

Lucerne University of  
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE  
LUZERN**

Technik & Architektur  
FH Zentralschweiz

**Institut für Gebäudetechnik und Energie 2022**

Fachberichte Bachelor-Thesis Gebäudetechnik | Energie

Fachberichte MSE Master of Science in Engineering

WOR

WORD

6 Diplomandinnen (entspricht knapp 15% Frauenanteil) und 34 Diplomanden des Studiengangs «Gebäudetechnik I Energie» haben im Frühlingsemester 2022 ihre Bachelor-Thesis verfasst. Gegen 14'400 Stunden haben sie in ihre Arbeiten investiert, welche das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs aufzeigen. 12 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung «Gebäude-Elektroengineering (GEE)», 28 die Studienrichtung «Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär (HLKS)» ab. 3 Studierende haben zusätzlich das Zertifikat «Interdisziplinarität am Bau» erworben. Dieses erhalten nur Studierende, welche erfolgreich im interdisziplinären Programm Bachelor+ teilnehmen und eine bauplanerisch relevante Zusatzqualifikation erreichen.

Die Studierenden weisen überdurchschnittliche Studienresultate in den disziplinären wie auch in den interdisziplinären Modulen auf und sind überdurchschnittlich motiviert zur Zusammenarbeit in interdisziplinären Arbeitsteams.

Mit dem Diplomjahr 2022 konnte nach zwei speziellen Jahren wieder in den Normalmodus zurückgekehrt und die «Coronakrise» zunächst überwunden werden. Sowohl Dozierende wie auch Studierende waren aber über einen grossen Teil der Studienzeit gefordert Vorlesungen und Übungen mit wenigen Ausnahmen (z.B. Labor) in einen digitalen Modus zu transferieren und dies mittels «Distance Learning» ohne Qualitätsverlust umzusetzen. Diese zwar aufgezwungene Erfahrung hat die HSLU im Bereich digitaler Kompetenzvermittlung einen grossen Schritt weitergebracht, aber auch die Grenzen aufgezeigt. Die Mehrwerte der persönlichen Begegnung und des spontanen sowie nonverbal geprägten Diskurses werden sowohl von den Studierenden als auch den Dozierenden gleichermassen wieder geschätzt.

1 Diplomandin und 3 Diplomanden haben zudem den Studiengang Master of Science in Engineering (MSE) im Profil «Building Technologies» abgeschlossen.

Alle bearbeiteten Themen sind konkrete und aktuelle Fragestellungen aus Forschungsprojekten oder von Industriepartnern, die auch einen Beitrag zur Erreichung der klimapolitischen Ziele leisten können. Es sind Arbeiten aus allen Kernthemen des Studiengangs, von der Energie- und Heizungstechnik, über Lüftungs- und Klimatechnik, Sanitärtechnik, Integrale Planung, Gebäude-Elektroengineering bis hin zu Gebäudeautomation dabei.

Die vorliegende Broschüre ist eine Zusammenfassung der Thesisberichte, welche durch die Diplomanden verfasst wurden. Lassen Sie sich inspirieren von der Qualität der Arbeiten und der Fülle der Themen.



**Prof. Adrian Altenburger**

Studiengangleiter BSc Gebäudetechnik I Energie und MSc Building Technologies

Horw, im Juli 2022

© Hochschule Luzern – Technik & Architektur | Institut für Gebäudetechnik und Energie (IGE)

Bei den Fachberichten handelt es sich um unkorrigierte und unredigierte Studierendenarbeiten.

**INN**

**WAL**

## **BACHELOR**

<b>Sturzenegger</b> Marc	<b>Kern</b> Tim	BAT G_22_01
<b>Pfister</b> Joel	<b>Bieri</b> Stefan	BAT G_22_02
<b>Pauli</b> Samira	<b>Stoller</b> Jessica	BAT G_22_03
<b>Köchli</b> Sebastian	<b>Mainberger</b> Marco Simon	BAT G_22_04
<b>Balzer</b> Andri		BAT G_22_05
<b>Zemp</b> Lukas	<b>Aregger</b> Flavio	BAT G_22_06
<b>Baeriswyl</b> Ramon Emanuel		BAT G_22_07
<b>Bigich</b> Kseniia		BAT G_22_08
<b>Troxler</b> Livio	<b>Jud</b> Roman	BAT G_22_09
<b>Bieri</b> David		BAT G_22_10
<b>Musa</b> Besnik		BAT G_22_11
<b>Hildbrand</b> Roman	<b>Niederberger</b> Nicolas	BAT G_22_12
<b>Zraggen</b> Lorenzo		BAT G_22_13
<b>Lichtsteiner</b> Noah	<b>Brügger</b> Leander	BAT G_22_14
<b>Bächtold</b> Jonathan		BAT G_22_16
<b>Bühlmann</b> Simon Nicolas	<b>Lehmann</b> Dominik	BAT G_22_17
<b>Dübendorfer</b> Petra	<b>Ambühl</b> Nicola	BAT G_22_18
<b>Eigenmann</b> Florian	<b>Bernal</b> Silvan	BAT G_22_19
<b>Rathnam</b> Piriyantha	<b>Brechbühler</b> Christoph	BAT G_22_20
<b>Eysman</b> Petr		BAT G_22_21
<b>Müller</b> Colin	<b>Dubach</b> Patrick	BAT G_22_22
<b>Schmied</b> Adrian Angelo	<b>Bernasconi</b> Marco	BAT G_22_23
<b>Bicvic</b> Josip		BAT G_22_24
<b>Kannewischer</b> Constantin		BAT G_22_25
<b>Rubli</b> Jalina Delaya		BAT G_22_26
<b>Schnieper</b> Raphael Nicolà		BAT G_22_27

## **MASTER**

<b>Moser</b> Marie-Teres	MSE
<b>Feigenwinter</b> Jérôme	MSE
<b>Daralnakhla</b> Ahmed	MSE
<b>Glavas</b> Matej	MSE

**BACH**

**FLOR**

Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_01  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Effizienz von Wärmepumpenboilern bei verschiedenen Einsatzfällen

Studierende	Tim Kern Marc Sturzenegger
Dozierende	Reto Von Euw Timotheus Zehnder
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Mathys Christian, AUE Basel, Hochbergstr. 158, 4019 Basel
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Effizienz von Wärmepumpenboilern bei verschiedenen Einsatzfällen

Gemäss den geltenden Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKEN), ist in Wohnbauten der Einsatz einer direct-elektrischen Erwärmung des Warmwassers nur noch erlaubt, wenn:

- dieses während der Heizperiode mit dem Wärmeerzeuger für die Raumheizung erwärmt oder vorgewärmt wird; oder
- zu mindestens 50 % mittels erneuerbarer Energie oder Abwärme erwärmt wird.

Da die Bedingung b) mit einer Wärmepumpe erfüllt werden kann, kommt oft eine Wassererwärmung mit einer Wärmepumpe (alt: Wärmepumpen-Boiler oder WP-Boiler) zum Einsatz. Eine pauschale Einhaltung dieser Bedingung mit einer WP-Wassererwärmung wird kritisch hinterfragt und soll mit dieser BAT geklärt werden.

## Zielsetzung

Die Energie, welche eine Warmwasserwärmepumpe (WW-WP) während ihres Betriebes bezieht, muss nachströmen respektive durch Abwärme gedeckt werden. Da sich die Energieflüsse je nach Situation massiv verändern können, gilt es die allgemeine Aussage betreffend der Einhaltung des erneuerbaren Anteils einer WW-WP zu überprüfen. Hierfür soll ein Excel-Tool erarbeitet werden, mit welchem der erneuerbare Anteil je nach örtlicher Gegebenheit analysiert werden kann. Das Tool soll die verschiedenen Energieflüsse, welche einen Einfluss auf WW-WP haben betrachten, berechnen und visualisieren können. Zusätzlich soll aus den Erkenntnissen des Tools ein Leitfaden erstellt werden, in welchem konzeptionelle Übersichten über die Aufstellungsbedingungen von WW-WP aufgezeigt werden. Dabei sind essenzielle Aspekte darzustellen, welche bei der Planung und dem Betrieb einer Anlage mit mindestens 50 % erneuerbarer Energie berücksichtigt werden müssen.

## Energieflüsse

Damit eine Jahresberechnung des erneuerbaren Anteils erstellt werden kann, muss klar sein, welche Energieflüsse im Technikraum vorhanden sind. Die berücksichtigten Energieflüsse sind in der *Abbildung 1* grafisch dargestellt und ihre Anrechenbarkeit zusammengefasst. Die Anrechenbarkeit wurde so gewählt, dass der Einfluss der fossilen Heizung auf das Gesamtgebäude / Technikraum immer als fossil angerechnet wird. Dadurch soll eine Beschönigung des erneuerbaren Anteils durch die Abwärme der Heizungsanlage verhindert werden.

Der Stromanteil wird zusätzlich fossil angerechnet, da dies so in der Energieverordnung festgehalten ist. Sollte der Strom auf dem eigenen Grundstück oder in einem Zusammenschluss zum Eigenverbrauch erzeugt werden, sind die Vorgaben gemäss der Energieverordnung des Kanton Basel-Stadt bereits erfüllt.

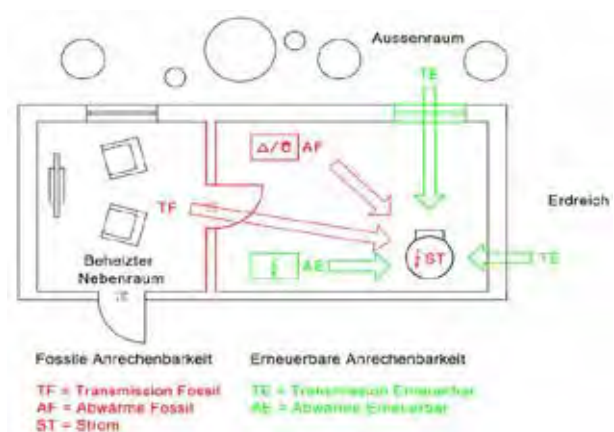


Abb. 1: Energieflüsse und Anrechenbarkeit



### Berechnung des erneuerbaren Anteils

Die Berechnung des erneuerbaren Anteils erfolgt auf einer Simulation eines Jahresverlaufs in Tagesschritten. Die Berechnung berücksichtigt dabei die folgenden wichtigsten Parameter:

- Die metrologischen Begebenheiten des Beispieljahres
- Der Warmwasserbedarf des betrachteten Gebäudes
- Die monatlichen Schwankungen des Warmwasserbedarfes
- Die Heizleistung des Gebäudes
- Die anfallende erneuerbare und fossile Abwärme im Aufstellungsraum
- Die massgebenden Informationen zur Lage des Aufstellungsraumes und den umgebenden Räumen

In der *Abbildung 2* ist ersichtlich, dass der erneuerbare Anteil während den warmen Sommertagen, wenn die Heizungsanlage abgeschaltet ist, weit über die 50% Marke schreitet. Wenn die Heizungsanlage in Betrieb ist und die fossile Abwärme und Transmission berücksichtigt wird, kann sinkt der erneuerbare Anteil weit unter den geforderten Prozentsatz.

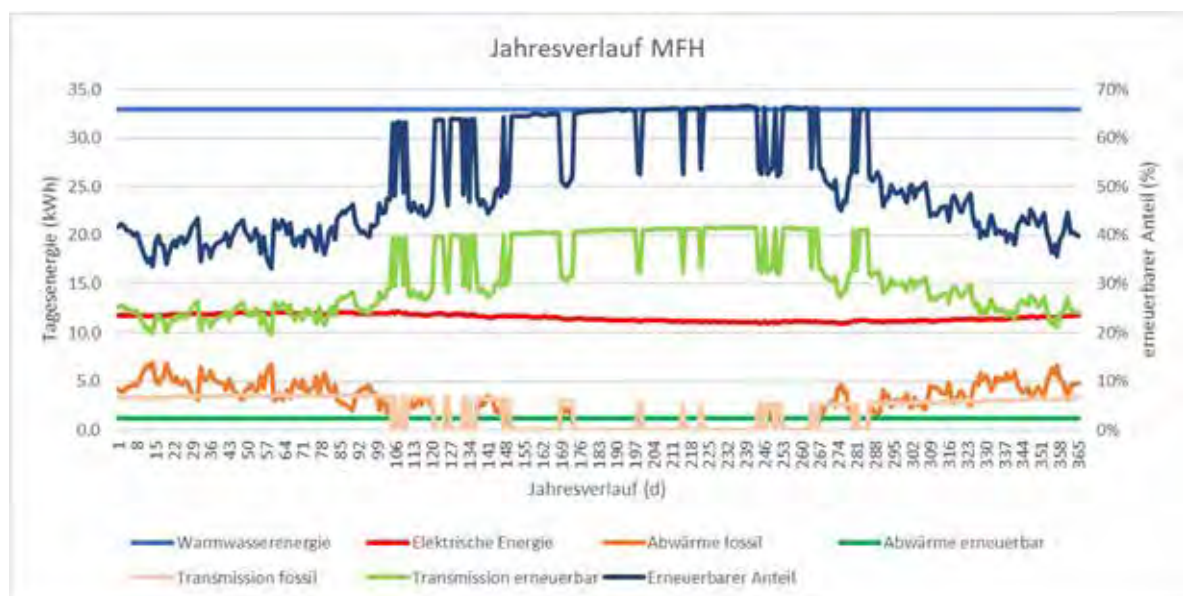


Abb. 2: Jahresverlauf Beispielobjekt MFH

### Berechnung der Jahresenergie

Der berechnete Jahresenergiebedarf wird mit den verschiedenen Energieflüssen in einem Auswertungsblatt dargestellt. Dabei werden die Energieflüsse zwischen der erneuerbaren und der fossilen Anrechenbarkeit aufgeteilt. In Form eines Tortendiagrammes werden deren prozentualen Anteile visualisiert. Die Kernaussage, ob der erneuerbare Anteil eingehalten ist, wird in Prozent angegeben und farblich hervorgehoben.

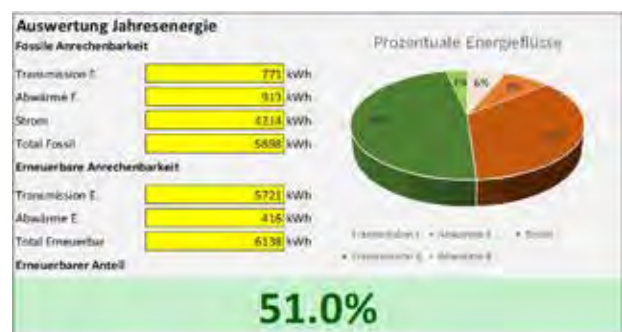


Abb. 3: Auswertung Jahresenergie Beispielobjekt MFH

### Leitfaden

Bei der geplanten Installation einer Warmwasserwärmepumpe gibt es einige sehr wichtige Punkte, die beachtet werden sollten, damit der Einsatz effizient und gesetzeskonform umgesetzt werden kann. Im folgenden Leitfaden wird aufgezeigt, welche Punkte eingehalten werden müssen, damit ein Betrieb mit 50% erneuerbarer Energie erfolgen kann. Kann auch nur einer der folgenden Punkte nicht eingehalten werden, gilt es den Einsatz mithilfe des Nachweistools zu überprüfen. Die nebenstehende *Abbildung 4* zeigt einen Überblick über die zu beachtenden Punkte. Um einen effizienten Betrieb zu gewährleisten, wird empfohlen nur Geräte einzusetzen, welche ein FWS-Gütesiegel besitzen. Um jederzeit den Spitzenbedarf des Warmwassers abdecken zu können, ist die korrekte Auslegung der Speichergrösse ein entscheidender Faktor für eine gut funktionierende Anlage. Im Nachweistool kann mit der Eingabe der Wohnfläche schnell auf die erforderliche Speichergrösse



Abb. 4: Leitfaden

geschlossen werden. Da die WW-WP ihre Energie aus der Raumluft des Aufstellungsraum bezieht, kühlt dieser dementsprechend ab. Aus diesem Grund ist ein spezielles Augenmerk auf die Raumdimensionen respektive das Raumvolumen zu legen. Als groben Anhaltspunkt, sollten pro 100 Liter Speicherinhalt ungefähr 9m<sup>3</sup> Raumvolumen zur Verfügung stehen. Sind es weniger, sollten die Raumtemperaturen mit dem Nachweistool überprüft werden. Die meisten Produkte haben eine Einsatzgrenze zwischen 0 und 5°C. Fällt die Quellentemperatur unter diesen Wert wird das Warmwasser nur noch rein elektrisch erwärmt. Wenn die Raumtemperaturen zu stark abkühlen, muss über eine WW-WP mit Aussenluftnutzung nachgedacht werden. Wichtig ist, dass die WW-WP bei einer Aussenluftaufstellung eine Jahresarbeitszahl von mindestens 2.0 aufweisen muss. Interessant ist auch, dass es nicht heisst, umso grösser der Technikraum desto höher der erneuerbare Anteil. Denn wenn der Technikraum seine optimale Grösse überschreitet, sinkt der Anteil an erneuerbarer Energie, da sich die fossile Transmission stärker erhöht, als der Strombedarf aufgrund der höheren Quellentemperatur sinkt. Die optimale Raumfläche ist je nach Situation etwas unterschiedlich. Grob liegt sie beim EFH bei rund 8-10 m<sup>2</sup> und beim MFH bei rund 12-14 m<sup>2</sup>, wenn der oberliegende Raum beheizt wird. Bei raumluftnutzenden WW-WP ist ein möglicher «Wärmeklau» zu überprüfen. Damit soll verhindert werden, dass die entzogene Wärmemenge wieder durch die Raumheizung nachgeliefert werden muss. Grundsätzlich sollten bei raumluftnutzenden WW-WP alle Flächen gegen beheizte Nebenräume isoliert werden. Zudem sollte die Heizleistung nicht höher als 85W/m<sup>2</sup> Wohnfläche betragen, da sonst die fossile Abwärme zu stark ins Gewicht fallen würde.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_02  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Optimierte Nutzung von PV, Fassade, Speicher und E-Mobilität

Studierende	Joel Pfister Stefan Bieri
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Oliver Blank
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: AGVS Zentralschweiz, Sektion Zentralschweiz, 6048 Horw)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Optimierte Nutzung von PV, Fassade, Speicher und E-Mobilität

**In der schweizerischen Energie- und Klimapolitik wurde in den letzten Jahren ein Richtungswechsel vorgenommen. Massnahmen zur Energieeffizienzerhöhung, Senkung von CO<sub>2</sub>-Emissionen und Förderung erneuerbarer Energien stehen im Fokus der Energiestrategie 2050. Der Auto Gewerbe Verband Schweiz (AGVS) möchte seinen Beitrag zum Ausbau der regenerativen Energie leisten. Dazu soll eine Photovoltaikanlage realisiert werden, die mindestens einen jährlichen Ertrag in der Höhe der jährlich benötigten, elektrischen Energie erzielt. Dabei soll neben dem Dach auch die Aktivierung der Fassade geprüft werden. Im Bereich der Mobilität zeichnet sich ab, dass der klassische Verbrennungsmotor in Zukunft von alternativen Antrieben ersetzt wird. Im Rahmen dieser Arbeit wird deshalb die optimale Einbindung der E-Mobilität für das Ausbildungszentrum in Horw eruiert. Weiter soll eine ökologisch und ökonomisch sinnvolle Speicherung der Überproduktion aus der Photovoltaikanlage (PVA) geprüft werden.**

Der Einbezug der Photovoltaik, der E-Mobilität und des Speichers (stationär und als bidirektionales E-Mobil) wurden mittels der Simulationssoftware «polysun» sowie unter Heranziehung der aktuellen Verbraucherprofile des AGVS einzeln und in Kombinationsvarianten realitätsnahe abgebildet und verglichen.

## Photovoltaik

Die Analyse für das Gebäude hat gezeigt, dass eine Kompletต์belegung der Dachfläche aufgrund der begrenzt verfügbaren und nutzbaren Dach-Ressourcen in der Schweiz sinnvoll ist. Auch aus wirtschaftlicher Sicht sind die Stromgestehungskosten damit am geringsten, die Amortisationszeit kann tief gehalten und der Gewinn maximiert werden. Bei der Integration der Fassade empfiehlt sich aus Sicht der Verschattungssituation des Gebäudes der obere Fassadenbereich. Mit dieser Variante liegt die installierte Leistung bei knapp 200 kWp und der resultierende Jahresenergieertrag zum Bedarf bei 180 %. Der Netzanschluss kann dabei ohne Ertragsverluste beibehalten werden. Weiter kann die Photovoltaikanlage gegen aussen präsentiert werden und dem Gebäude einen neuen Akzent verleihen.

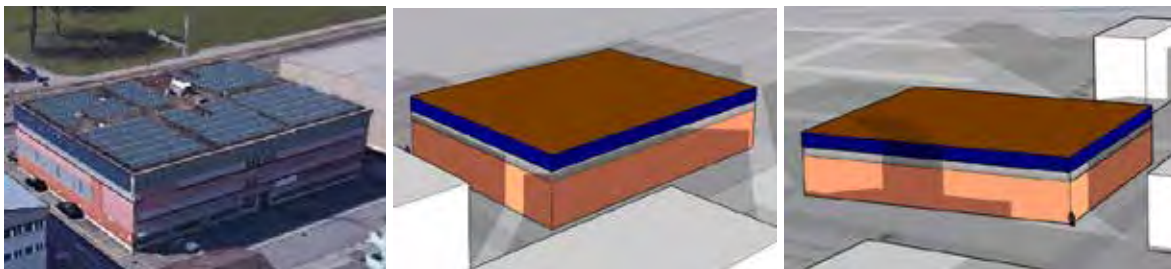


Abb. 1: Ansicht PVA Dach/Teilfassade (links), Verschattungsanalyse 21.12 Südost 09:45 (Mitte), Südwest 15:20 (rechts)

Die Einspeisevergütung wird anhand des aktuellen Marktpreises definiert. Mit über 26 Rp./kWh liegt die Rückspeisevergütung für das erste Quartal 2022 deutlich über dem Durchschnitt der letzten Jahre. Durch die marktbasierete Festlegung des Vergütungstarifs kann sich dies aber auch schnell ändern. Bereits jetzt zeigt die Energie Zukunft Schweiz AG mit einem Berechnungsmodell aus dem Jahr 2021 auf, dass die Amortisationszeit für PV-Anlagen in Zukunft länger dauern könnte als bisher. Dazu kommt, dass durch den Ausbau der erneuerbaren Energien die Stromtarife erhöht werden und somit die Stromkosten steigen. Dies lässt den Schluss zu, dass ein hoher

**02\_Optimierte Nutzung von PV, Fassade, Speicher und E-Mobilität**

Eigenverbrauchsanteil in Zukunft noch lukrativer sein wird. Die Erhöhung der Eigenverbrauchsquote kann entweder durch Anpassungen am Nutzerverhalten erreicht werden oder durch zusätzliche technische Systeme.

**Speicher**

Im Vergleich verschiedener nachhaltiger Speichermöglichkeiten, haben Second-Life-Lithium-Ionen-Akkus aus Elektroautos für das Konzept des AGVS am meisten überzeugt. Durch eine Vorreiterrolle des AGVS mit einem Pilotprojekt eines Second-Life-Speichers im eigenen Gebäude kann ein klares Zeichen für die E-Mobilität gesetzt werden. Für eine wirtschaftliche und serienmässige Produktion von Second-Life-Speichern müssen Autogewerbe und Elektrobranche zusammenarbeiten. Einerseits ist es sonst schwierig an grosse Mengen von ausrangierten E-Mobil-Akkus zu kommen. Andererseits braucht es gewisse Zugriffsrechte auf das bestehende Batteriemanagementsystem, damit ein wirtschaftliches Second-Life-Projekt verwirklicht werden kann.

Die saisonale Speicherung ist aktuell weder mit einem Wasserstoffspeicher noch mit einem Druckluftspeicher einigermaßen wirtschaftlich. Für eine autarke elektrische Energieversorgung wäre ein 10.5 MWh Speicher nötig. Die Speicherkosten liegen dabei über 1.00 CHF/kWh.

**E-Mobilität**

Der Einbezug von Ladestationen für die E-Mobilität ermöglicht, den Ertrag der PVA vermehrt direkt am Standort zu nutzen. Mit dem Ausbau von zwei öffentlichen Ladestationen soll ein erster Schritt gemacht werden. Die bestehende Anschlussleistung ermöglicht eine zukünftige Erhöhung auf bis zu 20 Ladestationen. Um die Investitionskosten sowie die laufenden Kosten für die öffentlich zugänglichen Ladestationen über zehn Jahre zu decken, wird aktuell ein Tarif von 35 Rp./kWh vorgeschlagen.

Bei optimierter Einbindung des bidirektionalen E-Mobils kann der Eigenverbrauch weiter erhöht und Lastspitzen reduziert werden. Für einen wirtschaftlichen Betrieb darf die Differenz der Ladeinfrastruktur für das bidirektionale Laden zur unidirektionalen Ladestation nicht mehr als 4'000 CHF betragen. Herstellerumfragen in diesem Bereich zeigen, dass die Kosten für V2X-Ladeinfrastruktur in naher Zukunft sinken werden.

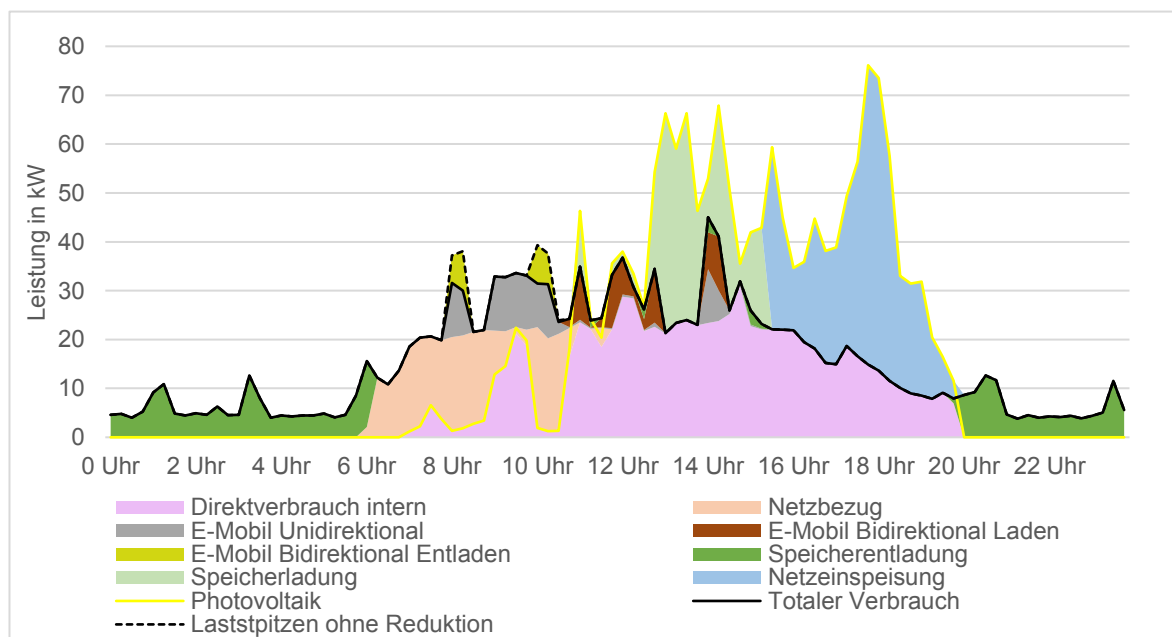


Abb. 2: Last- und PV Ertragsprofil an einem wenig ertragreichen Sommertag, bei Kombination aller Systeme.

## 02\_Optimierte Nutzung von PV, Fassade, Speicher und E-Mobilität

### Vergleich der Systemvarianten

Insgesamt wurden fünf Kombinationsvarianten miteinander verglichen. Die Wirtschaftlichkeit wurde anhand von fünf Szenarien über die Entwicklung der Rückspeisevergütung und Stromtarife analysiert.

Für das Ausbildungszentrum des AGVS wird die Initialisierung eines «Leuchtturmprojekts» empfohlen. Neben einem bidirektionalen E-Mobil für den Geschäftsführer sowie öffentlichen, unidirektionalen Ladestationen soll auch ein stationärer Second-Life-Speicher vorgesehen werden. Der Autarkiegrad kann mit einer Energie von 82 kWh von 59 % auf 79 % erhöht werden. Die Kombination aus einem statischen Speicher und bidirektionalem E-Mobil bietet grössere Unabhängigkeit bezüglich zukünftiger Strompreisgestaltung. Zudem lassen sich mit den enthaltenen Systemen neben der Lastspitzenreduktion auch die Menge und der Zeitpunkt des Energiebezugs aus dem Stromnetz beeinflussen. Dies ist bei dynamischen Strompreisen lukrativ. Mit Bereitstellung von Regelenergie kann zudem die Einhaltung der Netzstabilität unterstützt werden. Diese Variante ist mit dem 82 kWh-Speicher finanziell nicht die lukrativste. Sie kann jedoch durch den Beitrag zur Technologieförderung und durch die Botschaft, die damit nach aussen getragen wird, am meisten überzeugen.

In der Abb. 2 ist die Kombination der Systeme an einem Lastgang über einen wenig ertragreichen Sommertag dargestellt.

### Zukunftsvision

Das Ausbildungszentrum für die Automobilberufe in Horw wird sich mit dem Wandel durch die E-Mobilität genauso verändern. In der Arbeit wird ein Blick in die Zukunft gewagt und Visionen des Wandels erläutert. Der Wandel kann zu neuen Ausbildungseinrichtungen, Partnerschaften und Infrastruktur führen. In diesem Zug soll sich auch das Erscheinungsbild des Ausbildungsgebäudes ändern. In der Abb. 3 ist eine Vision des äusseren Erscheinungsbildes dargestellt. Die PV-Fassade mit möglichen Beschriftungen und E-Mobil-Parkplätze mit Ladestationen prägen das Aussehen des Gebäudes.



Abb. 3: Ost-Ansicht des Ausbildungszentrums (Vision).







Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_03  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Einfluss von Belüftungsart, Bodenbelag und Feuchtigkeit auf die Resuspendierung und eingeatmete Staubmenge in Innenräumen

Studierende	Samira Pauli Jessica Stoller
Dozierende	Heinrich Huber Stefan Walser
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: Oliver Zimmermann, Condair Group AG, Gwattstrasse 17, CH-8808 Pfäffikon SZ; Michael Riediker, SCOEH GmbH, Binzhofstrasse 87, 8404 Winterthur)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Einfluss von Belüftungsart, Bodenbelag und Feuchtigkeit auf die Resuspendierung und eingeatmete Staubmenge in Innenräumen

**Die Luftqualität in Innenräumen ist ein wichtiger Faktor für die Gesundheit von Menschen. Neben der Luftfeuchtigkeit haben Aktivitäten und Luftströmungen im Raum einen erheblichen Einfluss auf die Resuspendierung von Partikeln. In einer nachgestellten Bürosituation wurde die Resuspendierung mit menschlichen Aktivitäten auf Teppich und glattem Boden bei unterschiedlichen Luftfeuchtigkeiten untersucht. Zugleich wurde die Exposition von Menschen gegenüber Partikeln bei Quell- und Mischlüftung miteinander verglichen.**

## Zielsetzung

Ziel ist es, festzustellen, ob Teppichböden mehr Staub resuspendieren als glatte Böden. Zusätzlich wird der Einfluss der Luftfeuchtigkeit auf die Resuspendierung untersucht. Es wird zwischen einer hohen Luftfeuchtigkeit im Komfortbereich und einer niedrigen Luftfeuchtigkeit ausserhalb des Komfortbereiches unterschieden. Der Komfortbereich wird bei einer Feuchte im Bereich von 30 Prozent relative Feuchte bis 12 g/kg respektive 65 Prozent relative Feuchte definiert. Es wird erwartet, dass die Resuspendierung bei einer Luftfeuchtigkeit im Komfortbereich geringer ist. Ausserdem soll die Frage beantwortet werden, ob die Unterschiede zwischen Quelllüftung und traditioneller Mischlüftung in der Exposition von Menschen gegenüber Partikeln vernachlässigbar sind, wenn die Luftfeuchtigkeit im Komfortbereich liegt.

## Messumgebung

Um eine typische Bürosituation nachzustellen, wird nicht der kälteste Tag, sondern ein typischer Wintertag ausgewählt. Eine kalte Wand simuliert die Aussenwand. Der Raum wird durch einen Heizkörper beheizt. Als typische Bodenbeläge für ein Büro werden ein Kugelgarn® und ein Novilon-Boden eingesetzt. Als Luftauslass werden ein Quellluftauslass und ein Drallauslass verwendet. Von Hand kann vom einen auf den anderen Luftauslass umgeschaltet werden. Der künstliche Staub, der für die Messungen verwendet wird, ist dem Hausstaub ähnlich und nicht gesundheitsschädlich. Zwei Personen führen während der Messungen eine halbe Stunde lang typische Büroaktivitäten wie umhergehen oder mit dem Bürostuhl zu einem Regal rollen aus.



Abb. 1: Messraum mit verteiltem Staub

**BAT\_G\_22\_03 Einfluss von Belüftungsart, Bodenbelag und Feuchtigkeit auf die Resuspendierung und eingeatmete Staubmenge in Innenräumen****Einfluss Aktivität auf Resuspendierung**

Die Messwerte auf der Zeitachse zeigen je nach Aktivität einen unterschiedlich raschen Anstieg der Massenkonzentration der Partikel an. Aktivitäten, die am Platz sitzend stattfanden, wie Wasser trinken oder in einem Buch blättern hatten einen kleineren Einfluss auf die Resuspendierung als Aktivitäten, bei denen die Personen im Raum umhergingen.

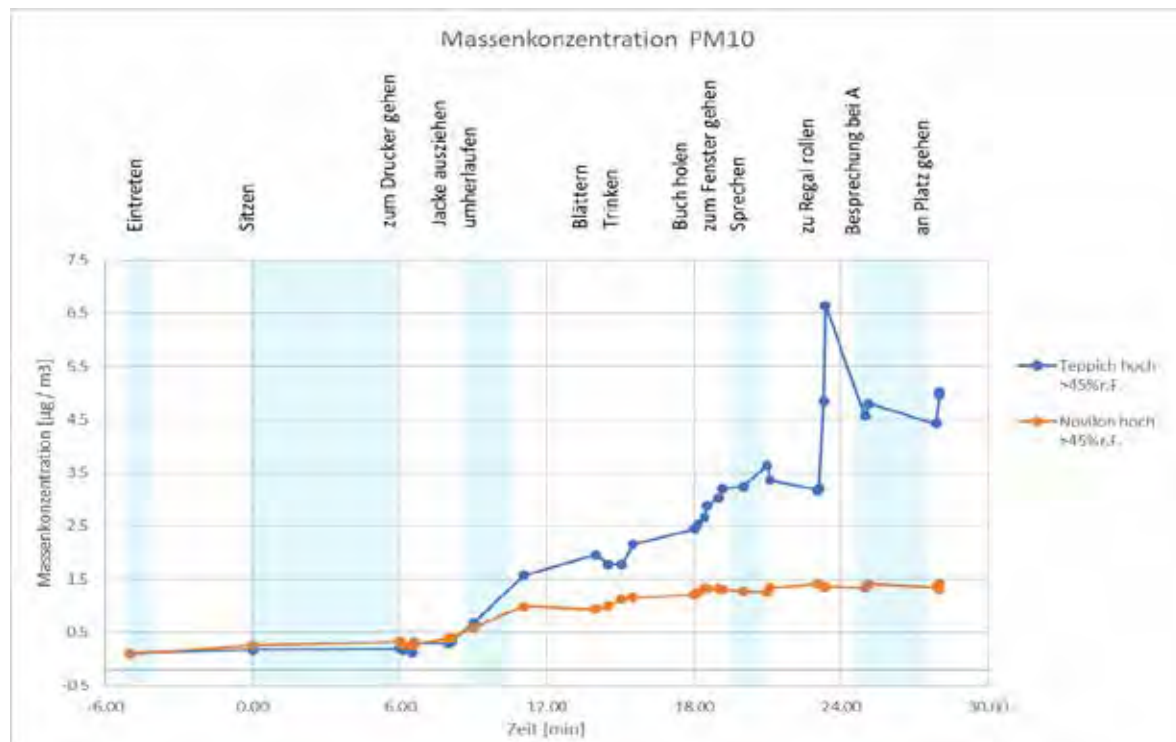


Abb. 2: Aktivität bei niedrigem Volumenstrom, Messung 9 & 11

**Schlussfolgerungen**

Bei einem niedrigen Volumenstrom, der für die im Raum anwesenden Personen ausreichend war, wurden beim Kugelgarn® mehr Partikel resuspendiert als beim Novilon-Boden. Bei einem hohen Luftvolumenstrom war der Median der Resuspendierungsrate bei Kugelgarn® und Novilon etwa gleich hoch.

Die Resuspendierungsrate von Kugelgarn® und Novilon war bei hoher Luftfeuchtigkeit im Komfortbereich deutlich niedriger als bei niedriger Luftfeuchtigkeit ausserhalb des Komfortbereiches. Die Streuung der Resuspendierungsrate war bei hoher relativer Luftfeuchtigkeit sehr viel geringer als bei niedriger.

Untersucht wurden in dieser Arbeit die Lüftungssysteme Quell- und Mischlüftung. Im Vergleich wurden auf den Messhöhen 1,1 Meter (Kopfhöhe sitzend) und 1,7 Meter (Kopfhöhe stehend) bei gleichen Rahmenbedingungen wie Volumenstrom, Bodenmaterial und Aktivität bei der Quelllüftung mehr Partikel gemessen als bei der Mischlüftung. Bei einer Luftfeuchtigkeit im Komfortbereich waren die Unterschiede bezüglich Exposition nicht zu vernachlässigen.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_04  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Erfassen der Energieeffizienz der Swissframe-Plattform mit Julia

Studierende	Marco Mainberger Sebastian Köchli
Dozierende	Axel Seerig Montali Leonardo
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Urs Zumstein, Swissframe AG, Dammweg 39, 3053 Münchenbuchsee)
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Erfassen der Energieeffizienz der Swissframe-Plattform mit Joulia

Die Gebäudetechnikbranche verfolgt zunehmend das Ziel, einen Beitrag zur Energiewende zu leisten. Dadurch werden immer neue, innovative Lösungen gesucht und bestehende Systeme optimiert, um eine höhere Energieeffizienz zu erreichen. Dadurch soll bei gleichbleibendem Komfort der Energiebedarf gesenkt werden.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist, die Energieeffizienz des Warmwassersystems Thermos, Joulia Duschrinne mit einer integrierten Abwasserwärmerückgewinnung und einer Kombination dieser beiden Systeme zu bestimmen. Es wird überprüft, angesichts der theoretische Wirkungsgrad auch in der Praxis erreicht wird und mit der Kombination Thermos und Joulia eine zusätzliche Energieoptimierung erfolgt.

## Methodik

Um die wissenschaftliche Fragestellung zu beantworten, wird eine theoretische Berechnung vom Systemnutzungsgrad beim Produkt Thermos, wie auch der Kombination und vom Wirkungsgrad beim Produkt Joulia erstellt. Diese Berechnung ist mit einer Messreihe an einem Prüfobjekt analysiert und verifiziert. Spezifisch sind die verschiedenen Analysen an der Joulia Duschrinne und dem Thermos Warmwassersystem mit unterschiedlichen Konditionen durchgeführt worden. Die Resultate sind in der Diskussion genauer analysiert und mit der theoretischen Berechnung verglichen. Die anschliessenden Anpassungen an der Berechnung führen zu einem praktischen Resultat.

## Ergebnisse

Nach mehreren Berechnungsanpassungen können die theoretischen Systemnutzungsgrade der einzelnen Systemen publiziert werden. Mit einer Joulia Duschrinne kann einen theoretischen Wirkungsgrad von 67 % erreicht werden, das System Thermos erreicht in der Theorie einen Systemnutzungsgrad von 2.7. Mit der theoretischen Berechnung kann auch belegt werden, dass mit einem kombinierten System der Systemnutzungsgrad auf einen Wert von 3.5 ansteigt.

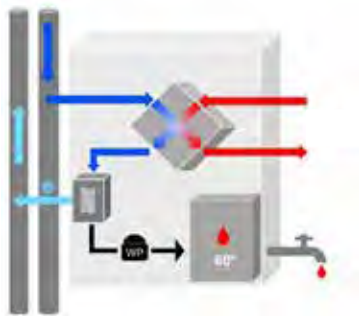


Abbildung 1 Funktionsprinzip  
Thermos

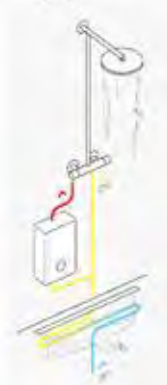


Abbildung 2 Funktionsprinzip  
Joulia

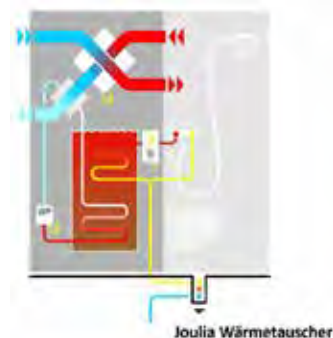


Abbildung 3 Funktionsprinzip  
Kombination

Die praktische Berechnung ist integriert mit Verlusten, welche durch Messungen verifiziert sind. In der Praxis kann gemäss Berechnung des Systems Thermos einen Systemnutzungsgrad von 1.7 nachgewiesen werden. Diese Wertsenkungen zeigt klar auf, dass die Verluste im gesamten System hoch sind. Nach unserer Betrachtung ist ein grosser Teil der Verluste auf den Wärmepumpenkreislauf zurückzuführen. Die Analyse der Messungen der Joulia Duschrinne zeigt wiederum einen



**BAT\_G\_22\_04 - Erfassen der Energieeffizienz der Swissframe-Plattform mit Julia**

Rückgang des Wirkungsgrads gegenüber der Praxis auf. Der praktische Wirkungsgrad vom Joulia Duschrinnensystem liegt noch bei 46%. Trotz den Verlusten kann mit einer Kombination der praktische Systemnutzungsgrad verbessert werden. Aus der Berechnung resultiert in der Realität einen Nutzungsgrad von 2.0.

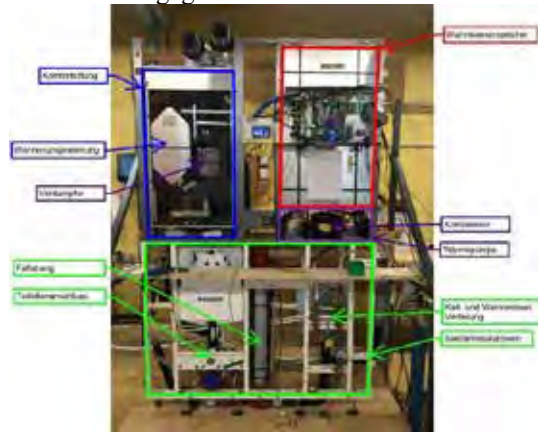


Abbildung 4 Prüfstand Thermos

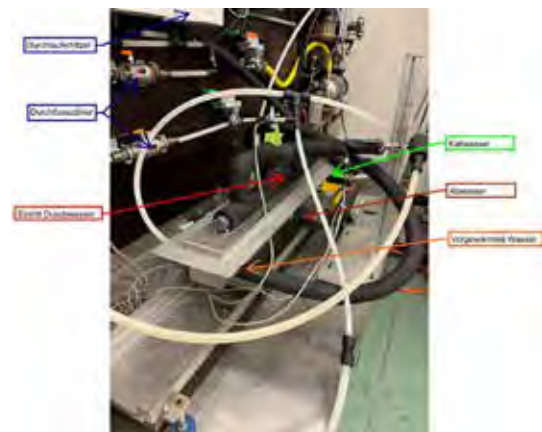


Abbildung 5 Prüfstand Joulia

**Diskussion**

Die Analyse der Ergebnisse weist massive Verluste von der Theorie zur Praxis auf. Diese Verluste haben je nach System unterschiedliche Ursachen.

Beim System Thermos sind vor allem die grossen Verluste im Wärmepumpenkreislauf zu erwähnen, welche durch ungenügende Dämmung, Druckverlust im Wärmepumpenkreislauf oder durch Übertragungsverluste am Kondensator dazu beitragen. Dadurch sinkt der Systemnutzungsgrad von 2.7 auf 1.7.

Bei der Joulia Duschrinne mit integriertem Wärmetauscher tragen andere Faktoren zu den Verlusten bei. Dazu gehören die Übertragungsverluste in der Aufwärmphase, die schlechten Wärmeübertragungseigenschaften von Wasser, Strahlungsverlusten und ein ungenauer Wärmeübergangskoeffizient. Diese Faktoren verursachen einen Verlust von der Theorie zur Praxis von rund 20%.

Bei der Kombination kommen diese Verluste der beiden einzelnen Systeme zum Tragen. Trotz den Verlusten kann mit einer Kombination der Systemnutzungsgrad gegenüber dem Produkt Thermos verbessert werden. Aus der Berechnung resultiert in der Praxis einen Nutzungsgrad von 2.0.

Tabelle 1 Vergleich Wirkungs- und Nutzungsgrad

	Systemnutzungsgrad Thermos	Systemnutzungsgrad Kombination	Wirkungsgrad Joulia
theoretisch	2.7	3.5	67 %
praktisch	1.7	2.0	46 %

**Fazit**

Beide Systeme versuchen mit einem innovativen Ansatz, den Energiebedarf für die Brauchwarmwassererwärmung zu senken. Durch die grossen Verluste von der Theorie zur Praxis trübt der Eindruck von den Systemen und dessen Einfluss auf die Energiewende. Auch wenn der Effekt nicht so gross wie erwartet ist, befinden sich die beiden Firmen auf dem richtigen Weg, um den Energiebedarf für die Brauchwarmwassererzeugung zu reduzieren.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_05  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Leitfaden zur Projektierung von Anergienetzen

Studierende	Andri Balzer
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Leonardo Montali
Experte/-in	Andres Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: Pierre Zardin, RMB Engineering AG, 8048 Zürich)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Leitfaden zur Projektierung von Anergienetzen

In den letzten Jahren wurden anstelle von Fernwärme- und Fernkältenetze immer häufiger Anergienetze oder auch genannt Niedertemperaturnetze Kühlen eingesetzt. Obwohl es mittlerweile verschiedene erfolgreich in Betrieb genommene Anergienetze gibt und darüber verschiedene Berichte vorhanden sind, fehlt es zurzeit an einer abschliessenden Hilfestellung für Fachpersonen. Ebenfalls ist weiterhin unklar, ob ein Anergienetz in der Ausführung mit dezentralen Energiezentralen pro Bezüger oder mit Cluster-Energiezentralen (Abb. 1) wirtschaftlicher ist.

Mittels Literaturrecherche gilt es, einen Leitfaden zur Projektierung von Anergienetzen auszuarbeiten. Dieser soll Fachkräften, die sich neu mit Anergienetzen befassen, als Hilfestellung zum Projektierungsablauf dienen. Bereits arrivierte Fachkräfte finden im Leitfaden Bestätigung für bereits vorhandenes Wissen aber auch Hinweise, wo mögliche Entwicklungspotenziale vorhanden sind. In einem zweiten Schritt wird anhand eines fiktiven Projekts die Wirtschaftlichkeit von Anergienetzen mit dezentralen Energiezentralen und Cluster-Anergienetzen abgeklärt.

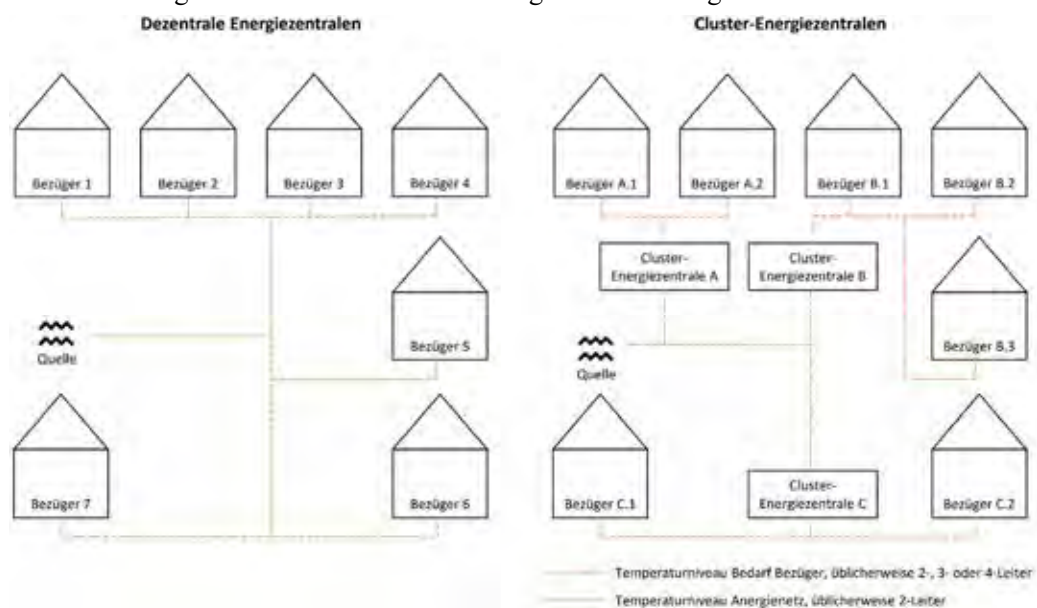


Abb. 1: Anergienetze mit dezentralen Energiezentralen und Cluster-Energiezentralen

## Leitfaden zur Projektierung von Anergienetzen

Der Leitfaden zur Projektierung von Anergienetzen gliedert sich in vier mögliche Teilphasen in der Planung von Anergienetzen: Potenzialanalyse, Topografie und Typologie, Kostenberechnungen sowie Ausführungsplanung. In einem ersten Schritt gilt es, das Potenzial möglicher Anergienetze zu analysieren. Dabei können verschiedene Hilfsmittel, wie beispielsweise lizenzierte Programme oder offen zugängliche Daten vom Bundesamt für Energie, dienen. Es wird das Potenzial möglicher Energieabnehmer wie auch der möglichen Quellen evaluiert. Besonders geeignete Quellen für Anergienetze sind Grundwasser, Oberflächengewässer, Erdwärme, Tunnelabwärme, Abwärme aus Abwasserreinigungsanlage und Abwärme aus Kälteprozessen. Ist die Potenzialanalyse zum Schluss gekommen, dass die notwendigen Bedingungen für die Realisierung eines Anergienetzes gegeben sind, können sämtliche Standorte der Energiezentralen und Erschliessungswege definiert werden.

Bei der Wahl der Standorte von Energiezentralen gilt es, Erschliessungswege kurz zu halten und gesetzliche Anforderungen an Energiezentralen wie zum Beispiel Fluchtwege zu erfüllen. Anhand der ermittelten Grössen der Energiezentralen und Längen der Erschliessungswege ist eine Schätzung mit einer Ungenauigkeit von  $\pm 25\%$  der Investitionskosten möglich. Der Leitfaden bietet dazu mögliche Hilfestellungen zur Abschätzung von Investitionskosten. Investitionskosten für erdverlegte Leitungen werden massgebend durch die Temperaturdifferenz zwischen Warm- und Kaltleiter, dem Bodenaufbau und der Örtlichkeit des Bauvorhabens beeinflusst. Ist der ausgehobene Boden vorbelastet, kann der Grabenaushub bis um den Faktor zehn teurer werden. Einen eher untergeordneten Einfluss auf die Investitionskosten von erdverlegten Leitungen hat der Deckbelag, sofern dieser nicht aus einem Spezialbelag (z.B. Naturstein) besteht. Nach einem positiven Investitionsentscheid kann mit der Detailplanung begonnen werden. Anhand einfacher Konzeptschemas werden mögliche Einbindungen von Energiezentralen (Abb. 2) illustriert und mögliche Anwendungsgebiete evaluiert.

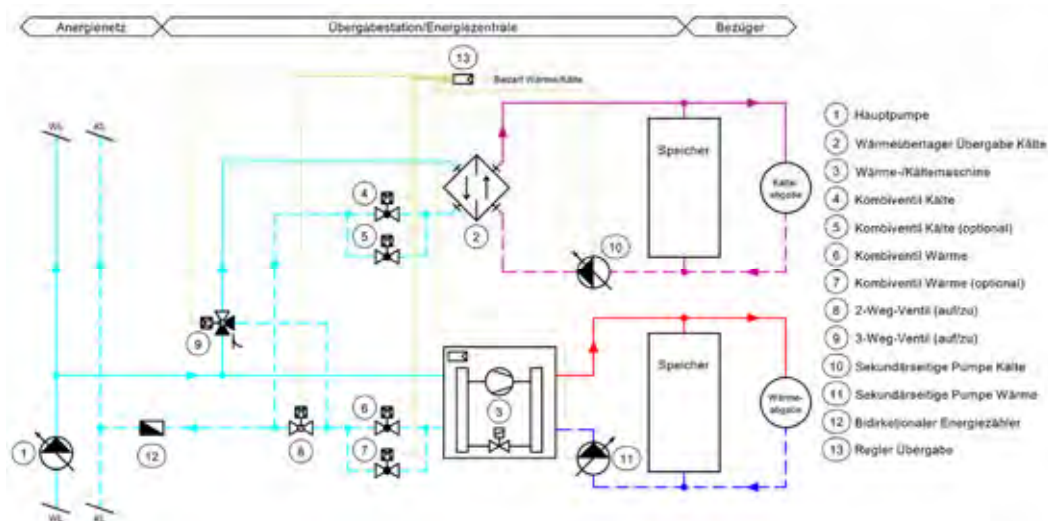


Abb. 2: Mögliche Einbindung von Wärme-/Kältemaschine in Anergienetz

### Wirtschaftlichkeit von Anergienetzen mit dezentralen und Cluster-Energiezentralen

Mittels eines fiktiven und idealisierten Projekts wird die Wirtschaftlichkeit von Anergienetzen mit dezentralen Energiezentralen und mit Cluster-Energiezentralen abgeklärt. Beim idealisierten Projekt handelt es sich um ein gerichtetes und bidirektionales Anergienetz im 2-Leiter-System. Als Energiequelle und saisonaler Speicher dienen Erdwärmesonden. Sämtliche Nutzenergiebezüge und Nutzwärmeleistungen sind bei beiden Projektvarianten gleichwertig (Abb. 3).

Netzvariante		Variante I dezentrale Energiezentralen	Variante II Cluster-Energiezentralen
Bezüger	[-]	27	27
Energiezentralen	[-]	27	7
Nutzwärmeleistung	[kW]	14'350	14'350
Nutzwärmeenergie	[MWh/a]	12'200	12'200
Nutzkälteleistung	[kW]	9'950	9'950
Nutzkälteenergie	[MWh/a]	9'200	9'200
Länge Anergienetz	[m]	1'700	1'200
Länge Fernkältenetz	[m]	-	900
Länge Fernwärmenetz	[m]	-	900

Abb. 3: Projektdetails Berechnung Wirtschaftlichkeit

Anhand der SIA 480:2016 werden Investitions-, Energie- und Instandhaltungskosten der beiden Projektvarianten über die gemittelte Betrachtungsdauer von 30 Jahren berechnet. In den Investitionskosten sind technische Elemente des Anergienetzes aber auch der Bau der Energiezentralen enthalten. Wie in Abbildung 4 ersichtlich ist, liegen die jährlichen Kosten von Cluster-Energiezentralen um knapp 20% höher als bei dezentralen Energiezentralen. Dies ist darauf zurückzuführen, dass bei Cluster-Energiezentralen Energieverluste von 7% für die Verteilung im Fernwärmenetz berücksichtigt werden. Dadurch sind höhere Volumenströme notwendig, was sich wiederum zum Beispiel auf die elektrische Energieaufnahme von Umwälzpumpen oder grössere Rohrdimension auswirkt. In Anergienetzen ist aufgrund des Temperaturniveaus von 0 bis 20 °C kein Energieverlust zu berücksichtigen. Ebenfalls in Abbildung 4 ist ersichtlich, welchen prozentualen Einfluss Investitions-, Instandhaltungs- und Energiekosten auf den die Gesamtkosten haben. Somit kann festgestellt werden, dass bei einer allfälligen Erhöhung der Energiepreise dies einen grösseren Einfluss auf die Gesamtkosten von Cluster-Energiezentralen als von dezentralen Energiezentralen hat.

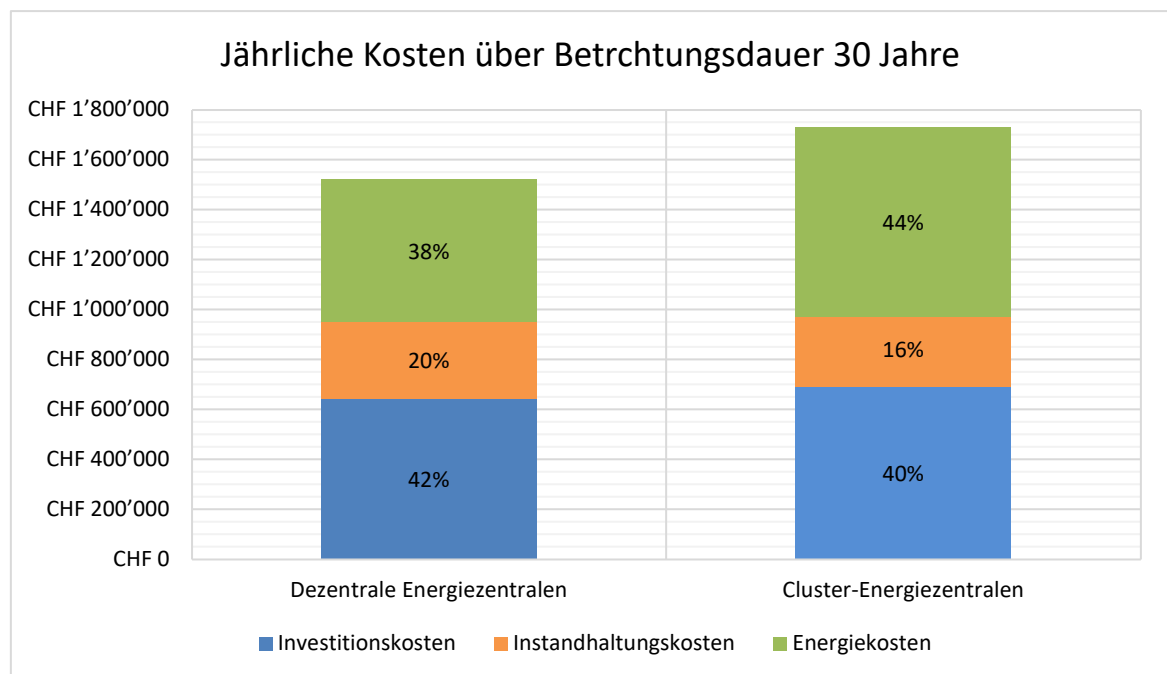


Abb. 4: Wirtschaftlichkeit Anergienetze mit dezentralen Energiezentralen und mit Cluster-Energiezentralen

Es ist zu beachten, dass es sich bei den berechneten Kosten um Kosten für ein idealisiertes Projekt handelt. Auch in Zukunft empfiehlt sich, eine differenzierte Betrachtung der Kosten anhand der projektspezifischen Gegebenheiten vorzunehmen. Sämtliche Rahmenbedingungen der Wirtschaftlichkeitsberechnungen beruhen auf Erfahrungswerten der vergangenen Jahren. Inwiefern sich diese in Zukunft entwickeln, ist noch nicht abzuschätzen. Die prozentualen Anteile der Investitions-, Instandhaltungs- und Energiekosten geben jedoch einen Hinweis darauf, wie sich mögliche Preisänderungen in Zukunft auf die Gesamtkosten auswirken können. Eine detaillierte Analyse der verschiedenen Einflussfaktoren und deren Einfluss auf die jährlichen Kosten könnte Gegenstand einer weiteren Wirtschaftlichkeitsbetrachtung sein.







Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_06  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Skalierbare Lösung für autarke und CO2- neutrale Bauten

Studierende	Flavio Aregger Lukas Zemp
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Markus E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Walter Schär, schaerraum ag, Altsagenstrasse 24, 6048 Horw)
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Skalierbare Lösung für autarke und CO2-neutrale Bauten

**Das Ziel ist klar. Die Treibhausgasemissionen müssen schnellstmöglich gesenkt und die Energieknappheit bewältigt werden. Mithilfe vom Ausbau der erneuerbaren Energie und einer effizienten Gebäudetechnik ist eine Verbesserung möglich. Die Betrachtung vom einzelnen Gebäude über ein gesamtes Areal ist im Neubau ein wichtiger Punkt.**

Das Mehrfamilienhaus NeuRaum in Horw überzeugt durch die Holz-Modulbauweise und hoher Energieeffizienz. Durch die Bauweise können die hohen Treibhausgasemissionen kompensiert werden und eine moderne Gebäudetechnik bietet einen grossen Vorteil im Bezug zur Energieknappheit. Durch die hohe Ausnutzung der Flächen für Photovoltaik und einem Energiespeicher ist der Eigenverbrauchsgrad sowie der Autarkiegrad bereits hoch.

## Energieautarkie im Gebäude

Um den elektrischen sowie thermischen Energiebedarf durch das gesamte Jahr intern zu produzieren, benötigt es effiziente Betriebsmittel und verschiedene erneuerbare Energiequellen. Den elektrischen Energiebedarf kann mit der Photovoltaik-Anlage durch den Sommer gut gedeckt werden. Mit einer erweiterten Photovoltaik-Anlage an der Südfassade, kann durch den Winter eine erhöhte Eigenerzeugung und somit ein höherer Autarkiegrad erreicht werden. Mit einem elektrischen Speicher kann die Autarkie sowie die Unabhängigkeit erweitert werden. Der Einsatz von thermischen Energiequellen, welche erneuerbar sind, hat einen grossen Einfluss auf den elektrischen Energiebedarf. Mit einer Solarthermie-Anlage für das Warmwasser kann der elektrische Energiebedarf um knapp 20% verringert werden.



Abbildung 1: Visualisierung MFH NeuRaum mit erweiterter PVA

Die Wasserstoffspeicher-Technologie ist sowohl elektrisch und thermisch attraktiv und die Energie kann saisonal, das heisst vom Sommer in den Winter, gespeichert werden. Für einen hohen Wirkungsgrad müssen sowohl die elektrische als auch die thermischen Energien voll ausgenutzt werden können. Aufgrund des hohen Abwärme-Anteils ist für den Wohnbau eine solche Speicheranlage kaum effizient nutzbar.

**BAT G\_22\_06 Skalierbare Lösung für autarke und CO2-neutrale Bauten****Zusammenschluss eines Areals**

Um die erzeugte Energie von einer oder mehreren Photovoltaik-Anlagen gebäudeübergreifend zu nutzen, ist bei einem Areal eine gemeinsame Energieverteilung sinnvoll. Dadurch kann einerseits der Eigenverbrauchsgrad jeder Photovoltaik-Anlage erhöht werden und die Amortisationsdauer nimmt zugleich ab. Um den bestehenden Zusammenschluss zum Eigenverbrauch zu erweitern, wurden drei verschiedene Varianten genauer untersucht auf die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit. Die Preisgestaltung spielt für die Wirtschaftlichkeit eine erhebliche Rolle. Eine exakte Kalkulation ist sehr schwierig, da dies von mehreren Faktoren der Politik und der Wirtschaft abhängig ist. Aus diesem Grund wurden drei verschiedene Preisgestaltungen betrachtet.

"Preis 1": Energiekosten Jahr 2021	Externe Kosten Netzbetreiber	0.24	CHF/kWh
	Netzurücklieferarif Netzbetreiber	0.11	CHF/kWh
"Preis 2": Energiekosten aktuell	Externe Kosten Netzbetreiber	0.25	CHF/kWh
	Netzurücklieferarif Netzbetreiber	0.26	CHF/kWh
"Preis 3": Energiekosten Jahr 2021 + 30% Teuerung Energiekosten	Externe Kosten Netzbetreiber	0.31	CHF/kWh
	Netzurücklieferarif Netzbetreiber	0.11	CHF/kWh

Abbildung 2: Preisgestaltung Energiekosten

Als Grundlage für weitere Berechnungen wurden die bestehenden Photovoltaikanlagen, sowie die Energie- und Leistungsdaten ermittelt. Durch Simulationen konnte der neue Eigenverbrauchsanteil ermittelt werden und die notwendigen Voraussetzungen überprüft werden. Die Varianten 1, drei Nachbarsliegenschaften mit dem NeuRaum zu einem ZEV zusammenschliessen, ist die einzige Variante, die eine Amortisationen der Investitionskosten unter 25 Jahren erreicht mit dem realistischen "Preis 3". Der Eigenverbrauchsanteil steigert sich bei dieser Variante bereits um ca. 10%. Die anderen Varianten sind in der Theorie möglich, sind jedoch finanziell nicht lukrativ.

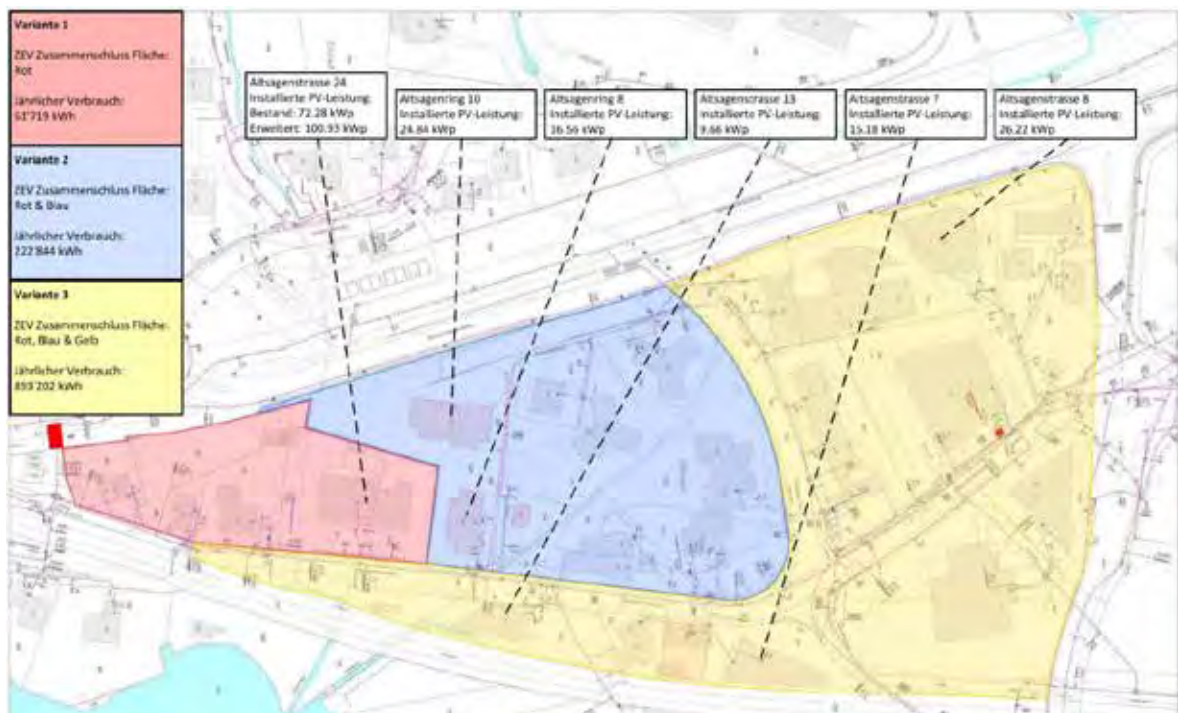


Abbildung 3: Arealentwicklung ZEV, Übersicht und Potential

**BAT G\_22\_06 Skalierbare Lösung für autarke und CO2-neutrale Bauten**

**Skalierbare Möglichkeit**

Das Mehrfamilienhaus NeuRaum ist als Plusenergiehaus ein wichtiges Gebäude für die Baukultur der nächsten Jahre. Es soll mithilfe des Baustoffs Holz eine Menge an CO<sub>2</sub> einsparen und zugleich speichern. Mit energieeffizienten Betriebsmitteln und einem ausgeklügelten Heiz- / Kühlsystem erreicht man eine durchaus positive Energiebilanz.

Mit einem Anwendungstool wird eine einfache und mögliche Skalierbarkeit vom MFH NeuRaum für Neubau Einfamilien- sowie Mehrfamilienhäuser angestrebt. Es können die Nettogeschossflächen sowie Energiebezugsflächen als Eingabe getätigt werden und mögliche Flächen für die Solaranlagen eingetippt werden. Als Resultat gibt es, je nach möglichen thermischen Energiequellen, sechs bis acht verschiedene Varianten mit den errechneten Werten sowie einfache Grafiken.

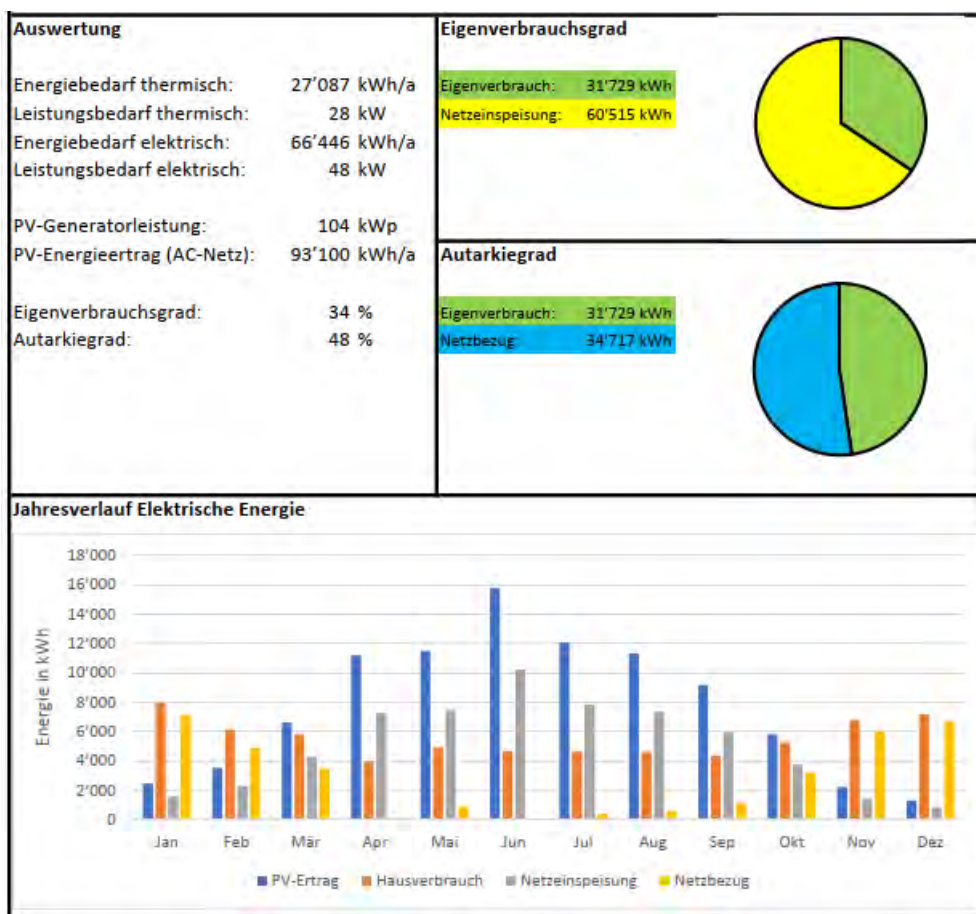


Abbildung 4: Mögliches Variantenblatt mit entsprechenden Grafiken





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_07  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Hybride Lüftungssysteme – (neue) Anforderungen und Herausforderungen für die Gebäudetechnikplanung

Studierende	Ramon Baeriswyl
Dozierende	Markus Koschenz Alex Primas
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Beat Frei, FREI WÜST EXPERT, 6130 Willisau)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Hybride Lüftungssysteme – (neue) Anforderungen und Herausforderungen für die Gebäudetechnikplanung

**Die hybriden Lüftungsanlagen ist eine Kombination von mechanischen und natürlichen Anlagen. Ein Beispiel dieser Anlagentypologie ist die Wohnungslüftung mit Abluftventilatoren in der Nasszelle und Fensterlüftung in den Zimmern der Wohnung. Diese Art der Lüftungsanlage ist in der Schweiz in Wohnhäuser sehr weit verbreitet. Dabei sind mehr Fachpersonen an der Planung beteiligt als bei mechanischen Anlagen. Jedoch gibt es noch keine SIA Norm oder Richtlinie, welche den Planungsablauf definiert. Deshalb soll diese Bachelorarbeit einen Arbeitsablauf für alle Personen definieren, welche bei der Planung oder ausführen einer Hybriden Lüftungsanlage beteiligt sind. Zusätzlich sollen die einzelnen hybriden Systeme miteinander verglichen werden mit einer Evaluation. Für die Abnahme soll ein Funktionsnachweis erstellt werden für die Inbetriebnahme und Kontrolle der Anlage.**

Als Grundlage für die Erarbeitung von der Prozessanalyse und Evaluation wurden vier hybride Lüftungssysteme ausgewählt, welche im Wohnungsbau und Bürobau eingesetzt werden.

Die folgenden vier Systeme wurden ausgewählt:

- System I:  
Mechanische Bürolüftungsanlage mit Fensterlüftung für Intensivlüftung und Nachtauskühlung
- System II:  
Wohnungslüftung mit bedarfsgerechten Abluftventilatoren in der Nasszelle und Fensterlüftung in den Wohn- und Schlafzimmern
- System III:  
Wohnungslüftung mit Einzelraumlüftungsgerät im Schlafzimmer und bedarfsgerechtem Abluftventilator in den Nasszellen mit Fensterlüftung im Wohnzimmer
- System IV:  
Kontrollierte Wohnungslüftung als Verbundlüftung (Zuluft und Abluftauslässe im Korridor und in den Nasszellen mit natürlicher Überströmung zu dem Zimmer)

Da es für die Bürolüftung nur ein hybrides System gibt wurde bei der Evaluation als Referenzsystem eine mechanische Klimaanlage mit Kühlung über die Luft verwendet.

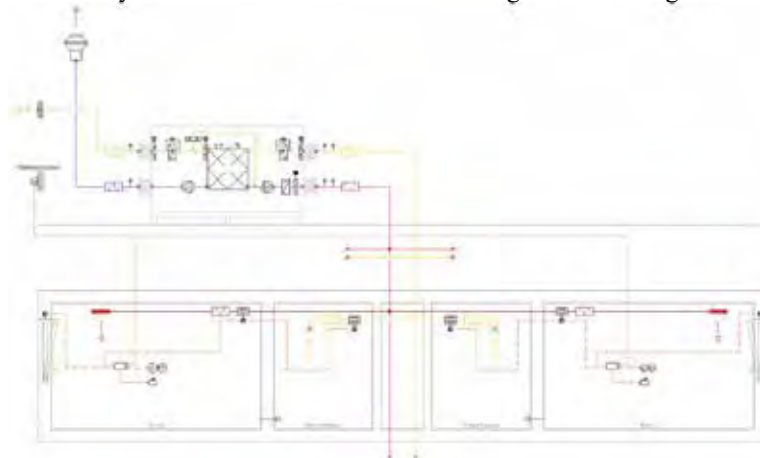


Abb. 1: Prinzipschema System I



Hybride Lüftungssysteme – (neue) Anforderungen und Herausforderungen für die Gebäudetechnikplanung

**Evaluation der hybriden Lüftungssystemen**

Für die Evaluation der Lüftungssystemen wurden drei Hauptkriterien definiert:

- Ökonomische Kriterien
- Behaglichkeit Kriterien
- Energetische Kriterien

Nach diesen Kriterien wurden anschliessend die Systeme bewertet. Dabei wurde pro Kriterium mehrere Teilkriterien bewertet wie z.B. die Investitionskosten und Betriebskosten bei den Ökonomischen Kriterien. Dabei konnten pro Kriterium 10 Punkte im Optimalfall geholt werden und 30 Punkte im schlechtesten Fall was eine mögliche Punktzahl von 90 Punkte ergibt. Ziel dieser Aufteilung war es der Bauherrschaft aufzuzeigen wo die Stärken und Schwächen der Systeme liegen. Dadurch kann die Bauherrschaft entscheiden, ob sie das in der Gesamtauswertung beste System oder z.B. das ökonomisch beste System auswählen will. Dabei wird empfohlen das die Gesamtbewertung als schlussendliches Entscheidungskriterium genommen wird.

**Auswertung der Evaluation der Bürolüftungssysteme**

Bei der Evaluation der Bürolüftung hat sich ergeben, dass die hybride Lüftung besser abschneidet, da diese aus ökonomischer Sicht weniger Kosten verursacht als die mechanische Lüftungsanlage. Jedoch schneidet das System I bei der Behaglichkeit schlechter ab, da der Aussenschall und im Winter die kalte Aussenluft als unbehaglich empfunden wird. Bei den Energetischen Kriterien schneiden beide Systeme etwa gleich gut ab, wobei bei der hybriden Lüftung die fehlende Wärmerückgewinnung und bei der Klimaanlage der höhere Stromverbrauch für Abzüge führen.

**Auswertung der Evaluation der Wohnungslüftungssysteme**

Bei der Evaluation der Wohnungslüftungsanlagen, hat die kontrollierte Lüftungsanlage als Verbundlüftung (System IV) am besten abgeschlossen. Da dieses System bei der Behaglichkeit und bei der Energetischen Betrachtung am besten abschneidet durch die Wärmerückgewinnung im Lüftungsgerät. Aus ökonomischer Sicht wäre die Fensterlüftung mit bedarfsgeregeltem Abluftventilator (System II) am besten.

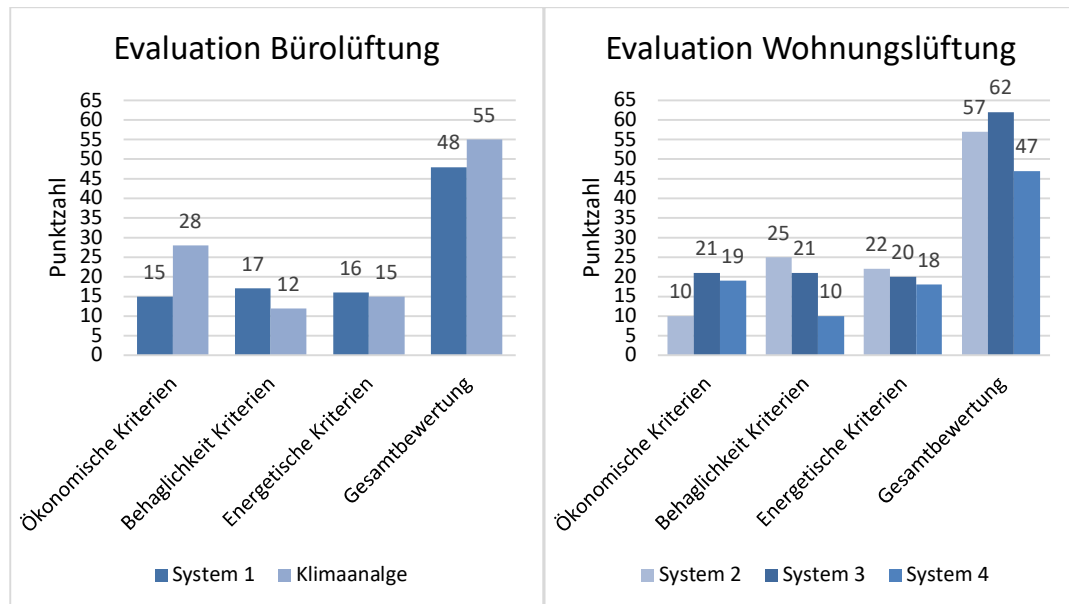


Abb. 2 : Auswertung der Evaluation der Bürolüftung

Abb. 3 : Auswertung der Evaluation der Wohnungslüftung

### Prozessanalyse

Bei der Prozessanalyse der vier hybriden Lüftungssystemen, wurden die Arbeiten mit Hilfe einer Matrix den beteiligten Fachplanern zugewiesen. Dabei wurden die Arbeiten nach Aufwand gewichtet und in die Planungsphasen eingeteilt.

### Auswertung der Prozessanalyse

Aus der Prozessanalyse hat ergeben, dass in den früheren Projektphasen wie strategischer Planung und Vorstudien mehr Aufwand für die beteiligten Planer anfällt, da Arbeiten wie die Standortanalyse betreffen der Aussenluft und der Schallemissionen. Solche Leistungen werden aber bei der Honorierung nach SIA 108 als zusätzliche Leistungen angesehen und fallen nicht in die Planungsleistungen vom Lüftungsplaner. Deshalb ist es wichtig das der Bauherr in der strategischen Planung und bei der Systemwahl eine Fachperson zuzieht, welche als Hauptplaner für das Lüftungskonzept für die Planung und Koordination der Hybriden Lüftungsanlage verantwortlich ist. Dieser leitet die Planung bis zur Inbetriebnahme der Anlage. Der Mehraufwand dieser Arbeiten kann bei der Ausschreibung und bei der Realisierung abgezogen werden, da in diesen Phasen weniger Aufwand benötigt wird wie bei einer mechanischen Analgen siehe Abbildung 4.

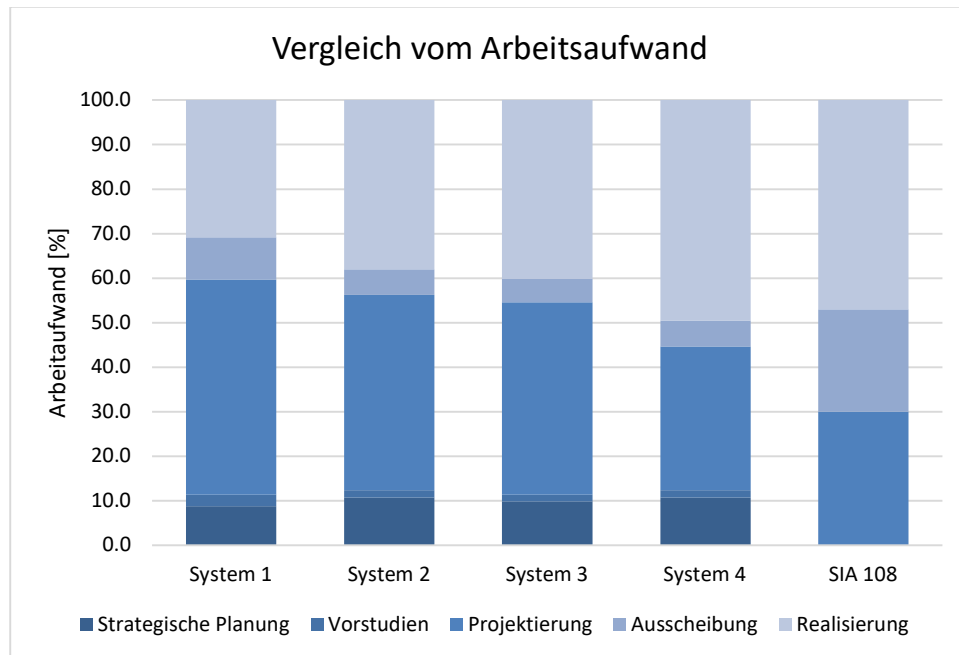


Abb. 4 : Auswertung der Prozessanalyse der vier Systeme

### **Wichtige Erkenntnisse der Arbeit**

#### Festlegung welches System die Grundlüftung erbringt

Bei hybriden Lüftungsanlagen ist es wichtig, dass festgelegt wird, ob das natürliche oder das mechanische Lüftungssystem die Grundlüftung abdeckt. Das jeweils andere System ist dementsprechend zur Unterstützung oder Ergänzung bei Intensivlüftungsbetrieb oder Spezialbetrieben wie Nachtauskühlung in Betrieb.

#### Früherer Planungsstart für die Lüftungsanlage

Wie bereits bei der Prozessanalyse beschrieben, muss bei der Planung der Lüftungsanlage bereits früher begonnen werden, um die Aussenbedingungen zu überprüfen und die Anforderungen an die Lüftungsanlage festzulegen.

#### Längere Messungen für die Funktionskontrolle

Bei der Inbetriebnahme müssen die Funktionen der natürlichen Lüftung über einen längeren Zeitraum gemessen, um sicherzustellen, dass die definierten Sollwerte und Grenzwerte eingehalten werden. Deshalb wurde in der Arbeit definiert, welche Funktionen zu welcher Zeit gemessen und eingestellt werden sollen. Diese Arbeiten werden vom Hauptplaner des Lüftungskonzept koordiniert und mit dem Lüftungsunternehmer durchgeführt.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_08  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Nachhaltiges Bauen durch Zertifizierungen inkl. Elektrobiologie und Nachweisverfahren mittels BIM

Studierende	Kseniia Bigich
Dozierende	Olivier Steiger Frank Thesseling
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Martin Winiger, SCHERLER AG, Friedentalstrasse 43, 6004 Luzern)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Nachhaltiges Bauen durch Zertifizierungen inkl. Elektrobiologie und Nachweisverfahren mittels BIM

**In der heutigen Welt gewinnt Nachhaltigkeit immer mehr an Popularität. Kontinuierliche Massnahmen in verschiedenen Bereichen sind erforderlich, um eine gesunde Zukunft für kommende Generationen zu gewährleisten. Nachhaltiges Bauen als Teil des allgemeinen Nachhaltigkeit-Konzepts hat sich auch verändert: Es geht immer mehr in die Richtung von umweltfreundlichen Materialien, geringerer Energieverbrauch, Verbrauch erneuerbarer Energien, Eigenproduktion usw. Das zeigt sich insbesondere an der steigenden Nachfrage für Labels wie Minergie und SNBS, aber auch am Interesse an der Elektrobiologie.**

Das Ziel dieser Arbeit ist der Weg zur Nachhaltigkeit von Zielen und Visionen bis zu den konkreten Massnahmen im Elektrobereich zu zeigen. Die Instrumente die helfen dieses Ziel zu erreichen sind Labels und Standards. Mit deren Hilfe ist es möglich transparent zu zeigen welche Anforderungen im Elektrobereich erfüllt werden müssen um Nachhaltig zu bauen, welche Massnahmen gibt es um diese Anforderungen zu erfüllen und wie bestmöglich notwendige Massnahmen im Projekt umsetzen. Dadurch wird nachhaltiges Bauen in der Praxis verständlicher und gibt den Elektroingenieuren die technischen Möglichkeiten zu nutzen und bei der Planung durch smarte Konzepte das Optimum für nachhaltiges Bauen zu erzielen. Durch den gezielten und abgestimmten Einsatz neuer Materialien und Technologien eigene Beitrag in die gesunde Zukunft zu machen. In der vorliegenden Arbeit wird dieses Ziel in mehreren Schritten erreicht.

## Labels als Instrument des Nachhaltigen Bauens

In einem ersten Schritt wird der Weg zur Nachhaltigkeit von Zielen und Visionen bis Normen, Labels und Standards gezeigt. Die anerkannten Labels Minergie-P, Minergie-P-ECO und SNBS sowie deren Anforderungen an die Zertifizierung für verschiedene Gebäudekategorien untersucht werden. Die Analyse ist in Bezug auf die Nachhaltigkeit im Elektrobereich durchgeführt. Als Resultat der Analyse ist eine Checkliste der Anforderungen für Elektrobereich erstellt werden, die auch einen Zusammenhang zwischen Labels zeigt.



Abb. 1: Weg zur Nachhaltigkeit Von Zielen und Visionen bis Normen, Labels und Standards und Themen des nachhaltigen Bauens

# Nachhaltiges Bauen durch Zertifizierungen inkl. Elektrobiologie und Nachweisverfahren mittels BIM

## «Checkliste - Anforderungen von Labels» Excel-Tool

Als nächster Schritt basierend auf dieser Checkliste wurde als Hilfsmittel für den Elektroingenieur eine Checkliste als Excel-Tool entwickelt. Mit dem Tool kann man schnell einen Überblick über Labels gewinnen und für ein bestimmtes Gebäude mit eigener Nutzungskategorie und einer bestimmten Fläche sowie für ein bestimmtes ausgewähltes Label ermitteln, welche Anforderungen im Elektrobereich durchgeführt werden müssen.

Eingabe	Label / Standard	Gebäudekategorie	Renoviert oder Erweiterung	Höhe über Erd			
	MinergieA	III Verwaltung	Neubau	2000			
Thema	Kriterien	Anforderungen	Anforderungen für Gebäude	Abschliesskriterien	Minergie	Minergie A	Nachweisinstrument
Energie	Minergie-Renoviert (400/1000)	30	70 MWh/a	ja	U 20		Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieerzeugung, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Minergie-Renoviert (200/500)	20	40 MWh/a	ja			Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Minergie (Energieeffizienz)	33	66 MWh/a	ja	M41-M20		Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Minergie (Energieeffizienz) (Renoviert)	7	14 MWh/a	ja		301.3	Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Energieerzeugung	15 kWh/kVh	20 kWh	ja	M10-M19		Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Betriebsstromverbrauch	11	11	ja	M45		Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
Ressourcen	Energieerzeugung	11	11	ja	M 71	304.2	Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Betriebsstromverbrauch	11	11	ja	M 71	304.1	Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Wasserverbrauch	11	11	ja	M 72		Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
Gesundheit	Schutz gegen nicht ionisierende Strahlung	11	11	ja	M104-020	107.2	Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz
	Elektronische Installationsleistungen	11	11	ja	M104-020	107.3	Schwermetalle, Schimmelpilze, Radon, Energieeffizienz, Energieeffizienz, Energieeffizienz

Abb. 1: Excel-Tool «Checkliste - Anforderungen von Labels»

## Zertifizierung und Anforderungen für BIM

Weiter wird untersucht, wie mit der Hilfe der BIM-Methodik und eines BIM-Modells die Ausweisung der Erfüllungskriterien an die entsprechende Fachstelle zu machen sind. Es werden alle für den Elektroingenieur relevanten Anforderungskriterien und deren Umsetzung in BIM analysiert. Zudem wird untersucht welche Informationen ins Elektromodell eingetragen werden müssten, damit diese Informationen weiter für Nachweisung verwendbar sind.

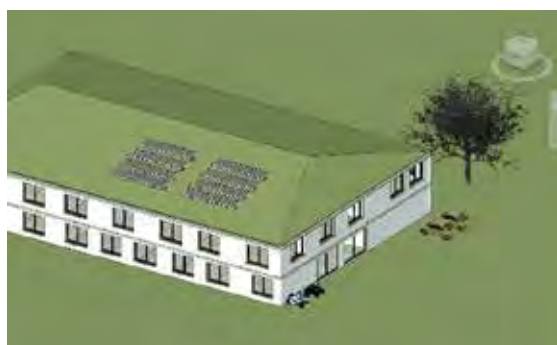


Abb. 2: «Bau-Zukunft»

In einem abschliessenden Praxisteil sind die Erkenntnisse in ein Übungsprojekt eingeflossen. Dabei sind zwei Planungs-Workflows entwickelt worden. Der erste Workflow ist für das Nachweisverfahren bei Erfüllung der Anforderung in Schutz gegen nicht ionisierende Strahlung. Der zweite Workflow ist ein Prozess der Umsetzung einer der Massnahmen, nämlich die Verwendung von geschirmten Kabeln und Bewertung von Kosten-Nutzen dieser Massnahmen.

Für weitere Forschungen, könnte man Workflows entwickeln, damit alle Massnahmen anhand eines BIM-Modells zertifiziert werden könnten. Zudem wäre eine interdisziplinäre Ausweitung der Fragestellung dahingehend interessant, da auch andere Gewerke von einem konsolidierten BIM-Modell profitieren könnten.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_09  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Nachhaltige Zukunftsentwicklung der Energieerzeugung und des Verbrauchs auf dem Areal Meyer BlechTechnik AG in Grosswangen

Studierende	Livio Troxler Ramon Jud
Dozierende	Prof. Volker Wouters Roger Buser
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Urs Meyer, Meyer BlechTechnik AG, 6022 Grosswangen
Abgabedatum	08. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Nachhaltige Zukunftsentwicklung der Energieerzeugung und des Verbrauches auf dem Areal Meyer BlechTechnik AG in Grosswangen

**Die Energiewende hat auch die Schweiz erreicht und beeinflusst die Politik massgeblich. Mit der Energiestrategie 2050 hat die Politik ein Zeichen gesetzt und will die Schweiz in Zukunft mit treibhausgasemissionsfreier Energie versorgen. Zusätzlich bedingt diese Strategie, die Reduktion des elektrischen Energiebedarfs und die Steigerung der dezentralen Energieproduktion. Grosse Energiebezügler, wie die Meyer BlechTechnik AG, stellt dies unmittelbar vor Herausforderungen.**

Die Energiestrategie 2050 des Bundes setzt sich die Energieeffizienz, die Förderung von erneuerbaren Energien, eine dezentrale Energieversorgung und die Bildung von Smart Grids sowie den Ausstieg aus der Kernenergie zum Ziel. Damit ein grosses Industrieareal wie die Meyer BlechTechnik AG einen Beitrag zu diesen ambitionierten Zielen leisten kann, ist der Energiebedarf zu reduzieren. Zusätzlich sind Energieerzeugungsanlagen sowie eigenverbrauchsoptimierende Massnahmen vorzusehen.

## Ausgangslage

Das Areal der Firma Meyer BlechTechnik AG in Grosswangen ist ein Industriekomplex, welcher sich auf die Metallverarbeitung spezialisiert hat. In den Industriehallen befinden sich Prozessanlagen, mit grossem elektrischen Energiebedarf. Im Jahr 2024 und 2026 soll das Areal um jeweils eine Produktionshalle erweitert werden, was einen signifikanten Anstieg des Energiebedarfs zur Folge hat. Dadurch stellt sich die Aufgabe, ein nachhaltiges und zukunftsfähiges Energiekonzept für das Areal zu erstellen. Diesbezüglich sind die möglichen elektrischen Energieerzeuger und der elektrische Energieverbrauch zu analysieren sowie zu optimieren. Es sollen Massnahmen ergriffen werden, welche unter ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll sind. Ergänzend sollen sie den Autarkiegrad sowie den Eigenverbrauchsanteil maximieren. Zusätzlich soll ein zeitliches Umsetzungskonzept dieser Massnahmen erstellt werden.



Abbildung 1 Arealübersicht mit den geplanten Erweiterungen in den Jahren 2024 und 2026

**Nachhaltige Zukunftsentwicklung der Energieerzeugung und des Verbrauches auf dem Areal Meyer BlechTechnik AG in Grosswangen**  
**BAT\_G\_22\_09****Reduktion des Energiebedarfs**

Die Verbrauchsoptimierung und die Effizienzsteigerung der gebäudetechnischen Anlagen stellen den ersten Schritt des Energiekonzeptes dar. Diese Massnahme dient dazu, dass zum einen weniger Energie bereitgestellt und zum andren weniger Energie an den Endverbraucher transportiert werden muss. Für das Industrieareal der Meyer BlechTechnik AG stehen die Optimierungen des Lastschwerpunktes, der Prozessanlagen, der Beleuchtung und der allgemeinen Gebäudetechnik zur Verfügung. Da die Meyer BlechTechnik AG lediglich neue sowie modernisierte Anlagen betreibt, hat die Prüfung dieser Massnahmen ergeben, dass kein Handlungsbedarf besteht. Ebenso hat die Meyer BlechTechnik AG bereits die gesamte Beleuchtung durch LED-Leuchten ausgetauscht, wodurch rund 300'000 kWh/a eingespart werden.

**Energieerzeugungsanlagen**

Damit ein Industrieareal mit nachhaltiger Energie versorgt werden kann, sind Eigenerzeugungsanlagen unumgänglich. Mit einer Umweltanalyse ist das Potenzial der möglichen Systeme geprüft. Diese Analyse hat ergeben, dass auf dem Areal lediglich PV-Anlagen ökonomisch und ökologisch einzusetzen sind. In der Abbildung 2 ist das Areal lediglich mit den PV-Modulen erkennbar. Die roten Flächen sind die im Frühjahr 2022 ausgebauten PV-Anlagen auf den Bestandsgebäuden (grau). Die grünen Flächen sind die zusätzlichen PV-Anlagen auf den Dächern und an den Fassaden der geplanten Gebäude (blau). Damit der Tagesverlauf und die zur Verfügung stehenden Flächen bestmöglich ausgenutzt werden, sind die Module der Dachanlagen 10° geneigt und nach Osten sowie Westen ausgerichtet.

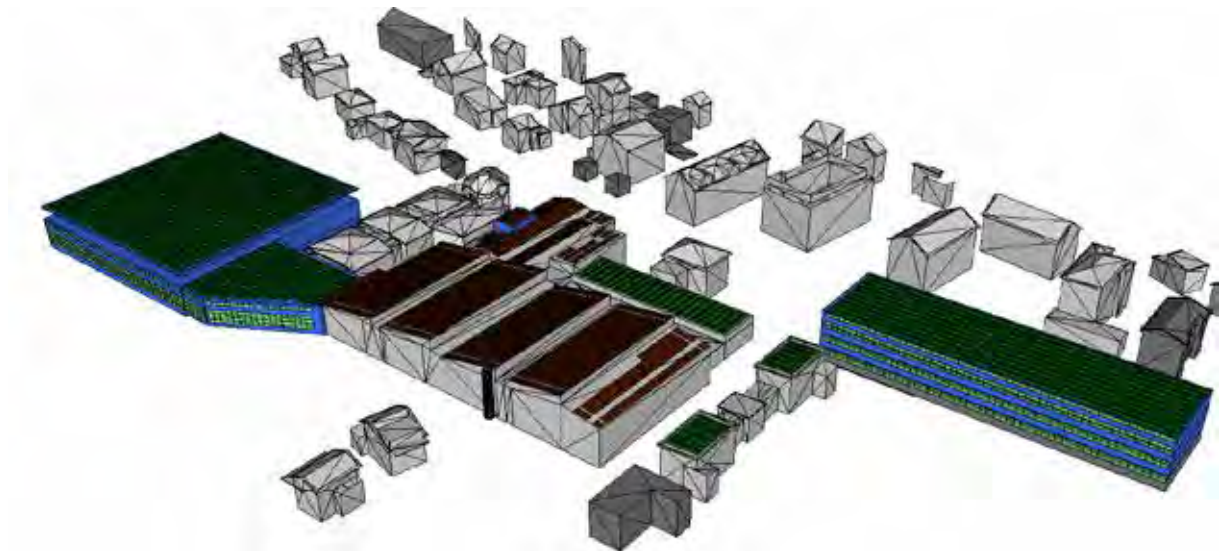


Abbildung 2 Auslegung der Photovoltaikanlagen

**Nachhaltige Zukunftsentwicklung der Energieerzeugung und des Verbrauches auf dem Areal Meyer BlechTechnik AG in Grosswangen**  
BAT\_G\_22\_09

**Eigenverbrauchsoptimierende Massnahmen**

Die PV-Anlagen produzieren in den Sommermonaten überschüssige Energie, welche in das Verteilnetz zurückgespeist wird. Bei einem höheren Eigenverbrauch der PV-Energie kann das Verteilnetz entlastet und einen zusätzlichen wirtschaftlichen Ertrag erwirtschaftet werden. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, den Eigenverbrauch zu optimieren. Aufgrund dessen, dass das Areal grosse Mengen an Druckluft und Stickstoff benötigt, besteht die Herausforderung darin, die Druckluft und den Stickstoff mit dieser überschüssigen Energie zu produzieren. Somit ist ein Druckluftspeicher vorgesehen, welcher tagsüber Druckluft speichert, abends wieder abgibt und gleichzeitig elektrische Energie rückgewinnt. Ebenso ist ein Stickstoffgenerator vorgesehen, der den Stickstoff vor Ort selbst herstellt. Diese optimierenden Massnahmen tragen dazu bei, dass der Eigenverbrauch um 3.1% und der Autarkiegrad um 2.1% gesteigert werden kann. Ebenso muss durch dieses System der Stickstoff nicht mehr eingekauft werden. In der Abbildung 3 ist der jährliche Verlauf der PV-Energie mit den Massnahmen zur Eigenverbrauchsoptimierung abgebildet.

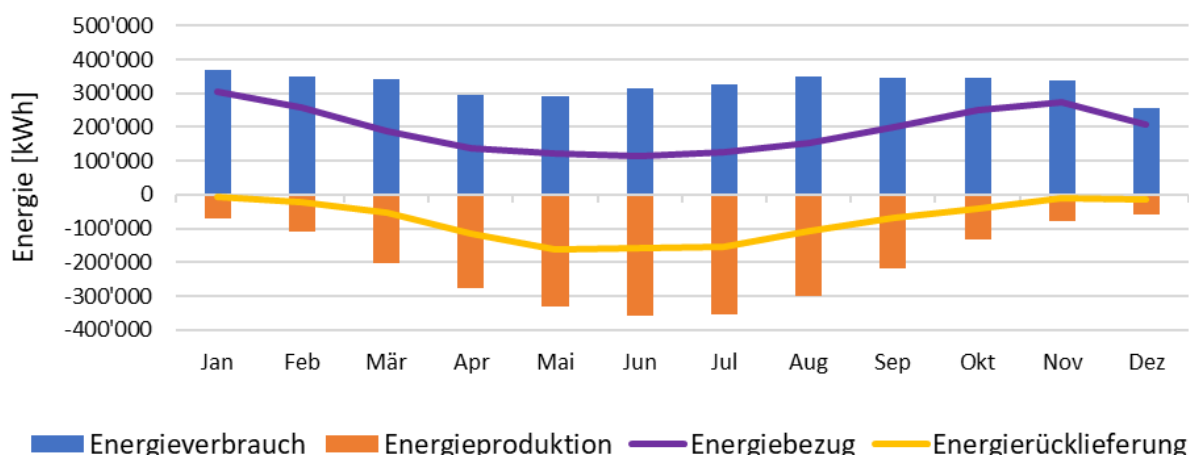


Abbildung 3 Energieübersicht Umsetzungskonzept

Energieverbrauch:	3'934'118 kWh/a	Energieproduktion:	2'489'038 kWh/a
Energiebezug:	2'345'382 kWh/a	Energierücklieferung:	900'302 kWh/a
Eigenverbrauchsanteil:	63.83%	Autarkiegrad:	40.38%

**Ökologische und ökonomische Betrachtung und Empfehlung**

Mit dem vorgeschlagenen Systemen können jährliche Einsparungen von CHF 374'600.- generiert werden. Somit sind diese Anlagen in rund 15 Jahren amortisiert. Ergänzend zu den wirtschaftlichen Vorteilen, erzielt das vorgeschlagene System ökologische Gewinne. Durch dessen Einsatz können die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen der Firma Meyer BlechTechnik AG um 80'500 kg CO<sub>2</sub>-eq gesenkt werden. Die Realisierung dieses Systems soll gestaffelt in einer kurzfristigen und langfristigen Umsetzung erfolgen. Die Autoren empfehlen, diese Systeme gemäss nachfolgender Zukunftsplanung zu realisieren.



Abbildung 4 Zukunftsplanung





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_10  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Betriebskonzept (Hydraulik und Regulierung) See-Energie für BWW

Studierende	Bieri, David
Dozierende	Zehnder, Timotheus Von Euw, Reto
Experte/-in	Hess, Roni
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: ewl energie wasser luzern, Carmen Ziegler, Industriestrasse 6 6002 Luzern)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Betriebskonzept (Hydraulik und Regulierung) See-Energie für BWW

**Die Bachelor-Thesis befasst sich damit, die energetisch, hygienisch, finanziell und betriebstechnisch optimale hydraulische und regeltechnische Lösung für verschiedene Ausgangslagen des Nahwärmeverbundes (Brauchwarmwasser-Systeme) aufzuzeigen und klare Richtlinien in den Unterstationen zwischen ewl und dem Kunden zu definieren.**

energie wasser luzern (ewl) betreibt thermische Netze mit Seewassernutzung. Mit diesen werden dezentrale Quartierzentralen, Quartiernetze mit Übergabestationen versorgt, welche mit zwei Konzepten (Wärme 40 und Wärme 70) betrieben werden.

Die Bachelor-Thesis befasst sich damit, die energetisch, hygienisch, finanziell und betriebstechnisch optimale hydraulische und regeltechnische Lösung für verschiedene Betriebskonzepte Brauchwarmwasser (BWW-Systeme) in den Übergabestationen aufzuzeigen und klare Richtlinien in den Unterstationen zwischen ewl und dem Kunden zu definieren. Das Resultat bilden kurz gefasste Konzeptpapiere (1-2 Seiten) pro BWW-System. Für ewl wurden im Bericht die definierten Kundenbedürfnisse, Anforderungen und Einbindung in die Quartiernetze erläutert.

## Normen / Richtlinien

Bei der Betrachtung von Brauchwarmwasser, ist die Hygiene ein wichtiges Thema. Gestützt auf Normen und Richtlinien sollen die hygienischen Anforderungen erfüllt werden. Die Temperaturen in Trinkwassersystemen werden in der SIA Norm 385/1:2020 und SVGW Richtlinie W3/E3 Ausgabe 2020 behandelt. Die Aussagen zum Brauchwarmwasser sind in der unteren Tabelle zusammengefasst.

	SIA	SVGW
Maximale Temperatur		65 °C
<b>Mit warmgehaltenen Leitungen</b>		
Am Austritt des Speichers bzw. des Durchflusswassererwärmers	Keine Aussage	≥60 °C
In allen warmgehaltenen Leitungen	≥55 °C	≥55 °C
<b>Ohne warmgehaltenen Leitungen</b>		
Am Austritt des Speichers bzw. des Durchflusswassererwärmers	≥55 °C	≥55 °C
Am sekundären Austritt bei einem Wärmeübertrager	≥52 °C	≥55 °C
An den Entnahmestellen nach der 7-fachen Ausstosszeit	≥50 °C	≥50 °C

Abb. 1: BWW-Temperaturen SIA/SVGW

Der Vergleich zeigt den Unterschied zwischen der SIA Norm 385/1:2020 und SVGW Richtlinie W3/E3 Ausgabe 2020. Alle BWW-Systeme wurden mit warmgehaltenen Leitungen und Auslegungsempfehlung nach SIA Norm 385/1:2020 erarbeiten. Bei einer Temperaturdifferenz von 3 K im Warmwasser-Zirkulationskreis kann der Trinkwasser-Speicher mit 58 °C betrieben werden.



### BWW-Systeme

Die Erzeugungsvarianten für die Auswahl-Matrix der BWW-Systeme ist aus den Betriebskonzepten Wärme 70 und Wärme 40 von ewl gegeben. Dazu kamen die gängig verwendeten hydraulischen Einbindungen. In Diskussionen mit ewl und der HSLU wurden die BWW-Systeme anhand der unteren Auswahl-Matrix (Abb. 2) ausgewählt, welche die Anforderungen und Erwartungen am besten abdecken. Als Kriterium dienten die Erfahrung von ewl über die eingesetzten, aber auch die Innovation für weniger verwendete Systeme mit Potential zur Energieoptimierung. Die Auswahl-Matrix zeigt grün markiert, für welche BWW-System mit welcher Speicherladung Konzeptpapiere ausgearbeitet wurden.

		BWW-Erzeugung	
		Wärme 70	Wärme 40
Hydraulische Einbindung	mit innenliegendem Register	Stufenladung	
	mit aussenliegendem Plattentauscher und mit sekundärem 3-Weg-Ventile	Schichtladung	Schichtladung
	mit aussenliegendem Plattentauscher ohne sekundäres 3-Weg-Ventile	Schichtladung	Stufenladung
	Frischwasserstation mit Zirkulation	Schichtladung	Sichtladung
	Frischwasserstation ohne Zirkulation		

Abb. 2: Auswahl-Matrix BWW-Systeme

### Konzeptpapiere

Die Konzeptpapiere sind für alle BWW-Systeme in zwei Bereiche auf je einer Seite aufgebaut um doppelseitig ausgedruckt auf einem A4-Blatt einen Überblick zu gewähren. Eine Seite dient als Auslege-Empfehlung und beinhaltet folgende drei Teile aus Schemas, Diagrammen und Text:

- Prinzip mit Regelkomponenten
- Regelfunktion mit Temperaturverlauf und Ablaufbeschrieb
- Temperaturverläufe im Plattentauscher

Auf einer zweiten Seite werden in einem Faktenblatt für den Kunden die folgenden Punkte in textlicher Aufzählung erläutert:

- Funktion / Einsatz
- Norm / Richtlinien Hygiene
- Dienstleistungen ewl
- Vorgaben Kunde
- Schnittstellen / Regulierung
- Vorteile
- Herausforderungen
- Empfehlungen Ladestrategie

Zu jedem Konzeptpapier gibt es ein Beiblatt für ewl. Dieses soll zur Vorbereitung auf ein Gespräch mit dem Kunden(planer) helfen und folgende Bereiche abdecken:

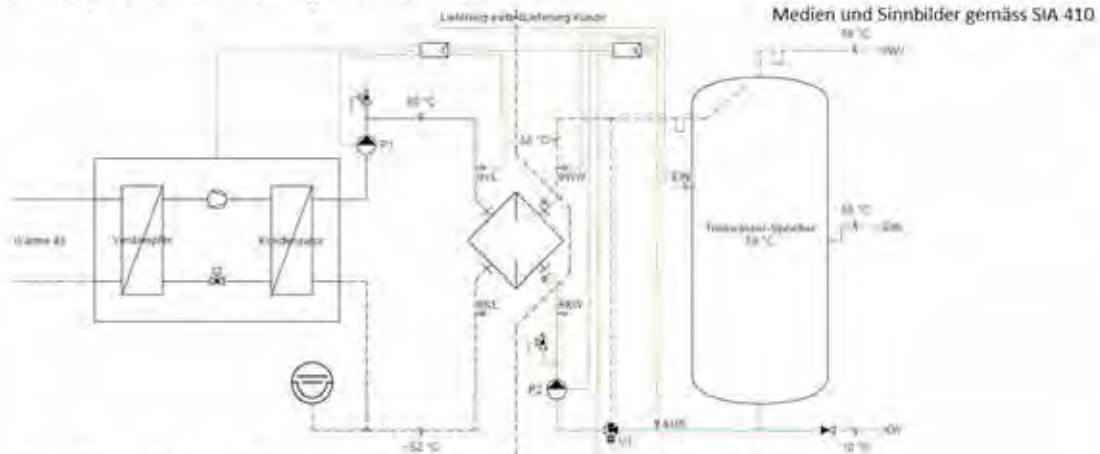
- Mögliche Spannungsfelder Kundenseite – ewl
- Energetische und finanzielle Optimierungen
- Empfehlungen.

**Beispiel Auslege-Empfehlung BWW-System**

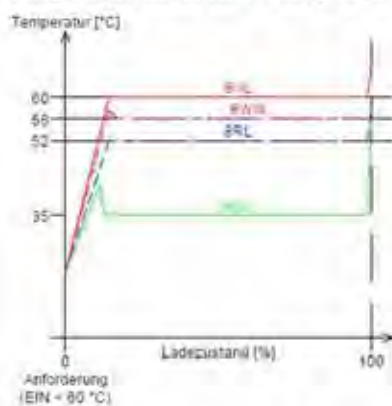
Die Abbildung 3 zeigt als Beispiel die Auslege-Empfehlung des BWW-Systems Schichtladung mit aussenliegendem Plattentauscher, sekundärem 3-Weg-Ventil und Wärme 40.

**Auslege-Empfehlung**

**Prinzipschema mit Regelkomponenten**

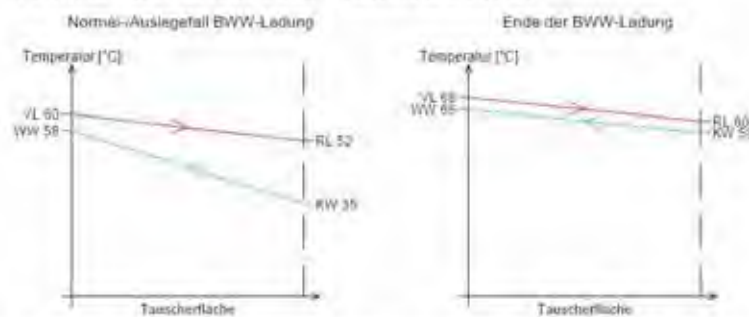


**Regelfunktion mit Temperaturverlauf und Ablaufbeschreibung**



1. Bedarfsanforderung an ewl, wenn EIN-Fühler unter 50 °C
2. Umwälzpumpe P2 startet und Ventil V1 in Bypass-Stellung bis  $\theta_{WW}$  58 °C erreicht
3. Wärmepumpe und Umwälzpumpe P1 startet
4. Ladung Warmwasser-Speicher beginnt, wenn  $\theta_{WW}$  58 °C erreicht
5. Ventil V1 schaltet auf Durchgang und reguliert  $\theta_{WW}$  auf 58 °C
6. Ende BWW-Ladung, sobald Fühler AUS-Fühler 58 °C erreicht
7. Wärmepumpe und Umwälzpumpe P1 schalten aus
8. Umwälzpumpe P2 schaltet aus und Ventil V1 schaltet auf Bypass

**Temperaturverläufe im Plattentauscher**



Im Normal-/Auslegefall reguliert das Ventil V1 die Warmwassertemperatur ( $\theta_{WW}$ ) auf 58 °C. Am Ende der Ladung steigt die Kaltwassertemperatur ( $\theta_{KW}$ ) kurzfristig, wenn der AUS-Fühler 58 °C erreicht hat. Dadurch steigt die Rücklauftemperatur ( $\theta_{RLewl}$ ) und Vorlauf ( $\theta_{VLewl}$ ) an.

Abb. 3: Auslege-Empfehlung Schichtladung mit aussenliegendem Plattentauscher, sekundärem 3-Weg-Ventil und Wärme 40





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_11  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Dynamisches Verhalten in Zirkulationskreisen und hydraulischer Abgleich

Studierende	Besnik Musa
Dozierende	Reto Von Euw Frank Gubser
Experte/-in	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: intern)
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Dynamisches Verhalten in Zirkulationskreisen und hydraulischer Abgleich

Die Warmwasserzirkulation spielt eine Wichtige Rolle in Bezug auf die Trinkwasserhygiene. Das Strömungsverhalten und die Temperaturen in den Zirkulationskreisen während gleichzeitigem Wasserbezug an den Entnahmestellen ist bis jetzt noch unklar. Ebenfalls ist noch nicht bekannt wie ein hydraulischer Abgleich des Zirkulation Systems ohne Berechnungsgrundlagen in bestehenden Bauten durchgeführt werden kann. Hat das Strömungsverhalten während gleichzeitigem Wasserbezug einen negativen Einfluss auf die Hygiene in den Leitungen? Und wie kann ein hydraulischer Abgleich in bestehenden Gebäuden erstellt werden?

Mit der Zunehmenden Wichtigkeit der Hygiene in den Trinkwasserleitungen und neuer Erkenntnisse in diesem Bereich, gewinnt die Warmwasserzirkulation immer mehr an Bedeutung. Deshalb ist es wichtig, dass die Temperaturen in den Warmwasserleitungen und den Zirkulationsleitungen gemäss den Normen und Richtlinien eingehalten werden und es in den Zirkulationsleitungen zu keiner Stagnation des Wassers kommt. Deshalb wurde das dynamische Verhalten in den Zirkulationskreisen untersucht.

## Laborversuche

Um das dynamische Verhalten in den Zirkulationskreisen zu untersuchen wurde im Labor ein Versuchstand aufgebaut, welcher ein Gebäude mit vier Stockwerken und einem Untergeschoss repräsentiert. In der Abb. 1 ist das Schema ersichtlich nach welchem der Versuch im Labor aufgebaut wurde. Aus den Labormessungen ging hervor, dass es in den Zirkulationsleitungen bei gleichzeitigem Wasser Bezug an den Entnahmestellen zu einer Strömung in die umgekehrte Richtung kommen kann. Es gibt insgesamt fünf Betriebsfälle welche eintreten können.

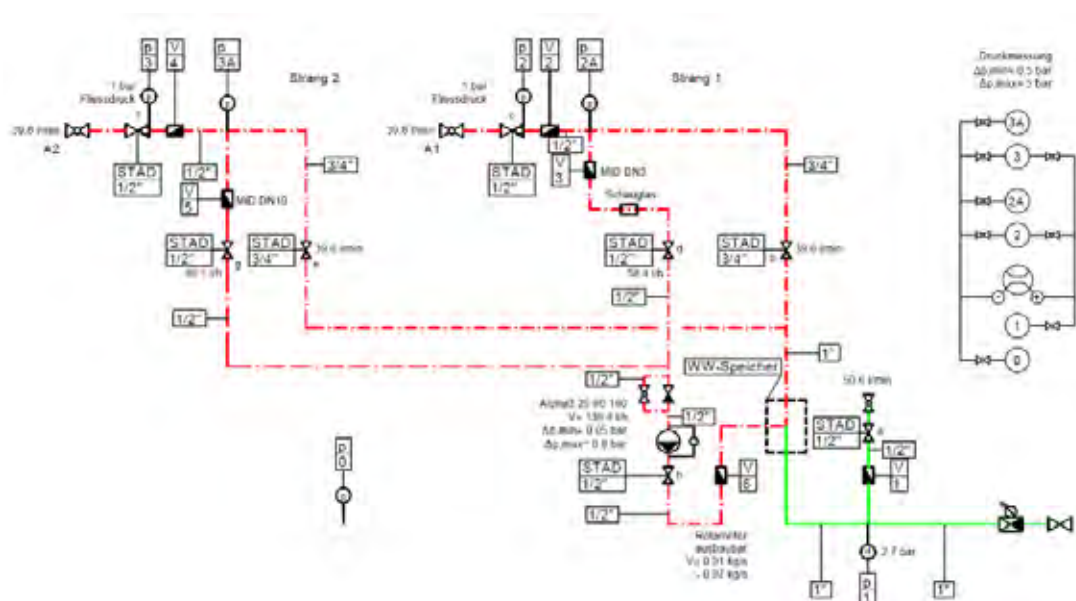


Abb. 1: Schema Versuchsaufbau

### Feldmessung

Um zu überprüfen ob sich die im Labor entstandenen Betriebszustände auch in einem realen Gebäude einstellen, wurde eine Feldmessung in einem Mehrfamilienhaus mit 20 Wohnungen durchgeführt. Die Messung wurde über eine Woche hinweg aufgezeichnet. Die am Stärksten aufgetretene Rückströmung ist in der Abb. 2 ersichtlich. Darin ist zu erkennen, dass der Volumenstrom des Zähler V5, welcher an einem Zirkulationsstrang angebracht ist und der Volumenstrom am Zähler V2, welcher an der Zirkulationsleitung vor dem Wassererwärmer angebracht ist, um die selbe Menge zurückgeht. Der Strang V5 erfährt dadurch eine Rückströmung von zirka 1.5 l/min über einen Zeitraum von zirka 15 Sekunden. Da die Rückströmung nur über einen kurzen Zeitraum auftrat und die Zirkulation sofort wieder korrekt funktionierte führt die Rückströmung zu keinen Problemen.

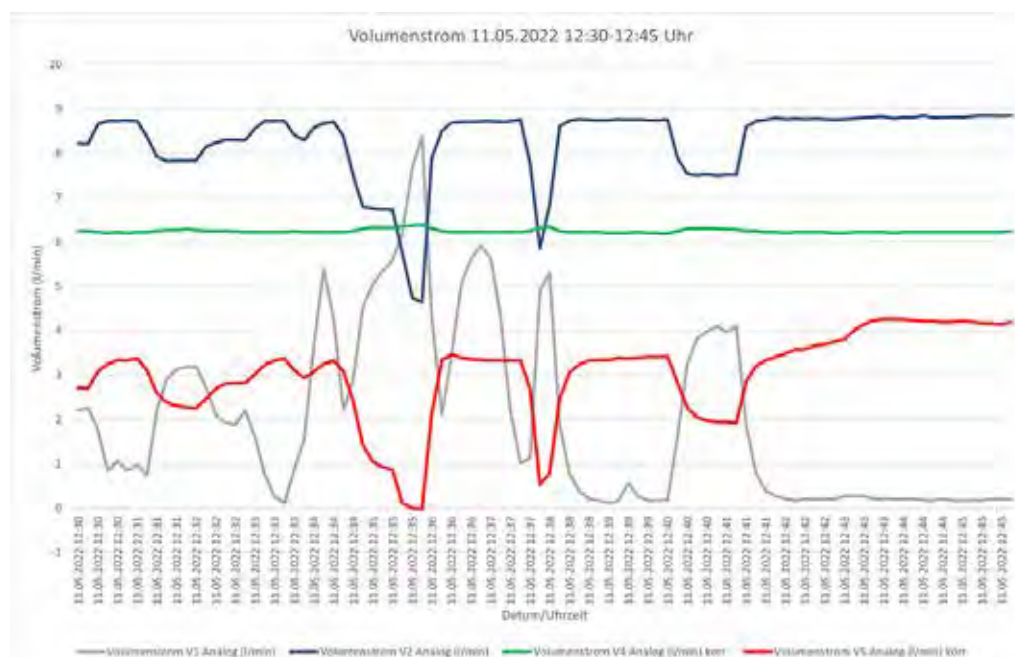


Abb. 2: Volumenstrom Feldmessung

Zum Zeitpunkt der Rückströmung stellten sich die Temperaturen gemäss der Abb. 3 ein. Die Farben in der Abb. 2 und in der Abb. 3 sind die zusammengehörigen Messstellen. In der Abb. 3 ist zu erkennen, dass die Temperaturen bei den Temperaturfühlern T1 und T3 einen Anstieg erfahren. Die Temperatur am Fühler T3 erfährt den anstieg, da bei der Rückströmung Wasser aus dem Strang mit dem Temperaturfühler T2 in den Strang fliesst. Die Temperatur dieses Stranges fällt höher aus. Der Fühler T1 erfährt den Anstieg, da kein kühleres Wasser aus dem Strang T3 beigemischt wird. An dem Verlauf ist ersichtlich, dass sich zu keinem Zeitpunkt die Temperatur in einem hygienisch kritischen Bereich befindet. Allerdings sind die beiden Zirkulationsstränge nicht miteinander Abgeglichen, da die Stränge unterschiedliche Temperaturen aufweisen. Somit kann der hydraulische Abgleich in bestehenden Gebäuden über die Temperaturen erstellt werden. Das Abgleichventil des Stranges mit dem Fühler T2 ist soweit zu schliessen, bis die Temperaturen T2 und T3 übereinstimmen. Somit erfahren die beiden Stränge den gleichen Druckverlust.

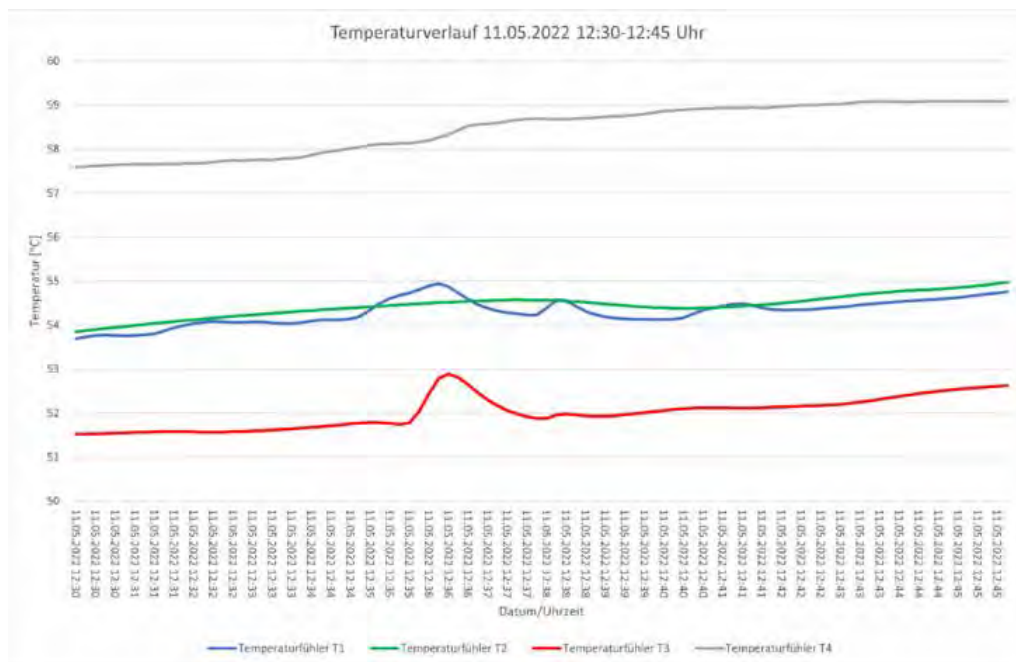


Abb. 3: Temperaturverlauf der Feldmessung

### Fazit

Aufgrund der Messergebnisse in der Feldmessung kann davon ausgegangen werden, dass die selten auftretenden Rückströmungen im Zirkulation System, zu keinen hygienischen Problemen führen, denn bei einer solchen Rückströmung wird wärmeres Wasser in die Zirkulation geströmt und diese vermindert das Risiko einer Keimbildung. Eine Stagnation des Wassers konnte ebenfalls nicht festgestellt werden. Somit wird die Zirkulationsleitung genügend durchspült um einen Austausch des Wassers zu gewährleisten.

Der hydraulische Abgleich des Zirkulation Systems kann effektiv und genau über die Temperaturen der Zirkulationsleitungen und mithilfe von statischen Abgleichventilen durchgeführt werden. Dabei sollen sämtliche Stränge dieselbe Temperatur aufweisen.







Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_12  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Anwendbarkeit bauklimatischer Prinzipien von Low-Tech-Gebäuden an bestehenden Bauten in warmen Klimaregionen der Schweiz

Studierende	Nicolas Niederberger Roman Hildbrand
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Dr. Heinrich Manz
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Institut Gebäudetechnik und Energie IGE)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Anwendbarkeit bauklimatischer Prinzipien von Low-Tech-Gebäuden an bestehenden Bauten in warmen Klimaregionen der Schweiz

**Im Zuge des Klimawandels verändert sich unser Lebensraum. In der Schweiz wird es tendenziell wärmer. Die Sommer werden trockener und die Zahl der Hitzetage steigen. Schneearme Winter gehören ebenfalls zu den Folgen. Die wärmeren Klimaregionen der Schweiz spüren diesen Wandel bereits. Folglich werden in der Zukunft Technologien interessant, welche sich hinsichtlich der Klimaveränderung robust verhalten.**

Diese Arbeit untersucht erprobte und neue Prinzipien von Low-Tech-Gebäuden an bestehenden Bauten in warmen Regionen der Schweiz. Die folgenden Fragestellungen sollen dabei beantwortet werden:

- Eignen sich bauklimatische Prinzipien und Massnahmen von Low-Tech-Gebäuden an bestehenden Bauten in warmen Regionen der Schweiz?
- Wie wirksam bleiben diese Prinzipien in zukünftigen Betrachtungsperioden und bei verschiedenen RCP-Szenarios?
- Welche Massnahmen und Kombinationen sind an bestehenden Bauten sinnvoll?

## Methodik

Mittels der Simulationsoberfläche Sefaira werden, für die zwei Gebäudetypen «Bürogebäude» und «Einfamilienhaus», der elektrische Gesamtenergiebedarf sowie der Heiz- und Kühlenergiebedarf ermittelt. Als Grundlage dienen die Klimadaten von Lugano, repräsentativ für die warmen Klimaregionen in der Schweiz. Betrachtet wird das aktuelle Klima und die Jahre 2050 sowie 2100. Es wird zwischen dem RCP-Klimaszenario 4.5 und 8.5 unterschieden.

In einem zweiten Schritt wird versucht, mittels der Kombination von ausgewählten Low-Tech-Massnahmen, den Energiebedarf zu senken. Die Kombination wird Massnahmenpyramide genannt (Abb. 1). Als Ausgangslage dienen die beiden benannten Gebäudetypen. Bei der ersten Stufe handelt es sich um «einfache und kostengünstige» Massnahmen, auf der zweiten Stufe werden «effiziente und anspruchsvolle» Massnahmen untersucht.



Abb. 1: Massnahmen-Pyramide

## Resultate Bürogebäude

Die Resultate aus den Simulationen zeigen, dass auf Grund der Massnahmenkombination, im Besonderen zwei Massnahmen, eine deutliche Reduktion des Gesamtenergiebedarfes erzielen. Im Planungsansatz «Einfach und Kostengünstig» ist das die Nachtauskühlung, welche eine Reduktion des Gesamtenergiebedarfes gegenüber dem Bestand von über 20 % erreicht. An zweiter Stelle liegt die Fassaden- und Dachdämmung aus dem Planungsansatz «Effizient und Anspruchsvoll» mit einer möglichen Reduktion von 10 %. Die Abb. 2 zeigt die Reduktion des EUI (Gesamtenergiebedarf),

wenn alle Massnahmen in Kombination auf den Bestand angewendet werden. Es ist gesamthaft eine Reduktion von über 40 % möglich.

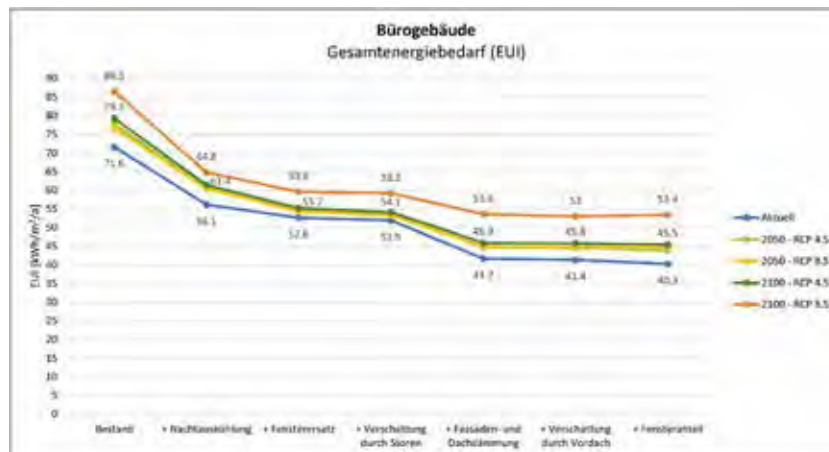


Abb. 2: Gesamtenergiebedarf Bürogebäude – Kombination der Massnahmen

### Resultate Einfamilienhaus

Beim EFH bietet die Fassaden- und Dachdämmung die grösste Wirksamkeit mit einer Reduktion des Gesamtenergiebedarfs von 25 %. An zweiter Stelle liegt der Fensterversatz mit einer Reduktion zwischen 10 % und 15 %, je nach RCP-Szenario. Wenn alle Massnahmen kombiniert werden, ist eine totale Reduktion des EUI gegenüber dem Bestand von über 50 % möglich (Abb. 3).

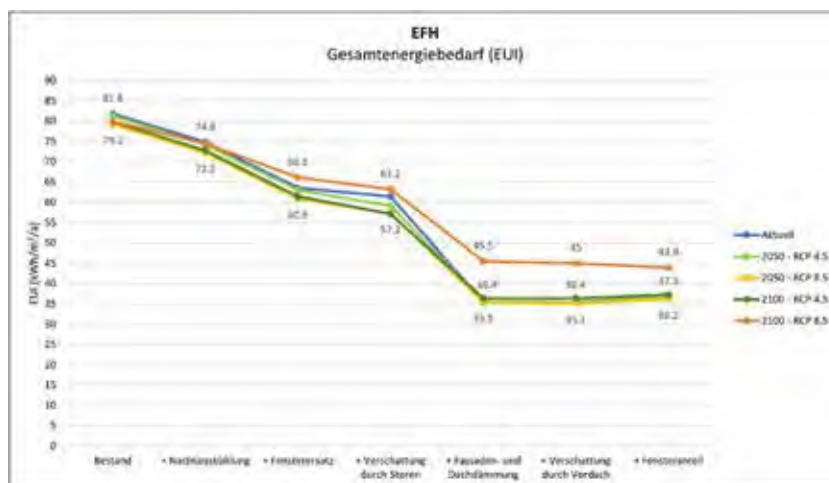


Abb. 3: Gesamtenergiebedarf EFH – Kombination der Massnahmen

### Wirksamkeit in der Zukunft

Die Simulationsergebnisse für das Jahr 2050 und 2100 basieren auf den Klimadaten für die RCP-Klimaszenarios 4.5 und 8.5. RCP 4.5 sieht eine schwache Emissionsminderung vor, während RCP 8.5 keine expliziten Massnahmen zum Klimaschutz beinhaltet. Bei beiden Szenarios steigt die Mitteltemperatur in Lugano an. Die Resultate aus der Simulation haben gezeigt, dass diese Veränderungen einen unmittelbaren Einfluss auf den Energiebedarf beider Gebäudetypen hat. Die wärmeren Temperaturen heben den Kühlenergiebedarf an, während der Heizenergiebedarf rückläufig ist. Im Allgemeinen ist auch eine Verbesserung der Massnahmen festzustellen, welche im Besonderen den Kühlenergiebedarf reduzieren oder beeinflussen. Diese Verbesserung der Wirksamkeit bleibt aber unter 10 %. Trotz allem fällt in den Wintermonaten in den warmen Klimaregionen der Schweiz ein Heizbedarf an. Dies ist in den zukünftigen Betrachtungsperioden und über beide RCP-Szenarios ersichtlich.

### Schlussfolgerung und Fazit

Durch die Analyse der Resultate konnten verschiedene Tendenzen und Aussagen festgestellt werden, was die Anwendbarkeit bauklimatischer Prinzipien von Low-Tech-Gebäuden an bestehenden Bauten in warmen Klimaregionen in der Schweiz betrifft. Folgende Aussagen fassen die Erkenntnisse zusammen:

*Da der Heizenergiebedarf in der Zukunft abnimmt und der Kühlenergiebedarf steigt, werden tendenziell Massnahmen interessant, welche den Kühlenergiebedarf reduzieren.*

*Bei der Anwendung von Low-Tech-Prinzipien an bestehenden Gebäuden ist es notwendig, die Gebäude nach ihren Nutzungen zu unterscheiden.*

EFH fallen hingegen nur geringe interne Lasten an. Trotz diesen Unterschieden haben sich beispielsweise die Fassaden- und Dachdämmung sowie der Fensterersatz bei beiden Gebäudetypen als besonders wirksam erwiesen.

*Eine sinnvolle Kombination von Low-Tech-Prinzipien ermöglicht eine hohe Reduktion des Gesamtenergiebedarfs.*

werden, welche eine hohe oder mittlere Wirksamkeit besitzen. Eine mögliche sinnvolle Kombination zeigen die Massnahmenpyramiden der Abb. 4.

Der Anstieg des Kühlenergiebedarfs in der Zukunft ist im Besonderen beim Bürogebäude sichtbar. Hierbei zeigt die Nachtauskühlung ein grosses Potential. Dieses Potential steigt bei allen Massnahmen, welche den Kühlenergiebedarf reduzieren, in der Zukunft an. Es zeigt sich aber auch, dass ein Heizenergiebedarf auch in der Zukunft in Lugano noch besteht. Besonders im EFH bleibt dieser ein wichtiger Faktor.

Die Massnahmen haben unterschiedlich grosse Auswirkungen auf den jeweiligen Gebäudetyp. Die Nutzung hat dabei einen entscheidenden Einfluss. Im Bürogebäude fallen hohe interne Lasten an, welche den Kühlenergiebedarf im Sommer ansteigen lassen und im Winter einen Teil des Heizenergiebedarfs decken. Im

Jede Massnahme für sich bewirkt eine Verbesserung des Gesamtenergiebedarfs. In Kombination kann der Energiebedarf effektiv gesenkt werden. Um ein angemessenes Verhältnis zwischen Aufwand und Nutzen zu haben, sollen nur Massnahmen kombiniert

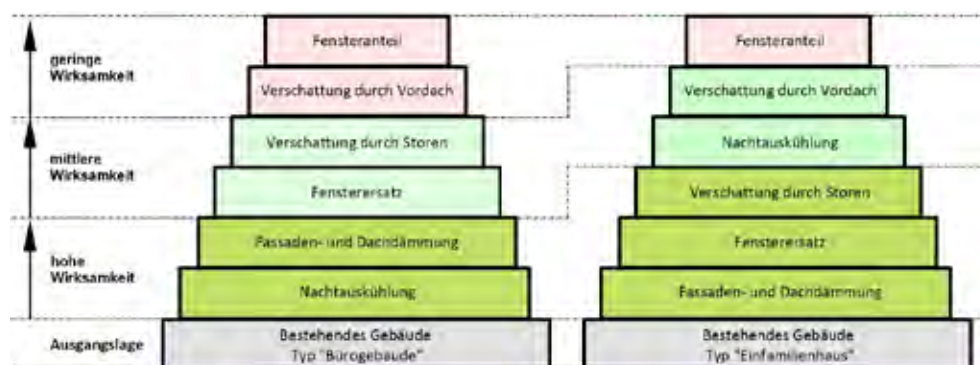


Abb. 4: Neue Massnahmenpyramiden für Bürogebäude und EFH

In den warmen Klimaregionen der Schweiz eignen sich Low-Tech-Prinzipien sehr gut, um den Gesamtenergiebedarf zu senken. Trotz den steigenden Temperaturen, unabhängig welche RCP-Szenarios eintreten, gibt es in der ganzen Schweiz noch einen Heizbedarf im Winter. Die Palette der möglichen Low-Tech-Prinzipien sollen deshalb nicht nur auf die Reduktion des Kühlenergiebedarfs begrenzt werden. Neue Low-Tech-Gebäude erlauben zwar schon jetzt, auf Heizungsanlagen zu verzichten. Der Energiebedarf von Altbauten kann jedoch zum jetzigen Zeitpunkt nur mit grossem Aufwand auf nahezu null gesenkt werden. Der durch die Low-Tech-Massnahmen reduzierte Energiebedarf ermöglicht aber, die Gebäudetechnik auf ein Minimum zu reduzieren.







Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_13  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Konzepte zur Optimierung der sommerlichen Behaglichkeit in Schulzimmern mittels natürlicher Fensterlüftung

Studierende	Lorenzo Zraggen
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Urs-Peter Menti
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Zurfluh Lottenbach, Hertensteinstrasse 44, CH-6004 Luzern)
Abgabedatum	11. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Konzepte zur Optimierung der sommerlichen Behaglichkeit in Schulzimmern mittels natürlicher Fensterlüftung

Das Klima in der Schweiz hat sich in den vergangenen Jahrzehnten spürbar verändert. In Ballungsräumen wird vermehrt ein städtischer Wärmeinseleffekt wahrgenommen, womit im Kanton Zug im Kontext eines pessimistischen Klimaszenarios RCP8.5 für die mittlere Lufttemperatur gegenüber der Normperiode eine Erhöhung von 2.6°C vorausgesagt wird. Über resiliente Konzepte einer sanften Sanierung der Schulanlage Kemmatten, Hünenberg, sollen die Veränderungen des oberflächennahen Klimas gedämpft werden können.

Dieser Fachartikel bietet einen Einblick in die Studienarbeit, womit in der Methodik von dynamischen Simulationsmodellen in Kohärenz der natürlichen Fensterlüftung die vorhandenen Problemstellungen der Übertemperaturgradstunden und den Raumluftqualitäten normativ geprüft wurden. Der Fokus dieser Bachelor-Thesis liegt in der Fragestellung, «welche nachhaltigen Massnahmen im Kontext eines pessimistischen Klimaszenario 8.5 für den Zeithorizont 2060 resultieren, damit nachweislich keine aktive Kühlung notwendig wird und gleichzeitig eine mittlere Raumluftqualität (RAL 2) angestrebt werden kann?»

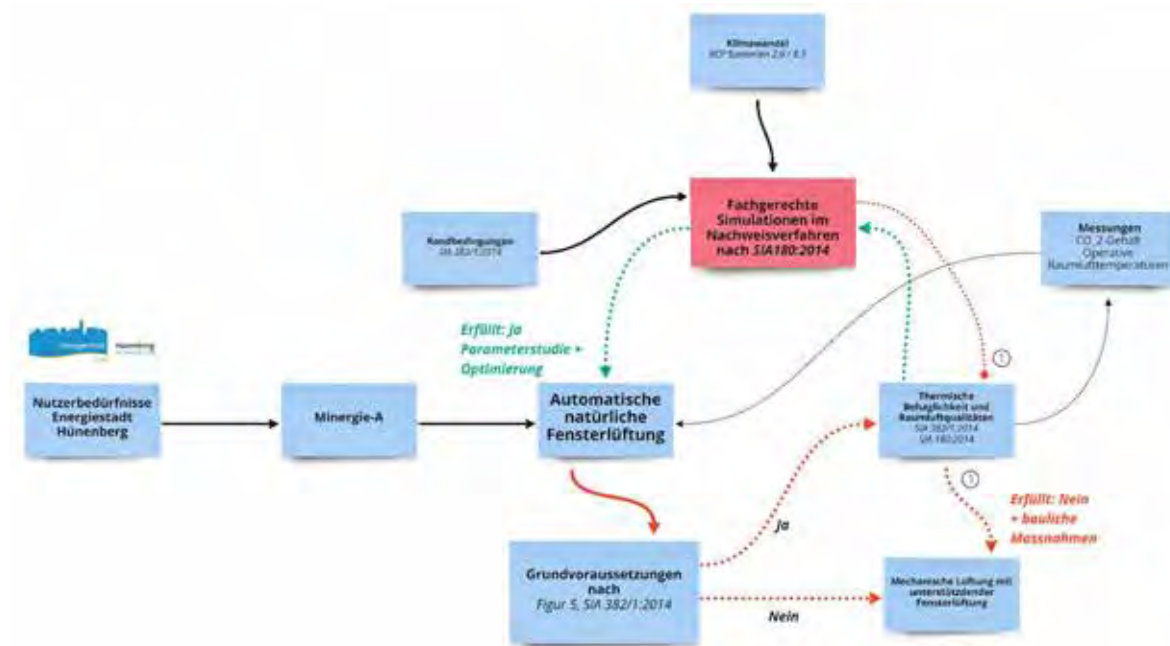


Abbildung 1: Normative Grundlagen einer natürlichen Fensterlüftung  
Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Miro Board (Luzern, 20. Mai 2022)

## Bedürfnisanalyse und Vorgehen

Die Definition der «empfundenen Überhitzungsproblematik» während den Nutzungszeiten wurde über Szenarien unterschiedlicher Standards experimentell untersucht. Gestützt auf Umfragen der Luzerner Volksschulen wurden konzeptionelle intuitive Fensterlüftungsstrategien und interne Wärmeinträge in den jeweiligen Standards der Szenarien für die Schulanlage Hünenberg berücksichtigt. In den Schlussfolgerungen aus den Umfragen könnte die interne Validität gefährdet sein, da lediglich

Lehrpersonen nach deren Behaglichkeitsempfinden in Schulhäusern ohne einer mechanischen Lüftungsanlage befragt wurden. Für die Parameterstudie wurde abstrahiert die Baseline mit einem mittleren Szenario berücksichtigt, womit ein Bemühen des Nutzers in der Umsetzung der manuellen Bedienung einer natürlichen Fensterlüftung und der des sommerlichen Wärmeschutzes gelten. Mit den Ergebnissen sollen nach der Ceteris-paribus-Klausel im nachfolgenden Verbesserungsprozess der Parametrierung nachhaltige Massnahmen präsentiert werden können. In der abschliessenden Optimierungsphase, werden die passiven Massnahmen im Kontext der SIA 2032 gegenüber zusätzlicher Technik als prioritär angesehen.

Der hygienisch bedingte Aussenluftvolumenstrom ist nachweislich der sensibelste Parameter in der Dämpfung der Übertemperaturgradstunden. Die Ermittlung des durch die freie Strömung induzierten Aussenluftvolumenstrom wurde eine unidirektionale schwerkraftinduzierte thermische Lüftung als fiktives Lüftungsgerät im IDA-ICE modelliert. In der Berechnung der freien effektiven Strömungsflächen wurde die Methodik nach van Paassen angewendet.



Abbildung 2: Systematik in der Massnahmenevaluierung  
 Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Miro Board (Luzern, 7. Juni 2022)

### Interpretation Ergebnisse Übertemperaturgradstunden Baseline

Bei der Einschätzung einer empfundenen Raumlufttemperatur sind die saisonalen Randbedingungen sowie der Standort wesentliche Faktoren. Eine Person hat im Sommer andere Erwartungen an die thermische Behaglichkeit als im Winter. Diesbezüglich müssen «Schock-momente», wie es beim Betreten eines Supermarkts in der Nähe von Kühlregalen im Sommer vorkommen kann, vermieden werden. Angesichts dieser Tatsache müssen die anfallenden Überhitzungsstunden während der Übergangszeit speziell analysiert werden. Im Schulzimmer Obergeschoss an der Südfassade kann genau diese Problematik über das in Abbildung 3 aufgezeigte Komfortdiagramm der SIA 180 erkannt werden, womit die obere Grenze bei einer aktiven Kühlung mit 277 Stunden überschritten wird.

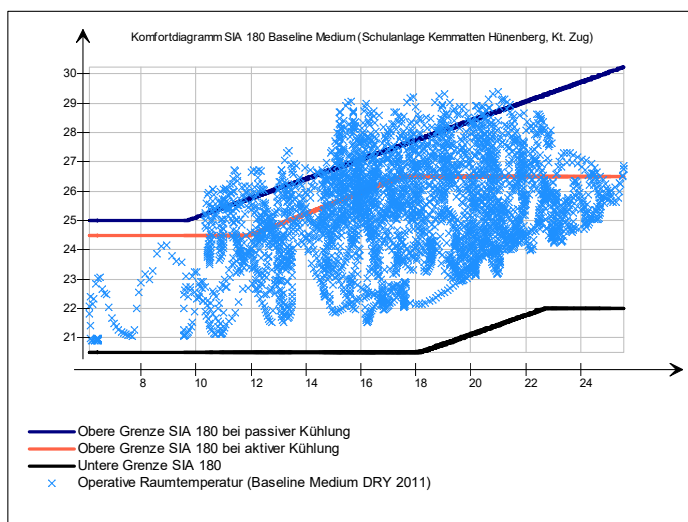


Abbildung 3: 277 Übertemperaturgradstunden (Design Referenzjahr 2011)  
 Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Software IDA-ICE (7. Juni 2022)

### Interpretation Ergebnisse Raumlufqualitäten Baseline

Neben der experimentellen Überprüfung der Überhitzungsproblematik wurde analytisch die Situation der Raumlufqualitäten in den Schulräumlichkeiten im Nachweisverfahren einer ganzjährigen Beobachtungsperiode untersucht. In der quantitativen Auswertung sollen nach Abschluss der Parametrierung profunde bedarfsgeführte Fensterlüftungsstrategien für die Regulierungskriterien des CO<sub>2</sub>-Gehalts und den operativen Raumluf-temperaturen resultieren.

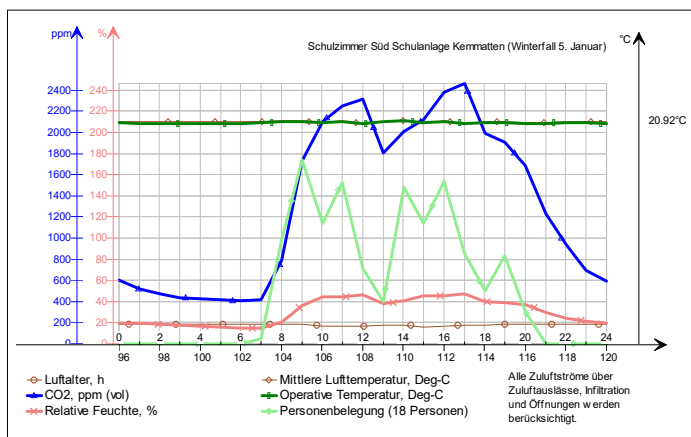


Abbildung 4: Raumlufqualitäten Winterfall Schulzimmer Obergeschoss, Südfassade (DRY 2011)

Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Software IDA-ICE (7. Juni 2022)

Im Ausblick auf die Klimaszenarien wird die Problematik eines Über- und Unterschwingens der Raumluftheuchten bedeutender und kann mit einer intuitiven manuellen Fensterlüftung nicht gelöst werden. Während den Nutzungszeiten dürfen normativ die vereinbarten Grenzwerte der Raumluftheuchten maximal saisonal 10 Prozent über- und unterschritten werden. Eine mittlere Raumluftheuchte (*RAL 2*) kann mit der manuellen natürlichen Fensterlüftung im Kontext eines mittleren Szenarios nicht gewährt werden, womit Spitzenwerte um 17 Uhr von 2500 ppm festgehalten wurden. Zur Einhaltung eines maximalen Sollwerts von 1200 ppm muss die Lüftungsdauer diesbezüglich angehoben werden. Die Zunahme des Heizwärmebedarfs, welche während des erhöhten Intervalls der Fensteröffnungszeiten im Winter anfällt, muss in der Machbarkeitsanalyse für das Konzept einer manuellen Fensterlüftung Berücksichtigung erhalten. Die in der Abbildung 4 operative Raumluftheuchte wird durch das ideale Heizelement während der Lüftungsdauer konstant auf ~ 21°C gehalten.

### Interpretation Ergebnisse Parameter-Study

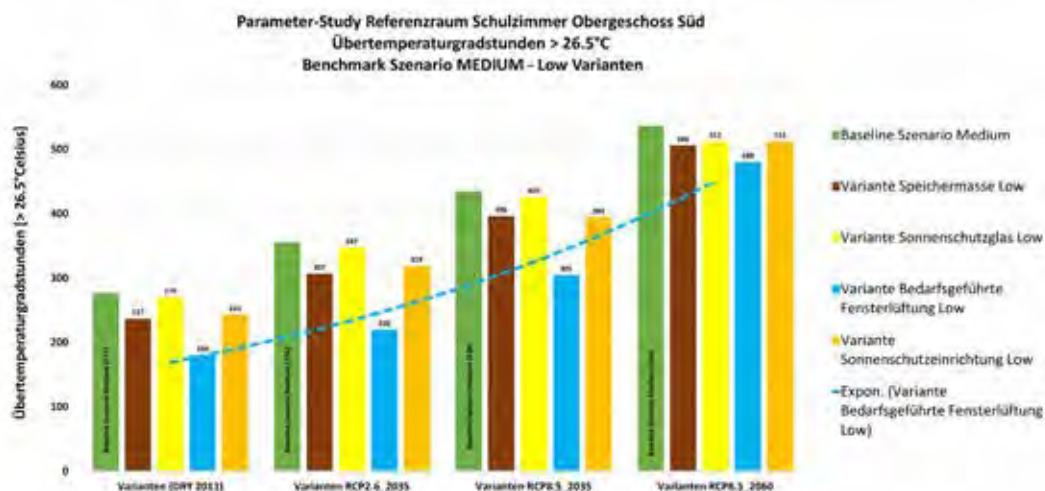


Abbildung 5: Übersicht der verschiedenen Parameter in Anwendung der Ceteris-paribus-Klausel

Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Excel (Luzern, 13. Mai 2022)

Mit den normativen Vorgaben einer Minergie-A Zertifizierung muss die Aussenluftversorgung im Konzept einer natürlichen Fensterlüftung automatisiert werden. Dabei wurden unterschiedliche Standards der bedarfsgeführten Fensterlüftung modelliert, welche sich in der Anzahl der analog angesteuerten Fensterflügel unterscheiden. Neben einer automatischen Fensterlüftung wurde die aktive Massnahme einer automatisierten Sonnenschutzvorrichtung und die beiden passiven Massnahmen in der Vergrösserung der Speichermasse unter Berücksichtigung eines Sonnenschutzglases untersucht.

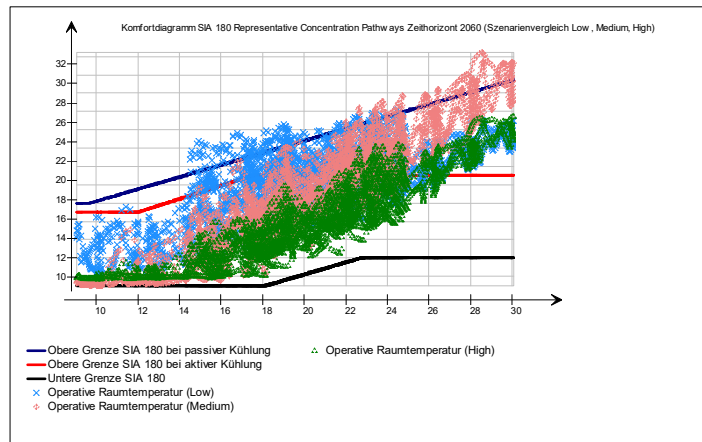


Abbildung 6: Szenarienvergleich Parameter-Study

Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Software IDA-ICE (Luzern, 7. Juni 2022)

Mit der Möglichkeit, die Fenster bedarfsgeführt analog anzusteuern, wurde im Kontext der Behaglichkeit ein grosser Mehrwert geschaffen, womit die Überhitzungsstunden in der Beobachtungsperiode und den saisonalen Übergangszeiten signifikant zurückgegangen sind. Mit einer passiven Nachtauskühlung konnten die externen und internen Wärmeeinträge in der Frequenz der mittleren Raumlufttemperaturen gedämpft und in die Abendstunden verschoben werden. In Berücksichtigung des bestmöglichen Szenarios resultieren in einem pessimistischen repräsentativen Konzentrationspfade 8.5 im mittleren Jahrhundert 2060 explizit 100 Übertemperaturgradstunden (vgl. Abbildung 6, Szenario High, green).

Mit der bedarfsgeführten unidirektionalen Fensterlüftung wurde über die quantitativen Auswertungen der Simulationen eine deutliche Verbesserung des CO<sub>2</sub>-Gehalts erkannt. Zur normativen Einhaltung eines Sollwertes von 1200 ppm, in Berücksichtigung eines RCP 8.5 für das Jahr 2060 bei einem Ausgangswert der Aussenluftkonzentration von 700 ppm, müssen alle vier vorhandenen Fensterflügel analog angesteuert werden.

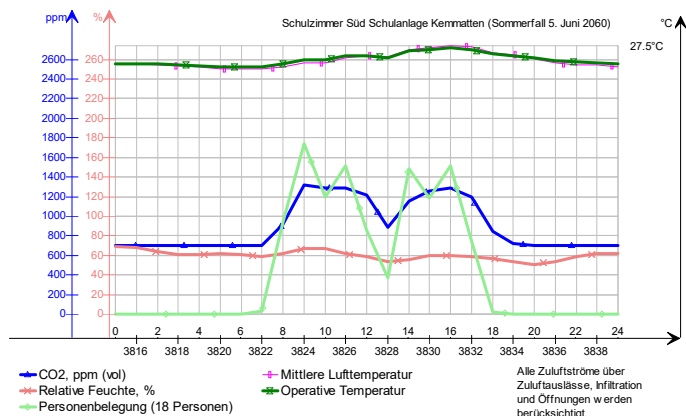


Abbildung 7: Raumluftqualitäten, 5. Juni 2060 bei einem RCP 8.5

Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Software IDA-ICE (Luzern, 29. Mai 2022)

Die relative Raumluftfeuchte kann aktuell und im Ausblick auf die Klimaszenarien mit einem Zeithorizont 2060 normativ nicht eingehalten werden. Die saisonalen Grenzwerte, welche in der Nutzungsvereinbarung mit der Gemeinde Hünenberg definiert wurden, werden jährlich mehr als 10 Prozent überschritten.

### Optimierung und Empfehlung

Das Ziel der Optimierung ist folglich die Anpassung in den vorhandenen technischen Einrichtungen der Szenarien. Mit einem bestmöglichen Standard über alle Parameter wurden explizit 100 Übertemperaturgradstunden im Jahr 2060 extrapoliert. In einem iterativen Prozess wurden über die Simulationen Optimierungen in der Regulierung der aktiven Massnahmen vorgenommen (vgl. Abbildung 8).

Im Nachweis der Raumluftqualitäten wurde die Erkenntnis gewonnen, dass alle vier Fensterflügel für den hygienisch notwendigen Luftwechsel angesteuert werden sollten. In diesem Grundsatzentscheid werden die Raumluftqualitäten nach dem Kriterium des CO<sub>2</sub>-Gehalts eingehalten. Er bildet folglich das stationäre Glied der zielführenden Empfehlung.

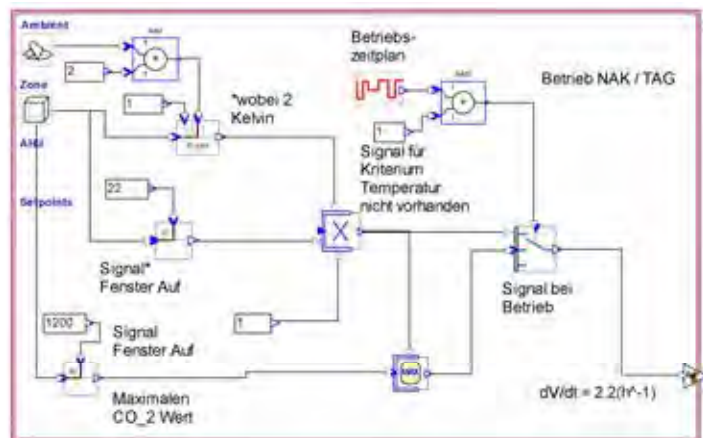


Abbildung 8: Optimierung der Fensterlüftungsregelung

Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Software IDA-ICE  
(Luzern, 3. Juni 2022)

Der Schule Hünenberg wird empfohlen, die spezifischen Personenflächen in den Referenzräumen auf  $4\text{m}^2 \cdot \text{Person}^{-1}$  zu beschränken. Angesichts der vorhandenen freien Strömungsflächen und den Wärme- und Feuchteinträgen durch die Personen wird der Schule Kemmatten empfohlen, die Belegdichte im Schulzimmer Obergeschoss Süd auf 18 Personen zu beschränken. Die Bestuhlung resp. Aufenthaltsbereiche der Schüler sollten gemäss der *SIA 180, Kapitel 2 Thermische Behaglichkeit* eingehalten werden. Zum normativen und nachweislich hygienisch bedingten Aussenluftvolumenstrom muss eine minimale freie Strömungsfläche der analog angesteuerten Kippfenster von 1.84 m<sup>2</sup> für den Referenzraum im Obergeschoss vorhanden sein. Für die Massnahme des sommerlichen Wärmeschutzes muss für die zwei der drei gegen Süden ausgerichteten Fenster eine automatisierte Sonnenschutzvorrichtung vorgesehen werden. Ab einer erfassten spezifischen Sonnenstrahlung an der Fensterfläche von 150 W/m<sup>2</sup> wird diese aktiviert.

Mit Bezug zum Parameter der Speichermasse wird eine Einschubdecke im Obergeschoss mit einer Beplankung von 250 mm Massivlehm vorgesehen. Mit der Massnahme der Dacherneuerung, werden die jeweiligen Dachsparren zwischen den Auflageflächen versorgt. Dabei wird die vollflächige Auflageebene mit Lehmsteine (Grünlinge) und schweren Schüttungen beplankt, womit die Gebäudezeitkonstante resp. die Wärmespeichermasse vergrössert wird. In Abbildung 9 ist die abschliessende konzeptionelle Empfehlung bildlich dargestellt, womit im mittleren Jahrhundert 2060 bei einem pessimistischen Klimaszenario 107 Übertemperaturgradstunden resultieren.

### Projekttempfhlung Schulanlage Kemmatten, Hüenberg

Szenario OPTIMUM Schulzimmer Obergeschoss Süd

Representative Concentration Pathway 8.5 Jahr 2060 (107 Stunden  $\geq 26.5^{\circ}\text{C}$ )

[7 x \$]

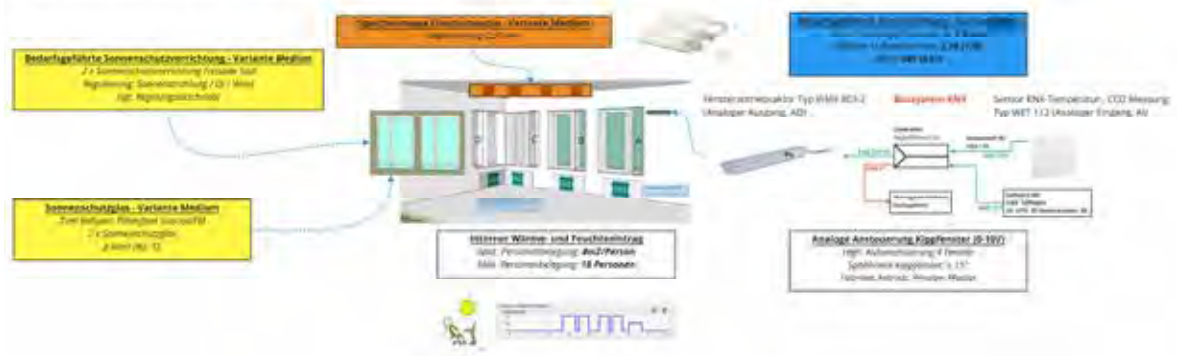


Abbildung 9: Finale konzeptionelle Empfehlung für den Referenzraum Schulzimmer Obergeschoss Süd

Quelle: Lorenzo Zraggen, Export Miro Board (Luzern, 7. Juni 2022)





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_14  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Optimierungsvarianten dezentraler Energieerzeugungs- und Energiespeicheranlagen

Studierende	Leander Brügger Noah Lichtsteiner
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Nicola Evangelisti, Lukas Studer, A+W Bern AG, 3014 Bern)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Optimierungsvarianten dezentraler Energieerzeugungs- und Energiespeicheranlagen

**Mit der Energiestrategie 2050 verfügt der Bund über einen Fahrplan zum schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie, dem Ausbau der erneuerbaren Energieerzeugung und der Energieeffizienz. Ziel muss es sein, möglichst viele Infrastruktur- und Gebäudeflächen mit Photovoltaikanlagen zu bestücken. Dadurch kann der immer grosser werdende Energiebedarf in der Schweiz gedeckt und eine gewisse Unabhängigkeit vom Ausland erreicht werden.**

Während in der Vergangenheit der Planungsaufwand für PV-Neuanlagen verringert werden konnte, werden dezentrale Energieerzeugungs- und Speicheranlagen kaum verlässlich auf ihre technische und wirtschaftliche Eignung geprüft. Im Rahmen dieser Arbeit sollen die Einflussgrössen, die den Einsatz der verschiedenen Technologien, wie Speichersysteme oder Elektroladestationen beeinflussen, bestimmt und auf ihre Relevanz überprüft werden.

## Ausgangslage

Das Solarstrompotential in der Schweiz ist enorm und doch wird es heutzutage noch kaum ausgeschöpft. Zudem wird der Energiebedarf durch die Elektrifizierung von Heizungen und Verkehr in Zukunft weiter zunehmen. Dafür sind die verfügbaren Technologien, wie die PV-Analge, optimal einzusetzen und bei Bedarf mit anderen Eigenverbrauchsoptimierungen zu kombinieren. Dies ist jedoch nicht immer wirtschaftlich. Zukünftige Entwicklungen auf dem Strommarkt oder Änderungen bei den Komponentenpreise können dabei eine entscheidende Rolle einnehmen.

## Technologien

In der heutigen Zeit sind Photovoltaikanlagen als Energieerzeuger in Gebäuden nicht mehr wegzudenken. Kombiniert mit einem Speichersystem kann die produzierte Energie gespeichert und bei Versorgungslücken wieder genutzt werden. Zudem können die Systeme durch einen Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) oder die Einbindung der E-Mobilität ergänzt werden. Auf dem Markt sind viele verschiedenen Modultypen für PV-Anlagen vorhanden die stetig weiterentwickelt werden. Die dominierende Technik auf dem Markt sind hierbei die kristallinen Solarzellen. Heute werden vor allem PV-Module aus monokristallinen Zellen eingesetzt. Diese weisen im Vergleich zu den zuvor meistverwendeten Zellen, den polykristallinen, mit rund 22% einen höheren Wirkungsgrad auf.

## Einflussgrössen

Der Einsatz von dezentralen Energieerzeugungs- und Speicheranlagen wird von vielen verschiedenen Parametern beeinflusst. Diese können grob in folgende drei Kategorien unterteilt werden:

- Standort
- Gebäude
- Technologie

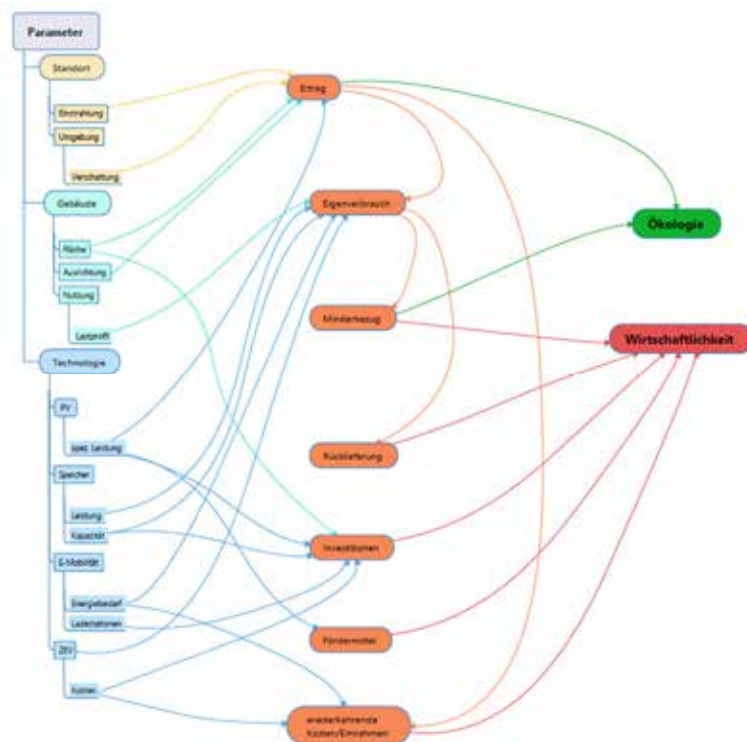
**BAT\_G\_22\_14 Optimierungsvarianten dezentraler Energieerzeugungs- und Energiespeichereinrichtungen**

Abb. 1: Einflussgrößen

Dabei sind für die Photovoltaikanlagen vor allem Umgebungsbedingungen wie die Einstrahlung und Verschattung sowie die Wahl der richtigen Technologie relevant. Dabei kann beispielsweise mithilfe von Dachbegrünungen den Ertragsverlusten durch eine hohen Modultemperatur entgegengewirkt werden. Zudem bietet diese nützliche Biodiversitätsflächen und punktet so auch in ökologischer Hinsicht. Anhand des Flächenfaktors konnte herausgefunden werden, dass die Orientierung der Module eine wichtigere Rolle als deren Neigungswinkel einnimmt. Ein nach Osten ausgerichtetes Dach-Modul wird, bei gleichen Einstrahlungsbedingungen, nie den gleichen Ertrag wie ein nach Süden ausgerichtetes Modul erzielen. Aus ökologischer Sicht sollte immer das maximale Solarstrompotential ausgeschöpft werden. Denn normalerweise amortisieren sich PV-Anlagen über ihre Lebensdauer und können oft grosse Gewinne erzielen. Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung ist die Photovoltaikanlage auf das Lastprofil des Gebäudes und somit auf einen maximalen Eigenverbrauch auszurichten. Durch die grossen Unterschiede zwischen Netzbezug- und Rücklieferertarifen, nimmt der Minderbezug an elektrischer Energie beim EVU einen grossen Stellenwert der Amortisierung ein. Sind die Energieproduktion und der Energieverbrauch zeitlich so versetzt, dass nur ein kleiner Eigenverbrauchsanteil erzielt werden kann, so können beispielweise Batteriespeicher oder Elektro-Ladestationen zur Eigenverbrauchsoptimierung eingesetzt werden. Technisch ist der Einsatz von Ladestationen immer möglich. Durch die stetige Weiterentwicklung der Automobilbranche werden bidirektionale Elektrofahrzeuge vermutlich in naher Zukunft Batteriespeicher obsolet machen. Zudem sind die Preise für Speichertechnologien heutzutage noch viel zu hoch und beeinflussen dadurch den gesamten Amortisierungsprozess. Abschliessend gilt es festzuhalten, dass sich zukünftige Entwicklungen, wie die Erhöhung der Strombezugspreise, positiv auf den Einsatz von Photovoltaikanlagen und deren Optimierungsvarianten auswirken.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_16  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Validierung der Schallintensitäts-Methode zur Bestimmung von Schalleistungen an Lüftungskomponenten

Studierende	Jonathan Bächtold
Dozierende	Heinrich Huber Andreas Odermatt
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Validierung der Schallintensitäts-Methode zur Bestimmung von Schalleistungen an Lüftungskomponenten

**Die Bestimmung des Schalleistungspegels von Geräten und Komponenten mit dem Hallraum-Verfahren ist gut definiert und wird auch an der HSLU im Forschungs- und Dienstleistungsbereich seit vielen Jahren angewendet. Die Nachteile dieses Verfahrens sind, dass speziell für Lüftungskomponenten und Geräte oft ein aufwändiger Prüfaufbau erforderlich ist und dass bei tiefen Schallpegeln wegen den externen Störgeräuschen nachts gemessen werden muss. Daher besteht grosses Interesse, für die Bestimmung des Schalleistungspegels den ebenfalls vorhandenen Reflexionsarmen-Raum zu nutzen. Dafür eignet sich die Schallintensitätsmethode, bei dem die Nachteile des Hallraum-Verfahrens nicht oder nur in geringem Mass vorkommen. Weiter lassen sich mit dieser Methode z. B. gute Aussagen zur Richtungs-Charakteristik und lokalen Störquellen (z. B. Schallbrücken in Gehäusen) machen.**

Um von den akustischen Umgebungsbedingungen weitestgehend unabhängig zu sein, kann zur Ermittlung des abgestrahlten Schalleistungspegels die Messung der Schallintensität verwendet werden. Bei diesem Messverfahren wird die Schallquellenintensität direkt gemessen, das bedeutet die Schalleistung wird mit der Messsonde durch Überstreichen oder das sogenannte Abtasten (Scanning) um die gelegte Hüllfläche der Schallquelle direkt bestimmt. Eine weitere Möglichkeit für die Durchführung dieses Messverfahrens besteht ähnlich wie bei der Hüllflächenmethode durch Messung an einer Vielzahl von Messpunkten auf der Hüllfläche («fixed Point», resp. diskreten Punkten).

## Schalleistungsmessungen mit dem Intensitätsverfahren

Ein erheblicher Vorteil der Intensitäts-Messung gegenüber den anderen Messverfahren besteht darin, dass kein besonderer Messraum nötig ist. In der Praxis können nicht alle technischen Schallquellen demontiert und in einem Messraum wieder aufgestellt werden, das ist manchmal entweder unmöglich oder wäre viel zu aufwendig, selbst wenn ein solcher Raum vorhanden ist. Ein weiterer Aspekt für die Intensitätsmesstechnik ist nicht nur die zur vom Messraum weitgehend unabhängigen Bestimmung der Leistung, sondern auch die Möglichkeit zur Erstellung von örtlich kartographierten Schallintensitäts-Karten. Damit lassen sich zum Beispiel Rückschlüsse auf die Lage der akustischen Teilquellen und ihrer Beteiligung an der Gesamtleistung ziehen.

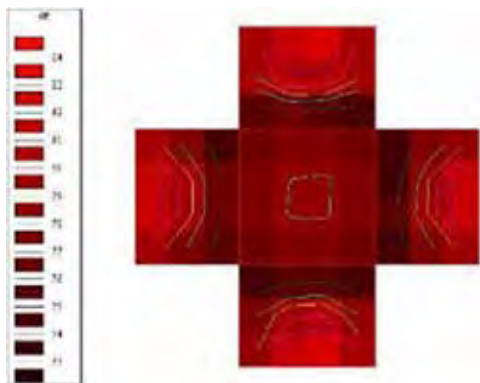


Abb. 1: Schallintensitäts-Karte



Abb. 2: Referenzschallquelle

## Validierung der Schallintensitäts-Methode zur Bestimmung von Schalleistungen an Lüftungskomponenten

### Validierung der Messung an der Referenzschallquelle

Bei den ersten Messungen galt es mit der Schallintensitäts-Methode, so nah wie möglich an die Messresultate der Referenzschallquelle zu kommen. Dabei wurden beide Varianten getestet und die Messdauer gestoppt.

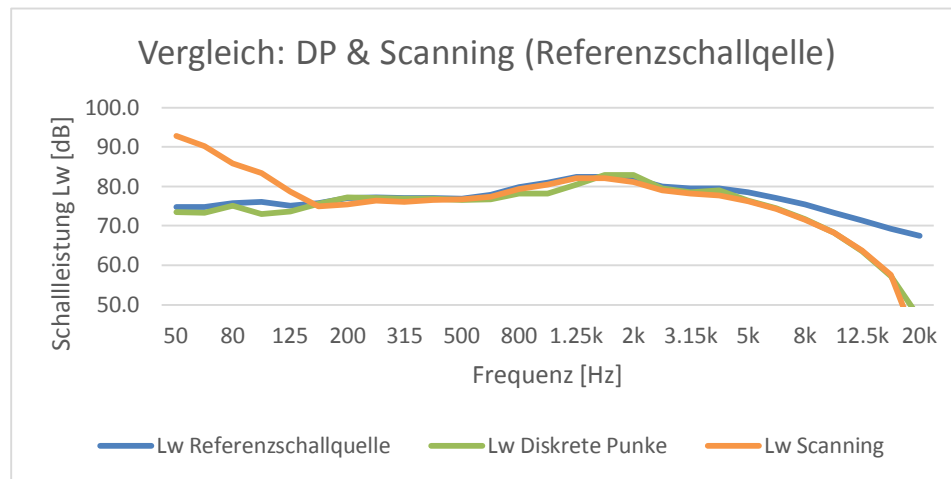


Abb. 3: Diagramm Messvergleiche Referenzschallquelle

Das nachfolgende Diagramm zeigt die beiden Messresultate im Vergleich zu den Messdaten des Kalibrierungsdokument. Die Messergebnisse sind vor allem im Bereich zwischen 125 Hz und 5k Hz sehr genau und weichen von den effektiven Schalleistungen der Referenzschallquelle nur gering ab. Beide Messungen zeigen, dass bei hohen Frequenzen, ab einer Frequenz von zirka 5k Hz, die Messung der Schalleistungen von den effektiven Werten abweichen. Bei den tieferen Frequenzen, ab einer Frequenz von zirka 125 Hz, schneidet die Methode mit den diskreten Punkten gut ab und weicht nur minim von der effektiven Schalleistungen ab. Die Scanning-Methode driftet sehr stark von den erwarteten Werten ab.

Tab. 1: Wertevergleiche Messung Referenzschallquelle

	Schallleistung [dB(A)]	Messdauer [min]
Referenzschallquelle	91.7	-
Diskrete Punkte	90.9	90
Scanning	90.7	45

Auf der Tabelle ist gut zusehen, dass die Gesamtschalleistungen sehr nahe an der Realität liegen. Dabei ist die Methode mit den Diskreten Punkten ein bisschen genauer. Für diese Genauigkeit brauchte man für die gesamte Messdauer aber doppelt so lange, wie mit der Scanning-Methode

### Vergleich Schallintensitätsmethode zu Hüllflächenverfahren

Die HSLU Horw hat den Auftrag von der Firma Wesco erhalten, die Schalldurchlässigkeit eines Lüftungsventils zu messen. Dies wurde mit dem Hüllflächenverfahren durchgeführt. In dieser Messung galt es die Genauigkeit der Schallintensitäts-Methode in der Praxis zu testen.

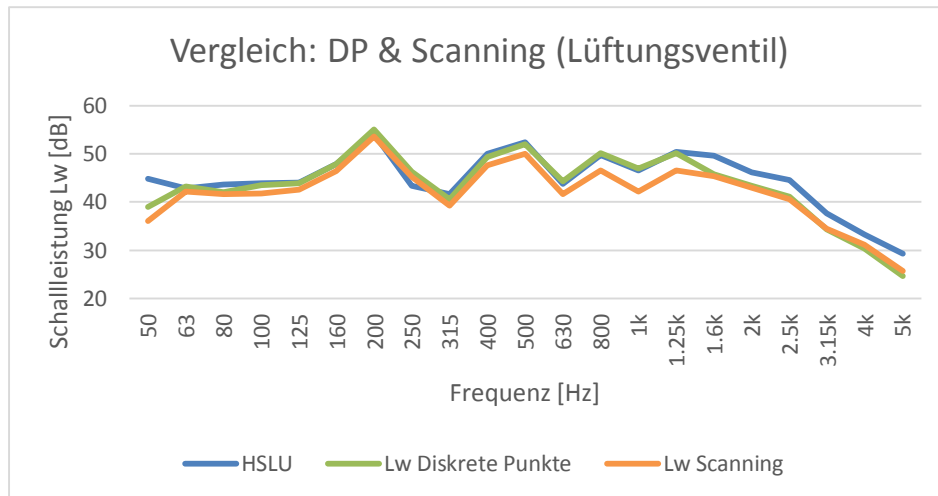
**Validierung der Schallintensitäts-Methode zur Bestimmung von Schalleistungen an Lüftungskomponenten**

Abb. 4: Diagramm Messvergleiche Lüftungsventil

Das obere Diagramm zeigt den Vergleich. Bei den tieferen Frequenzen stimmen die Messungen beinahe mit dem Vergleichswert überein. Ab einer Frequenz von 400 Hz driftet die Scanning Methode ein bisschen ab, wobei die Methode mit den Diskreten Punkten bis zu einer Frequenz von 1.25k Hz sehr gut mithalten kann.

Tab. 2: Wertevergleiche der Messungen Lüftungsventil

	Messdauer	Vorbereitung	Schallpegel 5mm [dB(A)]	Schallpegel 15mm [dB(A)]
Hüllflächen-	30 s	1-2 h	-	-
Diskrete Punkte	15 min	30 min	57.1	59.9
Scanning	5 min	30 min	54.8	57.8

Die obere Tabelle gibt die jeweiligen Stärken der Messmethoden wieder. Das Hüllflächenverfahren braucht für die Messung kaum Zeit. Die 5 Mikrofone konnten alle zeitgleich messen und somit Zeit sparen. Die längste Messdauer hatte man mit den Diskreten Punkte, weil die meiste Zeit beim Einrichten der neuen Mikrofonpositionen verloren ging. Die Stärken dieser Methode, ist die geringe Vorbereitungszeit und es braucht auch keine aufwendigen Konstruktionen, sondern kann mit dem Messgerät in der Hand erledigt werden.

**Fazit**

Der grosse Vorteil dieser Messmethode ergibt sich in der geringen Vorbereitungszeit für die Messungen. Es braucht bei kleinen bis mittelgrosse Messungen kaum Vorbereitungsarbeiten. Mit dem Scanning-Verfahren kann dies noch mit einer schnellen Messgeschwindigkeit kombiniert werden. Der Nachteil zeigt sich in den Messungen ausserhalb des optimalen Frequenzbereichs. Ebenso eignet sich diese Messung nicht für grosse Schallmessung, da die Vorbereitungsarbeiten hoch ausfallen und die Messdauer ebenfalls hoch ist.

Trotz genaueren Messungen mit den Diskreten Punkten empfiehlt es sich die Scanning-Variante zu verfolgen. Das Scanning ist deutlich schneller als die Messung mit den Diskreten Punkten. Ebenfalls können grössere Messsegmente erstellt werden, da beim Scanning die gesamte Fläche abgescannt wird und somit auch die weiteren entfernten Ecken miteinbezogen werden. Mit den grösseren Messsegmenten verringert sich auch der Aufwand der Vorbereitungsarbeiten.







Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_17  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Weiterentwicklung der Sicherheitsstrom- versorgung eines Schweizer Spitals

Studierende	Dominik Lehmann Simon Bühlmann
Dozierende	Prof. Volker Wouters Prof. Dr. Olivier Steiger
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Weiterentwicklung der Sicherheitsstromversorgung eines Schweizer Spitals

**Die sichere Versorgung mit Elektrizität ist in kritischen Infrastrukturen wie einem Spital essenziell. Ein Schweizer Spital nimmt sein bauliches Wachstum der kommenden Jahre deshalb zum Anlass, um eine zukunftsorientierte Weiterentwicklung der Sicherheitsstromversorgung zu prüfen. Mit dem Einsatz einer leistungsstarken dynamischen USV-Anlage (Flywheel) auf Mittelspannungsebene könnte das Spital eine 100-prozentige USV-Versorgung erreichen und diesbezüglich in der Schweizer Spitalbranche neue Massstäbe setzen.**

## Systemaufbau

Das Spital wird durch das Energieversorgungsunternehmen auf der Netzebene fünf redundant erschlossen. Die EVU-Einspeisungen führen auf einen 10 kV Mittelspannungsring, von welchem die Arealverteilung erfolgt. Die verschiedenen Gebäude sind über zwei redundant geführte Transformatoren auf der Netzebene 6 mit dem Mittelspannungsring verbunden. Auf der Netzebene 7 erfolgt die Versorgung über zwei redundante Grobverteilungen, welche die entsprechenden Hauptverteilungen und deren Unterverteilungen speisen. Auf dieser Ebene sind auch die dezentralen, batteriegestützten USV-Anlagen verortet, welche die Autonomiezeiten für die medizinisch genutzten Räume sicherstellen. Die NEA setzt sich aus drei parallelen Dieseldieseln zusammen. Jeder Generator ist über einen eigenen Transformator an den Mittelspannungsring angeschlossen. Die Generatoren weisen je eine Leistung von 2'000 kVA mit einem  $\cos \phi$  von 0.8 auf. Dies ergibt eine maximale Leistung von 4'800 kW. Der maximale Leistungsbedarf wird auf 3.4 MVA (bei  $\cos \phi$  0.9) geschätzt, womit die NEA das Netz zu 100 % stützen kann. Dabei ist die NEA nach dem Prinzip N+1 ausgeführt, wobei der dritte Generator als Ausfallsicherung dient.

## Methodik

Um eine qualitative Weiterentwicklung der SSV zu ermöglichen, wurden zu Beginn die Bedürfnisse der Nutzer, Betreiber und Verantwortlichen der SSV-Anlage des Spitals in einem Workshop erörtert und gewichtet. Diese Bedürfnisse bildeten im weiteren Verlauf die Richtschnur für die Suche, Bewertung und Empfehlung der SSV-Technologien. In einem zweiten Schritt wurden verschiedene Technologien, die sich als SSV eignen, recherchiert und mit ihren Vor- und Nachteilen dargelegt. Zudem wurde das bestehende Arealnetz untersucht, um Ansatzpunkte für die Integration der verschiedenen SSV-Technologien zu identifizieren. In einer weiteren Phase wurden die gefundenen Technologien mit den Einbindungsmöglichkeiten zu sinnvollen Lösungsvarianten kombiniert. Die erarbeiteten Varianten wurden im Anschluss mithilfe einer Nutzwertanalyse bewertet und in einem zweiten Workshop den Vertretern des Spitals präsentiert. Im zweiten Workshop wurde von den Vertretern des Spitals eine Lösungsvariante ausgewählt, die in der Folge im Detail ausgearbeitet wurde. Die netztechnische Integration der ausgewählten Technologie wurde anhand eines konkreten Produkts validiert. Neben der Dimensionierung und Auslegung der eigentlichen Anlage wurde ein Single Line Prinzipschema entwickelt, das eine mögliche Integration in das bestehende Arealnetz aufzeigt. Abschliessend wurden die Kurzschlussströme, die Selektivität und der thermische Kurzschlusschutz unter Berücksichtigung der neuen Technologie abgeschätzt und plausibilisiert.

### Ergebnisse und Handlungsempfehlung

Aus der durchgeführten Nutzwertanalyse ist ersichtlich, dass die Lösungsvariante mit der dynamischen USV-Anlage auf Mittelspannungsebene die Bedürfnisse des Spitals am besten erfüllen kann. Mit einer Leistung von 8'100 kW ermöglicht die Flywheel-Lösung eine 100-prozentige USV-Versorgung und setzt in der Schweizer Spitalbranche neue Massstäbe. Spannungsspitzen und Netzunterbrüche gehören somit der Vergangenheit an. Obwohl die Flywheel-Anlage zusätzliche Verluste generiert, überzeugt sie auch in ökologischer Hinsicht als batteriefreie und somit zukunftsorientierte Lösung. Die vergleichsweise hohen Investitionskosten macht die Anlage mit überschaubaren Wartungskosten über den gesamten Lebenszyklus von 10-20 Jahren wieder wett.

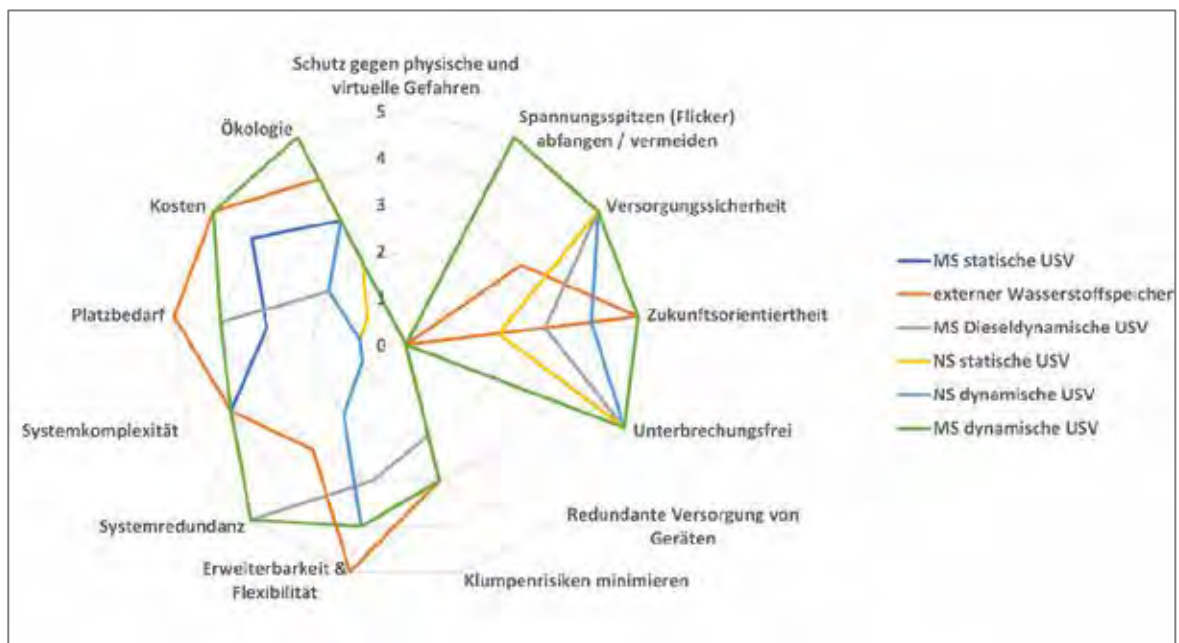


Abb. 1: Variantenvergleich

Der vom Spital gewünschte Schutz vor physischen und virtuellen Gefahren kann mit dieser Anlage allein nicht gewährleistet werden. Denn es bedarf bei allen betrachteten Anlagen bauliche und sicherheitstechnische Massnahmen, um sie gegen physische Gefahren zu schützen. Virtuellen Gefahren wie bspw. Hackerangriffen sind grundsätzlich alle Anlagen ausgeliefert, wenn sie via Fernzugriff gesteuert werden können bzw. mit dem Internet verbunden sind. Abhilfe schaffen könnte diesbezüglich bspw. ein modernes IT-Sicherheitskonzept. Nichtsdestotrotz schliesst die Flywheel-Lösung von allen Varianten am besten ab und wird in der Konsequenz dem Spital als Weiterentwicklung für die SSV empfohlen.

Damit die Flywheels die Spannung im Spitalnetz unterbrechungsfrei stützen können, ist eine Einbindung der Anlagen über grosse Koppeldrosseln zwischen öffentlichem Netz und Spitalnetz erforderlich. Diese Koppeldrosseln verursachen im Spitalnetz eine Begrenzung der Kurzschlussströme aus dem öffentlichen Netz. Entsprechend müssen in der Folge das Schutzkonzept überarbeitet und die Parameter in den Schaltern auf der Mittelspannungsebene neu eingestellt werden. Zusätzlich entstehen durch die Flywheels neue Betriebsfälle, welche durch das Netzleitsystem gesteuert werden können müssen.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_18  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Bestimmung der Lüftungseffektivität mit Tracermethoden in Räumen unterschiedlicher Nutzung unter Berücksichtigung der Lufterneuerung (Hygiene) und des Schadstoffabtransports (Sars-CoV-2).

Studierende	Petra Dübendorfer Nicola Ambühl
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Beat Frei, FREI WÜEST EXPERT, Geissburghalde 11, CH-6130 Willisau)
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

**Bestimmung der Lüftungseffektivität mit Tracermethoden in Räumen unterschiedlicher Nutzung unter Berücksichtigung der Lüfterneuerung (Hygiene) und des Schadstoffabtransports (Sars-CoV-2)**

# Bestimmung der Lüftungseffektivität mit Tracermethoden in Räumen unterschiedlicher Nutzung unter Berücksichtigung der Lüfterneuerung (Hygiene) und des Schadstoffabtransports (Sars-CoV-2).

Bei der Revision der SIA 382/1 ist ein informativer Anhang geplant, welcher sich unter anderem mit dem Thema der Lüftungseffektivität auseinandersetzen soll. Die Bedeutung der Lüftungseffektivität hat durch die COVID-19 Pandemie an Bedeutung zugenommen. Das Lüftungssystem kann durch den Luftaustauschwirkungsgrad (Hygiene) und die Lüftungswirksamkeit (Schadstoff) charakterisiert werden. Im amerikanischen und europäischen Raum sind diverse Literaturen vorhanden, welche sich diesem Thema annehmen. Es stellt sich die Frage, inwiefern diese Werte für die in der Schweiz üblichen Lüftungssysteme übernommen werden können.

## Zielsetzung

Ziel ist es, die Lüftungseffektivität mithilfe von Tracermethoden in Nicht-Wohnräume unter Berücksichtigung des Luftaustausches und des Schadstoffabtransports zu bestimmen. Hierzu werden unterschiedliche Räume und Luftführungen durch Einsatz des Tracergases HFO-R 1234yf untersucht. Die erhaltenen Kennzahlen zu Luftaustauschwirkungsgrad und Lüftungswirksamkeit sollen mit der vorhandenen Literatur verglichen und eine Empfehlung für den informativen Anhang der SIA 382/1 abgegeben werden.

## Versuchsreihen

Es wurden 3 Versuchsreihen durchgeführt, welche sich durch unterschiedliche Messmethoden unterscheiden und an 2 Prüforten durchgeführt wurden. Als Prüforten kam die Klimakammer im Labor der Hochschule Luzern in Horw und das Sitzungszimmer bei der Firma Durrer Technik AG in Adligenswil zur Anwendung. Es wurde Nutzerszenarien erstellt und mit Wärmequellen realistisch nachgestellt. Um Aussagen zum Schadstoffabtransport und zum Luftaustausch zu machen, wurden die Lüftungswirksamkeit wie auch der Luftaustauschwirkungsgrad mithilfe eines photoakustischen Gasanalysators bestimmt. Zur Beurteilung der Wirksamkeit bezüglich von möglichen Schadstoffübertragungen, wurde ein FTIR-Gasanalysator verwendet. In der Klimakammer kamen 3 Luftmengen zum Einsatz. Dies waren  $100\text{m}^3/\text{h}$  (Stand der Technik),  $70\text{m}^3/\text{h}$  (SIA MB 2024) und die gemäss SIA 382/1 um 50% reduzierte Luftmenge von  $35\text{m}^3/\text{h}$ . Für die Messungen bei Durrer Technik AG konnten zwei Luftmengen von  $400\text{m}^3/\text{h}$  (SIA MB 2024) und  $800\text{m}^3/\text{h}$  verwendet werden.



## Bestimmung der Lüftungseffektivität mit Tracermethoden in Räumen unterschiedlicher Nutzung unter Berücksichtigung der Lüftererneuerung (Hygiene) und des Schadstoffabtransports (Sars-CoV-2)

### Luftaustauschwirkungsgrad und Lüftungswirksamkeit

Die Messmethode für Lüftungswirksamkeit und Luftaustauschwirkungsgrad beruht auf der Step-Down-Methode, bei dieser wird über den Zuluftkanal eine konstante Gasmenge injiziert und über einen Gasanalysator aufgezeichnet. Anhand der Gaskonzentrationen an den verschiedenen Messstellen, die beiden Kennzahlen berechnen. Aus den Auswertungen geht hervor, dass sich die Kennzahlen für die Quelllüftung im Bereich einer homogenen Mischlüftung befinden und leicht unter den Literaturwerten liegen. Die hohe Lüftungswirksamkeit aus der Literatur konnten durch die in der Schweiz üblichen kleinen Luftwechselzahlen nicht erreicht werden. Zusätzlich spielt die Raumgeometrie eine grosse Rolle bei der Lüftungseffektivität. Die Kennzahlen der Messungen der Mischlüftung lagen im Bereich der Literaturwerte und können für die Schweiz übernommen werden.

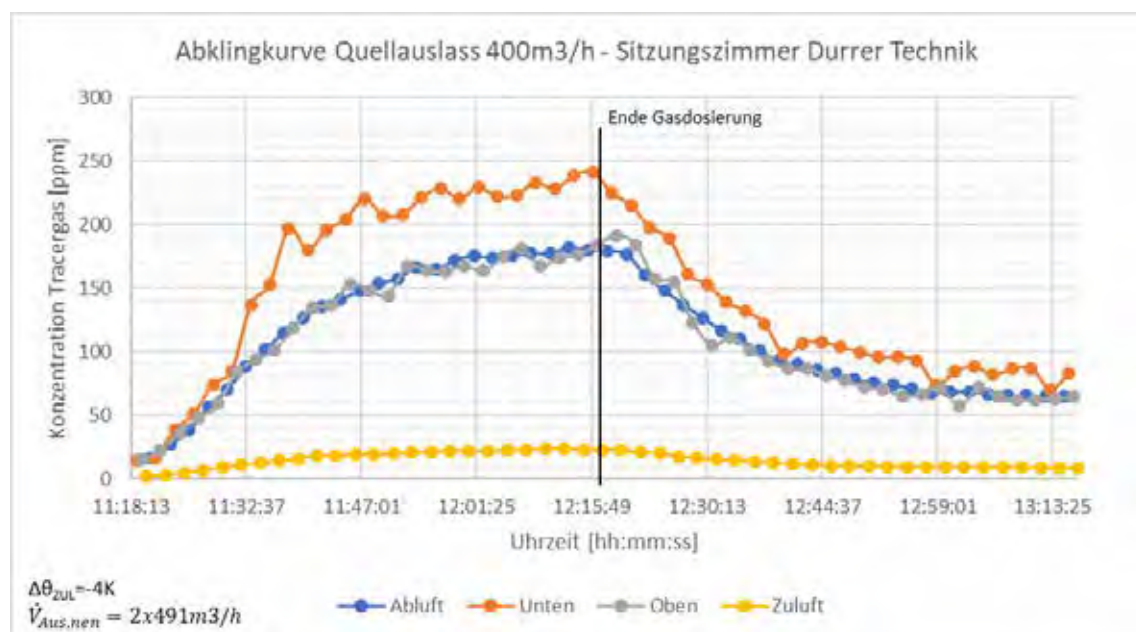


Abbildung 1: Konstantdosierung Sitzungszimmer Durrer Technik - 400m<sup>3</sup>/h

### Lokaler Schadstoffabtransport

Die lokale Lüftungswirksamkeit beruht auf der Pulsmethode, wobei nur für kurze Zeit eine definierte Gasmenge injiziert und über die Messeinrichtungen die Gaskonzentration aufgezeichnet wird. Daraus lassen sich Aussagen zum Schadstoffabtransport des Lüftungssystems machen. Aus den Auswertungen geht hervor, dass die Schadstoffe bei einer Quelllüftung tendenziell besser abgeführt werden als bei einer Mischlüftung. Bei der Quelllüftung werden die Schadstoffe über die Auftriebsströmungen bei den Personen effektiv aus dem Aufenthaltsbereich abgeführt und unterhalb der Decke gesammelt. Anders als bei den Mischlüftungen, wo eine starke Durchmischung der Schadstoffe mit der Raumluft erfolgt und die Konzentration nur reduziert wird. Bei den Mischlüftungen mit der nach SIA 382/1 reduzierten Luftmenge spielten die Auftriebsströmungen an den Personen eine grössere Rolle, da die Austrittsgeschwindigkeiten an den Auslässen zu gering waren, um eine gute Durchmischung zu ermöglichen.

### Fazit

In Bezug auf den möglichen informativen Anhang bei der SIA 382/1 Revision müssen, um genauere und zuverlässigere Aussagen zu machen, sicherlich noch weitere Messungen unter realen Praxisbedingungen durchgeführt werden. Erste Tendenzen sind erkennbar und lassen bedingte Aussagen zu den Höhen der Lüftungswirksamkeit und des Luftaustauschwirkungsgrades zu.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_19  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Untersuchung von bestehenden EWS- Anlagen im Bezug auf die SIA-Norm 384/6:2021

Studierende	Florian Eigenmann Silvan Bernal
Dozierende	Markus Koschenz Timotheus Zehnder
Experte/-in	Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Untersuchung von bestehenden EWS-Anlagen im Bezug auf die SIA-Norm 384/6:2021

**Die Nutzung von Umweltwärme und -kälte mit Erdwärmesonden spielen in der Umsetzung der Energiestrategie eine bedeutende Rolle. Die Leistungsfähigkeit von Erdwärmesonden ist unter anderem von ihrer Anordnung abhängig. Vor allem bei einem zukünftigen Zubau von Sonden in oder an bestehende Felder muss dieser Ausbau vorausschauend in der Planung berücksichtigt werden.**

Die Untersuchungen basieren auf einem bestehenden Areal in St. Gallen. Dieses besteht aus mehreren Ein- und einem Mehrfamilienhaus mit insgesamt acht Erdwärmesondenanlagen. Die Baujahre variieren von 1998 bis 2022. In der näheren Umgebung gibt es weitere Gebäude ohne EWS-Anlagen, die jedoch potenziell als zukünftige Nachbaranlagen betrachtet werden müssen. Das Areal wurde anhand von drei dynamischen Simulationsberechnungen untersucht. Eine für den IST-Zustand, eine für die Auslegung der bestehenden Anlagen nach SIA384/6:2021 und die Letzte, um die Wirkung von Regenerationsmassnahmen im Bestand zu beurteilen.

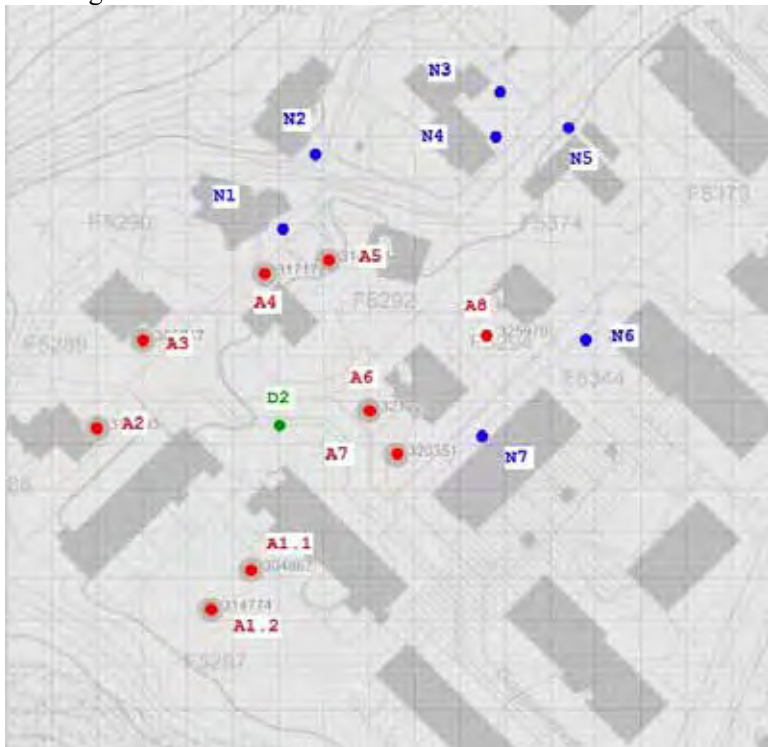


Abb. 1: Aufbau des Areals (rot: Bestand, blau: zukünftige Nachbarn, grün: Tracersonde)

## Dynamische Simulationsberechnungen

Der Aufbau der drei Simulationen ist praktisch identisch. Als Eingaben in die Simulationen wurden Angaben zur Geologie, die Inbetriebnahmejahre, die Sondenlängen, die Entzugsleistungen und -energien, Regenerationsleistungen und -energien, Daten zu den Wärmepumpen, Angaben zu den Abgabesystemen, Klimaprofile für die Vergangenheit wie auch für die Zukunft und Angaben zu den Nachbaranlagen getätigt.

Unterschiede in den drei Simulationen bestehen nur in den Sondenlängen und in den Regenerationsmassnahmen. Der Klimawandel wurde durch die zukünftigen Klimaprofile (RCP8.5 DRY 2035 und RCP8.5 DRY 2060), Reduktion des Heizwärmebedarfs und durch die Prüfung des Einflusses auf die ungestörte Erdreichtemperatur berücksichtigt. Für die Simulationen wurde angenommen, dass alle Anlagen nur 50 Jahre in Betrieb sind und dann Ausserbetrieb genommen werden. Der Betrachtungszeitraum in den Simulationen umfasst die Jahre von 1998 bis 2068. In den drei Simulationen sind nur die Nachbaranlagen 2, 4 und 6 aktiv.

### Ergebnisse

Die Ergebnisse sind je Anlage und Simulation vorhanden. Sie wurden anhand der mittleren Sole-Temperatur und der Bohrlochtemperatur beurteilt. Für die mittlere Sole-Temperatur wird eine Kategorisierung und ein Absenkpfad (gem. Suissetec Merkblatt 5) verwendet. Die Kategorisierung teilt sich in die drei Bereiche: A Langzeitstabile Sonde, B Normale Sonde und C Unterkühlte Sonde. Als minimale Bohrlochtemperatur wird 0 °C gewählt, da unter dieser eine Einfriergefahr besteht. Als Beispiel wird die Anlage 3 betrachtet. Auf der Abbildung 2 ist die mittlere Sole-Temperatur einer Beispielanlage im zeitlichen Verlauf zu sehen. Links die Simulation «SIA» (Auslegung der Anlage nach Norm), rechts die Simulation «IST» (effektiv erstellte Anlage).

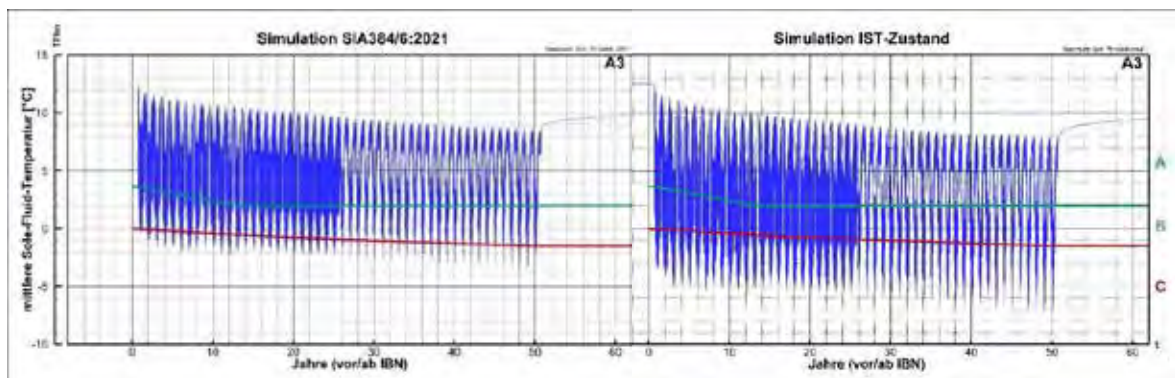


Abb. 2: in blau die mittlere Soletemperatur der Anlage 3 als Beispiel (rot: Grenze Unterkühlte Sonde, grün: Grenze Normale Sonde)

### Diskussion der Ergebnisse

Durch die Simulation des IST-Zustands ist zu sehen, dass sich die Anlagen 2-8 mit dem angenommenen Energieentzug in einem Unterkühlten Zustand befinden. Der Zustand kann sich jedoch für die Anlagen 4-8 bei einer Reduktion des Energieentzuges zum normalen Zustand ändern. Die Simulation mit den Längen nach der neuen SIA zeigt, dass sich die Anlagen 3-8 noch immer im unterkühlten Zustand befinden. Der Energieentzug hat hier keinen Einfluss, da dieser bereits mit der Auslegung nach SIA 384/6 korrigiert wird. Durch Untersuchung der neuen SIA 384/6:2021 konnte festgestellt werden, dass der Sondenlängenzuschlag für dieses Areal unzureichend ist. Die Differenz entsteht durch den vorgeschlagenen geothermischen Deckungsgrad von 40%. Auf dem Areal besteht bereits heute ein geothermischer Deckungsgrad von 55%. Demnach müsste der vorgeschlagene geothermische Deckungsgrad in der SIA 384/6:2021 spätestens bei einer nächsten Revision geprüft werden. Bis dahin sollten weitere Untersuchungen zu verschiedenen Arealen vorliegen.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_20  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Energetische Optimierung der hydraulischen Regelung für Luft-Wasser- Wärmeübertragungen in Lüftungsanlagen

Studierende Piriyantha Rathnam und Christoph Brechbühler

Dozierende Prof. Heinrich Huber  
Leonardo Montali

Experte/-in Prof. Dr. Frank Tillenkamp

Auftraggeber Hochschule Luzern - Technik & Architektur

Abgabedatum 10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

**Energetische Optimierung der hydraulischen Regelung für Luft-Wasser-Wärmeübertragungen in Lüftungsanlagen**

# Energetische Optimierung der hydraulischen Regelung für Luft-Wasser-Wärmeübertragungen in Lüftungsanlagen

Der Wärmedurchgangskoeffizient ( $k$ -Wert) beeinflusst das Übertragungsverhalten eines Wärmeübertragers im Teillastbereich. Er ist von vielen Einflussgrössen wie der Bauart oder der Strömungsgeschwindigkeit abhängig und verändert sich nicht linear. Die unbekanntenen Variablen im Teillastbetrieb können nicht analytisch, sondern nur mit empirischen Näherungsgleichungen bestimmt werden. Ein ineffizienter Betrieb eines Wärmeübertragers hat zur Folge, dass sich die Investitionskosten und der Energiebedarf erhöhen. Kommt es zu Schwankungen der Sollwerttemperatur, kann dies zu einem unbehaglichem empfinden in den Räumlichkeiten führen.

Ziel dieser Bachelor-Thesis ist es, das Verhalten von Luft-Wasser-Wärmeübertrager besser zu verstehen. Dafür werden experimentelle Messdaten an einem Lufterwärmer und einem Luftkühler mit einer hydraulischen Mengen- und Mischregelung ermittelt. Die hydraulische Regelung erfolgt über das Belimo Energy Valve™. Einer der Vorteile des Energy Valve™ ist die integrierte Ultraschall-Messung, welche bei den Untersuchungen zur Erfassung des Volumenstroms diente.

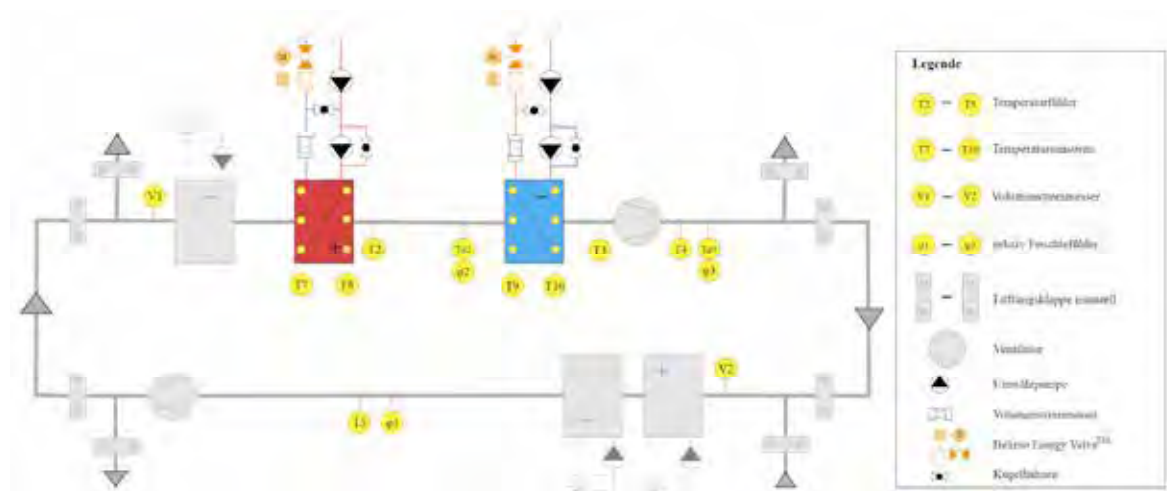


Abbildung 1: Schematischer Aufbau Laborstand

Die ausgewerteten Daten werden mit der  $a$ -Wert Theorie verglichen. Der Vergleich zeigt auf, in welchen Fällen der theoretische Ansatz mit den experimentellen Messungen korrespondiert. Durch den Vergleich kann geprüft werden, wie weit die Charakteristik der Wärmeübertragung im Teillastfall berechnet werden kann. Parallel zu den Messungen des Wärmeübertragungsverhaltens wurde das Temperaturprofil im Luftkanal erfasst. Zu grosse Temperaturunterschiede in Luftkanälen können in bestimmten Anlagekonstellationen zu Problem mit der Behaglichkeit und der Regelung führen. Ziel der Untersuchung ist es den Einfluss von Luft-Wasser-Wärmeübertragern auf die Temperaturschichtung im Luftkanal besser zu verstehen. Eine stabile Regelung und einwandfreier Betrieb der Anlage ist wesentliche für die Behaglichkeit in Innenräumen und Energieeinsparungen. Um das Wohlbefinden der Nutzer stetig zu erfüllen und die Behaglichkeit in Innerräumen zu gewährleisten, können die ermittelten Grundlagen der Bachelor-Thesis für eine Entwicklung innovativer Regeltechnik und Hydraulik verwendet werden.



## Energetische Optimierung der hydraulischen Regelung für Luft-Wasser-Wärmeübertragungen in Lüftungsanlagen

### Vorgehen

Das methodische Vorgehen ist in fünf Phasen aufgeteilt: Recherche, Laboraufbau, experimentelle Untersuchung, Auswertung und Diskussion. Die erarbeiteten Szenarien von den verschiedenen Betriebszuständen in der Lüftungsanlage werden anhand des Laborstand simuliert und gemessen. Das experimentell ermittelte Verhalten der Wärmeübertrager wird in der Diskussion mit der a-wert Theorie verglichen. Anschliessend werden die zeitgleich gemessenen Temperaturprofile im Luftkanal analysiert. Abschliessend werden die wichtigsten Erkenntnisse der experimentellen Untersuchung im Fazit zusammengefasst.

### Übersicht Szenarien und Betriebszustände

In der experimentellen Untersuchung werden verschiedene Teillastbetriebe mit variablen Aussenluftkonditionen und Luftvolumenströmen in der Lüftungsanlage analysiert. Um die Lufteintrittstemperatur zu bestimmen, wird die Ablufttemperatur im Heizfall mit 23 °C und im Kühlfall mit 26 °C angenommen. Der Luftvolumenstrom beträgt bei Vollastbetrieb 3000 m<sup>3</sup>/h. Die Teillastfälle werden mit dem Belimo Energy Valve™ einreguliert. Als Regelgrösse dient die luftseitige Austrittstemperatur. Die Temperaturschichtungen im Luftkanal werden beim Eintritt und Austritt erfasst und dokumentiert. Das Ziel ist es, die einzelnen Betriebszustände auf die Zustände in realen Anlagen abzustimmen.

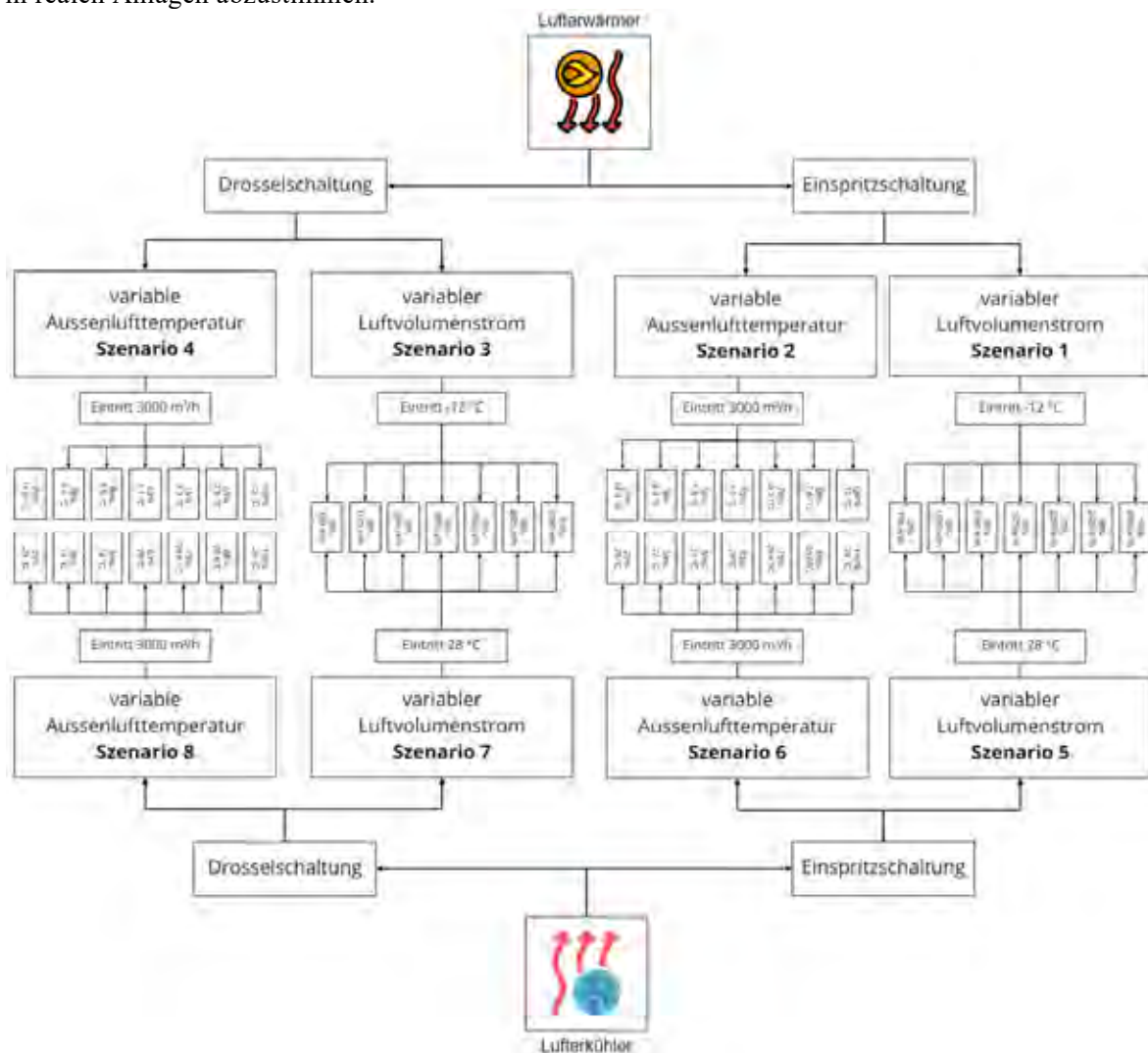


Abbildung 2: Übersicht Szenarien

**Energetische Optimierung der hydraulischen Regelung für Luft-Wasser-Wärmeübertragungen in Lüftungsanlagen****Erkenntnisse**

Wenn die Temperaturschichtung von Lufterwärmern minimiert werden soll, ist die Einspritzschaltung vorzuziehen. Die Auswertung zeigt, bei der Verwendung von Einspritzschaltungen werden die Temperaturunterschiede mit abnehmender Last stetig kleiner. Im Gegensatz zum Lufterwärmer ergeben sich beim Luftkühler nur geringe Temperaturunterschiede innerhalb des Luftprofils. Eine Reduktion der Temperaturunterschiede lässt sich zudem erreichen, wenn das wasserseitige Temperaturniveau nahe dem luftseitigen liegt. Generell sollten die hydraulischen Anschlüsse von Luft-Wasser-Wärmeübertragern so erfolgen, dass der Eintritt des warmen Mediums von unten erfolgt und das kalte Medium oben austritt. Unabhängig von der Art des Wärmeübertragers oder der Wahl der hydraulischen Schaltungen sollten anstelle von lokal platzierten Kanalsensoren Mittelwertfühler zum Einsatz kommen.

Die experimentelle Untersuchung des Wärmeübertragers hat ergeben, dass die Ermittlung der Teillastfälle im Lufterwärmer bei Mengen- und Mischregelung unproblematisch ist. Hingegen waren die Messergebnisse des Luftkühler kritischer. Die Teillastfälle unterhalb von 50 % haben sich nicht auf den Sollwert eingependelt.

Interessant war, dass der zweireihige Wärmeübertrager im Lufterwärmer mit einer Einspritzschaltung ein nahezu exaktes Gleichstromverhalten aufweist. Eine Gleichstrom-Wärmeübertragung ist nachvollziehbar, wenn die Übertragung von der Luftströmung betrachtet wird. Bei einer Mengenregelung weicht die experimentell ermittelte Messkurve von der a-Wert Theorie ab. Zu erwarten war, dass eine grössere Krümmung als bei der Mischregelung entsteht. Jedoch sank die Rücklaufstemperatur nicht wie erwartet, dies könnte ein Grund für die flache Kennlinie sein.

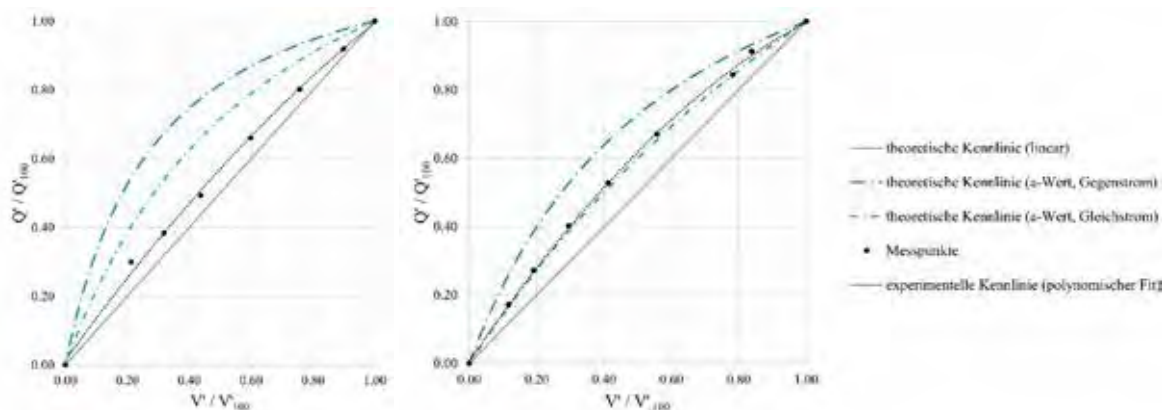


Abbildung 3: Wärmeübertragungsverhalten eines Lufterwärmers mit Mengenregelung (links) und Mischregelung (rechts)

Die polynomisch ermittelte Kennlinie hat beim Luftkühler für die Einspritzschaltung ebenfalls ein plausibles Messresultat ergeben. Wie mit der theoretischen Kennlinie ermittelt, ergibt sich auch experimentell eine Gegenstrom Wärmeübertragung. Beim Luftkühler war eine Gegenstrom Strömung zu erwarten, weil dieser über sechs Rohrreihen verfügt.

Die Resultate zeigen, dass sich das Wärmeübertragungsverhalten mit der a-Wert Theorie nicht für alle Betriebsituationen beschreiben lässt. Die Konstruktion spielt eine entscheidende Rolle. Ein Vergleich zwischen einem zweireihigen Wärmetauscher und einem sechsröhrenigen Wärmetauscher zeigte ein deutlich unterschiedliches Verhalten in der Wärmeübertragung. Während der zwei-Rohr-Wärmetauscher bei einer Mischregelung ein Gleichstromverhalten aufweist, zeigt der sechs-Rohr-Wärmetauscher ein Gegenstromverhalten.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_21  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Lüftungsleitungen aus natürlichen Materialien – nicht metallischen Materialien

Studierende	Petr Eysman
Dozierende	Heinrich Huber Heinrich Manz
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Martin Moser, Strüby Holzbau AG, 6423 Seewen)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Lüftungsleitungen aus natürlichen Materialien – nicht metallischen Materialien

**Infolge der Forderungen vom Pariser Klimaabkommen setzt die Schweizer Politik auf das 2050 Netto-Null Klimaziel. Die Schweiz soll unter dem Strich keine Treibhausemissionen mehr ausstossen. Hinsichtlich dieses Ziels kann das Verbesserungspotenzial dabei beim Gebäudesektor liegen, welcher für 24% der nationalen CO<sub>2</sub>-Emissionen verantwortlich ist. Eine mögliche Verminderung der Treibhausgasemissionen kann erzielt werden, wenn bei der Erstellung der gebäudetechnischen Anlagenteile Materialien verwendet werden, welche eine bessere Ökobilanz aufweisen als die bisher verwendeten.**

## Ausgangslage

In Zusammenarbeit mit dem Industriepartner Strüby Holzbau AG wird untersucht, ob die Lüftungsverteilungen im Wohnbau anstatt aus verzinktem Stahlblech aus Holz hergestellt werden können. Für die praktischen Untersuchungen wird ein Versuchsaufbau verwendet, welcher aus Fichtenholz angefertigt ist und funktionsweise eine einfache bidirektionale Lüftungsanlage darstellt. Um eine Plausibilität des zu untersuchenden Materials für die Lüftungstechnischen Anwendungen bestätigen zu können, werden folgende Kriterien untersucht.

## Normative Anforderungen

Aus der Analyse der geltenden SIA Normen geht hervor, dass die Lüftungsverteilungen aus Holz mehrheitlich die qualitativen Anforderungen erfüllen und somit grundsätzlich verwendet werden dürfen. Unklar dabei ist aber das Verhalten der Holzkonstruktion in Bezug auf Temperatur- und Luftfeuchteschwankungen, welche in einer Wohnnutzung entstehen können.

## Betriebsfestigkeit, Hygienebeurteilung und Feuchteresistenz

Die Auswirkung der Temperatur- und Luftfeuchteschwankungen, die hygienische Beurteilung des Versuchsaufbaus und die Betriebsfestigkeit werden an einem Versuchsaufbau geprüft.



Abb. 1-3: Bestandteile des Versuchsaufbaus - von links nach rechts: Dampf-Luftbefeuchter und Dampfbehälter, Holzkanalleitungen, das angeschlossene KWL-Lüftungsgerät

Der Versuch wird in Form einer Härteprüfung durchgeführt und stellt eine fortlaufende Simulation einer Nasszelle mit Duschbetrieb dar, welche mit einem Holzkanalaufbau belüftet wird. Für die Feuchteproduktion, welche beim Duschen entstehen kann, wird ein Dampf-Luftbefeuchter verwendet. Das Prinzip des Versuchs besteht aus zwei abwechselnden Phasen: Feuchteproduktion, welche das Duschen simuliert und die Verdunstung von Kondensat. Dabei werden die Temperatur- und Feuchtebedingungen der Luft, welche im System herrschen, gemessen. Zusätzlich werden die Holzfeuchtwerte an der Kanalinnenoberfläche gemessen. Dabei gilt, dass eine dauerhafte Holzfeuchte unter 20 % den Befall von holzerstörenden Pilzen und Insekten ausschliesst.

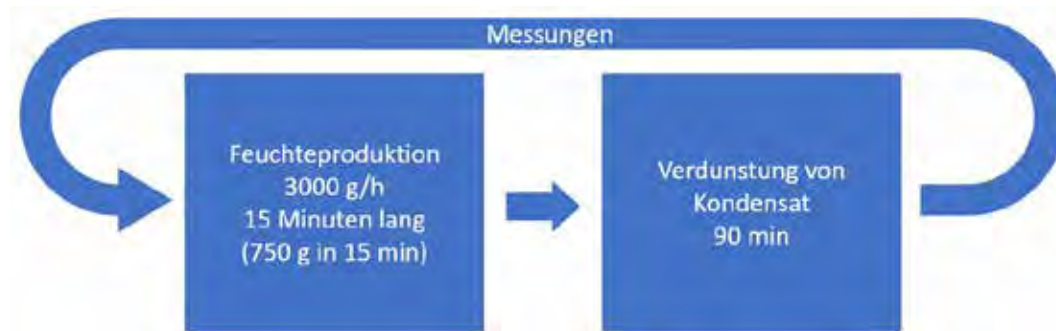
**21\_ Lüftungsleitungen aus natürlichen Materialien – nicht metallischen Materialien**

Abb. 4: Versuchsprinzip

Nach einer Versuchsdauer von 672 Stunden und 344 Feuchteproduktionen überschreiten die gemessenen Ausgleichsfeuchtwerte des Holzes nicht die maximal erlaubten 20 %. Der Versuchsaufbau zeigt keine stark ausgeprägten Veränderungen der Oberflächen, keine sichtbaren Verfärbungen oder mikrobiellen Befall auf. Jedoch weist die Aufbaukonstruktion eine Rissbildung an den Kanalinnenoberflächen auf. Daher sollte eine Schutzbehandlung in Betracht gezogen werden.

**Mögliche Schutzbehandlung**

Mögliche Holzschutzmassnahmen werden gestützt auf DIN Normenreihe 350 – «Dauerhaftigkeit von Holz und Holzprodukten» untersucht. Es werden Klassifizierungen und Eigenschaften der möglichen Schutzverfahren und Produkte beschrieben. Aus dieser Untersuchung geht hervor, dass für die Holzkanäle eine Imprägnierung mit einer Deckschicht empfohlen werden kann. Dabei sollten Schutzmittel verwendet werden, welche auf natürlichen Inhaltsstoffen basieren.

**Alternative Materialien**

Zusätzlich werden einige mögliche Materialalternativen genauer beschrieben, welche für die Herstellung von Lüftungstechnischen Bauteilen verwendet werden können. Dabei werden Materialien wie Karton, Dämmmaterialien, Kunststoffe, Bio-Kunststoffe, Holzwerkstoffe und formgepresste Zelluloseplatten spezifiziert. Davon können Holzwerkstoffe und Karton als Materialien mit dem meisten Potenzial für Lüftungsführende Bauteile angesehen werden.

**Fazit**

Mit einer Beschichtung, welche das Material vor Feuchteaufnahme und Rissbildungen schützt, sollte das Holz genügend Eigenschaften aufweisen können, um als Material für Lüftungstechnische Anwendungen in einem Wohnbau verwendet werden zu können.

Die Untersuchung der möglichen alternativen Materialien zeigt, dass Lüftungsleitungen aus recyceltem Karton eine interessante Alternative darstellen können. Es wurden mittlerweile Lüftungsbauteile aus Karton in diversen Bauvorhaben eingesetzt. Aus technischer Sicht scheint das Material alle notwendigen Anforderungen an Lüftungstechnische Bauteile zu erfüllen. Wichtige Vorteile von Kartonleitungen sind die Ökobilanz, Materialverfügbarkeit und das geringe Bauteilgewicht.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_22  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Vergleichende Analyse der Simulation der Raumluftrömung mittels der Softwaretools IDA ICE und SimScale (CFD)

Studierende	Colin Müller Patrick Dubach
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Dr. Heinrich Manz
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Moritz Zwahlen, EPRO Engineering AG, 3073 Gümlingen)
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Vergleichende Analyse der Simulation der Raumluftrömung mittels der Softwaretools IDA ICE und SimScale (CFD)

**Ingenieure im Bereich der Gebäudetechnik müssen bei gewissen Arbeiten eine Beurteilung zu strömungsmechanischen Problemen abgeben. Ein mittlerweile verbreitetes Hilfsmittel dafür ist die numerische Strömungssimulation (CFD). Ein gängiges CFD-Programm ist SimScale. Im Gegensatz zu Energiesimulationen werden Strömungssimulationen von vielen Ingenieurbüros outsourced. Das schweizweit verbreitetste Tool für Energiesimulationen ist IDA ICE. Seit einiger Zeit wird für IDA ICE eine Beta-Version eines CFD-Addons angeboten.**

Das Ziel der Bachelor-Arbeit ist es zu beantworten, wie sich das IDA ICE CFD-Addon von EQUA im Vergleich zu SimScale verhält. Dazu wird folgende Forschungsfrage gestellt: Inwiefern unterscheidet sich das IDA ICE CFD-Addon bezüglich Handling, Methodik und Ergebnisse von SimScale? Beide Programme nutzen die Open-Source Codes von openFOAM als Grundlage.

## Methodik

Es wurden für beide Programme drei Räume aufgebaut. Im ersten Raum wurde der Kaltluftabfall nach Heiselberg simuliert. Beim Zweiten wurde die Raumgeometrie komplexer gewählt. Beim dritten Raum handelt es sich um einen ASHRAE Testraum mit einer Lüftungsanlage und internen Lasten. Gearbeitet wird mit zwei verschiedenen Turbulenzmodelle ( $k-\omega$  SST und RNG  $k-\epsilon$ ).

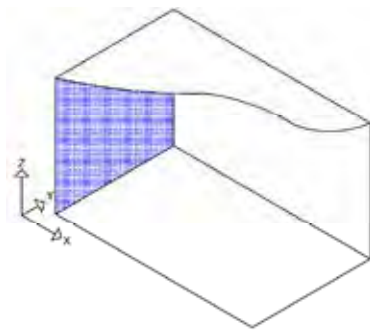


Abb. 1: Raum 1 Heiselberg

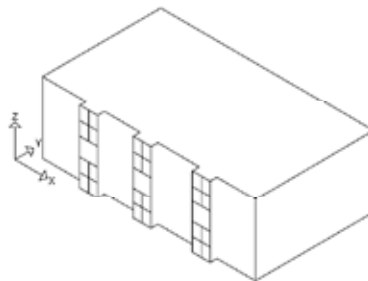


Abb. 2: Raum 2 Saal

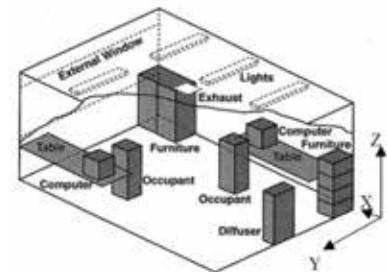


Abb. 3: Raum 3 ASHRAE

Die Eingabe Simulationseinstellungen in den beiden Softwaretools ist sehr unterschiedlich. In SimScale können sämtliche Randbedingungen für die Simulation bestimmt werden. In IDA ICE muss vorab der CFD-Simulation eine Heiz- oder Kühllastsimulation durchgeführt werden. Die Resultate der Heiz- oder Kühllast werden somit zu den Randbedingungen für die CFD-Simulation. Eine manuelle Anpassung der Randbedingung der CFD-Simulation ist in der aktuellen IDA ICE Version nicht möglich. Ein Grund für diese umständliche Eingabe der Randbedingungen in IDA ICE ist der angedachte Einsatzbereich der Software. So ist der Workflow darauf ausgelegt, dass das CFD-Addon in Projekten zum Einsatz kommt, in welchen sowieso Lastsimulationen benötigt und durchgeführt werden. Je komplexer die Randbedingungen der Versuchsräume werden, desto umständlicher wird ein Abgleich der Randbedingungen von IDA ICE mit den Randbedingungen in SimScale.

**Vergleichende Analyse der Simulation der Raumlufströmung mittels der Softwaretools IDA ICE und SimScale (CFD)**

**Resultate Raum 1 Heiselberg**

In der Abbildung 4 sind die Ergebnisse der Simulationen in Form von Graphen dargestellt und werden untereinander und mit der Formel von Heiselberg (SIA 180) verglichen. Dabei fällt auf, dass die Resultate von IDA ICE mit dem Turbulenzmodell  $k-\omega$  SST instabil sind. Die Resultate von SimScale ( $k-\omega$  SST) und IDA ICE (RNG  $k-\epsilon$ ) bilden jeweils einen sauberen und stabilen Graph, wobei die Ergebnisse von IDA ICE (RNG  $k-\epsilon$ ) tiefere Geschwindigkeiten erhalten als SimScale.

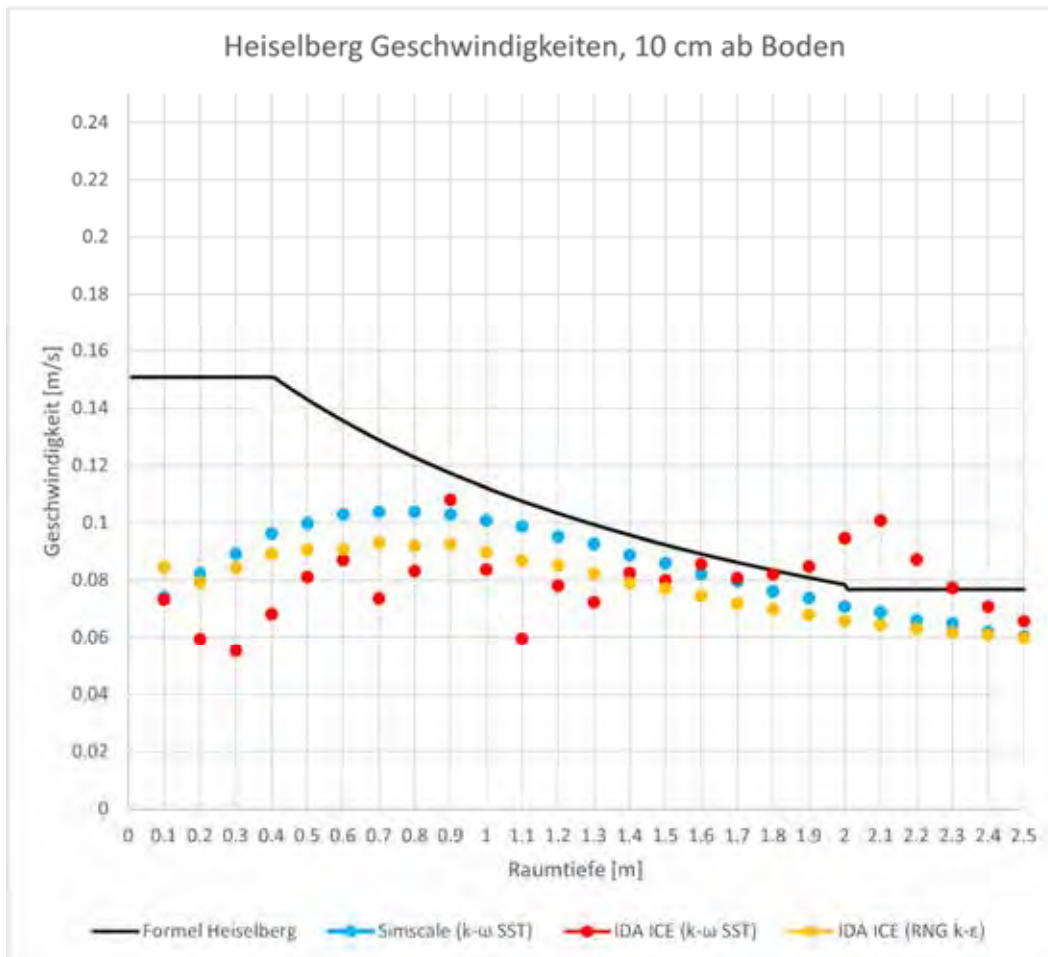


Abb. 4: Raum 1, Geschwindigkeiten 10cm ab Boden

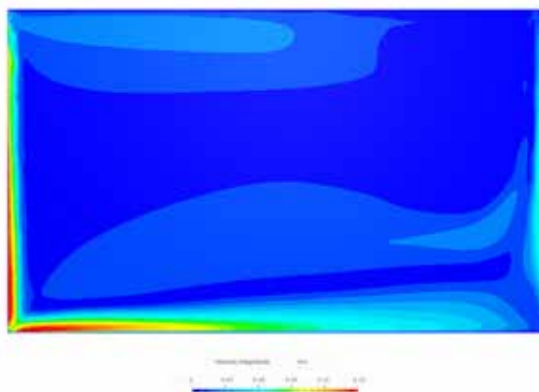


Abb. 5: Strömungsbild SimScale (k- $\omega$  SST)

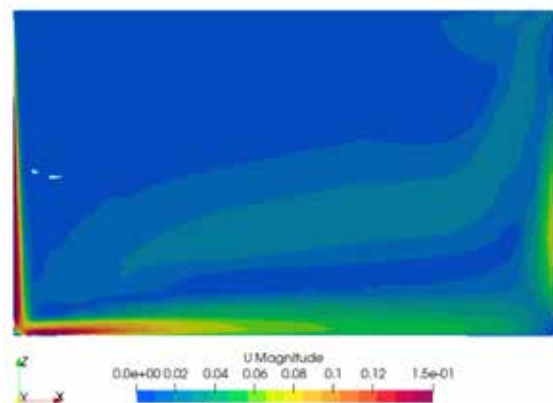


Abb. 6: Strömungsbild IDA ICE (RNG k- $\epsilon$ )

**Vergleichende Analyse der Simulation der Raumluftrömung mittels der Softwaretools IDA ICE und SimScale (CFD)****Schlussfolgerung**

Eine Schlussfolgerung dieser Arbeit ist, dass ein Vergleich zweier CFD-Simulationen, welche sich derart im Einsatzbereich und Methodik unterscheiden, schwierig zu bewerkstelligen ist. Je umfangreicher die Randbedingungen sind, desto anspruchsvoller wird ein Vergleich. Obwohl beide Programme die Open-Source Codes von OpenFOAM nutzen, kann es zu Unterschieden in den Resultaten und deren Stabilität kommen, da unterschiedliche Default Solver-Einstellungen verwendet werden.

Die drei Versuchsräume verfehlen den angedachten Einsatzbereich von IDA ICE, was die Methodik und Handling des Programmes erschwert. Auch können die Randbedingungen, abhängig von deren Umfang, nur schwer mit SimScale abgeglichen werden. Zudem treten durch gewisse Einstellungen in IDA ICE Bugs in deren CFD-Simulation auf. Weiter können nach dem Speichervorgang geschlossene CFD-Simulationen nicht erneut geöffnet werden und die Simulationen müssen nach Abschluss mit dem Befehl "Kill Solver" beendet werden.

Das CFD-Addon wird momentan von EQUA weiterentwickelt. Mit jeder neuen Version werden Fehler behoben und neue Einstellungsmöglichkeiten implementiert. Diese Änderungen können jedoch zu neuen, noch unbekanntem Fehlermeldungen oder Bugs führen. Um Räumlichkeiten, wie sie in dieser Arbeit behandelt werden, simpler aufbauen und simulieren zu können, müsste EQUA einen Weg finden, die Randbedingung für solche Räume ohne Einbindung in ein Gebäude direkt einzugeben oder die Lastsimulationsergebnisse bei Bedarf überschreiben zu können.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_23  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Aerozyklon als Vorfilter: Entwicklung eines neuartigen Multizyklonfilters zur Fil- tration stark belasteter Luft in der Lüftungstechnik

Studierende	Marco Bernasconi Adrian Angelo Schmied
Dozierende	Prof. Leonardo Montali Dr. Benoit Sicre
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Farmtec SA, Sentmatte 1, 6247 Schötz)
Abgabedatum	10. Juni 2022

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Aerozyklon als Vorfilter: Entwicklung eines neuartigen Multizyklonfilters zur Filtration stark belasteter Luft in der Lüftungstechnik

Um Staubpartikel in der Luft abzuscheiden, werden in der heutigen Lüftungstechnik hauptsächlich mechanische Filter wie Taschenfilter, Kassettenfilter oder Filtermatten eingesetzt. Bei manchen Anwendungen ist die Partikelast in der Luft derart hoch, dass solche Filter aus wirtschaftlichen Gründen nicht in Frage kommen. Der bereits in vielen Anwendungen eingesetzte Zyklonfilter könnte diesen Anforderungen gerecht werden. Im Rahmen dieser Arbeit wird das Potential von Zyklonfiltern in der Lüftungstechnik untersucht. Dazu wird ein Prototyp-Multizyklonfilter konstruiert und angefertigt. Der Zyklonfilter wird mittels Rechenmodellen von Prof. Dr. Muschelknautz aus dem VDI-Wärmeatlas dimensioniert. Die einzelnen Zykclone werden anhand eines erstellten 3D-Zeichnungsmodells gedruckt, während die Tragkonstruktion aus Holz gefertigt wird. In diversen Laborversuchen und einem abschliessenden Feldversuch in einem Prüfstall wird der Multizyklonfilter auf die Praxistauglichkeit getestet.

## Problemstellung

In den betroffenen Tierställen werden Umluftgeräte zur mikrobiellen Luftreinigung bisher ohne Vorfilter betrieben und neigen deshalb zu starker Verschmutzung. Die Umluftanlagen sind teilweise bereits nach wenigen Monaten komplett mit Staub verstopft und funktionsunfähig. Insbesondere die geräteinterne ALEPH-Einheit, welche mit einem auf Licht basierenden Prinzip die bakterielle Last in der Luft verringern soll, muss vor der hohen Staublast geschützt werden. Aufgrund sehr kurzer Standzeiten wäre der Einsatz von herkömmlichen Taschenfiltern in dieser Anwendung nicht wirtschaftlich.

## Ziel der Arbeit

Das Ziel der Arbeit ist, das Potential von Zyklonfiltern in der Lüftungstechnik zu verifizieren oder zu widerlegen. Es soll nun untersucht werden, ob die erste Filterstufe als Geräteschutz auch mit einem Zyklonfilter ausgeführt werden kann bzw. ob Zyklonfilter einen Vorteil gegenüber herkömmlichen Filtern haben und bezüglich Abscheidegrad, Energieverbrauch und Wartungsaufwand besser abschneiden.



Abbildung 1: Betriebsbereiter Multizyklonfilter vor dem Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE in Horw



**Aerozyklon als Vorfilter: Entwicklung eines neuartigen Multizyklonfilters zur Filtration stark belasteter Luft in der Lüftungstechnik****Funktionsprinzip / Aufbau**

In Zyklonen erfolgt die Abscheidung der Staubpartikel in der Luft durch Fliehkraft. Die zu filternde Luft strömt dabei tangential durch den Schlitzeinlauf in den Zyklon - ein rotationsymmetrischer Raum. In diesem wird eine Drehströmung erzeugt. Darin werden die Teilchen mit grösserer Dichte aufgrund der Massenträgheit nach aussen geschleudert. Die «entstaubte Luft» entweicht durch das Tauchrohr nach oben, während die Staubpartikel am Zyklonmantel nach unten gleiten.

Mit einer Berechnung nach den komplexen mathematischen Berechnungsmodellen von Muschelkautz konnte ermittelt werden, dass ein Multizyklonfilter gegenüber einem Einfachzyklon einen deutlich besseren Gesamtabseidegrad erreicht. Dies geschieht dank der Parallelschaltung sogar bei gleichbleibendem Druckverlust bzw. Energiebedarf. Aus diesem Grund wurde ein Sechsfach-Zyklon umgesetzt. Der Aufbau des ausgeführten Multizyklonfilters ist in schematischer Ansicht auf untenstehender Abbildung zu sehen.

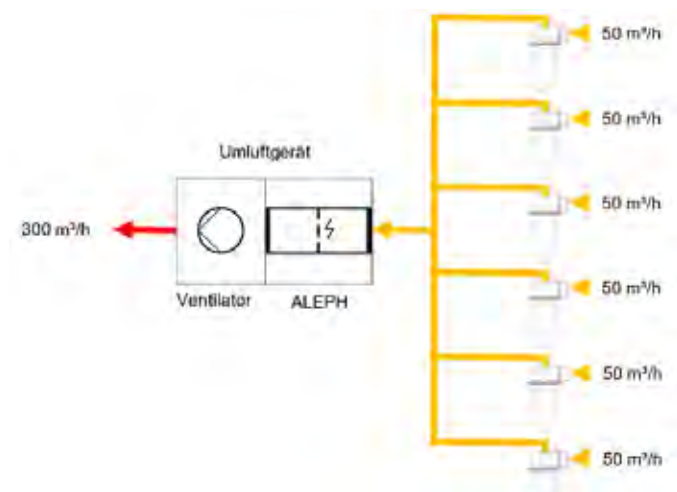
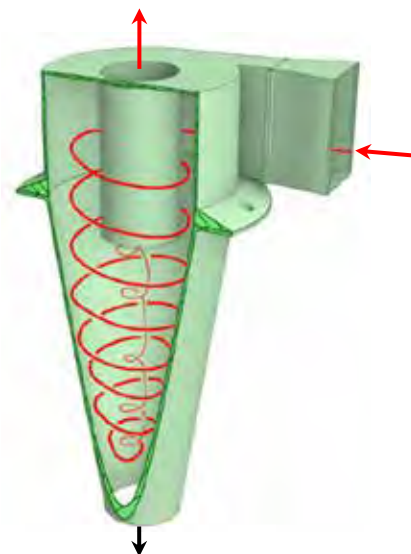


Abbildung 2: Schema Multizyklonfilter

Abbildung 3:  
Strömungsverlauf im Zyklon**Herstellung**

Von den einzelnen Zyklonbestandteilen wurde mittels CAD-Programm ein 3D-Zeichnungsmodell angefertigt. Anschliessend konnte der Druckprozess in einer Slicer-Software simuliert und die notwendigen Druckparameter mit einer maschinenlesbaren Datei dem 3D-Drucker übermittelt werden. Wegen der begrenzten Bauraumgrösse des 3D-Druckers und zu Gunsten der Revisionsmöglichkeit wurde jeder Zyklon in drei separate Teile zerlegt und so gedruckt. Ein Zyklon weist eine Höhe von 40 cm und einen Durchmesser von 15 cm auf. Insgesamt wurden 18 Bauteile während einer Gesamtdruckzeit von 110 Stunden gedruckt. Dazu waren rund 5 kg Druckmaterial bzw. Filament notwendig. Die sechs Zyklone wurden in eine tragende Sperrholzkonstruktion eingebaut. Dabei wurde die Holzstruktur so konstruiert, dass die Zyklone zu Reinigungszwecken einzeln ausgebaut werden können.



Abbildung 4: Druckprozess des konischen Zyklonteils

**Aerozyklon als Vorfilter: Entwicklung eines neuartigen Multizyklonfilters zur Filtration stark belasteter Luft in der Lüftungstechnik****Feldversuch**

Um die Praxistauglichkeit des Zyklonfilters unter Beweis zu stellen, wurde der Prototypfilter einem Feldversuch unterzogen. Dazu wurde der Prüfling in einem Versuchs-Hühnerstall als Vorfilter zur Luftfiltration in ca. 3 m Höhe an das Umluftgerät angebracht und getestet. Der Zustand des Zyklonfilters nach drei Wochen im Feldversuch ist sehr gut - dieser ist nur geringfügig verschmutzt. Der sehr trockene und nicht fettige Staub lagert sich praktisch nicht an den Oberflächen ab.

Beim abgeschiedenen Staub handelt es sich um ca. 70 Vol. % Hühnerfederchen und um ca. 30 Vol. % um Einstreukalk, welches am Boden des Hühnerstalls verteilt ist. Weiter waren Insekten in der Staubprobe enthalten. Während gut zwei Wochen wurde ein Staubvolumen von ca. 68 cm<sup>3</sup> abgeschieden, was auf ein ganzes Jahr gesehen eine beträchtliche Staubmenge ist. Hochgerechnet entspricht die abgeschiedene Staubmenge einer zwei Liter Giesskanne pro Jahr.



Abbildung 5: Multizyklonfilter im Legehennenstall



Abbildung 6: Staubprobe während rund zwei Wochen

**Ergebnisse**

Der von den Studenten hergestellte Prototyp des Multizyklonfilters funktioniert. Der Filter wurde auf einen Volumenstrom von rund 300 m<sup>3</sup>/h dimensioniert und führt in der Umluftgerät-Anlage zu einem Druckabfall von 212 Pa. Im Weiteren konnte gravimetrisch mit Prüfstaub ein Staubgesamtabscheidegrad von rund 80 % ermittelt werden. Ein Zyklonfilter als Grobstaubabscheider könnte somit anstelle eines herkömmlichen Gewebefilters den Geräteschutz gewährleisten.

Ob der Einsatz eines Zyklonfilters sinnvoller als ein Taschenfilter ist, wird durch die Anforderungen an den Filter bestimmt. Besonders bei hoher und nicht homogener Staublast ist ein Zyklonfilter einem Taschenfilter deutlich überlegen und sollte unbedingt bevorzugt werden. Im Weiteren kann ein Zyklonfilter als erste Filterstufe bzw. Vorfilter sinnvoll sein. Einen Feinstaubfilter als zweite Filterstufe kann dieser jedoch nicht ersetzen.

**Ausblick**

Der Zyklonfilter eignet sich gut für den Einsatz in Legehennenställen. Weitere Einsatzmöglichkeiten in Räumen mit hohen Staublasten, wie beispielsweise Schreinereien, Metallwerkstätten oder Fabrikhallen sind zu prüfen. Zusätzlich könnte der Einsatz von Zyklonfiltern als Vorfilter in mechanischen Lüftungsanlagen sinnvoll sein – aber auch in kleinen schlecht zugänglichen Lüftungs- oder Abluftanlagen, wo eine Wartung nur schwer zu vollziehen ist. Zyklonfilter haben folglich in der Lüftungstechnik unentdecktes Potential und könnten in bestimmten Anwendungen vermehrt herkömmliche Taschen- und Kassettenfilter ersetzen. Der Zyklonabscheider überzeugt als wartungsfreundlicher, langlebiger und physikalischer Filter. Das Abscheidgut wird nicht im Luftstrom abgeschieden, was den Zyklonfilter bezüglich Hygiene, konstantem Druckverlust und Materialverbrauch gegenüber Taschenfiltern vorteilhafter macht. Die aus dem Feldversuch gewonnen Erkenntnisse könnten mit weiterführenden Untersuchungen vertieft werden, damit der Zyklonfilter zukünftig vermehrt auch in der Lüftungstechnik zum Einsatz kommen kann.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_24  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Lifecycle-Betrachtung für Beleuchtungsanlagen

Studierende	Josip Bicvic
Dozierende	Björn Schrader Olivier Steiger
Experte/-in	Oliver Blank
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Gabriel Dobler, F. Hoffmann-La Roche AG, Basel)
Abgabedatum	10. Juni 2022

# Lifecycle-Betrachtung für Beleuchtungsanlagen

**Die Bachelor-Thesis untersucht den Lebenszyklus von sehr grossen und diversen Beleuchtungsanlagen untersuchen und als Leitlinie für einen Lampen- oder Leuchtenersatz und einen späteren, nachhaltigen Betrieb dienen. Ein Schwerpunkt dieser Arbeit bildet die Betrachtung des Lampenersatzes von Leuchtstofflampen (FL) durch LED-Retrofit-Lampen. In einem weiteren Teil wird der Wechsel von FL- auf LED-Leuchten betrachtet.**

Die Änderung der Ökodesign-Anforderung von der EU-Kommission hat für Unruhe bei Areal und Immobilienbewirtschaftern gesorgt, da die Ausphasung der Leuchtstoffröhre T8 bis September 2023 terminiert ist. Mit der RoHS Richtlinie gilt eine Ausnahmeregelung mit einem Ablaufdatum für den Quecksilbergehalt von Lampen. Am Februar 2022 hat die EU-Kommission den Antrag auf Verlängerung bzw. auf Erneuerung dieser Ausnahmeregelung abgelehnt. Dies bedeutet das Aus für alle Leuchtstofflampen.

Die Firma F. Hoffmann-La Roche AG (kurz Roche) hat diesbezüglich eine Bachelor-Thesis eingereicht. Als Hauptfrage stellt sich, was der Handlungsspielraum bezüglich der Ausphasung bei Gebäuden von einer Nutzdauer von 3 bis 10 Jahren ist.

## Auswertung der Lebenszykluskosten

Die Auswertung von den Lebenszykluskosten wurden mittels einem selbst programmierten Excel-Tool mit dem Ansatz der Auswertungsmethode durch Diagramme ausgewertet.

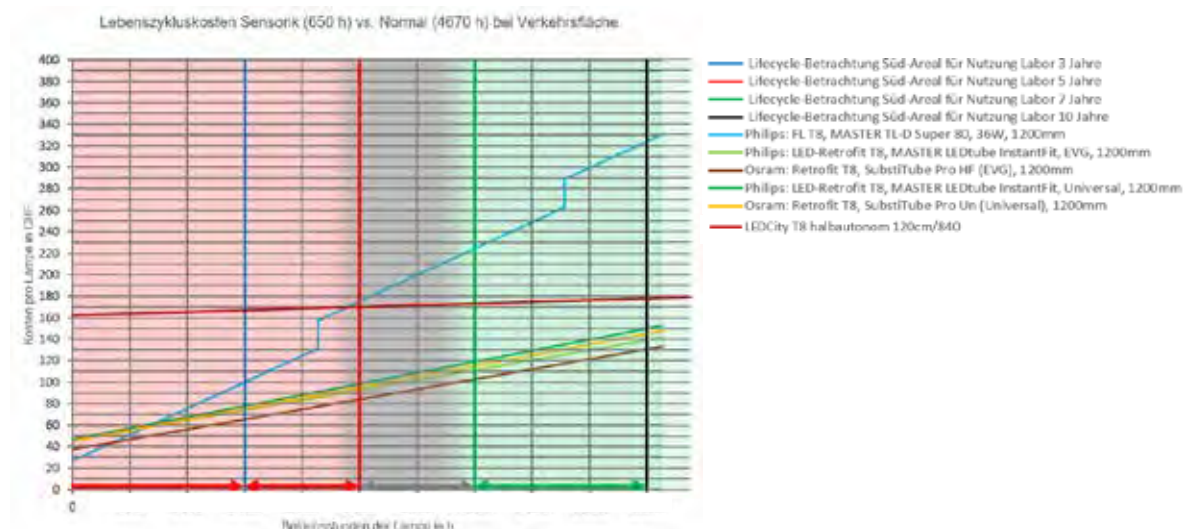


Abb. 1: Lebenszykluskosten - Auswertung mittels Diagrammen

## Auswertung der Lebenszykluskosten für einen Leuchtenersatz

Wirtschaftlich gesehen rentiert die Umrüstung auf LED-Leuchten gegenüber einer bestehenden Beleuchtungsanlage nicht. Diese Aussage basiert auf allen zeitlichen Betrachtungen. Der Grund sind hohe Anschaffungs- und Installationskosten. Die Differenz der Leistungsaufnahme gegenüber den Leuchtstoff-Leuchten ist sehr gering. Die LED-Leuchten stören die Nutzenden weniger als eine eingesetzte LED-Retrofit-Lampe. Bei den LED-Retrofit-Lampen besteht die Gefahr der Blendung. Die LED-Lichtleiste in der Ausführung einer Balkenleuchte rentiert erst ab 10 Jahren und bei 4'670 Volllaststunden im Jahr. Es wird deshalb keine Umrüstung auf LED-Leuchten empfohlen.

### **Auswertung der Lebenszykluskosten für die 2-Stift-Sockel-Systeme**

Die LED-Retrofit-Lampen für die Kompaktleuchtstoff-Systeme rentieren von sofort bis sehr schnell. Die Payback-Zeiten betragen je nach Nutzung maximal 6 Monate. Dies liegt an der Leistungsaufnahme der LED-Retrofit-Lampen und den Kosten einer Retrofit. Die LED-Retrofit G24d-1 verbraucht bis zu 50% weniger elektrische Energie und kostet in etwa gleich viel wie eine CFL. Es wird empfohlen, ab sofort alle defekten CFL durch die LED-Retrofit-Lampen zu ersetzen.

### **Auswertung der Lebenszykluskosten für die LED-Retrofit-Röhren mit Sensorik**

Die LED-Retrofit-Röhre für T8-Systeme rentiert beim Zielwert der SIA 2024 Verkehrsfläche – hier im Beispiel mit 650 Volllaststunden im Jahr – gegenüber einer T8-Leuchtstoff-Röhre mit einer Volllaststunde von 4'760 im Jahr nach 4.8 Jahren. Die Payback-Zeit gegenüber den LED-Retrofit-Varianten für EVG- und Universal-Systeme liegt bei ca. 11 Jahren. Der Ansatz mit der LED-Retrofit-Röhre mit integrierter Sensorik ist deshalb nicht zu empfehlen.

Die LED-Retrofit-Röhre mit integrierter Sensorik gibt es momentan nur als Direktanschluss an 230 V AC. Falls LED-Retrofit-Röhren konzipiert für die EVG-Vorschaltgeräte auf den Markt kommen, ist dieser Ansatz zu prüfen.

### **Auswertung der Lebenszykluskosten für die T5- und T8-LED-Retrofit-Röhren**

T8 LED-Retrofit-Systeme rentieren um 60% schneller als T5 LED-Systeme. Die Auswertung hat gezeigt, dass die Payback-Zeiten der LED-Retrofit-Röhren stark an der Nutzung und deren Volllaststunden abhängen. Ab Volllaststunden von 2'610 im Jahr rentieren die LED-Retrofit-Röhren für das EVG-System vor der Universal-Variante und das vor der ersten Zeiträumbetrachtung von 3 Jahren. Die schnellste Payback-Zeit liefert die Osram für EVG mit 1.33 Jahren. Bei den T8- sowie T5-Systemen ist ein Einsetzen vom EVG-System des Herstellers Osram/LEDVANCE zu empfehlen. Diese bringen die schnellsten Ersparnisse ein. Der Re-Use Fall ist stark an die Nutzung und deren Volllaststunden abhängig. Ab Volllaststunden von 2'610 im Jahr sind sie für einen Re-Use Fall über die Zeiträumbetrachtung von 10 Jahren der gleichen Nutzung geeignet. Die LED-Retrofit-Röhren sind ab 2'610 Volllaststunden im Jahr für den Re-Use Fall zu empfehlen. Die LED-Retrofit-Röhren für den Direktanschluss 230V AC sind nicht zu empfehlen. Die LED-Retrofit-Variante für das EVG-System rentiert dreimal schneller.

### **Auswertung der Lebenszykluskosten für die T5- und T8-LED-Retrofit-Röhren**

Der Ersatz der Leuchtstoffröhren wird nicht empfohlen. Bei hohen Volllaststunden einer Nutzung sind die Leuchtstofflampen gegenüber LED-Retrofit-Röhren nicht wirtschaftlicher. Zudem ist ein Re-Use Fall bei Leuchtstofflampen nicht wirtschaftlich. Die LED-Retrofit-Röhren halten drei Lebenszyklen mehr als die Leuchtstoffröhren.

Mit der vorliegenden Bachelor-Thesis wurden die Möglichkeiten auf heutiger Marktbasis aufgezeigt. Sollten in absehbarer Zeit LED-Retrofit-Röhren für die EVG-Vorschaltgeräte mit integrierter Sensorik auf den Markt kommen, gilt es, diese Variante wie in den Analysen dargelegt, eingehend zu prüfen.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT G\_22\_25  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

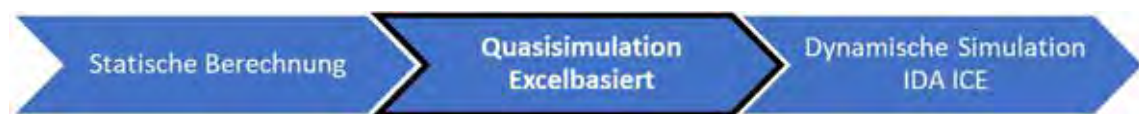
# Simulationen für gesamtheitliche und thermisch optimierte Lösungen in der Phase Vorprojekt

Studierende	Constantin Robert Kannewischer
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Markus Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Simulationen für gesamtheitliche und thermisch optimierte Lösungen in der Phase Vorprojekt

Da in frühen Projektphasen auf Grund von fehlenden Architekturmodellen und Informationen keine dynamische Gebäudesimulation mit Programmen wie IDA-ICE vorgenommen werden können, wird eine «Quasisimulation» im Excel durchgeführt. Diese berechnet analytisch jede Stunde eines Jahres. Dadurch soll schon in den Phasen Vorstudie und Vorprojekt eine vereinfachte thermische Simulation des Gebäudes ermöglicht werden.



Die Quasisimulation wurde im Umfang der interdisziplinären Projektmodulen des Programmes «Bachelor+ 21/22» entwickelt und angewandt. Gewisse Entwurfskriterien können mit einer statischen Berechnung nicht präzise beurteilt werden, deshalb brauchte es eine Berechnungsmethode sich zwischen statischen Berechnungen und dynamischen Simulationen eingliedert. Dadurch können komplexe Fragestellungen trotz den zahlreichen Entwurfsänderungen genügend schnell bearbeitet werden. Im untersuchten Gebäude wird gezielt mit Stampflehm gearbeitet. Ziel ist es Betriebsenergie zu sparen und wenn möglich auf eine Kühlung zu verzichten. Um die notwendige Lehmmasse zu bestimmen, wird die Quasisimulation verwendet.

## Verifizierung der Quasisimulation

Um die Quasisimulation zu verifizieren, wird sie mit einer dynamischen Simulation im Programm IDA-ICE verglichen. Ziel ist eine maximale Abweichung von  $\pm 20\%$  gegenüber der IDA-ICE Simulation. Es werden ausschliesslich die Nutzenergien und -leistungen des Gebäudes betrachtet. Dadurch werden die physikalischen Grundlagen der Quasisimulation überprüft. Der Vergleich erfolgt über Energiekennzahlen und Jahresprofile der thermischen Lasten und Gebäudetemperatur.

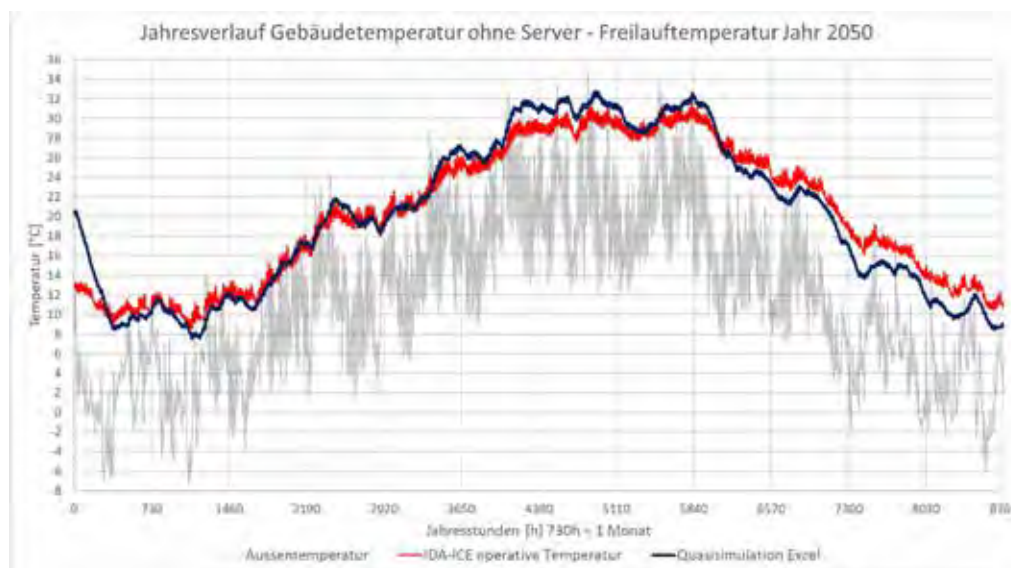


Abb. 1: Vergleich von Freilauftemperaturen IDA-ICE & Quasisimulation – Szenario ohne Server

**BAT G\_22\_25 Simulationen für gesamtheitliche und thermisch optimierte Lösungen in der Phase Vorprojekt**

Insgesamt wurden 5 Szenarien mit je 2 Varianten analysiert. Dadurch wird der Einfluss der thermischer Speichermasse, des Servers mit 25 kW Leistung und der Klimaerwärmung untersucht. So wird ein besseres Verständnis für das Gebäude und die Quasisimulation erarbeitet.

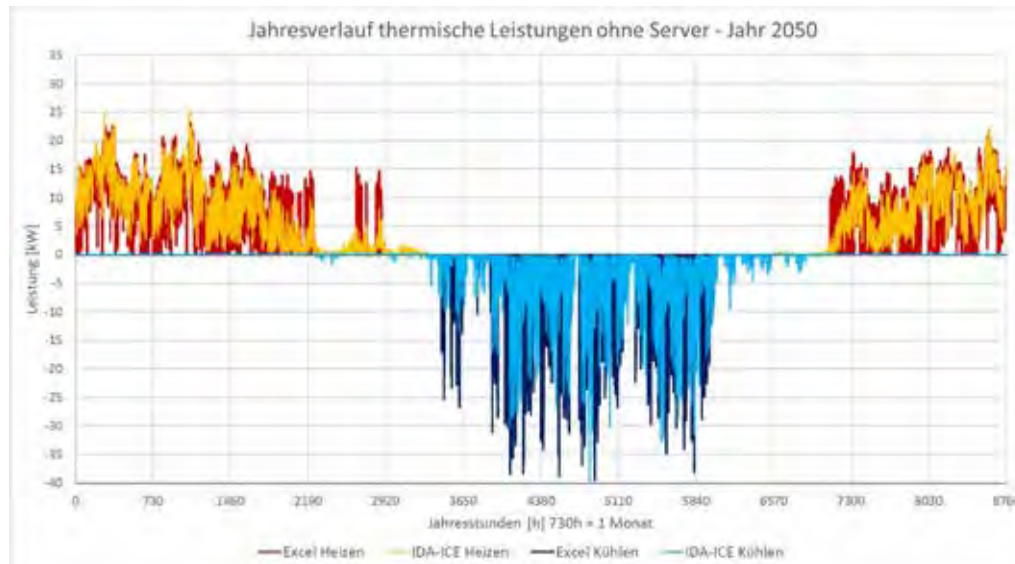


Abb. 2: Vergleich von thermischen Jahreslastprofile IDA-ICE & Quasisimulation – Szenario ohne Server

### Vergleich zu statischen Berechnungen gem. SIA MB 2024.2021

Im Gegensatz zu einer statischen Berechnung mit dem SIA MB 2024.2021, berücksichtigt die Quasisimulation den effektiven Entwurf des Gebäudes. Wie in den Diagrammen ersichtlich ist, generiert die Quasisimulation mehr Informationen als eine statische Berechnung. Gleichzeitig werden tendenziell genauere Werte berechnet im Vergleich mit einer dynamischen IDA-ICE Simulation, gerade mit einem Blick in die Zukunft und der zu erwartenden Klimaerwärmung.

Tabelle 1: Vergleich von Energiekennzahlen pro m<sup>2</sup> EBF – Szenario ohne Server

Jahr 2050	IDA-ICE Simulation	Quasisimulation		SIA MB 2024.2021	
Heizenergie	25.9 kWh/m <sup>2</sup>	27.6 kWh/m <sup>2</sup>	+6.41%	26.6 kWh/m <sup>2</sup>	+2.61%
Kühlenergie Raum	9.7 kWh/m <sup>2</sup>	9.1 kWh/m <sup>2</sup>	-5.81%	8.8 kWh/m <sup>2</sup>	-9.26%
max. Heizlast	18 W/m <sup>2</sup>	17 W/m <sup>2</sup>	-4.36%	13 W/m <sup>2</sup>	-29.46%
max. Kühllast	29 W/m <sup>2</sup>	30 W/m <sup>2</sup>	+2.84%	22 W/m <sup>2</sup>	-23.80%
Energie Geräte	14.6 kWh/m <sup>2</sup>	16.1 kWh/m <sup>2</sup>	+10.55%	18.1 kWh/m <sup>2</sup>	+23.74%
Energie Beleuchtung	6.4 kWh/m <sup>2</sup>	6.6 kWh/m <sup>2</sup>	+2.92%	3.8 kWh/m <sup>2</sup>	-40.48%
Energie Elektro total	21.0 kWh/m <sup>2</sup>	22.7 kWh/m <sup>2</sup>	+8.22%	21.9 kWh/m <sup>2</sup>	+4.12%

**BAT G\_22\_25 Simulationen für gesamtheitliche und thermisch optimierte Lösungen in der Phase Vorprojekt****Nutzen der Quasisimulation**

Mit den erarbeiteten Grundlagen kann die Quasisimulation mit einer phasengerechten Genauigkeit gegenüber einer dynamischen Simulation mit folgenden Vorteilen im Planungsprozess angewendet werden:

- Eine vereinfachte thermische Simulation eines Gebäudes wird bereits in den frühen Planungsphasen wie Vorstudien und Vorprojekt ermöglicht.
- Die Quasisimulation berechnet genauere Jahresenergien und Spitzenleistungen als eine statische Berechnung gemäss SIA MB 2024.2021 und generiert zusätzliche Informationen in Form von Jahreslastprofilen und Temperaturverläufen.
- Die Quasisimulation kann in einem Arbeitstag aufgebaut werden. Der Einfluss von Entwurfsänderungen wird innert Sekunden verarbeitet. Dadurch kann sie auf die zahlreichen Entwurfsänderungen genügend schnell reagieren und kann somit als Diskussionsgrundlage und Planungstool bei interdisziplinären Planersitzungen verwendet werden.
- Die Quasisimulation ist individuell erweiterbar. Dadurch können auch erste Beurteilungen verschiedener Energiekonzepte gemacht werden.
- Das thermische Verhalten des Gebäudes kann schnell sowohl in der Gegenwart wie auch in der Zukunft untersucht werden. Dadurch wird die Entwicklung eines zukunftstauglichen Energiekonzept unterstützt.

**Ausblick**

Im Umfang dieser Arbeit wird gezeigt, dass die Quasisimulation eine gute Annäherung an eine dynamische Simulation des untersuchten Gebäudes ist und somit funktioniert. Bei der Berechnung von externen Gewinnen ist noch Verbesserungspotenzial vorhanden. Um die Aussagen und die Berechnungswege zu härten, muss die Quasisimulation an verschiedenen Gebäudetypen und Projekten getestet und überprüft werden. Dazu gehört auch der Vergleich mit einem im Betrieb stehenden Gebäude, da keine Simulation der Realität entspricht.





Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT\_G\_22\_26  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Instrument zur energetischen und wirtschaftlichen Photovoltaik-Thermie Optimierung

Studierende	Jalina Rubli
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Prof. Volker Wouters
Experte	Markus Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Instrument zur energetischen und wirtschaftlichen Photovoltaik-Thermie Optimierung

**Die thermische Solaranlage und die Photovoltaik sind in der Praxis weit verbreitet und bekannt. Ihre Kombination in einem photovoltaisch-thermischen System wird seltener eingesetzt. Es stellt sich die Frage, ob eine Photovoltaik-Thermie gegenüber anderen Solarsystemen nicht konkurrenzfähig ist.**

Diese Arbeit geht der Frage nach, ob die Photovoltaik-Thermie gegenüber anderen Solarsystemen konkurrenzfähig ist. Sie hat zum Ziel eine ökologische und ökonomische Gesamtbeurteilung für das optimale Solarsystem zu evaluieren. Dafür wird eine auf Excel basierende Rechenhilfe erarbeitet, womit mehrere Solarsysteme direkt verglichen werden können. Die Berechnungen ermitteln eine Gesamtbeurteilung für jedes Solarsystem. Die Wertung dafür erfolgt durch mehrere Kriterien im Bereich der Ökologie und der Ökonomie. Die Rechenhilfe beschränkt sich auf Flachdächer von Verwaltungsbauten und lässt sich in der Phase Vorprojekt anwenden.

## Motivation und Ausgangslage

Im Vorbereitungsmodul «Interdisziplinäre Projektarbeit 2» wurde während sechs Wochen das Grundlagenprojekt «Verflechtung» entwickelt. Aus der Tatsache heraus, dass kühlere Photovoltaikmodule einen besseren Wirkungsgrad haben und die Prämisse einer möglichst hohen Energieautarkie gilt, wurde eine photovoltaisch-thermische Anlage eingesetzt. Das geschah ohne einen Vergleich zwischen den Solarsystemen. Die Rechenhilfe soll, durch diesen Vergleich, aufzeigen, ob die Photovoltaik-Thermie das optimale Solarsystem für das Grundlagenprojekt ist. Sie kann als generische Rechenhilfe auch auf anderen Projekten angewendet werden.

## Die Rechenhilfe

Die Rechenhilfe setzt gewisse technische Grundkenntnisse aus der Gebäudetechnik voraus. Funktion und Aufbau einer Photovoltaik- und Solarthermieanlage müssen bekannt sein. Die Nutzungsgruppe beschränkt sich deshalb vorallem auf Fachpersonen aus der Gebäudetechnik.

Die Struktur der Rechenhilfe dient der Verständlichkeit und gliedert sich in folgende Register:

- Anleitung
- Eingabedaten
- Bilanz
- Anhänge

Die Anleitung informiert über Struktur und Registerinhalt der Rechenhilfe. Im Register Eingabedaten befinden sich die Berechnungsgrundlagen. Sofern keine projektspezifischen Eingaben gemacht werden, stützt sich die Rechenhilfe auf Standardwerte. Das Register Bilanz enthält die Auswertung und die Empfehlung zum optimalen Solarsystem. Die Anhänge bilden die Grundlagedaten und die Berechnungsschritte ab.

## Auswertung Grundlagenprojekt «Verflechtung» aus dem Modul IP2

Bei alleiniger Betrachtung der Prämisse der Autarkie war das gewählte System der Photovoltaik-Thermie im Grundlagenprojekt korrekt. Die Photovoltaikanlage erzielt jedoch eine deutlich höhere Gesamtbewertung. Bei Betrachtung aller Kriterien (vgl. Abb. 1), fällt auf, dass die Photovoltaik



ebenfalls einen hohen Autarkiegrad aufweist. Die elektrische Autarkie liegt sogar höher als bei der Photovoltaik-Thermie, welche vorallem durch die zusätzliche Wärmeautarkie überzeugt.

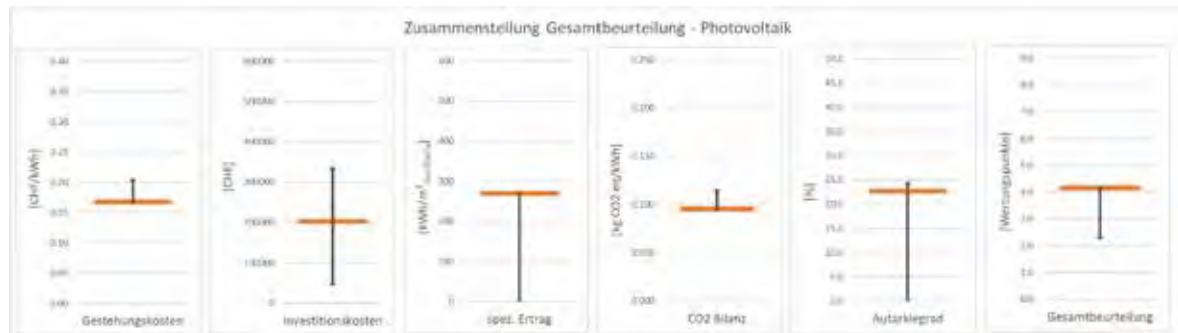


Abb. 1: Zusammenstellung Gesamtbeurteilung Grundlagenprojekt

Mit dem vorhandenen Serverraum und der Nutzung Verwaltung ist das Gebäude wesentlich stärker auf den Strom als auf die Wärme ausgerichtet. Der elektrische Autarkiegrad ist damit elementar. Die Photovoltaik überzeugt auch ökonomisch und wäre für das Grundlagenprojekt besser geeignet. Wegen der deutlich besseren Gesamtbeurteilung sollte die geplante Photovoltaik-Thermie durch eine Photovoltaikanlage ersetzt werden. Die Hypothese, dass ein Photovoltaik-Thermie System gegenüber den anderen Solarsystemen konkurrenzfähig ist, erfüllt sich in diesem Projekt teilweise. Das System schneidet zwar nicht als optimales System ab, kann durch den Schwerpunkt der Autarkie trotzdem als gewähltes System hervorgehen.

### Fazit und Ausblick

Das Ziel, eine generische Rechenhilfe für den Vergleich der Solarsysteme in einem Verwaltungsgebäude zu entwickeln, wurde erreicht. Die Rechenhilfe kann mit wenigen Angaben angewendet werden und macht durch die Gesamtbeurteilung eine Systemempfehlung. Dabei berücksichtigt sie einige Rahmenbedingungen, die sich einerseits aus dem Grundlagenprojekt «Verflechtung» ableiten lassen und andererseits den Umfang und die Komplexität eingrenzen. Die Rechenhilfe stützt sich stark auf die gewählten Solarmodule, was bei Modulen unterschiedlicher Ertragsqualität einen grossen Fehlerbereich in der Auswertung zur Folge hat. Durch den Einsatz von Modulen aus Schweizer Firmen wurde versucht einem Qualitätsunterschied entgegenzuwirken. Trotzdem sollte die Modulwahl und deren Spezifikationen in einem weiteren Schritt genauer untersucht werden. Anstatt auf Schweizer Firmen zu setzen, wäre eine Möglichkeit die Modulauswahl vom gleichen Hersteller zu verwenden, wodurch die Modulgrösse und die Qualität wahrscheinlich ähnlich ist und der Fehlerbereich minimiert wird. Weiter sollte der Einsatz einer Strom- oder Wärmespeicherung aus der Berechnung ausgeschlossen werden können, da bei grossem täglichem Strom- oder Wärmebedarf eine Speichermöglichkeit nicht rentiert. Der Anwendungsbereich der Rechenhilfe ist durch die Rahmenbedingungen begrenzt. Das empfohlene System muss deshalb zwingend mit weiteren Kriterien, wie der zukünftigen Strompreisentwicklung, Einbindung der Wärme in ein Arealnetz oder monetäre Unterstützungen durch den Staat, abgeglichen werden, bevor ein definitiver Systemscheid getroffen wird.



Fachartikel zur  
Bachelor-Thesis BAT G\_22\_27  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Vergleich von dezentralen Lüftungsanlagen zu dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlagen in Verwaltungsbauten

Studierende	Raphael Schnieper
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Markus Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Vergleich von dezentralen Lüftungsanlagen zu dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlagen in Verwaltungsbauten

**In Verwaltungsbauten können unterschiedliche Lüftungssysteme zur Belüftung eingesetzt werden. Um das optimale Lüftungssystem für ein Gebäude zu ermitteln, sind die Lüftungssysteme in Bezug auf die Ökonomie, die Ökologie sowie den Komfort zu vergleichen.**

Im Modul IP2 des Bachelor+ wurde ein Verwaltungsbau geplant. Für die Belüftung des Gebäudes wurde eine dezentrale Lüftungsanlage vorgesehen. Im Verlauf des Planungsprozesses wurde auch eine dezentrale Zuluft- und zentrale Abluftanlage diskutiert. Die Bachelorthesis befasst sich nun mit der Aufgabe, die beiden Lüftungssysteme für das Bachelor+-Projekt der Gruppe B zu vergleichen und das besser geeignete Lüftungssystem zu ermitteln. In einem weiteren Schritt soll die Wahl des Lüftungssystems im Bachelor+-Projekt anhand des Resultats beurteilt werden. Für den Vergleich der Lüftungssysteme ist ein Tool zu erarbeiten.

## Methodisches Vorgehen

Der Vergleich und die Entscheidungsfindung erfolgte mit einer Nutzwertanalyse. Zu Beginn wurde die Definition der beiden Lüftungssysteme formuliert. Anschliessend wurden die Merkmale der Lufterneuerung einer zentralen und einer dezentralen Lüftungsanlage betrachtet. Danach konnten aus diesen Merkmalen die Kriterien für den Vergleich abgeleitet werden. Als nächstes wurden die Berechnungen der Kriterien im Vergleichstool erarbeitet. Anschliessend wurde das Bewertungsraster gebildet und die Kriterien bewertet. Im Anschluss wurde die Präferenzmatrix der Kriterien erstellt. Danach wurde die Nutzwertanalyse erarbeitet und anhand der Bewertung der Kriterien sowie der Präferenzmatrix eine Empfehlung für ein Lüftungssystem abgegeben. Zum Schluss wurde mit einer Sensitivitätsanalyse die Empfindlichkeit des Resultats der Nutzwertanalyse in Bezug auf die ökonomischen Berechnungen untersucht.

## Lüftungssysteme

Im Vergleich werden zwei Lüftungssysteme betrachtet. Bei der dezentralen Lüftungsanlage (vgl. Abb. 1) werden sämtliche Räume mit einem oder mehreren dezentralen Lüftungsgeräten ausgestattet und unabhängig von den anderen Räumen gelüftet. Bei der dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlage (vgl. Abb. 2) wird die Zuluft dezentral mit einem oder mehreren Zuluftgeräten in die Räume eingebracht. Die Abluft wird danach über Lufteinlässe in den Räumen gefasst und über die zentrale Abluftanlage abgeführt

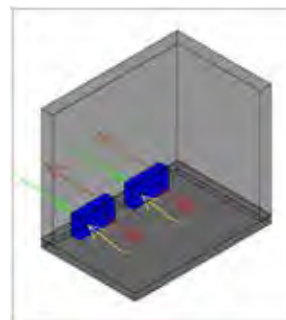


Abb. 1: Dezentrale Lüftungsanlage

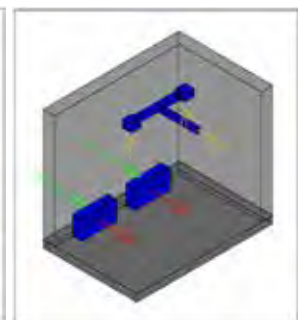


Abb. 2: Dezentrale Zuluft- und zentrale Abluftanlage

## Grundlagen

Als Grundlage wurden die Daten aus dem Bachelor+-Projekt der Gruppe B verwendet. Zusätzlich wurden bei Herstellern / Lieferanten Werte angefragt oder basierend auf Normen, Richtlinien und Skripten festgelegt werden. Wenn keine Grundlagen vorhanden waren, wurden Annahme oder Abschätzungen getroffen.

## **BAT G\_22\_27 Vergleich von dezentralen Lüftungsanlagen zu dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlagen in Verwaltungsbauten**

### **Kriterien**

Die beiden Lüftungssysteme wurden anhand verschiedener Kriterien verglichen. Die Kriterien wurden in die Aspekte Kosten, Qualität und Zeit eingeteilt. Unter dem Aspekt Kosten wurden die Kapitalkosten für die Erstellung, den Raumbedarf und für den Schallschutz gegen Anlagegeräusche der Lüftungsanlage betrachtet. Weiter wurden die Betriebskosten sowie die Wartungs- und Unterhaltskosten der Lüftungsanlagen angeschaut. Beim Aspekt Qualität wurde die Ökologie der Lüftungsanlagen in der Erstellung und im Betrieb untersucht. Zudem wurde der Flächen- und Raumbedarf, die Flexibilität der Raumeinteilung, der Eingriff in die Bausubstanz, die Ventilatoren und Wärmerückgewinnung sowie die Schallemissionen der Lüftungsanlagen betrachtet. Im Aspekt Zeit wurde die Dauer für die Erstellung der Lüftungsanlage sowie die Lieferfristen der Komponenten der Lüftungsanlage angeschaut.

### **Bewertungsraster**

Zur Bewertung der Kriterien wurde ein dynamisches Bewertungsraster mit 0 – 10 Punkten (0 Punkte am schlechtesten, 10 Punkte am besten) festgelegt. Die untere und obere Grenze des Bewertungsrasters ist von den Resultaten des jeweiligen Kriteriums abhängig. In Abhängigkeit der Resultate der Kriterien wurde das Bewertungsraster dadurch automatisch angepasst. Zusätzlich wurden für die untere und obere Grenze statische Werte berücksichtigt. Damit konnten spezifische Werte von anderen Systemen in das Bewertungsraster einbezogen werden.

### **Präferenzmatrix**

Die Kriterien wurden in einer Präferenzmatrix gegeneinander paarweise verglichen. Kriterien, welche gleich wichtig waren, wurden beide mit einem Punkt bewertet. Wenn ein Kriterium wichtiger war als das andere, wurde das wichtigere Kriterium mit 2 Punkten und das weniger wichtige Kriterium mit 0 Punkten bewertet. Aus den Punkten wurde in einem nächsten Schritt die gesamte Punktzahl je Kriterium gebildet und der Gewichtungsfaktor ermittelt.

### **Nutzwertanalyse**

In der Nutzwertanalyse wurden die mit dem Bewertungsraster ermittelten Punktzahlen und die Gewichtungsfaktoren aus der Präferenzmatrix je Kriterium und Lüftungssystem zusammengetragen. Danach wurde aus den gewichteten Punktzahlen die Gesamtpunktzahlen der Lüftungssysteme gebildet. Die dezentrale Lüftungsanlage liegt bei 3.8 Punkten. Die Gesamtpunktzahl der dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlage bei 2.2 Punkten. Damit empfiehlt sich für das Bachelor+-Projekt der Gruppe B der Einsatz der dezentralen Lüftungsanlage.

### **Sensitivitätsanalyse**

Die Sensitivitätsanalyse wurde in Bezug auf den Kapitalzins, die Energiepreissteigerung und die allgemeine Preissteigerung durchgeführt. Die Analyse hat gezeigt, dass die Gesamtpunktzahl der Lüftungssysteme nur geringfügig variiert. Die Gesamtpunktzahl der dezentralen Lüftungsanlage liegt nahezu immer bei 3.8 Punkten. Die Gesamtpunktzahl der dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlage sank mit zunehmendem Kapitalzins von 2.3 Punkten auf 2.1 Punkte ab. Die Nutzwertanalyse weist folglich eine geringe Empfindlichkeit bezüglich der variablen Werte der ökonomischen Berechnungen auf.

### **Fazit**

Der Vergleich hat für das Bachelor+-Projekt ergeben, dass die dezentrale Lüftungsanlage der dezentralen Zuluft- und zentralen Abluftanlage vorzuziehen ist. Das empfohlene und das geplante Lüftungssystem stimmen dementsprechend überein. Demzufolge wurde im Bachelor+-Projekt der Gruppe B die richtige Wahl getroffen und das besser geeignete Lüftungssystem vorgesehen.

WAS

WER

Fachartikel zur  
Master-Thesis MAT  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Dichtheit von Reinräumen und Komponenten

## - Messverfahren für Inbetriebnahme und Überwachung im Betrieb -

Studierende	Marie-Teres Moser
Dozierende	Prof. Dr. Heiner Manz Martin Hämmerle
Experte/-in	Dr. Stefan Barp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Master-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Dichtheit von Reinräumen und Komponenten

## - Messverfahren für Inbetriebnahme und Überwachung im Betrieb -

**Wenn die geforderte Qualität von einem Produkt bei deren Herstellung und Verarbeitung in normal kontrollierter Umgebung nicht sichergestellt werden kann, wird ein Reinraum notwendig; ebenfalls wenn mit Substanzen gearbeitet, von denen Gefahr für das Personal oder die Umwelt ausgeht. Durch geregelte Klimatechnik werden Temperatur, Luftfeuchte und Lufthygiene kontrolliert. Mit Hochleistungsfiltern werden luftgetragene Partikel und Keime aus der Luft gefiltert, um vor allem sensible Materialien oder Stoffen nicht zu verunreinigen. Durch Personal, Maschinen oder der Herstellung des Produktes an sich, wird der Reinraum mit Partikeln belastet, die mit einem entsprechenden Luftwechsel abgeführt werden müssen. Aus energetischen Gründen wird empfohlen die Dichtheitsklasse 1 einzuhalten.**

In der Praxis wird in der Planung eines Reinraums die Dichtheit nicht betrachtet. Dies führt zu teilweise sehr undichten Reinräumen und dadurch zu Problemen bei der Einregulierung der Lüftungsanlage oder zur Verfehlung der Qualifizierung der ISO- oder GMP-Klasse. In der Schweiz gibt es keinen nationalen Standard, welcher die Dichtheit im Reinraum beschreibt. In Deutschland wird die Dichtheit im Reinraum in der VDI Richtlinie 2083 im Blatt 19 abgehandelt. Die Richtlinie stellt Dichtheitsklassen vor, die sich an den in der Gebäudetechnik bestehenden Dichtheitsklassen orientieren. Weiterhin wird beschrieben, welche Messmethoden für die Bestimmung der Klassen angewandt werden können. Die Messverfahren orientieren sich wiederum an bestehenden Dichtheitsmessverfahren für Gebäude. An einem Fallbeispiel werden diese Methoden angewandt, um Erkenntnisse hinsichtlich der Leckageverteilung auf Einzelkomponenten zu erhalten.

### Fallstudie- Dichtheitsmessung für Erstqualifizierung

Aus den Messungen wird ersichtlich, dass die Schleusen und Türen sowie die Laminaflow-Umluft Decke den grössten Teil der Leckage darstellen. Erstaunlich ist jedoch, dass die restlichen Einzelleckagen rund 20 % des Gesamtlecks ausmachen. Mit weiteren Fallbeispielen und Messungen der Dichtheit von Einzelkomponenten kann eine Datenbank für Planer erstellt werden, um zu vermeiden, dass Reinräume weiterhin undicht gebaut werden.



Abb. 1: Fallstudie: Reinraum mit Laminaflow Decke



Zusätzlich wird analysiert welchen Effekt Leckagen auf den Energiebedarf des Reinraums haben. Es stellt sich heraus, dass vor allem in den niedrigen ISO-klassifizierten Reinräumen die Leckagen einen hohen Einfluss haben. Durch Reduktion der Leckageklasse von 0 auf 1 kann bis zu 60 % der Energie, die zum Kompensieren der Leckage benötigt wird, eingespart werden. Bezogen auf den Zuluftenergiebedarf macht diese Reduktion bis zu 40 % aus.

### Dichtheitsmonitoring – Überwachung der Dichtigkeit mit Spurengasen

Die VDI Richtlinie beinhaltet keine Messverfahren für eine kontinuierliche Überwachung der Dichtigkeit, sie schlägt eine regelmässige Wiederholung der Dichtheitsmessung vor. Da bei den herkömmlichen Messverfahren für die Gesamtleckage die Lüftungsanlage ausgeschaltet werden muss, muss eine Requalifizierung erfolgen. Diese ist meist mit viel Aufwand und Kosten verbunden. Daher setzt sich die Masterarbeit mit Messmethoden auseinander, welche keinen Unterbruch des Betriebes mit sich bringen. Die Überwachung der Dichtigkeit soll mithilfe von Spurengasen erfolgen. Um zu zeigen, dass Spurengasmessungen für Reinraumkonditionen anwendbar sind, werden erste Testmessungen an einem Lehrmodell durchgeführt, welche sich als erfolgreich erwiesen haben.

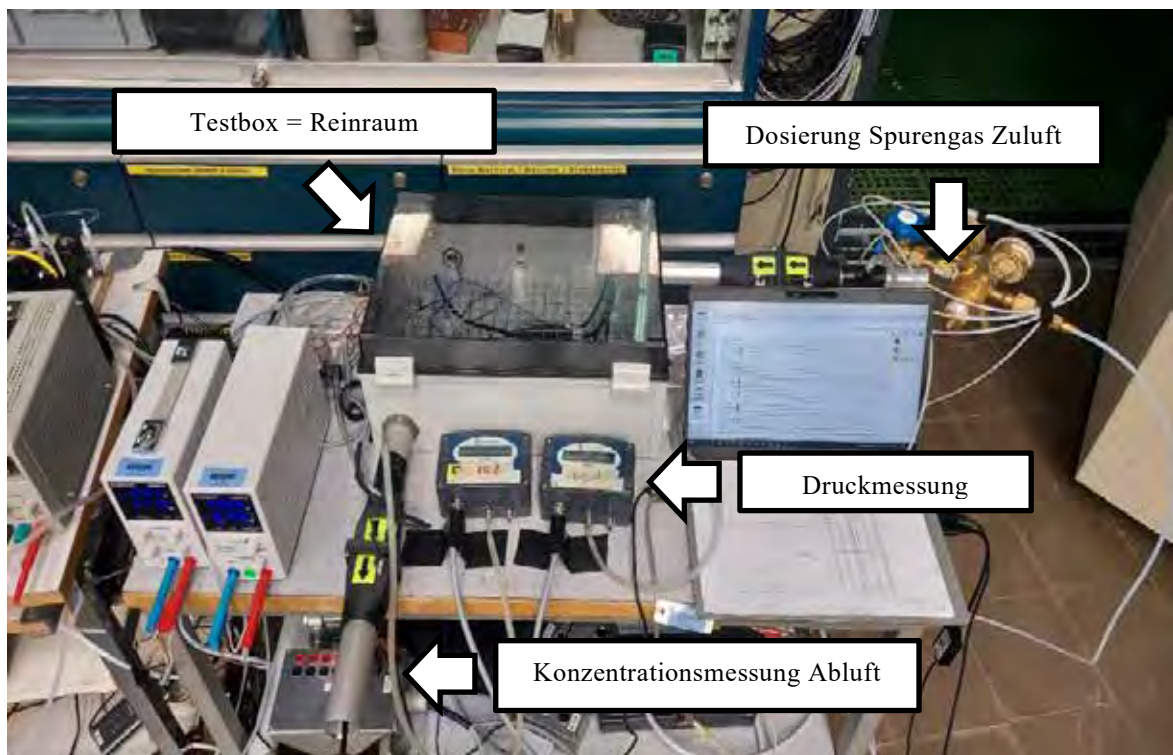


Abb. 2: Testmessungen Dichtheitsmonitoring mit Spurengasen

Weitere Methoden für die Überwachung der Dichtigkeit wurden getestet und die Validierung der Messergebnisse ist noch ausstehend. Andere Ansätze mit Spurengas sind derzeit noch in der Entwicklung.

## Fazit und Ausblick

Die Spurengasmethode ist zu empfehlen, wenn hohe Dichtheitsanforderungen kombiniert mit Unterdruck für den Reinraum gefordert werden. Diese Anforderungen werden meistens für Biosicherheitslabore der Stufe 3 und 4 (BSL3, BSL4) gestellt. Zur Erst-Qualifizierung für Räume der Dichtheitsklasse 0 bis 2 eignet sich durchaus die Konstantdruckmethode. Eine Überwachung der Dichtheit mittels Ermittlung der Volumenströme durch die Volumestromregler oder regelmässige Messungen des Volumenstroms an den Auslässen ist möglich. Die Leckagen der Einzelkomponenten spielen, wie in der Fallstudie aufgezeigt wurde, eine wichtige Rolle für die Gesamtdichtheit. Eine sorgfältige Montage und gutes Schnittstellenmanagement könnten zu wesentlich dichteren Räumen führen. Hierzu benötigt es jedoch eine wesentlich bessere Datenlage der Dichtheit der Produkte im eingebauten Zustand. Aus energetischer Sicht ist für jeden Reinraum mindestens Dichtheitsklasse 1 empfehlenswert. Die Dichtheit im Unterdruck wird wichtig, wenn Partikel oder andere Verunreinigungen, die aus der Umgebung angesogen werden, einen negativen Einfluss auf die Qualität des Produktes haben können. Die Dichtheit im Überdruck wird vor allem relevant, wenn im Raum mit umweltschädlichen Produkten oder Chemikalien gearbeitet wird, welche nicht in die Umwelt gelangen dürfen. Meist wird jedoch bereits durch die Risikoanalyse eine dichtere Klasse entsprechend dem Prozess im Raum gewählt. Von Vorteil wäre, wenn die energetische Betrachtung ebenso in die Risikoanalyse und die Ermittlung der benötigten Dichtheitsklasse mit einbezogen wird.





Fachartikel zur  
Master-Thesis MAT\_G\_22\_Feigenwinter  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

## Kühlung mit (Nacht-) Lüftung in der Schweiz

Studierende	Jérôme Feigenwinter
Dozierende	Prof. Dr. Heiner Manz
Experte/-in	Dr. Karim Ghazi Wakili
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Master-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Kühlung mit (Nacht-) Lüftung in der Schweiz

Elektrische Energie ist heute ein Gut, welches mit einer gewissen Selbstverständlichkeit bezogen wird. Obwohl ein optimierter Energieverbrauch aktiv angestrebt wird, ist eine Verminderung des Komforts nicht gewünscht. Um die Komfortziele ganzjährig in Gebäuden zu erreichen, kommen heute zusätzlich zu Heizungsanlagen Kühlinstallationen zum Einsatz. Da die Gebäude in den meisten Fällen mit solchen Anlagen nicht ausgerüstet sind, erhöht sich trotz Umbauten und Sanierungen der Gesamtenergiebedarf vom Gebäude. Die Masterthesis beschäftigt sich mit einem System, welches den Bedarf an Kühlenergie ohne zusätzlichen Aufwand von elektrischer Energie reduziert lässt. Die Rede ist dabei von der sogenannten Nachtauskühlung.

## Das Planungsinstrument

Die Nutzung der Nachtauskühlung ist eine Möglichkeit, wie sich der Energiebedarf für die sommerliche Kühlung von Räumen reduziert lässt. Oftmals ist es nicht möglich, ohne aufwändige Simulationen den Effekt und energetische Nutzen aufzuzeigen. Im Rahmen der Masterthesis fand eine Entwicklung eines Planungsinstruments statt, welches Aussagen bezüglich Potentials, Kühlwirkung und der Einsatzzeitpunkte der Nachtauskühlung angibt.

Die Basis für das Planungsinstrument bilden die typischen Energieflüsse, die in einem Gebäude vorhanden sind (siehe dazu Abbildung 1). Darunter zu verstehen sind die Wärmeverluste über Lüftungsanlagen und die Umschliessungsflächen, sowie die Wärmegewinne durch externe Einträge, Heizungssysteme und die internen Lasten von Personen und Geräten. Zudem spielt auch die Speicherfähigkeit (Wärmeaufnahme und Wärmeabgabe des Gebäudes) eine entscheidende Rolle.

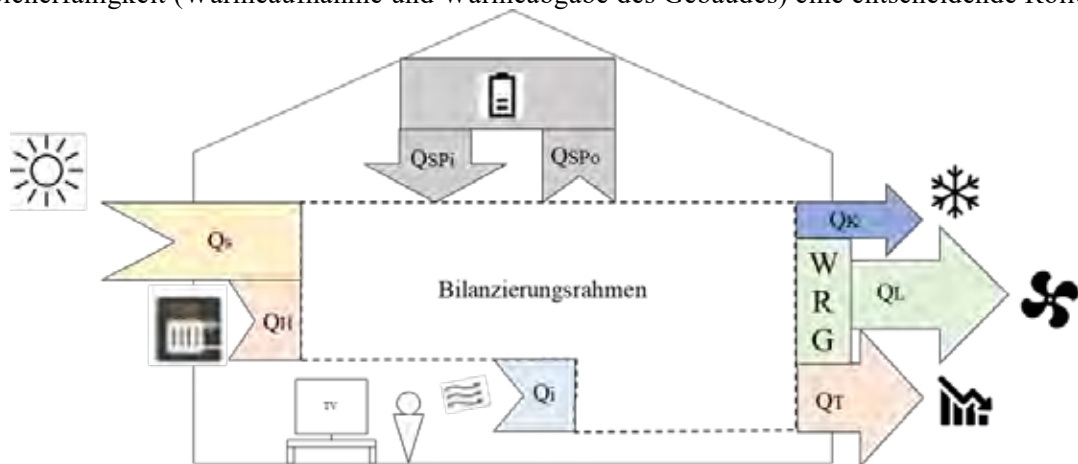
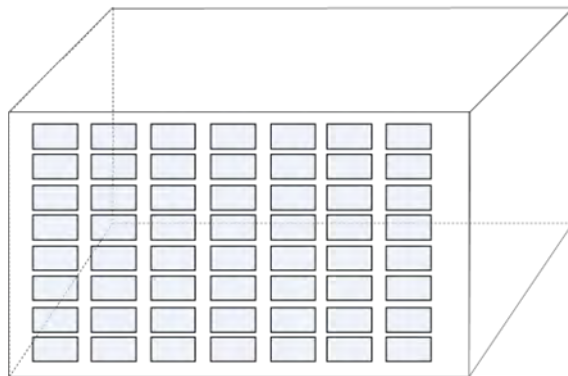


Abb. 1: Wärmestrommodell Masterthesis

Im Rahmen der Entwicklung vom Planungsinstrument ist eine Detailanalyse aller in der Abbildung 1 erkennbaren Wärmeströme erfolgt. Die ausgewählten Berechnungsweisen und deren Wirkung sind an einem Anwendungsbeispiel mit einem Simulationsprogramm verglichen worden. Daraus resultiert, dass die Unterschiede zwischen den beiden Methoden sehr marginal ausfallen. Zurückzuführen ist dies zum einen unterschiedliche Berechnungswege, zum anderen verfügt das Simulationsprogramm über die Möglichkeit, instationäre Verhältnisse zu berechnen. Es ist aufgrund der Unterschiede zu empfehlen, dass das Planungsinstrument nur für Abschätzungen und Konzeptentscheide in einer frühen Projektphase genutzt wird. Schreitet das Projekt in der Planung weiter voran, ist eine Kontrolle mittels einem geeigneten Simulationsprogramm durchzuführen.

### Die Möglichkeiten des Planungsinstruments

Die Vorteile des Planungsinstruments liegen in der einfachen Anwendungsmöglichkeit. So ist es mit wenigen Angaben möglich (siehe dazu Aufführung in der Abbildung 2), ein Referenzkörper zu generieren und mit wenigen Veränderung eine Prüfung verschiedener Konzeptlösungen für die Nachtauskühlung durchzuführen. So sind für das Anwendungsbeispiels (siehe dazu Abbildung 2) eines Bürogebäude mehrere nachfolgend aufgeführte Vergleiche erfolgt.



- Höhe: 20.0m (8 Stockwerke)
- Breite: 100.0m
- Tiefe: 20.0m
- Fensterfläche: 2.0m x 1.6m = 3.2m<sup>2</sup>, 56Stk.
- Rahmenanteil: 30%
- Ausrichtung: Süd
- Bauweise: schwer
- Deckendicke: 20cm
- Klimastation: Zürich Kloten
- Lüftungsart: mechanische Lüftung
- Nutzung: Einzelbüros
- Starttemperatur: RT = 21°C, Raumtemperatur im Sommer < 24°C
- Luftdichtheit GH: n50 < 0.6
- Nachtauskühlung: Ja, wenn RT > 25°C und Traum - Taul ≥ 3K, n = 31/h
- WRG: immer aktiv, η = 80%
- Sonnenschutz: Lamellenstoren aussenliegend, Kategorie 3 aktiv, wenn Globalstrahlung > 150W/m<sup>2</sup>
- Keine höheren umliegenden Bauten, Fenster nicht durch Balkone oder Leibungen verschattet, Horizont vernachlässigt.

Abb. 2: Referenzgebäude inkl. Den notwendigen Vorgaben

Ein erster Vergleich bezieht sich auf den Konzeptentscheid des Nachtauskühlungssystems. Dafür gibt es die Variante der Fensterlüftung oder dem Betrieb einer mechanischen Lüftungsanlage. Beim Vergleich zeigt sich, dass mit der Fensterlüftung eine bessere Auskühlung erzielt wird, als wenn eine mechanische Lüftungsanlage zum Einsatz kommt (siehe dazu Detailausschnitt Abbildung 3).

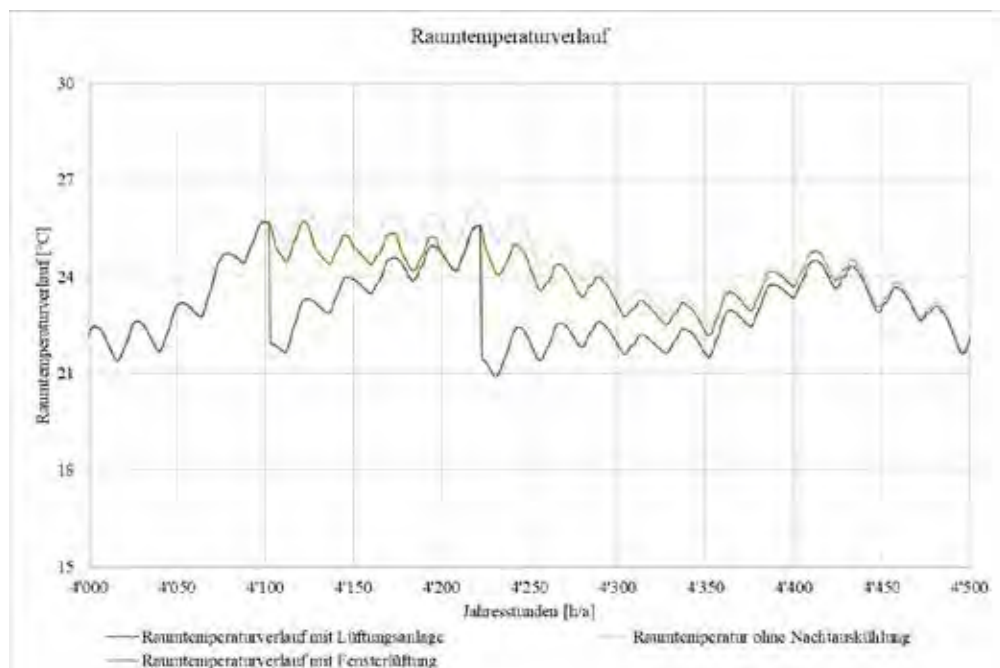


Abb. 3: Detailausschnitt aus dem Vergleich der Raumtemperaturverläufe

Weiter lässt sich mit dem Planungsinstrument auch das vorliegende Potential für die Nachtauskühlung ermitteln. Dabei ist für das Anwendungsbeispiel zu erkennen, dass die regeltechnische Freigabe der Nachtauskühlung einen starken Einfluss auf das nutzbare Potential aufweist (siehe dazu Abbildung 4). Wichtig ist jedoch, dass die Raumtemperatur nicht unter die definierten Behaglichkeitsgrenzen absinkt. Dies ist mittels einer Überwachung der Raumtemperatur sicherzustellen.

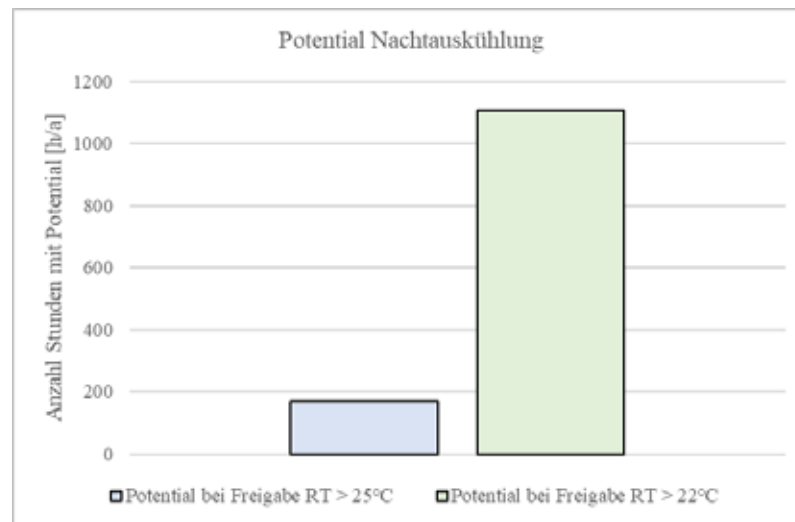


Abb. 4: Vergleich des Kühlpotentials in Abhängigkeit der Freigabe

Aus der Auswertung des Planungsinstruments geht zudem hervor, dass mit der Nachtauskühlung eine Reduktion des Kälteenergiebedarfs von rund 35% erfolgt (siehe dazu Abbildung 5). Diese Verringerung wirkt sich auch auf die entstehenden Betriebskosten aus. Wenn die Wirkung der Nachtauskühlung bereits in die Planung des notwendigen Kälteleistungsbedarfs integriert wird, lassen sich zudem die Investitionskosten der Kälteanlage senken.

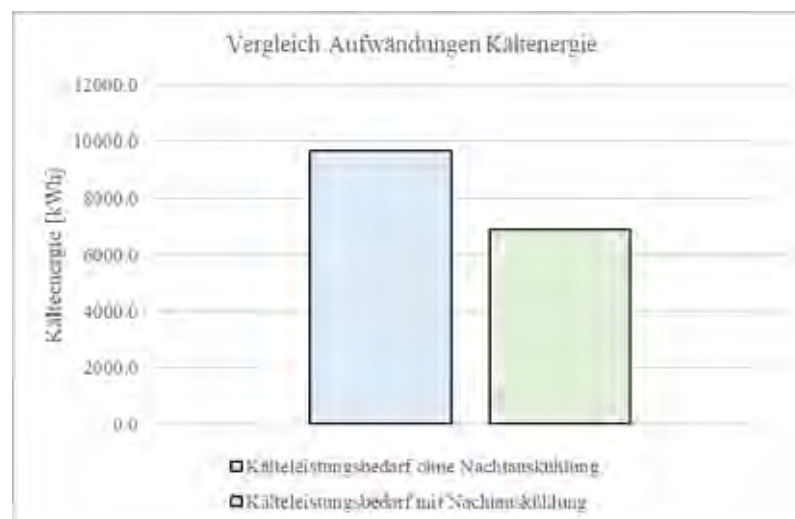


Abb. 5: Vergleich des Kälteenergieverbrauchs mit und ohne Nachtauskühlung

Wie die oben aufgeführten Beispiele zeigen, ist es mit dem Planungsinstrument einfach möglich, erste Aussagen zur Effektivität der Nachtauskühlung zu generieren. Dabei lassen sich auch noch weitere Einflüsse wie z.B. die Gebäudespeicherfähigkeit und die Verschattung im Planungsinstrument analysieren. Es liegt somit eine Grundlage vor, die erste Aussagen für die Planung einer effizienten Nachtauskühlung ermöglicht.







Fachartikel zur  
Master-Thesis MAT  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Integrale Planung eines modularen Konstruktionssystems für Wohnhochhäuser in Holzbauweise

Studierende	Ahmed Daralnakhla
Dozierende	Prof. Dr. Heinrich Manz
Experte/-in	Dr. Karim Ghazi Wakili Prof. Dr. Annika Seifert
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	21. Januar 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

# Integrale Planung eines modularen Konstruktionssystems für Wohnhochhäuser in Holzbauweise

**Der Bau von Hochleistungs-Niedrigenergiegebäuden und die Reduzierung des Heiz- und Kühlbedarfs als Reaktion auf gesetzliche und ökologische Anforderungen führen zu einer Veränderung des Verhältnisses zwischen Betriebs- und grauer Energie, wobei letztere um den Faktor 2 oder mehr zunimmt. Dieser Anstieg der indirekten grauen Energie geht mit einer direkten Auswirkung auf die Umwelt einher, weshalb ein bewusstes Gleichgewicht zwischen der Wahl der Baumaterialien, ihrer Leistung und ihren Umweltauswirkungen für die Nachhaltigkeit entscheidend ist. Unter den anderen Gebäudeelementen macht das strukturelle Bausystem etwa 50 % der gesamten grauen Energie in Gebäuden aus und ist damit der erste**

**Einzelverursacher von Kohlendioxidemissionen. Andererseits hat sich in den letzten 20 Jahren die Energieeffizienz von Neubauten drastisch verbessert, während sich die Wohnfläche pro Kopf fast verdoppelt hat, was zu einer noch grösseren Umweltbelastung während des gesamten Lebenszyklus führt, wenn man sowohl die graue Energie als auch die Betriebsenergie berücksichtigt. Aus diesem Grund und an der Schwelle zu einer neuen Ära des Fertigungsbaus, in der die Standardisierung von Bausystemen für die Beschaffung und Produktion von entscheidender Bedeutung ist, widmet sich die vorliegende Studie der Untersuchung der Entwicklung eines kohlenstoffarmen modularen und vorgefertigten Konstruktionssystems für die Entwicklung von Mikro-Wohnhochhäusern in Städten in dem Versuch, den Kohlenstoff-Fussabdruck nicht nur durch die Verwendung von Holzstrukturen, sondern auch durch die Änderung der architektonischen Typologie und die Minimierung des Materialverbrauchs pro Kopf radikal zu verringern.**

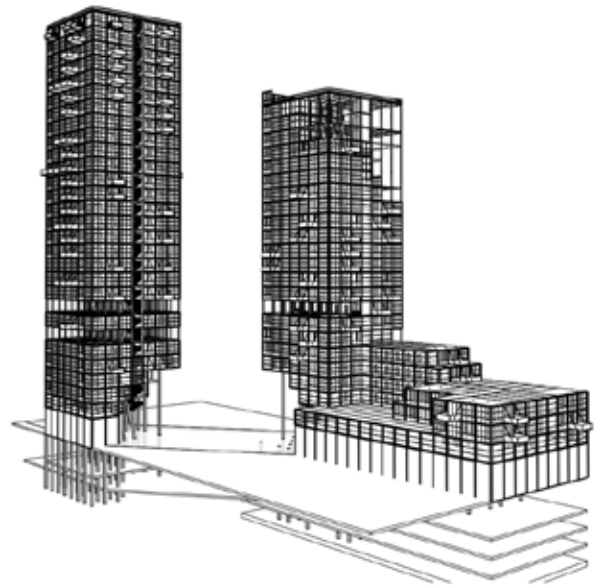


Abb. 1 : Das Referenzgebäudemodell in Zürich

## Konzept der Studie

Die Studie besteht aus Hauptschritten die zu einem verifizierten und bewährten Konzept für ein Niedrigenergie- und kohlenstoffarmes Konstruktionssystem für Mikro-Wohnhochhäusern führen. Die Studie gliedert sich in 4 Schritte: Entwicklung des Systems, bauphysikalische Optimierung, Betriebsenergieoptimierung und schliesslich Bewertung der Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus eines im Rahmen dieser Studie entwickelten Fallstudiengebäudes. Lignum-Daten zum Holzbau, die Anforderungen an den Brand- und Schallschutz sowie an den Wärmedurchgangskoeffizienten gemäss VKF Brandschutzanforderungen an Hochhäuser bis 100 m Gesamthöhe, SIA-Norm 181:2020 Schallschutzanforderungen im Hochbau bzw. SIA-Norm 380/1:2016 Heizwärme-Bedarf waren die Grundlage für die Auswahl der Konstruktion für jedes der

Konstruktionssystemelemente. Ein repräsentatives zweigeschossiges Gebäude mit 18 Wohneinheiten und den Verkehrsflächen wurde mit dem Gebäudeenergiesimulationsprogramm WUFI®Plus und dem Expertenwerkzeug zur Berechnung der Ökobilanz von Gebäuden GREG modelliert, um den bauphysikalischen Optimierungsprozess zu steuern und zu unterstützen. Das Fallstudiengebäude wurde wiederum mit dem Gebäudeenergiesimulationsprogramm ICA ICE zur Betriebsenergieoptimierung mit aktiven und passiven Entwurfsstrategien modelliert. Schliesslich wurden die Umweltauswirkungen des entwickelten Konstruktionssystems unter Berücksichtigung der Schweizer SIA-Planungsinstrumente, der Bilanzierung nach der 2000-Watt-Gesellschaft und der Methode der ökologischen Knappheit 2013 analysiert. Unter der Annahme einer Lebensdauer von 60 Jahren gemäss SIA Merkblatt 2032 "Graue Energie von Gebäuden" wurde die Ökobilanz für das Fallstudiengebäude durchgeführt und mit marktüblichen modularen Holz-, Beton- und Stahlbausystemen verglichen. Die Studie bewertet die Umweltauswirkungen, ausgedrückt in Umweltbelastungspunkten (UBP), Primärenergie (nicht-erneuerbar) und Treibhausgasemissionen. Die Ergebnisse enthalten Daten zu den Baustoffen, der Gebäudetechnik, der Energieversorgung, dem Transport der Rohstoffe und den Entsorgungsprozessen. Die Schlussfolgerung ist, dass das entwickelte modulare Holzkonstruktionssystem im Vergleich zu anderen heute erhältlichen Bausystemen eine geringere Umweltbelastung im Lebenszyklus aufweist.

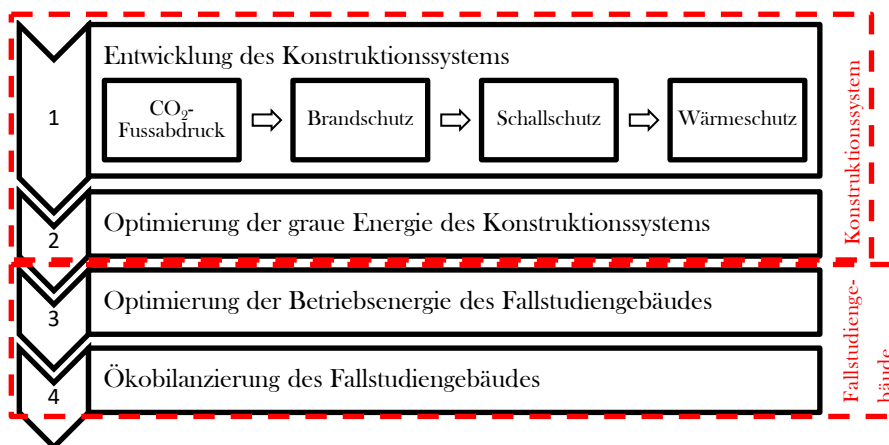


Abb. 2: Konzept der Studie

## Resultate

Die Studie untersuchte und quantifizierte das Potenzial von kohlenstoffarmen Baumaterialien und passiven Planungsstrategien zur Minimierung der Umweltauswirkungen von Gebäuden im Schweizer Mittelland und wandte die Erkenntnisse und Ergebnisse bei der Entwicklung eines neuen modularen Konstruktionssystems für Wohnhochhäuser in CO<sub>2</sub>-neutraler Holzbauweise ‹Tre-Hus› an. Es wurde herausgefunden, dass durch eine Erhöhung der Belegungsrate und -dichte sowie durch eine dichte Doppelfassade und eine mechanische Lüftung mit Wärmerückgewinnung die operativen Raumtemperaturen im Winter innerhalb der Komfortkategorien gemäss den Empfehlungen der SIA 180 und der EN 15251:2007 für Wohngebäude ohne Heiz- und Kühlsysteme gehalten werden können, während im Sommer die Verwendung von Lehmestrich und Lehm betonprodukten als Bekleidung für die Innenflächen dazu beiträgt, eine ausreichende thermische Masse bereitzustellen und die inneren operativen Temperaturen zu regulieren. Es hat sich auch gezeigt, dass die Verwendung von unbearbeitetem Massivholz wie Brettstapel für die Gebäudestruktur eine wirksame Lösung zur drastischen Minimierung des CO<sub>2</sub>-Fussabdrucks ohne negative Auswirkungen auf die bauphysikalischen Eigenschaften und die Brandsicherheit darstellt. Dank der Verwendung von Brettstapelholz und unter Berücksichtigung des im Holz gespeicherten Kohlendioxids kann das Konstruktionssystem als kohlenstoffneutral bezeichnet werden. Es kann geschlossen werden, dass die Ergebnisse und das Endprodukt dieser Studie, das

## Integrale Planung eines modularen Konstruktionssystems für Wohnhochhäuser in Holzbauweise

Tre-Hus-System, erfolgreich eine Lösung für das globale Wohnungsproblem im Einklang mit wichtigen ökologischen, wirtschaftlichen und politischen Fragen wie dem Klimawandel, dem Mangel an Ressourcen und der wachsenden Bevölkerung bietet.

### Bauphysikalische Optimierung des Konstruktionssystems

Abbildung 3 zeigte bei der Simulation mit dem Gebäudeenergie-Simulationsprogramm WUFI Plus einen positiven Einfluss des Natursteinbodens (Variante A1) auf das thermische Verhalten des Gebäudes im Klima von Zürich und einen negativen Einfluss des Parkettbodens (Variante A2) im Vergleich zum Referenzfall, der eine 5 cm dicke Zementestrichschicht ohne Bodenbelag darstellt. Die Verwendung von Natursteinböden in Variante A1 führte zu weiteren 223 Stunden innerhalb der thermischen Komfortkategorie II, verdoppelte jedoch fast die Treibhausgasemissionen. Diese extrem negativen Umweltauswirkungen von Natursteinböden sind auf den hohen Transportaufwand zurückzuführen, da die meisten der in der Schweiz verwendeten Natursteine aus dem Mittelmeerraum stammen, sowie auf die negativen Auswirkungen der Steinbruchindustrie auf natürliche Lebensräume und die natürliche Grünmasse. Opt. 2 untersuchte die Umweltauswirkungen, die graue Energie und die Betriebsenergie, von 4 verschiedenen Arten von Estrichelementen, nachdem die Empfehlung "kein Bodenbelag". Die Verwendung eines Lehmestrichs, Variante B1, führt zu einer leicht verbesserten thermischen Leistung des Gebäudes und zu nur zwei Dritteln der grauen Energie im Vergleich zum Referenzfall, bei dem Zementestrich verwendet wird. Dementsprechend wurde die Wahl der Verwendung von Lehmestrich erhöht und in Opt. 3 verwendet, wo die Wirkung der Schüttung auf der Tragstruktur untersucht wurde.

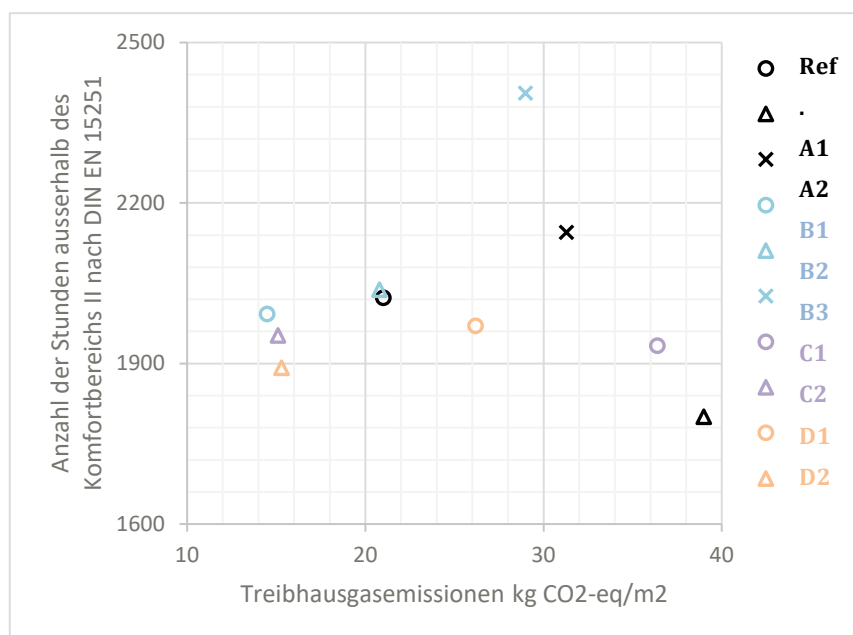


Abbildung 3: Anzahl der Stunden ausserhalb der Komfortbereichs II nach DIN EN 15251 in Abhängigkeit von der grauen Energie, ausgedrückt in Treibhausgasemissionen, für 9 Varianten des Brettstapel-Geschossdeckensystems

## Integrale Planung eines modularen Konstruktionssystems für Wohnhochhäuser in Holzbauweise



Abb. 4: Entwickeltes Brettstapel Holz mit Formschluss zur Verbindung des Lehmdeckenbekleidung, über den die Schüttungen aus Sand, Kies und Splitt, Trittschalldämmung und Lehmestrich gelegt werden.

### Betriebsenergie Optimierung des Fallstudiengebäudes

Abbildung 5 zeigt die freilaufenden operativen Temperaturen für die Zonen 2, 3 und 4 des zweiten optimierten Falls (mit adaptiver Doppelverglasung, Wintermodus) als Funktion der Zeit und in Bezug auf die SIA 180-Grenzwerte für thermischen Komfort in Wohngebäuden mit passiver Kühlung. Es wird deutlich, dass die zweite Optimierungsvariante zu einem noch höheren Komfort in allen Zonen führt. Sowohl im Winter- als auch im Sommerbetrieb liegen die operativen Temperaturen in allen Zonen in den empfohlenen Bereich gemäss SIA 180 thermischen Komfortmodell.

Die Ergebnisse zeigen, dass die Verwendung einer adaptiven Fassade, die sich in der Sommersaison selbst demontiert, dazu führen kann, dass weitere 4,6 % der Belegungszeit oder 283 Stunden im Durchschnitt für alle Zonen in die ersten Komfortkategorien gemäss EN 15251:2007 Empfehlungen für Wohngebäude ohne mechanische Lüftungs- und Kühlsysteme fallen.

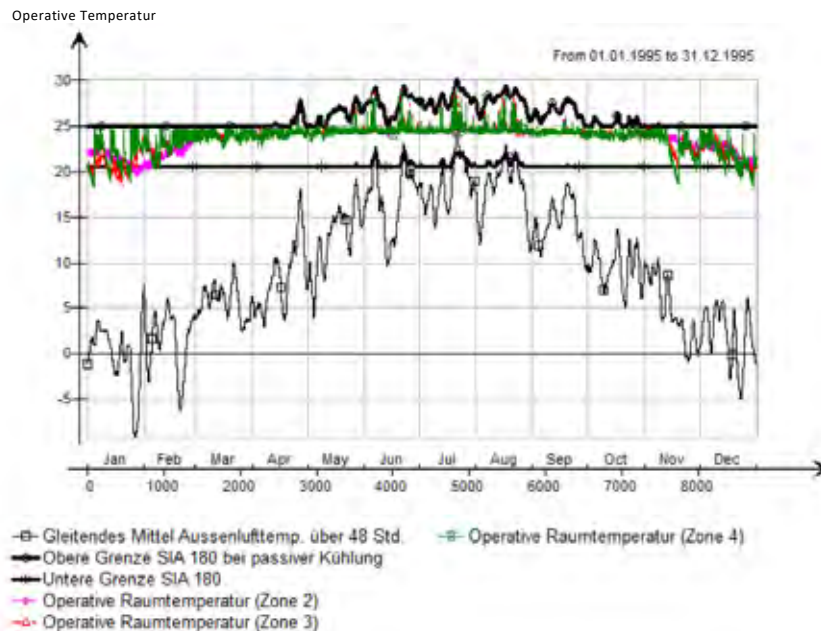


Abbildung 5: Thermische Komfortanalyse des Sommermodus optimierten Falles nach SIA 180 mit Darstellung der operativen Raumtemperaturen für die Zonen 2, 3 und 4 und des Gleitenden Mittels Aussenlufttemperatur über 48 Stunden im Verhältnis zu den Oberen Grenzwerten SIA 180 bei passiver Kühlung und den Unteren Grenzwerten als Funktion der Zeit.

## Integrale Planung eines modularen Konstruktionssystems für Wohnhochhäuser in Holzbauweise

### Cradle-to-Grave Umweltauswirkungen während des gesamten Lebenszyklus

Die Analyse des Lebenszyklus Cradle-to-Grave zeigt, dass die graue Energie zwar im Durchschnitt etwa ein Viertel des gesamten Primärenergiebedarfs im Lebenszyklus ausmacht, dass sie aber im Vergleich zum Energiebedarf in der Betriebsphase, gemessen an den Umweltauswirkungen in Form von Ökopunkten und Treibhausgasemissionen (THG-E), ebenso negative Auswirkungen haben könnte, wenn nicht sogar mehr, wie in Abbildung 6 dargestellt. Eine viel umweltfreundlichere Wahl ist das Tre-Hus-Gebäudesystem, wie in Abbildung 6 dargestellt. Tre-Hus verringert die Umweltauswirkungen auf jeder Ebene und in jeder Hinsicht drastisch. Darüber hinaus ist unbehandeltes Holz ein kohlenstoffneutrales Baumaterial und nachhaltiger als die anderen auf dem Markt erhältlichen Alternativen, und die Fassadenelemente lassen sich leicht als recycelbar herstellen.

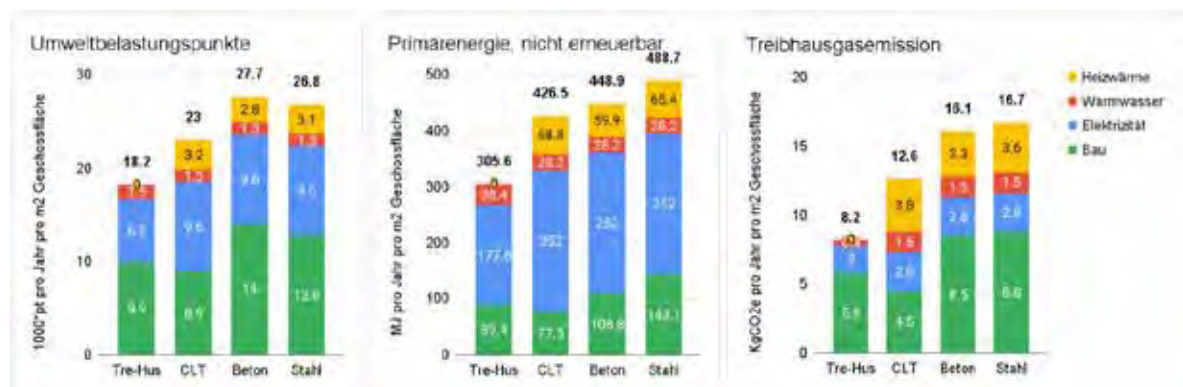


Abb. 6: Jährliche Umweltauswirkungen über den gesamten Lebenszyklus für die Modularen Gebäudestrukturen von Tre-Hus, CLT, Beton und Stahl.







Fachartikel zur  
Master-Thesis MAT  
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

# Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen weltweit im Kontext des Klimawandels

Studierende	Matej Glavas
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig
Experte/-in	Dr. Doris Österreicher
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2022

**Hinweis:** Dieser Fachartikel ist Teil der Master-Thesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

**Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen  
Weltweit im Kontext des Klimawandels**

# Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen weltweit im Kontext des Klimawandels

**Low-Tech Gebäude sind im Grundsatz hocheffiziente Gebäude, die mit einfachen, aber dauerhaften und ressourcenschonenden baulichen Komponenten das ganze Jahr die Bedürfnisse der Nutzer im Gebäude umfassend erfüllen. Dabei ist der Einsatz von Technik in Low-Tech Gebäuden stark reduziert. Mit einfachen Prinzipien an der Gebäudestruktur kann der Gesamtenergiebedarf massgebend reduziert werden.**

Diese Arbeit untersucht die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit. Dabei sind vier Klimastandorte in verschiedenen Klimaregionen vordefiniert. Neben den Prinzipien, wird auch der Faktor «IPCC-Klimaprognose» ein fester Bestandteil der Arbeit sein.

Die Prinzipien werden an Beispielobjekten / Beispielgebäuden mit verschiedenen vordefinierten Parametern untersucht. Dabei werden die Beispielobjekte in Nutzungsart und Gebäudetypen unterschieden.

Mit mehreren IPCC-Klimaprognosen weltweit wird die Thematik des Klimawandels aufgegriffen. Hierbei sollen die folgenden zwei Fragen beantwortet werden:

- Inwieweit sind die aktuellen Prinzipien robust und leisten einen Vorteil hinsichtlich des Energiebedarfes und ab welchem Punkt müssen die Prinzipien überdacht und angepasst werden?
- Mit welchen Massnahmen können die Prinzipien einfach angepasst werden und in welchen Klimaregionen benötigt es grössere Anpassungen bzw. gegebenenfalls eine neue Beurteilung?

## Definierte Prinzipien

Mit Gebäudesimulationen (Sefaira, EnergyPlus) wird die Wirksamkeit der Prinzipien in warmen Klimaregionen weltweit ermittelt und quantifiziert (vordefinierte Standorte). Dabei sollen verschiedene Planungsansätze (effizient, einfach, robust) einbezogen werden. Bewusst wurde auf die Umsetzung von technischen Komponenten zur Kühlung oder Heizung verzichtet. Dabei wird der Ansatz eines Low-Tech Gebäudes weitergeführt. Mit einfachen und effizienten Massnahmen den Gesamtenergieverbrauch zu reduzieren und dadurch die bestmögliche Lösung für die entsprechende Klimazone zu definieren. Dabei wird das Szenario durch drei vordefinierte Parameter durchgespielt.



Abb. 1: Prinzipien für die Gebäudesimulationen

# Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen Weltweit im Kontext des Klimawandels

## IPCC Klimaszenarien

Der Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) fasst in regelmässigen Abständen den aktuellen Wissensstand zum Klimawandel zusammen. Er schafft damit die Grundlage für wissenschaftsbasierte Entscheidungen in der Politik zu Klimaschutzpolitik und Klimaanpassung. Mit einer Analyse wurde das Klima an den vier Klimastandorten genauer untersucht. Dabei wurden Erkenntnisse zu Parametern wie Aussentemperatur, Feuchtigkeit, globale horizontale Einstrahlung und Bewölkung eruiert und wurden für weitere Ergebnisse verarbeitet.

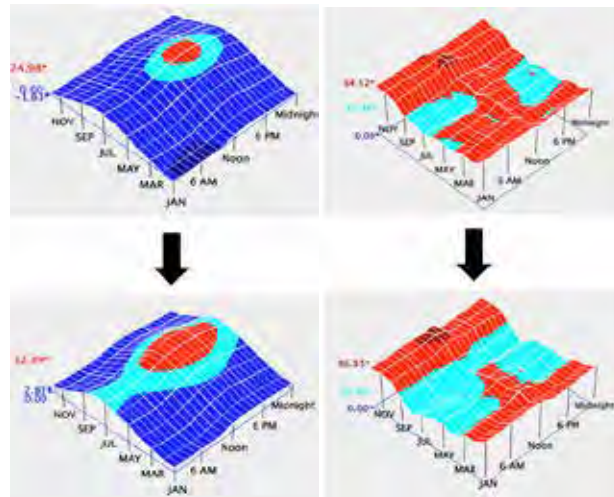


Abb. 2: Analyse Klimadaten Standort Zürich – Aktuell zu RCP 8.5 2100

## Analyse Gesamtenergieverbrauch (EUI)

Mit dem Gesamtenergiebedarf wird die Abhängigkeit der zu treffenden Massnahmen und den Klimadaten (mit RCP Szenarien) aufgezeigt. Verändert wird jeweils nur ein Parameter (g-Wert Verglasung, U-Wert Fassade, Verschattung). Die restlichen Parameter sind gemäss der ASHRAE 55 Norm vordefiniert. Simuliert wurden jeweils drei Gebäudetypen in vier verschiedene Klimastandorte weltweit. Jeder Simulationsdurchlauf wird mit einem der drei RCP Szenarien und jeweils einem Betrachtungszeitraum (2050 oder 2100) durchgeführt.



Abb. 3: g-Wert Verglasung Apartment

## Prinzipien von Low-Tech Gebäuden in warmen Klimaregionen Weltweit im Kontext des Klimawandels

### Potentialkatalog für Bauten in warmen Klimaregionen

Für die Vergleichsanalyse der Gebäudetypen mit den einzelnen Klimastandorte und den zu veränderbaren Parametern (g-Wert, U-Wert und Verschattung), wurde ein Potential-katalog erstellt. Dieser zeigt das Potential der einzelnen Klimastandorte mit den veränderbaren Parametern und den drei verschiedenen Gebäudetypen (Simple House, Apartment und Office). Damit können einfache Prinzipien hinsichtlich des Gesamtenergieverbrauches entnommen werden. Zusätzlich können Massnahmen für die einzelnen Gebäudetypen entnommen werden.

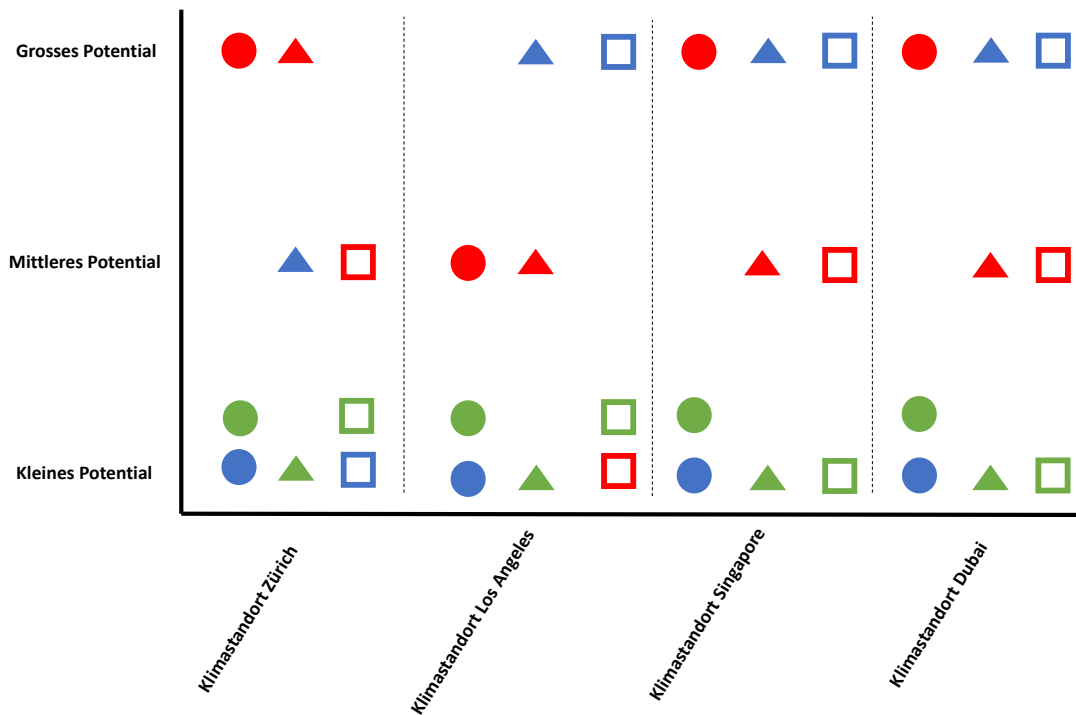


Abb. 4: Potentialkatalog.















**Hochschule Luzern – Technik & Architektur**  
**Institut für Gebäudetechnik und Energie**

Technikumstrasse 21

6048 Horw

+41 41 349 33 03

[gebaeudetechnik\\_energie@hslu.ch](mailto:gebaeudetechnik_energie@hslu.ch)

[www.hslu.ch/gebaeudetechnik](http://www.hslu.ch/gebaeudetechnik)