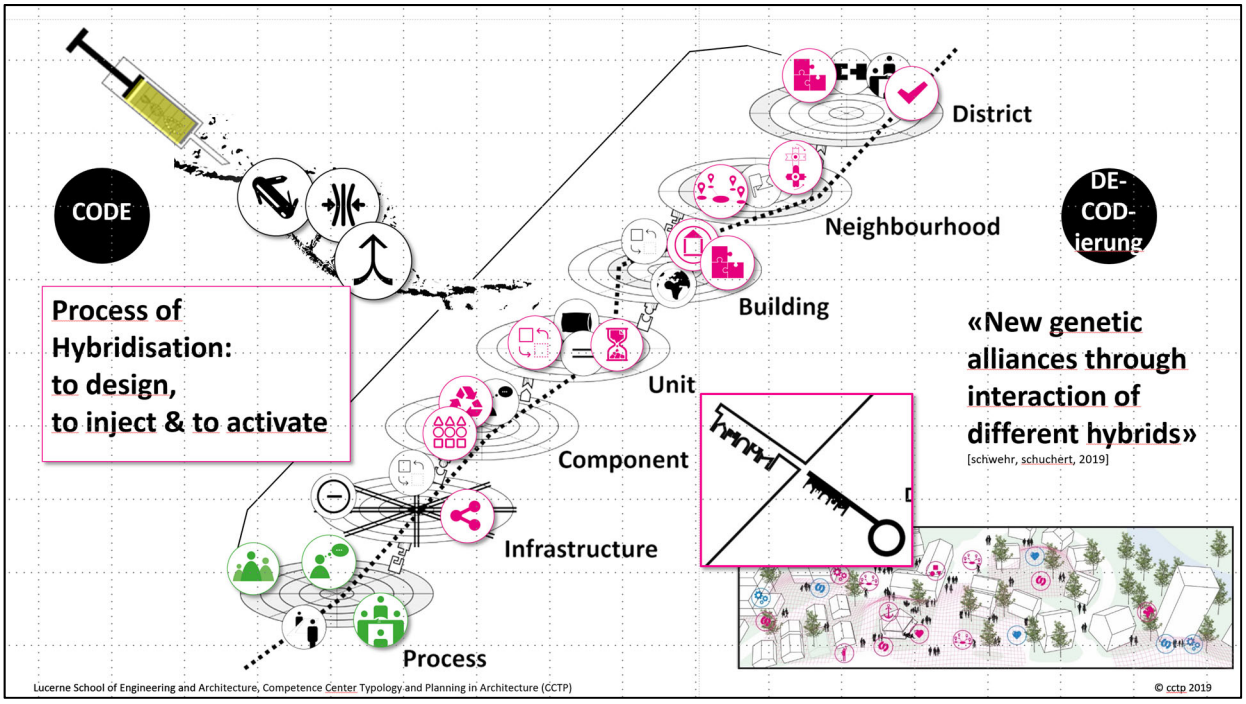
[1] PIBAT, Diagnostic sommaire MERIP, Evaluation des dégradations et estimation du coût de remise en état des immeubles, 1993

[2] https://www.epiqr.ch/epiqr-expertises (viewed on 26.06.2020)

[3] S.Schwab, L. Rinquegt et al, eREN, Rénovation énergétique, approche globale pour l'enveloppe du bâtiment, HES SO, 2016

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Krise als Impuls? Strategien für die resiliente Stadt in Zeiten von Covid-19 und Klimawandel



Autoren: Prof. Dr. Peter Schwehr; Richard Zemp, Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Architektur (IAR), Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)

Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw peter.schwehr@hslu.ch / www.cctp.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Die Corona-Krise wie auch der Klimawandel sind beides zu lösende «Menschheitsaufgaben» [1]. Sie gefährden unsere Lebensgrundlagen massiv und geben Hinweise auf die Verletzlichkeit unserer Systeme. Die Analyse der beiden Krisen zeigt, dass gängige Systeme zur Organisation der Stadt zu träge sind, um auf fluktuelle Ereignisse zu reagieren. Die anhaltende Fokussierung auf Effizienz und das Vernachlässigen örtlicher Ressourcen haben die Anpassungsfähigkeit und Lernfähigkeit unserer Lebensräume und ihrer Organisationssysteme massiv eingeschränkt. Als Gradmesser der Handlungsfähigkeit eines Systems zur Bewältigung von Krisen kommen aber diesen resilienten Eigenschaften von Systemen und ihrer Subsysteme eine zentrale Bedeutung zu. Viele Massnahmen, Strategien und Prozesse, die im Zuge der Bekämpfung des Coronavirus verordnet und erprobt werden, liefern wichtige Denkanstösse und Erfahrungen für die Gestaltung einer künftig postfossilen Welt und einer klimagerechten Stadtentwicklung. Am Beispiel der Diskussion um die bauliche Verdichtung soll dies in Ausschnitten exemplarisch dargestellt werden.

The corona crisis and climate change are global challenges. They have not only threatened our day-to-day lives but have also highlighted the vulnerability of our systems. The analysis of both crises shows that by adhering to current practices, focussing on effficiency, neglecting regional potential and due to the lack of fault tolerance, our exisiting systems are less flexible which in turn, make them vulnerable and susceptible to unforeseeable events. Their ability to be resilient is severely restricted. As indicators of a system's capacity to react, the resilient properties of its subsystems are of key importance in crisis management. Many measures, strategies and processes prescribed and tested in the course of corona control provide important impluses and experience for the design of a future post-fossil world and a climate-friendly city. This will be illustrated in excerpts from the discussion on densification.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage – Contexte – Scope

Die Corona-Krise wie auch der Klimawandel sind beides zu lösende «Menschheitsaufgaben» [1]. Sie gefährden unsere Lebensgrundlagen massiv und geben Hinweise auf die Verletzlichkeit unserer Systeme. Die Analyse der beiden Krisen zeigt, dass gängige Systeme zur Organisation der Stadt zu träge sind, um auf fluktuelle Ereignisse zu reagieren. Die anhaltende Fokussierung auf Effizienz und das Vernachlässigen örtlicher Ressourcen haben die Anpassungsfähigkeit und Lernfähigkeit unserer Lebensräume und ihrer Organisationssysteme massiv eingeschränkt
Als Gradmesser der Handlungsfähigkeit eines Systems zur Bewältigung von Krisen kommen aber den resilienten Eigenschaften von Systemen und ihrer Subsysteme eine zentrale Bedeutung zu. Viele Massnahmen, Strategien und Prozesse, die im Zuge der Bekämpfung des Coronavirus verordnet und erprobt werden, liefern wichtige Denkanstösse und Erfahrungen für die Gestaltung einer künftig postfossilen Welt und einer klimagerechten Stadtentwicklung. Am Beispiel der Diskussion rund um die bauliche Verdichtung wird soll dies in Ausschnitten exemplarisch dargestellt werden. Am Beispiel der Diskussion um die bauliche Verdichtung soll dies in Ausschnitten exemplarisch dargestellt werden.

Komplexität «Dichte»
Angesichts von zunehmender Urbanisierung, schwindender Ressourcen und des Klimawandels ist die Gestaltung einer qualitätsvollen Innenverdichtung eines der dringendsten und zugleich aber komplexesten städtebaulichen Aufgaben unserer Zeit. Bisweilen wird jedoch häufig eine «Dichte» fokussiert, die nach wie vor an bauliches Wachstum geknüpft ist oder unter rein quantitativen Aspekten diskutiert, d.h. auf messbare Kenngrössen wie etwa Ausnützungsziffer (Gebäudefläche bei möglichst wenig Bodenflächenverbrauch) und Belegungsdichten (Wohnflächenverbrauch pro Person/Wohnung) reduziert. Dabei ist Dichte wesentlich komplexer. Sie zeigt sich etwa als funktionale Dichte, d.h. die Vielfalt der Funktionen im Gebäude und im Quartier oder als soziale Interaktionsdichte, die Nachbarschaft erzeugt, indem unterschiedliche Nutzerinnen und Nutzer in Bezug zu einer räumlichen Situation wechselseitig aufeinander einwirken und sich beeinflussen können. [2] Erst dieses komplexe Wechselspiel lässt eine atmosphärische Dichte entstehen. Hier entscheidet es sich, ob die Dichte als Bereicherung oder als Enge empfunden wird. Wenn nun im Folgenden von «Dichte» gesprochen wird, dann ist von der qualitätsvollen Innenentwicklung mit diesen vielschichtigen Untertönen die Rede.

2. Impulsgeber Covid-19?

Mit der Covid-19 Pandemie wurden auch die Schwächen vieler Wohnungskonzepte, Wohngebäude und Quartiere deutlich. Denn mit der maximalen Entdichtung des öffentlichen Lebens fand eine drastische Verdichtung innerhalb der eigenen vier Wände statt. Der Lebensweltradius wurde massiv reduziert. Diese und weitere Phänomene des Covid-19 Alltags können wichtige Denkanstösse für die Transformation unserer gebauten Umwelt in eine resiliente, klimagerechte Stadt liefern, die aufgrund des Klimawandels ohnehin ansteht. Im Folgenden werden einige solcher Denkanstösse vorgestellt. Es handelt sich dabei um erste Ergebnisse aus verschiedenen virtueller ThinkTanks, die das CCTP zusammen mit Expert*innen aus unterschiedlichen Disziplinen und Tätigkeitsfeldern im Umfeld der Stadtentwicklung, der Planung und der Forschung zusammen mit dem Bundesamt für Wohnungswesen (BWO) und TEC21 durchgeführt hat. [3]

2.1 «Dichtestress»: Brauchen wir andere Wohnungen?

Durch die Ausgangsbeschränkungen veränderten sich die Anforderungen an unsere Wohnung möglicherweise ganz gravierend. Je nach Wohnsituation und Wohnumfeld kann es eine massive Herausforderung sein, längere Zeit an die Wohnung gebunden zu sein. Die Krise machte dabei auch in den westlichen Industrienationen die sozialen Unterschiede und die damit einhergehende Verteilung der Wohnfläche in ungeahnter Deutlichkeit sichtbar. Sie trifft v.a. die Gruppen, die ohnehin schon in engen, resp. überbelegten Wohnungen leben müssen. Glücklich schätzt sich der, der einen eigenen Balkon hat, ein Arbeitszimmer oder über flexibel nutzbare Räume verfügt. Doch das ist für einen grossen Teil der Bevölkerung die Ausnahme. Auf dem Prüfstand stehen

DOI 10.5281/zenodo.3900180

dabei nicht nur die gängigen rendite- und effizienzgetriebenen immer gleichen Angebote der Immobilienwirtschaft mit ihren häufig weggesparten Balkonen, sondern auch ausgemergelte Grundrisse die keinen Spielraum für Veränderung bieten. Suffiziente Grundrisse sind *en vogue* und haben v.a. in Hinblick auf die Schonung von Ressourcen und dem Schaffen von bezahlbaren Wohnraum ihre Berechtigung. Doch Verzicht alleine schafft noch keine Qualität! Der Verzicht auf individuelle Fläche bedingt Kompensation durch gemeinschaftlich nutzbare Räumen, wie z.B. Gästezimmer, Arbeitsräume, Stauplatz etc. Dadurch entsteht trotz Flächenreduktion ein funktionierender qualitätsvoller Wohnraum mit einem hohen gemeinschaftlichen Anteil.

Die Corona-Pandemie hat den eigenen Wohnraum selbst hart auf die Probe gestellt. Nun wurden auch die Schwächen vieler Wohnungskonzepte, Wohngebäude und Wohnsiedlungen deutlich: in den meisten Fällen sind diese nicht darauf ausgelegt, den neuen Beschäftigungen und Alltagsabläufen Raum zu geben. [3]

2.2 «Homeoffice und urbaner Nutzungswandel»: Nachverdichtung als Chance, überkommene Nutzungskonzepte zu aktualisieren und städtische Infrastrukturen gerechter zu verteilen?

Aufgrund der Massnahmen im Kampf gegen die Ausbreitung des Coronavirus weiteten zahlreiche Arbeitgeber das Arbeiten im Homeoffice in ihren Betrieben aus. Der massive Einzug von Computerarbeit während der Pandemie machte deutlich, wie neue Technologien und andere Entwicklungen beeinflussen, wie und wo wir in Zukunft arbeiten. Vor allem machte der «Lock-Down» die Vorteile der räumlichen Nähe von Arbeiten, Wohnen, Nahversorgung sowie Grün- und Erholungsflächen ganz konkret erlebbar. Die Coronakrise hat aber auch bestehende soziale Ungleichheiten demaskiert: Homeoffice ist machbar, aber längst nicht alle verfügen über genügend Platz und Infrastruktur. Und auch die sogenannte «Stadt der kurzen Wege» ist leider noch ein Privileg der Wenigen. Angesichts der aktuellen Ereignisse stellt deshalb die Frage nach einer gerechteren von Flächen und Nutzungen, sowie einer grösseren Dezentralisierung städtischer Infrastrukturen und Dienstleistungen.
Zu einer krisenfesten und nachhaltigen Stadt gehören, dass eine gerechte Verteilung von Fläche, mehr Naturräume, kurze Wege und gemischte Nutzung zur Formel einer krisenfesten und lebenswerten Stadt gehören.

Coronakrise und Klimawandel haben den Ruf nach grösseren Redundanzen in urbanen Strukturen massiv verstärkt. Verdichtung im Sinne der Nachhaltigkeit ist nicht an bauliches Wachstum geknüpft, sondern trägt dem Bedarf nach einer gerechteren und Verteilung urbaner Infrastruktur Rechnung. Mittels Nachverdichtung können unsere Städte adaptiert werden, indem Flächen anders verteilt und zweckgebundene Flächen in hybride und mehrdeutige Flächen umgewandelt werden. Hierfür braucht es nicht zuletzt neue gesetzliche Rahmenbedingungen und Planungsanreize, wie etwa die «Urbane Gebiete» in Deutschland.

2.3 «Zwischenraum»: Nachverdichtung als Chance für mehr Entdichtung?

Corona hat mehr als deutlich gemacht: Verdichtung verlangt nach Entdichtung, ansonsten verkehren sich die Vorteile einer kompakten Siedlungsstruktur in Nachteile. Neben Freiräumen und Natur in der Stadt, wird die Forderung nach qualitätsvolleren Zwischenräumen im Wohnumfeld mehr Gewicht bekommen. Aus der Architekturpsychologie ist bekannt: Solche Zwischenräume und Freiräume unterstützen das Gefühl für verfügbaren Raum und damit die Akzeptanz der «Dichte» ganz wesentlich. Im «dazwischen» ziehen wir uns zurück oder interagieren – je nach Bedürfnis. Auch angesichts der Klimakrise mit immer extremeren Hitzesommern kommt dem Mikroklima des «Dazwischen» eine grosse Bedeutung zu: Ihre Einbettung, Materialität und Begrünung sind wichtige Stellschrauben, um biologische und klimatische Funktionen zu begünstigen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Dichte verlangt gleichzeitig nach Entdichtung. Ansonsten verkehren sich Vorteile in Nachteile. Wer dichte Quartiere möchte, muss zunächst das «Dazwischen» denken. Denn der Raum zwischen den Gebäuden entscheidet über die Qualität und Gestaltung des Lebensalltags im Quartier. Wir leben im Zwischenraum und es ist das Dazwischen, dass unser Stadtklima im weitesten Sinne prägt.

2.4 «Social Distancing» oder «splendid Isolation»?

Soziale Distanz, im Sinne eines gewissen Grad von Anonymität, entspricht mitunter unserem Bedürfnis nach Rückzug und ist sogar ein wesentlicher Bestandteil der städtischen Gesellschaft. Es ist von daher problematisch, bei der verordneten «Isolation» ohne physisch-soziale Kontakte während der Covid-19-Pandemie von «Social Distancing» zu sprechen. Physische Distanz kann Übertragungen reduzieren, soziale Distanz kann in seiner Konsequenz tödlich sein. [4] Demzufolge sind Bestrebungen künftig Plätze nun «Social Distancing» gerecht zu gestalten nicht sinnstiftend. Massnahmen zur Hygiene werden dadurch zur städtebaulich wirksamen Ordnungsmassnahme. Es erscheint fragwürdig, eine aussergewöhnliche Situation, aus einem falsch verstandenen Sicherheitsbedürfnis, zur Normalität und später zur Norm werden zu lassen.

Verdichtete Strukturen benötigen im weitesten Sinne des Wortes «Freiräume»: Lücken und Poren, welche das Wechselspiel von Rückzug und Interaktion ermöglichen und Nutzungskonzepte, welche das Aneignungspotential und die Adaptierbarkeit der Freiräume unterstützen, dem System also «Luft» geben.

2.5 Zurück zu «my home is my castle»?

Der Streit um die bauliche Verdichtung hat im gewinnt im Kontext der Pandemie mitunter eine neue Relevanz bekommen. Anstelle aber Befürworter oder Gegner gegeneinander auszuspielen, könnte der Konflikt als Chance genutzt werden, sich mit den «Lessons Learned» zu befassen. Die Pandemie hat etwa deutlich gemacht, dass «Verdichtung» alleine noch keineswegs zu einer nachhaltigen und alltagstauglichen Stadtform führt. Verdichten heisst, Wohnen, Arbeiten und ausreichend Platz für Erholung und Rückzug sorgfältig miteinander in Einklang zu bringen. Verdichten heisst aber auch, vielfältige Interaktionsformen zu unterstützen. Denn die Pandemie hat verdeutlicht, dass individuelle und örtliche Ressourcen gegenüber einem bürokratisch verwalteten System agiler sind, um auf fluktuelle Ereignisse zu reagieren. Soziale Arrangements auf freiwilliger Basis wie etwa Nachbarschaftshilfe, Hausaufgabenhilfe oder Kinderbetreuung schaffen soziale Mehrwerte und tragen zu einer Wohnqualität bei, die über ein rein auf die eigene Wohnung bezogenes leben hinausgeht.

Eine sorgfältige Verdichtung trägt den solidarischen Strukturen eines urbanen Lebens unbedingt Rechnung. Sie versteht sich als Möglichkeit, lokale Ressourcen für den Alltag fruchtbar zu machen. Nachverdichtung heisst auch dies: neue Räume anzubieten, welche soziale Arrangements stimulieren und eine Wohnqualität zu schaffen, die über die private Wohnfläche hinausgeht.

Zwischenfazit: Resilienz ist eine Absage an die perfekte Planung.
Was haben wir aus Corona gelernt? Was müssen wir ändern? Die Frage könnten wir nun aber auch umkehren: was sollte nach Corona unbedingt bleiben? Denn vieles was nun in Corona Zeiten erprobt wurde, trägt bereits Früchte oder weist auf entwicklungsfähige Ansätze hin, die es hinsichtlich des Klimawandels zu intensivieren gilt.
Vor allem hat sich in concreto gezeigt, was seit Längerem befürchtet wurde: Gängige Systeme zur Organisation der Stadt und Nutzungskonzepte sind zu «makellos», um auf fluktuelle Ereignisse zu reagieren. In anderen Worten multifunktionale, anpassbare und synergetisch orientierte Strukturen und Prozesse reagieren besser auf unerwartete Ereignisse als monofunktionale, in sich geschlossene und effizienzgetriebene Systeme die für eine spezifische Nutzung konzipiert waren. In diesem Zusammenhang erlebte die Diskussion um Resilienz während der letzten Monate eine regelrechte Renaissance. Es bleibt nun zu hoffen, dass dieses Interesse nicht abflacht, sondern an

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Auseinandersetzung in Wissenschaft, Planung und Politik weitergetragen wird. Nicht zuletzt deshalb, weil die grosse Herausforderung darin besteht, die Ansätze der Resilienz für die Praxis fruchtbar zu machen, resp. für künftige Planungs- und Steuerungsversuche abzuleiten. Dabei geht es weniger um die Frage, nach neuen Zukunftsvisionen für die Stadt (Leitbilder, Zielvorstellungen). Vielmehr geht es um die Suche nach Möglichkeiten für einen veränderten Umgang mit komplexen Prozessen gegenwärtiger Stadtentwicklungen.

Resilienz fördernd	Resilienz hemmend
Application-Spezifisch	**Task-Spezifisch**
Has «unexpected mixing of functions»	Für eine spezifische Nutzung konzipiert
Aneignung als Prinzip, Handlungsspielraum	Verordnete Nutzung
Multifunktional	**Monofunktional**
Orientiert sich am Gebrauch und seiner Veränderung (z.B. lernen)	Orientiert sich an der Funktion (z.B. Schule)
Unbekannte als Basis	Tradition als Basis
Nutzung kreiert Form	Form follows function
Full-time Activity	Part-time Activity
Systemgrenze Umwelt	**Systemgrenze Objekt**
Fokus Impact Stadt	Fokus Objekt
Bewusste Interaktion mit Umwelt erforderlich	Fokussierung auf Parzelle
Nützt Synergien	Selbstoptimierung
Offenes System	**Geschlossenes System**
vernetzt und entwicklungsoffen	singulär und vollendet
Antifragil (Störung = Chance), Fehlertolerant	Fragil(Störung = Gefahr), Fehleranfällig
Grosse Vielfalt	Limitierte Varianz
Sichtbar bis Undercover	Sichtbar
Veränderungen innerhalb und ausserhalb des System durch spontanes oder geplantes **Initiieren** Veränderung nur bedingt planbar und kontrollierbar (z.B. Aneignung durch neue Nutzer)	**Veränderungen** innerhalb des System als **Reaktion** Veränderung ist planbar und kontrollierbar (z.B. Umbau Klassenzimmer)

Tabelle 1 Gegenüberstellung resilienzfördernder und resilienzhemmender Eigenschaften

3. Strategie Hybridisierung

Die Covid-19-Pandemie wie auch der Klimawandel zeigen deutlich, dass unsere alltäglichen Lebensräume unter einem ständigen Anpassungsdruck stehen. Wechselnde soziale, wirtschaftliche, ökologische und kulturelle Anforderungen erfordern die Fähigkeit zur Transformation. Diese ist weniger an bauliches Wachstum gebunden. Vielmehr geht es um eine Umverteilung und Umgestaltung zweckgebundener Flächen im Bestand. Und – so paradox das auch klingen mag – gerade weil wir in Zukunft sparsamer mit der Ressource Boden umgehen wollen, brauchen wir weniger Effizienz und Vereindeutigung zugunsten von mehr Redundanz und Mehrdeutigkeit. Eigenschaften also, die lebenden Systemen ihre Fehlerfreundlichkeit und damit ihr Vorbereitetsein auf unerwartete Ereignisse garantieren.

In Anlehnung an die multifunktionalen Eigenschaften wurde für das Anforderungsprofil künftiger Bauten und Prozesse der Begriff des Hybrid gewählt. In Ergänzung zu Per et al, der Hybrids auf ein «opportunist Building, which makes the most of multiple skills, a key player which revitalises the urban scene and save spaces» [5] beschränkt, erfährt der Begriff «Hybrid» eine Erweiterung dahingehend, dass Hybrids eben nicht nur das Gebäude umfassen, sondern über verschieden Ausprägungen und Massstabsgrössen verfügen. Sie verfügen in ihren Anlagen über einen Code der sie befähigt, auf verschiedene Situationen und unterschiedliche Anforderungen reagieren zu können. Je nach seiner Zusammensetzung und Zweck wirkt der hybride Code auf die unterschiedlichen, architektonisch relevanten, lebensraumbezogenen Levels. Levels sind z.B. Quartier, Nachbarschaft, Gebäude, Wohnung, Raum, Infrastruktur und Prozesse [vgl. Kendall]. Zusammengefasst werden diese Levels als «Hybrids» bezeichnet. Vergleichbar mit übereinander gelagerten Layers, die in einigen Punkten miteinander für eine gewisse Dauer in Verbindung stehen. Durch die «Reizübertragung» werden Impulse weitergeben, Interaktionen verstärkt und Synergien zwischen den Levels ermöglicht. Die «Hybridisation» beschreibt einerseits das

DOI 10.5281/zenodo.3900180

bewusste Anlegen des Codes in diesen Levels («Design and Injection») und andererseits seine Decodierung, d.h. die Aktivierung der Veränderungsprozesse. So werden durch das Zusammenwirken der verschiedeneren Hybrids «new genetic alliances» kreiert. [6]

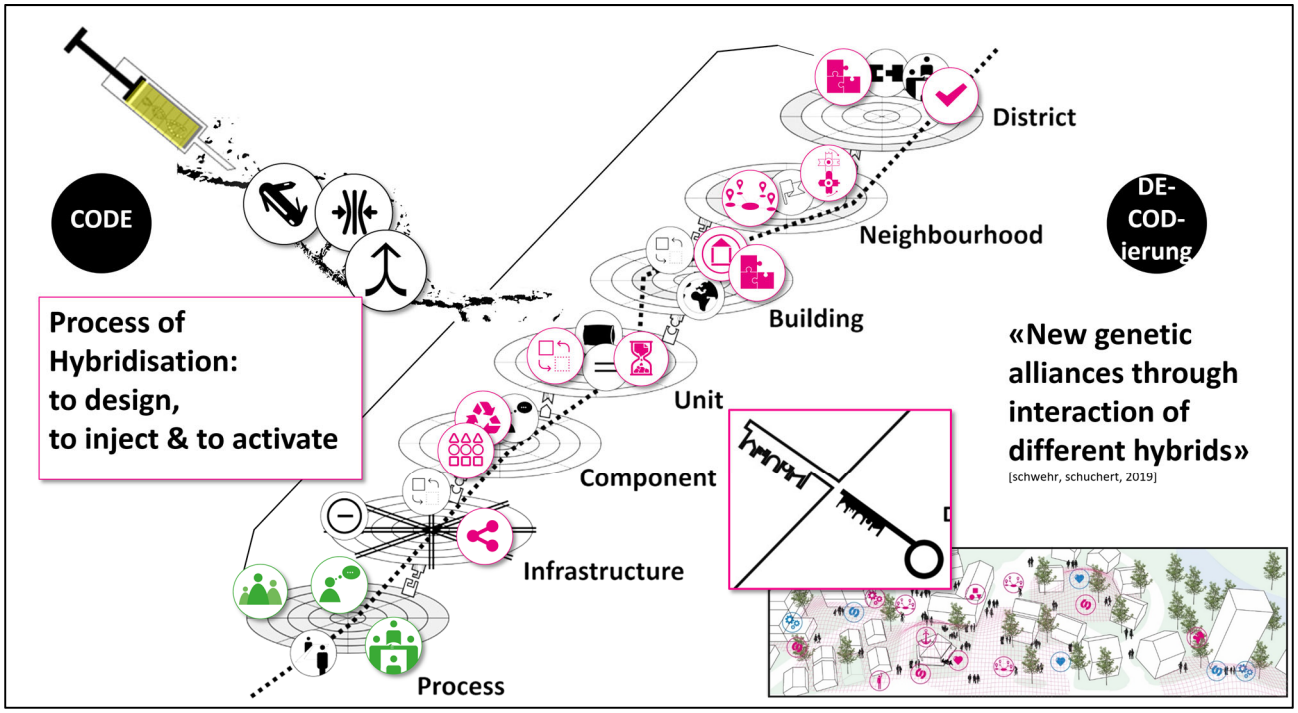


Abbildung 1 *All levels are coded with the Hybrid-Code, i.e. potential is laid down. In the event of external pressure to adapt the code is decoded, i.e. the potential is activated* *© CCTP, 2020*

Hybrids unterscheiden sich erheblich von gängigen spezifischen in der Regel monofunktonalen Typologien (z.B. Schulen, Wohngebäude etc.). Hybride Gebäude entstehen beispielsweise aus der sinnhaften Kombination der Anforderungen an verschiedene ursprünglich monofunktionale Typologien (z.B. Wohnen und Arbeit) und ermöglichen damit eine multifunktionale Nutzung. So kann z.B. gleichzeitiges oder zeitlich versetztes Wohnen und Arbeiten innerhalb einer Nutzungseinheit stattfinden und die Gesamtauslastung des Gebäudes über den Tagesablauf erheblich erhöht werden. Möglich ist dies, wenn die jeweils höheren Anforderungen einer Nutzung (z.B. Akustik/Wohnen) für die hybriden Gebäude massgebend sind. Jedoch macht z.B. eine höhere Decke nur dann Sinn, wenn die Nutzungseinheit auch als Office verwendet wird. Aus diesem Gesichtspunkt heraus betrachtet, scheinen monofunktionale Typologien effizienter als hybride zu sein. Ändern sich aber die Anforderungen an die Gebäude, geraten monofunktionale Typologien aufgrund ihrer Spezifität und Effizienz sowie mangelnden Pufferzonen unter erheblichen Anpassungsdruck. In diesem Sinne sind resiliente Strategien primär nicht auf Steigerung der Effizienz, sondern auf ihre Effektivität – ihre Wirksamkeit – fixiert, deren Massnahmen dann im Sinne der Nachhaltigkeit effizient umgesetzt werden sollen. Dazu gehört der bewusste Umgang mit Reserven und Puffer. Die Kombination aus ausreichenden Raumgrössen und -proportionen mit nutzungsneutralen Grundrissen und einer entflochtenen Gebäudetechnik sind in ihrem Genotyp verankert. Sie bilden den spezifischen Code hybrider Gebäude und ermöglichen angemessenere, einfachere Nutzungsänderungen und unterstützen die Transformation des gebauten Lebensraums. [6]

Der hybride Code orientiert sich an den Grundprinzipien für eine resiliente Stadtentwicklung [7]. Das Zusammenwirken dieser Prinzipien bildet die Grundlage einer, für die jeweils involvierten Levels und Prozesse spezifisch zu entwickelnden Strategie, welche dann im Code baulich und prozessual verankert ist.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Grundprinzipien	Prozessuale Eigenschaften	Bauliche Eigenschaften
- anpassungsfähig - multifunktional - synergetisch	- szenarienbasiert - nutzerorientiert - transdisziplinär - verantwortungsbewusst - reflektierend - kooperativ - unfertig/open/ unerwartet	- gleichwertig - nutzungsneutral - wohlproportioniert - ersetzbar/austauschbar - entflochten - fehlertolerant - unabhängig (Technik) - Puffer anbietend - effektiv - spezifisch - angemessen / suffizient - Sharing - Life-cycle-orientiert - wiederverwertbar - ephemer

Tabelle 2 Hybrider Code

Drei wesentlichen Grundprinzipien die den Hybrid befähigen gemäss den Anforderungen der Resilienz sich weiterentwickeln zu können sind: Er ist anpassungsfähig, multifunktional und wirkt synergetisch. Auf Basis dieses Codes können dann ergänzend prozessuale und bauliche Eigenschaften zur Förderung der Resilienz abgeleitet werden und wirken.

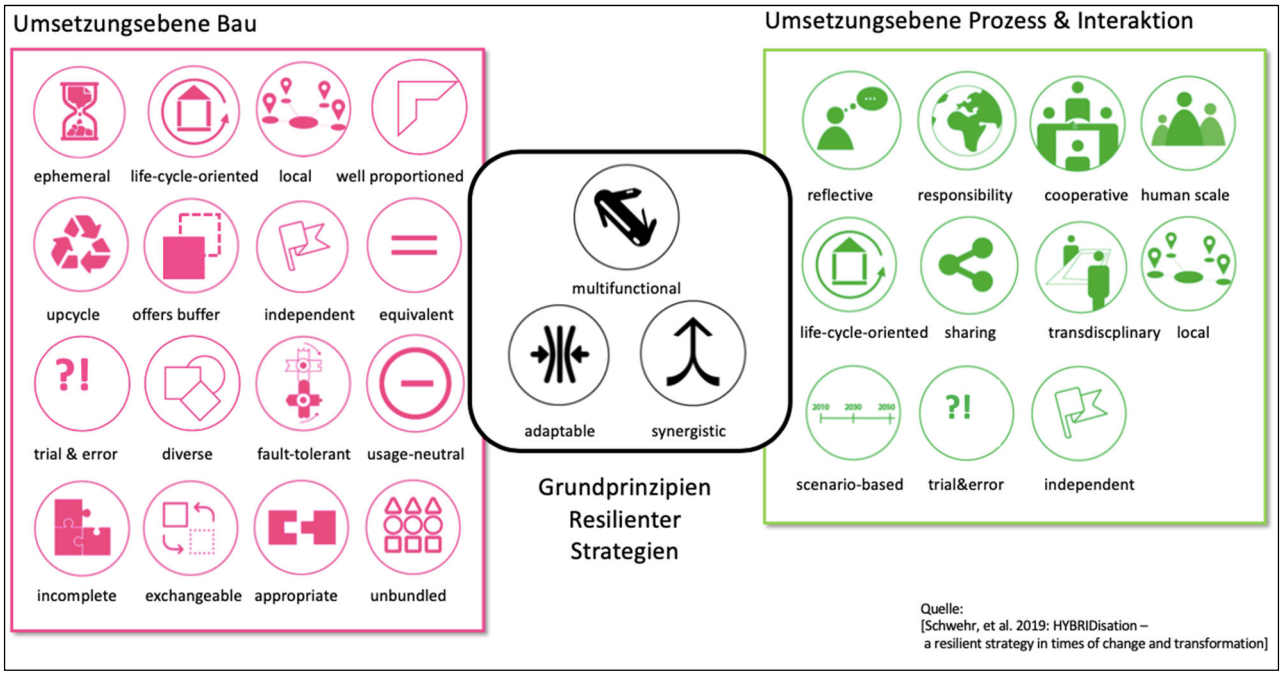


Abbildung 2 Grundprinzipen resilienter Strategien [6] *© CCTP, 2020*

Die anpassungsfähige Struktur des Hybrid hat einen aktivierenden Charakter. Sie fördert die Resilienz der Gebäude und Quartiere, reagiert dynamisch auf den Standort und wechselnden Anforderungen, nutzt und fördert dabei Synergien.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

4. Fazit

Jede Krise hat ihre Berechtigung. Die Bewegung des Bauhauses mit ihrem Credo des gesunden und bezahlbaren Wohnens «Licht, Luft und Sonne» war auch eine Reaktion auf die unzumutbaren hygienischen Zustände in den Arbeiterwohnsiedlungen der Weimarer Republik. So gesehen hat Corona auch die Chance einer Rückbesinnung auf nicht verhandelbare Qualitäten in der Architektur, der Interaktion mit Bewohnenden und der Nachbarschaften und die Gestaltung unserer gebauten Lebenswelten sowie unserer gesellschaftlichen Verantwortung als Planer und Planerin auch für künftige Generationen.

Wie sieht angesichts einer veränderten Wahrnehmung der Realität eine Planung aus, die auf Fragen des Wachstums, der Verdichtung und der Zersiedelung Antworten finden kann? Auch wenn der Zeitpunkt noch zu früh ist, um Antworten zu geben, drängt sich eine ernsthafte Auseinandersetzung mit den aktuellen Gegebenheiten geradezu auf. Die Covid-19 Pandemie liefert wichtige Impulse für die notwendige Transformation unserer gebauten Umwelt hin zu einer postfossilen, klimagerechten Stadt. Bauliche Verdichtung alleine ist noch nicht nachhaltig. Vielmehr sollten wir zu einer Planungskultur kommen, welche weniger an bauliches Wachstum und mehr an der Transformation und Umwertung des Vorhandenen ansetzt und Räume für Unbekanntes offenlässt.

Die durch Covid-19 gemachten Erfahrungen geben aber auch Hinweise auf vor uns liegende Szenarien. Die Migration wird aufgrund des Klimawandels steigen, künstliche Intelligenz wird den Mittelstand zunehmend unter Druck setzen und eine Jobsicherheit nicht mehr für weite Teile unserer Gesellschaft selbstverständlich sein. Unser Verhältnis zur Lohnarbeit wird sich dadurch verändern müssen und machen eine gelebte Nachbarschaft im Sinne von «carring communities» notwendig. [3]

Während die Covid-19 Pandemie hoffentlich zeitlich begrenzt ist, geht die Klimakrise unvermindert weiter. Ein baldiges «Zurück zur Normalität» ist jedoch eine verpasste Chance. Leugnet es doch den dringenden Handlungsbedarf für den Umbau hin zu einer postfossilen Gesellschaft. Denn wer das Rad der Geschichte zurückdrehen will, wird selbst unter die Räder kommen oder mit den Worten von Charles Darwin zu sprechen: Es sind weder die Stärksten der Art, die überleben, noch die Intelligentesten, sondern die, die sich am besten auf Veränderung einstellen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

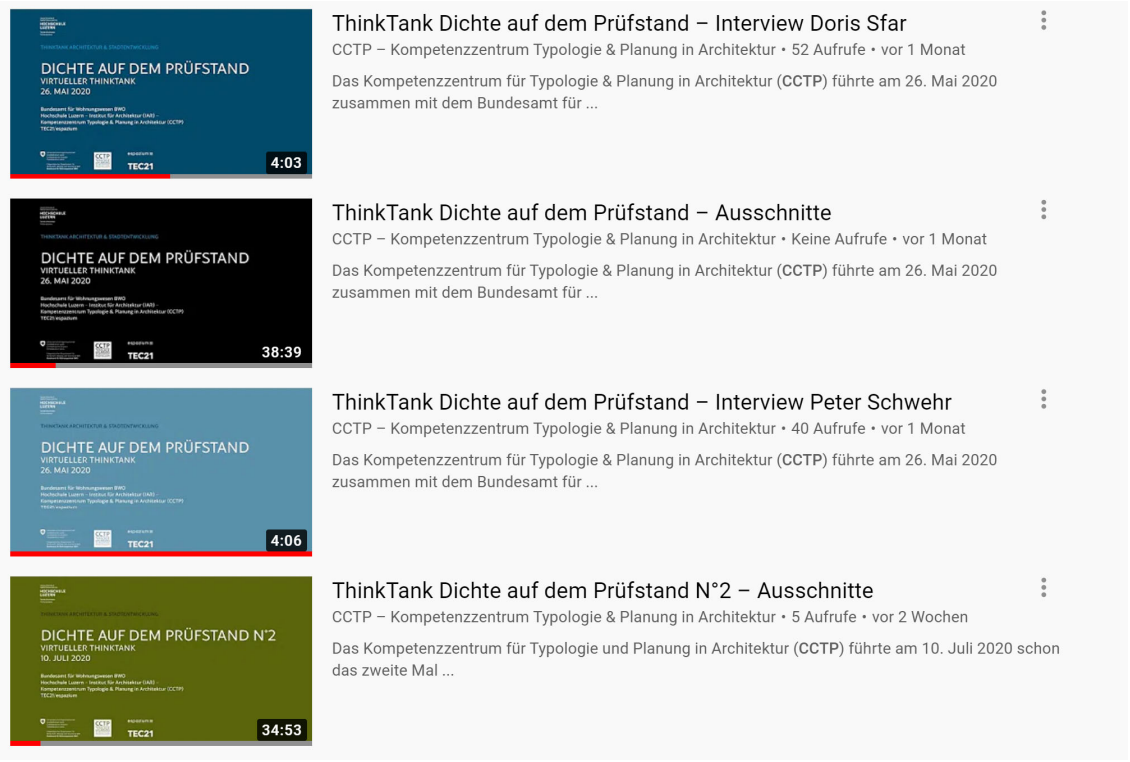
Literatur/Referenzen

[1] Die Zeit 2020 Die Menschheitsaufgabe: Wie über alle Grenzen hinweg nach der rettenden Medizin gesucht wird. Und wie es Gesellschaften verändert, wenn alles langsamer, weniger und einsamer wird *Die Zeit* **13** S. 1

[2] Fachstelle Grundlagen & Strategien Präsidialdepartement des Kantons Basel-Stadt Kantons- und Stadtentwicklung 2015: Was ist eigentlich Verdichtung? S. 4

[3] Veranstaltungsreihe zum Thema Innenentwicklung «Dichte auf dem Prüfstand» zusammen mit dem Bundesamt für Wohnungswesen (BWO) und espazium/TEC21 im Rahmen des ThinkTank Architektur & Stadtentwicklung der Hochschule Luzern Technik & Architektur, Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)
1. Online ThinkTank «Dichte auf dem Prüfstand» 26.05.2020
https://www.youtube.com/watch?v=eLLd3cPSL4I&t=311s

2. Online ThinkTank «Dichte auf dem Prüfstand» 10.07.2020
https://www.youtube.com/watch?v=s0AgR-pyaZw&t=44s



[4] Scharte B. *Soziale Distanzierung kann tödlich sein. Gastkommentar über die Wichtigkeit, in der Krise miteinander in Verbindung zu bleiben.* erschienen in Luzerner Zeitung vom 30.04.2020 S.5

[5] Holl S, Fernández Per A, Mozas J and Arpa J 2014 *This is hybrid: An analysis of mixed-use buildings* (Vitoria-Gasteiz, Spain: a+t architecture publishers)

[6] Schwehr P et. al 2019 HYBRIDisation – a resilient stragey in times of change and Transformations *Paper-Beitrag SBE 19 (TU Graz, Austria, 11./14. September 2019)* ed open access [https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1755-1315/323/1/012062/pdf]

[7] Schwehr P 2018 *Resiliente Stadt? Handlungsmöglichkeiten im Zeitalter gravierender Transformation 20. Statusseminar "Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt": Paper-Beiträge Status-Seminar 2018 (ETH-Zürich, 6./7. September 2018)* ed brenet Building and Renewable Energies Network of Technology pp 307-9

DOI 10.5281/zenodo.3900180

New Visualization Approach for Building Facility Data Analysis

Authors: Andrii Zakovorotnyi, Prof. Dr. Axel Seerig
Contact person: Andrii Zakovorotnyi, andrii.zakovorotnyi@hslu.ch, https://www.hslu.ch/

Abstract

Swiss Energy Strategy 2050 sets the goals for improving the energy efficiency on country scale [1]: total energy consumption per person per year should be reduced by 16 % (for electricity consumption - 3 %) until 2020 and by 43 % (for electricity consumption - 3 %) until 2035 in comparison to the consumption level in 2000. However, in 2013 the energy consumption of Switzerland reached 896 PJ/a [2], where approximately half of it was consumed by buildings. Around 30 % of the overall Swiss consumption corresponds to room heating. Another 48.6 PJ/a of the overall consumption is lighting, home automation, ventilation and climate systems in buildings. Building facility management is one of key actors involved in measuring, collecting and analyzing of building energy-related data. Implementation of advanced methods of data analysis on the side of facility management can give scalable results in energy savings.

Recent development of IT technologies has increased quality and diversity of measured data in buildings. Nowadays these data include not only monthly-accumulated values of energy and water consumption, but also time series of different facility parameters with discrete time resolution (from seconds to hours). Comprehensive representation of cross-dependencies between the parameters is challengeable, since these interconnections are not known beforehand. This study aims to present a new visualization approach, based on regression and clustering analyses, for a simultaneous analysis of multiple building systems and their parameters. Its application results in creation of a set of correlative dendrograms, which show the correlation strength between systems and their parameters. Using this set of dendrograms, it is possible to determine typical of the whole building and its systems, as also change of this behavior within the time. Proposed approach can bring an insight into the cross-dependencies between building systems. Application of proposed visualization approach is described step-by-step in detail using synthetic data set, obtained within thermal building simulation. Proposed approach was also applied on measured building energy data, obtained correlative dendrograms are presented.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Scope

1.1 Actuality

Bibliometric analysis of Camarasa et al. [3], where the co-citation network of app. 900 international full research papers was developed, gave three main thematic clusters of research topics: “Calculating energy consumption”, “Energy efficiency measures” and “Definitions, methodologies and impacts of energy efficiency”. Each main cluster has high density, although they are not highly interconnected among each other. The central cluster is “Energy efficiency measures” which means that it has the highest number of co-citations among authors. The biggest overlap takes place between “Calculating energy consumption” and “Energy efficiency measures”. Cluster “Definitions, methodologies and impacts” is also linked with ‘Calculating energy consumption’. The densest cluster and, thus, the one with the highest number of betweenness centrality per paper is ”Calculating energy consumption”. Finding connection links between the terms “Calculation of energy consumption” and “Definitions, methodologies and impacts of energy efficiency” is in focus of present research (*Figure 1*).

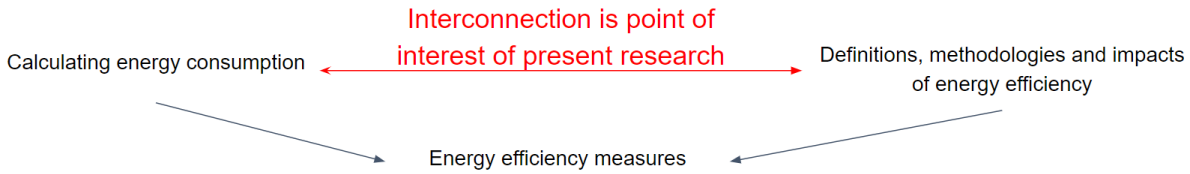


Figure 1: Main thematic clusters and their interconnection according to [3]

Mapping analysis of 57 keywords out of the 546 research papers in work of Jin et al. [4] shows the highest correlations between the keywords “Energy Performance”, “Building Performance Assessment”. These frequent keywords can be found closely connected to others, such as “Data Acquisition, Handling, and Processing” and “Architectural, Structural and Building Services Design”. Increasing the interconnection between keywords “Energy Consumption”, “Building Performance Assessment” and “Data Acquisition, Handling and Processing” is a key point of present research (*Figure 2*).

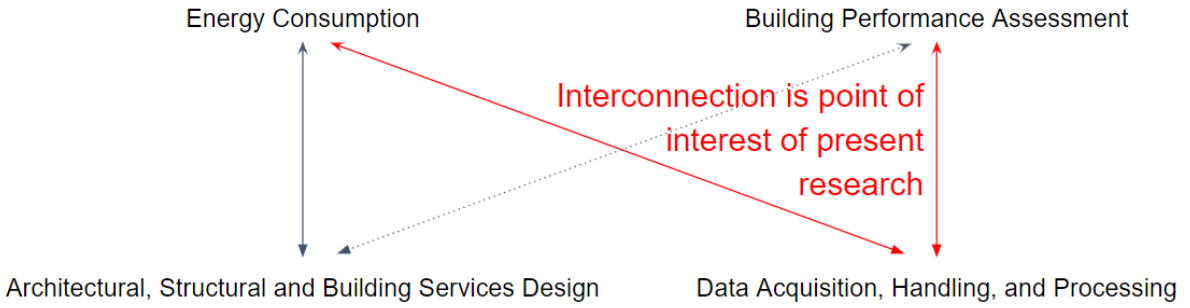


Figure 2: Main keywords in research papers and their interconnection according to [4]

1.2 Overview of available visualization approaches for building facility data

Since the choice of available methods for the data analysis and their application field is wide, it is reasonable to make a *multidimensional review* of the current state-of-art of building performance assessment.

First dimension considers the size of the investigated object. The smallest scale size can refer to a single building system; the largest scale size can refer to the aggregation of all buildings on a country scale. In between can be found building, district and region scale sizes. Each scale size is concerned with specific tasks for the data analytics and visualization: as for an example, if for a system scale it is needed to detect faults and make diagnostics, then for the largest scale it is needed to assess and to forecast total heat consumption for a whole country (*Figure 3*).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

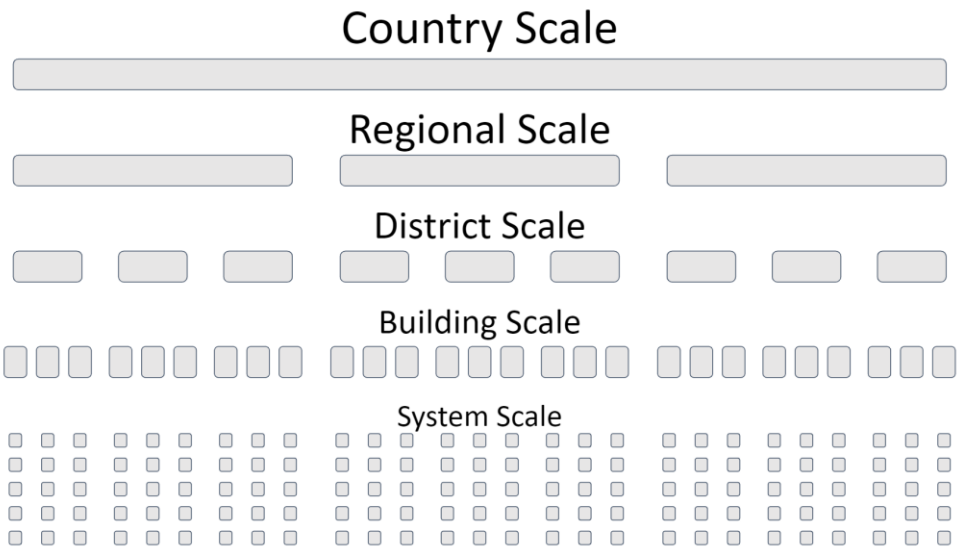


Figure 3: Investigated scales in analysis of building facility data

Available data on a district scale can still contain detailed time series of buildings and their systems, however, since the number of buildings in a district or agglomeration can be quite high, in-depth analysis of each building is timely and, therefore, costly. In practice, data analysis of buildings on district scale is made by municipal and commercial facility management. According to Potkany et al. 2015 [5], facility management during the phase of building operation has following tasks:

- setting an effective and optimal building operation;
- coordination of supporting processes;
- calculation of effective use of building (including energy consumption);
- definition of maintenance, rebuilding and reconstruction requirements.

Second dimension considers the diversity of parameters of building and its systems. In this case, it is important to separate thermal and electrical sides of energy consumption. Thermal efficiency of a building depends on the properties of its envelope (thermal resistance and thermal capacity), properties of heating, cooling and ventilation systems, air tightness of a building. These properties are not largely influenced by user, however, their determination comprises with some uncertainty [6]. On the other hand, electricity consumption of a building is spent on lightning, house equipment and ventilation if present, and is strongly depended on occupants' presence and behavior [7] (*Figure 4*).

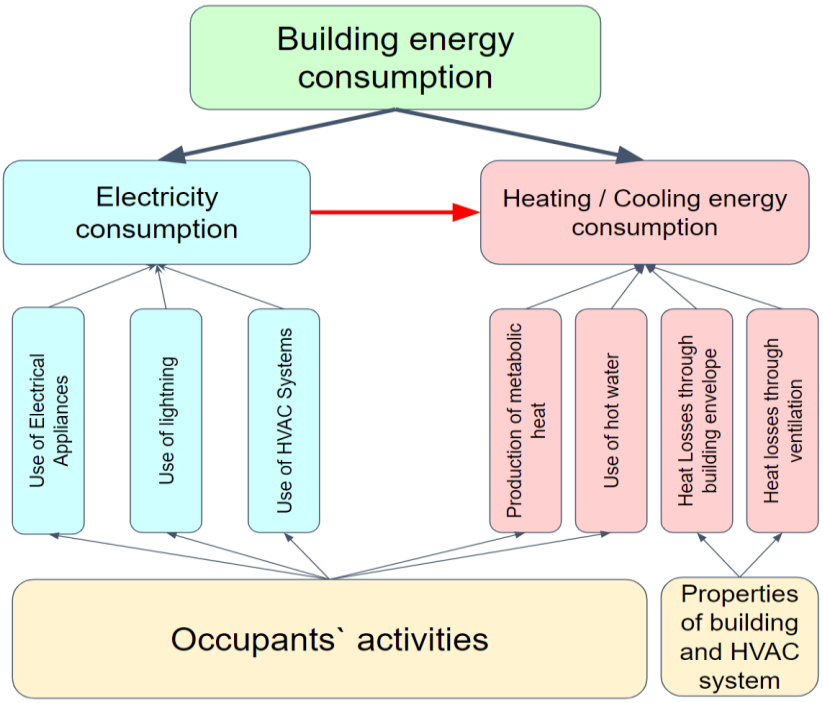


Figure 4: Scheme of influence of occupants` activities on building energy consumption

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Third dimension differentiates main sets of methods and approaches for the extraction of useful information from measured building facility data. While comprehensive review of available methods and approaches can be found in works of Wei et al. [8] and Bourdeau et al. [9], a short overview can be summarized in a following list (the list is given in order of growing complexity):

1. Regression and statistical analysis [10-13]. Corresponding research works focus on following topics:
    a. estimation of thermal performance level of archetype buildings and their respective building elements as well as of the heating systems on district and country scale [10];
    b. modelling electricity consumption of HVAC systems on building scale [11-12];
    c. creation of forecasts of future energy consumption on building, district and country level [13];
2. Clustering analysis [14-17]:
    a. determination of typical and abnormal behavior of sensors and building systems by means of grouping similar daily profiles of one [14] or several [15] time series on building and system scales;
    b. creation of hierarchical trees of buildings based on recognition of similar building electricity load profiles [16];
    c. clustering of occupant's behavior patterns [17];
3. Physical, grey box and black box modeling and validation [18-22]:
    a. Simulation of building thermal state and thermal energy systems using R-C models on building and system scale [18, 19];
    b. Transfer function models for modeling of building thermal state on building scale [18, 20];
    c. Using artificial neural networks for modeling building thermal state and electricity consumption or optimization of physical models on building and system scale [21-22].

Currently, facility building management uses regression, statistical and clustering analyses for the analysis of their data. Physical modelling is less common. Because the interpretation of parameters of grey and black box models does not have any physical meaning, they are applicable mainly for the forecasting. Visualization of three dimensions of current state-of-art of building performance assessment is shown in *Figure 5*. Application of physical modelling on system and building scales is commonly represented in literature. However, physical modeling on a district scale without significant simplifications is complicated. On other hand, statistical and regression analysis is applicable on large scales, however, it does not give the same profound knowledge as physical modelling. The point of interest is to make a synergy of physical modelling with regression analysis, or, in other words, bring to regression analysis more physical meaning, in order to make more profound analysis on building, district and regional scales without significant simplifications.

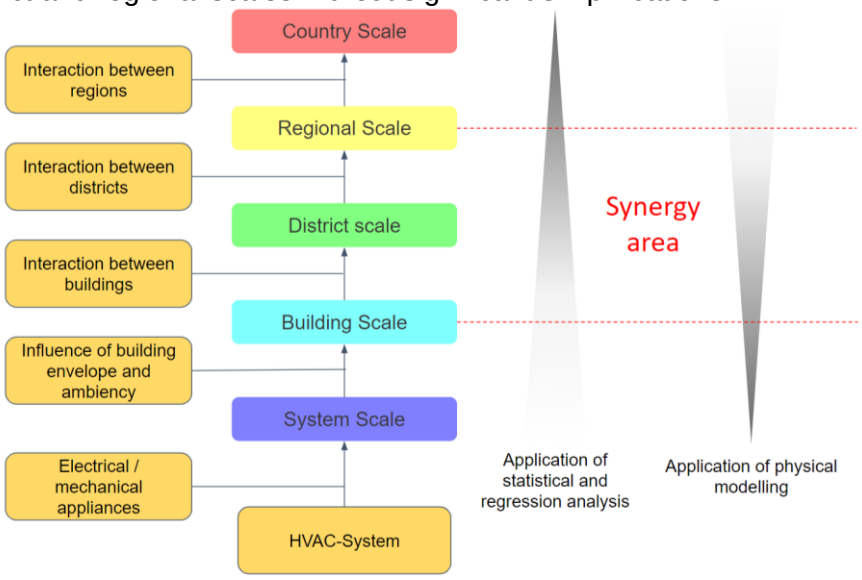


Figure 5: Area of synergy application of statistical and regression analysis and physical modelling

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Current research aims to provide a comparatively simple and scalable approach for simultaneous visualization of multiple time series. It should allow quick and profound data overview on building, district and regional scales. With its help, the cross-dependencies inside the systems, buildings and districts can be visualized as also their typical behavior patterns.

2. Methods

Proposed visualization approach for building facility data is based on regression and cluster analyses. It consists of following steps:

1. Data preprocessing - agglomeration of time series of all parameters, that are relevant. Question of relevance of different parameters is outside the topic of current article. All time series should have the same starting and ending time point, equal time step between nearest points, and therefore have the same number of points;
2. Setting the specific time intervals for further analysis. Specified time intervals should be all equal and have at least 2 measured points. For instance, such time interval can be 24 hours, several days or week. For further calculations, assume that the total number of specified time intervals in each time series is *k*;
3. Calculate correlation factors between all of time series for each specified time interval. For time series A and B, which have in specified time interval *z* values each, correlation coefficient has following equation [23]:

$$\rho(A,B) = \frac{1}{z-1}\sum_{i=1}^{z}\left(\frac{A_i-\mu_A}{\sigma_A}\right)\cdot\left(\frac{B_i-\mu_B}{\sigma_B}\right)$$

Here μ_A and σ_A are the mean and standard deviation of time series *A for specified time interval*, respectively, and μ_B and σ_B are the mean and standard deviation of *B*. If *n* is a number of selected time series, then the number of calculated correlations *m* for each specific time interval can be defined as:

$$m = \frac{n\cdot(n-1)}{2}$$

Each calculated correlation value can be assigned with its own index. Matrix of indexes for *n* variables is shown in *Figure 6*.

Variable Index	Variable Index	Correlation index
1	2	*1*
1	3	*2*
...	...	...
1	n	*n - 1*
2	3	*n - 1*
2	4	*n + 1*
...	...	...
2	n	*2 · n - 3*
...	...	...
x	x + 1	$\frac{(x-1)\cdot(2\cdot n-x)}{2}+1$
x	x + 2	$\frac{(x-1)\cdot(2\cdot n-x)}{2}+2$
...	...	...
x	n	$\frac{x\cdot(2\cdot n-x-1)}{2}$
...	...	...
n-1	n	$\frac{n\cdot(n-1)}{2}=m$

Figure 6 - Index matrix for the calculation of correlations

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Total number of calculated correlations for all intervals should be equal to *m·k*;

4. Obtained matrix with the dimension *m·k* is necessary to cluster in direction of *k*. Number of clusters can be chosen freely, but should be higher then *0* and lower then *k-1*. Any clustering method can be used for this step. Resulted clustering vector of *1·k* size shows, which specific interval to which cluster belongs;
5. Assuming that the resulted number of clusters equals to *p*, then the initial matrix of *m·k* correlation values can be averaged to a matrix *m·p*, where each column (from 1 to *p*) represents averaged correlation values for each specific cluster;
6. For each column (from 1 to *p*) of matrix *m·p* can be created a dendrogram that shows connections between variables. Connection strength is defined by correlation value and can be visualized in a way of reducing or increasing the length of connectivity line and its thickness. Since the number of connections even for small amount of variables is quite large for clear visualization (for example, for 6 variables there are 15 connections in total, for 10 variables there are 45 connections in total), special procedure was designed, in order to reduce number of connections only to relevant *n-1* connections. Input for the procedure is a matrix with the dimensions of *m·3*, where the first two columns contains the variables with the indexes shown in *Figure 6* and the third column corresponds to the chosen column of matrix *m·p*. Creation of dendrograms can be fulfilled iteratively using the flowchart shown on *Figure 7*. The algorithm is based on assumption that each new connection of variables can be considered as a new variable.

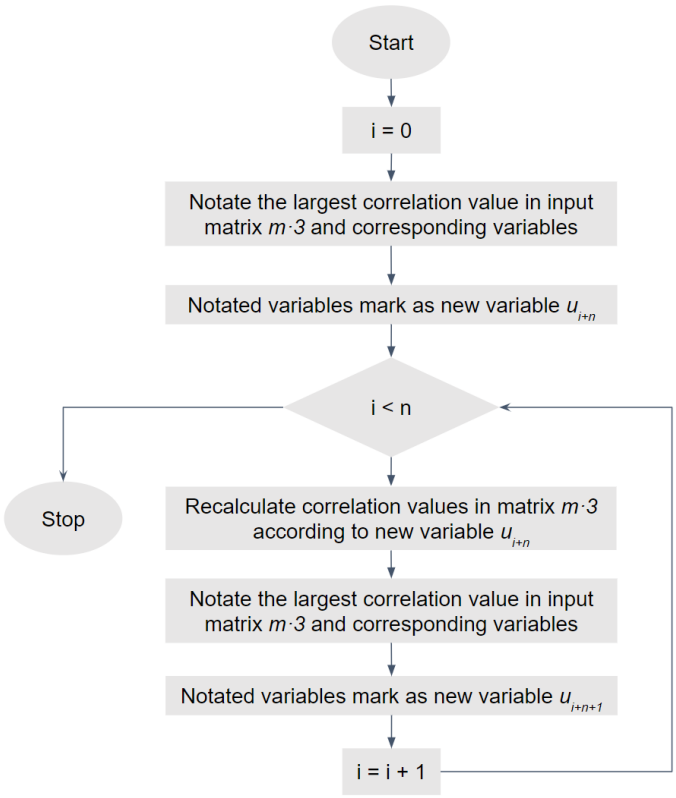


Figure 7 - Flowchart for dendrogram creation

7. Step 6 is repeated for each column of matrix *m·p*, so that each cluster is represented by its own dendrogram.
8. For the clarity of results, following visualizations could be additional used:
    a. calendar with indications of clusters affiliations - could be appropriate, if the interval length is greater or equal to 1 day;
    b. plot of correlation values against time;

Application of described above methodology on simulation and real building energy-related data is shown below.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3. Resultate – Résultats – Results

For a clearer explanation, the proposed methodology was approbated on data, generated using thermal building simulations. These simulations were completed using IDA-ICE simulation software. Office room was chosen as a simulation model (*Figure 8*). Thermal physical properties of the office room correspond to MINERGIE-Standard [24] with the standard use of office room according to SIA Merkblatt 2024 [25]. Office room has a heating floor, which is connected to a conventional heater with a technical water tank (*Figure 8*). Simulations were fulfilled using the climate data of Design Reference Year [26] for the location of city Lucerne, Switzerland. Simulation period lies between 15th of October and 15th of April (183 days in total) and corresponds to typical Swiss heating period. The scheme of room heating supply is shown on *Figure 8* and comprises following main simulated variables:

1. Supply temperature - outlet water temperature from heat generator. Supply temperature was set to be linearly dependent on ambient temperature.
2. Mass flow rate - mass flow rate of heated in gas burner water before room mixer;
3. Heating power - heating power, that was emitted by a gas burner;
4. Outlet temperature - outlet water temperature from heating floor in the office room;
5. Mix temperature - temperature of water, which comes to heating floor in the office room after a three-way valve. Mix temperature was proportionally controlled by the three-way valve, in order to maintain the room temperature at 21 °C;
6. Room temperature – volume-averaged air temperature in simulated room.

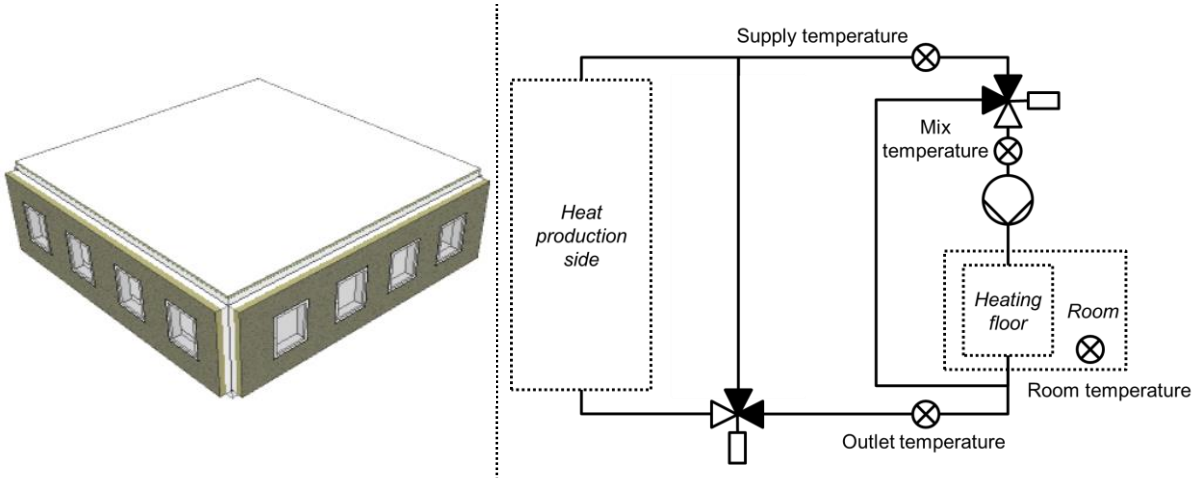


Figure 8 - Simulated office room: on the left - building geometry, on the right - principal scheme for room heating

Obtained time series of described variables are visualized according to the methodology, proposed in previous section. Since the simulation is done using hourly time step, no preprocessing of the simulated data is needed for the visualization of variables. For each simulated day, corresponding time series of variables are compared with each other. For this purpose, correlations between all possible time series pairs are estimated. Since the number of analyzed variables is six variables and the time frame consists of 183 days, aggregation of resulting correlation coefficients are shown on *Figure 9*, where the correlation strength of 1 means that two variables are linearly dependent (strong correlation strength), while the correlation strength of zero means that two variables are statistically independent (low correlation strength). As it can be seen on *Figure 9*, there are pairs of variables with high, middle and low correlation strengths. For example, the variables “Heating Power”, “Mass flow rate” and “Mix have the high correlation strength close to 1, which is physically reasonable since the heating power is proportional to the mass flow rate and the level of inlet water temperature. Due to the chosen control strategy (see above), the variables “Ambient temperature” and “Supply temperature” also highly correlate with each other. Middle correlation strength have the variables “Heating power”, “Mass flow rate” and “Ambient temperature” with a variable “Room temperature”. These is explained by the influence of building thermal mass. In average low correlation strength has a variable “Ambient Temperature” with the variables “Heating Power” and “Mass Flow Rate”. This occurs due to the occupant influence – weather-independent time schedules of internal heat gains and ventilation patterns.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

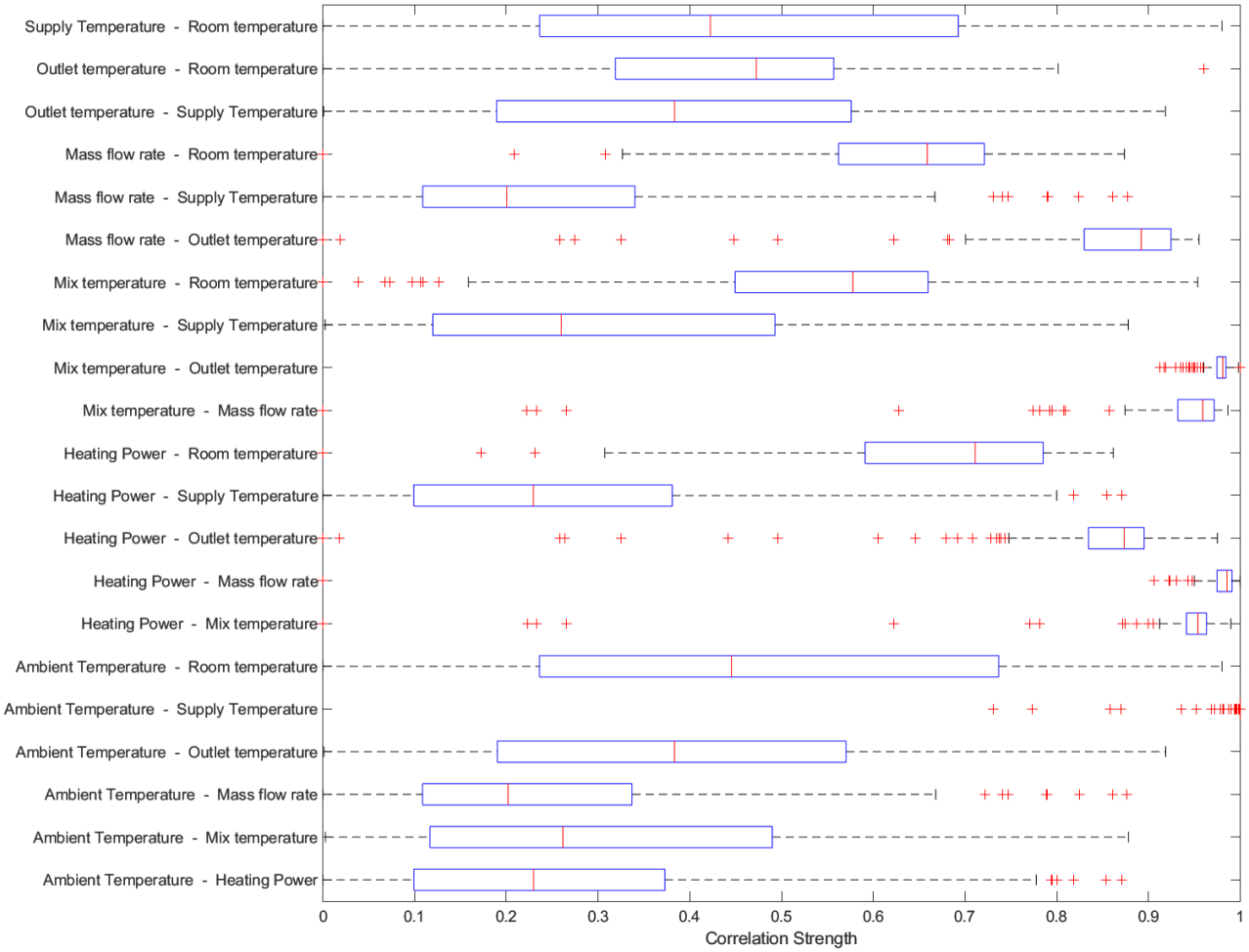


Figure 9 – Correlation strength of simulated variables

Calculated correlation coefficients can be also presented in a form of a numerical matrix with the dimensions of 15x183, where the first and second dimensions correspond to the total number of time series pairs and number of analyzed days. According to the given methodology, the columns of the obtained matrix are clustered, in order to establish patterns of system behavior. Question about the optimal number of clusters is out of scope of this article. For the given example, it is decided to cluster the matrix in 3 groups, which gives the most representative results. The distribution of resulting clusters within the analyzed period as also the simulated time series are presented on *Figure 10*. Cluster “A” comprises 16 days with a nearly-zero heating demand; cluster “B” includes 25 days with a medium heating demand, while cluster “C” contains 142 days with a substantial power usage. Averaged daily trends of simulated variables per cluster are shown on *Figure 11*.
The visualization of results presents itself as a series of dendrograms, where the the x-axis provides the correlation strength between variables and the y-axis contains the variable names. These series are shown on Figures 12, 13 and 14, where each dendrogram corresponds to an appropriate cluster. The lines of dendrograms mean the correlation connection. Correlation strength changes in a range from 0 to 1, where correlation strength of 0 means that two variables or groups of variables does not correlate with each other and correlation strength of 1 means that two variables are linearly dependent.
It is common for all three dendrograms that the variable “Supply Temperature” linearly correlates with the variable “Ambient Temperature”, since it was set so programmatically in simulation. The variables “Outlet Temperature” and “Mix Temperature” have also a correlation strength close to 1. Because of thermal inertia of heating floor and its thermal resistance, the variable “Outlet Temperature” is more dependent on “Mix Temperature” rather than on “Room Temperature” (see scheme on Figure 8).

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Figure 10 – Distribution of clusters within the analyzed period

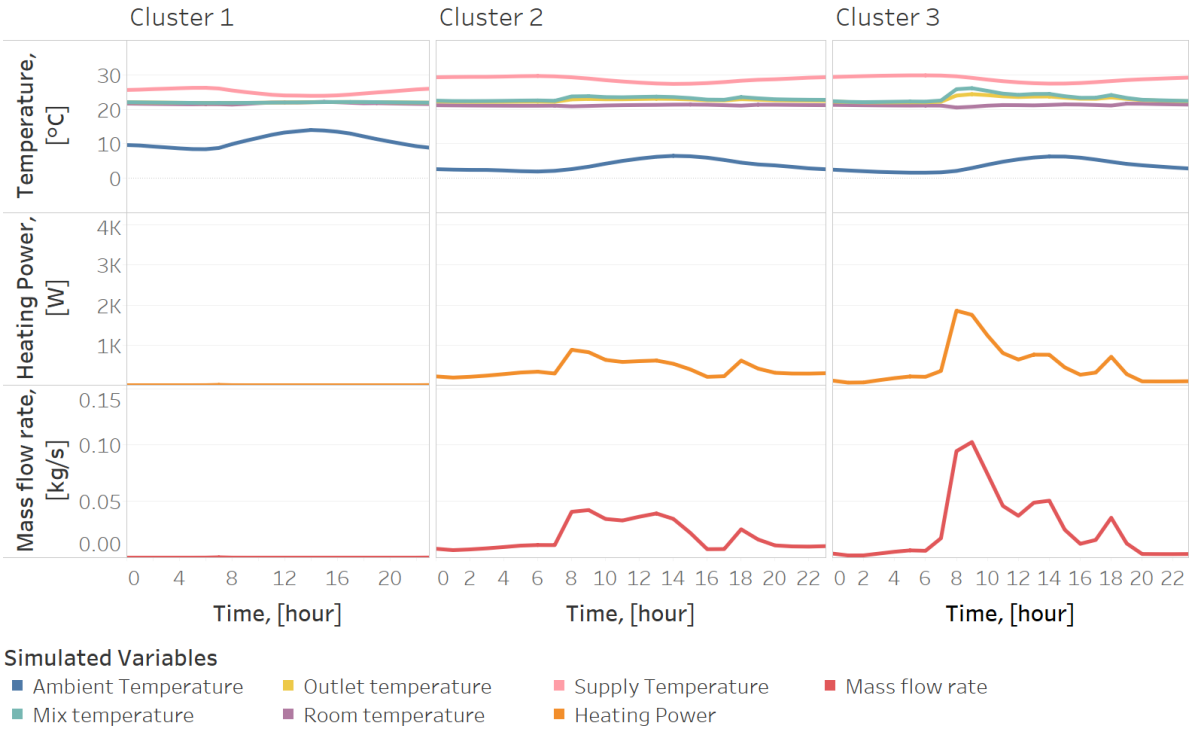


Figure 11 – Average mean daily trends of obtained cluster

As it can be seen on Figure 12, the correlation strength between the variables “Heating Power” and “Mass Flow Rate” as also with other variables is equal to 0, since during these days no heating is used (Cluster 1, Figure 11). Additionally, the variable “Room Temperature” correlates with the group “Supply Temperature”-“Ambient Temperature” with a strength of 0.75, which means that room temperature substantially dependent on ambient temperature.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

From the other hand, “Room Temperature” and “Mix Temperature” have an average correlation strength.

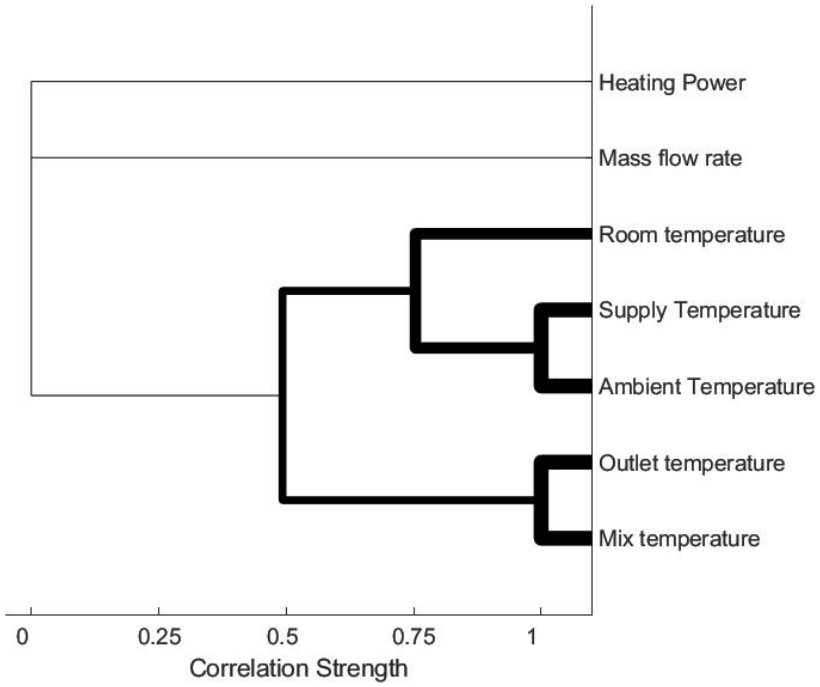


Figure 12 – Dendrogram that represents obtained cluster 1

Figure 13 shows different correlation pattern, where the variables “Heating Power” and “Mass Flow Rate” have a high correlation strength. These variables have in their turn strongly correlate with “Outlet Temperature” and “Mix Temperature”. However, room temperature is still more dependent on ambient temperature, meaning that this dendrogram represents days with low heating demand.

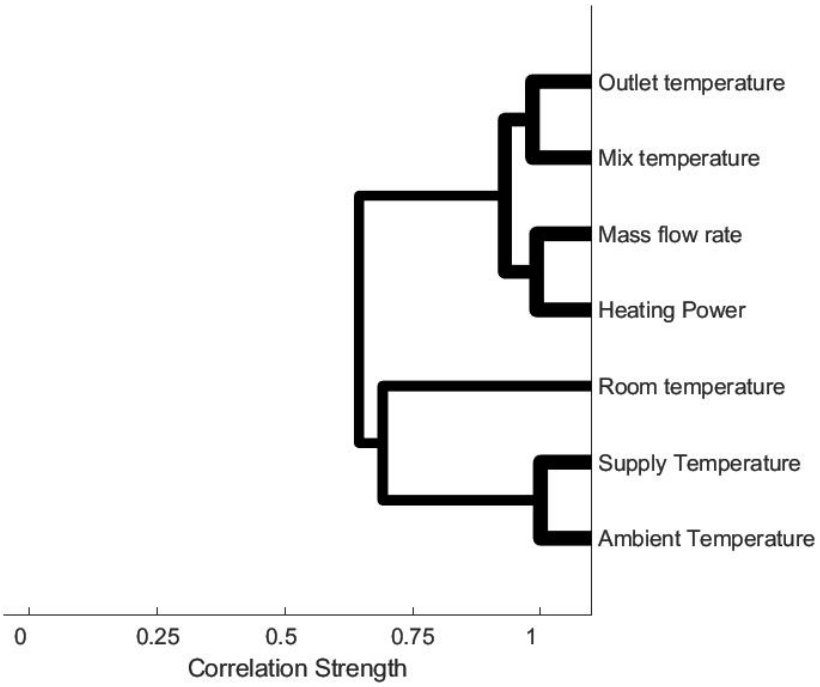


Figure 13 – Dendrogram that represents obtained cluster 2

On the Figure 14, it can be seen that the room temperature correlates with the variables of heating system (“Heating Power”, “Mass Flow Rate”, “Mix Temperature”, “Outlet Temperature”) more than with the ambient temperature, meaning that this dendrogram represents days with the high heating demand.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

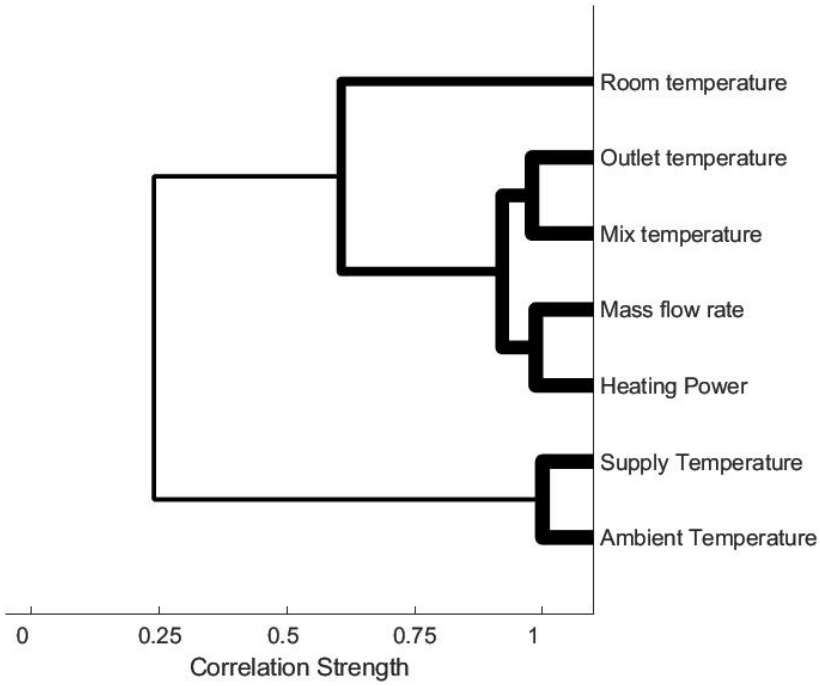


Figure 14 – Dendrogram that represents obtained cluster 3

4. Discussion

In this research, a methodology of a new approach for the visualization of building facility energy data is explained using the results of thermal simulations.

The main advantage of the proposed approach lies on its ability to analyze multiple variables of energy data together including their interaction between each other, which can help the facility manager better and quicker understand the energy behavior of the building and its systems.

However, the approach has certain restrictions:

1. Only time series with the sufficient amount of data points can be analyzed: at least an hourly time resolution is needed;
2. Proposed method cannot be used for the detection of short-time anomalies, since all such data points will be smoothed during the calculation of correlations;
3. Analysis of the obtained dendrograms requires knowledge about investigated system or building and can be complicated;

5. Perspectives

Future research will be focused on the application of the described approach on measured building facility data.

6. Acknowledgement

This research project is financially supported by the Swiss Innovation Agency Innosuisse and is part of the Swiss Competence Center for Energy Research SCCER FEEB&D.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literature/references

[1] Energiegesetzt 730.0, Die Bundesversammlung der Schweizerischen Eidgenossenschaft, Stand 01. Januar 2018. Bern.

[2] Energieverbrauch von Gebäuden, Fact Sheet, Konferenz Kantonaler Energiedirektoren, August 2014. p. 19.

[3] Camarasa, C., Nägeli, C., Osterneyer, Y., Klippel, M., Botzler, S., Diffusion of energy efficiency technologies in European residential buildings: A bibliometric analysis. Elsevier, Energy & Buildings, Vol. 202, 2019, Article 109339.

[4] Jin, R., Zhong, B., Ma, L., Haschemi, A., Ding, L., Integrating BIM with building performance analysis in project life-cycle. Elsevier, Automation in Construction, Vol. 106, 2019, Article 102861.

[5] Potkany, M., Vetrakova, M., Babiakova, M., Facility Management and Its Importance in the Analysis of Building Life Cycle. Elsevier, Procedia Economics and Finance, Vol. 26, 2015. – pp. 202-208

[6] Tian, W., Heo, Y., de Wilde, P., Li, Z., Yan, D., Park, C.S., Feng, X., Augenbroe, G., A review of uncertainty analysis in building energy assessment. Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 93, 2018. - pp. 285-301

[7] Delzendeh, E., Wu, S., Lee, A., Zhou, Y., The impact of occupants' behaviours on building energy analysis: A research review. Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 80, 2017. - pp. 1061-1071
http://dx.doi.org/10.1016/j.rser.2017.05.264

[8] Wei, Y., Zhang, X., Shi, Y., Xia, L., Pan, S., Wu, J., Han, M., Zhao, X., A review of data-driven approaches for prediction and classification of building energy consumption. Elsevier, Renewable and Sustainable Energy Reviews, Vol. 82, 2018. - pp. 1027-1047

[9] Bourdeau, M., Zhai, X., Nefzaoui, E., Guo, X., Chatellier, P., Modeling and forecasting building energy consumption: A review of data-driven techniques. Elsevier, Sustainable Cities and Society, Vol. 48, 2019. Article 101533.
https://doi.org/10.1016/j.scs.2019.101533

[10] Streicher, K.N., Padey, P., Parra, D., Bürer, M.C., Patel, M.K., Assessment of the current thermal performance level of the Swiss residential building stock: Statistical analysis of energy performance certificates. Elsevier, Energy and Buildings, Vol. 178, 2018. - pp. 360-378

[11] Atalay, S.D., Calis, G., Kus, G., Kuru, M., Performance analyses of statistical approaches for modeling electricity consumption of a commercial building in France. Elsevier, Energy and Buildings, Vol. 195, 2019. - pp. 82-89

[12] Richardson, I., Thomson, M., Infield, D., Clifford, C., Domestic electricity use: A high-resolution energy demand model. Elsevier, Energy and Buildings, Vol. 42, 2010. - pp. 1878-1887

[13] Carpino, C., Bruno, R., Arcuri, N., Statistical analysis of the heating demand in residential buildings located in Mediterranean climate and proposals for refurbishment. Elsevier, Energy Procedia, Vol. 133, 2017. - pp. 16-27

DOI 10.5281/zenodo.3900180

[14] Zakovorotnyi, A., Seerig, A., Building energy data analysis by clustering measured daily profiles. Elsevier, Energy Procedia, Vol. 122, 2017. - pp. 583-588

[15] Li, J., Panchabikesan, K., Yu, Z., Haghighat, F., El Mankibi, M., Corgier, D., Systematic data mining-based framework to discover potential energy waste patterns in residential building. Elsevier, Energy and Buildings, Vol. 199, 2019. - pp. 562-578
https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2019.07.032

[16] Gerbec, D., Gasperic, S., Smon, I, Gubina, F., An Approach to Customers Daily Load Profile Determination. IEEE, IEEE Power Engineering Society Summer Meeting, 2002. - pp. 587-591
DOI: 10.1109/PESS.2002.1043307

[17] Yao, R., Steemers, K., A method of formulating load profile for domestic buildings in UK. Elsevier, Energy and Buildings, Vol. 37, 2005. - pp. 663-671

[18] Wang, Z., Chen, Y., Data-driven modeling of building thermal dynamics: Methodology and state of the art. Elsevier, Energy and Buildings, Vol. 203, 2019, Article 109405.

[19] Buffat, R., Froemelt, A., Heeren, N., Raubal, M., Hellweg, S., Big data GIS analysis for novel approaches in building stock modelling. Elsevier, Applied Energy, Vol. 208, 2017. -pp. 277-290

[20] Sadeghifam, A.N., Meynagh, M.M., Tabatabaee, S., Mahdiyar, A., Memari, A., Ismail, S., Assessment of the building components in the energy efficient design of tropical residential buildings: An application of BIM and statistical Taguchi method. Elsevier, Energy, Vol. 188, 2019, Article 116080.

[21] Magnier, L., Haghighat, F., Multiobjective optimization of building design using TRNSYS simulations, genetic algorithm, and Artificial Neural Network. Elsevier, Building and Environment, Vol. 45, 2010. - pp. 739-746

[22] Neto, A.H., Fiorelli, F.A.S., Comparison between detailed model simulation and artificial neural network for forecasting building energy consumption. Elsevier, Energy and Buildings, Vol.40, 2008. - pp. 2169-2176

[23] Kendall, M.G. The Advanced Theory of Statistics, 4th Ed., Macmillan, 1979.

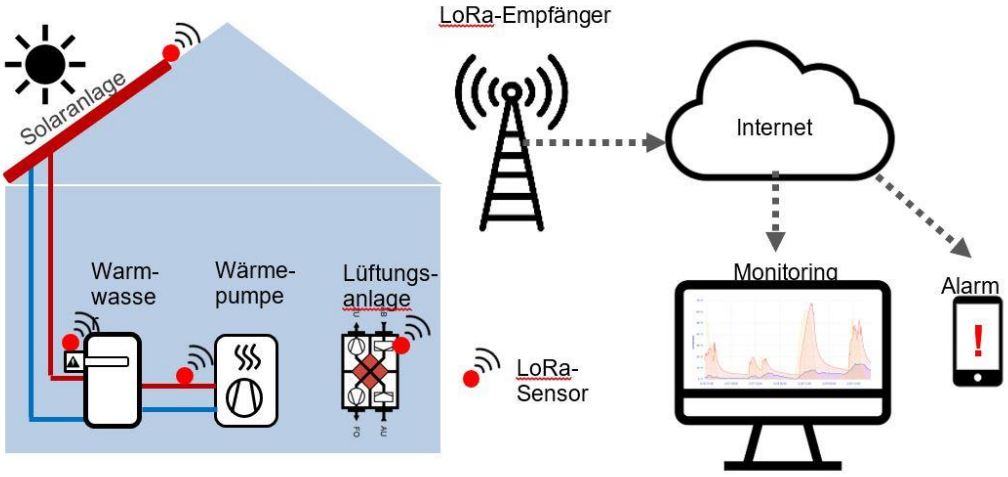
[24] MINERGIE-A Standard, [Online], Available: www.MINERGIE.ch.

[25] SIA, 2015. SIA 2024:2015; Merkblatt „Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik“. Zurich, 156 pp.

[26] SIA, 2010. SIA 2028:2010; Merkblatt „Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik“. Zürich, 80 pp.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

LoRa-Monitoring für die Gebäudetechnik



Autor
Bernd Sitzmann,

Energie Zukunft Schweiz AG, Viaduktstrasse 8, 4051 Basel

bernd.sitzmann@ezs.ch,

www.energiezukunftschweiz.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Studien zeigen, dass bei Gebäuden ein erheblicher Performance Gap zwischen Zielwerten und Realität bezüglich Energieverbrauch besteht. Heizungsanlagen mit Internetanbindung, die remote und zentral überwacht werden können, wären zwar heute verfügbar, werden aber besonders im MFH-Sektor aus Kostengründen selten genutzt.

Wichtige Effizienzfaktoren der Gebäudetechnik (Heizgrenze, Heizkurve, Fehlfunktion elektrischer Komponenten etc.) können heute ohne Internetanbindung über kostengünstige und einfach nachrüstbare LoRaWAN-Sensoren überwacht und mit Wetterdaten verglichen werden. Das so geschaffene Internet der Dinge (IoT) gilt als Schlüsseltechnologie zur Erreichung der Klimaziele.

In diesem Projekt werden mit der Unterstützung von Energie Schweiz erste Grenzwertregeln zur Erkennung von Betriebsoptimierungen entwickelt. An Hand ausgewählter Minergie-Gebäude werden diese Regeln auf ihre Anwendbarkeit zusammen mit Minergie getestet. Ausserdem wird die Gebäudetechnikbranche mit einem ersten Merkblatte aufmerksam auf die Vorteile und Möglichkeiten dieser neuen Technologie zusammen mit suissetec NWCH und Swissolar und der Hochschule Luzern gemacht.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage – Contexte – Scope

Studien zeigen, dass bei Gebäuden ein erheblicher Performance Gap zwischen Zielwerten und Realität bezüglich Energieverbrauch besteh. Ursachen für den Performance Gap liegen einerseits im Nutzerverhalten, aber auch an zu konservativ eingestellter Gebäudetechnik (z.B. Dauerbetrieb von Pumpen, Heizstäben und Ventilatoren) und an nicht erkannten Fehlfunktionen. Es zeigt sich, dass einer diesbezüglichen Optimierung vom zuständigen Personal auch bei regelmässiger Anlagenwartung (z.B. Servicevertrag) nur geringe Aufmerksamkeit beigemessen wird.

In der Regel ist es für das Servicepersonal im Rahmen der Wartungsarbeiten vor Ort auch schwierig, ein Effizienzproblem zu erkennen, da ihm die notwendigen Tools (Messung, Monitoring, Benchmarks, etc.) oftmals fehlen. Heizungsanlagen mit Internetanbindung, die remote und zentral überwacht werden können, wären zwar heute verfügbar, werden aber besonders im MFH-Sektor aus Kostengründen selten genutzt.

Wichtige Effizienzfaktoren der Gebäudetechnik (Heizgrenze, Heizkurve, Fehlfunktion elektrischer Komponenten etc.) können heute aber auch ohne Internetanbindung über kostengünstige und einfach nachrüstbare LoRaWAN-Sensoren überwacht werden (LoRa-Monitoring; Begriffserklärung LoRaWAN/LoRa-Monitoring siehe nächste Seite).

Das LoRa-Monitoring ist eine noch ziemlich neue Technologie. Es kann aber bereits heute wichtige Anlageeinstellungen automatisch und einfach überwachen. Der Funktionsumfang des LoRa-Monitorings wird von einer wachsenden Zahl von Anbietern weiterentwickelt.

2. Vorgehen – Méthode – Methods

Das vorliegende Projekt will mit der Einführung kostengünstiger LoRa-Monitoringsysteme für die Gebäudetechnikbranche die Einhaltung von Minergie-/ SIA-Grenzwerten unterstützen. Eine transparente und automatisierte Fehlfunktions-Überwachung mittels einfacher Datenabfragen hilft Betreiber und Eigentümer, energetische Optimierungspotentiale besser zu erkennen.

Da die LoRa-Sensoren einfach und ohne grossen Aufwand nachgerüstet werden können, soll das Monitoring sowohl bei Neu- als auch bei Altbauten angewendet werden. Die erhobenen Daten ermöglichen auch Benchmarkings, Vergleiche und Langzeitauswertungen.

Es wurden Grenzwert-Regeln (Algorithmen) zur Erkennung von Fehlfunktionen von thermischen Solaranlagen, Wärmepumpen und Lüftungsanlagen entwickeln, unter Berücksichtigung der Anforderungen des Minergie-Moduls.

Eine Übersicht über LoRa-Monitoring-Produkte inkl. Monitoring-Plattformen wird zusammen mit TopTen erstellen sowie ein “Best practice”-Merkblatt um die Möglichkeiten den IoT-Monitorings in der Gebäudetechnik publik zu machen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3. Resultate – Résultats – Results

Grenzwert-Regeln

Im Folgenden werden Beispiele für mögliche Grenzwert-Regeln aufgeführt, die in den entsprechenden Monitoringplattformen umgesetzt werden können:

therm. Solaranlage	Bei guter Einstrahlung und wenn eine therm. Solaranlage vorhanden ist sollte kein Heizungsbetrieb über die Vorlauftemperatur ersichtlich sein für das Warmwasser.
Wärmepumpe	**Heizgrenze**: Wenn Aussentemperatur über 20°C soll die Heizung nur noch für Warmwasser aktiv sein.
	Eine **Heizkurve** sollte zwischen der Korrelation zwischen Vorlauftemperatur und der Aussentemperatur ersichtlich sein. Und bei Wärmepumpen einen max. Vorlauftemperatur von 45°C nicht überschreiten.
	Bei Wärmepumpen soll die **Warmwassertemperatur** 52°C nicht übersteigen.

Tabelle 1: Entwurf von Grenzwertregeln welche für die Erkennung von Betriebsoptimierungen Anwendung finden können.

Das IoT-Monitoring kann so zum Beispiel ideal als Ergänzung eines Minergie-Modul Monitoring eingesetzt werden um den effizienten Betrieb einer Heizungsanlage zu überwachen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Fallbeispiele

Zur Ausarbeitung des “Best practice”-Merkblatts wurden innerhalb des Projekts zwei Wärmepumpen, eine thermische Solaranlage und eine Lüftungsanlage zur Erprobung des IopT-Monitorings ausgestattet.

Die Datenübertragung wurde mit dem LPN von Swisscom durchgeführt. Es zeiget sich, dass die Konnektivität auch in den abgelegenen Heizungskellern gut ist.

Einfamilienhaus mit ineffizienter Wärmepumpe

Ausgangslage: Einfamilienhaus mit Luft-Wasser Wärmepumpe und 2000 Liter Kombispeicher. Die Hydraulik zur Speicherbeladung wurde falsch ausgeführt, sodass keine separate Warmwasser- und Heizungsbeladung möglich ist (siehe Abbildung 1). Der/Die Einfamilienhausbesitzer/in merkt jedoch nichts von dieser Fehlfunktion. Hohe Energiekosten sind die Folge.

IoT-Monitoring: Ein einziger LoRaWAN-Temperatursensor erfasst die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe. Die Aussentemperatur wird für den Standort über Wetterdaten automatisch generiert.

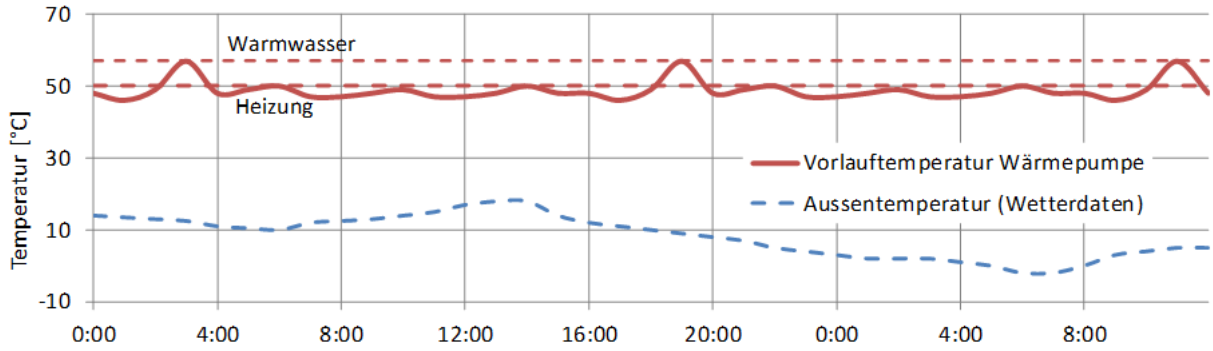


Abbildung 1: Messung der Vorlauftemperatur mit einen LoRaWAN-Temperatursensor und Abgleich mit der Aussentemperatur an einer ineffizient laufenden Luft-Wasser Wärmepumpe.

Analyse der Messdaten: Auf der Monitoringplattform ist ersichtlich, dass eine nahezu konstante Speicherladung von 48°C vorliegt, unabhängig von der Aussentemperatur. Zudem sieht man, dass keine Heizkurve und keine Heizgrenze eingehalten werden.

Fazit: Die Plattform zeigt das grosse Optimierungspotenzial der Wärmepumpe.

Einfamilienhaus mit effizienter Wärmepumpe

Ausgangslage: Einfamilienhaus mit Luft-Wasser Wärmepumpe und 500 Liter Kombispeicher.

IoT-Monitoring: Ein einziger LoRaWAN-Temperatursensor erfasst die Vorlauftemperatur der Wärmepumpe (analog Fall 1). Die Aussentemperatur wird für den Standort über Wetterdaten generiert.

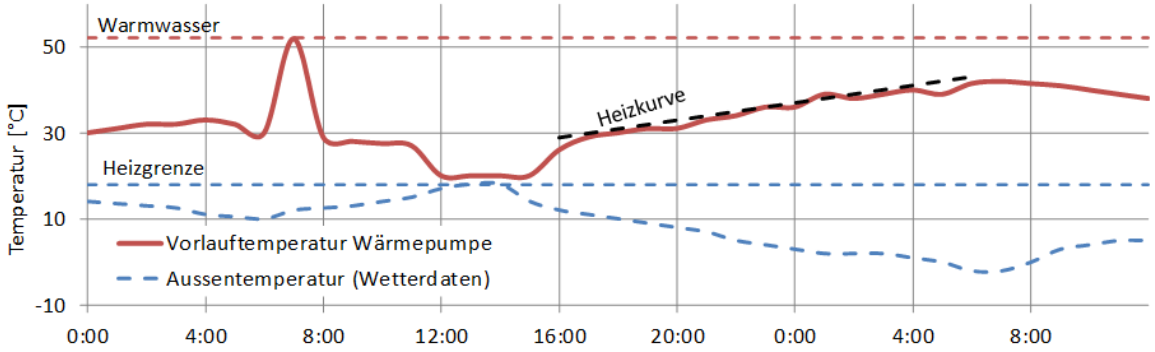


Abbildung 2: Messung der Vorlauftemperatur mit einen LoRaWAN-Temperatursensor und Abgleich mit der Aussentemperatur an einer effizient laufenden Luft-Wasser Wärmepumpe.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Analyse der Messdaten: Die Monitoringplattform erkennt eine Heizkurve und eine Heizgrenze von 16°C. Auch die Warmwassererzeugung (50°C) wird separat von der Heizungstemperatur erkannt.

Fazit: Die Wärmepumpe zeigt keine Auffälligkeiten und läuft ideal.

Thermische Solaranlage

Ausgangslage: Einfamilienhaus mit nicht funktionierender thermischer Solaranlage. Ein unnötiger fossiler Energieverbrauch ist die Folge.

IoT-Monitoring: Der LoRaWAN-Temperatursensor wurde aussen am Vorlauf der Solarleitung platziert. Die Einstrahlung und die Aussentemperatur wurden über Wetterdaten für den Standort generiert.

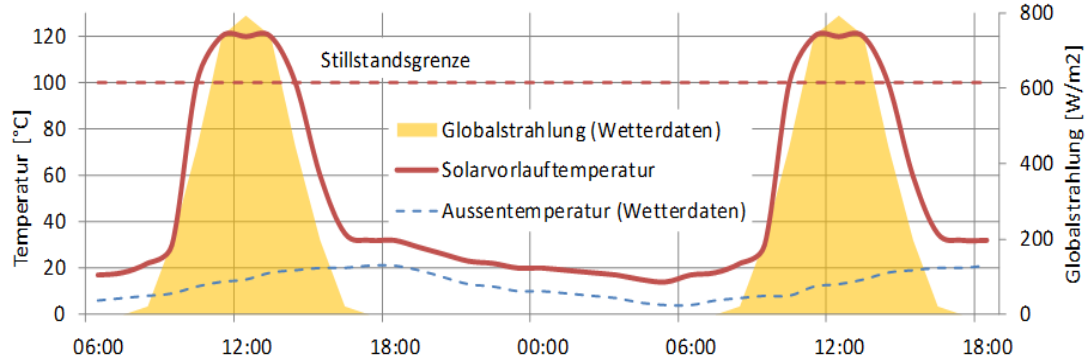


Abbildung 3: Temperaturmessung mit einen LoRaWAN-Temperatursensor an einer defekten therm. Solaranlage und Abgleich mit Wetterdaten für den Standort.

Analyse der Messdaten: Die Messdaten auf der Monitoringplattform zeigen bei guter Einstrahlung eine Überhitzung der thermischen Solaranlage auf über 100°C. Die Anlage war schlecht entlüftet und ging deshalb in den Stillstand. Ausserdem verliert die Solaranlage Wärme über die Sonnenkollektoren in der Nacht. Dies zeigt sich an der höheren Vorlauftemperatur der Solaranlage.

Fazit: Die Fehlfunktionen wurde mit dem LoRa-Temperatursensor erkannt und konnte behoben werden. Die Solaranlage weist wieder ein störungsfreies Betriebsverhalten auf. Es kann eine Anhebung der Vorlauftemperatur entsprechend der Speicherladung erkannt werden. In der Nacht gleicht sich die Vorlauftemperartur der Aussentemperatur an.

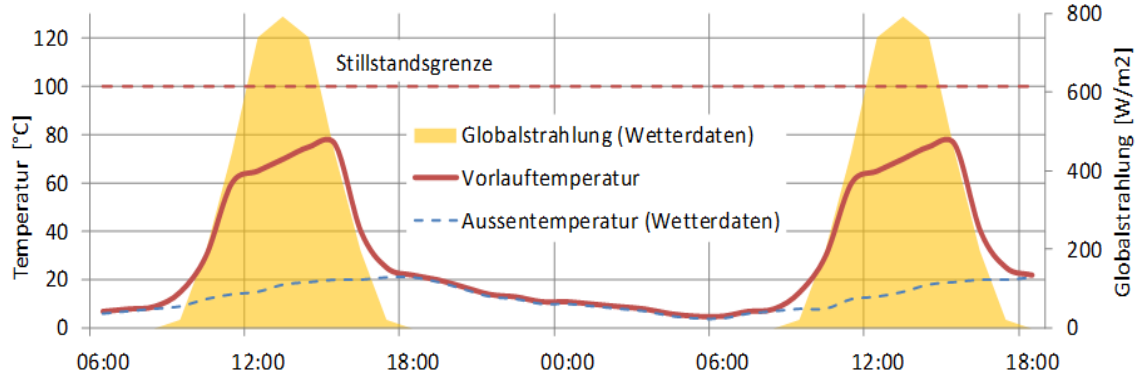


Abbildung 4: Temperaturmessung mit einen LoRaWAN-Temperatursensor an der therm. Solaranlage und Abgleich mit Wetterdaten für den Standort. Die Anlage zeigt wieder einen störungsfreien Betrieb.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

4. Ausblick – Perspectives – Perspectives

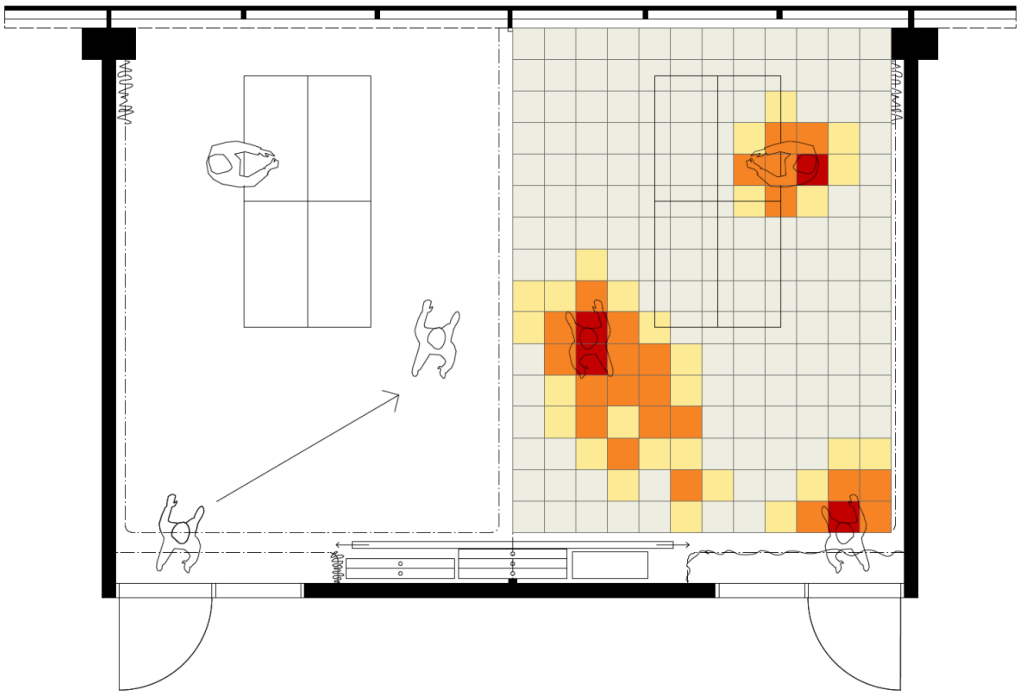
Das Projekt zeigt, dass ein LoRa-Monitoring zusammen mit dem Abgleich von Wetterdaten ein effektives Tool für die Erkennung von Fehlfunktionen bei neuen Heizungsanlagen ist. Insbesondere im Geschosswohnungsbau mit wenig Möglichkeiten zur Anlageüberwachung und bei Gebäuden mit Minergie -Label bietet die IoT-Technik grosse Vorteile gegenüber herkömmliche Messmethoden. Hinsichtlich der Konnektivität des Funkstandards im Heizungskeller konnten in diesem Projekt positive Erfahrungen gemacht werden.

Das Projekt wurde zusammen mit Minergie, der Hochschule Luzern und den Branchenverbänden suisssetec NWCH und Swissolar durchgeführt mit Unterstützung von Energie Schweiz.

Eine Auflistung von IoT-Monitoringlösungen für die Gebäudetechnik wir zukünftig auf www.topten.ch verfügbar sein.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Augmented presence detection in buildings



Olivier Steiger, Reto Marek, Reto Häfliger
Hochschule Luzern, Technik & Architektur, 6048 Horw, olivier.steiger@hslu.ch

Abstract

Researchers from Lucerne University of Applied Sciences and Arts have investigated the use of augmented presence detection in buildings. The term refers to the recording of presence (presence yes / no), number, position, activity and identity of persons. Four detection methods have been investigated: (1) Interconnection of conventional room sensors; (2) Proprietary multi-sensor platform; (3) Video-based presence detection; (4) Presence detection using thermal imaging. Measurement accuracies of ±2 persons were achieved with video-based presence detection using the commercial sensor HPD2 from Steinel. Furthermore, the benefits of augmented presence detection were determined. The use of augmented presence detection enables efficiency increases, more comfort and new applications in buildings. In particular, a significant energy-saving potential has been identified in functional buildings. Based on the investigations, recommendations have been derived for the further development of presence detectors and the use of augmented presence detection in buildings. These are aimed at manufacturers, specialist planners and contractors.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Introduction and scope

In Switzerland, 45% of total end energy consumption can be traced back to heating, cooling, ventilation, hot water preparation and lighting of buildings [1]. However, part of this energy is not required because rooms are sometimes left unoccupied. Consequently, the supply of heat / cooling / fresh air / light does not match the actual demand. One way of reducing energy consumption is the occupancy-based control of building services installations. With this, the systems are controlled according to the actual or predicted occupancy of the building.

In order to determine occupancy, various presence detection technologies are available. Passive infrared sensors (PIR) are the most commonly used. These detect people through their heat radiation and are widespread, inexpensive as well as easy to install. However, PIR sensors cannot reliably distinguish persons from other heat sources such as animals, solar radiation, electronic devices. There must also be visual contact between the sensor and the person. Some of these disadvantages can be avoided by using ultrasonic or high frequency radio waves (HF) for presence detection. Ultrasound waves fill out the room completely and detect movements even if there is no visual contact. High-frequency radio waves are able to propagate through glass, wood and lightweight walls. This makes HF sensors suitable for hidden mounting in sanitary installations and public spaces. A more recent type of sensor technology is optical presence detection. With this, the room is monitored by an optical system, usually a video camera. People present in the room are recognized using image processing. In this way, people can not only be detected but also counted, localized and recognized.

In order to determine the actual demand (for energy, comfort, security) more accurately, additional information can be obtained. For example, the number, position, activity and identity of people present in a room can be determined. This goes beyond conventional presence detection (i.e. human presence yes or no) and is therefore referred to as *augmented* presence detection (Figure 1). The detection of augmented presence opens up many new possibilities.

The remainder of this paper is organized as follows. In Section 2, four different methods for the detection of augmented presence are introduced. In Section 3, the benefits of augmented presence detection in building services applications are discussed. In Section 4, recommendations are made for the further development of presence detectors and the use of augmented presence detection in buildings. Finally, Section 5 concludes the paper with some perspectives.

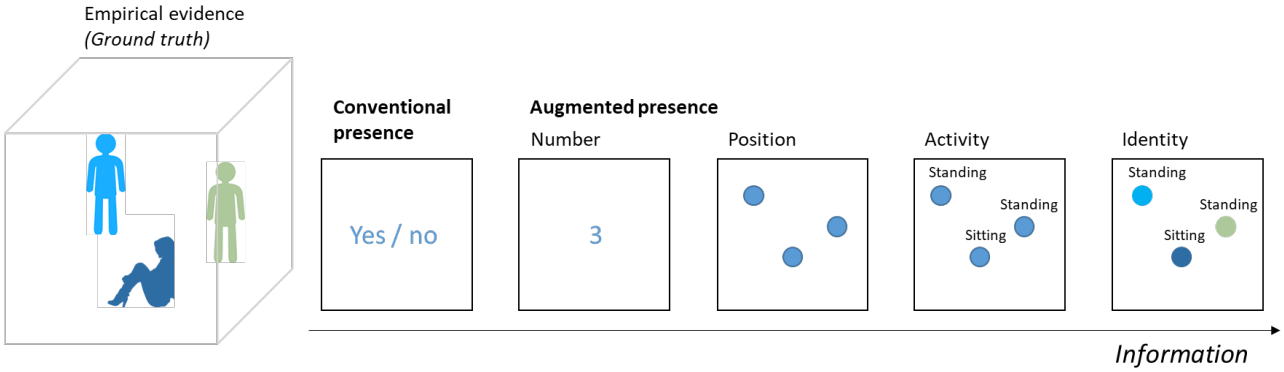


Figure 1 *Five manifestations of presence detection in buildings.*

2. Detection of augmented presence

The automatic detection of augmented presence information in buildings requires appropriate sensing technologies. Due to the wide variety of existing measurement principles, these can be quite diverse. In practice however, certain fundamental requirements must be met in order to ensure that presence detection can be carried out economically and for the intended purpose. Above all, the technology must be accepted by users and must not violate the protection of personality rights. Also for common applications, sensors are required that do not differ significantly from conventional presence detectors in terms of price, appearance, interfaces and

DOI 10.5281/zenodo.3900180

measurement characteristics. In addition, the installation, commissioning and maintenance of the devices must be as simple as possible.

In several experiments, four different detection methods have been used. Two methods rely on optical presence detection, whilst the others are based on conventional (i.e. non-optical) sensors. The main properties of the investigated methods are summarized in Table 1. It should be noted that currently, only video-based presence detection is available as a commercial product for building applications, for instance from the company Steinel.

All experiments have been conducted under realistic conditions in two meeting rooms and one open space office at Lucerne University of Applied Sciences and Arts [2]. For all practical purposes, the interconnection of conventional room sensors has proven to be useless because the results were very inaccurate and hardly reproducible. Here, more advanced evaluation methods than those used are required, e.g. based on machine learning. With the proprietary multi-sensor platform, the measurement accuracy is about ±2 persons. However, natural changes in room conditions (e.g. temperature, humidity, air quality) can lead to considerable deviations. Therefore, the variance of the results is generally larger than with optical detection methods. With video-based presence detection (used sensor: Steinel HPD2), the measuring accuracy is about ±2 persons as well. Various influencing factors have to be taken into account when recording the data: Sensor position, lighting conditions, influence of clothing. Also, the devices should always be used with the latest firmware release due to rapid improvements in image processing. Finally, with presence detection using thermal imaging, sitting persons have been correctly identified in about 90% of all cases. However, non-human heat sources (laptops, coffee cups) have been incorrectly detected as well. Here, appropriate training images have proven to be particularly important for accuracy. Note that detailed experimental results are to be found in the final project report [2].

	Interconnection of conventional room sensors	**Proprietary multi-sensor-platform**	**Video-based presence detection**	**Presence detection using thermal imaging**
Description	Different, conventional room sensors (e.g. temperature, CO_2, door/window contact, PIR) are evaluated commonly	Different sensors are combined on a single measurement platform and evaluated commonly	Room occupation is determined using video (visible light) and image processing	Room occupation is determined using video (infrared light) and image processing
Measured values	Presence yes/no, number, (position), (activity)	Presence yes/no, number, (position), (activity), (ID)	Presence yes/no, number, position, activity, ID	Presence yes/no, number, position, (activity), (ID)
Commercial products available for building applications	No	No	Yes	No
Relies on commercially available sensors	Yes	No	No	No
Protection of personality rights	Guaranteed	Depending on used sensors	Sensitive	Sensitive

Table 1 Properties of different augmented presence detection methods [2].

3. Benefits of augmented presence detection

Augmented presence detection provides valuable information about the use of buildings and rooms. This information can in turn be used to improve energy efficiency, comfort, security, functionality and profitability. In order to quantify the corresponding benefits, an extensive literature study has been conducted [2].

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Energy efficiency can be improved, for example, by supplementing common, air quality-based ventilation control systems with the occupancy rate of the room [3-5]. Furthermore, in open-plan offices, the personalized conditioning of individual room sections makes sense, if feasible [6-7]. Another decisive factor is the optimal utilization of room capacities. I.e. whenever possible, rooms should be occupied to their full capacity [5, 8]. To this end, current and expected room occupancy must be determined. Note that in residential buildings, augmented presence detection does not make much sense, because it does not cause significant energetic savings and offers few advantages in terms of comfort, safety, functionality and economy. Conversely, conventional presence detection in residential buildings is very useful from an energy point of view. With respect to conventional time-switching programs, significant savings can be achieved.

Comfort can be improved by adapting comfort set points locally to the individual preferences of the users: illuminance, color temperature, glare protection, room climate. Individual preferences are thereby determined based on the activity or ID of present persons. Various options are available for improving safety. For example, the position of persons can be used to detect intruders in predefined areas. During an evacuation, people flow (i.e. number and position over time) and obstacles (congestions) can be dynamically taken into account to automatically determine optimal escape routes. Applications that are not feasible with conventional presence information are also conceivable. For example the visualization of room occupancy in real time for hot-desking or as a basis for planning. Finally, economic profitability can be improved through the optimized use of given resources: rooms, cleaning staff, etc. The necessary data is provided by augmented presence detection. An extensive overview of possible applications of augmented presence detection in buildings is provided in Table 2.

		Presence yes/no	Number	Position	Activity	Identity
ENERGY						
Presence-based control	The building's technical systems are controlled according to the presence of person(s). For example, lighting on / off.	X				
Occupancy-based control	The building's technical systems are controlled according to the number of present persons. For example, volume flow rate, supply air temperature.		X			
Position-based control	The building's technical systems are controlled according to the position of present persons. For example, illuminance, incidence of daylight.			X		
Activity-based control	The building's technical systems are controlled according to the activity of present persons. For example, illuminance, ambient temperature, air quality.				X	
Identity-based control	The building's technical systems are controlled according to the identity of present persons. For example, illuminance, incidence of daylight, ambient temperature, air quality.					X
Demand-based set points	The set points of the building's technical systems are set according to the actual demand. For example, set point for illuminance, ambient temperature, volume flow rate. The demand is determined based on the occupancy, position, activity, group and/or ID of persons as well as other information from the building automation & control system.	X	(X)	(X)	(X)	(X)
Reduction of runtime	The runtimes of the building's technical systems are reduced to the necessary minimum. The required runtimes are determined based on the (predicted) presence in the rooms / room segments.	X		(X)		
Standby in case of non-occupancy	The building's technical systems are set to an energy-saving operating mode when individual rooms / segments are not occupied, e.g. stand-by or economy.	X		(X)	(X)	
Pre-conditioning	Rooms / segments are pre-conditioned according to the predicted occupancy. This creates appropriate room comfort conditions prior to the actual usage of the room.	X		(X)		
COMFORT						
Personalized building automation	Comfort conditions are locally adapted to the preferences of individual users: illuminance, color temperature, glare protection, climate settings. Preferences are determined based on the activity or ID of the person.			X	(X)	(X)

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Participatory room conditions setting	Comfort conditions in a given space are determined by consensus. This means that the comfort settings incorporate the preferences of *all* users that are present in the room. The present users are determined based on their ID.			(X)		X
Pre-conditioning	See above.	X		(X)		
Demand-based transports	Passenger lifts and similar transport systems for buildings are controlled according to current demand. This means that the number and position of waiting as well as transported persons are taken into account to schedule upcoming trips.		X	X		
SAFETY						
Access control	Access to individual rooms / segments is only granted to authorized personnel Authorizations are determined based on identity.			(X)		X
Intrusion detection	Intruders are signaled by undue presence in supposedly empty rooms. This application takes advantage of the fact that some augmented presence detection methods can distinguish persons from other objects.	X		(X)		
Smart evac	Instead of evacuating buildings according to rigid procedures and fixed routes, people flow and congestions (e.g. due to fires) are dynamically taken into account in order to determine optimal escape. To this end, the number and position of persons must be determined.		X	X		X
Active Assisted Living	Active Assisted Living refers to the assistance of elderly people by technical means. E.g., automatic tumble detection, detection of unusual behavior. This requires the determination of the position, activity and possibly identity of persons.			X	X	(X)
Recognition of left-behinds	Some technical premises (e.g. substations, maintenance shafts) are rarely occupied and carry an increased risk of accidents. Persons left behind in such environments must be detected and evacuated quickly and reliably.	X		(X)	(X)	
FUNCTIONALITY						
Occupancy visualization	The occupancy of rooms (presence, crowd density, position, activity, ID) can be displayed for various purposes. For example, visualization of the occupancy of meeting rooms and workstations, customer density in supermarkets, hotel rooms occupancy.	(X)	(X)	(X)	(X)	(X)
Basis for planning	Data about the occupancy and usage of existing buildings can be used to tailor the planning of future, similar buildings to their expected usage. For instance, usage profiles (frequency, type of usage) can be taken into account to scale and lay out rooms.		(X)	(X)	(X)	
PROFITABILITY						
Hot desking	Under hot desking, different users share common resources (e.g. workstations) at different times. The respective resources are assigned upon arrival of the user. This saves costs in comparison to permanently assigned resources. The allocation of resources is based on their current occupancy and on the preferences of individual users.		X	X		(X)
Results-oriented facility management	Instead of a rigid cleaning process, results-oriented facility management takes into account the usage of the rooms and the resulting, actual contamination. I.e., only what has been used gets cleaned. The usage of the rooms is determined based on the number, position and activity of present persons.		X	X	(X)	
Reduction of equipment wear and tear	The reduction of running times, demand-driven set points and operation in energy-savings modes whenever possible (see above) reduce the wear and tear of building services equipment. This increases their service life.	X	(X)	(X)	(X)	(X)

Table 2 *Possible applications of augmented presence detection in buildings. The necessary presence information is marked by crosses [2].*

4. Recommendations for action

From the present work, recommendations for action have been derived for the further development of presence detectors and the use of the augmented presence in buildings. These recommendations are aimed at manufacturers of presence detectors and specialist planners or electrical contractors.

- Sensors for detecting augmented presence must not differ significantly from conventional detectors (e.g. PIR). This applies in particular with regard to price, appearance, interfaces, measuring characteristics, installation, commissioning, maintenance and operation.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- The placement, alignment and adjustment of the sensors must not be demanding. Persons without product-specific training must be able to perform installation and commissioning. Changes in room conditions should not require any reconfiguration.
- To detect augmented presence, the method that captures the least amount of personal information should always be chosen. In the case of optical sensors, only non-personal or anonymous data should be output.
- The detection of augmented presence is not useful in residential buildings. Here, predicting occupancy based on conventional presence data already provides great added value; the additional benefit of augmented presence detection is small. For ventilation systems, however, its use should be considered.
- The efficient use of space is important. This can be ensured by the dynamic allocation of resources and by planning according to real requirements. The necessary bases can be provided by the augmented presence detection.
- Wherever possible, data from augmented presence detectors should be made available to all disciplines (lighting, shading, HVACS) and building technology systems (BACS, security, IoT).

5. Perspectives

Although augmented presence detection has only been used occasionally in buildings so far, a significant increase is to be expected. In particular, this can be used to optimize the profitability of buildings and to create data-driven bases for effective planning. On the other hand, the benefits of augmented presence detection with respect to energy efficiency are rather difficult to quantify and need to be further investigated.

The present work has opened several perspectives. Today, augmented presence is not explicitly taken into account in building standards. However, there are many applications for it. Accordingly, the insights from this work should be incorporated into prevailing standards. Researchers should also develop measuring principles that can be installed, commissioned and operated easily by laypersons in different building services applications. Product manufacturers, for their part, should bring products to the market that are compatible with the requirements of presence detection in buildings. In particular, equivalent replacements for conventional solutions are needed. Finally, the benefits of augmented presence in general, and its influence on energy consumption in particular, must be investigated in practical applications.

Acknowledgements

The research described in this paper has been made possible by the generous financial support of the Swiss Federal Office for Energy SFOE. Additional support has been provided by the city of Zurich and the following companies: Puag AG, Steinel Vertrieb GmbH, Post Immobilien AG and Basler & Hofmann AG. The following people from Hochschule Luzern have participated in the project: Martin Camenzind, Carina Gubler, Reto Häfliger, Reto Marek, Bjorn Schrader.

References

[1] A. Kemmler, T. Spillmann und S. Koziel, “Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000-2017 nach Verwendungszwecken”, Okt. 2018.

[2] Olivier Steiger, Reto Marek, Reto Häfliger, Carina Gubler, Martin Camenzind, Björn Schrader, «Erweiterte Präsenzerfassung für den energieeffizienten Gebäudebetrieb», Final Report, Projekt-Nr. SI/501566, Swiss Federal Office of Energy SFOE, Bern, 2019.

[3] V. L. Erickson und A. E. Cerpa, “Occupancy based demand response HVAC control strategy” in Proceedings of the 2nd ACM Workshop on Embedded Sensing Systems for Energy-Efficiency in Building - BuildSys, 2010, p. 7.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

[4] S. Jain und N. Madamopoulos, “Ahorrar: Indoor occupancy counting to enable smart energy efficient office buildings” in IEEE International Conferences on Big Data and Cloud Computing, 2016, pp. 469–476.

[5] F. Oldewurtel, D. Sturzenegger und M. Morari, “Importance of occupancy information for building climate control”, Applied Energy, 2013, No. 101, pp. 521–532.

[6] Q. Zhao et al., “A data-driven method to describe the personalized dynamic thermal comfort in ordinary office environment: From model to application”, Building and Environment, 2014, No. 72, pp. 309–318.

[7] D. Daum, F. Haldi und N. Morel, “A personalized measure of thermal comfort for building controls”, Building and Environment, 2011, No. 46, pp. 3–11.

[8] D. Sturzenegger, F. Oldewurtel und M. Morari, “Importance of long-term occupancy information – A validation with real occupancy data”, ETH Zürich, 2013.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Kühlleistung von aktivierten Gebäudeoberflächen mit Verdunstung

Carsten Wemhöner, Simon Büsser, Lukas Rominger, Christoph Meier

IET Institut für Energietechnik, HSR Hochschule für Technik Rapperswil, Oberseestrasse 10, 8640 Rapperswil, http://www.iet.hsr.ch

Kontaktperson: Carsten Wemhöner, IET Institut für Energietechnik
carsten.wemhoener@ost.ch, http://www.iet.hsr.ch

Zusammenfassung Résumé Abstract

Durch steigende Aussentemperaturen, höhere Komfortansprüche und Trends zu grösseren Glasflächen steigt der Kühlbedarf von Gebäuden, so dass zukünftig auch in Wohnbauten energieeffiziente Kühlkonzepte von grösserer Bedeutung sind. Im SCCER EIP WP4 wurden Leistungsmessungen an Solarabsorbern des Schweizer Herstellers Energie Solaire SA auf dem akkreditierten Solarprüfstand des SPF durchgeführt, um die nächtliche Kühlwirkung mit Verdunstung zu ermitteln. Die gemessene Kühlleistung ist stark von den Wetterbedingungen abhängig. Bei günstiger Bedingung von gleitenden nächtlichen Aussentemperaturen von 23 °C auf 13 °C wurden bei konstanter Absorbereintrittstemperatur von 20 °C und klarem Himmel Kühlleistungen bis zu 175-250 W pro m^2 Absorberfläche gemessen. Bei bewölktem Himmel sinkt die Kühlleistung auf bis zu 100-150 W/m^2. Wind kann die Kühlleistung je nach Wetterbedingungen deutlich steigern. Wird bei ungünstigen Wetterbedingungen die Aussenfläche als Rückkühler betrieben, wurden bei Übertemperaturen zur Umgebung von 15 K Kühlleistungen bis 400 W/m^2 und bis 500 W/m^2 mit Windgeschwindigkeiten von 3 m/s gemessen.

Due to increasing outdoor temperatures, higher thermal comfort requirements and trends to higher glazing fractions the cooling demand is increasing and energy efficient cooling methods are more important also for residential building applications. In the SCCER EIP WP4 tests of uncovered solar absorbers of the Swiss manufacturer Energie Solaire SA were accomplished on the accredited solar test rig of the SPF to characterise the nocturnal cooling capacity on activated outer building surfaces with evaporation. The measured cooling capacity strongly depends on the weather conditions. At favourable weather conditions of a gliding nocturnal outdoor temperature of 23 °C to 13 °C cooling capacities up to 175-250 W per m^2 absorber surface were mea- sured at a constant absorber inlet temperature of 20 °C and clear sky conditions. With cloudy sky the cooling capacity decreases to up to 100-150 W/m^2. Wind can significantly increase the capacity depending on the weather conditions. At adverse weather conditions, the absorber can also be operated as recooler. At temperature differences of 15 K to the outdoor temperature cooling capacities up to 400 W/m^2 and up to 500 W/m^2 at 3 m/s wind speed have been measured.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Ausgangslage

Derzeit werden Wohngebäude in mitteleuropäischen Ländern wie der Schweiz nur selten aktiv gekühlt, während in Bürogebäuden aufgrund höherer interner Gewinne bereits ein Kühlbedarf besteht. Neuere Studien deuten jedoch darauf hin, dass aufgrund steigender Außenlufttemperaturen, einer steigenden Anzahl elektrischer Geräte und höherer Komfortanforderungen auch der Kühlbedarf von Wohngebäuden bis Mitte des 21. Jahrhunderts deutlich zunehmen wird.

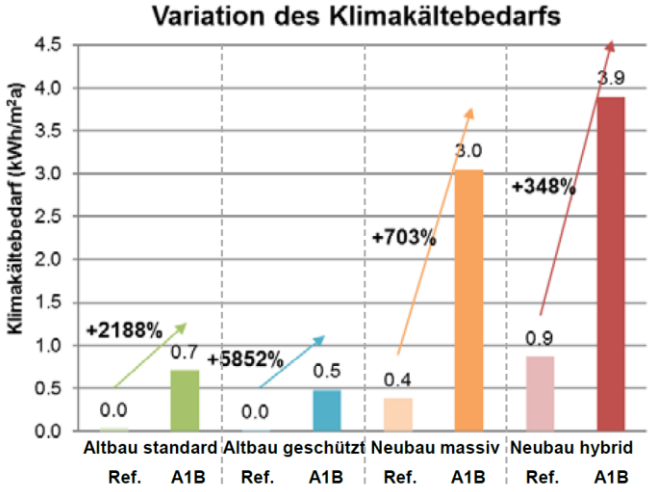


Abbildung 1: Entwicklung des Kühlbedarfs in Wohngebäuden in der Schweiz bis Mitte des Jahrhunderts

In [1] wurde ein Anstieg des Kühlbedarfs in Wohngebäuden in der Schweiz von 300% bis 700% für das Referenzjahr 2060 durch Simulationen ermittelt, siehe Abb. 1. Da Gebäude einen langen Lebenszyklus haben, ist es deshalb wichtig, veränderte Randbedingungen bereits in der Planungsphase zu berücksichtigen. Neben rein passiven Massnahmen bei der Gestaltung der Gebäudehülle müssen auch effiziente Kühlverfahren entwickelt werden, um die Komfortbedingungen einzuhalten, aber den elektrischen Aufwand für die Kühlfunktion zu begrenzen.

Freecooling-Verfahren wurden bereits eingeführt, allerdings hauptsächlich in Nicht-Wohngebäuden. In Wohngebäuden beschränken sich Freecooling-Verfahren oft auf Nachtlüftung oder erdgekoppeltes Freecooling, wenn eine erdgekoppelte Wärmepumpe als Wärmeerzeuger eingesetzt wird. Eine bisher wenig genutzte Möglichkeit der freien Kühlung in Wohngebäuden ist die Wärmeabfuhr durch aktivierte Aussenflächen der Gebäudehülle, z.B. solche, die mit solarthermischen Komponenten installiert sind. Diese auf Wärmeerzeugung ausgelegten Komponenten können auch im Nachtbetrieb Wärme an die Umgebung abgeben, vorausgesetzt, es besteht eine gute thermische Verbindung zur Umgebung.

Neben der reinen Wärmeabgabe an die Außenluft durch Konvektion wird die Wärmeabgabe durch Infrarotstrahlung an die Umgebung und insbesondere an den Himmel genutzt, da ein wolkenloser Nachthimmel eine deutlich niedrigere äquivalente Himmelstemperatur hat, die bis zu 20 K kälter ist als die Außenlufttemperatur.

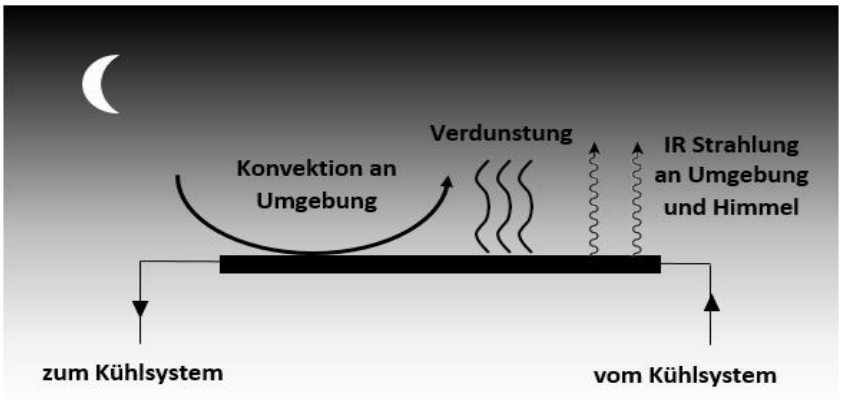


Abbildung 2: Kühlmechanismen an Gebäudeaussenflächen

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Abb. 2 zeigt die Kühlmechanismen, die zur nächtlichen Kühlung an den Außenflächen von Gebäuden eingesetzt werden können. Die Wärmeabgabe ist besonders günstig für unabgedeckte solare Komponenten, die in direktem Kontakt mit der Umgebung stehen. Eine Erhöhung der Kühlleistung dieser Komponenten kann durch eine zusätzliche Verdunstungskühlung erreicht werden, wenn die Oberfläche der Komponenten mit Wasser benetzt wird. Um eine nachhaltige Wasserquelle zu haben, wird die Wiederverwendung von dezentral behandeltem Grau- und Abwasser als Wasser zur Benetzung des Absorbers untersucht.

2. Vorgehen

Um den Raumkühlbetrieb mit Prüfstandsergebnissen weiter zu charakterisieren, wurden Messungen an einem selektiv beschichteten unverglasten Sonnenkollektor auf dem akkreditierten Prüfstand des HSR-Instituts SPF, dem nationalen Testzentrum der Schweiz für solarthermische Kollektoren, durchgeführt. Abb. 6 links zeigt den unverglasten Sonnenkollektor auf dem Prüfstand und Abb. 6 rechts eine Skizze des Messsystems inklusive einer Legende der Messpunkte. Um die Leistung des Absorbers im Freecooling-Betrieb zu bestimmen, werden die Ein- und Austrittstemperaturen der Absorberflüssigkeit gemessen. Mit dem gemessenen Volumenstrom kann die Enthalpieänderung auf der Fluidseite und damit die Kühlleistung bewertet werden. Das Absorberfluid ist ein Wasser-Glykol-Gemisch.

Zusätzlich werden die Wetterrandbedingungen der langwelligen atmosphärischen Gegenstrahlung, der Umgebungstemperatur und der relativen Luftfeuchtigkeit sowie der Windgeschwindigkeit und des Niederschlags gemessen, um den Einfluss auf die Kühlleistung zu charakterisieren. Als Aufwand für den Freecooling-Betrieb wird der Strombedarf der Pumpe gemessen. Für den Betrieb der Anlage kann ein kontinuierlicher und zyklischer Betrieb gefahren werden.

Im Dauerbetrieb wird die Absorberoberfläche kontinuierlich durch einen auf der Absorberoberfläche ablaufenden Wasserfilm benetzt. Im Taktbetrieb wird der Absorber nur alle 2 Minuten für 10 Sekunden mit dem Film benetzt, wodurch der Strom für die Pumpe reduziert wird.

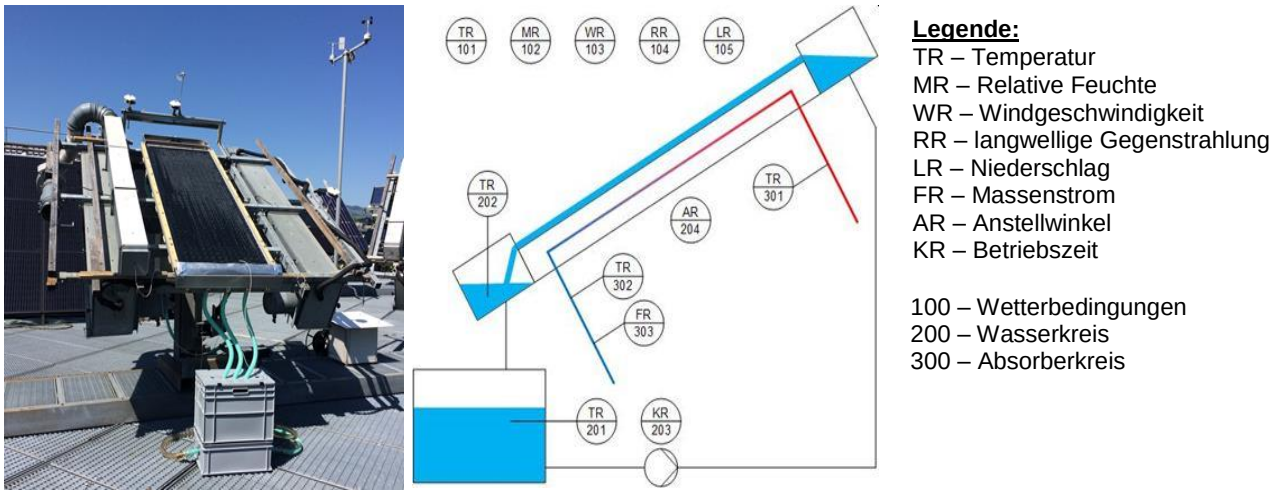


Abbildung 3: Prototyp unabgedeckter Kollektor mit Benetzung der Absorberoberfläche durch Wasserfilm auf Prüfstand am SPF (links) und Messpunkte zur Leistungsprüfung (rechts)

3. Resultate

In den folgenden Abbildungen ist die Kühlleistung für verschiedene Wetterrandbedingungen dargestellt. Abb. 4 links zeigt die Temperaturen im Zusammenhang mit dem nächtlichen Absorberbetrieb im Kühlbetrieb. Entscheidend für die Bewertung der Kühlleistung sind die Ein- und Austrittstemperatur. Die Vorlauftemperatur wird bei 20 °C konstant gehalten. Durch den hohen Volumenstrom von 200 l/h wird die Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Austritt auf 2 K begrenzt. Bei geringerem Massenstrom kann die Temperaturdifferenz erhöht werden, die Leistung wird jedoch reduziert, da die mittlere Temperaturdifferenz zur Umgebung abnimmt. Wie bei der Raumheizung verringert ein geringerer Massenstrom also die Austrittstemperatur, aber auch die Kühlleistung. Die Temperatur des Tanks charakterisiert die Temperatur des Wasserfilms auf dem Absorber.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

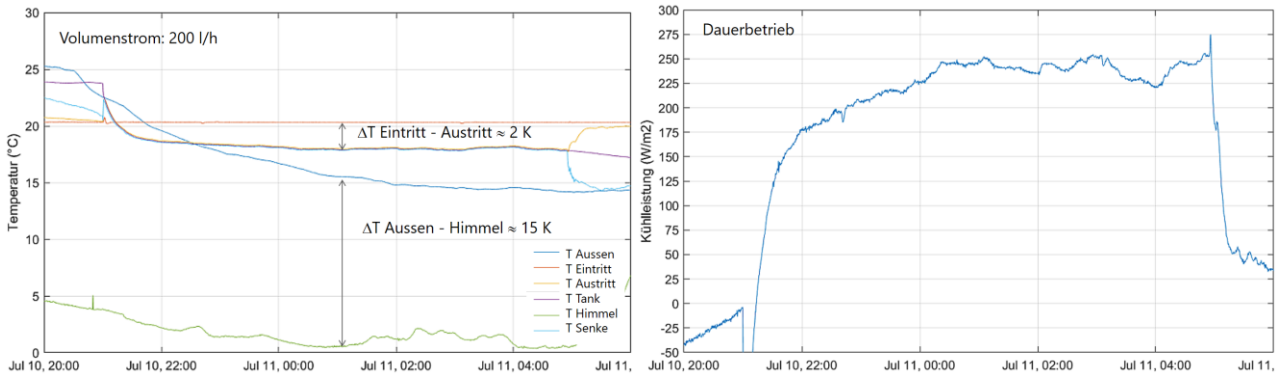


Abbildung 4: Temperaturen (links) und Kühlleistung (rechts) des unabgedeckten Kollektors bei günstigen Wetterbedingungen eines klaren Himmels und moderater nächtlicher Aussentemperaturen

In diesem Fall wird eine Nacht mit mäßiger Umgebungstemperatur und klarem Himmel dargestellt. Dies ist an der Temperaturdifferenz zur (fiktiven) Himmelstemperatur zu erkennen, die den langwelligen Strahlungsaustausch zwischen dem Absorber und dem Himmel charakterisiert.

Da der Wasserdampf in der Atmosphäre langwellige Strahlung absorbiert und als langwellige atmosphärische Gegenstrahlung wieder abstrahlt, ist ein klarer Himmel eine günstigere Wetterbedingung als ein bewölkter Himmel, und die Himmelstemperatur erreicht Werte, die bis zu 20 K unter der Umgebungslufttemperatur liegen.

In Abb. 4 rechts ist die Kühlleistung des Absorbers dargestellt. Bei günstigen Bedingungen wird eine Kühlleistung im Bereich von 250 W/m^2 erreicht. Bis etwa 22.00 Uhr liegt die Umgebungstemperatur noch über der durchschnittlichen Absorbertemperatur, was die Kühlleistung begrenzt. Dennoch übertrifft auch bei wärmeren Umgebungstemperaturen eine Kühlleistung durch Strahlung und Verdunstung die konvektiven Gewinne durch die Umgebungstemperatur. Während der Nacht wird die Kühlleistung mit der Abnahme der Umgebungstemperatur erhöht, was mit der Abnahme der Temperaturen aus dem Gebäude sowie der Vorlauftemperatur zum Absorber im realen Betrieb einhergeht.

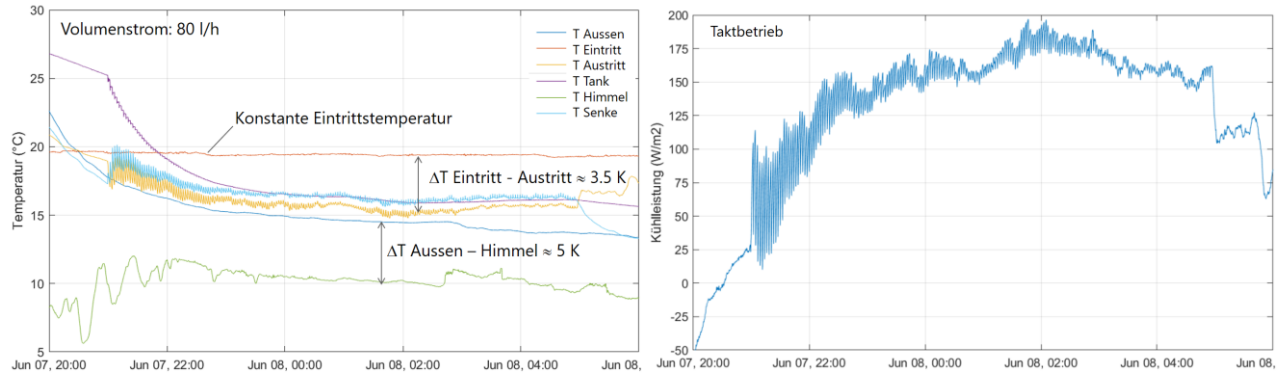


Abbildung 5: Temperaturen (links) und Kühlleistung (rechts) des unabgedeckten Kollektors bei Wetterbedingungen eines bewölkten Himmels und moderater nächtlicher Aussentemperaturen

Abb. 5 zeigt einen zyklischen Betrieb bei bewölktem Himmel und einem geringeren Massenstrom von 80 l/h, was dem Nennmassenstrom des Absorbers bei Heizbedingungen entspricht. In diesem Fall sinkt die Temperaturdifferenz zwischen der Umgebungs- und der Himmelstemperatur auf nur 5 K, was auf eine höhere langwellige atmosphärische Gegenstrahlung vom Himmel zurückzuführen ist. Trotz der geringeren Kühlleistung, die in Abb. 5 rechts dargestellt ist, wird aufgrund des geringeren Massenstroms eine Temperaturdifferenz von 3.5 K über dem Absorber erreicht.

Die Kühlleistung ist aufgrund des zyklischen Betriebs nicht konstant. Das Wasser auf der Kollektoroberfläche verdunstet teilweise, was ebenfalls Einfluss auf die Strahlungseigenschaften hat, da der Absorber eine selektive Beschichtung aufweist.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

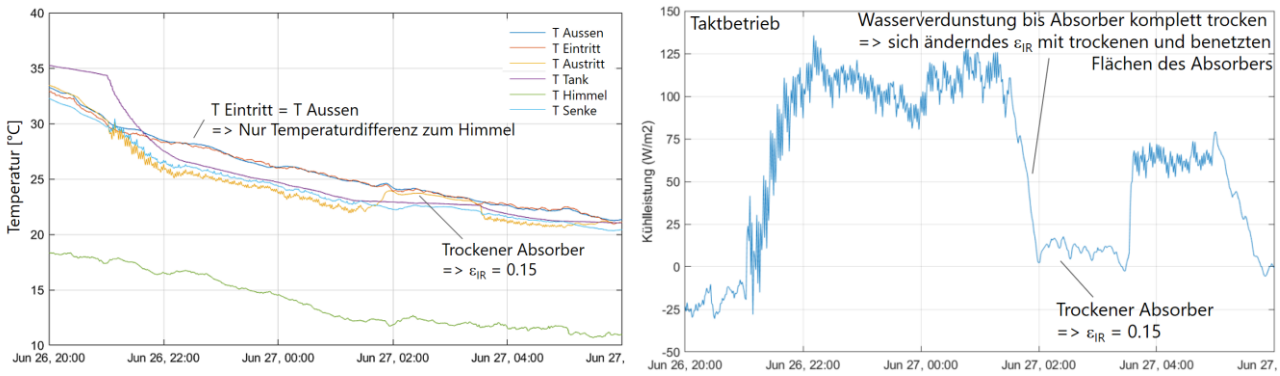


Abbildung 6: Temperaturdifferenzen (links) und Kühlleistung (rechts) bei benetztem und trockenem Absorber

Befindet sich Wasser auf dem Kollektor, wird der langwellige Emissionsgrad im Infrarotspektrum ε_{IR} durch das Wasser auf Werte um ε_{IR}=0.95 erhöht. Verdunstet das Wasser jedoch, ändert sich der Emissionsgrad zu dem der selektiven Beschichtung, die einen Emissionsgrad um ε_{IR}=0.15 hat. Dadurch verringert sich die Verdunstungs- und Strahlungskühlleistung an trockenen Teilen der Kollektorfläche, was zu einer Abnahme der Kühlleistung im zyklischen Betrieb führt.

Zu Beginn der Nacht ist das Wasser für die Benetzung des Absorbers noch warm, was zu den höheren Temperaturschwankungen führt. Das Schwingen wird sukzessive bis auf Differenzen von ca. 20 W/m^2 reduziert. Dieser Effekt der selektiven Beschichtung ist in Abb. 6 dargestellt.

In diesem Fall wird die Eintrittstemperatur in den Kollektor an die Umgebungstemperatur angepasst. Bis etwa 1:30 Uhr wird der Kollektor benetzt. Dann wird der Wasserfilm für zwei Stunden bis 3:30 Uhr morgens gestoppt, und der Kollektor trocknet vollständig. Beim Trocknungsprozess nimmt die Kühlleistung sukzessive ab, und beim trockenen Kollektor wird die Kühlleistung von anfänglich 125 W/m^2 vor dem Trocknungsprozess stark reduziert auf Werte um 10 W/m^2 nach vollständiger Trocknung der Absorberfläche.

Auf dem Prüfstand besteht auch die Möglichkeit, künstlichen Wind im Bereich der Windgeschwindigkeit von 1-3 m/s zuzuschalten. Der Ventilator ist direkt an der Längsseite bzw. am Absorber angeordnet und in Abb. 3 als weißer Kasten sichtbar.

Da der Wind sowohl den konvektiven als auch den Wärmeübergang durch Verdunstung verändert, wird bei künstlichem Wind eine signifikante Erhöhung der Kühlleistung gemessen. In Abb. 7 links sind die Temperaturen und in Abb. 7 rechts die Kühlleistung bei klarem Himmel und künstlichem Wind von 3 m/s dargestellt. Bei einer Umgebungstemperatur von 13 °C und einer Temperaturdifferenz zum Himmel von 15 K wird eine Kühlleistung bis zu 450 W/m^2 gemessen.

Wie bei anderen Free-Cooling Verfahren, z.B. Nachtlüftung mit Aussenluft, ist die Kühlleistung auch beim Free-Cooling über den Absorber recht stark von den Umgebungsbedingungen abhängig. Bei ungünstigen Umgebungsbedingungen bei Nächten mit hohen Aussentemperaturen, etwa Tropennächten, bei denen die Temperatur während der gesamten Nacht nicht unter 20 °C fällt, und bewölktem Himmel mit verminderte Abstrahlung, kann die Kühlleistung stark reduziert werden.

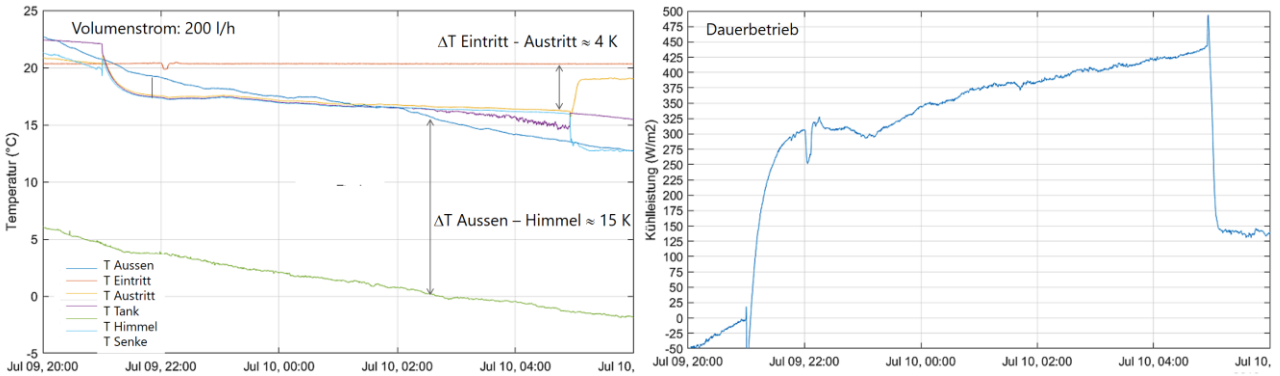


Abbildung 7: Temperaturen (links) und Kühlleistung (rechts) mit 3 m/s Windgeschwindigkeit an der Absorberoberfläche und klarem Himmel

DOI 10.5281/zenodo.3900180

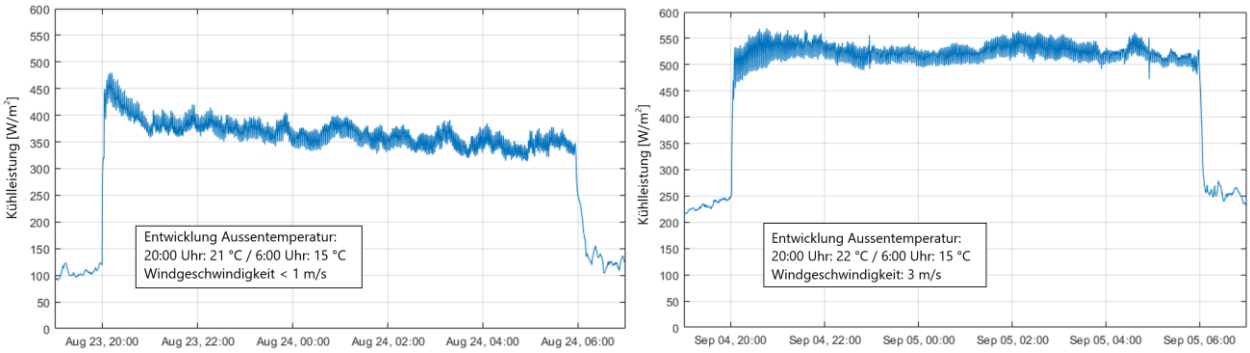


Abbildung 8: Kühlleistung bei Absorbereintrittstemperaturen von 15 K über Umgebungstemperatur mit geringer natürlicher Windgeschwindigkeit < 1 m/s (links) und mit 3 m/s Windgeschwindigkeit (rechts) an der Absorberoberfläche und klarem Himmel

Zur Überbrückung von ungünstigen Wetterbedingungen kann entweder ein Kältespeicher in das System integriert werden, aus dem bei zu geringer Kühlleistung am Absorber gekühlt werden kann. Alternativ kann für solche Bedingungen der Absorber auch als Rückkühler für einen aktiven Kühlbetrieb über eine Wärmepumpe im Umkehrbetrieb eingesetzt werden, was höhere Eintrittstemperaturen in den Absorber ermöglicht. Abb. 8 zeigt die Absorberkühlleistung bei Eintrittstemperatur von jeweils 15 K über Umgebungstemperatur. In der Abb. 8 links ist die Kühlleistung mit geringer natürlicher Windgeschwindigkeit < 1 m/s dargestellt, wobei Kühlleistungen im Bereich von 350-450 W/m^2 gemessen wurden. In Abb. 8 rechts ist die Kühlleistung mit 3 m/s mit Ventilator erzeugter Windgeschwindigkeit am Absorber gegeben, die Wert bis 550 W/m^2 erreicht.

4. Diskussion

Unabgedeckte Solarkomponenten mit gutem thermischen Kontakt zur Umgebung können für die Integration des Free-Cooling-Betriebs während der Nacht genutzt werden, bei dem die Solarkomponente Wärme durch Konvektion, Strahlung und Verdunstung abgibt, wenn die Kollektorfläche benetzt wird. Neben dem Verdunstungskühlungseffekt durch Benetzung der Kollektoroberfläche können bei einer selektiven Beschichtung des Kollektors auch die Strahlungseigenschaften verändert werden.

Dabei hilft eine selektive Beschichtung, im Warmwasserbetrieb tagsüber durch eine Reduktion der Strahlungsverluste eine höhere Temperatur zu erreichen, während sie in der Nacht bei Free-Cooling-Betrieb die Strahlungsverluste durch den hohen Emissionsgrad des Wassers auf bis zu 95% erhöht.

Am akkreditierten Prüfstand des nationalen Schweizer Solarprüfzentrums für solarthermische Anlagen an der HSR Rapperswil wurden Prüfstandsmessungen an einem Prototyp mit Benetzung der Absorberoberfläche durchgeführt, die gute spezifische Kühlleistungen im Bereich von 100 W/m^2-300 W/m^2 je nach Umgebungsbedingungen bestätigen.

Wind auf der Kollektorfläche verstärkt sowohl die konvektive als auch die Wärmeübertragung durch Verdunstung an die Umgebung und es wurden Werte bis zu 450 W/m^2 bei einer Windgeschwindigkeit von 3 m/s auf der Kollektorfläche gemessen. Im Sommer herrschen jedoch nachts niedrige Windgeschwindigkeiten vor, so dass das Potenzial für höhere Kühlleistungen durch natürlichen Wind begrenzt ist.

Bei ungünstigen Wetterbedingungen, also warmen und bewölkten Nächten, kann über Speicher oder Back-Up-Betrieb der Komfort garantiert werden. Wird der Absorber als Rückkühler für einen aktiven Kühlbetrieb eingesetzt, lassen sich auch bei warmen Aussenbedingungen Übertemperaturen zur Umgebung erzielen. Bei 15 K Übertemperatur wurden bei mässiger Windgeschwindigkeit kleiner als 1 m/s Kühlleistungen zwischen 350 – 450 W/m^2 gemessen, bei Windgeschwindigkeiten von 3 m/s am Absorber sogar bis 550 W/m^2, so dass im Rückkühlbetrieb die Kühlleistungen nochmals deutlich gesteigert werden können.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

5. Ausblick

Im Rahmen des Projektes wird in Zusammenarbeit mit dem Institut für Ecopreneurship der Fachhochschule Nordwestschweiz FHNW im Rahmen des Swiss Competence Centre of Energy Research Effizienz industrieller Prozesse (SCCER-EIP) auch die Verwendung von aufbereitetem Grauwasser als nachhaltige Wasserquelle für den Raumkühlbetrieb untersucht. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass Fouling und Scaling auf der Kollektoroberfläche durch die Wasseraufbereitung in einem dezentralen Membranbioreaktor (MBR) Wasseraufbereitungsprozess wirksam vermieden werden können und die Kühlkapazitäten nicht beeinträchtigt werden. Auch hygienische Anforderung an das Bakterienwachstum können durch eine Desinfektion nach der Wasseraufbereitung hinsichtlich der Anforderungen an die Verdunstungskühlung erfüllt werden, so dass das behandelte Abwasser eine nachhaltige Wasserquelle für Free-Cooling Anwendungen mit Verdunstungskühlung sein kann. Zur weiteren Charakterisierung des Prozess- und Free-Cooling-Potenzials werden weitere Experimente und begleitende Simulationsstudien durchgeführt.

Eine weitere Solarkomponente, die ebenfalls für einen nächtlichen Kühlbetrieb geeignet ist, sind PV/T Kollektoren, die ebenfalls eine thermische Aktivierung der Gebäudehülle darstellen, aber eine zusätzliche Elektrizitätserzeugung ermöglichen. Hier liegt keine selektive Beschichtung wie bei derm Solarabsorber vor, was niedrigere Temperatur für die Wärmeerzeugung bedingt, aber durch die Glasabdeckung einen hohen langwelligen Emissionsgrad im Bereich von ε_{IR}=0.85 ermöglicht. Auch bei PV/T Kollektoren könnte durch Benetzung und damit zusätzliche Verdunstung die Kühlleistung gesteigert werden.

Allgemein können Gebäudeaussenflächen damit auch für Kühlanwendungen genutzt werden, insbesondere als integriertes System mit Heizanwendungen, wie dies bei Erdwärmesonden schon häufig praktiziert wird. Eine Systemintegration kann so insbesondere auch für Wohngebäude mit begrenztem Kühlbedarf und ohne Anbindung an das Erdreich eine günstige Free-Cooling-Möglichkeit erschliessen.

Das Forschungsprojekt wurde finanziell von der Schweizer Innovationsagentur Innosuisse unterstützt und ist ein Beitrag zum Swiss Competence Center for Energy Research SCCER EIP.

Literatur/Referenzen

[1] Settembrini, G., Domingo-Irigoyen, S., Heim, Th., Jurt, D., Zakovorotnyi, A., Seerig, A., Zweifel, G., Menti, U.-P. 2017. ClimaBau – Planen angesichts des Klimawandels, Schlussbericht BFE Forschungsprogramm Gebäude und Städte, Hochschule Luzern Technik und Architektur, Horw

DOI 10.5281/zenodo.3900180

A comparative analysis of patterns of electricity use and flexibility potential of domestic and non-domestic building archetypes through data mining techniques

Selin Yilmaz, Jonathan Chambers, Giovanni Branca, Nadège Vetterli, Martin K. Patel

Dr. Selin Yilmaz, Selin.Yilmaz@unige.ch, https://www.unige.ch/efficience/en/

Zusammenfassung Résumé Abstract

The large-scale deployment of smart meters has led to significant amount of electricity demand data available, driving it into the realm of Big Data. It is a major challenge to exploit this Big Data in order to characterise electricity use patterns and to support demand response policies. In this paper, we perform a featured-based k-means cluster analysis on 1000 sites from nine building archetypes from domestic and non-domestic sector (hospitals, schools, offices, hotels, restaurants, mansion, regular and Minergie flats, and houses) to identify electricity use patterns. A significant difference in electricity use patterns among and within the archetypes is found. Then, four metrics, which are entropy, load curviness, peak intensity and index of hourly ramp rates, are applied to the clusters of buildings to understand the impact of these archetypes on electricity network. A key finding of our study is that households have higher peak intensities and offer more demand flexibility potential than the non-domestic sector and should therefore be incentivized to participate in dynamic electricity tariffs.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Scope

Buildings have become a primary focus to integrate demand flexibility into the grid system as they are responsible for 31% of final energy consumption and more than 55% of global electricity demand [1]. Demand response is defined as the process where consumers time-shift demand, either through behaviour change or automation, in response to specific conditions within the electricity system [2]–[4]. However, there is currently no overview or insight into how much different building archetypes may be able to offer to the future energy systems in the sense of minimizing congestion problems, increase the stability of the energy networks by providing flexibility, decreasing generation costs and CO_2 emissions [5]. Buildings such as schools, hospital and households have different electricity use patterns resulting in different opportunities and operational constraints, and therefore their offer will differ. Therefore, there is a need for increasing knowledge on what different building archetypes can provide to energy networks.

Against this background, this paper performs a k-means cluster analysis to identify electricity use patterns in nine building archetypes based on a dataset of hourly electricity readings from 1000 sites including both domestic (flats and single houses) and non-domestic (mansions, schools, hospitals, commercial offices, restaurants, hotels) sectors. Based on the cluster analysis, we derive four metrics characterizing electricity use patterns: load curviness and entropy to quantify the flexibility potential, peak intensity (for peak reduction), and index of hourly ramp rates. We then provide a comparative analysis of each building archetype and discuss the implications for the energy networks in terms of peak demand management, ramp rates, as well as the flexibility for each archetype in both domestic and non-domestic buildings.

2. Methods

2.1 Datasets

Electricity readings from both domestic and non-domestic buildings in Switzerland were used, as displayed in Table 1. No socio-demographic or dwelling characteristics were collected. It is known that none of the dwellings has electric heating, that they are all served by central (whole building) heating (as in most buildings in Switzerland) and that each reading belongs to an individual household.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Table 1 Description of the variables in the datasets

	Number of sites	Location	Resolution
Domestic			
Houses[i]	42	Neuchatel	15-minutes
Regular flats	656	Martigny	15-minutes
Minergie flats[ii]	71	Suurstoffi, Rotkreuz	Hourly
Non-domestic			
Schools	41	Ticino	15-minutes
Commercial offices	82	Ticino	
Banks	32	Ticino	
Hospitals	31	Ticino	
Restaurants	29	Ticino	

i House corresponds to SFH (Single family household), flat (i.e. apartments) corresponds to MFH (Multi-family household) in Swiss building regulations.
ii Minergie is a voluntary label for highly energy efficient buildings which is supported by the Swiss Confederation (Beyeler, Beglinger, & Roder, 2009; Minergie, 2010). In Minergie flats, cold appliances (refrigerators and freezers) and wet appliances (tumble dryers, washing machines and dishwashers) typically have the energy efficiency label A+++.

2.2 Methods

Our analysis is structured in two sequential steps. A cluster analysis is conducted first in order to identify clusters of households with similar load curves for each of the nine building archetypes presented in Table 1. These clusters are analysed for three demand response strategies, i.e. flexibility, peak demand reduction and ramp rates. For each demand response scheme, metrics were defined to evaluate the suitability for the scheme. Table 2 presents an overview of the analysis and the metrics defined, and it displays the samples used.

Table 2 Overview of the analysis performed in this study

Aspects	Metric	Clustered profiles used
Flexibility	Entropy	Daily profiles over one year
	Load curviness	Average daily profile
Peak demand reduction	Peak intensity and duration	Weekday vs. weekend Summer vs. winter
Ramp rate	Index of hourly ramp rates	Weekday vs. weekend Summer vs. winter

Clustering method: Feature-based clustering was applied for the average daily values. This approach extracts a small number of features from the time series which explain the shape of the load curve, thereby reducing the dimensionality of the time series (originally 24 data points for hourly monitored electricity use) [6]. Five features are derived from the normalised values to define the shape of household electricity demand profiles. The first four features are defined by dividing the daily profile into four time periods and calculating the relative average value of the normalised profiles for each period. The normalised daily profile shape was determined by dividing each measurement in a day by the sum of electricity consumed during that day, such that the integral of the normalised profile for each day is equal to one

DOI 10.5281/zenodo.3900180

$$N_{ht} = \frac{E_{ht}}{\sum_{h=1}^{24} E_{ht}} \quad (1)$$

where:
N_{ht} = normalised electricity use in hour h of day t
E_{ht} = electricity use in hour h of day t

K-means clustering is applied using standard Euclidean distance [7] as the similarity metric, implemented using the scikit learn software package [8]. The performance of the cluster model is evaluated using the Silhouette index.

Flexibility: We define the variability in electricity use within the household during the monitoring period. Entropy defined by [51] (2) is used to calculate the amount of variability in load curves throughout the monitoring period and is calculated for each household.

$$Entropy_n = -\sum_{i=1}^{K} p(C_i) \log\ p(C_i) \quad (2)$$

Peak intensity: Peak intensity is calculated as the ratio of the household's peak power demand over average daily power, as defined in (3):

$$Peak\ intensity = \frac{Peak\ Power_{normalised}}{\frac{1}{24}\sum_{t=1}^{24} Power_{normalised}} \quad (3)$$

Ramp rates: The index of hourly ramp rates (RR) is expressed as a percentage of the household's power demand per unit of time differential:

$$\mathrm{RR} = \frac{P_{normalised}(t) - P_{normalised}(t-\Delta t_R)}{\Delta t_R} \quad (4)$$

where $P_{normalised}$ (t) is the household's power demand at a given point in time t and Δt_R is the time differential of the ramp rate. In our case, the time differential Δt_R is one hour as a consequence of the available data (hourly load curves).

3. Results

Figure 1 displays the shape of the cluster centroids (normalised values) for both domestic and non-domestic buildings.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

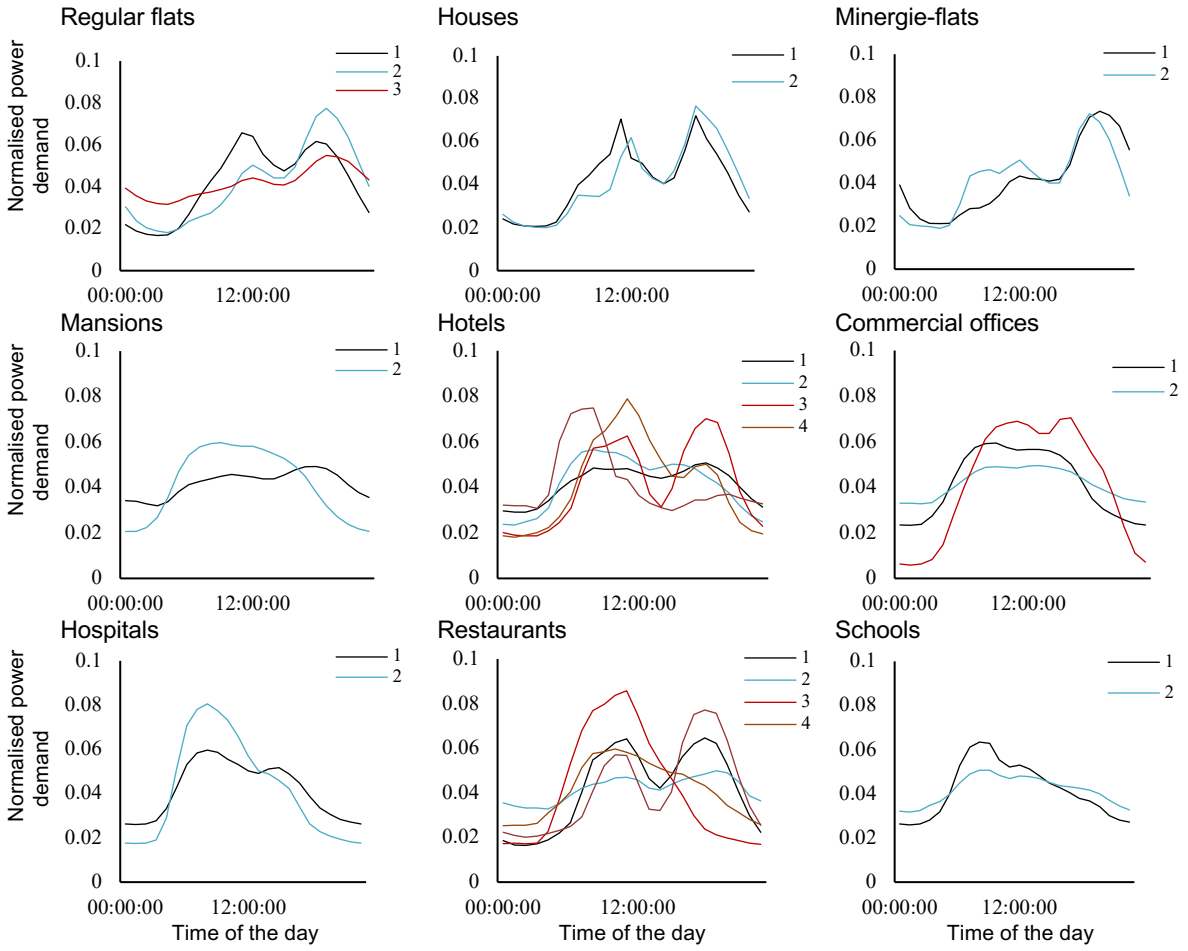


Figure 1 The centroids of the clusters of normalised values found for each archetype

Figure 2 shows the distribution of the calculated metrics for demand flexibility for all archetypes in terms of variability across the days (calculated by entropy). The entropy was found to be highest (i.e. highest variability) for the domestic sector meaning that the electricity patterns were changing day by day during the monitored period, whereas non-domestic buildings had relatively lower entropy which means they mostly follow inflexible schedule each day monitored.

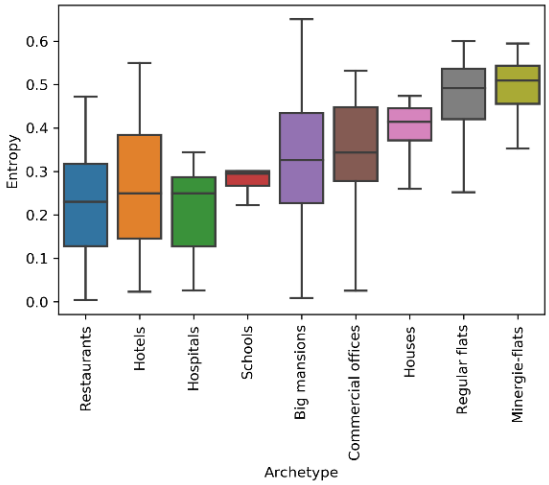


Figure 2 The variability of the electricity use across the days (entropy)

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Figure 3 shows the calculated peak intensities for each cluster belonging to each archetype. Archetypes are listed in order of increasing median. The domestic sector has mostly a higher peak intensity than the non-domestic sector, with houses having the highest peak intensity. This calls for targeting the domestic sector by tariffs aiming for peak demand reduction such as Time of Use and Critical Peak Pricing (CPP). On the other hand, most archetypes of non-domestic buildings have lower peak intensity.

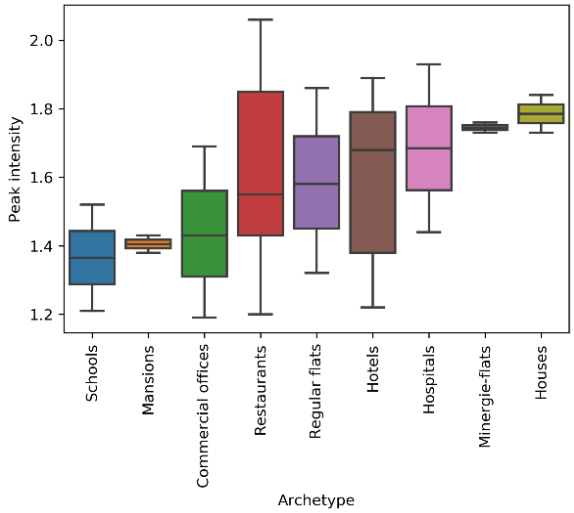


Figure 3 Peak intensities calculated clusters existing in each archetype

The morning and evening peaks are reached at approximately the same time for all archetypes (**Error! Reference source not found.**), but the ramp up and down is faster for some archetypes. Figure 4 shows the calculated index of hourly ramp rates for each cluster belonging to each archetype.

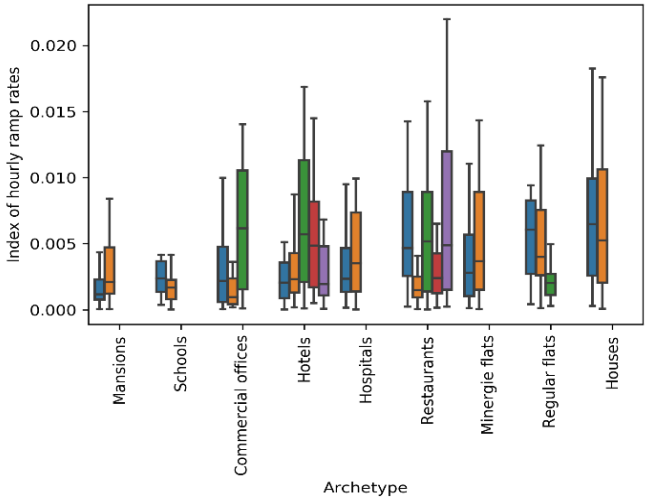


Figure 4 Hourly ramp rates calculated for clusters existing in each archetype for different day types and season

DOI 10.5281/zenodo.3900180

4. Discussion

A k-means clustering analysis performed on an electricity demand dataset of 1,000 homes in Switzerland over a year resulted in significantly different clusters of electricity use patterns for each archetype. An important finding was that occupancy schedules affect not only the shape of load profiles but also peak intensity and ramp rates. Many households are empty during daytime and afternoons on weekdays (relatively lower electricity), while they consume actively during the morning or evening causing higher peak intensity and ramp rates. The presence of different peak intensities and demand flexibility potentials may have important implications for peak management and demand supply matching and minimizing congestion problems. For instance, the domestic sector - houses, regular and Minergie flats - have high peak intensities compared to the non-domestic sector. However, they offer more potential for flexibility (i.e. higher variability). Hence these archetypes should be prioritised in demand response schemes such as peak demand reduction. Schools, mansions and commercial offices not only they have relatively lower peak intensity but also offer lower flexibility potential, implying that demand response schemes may not be successful for these households.

5. Perspectives

The cluster analysis shows that electricity use patterns of the archetypes are significantly different from each other. Several use patterns are also identified within each archetype. We then introduced metrics to measure demand flexibility (entropy and load curviness), peak intensity and ramp rates (index of hourly ramp rates). Using this information, key archetypes are identified that have high potential for successful implementation of demand response schemes. Results of the calculated entropy and load curviness show that households (flats and houses) offer more demand flexibility as opposed to non-domestic sectors (schools, hotels etc.). Households should therefore be incentivized to participate in dynamic electricity tariffs.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Literature/references

[1] IEA, “Energy Technology Perspectives 2017 - Catalysing Energy Technology Transformations,” 2017.

[2] S. Juneja and Ofgem, “Demand side responce,” *Japanese J. Clin. Hematol.*, vol. 54, no. 1, pp. 79–80, 2010.

[3] G. Owen and J. Ward, “Smart tariffs and household demand response for Great Britain. Co-author with Judith Ward. Sustainability First, March 2010,” *Response*, no. March, p. 93, 2010.

[4] J. Torriti, M. G. Hassan, and M. Leach, “Demand response experience in Europe: Policies, programmes and implementation,” *Energy*, vol. 35, no. 4, pp. 1575–1583, 2010.

[5] S. Ø. Jensen *et al.*, “IEA EBC Annex 67 Energy Flexible Buildings,” *Energy Build.*, vol. 155, no. 2017, pp. 25–34, 2017.

[6] S. Yilmaz, J. Chambers, and M. K. Patel, “Comparison of clustering approaches for domestic electricity load profile characterisation - Implications for demand side management,” *Energy*, vol. 180, 2019.

[7] S. Yilmaz, J. Chambers, S. Cozza, and M. K. Patel, “Exploratory study on clustering methods to identify electricity use patterns in building sector,” *J. Phys. Conf. Ser.*, vol. 1343, no. 1, 2019.

[8] F. Pedregosa *et al.*, “Scikit-learn: Machine Learning in Python,” vol. 12, pp. 2825–2830, 2012.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Ein neuer, ganzheitlicher Ansatz zur Erhöhung der Erneuerungsrate im Bestand

Gebäudemodernisierung mittels Modernisierungsfonds

Autor: Dr. Christian Zeyer, swisscleantech
Mitarbeit: Dr. Barbara Schaffner, eneba

Begleitgruppe:
Dr. François Aellen, Direktor, Umwelt- und Gesundheitsschutz, Stadt Zürich
Sasha Nikolaus Cisar, Doktorand Nachhaltiges Bauen ETH Zürich und Nachhaltigkeitsanalyst Immobilien Bank J. Safra Sarasin.
Niklaus Haller, Dr. MSc. ETH Architekt SIA, BS2 AG
Roland Hunziker, Director Sustainable Buildings and Cities, World Business Council for Sustainable Development (WBCSD)
Dr. Frank Kalvelage, Geschäftsleiter, energie-cluster
Markus Sommerhalder, Geschäftsbereichsleiter erneuerbare Energien, CSD INGENIEURE AG

Disclamer zur Arbeit der Begleitgruppe: Die Begleitgruppe hat die Erarbeitung des vorliegenden Berichts in zwei Sitzungen begleitet und den Inhalt in mehreren Runden begutachtet und kommentiert. Die aufgeführten Personen unterstützen die Stossrichtung, auch wenn sie nicht in allen Bereichen die Aussagen vollständig teilen.

Inhaltsverzeichnis

1 Executive Summary 2
2 Einleitung 5
3 Ausgangslage 6
4 Rentabilität von Gebäudemodernisierungen 9
5 Investitionskonkurrenz 12
6 Modernisierungsfonds - ein neuer Ansatz, klimaneutrale Modernisierungen voranzutreiben 12
7 Rollen, Anreizstruktur und Marketing 16
8 Risikobetrachtungen 18
9 Umsetzung: Unterstützung durch richtige Rahmenbedingungen 22
10 Kick-off mit Pilotfonds 25
11 Fazit 25

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1 Executive Summary

Obwohl Angebotsseitig interessante Geschäftsmodelle für vollständige energetische Sanierungen bestehen, sind die Sanierungsraten deutlich zu tief. Der in dieser Arbeit beschriebene Ansatz versucht in erster Linie langfristige Finanzierung zu ermöglichen, das Informationsdefizit zu reduzieren und die Qualitätssicherung zu adressieren.

Aktuell ist die Volkswirtschaft als Ganzes wenig erfolgreich darin, den Gebäudebestand so zu modernisieren, dass er die Anforderungen des Pariser Klimaabkommens erfüllen kann. Dazu muss der Gebäudebestand bis spätestens 2050 CO_2-neutral sein. Hierfür wäre eine Modernisierungs- und Erneuerungsrate von etwa 3 Prozent notwendig. Aktuell liegt die Erneuerungsrate mit klimaneutraler Modernisierung[1] unter 1 Prozent.

Der Staat als Signatar des Pariser Klimaabkommens hat ein Interesse, diesen Prozess zu beschleunigen.

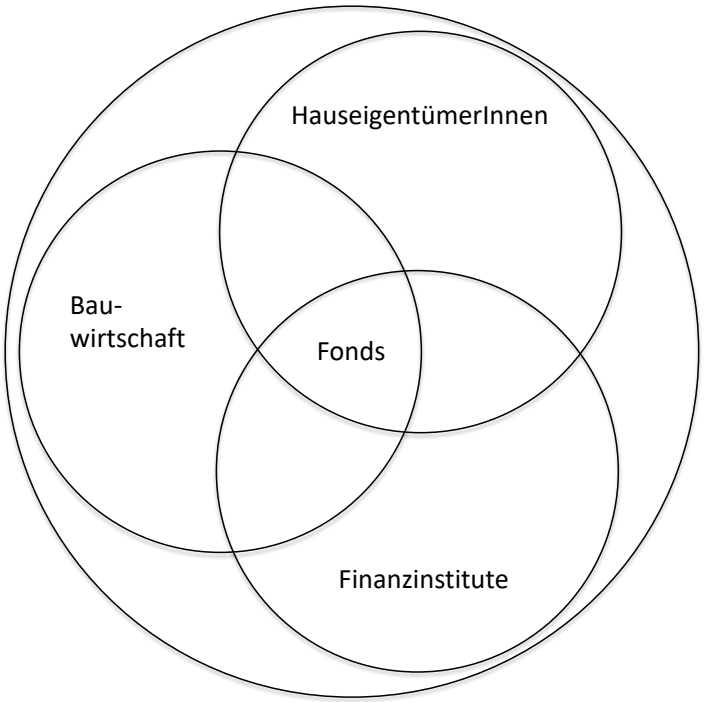
Gebäude haben in der Schweiz typischerweise eine Lebensdauer von 50 und mehr Jahren. Mit Hinblick auf die grauen CO_2-Emissionen erhält der Bestand einen zunehmenden Wert. Trotzdem muss unter den Bestandsgebäuden eine Selektion stattfinden. Die klimaneutrale Modernisierung geeigneter Bestandsbauten ist deshalb wichtig.

Betriebswirtschaftlich üblich werden einzelne wichtige Teile der klimaneutralen Modernisierung – insbesondere die Dämmung – über 25-30 Jahren abgeschrieben. Die technische Lebensdauer ist jedoch deutlich höher. Könnte über eine längere Abschreibungsdauer abgeschrieben werden, würde sich die Rentabilität von solchen langlebigen Massnahmen verbessern. Dem stehen betriebswirtschaftliche Risiken und rechtliche Rahmenbedingungen im Weg. Ausserdem sind vor allem bei kleinen und mittleren Immobilienbeständen die Mittel für Investitionen sehr begrenzt. Als drittes ist die zeitgerechte Information der Immobilienbesitzer eine grosse Herausforderung.

Das vorliegende Dokument skizziert einen Prozess, der es ermöglicht, die Modernisierungsraten zu beschleunigen und dabei für alle Beteiligten einen Gewinn zu ermöglichen.

[1] Unter einer klimaneutralen Sanierung verstehen wir eine Sanierung, bei der ein Endzustand angestrebt wird, bei dem das Gebäude ohne Netto-CO_2-Ausstoss betreiben werden kann. Dies kann auch im Rahmen einer längerfristigen Planung geschehen

DOI 10.5281/zenodo.3900180



Im Zentrum der Überlegung steht ein Fonds. Dieser stellt Investitionsgelder für Massnahmen zur Verfügung, die im Rahmen einer klimaneutralen Modernisierung vorgenommen werden und über mindestens 30 Jahre abgeschrieben werden. Die Rückzahlung erfolgt über eine monatliche Zahlung. Die Projekte werden mit einer Qualitätssicherung begleitet.

Fig 1: *Mit der Schaffung eines Fonds können die Interessen von HauseigentümerInnen, Bauwirtschaft, Finanzwirtschaft und Volkswirtschaft zur Deckung gebracht werden.*

Grundlage ist die Hypothese, dass eine optimierte, klimaneutrale Sanierung annähernd kostenneutral ist. Bedingungen dazu sind günstige Zinssätze[2] und lange Abschreibungszyklen, die den technischen Lebensdauern entsprechen.

[2] Sind die Zinssätze im Vergleich zur Teuerung hoch, ergeben sich Kosten, die keine Rentabilität mehr erlauben.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Begleitet wird der Fonds durch ein neues Politikinstrument, der Gebäudecluster. Gebäude, die sich zu einem Cluster zusammenfügen, beschliessen einen Paris- kompatiblen Absenkpfad einzugehen und profitieren dafür von adminstrativen Vereinfachungen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Dadurch ergibt sich eine Win-Win-Win-Win Lösung.

- **HausbesitzerInnen und MieterInnen** kommen zu einer kostengünstigen Sanierung der Liegenschaft, die sie im Eigentum halten oder bewohnen.
- Für die **Bauwirtschaft** ergeben sich neue Projektmöglichkeiten
- Für **Finanzinstitute** ergibt sich eine neue Möglichkeit für risikoarme Investitionen – nicht in Einzelprojekte, sondern in einen Fonds.
- Der **Staat und die Volkswirtschaft** profitieren dadurch, dass die Emissionsreduktionen schnell genug stattfinden und dadurch das Risiko des Nichterfüllens des Pariser Klimaabkommens reduziert wird. Ausserdem wird die Volkswirtschaft insgesamt resilienter gegenüber Energiepreisrisiken.

Das entwickelte Model ähnelt einer Hypothek, kombiniert diese aber mit langen Abschreibungszyklen, einer Qualitätssicherung und einem Risikoausgleich.

2 Einleitung

Mit über einem Drittel der CO_2-Emissionen und mehr als 45 Prozent des gesamten Energieverbrauchs spielen die Gebäude eine erhebliche Rolle in der Klima- und Energiepolitik.

Damit die Schweiz ihre Verpflichtungen, die sie mit der Unterzeichnung des Pariser Klimaabkommen eingegangen ist, adäquat erfüllen kann, muss der gesamte Gebäudebereich so umgestaltet werden, dass er bis kurz nach 2050 CO_2-neutral beheizt wird.

Unter Berücksichtigung der sinkenden Preise der erneuerbaren Energien und der knappen Energieproduktionskapazitäten im Winter gilt es, den Gebäudebestand sukzessiv und kostenoptimal in den nächsten Jahrzehnten zur CO_2-Neutralität zu führen. Es stellt sich die Frage, wie dies ideal geschehen kann.

Wir nennen diesen Prozess die «Klimaneutrale Sanierung», wobei dieser Prozess auch beim Einzelgebäude nicht zwingend in einem Schritt geschehen muss, sondern auch über Jahrzehnte in geeigneten Schritten realisiert werden kann.

Entgegen der oft gemachten Aussage, dass es klüger sei, ein Gebäude abzureissen und ein neues zu erstellen, geht dieser Bericht davon aus, dass klimaneutrale Sanierungen in vielen Fällen Sinn machen – entscheidend ist der Einzelfall. Diese Betrachtung gilt nicht nur dem Energieverbrauch, es gilt auch zu berücksichtigen, dass die grauen Emissionen der Struktur erheblich sind – genauso wie die Tatsache, dass ein Gebäude, welches energetische Schwachstellen aufweist, auch mittels CO_2-freier Heizung klimaneutral werden kann.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

3 Ausgangslage

Schon seit längerer Zeit werden Neubauten fast ausschliesslich ohne fossile Heizungen gebaut. Bereits seit der Mitte der Neunzigerjahre des letzten Jahrhunderts werden einzelne neue Gebäude mit ausreichenden Dämmungen versehen, obwohl ein klimaverträglicher Gebäudestandard bezüglich der Dämmung erst 2008 mit den Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MukEn) definiert wurde.

Damit das Pariser Klimaabkommen erfüllt werden kann, müssen die Treibhausgasemissionen noch in diesem Jahrhundert auf netto-null sinken. Dass in Gebäuden, welche die MukEn erfüllen, Heizungen mit fossilen Brennstoffen nach wie vor möglich sind, widerspricht dieser Forderung. Fossile Brennstoffe stossen per Definition CO_2 aus und aufgrund der notwendigen Geschwindigkeit müssen bei der Reduktion alle einfachen Potentiale ausgeschöpft werden. Beruhigend ist, dass in der Realität neue Gebäude nur noch selten mit einer fossilen Heizung ausgestattet werden.

Bis 2050 muss der gesamte Gebäudebestand in einen klimagerechten Zustand gebracht werden. Um dieses Ziel erreichen zu können, müssten jedoch alle Gebäude vor 2000, die oft eine ungenügende Dämmung aufweisen und nach wie vor fossil beheizt werden, energetisch modernisiert werden[3]. Dies betrifft grob geschätzt rund 2/3 aller Gebäude. Das restliche Dritte verfügt über einen ausreichenden bis guten Dämmstandard, wird aber oft noch fossil beheizt und muss entsprechend umgerüstet werden. Daraus ergibt sich, dass die Raten für umfassende Modernisierungen in der Grössenordnung von rund zwei Prozent liegen sollten. Aktuell liegen die klimaneutralen Modernisierungsraten[4] eher in der Grössenordnung von einem Prozent.

Wenn man darin übereinstimmt, dass die Umgestaltung des Gebäudeparks entscheidend zur Lösung der Herausforderungen des Klimawandels beiträgt, ergibt sich daraus, dass der Staat ein Interesse daran haben muss, die Modernisierungsraten zu erhöhen. Er muss dies jedoch kostenoptimal gestalten.

[3] Wir verwenden den Begriff energetisch Modernisieren, obwohl es der Fokus der Anstrengungen sein muss, die CO_2 Emissionen zu reduzieren. Er wird synonym gebraucht für «klimagerecht Sanieren» oder «energietechnisch Sanieren o.ä.»

[4] Gebäudemodernisierung wird generell umfassender verstanden und wird oft von Treibern und Effekten ausgelöst, die nichts mit dem klimaneutralen Zustand zu tun haben bzw. bei denen energetische Verbesserungen nicht das Ziel sondern ein Nebeneffekt sind, dem dann ev. nur wenig Beachtung geschenkt wird.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Die aktuelle Gesetzgebung in den Kantonen setzt sehr stark auf fixe Grenzwerte für Bauteile bzw. Energiekonzepte für Einzelgebäude. Dieses Konzept ist ausgesprochen erfolgreich bei Neubauten, setzt jedoch kaum einen Anreiz, die geforderten Grenzwerte auch in Bestandsgebäuden zu erreichen. Im Gegenteil – es ist oft so, dass Hauseigentümer sich für Pinselsanierungen entscheiden, da ihnen der Aufwand für eine Sanierung nach Baugesetz zu aufwendig erscheint. Da der Dämmstandard nicht verbessert werden muss, wenn nur eine äusserliche Auffrischung durchgeführt wird, ist dies mit dem Baugesetz vereinbar.

Um die Modernisierungsraten zu erhöhen, setzen Bund und Kantone auf das Gebäudeprogramm, auf Steuererleichterungen und auf CO_2-Lenkungsabgaben. In einer von der ETH durchgeführten Studie wird nachgewiesen, dass Subventionen, wie sie das Gebäudeprogramm vorsieht, hohe Mitnahmeeffekte haben[5]. Dasselbe gilt auch für Steuererleichterungen[6].

Diese Mitnahmeeffekte entstehen, weil in sehr vielen Fällen die Modernisierung in jedem Falle durchgeführt und die direkten oder indirekten Subventionen via Steuererleichterung als zusätzliche Rendite – je nach Ausgestaltung und Überwälzung – von Mietern und/oder Eigentümern in Anspruch genommen werden.

Lenkungsabgaben sind zwar wirkungsvoller[7], aber deren Erhöhung auf ein Niveau von CHF 400/to CO_2, ist vermutlich politisch nicht durchsetzbar. Unter den heutigen Rahmenbedingungen wäre aber eine solche Höhe notwendig, um einen genügend grossen Anreiz zu setzen. Unter anderen Rahmenbedingungen wären vermutlich klimaneutrale Modernisierungen bereits bei deutlich tieferen Lenkungsabgaben rentabel.
Dies wird unten dargelegt.

Wie aus Befragungen hervorgeht, halten vor allem vier Aspekte die privaten Gebäudebesitzer davon ab, klimaneutrale Modernisierungen durchzuführen.

- mangelnde Information und Sensibilisierung, Motivationsfaktoren wie Risikoaversion, Zeitknappheit, Respekt vor der Aufgabe etc.
- ungenügende Rentabilität der Energiesparmassnahmen, bzw. die subjektive Einschätzung dieser Rentabilität

[5] Ecoplan/EPFL/FHNW (2015): Wirkungsabschätzung CO_2-Abgabe – Modellrechnungen
Ecoplan (2017): Wirkungsabschätzung zur CO_2-Abgabe – Aktualisierung bis 2015
[6] BEW/EWG. (2007) Evaluation energiepolitisch motivierter Steuererleichterungen Schlussbericht
[7] Auf Grund des Mieter- Vermieterdilemmas wirken jedoch Lenkungsmassnahmen oft nicht ohne abschwächende Nebeneffekte. So muss der Eigentümer die Investition vornehmen und trägt Risiken. Er kann jedoch gemäss Mietrecht, die energetischen Mehrinvestitionen nicht voll auf die Mieter zu überwälzen, welche vom Komfort und den tieferen Energiekosten profitieren.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

- damit verbunden: Mieter/Vermieterdilemma
- hohe Anfangsinvestitionen für weitgehende klimaneutrale Modernisierungen und Investitionskonkurrenz

Es muss ein Weg gefunden werden, wie insbesondere diese Hindernisse eliminiert werden können. Damit die Umsetzung optimal geschieht, sollten die Behörden jedoch gleichzeitig versuchen, die Mitnahmeeffekte zu reduzieren. Zudem müssen sie ausschliessen, dass sie Modernisierungsmassnahmen an Gebäuden (mit)finanzieren, die aus verschiedenen Gründen dafür nicht geeignet sind.

Auf den ersten Blick können zwei Kategorien von Gebäuden unterschieden werden, die sich nicht für die Sanierung eignen:

- Gebäude, die aus unterschiedlichen Gründen besser durch einen Neubau ersetzt würden
- Gebäude, die von so grossem historischem Wert sind, dass sie nicht oder nur an einzelnen Bauteilen modernisiert werden sollten

Sowohl bezüglich Anreiz wie auch bezüglich Ausschluss versagt das aktuelle Gebäudeprogramm denn:

- es sind zu wenig Player vorhanden, die daran interessiert sind, die Information anzukurbeln.
- die Beiträge sind zu tief, um für den Bauherren das Projekt ökonomisch genügend attraktiv erscheinen zu lassen
- die Mitnahmeeffekte sind erheblich
- aufgrund der Ausgestaltung des Programms hat jeder Hauseigentümer, der eine Modernisierung durchführen will, einen Rechtsanspruch auf eine Unterstützung, sofern die technischen Bedingungen erfüllt sind, was einen sinnvollen Ausschluss verunmöglicht. Beispielsweise kann ein Gebäude, welches aus bauphysikalischen oder raumplanerischen Gründen ungünstig ist, nicht ausgeschlossen werden
- das Gebäudeprogramm führt nicht zu einem Marktanreiz, der gross genug ist, um die anvisierte Sanierungsquote von etwa 2 Prozent zu erreichen

Mit Bezug auf den Klimaschutz hat der Staat kein Interesse am einzelnen Gebäude, sondern an den Emissionen des gesamten Gebäudebestandes und dessen kostenoptimale Reduktion insgesamt. Der damit verbundene Energieverbrauch, die daraus entstehenden Kosten sowie der Nutzen im Einzelgebäude sind private Interessen. Erst die kumulierten Auswirkungen der Emissionen aller Gebäude sind von Interesse für den Staat. Diese Emissionen gilt es langfristig zu eliminieren.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Mit der vorliegenden Ideenskizze könnte es gelingen, die Anreizstruktur so zu gestalten, dass die Anreize im Moment der Entscheidung vorhanden und die oben geschilderten Hürden abgebaut sind. Gleichzeitig müssten genügende Kräfte mobilisiert werden, um die Gebäudebesitzer rechtzeitig zu informieren.

Die Ideenskizze versteht sich als ein erster Vorschlag, der weiter verfeinert werden muss. Sie umfasst Anregungen für Finanzierungausführung sowie gesetzliche Rahmenbedingungen, und versucht diese optimal auf ein vordefiniertes Reduktionsziel auszurichten.

4 Rentabilität von Gebäudemodernisierungen

4.1 Einleitung

Die Modernisierung eines Gebäudes mit dem Ziel, die CO_2-Emissionen möglichst tief zu halten oder ganz zu eliminieren, wird kostenoptimal durch ein Gesamtkonzept erreicht, welches haustechnische Massnahmen mit Gebäudedämmungen kombiniert. Verzichtet man auf Wärmedämmungen, resultiert daraus ein ungenügender Komfortgewinn sowie ein hoher Energieverbrauch im Winterhalbjahr. Verzichtet man auf geeignete haustechnische Massnahmen, resultieren überdimensionierte Wärmedämmungen und schlechte Rentabilität.

4.2 Rentabilität unter technischer Lebenszyklusbetrachtung

Bezüglich der Rentabilität von Wärmedämmungen finden sich verschiedene Literaturangaben. In einer im Auftrag von swisscleantech durchgeführten Literaturrecherche kommt TEP Energy zum Schluss, dass unter einer Lebenszyklusbetrachtung[8] die meisten Gebäudemodernisierungen entweder knapp rentabel[9] oder nur ganz knapp unrentabel sind. Zu ähnlichen Überlegungen kommt auch energie-cluster.ch auf Basis eines selbstentwickelten Modernisierungstools.[10]

Werden Wärmedämmungen im Rahmen eines abgestimmten Prozesses zur Reduktion der Emissionen im Haus durchgeführt, kann auf maximale Dämmungen verzichtet werden. Dies verbessert die Kostenrechnung zusätzlich. Ein klimagerechtes Haus ist daher gut (vielleicht aber nicht maximal) gedämmt und verfügt über eine CO_2-freie Heizung. [11]

[8] Wobei für Wärmedämmungen mit Abschreibungen von ca. 40 Jahren gerechnet wird
[9] Bei Renditen im Bereich von 3%
[10] Der Einfachheit halber wird hier von einem Zeitraum von 40 Jahren gesprochen, unter Annahme eines verbleibenden Restwertes kann Rentabilität auch mit kürzeren Betrachtungshorizonten nachgewiesen werden. Ebenfalls gilt zu berücksichtigen, dass die Lebensdauer von Haustechnikanlagen kürzer ist. Dies muss entsprechend in Betracht gezogen werden.
[11] Studie Manz Zeyer et. al. https://www.energie-cluster.ch/admin/data/files/file/file/588/ag-hlwd-12-41_05-mai-2015-hslu-manz-daemmstaerken-bfe-bericht.pdf?lm=1450255931

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Optimierungen der Haustechnik, inklusive Regelungstechnik, sind komplementär und reduzieren dadurch die optimale Wärmedämmung.

Unter technischer Betrachtung ist in einer Worst-Case-Überlegung die klimaneutrale Modernisierung knapp nicht rentabel, die echten Vermeidungskosten[12] sind jedoch tief – vorausgesetzt, die verbleibende Nutzungsdauer des Gebäudes ist lange genug.

4.3 Lebenszyklen aus dem Blickwickel verschiedener Stakeholder

Betriebswirtschaftliche Sicht

Betrachtete ein Gebäudebesitzer die Dämmung unter dem Aspekt des Life-Cycle-Costing, würde sich die Dämmung unter den gegebenen Umständen in vielen Fällen lohnen, oder wäre knapp nicht rentabel. Trotzdem ist die klimaneutrale Modernisierungsrate nicht hoch genug, um das Pariser Klimaabkommen erfüllen zu können.

Die Autoren stellen die Hypothese auf, dass die Beurteilung sinnvoller Lebenszykluszeiten je nach Blickwinkel unterschiedlich ist.

Professionelle Liegenschaftsbesitzer rechnen mit Amortisationszeiten von 20 bis 30 Jahren, je nach Risikobetrachtung. Viele Private rechnen sogar mit Payback-Zeiten von 10 Jahren. Weder über 10 Jahre noch über 25 Jahre kann mit den heute zu erwartenden Energiepreisen (inkl. CO_2-Lenkungsabgabe) eine Rentabilität gezeigt werden.[13]

Diese Amortisationszyklen werden jedoch aufgrund der betrieblichen Logik angewendet. Die wenigsten Immobilienfirmen sind bereit und in der Lage, einen Anlagehorizont von 40 Jahren in Betracht zu ziehen.[14]

Darum besteht kein direkter monetärer Anreiz, eine klimaneutrale Modernisierung auszuführen. Insbesondere verhindert auch das Mieter-Vermieter-Dilemma, dass längere Lebenszykluskosten berücksichtigt werden. Ein wesentlicher Aspekt hierbei ist, dass das Mietrecht eine Abschreibung über 25 Jahre vorsieht/zulässt. Dadurch werden die Aufschläge für Mieter zu hoch, weswegen sich der Mieterverband gegen Sanierungen wehrt. Zu hohe Aufschläge bedeuten aber nur, dass die Gewinne durch Energieeinsparungen deutlich geringer sind als die Kosten aus der Amortisationsrechnung[15].

[12] Als echte Vermeidungskosten bezeichnen wir die Kosten, die unter einer Lebenskostenbetrachtung und unter Abzug der Ohnehinkosten einer Instandstellung und unter Einbezug des Gewinns an Wohnkomfort pro reduzierte Tonne CO_2 entstehen.
[13] Eine im Auftrag von swisscleantech durch TEP Energy verfasste Studie weist knappe Wirtschaftlichkeit für 40 Jahre nach.
[14] Dies, obwohl die Rentabilität des Gebäudes an sich mit sehr viel längeren Anlagehorizonten berechnet wird.
[15] Wäre das nicht so, könnte die Reduktion der Energiekosten die höhere Miete kompensieren.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Volkswirtschaftliche Sicht

Es stellt sich die Frage, ob längere Amortisationsfristen realistisch sind oder nicht. Die Antwort darauf kann aus Sicht des einzelnen Gebäudebesitzers anders aussehen, als wenn die Frage mit Blick auf einen Gesamtbestand beantwortet wird.

Fakt ist, dass die durchschnittliche Lebensdauer eines Gebäudes deutlich über 50 Jahre ist und die Wahrscheinlichkeit sehr hoch, dass ein Gebäude nach einem erfolgten grossen Erneuerungszyklus über Jahrzehnte bestehen bleibt. Mit Blick auf die enthaltenen grauen Emissionen sollte die durchschnittliche Lebensdauer der Gebäude nicht ab, sondern eher zunehmen.

In der Tendenz sind also volkswirtschaftlich gesehen längere Abschreibungszyklen durchaus vertretbar und wünschenswert. Da die Ausfallwahrscheinlichkeit probabilistischer Natur ist, wird das Risiko eines Ausfalls verteilt und somit handhabbar.

Für die Volkswirtschaft müssen daher zwei Risiken gegeneinander abgewogen werden: Das Risiko der volkswirtschaftlich und klimapolitisch suboptimalen Sanierung gegenüber einem finanziellen Risiko, das dadurch entstehen könnte, dass der Staat allfällige Ausfallrisiken übernehmen könnte.

Man kann diese Situation als Marktversagen verstehen, da das Resultat zwar die betriebswirtschaftliche Sicht mit Bezug auf die Risikoeinschätzung des Eigentümers optimiert, jedoch eine volkswirtschaftlich nachteilige Situation deutlich begünstigt.

Es stellt sich deshalb die Frage, wie ein Prozess ausgestaltet werden könnte, der dieses Marktversagen kompensiert und möglichst marktnahe Anreize erzeugt. Die Autoren sind der Meinung, dass dies am besten geschieht, indem die Aufgabe gemeinsam mit neuen Playern angegangen wird.

Damit eine klimaneutrale Modernisierung für HausbesitzerInnen interessant wird, müssten sie über technische Lebenszyklen amortisiert und die daraus entstehenden Kosten in geeigneter Form auf den Mieter übertragen werden können. So können HausbesitzerInnen ihre Gebäude aufwerten und das Engagement für Klimafrage wäre generell positiv konnotiert.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Der Staat könnte in diesem Fall – statt wie bisher Subventionen[16] auszuschütten – Gelder dafür verwenden, dass in Zukunft vermehrt Modernisierungen realisiert werden, die über Lebenszyklen abgeschrieben werden. Dadurch könnte sich die Wirkung der Gelder vervielfältigen.

5 Investitionskonkurrenz

Aus Studien geht hervor, dass auch die hohen Upfront-Investitionen dazu führen, dass klimaneutrale Modernisierungen wenig attraktiv sind. Sie stehen in Konkurrenz zu Massnahmen, mit denen die Vermietbarkeit direkt verbessert werden kann, wie eine neue Küche, ein neues Badezimmer oder neue Balkone.

Könnten den Hauseigentümern finanzielle Mittel zur Verfügung gestellt werden, um diese Upfront-Investitionen zu reduzieren, könnte dies zu einer signifikanten Erhöhung der Modernisierungsraten führen.

6 Modernisierungsfonds - ein neuer Ansatz, klimaneutrale Modernisierungen voranzutreiben

6.1 Allgemeine Beschreibung des Fonds[17]

Im Folgenden wird ein Mechanismus vorgeschlagen, der es ermöglicht, in Zukunft klimaneutrale Gebäudemodernisierungen über die jeweiligen Lebenszyklen abzuschreiben und dadurch eine deutlich bessere Rentabilität zu erhalten.

Kurzbeschreibung des Mechanismus:

1. Modernisierungswillige Hauseigentümer melden Projekte an
2. Die Umsetzung wird durch beauftragte Experten optimiert
3. Das Projekt wird eingereicht

[16] Subvention wird hier eng verstanden im Sinne einer direkten Verbilligung einer Massnahme

[17] Zur Begrifflichkeit ‚Fond': In der Folge muss genauer wäre zu präzisiert welches Fondmodell passend ist. Kundenseitig agiert er als Hypothekengeber. Investorenseitig aber wäre eine Klärung wichtig. Ein Beispiel wäre der Technologiefonds des Bundes welcher Darlehen an Unternehmen verbürgt für Produkte und Verfahren zur Reduktion von Treibhausgasen. Ein anderes Modell wäre ein Anlagefonds oder ein sogenannter Green Bond, dann wäre aber zu klären wo dieser angesiedelt wäre und deren Funktionsweisen sind entsprechend sehr unterschiedlich. Eine weitere Möglichkeit wäre eine kollektive Anlage, zum Beispiel eine Anlagestiftung. In jeder Varianten wäre zu klären ob und wie der Bund als Lender-of-last-Resort fungieren könnte. Der Technologiefond und die Fonds der Wohnbauförderung basieren auf einem Gesetz.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

4. Ein unabhängiges Quality Board beurteilt die eingereichten Projekte
5. Es wird ein Beitrag gesprochen. Dieser entspricht den Investitionssummen abgegrenzter, langlebiger Bauteile.
6. Die Umsetzung wird durch beauftragte Experten begleitet
7. Die Rückzahlung erfolgt über einen langfristigen Vertrag über 30 bis 40 Jahre
8. Diese kann nach definierten Regeln an die Mieterschaft als Nebenkosten übertragen werden.

Das Konzept sieht vor, projektwilligen Hausbesitzern geeignete Rahmenbedingungen zur Verfügung zu stellen, die die oben dargestellten Aspekte adressiert. Mit geeigneten Voraussetzungen ergeben sich so auch neue Möglichkeiten für Businessmodelle.

Ziel ist es, die Finanzierung für langfristige Projektanteile komplett von der Ausführung zu trennen und für die Finanzierung Finanzmittel zur Verfügung zu stellen, sofern diese den klimapolitischen Bedürfnissen entsprechen.

Diese Finanzmittel werden in der Form von Hypotheken, inklusive Amortisation, mit einer definierten Laufzeit von mindestens 30 Jahren zur Verfügung gestellt. Die Laufzeit der Tranche rechnet sich anhand der Lebensdauer der Elemente des finanzierten Teilprojektes. So wird aus der Investition eine monatliche Zahlung.

Typische Teilprojekte sind zum Beispiel Wärmedämmungen oder Erdsondenbohrungen. Der Fonds ist jedoch grundsätzlich technologieoffen.

Damit die Gelder zweckdienlich eingesetzt werden und um sicherzustellen, dass das Risiko für die beteiligten Player gering bleibt, ist eine Qualitätssicherung notwendig.

Gewisse Risiken werden durch den Staat abgesichert (siehe unten). Die Gegenleistung, die der Staat dafür erhält, ist eine Versicherung gegen das Risiko, dass der Gebäudebestand nicht schnell genug umgebaut wird.

Das System insgesamt kann wie in Fig. 1: dargestellt werden.

Dadurch entstehen zwei neue Rollen in der Finanz- und Bauindustrie, die gemeinsam die Modernisierungsgeschwindigkeit erhöhen könnten:

Fondsmanagement: Stellt Finanzierungsmittel für langfristige Teilprojekte im Rahmen von gesamtheitlichen Modernisierungsprojekten zur Verfügung. Diese Finanzmittel beschafft sich das Fondsmanagement auf dem Kapitalmarkt bei Investoren.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Qualitätsmanagement: Stellt sicher, dass die Geldverwendung nach rationalen Kriterien erfolgt und stellt so sicher, dass das Risiko für die Geldgeber überschaubar bleibt.

Insbesondere das Qualitätsmanagement spielt in der Umsetzung eine wichtige Rolle. Durch ein geeignetes Qualitätsmanagement kann nicht nur die Mittelverwendung optimiert werden, es spielt auch eine wichtige Rolle in der Ausführung und im Marketing.

Das Qualitätsmanagement arbeitetet projektspezifisch und in zwei unterschiedlichen, voneinander unabhängigen Rollen:

Quality Board: Das Quality Board beurteilt die Projekte und entscheidet über die Zulassung. Es arbeitet unabhängig und strikte im Sinn der Geldgeber. Die Funktion kann jedoch stark automatisiert werden, wenn mit geeigneten Standards gearbeitet wird.

Projekt Coaching: Das Projekt Coaching optimiert mit der Eigentümerschaft das Projekt und begleitet die Umsetzung. Die Finanzierung des Projektcoachings könnte mit Pauschale incentiviert, aber durch den Bauträger, d.h. Antragsteller beim Fonds bezahlt werden.

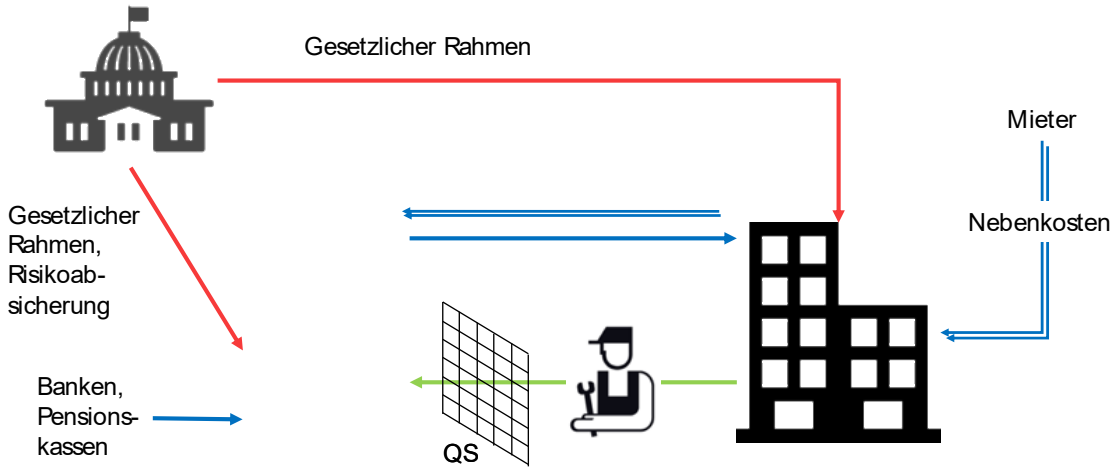


Fig. 2: Funktionsweise des Sanierungsfonds.
Hauseigentümer geben beim Modernisierungsfonds Projekte ein, die sie mit einem Projektcoach ausgearbeitet haben. Dafür wird ihnen eine langfristige Hypothek zur Verfügung gestellt, die in monatlichen Zahlungen amortisiert wird.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

6.1 Interessen der Stakeholder

Im Folgenden sind die Interessen der Stakeholder tabellarisch zusammengefasst.

Wer	Rolle	Interesse	Risiko
Staat	Beteiligt sich durch Risikoabsicherung und «Lender of Last Resort» am Gesamtsystem. Damit kann er die notwendigen Zinsen zur Refinanzierung tief halten. Er definiert durch gesetzliche Rahmenbedingungen die Attraktivität der Umsetzung. Kann Unterstützung in der Strukturierung des Fonds zur Verfügung stellen.	Beschleunigung der Modernisierung des Gebäudebestandes, damit er die Verpflichtungen des Pariser Abkommens eingehen kann. Behebung des Marktversagens	Bezahlt Bail-out im Falle des Systemversagens
Bauwirtschaft	Umsetzung der Modernisierungsprojekte Marketing, Projektpromotion	Erhöhung des Umsatzes in der Umsetzung von rentablen Projekten	Keine neuen Risiken
Investor	Geldgeber für Fonds	Sichere Renditen auf dem angelegten Kapital, einfacher Ein- und Ausstieg, trotz langfristigen Investitionsanreizen keine langfristige Bindung von Geldern (s. unten)	Technologierisiko: kann die Ausführungsqualität nicht im Einzelfall bestimmen. Je nach Ausgestaltung Energiepreis- und Politikrisiko. Ev. Zinsrisiko
Eigentümer	stellt Gebäude zur Verfügung und engagiert sich im Rahmen seiner Portfolioüberlegungen für die Weiterentwicklung seines Gebäudeparks.	Klimaneutrale Modernisierung ohne grosse Bindung von Kapital	Geringere Verfügungsgewalt über Abbruch und Neubau über lange Zeit. Lange Vertragsbindungen

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Qualitätssicherung	Gatekeeper für den Zugang zu Finanzierungen, Projektbegleitung, Animation	Hohe Projektqualität	Technologische Fehleinschätzung
Mieter	bewohnt das Gebäude	Komfortsteigerung, allerdings nicht um jeden Preis	Anstieg der Mieten
Versicherung	Sichert die Risiken ab (Je nach Ausgestaltung)	Geeignete Risikoabsicherungen anbieten	Unerwartetes Politikrisiko

7 Rollen, Anreizstruktur und Marketing

Entscheidend für den Erfolg eines solchen Konzeptes ist die Nachfrage von Gebäudebesitzern nach klimaneutralen Modernisierungen. Verschiedene ähnliche Konzepte wurden bisher versucht, scheiterten jedoch, weil die Nachfrage nicht gross genug war, oder mit hohen Kosten für Eigentümer oder Staat verbunden waren.

Ein neues Konzept wird dann erfolgreich sein, wenn es gelingt, die Anreizstruktur so zu gestalten, dass der Anreiz zur klimaneutralen Modernisierung in dem Moment anfällt, wo der Entscheid für eine Massnahme gefällt wird. Mit der Schaffung eines Fonds ist dies noch nicht gewährleistet, da die Transaktionskosten der Information nach wie vor hoch sind. Es wird also notwendig sein, für den Hausbesitzer ein attraktives Angebot zu erstellen, das in dem Moment wirksam wird, wo sich der Hausbesitzer mit einer klimaneutralen Modernisierung auseinandersetzt[18]. Dies reduziert die Mitnahmeeffekte deutlich.

7.1 Projekt Coaching: Neuer Intermediär reduziert Informationskosten

Die Schaffung eines Fonds kann jedoch helfen, dass eine der grossen Herausforderungen in der Energieberatung reduziert wird. Diese umfasst meist nur eine vom Staat bezahlte Initialberatung. Im weiteren Beratungsprozess ist der Hausbesitzer mit vielen weiteren Beratern konfrontiert, die sinnvolle Vorschläge für Teilprojekte machen. Diese Teilprojekte

[18] Voraussetzung ist natürlich, dass Hausbesitzer grundsätzlich an einer klimaneutralen Modernisierung interessiert sind, wenn sich diese betriebswirtschaftlich ausgeglichen darstellt.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

beanspruchen weitere Investitionsmittel, die dann sehr oft nicht für die klimaneutrale Modernisierung zur Verfügung stehen.

Durch die neue eingeführte Rolle der Qualitätssicherung entsteht ein wichtiger neuer Player, der sowohl die Bauwirtschaft als auch die Eigentümer und die Interessen des Fonds vertritt. Wir stellen uns vor, dass die Qualitätssicherung durch lizenzierte Energiefachleute vorgenommen wird. Wer vom Fonds profitieren will, muss sein Projekt zusammen mit einem solchen Experten besprechen und wird auch in der Umsetzung dabei begleitet. Die Experten wiederum können selber aktiv auf Gebäudebesitzer zugehen und so die Transaktionskosten der Information reduzieren. Um Interessenskonflikte verhindern zu können, dürfen sie jedoch nicht selber mit der Ausführung betraut sein. Ein solches Vorgehen – ohne jedoch die Verbindung zu einem Fonds – wird von der Stadt Luzern[19] erfolgreich angeboten.

Damit würde auch ein Partner geschaffen, der sich aktiv um das Marketing des Fonds kümmert. Der Energiecoach könnte gleichzeitig in den Prozess der Qualitätssicherung einbezogen werden, was die Ausfallswahrscheinlichkeit der Kredite positiv beeinflusst.

7.2 Fonds reduziert Investitionskonkurrenz

Da mittels Fonds neue Investitionsmittel zur Verfügung gestellt werden, kann dafür gesorgt werden, dass klimaneutrale Modernisierungen nicht der Investitionskonkurrenz zum Opfer fallen. Diesem Aspekt gilt es, vor allem bei Einfamilienhäusern, Stockwerk-Eigentümergemeinschafen wie auch Mehrfamilienhäusern im Einzelbesitz aber auch bei Hotels Beachtung zu schenken. Besonders Stockwerk-Eigentümergemeinschaften[20] verfügen meist nicht über das notwendige Kapital in den Rückstellungskonten und bei Besitzern von Einfamilienhäusern fehlt oft gerade nach der Liegenschaftsübernahme das notwendige Kapital. Dabei ist die Handänderung der ideale Moment für einen Modernisierungsschritt.

Wenn alle Elemente des Angebotes so gestellt werden, dass die Kostenstruktur des Angebotes optimal wird, kann der Hauseigentümer wählen zwischen einem attraktiven Sorglos-Paket, einer vollständig eigenständig durchgeführten Sanierung, die gleichzeitig grosse Summen blockiert, und einer Pinselsanierung.

Alle Anreize sprechen in diesem Fall dafür, klimaneutrale Modernisierung unter Zuhilfenahme des Fonds voranzutreiben. Suspekt könnte dem Hausbesitzer nur die langfristige Bindung in

[19] https://www.stadtluzern.ch/_doc/1545835
[20] Stockwerkeigentümerschaften sind Einschränkungen bezüglich Fragen, die das ganze Haus betreffen (insbes. die Hülle) der Normalfall. Sanierungswillige Eigentümer sind oft im Konflikt mit unwilligen, wobei die Investitionskosten der grösste Streitpunkt sind. Eine Gebäudemodernisierung zu einer monatlichen Rate ist da eine attraktive Lösung. Zudem schlägt der Preis der Modernisierung nicht überproportional auf einen Verkaufspreis durch, wenn einzelne Stockwerkeigentümer verkaufen wollen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

einem Vertrag sein. Es ist deshalb zwingend, dass das Marketing ganz bewusst darauf ausgerichtet wird, dieses Hindernis zu adressieren. Ausserdem muss eine für beide Seiten geeignete Ausstiegsklausel zur Verfügung stehen.

7.3 Die Rolle des Eigentümers, Vertragskonditionen

Ein Fonds wird nur zu einer signifikanten Beschleunigung der Modernisierungsraten führen, wenn seine Dienstleistungen von den Hauseigentümern auch angenommen werden. Deshalb muss der Eigentümer sich Vorteile versprechen. Auf der Vorteilsseite sind die günstigen finanziellen Konditionen zu verbuchen. Ausserdem erhält der Hausbesitzer durch die Qualitätssicherung den direkten Zugang zu qualitativ hochstehendem Know-how. Auf der Nachteilsseite ist die langfristige Bindung an einen Zahlungsvertrag. Um sicherzustellen, dass der Gebäudebesitzer nicht das Gefühl hat, die Verfügungsgewalt über sein Gebäude zu verlieren, muss auch eine geeignete Form des Ausstiegs aus den Verträgen möglich sein. Dieser kann verschiedene Fälle vorsehen, in denen ein Ausstieg zu erleichterten Konditionen möglich ist. Verschiedene Fälle müssen unterschiedlich behandelt werden. Diese Fälle sind gleichzeitig auch ein Zugangskriterium zu Finanzierungen. Beispielsweise darf der Fonds nicht verpflichtet werden, Zahlungen für Gebäude leisten zu müssen, die z.B. in Zonen mit Planungspflicht und Verdichtungspotential, mit einschränkenden Baulinien o.ä. liegen. Andererseits müsste es aber möglich sein, erleichtert auszusteigen, wenn durch die Standortgemeinde eine solche Massnahme ergriffen wird.

7.4 Rolle der Bauwirtschaft

Die Rolle der Bauwirtschaft beschränkt sich auf die Ausführung. Sie kann sich jedoch für die Promotion von Einzelprojekten engagieren. Dabei ist aber strikte darauf zu achten, dass Projekt Coach und Quality Board voneinander unabhängig bleiben. Inwiefern auch eine Unabhängigkeit von ausführenden Unternehmen und Projekt Coach notwendig ist, müsste noch definiert werden. Der Projekt Coaches kann auch als Botschafter für Modernisierungsprojekte agieren. Eine enge Zusammenarbeit von Projekt Coach und ausführendem Unternehmen kann für ein Unternehmen im Sinn von Marketing- und Akquisetätigkeit attraktiv sein. So profitiert das Unternehmen von Aufträgen und der Fonds von mehr Teilnehmenden.

8 Risikobetrachtungen

Dämmungen sind im Allgemeinen, wenn korrekt ausgeführt, technisch risikoarme Projekte. Die in einem Modernisierungsprojekt benötigten haustechnischen Anlagen sind marktüblich und daher risikoarm. Trotzdem gilt es, Risiken zu beachten. Diese wirken sich unterschiedlich auf die verschiedenen Stakeholder aus. Die untenstehenden Darstellungen entsprechen einem ersten Anriss. Im Verlauf der weiteren Ausarbeitungen muss ein konkreteres Risikoprofil für

DOI 10.5281/zenodo.3900180

die jeweiligen Stakeholder ausgearbeitet und die für jeden Stakeholder geeigneten Massnahmen dargestellt werden. Letztlich ist es das Ziel dieser Arbeit, durch den geeigneten Ausgleich von Risiken die Kosten insgesamt zu senken.

8.1 Energiepreisrisiken

Das grösste Risiko für die Rentabilität einer langfristigen Investition ist vermutlich der Energiepreis. Sinkt dieser, ist die Rentabilität der Projekte an sich geringer oder nicht mehr gegeben. Dieses Risiko betrifft vor allem die Hausbesitzer und/oder die Fondsgeber – je nachdem, wie die Zahlungsmodalitäten genau festgelegt sind.

Wird das Projekt über einen monatlichen Fixpreis abgerechnet, trägt der Hausbesitzer das Energiepreisrisiko. Wird die monatliche Zahlung aufgrund der Energiepreisentwicklung indexiert, trägt der Fondsgeber das Risiko, was den Fonds insgesamt aber komplexer gestalten würde[21].

Sehr viele Hausbesitzer sind vermutlich in der Lage und bereit, sich an diesem Risiko zu beteiligen, weil das Modernisierungsprojekt gleichzeitig auch eine Absicherung gegen hohe Energiepreise darstellt. Es ist davon auszugehen, dass die Bereitschaft der Hausbesitzer steigt, diese Absicherung zu beanspruchen, je tiefer die monatliche Zahlung wäre.

Eine Lösung, in der das Energiepreisrisiko beim Hauseigentümer bleibt, ist vermutlich einfacher zu realisieren.

Das Ziel dieser Überlegungen geht dahin, die Rahmenbedingungen so zu stellen, dass diese monatliche Zahlung tief bleibt. Der Aufpreis sollte in der Grössenordnung der eingesparten Energie und CO_2-Kosten bleiben, damit das Interesse der Hausbesitzer an der Umsetzung gross ist.[22]

8.2 Technologierisiken

Beim Technologierisiko gilt es, zwei Risiken zu unterscheiden:

[21] Es ist auch denkbar, im Rahmen des Gesamtsystems, den Energiepreis von aussen abzusichern. Diese Hedging-Funktion könnte sowohl durch Versicherungen organisiert (Prämie vom Staat finanziert) wie auch durch den Staat selber vorgenommen werden. Die Funktion des Staates ergibt sich hier aus dem Bedürfnis, zukünftige Risiken für die Volkswirtschaft abzufedern.

[22] Es gilt hier noch einmal festzuhalten, dass das Ziel dieser Idee nicht die Energieeffizienz ist, sondern hohe CO_2-Einsparungen. Gleichzeitig muss aber festgehalten werden, dass der Treiber für den Hausbesitzer die Mehrkosten sind. Gelingt es, die Kosten für die Abschreibung in der Grössenordnung der Einsparungen zu halten, ist der Anreiz für die Hausbesitzer grösser.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Einzelfallrisiko

In einem einzelnen Schadensfall wurde ein Projekt oder Teile des Projektes nicht optimal durchgeführt, woraus sich Schäden ergeben. Für Schäden unter kurzfristiger Optik gilt das normale Verfahren für Bauschadenmängel. Gewichtiger ist jedoch das Langzeitrisiko. Kein Systemanbieter übernimmt im Moment eine Risikogarantie über 40 Jahre. Soll jedoch erreicht werden, dass Refinanzierungen tatsächlich über 30 und mehr Jahre gerechnet werden, muss sichergestellt, sein, dass die Risiken auch über längere Zeit abgesichert werden können. Das Einzelfallrisiko wird eine kleine Menge von Objekten betreffen, weswegen sich eine gleichmässige Verteilung der Risikokosten auf viele Objekte positiv auswirkt.

Für den einzelnen Hausbesitzer ergibt sich nun die Situation, dass er in einem solchen Fall mit einer langfristigen Einsparung und einer langfristigen, wiederkehrenden Zahlung rechnet. Hausbesitzer gehen generell solche Risiken ein, sind sich dessen aber oft nicht bewusst. Ob sie sich bereit erklären, ein solches Risiko einzugehen, wenn es um Energieeinsparungen geht, ist zu diskutieren. Ein Fonds könnte allenfalls für solche Risiken eine Absicherung anbieten und damit die Bereitschaft erhöhen, einen solchen langfristigen Vertrag einzugehen.

Systemrisiko von Wärmedämmungen

Wärmedämmungen sind Technologien, die bestens bekannt und eingeführt sind. Das Systemrisiko ist also relativ gering. Sollte sich dennoch eines ergeben, ist die Wahrscheinlichkeit, dass sich multiplizierbare Lösungen für das aufgetretene Problem finden lassen, gross. Für die Kostentragung dieses Risikos können verschiedene Lösungen gefunden werden, wobei auch Versicherungslösungen denkbar sind.

8.3 Vertragsrisiken

Eine klimaneutrale Modernisierung, bei der die Finanzierung unter Zuhilfenahme eines Modernisierungsfonds geschieht, schränkt die Nutzungsfreiheit des Eigentümers über sein Gebäude ein. Zwar kann man bei einem Verkauf des Gebäudes die Zahlung per Dienstbarkeit sichern, jedoch schränkt diese Situation auch die Möglichkeit eines Neubaus oder einer Verdichtung ein. Dieses Risiko betrifft auch den Fondsbetreiber, der bei Vertragsdauern von 30 und mehr Jahren keine Sicherheit hat, dass der Eigentümer als Vertragspartei so lange verlässlich bleibt.

Betrachtet man jedoch die mittlere Lebensdauer von Häusern, zeigt sich, dass das Risiko sehr klein ist, dass bei einem frisch gedämmten Gebäude[23] der Wert der Hülle durch Umbau- oder

[23] Es wird besonders auf die Dämmung Bezug genommen, weil hier die notwendige Lebensdauer für eine rentable Amortisation am längsten ist.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Neubaumassnahmen verloren geht. Wird bei der Gebäudeauswahl darauf geachtet, dass nur Gebäude mit passender Qualität einbezogen werden, kann das Risiko weiter reduziert werden.

Durch die Schaffung eines grossen Fonds könnte das Risiko auch hier reduziert werden. Fasst man viele Modernisierungen über einen solchen Fonds zusammen, wird zwar die Wahrscheinlichkeit des Eintretens eines Ausfalls erhöht, jedoch das prozentuale Schadensausmass reduziert. Damit kann das Risiko versicherungsmathematisch eingepreist werden.

Geeignete Austrittskriterien könnten dem Eigentümer dennoch eine gewisse Menge an Verfügungsgewalt überlassen.

8.4 Ausstiegsrisiko durch Investoren

Wie oben festgestellt, wollen sich Investoren, welche Geld für den Fonds zur Verfügung stellen, nicht über 30 oder mehr Jahre binden. Dies gilt auch dann, wenn sie bereit sind, einen Investitionszyklus, der so lang ist, in Betracht zu ziehen. Das bedeutet, sie benötigen eine gewisse Sicherheit, dass sie gegebenenfalls liquide bleiben[24]. Solange nur einzelne Player eine Rückzahlung der investierten Gelder fordern, lässt sich diese Situation durch die Ablösung mit neuen Investoren beheben. Beim Rückzug einer grossen Anzahl von Geldgebern könnte sich jedoch der Wert des Fonds verringern. Diesem Ausstiegsrisiko steht jedoch ein materieller Gegenwert in der Form der ausgeführten Projekte und der entsprechenden Verträge entgegen, so dass auch hier die Risikotragung in geeigneter Form abgefedert werden könnte. Deshalb ist die Qualitätssicherung wichtig, damit der investierten Summe ein Gegenwert gegenübersteht. Trotzdem muss der Ausstieg einer grossen Menge von Investoren durch geeignete Massnahmen unterbunden werden. Für den Fall eines Komplettausstiegs müsste der Staat als «Lender of Last Resort» zur Verfügung stehen.

Die Notwendigkeit eines «bail out» ergibt sich aus zwei möglichen Situationen:

a) Rendite in alternativen Anlagen besser, Inflationsniveau ist tief: In diesem Fall ergibt sich für den Staat kein finanzielles Risiko, da die Werthaltigkeit der Investitionen gesichert bleibt.
b) Rendite in alternativen Anlagen besser, Inflationsniveau ist hoch: In diesem Fall ergibt sich für den «Lender of last Resort» ein Verlust aus der Anlage. Dieses Risiko kann reduziert werden, indem die Verzinsung an die Inflation gekoppelt wird.[25]

[24] Bei EnergieerzeugungsanlagenEnergieerzeugungsanalgen ist die Situation vergleichbar. Die baulichen Massnahmen von Wasserkraftanlagen werden zu einem wesentlichen Teil über 80 und mehr Jahre amortisiert. Trotzdem ist die Investition in solche Anlagen für Pensionskassen interessant.
[25] Da zu erwarten ist, dass die Energiepreise mindestens mit der Inflation mitlaufen, sollte es möglich sein, einen solchen Mechanismus zu konstruieren, der auch für die Bauherrschaft interessant ist.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

8.5 Warum eine Risikoabdeckung durch den Staat Sinn macht

Bei den oben geschilderten Risiken besteht ein Interesse des Staates, das Risiko zumindest teilweise zu übernehmen. Er reduziert damit für sich das Risiko, dass der Gebäudebestand nicht schnell genug umgebaut wird und die Klimaziele nicht erreicht werden. Es ist nicht unüblich, dass der Bund sich für solche Risikoabsicherungen engagiert.[26]

9 Unterstützung durch richtige Rahmenbedingungen in der Umsetzung

9.1 Gesetzlicher Rahmen zur Unterstützung im Rahmen der Klima- und Energiepolitik

Immer deutlicher zeichnet sich ab, dass die kantonalen Energievorschriften zwar dafür garantieren, dass Neubauten einen guten Standard erreichen, dass sie aber keinen Anreiz dazu bieten, den Gebäudebestand umzugestalten. Mehr noch: durch die einseitige Betonung der Effizienz dieses Einzelgebäudes oder sogar eines Bauteils, erfolgt im Einzelfall sowohl volkswirtschaftlich wie auch betriebswirtschaftlich eine suboptimale Ressourcenallokation. Gleichzeitig wird aber – gerade im Bestandsbau - die Umsetzungsgeschwindigkeit gebremst, weil die auf Einzelbauteile ausgerichtete Gesetzgebung die Umsetzung behindert.

Der wichtigste Teil des gesetzlichen Rahmens sollte stattdessen eine konsistente Klimapolitik sein. Grenzwerte für CO_2-Emissionen pro Quadratmeter beheizte Fläche, die schrittweise gesenkt werden, sind eine zielkohärente Lösung. Solche Grenzwerte sind mit der aktuellen Aufteilung in kantonale und bundesstaatliche Hoheit systemkonform, da Klimapolitik Bundespolitik ist und auch zum Beispiel bei Geräten Bundesnormen bestehen.
Die Gebäudeenergiepolitik der Kantone könnte durch einen solchen Grenzwert massiv vereinfacht werden, ohne dass die Hoheit über die Regulierung vollständig von den Kantonen abgezogen wird.[27] [28]

Kostenoptimal kann jedoch ein Gebäudebestand nur dann bezüglich CO_2 modernisiert werden, wenn der Staat sich vom Einzelgebäude löst und stattdessen geeignete Rahmenbedingungen für Gebäudeclusters[29] definiert. Wird ein Absenkpfad nicht mit Bezug auf das Einzelgebäude

[26] Vergl. Exportrisikogarantie oder Emissionszentrale der Genossenschaften EGW (www.egw-ccl.ch)
[27] Siehe REDEM-Initiative im Kt. Zürich
https://www.kantonsrat.zh.ch/Geschaefte/Geschaefte.aspx?GeschaeftID=8ab6ccdf-2b22-43d0-a437-27d07f80d6db
[28] Allenfalls könnte sie reduziert werden auf einen Grenzwert für die installierte Leistung, um zu verhindern, dass der Leistungsbedarf im Winter zu gross wird und sicher zu stellender Wohnkomfort sowie die Bauschadenfreiheit gewährleistet bleibt.

[29] Eine solche Vorgehensweise stellt einen Bruch mit der aktuellen Gesetzgebung im Baubereich dar, wird aber in anderen Bereichen, zum Beispiel mit Zielvereinbarungen, bereits heute praktiziert.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

definiert, sondern auf einen Cluster, kann kostenoptimal saniert werden, indem für jedes Gebäude eine zeitoptimale, passende Lösung umgesetzt wird.

Durch eine neue Gestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen kann eine Sogwirkung erzeugt werden. Neu sollten die gesetzlichen Bedingungen nicht mehr auf die Qualität und klimaneutrale Optimierung von Einzelbauteilen ausgerichtet werden, sondern auf die Reduktion der CO_2-Emissionen von Gebäudecluster[30]. Diese gehen die Verpflichtung ein, die Emissionen der Gebäude des Clusters so zu reduzieren, dass die CO_2-Emissionen bis 2045 auf null sinken.

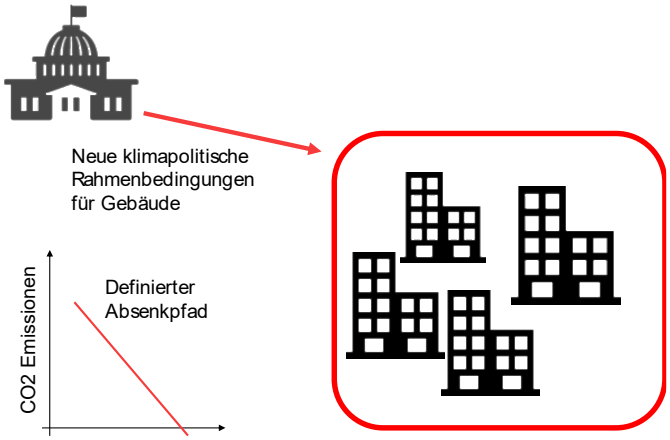


Fig 3: Gebäude schliessen sich (freiwillig) zu Cluster zusammen und beschreiten einen definierten Absenkpfad. Im Gegenzug erhalten sie freiere Rahmenbedingungen.

Im Gegenzug wird Gebäuden im Cluster die Erfüllung der energetischen Baugesetzgebungen erlassen. Rapportiert wird nur die Zielerreichung anhand der ausgestossenen CO_2-Mengen, wobei die grauen Emissionen ebenfalls in geeigneter Weise einbezogen werden könnten.

Durch die Kombination von Cluster und Fonds könnte nun ein neuer Ansatz in der Umgestaltung des Gebäudeparks entstehen, der nach dem Least-Cost-Planning-Ansatz erfolgt.

Ein Hausbesitzer könnte entscheiden, ob er mit einem sanierten oder unsanierten Gebäude in den Cluster eintreten will. Tritt er mit einem sanierten Gebäude bei, reduziert er die Emissionen des Clusters und wird daher einen günstigen Preis für den Beitritt erreichen können.

Tritt er mit einem unsanierten Gebäude in den Cluster ein, wird er einen eher höheren Beitrag zu gewärtigen haben. Dafür wird ihm Know-how in der klimaneutralen Modernisierung zur Verfügung gestellt.

[30] Die Cluster basieren auf einem freiwilligen Zusammenschluss. Der Anreiz dazu sind die verbesserten Rahmenbedingungen.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Damit ein freier Markt spielt, sollten Cluster nicht ausschliesslich örtlich definiert werden. Grundsätzlich könnte ein Cluster zum Beispiel auch aus Gebäuden bestehen, die verteilt sind, sich aber zum Beispiel dadurch auszeichnen, dass sie Gebäude mit vergleichbarer Morphologie umfassen. Eine andere Möglichkeit besteht natürlich darin, das Versorgungsgebiet mit einer leitungsgebundenen Energie als Cluster zu verstehen[31].

Durch eine solche gesetzliche Massnahme entsteht ein neuer Player in der Bauwirtschaft, der sein eigentliches Businessmodell aus der Umsetzung von Massnahmen zur Reduktion von CO_2 bezieht: das Clustermanagement. Es betreut eine selektionierte Menge von Gebäuden und bringt diese auf einem Zielpfad zur CO_2-Neutralität. Er akquiriert weitere Gebäude durch geeignete Verträge/Dienstbarkeiten und ist gegenüber dem Staat über einen Zielpfad verpflichtet. Er setzt mit den Hauseigentümern geeignete Massnahmen um, wobei er in der Art der Umsetzung frei ist. Durch seine Arbeit reduziert er die Transaktionskosten der Informationsbeschaffung.

Inwieweit der Zugang zu einem Cluster für den Hausbesitzer auch den Zugang zu den Finanzierungsmöglichkeiten aus dem Fonds erleichtert oder sogar die Kosten senkt, da die Qualität der Umsetzung innerhalb des Clusters höher ist, könnte gegebenenfalls überlegt werden.

9.2 Weitere rechtliche Grundlagen

Eigentumsrecht

Auf der Ebene des Grundbuches muss es möglich sein, Verträge für ein Modernisierungscontracting mittels Dienstbarkeiten zu sichern. Dazu muss eine Richtlinie erarbeitet werden, die sowohl die Interessen der Investoren wie auch der Gebäudebesitzer in guter Form abbildet.

Mietrecht

Das Mietrecht muss in Zukunft erlauben, dass die Kosten für die CO_2-Optimierung in der Form einer monatlichen Zahlung über die Nebenkosten abgewickelt werden können, wenn die Abschreibungen korrekt über den Lebenszyklus getätigt werden. Es könnte darüber nachgedacht werden, ob das der richtige Moment ist, um von der Kaltmiete zur Warmmiete

[31] Diese beiden Ansätze könnten auch miteinander verbunden werden, indem ein Gebäude auch zu einem anderen Cluster gehört, jedoch seine Energie aus dem leitungsgebundenen System bezieht.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

überzugehen. Allerdings muss in diesen Fall sichergestellt werden, dass für das Energiesparen ein Anreiz besteht.[32]

Es ist davon auszugehen, dass die oben aufgeführten Punkte nicht die einzigen rechtlichen Aspekte sind, die es zu berücksichtigen gilt. Deshalb sollten im Rahmen der weiteren Untersuchungen für die Umsetzung eines Modernisierungsfonds umfassende rechtliche Abklärungen durchgeführt werden.

10 Kick-off mit Pilotfonds

Der grosse Vorteil der Beschleunigung der klimaneutralen Modernisierung mittels Fonds besteht darin, dass die Umsetzung im Kleinen begonnen werden kann. Dadurch bleibt das Versagensrisiko überschaubar. Allerdings ergibt sich daraus kaum eine grosse Wirkung. Diese ergibt sich erst aus der Skalierung und wird möglich, wenn die Umsetzung erfolgreich erprobt ist.

11 Fazit

In einer Zeit, in der rentable Investitionsmöglichkeiten Mangelware sind und Bauinvestitionen wegen zunehmenden Leerständen rückläufig werden könnten, könnte ein Modernisierungsfonds ein interessantes Geschäftsmodel für die Baubranche und die Finanzbranche ermöglichen. Weitere Gewinner sind die LiegenschaftsbesitzerInnen, die zu günstigeren Konditionen ihr Gebäude kostenoptimal fit für die Zukunft machen können sowie der Staat, der als Resultat dieser Stossrichtung beschleunigt zu einem klimagerechten Gebäudepark kommt.

swisscleantech CZE / 9.02.2019

[32] Vernehmlassung Änderung der Verordnung über die Miete und Pacht von Wohn- und Geschäftsräumen (Energiespar-Contracting ESC):
https://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/documents/2979/VMWG-Art-6c_Entwurf_de.pdf
https://www.admin.ch/ch/d/gg/pc/documents/2979/VMWG-Art-6c_Erl.-Bericht_de.pdf
Input GLP: Bauliche Massnahmen sollten als ESC aufgeführt werden können, eine pauschale Entschädigung sollte zulässig sein.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

Dynamic Life Cycle Assessment of the building electricity demand

Authors:

Pierryves Padey[1]; Kyriaki Goulouti[1], Didier Beloin Saint-Pierre[2], Sébastien Lasvaux[1], Massimiliano Capezzali[1], Vasco Medici[3], Jalomi Maayan Tardif[3], Stéphane Citherlet[1]

[1] School of Management and Engineering Vaud, University of Applied Sciences and Arts Western Switzerland

[2] EMPA – Advancing Life Cycle Assessment Group

[3] University of Applied Sciences and Arts of Southern Switzerland, SUPSI

Contact person: Pierryves Padey, pierryves.padey@heig-vd.ch, https://heig-vd.ch/rad/instituts/igt

Abstract

The environmental footprint of the Swiss consumed electricity is not constant over the year. Indeed, the share of the energy production means varies throughout the days, weeks and months, as a function of the electricity demand, resource availability (hydro, solar) and the power plant availability (maintenance). Switzerland also balances its electricity grid with imports from neighboring countries. All these possible fluctuations imply a variable environmental footprint of the Swiss consumed electricity, which affect the environmental impact of the building electricity demand. So far, in Switzerland, the environmental accounting of the building energy demand considers yearly average impacts for the consumed electricity. The EcoDynBat project has developed a framework to collect and merge all the necessary data to conduct a Dynamic Life Cycle Assessment (DLCA) of the environmental impact for the Swiss building consumed electricity under different time steps. The resulting database and methodology has been applied to different profiles of building electricity demand, including buildings with heat pump and/or decentralized electricity production systems. The study evaluates the influence of different time step resolutions on the environmental impacts of the electricity demand in Swiss buildings. Results for the climate change impact show a variability going from 36 to 580 g of CO_2 eq/kWh for the consumed electricity when using an hourly resolution, during a one year period. This variability causes an increase in the impacts of up to 24% for space heating, when compared to the annual average impacts. Other electricity loads that do not have a seasonal profile are less affected by the time resolution. Nevertheless, observed trends suggest that an hourly resolution will be relevant to evaluate the potential environmental impacts of smart buildings.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

1. Scope

The Swiss electricity production strongly relies on hydro and nuclear energy [1], which are considered as energy sources with low carbon footprints [2, 3]. In previous decades, Switzerland was producing more electricity than needed and was deemed a net exporter. However, over time, the national electricity demand significantly increased and Switzerland became dependent on the imports from neighboring countries. These imports became especially significant during winter, when the higher seasonal demand (partially due to electric space heating) coincides with a reduced national renewable electricity production capacity (i.e. the hydroelectricity production is low because of the reduced snowmelt, while the photovoltaic production is low due to reduced solar radiation). Hence, Swiss production means and electricity imports are not constant over the year, but rather fluctuate, as illustrated in Figure 1 for the year 2018.

Figure 1 Profiles of Swiss production (top) and imports (bottom) in 2018 [4]

These variations in the electricity mix composition create fluctuations in terms of its environmental impacts. However, conventional LCA databases often only provide yearly average environmental impacts for the Swiss consumed electricity. For example, ecoinvent [2] calculates a climate change impact of 129 g CO_2 eq per consumed kWh, and KBOB [3] suggests an impact of 102 g CO_2 eq per kWh.

In addition to the variability of the electricity mix, the electricity demand of the Swiss buildings can vary significantly, because of the intra-day peaks or the seasonal effects. This fact causes an additional variability to the environmental impacts of the buildings. This aspect is particularly notable in buildings with important seasonal electricity demands, which occurs when electricity based heating systems are used (in particular heat pumps) and when decentralized electricity production systems are installed (photovoltaic production mostly occurring in summer). It becomes evident that considering the dynamic effects of the buildings is important, in order to increase the reliability of the resulting environmental impacts. Moreover, with the emergence of the smart-building concept, the dynamic consideration should also gain importance.

In this context, the EcoDynBat project, funded by the research program “Buildings and Cities” of the Swiss Federal Office of Energy (SFOE), has developed a framework for the collection of the necessary data, in order to calculate the environmental profile of the Swiss consumed electricity, using a Dynamic Life Cycle Assessment (DLCA), under different time steps. Then, based on the calculated environmental profile of the Swiss electricity mix, the impacts of different buildings have been calculated for different time steps (hourly, daily, monthly and annually) and various usages

DOI 10.5281/zenodo.3900180

(space heating, domestic hot water, and other domestic appliances). Finally, the influence of the four time resolutions is quantified, on the environmental impacts of the buildings. By considering the difference with the annual calculation based on average annual values, the time resolution influence is therefore quantified.

2. Method

The overall EcoDynBat framework is presented in Figure 2 and described in the following sections.

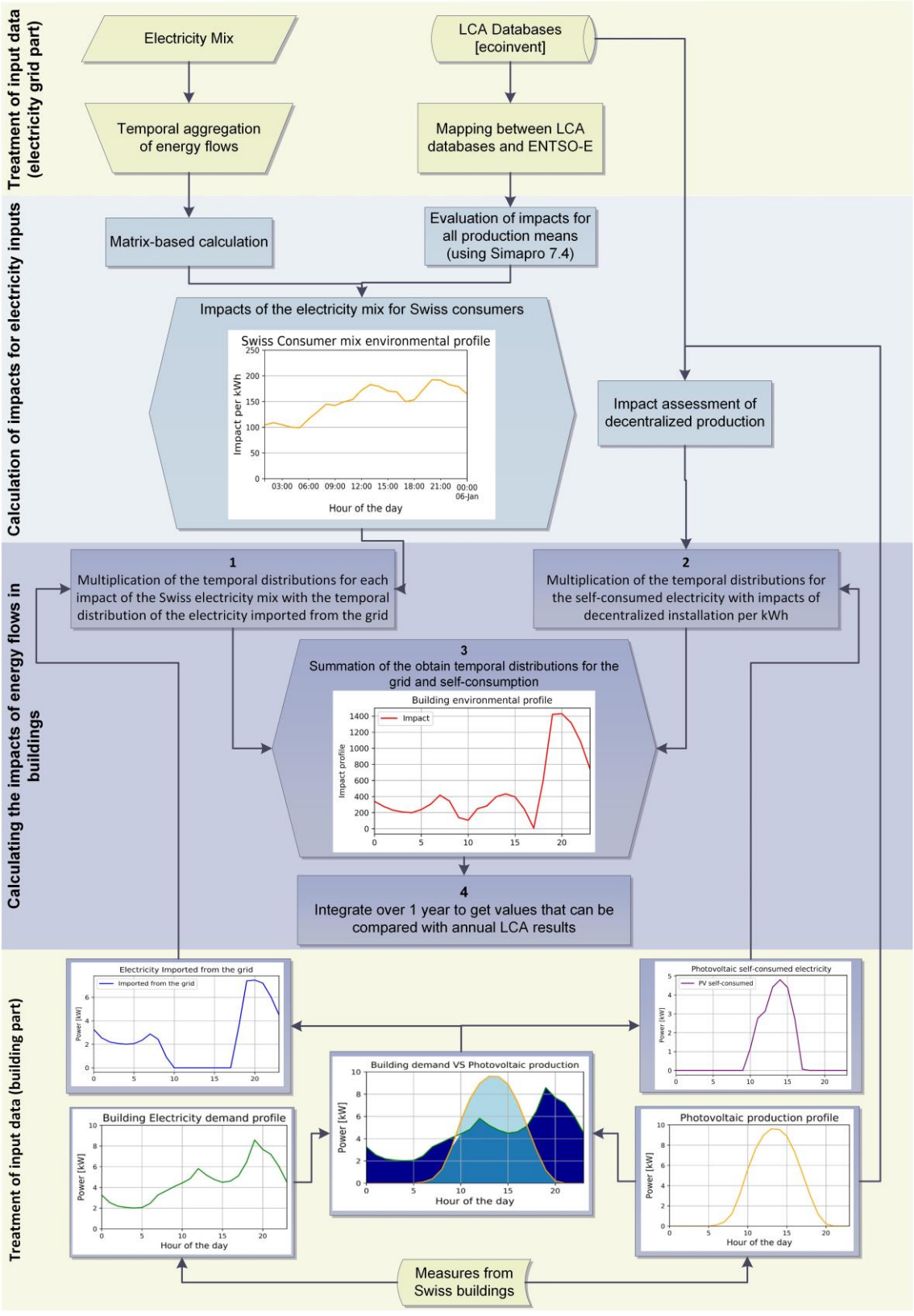


Figure 2 Overall calculation framework

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2.1 Treatment of the input data

This section describes the process of obtaining and processing data, regarding the electricity production means at every time step, in order to form a harmonized dataset. To do so, the data from the ENTSO-E transparency platform [4] were collected for the production mix of Switzerland, Germany, France, Austria, Italy and Czech Republic. These five countries were preliminary selected, since they have the maximum influence on the environmental profile of the Swiss consumed electricity. Indeed, considering additional countries would increase the accuracy of the results by less than 2%. This would increase disproportionally the necessary calculation time and thus, they were excluded. The Czech Republic was considered in the geographical scope of the study, although it does not directly exchange with Switzerland. The reason lies in the fact that the Czech Republic indirectly influences the environmental impact of the Swiss electricity mix, due to its important exchanges with Germany and Austria. The bilateral exchanges between the six countries were also considered. Since ENTSO-E provides net exchanges (i.e. net differences between imports and exports), the raw exchange data from Swissgrid [5] were considered and incorporated in the dataset. In addition, the production data for each considered country was cross-compared with other data sources, and were found to agree well with each other. However, for Switzerland, the ENTSO-E production values were found to be lower than the national statistics [1]. A specific assessment over a few representative days was performed, showing that the ENTSO-E data underestimated the production of run-off river plants and other renewables (photovoltaics in particular). This gap is explained by the fact that ENTSO-E seems to consider only high voltage production means, while an important part of the generation from run-off river plants and other renewables sources is produced at lower voltage levels. Thus, this gap was filled with a production mix made of photovoltaics (PV) and hydro run-off plants according to the available data of typical days [1]. Based on these adaptations (raw exchanges and gap filling),as well as the addition of the transmission losses, it was possible to calculate, for each time step, the share of production means for the production of 1kWh, to be consumed in the Swiss network. Using a matrix-based approach (see details in [5]), it was then possible to asses, for each time step, the share of each production means per country.

At the building level, the electricity consumption data were collected for three usages of the different case studies: space heating, domestic hot water, and other domestic appliances. If available, the PV production was measured and the self-consumption was calculated, providing the consumed electricity share from the grid and from the PV installation for each usage. For the case studies, for which no PV installations were available, PV production models were developed, based on the work of Holmgren et al. [7].

2.2 Calculation of the impacts of the electricity inputs

Once the share of each production means is obtained, the environmental impacts of the produced electricity can be calculated. The production means in the ENTSO-E platform are less detailed compared to the ecoinvent database. For example, ENTSO-E gives information for the nuclear electricity per country, while ecoinvent provides information for the pressurized and boiling water reactor. In order to harmonize the different information levels among the sources, which is driven by the lowest detailed data source (i.e. ENTSO-E), a mapping file was created (see [6] for details).

In terms of decentralized electricity generation, the environmental impact of the PV electricity was then calculated according to the following equation:

$$\frac{\mathbf{Impact}_{\mathbf{PV\ electricity}}}{\mathbf{kWh}} = \frac{\mathbf{Impact}_{\mathbf{installation}_{\mathbf{manufacturing}}} + \mathbf{Impact}_{\mathbf{Installation}_{\boldsymbol{use\ phase}}}}{\mathbf{Lifetime\ Production\ (kWh)}}$$

The lifetime production is, based on the electricity production measured or calculated for the case studies, multiplied by an estimated installation lifetime of 25 years. The impacts of the PV installation (manufacturing and disposal stage) and use-phase can be found directly in the ecoinvent database. From this step, the environmental input data of the produced electricity are calculated and the calculation of the building's electricity impacts can be continued.

DOI 10.5281/zenodo.3900180

2.3 Calculating the impacts of electricity flows in buildings

The following calculation steps are carried out to obtain the impacts of the electricity consumption in buildings (see also Figure 1):

1. Multiplication of the different temporal distributions of the impacts of the Swiss electricity mix, with the corresponding temporal distributions of the electricity imported from the grid.
   ⇨ This step evaluates the impacts of the electricity used in buildings, when it is provided by the grid for every time step over the full period of assessment (i.e. one year).
2. Multiplication of the temporal distributions of the self-consumed electricity, with the impacts of the decentralized installations.
   ⇨ This step evaluates the impacts of the electricity produced by the decentralized installation, when it is used in the building for every time step over the full period of assessment (e.g. one year).
3. Summation of the obtained temporal distributions for the grid and self-consumption.
   ⇨ This step combines the impacts of all electricity uses in buildings, for every time step over the full period of assessment (e.g. one year). Values can be divided by the ERA (in m^2) of the building, in order to provide a functional unit, for comparing the results among buildings.
4. Integration of the dynamic impacts of the different time steps, over one year, in order to compare the annual impacts of the different time steps.
   ⇨ This summation of impacts over the full year is necessary for comparing the results for the various time step resolutions and quantifying the influence on the environmental impact accuracy. The annual results can also be compared with other “traditional” LCA calculations based on the ecoinvent or KBOB Swiss electric grid impact factors.

These calculation steps have been carried out with Python algorithms for each time step for both 2017 and 2018 because electricity data were available for this period. In EcoDynBat, four impact categories were assessed; Climate Change (GWP), Non-Renewable Primary Energy (NRE), Renewable Primary Energies (RE), and Ecological Scarcity (ES). The present paper presents the results of the climate change (GWP) and non-renewable primary energy (NRE) impact category.

3. Results

3.1 Environmental profiles of the Swiss consumed electricity

The resulting environmental profiles of the Swiss consumed electricity are presented per contributing country and main production categories, under a daily time step to simplify the graphic readability, in Figure 3.

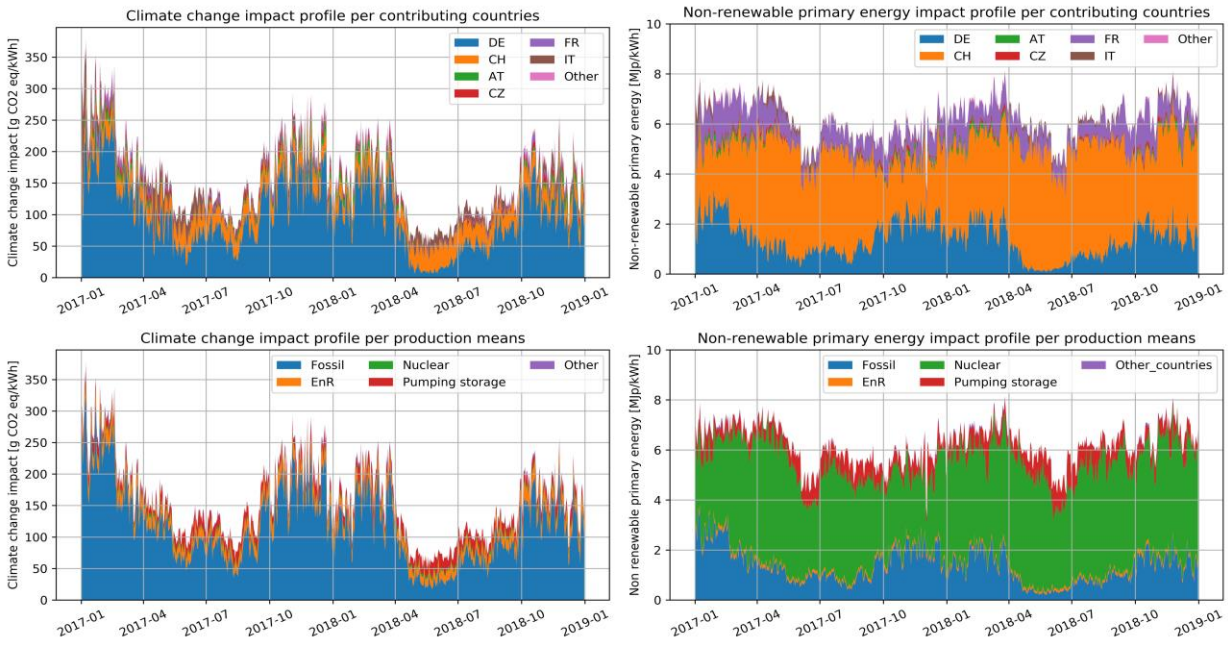


Figure 3 Profiles of environmental impacts for the Swiss consumed electricity (daily time step plot)

DOI 10.5281/zenodo.3900180

The environmental impacts of the Swiss consumed electricity present a high variability in the GWP impact category (from 36 to 580 g CO_2 eq/kWh on the hourly basis). From the observed profiles, it appears that the climate change impact category of the Swiss consumed electricity is highly sensitive to seasonal fluctuations. In winter, Switzerland relies more on imports, especially from Germany, while in summer there are less imports, leading to significantly lower impacts. In addition, the imports have a higher impact than the national production, since the German production mix relies significantly on fossil fuel technologies, which have a higher impact per produced kWh. Thus, there is a high correlation between the imports from Germany and the GWP of the Swiss consumed electricity. The other countries have less contribution on the GWP than Germany, e.g. France has a national production that heavily relies on nuclear energy, while Austria, Czech Republic, and Italy only provide a small quantity of electricity to Switzerland. As the GWP impact of the electricity is driven by the fossil fuel production means and the Swiss electricity production means have low carbon contents, the national production has a small contribution to the total impact.

The impacts of the NRE are still significant, but they present lower variability than those of the GWP impact category (from 2.9 to 12 MJp/kWh). For the NRE, Switzerland is the main contributor to the total impact. This observation is explained by the high share of the nuclear production on the national mix and the high share of the fossil fuel-based electricity imports, which both have a high NRE impact. Thus, along with Switzerland the other main contributing countries to the NRE impact are Germany and France.

3.2 Influence of different time resolutions

The case studies used to assess the influence of the time resolution on the accuracy of environmental impact calculations are presented in the Table 1. Four Single Family Houses (SFH, CS 1-4)), one Multi-Family House (MFH, CS-4) and one office building (CS-6) have been considered. Scenarios with and without PV have been considered for each building.

Case study	Description	Heating system	PV	Time step
CS 1 - 4	Single family house, ERA= 247m^2, construction year: 1975	Heat pump	10 kW	Annual, monthly, daily, hourly
			-	
	Single family house, ERA= 273m^2, construction year: 2000		10.7 kW	
			-	
	Single family house, ERA= 149m^2, construction year: 2000		7.4 kW	
			-	
	Single family house, ERA= 130m^2, construction year: 1987		6.6 kW	
			-	
CS - 5	Multi-family house, ERA= 2663m^2, construction year: 2013		20 kW	
			-	
CS - 6	Office building, ERA= 14'195m^2, construction year: 2013		230 kW	
			-	

Table 1 Case studies description

The relative time step influence, when compared to the annual results, is presented in Figure 4 .

DOI 10.5281/zenodo.3900180

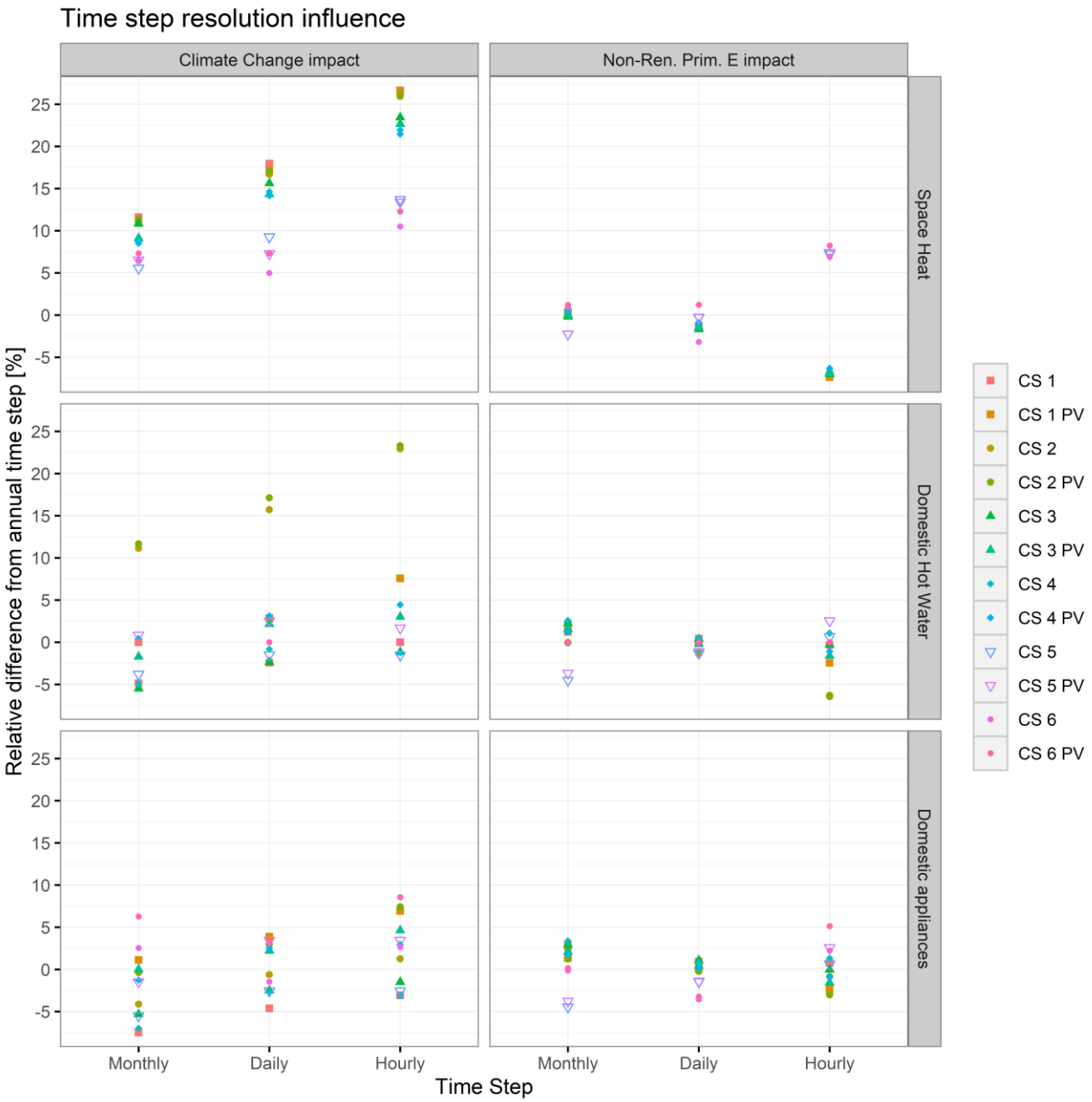


Figure 4 Relative influence of time steps compared to calculations on an annual basis

From Figure 4, it appears that the higher the time step resolution, the higher the relative difference. Therefore, using the hourly time step resolution, results in higher environmental impacts, than the other time step resolutions. Thus, when performing a DLCA calculation for the environmental impact assessment of the electricity demand for a building, the hourly time step appears to be the relevant resolution, for more reliable results that correspond better to reality and further decision making when energy optimization strategies are aimed. In addition, the comparison between the two presented indicators shows that the GWP indicator is more influenced than the NRE indicator, by the time step resolution. This observation is in accordance with the observation made for the electricity from the grid (Figure 3) for which more fluctuations are observed for the GWP. Thereby, in Switzerland, DLCA calculations should be prioritized when considering the GWP indicator. Regarding the different usages, the time step choice influences the most the electricity for space heating. This energy demand, contrary to the domestic hot water (DHW) and the other domestic appliances is highly seasonal and thus more influenced by the time step choice. The electricity demands of the DHW and the other domestic appliances are more stable over the year, for the case studies considered in EcoDynBat, and thus annual calculations appear to provide sufficient accuracy for their impact calculations. Finally, the comparison of the analyzed case studies showed that the single-family houses (CS 1-4) were more influenced by the time-step resolution than the multi-family house and the office building, since the latter were more energy efficient buildings. The consumption profiles

DOI 10.5281/zenodo.3900180

(high seasonality for space heating, more important demand) for CS 1-4 seems to be the major explanation. In addition, larger buildings (CS5 and CS6) also exhibit less demand variability because of the scale effect.

Finally, for the case studies with PV installations, the influence of the time step is limited. Indeed, the PV electricity of each installation has a fixed environmental impact per kWh (see method section). Thus, when the consumed electricity from the grid (with variable impacts) is substituted by the constant impact of the PV, the sensitivity to the time step choice is reduced. Therefore, for buildings with no electrical storage and a high self-consumption rate, the use of DLCA for the calculation of the building electricity environmental impact is not recommended.

4. Discussion

Several observations have come out of the EcoDynBat project:

- There are some discrepancies in the different considered data sources for the electricity mix of Switzerland (ENTSO-E, SFOE, Swissgrid). It would be of interest to develop energy profiles for the Swiss production, imports and consumption mix, in order to develop reliable models that could be used for developing the mid-term Swiss energy strategy.
- Different modelling approaches are currently used for the environmental accounting of the consumed electricity. In EcoDynBat, the environmental impacts of the consumed electricity have been calculated for four time steps, considering the physical flows and exchanges among the neighboring countries. Other approaches consider the traded flows or the certificate of origin, which can significantly affect the results of the environmental impact assessment. Comparing, in detail, the environmental results for the different approaches and proposing a consensual approach for the Swiss environmental accounting of the consumed electricity would be of interest.
- The EcoDynBat results highlight the fact that dynamic aspects should be considered for the environmental impacts evaluated, using the GWP category.
- Seasonal demand profiles require considering intra-annual resolution for the environmental impact calculation. The appropriate metric to choose whether a DLCA is necessary or not has still to be defined. Based on the assessed buildings, it seems that constant usages over the year do not require a higher time step resolution than the currently annual average used
- Demand Side Management strategies and active energy solutions (electrical storage, peak shaving solutions, etc.) could increase the influence of the time-step, since the electrical uses would be dynamically managed in buildings. In addition, the management strategies could encompass the environmental aspect in order to minimize the impacts of the electricity consumption.
- The evolution of the Swiss electricity mix could also increase the time step influence. For that purpose, EcoDynBat considered a pessimistic scenario, for which the Swiss nuclear was only compensated by an increase in imports (no additional indigenous production). In this situation, the environmental impacts of the consumed electricity are significantly higher and the time step influence increases. Thus, developing dynamic environmental impact models for the future Swiss consumed electricity could be relevant.

5. Perspectives

The EcoDynBat project has developed a complete framework to collect and bring together the necessary data for the calculation of the environmental impacts of the Swiss consumed electricity. This framework is extensively presented in the report of project. Based on the “EcoDynBat dataset”, a matrix-based calculation approach for the environmental impact characterization of the consumed electricity was developed. This approach is of interest, since it consistently considers the variations of electrical flows (indigenous production, imports and productions of the neighboring countries) that are necessary to supply the Swiss electricity mix. Based on the calculation procedure, it is possible to point out which production means contribute most to the environmental impact of the Swiss consumed electricity in different periods. The calculation procedure could now be applied each year

DOI 10.5281/zenodo.3900180

to observe the dynamic trend, regarding the environmental impacts of the Swiss consumed electricity.

Based on the obtained results, it appears more relevant to consider the dynamic aspect for the GWP category and for energy loads that substantially change during different seasons. In addition, it appears that future and currently emerging smart buildings with demand side management and active energy management systems could (1) be more influenced by dynamic environmental factors and (2) include dynamic factors, when developing control strategies that minimize the building's environmental impacts. Nevertheless, it would be necessary to quantify the impact mitigation potential when considering such aspects and, if proven relevant, it would be necessary to forecast the environmental impact of the Swiss consumed electricity, at least in the short-term.

References

[1] Office Fédéral de l'Energie (OFEN), "Statistiques Suisse de l'électricité 2018"

[2] Wernet, G., Bauer, C., Steubing, B., Reinhard, J., Moreno-Ruiz, E., and Weidema, B., 2016. The ecoinvent database version 3 (part I): overview and methodology. The International Journal of Life Cycle Assessment, [online] 21(9), pp.1218–1230

[3] KBOB, Données des écobilans dans la construction 2009/1:2016

[4] European Network of Transmission System Operators for Electricity (ENTSO-E)

[5] Heijungs R, Suh S (2002): The Computational Structure of Life Cycle Assessment. ECO-EFFICIENCY IN INDUSTRY AND SCIENCE, 11. Kluwer Academic, Dordrecht, The Netherlands, 241 pp

[6] Beloin-Saint-Pierre, D., P. Padey, B. Périsset, et V. Medici. « Considering the Dynamics of Electricity Demand and Production for the Environmental Benchmark of Swiss Residential Buildings That Exclusively Use Electricity ». IOP Conference Series: Earth and Environmental Science 323 (septembre 2019): 012096. https://doi.org/10.1088/1755-1315/323/1/012096.

[7] - W. F. Holmgren, C. W. Hansen, and M. A. Mikofski, "pvlib python: a python package for modeling solar energy systems," J. Open Source Softw., vol. 3, no. 29, p. 884, 2018.