



brenet

22. Status-Seminar

Konferenzband

SustainDesign
user friendly and resilient design with
appropriate technology

8. & 9. September 2022
Kultur & 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.6798164

Unterstützt durch

 Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Bundesamt für Energie BFE


HIGHTECH
ZENTRUM
AARGAU


KANTON AARGAU


SOLARMARKT
Kompetenz und Komponenten.

Konferenzband

22. Status-Seminar

SustainDesign **user friendly and resilient design with** **appropriate technology**

8. & 9. September 2022 | Kultur & Kongresshaus Aarau

IMPRESSUM

Tagungsorganisation:
Michael Sattler
Ökozentrum, Langenbruck

Tagungsband 22. Status-Seminar
SustainDesign
user friendly and resilient design with appropriate technology

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

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 2022 widmetet sich dem Thema «SustainDesign». Der Begriff SustainDesign vereint Nachhaltigkeit und Design und steht für eine Bauweise, die in Gebäuden das richtige Mass an Technik und Design einsetzt - maximaler Nutzen mit minimalen Ressourcen – und die die notwendige Flexibilität bei zukünftigen Nutzungsänderungen berücksichtigt. Nur eine ganzheitliche, lebenszyklusorientierte Sicht auf Standort, Nutzung und Technik ermöglicht ein resilientes, nachhaltiges Gebäude nach einem SustainDesign-Ansatz.

Um das Thema SustainDesign zu vertiefen, wurden im Kultur & Kongresshaus in Aarau am ersten Seminartag neuste Erkenntnisse zu folgenden Fokusthemen präsentiert: SustainDesign, Netto Null und graue Energie, Strategische Energieplanung. Der Freitag war der angewandten Forschung gewidmet. In themenbezogenen Sessions wurden die für die Zukunft relevanten Themen rund um das nachhaltige Bauen vorgestellt.

Am Status-Seminar präsentierten 64 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

Inhalt

- 05** **Ökologisches Potential und Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff in Stadt und Kanton Zürich**
 Ammann, Simon (1); Noëmi, Brüggemann (2)
 1: Kanton Zürich, Abteilung Wald, Sektion Waldentwicklung und Ressourcen
 2: EcoEng AG
- 10** **Schwerkraftlüftung – Low-tech Lüftung für innenliegende Bäder in einem Mehrfamilienhaus**
 Monika, Hall; Vincent, Gerber; Achim Geissler
 FHNW, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau
- 21** **Photovoltaik Eigenverbrauch für Warmwasser – Optimierung heisst nicht Maximierung**
 Michel Y., Haller
 OST - Ostschweizer Fachhochschule
- 28** **Hybride Lüftung – ein guter Kompromiss?**
 Caroline, Hoffmann (1); Viktor, Dorer (2); Claudia, Hauri (3); Alex, Primas (3); Heinrich, Huber (3)
 1: Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau
 2: ehemals Empa Dübendorf
 3: Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie
- 44** **Stromverbrauch der Gebäudetechnik: ein Berechnungstool für Planer**
 Philipp, Kräuchi; Andrii, Zakovorotnyi; Prof. Dr. Olivier, Steiger
 Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie
- 52** **Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte**
 Alex, Primas, Marie-Teres, Moser, Andrii, Zakovorotnyi
 Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie
- 64** **Commune rénovée : Putting municipalities in proactive mode for the energy renovation of the building stock**
 Lionel, Riquet; Luca, Cardinale
 hepia, HES SO Genève
- 72** **Hourly CO₂ emissions of a 5 MWth groundwater HP district heating system in Geneva: monitoring results over an entire year of operation**
 Stefan, Schneider; Pauline, Brischoux; Pierre, Hollmuller
 Université de Genève
- 83** **Dichte auf dem Prüfstand – Erkenntnisse aus der Covid19-Pandemie für eine gerechte, grüne und produktive Stadt**
 Prof. Dr. Peter, Schwehr; Richard, Zemp
 Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Architektur (IAR), Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur (CCTP)
- 93** **WP-Source – Kombination von Wärmequellen für Gebäude mit hoher Heizlast**
 Carsten Wemhöner, Christoph Meier
 OST - Ostschweizer Fachhochschule, IET - Institut für Energietechnik

22. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»

Ökologisches Potential und Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff in Stadt und Kanton Zürich

Autor/in oder Autor/inn/en

Kontaktperson: Simon Ammann, Weinbergstrasse 15, 8090 Zürich, simon.ammann@bd.zh.ch, <https://www.zh.ch/de/umwelt-tiere/wald.html#-1713556491>, Noëmi Brüggemann, Aarauerstrasse 4, 5600 Lenzburg, noemi.brueggemann@ecoeng.ch, <https://www.ecoeng.ch/de/unternehmung.php>,

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Die Stadt Zürich hat in einer Studie das ökologische Potential der Verwendung von Holz im Bau auf Ebene Schweiz ermittelt. Der Kanton Zürich hat darauf aufbauend mittels einer weiteren Studie das Potential auf Stufe Kanton abgeleitet sowie Massnahmen um Holz als Bau- und Werkstoff zu fördern erarbeiten lassen. Am Statusseminar brenet 2022 werden die Resultate sowie das weitere Vorgehen präsentiert. Dieser Artikel fasst die Präsentation des Kantons Zürich zusammen.

1. Politische Einordnung

Im Rahmen des Massnahmenplans Verminderung der Treibhausgase [1] wurde die Abteilung Wald des Kanton Zürichs beauftragt die Reduktion von Treibhausgasen durch die Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff zu untersuchen. Dafür wurde eine Studie in Auftrag gegeben, die sowohl die Potentiale der Treibhausgasverminderung als auch Massnahmenvorschläge zur Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff aufzeigt. Anhand der Massnahmenvorschläge und der neuen Klimastrategie des Kantons wurden anschliessend Massnahmen definiert, die nach dem noch stattfindenden politischen Entscheidungsprozess umgesetzt werden sollen.

2. Relevanz von Holz zur Verringerung / Speicherung von CO₂

Um die totale Menge an Treibhausgasemissionen zu quantifizieren, die durch den vermehrten Einsatz von Holz eingespart werden kann, wurde die Studie der Stadt Zürich als Grundlage verwendet. In dieser Studie «Kohlenstoffspeicherung im Holzbau: Potenzial des Gebäudeparks der Schweiz» wurde in einem Szenario untersucht, wie gross die Menge an vermiedenen CO₂-Äquivalenten ist, wenn ab 2020 der Anteil an Holzbauten bei den Neu- und Umbauten kontinuierlich erhöht wird bis 2050 alle Neu- und Umbauten aus Holz bestehen [2]. Der Gewichtsanteil an Holz der zukünftigen Holzbauten wurde anhand bestehender Holzhäuser hergeleitet und auf 11% festgelegt, derjenige von Beton auf 66%. Diese Modellannahmen beinhalten, dass die tragende Konstruktion sowie die Fassade jeweils aus Holz sind, das Untergeschoss aber aus Beton. Dies dürften äusserst realistische Annahmen sein.

Bei einer kontinuierlichen Erhöhung der Holzbauten bei Neu- und Umbauten (Holzbauszenario, Abbildung 1) können von 2020 – 2050 schweizweit insgesamt 50 Mio. to CO₂eq eingespart werden. Übertragen auf den Kanton Zürich, ergibt das eine Einsparung von 6.6 Mio. to CO₂eq. Die Einsparung enthält Effekte aufgrund der Speicherung (ca. 5.1 Mio. to CO₂eq) sowie der Substitution (ca. 1.5 Mio. to CO₂eq).

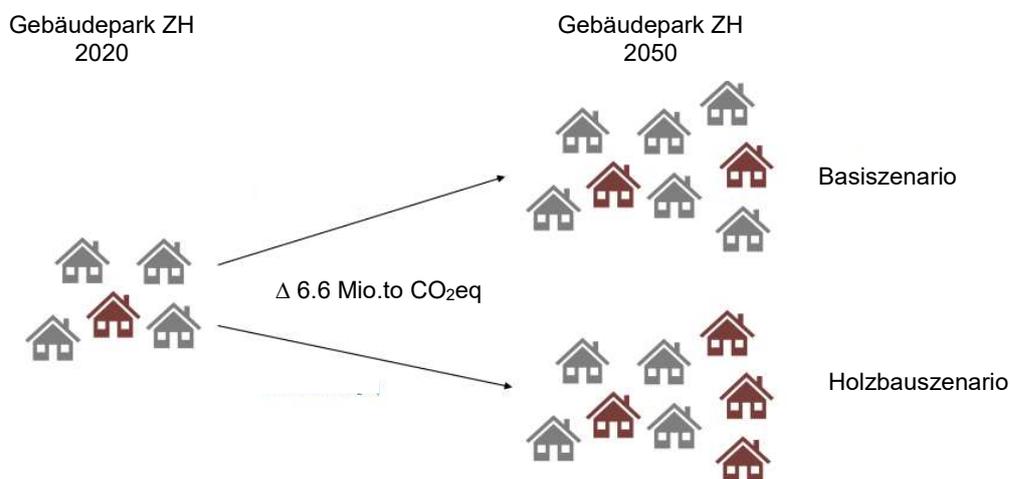


Abbildung 1 Gebäudepark von Zürich im Falle des Basis- und des Holzbauszenarios gemäss [2], Quelle [3], angepasst

Um diese Mengen in Relation zum Absenkpfad der Treibhausgasemissionen des Kantons Zürich setzen zu können, müssen Treibhausgasemissionen innerhalb und ausserhalb des Kantons unterschieden werden. Der Absenkpfad des Kantons Zürich bezieht sich auf Emissionen, die innerhalb des Kantons anfallen. Der Substitutionseffekt von ca. 1.5 Mio to CO₂eq, der durch die vermehrte Verwendung von Holz im Bau erreicht wird, fällt grösstenteils ausserhalb des Kantons Zürich an, da die Emissionen des Materials, das substituiert wird, ausserhalb des Kantons anfallen. Dieser Effekt kann folglich nicht direkt mit dem vom Kanton Zürich verfolgten Absenkpfad verglichen werden. Der Kanton Zürich setzt sich aber zum Ziel auch Treibhausgasemissionen, die ausserhalb der Kantonsgrenzen anfallen im Rahmen seiner Möglichkeiten zu beeinflussen.

Der Speichereffekt von 5.1 Mio. to CO₂eq fällt auf Kantonsgebiet an und leistet einen wichtigen Beitrag zu den Negativemissionen, die notwendig sein werden um unvermeidbare Emissionen zu kompensieren. Da der Anteil an Holzbauten gemäss Holzbauszenario kontinuierlich erhöht wird, fällt dieser Beitrag je länger je mehr ins Gewicht (Abbildung 2).

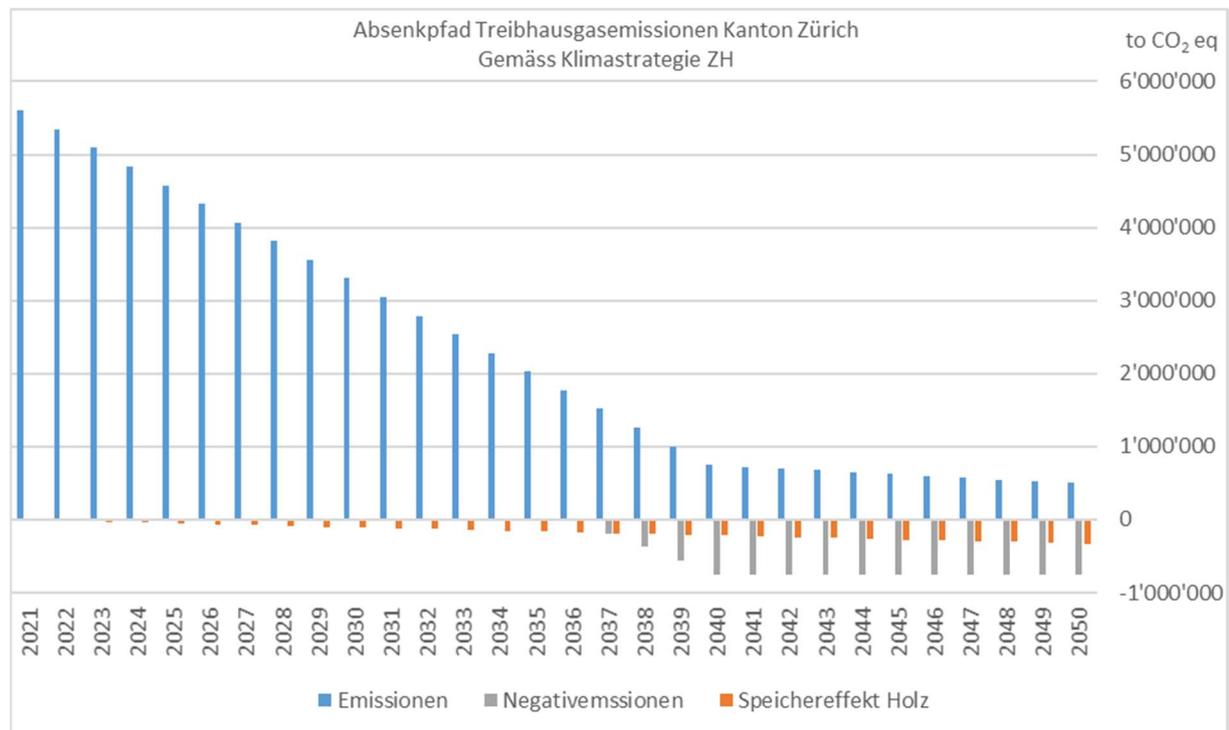


Abbildung 2 Absenkpfad des Kantons Zürich gemäss Klimastrategie mit Beitrag des Speichereffektes durch zunehmenden Anteil Holzbauten gemäss Szenario aus [2], eigene Darstellung.

3. Verfügbarkeit von Holz

Damit der benötigte Rohstoff auch bei grösserer Nachfrage zuverlässig bereitgestellt werden kann, sind die (lokale) Verfügbarkeit des Rohstoffs aber auch die Kapazität der verarbeitenden Industrie zentral. Um den Vorteil der geringen Treibhausgasemissionen zu wahren, sollen die Transportwege möglichst kurzgehalten werden.

Im Kanton Zürich wird der Holzzuwachs bereits ziemlich gut ausgeschöpft. Auf Ebene Schweiz betrachtet gibt es aber noch bedeutendes Potential. Im Schweizer Wald wachsen pro Jahr ca. 10 Mio. m³ Holz nach. Nach Abzug unvermeidbarer Verluste (z.B. durch gesellschaftliche Bedürfnisse, Messvorschriften der Holzhandelsgebräuche) kann man von einem nachhaltig nutzbaren Potential von ca. 8 Mio. m³ pro Jahr ausgehen [4]. Zurzeit werden davon ca. 5 Mio. m³ geerntet. Unter dem beschriebenen Holzbauszenario wird von einem zukünftigen Bedarf an Stammholz von ungefähr 4.3-4.9 Mio. m³ im Hochbau ausgegangen (eigene Berechnungen basierend auf [2] und [5]). Heute werden in der Schweiz ca. 2.4 Mio. m³ Stammholz geerntet und 2 Mio. m³ davon in der Schweiz eingesägt [3], [5]. Für den angegebenen CO₂-Verminderungseffekt würde folglich etwa doppelt so viel Stammholz nachgefragt.

Aus diesen Abschätzungen zeichnen sich zwei Engpässe ab:

- Kann der Schweizer Wald eine genügend grosse Menge an Stammholz bereitstellen (Frage des Sortiments)?
- Kann diese Menge an Stammholz in der Schweiz eingeschnitten werden (Frage der Verarbeitungskapazitäten)?

Die vermehrte Verwendung von Laubholz im Bau wird somit wichtiger. Um einerseits mögliche Rohstoffengpässe zu vermeiden und andererseits Kohlenstoff möglichst lange zu speichern, spielt die Kreislaufwirtschaft eine zentrale Rolle.

4. Vorgeschlagene Massnahmen

Damit Holz als Bau- und Werkstoff auch bei erhöhter Verwendung in ausreichendem Masse zur Verfügung steht, werden Massnahmen entlang der gesamten Holzverarbeitungskette notwendig sein. Basierend auf der Studie «Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff im Kanton Zürich» [3], schlagen wir deshalb das untenstehende Prozessmodell sowie folgende Massnahmen vor.

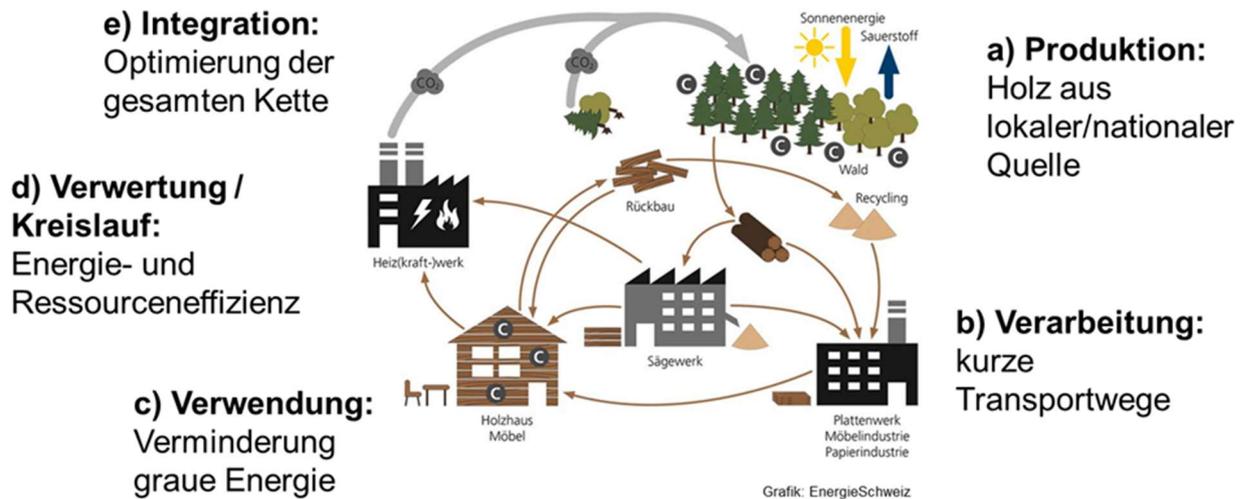


Abbildung 3 Prozessmodell der Holzverarbeitungskette als Grundlage für die vorgeschlagenen Massnahmen. Grafik von EnergieSchweiz, angepasst.

a) Produktion

Ziel: *Unter Berücksichtigung der standörtlichen Bedingungen wird das nachhaltig nutzbare Holznutzungspotential des Waldes ausgeschöpft*

- Privatwaldbetreuung
- Strukturen und Rentabilität im Privatwald optimieren

b) Verarbeitung

Ziel: *Die regionale Verarbeitung wird gestärkt und auf die langlebige und regionale Verwendung des verarbeiteten Holzes ausgelegt. Die (gesteigerte) Nachfrage soll möglichst gut gedeckt werden.*

- Raumplanerische Rahmenbedingungen verbessern
- Standortserweiterung bestehender Anlagen begleiten/ begünstigen
- Optimierungen / Innovation bei Lagerhaltung

c) Verwendung

Ziel: *Wo immer sinnvoll und möglich soll im Bau Holz eingesetzt werden. Holz – und v.a. regional genutztes Holz – soll gegenüber anderen Baumaterialien nicht mehr benachteiligt sein.*

- Auf fortlaufende Anpassung und Bekanntmachung von Normen und Richtlinien hinwirken (z.B. KBOB, Standard Nachhaltigkeit)
- Ausweisen der CO₂-Senkenleistung und der grauen Energie bei Neu- und Umbauten
- Bauherren und Investoren für nachhaltige Baustandards mit Holz gewinnen
- Kommunikation der Möglichkeiten zur Förderung des Holzbaus im öffentlichen Beschaffungswesen
- Förderung innovativer Projekte im Holzbau

d) Verwertung / Kreislauf

Ziel: *Die Verwertungsmöglichkeiten von Rest- und Altholz werden verbessert. End-of-Life wird bereits in der Planung berücksichtigt.*

- Know-how entwickeln, Innovation fördern
- Förderung und rechtliche Verankerung der Restholz- / Altholzverwertung
- Förderung / Unterstützung innovativer Projekte

e) Integration

Ziel: *Die Prozesskette a-d ist integral zu optimieren.*

- Prüfung und Förderung regionaler Wirtschaftskreisläufe
- Kommunikation und Koordination der Akteure
- Aufbau Koordinationsstelle beim Kanton / BD

5. (Persönliches) Fazit

Bis 2040 «Netto-Null» zu erreichen ist ein sportliches Ziel und Massnahme mit relevantem Effekt, wie das Bauen mit Holz, spielen eine wichtige Rolle. Neben dem Substitutionseffekt, der zur Verminderung von Treibhausgasen beiträgt, trägt der Speichereffekt zu den benötigten Negativemissionen bei. Im Gegensatz zu vielen Negativemissionstechnologien, die noch nicht grossflächig eingesetzt werden können, kann ein Gebäudepark aus Holz bereits jetzt als Senke dienen. Indem auch die Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft weiterentwickelt und umgesetzt werden, kann der Senkeneffekt vergrössert werden und einer möglichen Ressourcenknappheit begegnet werden.

Auch in der Holzbranche gibt es noch Optimierungspotential im Bereich der CO₂ Vermeidung wie z.B. die Energiequellen für Verarbeitung und Transport sowie Reduktion der Klebstoffe in Produkten. Eine weitere Herausforderung ist die Anzahl an verschiedenen Akteuren und Verbänden entlang der gesamten Holzketten. Die vorliegende Studie leistet einen Beitrag zur Erlangung eines Überblicks zum Beitrag des Holzes als Bau- und Werkstoff zur Reduktion von Treibhausgasemissionen.

Anhang

Literatur/Referenzen

- [1] Hutter, N., Holthausen, N., Delb, V. 2018: Klimawandel im Kanton Zürich Massnahmenplan Verminderung der Treibhausgase. Baudirektion Kanton Zürich.
- [2] Savi, D. und Klingler, M. 2022: Kohlenstoffspeicherung im Holzbau: Potenzial des Gebäudeparks der Schweiz. Büro für Umweltchemie GmbH (BfU) im Auftrag des Amtes für Hochbauten, Stadt Zürich.
- [3] Odermatt, B., Delb, V., Buser, B., Gertel, E., Müller, D. 2022: Förderung von Holz als Bau- und Werkstoff im Kanton Zürich. econcept AG im Auftrag des Amtes für Natur und Landschaft, Baudirektion Kanton Zürich.
- [4] Hofer P. et al. 2011: Holznutzungspotenziale im Schweizer Wald. Auswertung von Nutzungsszenarien und Waldwachstumsentwicklung. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Wissen Nr. 1116: 80 S.
- [5] BAFU (Hrsg.) 2021: Jahrbuch Wald und Holz 2021. Bundesamt für Umwelt, Bern. Umwelt-Zustand Nr. 2125: 103 S.

Schwerkraftlüftung – Low-tech Lüftung für innenliegende Bäder in einem Mehrfamilienhaus

Monika Hall, Vincent Gerber, Achim Geissler
FHNW, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau, Hofackerstrasse 30, 4132 Muttenz,
www.fhnw.ch/habg/ineb

Kontaktperson: Monika Hall, monika.hall@fhnw.ch

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Über ein detailliertes Monitoring wird die Wirksamkeit der Schwerkraftlüftung in acht innenliegenden Bädern in einem Mehrfamilien Neubau bestimmt. Jeweils vier Bäder liegen übereinander. Jedes Bad verfügt über ein eigenes Zu- und Abluftrohr. Frischluft wird auf Kellerhöhe gefasst und die Fortluft auf Firsthöhe abgegeben. Weil bei der Schwerkraftlüftung der Luftaustausch auf Grund von Druckunterschieden am Gebäude erfolgt, ist er nicht bzw. kaum steuerbar und saisonal unterschiedlich. Daher erfolgt das Monitoring über ein komplettes Jahr, um das Verhalten in allen Jahreszeiten zu erfassen.

Die Messungen zwischen März und Juli 2022 zeigen, dass sich die rel. Luftfeuchtigkeit der Bäder im Mittel zwischen ca. 45-65 % bewegt. Fallbetrachtungen zeigen, dass kurzzeitige hohe Feuchtebelastungen (bis ~98 % bei einem Duschvorgang) nach ca. 30 min bei offener Badezimmertüre und mindestens einem geöffneten Fenster und entsprechender, geöffneter Zimmertüre wieder auf ca. 60 % reduziert sind (manuelle Fensterlüftung, Juni). Bei einer geschlossenen Badezimmertüre dauert es infolge der Schwerkraftlüftung ca. 2.5 Stunden, um nach zwei Duschvorgängen auf 60 % rel. Luftfeuchtigkeit zu sinken (März). Letztgenannter Fall zeigt, dass durch die Schwerkraftlüftung eine ausreichende Feuchteabfuhr erfolgt.

Detailed monitoring is used to determine the effectiveness of the stack ventilation in eight interior bathrooms in a new multi-family building. Four bathrooms are located on top of each other. Each bathroom has its own supply and exhaust duct. Fresh air is collected at basement level and the exhaust air is discharged at ridge level. Stack ventilation is based on natural pressure differences across the building envelope. Therefore, the possibility of control is limited and ventilation rates vary seasonally. In order to record the behavior in all seasons, the monitoring takes place over a complete year.

Measurement results from March through July 2022 show that the relative humidity of the bathrooms ranges on average between approx. 45-65 %. It can be seen that short-term high humidity loads (up to ~98 %, showering) are reduced to approx. 60 % after approx. 30 min with the bathroom room door open and at least one window and the corresponding room door open (manual window ventilation, June). With a closed bathroom door, stack ventilation needs approx. 2.5 hours to reduce the rel. humidity to 60 % after two showers (March). The latter example shows that stack ventilation leads to a sufficient moisture extraction.

1. Ausgangslage

1.1 Hintergrund

Auf Grund der hohen Feuchte- bzw. Geruchsbelastung von Bädern und WCs muss dort auf den Luftaustausch ein besonderes Augenmerk gelegt werden. Ist keine mechanische Lüftungsanlage vorhanden, ist in innenliegenden Bädern und WCs anderweitig der Luftaustausch sicherzustellen. Häufig werden dezentrale Abluftventilatoren eingesetzt, die die Luft aktiv aus dem Bad/WC abziehen. Eine andere Möglichkeit ist die Schwerkraftlüftung. Die Frischluft wird i.d.R. auf Kellerhöhe gefasst und durch ein Rohr in das innenliegende Bad/WC geführt. Im Raum befindet sich der Zuluftreinlass in Fusshöhe. Die Abluft entweicht deckennah und die Fortluft wird über das Dach abgeführt. Jedes Bad verfügt über ein eigenes Zu- und Abluftrrohr (Abbildung 1 links).



Abbildung 1 Links: Prinzipskizze der Schwerkraftlüftung für innenliegende Bäder/WC. Mitte: Mehrfamilienhaus mit Monitoring der Schwerkraftlüftung, Neubau Bezug 2022 (© INEB). Rechts: Lüftungsrohre im Erdgeschoss für die Schwerkraftlüftung in den innenliegenden Bädern (© Ferrara Architekten).

Weil bei der Schwerkraftlüftung der Luftaustausch auf Grund von Druckunterschieden am Gebäude erfolgt, ist er nicht bzw. nur bedingt steuerbar und saisonal unterschiedlich. Die Schwerkraftlüftung ist eine low-tech Lüftungsvariante, die keine oder nur wenige technische Komponenten benötigt (z.B. steuerbares Zulufttellerventil).

Schwerkraftlüftungen wurden in der Schweiz in den 50er und 60er Jahren immer wieder eingebaut. D.h., es gibt zahlreiche bestehende Gebäude, bei denen im Fall der energetischen Sanierung das Thema relevant wird und überlegt werden muss, ob dieser Lüftungstyp auch nach der Sanierung beibehalten wird. Auf Grund eines gewissen low-tech Trends und beruhend auf guten Erfahrungen werden auch neu errichtete Gebäude mit Schwerkraftlüftungen ausgerüstet. Die Wirksamkeit und Funktionsfähigkeit der Schwerkraftlüftung für innenliegende Bäder kann daher an einem neu errichteten Mehrfamilienhaus in Basel (Abbildung 1 mitte + rechts) untersucht werden.

1.2 Ziel

Über ein detailliertes Monitoring wird die Wirksamkeit der Schwerkraftlüftung auf den Luftaustausch von innenliegenden Bädern untersucht. Das Monitoring erfolgt über ein komplettes Jahr, um das Lüftungsverhalten in allen Jahreszeiten zu erfassen.

2. Vorgehen

2.3 Monitoring

Der untersuchte vierstöckige Neubau hat 16 Wohnungen mit je vier Wohnungen pro Etage. Die generelle Wohnungslüftung erfolgt über die manuelle Fensterlüftung, nur die innenliegenden Bäder und WCs werden über die Schwerkraftlüftung belüftet.

Jede Wohnung verfügt entweder über ein innenliegendes Bad oder WC. Jedes innenliegende Bad/WC hat einen eigenen Rohrstrang für die Schwerkraftlüftung. Es ist die sogenannte «Kölner Lüftung» umgesetzt (www.baunetzwissen.de). Bei dem untersuchten Gebäude wird die Grösse der Zulüftöffnung über ein Tellerventil gesteuert. Dieses ist mit dem Lichtschalter gekoppelt. Das Zulüftventil öffnet sich langsam, wenn das Licht eingeschaltet wird und schliesst langsam, wenn das Licht wieder ausgeschaltet wird. In der Position «zu» ist in diesem Gebäude das Zulüftventil so eingestellt, dass es nicht komplett geschlossen ist. Das Abluftventil ist immer zu 100 % offen.

Untersucht werden acht innenliegende Bäder, von denen jeweils vier Ostwohnungen bzw. vier Westwohnungen übereinander liegen. Gemessen werden in allen Zu- und Abluftrohren (je acht) und im Sammelschacht der gemeinsamen Frischluftfassung die Strömungsgeschwindigkeit v , die Lufttemperatur θ und die rel. Luftfeuchtigkeit. Die Strömungsrichtung wird erfasst, so dass überprüft werden kann, in welche Richtung die Luft strömt (Abbildung 2). Die Lufttemperatur und rel. Luftfeuchtigkeit in den einzelnen Bädern werden mit Datenloggern protokolliert. Die Logger befinden sich in Kopfhöhe neben der Badezimmertüre an der Wand. Zusätzlich sind alle Türen und Fenster mit Öffnungskontakten versehen, die ebenfalls via Datenloggern protokolliert werden. Hiernit kann der Einfluss der Tür- und Fensteröffnung untersucht werden.

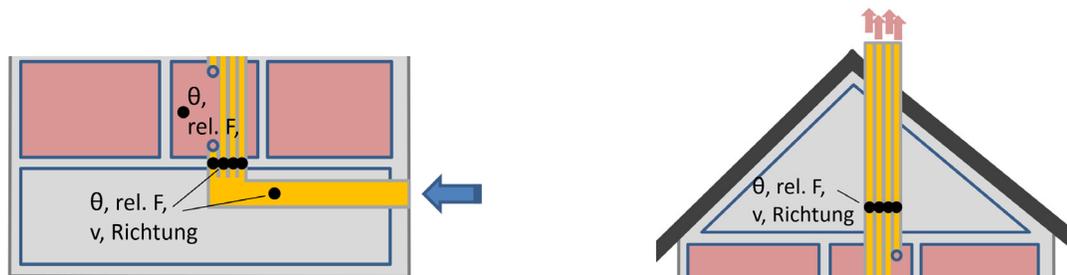


Abbildung 2 Links: Messpunkte Bad und Zuluft im Keller, rechts: Messpunkte Abluft im Dachgeschoss.

Die Messdaten aus den Rohren und dem Frischluftsammschacht werden über eine SPS automatisch erfasst. Die Datenlogger werden ca. alle zwei Monate ausgelesen. Alle Messwerte werden im zwei Sekundentakt geloggt. Die Tür- und Fensterkontakte geben bei «offen» keine Auskunft darüber, wie weit die Türe bzw. das Fenster geöffnet ist. Die Öffnungsweite liegt zwischen angelehnt und 100 % offen.

Für das Aussenklima werden die Wetterdaten der Messstation Basel-Binningen von Meteoschweiz berücksichtigt (s. Anhang).

Die Resultate beziehen sich auf den Messzeitraum vom 08.03. - 12.07.2022.

2.4 Datenbearbeitung

Absolute Luftfeuchte

Die absolute Luftfeuchtigkeit berechnet sich aus der gemessenen Lufttemperatur und rel. Luftfeuchtigkeit über die ideale Gasgleichung (Gl. 1):

$$v_D = \frac{m_D}{V} = \frac{p_D}{R_D \cdot T} \quad \text{kg/m}^3 \quad \text{Gl. 1}$$

mit

v_D	absolute Luftfeuchtigkeit (volumenbezogen), kg/m ³
m_D	Masse Dampf, kg
V	Volumen (Luft), m ³
p_D	Wasserdampfpartialdruck, Pa
R_D	spez. Gaskonstante Wasserdampf, 461.5 J/(kg K)
T	absolute Temperatur, K

Der Wasserdampfpartialdruck wird über den Sättigungsdampfdruck und die rel. Luftfeuchtigkeit berechnet (Gl. 2):

$$p_D = p_s \cdot \varphi \quad \text{Pa} \quad \text{Gl. 2}$$

mit

p_s	Sättigungsdampfdruck, Pa
φ	rel. Luftfeuchtigkeit, -

Der Sättigungsdampfdruck ist temperaturabhängig und berechnet sich gemäss Gl. 3 ([1], für Lufttemperaturen > 0°C):

$$p_s = 610.5 \cdot \exp\left(\frac{17.269 \cdot \theta}{265.5 + \theta}\right) \quad \text{Pa} \quad \text{Gl. 3}$$

mit

θ	Lufttemperatur, °C
----------	--------------------

Unsicherheit der absoluten Luftfeuchtigkeit

Die Standardabweichungen der Monatsmittelwerte für θ , φ werden im weiteren als Unsicherheit der Mittelwerte betrachtet.

Da sich die abs. Luftfeuchtigkeit v_D aus zwei unabhängigen Grössen zusammensetzt, berechnet sich die Unsicherheit von v_D auf Grundlage der Fehlerfortpflanzung vereinfacht wie folgt (Gl. 4, [2]):

$$\delta v_D = v_D \cdot \sqrt{\left(\frac{\delta \varphi}{\varphi}\right)^2 + \left(\frac{\delta \theta}{\theta}\right)^2} \quad \text{kg/m}^3 \quad \text{Gl. 4}$$

mit

δv_D	Unsicherheit abs. Feuchtigkeit, kg/m ³
$\delta \varphi$	Unsicherheit der rel. Luftfeuchtigkeit, -
$\delta \theta$	Unsicherheit der Lufttemperatur, °C

3. Resultate

3.1 Übersicht

Die Schwerkraftlüftung wird eingesetzt, um die innenliegenden Bäder zu entfeuchten. Aus diesem Grund interessiert die rel. Luftfeuchtigkeit der einzelnen Bäder. Als Übersicht sind diese als monatliche Mittelwerte in Abbildung 3 oben dargestellt. Die mittlere rel. Luftfeuchtigkeit der meisten Bäder liegt in dem Bereich von 45-65 %. Nur die Bäder 1 OG-O und EG-W weisen mittlere Werte über 65 % in den Monaten Mai bis Juli auf. Wobei das unbewohnte 1 OG-O mit über 70 % rel. F. heraussticht. Die Monatsmittelwerte der Raumlufttemperaturen der Bäder steigen im Mittel von ca. 20 °C auf rund 25 °C von März bis Juli an. Die Temperaturen der einzelnen Bäder weisen eine Differenz von ca. 2-6 K auf (Abbildung 3 mitte). In den Monaten Mai bis Juli liegen die Temperaturen näher zusammen als von März bis April. In Abbildung 3 unten sind die monatlichen Mittelwerte der absoluten Feuchte dargestellt. Die mittlere absolute Luftfeuchte der Umgebungsluft ist immer tiefer als in den Bädern, so dass die Bäder i.d.R. über das Lüften entfeuchtet werden können. Die Standardabweichungen der rel. Feuchtigkeit zeigt an, dass z.T. in den Bädern die rel. Luftfeuchtigkeit sehr stark schwankt. Die Standardabweichungen der Lufttemperaturen in den Bädern sind sehr gering. Dies weist auf recht konstante Temperaturen hin. Die grössten Schwankungen weist die Umgebungsluft auf.

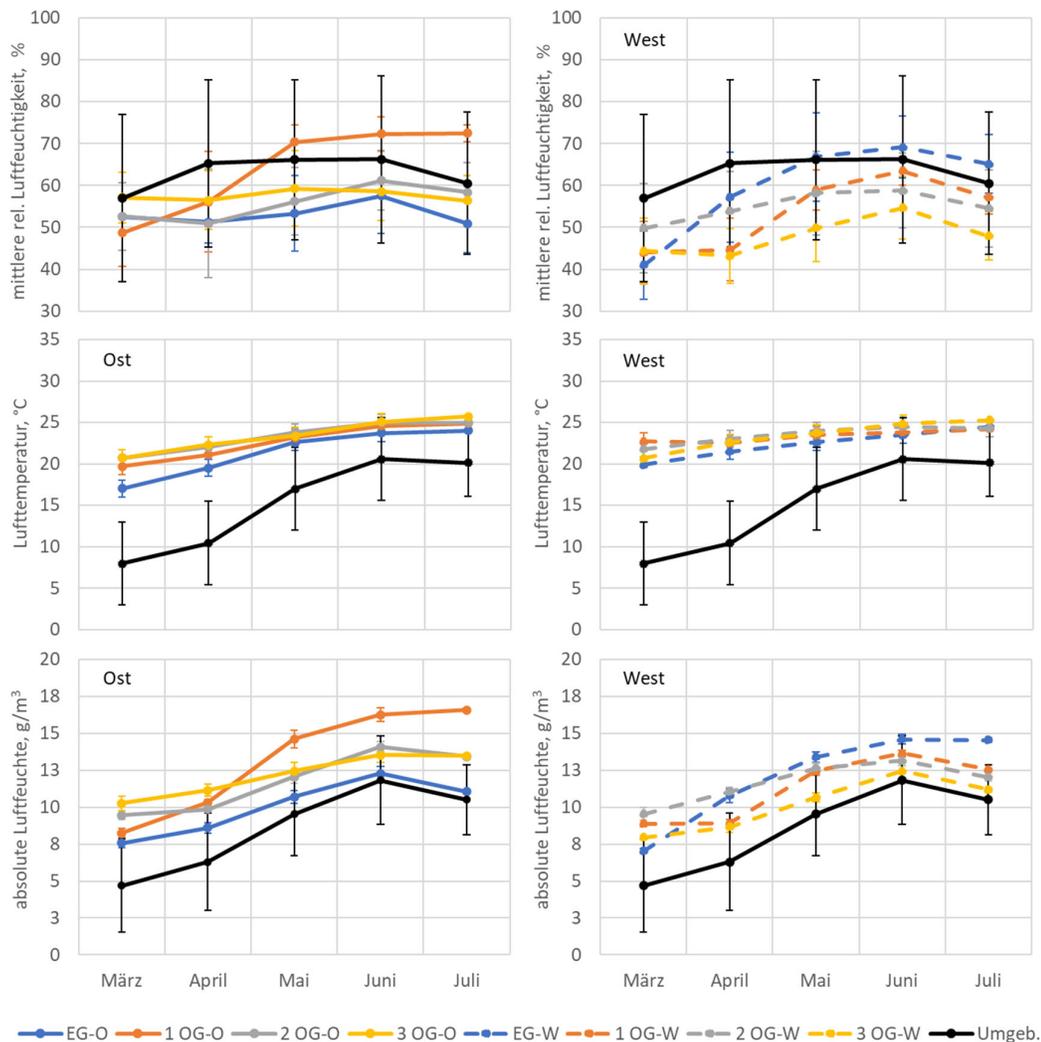


Abbildung 3 Monatsliche Mittelwerte und einfache Standardabweichung der rel. Luftfeuchtigkeit (oben), Lufttemperaturen (mitte) und absoluten Feuchte (unten, berechnet aus den Monatswerten) in den Ost- und Westbädern und der Aussenluft.

3.2 Dunstabzug und Duschvorgang

Eine generelle Übersicht des Zu- und Abluftverhaltens eines innenliegenden Bads im dritten Obergeschoss zeigt Abbildung 4. Die Geschwindigkeit im Zuluftrohr beträgt ca. 0.2 m/s und im Abluftrohr ca. 0.6 m/s (oben). 0.6 m/s entsprechen einem Luftwechsel von ca. 1 h⁻¹. Da Fenster und Türen geschlossen sind, muss die Differenz des Volumen- bzw. Massenstroms zwischen Zu- und Abluft aus anderen Verbindungen im Bad kommen. Bei einem Blower-Door Test konnte festgestellt werden, dass die Revisionsklappe zum Installationsschacht im Bad undicht ist. Zusätzlich besteht über den Installationsschacht eine Verbindung zum Sicherungskasten zum Flur. Es wird daher angenommen, dass sich die Abluft der Schwerkraftlüftung aus einem Teil, der durch das Zuluftrohr der Schwerkraftlüftung kommt und zu einem Teil, der aus dem Installationsschacht stammt, zusammensetzt.

Der Betrieb der Dunstabzugshaube (ca. 19:10-19:25) und ein Duschvorgang (ca. 20:20 Uhr) sind deutlich an den Messwerten zu erkennen. Während die Dunstabzugshaube läuft, treten erhöhte Strömungsgeschwindigkeiten bis zu 1.6 m/s im Zu- und Abluftrohr auf. Es ist zu erkennen, dass sich die Strömungsrichtung der Abluft umdreht (negative Werte bei der Luftgeschwindigkeit (rot), Abbildung 4 oben), so dass ein zusätzlicher Zuluftvolumenstrom entsteht. Eine Strömungsgeschwindigkeit von 1.6 m/s in einem Rohr entspricht einem Luftwechsel von 2.7 h⁻¹, d.h. insgesamt liegt ein gut fünffacher Luftwechsel im Bad vor, solange der Dunstabzug läuft. Gleichzeitig sinken die Temperaturen der einströmenden Luft (mitte) und die rel. Luftfeuchtigkeit in der Zuluft steigt entsprechend an (unten). Bei der Abluft kommt es kurzfristig zu einem Abfall der rel. Luftfeuchtigkeit (trockene Frischluft) bevor sie ansteigt, nachdem sich das Rohr entsprechend abgekühlt hat (kalte Frischluft). Insgesamt sinkt die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad leicht ab. D.h., wenn der Dunstabzug (bei geschlossenen Fenstern) läuft, strömt die Luft durch das Bad nach. Hinweis: die Küchentüre ist eine Glasschiebetüre, die nicht dicht mit dem Rahmen abschliesst und zusätzlich ein kreisrundes Loch (Ø ca. 4 cm) als Türgriff aufweist.

Während des Duschvorgangs steigt die rel. Luftfeuchtigkeit im Abluftrohr auf ca. 93 %, sinkt danach aber schnell auf rund 62 % ab.

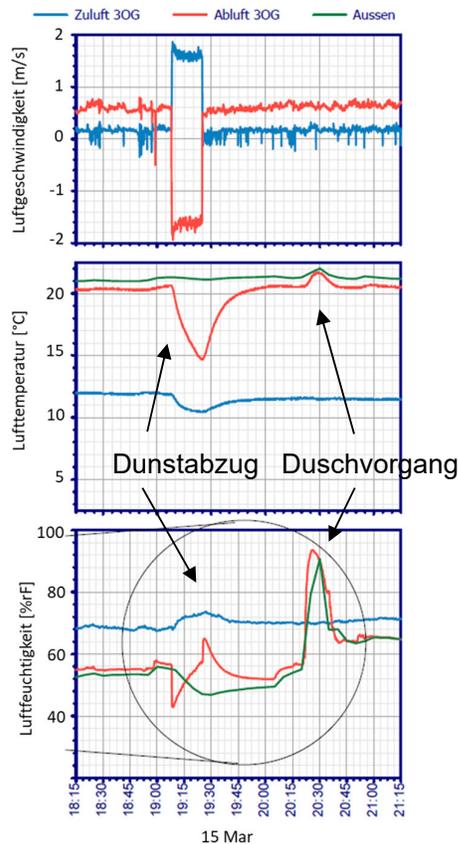


Abbildung 4 Generelles Verhalten in Zu- und Abluftrohr, wenn der Dunstabzug läuft und ein Duschvorgang stattfindet. Detailansicht 15. März 2022, Abendstunden.

3.3 Temperaturdifferenz Bad/Umgebung

Bei der Schwerkraftlüftung spielen Druckdifferenzen am Gebäude und damit auch Temperaturdifferenzen zwischen Bad und Umgebung eine grosse Rolle. Ist die Temperatur der Umgebung um ca. 1.5 K höher als die Badtemperatur, wird die Luftgeschwindigkeit in dem Abluftrohr nahezu null und es wird kein Abluftvolumenstrom induziert (Abbildung 5, 15.06./16.06. ca. 10:00 bis 00:00 Uhr, Abluft «aus»). Da nichts strömt, stellen sich nahezu Umgebungsluftbedingungen im Abluftrohr ein. Erst wenn die Aussentemperatur ca. 1.5 K unter die Badtemperatur sinkt, ergibt sich eine definierte Luftgeschwindigkeit und Strömungsrichtung im Abluftrohr. Eine Luftgeschwindigkeit von 0.5 m/s im Abluftrohr entspricht einem Luftwechsel im Bad von 0.8 h^{-1} (Abbildung 5, 15.06./16.06. ca. 00:00 bis 10:00 Uhr, Abluft «an»). Am 15.06. und 16.06. wird das Bad nur in der ersten Tageshälfte belüftet. Die rel. Luftfeuchtigkeit erreicht im Bad am 16.06. um ca. 10 Uhr mit rund 72 % das Maximum.

Am 14.06. ist in der zweiten Tageshälfte die Umgebungstemperatur im Maximum um ca. 5 K wärmer als die Temperatur im Bad. Dies hat zur Folge, dass die Geschwindigkeit und die Richtung des Luftstroms im Abluftrohr stark hin und her schwanken.

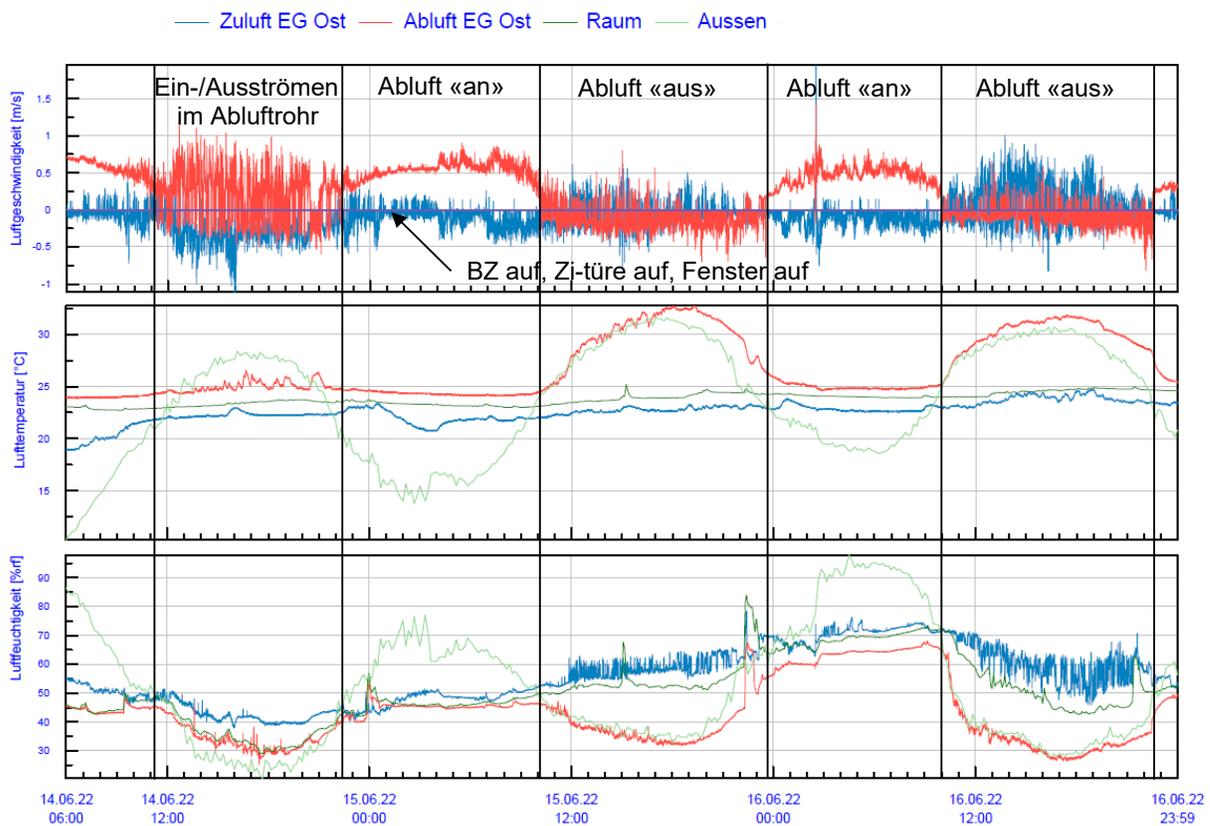


Abbildung 5 *Generelles Lüftungsverhalten in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz zwischen Bad und Umgebung. Während der gesamten Zeit ist die Badezimmertüre (BZ) geöffnet und mindestens in einem Zimmer sind das Fenster und die entsprechende Zimmertüre auf (Alles). Damit weist das Bad eine Verbindung zur Umgebungsluft auf.*

3.4 Duschvorgang mit anschliessend geschlossener Badezimmertüre

Am 28.03.22 sind ab 21:30 Uhr zwei aufeinanderfolgende Duschvorgänge erkennbar. Bei jedem Duschvorgang steigt die rel. Luftfeuchtigkeit auf ca. 96 % im Bad an (Abbildung 6 unten, grüne Linie). Vor dem ersten Duschvorgang ist die Badezimmertüre ab ca. 18:45 Uhr geöffnet, sowie mindestens in einem Raum ein Fenster und die entsprechende Zimmertüre (Abbildung 6 oben, grüne Linie). Die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad schwankt zwischen 40-65 % (Abbildung 6 unten, rote/grüne Linie). Während des ersten Duschvorgangs wird entweder die Zimmertüre oder das Fenster bzw. beides geschlossen. Die Badezimmertüre bleibt geöffnet und die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad sinkt schnell auf rund 68 % ab. Es findet eine Luftaustausch mit der restlichen Wohnung statt.

Die Badezimmertüre wird zum zweiten Duschvorgang geschlossen und steht anschliessend ca. 15 min offen, bevor sie wieder geschlossen wird (Abbildung 6 oben, orange Linie). Während die Türe geöffnet ist, sinkt die rel. Luftfeuchtigkeit. Von ca. 22:30 bis 02:50 Uhr ist die Badezimmertüre, bis auf einen kurzen Moment, geschlossen.

Gemäss Logger hat sich die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad nach rund 2.5 Stunden auf ca. 62 % reduziert, während der Sensor in der Abluft noch 84 % rel. Luftfeuchtigkeit anzeigt. Nach rund vier Stunden wird die Badezimmertüre wieder geöffnet und beide Sensoren zeigen dann recht konstant ca. 66 % rel. Luftfeuchtigkeit an. Es ist unklar, warum die rel. Luftfeuchtigkeit der Abluft und des Loggers im Bad im genannten Intervall eine solch grosse Differenz aufweisen, da sie i.d.R. immer sehr ähnliche Werte anzeigen. Die Strömungsgeschwindigkeit zwischen rund 0.55-0.75 m/s im Abluftrohr entspricht einem Luftwechsel im Bad von ca. 0.9-1.3 h⁻¹.

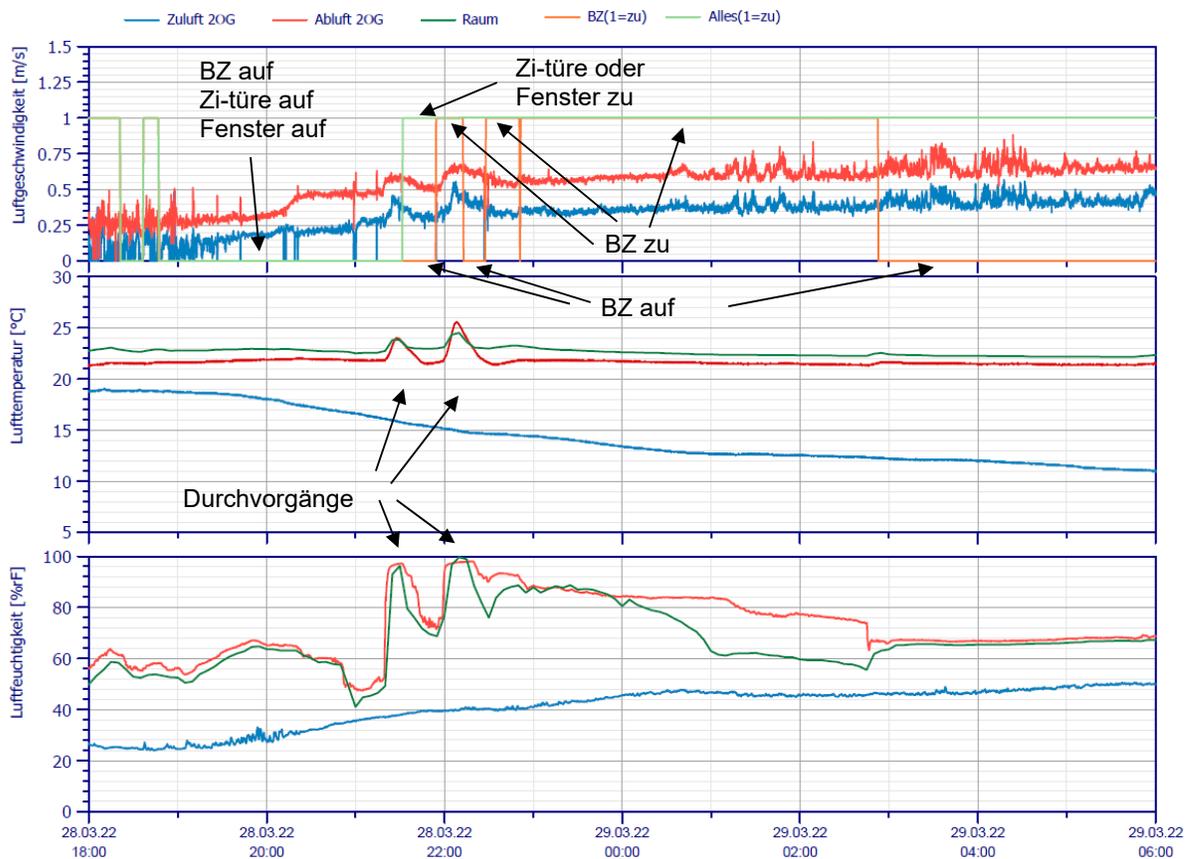


Abbildung 6 Duschvorgänge und Badezimmertüre geschlossen (BZ: Badezimmertür, Alles: Zimmertüren und Fenster).

3.5 Duschvorgang mit anschliessend geöffneter Badezimmertüre

In folgendem Beispiel ist die Badezimmertüre nur während des Duschvorgangs geschlossen, ansonsten immer geöffnet. Bis 10:15 Uhr ist zusätzlich mindestens ein Fenster sowie die zugehörige Zimmertüre geöffnet. Ab 10:15 Uhr wird entweder das Fenster oder die Zimmertüre geschlossen, so dass das Bad nicht mehr mit der Umgebung in Verbindung steht.

Die rel. Luftfeuchtigkeit steigt während des Duschvorgangs schnell auf ca. 96 % an, sinkt aber innerhalb 30 min auf 56 % ab. Im Vergleich zum Fall mit geschlossenen Badezimmertüre in Kapitel 3.4 sinkt hier die rel. Luftfeuchtigkeit im Bad deutlich schneller.

Bis 10:15 Uhr weist das Bad im Mittel einen Luftwechsel von ca. 0.8 h^{-1} , bei einer mittlere Luftgeschwindigkeit im Abluftrohr von ca. 0.5 m/s , auf. Anschliessend reduziert sich der mittlere Luftwechsel auf ca. 0.3 h^{-1} , bei einer mittlere Luftgeschwindigkeit von ca. 0.2 m/s im Abluftrohr.

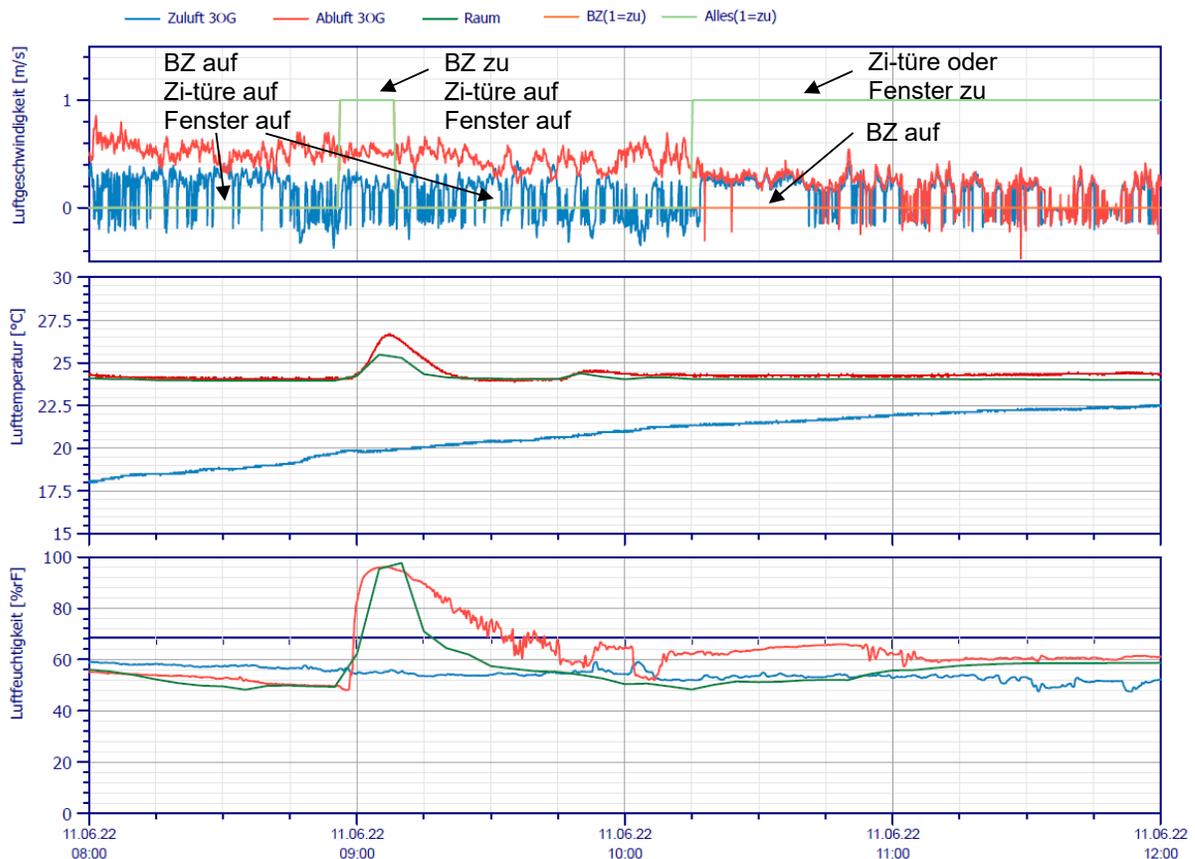


Abbildung 7 Duschvorgang und Badezimmertüre geöffnet (BZ Badezimmertür, Alles Zimmertüren und Fenster).

4. Diskussion

Die Resultate zeigen deutlich, dass verschiedene Parameter einen Einfluss auf die Lüftungseffektivität der Schwerkraftlüftung haben:

- Temperaturdifferenz Bad/Umgebung
- Badezimmertüre geschlossen bzw. geöffnet mit/ohne Anschluss an Umgebungsluft (Fenster auf)
- Dunstabzug

Es zeigt sich, dass die Strömungsgeschwindigkeit im Abluftrohr fast immer höher ist als im Zuluftrohr. Dies führt zu höheren Volumen- bzw. Massenströme im Abluftrohr als im Zuluftrohr. Damit

setzt sich die Abluft neben der Luft aus dem definierten Zuluftrrohr auch aus der Luft aus dem undichten Installationsschacht (Badezimmertüre zu) und der restlichen Wohnung ohne/mit geöffnetem Fenster (Badezimmertüre offen) zusammen.

Wie erwartet erfolgt die Reduktion der rel. Luftfeuchtigkeit im Bad von ca. 98 % auf ca. 60 % nach einem Durchvorgang mit einer geöffneten Badezimmertüre und mindestens einem geöffneten Fenster und entsprechender, geöffneter Zimmertüre deutlich schneller als bei geschlossener Badezimmertüre (30 min/2.5 h). Während im ersten Fall das Bad quasi über eine manuelle Fensterlüftung belüftet wird, ist im zweiten Fall die Schwerkraftlüftung wirksam. Mit einer Reduktionsdauer von 2.5 Stunden bei einem Luftwechsel von ca. 1.0 h^{-1} ist die Effektivität der Schwerkraftlüftung als sehr gut für die dargestellte Märzsituation zu erachten.

Grundsätzlich zeigt sich, dass die mittlere monatliche rel. Luftfeuchtigkeit in fast allen Bädern unter 65 % liegt. Die Luftgeschwindigkeit in den Abluftröhren ist i.d.R. $< 1 \text{ m/s}$ und beträgt oft um 0.5 m/s ($10.3 \text{ m}^3/\text{h}$), was einem Luftwechsel im Bad von 0.8 h^{-1} entspricht.

5. Ausblick

Der Beitrag präsentiert die ersten Auswertungen für die Monate März bis Juli 2022. Das Monitoring wird über den Winter 22/23 fortgesetzt und anschliessend eine umfassende Gesamtauswertung erstellt.

6. Literatur

- [1] SIA 180, "Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden." 2014.
- [2] J. R. Taylor, *An Introduction to Error Analysis*, 2nd ed. University Science Books, 1997.

Danksagung

Das Mehrfamilienhaus wird von der Baugenossenschaft des Bundespersonals Basel zur Verfügung gestellt. Die vorgestellten Zwischenergebnisse wurden im Rahmen des Projekts "Schwerkraftlüftung – Monitoring Mehrfamilienhaus Eidgenossenweg" erarbeitet, welches vom Hochbauamt Zürich und dem Bundesamt für Energie SI/502281-01 gefördert wird.

Anhang Wetterdaten

Tabelle 1 Zusammenfassung Wetterdaten der Klimastation Basel-Binningen, 01.03.-12.07.2022 (10-min Werte)

	Diffus W/m^2	Glob, hor W/m^2	Temp $^{\circ}\text{C}$	rel. F. %	Windgeschw. m/s	Windricht. $^{\circ}$
Mittelwert	86	228	14.5	63	6	192
stabw	107	296	7.3	20	4	101
Median	47	54	14.8	64	5	208
min	0	0	-4.8	17	0	0
max	619	1'128	35.5	99	53	360

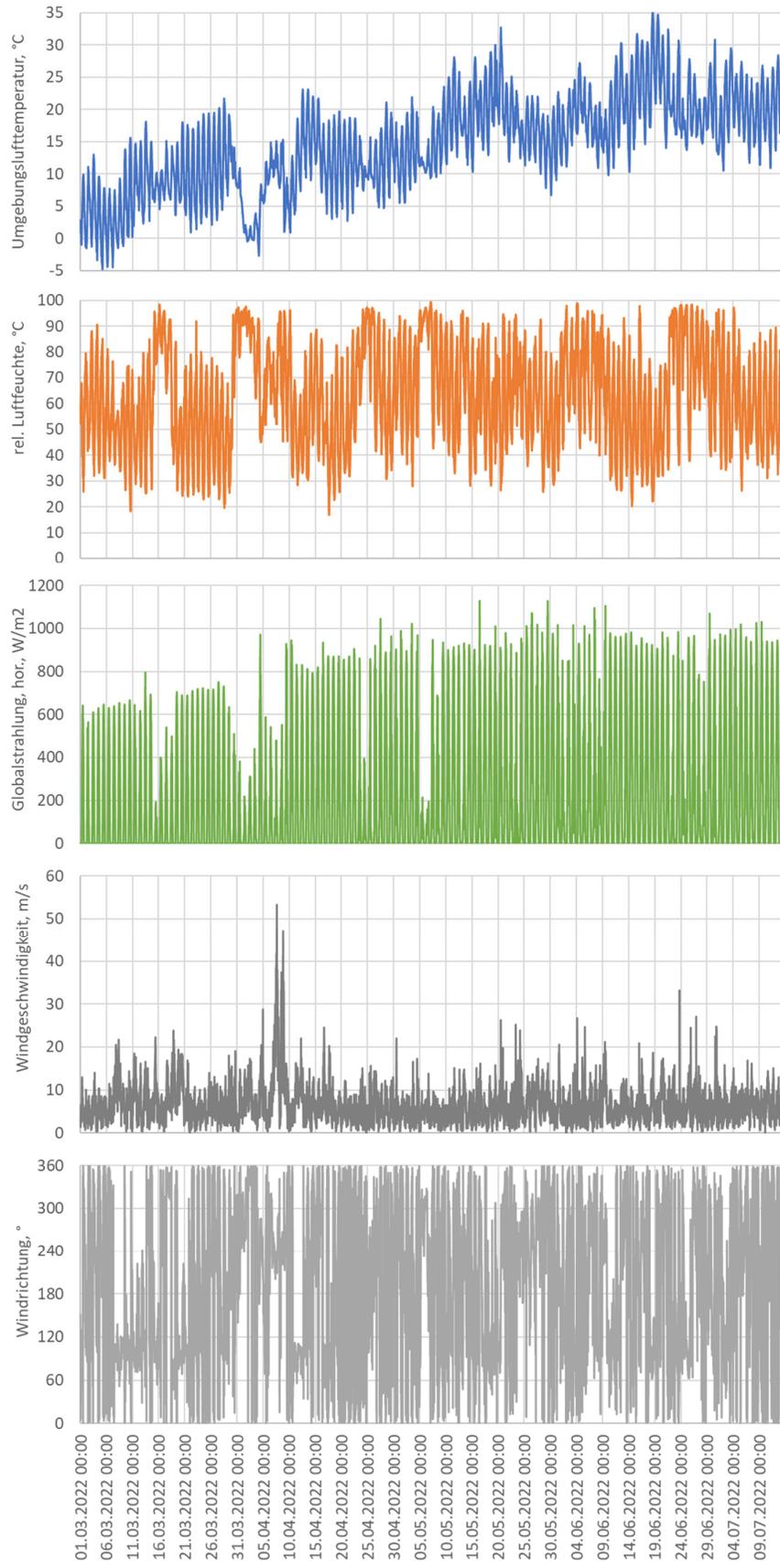


Abbildung 8 Übersicht Wetterdaten der Klimastation Basel-Binningen, 01.03.-12.07.2022 (10-min Werte)

22. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»

Photovoltaik Eigenverbrauch für Warmwasser – Optimierung heisst nicht Maximierung



Source: AdobeStock

Autor: Michel Y. Haller

Kontaktperson: Michel Y. Haller, SPF Institut für Solartechnik, OST - Ostschweizer Fachhochschule, Oberseestr. 10, CH-8640 Rapperswil, michel.haller@ost.ch, www.spf.ch, www.ost.ch

Zusammenfassung**Résumé****Abstract**

Wird Warmwasser solar erwärmt über Photovoltaik (PV) in Kombination mit Wärmepumpe (WP), so stellt sich die Frage, welche Kombinationen und Ansteuerungen der Wärmepumpe und eventuell vorhandener Elektroheizstäbe (EH) sinnvoll sind, und inwiefern der Netzstrombezug dadurch reduziert werden kann. Durch eine WP-Speicherladung bis auf die erforderliche Hygientemperatur kurz nach Mittag kann der Netzstrombezug effizient und ökonomisch reduziert werden. Von einem zusätzlichen Einsatz von EH muss jedoch selbst dann abgeraten werden, wenn diese ausschliesslich mit PV-Strom betrieben würden. Diese Betriebsweise wäre nur dann von ökonomischem Vorteil für den Besitzer der Anlage, wenn der PV-Einspeisetarif um mindestens einen Faktor 5 tiefer liegen würde als der Tarif für den Netzstrombezug. Bei einem Netzstrombezugstarif von 20 Rp/kWh müsste also der Einspeisetarif geringer sein als 4 Rp/kWh.

If hot water is heated by photovoltaics (PV) in combination with a heat pump (HP), the question arises which combinations and controls of the heat pump and possibly existing electric heating rods (EH) make sense, and to what extent the power consumption from the grid can be reduced. By charging the storage with the HP to the required hygienic temperature level shortly after noon, the grid power consumption can be reduced efficiently and economically. However, the additional use of EH must be discouraged even if these are operated exclusively with PV electricity. This mode of operation would only be economically advantageous for the owner of the system if the PV feed-in tariff is at least a factor of 5 lower than the tariff for purchasing electricity from the grid. Thus, with a grid electricity purchase tariff of 20 cts/kWh, the feed-in tariff would have to be lower than 4 cts/kWh.

1. Ausgangslage

1.1 Allgemeine Situation

Die Förderung der Photovoltaik (PV) auf Wohngebäuden hat sich in der Schweiz verschoben von der „Kostendeckenden Einspeisevergütung“ hin zu Einmalvergütungen, respektive einem Zuschuss an die Investitionskosten. Die Netzbetreiber sind jedoch verpflichtet, den eingespeisten Strom abzunehmen und zu vergüten. Im Mittel liegen die Einspeisetarife 2022 bei etwa 10 Rp/kWh. Gleichzeitig liegen die Strombezugskosten meist bei 21 Rp/kWh. Damit lohnt es sich für die Besitzer von PV-Anlagen, den selbst produzierten Strom auch selbst zu verbrauchen, wenn sie damit ihren Netzstrombezug entsprechend reduzieren können. In der Praxis führt jedoch eine Erhöhung des Eigenverbrauchs (und damit Reduktion der Netzeinspeisung) nicht zu einer Reduktion des Netzstrombezugs in gleicher Höhe. Die Differenz ist ein Resultat von Ineffizienzen und Verlusten bei den Eigenverbrauchsmassnahmen. Dies hat zur Folge, dass eine Maximierung des Eigenverbrauchs nicht nur zu energetischer Verschwendung, sondern auch zu finanziellem Verlust für den Eigener der Anlage führen kann.

1.2 Warmwasser über Wärmepumpe und Photovoltaik

Vermeehrt wird Warmwasser solar erwärmt über Photovoltaik in Kombination mit Wärmepumpen (WP). Dabei stellt sich die Frage, welche Kombinationen und Ansteuerungen der Wärmepumpe und eventuell vorhandener Elektroheizstäbe sinnvoll sind, und inwiefern der Netzstrombezug dadurch effektiv reduziert werden kann. Im Auftrag von EnergieSchweiz wurden diese Zusammenhänge mit Hilfe von Simulationsstudien als Grundlagen von Factsheets zu PV-Eigenverbrauch untersucht. In diesem Beitrag werden diese Resultate zusammengefasst.

2. Vorgehen

2.3 System und Simulationstool

Abbildung 1 zeigt die relevanten Komponenten und den hydraulischen Aufbau des betrachteten Systems. Dieses enthält einen Warmwasserspeicher, der über einen Wärmetauscher geladen und direkt wieder entladen wird, eine Luft-Wasser WP, eine PV-Anlage, den Haushaltsverbrauch und einen Anschluss an das Stromnetz. Zusätzlich zur Wärmepumpe besteht die Möglichkeit, das Wasser des Speichers über einen internen Elektroheizstab zu erwärmen.

Für die PV-Anlage wurde angenommen, dass diese verschieden gross sein kann, jedoch immer nach Süden mit einer Neigung von 45° ausgerichtet ist. Der PV-Ertrag (AC) wurde in Viertelstundenschritten ermittelt unter folgenden Annahmen:

- Wirkungsgrad von 17% für die PV-Module
- Verlusten für Kabel, Verschmutzung usw. von 7%
- Wechselrichterwirkungsgrad von 94%

Die Simulationen erfolgten über einen selbst entwickelten, in Python geschriebenen Code. Dieser berechnet die Energietransfers und Temperaturen der relevanten Systemkomponenten auf Grundlage viertelstündlicher Zeitschritte für ein Jahr, basierend auf vereinfachten Effizienzannahmen, die eine schnelle Berechnung eines ganzen Jahres innerhalb weniger Sekunden ermöglichen. Der PV-Ertrag wurde dabei auf Grundlage der oben dargestellten Annahmen berechnet. Die Effizienz der Wärmepumpe wurde in Abhängigkeit der Quellen- und Senktemperaturen, d.h. in Abhängigkeit der Temperatur der Aussenluft sowie der Temperatur des Warmwasserspeichers, bestimmt. Details zur Berechnung einzelner Komponenten werden publiziert in [1].

2.4 Randbedingungen

Das für die Simulation verwendete Klima basiert auf Wetterdaten aus Zürich, einem vom SPF entwickelten Testreferenzjahr (CCT-Klimadaten beschrieben in [2]), mit einem Jahresmittel der Außentemperatur von 9.1 °C und einer Sonneneinstrahlung von 1111 kWh/(m²a) auf der Horizontalen.

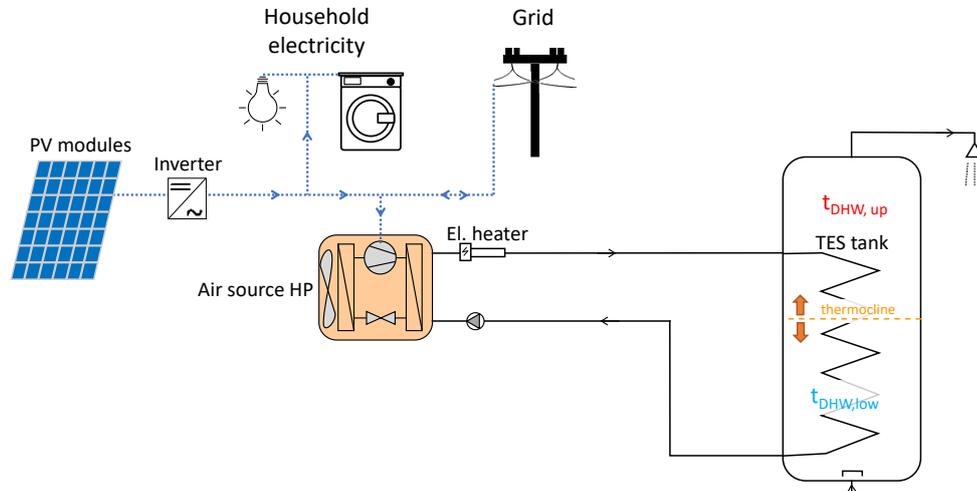


Abbildung 1 Vereinfachtes Schema des simulierten Systems, Haller und Heinz [1].

Das Zapfprofil für die Warmwasserbereitung sowie der Haushaltsstrombedarf basieren auf den von Mojic u.a. beschriebenen Referenzprofilen für Mehrfamilienhäuser [3], die mit der Software LoadProfileGenerator V.8 ([4], <https://www.loadprofilegenerator.de>) generiert wurden. Für einen einzelnen Haushalt des Mehrfamilienhauses wurden für Warmwasserverbrauch und Haushaltsstrom jeweils ein Sechstel des Wertes des 6-Parteien-Mehrfamilienhauses angenommen, was zu einem jährlichen Verbrauch von 2'935 kWh/a für Warmwasser (Wärme) und von 3'288 kWh/a für Haushaltsstrom führt.

2.5 Regelungskonzept

Die Wärmepumpe wurde so eingestellt, dass sie den Speicher nach der Mittagszeit von 12 bis 14 Uhr auf 55 °C auflädt, damit sie möglicherweise vorhandenen PV-Strom bereits ausnützen kann. Damit die Deckung des viertelstündlichen Warmwasser-Bedarfs zu jeder Zeit gewährleistet ist, schaltete die Wärmepumpe jeweils auch Speicherladungen ausserhalb der mittäglichen Freigabezeiten, sobald das Speicher-Volumen oberhalb der Temperatur-Sprungschicht nicht mehr ausreichte, um den maximalen viertelstündlichen Bedarf des Jahres zu decken. In diesem Falle wurde jedoch nicht der ganze Speicher aufgeheizt, sondern nur die erforderliche Energiemenge und Temperatur für die Deckung dieser Viertelstundenspitze eingebracht. Der **Elektroheizstab** wurde:

- ausschließlich mit PV-Strom betrieben
- nur nach 14:00 Uhr, d. h. nach dem Zeitfenster der Wärmepumpenladung, eingesetzt
- nur bis zu einer Temperatur von 60 °C betrieben.

Andere Maximaltemperaturen für die Ladung des Elektroheizstabs wurden getestet, führten aber nicht zu signifikant anderen Ergebnissen, respektive nur zu Ergebnissen, die aus wirtschaftlicher Sicht nachteiliger sind als die dargestellten. Aus diesem Grund werden hier keine Ergebnisse mit anderen Endtemperaturen für die Elektroheizstabheizung dargestellt.

3. Resultate

3.6 Ökonomische Betrachtung des Eigenverbrauchs

So lange keine Leistungstarife verrechnet werden und die Einspeiseleistung nicht durch Abregelung begrenzt wird, steht bei der ökonomischen Optimierung die Reduktion der Netto-Stromkosten im Vordergrund:

$$\text{Gl. 1: Netto-Stromkosten} = \text{Netzbezug} \times \text{Bezugstarif} - \text{Netzeinspeisung} \times \text{Einspeisetarif}$$

Tabelle 1 vergleicht zwei hypothetische Fälle der Eigenverbrauchserhöhung unter der Annahme, dass für den Netzstrombezug 0.2 CHF/kWh bezahlt und für die Einspeisung von Solarstrom 0.1 CHF/kWh vergütet werden. Im Fall 1 führt die Zunahme des Eigenverbrauchs zu einer Reduktion des Netzstrombezugs in annähernd gleicher Höhe. In der Folge sind die jährlichen Netto-Stromkosten des Eigners um 90 CHF geringer als ohne die Eigenverbrauchsoptimierung. Im Fall 2 jedoch wird der Netzstrombezug deutlich weniger reduziert als die Einspeisung von Solarstrom, und es resultieren jährliche Netto-Stromkosten welche 20 CHF höher sind also ohne die – in diesem Fall ineffiziente – Eigenverbrauchserhöhung.

Generell können die Netto-Stromkosten auf Grund von Gleichung 1 nur dann gesenkt werden, wenn das Verhältnis von Bezugstarif zu Einspeisetarif höher ist als das Verhältnis der Reduktion der Netzeinspeisung zur Reduktion des Netzbezugs. Abbildung 2 zeigt die jeweiligen Bereiche, welche ökonomisch vorteilhaft oder nachteilhaft sind, sowie die beiden hypothetischen Fälle 1 und 2.

	Einheit	Fall 1	Fall 2
Veränderung in Bezug auf...			
Eigenverbrauch	kWh	+1000	+1000
Netzeinspeisung	kWh	-1000	-1000
Netzbezug	kWh	-950	-400
Einspeisevergütung	CHF	-1000 * 0.1	-1000 * 0.1
Netzbezugskosten	CHF	950 * 0.2	400 * 0.2
Netto-Stromkosten	CHF	-90	+20

Tabelle 1 Veränderung der Netto-Stromkosten: Fall 1: geringe Effizienzverluste bei Eigenverbrauch und Fall 2: unter Berücksichtigung relativ hoher Effizienzverluste.

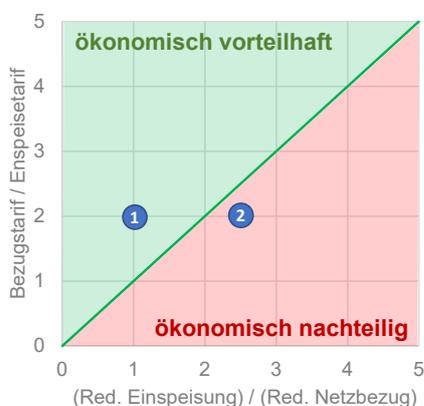


Abbildung 2 Darstellung der ökonomisch vorteilhaften und nachteiligen Konstellationsbereiche, eingezeichnet die im Text erläuterten Fälle 1 und 2.

3.7 Erhöhung des Eigenverbrauchs über Warmwasser-Erwärmung mit Wärmepumpe

Abbildung 3 zeigt für einen typischen Vier-Personen-Haushalt mit Wassererwärmung über Wärmepumpe, wie weit der Anteil Netzstrombezug mit verschiedenen grossen PV-Anlagen und verschieden hohem Warmwasserbedarf reduziert werden kann durch forcierte Warmwasserladungen ausschliesslich über die Wärmepumpe kurz nach Mittag (12:00 – 14:00 Uhr). Dabei ist die Grösse der PV-Anlage als PV-Produktionsverhältnis dargestellt, welches auf Grund der jährlichen PV-Produktion sowie des jährlichen Stromverbrauchs des Haushalts berechnet wird:

$$Gl. 2: PV\text{-Produktionsverhältnis} = PV\text{-Produktion} / \text{Stromverbrauch}$$

Die oberste Kurve in Abbildung 3 gilt sowohl für Haushalte ohne Wärmepumpe als auch für Haushalte, welche Warmwasser zufällig zu irgendwelchen Tageszeiten über eine Wärmepumpe erwärmen. Andere Wärmeanwendungen oder eMobilität sind in diesem Beispiel nicht berücksichtigt. Die Abbildung zeigt, dass bei einem mittleren Warmwasserbedarf und einem PV-Produktionsverhältnis von 2.0 alleine durch eine Abstimmung der WP-Wassererwärmung mit dem PV-Ertrag der Netzstrombezug von 60% auf 50% gesenkt werden kann. Voraussetzung dafür, dass dieser Effekt erreicht werden kann, ist eine ausreichende Wärmespeichergrosse sowie eine ausreichend grosse PV-Anlage.

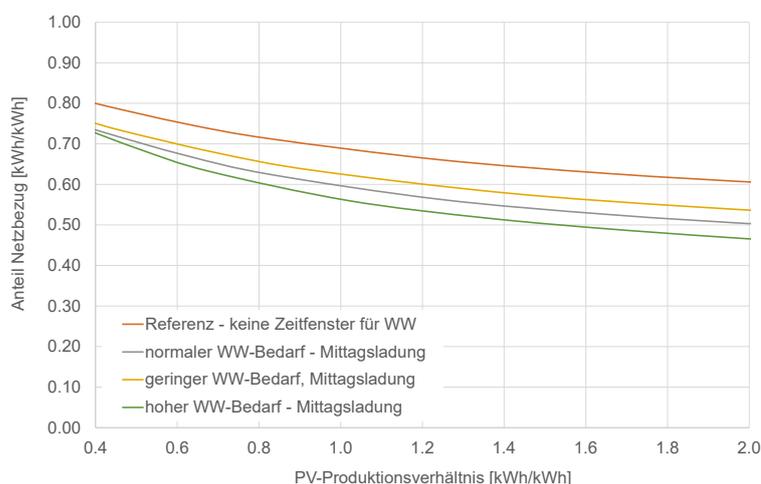


Abbildung 3 Reduktion des Netzstrombezugs in Abhängigkeit der Grösse der Photovoltaikanlage für Anlagen mit und ohne Warmwasser über Wärmepumpe.

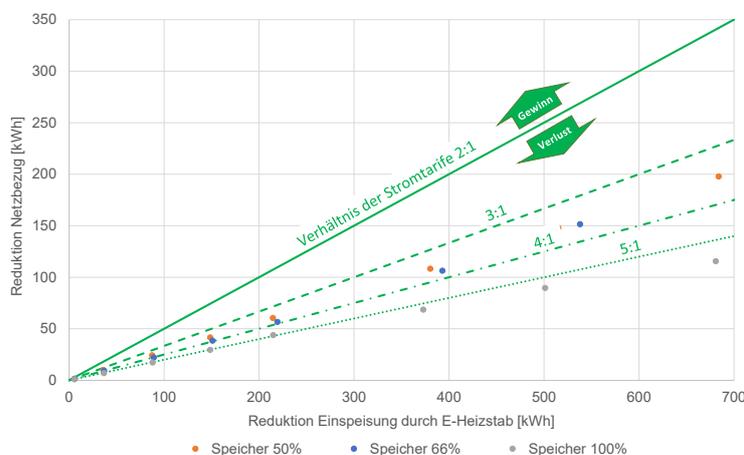


Abbildung 4 Reduktion Netzbezug und Reduktion Einspeisung durch den Einsatz eines Elektroheizstabes mit PV-Strom jeweils NACH der WP-Ladung am Mittag, sowie die Grenzen für finanziellen Gewinn oder Verlust durch diese Eigenverbrauchsmassnahme bei verschiedenen Verhältnissen der Stromtarife, für Speicher welche 50% - 100% des Tagesbedarfs decken können nach einer Beladung.

Abbildung 4 zeigt die Reduktion des Netzstrombezuges in Abhängigkeit der Reduktion der Einspeisung von PV-Strom, wie sie sich durch den Einsatz eines Elektroheizstabes ergibt. Dieser wird jeweils NACH der Beladung des Speichers durch die Wärmepumpe am Mittag eingesetzt, um die Speichertemperatur von ca. 55 °C auf 60 °C zu erhöhen. Dabei wird der Heizstab ausschliesslich mit lokal produziertem PV-Strom betrieben. Es zeigt sich, dass bis zu einem Verhältnis von Netzstrombezug zu Einspeisetarif von 3:1 keine Fälle zu sehen sind, in welchen der Einsatz des PV-Heizstabes NICHT zu finanziellen Verlusten führt. Ist der Warmwasserspeicher so dimensioniert, dass er nach Beladung durch die Wärmepumpe 100% des täglichen Bedarfs decken kann, so zeigen sich finanziell attraktive Varianten erst bei einem Verhältnis von 5:1 und höher. Dies bedeutet, dass bei Netzbezugstarif von 20 Rp/kWh der Besitzer der Anlage mit dem PV-Heizstab nur dann seine Netto-Stromkosten reduzieren kann, wenn der Einspeisetarif unter 4 Rp/kWh liegt.

4. Diskussion

Der Netzstrombezug von PV-WP Warmwassersystemen kann durch eine Verlagerung der Wärmepumpen-Warmwasserladungen auf die Mittagszeit deutlich reduziert werden. Diese Verlagerung gelingt mit relativ geringen oder keinen Effizienzeinbussen. Im Gegenteil kann gerade im Winter meist ein Effizienzgewinn verbucht werden, wenn eine Luft-Wasser Wärmepumpe an Stelle der kalten Nachtluft die deutlich wärmere Nachmittagsluft als Wärmequelle verwendet. Ein Elektroheizstab benötigt in etwa drei Mal mehr elektrische Energie als eine Wärmepumpe, um dieselbe Menge Wärme bereit zu stellen. Selbst wenn eine Wärmepumpe ausschliesslich mit Netzstrom betrieben würde, und der PV-Heizstab ausschliesslich mit PV-Strom, müssten die Einspeise- und Netzstarif um diesen Faktor drei auseinander liegen, damit theoretisch durch den Einsatz des Heizstabes die Netto-Stromkosten verringert werden könnten. Da jedoch bei einem bereits PV optimierten Betrieb der Wärmepumpe, in welchem die WP am frühen Nachmittag den Speicher belädt, auch diese zu einem grossen Teil mit PV-Strom betrieben wird, liegt das entsprechende Tarifverhältnis, welches einen ökonomischen Einsatz des PV-Heizstabes erlauben würde, deutlich höher als 3:1. Aus diesem Grund ist ein Einsatz von PV-Heizstäben in Kombination mit Wärmepumpen, welche in der Lage sind, den Speicher bis auf die erforderliche Hygientemperatur aufzuladen, unter den aktuellen Tarifverhältnissen der Schweiz finanziell nachteilig für den Eigner. Selbst wenn sich in Einzelfällen oder in Zukunft eine finanziell attraktive Variante für den Einsatz des Elektroheizstabes in Kombination mit Wärmepumpen ergeben sollte, so führt dieser immer noch zu massiven Effizienzverlusten und letztendlich zu weniger PV-Strom im Netz, da die Reduktion der Netzeinspeisung in drastischem Missverhältnis steht zur Reduktion des Netzstrombezuges. Aus Sicht der Energieziele der Schweiz ist dies nachteilig. Die Legitimität eines solch verschwenderischen Umgangs mit Strom aus PV-Anlagen, welcher auf Grund der Einmalvergütung von der Gesamtbevölkerung mitfinanziert wird, kann durchaus in Frage gestellt werden. Es sei an dieser Stelle auch konkret auf Art. 5a des Energiegesetzes (EnG, SR 730.0) verwiesen: «Jede Energie ist möglichst sparsam und effizient zu verwenden».

5. Ausblick – Perspectives – Perspectives

Die in diesem Beitrag vorgestellten Resultate werden publiziert durch EnergieSchweiz als Factsheet und Kurzbericht. Eine Publikation in Englisch erfolgt im Rahmen der Internationalen Konferenz EuroSun 2022 durch ISES – International Solar Energy Society. Die englische Version [1] enthält zusätzlich Simulationsresultate der TU Graz zu Kombi-Systemen, welche nicht nur Warmwasser, sondern auch Raumheizung zur Verfügung stellen.

6. Danksagung

Die präsentierten Resultate basieren auf Arbeiten, welche im Auftrag von EnergieSchweiz für die Erstellung von Factsheet und Merkblatt zu PV-Eigenverbrauch erarbeitet wurden.

Literatur/Referenzen

- [1] Haller MY und Heinz A, Increasing PV self-consumption with heat pumps - sense or non-sense of additional electric heaters, ISES EuroSun 2022 conference, 25-29 September, Kassel, in publication.
- [2] Haller MY, Haberl R, Persson T, Bales C, Kovacs P, Chèze D, et al. Dynamic whole system testing of combined renewable heating systems – The current state of the art. Energy and Buildings 2013;66:667–77. <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2013.07.052>.
- [3] Mojic I, Cramer S, Caflisch M, Carbonell DS, Haller M. 2019. 'Reference Framework for Building and System Simulations: Multifamily Reference Building', Version: 1.1, https://www.spf.ch/fileadmin/user_upload/spf/SPF/Produkte/Referenz-MFH/Referenz-MFH_2019-12-05_Multifamily_Reference_Building_SPF_V1.1.pdf.
- [4] Pflugradt, ND. 2016. "Modellierung von Wasser- und Energieverbräuchen in Haushalten." Ph.D. Thesis, Technische Universität Chemnitz. <https://monarch.gucosa.de/api/gucosa%3A20540/attachment/ATT-0/>.
- [5] SR 730.0 Energiegesetz (EnG) vom 30. September 206 (Stand am 1. Januar 2021), <https://www.fedlex.admin.ch/eli/cc/2017/762/de>

21. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»

Hybride Lüftung – ein guter Kompromiss?

Caroline Hoffmann (1), Viktor Dorer (2), Claudia Hauri (3), Alex Primas (3), Heinrich Huber (3)

Kontaktperson: Caroline Hoffmann, Hofackerstrasse 30, 4132 Muttenz,
Caroline.Hoffmann@fhnw.ch, www.fhnw.ch

(1) Fachhochschule Nordwestschweiz, Institut Nachhaltigkeit und Energie am Bau;
(2) ehemals Empa Dübendorf; (3) Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie

Zusammenfassung

Dieses Projekt fokussiert auf hybride Lüftungen, als Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung, in Wohn- und Bürobauten. Bei heutigen Bestandsbauten ist vermutlich in den meisten Fällen ein hybrides Lüftungssystem im Einsatz. Als hybrides System gilt zum Beispiel die Kombination von Abluftventilatoren in den Nasszellen respektive einer Kochstellenentlüftung mit einer Fensterlüftung in den übrigen Räumen; unabhängig davon, wie die Nachströmung der Ersatzluft gelöst ist. Diese Anlagen sind zwar Teil der Planungsrealität, es existieren aber gleichzeitig keine Planungshilfen oder eine Norm. Ziel des Projektes ist daher, das aktuelle Wissen zu bündeln und Lücken zu identifizieren und zu dokumentieren. Damit wird die Basis für Planungsgrundlagen zur hybriden Lüftung gelegt. Hervorzuheben sind zwei Themenfelder, in denen Erkenntnisse gewonnen und mit Fachexperten aus der Forschung und Praxis im Rahmen von Workshops abgestimmt wurden:

1. Beschrieb hybride Lüftungssysteme mit Relevanz für das Schweizer Bauwesen: Anhand einer umfassenden Literaturrecherche werden neun hybride Lüftungssysteme identifiziert und beschrieben, die für den Grossteil der schweizerischen Wohn- und Bürogebäude eine Relevanz haben. Der bisher unscharfe Begriff der hybriden Lüftung ist nun definiert und abgegrenzt.
2. Identifikation Planungsthemen / Forschungsfragen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung: Die im Zusammenhang mit hybrider Lüftung wichtigen Punkte sind erfasst. Aus der Literaturrecherche und den Workshops werden neben systembedingten Stärken und Schwächen auch häufig beobachtete Mängel, mögliche Fehlerquellen und bekannte Verbesserungspotentiale beschrieben. Eine der häufigsten Ursachen für Problemstellungen sind unterschiedlich strenge Anforderungen an natürliche und mechanische Lüftungssysteme. Ein Beispiel hierfür ist die thermische Behaglichkeit im Winter. Eine weitere Problemquelle ist die Exponiertheit von hybriden Lüftungssystemen gegenüber den Aussenbedingungen (Luftbelastung, Lärm, extreme Aussentemperaturen), die sich beispielsweise aus Nachströmöffnungen für die natürlicher Lüftung ergibt. Die Frage der unterschiedlichen Anforderungen ist zugleich auch eine wichtige offene Forschungsfrage.

Das Paper macht Angaben zur Begriffsdefinition «Hybride Lüftung», stellt die gängigsten hybriden Lüftungssysteme vor und gibt Einblicke in die systematische Erfassung der Planungsthemen und Forschungsfragen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung.

1. Ausgangslage

Bei der Lüftung von Wohn- und Bürogebäuden besteht heute eine grosse Lücke zwischen den normativ gut geregelten rein mechanischen Systemen und den undefinierten hybriden Systemen. Hybride Lüftungen verstehen sich als eine Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung (Abbildung 1).

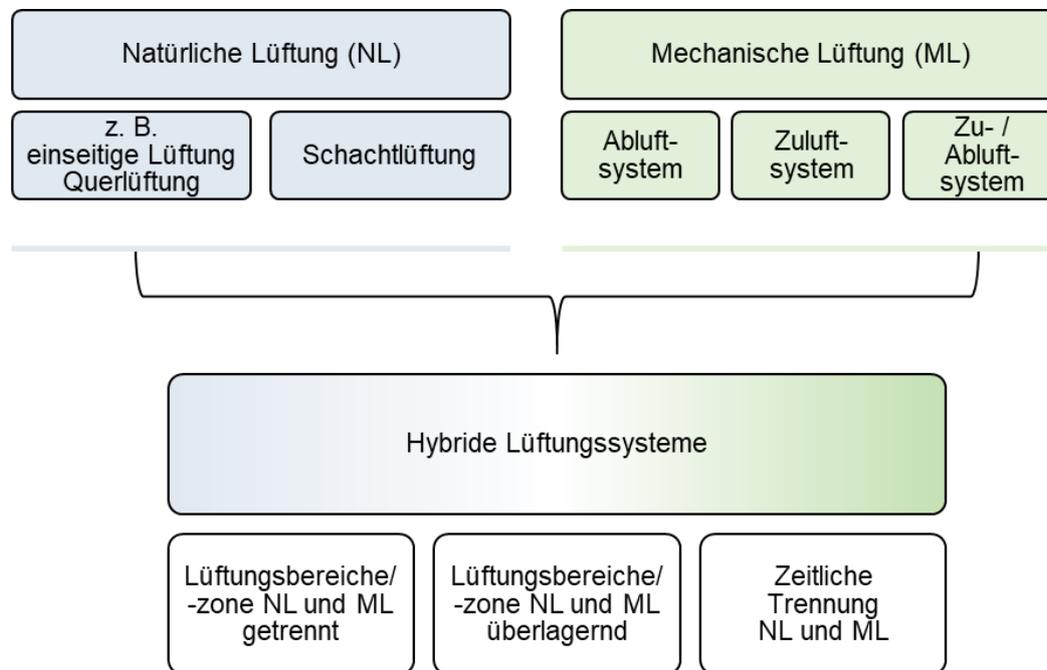


Abbildung 1: Übersicht Lüftungsarten und mögliche Kombinationen (nicht abschliessende Aufstellung)

Bei heutigen Bestandsbauten ist vermutlich in den meisten Fällen ein hybrides Lüftungssystem im Einsatz. Als hybrides System gilt zum Beispiel die Kombination von Abluftventilatoren in den Nasszellen respektive einer Kochstellenentlüftung mit einer Fensterlüftung in den übrigen Räumen; unabhängig davon, wie die Nachströmung der Ersatzluft gelöst ist. Weitere mögliche Varianten sind eine natürliche / mechanische Basislüftung mit einer additiv verstärkten Lüftung, oder eine Schachtlüftung mit Ventilatorunterstützung. Der Begriff der hybriden Lüftung ist bislang nicht scharf definiert.

Vorteile von hybriden Lüftungen sind die niedrigen Investitionskosten, eine – je nach Betriebsweise nutzerunabhängige – Minimallüftung und Platzersparnis durch weniger Lüftungskanäle. Auch bieten diese Systeme einen Kompromiss zwischen dem Wunsch nach einer genügenden Raumlufthygiene und möglichen Vorbehalten gegenüber Zu- und Abluftanlagen. Die Nachteile sind oftmals die fehlende Wärmerückgewinnung, eventuell Komfortprobleme (Zugerscheinungen, Schallschutz gegenüber Aussenlärm), die Abhängigkeit von den Druckverhältnissen an der Gebäudehülle und auch in den einzelnen Zimmern (offene Fenster und Türen). Besonders der geringe Platzbedarf prädestiniert diese Systeme für die Gebäudesanierung.

1.1 Motivation und Ziele

Heute existieren für natürliche und hybride Lüftungssysteme weder Planungshilfen noch Planungsregeln (Normen), die auf die schweizerischen Verhältnisse zugeschnitten sind. Das führt dazu, dass ungeeignete Lösungen realisiert beziehungsweise in der Planung nicht erkannt werden. Die Folge können auf der einen Seite eine ungenügende Raumluftqualität sowie Feuchtschäden und auf der anderen Seite dauernd geöffnete Fenster und bewusst undicht gemachte Fenster oder Gebäudehüllen mit daraus folgenden unnötigen Wärmeverlusten sein.

Nationale und internationale Projekte zeigen, dass hybride Lüftungen ein Teil der Planungsrealität sind. Normative Vorgaben zusammen mit zielführenden Planungshinweisen helfen, die Systeme

zu verbessern und zukünftige Planungsfehler zu vermeiden. Das notwendige Grundlagenwissen ist durch nationale und internationale Forschungsprojekte, die in den letzten Jahren durchgeführt wurden, grösstenteils gegeben. Allerdings ist das vorhandene Wissen nicht gut erschlossen, Querbezüge sind nicht hergestellt und mögliche Wissenslücken sind nicht klar definiert. Das Projekt bündelt aktuelles Wissen, identifiziert Lücken und legt so die Basis für Planungsgrundlagen zur hybriden Lüftung.

2. Methodik

2.1 Eingrenzung

Das Projekt konzentriert sich auf Wohngebäude und Bürogebäude. Hybride Systeme, die eine aktive (maschinelle) Kühlung oder eine aktive Befeuchtung beinhalten, werden nicht berücksichtigt.

2.2 Literaturrecherche

Für die Literaturrecherche werden über 100 Referenzen berücksichtigt und ausgewertet. Dies sind relevante Artikel aus Fachzeitschriften und «Scientific Journals», Forschungsberichte, Normen und Produktbeschreibungen. Die Suche erfolgt systematisch (z. B. nach Schlagworten) und rückwärts gerichtet (z. B. Durchsicht Literaturverzeichnis zentraler Arbeiten). Inhaltlich umfasst die Recherche zwölf nationale und sieben internationale Forschungsprojekte, Demonstrationsprojekte (neun Wohnbauten, zwölf Bürobauten), Produkte, Komponenten und Normen, die an das Thema angrenzen.

Kriterien für die Berücksichtigung der Literatur sind hauptsächlich die Relevanz für das Thema hybride Lüftung und bei den Demonstrationsprojekten, dass Messungen (1. Priorität) oder Nutzerbefragungen, bzw. Simulationen (2. Priorität) durchgeführt wurden. Aus der gesichteten Literatur werden Planungsthemen gefiltert, die für die hybride Lüftung bedeutsam sind. Dazu zählen Fehlerquellen, Fragestellungen, die noch unbeantwortet sind und sowohl technische als auch normative Lösungsansätze. Weiter werden Definitionen für hybride Lüftungen gesammelt und ausgewertet. Die Normen dienen dazu, den normativen Kontext von hybriden Lüftungen einzugrenzen.

2.3 Praxisbezug

Um sicherzustellen, dass die aus der Literatur abgeleiteten Planungsthemen einen Praxisbezug haben, und um relevante Lücken zu vermeiden, sind zwei Expertenworkshops Bestandteil des Projektes. Ein Workshop wurde im Herbst 2021 durchgeführt, der zweite ist für den Herbst 2022 angesetzt. Die Teilnehmenden sind: Massimo Fiorentini (Empa), Beat Frei (Frei Wüest Expert), Beat Kegel (Kegel Klimasysteme), Martin Meier (einfach gut bauen) und Nadège Vetterli (BFE / Anex Ingenieure AG).

3. Ergebnisse

3.1 Was ist eine hybride Lüftung?

Aus der Literatur werden insgesamt acht Definitionen von hybrider Lüftung mit variierendem Umfang gewonnen. Zwei Quellen verwenden eine sehr eng gefasste Definition für hybride Lüftung, die auf zwei Kriterien (Fensterlüftung und mechanische Lüftung) basiert. Drei Quellen stützen sich auf eine etwas breitere Definition mit drei Kriterien. Drei Quellen verwenden zur Definition vier oder sechs Kriterien, wie z. B. zusätzlich zur Lüftungsart noch die Steuerung / Regelung und natürliche Antriebe. Für die Bearbeitung des Projektes scheint keine der gegebenen Definitionen genügend präzise, um das ganze Spektrum von hybriden Lüftungen abzudecken und abzugrenzen. Die projektspezifische Definition wird nachfolgend gegeben.

Definition hybride Lüftung

Lüftung, die auf natürliche und mechanische Be- und Entlüftung in der gleichen Nutzungseinheit angewiesen ist und in Abhängigkeit von der gegebenen Situation betrieben wird (entweder mit natürlichen oder mechanischen Antriebskräften bzw. einer Kombination dieser Antriebskräfte).

Für die Funktion des Systems sind daher Elemente zur Sicherstellung von natürlicher Lüftung (wie z. B. Fenster, Aussenbauteil-Luftdurchlässe) wie auch der mechanischen Lüftung (z. B. Ventilatoren) erforderlich.

Dabei wird die Art der Kombination in Anlehnung an die Typisierung aus prEN 15665:2022 erweitert und wie folgt unterteilt:

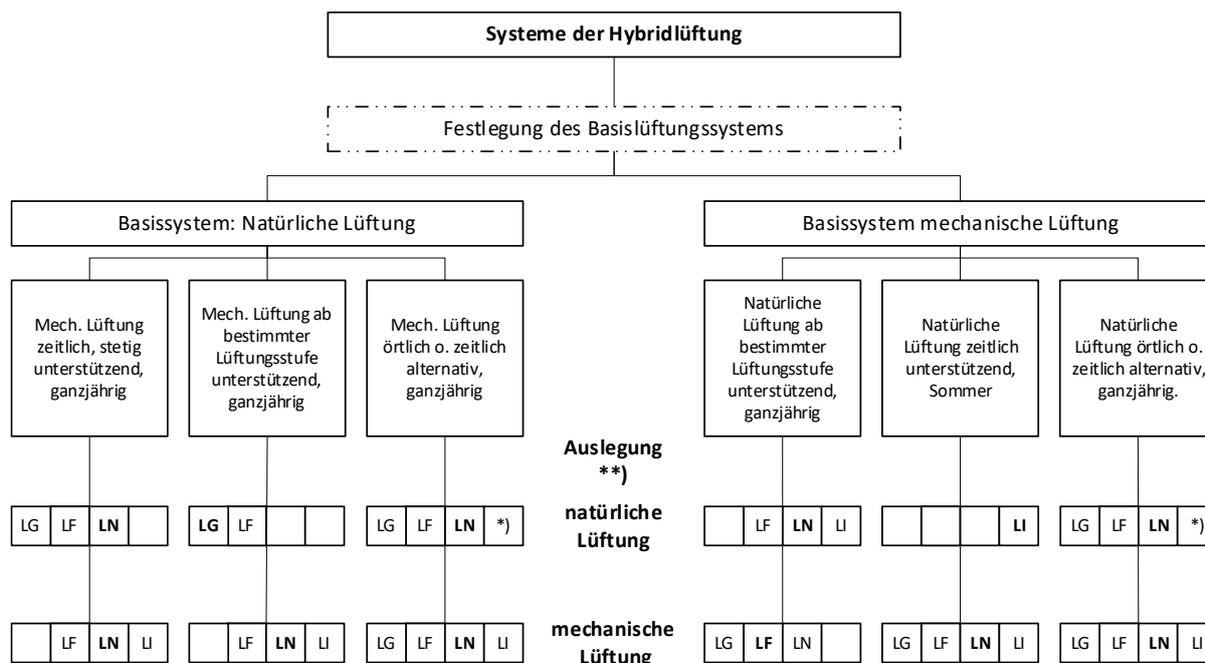
- *alternative natürliche / mechanische Lüftung:*
 - *Kriterium zeitlich definiert (Tag / Nacht; Sommer / Winter)*
 - *Kriterium örtlich definiert (Raumnutzung)*
- *Basissystem natürliche Lüftung; unterstützende mechanische Lüftung:*
 - *Kriterium Lüftungsstufe (z. B. nur Lüftung zum Feuchteschutz durch natürliche Lüftung abgedeckt)*
 - *Kriterium Aussenbedingungen (z. B. wenn natürliche Antriebskräfte zu gering)*
- *Basissystem mechanische Lüftung; unterstützende natürliche Lüftung:*
 - *Kriterium Lüftungsstufe (z. B. Querlüftung als Intensivlüftung)*
 - *Kriterium Aussenbedingungen (z. B. Nachtlüftung)*

Grundsätzlich kann eine hybride Lüftung auch aus einer Kombination dieser Typen bestehen und kann gemeinsam genutzte Komponenten beinhalten. In diesen Fällen ist für die Auslegung das Teilsystem massgebend, welches die höheren Anforderungen an die Komponenten hat.

Zugehörige Definitionen:

- **Natürliche Lüftung (freie Lüftung):** Lüftung mit Förderung der Luft durch Druckunterschiede infolge von Wind oder Dichteunterschieden der Luft zwischen aussen und innen, z. B. Fensterlüftung, Schachtlüftung, Dachaufsatzlüftung und Lüftung durch sonstige Öffnungen (z. B. Aussenbauteil-Luftdurchlässe, RWA Klappen).
- **Mechanische Lüftung (ventilatorgestützte Lüftung):** Lüftung mit ventilatorgestützter Förderung der Luft, z. B. einfache Lüftungsanlage, Abluftanlagen, RWA (Ventilator), aktive Überströmer oder sonstige Systeme mit Ventilatoren.
- **Basissystem:** Als Basissystem wird derjenige Teil der hybriden Lüftung bezeichnet, welcher im Normalbetrieb der Lüftung (Nennbetrieb) den überwiegenden Teil der Lüftung erbringt. Diese Einordnung kann sich z. B. an einen häufig vorkommenden Betriebsfall (Betriebszeit, Aussenbedingungen etc.) anlehnen. Für diesen Fall ist das Basissystem auszulegen. In der Planung wird das Basissystem typischerweise zuerst ausgelegt. Im Fall der alternativen natürlichen / mechanischen Lüftung ist das jeweils aktive System das Basissystem.

Basierend auf obiger Definition wird eine Systematik vorgeschlagen, um hybride Systeme zu charakterisieren (Abbildung 2). Um eine Einordnung für die Planung vorzunehmen, muss die Aufgabe festgelegt werden, welche die beiden Teilsysteme (natürliche Lüftung resp. mechanische Lüftung) übernehmen. Dabei ist zu definieren, welches Teilsystem das Basissystem und welches das unterstützend wirkende System wird. Die Unterstützung kann zeitlich und / oder räumlich begrenzt stattfinden.



Legende:

- LG = Lüftung im Grundbetrieb; Grundlüftung: Reduzierter Lüftungsbetrieb bei Abwesenheit von Personen (in Anlehnung an SIA 382/1)
- LF = Lüftung zum Feuchteschutz: Betrieb einer Lüftung nur gemäss Bemessung auf Feuchtelasten (z.B. Lüftung zur Sicherstellung des Bautenschutzes)
- LN = Lüftung im Normalbetrieb; Normallüftungsbetrieb bzw. Nennlüftung: Betrieb einer Lüftung gemäss Bemessung auf Personenbelegung (z.B. Luftmengen gemäss Raumgrösse, Personenzahl etc.) für mechanische Wohnungslüftungen z.B. nach SIA 382/5
- LI = Lüftung im Intensivbetrieb; Intensivlüftung: Lüftungsbetrieb, welcher nur bei ausnahmsweise starker Belastung oder ausserhalb der Nutzungszeit zur Anwendung kommt. z.B. Nachtauskühlung etc.

*) eine Intensivlüftung ist grundsätzlich in allen Bereichen mit zusätzlicher Fensterlüftung erreichbar (Stosslüftung)

**) mögliche typische Auslegung (könnte im Einzelfall jedoch auch abweichend festgelegt sein);
Für die fett gekennzeichnete Lüftungsstufe wird das System in diesem Fall ausgelegt

Abbildung 2: Charakterisierung von Hybridlüftungssystemen für die Planung

3.2 Welche Systeme von hybriden Lüftungen gibt es?

Um aufzuzeigen, welche Systemarten von hybriden Lüftungen es gibt, werden im Projekt exemplarisch Systeme von hybriden Lüftungen dokumentiert und schematisch dargestellt, sowie häufige Varianten aufgezeigt. Diese Systeme sind:

1. Wohnen: Manuelle Fensterlüftung mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad / WC

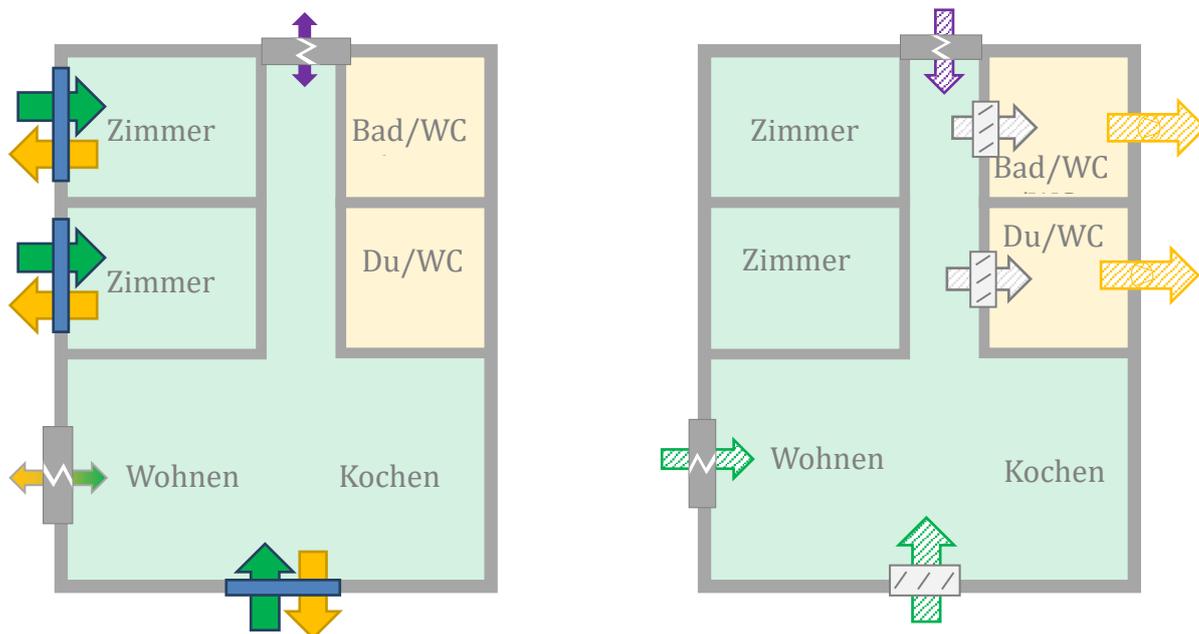


Abbildung 3: Beispiel einer Wohnung mit natürlicher Lüftung der Haupträume (links) und mechanischer Abluft in Bad/Du/WC (rechts). Farbcode: grün = Zuluft / Aussenluft, gelb = Abluft
 Legende:

-  Lüftung der Zimmer über Fenster
-  Infiltration gefördert durch natürlich erzeugte Druckdifferenz oder Temperaturdifferenz (Aussenluft = grün, Abluft = gelb, Leckageluft = violett)
-  Infiltration, Luftstrom passiv gefördert durch mechanisch erzeugte Druckdifferenz zwischen innen und aussen (kein Ventilator im Luftpfad). Grün = Aussenluft, violett = Leckageluft zwischen Nutzungseinheiten
-  Aussenbauteil-Luftdurchlass (ALD) mit Luftstrom, passiv gefördert durch mechanisch erzeugte Druckdifferenz zwischen innen und aussen
-  Überström-Luftdurchlass (passiv) mit bekannter Strömungsrichtung
-  Abluftstrom aktiv gefördert durch mechanisch erzeugte Druckdifferenz mit Ventilator

Die Haupträume (Zimmer, Wohnbereich) werden natürlich belüftet. Bad/Du/WC werden mechanisch entlüftet. Die Ersatzluft strömt frei z. B. über die Fenster, über ALD oder Infiltration nach, wobei die alleinige Luftführung über diesen Pfad nicht den Anforderungen von SIA 382/5 entspricht. Die Kochstelle wird mechanisch entlüftet.

2. Wohnen: Mechanische Lüftung mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb

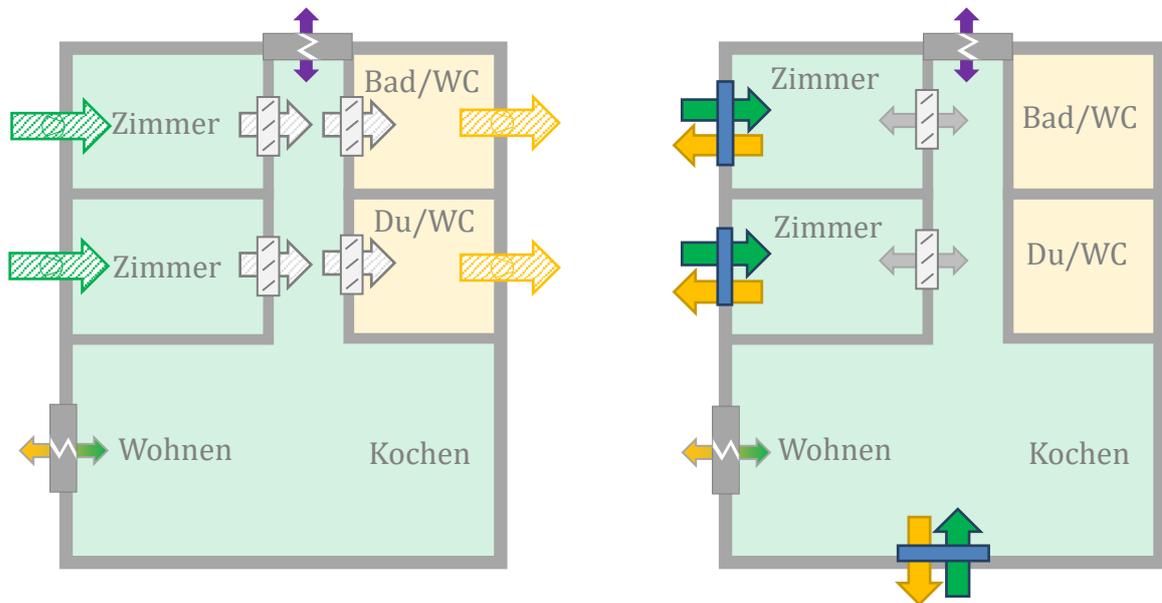


Abbildung 4: Beispiel einer Wohnung mit mechanischer Lüftung (links) mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder Alternativbetrieb (rechts). Farbcode: grün = Zuluft / Aussenluft, gelb = Abluft
Legende (siehe Abbildung 4).



Aussenluftstrom aktiv gefördert durch mechanisch erzeugte Druckdifferenz mit Ventilator



Überström-Luftdurchlass (passiv) mit unbekannter Strömungsrichtung

Die gesamte Wohnung wird mit einer mechanischen Lüftungsanlage ausgerüstet, die gemäss SIA 382/5 auf den Normallüftungsbetrieb ausgelegt ist. Die Kochstelle wird separat mechanisch entlüftet. Die natürliche Lüftung wird ergänzend oder alternativ zur mechanischen Lüftung eingesetzt um

- im Sinne eines Intensivbetriebs Raumluftbelastungen abzuführen, die höher sind als bei der Auslegung vorausgesetzt wurde, oder
- um hohe thermische Lasten abzuführen, insbesondere bei der sommerlichen Nachauskühlung oder
- um bei ausgeschalteter mechanischer Lüftung (z. B. im Sommer) die geforderte Raumluftqualität und den Feuchteschutz zu gewährleisten.

3. Wohnen: Mischsystem mit parallelem Betrieb von mechanischer und natürlicher Lüftung

4. Wohnen: Mechanische Grundlüftung mit freier Verteilung

5. Wohnen: Natürliche Lüftung mit Fenstern und ALD, sowie unterstützende Abluftanlage

6. Büro allgemein

7. Büro: Mechanische Lüftung mit unterstützender Nachtlüftung im Sommer durch natürliche Lüftung

8. Büro: Verbundlüftung mit aktiven Überströmern, natürliche Lüftung des Verbundbereichs

9. Wohnen / Büro: Abluft mit natürlicher Schachtlüftung und Ventilatorunterstützung

Diese Auflistung ist nicht abschliessend, es existieren diverse weitere Varianten. In der Schweiz kommen vermutlich am häufigsten die Systeme 1 und 2 vor. Daher sind für diese zwei Systeme hier mit Abbildung 3 und Abbildung 4 exemplarisch Schemazeichnungen gezeigt. Für die Darstellung der übrigen Systeme sei auf den Schlussbericht verwiesen. Dort werden für die Systeme auch jeweils mögliche Varianten und die Möglichkeiten einer Wärmerückgewinnung (bei sechs Systemen, Nr. 2, 3, 4, 7, 8, 9) oder einer Abwärmenutzung (bei zwei Systemen, Nr. 1 und 5) aufgezeigt. Nicht alle Systeme entsprechen (z. B. von der Luftführung her) den Anforderungen der derzeit gültigen Schweizer Normen. Dies ist z. B. der Fall, wenn die Ersatzluft für die Abluftanlage durch undefinierte Leckagen in der Gebäudehülle bereitgestellt wird.

3.3 Einblick in den normativen Kontext

Abbildung 5 zeigt wichtige Normen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung. Die Normen sind grob thematisch sortiert (mechanische / natürliche und hybride Lüftung), allerdings ist die Abgrenzung nicht ganz streng zu sehen, da z. B. in Normen, die schwerpunktmässig mechanische Lüftung behandeln, auch natürliche Lüftung erwähnt wird. Im europäischen Kontext gibt es bislang keine Norm, die ausschliesslich hybride Lüftung und / oder natürliche Lüftung behandelt. Für die Auslegung der natürlichen Lüftung kann z. B. auf die SN EN 16798-7:2017 und den zugehörigen Technical Report (SNG CEN/TR 16798-8:2017) zurückgegriffen werden. Für den mechanischen Teil der Lüftung sind auf europäischer Ebene SN EN 16798-1:2019, SN EN 16798-3:2017 und SN EN 16798-5-1 / -5-2:2017 (mit den zugehörigen Technical Reports) zutreffend. Es gibt auch einen Entwurf für hybride Lüftung, die Arbeiten dazu sind aber noch nicht offiziell im Arbeitsprogramm der CEN TC 156 aufgenommen. Ab Antragstellung ist gem. CEN Regeln mit rund drei Jahren bis zum Normenentwurf zu rechnen, zuzüglich der Zeit für die Erstellung der nationalen Anhänge.

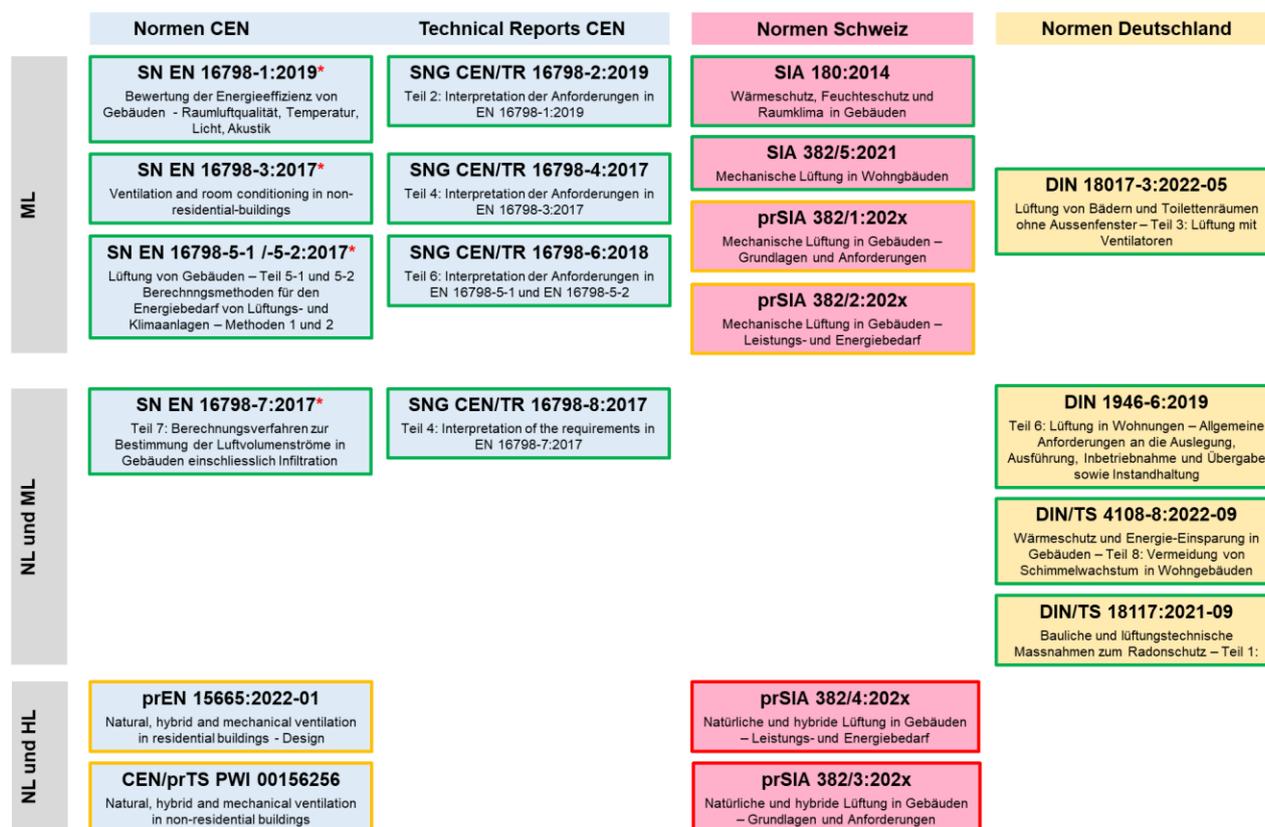


Abbildung 5: Normativer Kontext für eine Norm zur hybriden Lüftung in der Schweiz. Farbcode Flächen: blau = CEN, rosa = Schweiz, hellgelb = Deutschland. Farbcode Rahmen: grün = Norm in Kraft, gelb = Normenprojekt, rot = mögliches (geplantes) Normenprojekt. Roter Stern: Nationale Anhänge sind in Erarbeitung
Quelle: Systematik und Inhalt: Beat Frei (Präsentation anlässlich Treffen Spurguppe SIA 382/3 (22.06.2022))

In Deutschland sind für Wohnungen und wohnähnliche Nutzungen mit innenliegenden Bädern, bzw. Toiletten sowohl DIN 1946-6:2019 als auch DIN 18017-3:2020 zutreffend. DIN 1946-6:2019 ist für das Lüftungskonzept der gesamten Nutzungseinheit massgeblich, DIN 18017-3:2020 definiert die Lüftung innenliegender Bäder bzw. Toiletten. Im DIN-Fachbericht DIN/TS 4108-8:2022-09 geht es um «Schimmelwachstum in Wohngebäuden» und speziell um die Rolle des Nutzers bei der Vermeidung. Zur Umsetzung lüftungstechnischer Massnahmen wird auf die DIN 1946-6:2019 verwiesen.

In der Schweiz steht SIA 180:2014 [1] in der Hierarchie über den Lüftungsnormen. Für SIA 180:2014 ist eine Revision geplant. Die Lüftungsnormen sind in der Gruppe 382 Gruppe «Raumlufttechnik» eingeordnet. Die schweizerische Mutternorm zur mechanischen Lüftung in Gebäuden SIA 382/1:202x (derzeit gültig: SIA 382/1:2014 [2]) ist in der Überarbeitung. Zur SIA 382/2:202x, die sich ebenfalls mit mechanischer Lüftung befasst, laufen Vorarbeiten. In SIA 382/5:2021 geht es um die mechanische Lüftung von Wohngebäuden. Eine neu zu erstellenden Norm zur hybriden Lüftung würde in die Gruppe Raumlufttechnik voraussichtlich unter den Nummern SIA 382/3 «Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Grundlagen und Anforderungen und SIA 382/4 «Natürliche und hybride Lüftung in Gebäuden – Leistungs- und Energiebedarf» eingeordnet werden. Ein Planungsleitfaden hätte keinen normativen Charakter.

3.4 Planungsthemen im Zusammenhang mit hybrider Lüftung

Der nachfolgende Abschnitt geht auf die wesentlichen Planungsthemen und möglichen Fehlerquellen ein, die im Kontext von hybriden Lüftungskonzepten auftreten. Da die Themen oftmals in Projekten identifizierte Problemstellungen widerspiegeln, drängt sich die Frage nach den Ursachen, bzw. den Abweichungen hybrider Lüftungssysteme zu rein mechanischen oder natürlichen Lüftungskonzepten auf. Nachfolgend ist eine Auflistung der festgestellten Ursachen mit jeweils zwei Beispielen für resultierende Planungsthemen gegeben.

Nachstehend die Ursachen für Problemstellungen nach Häufigkeit der zuordenbaren Planungsthemen im Projektbericht. Für die Zuordnung wurden die Planungsthemen aus dem Projektbericht thematisch in 20 Gruppen zusammengefasst. Die Zuordnung unten bezieht sich auf diese Gruppen.

1. Unterschiedliche (strenge) Anforderungen an natürliche Lüftung (NL) und mechanische Lüftung (ML), z. B. auch bei der Auslegung von Komponenten wie Fenster, Aussenbauteil-Luftdurchlass (ALD), Fensterlüfter (FL) und Filter. Die Fragestellung, wie hybride Lüftungssysteme (HLS) zukünftig ausgelegt und bewertet werden sollen, muss geklärt werden. Gelten immer die Anforderungen für das System, welches gerade in Betrieb ist? Gelten die Anforderungen für das Basissystem, welches häufiger in Betrieb ist? Gelten Mittelwerte, oder generell weniger strenge Anforderungen für HLS?

Zugeordnete Planungsthemen: 9 von 20

Beispiel 1.1: Die Beurteilung der Raumluftqualität bei variablen Konzentrationen und Luftraten (auch in verschiedenen Zeitmassstäben) ist schwierig, z. B. wegen Wechsel HLS – ML, oder NL [3], [4], [5].

Beispiel 1.2: Bei natürlicher Lüftung sind die resultierenden Luftraten durch Fensterlüftung oft zu niedrig (vorherrschende Differenzdrücke sind häufig zu klein), um den hygienisch erforderlichen Luftwechsel zu decken [6]. Auch können Markisen, Vorhänge etc. u.U. den Luftaustausch behindern [7], [8], [9].

2. Exponiertheit HLS gegenüber Aussenbedingungen. Durch den Anteil an NL und eventuell vorhandene ALD sind HLS unmittelbar an die äussere Umgebung, das Klima, die Luftbelastung und den Lärm angebunden.

Zugeordnete Planungsthemen: 7 von 20

Beispiel 2.1: Es treten Lärmstörungen durch die Öffnungen in der Fassade auf (ALD [10] und FL [11]). Die Anforderungen an die akustische Behaglichkeit von Nachströmöffnungen gegen aussen / innen müssen eingehalten werden.

Beispiel 2.2: Thermische Behaglichkeit Winter: Es treten Zugscheinungen in der Nähe von Nachströmöffnungen auf (ALD und FL); [11], [10], [12]. Thermische Behaglichkeit Sommer und Klimawandel: NL kann nicht immer einen ausreichende sommerliche thermische Behaglichkeit

gewährleisten [13], [14], [15], [16], da die verfügbare Zulufttemperatur höher ist, als die wünschenswerte Zulufttemperatur, und / oder die passive Kühlung durch Nachtlüftung zu wenig effektiv ist (zu kleinen Luftraten, Tropennächte).

3. Einfluss Nutzerverhalten. Dass NL planungsgemäss funktionieren, hängt häufig vom korrekten Nutzerverhalten ab.
Zugeordnete Planungsthemen: 5 von 20
Beispiel 3.1: Das Nutzerverhalten beim Fensteröffnen und -schliessen (im Zusammenhang mit ALD oder FL und einem zentralen Abluftventilator) zeigt, dass die Nutzer Fenster hauptsächlich nach Zeitzyklen öffnen und schliessen [17].
Beispiel 3.2: Nächtliche Auskühlung durch gekippte Bürofenster: Wenn manuell geöffnet, dann erfolgt die Öffnung meist vor Verlassen des Arbeitsplatzes (ab ca. 18 Uhr). Damit gelangt im Hochsommer noch sehr warme Luft in die Räume und verzögert die Auskühlung [18].
4. Zusammenspiel unterschiedlicher Gewerke mit Schnittstellen zur hybriden Lüftung. Hier ist eine Klärung der Zuständigkeiten erforderlich. Fehlerquellen entstehen durch fehlende Kommunikation und Widersprüche.
Zugeordnete Planungsthemen: 3 von 20
Beispiel 4.1: Die Angaben zur Lüftung (z. B. Zuluftelemente wie FL etc.) können, wenn sie in Fachplaner-Plänen eingezeichnet sind, im Planungsprozess und bei der Umsetzung verloren gehen.
Beispiel 4.2: Die Schnittstellen und Abhängigkeiten zwischen Sonnenschutz und Lüftungsfunktionen müssen im Regelkonzept klar festgelegt werden. Entsprechende Prioritäten und Reaktionen (z. B. Sperrung bzw. Funktionsumschaltung) sind festzulegen.
5. Zukünftige Berücksichtigung HLS in Energienachweisen. Derzeit sind HLS nicht standardmässig vorgesehen, was zu einer ungünstigen Bewertung in Energienachweisen führen kann.
Zugeordnete Planungsthemen: 3 von 20
Beispiel 5.1: In Rechenvorschriften zu den Energienachweisen wird den HLS nicht ausreichend Rechnung getragen (z. B. in Lösungen nach MuKE:2014).
Beispiel 5.2: Die Bewertung der Wärmerückgewinnung muss die verschiedenen Typen von HLS (alternativ, unterstützend) behandeln können.
6. Hohe Bedeutung Wartung und Unterhalt
Zugeordnete Planungsthemen: 2 von 20
Beispiel 6.1: Filter bei Abluftanlagen werden nicht immer regelmässig gewechselt [11]: Minderung der Zuluftvolumenströme durch Filterverschmutzung der ALD's um bis zu 60% (im Mittel 17% über 42 untersuchte Elemente) im Vergleich zu neuen Filtern [19].
Beispiel 6.2: Der bestimmungsgemässe Gebrauch von Lüftungskomponenten ist sicherzustellen (werden z. B. die Klappen von Rauch- und Wärmeabzugsanlagen zusätzlich für die Nachtlüftung verwendet, dann müssen sie für die deutlich höhere Anzahl von Öffnungen/Schliessungen geeignet sein).

Zusammenfassend ist festzuhalten, dass die Fragestellung der unterschiedlichen Anforderungen an NL und ML und welche Bewertung für HLS daraus resultiert, die häufigste Ursache von Problemstellungen darstellt. Knapp die Hälfte (45 %) der Planungsthemen können hier zugeordnet werden. Nachgeordnet als Ursachen zu nennen sind der grosse Einfluss der Exponiertheit gegenüber den Aussenbedingungen (35 % der Planungsthemen) und der Einfluss des Nutzerverhaltens (25 %).

3.5 Zusammenfassung Vorschläge Lösungsansätze

Im Projekt werden für die aus der Literatur identifizierten Planungsthemen und potenziellen Fehlerquellen Lösungsvorschläge erarbeitet. Entweder sind diese technischer oder organisatorischer Natur oder beinhalten Hinweise auf bestehende Normen oder zukünftige normative Ansätze. Bei den zukünftigen normativen Ansätzen ist die Bearbeitungsebene die Eingrenzung, bei welchem Thema in der Normung welche Anforderung festzulegen ist. Es werden keine Textvorschläge für die zukünftige Normung erstellt. In der nachfolgenden Tabelle 1 finden sich

Lösungsvorschläge für die in Kapitel 3.4 beschriebenen Planungsthemen und möglichen Fehlerquellen. Die Nummer verweist auf das Beispiel.

Bei einigen der gemachten Vorschläge für die zukünftige Normung bestehen Abhängigkeiten zu bereits existierenden Normen. Abstimmung bedarf es bei den Themen «Anforderungen an die Raumluftqualität» (z. B. SIA 382/1) und den «Anforderungen an den Energiebedarf» (z. B. SIA 380/1). Bei den Zu- und Abluftvolumenströmen für die natürliche Lüftung und die Nachtlüftung müssen vorhandene normative Berechnungsansätze (z. B. SIA 180:2014, SN EN 16798-7) und Ansätze aus der Literatur auf ihre Praxistauglichkeit hin überprüft werden. Speziell beim Punkt «thermische Behaglichkeit im Sommer» ist z. B. bei der (geplanten) Revision von SIA 180:2014 zu diskutieren, ob bei der Definition zukünftiger Komfortgrenzen Aspekte der Gesundheit oder der Energieeffizienz verstärkt zu berücksichtigen sind.

Tabelle 1: Normative und weitere Lösungsvorschläge für die in Kapitel 3.4 aufgeführten Planungsthemen. Die Lösungsvorschläge stellen eine Auswahl dar.
Verwendete Abkürzungen: NL = natürliche Lüftung, ML = Mechanische Lüftung, HLS = Hybrides Lüftungssystem, FL = Fensterlüfter, ALD = Aussenbauteil-Luftdurchlass, HK = Heizkörper, RLQ = Raumluftqualität.

Beispiel Nr. / Stichwort	Lösungsvorschlag: vorhandene Normen	Lösungsvorschlag: zukünftiger normativer Ansatz	Lösungsvorschlag: andere
1.1 / Beurteilung RLQ	SIA 382/1:2014 teilt die Raumluft in RAL Klassen auf. Es ist festzulegen, ob ohne besondere Vereinbarung auch für NL und HL Raumluftklasse RAL 3 gilt.	Methodenbeschrieb zur möglichen Beurteilung der RLQ bei variablen Luftraten und Behandlung von Grenzwert-überschreitungen in [5]. Allgemeiner in [20] und [21].	keine
1.2 / zu tiefe Luftraten durch Fensterlüftung bei NL	Für die Berechnung der NL stehen diverse Ansätze zur Verfügung: SIA 180:2014 und SIA 382/1:2014, SN EN 15665:2009, SN EN 13465:2004, SN EN 15242:2007, SN EN 16798-7:2017 und DIN 1946-6:2019.	Die Praxistauglichkeit und Eignung der normativen Verfahren zur Anwendung sind zu überprüfen und das tauglichste Verfahren auszusuchen.	a) Im Rahmen der Erstellung des Lüftungskonzeptes müssen die wesentlichen Betriebsfälle für den Luftaustausch innerhalb der Wohnung geklärt werden. b) Zuweisung Lüftungsaufgabe (z. B. Feuchteschutzlüftung) an Komponenten (z. B. FL)
2.1 / Lärmstörungen durch Öffnungen in der Fassade	Schallschutznachweis mit reduziertem Schalldämm-Mass (inkl. ALD und FL) nach SIA 181:2020	Definition maximale Lärmbelastung und minimales Schalldämm-Mass für den Einsatz von Nachströmöffnungen.	ALD und FL mit hohem Schalldämm-Mass (Vorsicht Problematik hoher Druckverlust)
2.2 / Winter: Luftzug nahe bei Nachströmöffnungen, Sommer: thermische Behaglichkeit	Winter: Präzisierung der Aufenthaltszone in SIA 180:2014 Kapitel 2.1.2.4: Abstand zur Fassade für verschiedene Fälle konkret festlegen. Sommer: In den SIA-Normen wird davon ausgegangen, dass die natürliche Lüftung bei Wohnbauten ausreicht.	Winter / Sommer: Klarstellung welche Komfortkriterien bei NL, ML resp. generell für HLS gelten. Sommer: ggf. auch Absenkung der zulässigen maximalen Raumtemperaturen [22].	Auswahl Massnahmen Winter: wandparalleles Ausblasen, Anordnung hinter oder über HK, Wärmeabgabe über HK (nicht Flächenheizungen) Sommer: Dimensionierung der FL/ Fenster etc. entsprechend der ggf. recht unterschiedlichen geforderten Luftmengen für a) RLQ und b) passive Kühlung durch Nachtlüftung.
3.1 / Nutzerverhalten beim Fensteröffnen und -schliessen	keine	Nutzungsvereinbarung (auf Bedeutung hinweisen und Punkte nennen, die projektspezifisch zu klären sind)	Modelle für Nutzerverhalten bezüglich Fensteröffnen (siehe z. B. [23] für Bürosituation; [24] für MFH)
3.2 / Nächtliche Auskühlung durch Bürofenster	keine	Nutzungsvereinbarung (auf Bedeutung hinweisen und Punkte nennen, die projektspezifisch zu klären sind)	Nachtlüftung durch spezifische Fensterlüftung, möglichst durch automatisierte Fenster oder Lüftungslügel [25].

Beispiel Nr. / Stichwort	Lösungsvorschlag: vorhandene Normen	Lösungsvorschlag: zukünftiger normativer Ansatz	Lösungsvorschlag: andere
4.1 / Angaben zur Lüftung in Fachplaner-Plänen	keine	Angaben zur Lüftung (z. B. Zuluftelemente) müssen in die Architektenpläne eingezeichnet werden. In der Submission müssen die Elemente dem entsprechenden Gewerk zugeordnet werden.	keine
4.2 / Schnittstelle Sonnenschutz und Lüftungsfunktionen	Anforderungen an die Schnittstelle zur Ansteuerung der Fensteröffnung und zugehörigen Sensoren / Aktoren werden z. B. in der Normenserie SN EN 50491 beschrieben.	Festlegung von empfohlenen (oder ggf. zulässigen) Regelkonzepten basierend auf EN 16798-1:2019	Es ist ein gewerkeübergreifender Regelbeschrieb erforderlich, der alle in die Regelung involvierten Elemente behandelt. Für die Inbetriebnahme muss darin für die wesentlichen Funktionen ein Vorgehen für Tests beschrieben werden.
5.1 / Berücksichtigung HLS in Energienachweisen	Mögliche Basis: Berechnung gemäss SIA 380/1:2016 Kapitel 3.5.5. (mit entsprechenden Ergänzungen).	Es ist ein klares und einfach durchzuführendes Verfahren für die fachgerechte Energiebedarfsberechnung der Lüftungsverluste von HLS in den Normen festzulegen	keine
5.2 / Die Bewertung Wärmerückgewinnung	Mögliche Basis: Berechnung gemäss SIA 380/1:2016 Kapitel 3.5.5. (mit entsprechenden Ergänzungen).	Es ist ein klares und einfach durchzuführendes Verfahren für die Bestimmung des anzuwendenden Wärmerückgewinnungsgrades der HLS in den Normen festzulegen.	Berechnung und Normierung typischer Fälle mit einigen wenigen (wesentlichen) variablen Parametern. Entwicklung eines vereinfachten Berechnungsverfahrens dafür.
6.1 /: Minderung Zuluftvolumenströme durch Filterverschmutzung der ALD's	SWKI VA104-01:2019, Teil 1: Diese Norm fokussiert auf ML und enthält keine spezifischen Ausführungen zu den Spezialitäten bei HL.	Wartung / Wechsel Filter bei ALD vorschreiben.	a) In der Anlagendokumentation ist das empfohlene Wartungsintervall der vorhandenen Filter klar auszuweisen. b) Optisches / akustisches Signal, wenn der höchste zulässige Druckverlust erreicht ist. [26]
6.2 / Bestimmungsgemässer Gebrauch	Richtlinien SWKI (SWKI BT104-01:2021) und prSWKI BT104-02 beziehen sich auf RLT Anlagen (nicht speziell HLS)	keine	In der Anlagendokumentation ist eine spezifisch auf das HLS zugeschnittene Instruktion zum Betrieb zum und Instandhaltung der Anlage erforderlich.

3.6 Zusammenfassung offene Forschungsfragen

Für viele Planungsthemen und Problemstellungen, die im Projektrahmen identifiziert werden, können allgemeine oder normative Lösungsansätze genannt werden. Einige Problemstellungen sind jedoch offene Forschungsfragen, auf die im Rahmen dieses Projektes keine abschliessende Antwort gegeben werden kann. Zur Beantwortung sind ggf. noch Hintergrundinformationen, Abklärungen oder die Validierung bestehender Ansätze notwendig. Diese offenen Fragestellungen können hinsichtlich ihrer Relevanz für die Erstellung einer Norm oder eines Planungsleitfadens priorisiert werden. Dabei wird unterschieden zwischen Fragen, die zu oder vor Beginn der Normenarbeit beantwortet werden müssen, und Fragen deren Klärung zu einem späteren Zeitpunkt während der Normenarbeit erfolgen kann. Die Unterscheidung ist eher qualitativ zu interpretieren. Die Klärung zu Beginn der Arbeit an der Norm / am Planungsleitfaden wird meist empfohlen, wenn der Inhalt auf den Charakter der Norm einen grossen Einfluss hat (z. B.: Komplexität, Strenge der Anforderungen).

Nachfolgend werden Fragen genannt, die zu einem frühen Zeitpunkt geklärt werden sollten.

- Welche Anforderungen gelten für die «Raumluftqualität», und die «thermische Behaglichkeit im Sommer und Winter» bei hybriden Lüftungssystemen (und damit auch bei natürlichen Lüftungssystemen)? Wie können diese überprüft werden?
- Sollen Fragen des Stack-Effektes und des Windes (Windklassierung und Gebäudeexposition) bei hybriden Lüftungssystemen zukünftig detaillierter berücksichtigt werden?
- Sind die existierenden normativen Berechnungsvorgaben und solche aus der Literatur für die Dimensionierung der NL praxistauglich?
- Wie ist mit den Unsicherheiten durch Klimaeinflüsse und Nutzereingriffe umzugehen?
- Wie können HLS beim Energienachweis berücksichtigt werden?
- Wie kann die Funktion von HLS bei der Abnahme geprüft werden?

4. Diskussion und Fazit

Dieser Beitrag stellt die Ergebnisse eines Forschungsprojektes zu hybriden Lüftungen als Kombination aus natürlicher und mechanischer Lüftung vor. In der Praxis sind hybride Lüftungen weit verbreitet. Bis jetzt fehlen in der Schweiz allerdings normativ fassbare Grundlagen für natürliche und hybride Lüftungen. Diese Lücke schliesst das Projekt, indem es die Basis für Planungsgrundlagen oder eine Norm zur hybriden Lüftung legt. Der Beitrag macht Angaben zur Begriffsdefinition «Hybride Lüftung» und stellt die in der Schweiz gängigsten hybriden Lüftungssysteme vor. Bei der systematischen Erfassung der Lüftungssysteme zeigt es sich, dass zwei Systeme im Wohnbau sehr häufig sind: a) manuelle Fensterlüftungen mit bedarfsgesteuerter Abluftanlage in Bad / WC und b) mechanische Lüftungen mit ergänzender natürlicher Lüftung für Intensiv- oder (saisonalen) Alternativbetrieb. Die Angabe zur Häufigkeit basiert allerdings nicht auf Erhebungen, sondern ist eine qualitative Einschätzung der Autoren. Insgesamt gibt es sehr viele Varianten der vorgestellten Systeme.

Die methodische Erfassung von Problemstellungen und Fehlerquellen zeigt, dass die unterschiedlichen Anforderungen an NL und ML und damit zusammenhängend die Auslegung und Bewertung der Lüftung eine häufige Problemursache sind. Für die Normarbeit resultieren zwei wesentliche Fragen: Wie können HLS und hier speziell der Anteil NL, zukünftig dimensioniert werden? Und wie können diese Systeme zukünftig bewertet werden? Bei beiden Themen kann zwischen vorschriftsbezogenen gegenüber leistungsbezogenen Ansätzen (prescriptive versus performance based), bzw. zwischen Einzel- und Systemanforderung unterschieden werden.

Für die Dimensionierung der NL gibt es Vorschläge aus vorhandenen Normen (siehe Tabelle 1, Beispiel Nr. 1.2). Hier ist abzuwägen zwischen dem Wunsch nach simplen Vorgaben oder einem einfachen Berechnungsansatz, die eine breite Anwendung ermöglichen, und möglichst genauen Prognosen zur erwarteten Leistung für eine Expertenanwendung. Es ist zu erwarten, dass die möglichen Berechnungsansätze gemäss SN EN 16798-7:2017 eher eine komplexe Berechnung erfordern. Eine Fallstudie [27] zum Berechnungsansatz gemäss SN EN 16798-7:2017 in Kopplung mit einem thermischen Modell (gem. EN ISO 52016-1) zeigt, dass die Berechnungen von natürlichen Luftströmungen mit Tabellenkalkulationsprogrammen (hier Excel) plausible Resultate bringen, bei einigen Fragen (z. B. Steuerung / Regelung) aber ein iterativer Berechnungsvorgang erforderlich ist. Dies setzt eine thermische Simulation voraus. Sollen zukünftig Angaben zur Berechnungssystematik gemacht werden, muss zwischen diesen beiden berechtigten Ansätzen «breite Anwendung» versus «Expertenanwendung» abgewogen werden.

Als Basis für die Bewertung von HLS, beispielweise im Rahmen der Abnahme, können Momentan- und Langzeitwerte dienen. Auf den ersten Blick scheint eine Langzeitauswertung allerdings sinnvoller. Dies liegt daran, dass HLS durch den Anteil an NL variierende Randbedingungen haben und so eine Auswertung von Momentanwerten nur begrenzt aussagekräftig ist. Eine Langzeitauswertung könnte z. B. bei der RLQ die Anzahl der Überschreitungen in einem vorgegeben Zeitraum beinhalten etc. Nachteilig an einer Langzeitbewertung ist der damit verbundene Aufwand zur Bereitstellung der Daten.

Da es speziell bei einfachen HLS zu erwarten ist, dass die Komponenten für die NL vom Nutzer manuell bedient werden, spielt das Nutzerverhalten eine massgebliche Rolle. Hier scheint den Autoren eine Nutzervereinbarung ein sehr sinnvolles Werkzeug zu sein. In einer Norm, bzw. einer Richtlinie kann auf die Bedeutung einer Nutzungsvereinbarung hingewiesen werden und es können Punkte genannt werden, die in einer Nutzervereinbarung projektspezifisch zu klären sind.

Der Beitrag zeigt, dass mit hybriden Lüftungen bei Wohn- und Bürobauten spezifische Lüftungsaufgaben abgedeckt werden. Die Frage «Ein guter Kompromiss?» kann damit beantwortet werden, dass diese Lüftungen dem Wunsch nach einem sparsamen Technikeinsatz entgegenkommen. Um z. B. Einschränkungen der thermischen Behaglichkeit zu vermeiden und eine korrekte Auslegung zu ermöglichen, bedarf es der sorgfältigen Planung. Die dargestellten Überlegungen mit den vielen zu klärenden und zu berücksichtigenden Themen unterstreichen den Bedarf für eine Norm oder einen Planungsleitfaden zur Unterstützung einer qualifizierten Auslegung und Ausführung von hybriden Lüftungssystemen.

Anhang Abkürzungen

ALD	=	Aussenbauteil-Luftdurchlass
FL	=	Fensterlüfter
HK	=	Heizkörper
HLS	=	Hybrides Lüftungssystem
LF	=	Lüftung zum Feuchteschutz
LG	=	Lüftung im Grundbetrieb
LI	=	Lüftung im Intensivbetrieb
LN	=	Lüftung im Normalbetrieb
ML	=	Mechanische Lüftung
NL	=	Natürliche Lüftung
RLQ	=	Raumluftqualität
RWA	=	Rauch-Wärmeabzug

Literatur

- [1] SIA 180:2014, *Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2014, pp. 1–72.
- [2] SIA 382/1:2014, *Lüftungs- und Klimaanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur und Architektenverein, 2014, pp. 1–82.
- [3] V. Dorer, A. Weber, and A. Pfeiffer, “AIVC TN 59 - Parameters for the design of demand controlled hybrid ventilation systems for residential buildings,” AIVC (Air infiltration and Ventilation Centre), Brussels, 2005.
- [4] V. Dorer and A. Weber, “Parameters for the performance assessment of hybrid ventilation systems - Performance criteria, target levels and design constraints,” 2005.
- [5] prEN 15665:2021-07-23, *Ventilation for buildings — Ventilation systems in residential buildings — Design (preliminary version)*. 2021, pp. 1–60.
- [6] C. Dimitroulopoulou, “Ventilation in European dwellings: A review,” *Build. Environ.*, vol. 47, pp. 109–125, 2012.
- [7] A. A. Argiriou, C. A. Balaras, and S. P. Lykoudis, “Single-sided ventilation of buildings through shaded large openings,” *Energy*, vol. 27, no. 2, pp. 93–115, 2002.
- [8] R. Sagelsdorff, P. Hartmann, and I. Pfiffner, “Luftwechsellmessungen in nicht klimatisierten

- Räumen unter dem Einfluss von Konstruktions-, Klima- und Benutzerparametern,” EMPA, Dübendorf, 1978.
- [9] O. Kah, S. Peper, W. Ebel, B. Kaufmann, W. Feist, and B. Zeno, “Untersuchung zum Aussenluftwechsel und zur Luftqualität in sanierten Wohnen mit konventioneller Fensterlüftung und mit kontrollierter Lüftung - Endbericht IEA SHC Task 37 Subtask C,” Passivhaus Institut, Darmstadt, 2010.
- [10] H. Huber, C. Stünzi, C. Sibold, and D.-S. Kunz, “ABLEG - Abluftanlagen in der energetischen Gebäudeerneuerung,” IEBAu, FHNW (im Auftrag des BFE), Muttenz, 2018.
- [11] C. Hoffmann, A. Geissler, C. Hauri, H. Huber, and A. Primas, “FENLEG: Fensterlüfter in der etappierten Gebäudesanierung - ist der Einsatz erfolgreich?,” Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2021.
- [12] V. Dorer and A. Pfeiffer, “Energieeffiziente und bedarfsgerechte Abluftsysteme mit Abwärmenutzung (ENABL), Schlussbericht,” Bundesamt für Energie BFE, Dübendorf, 2002.
- [13] P. Artmann, N. Manz, H. Heiselberg, “Passive Cooling of buildings by night-time ventilation,” Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2008.
- [14] N. Artmann, D. Gyalistras, H. Manz, and P. Heiselberg, “Impact of climate warming on passive night cooling potential,” *Build. Res. Inf.*, vol. 36, no. 2, pp. 111–128, 2008.
- [15] P. Heiselberg (ed.), “IEA-EBC Annex 62 Ventilative Cooling Design Guide,” Hybrid Ventilation Centre, Aalborg University, Aalborg, 2018.
- [16] P. O’Sullivan and A. O’Donovan, “IEA-EBC Annex 62 Ventilative Cooling Case Studies,” Aalborg University, Aalborg, 2018.
- [17] T. Osterhage and D. Cali, “Auswirkungen des Reboundeffekts bei der Sanierung von Bestandsgebäuden,” Bundesministerium für Wirtschaft und Energie, Berlin, 2016.
- [18] U. Eicker, P. Seeberger, H. Fischer, and J. Müller, “Evaluierung Passiv-Bürohaus Lamparter - Endbericht,” Bundesministerium für Wirtschaft und Arbeit, Berlin, 2005.
- [19] A. Primas, H. Huber, C. Hauri, and M. Näf, “Abluftanlagen und Einzelraumlüftungen im Vollzug Energie,” EnFK Regionalkonferenz Ostschweiz, Horw, 2018.
- [20] SNG CEN/TR 16798-2:2019, *Energy performance of buildings - Ventilation for buildings - Part 2: Interpretation of the requirements in EN 16798-1 - Indoor environmental input parameters for design and assessment of energy performance of buildings addressing indoor air quality [...]*. Schweiz: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, 2019, pp. 1–90.
- [21] P. Li *et al.*, “Improved long-term thermal comfort indices for continuous monitoring,” *Energy Build.*, vol. 224, p. 110270, 2020.
- [22] M. Koschenz, S. Domingo Irigoyen, M. Ragetti, C. Widmer, and M. Kafadar, “ResCool : Klimaanpassung von Neu-, Um- und bestehenden Wohnbauten – effiziente Kühlkonzepte,” Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2021.
- [23] J. C. Salcido, A. A. Raheem, and R. R. A. Issa, “From simulation to monitoring: Evaluating the potential of mixed-mode ventilation (MMV) systems for integrating natural ventilation in office buildings through a comprehensive literature review,” *Energy Build.*, vol. 127, pp. 1008–1018, 2016.
- [24] H. Cho, D. Cabrera, S. Sardy, R. Kilchherr, S. Yilmaz, and M. K. Patel, “Evaluation of performance of energy efficient hybrid ventilation system and analysis of occupants’ behavior to control windows,” *Build. Environ.*, vol. 188, no. November 2020, p. 107434, 2021.
- [25] N. Heijmans and P. Wouters, “Pilot study report: PROBE, Limelette, Belgium,” Belgian Building Research Institute, Brussels, 2002.
- [26] E. Heinz, T. Hartmann, and D. Borrmann, *Wohnungslüftung - frei und ventilatorgestützt. Anforderungen, Grundlagen, Massnahmen, Normenanwendung*, 4th ed. Berlin: Beuth

Verlag GmbH, 2021.

[27] G. Zweifel, "Case Study on EN 16798-7 for Natural Ventilation," EPB Center, Rotterdam, 2021.

Der Schlussbericht wird ab März 2023 unter www.aramis.admin.ch runterladbar sein. Suche mit: «HyLue»

Dank

Die Finanzierung des Projektes erfolgt über das Bundesamt für Energie (BFE, Vertragsnummer SI/502192-01).

22. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»

**Stromverbrauch der Gebäudetechnik:
ein Berechnungstool für Planer**

Fläche [m²]	Gerät	Referenz	Anzahl	Bezeichnung	Hersteller	Typenbezeichnung	URL zum Datenblatt	Datenblatt lokal	Stromarten der speisenden Ausgänge	Topologie (Speisung)	Klassierung	GA-Zugehörigkeit		
200	AM01	20	Jalousien-	Siemens	TXM1.8RB	https://www.downloads.siemens.com/...			Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Output	100.0%
	AM02	8	Triac-	Siemens	TXM1.8T	https://hit.sbt.siemens.com/RWD/ag...			Spannung	Sp01	Spannung	AS01	Aktor	100.0%
	Y03	8	Volumenst	Siemens	G.8181.1E	https://www.downloads.siemens.com/...			Spannung	Sp01	Bus	Strom	AS01	100.0%
	EVG-FL	79	EVG für	Tridonic	22185099	http://www.tridonic.ch/object/...			Spannung	Netzbezu	Bus	Strom	AS01	100.0%
	P01	8	Raumbedi	Siemens	DMX4.P33	https://hit.sbt.siemens.com/RWD/ag...			Spannung	Stro	AS01		100.0%	
	B01	16	Präsenz	Siemens	KW.Presenz	https://www...			Spannung	AS01	Spannung	AS01	Präsenz	100.0%
	M01	78	Stellmot	Siemens	4410.21N	https://www.storen.ch/sites/default/...			Spannung	AS01	Spannung	AS01	Stellantri	100.0%
	Y01	24	Heizventi	Siemens	SSA81	https://hit.sbt.siemens.com/RWD/ag...			Spannung	AS01	Spannung	AS01	Aktor	100.0%
	Y02	16	Kühlventi	Siemens	STA73	https://hit.sbt.siemens.com/RWD/ag...			Spannung	AS01	Spannung	AS01	Aktor	100.0%
	MS	0.1429	Speisung	Siemens	6EP3332-	https://mall.industry.siemens.com/n...			Spannung	Netzbezu	Speisung	24 VDC	Manage	100.0%
	FL	79	Leuchtste	Siemens	Simatic	https://w3.siemens.com/rms/pc-b...			Spannung	EVG-FL	Spannung	AS01	Leuchtmil	0.0%
	WP_BW	1	Wärmepu	Generisc					Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Wärmepu	0.0%
	WP_RH	1	Wärmepu	Generisc					Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Wärmepu	0.0%
	WP_RK	1	Wärmepu	Generisc					Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Wärmepu	0.0%
	Leuchtstofflampe	1	Lüftungs	Generisc					Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Lüftungs	0.0%
	Leuchtstofflampe	1	Lüftungs	Generisc					Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Lüftungs	0.0%
	AHU_K	1	Lüftungs	Generisc					Spannung	Netzbezu	Spannung	AS01	Lüftungs	0.0%

Philipp Kräuchi; Andrii Zakovorotnyi; Prof. Dr. Olivier Steiger
 Kontaktperson: Philipp Kräuchi

Zusammenfassung Résumé Abstract

Der Stromverbrauch der Gebäudeautomation (GA) hat einen relevanten Anteil am Gesamtstromverbrauch der Gebäudetechnik (GT). Das hier vorgestellte, neue Berechnungstool «StromGT» dient dem Planenden zur Analyse des GA- und GT-Stromverbrauchs. Mit wenig Aufwand erhält dieser bereits in den frühen Planungsphasen ein realitätsnahes, detailliertes Bild des Stromverbrauchs des geplanten GA- und GT-Systems. Durch Änderungen am System können Verbrauchs-Senkungen identifiziert werden.

The electricity consumption of building automation (BA) has a relevant share in the total electricity consumption of building technology (BT). The new calculation tool «StromGT» presented here helps the planner to analyse the BA and BT power consumption. With little effort, the planner receives a realistic, detailed picture of the power consumption of the planned BA and BT system already in the early planning phases. By making changes to the system, consumption reductions can be identified.

1. Ausgangslage

Die Hochschule Luzern hat sich seit dem Jahr 2013 im Rahmen von drei BFE-mitfinanzierten Projekten dem Thema *Stromverbrauch der Gebäudeautomation (GA)* zugewandt.

Im ersten Projekt *Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation* (2013 – 2017) wurde der GA-Stromverbrauch von mehreren konkreten, repräsentativen Bauprojekten untersucht ([1] - [5]). Dieser lag zwischen 6 % und 12 % des nach SIA 2024 quantifizierten Energieverbrauchs für die Heizung, Lüftung, Klimatisierung und Beleuchtung. Im Vergleich zu einem Minergie-P-Verwaltungsgebäude mit einem Gesamtverbrauch von 25 kWh/m², ohne Beleuchtung und inkl. Wassererwärmung, lag der Verbrauch zwischen 16 % und 36 %.

Im zweiten Projekt *Musterbeispiele von Gebäudeautomationssystemen mit geringem Stromverbrauch MuGA* (2017 – 2020) wurden weitere Bauten mit einer erweiterten Berechnungsmethodik untersucht. Dazu wurde ein entsprechender Tool-Prototyp entwickelt. Die Berechnungsergebnisse aus dem ersten Projekt konnten damit bestätigt werden. Im Tool wurden weiter die Rubriken *Gebäudeautomation (GA)* und *Nicht-Gebäudeautomation (nGA)* eingeführt. Damit kann grundsätzlich die gesamte Gebäudetechnik erfasst werden.

Im laufenden Projekt *StromGT* (2021 – 2023) wird der bestehende Prototyp zielgruppengerecht zu einem zweckbestimmten Tool für die Gebäudeautomations- und Gebäudetechnikplanenden weiterentwickelt. Das Tool wird als Excel-Tabelle mit Visual Basic-Makros umgesetzt. Es werden Sprachversionen in Deutsch, Französisch, Italienisch und optional in Englisch erstellt.

Die in den obengenannten Projekten verwendete Berechnungsmethodik erlaubt insbesondere die Speiseverluste realitätsnah zu quantifizieren. Dies wird erreicht, indem – von den Feldgeräten ausgehend – das gesamte Automationssystem durchschritten wird bis zum Netzanschluss.

2. Vorgehen (Funktionalität, Berechnungsmethodik, User-Interface, Programmierung)

2.1 Funktionalität

Entsprechend dem Tool-Namen *StromGT* (*GT* für Gebäudetechnik) wird der Stromverbrauch der gesamten Gebäudetechnik abgebildet. Die Kernfunktionalitäten des Tools sind folgende:

- Berechnung des Stromverbrauchs einzelner Geräte. Dies erlaubt ein Verbraucher-Ranking innerhalb des Gesamtsystems. So erkennt der Planer die relevantesten Verbraucher und kann diese gezielt optimieren;
- Zahlreiche Aggregationen: nach Gewerk, nach Geräteart, nach Kategorie GA/nGA¹, ohne / mit Speisung;
- Berechnung von Verbrauchs-Kennwerten pro Quadratmeter Stockwerksfläche. Diese können auch als Benchmark dienen zum Vergleich verschiedener Bauten;
- Tabellarische und graphische Darstellung der Ergebnisse. In der Grafik kann der Planende die Inhalte interaktiv auswählen;
- Baumdarstellung der Systemtopologie. Möglichkeit der Darstellung von Eingabe- und Verbrauchswerten innerhalb dieser Baumstruktur;
- Geräte-Datenbank zwecks minimalem Eingabeaufwand. Anmerkung: Das Befüllen der Datenbank ist nicht Bestandteil des Projekts *StromGT*;
- Flexibilität in der Anwendung: Via Konfigurationsblatt sind beispielsweise zusätzliche Gewerke einfach hinzufübar.

¹ GA: Gebäudeautomation; nGA: nicht Gebäudeautomation.

2.2 Berechnungsmethodik

Die Berechnungsmethodik wurde in den vorgängigen Publikationen [6] und [7] vorgestellt. Sie zeichnet sich aus durch folgende Eigenschaften:

- Einheitliches Verbrauchsmodell, unabhängig von der Geräteart
 - Hauptspeisung (zwingend) und optionale, zusätzliche Leistungsbezüge (z.B. via Bus-Anschluss)
 - Linearer, leistungsabhängiger Verbrauchsanteil bei der Hauptspeisung (→ Speisungsverluste)
 - Zwei Betriebsmoden: *aktiv* und *Standby*;
- Topologie der Stromflüsse;
- Speisungsverluste werden realitätsnah abgebildet (dank der Topologie und des Verbrauchsmodells).

Fürs Tool *StromGT* wurden kleine Vereinfachungen und Ergänzungen vorgenommen:

- Zeitanteile und Arten des Strombezugs: Nach wie vor werden ausschliesslich zwei Betriebszustände (*aktiv* und *Standby*) sowie zwei Strombezugs-Arten (*Hauptspeisung* und *Weitere Speisungen*) berücksichtigt. Früher gab es bei der Strombezugs-Art *Weitere Speisungen* für jeden Strombezug einen unabhängigen *Anteil-on*. Neu wird der für die Strombezugs-Art *Hauptspeisung* eingegebene *Anteil-on* auch für jeden weiteren Strombezug verwendet.
- Spezialwerte der Gewerkszugehörigkeit: Klassierungsdaten dienen der Aufschlüsselung des Verbrauchs nach diesen Klassen. Die Gewerkszugehörigkeit ist eine dieser Klassen. Ursprünglich wurden für die Gewerkszugehörigkeit ausschliesslich Prozentwerte verwendet. Im Projekt *MuGA* wurden neu die Spezialwerte *Standby*, *StandbyPlus* und *ImmerGA* hinzugefügt, im laufenden Projekt *StromGT* zusätzlich der Wert *Bandlast*.

2.3 Spezifikation des User-Interface

Entwicklungsziel für das Excel-Tool *StromGT* war in erster Linie die Optimierung und Erweiterung der Ein- und Ausgabefunktionalitäten des Excel-Tool-Prototyps (*MUGA-Tool*). Die wesentlichsten Elemente dazu waren:

- Benutzerführung während der Eingabe
- Automatische Datenergänzungen
- Spezifische Felder für die Beleuchtung
- Gerätedatenbank
- Interaktive Graphik (anstelle vieler Einzelgraphiken)
- Ausgaben in der Einheit nach Wahl (W, W/m², kWh, kWh/m²)

2.4 Programmierung

Die Kernfunktionalität des Tools *StromGT* ist in *Visual Basic for Applications (VBA)* implementiert.

Als Entwicklungsumgebung wurde GitHub gewählt. GitHub bietet Workflows für ein professionelles Change-Management. Allerdings unterstützt Excel kein Change-Management. Deshalb wird das Excel-Tool *StromGT* vollständig mittels VBA-Codes generiert durch ein zweites Excel-File, den Tool-Generator. Der Tool-Generator seinerseits verwendet VBA-Code in Form von Textfiles (.bas). Auf diese Textfiles wird ein klassisches Change-Management angewandt. Weiter greift der Tool-Generator auf zahlreiche Konfigurationsfiles zu, welche auch ins Change-Management integriert sind. Damit ist für das *StromGT-Tool* ein vollständiges Change-Management realisiert.

Der Tool-Generator wird nur intern genutzt, dem Planer wird ausschliesslich das generierte Tool *StromGT* zur Verfügung gestellt. Das generierte *StromGT-Tool* ist einsprachig. Mittels des Tool-Generators wird für die Sprachen Deutsch, Italienisch, Französisch und optional Englisch je eine entsprechende, einsprachige Version generiert. Die Übersetzungsinformation wird dem Generator in Textfiles zur Verfügung gestellt werden. Der Vorteil dieses Ansatzes ist, dass keine Sprachversionen auf Codierungs-Ebene zu pflegen sind. D.h. es reicht aus, eine Master-Version zu pflegen.

3. Berechnungstool

Das Tool *StromGT* umfasst mehrere Blätter. Diese sind von links nach rechts organisiert, entsprechend dem Nutzungs-Workflow: Infos zum Tool, Eingabe, Geräte-Datenbank, Ausgabe-Blätter, Konfiguration.

Nachfolgend wird der aktuelle Stand des Tools anhand eines Anwendungsbeispiels für ein Beschattungssystem aufgezeigt.

3.5 Dateneingabe

Alle Eingabedaten des gegebenen Anwendungsfalles befinden sich im Blatt *Eingaben* (Abbildung 1). Hier können entweder a) Geräte direkt eingeben werden oder b) aus dem Blatt *Datenbank_Geräte* (Abbildung 2) übernommen werden. Die Kombination aus direkter Eingabe und Übernahme aus der Geräte-Datenbank ist ebenfalls möglich. Alle Daten zu den übernommenen Geräten können in den Falldaten weiter angepasst werden.

Bei beiden Eingabearten wird der Nutzer vom Tool unterstützt:

- Benötigte Felder werden pinkfarbig hinterlegt. Die Farbhinterlegung ist dynamisch: Abhängigkeiten von anderen Feldern werden berücksichtigt, und nach Dateneingabe verschwindet die Farbhinterlegung.
- Wo möglich, werden Standardwerte automatisch vorausgefüllt. Beispielsweise werden abhängig von der Geräteart die Felder zur GA-Zugehörigkeit, die Gewerkszugehörigkeiten sowie der *Anteil-on* vorausgefüllt. Automatisch ergänzte Daten sind für den Nutzer anhand der verwendeten Kursivschrift erkenntlich.

Fläche [Quadratmeter]		50 Gerät										Topologie (Speisung)				Klassierung		
Undo	Reset	Referenz	Anzahl	Bezeichnung	Hersteller	Typenbezeichnung	URL zum Datenblatt	Datenblatt lokal	Stromarten der speisenden Ausgänge	Hauptspeisung	Gerät (el. Leistung ziehend von ...)	Weitere Speisungen	Stromart des Eingangs / der Eingänge	Gerät (el. Leistung ziehend von ...)	Hauptart	Unterart	GA-Zugehörigkeit	
Auswertung starten								Aktualisieren / Löschen		Stromart des Eingangs	Gerät (el. Leistung ziehend von ...)	Stromart des Eingangs / der Eingänge	Gerät (el. Leistung ziehend von ...)	Hauptart	Unterart	GA-Zugehörigkeit		
Geändert: 2022.09.01 13:54:53										24 VAC	230 DC	Netzbezug	-					
Berechnet: 2022.09.01 13:56:16										gBus; 29 VDC	230 VAC	Netzbezug	-					
Ein/ausblenden:		-> X	Sp24VAC-10W_gen_1	1	Speisegerät	generisch	xxx	xxx		24 VAC	230 DC	Netzbezug	-					
Alle Spalten		-> X	SPgBus_gen_1	1	Speisegerät	g	generisch	xxx		gBus; 29 VDC	230 VAC	Netzbezug	-					
Geräteinfo		-> X	S2_1	1	Wetterstation	Griesser	gEM-8	https://www.griesser.ch/de/produkte/steuernungen/zentr		24 VAC 24 VD	VD	Sp24VAC-10W_gen_1	gBus	SPgBus_gen_1	Sensor	Multisens	100%	
Topologie (Speisung)		-> X	M_Ctrl_1	1	Stoerenmotorst	Griesser	gMS-6	https://www.griesser.ch/de/produkte/ste		230 VAC	230 VAC	Netzbezug	gBus	SPgBus_gen_1	Aktor	Sonnens	ImmerGA	
Klassierung		-> X	M_1	6	Lamellenstore	generisch	M_gen			230 VAC	M_Ctrl_1	-	-					
Zeitangaben																		
Nominalbetriebspunkt																		
Interne Leistungsaufnahme																		
Beleuchtung																		
Legende																		
Kopfzeilen (Info)																		
Benötigte Werte																		
Autom. erg. Werte																		
Berechnete Werte																		

Fläche [Quadratmeter]		50 Gerät										Zeitangaben				Nominalbetriebspunkt				Interne Leistungsaufnahme				Beleuchtung			
Undo	Reset	Referenz	Gewerk				Komponente	Anteil-on	Nominalleistung (Output)	Wirkungsgrad bei Nominalleistung	Aktiver	Standby-	Von Hauptspeisung	Von weiteren Speisungen	Von Hauptspeisung	Von weiteren Speisungen	Leistungs-aufnahme	Lichtstrom (optional)	Lichtausbeute	Dimmlevel							
Auswertung starten			Heizung	Kühlung	Lüftung	Beleuchtung	Beschattung																				
Geändert: 2022.09.01 13:54:53																											
Berechnet: 2022.09.01 13:56:16																											
Ein/ausblenden:		-> X	Sp24VAC-10W_gen_1	20%	20%	20%	20%	20%	100.00%	10	80%	1	-	-	-	1	-	-	-	-							
Alle Spalten		-> X	SPgBus_gen_1	10%	10%	10%	10%	60%	100.00%	20	80%	1.4	-	-	-	1.4	-	-	-	-							
Geräteinfo		-> X	M_Ctrl_1	0%	0%	0%	0%	100%	0.30%			2.88	0.05	-	-	5	0.1	0.05	0.05								
Topologie (Speisung)		-> X	M_1	0%	0%	0%	0%	100%	0.30%			460	-	-	-	0	-	-	-								
Klassierung																											
Zeitangaben																											
Nominalbetriebspunkt																											
Interne Leistungsaufnahme																											
Beleuchtung																											

Abbildung 1: Blatt zur Eingabe der Falldaten (oben: nach links gescrollt; unten: nach rechts gescrollt)

	Anzahl	Über-nahmen	Über-nehmen	Gerät				Topologie (Speisung)				
				Referenz	Bezeichnung	Hersteller	Typenbezeichnung	URL zum Dat	Stromarten der speisenden Ausgänge	Hauptspeisung Stromart des Eingangs	Weitere Speisungen Stromart des Eingangs / der Eingänge	
Hersteller												
generisch	1			Sp-Null	Speisung-ohne-Verbrauch							
				FG-Null	Feldgerät-ohne-Verbrauch							
				Sp24VAC-10W_gen	Speisegerät	generisch	-	-	24 VAC	230 DC	-	
				Sp24VAC-30W_gen	Speisegerät	generisch	-	-	24 VAC	230 DC	-	
				Sp24V-10W_gen	Speisegerät	generisch	-	-	24 VAC 24 VDC	230 DC	-	
				Sp24VDC_Gr	Speisegerät 24 VDC	Griesser	SPE-24DC	https://www.g	24 VDC	230 VAC	-	
	1			SPgBus_gen	Speisegerät gBus	generisch	-	-	gBus; 29 VDC	230 VAC	-	
				S1	Kombisensor Wind, Helligkeit	Griesser	WH360	-	-	BO - Impuls	AO 2-24 VAC	
	1			S2	Wetterstation	Griesser	gEM-8	https://www.g	-	24 VAC 24 VDC	gBus	
				S3	Windsensor mit Heizung	Griesser	WSHE	https://www.g	BO - Impuls	24 VDC	24 VAC 24 VDC	
				S3	Windsensor ohne Heizung	Griesser	WS200	https://www.g	BO - Impuls	24 VDC	-	
	1			M_Ctrl	Stoernmotorsteuerung	Griesser	gMS-6	https://www.g	-	230 VAC	gBus	
				SP_gBus	Speisegeraet gBus	Griesser	gSP60	https://www.g	-	230 VAC	-	
Haupttyp	1			M	Lamellenstoren-Antrieb	generisch	M_gen	-	-	230 VAC	-	
Aktor				L1	LED Decken-Einbauleuchte (ohne Betriebsgerät)	Zumtobel	60818067 P-INF R150L LED1800-	-	-	andere VDC	-	
Betriebsgerät				EVG-LED	Betriebsgerät der LED Decken-Einbauleuchte	Zumtobel	28001407 DRV TR LCA 17W 700n	-	-	230 VAC	Dali	
Kontroller				L2	LED Decken-Einbauleuchte inkl. Betriebsgerät	Zumtobel	60818067 & 28001407	-	-	230 VAC	Dali	
Leuchte_inklBG				L3	LED Kompakt, ohne Berücksichtigung Dali	Zumtobel	Engine DLE AC G3 one4all PRE	-	-	230 VAC	-	
Leuchtmittel				L4	LED Kompakt, wie L3, mit Berücks. Dali	Zumtobel	Engine DLE AC G3 one4all PRE	-	-	230 VAC	Dali	
Sensor												
Untertyp												
-												
230 VAC												
24 VAC												
24 VDC												
Bus-Speisung												
EVG Dali												

	Anzahl	Über-nahmen	Über-nehmen	Gerät	Nominalbetriebspunkt		Interne Leistungsaufnahme				Beleuchtung		
					Referenz	Nominalleistung [W]	Wirkungsgrad bei Nominalleist. [%]	Aktiver Betrieb	Standby-Betrieb	Werte im ungedimmten Betrieb	Leistungsaufnahme [W]	Lichtstrom [lm]	Lichtausbeute [lm/W]
Hersteller													
generisch	1			Sp-Null			0						
				FG-Null	0s		0						
				Sp24VAC-10W_gen	10	0.8	1		1				
				Sp24VAC-30W_gen	25	0.8	1.2		1.2				

Abbildung 2: Gerätedatenbank-Blatt (oben: nach links gescrollt; unten: nach rechts gescrollt)

3.6 Ausgaben des Tools

Die Ausgaben des Tools erfolgen als Baum (Speisungs-Topologie), als Tabellen und in Form einer interaktiven Graphik. Vielfach ist dabei die gewünschte Einheit direkt im Ergebnisblatt wählbar. Zur Verfügung stehen W, W/m², kWh und kWh/m². Wattangaben sind dabei als Durchschnittsleistung übers Jahr zu verstehen, Angaben in kWh sind jährliche Energiemengen. Der Flächenbezug ist die im Eingabe-Blatt oben links eingegebene Quadratmeter-Zahl.

In der Speisungs-Topologie (Abbildung 3) sind Geräte, welche direkt vom Netz gespeisen werden, in der Spalte ganz links aufgeführt (Speisungsebene 1). Nach rechts folgen die tieferen Ebenen. Im Beispiel sind lediglich zwei Speisungsebenen vorhanden. Der Nutzer kann durch Ankreuzen Infos nach Wahl im Baum mitanzeigen.

Im Blatt *Zusammenfassung* (Abbildung 4) ist durch absteigende Sortierung in der entsprechenden Spalte sofort das Geräte-Ranking nach zum Beispiel dem Gesamt-Verbrauch oder dem GA-Verbrauch ersichtlich.

Die interaktive Graphik (Abbildung 5) erlaubt dem Planer durch Variation der Anzeige-Parameter die Ergebnisse interessensbasiert zu erkunden. Es sind dazu beliebige Kombinationen aus den in Tabelle 1 gezeigten Auswahlwerten zulässig.

Allg. Info		Speisungsbaum	
Einheit	W	*: Weitere Speisungen	Grün: ohne Verbrauch GA nGA
<input checked="" type="checkbox"/> Anzahl		Ebene 1	Ebene 2
<input type="checkbox"/> Input-Ø		Sp24VAC-10W_gen_1 (1 St.)	S2_1 (1 St.)
<input type="checkbox"/> Output-Ø		SPgBus_gen_1 (1 St.)	S2_1* (1 St.)
<input type="checkbox"/> Verbrauch-Ø		M_Ctrl_1* (1 St.)	M_Ctrl_1* (1 St.)
<input type="checkbox"/> Verbrauch-on-Ø			M_1 (6 St.)
<input type="checkbox"/> Verbrauch-off-Ø			
<input type="checkbox"/> Stromart			

Abbildung 3: Blatt Baum

Zusammenfassung				
Einheit	kWh/m ²			
Netzbezüge				
Gerät	Input (Durchschnitt) [kWh/m ²]	Auslastung [%]		
Sp24VAC-10W_gen_1	0.76	28.80		
SPgBus_gen_1	0.27	0.50		
M_Ctrl_1	1.46			
Total	2.48			
Totaler Geräteverbrauch				
Gerät	Verbrauch total [kWh/m ²]	Verbrauch total [%]	GA-Verbrauch [kWh/m ²]	Nicht GA-Verbrauch [kWh/m ²]
Sp24VAC-10W_gen_1	0.25	10.10	0.25	0.00
SPgBus_gen_1	0.25	10.00	0.25	0.00
S2_1	0.51	20.67	0.51	0.00
M_Ctrl_1	0.02	0.81	0.02	0.00
M_1	1.45	58.41	0.00	1.45
Total	2.48	100.00	1.03	1.45
Verbrauch pro Ebene				
Ebene	Verbrauch total [kWh/m ²]	GA-Verbrauch [kWh/m ²]	nGA-Verbrauch [kWh/m ²]	
Speisungen o. EVG	0.50	0.50	0.00	
Automation o. Sp.	0.00	0.00	0.00	
Feld o. Sp., m. EVG	1.98	0.53	1.45	
Gebäudemanagement o. Sp.	0.00	0.00	0.00	
Ausschliesslich ausserhalb GA	0.00	0.00	0.00	
Total	2.48	1.03	1.45	

Abbildung 4: Blatt Zusammenfassung Ergebnisse

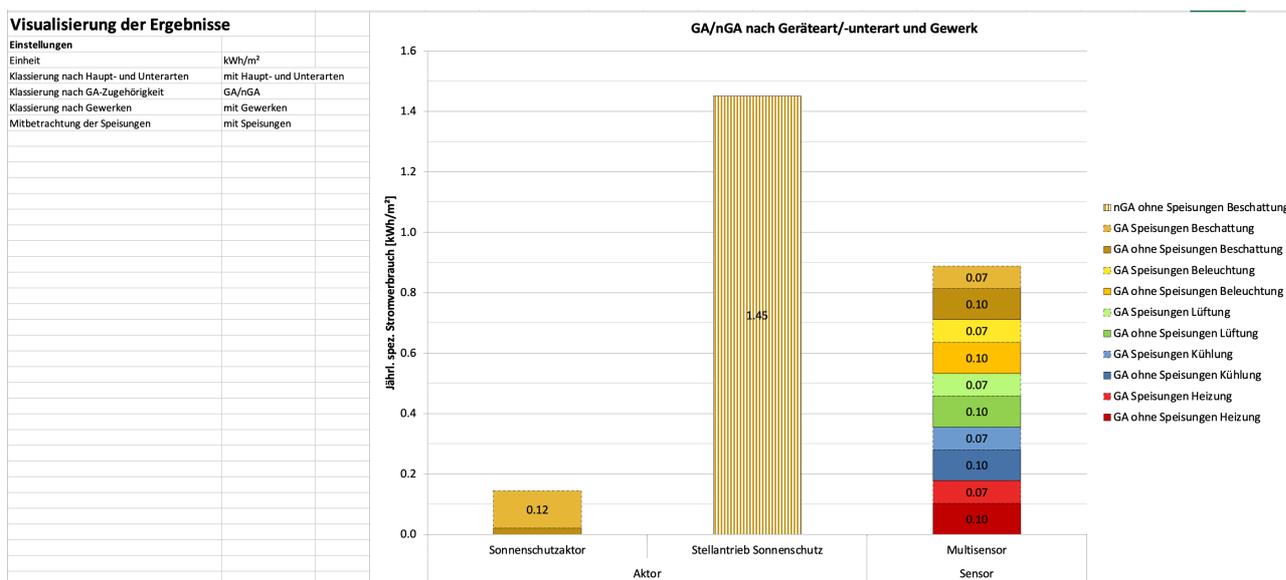


Abbildung 5: Blatt mit interaktiver Graphik

Einheit	W, W/m ² , kWh und kWh/m ²
Klassierung nach Haupt- und Unterarten	ohne Hauptarten, mit Hauptarten, mit Haupt und Unterarten
Klassierung nach GA-Zugehörigkeit	GT, nur GA, nur nGA [#] , GA/nGA [#]
Klassierung nach Gewerken	ohne Gewerke, mit Gewerken
Mitbetrachtung der Speisungen	Total, ohne Speisungen, nur Speisungen, mit Speisungen

Tabelle 1 Mögliche Werte der Anzeige-Parameter der interaktiven Graphik (#: nGA steht für «nicht GA» – jenen Teil der Gebäudetechnik, welcher im Tool nicht der Gebäudeautomation zugerechnet wird).

4. Zusammenfassung und Ausblick

Frühere Studien ([1] – [5], [8]) haben aufgezeigt, dass Gebäudeautomationssysteme bei gleicher Funktionalität mit bedeutend tieferem Stromverbrauch realisierbar sind. Den GA-Planern fehlte jedoch bislang ein Tool, um den Stromverbrauch von GA-Systemen zu berechnen und aufzuschlüsseln. Entsprechend gross war die Hürde für eine Minimierung des Stromverbrauchs. Nun wird zu diesem Zweck das Tool *StromGT* verfügbar gemacht (Fertigstellung geplant für das Jahr 2023).

Das Tool *StromGT* ermöglicht mit geringem Eingabeaufwand eine detaillierte und umfassende Berechnung des Stromverbrauchs der Automation für die Gewerke Heizung, Kühlung, Lüftung, Beleuchtung und Beschattung sowie für weitere elektrische Geräte (insbesondere aller Geräte zur Beleuchtung und Beschattung). Die Konfigurierbarkeit des Tools erlaubt zudem die Nutzung für weitere Gewerke wie beispielsweise Zutrittssysteme.

Vielfältig aufbereitete Ergebnisse sind im Tool verfügbar: auf Ebene Gerät, nach mehreren Attributen aggregiert sowie graphisch interessensbasiert erkundbar.

Der gewählte Software-Entwicklungsweg via Tool-Generator und die Code-Verwaltungs-Plattform *GitHub* erlauben

- die funktionale Konsistenz zwischen den Sprachversionen (Deutsch, Französisch, Italienisch und optional Englisch) sicherzustellen, sowie
- die zukünftige Pflege des Tools in technischer Hinsicht.

Lösungen für die Tool-Pflege sind noch zu bestimmen.

Auf der politischen Ebene sind aktuell Bestrebungen zu beobachten, die vermuten lassen, dass dem Stromverbrauch von Gebäudetechnik-Geräten und -Systemen zukünftig eine grössere Wichtigkeit beigemessen wird. Ein Indiz dazu ist beispielsweise der europäische Normentwurf zur Standardisierung der Testverfahren für Raumtemperatur-Sensoren (prEN 17690-1:2022). Dieser enthält auch Vorgaben zur Messung des Stromverbrauchs im typischen Betrieb.

5. Dank

Das Projekt *StromGT* wurde mitfinanziert durch das Bundesamt für Energie und folgende Unternehmen (in alphabetischer Reihenfolge):

- Belimo AG
- Danfoss AG
- F. Hoffmann-La Roche AG
- MG Power Engineering AG
- Sauter Building Control Schweiz AG
- Steiner AG
- Zug Estates AG

Literatur

- [1] P. Kräuchi, D. Jurt und C. Dahinden, «Projekt „Eigenenergieverbrauch der Gebäudeautomation“ (EEV-GA)». Ergebnisbericht», Bundesamt für Energie BFE, Bern, 2016, <https://www.bfe.admin.ch/bfe/de/home/news-und-medien/publikationen.html>
- [2] P. Kräuchi, C. Dahinden, D. Jurt, V. Wouters und U.-P. Menti, «Energiebedarf der Gebäudeautomation», brenet Status-Seminar, Zürich, 2016, <https://zenodo.org/record/2590938>.
- [3] P. Kräuchi, D. Jurt und C. Dahinden, «Energiebedarf nicht vernachlässigen», Haustech, pp. 40-42, 5 2016, <https://www.hslu.ch/de-ch/hochschule-luzern/forschung/projekte/detail/?pid=2197>.
- [4] W. Schmid, «Teils auffällig hoher Stromverbrauch», TGA Fachplaner, pp. 6-10, 11 2016, <http://service.gentnerverlag.de/download/pdf/tga/Hslu.pdf>.
- [5] P. Kräuchi, C. Dahinden, D. Jurt, V. Wouters, U.-P. Menti und O. Steiger, «Electricity consumption of building automation», Energy Procedia, pp. 295-300, 2017, <http://dx.doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.325>.
- [6] P. Kräuchi, O. Steiger, «Stromverbrauch der Gebäudeautomation: eine Berechnungsmethodik», brenet Status-Seminar, Zürich, 2018, <https://zenodo.org/record/2589957>.
- [7] P. Kräuchi, O. Steiger, «Electricity consumption of building automation: a calculation method», J. Phys: Conf. Ser. 1343 0121, 2019, <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1742-6596/1343/1/012125>.
- [8] P. Kräuchi, O. Steiger, «Stromverbrauch der Gebäudeautomation: eine Fallstudie», brenet Status-Seminar, Aarau, 2020, <https://zenodo.org/record/3900180>.

Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte

Alex Primas, Marie-Teres Moser, Andrii Zakovorotnyi

Hochschule Luzern Technik & Architektur, Institut für Gebäudetechnik und Energie

Kontaktperson: Alex Primas, Technikumstrasse 21, CH-6048 Horw,

alex.primas@hslu.ch, www.hslu.ch

Zusammenfassung

Abstract

Anlagenkonzepte als Verbundlüftung mit vereinfachter Luftführung sind interessant bei beschränkten Platzverhältnissen für Installationen in der Wohnung. Bei Konzepten mit Verbundlüftung, die keine aktiven Überströmer (Verbundlüfter) besitzen, ist der freie Querschnitt bei den Zimmertüren (Türöffnung) sehr wichtig für den Luftaustausch aus einem gemeinsamen Korridor bzw. Wohnbereich mit Zuluftversorgung.

Mithilfe von Messungen in Wohnungen und durch CFD-Simulationen werden verschiedene Szenarien analysiert, um die Lüftungswirksamkeit und den Grenzen der passiven Überströmung zu beurteilen.

Die Ergebnisse zeigen, dass bereits ab 10 cm Türöffnung der Luftaustausch zwischen Zimmer und Korridor ausreicht, um Spitzen in der Luftbelastung wirksam zu brechen. Es zeigt sich aber auch, dass die Bewohner v.A. nachts die Innentüren oft geschlossen halten und damit den erforderlichen Luftaustausch unterbinden. Ein passives Überströmelement im Türelement muss einen grossen freien Querschnitt ($> 0.1 \text{ m}^2$) sowohl in Boden- als auch Deckennähe aufweisen (je 50%), um einen befriedigenden Luftaustausch zu erreichen.

Ventilation concepts with supply air only in a common corridor or living area and an air distribution within the flat via air transfer elements are advantageous in case of limited availability of space for installations. If the air distribution within the flat only uses passive elements such as open interior doors, the free cross-section (door opening) is very important for the air exchange.

By means of measurements in dwellings and CFD-simulations the effectiveness of the air exchange is investigated and the possibilities and limits of concepts using passive air transfer elements are addressed.

Interior doors with an opening width (gap) of 10 cm or more, already show an effective air exchange between room and corridor and can break the peaks of the CO_2 concentrations inside the room. However, it is also evident that the occupants often keep the internal doors closed, especially at night, and thus prevent the necessary air exchange. To achieve a satisfactory air exchange a passive air transfer element must have a large free cross-section ($> 0.1 \text{ m}^2$) and openings near the floor and ceiling (50% each).

1. Ausgangslage und Ziel

1.1 Ausgangslage

Um eine Lüftungsanlage auch bei beschränkten Platzverhältnissen für Installationen wie z.B. bei Altbausanierungen ohne hohe Aufwendungen für die Installationen und den damit verbundenen Kosten realisieren zu können, werden Anlagenkonzepte mit vereinfachter Luftführung diskutiert und auch realisiert. Seit 2019 lässt Minergie bei Modernisierungen Lüftungskonzepte zu, bei welchen der Luftaustausch über offene Türen aus einem gemeinsamen Korridor bzw. Wohnbereich mit Zuluftversorgung erfolgt. Für diese passiven Verteilungskonzepte liegen derzeit keine Untersuchungen zur Funktion, deren Wirksamkeit und Grenzen vor. Kritisch sind dabei vor allem kleine und dicht belegte Räume, wie z.B. Schlafzimmer. Je weniger Luftvolumen pro Person zur Verfügung steht, umso kürzer wird das erforderliche Lüftungsintervall.

1.2 Ziel

Ziel der Arbeit ist die Aufarbeitung des Wissenstandes und die Analyse von Luftführungskonzepten mit minimiertem Aufwand für die Luftverteilung innerhalb der Wohnung. Neben der Auswertung der relevanten Literatur werden die offenen Fragen zur Wirksamkeit und Grenzen dieser vereinfachten Luftführungskonzepte mittels Simulationen und Messungen untersucht.

2. Vorgehen

Die Messungen zur Lüftungswirksamkeit (Indikator CO₂) erfolgen einerseits in zwei Wohnungen eines realisierten Objektes und andererseits in einer bewohnten Testwohnung, um verschiedene Varianten der passiven Überströmung zu untersuchen. Parallel dazu werden mit zwei CFD Simulationsmodellen verschiedene Szenarien analysiert, um Antworten bezüglich Lüftungswirksamkeit und den Grenzen der Konzepte zu finden. Zur Validierung der Simulationen sowie um weitere Einflussfaktoren zu ermitteln, werden Messungen in einer mit der Simulation vergleichbaren Laborumgebung (Musterwohnung «ROTEG» im Labor der TH Rosenheim) sowie der Testwohnung (reale Belegung, teilkontrollierte Messbedingungen) durchgeführt.

3. Resultate

3.3 Grundlagen

Konzept der Verbundlüftung

Bei der klassischen Verbundlüftung wird die Zuluft im offenen Bereich der Wohnung, an den die Zimmer angrenzen, zugeführt. Dieser Bereich umfasst in der Regel den Korridor und den Wohnbereich. Die gesamte Zuluft der Wohnung kann nur durch einen einzigen oder auch durch mehrere Zuluft-Durchlässe einströmen. In Bad, Dusche, WC und Küche wird die Abluft abgeführt. Abbildung 1 zeigt den Strömungsverlauf für ein Lüftungsverbund-Konzept schematisch.

Die Zimmer liegen im sogenannten Verbundbereich. Stehen die Türen offen, sorgt die natürliche Luftbewegung hier für ausreichende Umwälzung. Jedoch ist ein solches Lüftungssystem stark abhängig von den Lasten und der Durchlassdimension (Tür offen oder geschlossen). Auch die thermische Situation spielt eine tragende Rolle.

Gemäss SIA 382/5:2021 [2] müssen sogenannte Verbundlüfter oder aktive Überströmer eingesetzt werden. Sie sorgen bei geschlossenen Türen für den Luftaustausch zwischen Zuluftbereich und Verbundbereich. Das in diesem Projekt [1] untersuchte System unterscheidet sich nur insoweit von einer Verbundlüftung, dass keine aktiven Elemente verwendet werden, sondern von einem passiven Austausch der Luft über die Türöffnung ausgegangen wird. Die Antriebskraft dafür ist in erster Linie der thermische Antrieb, der zu einem Luftaustausch über das Türelement führt.

Da aus Gewohnheit, Lärmschutzgründen etc. die Schlafzimmertür nachts oft geschlossen wird, kann zu dieser Zeit weniger bis fast kein Austausch der Luft aus den anderen Räumen bei dem zuvor beschriebenen Verbund-System kommen. Daher stellt sich die Frage, ob ein ausreichender Luftaustausch für das entsprechende Zimmer über eine Öffnung in der Tür möglich ist, damit die CO₂-Konzentration über Nacht nicht zu sehr ansteigen kann.

Bei Elementen mit Lichtschutz oder Schalldämmung sind die Druckverluste hoch, was dem Ziel, eine akzeptable Luftqualität ohne aktives Element für den Luftaustausch über die Türe, entgegenwirkt. Um den Ansprüchen einer ausreichenden Frischluftzufuhr gerecht zu werden, müssten die erforderlichen freien Querschnitte entsprechend dimensioniert werden, was zu grossen Elementen führen würde.

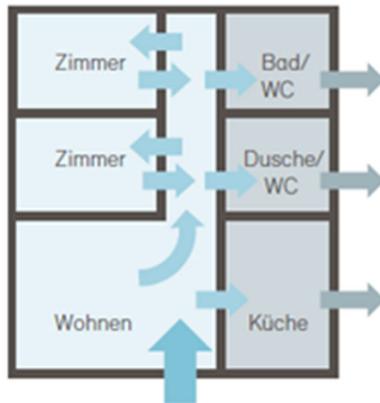


Abbildung 1: Lüftungsverbund-Konzept: Schematisches Beispiel für die Luftströmung

Bisherige Untersuchungen zur Luftströmung in Wohngebäuden

Aus der Literaturrecherche geht hervor, dass bei einer Kaskadenlüftung mit Zuluft einbringung im Schlafzimmer, die Durchmischung der Luft in Wohn- und Essbereichen selbst bei ungünstiger Raumanordnung ausreichend gewährleistet ist. Dies haben verschiedenen CFD-Simulationen, bzw. Messungen gezeigt [3]. Eine weitere Untersuchung von Systemen mit erweiterter Kaskadenlüftung ohne Zuluft im Wohnzimmer (Kaskade: Schlafzimmer-Wohnzimmer-Abluft) hat ergeben, dass beispielsweise die Öffnungen für Zu- und Abluftüberströmung nicht beide unten oder nicht auf gleicher Höhe realisiert werden sollten. Auch diese Ergebnisse sind mithilfe von Simulationen und Messungen entstanden [4]. Weitere Literatur, die Kaskadenlüftung mit Zuluft einbringung im Schlafzimmer vergleicht, führt zu ähnlichen Erkenntnissen [5], [6].

In einer Untersuchung von diversen Systemen mit vereinfachter Luftführung, unter anderem für Systeme mittels aktiver Überströmer, werden die wesentlichen Resultate zu den Anordnungen festgehalten, beispielsweise wie die Überströmer und Luftauslässe platziert werden müssen, damit keine Kurzschlussströmungen entstehen [7]. Auch gibt es Literatur zur messtechnischen Untersuchung eines Wohngebäudes (EFH) mit aktiven Überströmern. Die Raumluftqualität in den Räumen des Hauses entspricht den Empfehlungen der SIA Normen [8]. Vor- und Nachteile von aktiven Überströmern sind auch in [9] beschrieben.

Messungen in zwei natürlich belüfteten Wohnungen zeigen, dass, wenn die Luft zwischen den Räumen einer Wohnung gut zirkulieren soll, die Positionen der Innentüren einen relevanten Einfluss auf die Effizienz des Luftaustausches haben. Die Effizienz des Luftaustausches (lokale Luftwechselrate) im Schlafzimmer mit geschlossener Tür ist im Vergleich zur Messung mit offenen Türen um 43% niedriger. Bei offenen Schlafzimmertüren wird bezüglich der Lüftungseffizienz eine vergleichbare Situation wie bei einer Mischlüftung beobachtet [10].

Zu Systemen mit einem passiven Luftaustausch über geöffnete Türen (ohne aktive Überströmer), wie im Projekt zu untersuchen, konnten keine publizierten Untersuchungen gefunden werden. Gewisse Teilaspekte dieses Systems wurden im Projekt «Doppelnutzen» [4] untersucht. Aus zwei nicht publizierten Quellen sind Anhaltspunkte zum Verhalten des Luftaustausches bei verschiedenen Türöffnungsgraden ohne aktive Komponenten vorhanden.

3.4 Messungen in realisiertem Gebäude

Objekt und Messkonzept

Die Messungen wurden in zwei Wohnungen in einer Wohnsiedlung in Zürich durchgeführt. Diese Siedlung wurde 1970 bis 1973 gebaut und 2015 bis 2017 gesamterneuert. Im Lüftungskonzept dieser Siedlung weist eine zentrale Zuluftbringung im Flur auf. Die Verteilung in die einzelnen Zimmer erfolgt von dort rein thermisch bedingt, das heisst ohne aktive Überströmer, sondern über geöffnete Türen. In den Nasszellen und im Kochbereich wird die Abluft gefasst und über das Lüftungsgerät mit WRG abgeführt.

Gemessen werden die CO₂-Konzentration, die relative Feuchte, die Temperatur, der Differenzdruck gegen aussen in allen Schlafzimmern und im Wohnzimmer (3 Stück für 3.5 Zimmer-Wohnung; 4 Stück für 4.5 Zimmer Wohnung). Zusätzlich werden die Öffnungsgrade der Innentüren und Fenster nach aussen hin dokumentiert und die Aussenbedingungen gemessen. Abbildung 2 zeigt die Grundrisse der untersuchten Wohnungen schematisch.

3.5 Zi-Wohnung

4.5 Zi-Wohnung

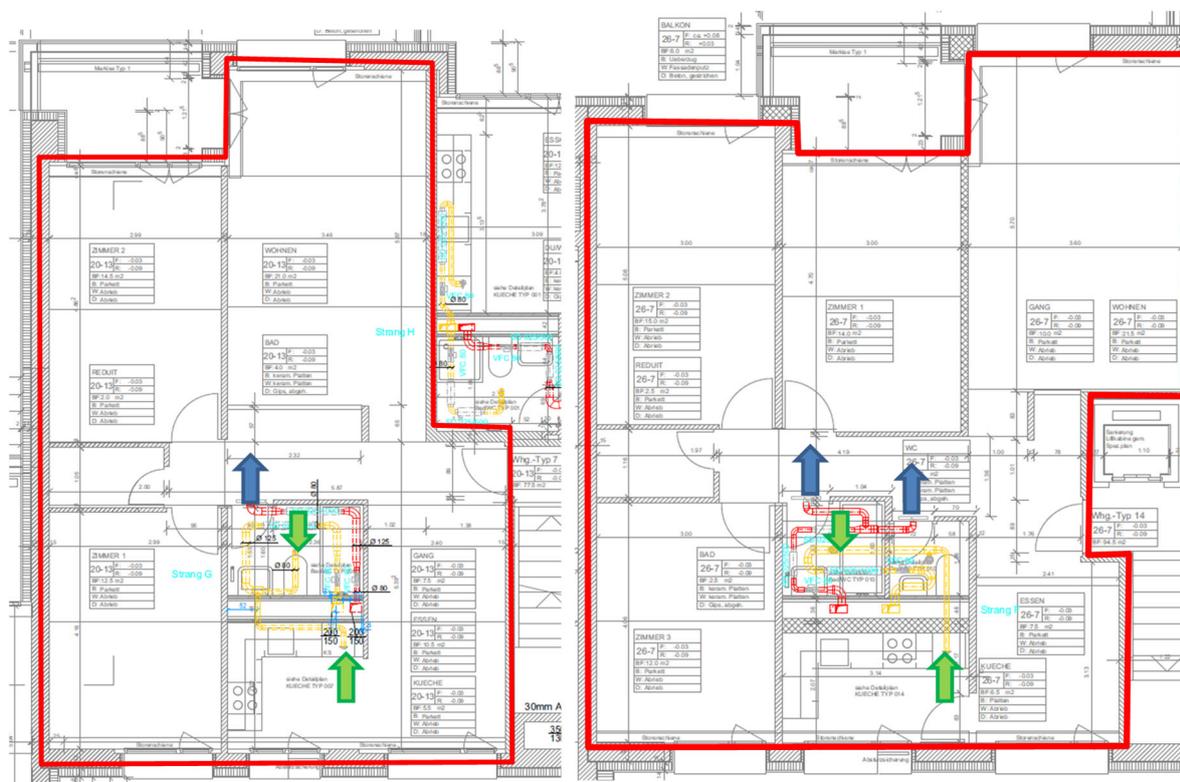


Abbildung 2: Planansatz typischer Grundrisse der 3.5 und 4.5-Zi WNG (Bildquelle: Amt für Hochbauten, 2017)

Messresultate und Erkenntnisse

In den untersuchten Wohnungen mit offenen Zimmertüren erfolgt ein rascher Ausgleich der CO₂-Konzentrationen aus den verschiedenen Räumen. Dies zeigt auch Abbildung 3 in der Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentrationen in den nachts belegten Zimmern der beiden untersuchten Wohnungen.

Die Messungen zeigen, dass die Bewohner insbesondere nachts die Innentüren oft geschlossen halten. Damit funktioniert der Luftaustausch über offene Türen nicht mehr. Dies ist aus der Auswertung in Abbildung 3 insbesondere für Wohnung 2 ersichtlich.

Die Messungen zeigen, dass bei längerer Belegung der Zimmer mit geschlossener Zimmertüre die CO₂-Konzentration stark ansteigt. Hierbei kommt es zu Werten über 5000 ppm in den Schlafräumen wie aus Abbildung 4 für Tag 1 (rote Messpunkte) zu sehen.

Der abweichende Verlauf in Abbildung 4 für Tag 2 (grüne Messpunkte) entsteht dadurch, dass die Türe einen Grossteil der Nacht leicht (ca. 10%) geöffnet war. Ein Austausch der Luft ist damit

möglich und kann die Konzentration reduzieren. Die Detailanalyse dieser Messung zeigt, dass nach der Nachtphase die Tür gegen sieben Uhr (bei 12 h Messzeit) geschlossen wird und daraufhin die CO₂-Konzentration wieder auf bis zu 4000 ppm ansteigt, bis dann um circa 9 Uhr morgens (bei 14 h Messzeit) Türen und Fenster geöffnet werden.

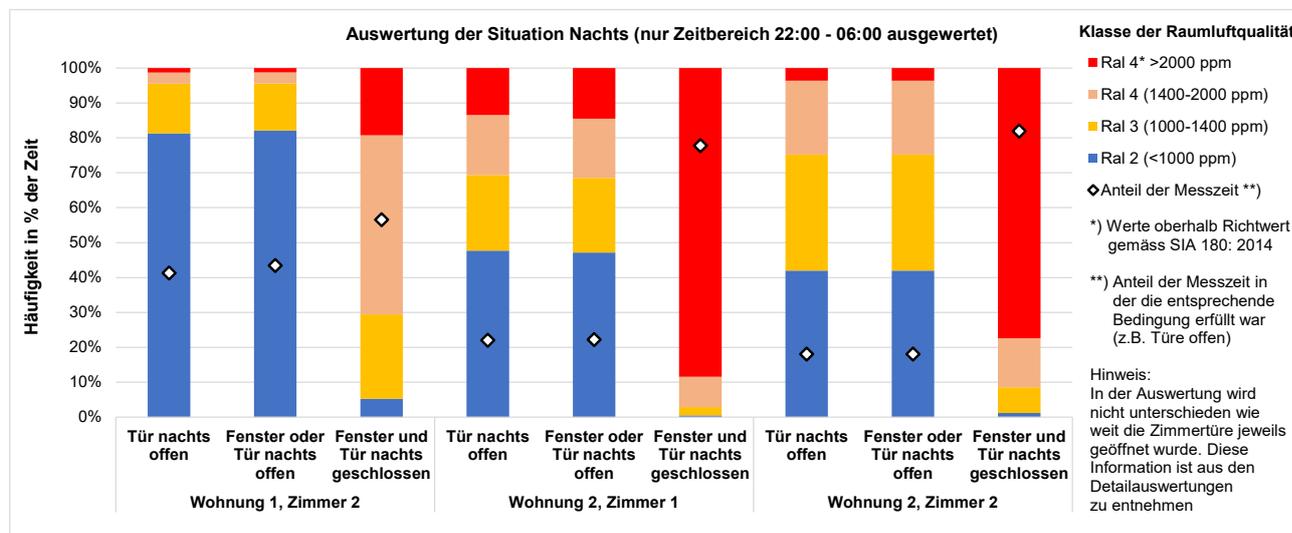


Abbildung 3: Häufigkeitsverteilung der CO₂-Konzentration in % der Messzeit; Auswertung verschiedener Fälle

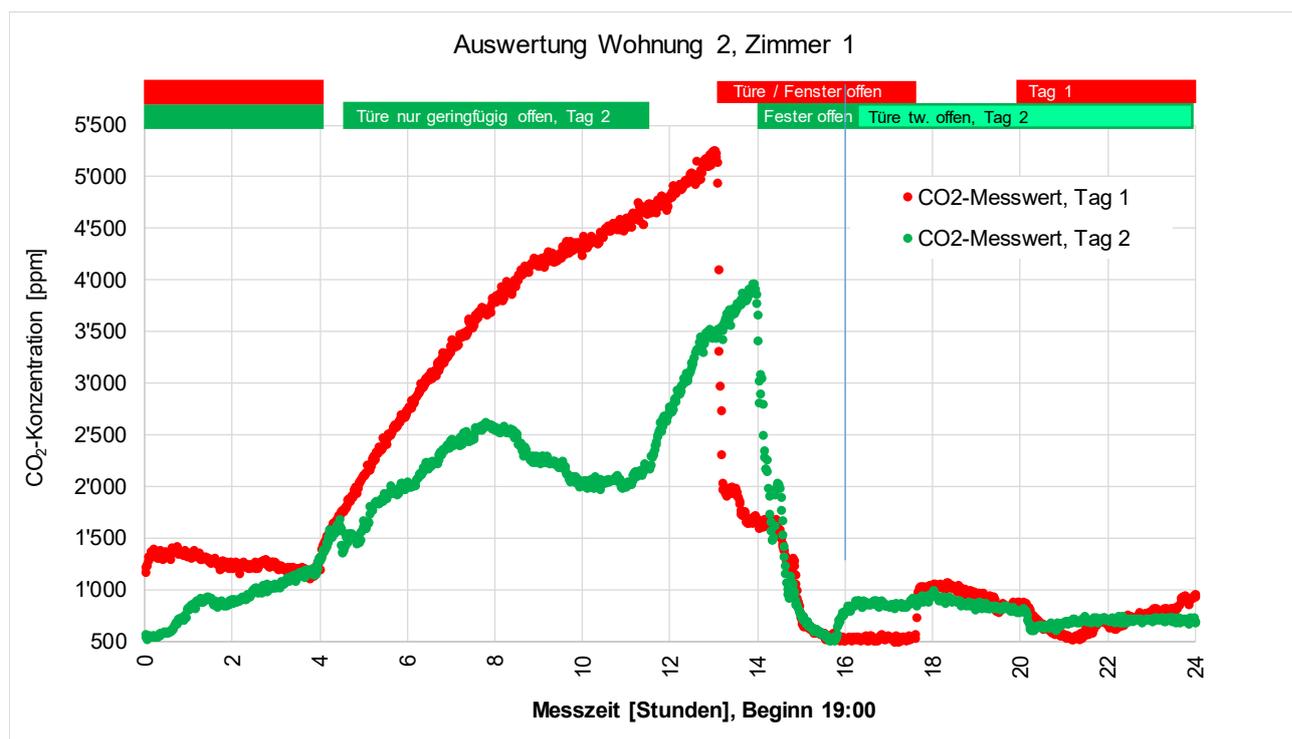


Abbildung 4: Zeitlicher Verlauf CO₂-Konzentration in Wohnung 2, Zimmer 1, Auswertung von 2 Tagen

Aus weiteren Messdaten [1] ist zu erkennen, dass bereits eine kurze Öffnungszeit der Tür eine starke Reduktion der hohen CO₂-Konzentration im Schlafzimmer bewirkt.

Generell gilt also, je häufiger die Tür in der Nacht geöffnet wird, desto besser ist die Luftqualität. Der Öffnungswinkel und die Öffnungszeit der Tür steht meist in direktem Zusammenhang mit der Luftqualität im Raum. Bereits bei wenig geöffneten Türen ist eine erhebliche Wirkung auf den Luftaustausch zu erkennen.

3.5 Messungen in Testwohnung

Objekt und Messkonzept

Um Anhaltspunkte für den erreichten Luftaustausch für verschiedene Türstellungen und Durchlassquerschnitte zu erhalten, werden in einer real bewohnten 2½ Zimmer-Wohnung Messungen durchgeführt, bei denen die Bedingungen relativ gut überwacht und protokolliert werden können.

Die Testwohnung ist mit einer kontrollierter Wohnungslüftung (Einzelwohnungsgerät) ausgerüstet. Der Grundriss der Testwohnung und die Standorte der Lufterinlässe und Abluftgitter sind aus Abbildung 5 ersichtlich.

Um vergleichbare Verhältnisse wie bei einem Lüftungskonzept mit passiver Überströmung zu erhalten, werden einzelne Luftdurchlässe luftdicht verschlossen, damit das Schlafzimmer nur über die Zuluft vom Wohnzimmer versorgt ist. Die Abluftauslässe in der offenen Küche werden ebenfalls verschlossen, um eine gewisse Durchströmung der Wohnung zu erzwingen.

Die folgenden Randbedingungen gelten bei den Messungen: Die Wohnung wird durch eine Person belegt und die Fenster werden innerhalb der einzelnen Auswerteperioden nicht geöffnet. Um eine An- oder Abwesenheit in der Wohnung und den Zimmern festzuhalten, wird ein Journal für die Datenauswertung geführt und Türstellung zum Schlafzimmer festgehalten. Aufgezeichnet werden CO₂-Konzentration, Raumtemperatur und Raumfeuchte an drei bis fünf verschiedenen Standorten in der Wohnung. Die Lüftungsanlage wird mit konstanter Lüftungsstufe («Stufe 1» bzw. «Stufe 2») betrieben. Die Luftmengen werden zu Beginn der Aufzeichnung erfasst und dokumentiert. Zudem werden die Aussenbedingungen aufgezeichnet.

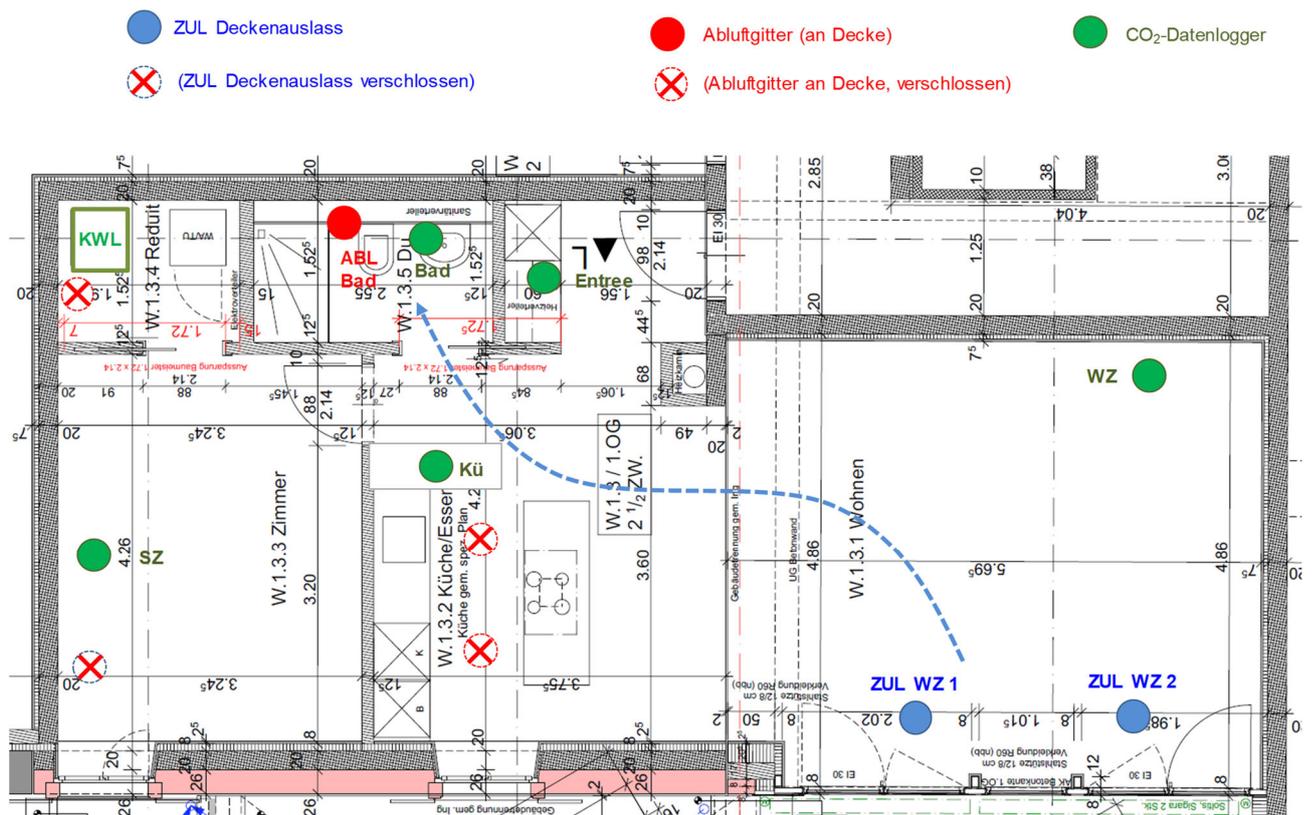


Abbildung 5: Messaufbau in Testwohnung ohne Zuluft im Schlafzimmer (System mit KWL-Gerät je Wohnung)

Resultate zum Einfluss der Türöffnung

Abbildung 6 zeigt den zeitlichen Verlauf CO₂-Konzentration im Schlafzimmer bei verschiedenen Öffnungsweiten der Schlafzimmertüre. Die Messungen in Abbildung 6 werden mit Lüftungsstufe 2 (Zuluftvolumenstrom im Wohnzimmer 65 m³/h, Abluft nur im Bad) durchgeführt. Die Messdaten beinhalten jeweils die Nachtzeitspanne, in der das Schlafzimmer konstant belegt ist und die Schlafzimmertür auf eine bestimmte Öffnungsweite eingestellt ist (geschlossen, 5 cm, 10 cm, 20 cm, ganz offen).

Bei offener Tür stellt sich bei beiden Messsituationen eine vergleichbare CO₂-Konzentration ein. Bei geschlossener Schlafzimmertüre steigt die CO₂-Konzentration sehr stark an (Maximalwert über 4400 ppm). Bei den Messungen mit Türstellung von 5 cm und 10 cm zeigen sich erhöhte CO₂-Konzentrationen. Bei der Messung mit 10 cm Türspalt liegen die CO₂-Konzentrationen in der gesamten Nacht jedoch unter 1400 ppm.

Aus den Messungen zeigt sich bei Türöffnungsweiten über 10 cm bereits eine gute Wirkung vom passiven Luftaustausch zwischen dem Schlafzimmer ohne Zuluft und dem Korridorbereich. Bereits bei einer Türspaltweite von 20 cm werden nur noch leicht erhöhte CO₂-Konzentrationen im Schlafzimmer gemessen.

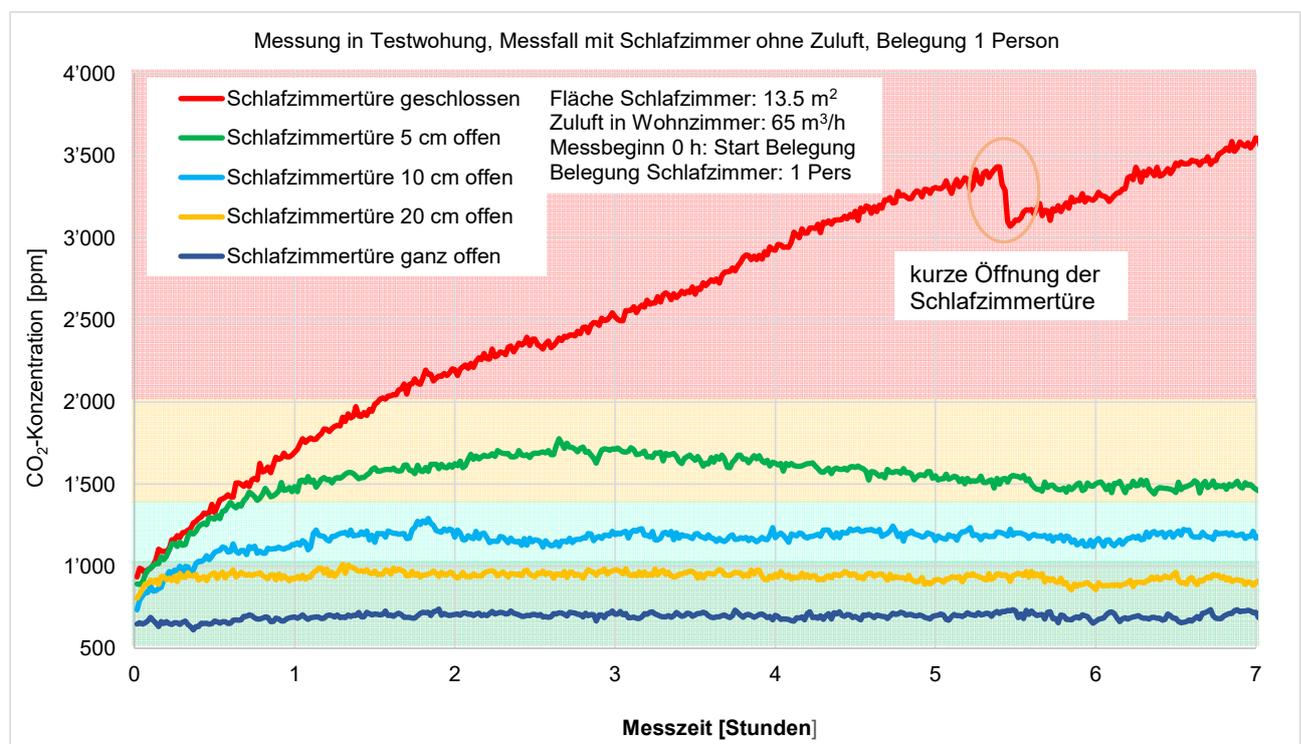


Abbildung 6: Zeitlicher Verlauf CO₂-Konzentration im Schlafzimmer, Vergleich verschiedener Türöffnungsweiten

Resultate zum Einfluss des freien Querschnittes des Überströmelementes

Um den Einfluss des freien Querschnittes eines passiven Überströmelementes zu untersuchen, wird in den Türrahmen ein flexibles Element als Türersatz eingebaut. Damit lassen sich verschiedene Varianten von Überströmquerschnitten untersuchen. Abbildung 7 zeigt dieses Element und einige Varianten der untersuchten Querschnitte.

Im Weiteren wird eine Variante eines Überströmelementes untersucht, das einen möglichst guten passiven Luftaustausch aufweist, bei gleichzeitiger Gewährleistung einer gewissen Schalldämmung sowie möglichst ohne direkten Lichtdurchlass. Aus Abklärungen zu geeigneten (in ähnlicher Art) bereits am Markt erhältlichen Elementen wird ein einfach aufgebauter Elementtyp, wie in Abbildung 8 dargestellt, messtechnisch untersucht. Um für einen Luftaustausch mit konvektivem Antrieb möglichst geeignete Öffnungen zu erhalten, wird je ein Element am oberen bzw. unteren Rand der Tür angeordnet.

Basiselement
(als Türersatz)
Möglichkeit zur
Prüfung div.
Querschnitte/
Elemente
«Türspalt» unten 1 [cm]

Freier Querschnitt
(oben/unten)
Je 800x200 [mm]

Einfaches Gitter
(nicht lichtdicht)
Oben und unten

Einfaches Gitter
(nicht lichtdicht)
vertikal



Abbildung 7: Element für Türersatz. Aufbau verschiedener Varianten von Überströmquerschnitten

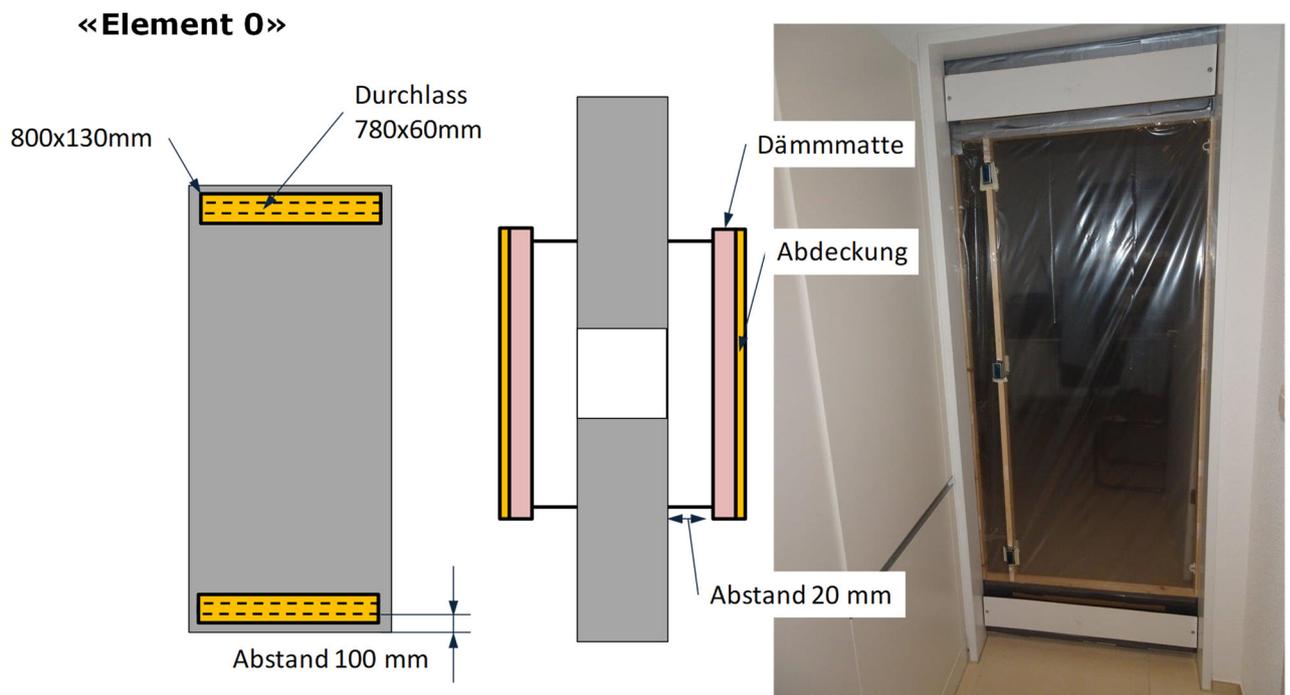


Abbildung 8: Aufbau des Überströmelementes «Element 0» für die Messungen in der Testwohnung

Abbildung 9 zeigt den zeitlichen Verlauf CO_2 -Konzentration im Schlafzimmer bei verschiedenen Querschnittsvarianten des Überströmelementes. Die Messungen werden mit Lüftungsstufe 1 (Zuluftvolumenstrom im Wohnzimmer $46 \text{ m}^3/\text{h}$, Abluft nur im Bad) durchgeführt. Die Messdaten beinhalten jeweils die Nachtzeitspanne, in der das Schlafzimmer konstant belegt ist. Die Resultate der folgenden Querschnittsvarianten sind in Abbildung 9 dargestellt:

- A: Element mit freiem Querschnitt nur oben ($A = 0.165 \text{ m}^2$)
- B: Element mit freiem Querschnitt nur unten; ($A = 0.165 \text{ m}^2$)
- C: Element mit freiem Querschnitt 50% oben und 50% unten; ($A_{\text{tot}} = 0.165 \text{ m}^2$)
- D: Überströmelement "Element 0" gemäss Abbildung 8 ($A_{\text{tot}} = 0.098 \text{ m}^2$, Abstand $a = 20\text{mm}$)

Detaillierte Messdaten und Resultate weiterer Querschnittsvarianten sind aus dem Schlussbericht des Projektes [1] zu entnehmen.

Wie der Verlauf der Varianten mit vergleichbaren freien Querschnitten (Fall A, B und C) zeigt, ist die Wirkung auf den Luftaustausch mit identischen Querschnitten oben und unten an der Türe am günstigsten. Bei der Variante A mit Anordnung des freien Querschnittes nur oben an der Türe scheint sich durch den Türspalt unten am Element ein leicht höherer Luftwechsel einzustellen als in der Variante B, in der der Querschnitt nur unten angeordnet ist.

Die Resultate für das Überströmelement "Element 0" (D) zeigen trotz des deutlich geringeren freien Querschnittes ein vergleichbares Verhalten wie Variante A mit freiem Querschnitt nur oben an der Türe. Der freie Querschnitt von "Element 0" ist aufgrund der für den Licht- und Schallschutz notwendigen Abschirmung der Öffnung etwa 40% kleiner.

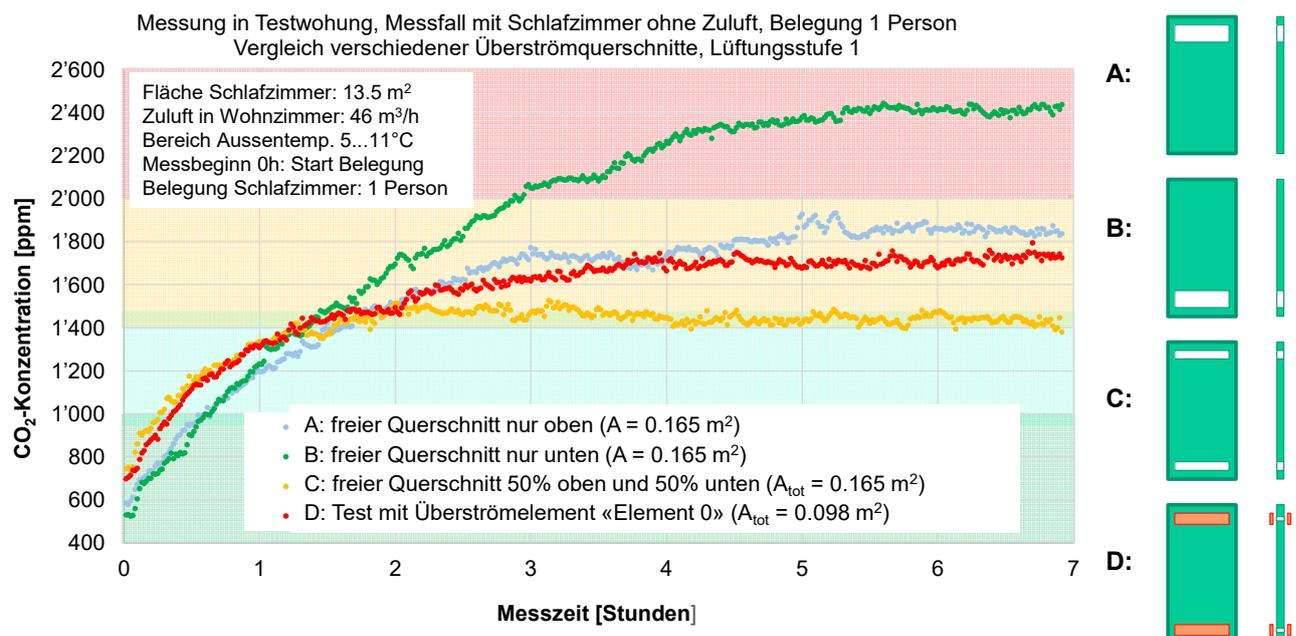


Abbildung 9: Zeitlicher Verlauf der CO_2 -Konzentration im Schlafzimmer, Vergleich verschiedener Überströmquerschnitte

Aus den parallel zu den Messungen durchgeführten CFD-Simulationen zeigt sich das Verhalten der Luftströmung und die Verteilung der CO_2 -Konzentration im Raum. Wie aus dem Querschnitt durch das Türelement («Element 0») in Abbildung 10 ersichtlich ist, strömt die frische Luft im unteren Element ins Schlafzimmer ein und die verbrauchte Luft verlässt das Zimmer über das obere Element. Aus der Analyse der Druckdifferenzen zeigt sich, dass die Differenzdrücke, welche für den Luftaustausch sorgen, sehr klein sind. Aus dieser Analyse wird vermutet, dass mit der Vergrößerung des Abstandes der Abdeckungen der Druckverlust wesentlich verringert werden kann und damit sich der Luftaustausch noch erhöht. Dies konnte jedoch im Rahmen des Projektes nicht im Detail untersucht werden. Weitere Details zu den Analysen mithilfe von CFD-Simulationen sind im Schlussbericht des Projektes [1] zu finden.

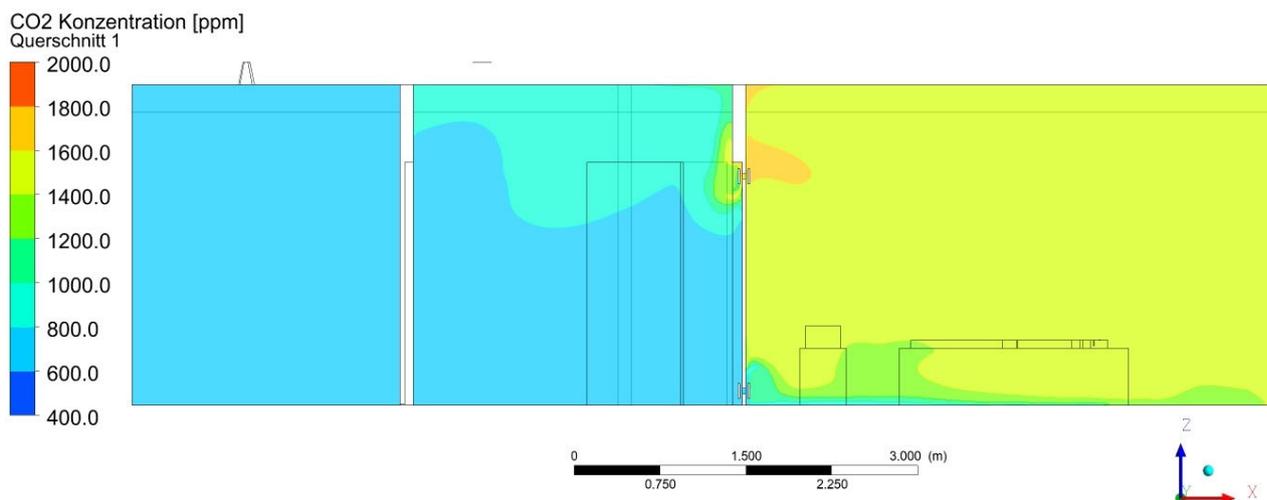
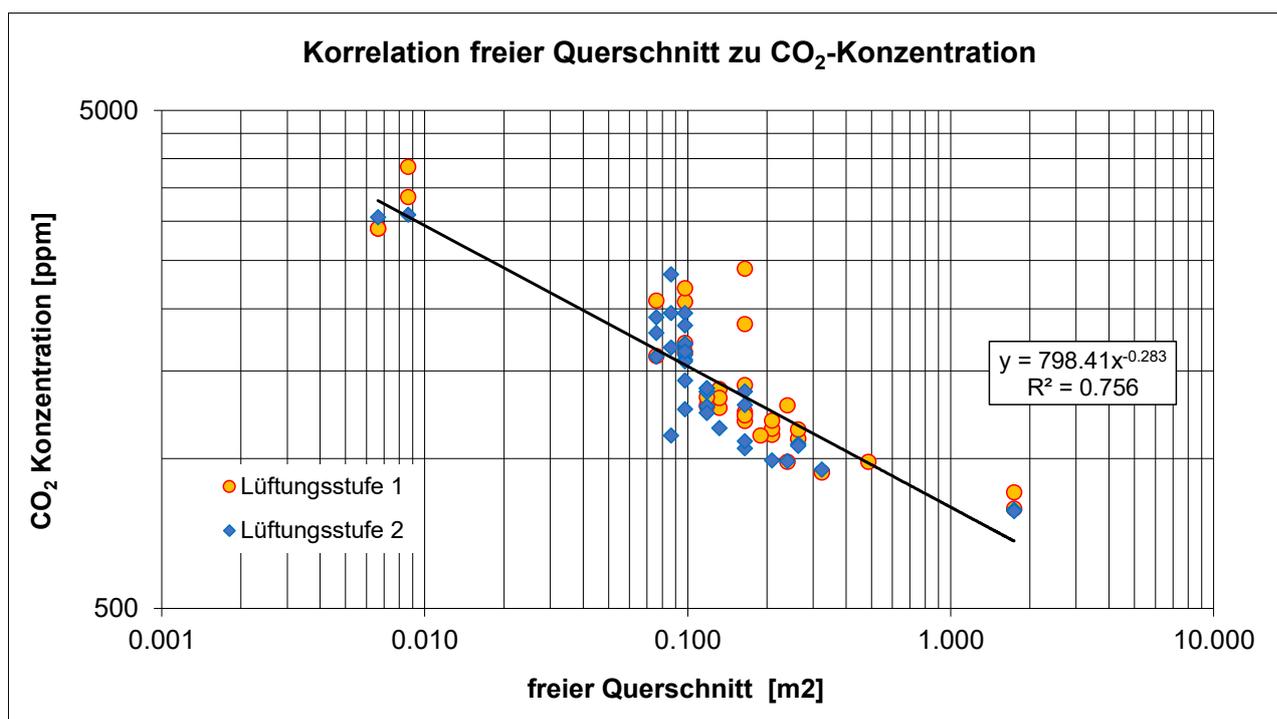


Abbildung 10: Querschnitt durch das Türelement «Element 0» (Szenario 5.3), Darstellung der CO₂-Konzentration

Wie die zusammenfassende Auswertung in Abbildung 11 zeigt, sind vergleichsweise grosse freie Querschnitte notwendig, um eine akzeptable Luftqualität mit passiver Überströmung zu erreichen. Für diese Auswertung wird jeweils die mittlere CO₂-Konzentration im Schlafzimmer in den letzten zwei Nachtstunden ausgewertet.



Bemerkung: Auswertung ohne Unterscheidung der Varianten bezüglich der Geometrie des freien Querschnittes, den Aussentemperaturen, und anderen Einflussfaktoren (Raumtemperatur, Startkonzentration, etc.) Raumbellegung im gemessenen Schlafzimmer. 1 Person. Vergleich des Mittelwerts der letzten 2 Nachtstunden

Abbildung 11: CO₂-Konzentration im Schlafzimmer (Wert gegen Nachtende), bei verschiedenen freien Querschnitten

Um bei geschlossenen Türen mit einem passiven Überströmelement einen befriedigenden Luftaustausch zu erreichen, sind grosse Elementquerschnitte (freier Querschnitt ca. 0.1 m² oder mehr), eine Anordnung in Boden und Deckennähe (je 50% der freien Fläche) und sehr geringe Druckverluste über das Element (im Bereich von 0.1 Pa) erforderlich.

Messungen und Simulationen mit einem Element, vergleichbar wie es am Markt verfügbar ist, zeigen, dass damit die hohen Spitzen der CO₂-Konzentration im Schlafzimmer (oft deutlich über

2000 ppm) am frühen Morgen (bei geschlossenen Fenstern) durch den Luftaustausch zwischen Zimmer und Korridor gebrochen werden können.

Aus den Messungen zeigt sich aber auch, dass die Wirkung stark von den Umgebungsbedingungen abhängig ist und insbesondere bei höheren Aussentemperaturen schlechter funktioniert. Dies ist auf die in diesem Fall geringeren Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen zurückzuführen, die als Antrieb für den Luftaustausch wirken.

4. Diskussion

Aus den Untersuchungen zeigt sich, dass eine rein passive Überströmung in Wohnungen, welche über eine Wohnungslüftung verfügen, aber die Zuluft nur im Korridorbereich eingeblasen wird (Abzug der Abluft im Bad und Küche), verschiedene Hindernisse aufweist. In der Praxis wollen viele Bewohner gerade nachts die Zimmertüren schliessen. Damit kommt in diesen Fällen eine vergleichbare Situation wie in einem Schlafzimmer mit reiner Fensterlüftung zustande (hohe CO₂ Konzentrationen und dadurch hygienisch bedenkliche Raumlufthqualität oder Wärme- / Behaglichkeitsverlust bei offenen Fenstern). Die Analysen zeigten aber auch, dass bereits eine geringe Öffnung im Türbereich eine erhebliche Wirkung haben kann.

Damit jedoch ein passives Element sinnvoll eingesetzt werden kann, muss es zum einen genügenden Lichtschutz haben und sollte zum anderen eine gewisse Schalldämmung ermöglichen. In der Untersuchung wurde eine Elementkonstruktion gefunden, welche diese Anforderungen erfüllen könnte und auch in den Messungen einen Luftwechsel ermöglicht, der den Anstieg der CO₂ Konzentration in einem Schlafzimmer bei geschlossenen Türen in Grenzen hält.

Es ist jedoch zu erwarten, dass damit nur bei gering belegten Zimmern die CO₂-Konzentration in der Nacht (bei geschlossenem Fenster und Zimmertüre) wesentlich unter 2000 ppm gehalten werden kann. Da das System nur über die thermische Druckdifferenz funktioniert, weist es eine deutliche Abhängigkeit von den Aussenbedingungen auf. Wie die Messresultate andeuten, dürfte die Funktion im Winterfall daher besser sein, was dem Anspruch entgegenkommt, im Winter möglichst nicht über die Fenster lüften zu müssen.

Systembedingt hat ein passives Element dabei wesentliche Einschränkungen gegenüber einem aktiven Überströmer. Diese liegen vor allem in der starken Anhängigkeit der Wirksamkeit (erreichter Luftaustausch über das Element) von verschiedenen Randbedingungen (Belegung, Temperaturdifferenzen zwischen den Räumen, Anordnung und Druckverlust des Elementes, etc.).

Die Untersuchung zeigt wesentliche Differenzen zwischen Messungen in realen Wohnungen mit realen Personen und den Messungen in Laborumgebung mit Dummys bzw. mit der CFD-Simulation. Im Rahmen des Projektes konnte nicht abschliessend geklärt werden, durch welche Punkte oder Vereinfachungen diese Differenzen zustande kommen.

5. Ausblick

Aus der Arbeit zeigen sich die Nachteile und Grenzen der passiven Überströmung durch Zimmertüren gut. Es zeigt sich aber auch, dass der passive Luftaustausch durch Überströmelemente bei entsprechenden Bedingungen durchaus wirksam ist. Bei einfachen Zimmertüren ist insbesondere der Einfluss der Nutzer entscheidend. Die erhaltenen Resultate können für die Weiterentwicklung von Elementen zur passiven Überströmung genutzt werden und die Umsetzung von vereinfachten Lüftungskonzepten unterstützen.

Um das untersuchte System weiterzuentwickeln, wäre in einem ersten Schritt eine Überprüfung der Studienergebnisse an einem real bewohnten Gebäude sinnvoll. Nur so kann eine gewisse Sicherheit erlangt werden, dass das in der Untersuchung verwendete Überströmelement auch in der Praxis tauglich ist und die erwartete Wirkung zeigt. Dabei sollte begleitend auch untersucht werden, ob eine Optimierung des Elementes möglich und auch wirksam ist. Dafür wäre ein Vergleich mit einem aktiven Überströmer sinnvoll.

Anhang

Literatur

- [1] Moser, M.-T., Primas, A., & Zakovorotnyi, A., 2022. Analyse vereinfachter Lüftungskonzepte. Bern: EnergieSchweiz, Bundeamt für Energie BFE.
- [2] SIA 382/5, 2021. Mechanische Lüftung in Wohngebäuden, Norm SIA 382/5, Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.
- [3] Barp, S., Fraefel, R. & Huber, H., 2009. Luftbewegungen in frei durchströmten Wohnräumen, Zürich: Baudirektion Kanton Zürich; Amt für Hochbau der Stadt Zürich.
- [4] Pfluger, R. et al., 2013. Komfort- und kostenoptimierte Luftführungskonzepte für energieeffiziente Wohnbauten "Doppelnutzen"- Vorteile und Grenzen der erweiterten Kaskadenlüftung, Innsbruck: Bundesministerium für Verkehr.
- [5] Sibille, E., 2015. Optimized Integration of Ventilation with Heat Recovery in Residential Buildings through the Implementation of innovative Air Distribution Strategies and Pre-Fabricated Components. Innsbruck: Leopold-Franzens-Universität Innsbruck
- [6] Rojas, G., Pfluger, R. & Feist, W., 2015. Cascade ventilation—Air exchange efficiency in living rooms without separate supply air. Innsbruck: Universität Innsbruck.
- [7] Sibille, E. et al., 2015. Konzepte für die „low-tech“ Komfortlüftung in großvolumigen Wohngebäuden und deren Nutzungskomfort. Innsbruck: Klima- und Energiefond des Bundes.
- [8] Keller, B., Woodtli, M. & Eberle, S., 2016. Lüftung mit aktiver Überströmung: Messung und Aufzeichnung von CO₂-Konzentrationen. Zürich: Amt für Abfall, Wasser, Energie und Luft.
- [9] Strobel, T., Wirnsberger, M. & Krause, H., 2019. Vereinfachte Lüftungssysteme für den Wohnungsbau, Untersuchungen in der roten Forschungswohnung. Luzern: Technische Hochschule Rosenheim.
- [10] Mikola, A., Rehand, J. & Kurnitski, J., 2019. Air change efficiency of room ventilation units. Estonia, CLIMA 2019/Tallinn University of Technology.

Dank

Die Finanzierung des Projektes erfolgt über das Bundesamt für Energie (Programm Energie Schweiz) sowie die Stadt Zürich Amt für Hochbauten.

Für die durchgeführten Messungen in der Forschungswohnung, danken wir Markus Wirnsberger, Cindy Hesel und Harald Krause von der Technischen Hochschule Rosenheim.

Für den Informationsaustausch und Anregungen danken wir den Mitgliedern der Begleitgruppe: Adrian Grossenbacher, BFE; Franz Sprecher, AHB und Robert Minovsky, Minergie

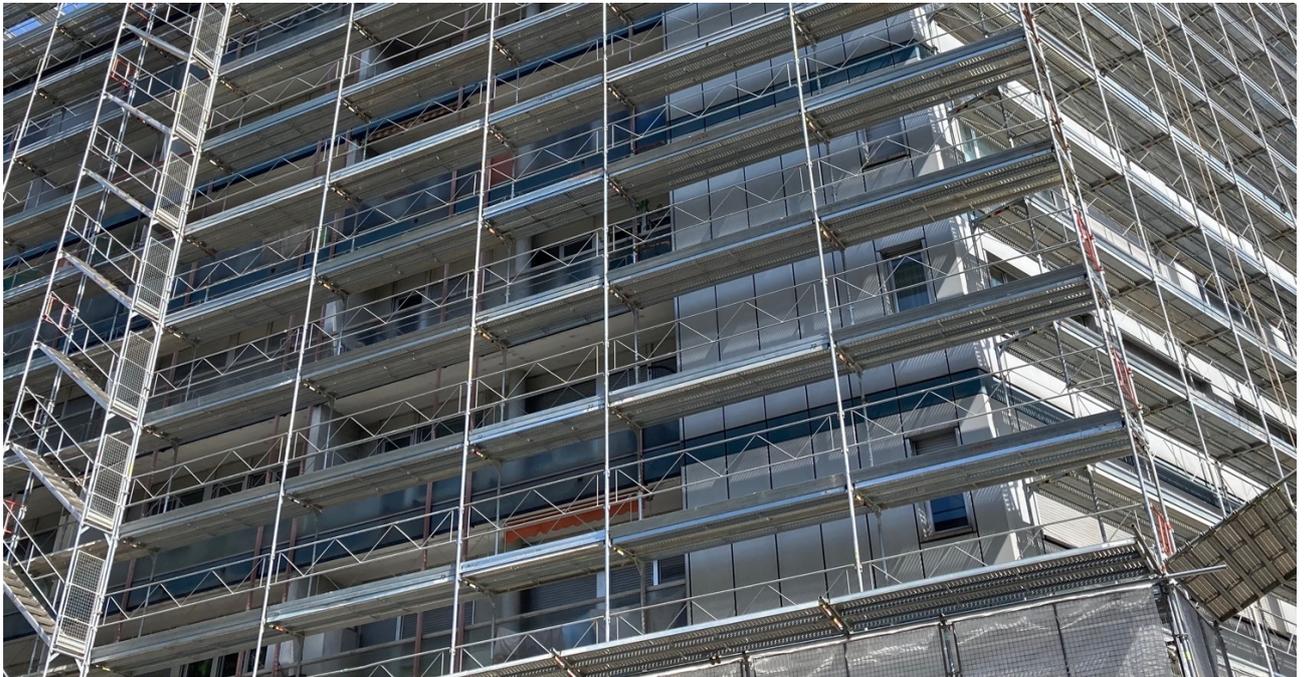
22. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»**Commune rénove : Putting municipalities in proactive mode for the energy renovation of the building stock**

Image _ L. Riquet

Autor/in oder Autor/inn/en : Lionel Riquet, Luca Cardinale, hepia, HES SO Genève
Kontaktperson: lionel.riquet@hesge.ch, <https://www.hesge.ch/hepia/>

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

The canton of Geneva declared the climate emergency in 2019 and published its energy master plan in 2021. This has given a major impulse to several programs to support and encourage the energy refurbishment of the building stock in the canton, implemented by the cantonal energy office, Services Industriels de Genève (SIG) and the Haute école du paysage, d'ingénierie et architecture de Genève (hepia).

Among the projects launched is the "Commune rénove" program, which aims, to encourage municipalities to take proactive steps to target owners of priority buildings for renovation and to help them implement ambitious energy refurbishment projects.

In this context, hepia has developed tools to enhance municipalities' level of knowledge of the building stock on their territory and support them in targeting and informing the buildings' owners about potential refurbishment scenarios. These tools include typology guidance sheets, a typological census covering the whole canton, and interactive maps, that are used by local authorities in their approach to owners of multi-family buildings, which represent the most important source of energy savings.

1. Scope

The building stock heating accounts for 24% of greenhouse gas emissions in Switzerland (OFS/BFS). Existing buildings refurbishment (envelope retrofit and fuel switch) is a route towards the reduction of these emissions, but despite important state incentives (Buildings programme subsidies, etc.) the renovation rate stagnates at some 1% nationwide. This rate has to be improved if we want collectively to have a chance to reach the goals set by the Confederation energy strategy 2050.

The low rate of refurbishment can be explained by various factors : cost of the works, tenants-owner dilemma; technical, constructive, heritage and tenants constraints, owners personal priorities, administrative hurdles, lack of qualified professionals, etc.

It also appears that basing public policies exclusively on subsidies and tightening the regulatory constraint is not the only possible route. The experience in canton Geneva, with pilot projects such as “Onex rénove” and SIG-éco21 actions, shows that proactive public actions can make a difference and represent a real incentive for owners to consider renovation projects. To answer their questions and fears about what often looks like a mountain to climb is part of the incentive work that falls to the public authorities, in addition to the regalian and financial support tasks.

In canton Geneva, the “Commune rénove” program, supported by SIG (canton’s publicly owned energy provider) and the canton’s Energy office proposes tools to those municipalities that are ready to move to a proactive way in the energy transition of the building stock located on their territory.

By proactive actions, we mean that public authorities wishing to commit to the environmental transition of buildings constructed on their territory should move from a reactive mode (mainly issuing building permits and subsidies) to an active mode, consisting of

1. Identify priority target buildings for energy renovation on their territory;
2. Invite the owners of these buildings to workshops to provide them with personalised relevant information about refurbishment options for their property;
3. Offer coaching tools to owners who take the step and undertake renovation projects to ease the process.

The work presented in this article aims to provide municipalities with simple and robust tools to address (partially) points 1 and 2 above, i.e. proposing a clear cartography of the issues at stake and good practice guidelines for the overall renovation of the different typologies of buildings likely to be found in the municipality.

2. Methods

The method to develop the required tools consisted of 3 stages:

1. Elaboration of a typological catalogue (maximum 10 typologies, for the sake of simplicity) of collective housing buildings likely to be found on the canton Geneva territory and presenting the greatest possible potential for thermal energy savings;
2. Meta-diagnosis for each of the typologies listing the related architectural, constructional and energy issues, and development of schematic renovation options adapted to each of the typologies, with an estimate of the potential energy gain and of the cost of the works.
3. Census of typologies on the whole canton’s territory and translation into a suitable cartographic tool.

2.1 Step 1 - typological catalogue

The first task of step 1 was to define the population of buildings targeted by the program. This selection was based on Jad Khoury’s work at UNIGE⁽¹⁾⁽²⁾ identifying the energy saving potential of the Geneva building stock. This allowed us to identify the following population as having the

greatest potential energy savings: multifamily housing buildings built in canton Geneva between 1946 and 1990 and with an Energy reference surface (ERS) of more than 500m².

This selection corresponds to a population of 5523 buildings (EGID), and to an energy reference surface (ERS) of some 10'468'000m², i.e. 36.3% of the EGID and respectively 51.2% of the ERS of all collective housing in the canton (data extracted from SITG, Geneva geodata system).

The majority of the buildings are located in the City of Geneva, in the new towns of Meyrin and Onex, as well as in the communes of Lancy, Carouge and Chêne-Bourg (Fig.1),

The remainder is made up of buildings built between 1946 and 1990 with an ERS of less than 500m² (1389 EGID, ERS: 413'000m²), built before 1946 (5073 EGID, ERS: 5'507'000m²) or built after 1990 (3194 EGID, ERS: 4'029'000m²).

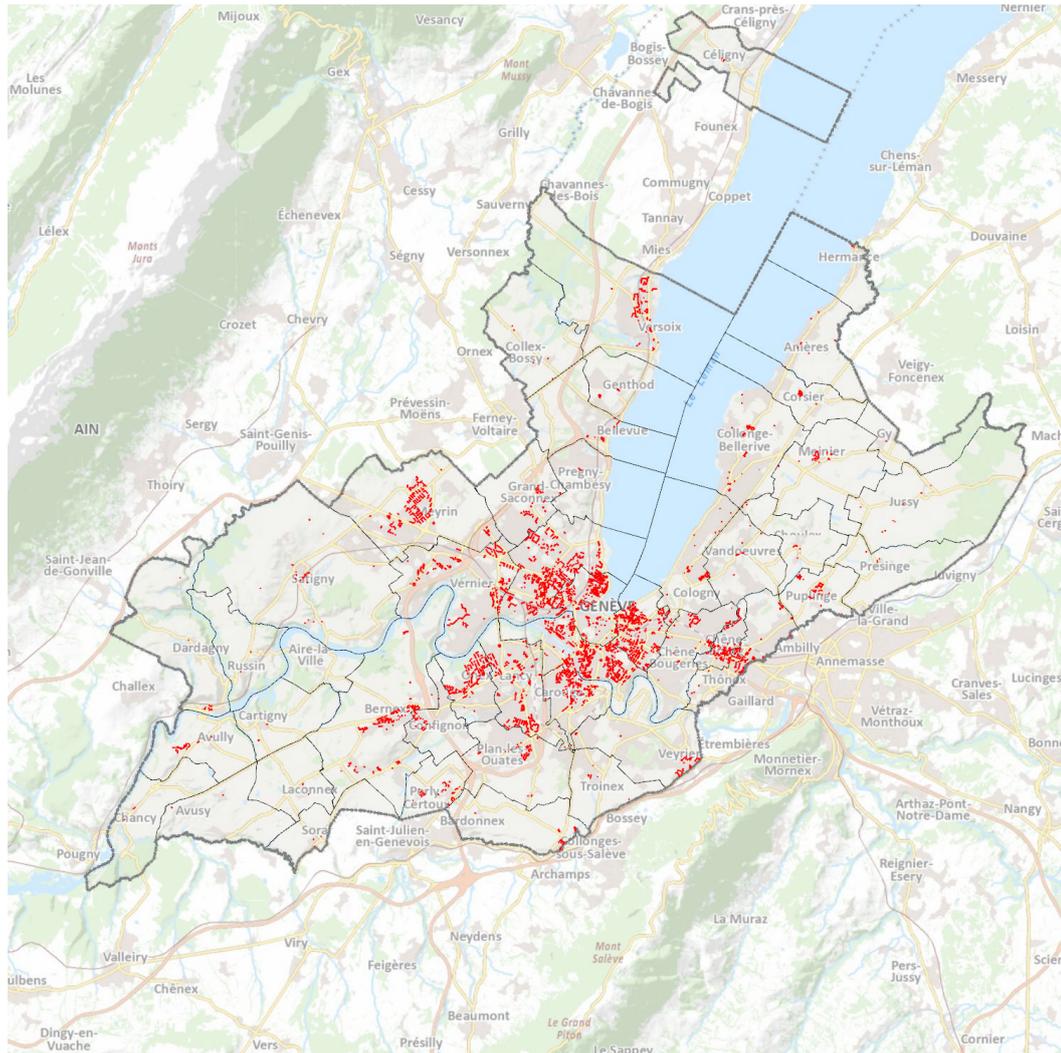


Fig.1 Selected buildings in canton Geneva, collective housing built 1946 to 1990, ERS >500m²

The second task of stage 1 was to define the catalogue of constructive and architectural typologies for the selected population. This work was based on literature, mainly the eREN research project ⁽³⁾ on interviews with retired architects, active in Geneva during the buildings construction period, and finally on a full-scale test in Carouge, a municipality representative of Geneva's built environment to validate the robustness of the catalogue.

This work resulted in 9 typologies:

Type 1 : Familia Buildings



Type 4 : Continuous balconies



Type 7 : Curtain wall



Type 2 : 1950's building



Type 5 : Blocks



Type 8 : Precast cladding



Type 3 Loggia buildings



Type 6 Grid and filling



Type 9 Perimeter insulation



Fig. 2 : typologies

The full-scale test in the municipality of Carouge validated the robustness of the catalogue, as shown on the following table :

Type	# EGID	% EGID	ERS (m2)	% ERS	Av. ERS.	Av.IDC*
0 – No type	9	5%	27 625	7%	3 069	562
1 – Familia buildings	7	4%	6 827	2%	975	635
2 – 1950's buildings	10	5%	16 080	4%	1 608	500
3 – Loggia buildings	9	5%	21 903	5%	2 434	508
4 - Continuous balconies	48	24%	117 384	29%	2 446	497
5 – blocks	6	3%	13 110	3%	2 185	434
6 – Grid and filling	32	16%	61 355	15%	1 917	497
7 – Curtain wall	3	2%	4 262	1%	1 421	395
9 – Precast cladding	62	31%	115 516	29%	1 863	475
10 – Perimeter insulation.	11	6%	17 079	4%	1 553	429
TOTAL	197	100%	401 141	100%	2 036	497

* Av. IDC = average heating and hot water energy consumption of last 3 years, in MJ/m²*year

Table 1 . Carouge typological census

2.2 Step 2 – guidance sheets

Next step consisted in producing guidance sheets for each typology. These three-page guidance sheets describe the typology, propose a meta-diagnosis of the existing condition, define one or two detailed options for renovating the building envelope, analysing their advantages and disadvantages, their energy and economic impacts, and outline constructive details for their implementation.

The objective of these sheets is to propose a simple and effective tool to local authorities to engage in a personalized dialogue with the owners, on a concrete basis. The sheets allow owners who have not yet decided on the path to follow to renovate their building to have a relatively precise idea of the potential and the issues related to the typology to which their building belongs. Once a decision has been taken to launch a renovation project, it goes without saying that a project adapted to the specific characteristics of the building will have to be developed.

The guidance sheets are only intended as an incentive tool and can in no way constitute a "recipe" that can be applied to the building as it stands. It will be essential to hire qualified professionals to carry out the renovation project in accordance with the rules of the trade and with respect for the architectural substance of the building.

SOLUTION RENOVATION - Fiche d'orientation typologique TYPE 6 GRILLES & REMPLISSAGES

CHARACTERISTIQUES

Les bâtiments de type « grilles & remplissages » présentent des façades régulières sur lesquelles s'inscrivent le cadre architectural du bâtiment. Cela trouve son maximum en ce qui concerne les façades de type « grille », qui sont constituées de grilles et de remplissages, sans rupture de porte-fenêtre. Ce quadrillage orthogonal est rempli soit par des éléments vitrés, soit par des aléas plus ou moins importants. Certains remplissages affichent des bandes horizontales continues plus ou moins larges. Dans tous les cas, les éléments de remplissage recouvrent une surface proportionnellement plus importante que les éléments structurels de la grille.

La toiture est généralement plate, soit à faible pente possible, soit avec un dernier niveau.

La ventilation est assurée par des radiateurs et un chauffage central. La ventilation est en simple flux, avec un gestionnaire électronique par pièce ou par étage et par chambre. La ventilation est à débit économique, des problèmes d'infiltration phonique peuvent être rencontrés (faible isolation, ponts thermiques, etc.).

INDICE DE DEPENSE DE CHALEUR AVANT TRAVAUX (IDC, MJ/m²/an)

100	200	300	400	500	600	700
-----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

APPRÉHENSION DE LA RENOVATION

Équipe constituée: Le remplacement, relativement simple, des éléments légers de remplissage, nécessitant une expertise de la structure existante, offre un potentiel important de gain thermique. Le bâtiment des loggias est complexe. Dans le cas de grilles constituées d'éléments en béton préfabriqué, les parties et composants (aléas, isolation ne peut se faire que par l'extérieur.

Équipe architecturale et patrimoniale: Ces immeubles, bien que ne bénéficiant pas d'un statut patrimonial particulier, présentent souvent un intérêt de fait de la grande régularité de leur trame de façade, et de ce fait de leur caractère patrimonial. Ce caractère patrimonial nécessite d'être reconnu dans le cadre d'une rénovation.

Impact climatique: Le chantier aura un impact moyen (aménagement des fenêtres, présence d'antenne, travaux en toiture en façade) à évaluer sur les occupants (en cas d'infiltration importante).

Équipe normale et réglementaire: ces interventions ne sont généralement pas conformes aux normes applicables en matière de sécurité, en particulier en ce qui concerne l'usage des normes existantes. La présence de matériaux dangereux (amiante, plomb, PCB) est à évaluer soigneusement. Les travaux de rénovation seront soumis à autorisation de construire si la loi le commande ou l'exige.

STRATEGIES DE RENOVATION:

NB: Les informations présentées dans ce feuillet sont assorties de remarques générales en annexe, dans le support de communication.

OPTION 1

L'option n°1 est applicable en cas d'expression des éléments de dalle et de murs en façade, sans rupture de porte-fenêtre.

Elle consiste à déposer les éléments légers et à les remplacer par des éléments de même nature, conformément à l'option 1.

Les murs en dalle et de murs sont isolés et doublés par des éléments (béton fibre, fibre d'arbitrage, etc.) permettant de maintenir l'expression de la grille structurelle en façade [1].

Les parties vitrées ainsi que les loggias sont isolées par l'extérieur et recouvertes d'un bardage ventilé ou d'un cloison, ce qui entraîne une diminution de leur surface [2].

La dalle et les éventuelles terrasses en attique sont intégralement renouvelées (isolation + étanchéité) et isolées [3]. La dalle sur non-chauffé est isolée en sous-face [3].

OPTION 2

L'option n°2 est applicable en cas de grille composée d'éléments de béton préfabriqué à bandes, qui présentent une surface supérieure au m² de dalle et de murs.

Elle consiste à déposer les éléments de façade, à les remplacer par des fenêtres conformément à l'option 2, à trancher les éléments structurels préfabriqués sur la face intérieure de l'habillage, attachant une isolation de la surface des pièces [1].

Les murs légers sont isolés et les loggias sont isolées et des unités isolantes installées au droit des portes-fenêtres pour réduire les ponts thermiques.

Les murs légers sont isolés par l'extérieur. La dalle et les éventuelles terrasses en attique sont intégralement renouvelées (isolation + étanchéité) et isolées [3]. La dalle sur non-chauffé est isolée en sous-face [3].

NB: Les deux options s'appliquent à des situations différentes. Il convient de réaliser les comparaisons sur les consommations énergétiques, les coûts et les avantages et inconvénients.

OPTION 1

Suppression des ports thermiques (ponts loggias)

Maintenance de la structure de la façade

Maintenance de la surface des pièces

Impact chasser faible à moyen

Partie de surface sur les loggias

OPTION 2

Maintenance de l'architecture architecturale

Maintenance du béton en façade et de sa régularité architecturale supérieure

Maintenance de la surface des loggias

Substitution de ports thermiques au droit des bandes de dalle et de murs (isolation intérieure)

Non perturbation à apporter dans la mise en place de l'isolation extérieure pour éviter les problèmes de physique du bâtiment

INDICE DE DEPENSE DE CHALEUR APRES TRAVAUX (IDC, MJ/m²/an)

option 1	option 2
100	200
300	400
600	800
1000	1200
1400	1600

COÛT DE L'OPERATION (CHP/m² TTC)

option 1	option 2
400	600
800	1000
1200	1600
1600	2200

OPTIMISER LA RENOVATION: INTERVENTIONS EN ELEMENTS:

Option 1

Remplissage: Les remplissages légers (fenêtres et aléas) sont remplacés par des fenêtres complètes (cadrage et vitrage) ou par des fenêtres complètes (cadrage et vitrage) et des grilles de ventilation hyper-isolées [3].

Grille structurelle: Les éléments de dalle et de murs sont isolés et doublés par la mise en œuvre d'un isolant (béton fibre, fibre d'arbitrage, etc.) permettant de conserver en att. l'expression architecturale de la grille structurelle en façade [1].

Loggias: Les parties vitrées des loggias sont isolées par l'extérieur et recouvertes d'un bardage ventilé ou d'un cloison, ce qui entraîne une diminution de leur surface [2].

Travaux de toiture: L'étanchéité de la toiture plate et des terrasses est assurée par l'extérieur. L'isolation acoustique est remplacée par une couche plus épaisse (au besoin) en grande coupe des terrasses d'attique sont renouvelées.

Plancher sur non-chauffé (frein de chaudière ou sur étagère en sous-face): Le plancher sur non-chauffé (frein de chaudière ou sur étagère en sous-face) est remplacé par une couche plus épaisse (au besoin) en grande coupe des terrasses d'attique sont renouvelées.

Option 2

Fenêtres: Les fenêtres sont complètes et remplacées par des fenêtres complètes (cadrage et vitrage) ou par des fenêtres complètes (cadrage et vitrage) et des grilles de ventilation hyper-isolées [3].

Grille structurelle: La grille composée par les éléments en béton préfabriqué d'origine est maintenue. Ceci permet de conserver en att. l'expression architecturale de la grille structurelle en façade [1].

Loggias: Les parties vitrées des loggias sont isolées par l'extérieur et recouvertes d'un bardage ventilé ou d'un cloison, ce qui entraîne une diminution de leur surface [2].

Travaux de toiture: L'étanchéité de la toiture plate et des terrasses est assurée par l'extérieur. L'isolation acoustique est remplacée par une couche plus épaisse (au besoin) en grande coupe des terrasses d'attique sont renouvelées.

Plancher sur non-chauffé (frein de chaudière ou sur étagère en sous-face): Le plancher sur non-chauffé (frein de chaudière ou sur étagère en sous-face) est remplacé par une couche plus épaisse (au besoin) en grande coupe des terrasses d'attique sont renouvelées.

Données techniques des solutions proposées:

Les performances, consommations, sont représentées en m² coûte à construire en rouge.

Mur de façade isolé:

- Option 1: Revêtement ext., Laine minérale, Plaque laine minérale 25-100x1542mm, Plaque laine minérale 25-100x1542mm, Mu. Béton préfabriqué, Isolation laine minérale 100x400mm, Poutres de dalle.
- Option 2: Revêtement ext., Étanchéité, Isolation laine minérale EPS 180mm, Plaque laine minérale 25-100x1542mm, Enduit.

Fenêtre [1]:

- Option 1: U vitrage: 0,15 W/m²K, G, Extérieur, Double vitrage, Casque bois-alu, Casque bois-alu, Vitrage isolant triple.
- Option 2: U vitrage: 0,6 W/m²K, U vitrage: 0,6 W/m²K, Casque bois-alu (perforé), Double vitrage isolant (perforé), Casque bois-alu, Vitrage isolant triple.

Dalle sur non-chauffé [2]:

- Option 1: U paroi: 0,15 W/m²K, U paroi: 0,15 W/m²K, Casque bois-alu, Casque bois-alu, Vitrage isolant triple.
- Option 2: U paroi: 0,15 W/m²K, U paroi: 0,15 W/m²K, Casque bois-alu, Casque bois-alu, Vitrage isolant triple.

Plancher sur non-chauffé [3]:

- Option 1: U paroi: 0,15 W/m²K, U paroi: 0,15 W/m²K, Casque bois-alu, Casque bois-alu, Vitrage isolant triple.
- Option 2: U paroi: 0,15 W/m²K, U paroi: 0,15 W/m²K, Casque bois-alu, Casque bois-alu, Vitrage isolant triple.

Fig. 3 : Sample of guidance sheet

The guidance sheets are available on the following websites :

<https://ww2.sig-ge.ch/immobilier/optimisation-energetique-et-environnementale/documentation-eco21>

<https://www.ge.ch/document/fiches-typologiques-batiments-propositions-solutions-renovation-energetiques>

2.3 Step 3 – cantonal census

Finally, a physical census of the 5500 considered buildings (EGID) on the territory of the canton (see figure 1) has been carried out, to assign a typology to every building. This information has been added to a database extracted from the SITG (Geneva geodata system), which already contains each building with its coordinates, its energy reference surface (ERS), its energy agent and its heat expenditure index (IDC).

- 40% of round 1 workshop owners declared that they were considering bringing other projects to a next workshop
- 11 potential refurbishment projects attended workshop 2 (reserved to buildings that already have a CECB/GEAK certificate), to discuss with the cantonal pre-advisory boards, representing 50'204 m² of ERS.

The above results are encouraging and in the long run, “Commune rénove” is expected to enhance the refurbishment rate of buildings in canton Geneva that stagnates at less than 1%. It is however too early to conclude to a success. Although the pool of target buildings is large, the interest in the program could be related to a popcorn effect (many buildings ready for renovations at the same time and same place, by coincidence, with no relation to “Commune rénove”) or to a windfall effect (owners that adhere to the program in order to benefit from its advantages, but for purposes other than energy savings).

The “Onex rénove” pilot project is an example of these effects: after the “Onex rénove” workshops (2015-16), the renovation rate in the municipality exploded to 7%. Six years later, these projects are completed or underway, but we have no evidence that the renovation rate in Onex is sustained at such a level, especially since the program has been discontinued.

Construction projects take time to complete, the “Commune rénove” program should be sustained long enough (as long as it attracts homeowners) to achieve strong performance indicators.

4. Discussion

Despite the potential windfall effect, the above results show that there is a demand for proactive approaches by local authorities and that they are likely to enhance the refurbishment rate if they are perpetuated. However the feedbacks from the persons in charge demonstrate that it requires :

- Appropriate information at appropriate stage to identify the targets
- Adequate level of resources, relying in political willingness and financial capacity
- Huge amount of energy to contact owners and convince them, one by one, to participate

The guidance sheets and the typological census, allow to identify the target buildings. The fact that the heat expense index is available for all buildings in Geneva is without any doubt a huge advantage compared to other cantons, where this information is not available, resulting in local authorities having a far less clear and robust picture of the performance of the building stock on their territory.

Surprisingly, contacting owners proved to be much more complex. The identity of the owners is considered as confidential and managed by the canton’s Land Register. Unlike in other cantons, Geneva’s municipalities (45 in total) have very limited autonomy and prerogatives, and they do not have ownerships records. Sometimes arduous negotiations were necessary to obtain the coordinates of the owners from the Land Register.

Given that most of the targeted buildings are managed by property managers, known to the municipal authorities and to the buildings’ tenants, property managers were a gateway to the owners and often acted as their representatives in the workshops. However, this filter can be a potential handicap for achieving the objectives of the energy transition: going fast and strong.

As far as political willingness is concerned, the results are mixed. It takes a lot of time for the municipalities to decide to adhere to “Commune rénove”, although the program that is heavily subsidized by the canton and benefits from proven methods. The city of Onex, which was a precursor (“Onex rénove” pilot project), is no longer participating in the program. Following the departure of the city’s Energy Delegate, the political will to continue the project was missing. Finally, the municipality of Carouge, which has just joined the program, has decided to abolish the position of the program’s contact person, for reasons unknown to us, which raises the question of the continuation of the project in this municipality.

These accidents show that without awareness and a strong political will, projects such as “Commune rénove” have little chance of success.

However, a positive aspect of the project (in addition to the success of the workshops) should not be overlooked: the personalized canvassing that must be undertaken with each interlocutor (management and/or owner) makes it possible to create a direct and personal relationship between them and the local authorities.

Property owners and managers are generally reluctant to cooperate with the authorities and put their cards on the table, for fear of being put under the spotlight of the administration and its regulatory controls. The “Commune rénove” approach, is showing to them that local authorities can also help and bring solution in a positive and proactive way, and not only tax them and create regulations.

5. Perspectives

Perspective for the projects are twofolds:

- Extension of “Commune rénove” to other Geneva municipalities
- Extension of “Commune rénove” at national scale

For the time being, three municipalities in canton Geneva are involved in “Commune rénove” : Lancy, Carouge and Grand-Saconnex. They count in total some 68'000 inhabitants (OFS/BFS), and 747 buildings /EGID) representing 1'370'000 m² of ERS for buildings falling into the targeted category (multifamily housing build between 1946 and-1990 with ERS > 500 m²).

Despite the situation described above concerning Carouge, it is expected that the project will continue in these municipalities, and that it will be extended soon to other suburban municipalities in the canton, and perhaps to the city of Geneva. The adhesion of City of Geneva would represent a major step forward, since it hosts some 53% of the targeted ERS on the canton's territory.

At national scale, SIG, the City of Lancy,,Cité Lumière production and hepia, the major partners of “Commune rénove”, are involved in the Innosuisse Flagship project Renowave.

The overall goal of Renowave is to boost refurbishment of multifamily housing in Switzerland, in a broad and interdisciplinary approach. It gathers more than 15 academic partners and 40 implementation partners across Switzerland. One of its subprojects, under le lead from hepia, is about expanding incentive and proactive programs for refurbishment through municipalities, based on the pilot experimentations carried out in canton Geneva. Renowave just started in 2022 and is due to complete in 2025.

Literature/references

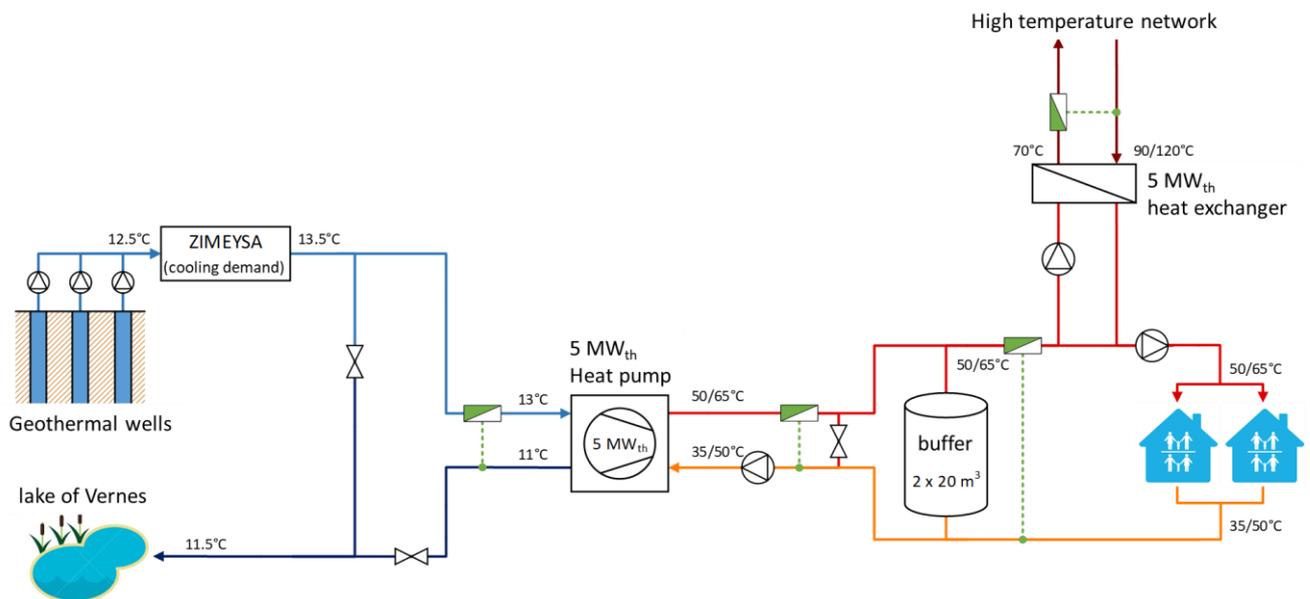
- [1] Khoury, J. et al. *Comparenove*, UNIGE, 2018
- [2] Khoury, J. *Rénovation énergétique des bâtiments résidentiels collectifs: état des lieux, retours d'expérience et potentiels du parc genevois*, UNIGE, 2014
- [3] Riquet, L. Schwab, S. et al *Rénovation énergétique, approche globale pour l'enveloppe du bâtiment*, HES SO, 2016

See also :

<https://www.lancy.ch/prestations/lancy-renove>

22. Status-Seminar «Forschen für den Bau im Kontext von Energie und Umwelt»

Hourly CO₂ emissions of a 5 MW_{th} groundwater HP district heating system in Geneva: monitoring results over an entire year of operation



Stefan Schneider, Pauline Brischoux and Pierre Hollmuller
 Kontaktperson: Stefan, Schneider, Université de Genève,
 Bd Carl-Vogt 66
 CH – 1211 Genève 4
stefan.schneider@unige.ch, www.unige.ch/sysener

Abstract

This study evaluates the environmental impact, in actual conditions of use, of a new Minergie A/P district located in Geneva. It hosts around 1'350 dwellings and various activities, totaling approximately 170'000 m² of conditioned floor area. All buildings produce electricity with photovoltaic panels, with a total installed area of about 12'000 m² (2'230 kWc). The heat produced by a 5 MW_{th} geothermal centralized HP is delivered to the buildings by a local low temperature district heating (LTDH) network. As complement and backup, this LTDH network is connected to Geneva's main high temperature district heating (HTDH) network.

The monitored electricity consumption of the buildings and the central heating plant are combined with the photovoltaic production to simulate all electricity consumers and producers of this district on an hourly basis. It allows to evaluate to what extent the local photovoltaic production lowers the amount of imported electricity. The main finding is that most of the local PV production is used directly within the district, with a self-consumption rate of 82%, and that it covers 23% of the electricity needs.

Concerning the environmental impact, this district accounts for 1'271 tCO₂eq/year of emissions (0.39 tCO₂/year/cap), including the indirect emissions associated to the production and transport of PV panels. This estimation does not include mobility and imported goods. These emissions are due at 48% to the electricity consumption of the buildings, 37% to the central heat plant and 15% to the heat delivered by the HTDH network. The environmental benefit of the heat pump is significant since these emissions are half as much as if the district were 100% supplied with heat by gas boilers.

A sensitivity analysis on various elements, such as the number of photovoltaic panels installed, shows the limits of the system in terms of self-sufficiency with the current heat production profile and without heat or electricity storage.

1. Scope

In 2020, the production of heat for space heating (SH) and domestic hot water (DHW) accounted for around 38% of the Swiss final energy consumption [1]. Mostly based on fossil fuels, this production represents about 24% of the greenhouse gas emissions (GHG) of the country [2]. In this context, the building sector has a significant potential of reduction of CO₂ emissions and its decarbonisation will play a major role in achieving the goals set at national level by the Swiss energy strategy 2050, as well as cantonal level.

As an example, the energy master plan developed by the canton of Geneva has the ambitious target to reduce, by 2030, the CO₂ emissions by 60% compared to their 1990 level. To reach this goal, the main pillars of the strategy consist in retrofitting existing buildings, reinforcing minimal efficiency requirements of new buildings, and increasing the share of renewable energy through the expansion of district heating (DH) networks.

In line with these objectives, the eco-district “Les Vergers” located in Meyrin (GE) was built between 2014 and 2020 with the goal to achieve an exemplary project from the environmental and social perspective. All 33 buildings of the district meet high energy performance standard (Minergie A or P). They are hosting 1'350 dwellings, activities and schools, totalizing approximately 170'000 m² of conditioned floor area. Electricity is produced locally with PV panels, covering the roofs for a total of 12'000 m² (2'230 kWc). The buildings are equipped with different types of heat recovery systems such as fixed-plate heat recovery ventilations or exhaust air heat pumps.

A local low temperature district heating (LTDH) network distributes heat to the buildings for space heating (SH) and domestic hot water (DHW) preparation. The operating temperature of this network is 50°C when distributing heat for SH. Twice a day (from 4:30 AM to 6:00 AM and 4:30 PM to 6:00 PM), the temperature is raised to 65°C to load the DHW buffers located in the buildings. Heat is produced by a 5 MW_{th} geothermal centralized HP, whose heat source is shallow geothermal water. The installed HP is a two-stage compressor model with a nominal COP of 4.6 when producing at 50°C (SH mode) and 3.6 when producing at 65°C (DHW mode). The aim of the two daily DHW batches is to optimize the COP of the HP. It is the biggest HP installed in Geneva prior to 2020. Before reaching the HP, the cold geothermal water supplies a district cooling network, recovering waste heat from the nearby industries, thereby increasing the source temperature of the HP. This waste heat increases the temperature of the pumped water from 12°C to 13°C in winter and to 15°C in summer. In addition to the centralized HP, the LTDH network is also connected to Geneva's main high-temperature district heating (HTDH) network named CAD-SIG, as complementary or back-up source. The heat production for CAD-SIG is a mix of waste incineration and central gas boiler as well as small oil boiler as back-up.

Based on simulated data, a first study of this district was done previously [3], estimating the CO₂ emissions of the district before the availability of monitoring data. The aim of the present study is to evaluate the CO₂ emissions of the district based on monitoring data and to compare the results to the expected values, produced with the preliminary study. The assessment of CO₂ emissions due to electricity and heat consumption can be done by taking into account direct emissions only (done when transforming the final energy) or also including the indirect emissions (adding the emissions linked to extraction, manufacturing and transport). Present study assesses direct and indirect emissions.

Figure 1 shows the Sankey diagram of the heat production during a first year of monitoring. The heat production plant delivered 8 GWh of heat to the LTDH, 83% of which produced by the HP and the remaining 17% provided by the HTDH network. The HP achieved a seasonal performance factor (SPF) of 3.65. When considering the electricity consumption of auxiliary devices of the plant (41 MWh) and the share of pumping energy associated with the heat production (746 MWh) the system SPF drops to 2.55.

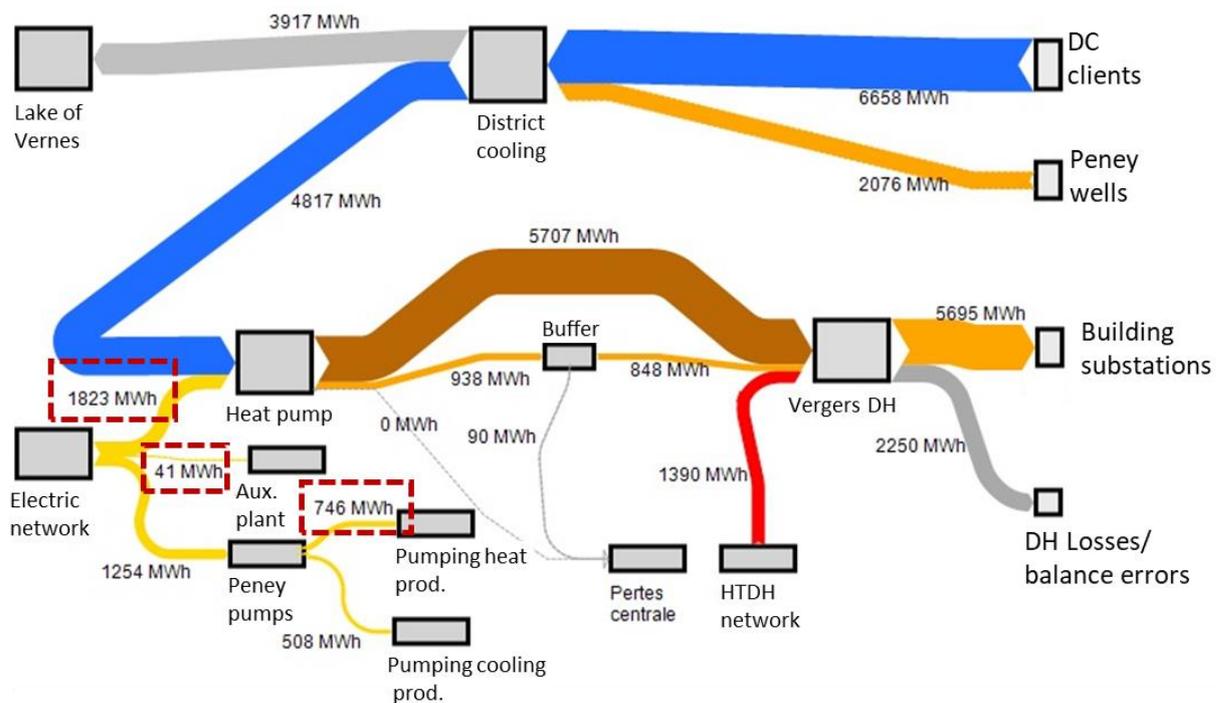


Figure 1. Sankey diagram of the heat production of the district, based on monitoring data measured between 1 July 2019 and 1 July 2020. The red boxes indicate the electricity consumption associated with the heat production.

Since most of the heat is produced by the HP, electricity is the main energy carrier of this district. The total annual electricity consumption, including buildings and heat production, is estimated at 8.2 GWh (~0.3% of Geneva's electricity consumption). For this reason, producing electricity locally with the 12'000 m² (2'230 kWc) of installed PV panels may help reducing the amount of electricity taken from the grid. However, the seasonal mismatch between a higher heat demand during the winter and a higher PV production during the summer raises the question of the extent to which PV contributes to reducing grid input.

2. Methods

To evaluate the CO₂ emissions of the district, the method involves several steps. First, the collection of data on electricity/heat consumption (central heat plant, private households, buildings' technical installations and activities) and production (PV panels located on the roof of each building). Then, these data are processed to produce an hourly electricity balance of the district and thus evaluate the share of the electricity demand covered by the PV production. Finally, the electricity consumption/production and the heat provided by the HTDH network are transformed into hourly CO₂ emissions.

2.1 Review of collected data

Table 1 summarises the data collected at the district level. For private households, around 64% of the annual consumption comes from electricity bills. The remaining 34% is estimated by the average electricity demand of households for which electricity bills are available.

Building's technical installations include lighting of common areas, elevator, ventilation, pumps and heat recovery systems. 58% of this consumption is estimated using electricity bills, and the remaining 42% by an average value per dwelling multiplied by the number of dwellings.

For activities, the unknown consumptions are estimated by the average values per working place specific to this activity multiplied by the number of working places, as done in the ElectroWhat model [4].

The electricity consumption related to heat production (heat pump, heat plant auxiliaries and pumps) is provided by the local utility SIG with a 10-minute time step. The heat provided by the HTDH network is provided with a 10-minute time step as well.

For the PV production plants, 15-minute monitoring data is available for 6 of the 33 buildings. For the 27 remaining buildings, the production is estimated using solar irradiation.

Table 1. Overview of collected data

Consumer	Number	Data sources
Private households	~1'350	Annual electricity bills (64%) Consumption benchmark (36%)
Building's technical installations	73	Annual electricity bills (58%) Consumption benchmark (42%)
Activities	~135	Annual electricity bills (64%) Consumption benchmark (36%)
Heat pump	-	10-min energy meters data
Heat plant auxiliaries and pumps	-	10-min energy meters data
HTDH network	-	10-min energy meters data
Producer	Size	Data sources
PV panels	~12'000 m ² (2'230 kWp)	15-minute or daily energy meters data (6 buildings) Hourly estimation based on solar irradiation (27 buildings)

2.2 Hourly electricity balance of the district

Figure 2 shows an overview of the simulation model that allows making the hourly electricity balance of the district. All collected data are processed to get hourly load curves of each consumption/production: sub-hourly values are aggregated and annual values are transformed with load curves from other studies.

To estimate the hourly PV production of the district, information of the installed surface is collected. The monitoring data available for 6 of the 33 buildings allows to calibrate a linear regression model predicting the production as function of the solar irradiation. The PV production of the 27 remaining buildings is then estimated with this regression model. These hourly production load curves are added among the buildings to make an hourly PV production load curve of the district.

The annual electricity consumption of private households, activities and building's technical installations are transformed into hourly load curves using a library of unitary load curves specific to each consumer. This library is provided by the ElectroWhat model [4].

The electricity demand of the heat production plant is available by way of electricity meters (HP compressor and geothermal water pumps). There are some data gaps for auxiliary devices as DH pumps that are filled by an estimation based on the heat production. These auxiliary devices represent a very small fraction of the total electricity demand required for the heat production.

The main assumption is that all electricity producers and consumers are connected to each other by a virtual micro-grid. The assumptions of the base scenario are:

- The produced PV electricity is consumed in priority by the buildings (households, activities, building's technical installations). Noted thereafter by $Q_{el_{PV \rightarrow Buildings}}$.
- The remaining electricity (if any) is consumed by the heat production plant. Noted thereafter by $Q_{el_{PV \rightarrow Plant}}$.
- The remaining electricity (if any) is exported to the grid. Noted thereafter by $Q_{el_{PV \rightarrow Grid}}$.
- The difference between consumption and production is imported from the grid. It is the sum of $Q_{el_{Grid \rightarrow Buildings}}$ (grid to buildings) and $Q_{el_{Grid \rightarrow Plant}}$ (grid to heat production plant).

The main outputs of this virtual micro-grid are hourly load curves of imported electricity from the grid to the district and of exported excess PV electricity to the grid.

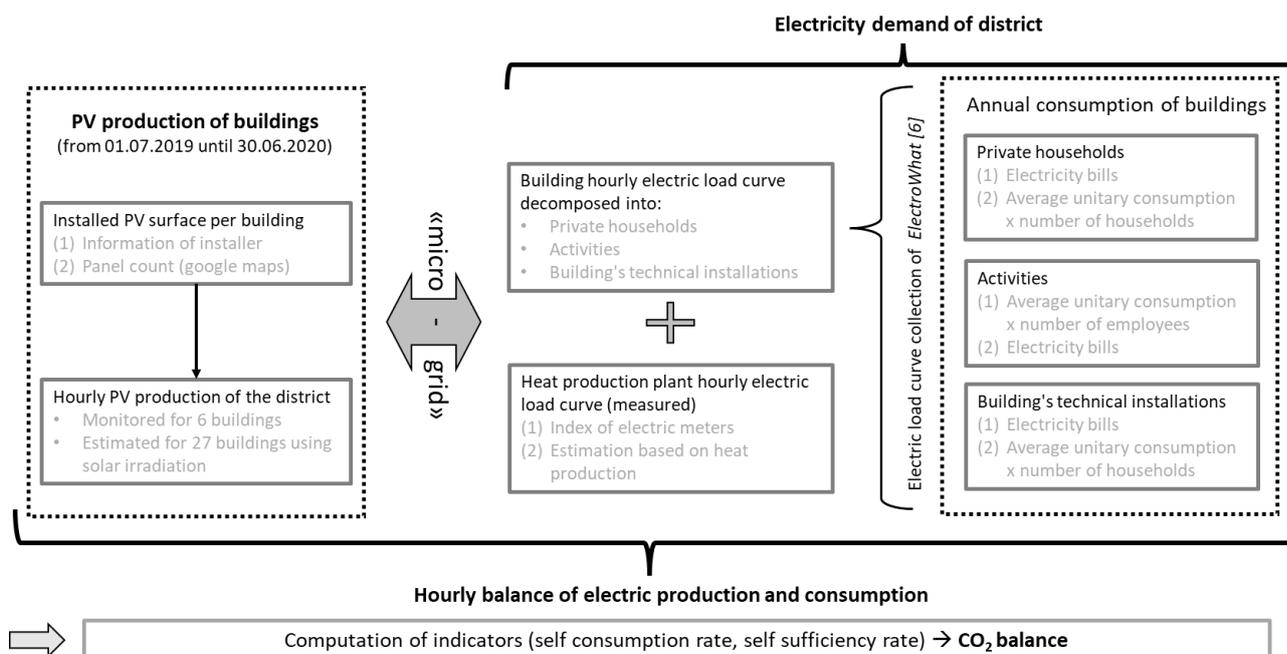


Figure 2. Overview of the hourly electricity simulation of the district

2.3 CO₂ assessment of the district

The CO₂ emissions of the district are evaluated based on the hourly heat demand and hourly electricity consumption/production, obtained with the data collection and treatment described previously. The electricity imported from the grid and the heat provided by the HTDH network are transformed using the CO₂ contents of Figure 3 (electricity) and Figure 4 (HTDH).

Carbon content of Swiss electricity consumer mix

Even if the Swiss electricity production mix has low carbon content, the consumer mix, which also includes imported electricity, may have high carbon content. The HoroCarbone model [5] evaluates the hourly carbon content of the Swiss consumer mix. This approach assesses the carbon content of the consumed electricity, based on emissions induced by the power plants in use in Switzerland and in neighbouring countries to satisfy the Swiss electricity demand. As the generation facilities are switched on according to their economic precedence based on marginal cost (merit order), the carbon content of imported electricity is based on the incremental impact of Switzerland's imports on the merit order of neighbouring countries.

Figure 3 contains daily averages of the hourly CO₂ content that is used to estimate the hourly emissions generated by the electricity consumption of the district. This hourly content is denoted by $gCO_{2el.grid}(t)$.

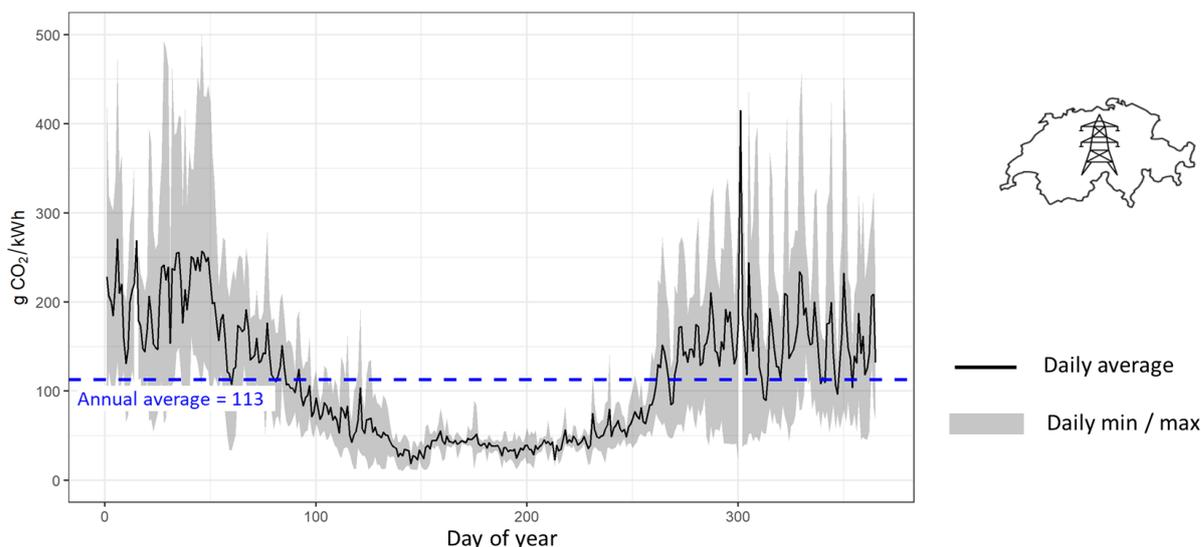


Figure 3. Daily average of the hourly CO₂ (direct + indirect emissions) of the Swiss electricity consumer mix. A typical year is built with the values ranging from 2017 to 2019 (data issued from the Horocarbone [5] project). The daily min and max values are represented by the grey surface.

Carbon content of heat from the HTDH

As mentioned before, 17% of the LTDH heat is provided by the main HTDH network of Geneva. This network delivers in total around 560 GWh per year of heat, representing approximately 10% of the total heat demand of the canton of Geneva. This heat is a mix between waste incineration and gas combustion. Since waste heat is not sufficient to cover the entire heat demand all year long, the mix changes with the total load. During summer, waste heat covers nearly 100% of the demand, whereas gas takes the highest share during winter, when the demand is the highest. Annually, the mix is approximately half waste heat and half gas. Figure 4 contains the monthly average CO₂ content of the heat delivered by the HTDH network. The value used for the CO₂ content in this study is the average between 2019 and 2020 (blue line).

For natural gas, the value of direct emissions is 202 g/kWh ([6], p. 16) and 228 g/kWh when indirect emissions are included. To include indirect emissions of heat delivered by the HTDH network, the monthly values of Figure 4 are multiplied by a factor 228/202 to include indirect emissions due to consumed gas. The hourly content is denoted by $gCO_{2HTDH}(t)$ using the monthly value corresponding to the hour t .

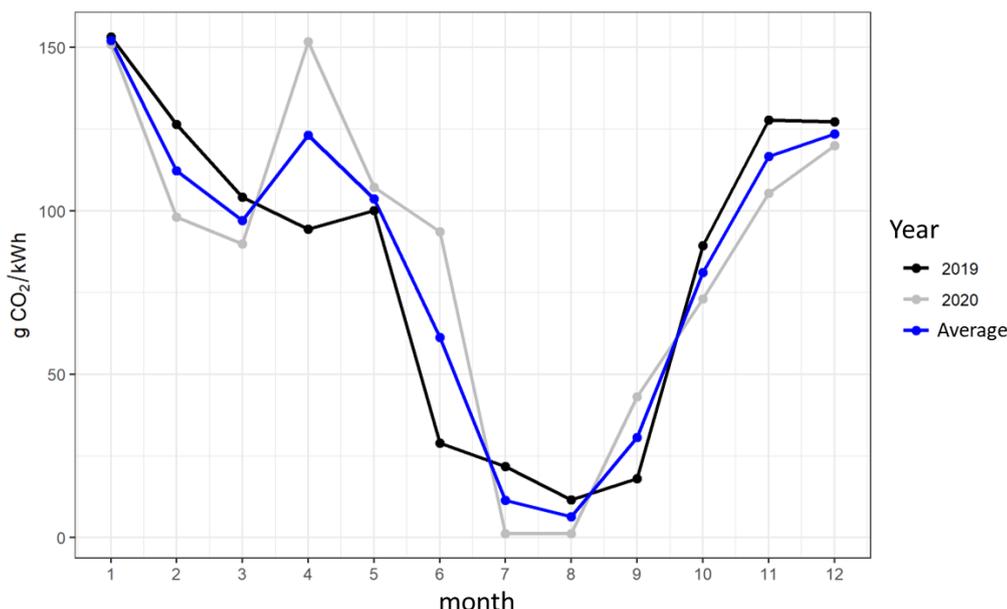


Figure 4. Monthly average CO₂ content (direct emissions) of the heat delivered by the HTDH network. Personal communication based on study [7].

CO₂ emissions of the district

The current assessment takes into account direct emissions as well as indirect CO₂ emissions associated with the transportation and extraction of materials. For example, PV electricity does not produce any direct emissions, but if we include the emissions linked to the manufacturing and transportation of the panels, we get a value of $gCO_{2PV} = 81 \text{ g/kWh}$ [6].

Considered CO₂ emitters include: the electricity consumed by the buildings, the electricity consumed by the heat production plant and the emissions due to the heat delivered by the HTDH network. The emissions are calculated for each hour t using the following equations:

$$gCO_{2Buildings}(t) = Q_{el_{PV \rightarrow Buildings}}(t) \cdot gCO_{2PV} + Q_{el_{Grid \rightarrow Buildings}}(t) \cdot gCO_{2el.grid}(t) \quad (1)$$

$$gCO_{2Plant}(t) = Q_{el_{PV \rightarrow Plant}}(t) \cdot gCO_{2PV} + Q_{el_{Grid \rightarrow Plant}}(t) \cdot gCO_{2el.grid}(t) \quad (2)$$

$$gCO_{2HTDH}(t) = Q_{heat_{HTDH}}(t) \cdot gCO_{2HTDH}(t) \quad (3)$$

As potential avoided CO₂ emissions, we consider the impact of exported PV electricity to the grid. If the hourly content is higher than the emissions linked to PV, it will result to negative (avoided) emissions. In the opposite case, it will count as positive. This impact is calculated as:

$$gCO_{2PV \rightarrow Grid}(t) = Q_{el_{PV \rightarrow Grid}}(t) \cdot (gCO_{2PV} - gCO_{2el.grid}(t)) \quad (4)$$

3. Results

First, this section presents the results of the hourly electricity balance. It allows to estimate the effective contribution of PV electricity to cover a part of the electricity demand of the district. The second part presents the results of the CO₂ assessment to evaluate the environmental benefits of using a centralised geothermal HP rather than the HTDH or natural gas boilers.

3.1 Electricity balance

Figure 5 shows a daily aggregation of the hourly electricity balance of the district. Most of the electricity for the heat production plant is provided by the grid. This is due to the following reasons: (i) PV production is consumed in priority by the buildings; (ii) there is no excess PV production for the HP during the winter when the HP runs at mid-day; and (iii) during summer at mid-day, when PV production is higher than the consumption of buildings, the heat pump is switched off, since it is only operating during the morning and afternoon DHW batches. There is just a bit consumption of PV electricity by the plant during mid-season, when the PV production is still high and there is a bit of space heating demand. Changing the priority between buildings and heat production plant increases the PV electricity consumed by the plant from 58 MWh to around 500 MWh. However, it does not change the overall PV electricity self-consumption rate, since in this case the PV electricity consumed by the buildings decreases by the same amount (1'839 MWh \rightarrow 1'397 MWh).

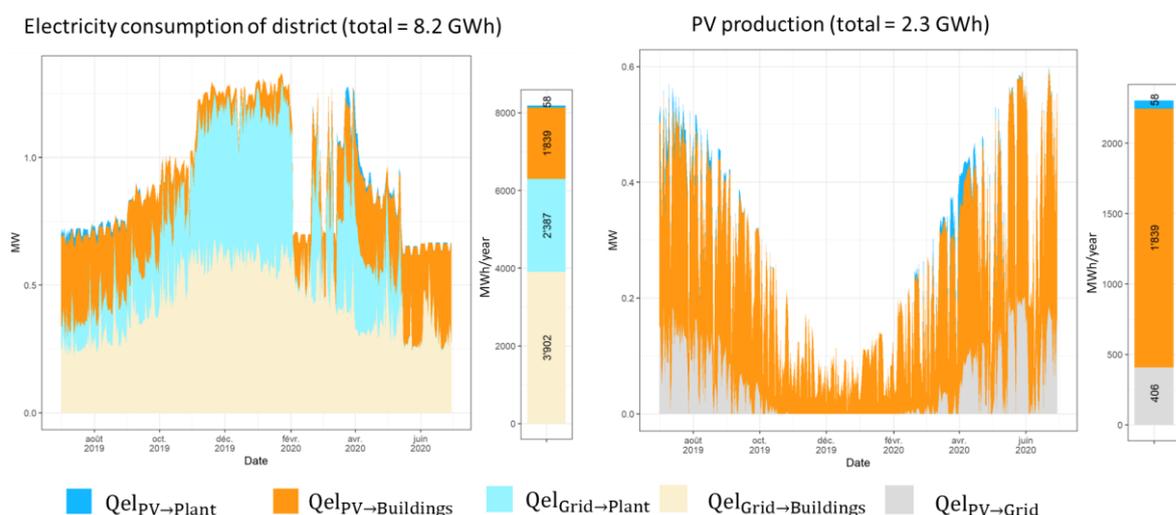


Figure 5. Daily electricity balance of the district: electricity consumption (left) and PV production (right).

Buildings are the main contributors of the self-consumption of locally produced electricity. The Figure 6 shows the mains indicators of the annual electricity balance of the district. The electricity demand for heat production represents around 30% of the total demand. PV covers 23.2% of the total demand and 82.4% of local production is used within the district.

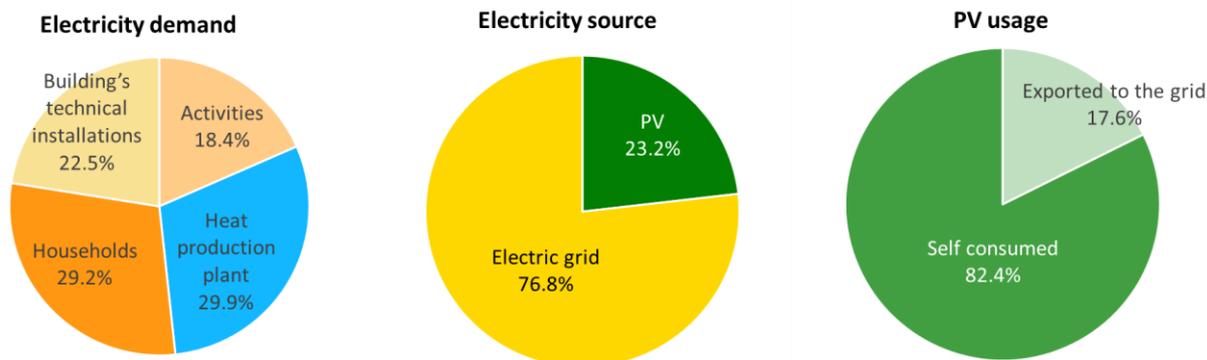


Figure 6. Main annual indicators derived from the hourly electricity balance.

3.2 CO₂ emissions

Figure 7 shows the daily and annual CO₂ emissions by sector. The total amounts to 1'271 tCO₂eq (0.39 tCO₂/year/cap). The emissions linked to the heat production plant have a high seasonal variation for two reasons: (i) the heat demand is much higher during the winter; and (ii) the CO₂ content of electricity is the highest during the winter as well. In February, the HP was stopped for two weeks, which induced a CO₂ emission peek. During summer 2020, the HP was stopped as well, but unfortunately the HTDH network had a relatively high CO₂ content, which is unusual during summer. The emissions are due at 48% to the electricity consumption of the buildings, 37% to the central heat plant and 15% to the heat delivered by the HTDH network. Thus, despite their high PV electricity self-consumption (32% of their electricity consumption), buildings are the main contributors to the CO₂ emission of the district.

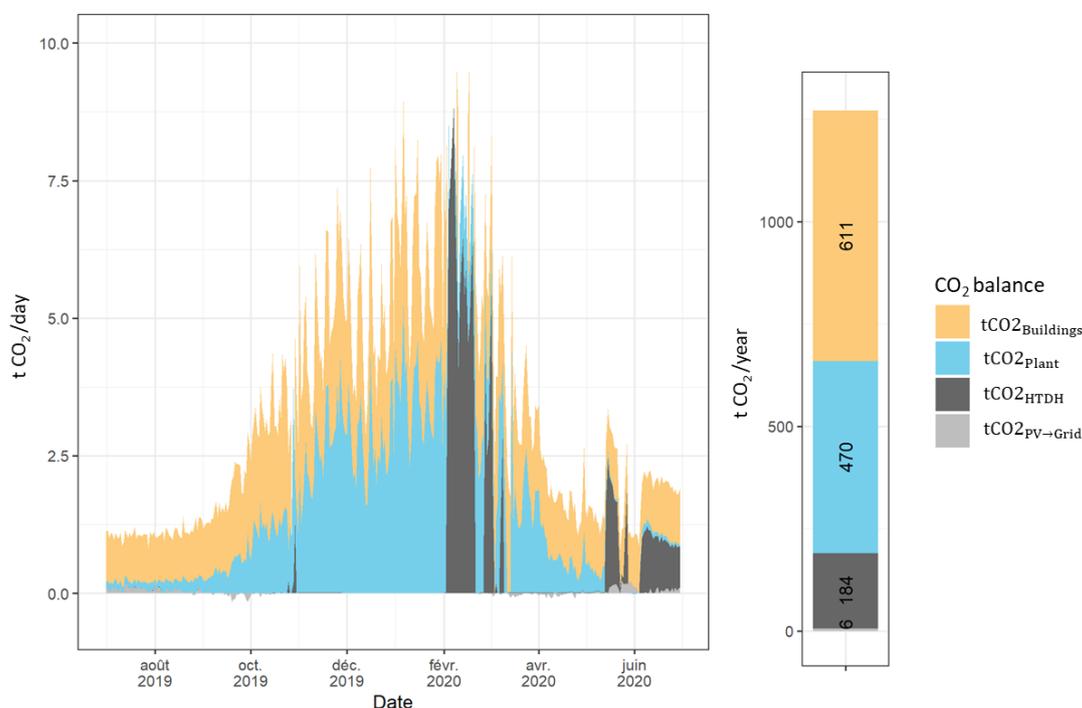


Figure 7. Daily and annual CO₂ emissions (direct + indirect) by sector

Table 2 contains the emissions of the 4 considered sectors for the actual heat production mix, as well as for 3 other alternative scenarios. Comparing the actual mix with the three simulated scenarios shows that when the heat is 100% produced by the centralized HP, it saves 828 tCO₂ compared to the use of the HTDH network, and 1'172 tCO₂ compared to gas boilers. The HP

allows to produce heat with a low environmental impact of 49.2 gCO₂/kWh, by far lower than gas combustion (more than 4 times less).

Table 2. CO₂ emissions of actual production mix compared to 3 alternative scenarios.

Scope	Emissions in t eq. CO ₂				Total	Intensity of heat production (gCO ₂ /kWh _{th})
	Buildings	Plant	HTDH	PV→ Grid		
Actual production mix (Figure 7): 83% HP + 17% high temp. DH	611	470	184	6	1'271	64.6
Simulated 100% HP	611	513	0	7	1'131	49.2
Simulated 100% HTDH	611	0	1'340	8	1'959	132.6
Simulated 100% gas	611	0	0	8	2'304	228

Finally, compared to a scenario where all electricity is taken from the grid, the local PV production only reduces the emissions by 16 tCO₂.

4. Discussion

The previous study [3], based entirely on simulation, estimated the intensity of heat production of the HP to 47 gCO₂/kWh_{th} that is very close to the value in Table 2. Furthermore, the initial estimated self-consumption rate of 83.5% is very close to the 82.4% of current study as well. Nevertheless, these close results are partially due to several effects compensating each other. For example, the initial study assumed a higher carbon content of electricity compared to the one of Figure 3, but did not include the electricity consumption of auxiliary pumps.

Even if current study is less subject to uncertainties, some limitations remain. In particular, the electricity balance of the district relies only partially on monitoring data. While the hourly electricity load curve of the heat production plant is monitored, those of the buildings are estimated. The annual demand of the buildings comes mainly from electricity bills, but the transformation of the annual demand into an hourly load curve is based on a model. PV production is also partially estimated.

The CO₂ content of the HTDH network is supposed not to be influenced by the demand of the district. This is a simplification, since an increase of the demand may be 100% compensated by gas combustion when waste heat is not sufficient. An extreme marginal approach could be to count the heat delivered by the HTDH network as follows: if waste heat is sufficient to cover all demand, then CO₂ emissions are zero. Otherwise, the demand of the district is covered by gas combustion (228 gCO₂/kWh). Such approach might increase significantly the intensity of the heat production for the scenario "Simulated 100% HTDH".

It is assumed that PV electricity is consumed in priority by the buildings. However, when performing a sensitivity analysis, it shows that setting the priority to the heat production plant does not change the amount of imported electricity. It only shifts some PV self-consumption from the buildings to the heat production plant. Simulations with larger PV plants show that the maximum PV coverage would be around 35%, with a dropping self-consumption rate.

5. Conclusions

Monitoring data of the electricity consumption of the buildings and the heat production plant combined with the local PV production allowed to make the electricity balance of the district. PV electricity covered 23.2% of the total demand and 82.4% is self-consumed. Considering: (i) the carbon content of electricity imported from the grid; (ii) indirect emissions of PV production; and (iii) emissions linked to the high temperature district heating network of Geneva show that the district

emits 1'271 t.eq. CO₂. This estimation does not take into account mobility and imported goods. The heat production with the centralized HP allows a significant reduction of CO₂ emissions versus a heat production based on gas boilers (- 1'172 tCO₂) or the high temperature district heating network of Geneva (- 828 tCO₂).

CO₂ emissions saving due to the PV production is less spectacular than the savings in intensity of the heat production. During summer, when PV production is high, the carbon content of grid electricity (58 gCO₂/kWh) is often below the level of PV electricity (81 gCO₂/kWh). For this reason, the exported electricity to the grid represents a positive emission balance during the summer (CO₂ emissions increase). However, during the winter, when carbon content of grid electricity is as high as 300 gCO₂/kWh, PV contributes to the reduction of the carbon footprint. This is a bit a paradox since, at this moment, the PV production is the lowest. Nevertheless, this conclusion should not question Switzerland's solar ambitions. Technological progress in the production of PV panels means that the carbon intensity of PV electricity will decrease. More summer PV production would also allow Switzerland to export low-carbon electricity or to produce renewable gas.

Despite these limitations, the results show that this district is a good example for the decarbonisation of the building sector and for the achievement of the objectives set at national and cantonal levels.

6. Perspectives

Low temperature district heating networks supplied by heat pumps are part of the roadmap to reduce the environmental impact of space heating and domestic hot water production in the residential sector. The present study shows that these solutions are effective at reducing CO₂ emissions. Producing electricity locally with solar PV panels also makes sense considering a district using mostly electricity as energy carrier. The approach used by this study did not tackle economic aspects on investment into solar PV plants. Self-consumption is the main driver making such investments profitable. In practice self-consumption is restricted to the perimeter of the building. Self-consumption rates range from 40% to 60% in this case. Such rates are much lower than the estimated one when considering the district as one entity. It could be of interest to quantify the economic benefit of a solar community, achieved by a micro-grid connecting all electricity producer and consumer.

7. Acknowledgements

The authors thank the local utility Services Industriels de Genève (SIG), the town of Meyrin and the Cantonal Energy Office (OCEN) for the financial support of this study. SIG provided monitoring data of the buildings and heat production plant. HELION, SOLEOL and SOLSTIS provided data of the PV inverter allowing the monitoring of the PV installations.

References

- [1] A. Kemmler, T. Spillmann, A. Piégasa, B. Notter, B. Cox, M. Jakob, G. Catenazzi, Analyse des schweizerischen Energieverbrauchs 2000 - 2020 nach Verwendungszwecken, (2021). <https://pubdb.bfe.admin.ch/de/publication/download/10693>.
- [2] FOEN, CO₂ Statistics: Emissions from Thermal and Motor Fuels, (2021). <https://www.bafu.admin.ch/bafu/en/home/topics/climate/state/data/co2-statistics.html> (accessed July 1, 2021).
- [3] S. Schneider, D. Santandrea, E. Romano, P. Hollmuller, Hourly CO₂ emission assessment of a 5 MWth centralized groundwater HP district heating system in Geneva, J. Phys.: Conf. Ser. 1343 (2019) 012076. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1343/1/012076>.
- [4] S. Schneider, P. Le Strat, M. Patel, Electro What: A platform for territorial analysis of electricity consumption, in: Energy Procedia, Lausanne, Switzerland, 2017: pp. 92–97. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.07.376>.
- [5] E. Romano, P. Hollmuller, M. Patel, Real-time carbon-emissions and consumer responsibility - a marginal approach for an open economy: the case of the Swiss electricity consumption, in: 3rd AIEE Energy Symposium - Current and Future Challenges to Energy Security, IEE - The

- Italian Association of Energy Economists, Rome, Italy, Milano - Italy, 2018: pp. 26–27. <https://archive-ouverte.unige.ch/unige:113926>.
- [6] KBOB 2009/1:2021, Données des écobilans dans la construction 2009/1:2016, (n.d.). https://www.kbob.admin.ch/kbob/fr/home/themen-leistungen/nachhaltiges-bauen/oekobilanzdaten_baubereich.html (accessed July 15, 2021).
- [7] L. Quiquerez, J. Faessler, B.M. Lachal, Services Industriels de Genève, Réseaux thermiques multi-ressources efficients et renouvelables: Etude de cas de la connexion des réseaux thermiques CADIOM (chaleur fatale) et CADSIG (gaz) à Genève et perspectives d'évolution, Services Industriels de Genève, 2015. <http://archive-ouverte.unige.ch/unige:77547>.

Dichte auf dem Prüfstand – Erkenntnisse aus der Covid19-Pandemie für eine gerechte, grüne und produktive Stadt

Autoren: Prof. Dr. Peter Schwehr und 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-Pandemie hat die Lebensrealität der meisten Menschen kurzerhand auf den Kopf gestellt. Das physisch-soziale Leben wurde über längere Zeit auf ein Minimum reduziert, der persönliche Lebensweltradius auf die eigenen vier Wände verkleinert. Die veränderte Wahrnehmung der gebauten Realität führte nicht zuletzt auch dazu, dass gängige stadtplanerische Leitbilder auf die Probe gestellt und hinterfragt wurden. Aus diesem Anlass realisierte das Kompetenzzentrum für Typologie & Planung in Architektur (CCTP) der Hochschule Luzern im Auftrag des Bundesamtes für Wohnungswesen (BWO) und in Zusammenarbeit mit TEC21 / espazium.ch als Medienpartner den virtuellen ThinkTank «*Dichte auf dem Prüfstand*». An vier halbtägigen ThinkTanks zwischen Mai 2020 und Mai 2021 diskutierten online nationale und internationale Expert*innen aus verschiedenen Disziplinen individuelle Erfahrungen, Beobachtungen, Kritik und Fragestellungen. Ziele waren dabei, die durch die Pandemie bedingte Situation im Kontext der Dichte und des Wohnungswesens aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und eine Standortbestimmung vorzunehmen. Das vorliegende Paper ermöglicht einen Einblick in die Inhalte, Thesen und Diskussionen der vier Veranstaltungen und versteht sich als Plädoyer dafür, unsere Planungsparadigmen grundlegend zu überdenken, um gegenüber künftigen Krisen- und Katastrophensituationen besser gerüstet zu sein.

The Corona pandemic turned the reality of most people's lives upside down without further ado. Physical and social life was reduced to a minimum for a longer period of time, and the personal radius of life was reduced to one's own four walls. The changed perception of built reality led not least to common urban planning models being put to the test and questioned. For this reason, the Competence Centre for Typology & Planning in Architecture (CCTP) of the Lucerne University of Applied Sciences and Arts, on behalf of the Federal Office of Housing (BWO) and in cooperation with TEC21 / espazium.ch as a media partner, realised the virtual ThinkTank «*Dichte auf dem Prüfstand*». At four half-day ThinkTanks between May 2020 and May 2021, national and international experts from various disciplines discussed individual experiences, observations, criticism and questions online. The aim was to shed light on the situation caused by the pandemic in the context of density and housing from different perspectives and to take stock of the situation. This paper provides an insight into the contents, theses and discussions of the four events and is intended as a plea to fundamentally rethink our planning paradigms in order to be better equipped to deal with future crisis and disaster situations.

1. Ausgangslage – Contexte – Scope

Lassen sich aus den Erfahrungen aus der letzten Corona-Pandemie künftige Planungs- und Steuerungsversuche für die sogenannte Siedlungsentwicklung nach innen ableiten? Ist eine kritische Revision gängiger Leitbilder nötig? Oder geht es um einen veränderten Umgang mit den komplexen Prozessen gegenwärtiger und künftiger, noch unbekannter Stadtentwicklungen? Inwiefern hat die Corona-Pandemie unser Verständnis von Wohnen, Nachbarschaft und Quartier verändert? Wie sieht angesichts gegenwärtiger und bevorstehender Krisen eine Planung aus, die auf Fragen des Wachstums, der Verdichtung und der Zersiedelung Antworten finden kann? Ausgehend von diesen Fragestellungen führte das Kompetenzzentrum für Typologie & Planung in Architektur (CCTP) der Hochschule Luzern (HSLU) zwischen Mai 2020 und Mai 2021 im Auftrag des Bundesamtes für Wohnungswesen (BWO) und in Zusammenarbeit mit TEC21 / espazium.ch als Medienpartner eine Reihe von Online-Think-Tank-Veranstaltungen durch. Unter dem Titel *«Dichte auf dem Prüfstand»* tauschten sich Expertinnen und Experten aus der Schweiz, Liechtenstein, Österreich und Deutschland aus unterschiedlichen Disziplinen aus. Dabei ging es nicht darum, Themen abzuhaken, sondern wichtige Fragen aufzudecken und eine erste Standortbestimmung zu wagen.

1.1 Dichte auf dem Prüfstand?

Die inhaltliche Ausrichtung der Veranstaltungsreihe ging dabei von der Überzeugung aus, dass heutige Siedlungsrealitäten baulich und organisatorisch eines anderen Umgangs mit der Dichte bedürfen. Wie schnell sich vermeintliche Vorteile in Nachteile verkehren können, zeigte sich nicht zuletzt während der Corona-Pandemie. Bei den Online-Think-Tank-Veranstaltungen sollte es indessen weniger darum gehen, die bauliche Verdichtung *per se* in Frage zu stellen – schon aus ökologischen Gründen nicht. Vielmehr stand die Frage im Vordergrund, wie städtebauliche Verdichtungsprozesse gleichzeitig als Chance genutzt werden könnten, um die Alltagstauglichkeit und Transformationsfähigkeit heutiger Siedlungsrealitäten zu erhöhen. Hierbei sollten gerade auch Zielkonflikte festgemacht werden. Eine wichtige Diskussionsgrundlage war dabei auch ein erweiterter Resilienzbezug, d.h. die thematische Auseinandersetzung mit der Resilienz dichter Lebensräume sollte über die Betrachtung baulicher Strukturen hinausgehen und den Einfluss des ganzen Habitatsystems auf die Gesundheit und Resilienz ihrer Bewohnenden berücksichtigen.

2. Ziele und Vorgehen

Mit der Veranstaltungsreihe *«Dichte auf dem Prüfstand»* sollten nationale und internationale Expertinnen und Experten aus verschiedenen Disziplinen Erfahrungen, Beobachtungen, Kritik und Fragestellungen im Rahmen von drei moderierten Online-Diskussionsrunden zur Diskussion stellen. Ziele waren dabei, die durch die Pandemie bedingte Situation im Kontext der Dichte und des Wohnungswesens aus verschiedenen Perspektiven zu beleuchten und eine Standortbestimmung vorzunehmen. Die Inhalte wurden medial vermittelt und stehen der Öffentlichkeit in der Form von Videos und in der abschliessenden Publikation *«Dichte auf dem Prüfstand»* als Beilage zur Baufachzeitschrift TEC21 1-2/2022 und Online auf den Internetportalen der HSLU und des BWO zur Verfügung.

Die inhaltliche Ausrichtung der einzelnen Veranstaltungen erfolgte explorativ, d.h. die jeweiligen Themen der einzelnen Veranstaltungen wurden jeweils nach Auswertung der vorangehenden Veranstaltung und im Einvernehmen der Forschungspartner bestimmt. Dabei sollte das thematische Feld so abgesteckt werden, dass die Themen rund um Wohnen und Dichte in seinen baulichen, sozialen und ökologischen Dimensionen diskutiert werden konnten. Die Betrachtung umfasste dabei die drei Ebenen *Struktur und Gebäude, Quartier und Raumentwicklung, sowie Interaktion und Prozesse*.

Die wesentlichen Themen und Fragestellungen der einzelnen ThinkTanks werden im Folgenden schlaglichtartig beschrieben:

ThinkTank 1: Dichtestress – oder: Brauchen wir andere Wohnungen und Siedlungen?

Mit dem erzwungenen Rückzug aus dem öffentlichen Raum findet eine drastische Verdichtung in den eigenen vier Wänden statt – was zum Dichtestress innerhalb der Wohnung führen kann. Nicht zuletzt deshalb, weil der eigene Wohnraum selbst hart auf die Probe gestellt wird: In den meisten Fällen ist er nicht darauf ausgelegt, den neuen Beschäftigungen und Alltagsabläufen aller Bewohner*innen gleichzeitig Raum zu bieten. Im ersten ThinkTank fragten wir ganz grundsätzlich: Sprechen wir hier «nur» von einer Extremsituation, oder müssen wir spätestens jetzt den Status quo im Wohnungsbau kritisch hinterfragen? Was können wir aus dieser Situation lernen? Lassen sich aus der aktuellen Pandemie künftige Planungs- und Steuerungsversuche für die sogenannte Siedlungsentwicklung nach innen ableiten? Ist eine kritische Revision gängiger Leitbilder nötig? Oder geht es um einen veränderten Umgang mit den komplexen Prozessen gegenwärtiger und künftiger, noch unbekannter Stadtentwicklungen?

ThinkTank 2: Verdichten als Chance

«Innenentwicklung» ist das Gebot der Stunde. Dabei wird die Diskussion hauptsächlich über die Frage der baulichen Dichte geführt: Im Fokus steht eine «Dichte», die an bauliches Wachstum geknüpft ist. Doch der zweite ThinkTank bestätigte einmal mehr: «Dichte» zeigt sich in vielschichtigen Untertönen jenseits von Bebauungsziffern und mathematischen Kenngrößen – als atmosphärische Dichte, als Ereignisdichte oder als Nutzungsdichte. In dieser Lesart wird Dichte keineswegs (nur) durch bauliches Wachstum geschaffen. Vielmehr geht es um die Intensivierung von Nutzungsmöglichkeiten und um interessante, befruchtende Kombinationen, nicht nur im Raum, sondern allenfalls auch im zeitlichen Verlauf. Insbesondere die Mischung von Wohnen und Arbeiten gilt es hinsichtlich verschiedener Massstabsebenen zu diskutieren. Kann Nachverdichtung als Chance genutzt werden, um überkommene Nutzungskonzepte zu aktualisieren? Braucht eine solche Verdichtung von Nutzungen andererseits neue Räume, die den Rückzug stimulieren?

ThinkTank 3: Nachbarschaft und 3. Zusammenleben

Nachdem in den ersten beiden ThinkTanks internationale Expertinnen und Experten reflektiert hatten, welche Lehren die Planer*innenbranche aus den Erfahrungen des Lockdowns für eine nachhaltige Entwicklung der gebauten Umwelt ziehen kann, wurde in der dritten Veranstaltung die Perspektive gewechselt. Wir liessen diejenigen zu Wort kommen, die während der Pandemie «vor Ort» engagiert und betroffen waren: Nutzer und Nutzerinnen, Hausverwaltungen, Wohnassistentinnen und Siedlungscoaches. Was für Auswirkungen hatte aus ihrer Sicht der Lockdown auf Nachbarschaft und Zusammenleben in der Siedlung und im Quartier? Welchen Einfluss haben ein bestimmtes Raumangebot, Belegungsdichte und Zusammensetzung der Mieterschaft auf die Umsetzung der Massnahmen (etwa Hygiene- und Verhaltensregeln) gegenüber der Bewohnerschaft? Welche baulichen, sozialen und betrieblichen Veränderungsprozesse fanden während der Pandemie statt? Wie hat sich die Bewohnerschaft organisiert, sich Räume angeeignet oder gar «umgeformt»? Welche baulichen und betrieblichen Angebote stellten sich als wichtig heraus?

ThinkTank 4: Ein Jahr nach dem Lockdown – Lessons Learned?

Im vierten und letzten ThinkTank blickten wir auf ein Jahr Corona-Pandemie zurück. Nachdem im Frühling 2020 internationale Expert*innen erste Lockdown-Erfahrungen reflektierten und im Herbst 2020 die Sicht der Nutzer*innen im Vordergrund stand, wagten wir in dieser

Abschlussveranstaltung ein Resümee: Inwiefern hat die Corona-Pandemie unser Verständnis von Wohnen, Nachbarschaft und Quartier verändert? Was hat die Quartiere und das Zusammenleben gestärkt, und woran fehlte es ihnen? Wie steht es um die Aneignbarkeit und Resilienz unserer Lebensräume? Welche Lehren können – und sollen – wir aus diesen Erkenntnissen für die Zukunft ziehen? Was heisst das für unterschiedliche Disziplinen wie Architektur, Stadtplanung, Immobilienwirtschaft, Liegenschaftenverwaltung und Soziokulturelle Animation? Der Rückblick war ein Anstoss, ganz genau hinzuschauen, um Bewährtes weiter zu stärken und aufgedeckte Schwachstellen bezüglich des Wohnens, des Zusammenlebens und des Quartiers auszubessern.

3. Resultate – Résultats – Results

Die Diskussionen der Veranstaltungsreihe wurden durch das Team der Hochschule Luzern in Zusammenarbeit mit dem Medienpartner Tec21 im Nachgang medial aufbereitet. Die Essenzen aus den einzelnen Diskussionsrunden wurden dokumentiert und thematisch den drei Betrachtungsebenen *Struktur und Gebäude*, *Quartier und Raumentwicklung*, sowie *Interaktion und Prozesse* zugeordnet.

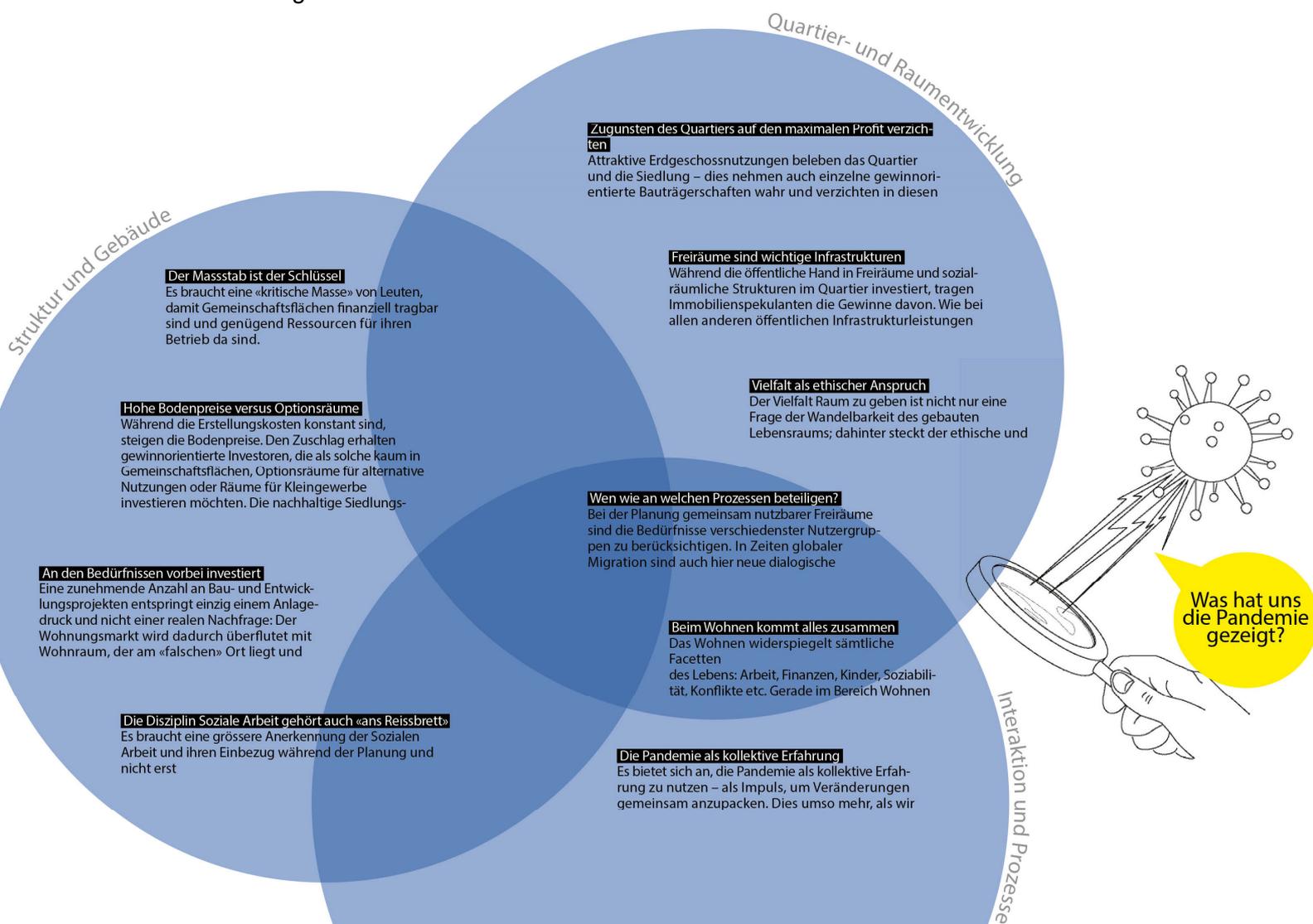


Abbildung 1 Essenzen aus den Diskussionen und thematische Zuordnung hier am Beispiel für die vierte Veranstaltung «Lessons learned» (Illustration: HSLU-CCTP)

Basierend auf der Auswertung der ThinkTanks wurde ein «Fazit in zehn Thesen» formuliert, die sich gleichwohl als kreativer Impuls und als Anregung zum Weiterdenken verstehen:

1. Covid-19 hat das Leitbild von Effizienz und Planbarkeit ins Wanken gebracht. «Resilienz» und «Fehlertoleranz» sind keine Modewörter, sondern je länger, desto mehr eine Überlebensnotwendigkeit.

Krisensituationen offenbaren die Schwächen konventioneller Organisations- und Planungsinstrumente: Die Probleme einer in hohem Mass effizienzgetriebenen Planungskultur werden offensichtlich und zwingen uns zu zukunftsfähigen baulichen und prozessualen Strategien, die lernfähig, synergetisch und anpassbar sind und es ermöglichen, in Zeiten grosser Veränderungen zu reagieren.

2. Covid-19 hat gezeigt, dass die Dezentralität gestärkt werden muss. Auch Zentren und Quartiere in den Agglomerationen sind dafür als sozial und infrastrukturell gut funktionierende Wohn- und Arbeitsorte zu festigen.

Wesentliche Merkmale funktionierender und resilienter Städte sind die Qualität und Verteilung ihrer sozialen und urbanen Infrastruktur. Mit der Corona-Pandemie dürfte sich der Ruf nach einer dezentralen Verteilung städtischer Funktionen verstärkt haben: Es geht hier nicht einfach um «kurze Wege», sondern um ein Umdenken – es muss über eine gerechtere Verteilung von Infrastrukturen im städtischen und regionalen Massstab nachgedacht werden, ganz im Sinn polyzentrischer Stadtkonzepte. Drehte sich in der Vergangenheit die Diskussion also um ein möglichst effizientes öffentliches Verkehrsnetz, das dezentral gelegene Wohngebiete mit den Einrichtungen und Infrastrukturen des täglichen Bedarfs verbinden sollte, so denkt man je länger, desto mehr über eine optimale Verteilung von Dienstleistungen vor Ort nach.

3. Covid-19 hat gezeigt, dass es Spiel- und Handlungsräume für das situative Reagieren auf veränderte Bedürfnisse und die Erprobung von Neuem braucht. Hier stellt sich die Frage nach einem angemessenen politischen und (bau)gesetzlichen Rahmen, der eine Kultur des Ausprobierens, des Lernens (und des Scheiterns!) zulässt.

Anspruch auf Kontrolle und Perfektionismus zu erheben ist für die Bewältigung komplexer Krisen kontraproduktiv. Starre gesetzliche Vorschriften, die der Aktualität und Dynamik widersprechen, behindern die Erprobung anderer Formen der Alltagsorganisation, des Wohnens und des Bauens. Gewohnte Handlungs- und Denkmuster zu verlassen bietet dagegen enorme Chancen. Dafür benötigen wir Experimentalräume und Sonderzonen, in denen Neues erprobt werden kann und bestehende Vorschriften aussen vor bleiben. Das evolutionäre Grundprinzip des «Trial & Error» gilt es in einer nach haltigen Planungskultur zu verankern. Eine offene Architektur wird dem «You can't control!» gerecht.

4. Covid-19 hat nicht nur den Wert einer funktionierenden Nachbarschaft gezeigt, sondern auch des soziokulturellen Engagements. Funktionierende Nachbarschaften brauchen nicht nur angemessene Räume für Austausch und Rückzug, sondern auch den Einbezug sozialer Kompetenzen von Beginn an.

Es braucht eine Wohnraumplanung, die sich nicht auf bauliche oder infrastrukturelle Zielsetzungen beschränkt, sondern soziokulturelles Engagement und Know-how auf eine selbstverständliche Weise und gleichwertig miteinbezieht, um die Voraussetzungen für tragfähige nachbarschaftliche Strukturen zu schaffen. Nachhaltige (Wohn-)Architektur verlangt nach Kooperationen. Eine aktiv gelebte Nachbarschaft kann einen wesentlichen Beitrag dazu leisten, dass das Quartier über einen möglichst langen Zeitraum für verschiedene Bewohnerinnen und Bewohner einen qualitativ hochstehenden Lebensraum bietet. Die Gestaltung von Gemeinschaftsräumen und Begegnungszonen innerhalb und ausserhalb des Gebäudes und die Beteiligung von Bürgerinnen und Bürgern bereits in der

Planung können Synergien zwischen den Bewohnenden ermöglichen und ein Zeichen gegen die zunehmende Vereinsamung setzen.

5. Covid-19 hat gezeigt, was wir durch die jahrzehntelange Bevorzugung des motorisierten Individualverkehrs verloren haben. Es wurde deutlich, wie stark der Automobilverkehr Räume beansprucht, die man für kollektive Nutzungen verwenden könnte.

Selten war so spürbar, wie viel Fläche auf den Strassen vorhanden ist, wenn der motorisierte Individualverkehr von einem Tag auf den anderen stillsteht. Diese kollektiven Erlebnisse des «Langsamen» sind wichtig, um gemeinsame Zielvorstellungen für eine künftige Mobilitätskultur zu entwickeln, die eine klima- und pandemiegerechte Stadt mit hohen Aufenthaltsqualitäten unterstützt. Die Ära der autogerechten Stadt geht zugunsten eines nachhaltigen Mobilitätskonzepts zu Ende. Dabei geht es nicht allein um technische Lösungen, sondern vielmehr darum, Mobilität in der Stadt ganz grundsätzlich neu zu denken, den individuellen motorisierten Verkehr drastisch zu reduzieren und den Stadtraum neu zu verteilen.

6. Covid-19 hat akut Fragen der Wohnflächenverteilung aufgeworfen: Muss die private Wohnfläche primär reduziert oder erst einmal gerechter verteilt werden?

Das Thema der Flächengerechtigkeit ist mit Covid-19 plötzlich noch zentraler als zuvor. Die Krise machte sichtbar, dass auch in den westlichen Industrienationen grosse soziale Unterschiede bestehen, die sich in einem ungleichen Zugang zu Wohnflächen, Wohnqualitäten und urbaner Infrastruktur manifestieren. Standen zu Beginn der Pandemie Fragen zur städtischen Dichte und zu deren vermuteten Nachteilen – insbesondere bezüglich Infektionsrisiko – oder die Kritik am hiesigen Wohnungsbau im Vordergrund, erklingt in stadt- und raumbezogenen Debatten auch hierzulande vermehrt der Ruf nach einer gerechteren Verteilung von Wohnfläche, Wohnqualitäten und urbaner Infrastruktur.

7. Covid-19 hat einmal mehr die Frage, wie und wo wir leben und wohnen wollen, auf die Agenda gesetzt. Es werden dringend Wohnungen benötigt, die den neuen Alltagsabläufen Raum geben.

Dazu gehören etwa hybride Typologien, die Kleingewerbe, Bürotätigkeiten und Wohnen als Möglichkeit kombinieren. Anstelle von funktionalistisch optimierten Räumen für die «neutrale Nutzerin» und den «neutralen Nutzer» sind klug eingeteilte und gut proportionierte Räume anzustreben, die eine hohe Nutzungsflexibilität bieten.

8. Covid-19 hat den stationären Handel in den Städten zum Erliegen gebracht. Wie sich unser Einkaufsverhalten auf den städtischen Raum auswirkt, zeigt sich in den Kernstädten und Zentren allerdings nicht erst seit Corona: Das Ladensterben und Leerstände zeigen einen dringenden Handlungsbedarf auf. Gefragt sind dabei nicht nur ökonomische, sondern gerade auch städtebauliche Konzepte.

Der Lockdown hat das Einkaufen im Internet weiter angekurbelt. Dadurch besteht die Gefahr, dass Innenstädte veröden und die fussnahe Grundversorgung geschwächt wird. Stattdessen müssen Innenstädte aufgewertet werden. Dafür benötigen wir Platz, der zum Verweilen und nicht nur zum Konsumieren einlädt und den Menschen mehr bietet als das schnelle Besorgen von Waren. In der Ausgestaltung der Innenstädte kommt heute ein weiterer Aspekt dazu: Die Folgen des Klimawandels – etwa in der Form von Hitzetagen und wechselnden Wetterereignissen wie starkem Regen oder langen Trockenzeiten – erfordern vermehrt Grünzonen und Flächen, die Wasser aufnehmen können. Gerade in der Stadt kommen solche Massnahmen allen zugute. Ein aktuelles Beispiel ist die Nutzung von Parkflächen und Dachlandschaften von innerstädtisch liegenden eingeschossigen Supermärkten in Deutschland.

9. Covid-19 hat bestätigt: Bauliche Dichte ist noch kein städtebauliches Leitbild. Es braucht eine Vorstellung davon, zu welcher Form von Zusammenleben welche Dichte beitragen soll.

Dichte ist ein wesentliches Merkmal städtischen Lebens. Sie ermöglicht, was Urbanität schliesslich interessant macht: das Neben- und Miteinander von unterschiedlichen Nutzungen, Menschen und Erlebnissen. Dichte ist vielstimmig und setzt sich aus zahlreichen Facetten zusammen. Vor allem: Dichte hat einen Einfluss auf die Qualität menschlicher Wahrnehmungen und Interaktionen. Sie prägt die Art und Weise, wie wir zusammenleben. Heutige Siedlungsrealitäten bedürfen eines anderen baulichen und organisatorischen Umgangs mit der Dichte; sonst laufen wir Gefahr, dass sich Vorteile in Nachteile verkehren. Dies zeigt sich nicht zuletzt in der gegenwärtigen Pandemie. Dabei geht es weniger darum, die bauliche Verdichtung per se infrage zu stellen – schon aus ökologischen und volkswirtschaftlichen Gründen nicht. Vielmehr steht die Frage im Vordergrund, wie städtebauliche Verdichtungsprozesse gleichzeitig als Chance genutzt werden können, um die Alltagstauglichkeit und Transformationsfähigkeit heutiger Siedlungsrealitäten zu erhöhen. Hierfür ist aber eine Auffassung von Dichte notwendig, die über ein rein auf bauliches Wachstum geknüpftes Verständnis hinausgeht und kein «Gefühl von Enge» entstehen lässt.

10. Covid-19 hat unser überkommenes Bild von «Arbeitsplatz» infrage gestellt. Neue Arbeitsverhältnisse verlangen nach neuen räumlichen Konstellationen.

Die Pandemie hat das klassische Büro als Ort, an dem die Arbeit von jeder und jedem Einzelnen am eigenen Schreibtisch erledigt wird, vorübergehend obsolet gemacht. Gleichzeitig fehlte es an einem Ort für Arbeitsformen, in denen das Gespräch, der persönliche Austausch und die Interaktion eine wichtige Rolle spielen. Was bedeutet Corona nun für den «Arbeitswandel»? Wie werden wir in Zukunft das Büro nutzen? Wo und wie verläuft die Trennlinie zwischen Beruf und Alltag, wenn das «Office» – und damit ein Teil des Unternehmens – plötzlich Teil des «Home» wird? Homeoffice bedeutet tatsächlich für viele Arbeitnehmende einen Stresstest, zumal nicht jede Wohnung über die geeignete räumliche und technische Infrastruktur verfügt. Wieso nutzen wir nicht Synergien und bieten entsprechende Räume für Coworking im Quartier oder innerhalb der Siedlung an? Unsere Wohnungen könnten suffiziente Grundflächen ausweisen, zur Ergänzung stunden flexibel nutzbare und gemeinschaftlich genutzte Räumlichkeiten zur Verfügung. Das würde die Nachbarschaft fördern und die Ressourcen schonen.

4. Diskussion und Ausblick

Mit der Think-Tank-Reihe wurde ein wichtiges und anregendes Gefäss geschaffen, um aktuelle Fragestellungen an der Schnittstelle verschiedener Disziplinen und mit nationalen Vertreterinnen und Vertretern aus der Praxis und der Forschung zu reflektieren. Es wurden dringende Handlungsfelder im Lichte heutiger Nachhaltigkeitsüberlegungen aufgedeckt und nicht zuletzt auch ein thematischer Kompass für zukünftige Forschungsfelder am CCTP entwickelt. Der während des ThinkTank viel benutzte Begriff der Resilienz bedarf dabei gerade in Planerkreisen einer Erweiterung, und zwar in dem Sinne, dass er nicht allein auf das Gebäude fixiert werden sollte, sondern dass die Wirkung des Siedlungsraums auf das Wohlergehen der Menschen ganz grundsätzlich in der Diskussion um Resilienz in Betracht gezogen werden sollte. Dieser Aspekt wird aktuell unter dem Begriff «*Restorative Urbanism*», geprägt durch Jenny Roe und Lara McCay diskutiert [5]. Es handelt sich um ein Konzept, das die psychische Gesundheit, das Wohlbefinden und die Lebensqualität entschieden in den Vordergrund der Stadtplanung und Stadtgestaltung stellt.

In diese Sinne definieren wir Resilienz als einen Gradmesser der Verletzlichkeit, Widerstandsfähigkeit und der Handlungsfähigkeit eines Systems. [6] Es befähigt ihre Bewohnenden, d.h. sowohl Individuen als auch Gemeinschaften, mit den Herausforderungen des Lebens fertig zu werden, sich anzupassen und zu gedeihen [5]. So stellt sich also bei der Diskussion um resiliente Siedlungsräume die Frage: Welchen Beitrag leistet der gebaute

Siedlungsraum für die Gesundheit seiner Bewohnenden, ihrem Wohlergehen und ihrer Entwicklungsfähigkeit?

In diesem Sinne argumentiert auch die «*Neue Leipziger Charta 2020*» [7] als das Leitdokument für gemeinwohlorientierte Stadtentwicklung in Europa. Sie formuliert konkrete Handlungsfelder und Schlüsselprinzipien guter Stadtpolitik und fordert das Miteinander einer gerechten, grünen und produktiven Stadt. Bei der Umsetzung dieses neuen Leitbildes sind zwangsläufig Zielkonflikte vorprogrammiert. Bei einem Zielkonflikt handelt es sich bekannterweise um mindestens zwei Ziele, die in Konkurrenz zueinander stehen und ihre Umsetzung blockieren [8] – in diesem Fall den Wandel zur nachhaltigen, zukunftsfähigen und resilienten Stadt. Aktuelle Beispiele solcher Zielkonflikte sind etwa «*Verdichtung vs. Grünraum*», «*Vermehrter Holzbau vs. Nachhaltige Forstwirtschaft*» oder «*Stadtumbau vs. Erhalt von Bestand*». [9] Die anzustrebende Komplementarität des jeweiligen Ziels erfordert neben einem gleichen Verständnis des übergeordneten Ziels, Aushandlungsprozesse.

Leider fehlt uns aber angesichts des dringend notwendigen Wandels von einer fossilen geprägten Zeit hin zu einem dekarbonisierten Zeitalter, just für die Umsetzung dieser Forderungen an Erfahrungswissen. Wir müssen uns also fragen, was das grosse Ganze denn sei und welche Strategien dafür zielführend und so anpassungsfähig sein könnten, dass sie nicht eine weitere Entwicklung verbauen? Dafür ist der Austausch von Experten und Expertinnen aus Wissenschaft, Politik und Zivilgesellschaft und das Zusammenführen von verschiedenen Erfahrungen und Kompetenzen essenziell. Das Gefäss der ThinkTanks schafft den dafür notwendigen (Denk-)raum. Im nächsten Schritt müssen die im ThinkTank entwickelten Ideen in Reallabore weiterentwickelt und 1:1 getestet und ausgewertet werden. Diese gilt es nun umzusetzen.

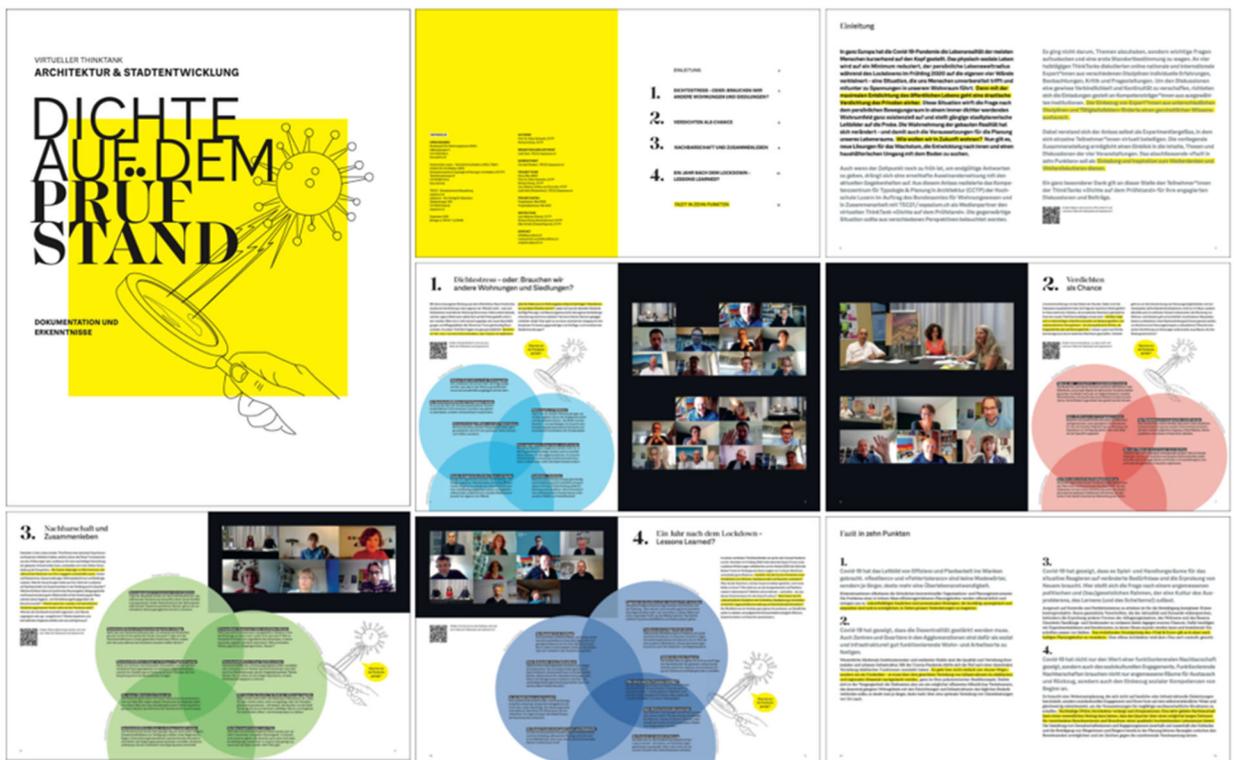


Abbildung 2 Auszug aus der Publikation "Dichte auf dem Prüfstand"

Anhang/annexe

Literatur/Referenzen – Littérature/références – Literature/references

- [1] Schwehr, Peter & Zemp, Richard (2021). *Dichte auf dem Prüfstand: Dokumentation und Erkenntnisse*. Zürich: Espazium.
- [2] 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)
- [3] 1.-4. Online ThinkTank «Dichte auf dem Prüfstand» 26.05.2020 – 12.04.2021

<https://www.youtube.com/user/HSLUCCTP>

	<p>ThinkTank Dichte auf dem Prüfstand – Interview Doris Sfar CCTP – Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur • 52 Aufrufe • vor 1 Monat Das Kompetenzzentrum für Typologie & Planung in Architektur (CCTP) führte am 26. Mai 2020 zusammen mit dem Bundesamt für ...</p>
	<p>ThinkTank Dichte auf dem Prüfstand – Ausschnitte CCTP – Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur • Keine Aufrufe • vor 1 Monat Das Kompetenzzentrum für Typologie & Planung in Architektur (CCTP) führte am 26. Mai 2020 zusammen mit dem Bundesamt für ...</p>
	<p>ThinkTank Dichte auf dem Prüfstand – Interview Peter Schwehr CCTP – Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur • 40 Aufrufe • vor 1 Monat Das Kompetenzzentrum für Typologie & Planung in Architektur (CCTP) führte am 26. Mai 2020 zusammen mit dem Bundesamt für ...</p>
	<p>ThinkTank Dichte auf dem Prüfstand N°2 – Ausschnitte CCTP – Kompetenzzentrum Typologie & Planung in Architektur • 5 Aufrufe • vor 2 Wochen Das Kompetenzzentrum für Typologie und Planung in Architektur (CCTP) führte am 10. Juli 2020 schon das zweite Mal ...</p>

- [4] 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>]
- [5] Roe, Jenny; McCay, Layla (2021): *The Restorative cities: urban design for mental health*. London: Bloomsbury
- [6] 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
- [7] Bundesministerium für Wohnen, Stadtentwicklung und Bauwesen 2020 *Neue Leipziger Charta: Die transformative Kraft der Städte für das Gemeinwohl-*
https://www.bmi.bund.de/SharedDocs/downloads/DE/veroeffentlichungen/2020/eu-rp/gemeinsame-erklarungen/neue-leipzig-charta-2020.pdf?__blob=publicationFile&v=6

- [8] BWL-Lexikon / <https://www.bwl-lexikon.de/wiki/zielkonflikt/> abgerufen 31.08.2022
- [9] Veranstaltungsreihe "Zielkonflikte im Diskurs der Nachhaltigkeit" im Rahmen des Projektes "Initiierung Big Picture Anthropozäne Verantwortung" des CCTP an der HSLU T&A / abgerufen 31.08.2022

<https://www.hslu.ch/de-ch/technik-architektur/ueber-uns/aktuell/2021/12/02/cctp-p11/>

<https://sites.hslu.ch/architektur/thinktank-veranstaltungsreihe-zielkonflikte-im-diskurs-der-nachhaltigkeit/>

WP-Source – Kombination von Wärmequellen für Gebäude mit hoher Heizlast

Carsten Wemhöner, Christoph Meier

Kontaktperson: Carsten Wemhöner, IET - Institut für Energietechnik,
OST - Ostschweizer Fachhochschule, Campus Rapperswil, Oberseestrasse 10,
8640 Rapperswil, carsten.wemhoener@ost.ch, <http://www.ost.ch/iet>

Zusammenfassung

Résumé

Abstract

Das BFE-Projekt "WP source" fokussiert auf die Überwindung von Einschränkungen bei Wärmequellen für den Betrieb von Wärmepumpen (WP) höherer Leistung ab 50 kW, etwa bei Luft durch Lärmemissionen oder bei Erdwärmesonden (EWS) durch Platz- oder Bohrbeschränkungen. Durch Kombination von Wärmequellen kann ein Betrieb der WP ermöglicht werden, und je nach Bedingungen können auch Kosten- und Effizienzvorteile resultieren. Bei einer Spitzenlastdeckung durch EWS wurde in gekoppelten Gebäude- und Anlagensimulationen festgestellt, dass die EWS-Länge überproportional reduziert werden kann, wenn nur die Leistungsspitzen im Winter mit der EWS abgedeckt werden. Damit werden sowohl die Lärmbeschränkungen der Luftquelle als auch die Platz-/Bohrbeschränkungen der EWS umgangen und der Zweiquellenbetrieb kann sogar kostengünstiger sein. Auch durch Regeneration kann eine reduzierte EWS-Auslegung hinsichtlich der Sondenlänge erfolgen. Bei solarer Regeneration wurden optimale Verhältnisse zu den Kollektorkosten ermittelt, bei Regeneration mit Luft müssen Ventilatorstrom und Regelung besonders berücksichtigt werden. Damit bietet ein Zweiquellen-Einsatz nicht nur die Ermöglichung des WP-Einsatz insbesondere auch bei Sanierungen, sondern bieten auch Kostenreduktionen und Effizienzsteigerungen.

The SFOE project "WP source" focuses on overcoming limitations in heat sources for the operation of heat pumps (HP) of higher capacity from 50 kW on, e.g. in the case of an air-source due to noise emissions or in the case of borehole heat exchangers (BHE) due to space or drilling restrictions. By combining heat sources, the HP operation can be enabled, and, depending on boundary conditions, cost and efficiency benefits can also result. In the case of peak load coverage by the BHE, it was found in coupled building and system simulations that the BHE length can be reduced over-proportionally, if only peak winter loads are covered by the BHE. This will circumvent both the noise limitations of the air-source and the space/drilling limitations of the BHE-source, and can even make dual-source operation more cost-effective. Regeneration can also result in a lower BHE design. In the case of solar regeneration, favourable ratios regarding collector costs have been determined; in the case of regeneration with air heat exchanger, special attention must be paid to the fan power and control. Thus, a dual source application not only offers the opportunity of using a HP, especially also in retrofit application, but may also offer cost reduction and performance increase.

1. Ausgangslage

Szenarien in vielen Ländern gehen davon aus, dass Wärmepumpen in Zukunft das vorherrschende Heizsystem sein werden. Während Wärmepumpen in neu gebauten, kleineren Wohngebäuden bereits einen hohen Marktanteil in der Schweiz aufweisen, ist der Einsatz in grösseren Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden mit höherem Heizleistungsbedarf über 50 kW, insbesondere in Bestandsgebäuden, noch begrenzt. Eine Einschränkung für die Verbreitung von Wärmepumpen für den Einsatz im höheren Leistungsbereich sind geeignete Wärmequellen, vor allem bei Sanierungen, wo Einschränkungen der Wärmequelle ein großes Hindernis darstellen können.

Eine Möglichkeit zur Überwindung der Einschränkungen einzelner Wärmequellen kann durch die Kombination verschiedener Wärmequellen erschlossen werden, besonders, wenn Synergien unter den Wärmequellen genutzt werden können.

Im BFE geförderten Projekt «WP source – Integrationsmöglichkeiten von Wärmequellen» werden systematisch Kombinationen von Wärmequellen untersucht mit dem Ziel, trotz Einschränkungen einzelner Quellen einen rein regenerativen Einsatz von Wärmepumpen zu ermöglichen. Damit können die Marktanteile bei grösseren Leistungen und in der Sanierung erhöht werden.

Als Hypothese wird dabei formuliert, dass über die Kombination zusätzlich Synergien zwischen den Wärmequellen für eine bessere Effizienz und/oder wirtschaftliche Vorteile im Vergleich zu Einzelquellen genutzt werden können, z. B. durch Einsatz der Wärmequelle mit dem besseren Temperaturniveau oder durch Ausnutzen von Auslegungsvorteilen. Projektziel sind Empfehlungen für den Einsatz von Mehrquellensystemen für die Anwendung im hohen Leistungsbereich.

2. Vorgehen

Eine Literatur- und Marktrecherche hatte zum Ergebnis, dass bisher kaum kommerzielle Systemlösungen für mehrere Wärmequellen bei den einschlägigen Herstellern auf dem Markt verfügbar sind. In der Forschung gibt es einzelne Projekte, aber keine systematische Auswertung von Potenzialen, die über die Kombination erschlossen werden können. Aufbauend auf einer Charakterisierung von Wärmequellen wurden für die Integration von mehreren Wärmequellen vier Strategien betrachtet:

- (a) Spitzenlastabdeckung durch eine weitere Wärmequelle
- (b) Regeneration der primären Wärmequelle durch zusätzliche Quelle(n)
- (c) ganzjähriger Grundlastbetrieb durch weitere Quelle(n)
- (d) Vorwärmung der primären Wärmequelle durch zusätzliche Quelle(n) zur Leistungserhöhung

Die Varianten werden in Matlab-Simulink modelliert und anhand von dynamischen Gebäude- und Anlagensimulation bezüglich Integration, Auslegung und Regelung untersucht. Das Hauptaugenmerk der Untersuchung liegt dabei darauf, trotz der Einschränkungen den monovalenten Einsatz von Wärmepumpen in Gebäuden mit hohen Leistungsanforderungen zu ermöglichen, wobei "monovalent" hier auf den Wärmeerzeuger und nicht auf die Quelle bezogen wird. Es wird also als Einsatz ohne Zusatzheizung wie einem Heizkessel mit fossilem Brennstoff, aber mit mehreren möglichen Quellen verstanden.

Die Untersuchungen erfolgen mittels Simulationen von generischen Wohngebäuden im Baustandard "Neubau" und "Bestand" bei einem Wärmeleistungsbedarf von 60 bis 240 kW. Als Randbedingung für die Auslegung von Erdsonden(feldern) wurde für alle gerechneten Varianten immer die Auslegung nach SIA 384/6 [1] zugrunde gelegt, bei der gefordert wird, dass die mittlere Fluidtemperatur nach 50 Jahren nicht unter -1.5 °C fallen darf. Damit konnten sowohl Effekte der Grössenskalierung (z.B. Sondenabstand) als auch im Lastprofil (höherer Warmwasseranteil im Neubau) untersucht werden. Die verschiedenen Strategien können bei gleichen Randbedingungen (z.B. begrenzte Bohrtiefe) nach energetischen und wirtschaftlichen Kriterien miteinander verglichen werden.

Tabelle 1 gibt einen Überblick der Gebäude- und Anlagenparameter, die für die Simulationsuntersuchungen zugrunde gelegt werden. Die Lasten wurden dabei entsprechend der Standardnutzung nach SIA 2024 [2] für Mehrfamilienhäuser eingesetzt.

Als Wetterdaten wurde Zürich Meteoschweiz normales Jahr nach SIA 2028 [3] benutzt, wobei zum Test der Robustheit der Auslegung auch Variationen unter Einbezug eines kalten Jahres durchgeführt wurden, sowohl ein rein kaltes Jahr über 50 Jahre als auch als periodische Variation von 4 normalen Jahren gefolgt von einem kalten Jahr. Die Wärmepumpe wurde als Performance Map basierend auf den Herstellerdaten einer Luft-Wasser [4] und Sole-Wasser [5] Wärmepumpe von Hoval ausgewertet. Die höheren Leistungen werden über die Vervielfachung des Lastprofils der Grundgrösse von 60 kW gerechnet.

Tabelle 1: Gebäude- und Anlagen-Parameter für die Simulationsstudien im Neu- und Altbau

Parameter	Neubau	Altbau	Variation/Bemerkung
Heizwärmebedarf	45 kWh/(m ² a)	160 kWh/(m ² a)	Keine Variation
Heiz-/WW-Anteil	33% H, 66% WW	80% H, 20% WW	Keine Variation
Heizlast	60 kW	60 kW	Variiert bis 240 kW
Anzahl Wohnungen	36	12	bei 60 kW
Vorlauf Heizung	35 °C	55 °C	FBH/Radiator
WW-Temperatur	55 °C	55 °C	Kein Heizeinsatz, nur Wärmepumpe
Wetterdaten	Zürich SMA	Zürich SMA	Zürich SMA kalt
Leitfähigkeit Erdreich	2.4 W/(mK)	2.4 W/(mK)	0.8 W/(mK)

Legende: H – Heizung, WW – Warmwasser, FBH – Fussbodenheizung

3. Resultate

Der Schwerpunkt dieses Beitrags liegt auf den ersten beiden Integrationsmöglichkeiten der Strategien "Spitzenlastdeckung" und "Regeneration". Es werden im Rahmen dieser Veröffentlichung nur die reinen Strategien betrachtet, obwohl auch Kombinationen der Strategien denkbar sind, was vor allem bei sehr hohen Leistungen im Bereich von 200 kW naheliegend ist und die im Folgenden dargestellten jeweiligen Vorteile der einzelnen Strategien in der Kombination noch verbessern kann.

3.1 Strategie Spitzenlastsonde

Für die Integrationsvariante (a) Spitzenlastabdeckung mit Erdwärmesonden bieten sich Vorteile in Kombination mit Leistungsbegrenzungen der primären Wärmequelle, wie sie bei der Wärmequelle Aussenluft aufgrund von Lärmemissionen bestehen können. Bei reiner Erdreichquelle über Erdwärmesonden können hingegen Platzbeschränkungen für die Installation einer ausreichenden Anzahl von Sonden bestehen. Spitzenleistungen werden hingegen häufig nur für einen recht kurzen Zeitraum benötigt, da in der Schweiz Wärmepumpen monovalent auf die Auslegungstemperatur ausgelegt werden.

Bei der Kombination von Luft als primärer Quelle und Erdreich für reinen Spitzenlastbetrieb wird dem Erdreich deutlich weniger Energie entzogen als bei reiner Erdreichquelle, z.B. ca. 20% der Gesamtenergie bei Auslegung auf 50% der gesamten Heizleistung. Dadurch können die Erdwärmesonden deutlich kürzer als bei ausschliesslicher Erdreichquelle dimensioniert werden, was Platzbeschränkungen, die insbesondere bei Bestandsgebäuden bestehen, überwinden kann. Weiterhin kann temporär eine etwas höhere Leistung im Bereich bis 70 W/m entzogen werden, da lange Regenerationszeiten für die Erdsonden bestehen.

Abbildung 1 zeigt die relative Sondenlänge im Vergleich zu einer 100% Erdwärmesonden Wärmequelle für die durchgeführten Parametervariationen hinsichtlich Neu- und Altbau, unterschiedlichen Sondenanordnungen als Linie und kompaktes Viereck, unterschiedlichen Leistungen von 60 und 240 kW, normalem und kaltem Wetter und unterschiedlicher Wärmeleitung der Hinterfüllung von 0.85 und 2 W/(mK). Die meisten Variationen zeigen ein robustes Verhalten, was eine Auslegung für unterschiedlichen Randbedingungen vereinfacht. Der grösste Unterschied besteht in der Sondenanordnung zwischen linien- und kompaktem Feld.

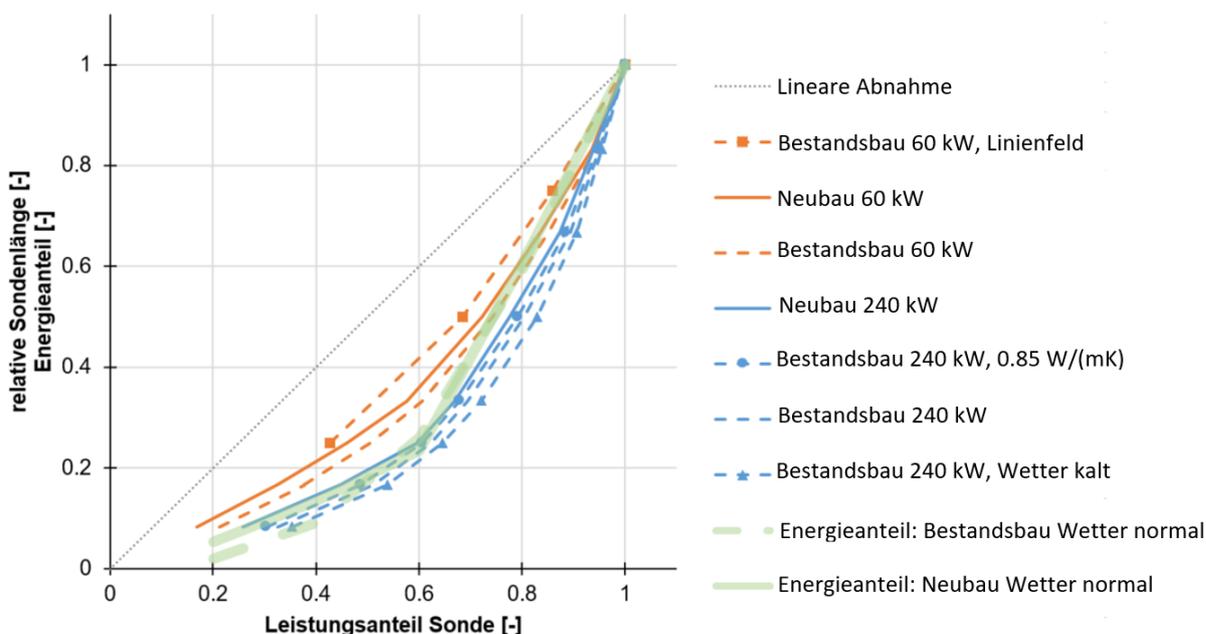


Abbildung 1 Parametervariationen für die Strategie "Spitzenlastdeckung" über Erdwärmesonde

Das kompakte Feld zeigt stärker degressives Verhalten, da die natürliche Regeneration durch den Feldeffekt, d.h. die Abschirmung der mittleren Sonden vom umgebenden ungestörten Erdreich, beschränkt ist und eine geringere Belastung des Feldes im Spitzenlastfall noch grösseren Einfluss hat.

Die Simulationsergebnisse bestätigen weiterhin, dass eine Spitzenlastabdeckung mit Erdwärmesonden neben dem Entschärfen von Leistungsbeschränkungen auch Effizienzvorteile und wirtschaftliche Vorzüge wie niedrigere Gesamtinvestitionskosten bieten und einen Zusatznutzen der Erdwärmesonden als Wärmesenke für die sommerliche Kühlung erschliessen kann.

Abbildung 2 links zeigt die Jahresarbeitszahl (JAZ) in Abhängigkeit des Leistungsanteils über die Erdwärmesonde. Verglichen mit einer reinen Luftwärmequelle steigt auch die Effizienz mit steigendem Leistungsanteil. Der Unterschied zwischen Neu- und Altbau fallen hier relativ gering aus, da die niedrigeren Heiztemperaturen durch den höheren Warmwasseranteil kompensiert werden. Die Jahresarbeitszahl ist über die gesamte Betriebsdauer von 50 Jahren gemittelt.

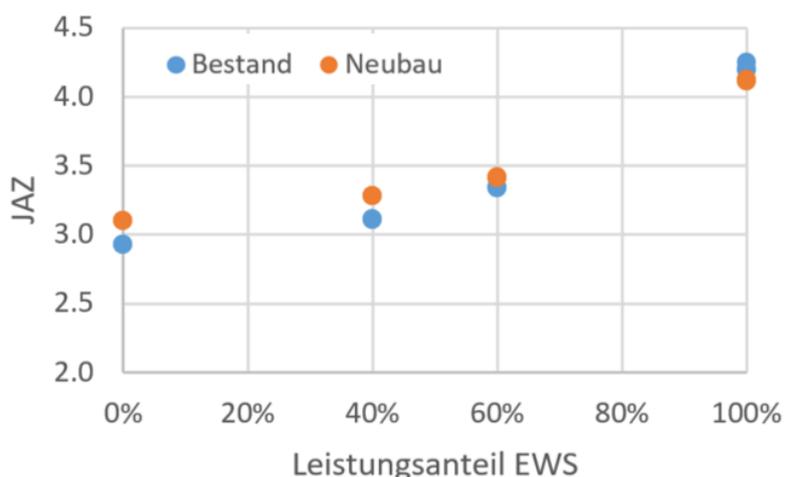


Abbildung 2: Effizienz des Konzepts "Spitzenlastdeckung" über Erdwärmesonden

Abbildung 3 zeigt die Kostenstruktur für den Fall des Bestandsgebäudes in Abhängigkeit des Leistungsanteils über die Erdsonde und im Vergleich zu einer bivalenten Lösung mit Erdgas. Die benutzten Randbedingungen zur Wirtschaftlichkeitsauswertung sind im Anhang aufgeführt. Die Kosten der monovalenten Lösung nur mit Wärmepumpe ergeben geringere spezifische Kosten als die Spitzendeckung über Erdgas.

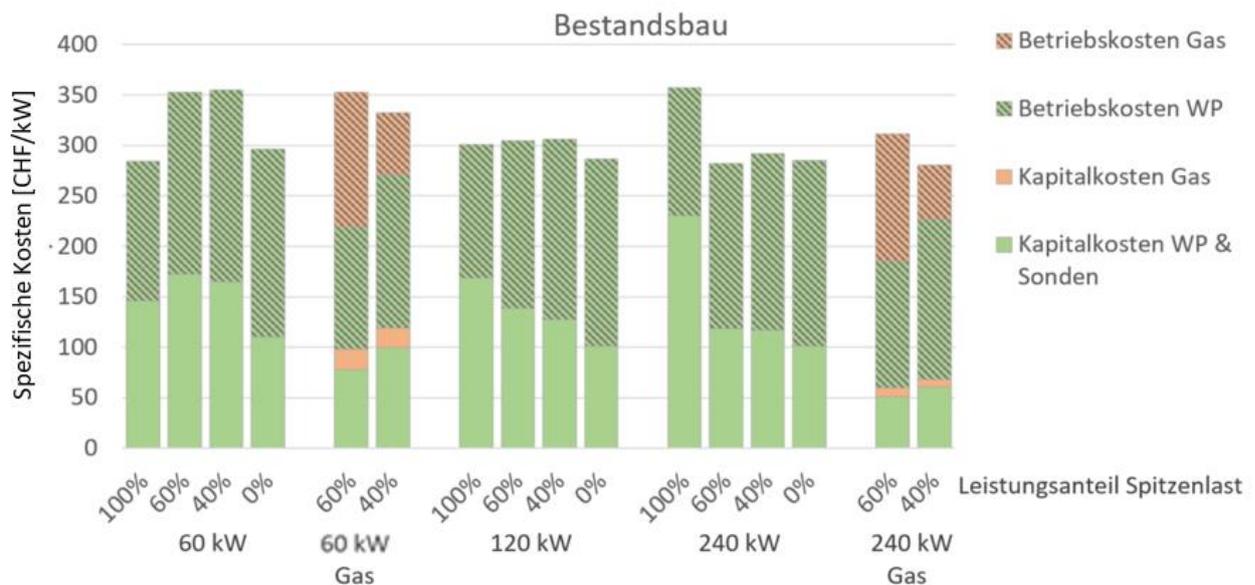


Abbildung 3: Wirtschaftlichkeit des Konzepts "Spitzenlastdeckung"

Für die Wärmepumpenlösungen ergeben sich bei kleineren Leistungen von 60 kW Vorteile der Einzelquellen Erdsonden oder Luft, die aber allfällig bei Einschränkungen nicht realisiert werden können. Die Zusatzkosten für eine Wärmepumpenlösung sind mit 50 CHF/kW aber moderat und ermöglichen einen monovalenten Wärmepumpeneinsatz. Bei grösseren Leistungen verringern sich die Kostenvorteile der Einzelquellen oder weisen sogar höhere Kosten auf. Im Neubau besteht im Vergleich zu reiner Luft allfällig zusätzlich noch ein Kühlpotenzial.

3.2 Strategie Regeneration

Für die Variante (b) mit Regeneration ist bekannt, dass grosse Erdwärmesondenfelder nur ungenügend über natürliche Wärmezuflüsse regeneriert werden, was eine technische Regeneration nötig macht. Weiterhin können bei Regeneration die Sonden mit geringerem Abstand zueinander angeordnet werden, ohne dass das Erdreich zu stark auskühlt, was Optionen für mehr Sonden auf weniger Platz eröffnet und so Platzbeschränkungen überwinden kann. Im Projekt wurde die Regeneration mittels Solarabsorbern und PV/T-Kollektoren sowie Aussenluftwärmetauschern als Synergie zum Heiz-/Warmwasserbetrieb systematisch für verschiedene Gebäudegrössen untersucht. Die Parameter, die dabei variiert wurden, umfassen u.a. die Sondenfeldgrössen, die Bohrtiefe, den Sondenabstand und die Sondenanordnung im Feld.

Während schon viele Untersuchungen zu der Regeneration meist grösserer Erdwärmesondenfelder durchgeführt worden sind, lag der Schwerpunkt häufig auf einer 100% Regeneration oder sogar saisonalen Speicherung durch sogenannte "aktiven" Regeneration, d.h. einer höheren Wärmezufuhr als Wärmeentzug, so dass die Erdreichtemperaturen sukzessive angehoben werden können. Die Auswertung erfolgt in diesem Projekt hingegen für die untersuchten Regenerationsquellen hinsichtlich notwendiger Fläche und möglicher Bohrtiefe als Trade-off zwischen Kosten und Regenerationsbedarf bzw. Regenerationsgrad.

Die Ergebnisse zeigen, dass damit sowohl Einschränkungen bei der möglichen Feldgrösse/ Sondenlänge als auch Platz- und wirtschaftliche Vorteile durch eine geringere Sondenlänge erzielt werden können. Bei der solaren Regeneration liegt beispielsweise der Fokus der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf einer kostengünstigen Auslegung als optimales Verhältnis zwischen der Kollektorfläche und der Sondenlänge.

Aus den Ergebnisse wurde eine Darstellung als Konturplot entwickelt, aus der abhängig von der Regenerationsquelle und den Randbedingungen der kostenoptimale Regenerationsgrad abgelesen werden kann. Abbildung 4 zeigt Ergebnisse der Parametervariationen für den Neubau mit festgehaltenem Sondenabstand von 10 m für eine Normheizlast von 240 kW sowie einer Regeneration über PV/T Anlage. Anhand einer Ablesebeispiels werden die Aussagen der graphischen Darstellung verdeutlicht.

Die Darstellung korreliert den Regenerationsgrad mit den spezifischen Jahreskosten. Parameter des Konturplots sind die Sondentiefe (farblich gekennzeichnete Konturen) und die verfügbare Fläche pro kW Entzugsleistung als Parameterkurven. Wird nun z.B. bei einem Leistungsbedarf von 240 kW eine Fläche des Sondenfelds von 3200 m² zugrunde gelegt (13.4 m²/kW als gestrichelte Linie), können bei einem Sondenabstand von 10 m maximal 32 Sonden gebohrt werden. Betrachtet man zusätzlich eine Bohrtiefenbeschränkung von 300 m (Linie entlang der mittelblauen Kontur), ergibt sich der lila Bereich im Diagramm der möglichen Lösungen. Da der Bereich erst bei einem Regenerationsgrad von knapp 20% erreicht wird, sind die gegebenen Randbedingungen nur mit Regeneration erreichbar. Der Regenerationsgrad mit den niedrigsten Jahreskosten ergibt sich bei 60-80% Regeneration, also deutlich unter 100%, mit Jahreskosten von 270 CHF/kW (Kosten für Bohrungen und Regeneration)

Ablesebeispiel:

- Heizleistungsbedarf 240 kW
- Fläche Sondenfeld 3200 m² (13.4 m²/kW)
→ Max. 32 Sonden bei 10 m Abstand
- Tiefenbeschränkung ca. 300 m
→ ohne Regeneration nicht möglich
→ min. Kosten bei 60-80% Regeneration
→ spez. Jahreskosten 270 Fr/kW

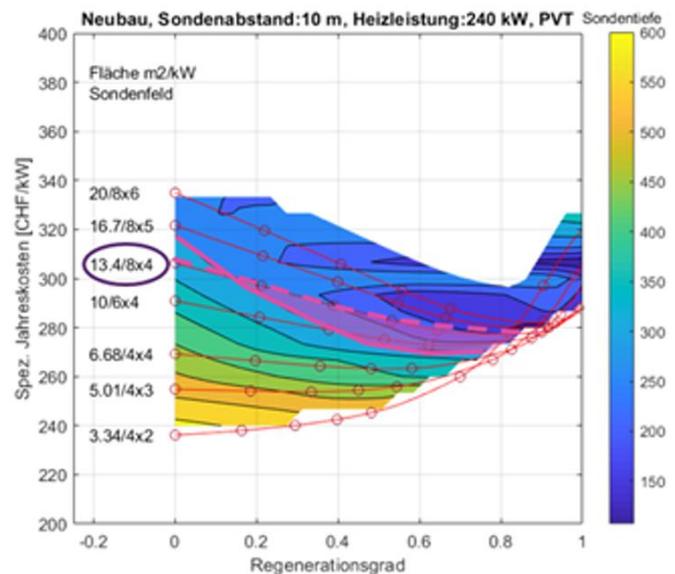


Abbildung 4 Auswertung für die Strategie "Regeneration"

Die solarthermische Regeneration bietet gewisse Vorteile im Sommerbetrieb, da der Warmwasserbetrieb auch direkt solar bereitgestellt werden kann. Über PV/T kann ein Doppelnutzen mit der Elektrizitätsproduktion erzielt werden, aber es wird weniger Wärme geliefert als bei rein solarthermischen Systemen und allfällig kann die Warmwassertemperatur nicht rein solar erreicht werden.

Allerdings kann gerade im Sanierungsfall die Dachfläche limitiert oder durch die Orientierung oder eine Verschattung ungünstige Bedingungen aufweisen, weshalb auch die Regeneration über einen Luft-Wärmetauscher gerade in der Sanierung eine gute Option darstellen kann.

4. Diskussion

Im Fokus der Untersuchung stand die Erweiterung des Einsatzes von Wärmepumpen als rein regenerativer Wärmeerzeuger bei eingeschränkter Wärmequelle, insbesondere im Fall des Wärmeerzeugersersatzes im Bestandsbau, um durch Kombination von Wärmequellen einen rein monovalenten Wärmepumpeneinsatz auch im höheren Leistungsbereich zu ermöglichen.

Es konnte dabei verifiziert werden, dass bei Synergien zwischen den Wärmequellen, z.B. Nutzung der besseren Temperaturverhältnisse der Einzelquellen und angepasste Nutzung des Erdreichs auch Effizienz- und Kostenvorteile genutzt werden können.

Für die durchgeführten Untersuchungen zur Strategie "Spitzenlastdeckung" wurde die Kombination der in der Schweiz am häufigsten eingesetzten Wärmequellen Aussenluft und Erdwärmesonden betrachtet, was die Strategie der Spitzendeckung jedoch nicht auf diese Wärmequellen limitiert. Die Aussenluft steht dabei vielmehr für eine beispielsweise durch Lärmschutzanforderungen leistungsbegrenzte Quelle, und das Erdreich für eine speicherbare Wärmequelle, die aber auch Einschränkung unterworfen sein kann. Die Kombination ermöglicht eine kleinere Dimensionierung beider Wärmequellen, so dass die Einschränkungen überwunden werden können.

Als weitere Kombinationen kommen z.B. auch Grundwasser oder Oberflächenwasser mit begrenztem Fördervolumen oder Abwärme mit begrenzter Leistung in Kombination mit Luft oder Erdwärmesonden in Frage.

Beim Konzept der Regeneration dient die zweite Quelle primär der Bewirtschaftung der speicherbaren primären Wärmequelle. Darüber hinaus kann die Regenerationsquelle aber auch z.B. den Sommerbetrieb allein übernehmen, und dadurch saisonale Vorteile, bei solarer Regeneration etwa das gute sommerliche Strahlungsdargebot und bei Luftwärmetauscher die höheren Sommertemperaturen nutzen und damit die Regeneration der primären Wärmequelle weiter befördern.

Die beiden Konzepte bestätigen, dass sich sowohl die Einschränkungen einzelner Quellen durch eine Integration von zwei Quellen überwinden lassen, als auch Synergien und wirtschaftliche Vorteile gegenüber einzelnen Quellen genutzt werden können, und teils durch die Kombination auch weitere Betriebsarten, wie beispielsweise ein Freecooling-Betrieb bei zusätzlichem Einsatz von Erdsonden ermöglicht werden. Allerdings hängt die Nutzung dieser Freecooling-Möglichkeiten auch vom Gebäude ab, beim Freecooling z.B. von einem Flächenübergabesystem, was klassischerweise im Neubau eingebaut ist. Die Ergebnisse werden bis zum Projektabschluss zu Empfehlungen aufbereitet.

5. Ausblick

Im Rahmen des Projekts werden reine Wärmepumpenlösungen untersucht. Darüber hinaus können aber die erarbeiteten Konzepte auch für eine Kombination mit anderen Wärmeträgern bzw. Wärmeerzeugern sinnvoll sein. In Kombination mit Fernwärme durch Kehrlichtverbrennung oder Niedertemperaturabwärme wie z.B. ARA-Abwärme können dank der Abdeckung der Spitzenlast mit Erdwärmesonden mehr Gebäude ans Netz angeschlossen werden. Das Lastprofil für die vom Netz bezogene Energie verschiebt sich durch die Erhöhung des Warmwasseranteils zu mehr Grundlast, d.h. die Abwärme als ARA- oder Fernwärmeauskopplung kann besser genutzt werden und bestehende Netze können ohne Vergrößerung der Leitungsdurchmesser/Erzeugerleistung mehr Gebäude versorgen bzw. es steht mehr Wärme für Hochtemperaturanwendungen wie Bestandsgebäude zur Verfügung.

Literatur/Referenzen

- [1] SIA 384/6:2021. Erdwärmesonden, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2021
- [2] SIA 2024:2015. Raumnutzungsdaten für Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2015
- [3] SIA 2028:2010. Klimadaten für Bauphysik, Energie- und Gebäudetechnik, Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein, Zürich, 2010
- [4] Datenblatt Belaria Twin A 24. Hoval AG, 2021
- [5] Datenblatt Thermalia Comfort 13. Hoval AG, 2021

Anhang

Tabelle 2: Randbedingungen Wirtschaftlichkeitsbewertung (Kosten und Preise Stand Juni 2022)

Kategorie	enthält	Basiswerte	Quelle
Anlagekosten Wärmepumpen	Wärmepumpe Armaturen & Apparate Heizungsspeicher Luftkanal (für LWP) Montage Erschliessung Elektro Mehraufwand Elektrokasten Anschlussgebühren	Leistungsabhängig gemäss Quelle	HSLU Heizkosten- Vergleichsrechner V36
Unterhaltskosten WP	Wartungsabo	Leistungsabhängig gemäss Quelle	
Erdsondenbohrung	Pauschal für Bohrung, Sonde, Anschlussleitungen	100 CHF/m (<250m) 130 CHF/m (>250m)	Eigene Schätzung, Tend
Anlagekosten Kaskadierung	pauschal für hydraulische Zusammenführung sekundär und Steuerung	15 kCHF (60 kW), 30 kCHF (120 kW), 45 kCHF (240 kW)	Eigene Schätzung, Tend
Anlagekosten Gas	Kessel Armaturen & Apparate Montage	Leistungsabhängig gemäss Quelle, ohne Kamin und Anschlusskosten	HSLU Heizkosten- Vergleichsrechner V36
Unterhaltskosten Gas	Wartungsabo Kaminfeger	Leistungsabhängig gemäss Quelle	
	Leistungspreis	34 CHF/kW/Jahr	Energie360°
Energiekosten Gas	Energiepreis	15 Rp/kWh, entspricht ca. Tarif Energie360° mit 35% Biogasanteil im Juni 2022	Eigene Annahme
Energiekosten Strom	Energiepreis	20 Rp/kWh	Eigene Annahme
Kapitalkosten	Realzinssatz	1.5 %	Eigene Annahme
Amortisation	Erdwärmesonde	50 Jahre	Eigene Annahme
	Anlagen	50 Jahre	