

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

HOCHSCHULE LUZERN

Technik & Architektur
FH Zentralschweiz



Institut für Gebäudetechnik und Energie 2021

Fachberichte Bachelor-Thesis Gebäudetechnik | Energie

Fachberichte MSE Master of Science in Engineering

WORT WORT

3 Diplomandinnen und 37 Diplomanden des Studiengangs Gebäudetechnik / Energie haben im Frühlingsemester 2021 ihre Bachelor Thesis verfasst. Gegen 14'400 Stunden haben sie in ihre Arbeiten investiert, welche das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs aufzeigen. 14 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung Gebäude-Elektroengineering (GEE), 26 die Studienrichtung Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär (HLKS) ab.

Auch das Diplomjahr 2021 war vom Umgang mit der «Coronakrise» geprägt. Sowohl Dozierende wie auch Studierende waren 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 nun seit Frühjahr 2020 andauernde Erfahrung hat die Hochschule Luzern 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 vermisst.

Eine Diplomandin hat zudem den Studiengang Master of Science in Engineering (MSE) mit Vertiefung Gebäudetechnik / Energie 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 / Energie und MSc Building Technologies

Juli, 2021

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

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

INMAT

BACHELOR

Karagülle Yakub

Gundartseva Olena

Mäder Janine

Lindegger Michel

Müller Joel

Rüegsegger Lorenz

Bienz Moritz

Heldstab Sven

Öztürk Yagiz

Wolfisberg Reto

Küttel Claude

Arnold Sven

Bachmann Thomas

Barrato Christian

de Beus Alexander

Duss Ryan

Morgenthaler Dave

Demonti Gian Luca

Studer Lukas

Sadikaj Zamir

Riveros Diego

Rölli Simon

Schütz Marco

Imeri Alban

Wechsler Elias

Vollenweider Livio

Heller Patrick

Bucheli Kevin

Ming Niklaus

Burkard Marcel

Marxen Robin

Pinana Massimo

Arnold Yves

Hänsli Dario

Wälti Flawia

Hämmerli Ivo

Vistocco Dario

Achermann Reto

Baumgartner Kevin

BAT G_21_01

BAT G_21_02

BAT G_21_03

BAT G_21_04

BAT G_21_05

BAT G_21_06

BAT G_21_07

BAT G_21_08

BAT G_21_09

BAT G_21_10

BAT G_21_11

BAT G_21_12

BAT G_21_13

BAT G_21_14

BAT G_21_15

BAT G_21_16

BAT G_21_17

BAT G_21_18

BAT G_21_19

BAT G_21_20

BAT G_21_21

BAT G_21_22

BAT G_21_23

BAT G_21_24

MASTER

Gubler Carina

MSE

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_01
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Veränderung der Leistungsfähigkeit von erneuerbaren Energiequellen durch den Einfluss des Klimawandels

Studierende	Elias Wechsler Yakub Karagülle
Dozierende	Markus Koschenz Leonardo Montali
Experte/-in	Prof. Dr. Franz Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Veränderung der Leistungsfähigkeit von erneuerbaren Energiequellen durch den Einfluss des Klimawandels

Hervorgerufen durch die veränderten Temperaturen im Zusammenhang mit dem Klimawandel steigt der Leistungsbedarf aus erneuerbaren Kühlquellen. Gleichzeitig erwärmen sich die erneuerbaren Kühlquellen durch den Klimawandel selbst. Die negativen Effekte verstärken sich folglich gegenseitig. Die Bachelorthesis untersucht die mutmasslichen Leistungsänderungen von erneuerbaren Energiequellen (Aussenluft, Hydrologie, Geothermie) im Free-Cooling Betrieb sowie den veränderten Kühlleistungsbedarf von Gebäuden für die zwei Klimaszenarien 2020 und 2050.

Repräsentativ für das Schweizer Mittelland basieren die Untersuchungen auf dem Standort bei der Klimastation Zürich MeteoSchweiz im RCP-Szenario 8.5. Die untersuchten erneuerbaren Kühlquellen sind die natürliche Lüftung, Kühltürme, Erdsondenfelder sowie Grund- und Seewassernutzungen im Free-Cooling Betrieb. Es wird dabei zwischen dem direkten Free-Cooling und dem indirekten Free-Cooling Betrieb unterschieden (vgl. Abb. 1). Der direkte Free-Cooling Betrieb basiert auf der natürlichen Lüftung über das Fenster. Der indirekte Free-Cooling Betrieb umfasst mindestens zwei Wärmeübertrager, wobei die Wärme im Raum über ein Kaltwassernetz in Form einer Fussbodenkühlung abgeführt wird.

Widerstandsmodelle

Sämtliche Leistungsänderungen der Kühlquellen basieren auf selbst entwickelten Widerstandsmodellen, welche aus der Elektrotechnik auf thermodynamische Prozesse adaptiert sind. Die einzelnen Widerstände sind alle zwischen der Temperatur der Quelle und der operativen Temperatur (Raumtemperatur) eingebettet. Das Ziel der Widerstandsmodelle ist die mathematische Herleitung einfacher Methoden zur Berechnung der Wärmeübertragung im System, um so unter geringen Einschränkungen eine stationäre Wärmeleitung darzustellen.

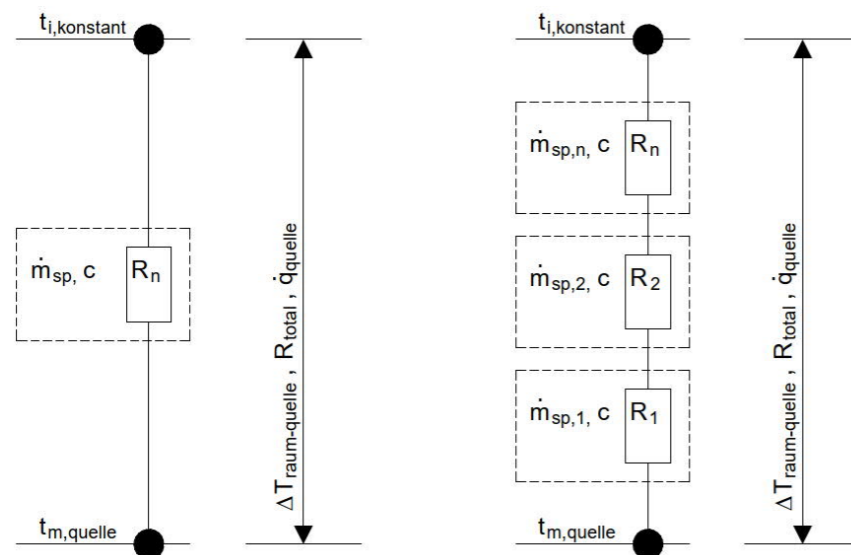


Abb. 1: Beispiel Widerstandsmodelle mit direktem und indirektem Free-Cooling Betrieb

Bedarfsermittlung Gebäude

Um die Leistungsänderungen am Standort Zürich MeteoSchweiz möglichst repräsentativ zu untersuchen, wurden für den Bedarf auf der Gebäudeseite thermische Gebäudesimulationen durchgeführt. Dazu wurde ein Gebäudetyp definiert, welcher am gewählten Standort mit der grössten Anzahl an Gebäuden und dem grössten Volumen repräsentiert ist. Für die Stadt Zürich ist dies ein Mehrfamilienhaus mit zwei oder mehr Wohnungen.

Die Simulationen basieren mit den Vorgabewerten nach SIA Standard auf dem Berechnungsverfahren für den Kühlleistungsbedarf nach SIA382/2:2011 für die Klimaszenarien 2020 und 2050. Zeitpläne für Personen, Beleuchtung und Geräte basieren auf der Nutzung Wohnen MFH gemäss SIA2024:2015.

Ergebnisse Leistungsänderung Quelle / Gebäude

Mit den hergeleiteten konstanten operativen Temperatur, den entwickelten Widerstandsmodellen, den Quellentemperaturen in den Klimaszenarien 2020 und 2050 und den Ergebnissen aus der thermischen Gebäudesimulation wurden die jeweiligen Leistungsänderungen der Quellen und des Gebäudes in den jeweiligen Klimaszenarien berechnet und miteinander verglichen.

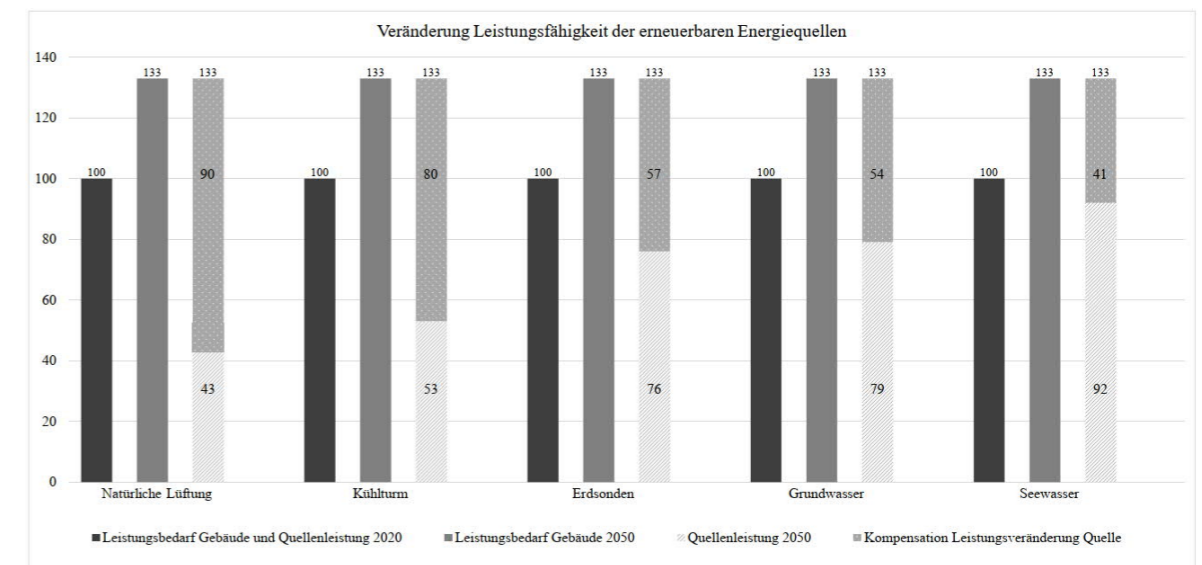


Abb. 2: Ergebnisse Leistungsänderung Quelle / Gebäude

Die Säule «Leistungsbedarf Gebäude und Quellenleistung 2020» zeigt den Leistungsbedarf des Gebäudes im Klimaszenario 2020. Es wird davon ausgegangen, dass die Quelle den Kühlleistungsbedarf des Gebäudes im Klimaszenario 2020 vollständig abdecken kann. Die Säule «Leistungsbedarf Gebäude 2050» zeigt den Kühlleistungsbedarf des Gebäudes im Klimaszenario 2050. Der erhöhte Bedarf basiert auf den Ergebnissen der thermischen Simulationen, ausgewertet über ein Intervall eines Kalenderjahrs. Die Säule «Quellenleistung 2050» zeigt die Leistung der Quelle im Klimaszenario 2050 basierend auf der veränderten Quellentemperatur und den entwickelten Widerstandsmodellen. Die Säule «Kompensation Leistungsänderung Quelle» zeigt die Leistung, welche durch die Quelle für das Klimaszenario 2050 kompensiert werden muss. Da eine vollständige Kompensation der Leistung mutmasslich nicht allein durch die Quelle möglich ist, sind nebst Massnahmen für die Quelle ebenfalls gebäudeseitige Massnahmen definiert.

Massnahmen zur Kompensation der Leistungsänderung

Zur Optimierung des Leistungsbedarfes des Gebäudes und somit einer Teilkompensation der Leistungsdifferenz zwischen dem Gebäude und der erneuerbaren Kühlquelle im Klimaszenario 2050 wurden Massnahmen zur Optimierung der Verglasung und der Verschattung getroffen.

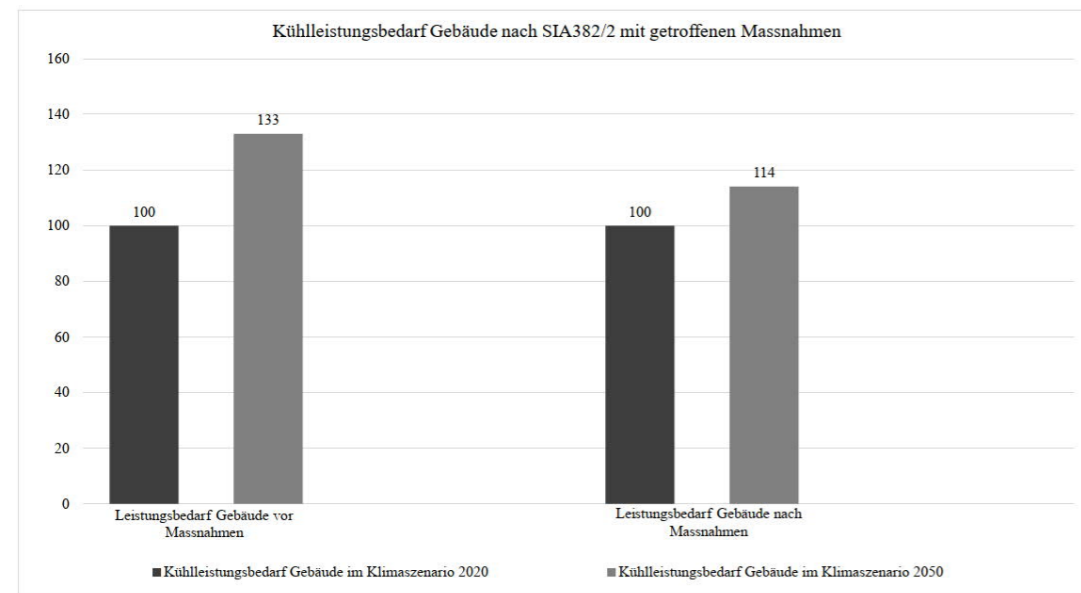


Abb. 3: Ergebnisse Veränderung Leistungsbedarf Gebäude vor und nach Massnahmen

Zur Kompensation der Leistungsdifferenzen zwischen den erneuerbaren Kühlquellen und dem optimierten Kühlleistungsbedarf der Gebäude im Klimaszenario 2050 wurden die folgenden Massnahmen untersucht und ausgewertet. Durch das Aufzeigen der Folgen der Massnahmen auf CO₂-Emissionen werden jene bezüglich ihres Potenzials klassifiziert.

Die Kompensation der Leistungsänderung der natürlichen Lüftung kann mit einer mechanischen Erhöhung des Volumenstromes mit einem Ventilator im Raum kompensiert werden. Allein durch eine Vergrösserung des Öffnungswinkels beim Fenster ist eine vollständige Kompensation der Leistungsdifferenz nicht möglich.

Die Kühlquelle Kühlturm kann über eine Kombination zwischen einer Vergrösserung der Fläche des Wärmetauschers und einer Massenstromerhöhung kompensiert werden. Als weitere Variante besteht die Möglichkeit, die Leistungsdifferenz durch einen Entfall des Kreislaufes Wasser/Ethylenglycol (Entfall Wärmetauscher) mit einer zusätzlichen Erhöhung des Massenstromes zu kompensieren.

Für die Kühlquelle Erdsonde kann die Kompensation der Leistungsdifferenz entweder über eine Vergrösserung der Fläche Wärmetauscher oder einer Erhöhung des Massenstromes kompensiert werden.

Bei der Quelle Grundwasser kann die Leistungsdifferenz weder über eine Vergrösserung der Fläche Wärmetauscher noch mit Erhöhung des Massenstromes kompensiert werden, auch wenn die beiden Massnahmen zusammen kompensiert werden. Grund dafür ist der geringe Einfluss des Widerstandes des Wärmetauschers auf den Gesamtwiderstand.

Die Leistungsdifferenz bei der Kühlquelle Seewasser kann entweder über eine Erhöhung des Massenstromes oder einer Kombination zwischen Vergrösserung Fläche Wärmetauscher und Massenstromerhöhung kompensiert werden.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_02
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Machbarkeit Einsatz Photovoltaikanlagen auf Schulanlagen

Studierende	Olena Gundartseva
Dozierende	Roger Buser Wouters Volker
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Heinz Lieberherr, Gemeinde Lindau, Lindau 8315 – Tagelswangerstrasse 2)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Machbarkeit Einsatz Photovoltaikanlagen auf Schulanlagen

In der Gemeinde Lindau stehen in den nächsten Jahren Sanierungen bei drei verschiedenen Schulanlagen an. Diese Situation bietet die Chance zu prüfen, ob sich die Dachflächen für Photovoltaik-Anlagen eignen, um dort die Vorbereitungsarbeiten oder gleich die gesamten Installationen zu realisieren. Die Möglichkeit eines positiven Entscheides für Photovoltaik ist gegeben, da sich in den letzten Jahren diverse PV-Anlagen bereits amortisiert haben. Zudem verfügen Schulhäuser oft über grosse, brachliegende und unverschattete Dachflächen. Dabei geht es im Kern um zwei verschiedene Fragen: in welchem Umfang eine PV-Anlage wirtschaftlich rentabel sowie technisch realisierbar ist und mit welchem Wirtschaftsmodell sie finanziert und betrieben werden soll.

In dieser Arbeit sind zwei Primarschulen in Winterberg (Bachwis) und Tagelswangen (Buck) und eine Sekundarschule in Grafstal (Grafstal) betrachtet.

Potenzialermittlung

Alle drei Schulanlagen bestehen aus mehreren Gebäuden. Die Dach-, sowie auch Fassadeflächen jedes Gebäudes sind auf die Tragfähigkeit, die vorhandenen Aufbauten und Verschattungen analysiert. Die geeigneten Flächen sind virtuell mit PV-Modulen ausgelegt und im Programm "PV-Sol premium 2021" simuliert. Um realitätsnahe und möglichst präzise Berechnungen durchzuführen, werden für alle Schulanlagen jeweils digitale 3D-Zwillinge erstellt.

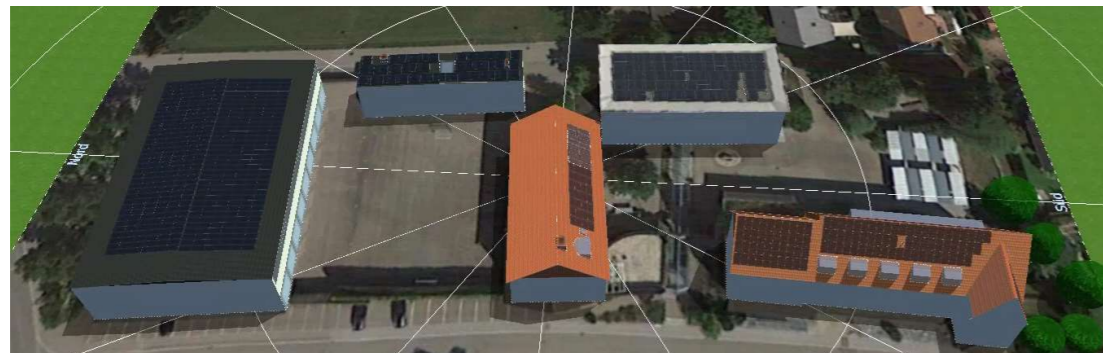


Abb. 1: Belegung des Schulhauses Grafstal mit PV-Modulen

Die Simulation hat ergeben, dass die Flächen für die Auslegung der PV-Anlage sehr gut geeignet sind, was durch den Anlagennutzungsgrad bestätigt ist. Der Anlagennutzungsgrad ist als Verhältnis zwischen dem möglichen Ertrag und dem tatsächlich erreichten Ertrag definiert. Die Durchschnittswerte liegen zwischen 65 und 75 %, hohe Werte liegen bei rund 80 %. Das Potenzial jeder Anlage ist in der Tabelle zusammengefasst.

Potential	Bachwis	Grafstal	Buck
PV-Generatorfläche	1'800 m ²	1'600 m ²	1'600 m ²
PV-Generatorleistung	360 kWp	340 kWp	330 kWp
PV-Generatorenergie	361'600 kWh/Jahr	322'000 kWh/Jahr	331'000 kWh/Jahr
Anlagennutzungsgrad	88 %	85 %	89 %

Tabelle 1: PV-Potenzial der Schulanlagen

Potenziell können die Schulanlagen etwa 1 GWh Energie pro Jahr produzieren.

Optimierung

Als Beispiel ist das Schulhaus Grafstal genommen. Dasselbe Prinzip gilt für die anderen Schulhäuser. In der Tabelle 2 sind drei unterschiedliche Fälle betrachtet: «Vollausrüstung», «optimierte Grösse» und «optimiert mit Batterie». Bei der Vollausrüstung wird die gesamte potenzielle Fläche mit PV-Modulen bestückt. Ein Teil der erzeugten Energie wird vom Schulhaus selbst verbraucht, die restliche Energie wird ins öffentliche Stromnetz rückgespeist. Der Betrieb «optimierte Grösse» sagt, dass sich die Anlagengrösse am Eigenverbrauchsanteil orientiert. Der «Betrieb optimiert mit Batterie» zielt darauf ab, mit Hilfe einer Batterie einen grösseren Eigenverbrauchsanteil zu erreichen. Bei Überschuss wird die Batterie geladen, bei einer Unterversorgung wird der Batteriestrom verbraucht. Jedoch wird kein vollständiger Autarkiegrad angestrebt.

PV-Anlage	Vollausrüstung	Optimierte Grösse	Optimiert mit Batterie
PV-Generatorleistung	340 kWp	80 kWp	80 kWp
PV-Generatorenergie	322'000 kWh/Jahr	72'600 kWh/Jahr	72'600 kWh/Jahr
Eigenverbrauchsanteil	13.30%	47.20%	56.80%
Autarkiegrad	53.3%	42.50%	50%
Investitionskosten (inkl. Förderung)	385'650 CHF	96'500 CHF	138'500 CHF
Kumulierter Cashflow	81'500 CHF	80'500 CHF	57'500 CHF
Stromgestehungskosten	0.07 CHF/kWh	0.09 CHF/kWh	0.11 CHF/kWh
Amortisationsdauer	20.6 Jahre	14.3 Jahre	18.3 Jahre
Vermiedene CO ₂ -Emissionen	151'000 kg/Jahr	34'100 kg/Jahr	33'600 kg/Jahr

Tabelle 2: PV-Anlage Grafstal

Im Gegensatz zur Batterie ist das Lastmanagementsystem kosteneffektiv und leicht umzusetzen und es garantiert eine schnelle Amortisation. Die Hauptaufgabe des Lastmanagementsystem ist es, die Lasten nach Möglichkeit zur Zeit der hohen PV-Produktion zu verschieben. Das betrifft die flexiblen Nutzer, wie Wärmepumpe, Boiler, eventuell die Batterie und die E-Mobilität. Das Potenzial der E-Mobilität mit an PV orientiertem Modus ist nicht zu unterschätzen. Es wird empfohlen, bei den Sanierungen die Grundinstallationen für E-Mobility vorzusehen. Das ist zukunftsorientiert und man steigt schon jetzt auf die «grünen» Fahrzeuge um.

Finanzierung

Wie in der Tabelle 2 ersichtlich ist, schneidet die Variante mit der optimalen Grösse wirtschaftlich am besten ab. Dennoch gibt es die Möglichkeit, die restliche Fläche zur Stromerzeugung zu nutzen, beispielsweise über externe Investoren. Die Einwohner der Gemeinde als auch die Industrie können eine beliebige Anzahl von Modulen finanzieren. Der Vorteil liegt darin, dass grössere Anlagen tiefere Stromgestehungskosten aufweisen. Für die Investoren ist diese Variante günstiger, als selbst eine kleine PV-Anlage zu betreiben. Die erzeugte Strommenge wird den entsprechenden Investoren via das öffentliche Stromnetz geliefert. Da die Gemeinde Lindau einen eigenen Netzbetreiber hat (EW Lindau), sind die Zusammenarbeit und die Projektrealisation vereinfacht.

Gestaltungsmöglichkeit

Als Innovationsidee könnten die Fassadenmodule mit einem Floatglas bedeckt werden, auf denen ein beliebiges, mehrfarbiges Bild aufgedruckt wird. Diese könnten beispielsweise über einen Schülerwettbewerb gestaltet werden. Dies ist ein kreativer Weg, um die nächste Generation für erneuerbare Energie zu begeistern und gemeinsam die Energiestrategie 2050 erfolgreich zu meistern. Die Gesellschaft wird so auf einen sparsamen und respektvollen Umgang mit Ressourcen aufmerksam gemacht.



Abb. 2: Fassadenansicht Schulhaus Bachwis

Mit den jährlich ersparten CO₂-Emissionen der drei Schulanlagen mit „Vollausrüstung“ könnte man 13.5 Mal mit dem Auto um die Welt fahren.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_03
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Kombinierte Einzelraumregelung für Heizung und Lüftung

Studierende	Janine Mäder
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Prof. Dr. Olivier Steiger
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Roger Matt, Climeo AG, Buchgrindelstrasse 9, 8620 Wetzikon)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Kombinierte Einzelraumregelung für Heizung und Lüftung

Anfang des Jahres 2020 wurde den Baufachleuten die innovative und kombinierbare Einzelraumregelung für Heizung und Lüftung mit dem Namen «Climeo System» vorgestellt. Mit diesem neuartigen System kann jeder Raum einer Wohnung mit einem variablen Luftvolumenstrom, und der Heizkreislauf individuell bedient werden.

Die Bachelor-Thesis befasst sich mit mehreren Fragen, wie z.B. : Wie verhält sich der Energieverbrauch eines Climeo Systems gegenüber den marktüblichen Systemen? Zudem geht sie der Frage nach, ob durch die Einzelraumregelung eine gewisse Gleichzeitigkeit berücksichtigt, und dementsprechend das Lüftungsgerät sowie das Luftleitungsnetz kleiner dimensioniert werden kann.

Grundkonzept

Die Abluft wird in allen Räumlichkeiten einer Wohnung abgesaugt. Die Zuluft wird an einem zentralen Ort, an dem keine Geruchsemissionen entstehen kann, eingeblasen. Bei jedem einzelnen Abluftabgang in der eingelegten Verteilkiste wird ein sogenanntes AirGate eingebaut. Das AirGate misst die Raumluftqualität (Temperatur, relative Feuchtigkeit, VOC-Gehalt und der Luftvolumenstrom) und reguliert den gewünschten Luftvolumenstrom. Zudem kann der Bodenheizverteiler mit dem Namen TempGate bei der Firma Climeo AG bezogen werden. Dieser Verteiler verfügt ebenfalls über einen Umschaltkontakt für die Benutzung von Free-Cooling. Durch die Kombination der beiden Komponenten, kann auf die Raumthermostaten für die Heizungsregelung verzichtet werden. Mittels der Bedieneinheit RoomMaster überwacht der Bewohner die Anlage und kann die automatische Regelung manuell übersteuern. Mit dem RoomMaster wird ebenfalls die Luftqualität gemessen. Das Climeo System kann über eine App bedient werden. Falls der Bauherr darauf besteht, in jedem Schlafzimmer Zuluft einzublasen, kann dies mit zusätzlichen RoomMastern ebenfalls mit dem Climeo System realisiert werden.

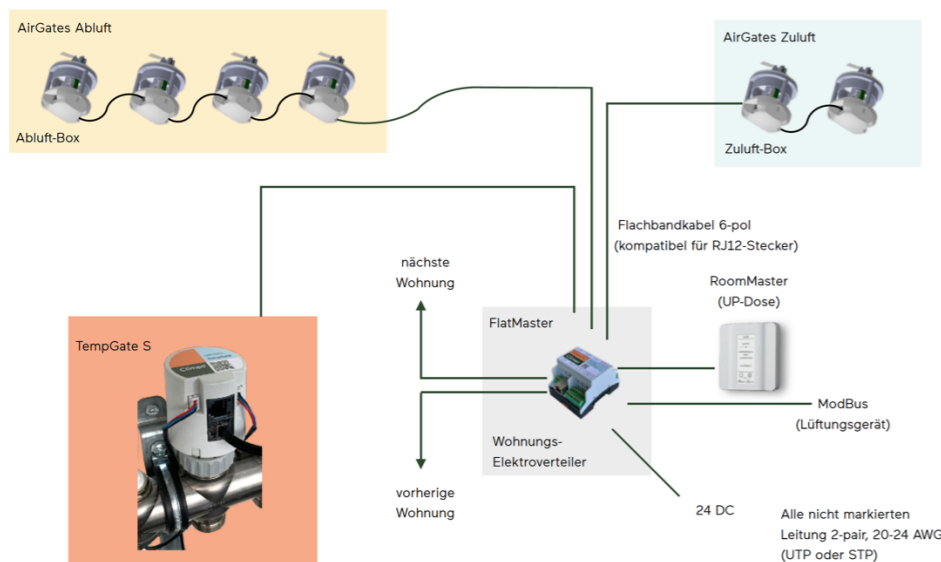


Abb. 1: Komponenten des Climeo Systems

Simulation

Mithilfe von verschiedenen Simulationen wurden die Fragestellungen genauer untersucht. Als Basis für die Simulation dienten vier verschiedene Wohnungstypen mit unterschiedlicher Anzahl Zimmer. Es ist schwierig, ein exaktes Personenprofil für einen Wohnbau zu definieren, weil es unzählige Personenlastprofile, sowie unterschiedliche Tagesbelegungen gibt. Aus diesem Grund wurden verschiedene Personenprofile simuliert. Zudem wurden die Personenprofile mit unterschiedlichen Luftmengen simuliert.

Auswertung

In der Abbildung 2 sind die Luftvolumenströme einer 4.5-Zimmerwohnung ersichtlich. Es ist erkennbar, dass der Luftvolumenstrom einer Wohnung mit dem Climeo System tiefer ist, als bei den übrigen Berechnungsmethoden.

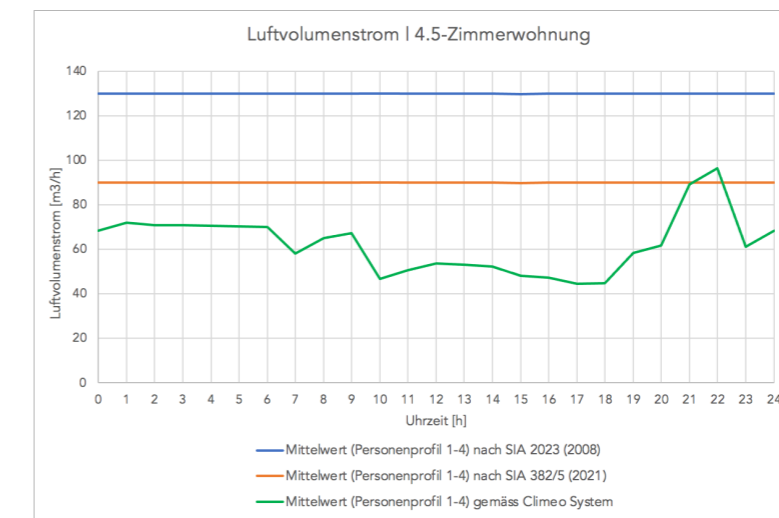


Abb. 2: Luftvolumenstrom einer 4.5-Zimmerwohnung

Aus der Abbildung 3 kann der thermische Energiebedarf einer 4.5-Zimmerwohnung über ein Jahr je nach Berechnungsmethode herausgelesen werden. Wie erwartet, ist der thermische Energiebedarf des Climeo Systems am tiefsten.

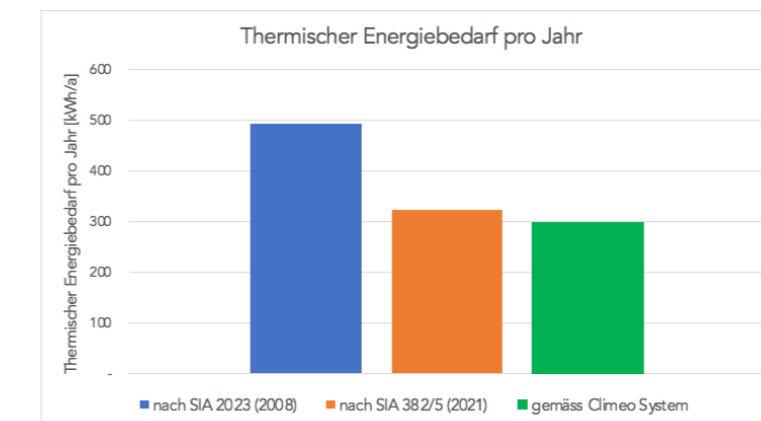


Abb. 3: Übersicht thermischer Energiebedarf pro Jahr einer 4.5-Zimmerwohnung

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_04
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Solar-Verbundkraftwerk für das Quartier «Feldstrasse»

Studierende	Livio Vollenweider Michel Lindegger
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Michel Bohren, 6232 Geunsee)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Solar-Verbundkraftwerk für das Quartier «Feldstrasse»

Um einen Schritt in Richtung Energiewende zu machen, prüft das Quartier «Feldstrasse» die Realisierung eines eigenen Solarkraftwerks. Die gesamten Dachflächen sollen mit Photovoltaikanlagen ausgestattet werden. Dabei soll die erneuerbare Energie möglichst vor Ort verbraucht werden. Die Arbeit untersucht das solare Potential des Quartiers und erarbeitet verschiedene Speichervarianten zur Erhöhung des Eigenverbrauchs und der Unabhängigkeit vom Stromnetz.

Motivation und Ausgangslage

Mit dem «Ja» des Schweizer Stimmvolkes zur Energiestrategie 2050 verfolgt der Bund das Ziel, die Energieeffizienz zu steigern, die Stromproduktion durch Atomkraftwerke einzustellen und eine solide erneuerbare und vermehrt dezentrale Energieversorgung aufzubauen. Um diese Ziele zu erreichen, wurden verschiedene Massnahmen ergriffen wie zum Beispiel die Förderung der Photovoltaikanlagen. Das Solarkraftwerk des Quartiers «Feldstrasse» könnte dem Bestreben des Bundes nachgehen und zudem von den Vergütungen profitieren.

Das Quartier «Feldstrasse» liegt in Geuensee im Kanton Luzern. Es beinhaltet sechs Mehrfamilienhäuser sowie fünf Einfamilienhäuser. In der Abbildung 1 sind die involvierten Häuser ersichtlich. Ein nachhaltiger Umgang mit der Energie ist den Bewohnern des Quartiers wichtig und wurde bereits beim Bau beachtet. Für die Raumheizung und den Warmwasserbedarf wurden Wärmepumpen eingesetzt. Somit wird der Primärenergiebedarf minimiert und auf fossile Brennstoffe verzichtet. Es kam der Wunsch auf, die Stromversorgung ebenfalls erneuerbar zu gestalten. Ein Solarkraftwerk soll einen Teil des elektrischen Energiebedarfs decken.

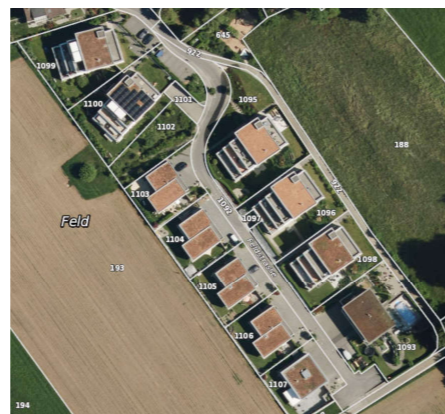


Abbildung 1: Luftaufnahme des Quartiers "Feldstrasse" (Raum und Wirtschaft, 2021)

Zielsetzung und Methodik

Die Arbeit untersucht, wie ein Quartier mit einem Solar-Solarkraftwerk eine möglichst autarke und zugleich auch wirtschaftliche erneuerbare Energieversorgung bewerkstelligen kann. Dafür werden zu verschiedenen Varianten Simulationen und Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchgeführt und abschliessend zusammengefasst.

Um einen möglichst hohen Eigenverbrauch anzustreben, wurde ein Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) geplant und die dazu notwendigen Massnahmen thematisiert. In der Arbeit wurden zwei Grössen vom ZEV betrachtet. Das ZEV «Feldstrasse» umfasst das gesamte Quartier. Das ZEV «Einfamilienhäuser» beinhaltet lediglich den Zusammenschluss von vier Einfamilienhäusern. Um die Nutzung der erneuerbaren Energie zu erhöhen, wurden verschiedene Varianten der Speicherung geprüft. Simuliert wurden die jährlichen Energieflüsse und der daraus folgende Eigenverbrauchsanteil, sowie der Autarkiegrad des ZEV.

Produktion und Verbrauch

Anhand der zur Verfügung gestellten Jahresenergieverbräuchen von diversen Haushalten wurde der Gesamtverbrauch des jeweiligen ZEV berechnet und mit einem passenden Verbrauchsprofil hinterlegt. Der Jahresenergieverbrauch des ZEV «Feldstrasse» beträgt 235'200 kWh und das des ZEV «Einfamilienhäuser» 47'800 kWh.

Die Grössen der jeweiligen PV-Anlagen wurde anhand der nutzbaren Dachflächen ausgelegt und mit Hilfe eines Simulationsprogramms die jährlich produzierte Energie errechnet. Die Resultate wurden als Jahreskennlinie ausgegeben. Für das ZEV «Feldstrasse» ergab sich eine PV-Anlage mit einer Spitzenleistung von 197 kWp, welche 185'000 kWh Energie produziert im Jahr. Für das ZEV «Einfamilienhäuser» wurde eine Anlage mit 69 kWp geplant, welche im Jahr 64'600 kWh Energie produziert. Der Verlauf der Produktion und vom Verbrauch sind in der Abbildung 2 aufgezeigt.

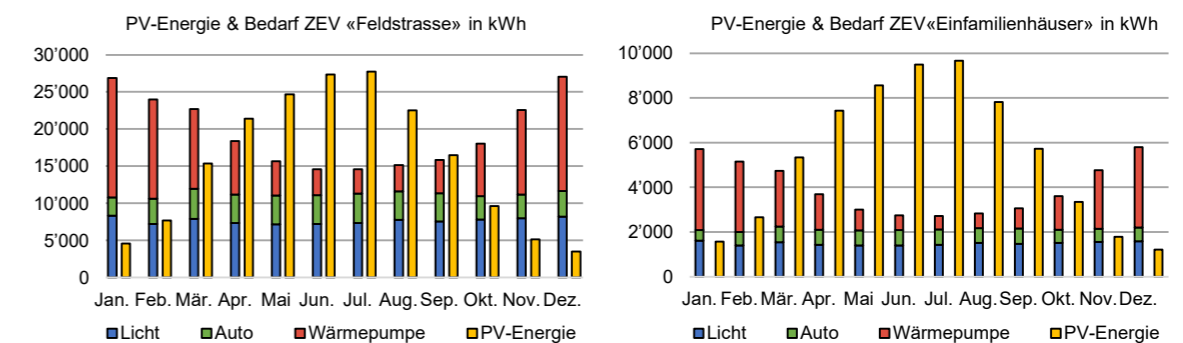


Abbildung 2: Jahresverlauf der Produktion und des Verbrauchs der beiden ZEV Grössen

Um die Nutzung der erneuerbaren Energie zu steigern, wurden für die beiden ZEV verschiedene Speichervarianten geprüft. Dabei wurde jeweils ein Batteriespeicher in Form einer Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie und ein Langzeitspeicher in Form eines Wasserstoffspeichers eingesetzt. Die Dimensionierung der Anlagen wurde mit Hilfe einer eigens erstellten Simulation durchgeführt. Dabei wurde ein möglichst hoher Autarkiegrad im Verhältnis zur Anlagengrösse angestrebt. Folgend werden die Resultate der Simulation kurz zusammengefasst.

Resultate ZEV «Feldstrasse»

Die PV-Variante ist die einzige Variante, die wirtschaftlich betrieben werden kann. Die jährlichen Ersparnisse betragen 44 Fr pro Haushalt. Durch eine Erhöhung der jährlichen Energiekosten um 10.6 %, kann mit einem Batteriespeicher (140 kWh) vor allem im Sommer die Nutzung der erneuerbaren Energien gesteigert werden und es wird ein durchschnittlicher Autarkiegrad von 51.3 % erreicht. Bei der PV-Wasserstoff-Variante kann der Autarkiegrad nur leicht erhöht werden, somit ist diese Variante zum heutigen Zeitpunkt aufgrund ihrer Effizienz und Kostenintensität nicht empfehlenswert.

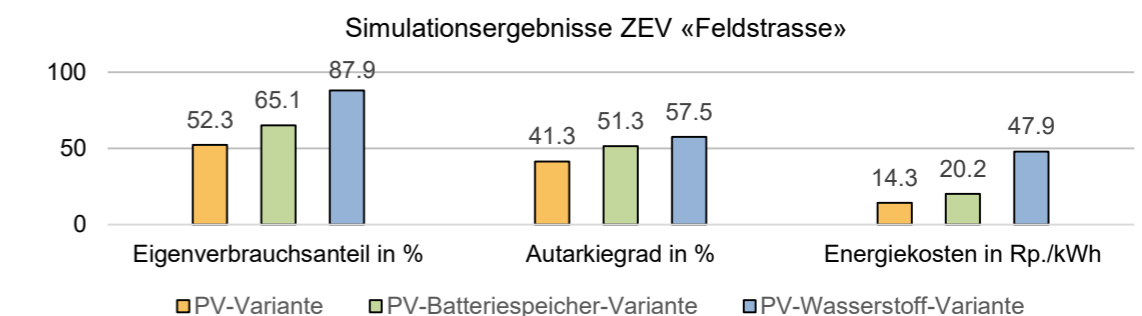


Abbildung 3: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse ZEV «Feldstrasse»

Resultate ZEV «Einfamilienhäuser»

Dasselbe Schema wiederholt sich beim ZEV «Einfamilienhäuser». Die Energiepreise fallen dabei jedoch noch höher aus, da die notwendigen Grabarbeiten für die Erstellung des ZEV auf weniger Teilnehmer aufgeteilt werden. Folglich wird keine Variante wirtschaftlich und die Energiepreise steigen um 11.5 %. Ist man jedoch gewillt für selbstproduzierte erneuerbare Energie einen Aufpreis von 40.4 % zu bezahlen, kann ein Batteriespeicher (50 kWh) eine Lösung sein. Er verhilft zu 128 autarken Tagen, ohne Abhängigkeit vom Netz. Ein Langzeitspeicher kann die Autarkie weiter erhöhen, jedoch entstehen dabei unverhältnismässige Energiekosten.

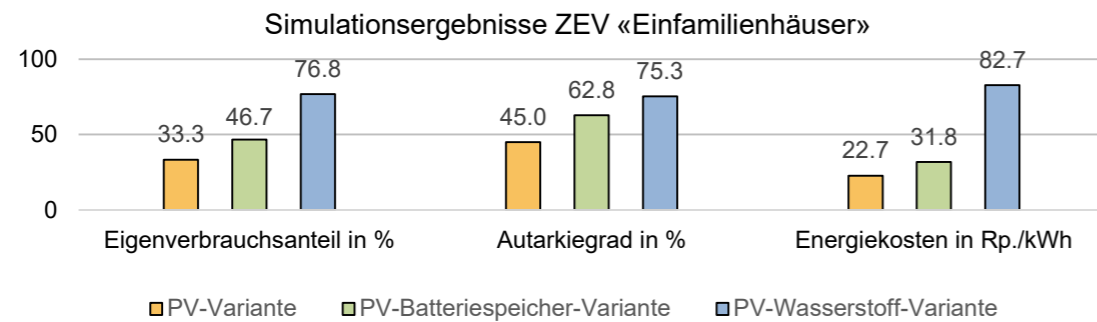


Abbildung 4: Gegenüberstellung der Simulationsergebnisse ZEV «Einfamilienhäuser»

Ausblick

Die Energiestrategie des Bundes setzt auf eine dezentrale und erneuerbare Energieerzeugung. Durch ein Solarkraftwerk kann dieses Bestreben unterstützt werden und es wird ein Beitrag an die Umwelt geleistet. Um die Rentabilität von solchen Anlagen zu steigern wird ein Zusammenschluss zum Eigenverbrauch empfohlen. Da die öffentlichen Netze für den Energieaustausch nicht genutzt werden dürfen, entstehen hohe Investitionskosten für das Erstellen eines separaten Verteilnetzes. Durch ein Contracting des Netzbetreibers könnten diese zusätzlichen Umbauarbeiten unterlassen werden und die Investitionen würden sinken. Mit Blick in die Zukunft könnte so die Zusammenarbeit mit den Netzbetreiber interessanter gestaltet werden, und somit die erneuerbare Energieerzeugung und deren gemeinsame Nutzung gefördert werden.

Möchte man den Eigenverbrauch durch einen Energiespeicher erhöhen, ist das heutzutage noch nicht wirtschaftlich umsetzbar. Die Anschaffungskosten eines Speichers werden jedoch in den nächsten Jahren weiter sinken was einen positiven Effekt auf die Wirtschaftlichkeit hat. Der Einsatz eines Langzeitspeichers wird in Zukunft unumgänglich sein, um die saisonalen Schwankungen der PV-Produktion auszugleichen. Die Speicherung in Form von Wasserstoff ist dabei eine nachhaltige Lösung. Heutzutage sind diese Systeme für kleine Anwendungen noch zu ineffizient und kostenintensiv. Sie bedürfen noch weiteren Entwicklungen um konkurrenzfähig zu werden.

Um die dezentrale Energieproduktion und die Bildung von Quartierlösungen zu fördern, müssten die finanziellen Anreize erhöht werden und so die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen gewährleisten. Möchte heutzutage ein Quartier auf Grund der Nachhaltigkeit, ein Solarkraftwerk mit Speicher umsetzen, ist dies technisch machbar. Es muss jedoch mit einer Erhöhung des Energiepreises gerechnet werden.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_05
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Ideales Verhältnis von thermischen zu elektrischen Speichern

Studierender	Joel Müller
Dozierende	Prof. Volker Wouters Prof. Dr. Axel Seerig
Experte	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Simon Germann, Elektro Gyger AG, 3715 Adelboden)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Ideales Verhältnis von thermischen zu elektrischen Speichern

Um die Energiewende in der Schweiz umzusetzen, wird in den nächsten 30 Jahren ein massiver Zubau an Photovoltaik stattfinden; ein grosser Teil davon auf Wohnbauten und in Kombination mit Energiespeichern. Die vorliegende Studie behandelt die Frage nach dem idealen Verhältnis von thermischen und elektrischen Speichern zur Erhöhung der Netzunabhängigkeit von Wohnbauten mit Photovoltaikanlage.

Für die Auslegung von Photovoltaikanlagen mit Energiespeichern in Wohnbauten werden heute unterschiedliche Herangehensweisen gewählt. Die Dimensionierungen erfolgen dabei vielfach nach dem Grundsatz «Viel hilft viel», da gute Grundlagen fehlen. Daraus resultiert oft eine Auslegung mit einem zu grossen Fokus auf den Eigenverbrauchsgrad, anstatt die Netzunabhängigkeit zu berücksichtigen. Bei der alleinigen Betrachtung des Eigenverbrauchs werden oftmals finanzielle und energetische Aspekte ausser Acht gelassen.

Grundlagen — thermische und elektrische Speicher

Mithilfe von Energiespeichern sollen beim Betrieb von Photovoltaikanlagen der Eigenverbrauchsgrad und die Netzunabhängigkeit erhöht werden. In dieser Studie wurden ausschliesslich Tagesspeicher betrachtet, da diese täglich gebraucht werden und sich so schnell amortisieren lassen. Die naheliegendste Möglichkeit zur Speicherung von elektrischer Energie ist die Installation eines Batteriespeichers. Dieser bietet eine hohe Flexibilität, lässt sich aber bei den heutigen Batteriepreisen meist nicht amortisieren. Hier kommt die Möglichkeit der Nutzung von thermischen Speichern zum Tragen. Ein Schweizer Wohngebäude benötigt den grössten Teil der extern bezogenen Energie für die Raumheizung und Warmwasseraufbereitung. Dies und den Umstand, dass in vielen Wohngebäuden mindestens ein thermischer Energiespeicher vorhanden ist, nämlich der Brauchwarmwasserspeicher, macht man sich zu nutze. Diese Speicherart wird in der Fachsprache sensibler Wasserspeicher genannt. Der Brauchwarmwasserspeicher kann mithilfe einer Wärmepumpe oder eines elektrischen Heizeinsatzes, man spricht hier von einem Power-to-Heat-System, beheizt werden. Bei Überproduktion wird infolgedessen die Wärmepumpe oder der Heizeinsatz eingeschaltet, so kann das Brauchwarmwasser mit Sonnenstrom erhitzt werden. Der zweite sensible Wasserspeicher, welcher auch eine weite Verbreitung in Wohngebäuden hat, ist der Pufferspeicher der Heizung. In diesem Speicher wird die Heizwärme zwischengespeichert. Zur Nutzung des Sonnenstroms kann hier ebenfalls über die Ansteuerung der Wärmepumpe oder eines Power-to-Heat-Systems Wärme erzeugt und gespeichert werden.

Simulation

Um verlässliche Aussagen zu den Auswirkungen verschiedener Speicherarten und -grössen machen zu können, sind viele Daten von unterschiedlichen Anlagen nötig. Da diese nicht einfach zu bekommen sind, wird eine Simulation zur Generierung der benötigten Daten durchgeführt. Zur Verifizierung der Simulationsdaten werden diese mit den Daten einzelner Referenzobjekte abgeglichen. Als Eingangsdaten für die Simulation dienen: die Wetterdaten des Standorts, die Gebäudedaten in Bezug auf den Heizbedarf und die jeweiligen Verbrauchsdaten. Die Simulation wurde anhand eines Einfamilienhauses mit vier Bewohnern für die Standorte Davos, Lugano und Zürich durchgeführt.

Analyse

Die Analyse wurde mit Blick auf die Netzunabhängigkeit vorgenommen, der gewählte Vergleichsparameter ist der Autarkiegrad. Dieser gilt für die gesamte Energiebilanz des Gebäudes, da jeweils eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger hinterlegt wird. Somit ist die einzige externe Energiequelle die Elektrizität, welche aus dem öffentlichen Stromnetz bezogen wird. Die Ergebnisse aus der Analyse zur Netzunabhängigkeit werden anschliessend einer Wirtschaftlichkeitsberechnung unterzogen, damit das Autarkie-Optimum mit dem wirtschaftlichen Optimum verglichen werden kann. Daraus wird das ideale Verhältnis von thermischen zu elektrischen Speichern gebildet.

Grafische Auswertung

Aus den ausgewerteten Daten wurde ein Diagramm zur Abschätzung der Wirksamkeit verschiedener Speichermöglichkeiten, der Grösse der Photovoltaikanlage und der Kosten für eine Lebensdauer von 25 Jahren erstellt.

Da die gesamte Simulation mit einer Auslegung der Batteriespeicher nach der Grösse der Photovoltaikanlage aufgebaut wurde, ist dies in diesem Diagramm dementsprechend enthalten. Dabei wird der Batteriespeicher so ausgelegt, dass eine oder zwei Stunden der Nennleistung der Photovoltaikanlage gespeichert werden können.

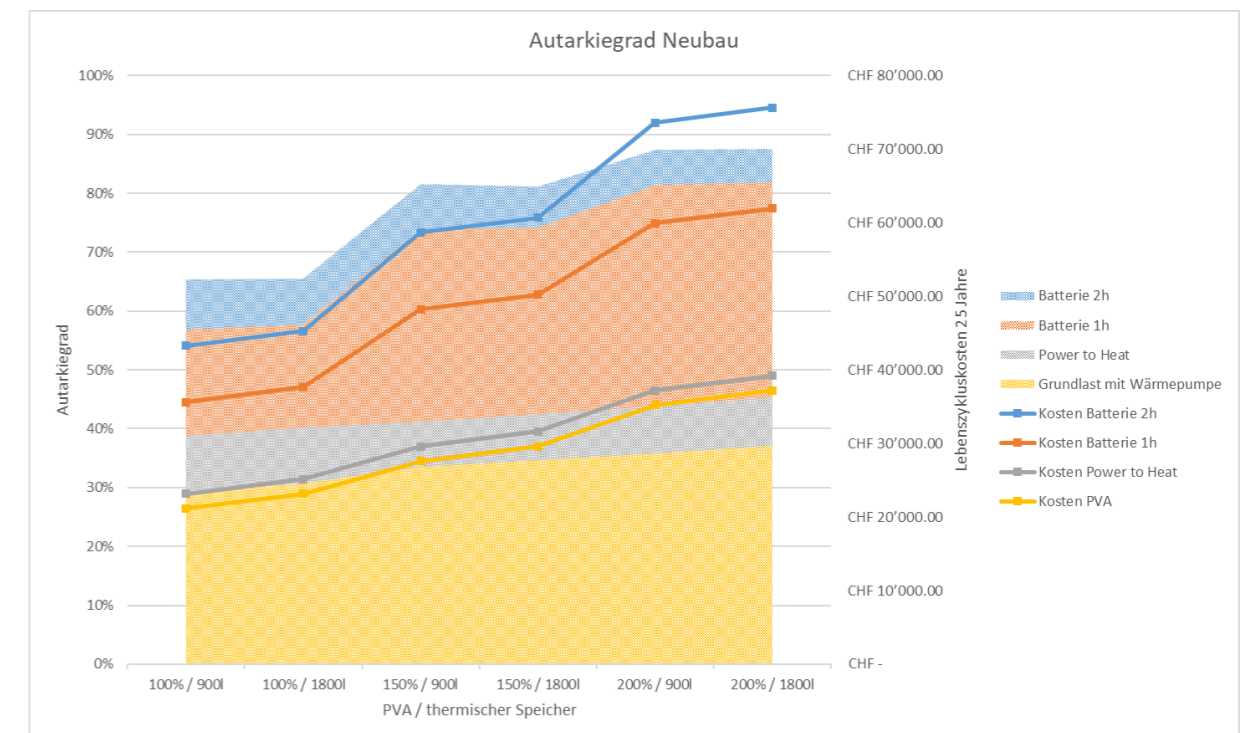


Abb. 1: Auswertung Autarkiegrad / Wirtschaftlichkeit Neubau (eigene Darstellung)

Ergebnisse und Ausblick

Aus den Ergebnissen der Analyse lässt sich schliessen, dass bei Photovoltaikanlagen auf Schweizer Wohnbauten Autarkiegrade bis zu 80% durch die Kombination von thermischen und elektrischen Tagesspeichern erreicht werden können. Dabei kann der Jahresstromverbrauch, welcher als Grundlage zur Dimensionierung der Photovoltaikanlagen- und der Speichergrösse dient, durch einen energieeffizienten Baustandard und eine Wärmepumpe als Wärmeerzeuger erheblich reduziert werden.

Aus wirtschaftlicher Sicht lassen sich heute nur die betrachteten thermischen Speicher in Standardgrösse sinnvoll in den Betrieb einer Photovoltaikanlage integrieren. Entgegen der verbreiteten

Meinung, nicht zu grosse Photovoltaikanlagen zu bauen, zeigte sich, dass eine Dimensionierung mit 150% oder 200% des Jahresstromverbrauchs aus wirtschaftlicher Sicht und auch zur Steigerung des Autarkiegrades sinnvoll ist. Die Auslegung von Batteriespeichern sollte ebenfalls nach dem Jahresverbrauch erfolgen, denn bei einer Dimensionierung nach 1—2 Stunden der Nennleistung der Photovoltaikanlage können die Speicher unter Umständen ungünstig ausgelegt werden. Der optimale Wert für die Kapazität eines elektrischen Tagesspeichers liegt bei rund 1/900 des Jahresstromverbrauchs.

Die Frage nach dem idealen Verhältnis von thermischem zu elektrischem Speicher konnte nicht abschliessend geklärt werden. Sicher ist, dass ein Batteriespeicher mit der Kapazität von 1/900 des Jahresstromverbrauchs in Kombination mit einem 300-Liter-Brauchwarmwasserspeicher für ein Einfamilienhaus eine gute Lösung darstellt. Der Brauchwarmwasserspeicher sollte dazu mit einer Wärmepumpe bis 55° C und mittels eines Power-to-Heat-Systems bis 65° C weiter geladen werden. Aufgrund der vielen Einflussfaktoren für den Betrieb eines Pufferspeichers kann dazu weder eine Empfehlung zur Grösse noch zur Beladung abgegeben werden. Zu diesem Zweck sollte eine weitere Forschungsarbeit explizit zum Thema Wärmepumpen mit den entsprechenden Tagesspeichern durchgeführt werden.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_06
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimale Regelung für ein neuartiges dezentrales Latentspeichermodul in einem Mehrfamilienhaus

Studierende	Patrick Heller Lorenz Rügsegger
Dozierende	Prof. Matthias Balmer Leonardo Montali
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Andreas Leuenberger, BMS-Energietechnik AG
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Optimale Regelung für ein neuartiges dezentrales Latentspeichermodul in einem Mehrfamilienhaus

Der Heizwärmebedarf der Räume in Wohngebäuden konnte in den letzten Jahren stetig gesenkt werden, während der Wärmebedarf für die Bereitstellung des Brauchwarmwassers stagnierte. In Neubauten wird das Brauchwarmwasser bereits in energieeffiziente und umweltfreundliche Heizsysteme integriert. Angesichts des unverändert hohen Energieverbrauchs für die Brauchwarmwasseraufbereitung müssen jedoch neue Lösungen gesucht werden. Dezentrale Frischwasserstationen bieten eine interessante Möglichkeit, um energetische Vorteile zu nutzen und durch die bedarfsgerechte Betriebsweise eine verbesserte Trinkwasserhygiene zu gewährleisten. Allerdings ist die grosse Herausforderung die heizungsseitige Leistung im Wärmeverteilnetz bereitzustellen.

Um die dezentrale Brauchwarmwasseraufbereitung neu zu denken und bestehende Ansätze zu forcieren hat die BMS Energietechnik AG, zusammen mit dem Kompetenzzentrum Thermische Energiespeicher der HSLU und der Schweizerischen Agentur für Innovationsförderung (Innosuisse), ein Forschungsprojekt unter dem Namen «Brauchwarmwasserspeicher BWW++» lanciert. Das neu entwickelte System basiert auf einer dezentralen Wärmepumpe, die ihre Verdampfungsenergie aus dem Heizkreislauf im Winter oder der Raumwärme im Sommer bezieht und über einen neuartigen Latentwärmespeicher eine Frischwasserstation betreibt.

Diese Bachelor-Thesis gliedert sich in das Forschungsprojekt ein und befasst sich mit der hydraulischen und regeltechnischen Einbindung des dezentralen Systems in das primäre Heizungskonzept sowie der energetischen Potenzialabschätzung mittels einem Simulationsmodell.

Das methodische Vorgehen teilt sich in vier Detailstudien auf. In der ersten Phase wurde das Energiepotenzial des Latentwärmespeichers auf Basis von definierten Brauchwarmwasserbezügen untersucht. In einem zweiten Schritt wurde unter Einbezug von sechs Betriebsszenarien eine hydraulische Einbindung der dezentralen Wärmepumpe in das Heizungsnetz entwickelt. Auf dieser Grundlage konnte ein Regelkonzept erarbeitet werden. In der Simulationssoftware IDA Indoor Climate and Energy (IDA ICE) wurde das Gesamtsystem gegenüber einem konventionellen Konzept mit zentraler Brauchwarmwasseraufbereitung verglichen.

Ein Mehrfamilienhaus als Referenzgebäude

Das neue System zur dezentralen Brauchwarmwasseraufbereitung soll in den Neubauten im Wohnsektor eine langfristige Anwendung finden. Für sämtliche Betrachtungen des Gesamtsystems diente deshalb ein Simulationsmodell eines Mehrfamilienhauses als Referenzgebäude (Abbildung 1). Dieses besteht aus einem Untergeschoss und drei überirdischen Wohngeschossen, welche jeweils zwei 4.5-Zimmerwohnungen beinhalten. Dem Referenzgebäude liegt eine gesamte Energiebezugsfläche von 561 m² zu Grunde.

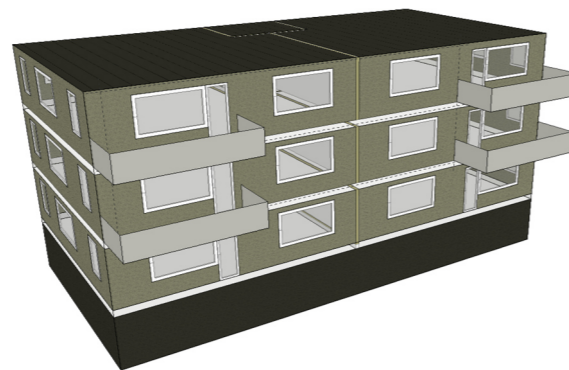
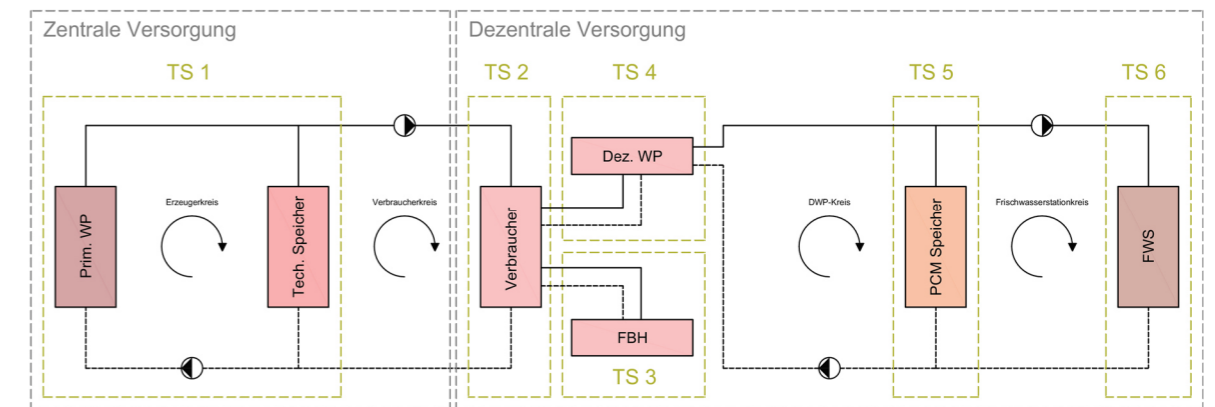


Abbildung 1: Simulationsmodell Referenzgebäude

Heizungsanlage und Systemgrenzen

Die Anlage besteht aus einer primären Luft/Wasser-Wärmepumpe mit technischem Speicher im Untergeschoss und sechs dezentralen BWW-Modulen für die einzelnen Wohnungen. Diese sind hydraulisch und regeltechnisch in das Wärmeverteilnetz der Fussbodenheizung eingebunden. Zum System der dezentralen BWW-Aufbereitung gehört eine Wärmepumpe, die ihre Verdampfungswärme aus dem Wärmeverteilnetz (im Winter) oder über die Fussbodenheizung aus dem Raum (im Sommer) bezieht und über einen Latentwärmespeicher eine Frischwasserstation betreibt. Neben der Unterteilung der Heizungsanlage in eine zentrale und dezentrale Versorgung, sind sechs Teilsysteme gemäss Abbildung 2 definiert.



TS 1: Primäre Wärmeerzeugung
 TS 2: Wohnungsverteilung
 TS 3: Fussbodenheizung (Raum)
 TS 4: Dezentrale Wärmepumpe
 TS 5: Latentwärmespeicher
 TS 6: Frischwasserstation

Abbildung 2: Heizungsanlage und Systemgrenzen

Neu entwickeltes Phasenwechselmaterial als Chance für die dezentrale Energiespeicherung

In Latentwärmespeichern wird zusätzlich zur sensiblen Wärme die für einen Phasenwechsel des Wärmespeichermediums notwendige Energie gespeichert. Dafür werden Latentwärmespeichermaterialien, auch «Phase Change Materials» (PCM), verwendet.

Für die Anwendung im Forschungsprojekt wird ein verkapseltes PCM verwendet, welches den Phasenübergang von fest zu flüssig auf einem Temperaturniveau bei über 55 °C nutzt. Durch die gespeicherte Phasenwechselenthalpie im Füllmaterial (PCM) der Kapseln kann die Speicherkapazität um Faktoren gesteigert werden. Dementsprechend kann das Speichervolumen für die Abdeckung von BWW-seitigen Spitzenbezügen im Vergleich zu sensiblen Warmwasserspeichern markant reduziert werden. Die im Forschungsprojekt geleisteten Arbeiten im Bereich des PCM und der Verkapselung haben zur Erweiterung des Produktportfolios im Start-up-Unternehmen COWA Thermal Solutions AG beigetragen und werden fortan für BWW-Anwendungen weiterentwickelt.

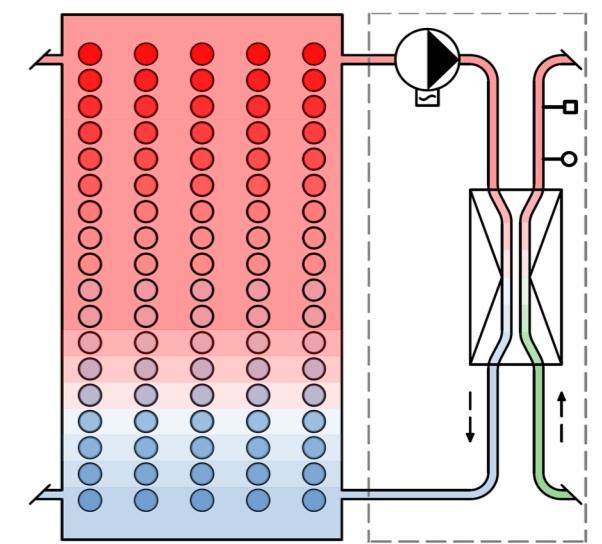


Abbildung 3: Latentwärmespeicher / Frischwasserstation

Einbindung dezentrale BWW-Aufbereitung

Während der Heizperiode und der Übergangszeit im Frühling und Herbst wird die Vorlauftemperatur im Wärmeverteilnetz nach der Aussentemperatur geregelt. Dabei werden die Fussbodenheizung und die dezentrale Wärmepumpe als Verbraucherkreise in den einzelnen Wohnungen parallel oder alternativ betrieben. Eine grosse Herausforderung der dezentralen Systemeinbindung ist, dass im Sommer die Raumwärme als Quelle für die dezentrale Wärmepumpe genutzt werden kann. Die Wärmeverteilung wird dementsprechend als Energienetz betrieben, in welchem die Fussbodenheizung resp. die Räume sämtlicher Wohnungseinheiten als Erzeuger und die dezentralen Wärmepumpen als Verbraucher zusammengeschlossen sind.

Regeltechnische Herausforderung

Für einzelne Teilsysteme können branchenübliche und erprobte Regelstrategien vorgesehen werden. Beispielhaft zu nennen ist die BWW-seitige Austrittstemperaturregelung der Frischwasserstation. Die Bewirtschaftung des Latentwärmespeichers in das Gesamtregelkonzept einzubinden ist allerdings eine Herausforderung. Bei Latentwärmespeichern ändert sich die Temperatur des Speichermediums während des Phasenübergangs nicht bzw. nur sehr gering. Da dieser Phasenübergang den eigentlichen Speichervorgang darstellt und die Energiespeicherung innerhalb eines sehr begrenzten Temperaturintervalls erfolgt, kann eine Temperaturmessung nicht zur Ladestandmessung des Speichers verwendet werden. Nur zur Detektion des Zustands der kompletten Ladung bzw. Entladung des Speichers kann eine Temperaturmessung herangezogen werden. Für eine ganzheitliche Speicherbewirtschaftung ist die Detektion der Ladestände mittels Wärmehähler bei den Frischwasserstationen ein interessanter Ansatz.

Ein Schritt in die richtige Richtung

Durch die Nutzung der Raumwärme als Quelle für die dezentrale Wärmepumpe im Sommer und der Grundlage, dass die primäre und dezentrale Wärmepumpe in einem optimalen Temperaturbereich arbeiten, kann der thermische Jahresenergiebedarf um 12 % und der elektrische Endenergiebedarf um bis zu 20 % reduziert werden. Dieses energetische Einsparpotenzial resultiert aus dem Vergleich des neuartigen Gesamtsystems zu einem konventionellen Konzept mit zentraler BWW-Aufbereitung anhand der Simulation im Referenzgebäude (Abbildung 4).

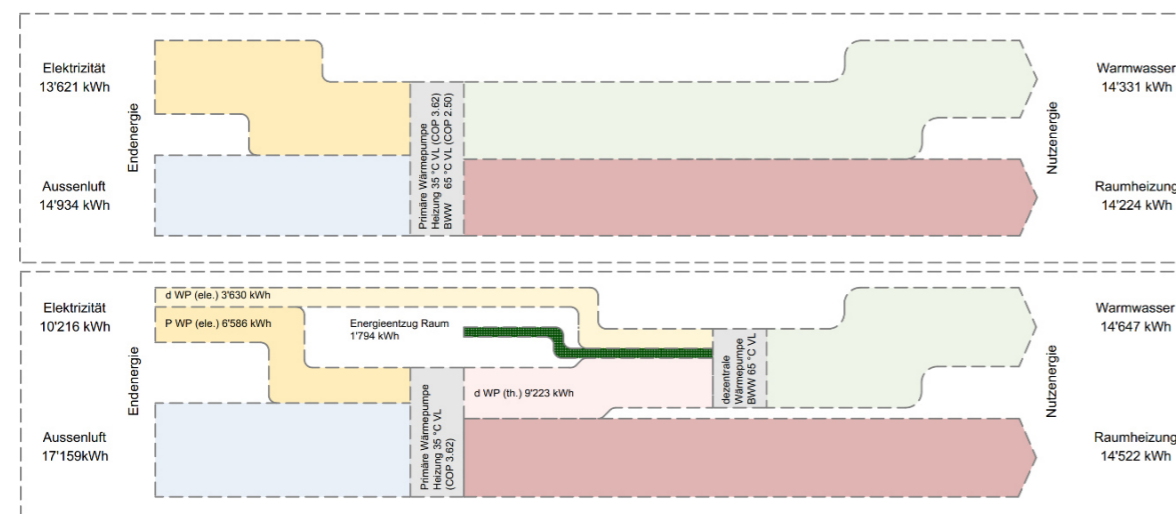


Abbildung 4: Vergleich von Jahresenergiebedarfen im Energieflussdiagramm

Die Bachelor-Thesis beweist, dass Forschungsmassnahmen im Bereich der dezentralen Brauchwarmwasseraufbereitung in Wohngebäuden einen entscheidenden Beitrag zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 des Bundes zu leisten vermögen.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_07
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Erprobung des klimafreundlichen Tracergases HFO-1234yf zur Bestimmung der Luftwechselrate und der Lüftungseffektivität in belegten Räumen unter Covid-19 Randbedingungen

Studierende	Moritz Bienz Kevin Bucheli
Dozierende	Heinrich Huber Stefan Walser
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Beat Frei, FREI WÜEST EXPERT, Ingenieurbüro, Geissburghalde 11, CH-6130 Willisau)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Erprobung des klimafreundlichen Tracergases HFO-1234yf zur Bestimmung der Luftwechselrate und der Lüftungseffektivität in belegten Räumen unter Covid-19 Randbedingungen

Tracergase kommen bereits in vielen Anwendungsbereichen zum Einsatz und so auch in der Luftströmungsbestimmung. In der aktuellen Situation rund um die Coronaviruspandemie gewinnen Möglichkeiten zur Bestimmung von Strömungsbildern in Räumen und der damit zusammenhängenden Bestimmung der Lüftungseffektivität an Bedeutung. Da das weitverbreitete Tracergas SF₆ ein hohes Treibhauspotential aufweist, wird nach Alternativen gesucht. Das Gas HFO-1234yf mit einem Global Warming Potential (GWP) von <1 stellt eine dieser möglichen Alternativen dar.

Zielsetzung

Ziel der Untersuchungen ist der Vergleich zwischen dem noch wenig erprobten Tracergas HFO-1234yf mit dem bewährten SF₆. Hierzu werden die bekannten Messverfahren der Konstant- und Pulsdosierungen eingesetzt und deren Aussagekraft hinsichtlich der Verbreitung von Schadstoffen in der Luft und des momentan allgegenwärtigen Coronavirus untersucht. Dabei werden auch Aussagen zur Lüftungseffektivität verschiedener Lüftungssysteme gemacht.

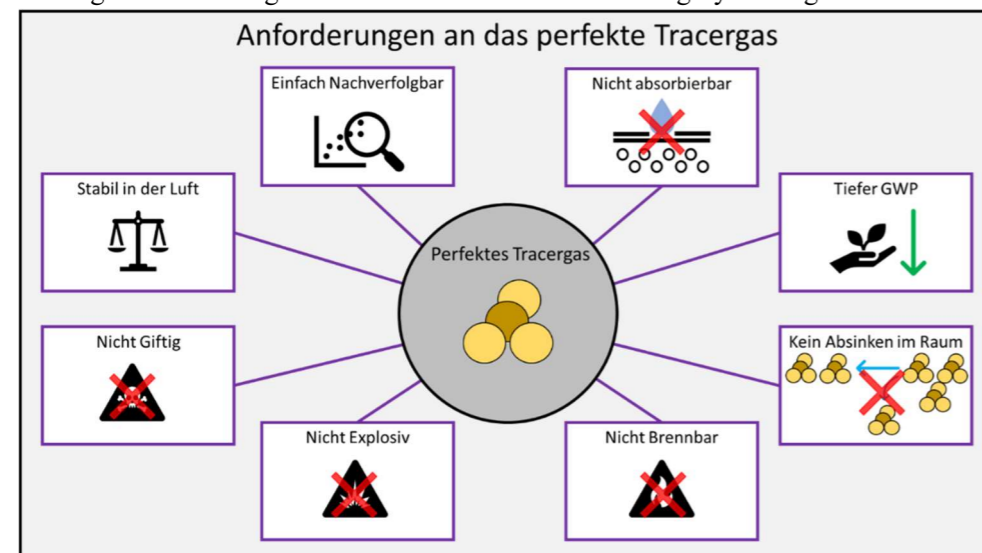


Abb. 1: Das perfekte Tracergas

Vorgehensweise

Messversuche an drei unterschiedlichen Prüfobjekten unter verschiedenen Rahmenbedingungen bilden die Grundlage der Untersuchungen. Ein erster Versuch fand unter Laborbedingungen ohne Lüftungsanlage statt; die beiden folgenden Versuche in unterschiedlichen Schulzimmern jeweils mit Lüftungsanlagen. Sämtliche Messungen wurden mit den beiden Tracergasen SF₆ und HFO-1234yf parallel durchgeführt und durch Rauchversuche optisch verifiziert.

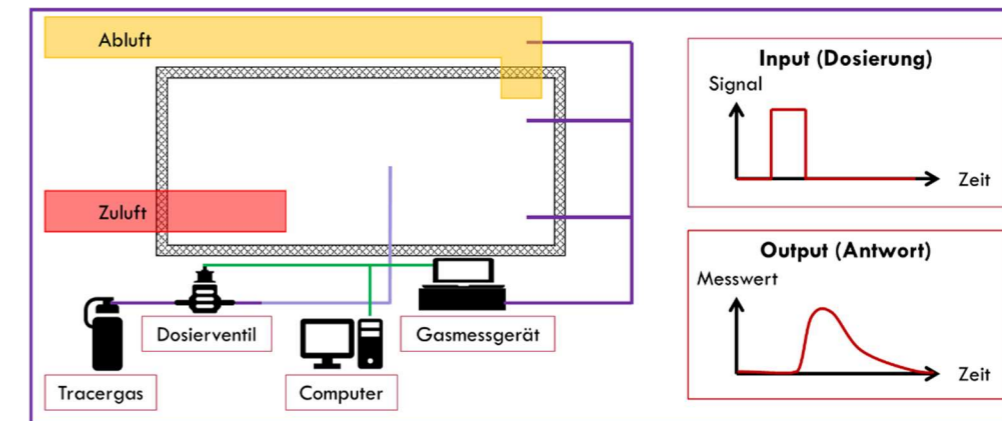


Abb. 2: Beispiel Messaufbau Puls-Methode

Vergleichbarkeit

Die Messversuche haben ergeben, dass eine Vergleichbarkeit der beiden Tracergase HFO-1234yf und SF₆ mit wenigen Einschränkungen gegeben ist. Abweichungen wurden hinsichtlich eines Absorptionsverhaltens des HFO-1234yf bei der Gastrocknung eines Messgerätes festgestellt, welche auch bei Versuchen der HSLU Luzern ausserhalb dieser Arbeit bereits bei beschichteten Rotationswärmetauschern beobachtet werden konnten. Ausserhalb dieser Beobachtungen konnten keine Abweichungen im Verhalten der beiden Gase festgestellt werden.

Rückschlüsse hinsichtlich Covid-19

Hinsichtlich eines Infektionsrisikos im Raum konnten vordergründig die Erkenntnisse aus den Messversuchen der Puls-Methode herbeigezogen werden. Diese haben ergeben, dass bei einer optimalen Luftführung in den Raum das Verbreitungsrisiko von Schadstoffen und somit auch der Virus-Partikel minimiert werden kann. Als Optimum zeigt sich dabei eine Luftführung in Bodennähe mit anschliessendem Abtransport der Raumluft nach oben hin zu den Abluftöffnungen in Deckennähe. Die Untersuchungen beschränken sich dabei auf jene Virenpartikel, welche sich wie Aerosole in der Raumluft bewegen. Das Verhalten von Tröpfchen wurde nicht untersucht.

Rückschlüsse hinsichtlich Raumluftströmungen

Nebst diesen zentralen Aussagen konnten durch die Messversuche weitere Erkenntnisse zu den Lüftungssystemen und zum Messverfahren gemacht werden. So zeigt sich, dass ein nicht aktiv belüfteter Raum durch unterschiedliche Temperierung der Oberflächen eine Raumluftwalze begünstigen kann, welche eine rasche Homogenisierung der Raumluft nach sich zieht. Vergleichbar ist die Situation mit einem Wohnzimmer mit schlechter Wärmedämmung. Weiter zeigten sich durch die Messversuche verschiedenste Fehlfunktionen an den Lüftungsanlagen der untersuchten Räume. Diese reichen von Kurzschlussströmungen aufgrund suboptimal angeordneter Luftauslässe bis hin zu regeltechnischen Fehlern. Hinsichtlich der Messverfahren zeigt sich, dass das Multipoint-Sampling seine Vorteile bei einer ersten Standortbestimmung des Raumes sowie bei den Konstantdosier-Verfahren ausspielen kann. Für eine effiziente Analyse der Pulsmethode ist dieses Messverfahren jedoch zu träge. Die kurzen Pulse werden so nicht immer korrekt erkannt, was die Messungen verfälscht. Hier zeigen sich Messverfahren nach dem Fourier-Transform-Infrarotspektrometer- oder dem Nichtdispersiven Infrarotsensoren-Prinzip als geeigneter.

Fazit

Abschliessend kann gesagt werden, dass Tracergasmessungen zwar aufgrund der Coronaviruspandemie an Bedeutung gewinnen, die Aussagekraft dieser Messungen aber weit darüber hinausgeht.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_08
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Zukunft der Gebäudeautomation

Studierende	Heldstab Sven
Dozierende	Olivier Steiger Björn Schrader
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Pascal Schmid, inlo ag, Altsagenstrasse 5,)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Zukunft der Gebäudeautomation

Es ist bekannt, dass die Digitalisierung unaufhaltsam voranschreitet und in fast allen Lebensbereichen immer mehr an Bedeutung gewinnt. Auch in der Gebäudeautomation (GA) ist dieser Trend klar sichtbar. Heute gibt es viele verschiedene Möglichkeiten, eine Gebäudeautomationsstruktur aufzubauen. Durch die neuen Technologien entstehen neue Trends, welche sich in unterschiedliche Richtungen bewegen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, diese Trends zu eruieren und aufzuzeigen, wie sich die GA in Zukunft verändern wird, in welche Richtung die Trends gehen und was die Auswirkungen und neue Herausforderungen für die Planer sind. Auch werden die Veränderungen in den Bau- und Betriebsprozessen sowie die Lebenszyklen der verschiedenen Komponenten aufgezeigt.

Vorgehen

Um neue Erkenntnisse in Bezug auf die oben genannten Themen zu bekommen, wurde in einer ersten Phase eine Internetrecherche durchgeführt. Durch unbeantwortete Themen gab es Fragen, welche in einer zweiten Phase durch mehrere Interviews mit IoT-Spezialisten, System- und Feldgerätehersteller Gebäudeinformatiker und einem Telekommunikations-Spezialisten beantwortet wurden. In der letzten Phase sind zwei Praxisbeispiele im Bereich Internet of Things (IoT) gemacht worden, welche die Auswirkungen der IoT auf die GA aufzeigt.

Analyse

Bei der Analyse der Trends im Bereich Gebäudeautomation hat sich gezeigt, dass der Trend IoT ein grosses Potential hat. Vor allem, weil IoT auch in anderen grossen Trends aufzufinden ist. Aus diesem Grund wurde das Internet der Dinge als Vertiefungsthema gewählt.

Durch das Sammeln von grossen Mengen an Daten können Auswertungen und Analysen dazu beitragen, einen höheren Komfort, kostensparende Optimierungen oder Energieeinsparungen zu generieren. Schon heute ist dieser Trend in Bereichen wie der Industrie, Building Information Modeling (BIM) oder Smart Home vorhanden.

In der Industrie zielt die IoT 4.0, auch Smart Factory genannt, drauf ab, die gesamte Industrie zu revolutionieren. Mithilfe von neuen Informations- und Kommunikationstechniken werden die Maschinen intelligent miteinander vernetzt. Heute gibt es schon solche Vernetzungen, jedoch steht die IoT 4.0 noch in ihren Anfängen. Die Vernetzung soll nicht mehr nur innerhalb eines Unternehmens stattfinden, sondern firmenübergreifend.

Im Smart Home lassen sich intelligente Einrichtungen mit dem Internet verbinden. Diese Geräte lassen sich dann über Smartphones steuern. Auch wird in Zukunft die Sprach- und Gestensteuerung immer wichtiger werden. Durch das Verwenden von Algorithmen und Daten der intelligenten Sensoren wird das Benutzerverhalten bestimmt. Es können personalisierte Zeitpläne erstellt werden, mit welcher die Heizungspräferenzen bestimmt werden. So kann zum Beispiel die Heizung kurz vor dem Eintreffen der Bewohner eingeschaltet werden. Abweichungen, wenn der Bewohner früher oder später nach Hause kommt, können durch das Lokalisieren des Handys erweitert werden. Diese Optimierung führt zu weniger Heizkosten und Energieverbrauch.

Mithilfe von IoT-fähigen Sensoren kann im BIM ein grosser Mehrwert geschaffen werden. Die Daten können zum Beispiel dazu verwendet werden, eine Leitebene im Modell zu integrieren. Dadurch kann jeder Sensor-Wert in einem Gebäude zielgenau platziert oder lokalisiert

(Fehlersuche) werden. In Zukunft werden vermehrt Simulationen (HLK-Anlagen, Umgebung usw.) im BIM durchgeführt. Zudem wird es in absehbarer Zeit möglich sein, dass Auslegungen und Planungen, welche heute von Hand gemacht werden, für einzelne Gewerke durch Algorithmen erstellen werden können. Damit sind z.B. Leitungsführungen, Verbindungen von Unterstationen und von Aktoren und Sensoren über Trassen gemeint.

Ergebnisse der Praxisbeispiele

Die gewonnenen Erkenntnisse aus der Recherche und den Interviews wurden in eine Netzwerktopologie und einen Büroraum (Einzelraumregulierung) integriert. Im Praxisbeispiel wurden die Lösungen für einen Umbau geplant. Zusätzlich wurden sie auch mit einem Neubau verglichen. Nachfolgend das Praxisbeispiel der Einzelraumregulierung.

Vorab zum Verständnis die Legenden zum Raumblatt:

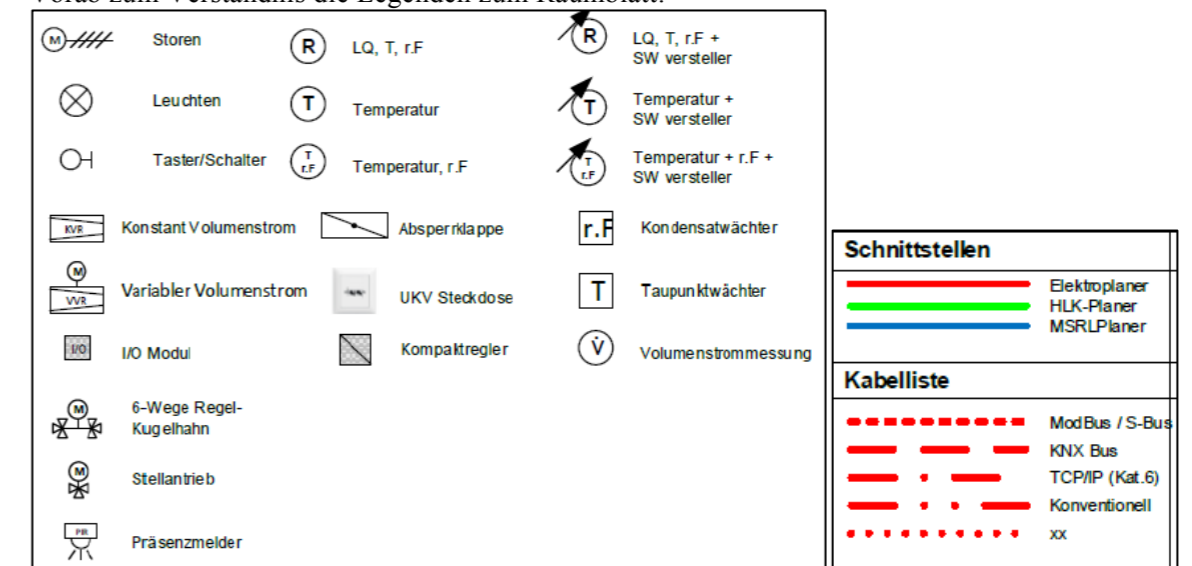


Abb. 1: Legende Symbole Raumblatt

Abb. 2: Legende Leitungen Raumblatt

Ausgangslage für die Planung war ein Büroraum, welcher eine Raumbox mit LON-Bus-Verkabelung (2 Draht) besitzt. Alle Feldgeräte und Taster in diesem Raum waren konventionell verdrahtet. Einzig die Ansteuerung der Beleuchtung erfolgte über den DALI-Bus. Der LON-Bus dient einzig der Kommunikation zwischen der Raumbox und dem Gateway in der GA-Verteilung. Der Raum verfügte über eine Lichtsteuerung mittels Anwesenheitssensor (PIR). Zusätzlich kann das Licht über einen Taster ein- und ausgeschaltet werden. Die Lüftung verfügt über zwei Absperrklappen. Mit einem Raumtemperaturfühler wird das Heizventil reguliert.

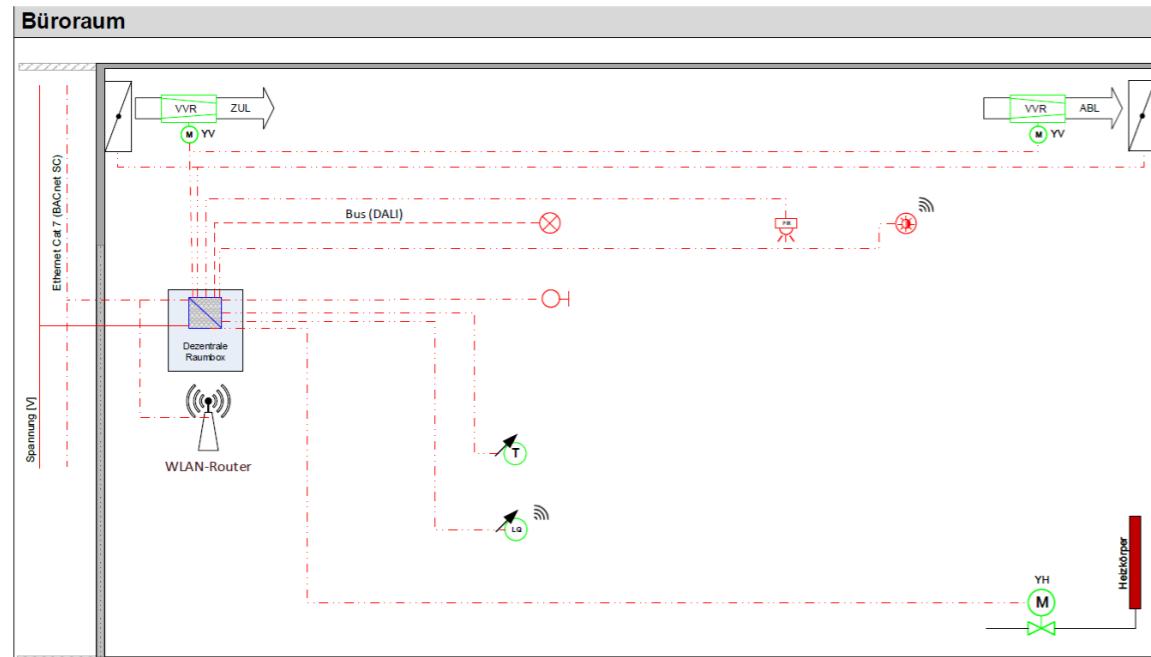


Abb. 3: Einzelraumregulierung

In der Abbildung 3 ist aufgezeigt, dass bei einem Umbau mittels IoT-fähigen Geräten einiges geändert wird. Neu gibt es variable Volumenstromregler und ein Luftqualität-Fühler zur bedarfsgeführten Lüftung. Der Fühler kommuniziert über das WLAN, ist jedoch drahtgebunden mit Strom versorgt, da der Fühler permanent Daten sendet (Batterielebensdauer wäre unter 2 Jahren und würde zu vielen Wartungen und Mehrkosten führen). Das Licht wird mittels Helligkeitssensor bedarfsgeführt reguliert. Auch dieser ist über Funk verbunden, dass kein zusätzliches Kabel gezogen werden muss. Die restlichen Kabel bleiben bestehen, da eine Funkverbindung bei bestehender Verkabelung nur zusätzliche Kosten generieren würde. Die Raumbox ist neu über ein Netzkabel und BACnet SC (SC = Sicherheitsstandard) erschlossen, damit eine einheitliche Kommunikation und maximale Sicherheit im Gebäude vorhanden sind.

Ausblick

Klar ist, dass sich die Gebäudeautomation auch in Zukunft basierend auf den verschiedenen Trends weiterentwickeln wird. In welche Richtung diese gehen werden, ist noch unklar. Eines kann jedoch mit Sicherheit gesagt werden: Der GA-Planer muss von der herkömmlichen Gebäudeautomations-Struktur loskommen und offen für Veränderungen sein. Zudem müssen die neuen Technologien verstanden werden, damit diese am richtigen Ort für eine bestmögliche Verwendung eingesetzt werden.

Schlussendlich stehen der Nutzer und Betreiber im Vordergrund. Zu Beginn der Planung sollten alle Technologien, egal zu welchem Preis, in Betracht gezogen werden. Durch fortschrittliche Technik kann im späteren Betrieb viel Geld eingespart werden. Das muss dem Geldgeber klar kommuniziert werden.

Für den Planer ist es wichtig, dass in jedem Entscheid der richtige Use-Case (Anwendungsfall) eruiert wird, damit in einem späteren Zeitpunkt nicht zu wenig oder zu viel Technik vorhanden ist. Was bringt zum Beispiel ein Luftqualitätssensor in einem Raum, wenn es keine Lüftungsregulierung gibt? Oder was bringen Unmengen an Daten auf einem eingerichteten Server, wenn diese nie ausgelesen und analysiert werden?

Durch eine vorausschauende und bedürfnisorientierte Gebäudeautomationsplanung kann zum einen sehr viel Geld und Energie gespart werden, zum anderen auch mehr Komfort und Vorteile mit sich bringen.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_09
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Messung und Bewertung des Schalleistungspegels von Ventilatoren in Monoblocs

Studierende	Yagiz Öztürk Niklaus Ming
Dozierende	Heinrich Huber Andreas Odermatt
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Vorname Name, Firma, Adresse)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Messung und Bewertung des Schalleistungspegels von Ventilatoren in Monoblocs

Monobloc Hersteller verwenden akustische Daten von Ventilatoren Herstellern, die ihre Produkte unter Laborbedingungen testen. Mit den Werten des Herstellers und der Einfügungsdämmung der Gehäusepaneele werden die Schalleistungspegel für die Monoblocs berechnet. Gemäss Angaben des Industriepartners weichen diese Werte aber meistens von der Realität ab.

In der Bachelorarbeit geht es darum, dies mittels akustischen Messungen zu analysieren. Dabei sollen Differenzen zwischen dem bestehenden Berechnungsverfahren des Industriepartners und den durchgeführten Messungen aufgezeigt und interpretiert werden. Als Endprodukt der Bachelorarbeit soll eine Berechnungs- und Messmethodik zur praktischen Anwendung resultieren.

Prüfkonzept

Das Prüfkonzept beinhaltet als erstes die Messung der Nachhallzeit, um eine klare Aussage zur Raumakustik machen zu können. Zusätzlich wird diese für die Auswertung der weiteren Messungen benötigt. Nebst der Nachhallzeit wird das Einfügungsdämm-Mass der Paneele ermittelt. Dabei wird die Hüllflächenmessmethode mit und ohne Paneel angewendet. Die Differenz der beiden Messungen entspricht dem Einfügungsdämm-Mass, welches mit Literaturwerten verglichen wird. Bei der Bestimmung der Gehäuseabstrahlung ist ebenfalls die Hüllflächenmessmethode einzusetzen. Die Messungen beschränken sich auf drei Drehzahlen mit je drei unterschiedlichen Betriebspunkten. Alle Betriebspunkte sind dabei auf drei Anlagenkennlinien angeordnet. Diese Betriebspunkte sind in der Abbildung 1 dargestellt.

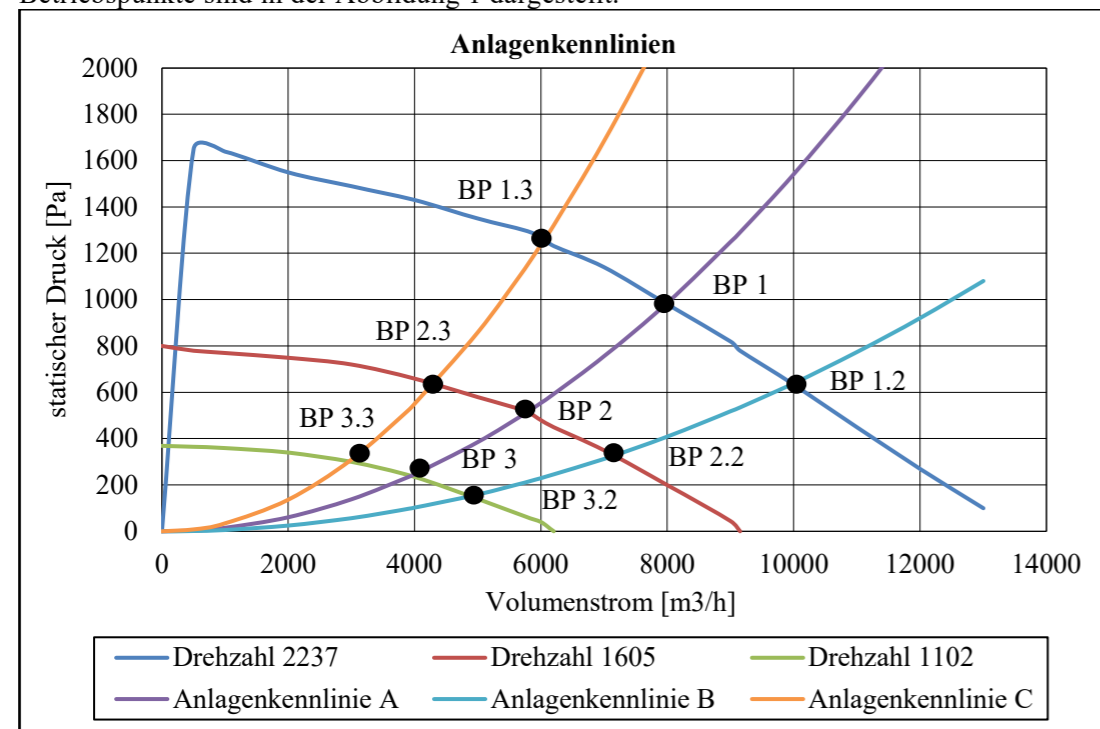


Abb. 1: Anlagenkennlinien

Hüllflächenmessung

Bei der Hüllflächenmessmethode wird als erstes ein Bezugsquader definiert. Dies ist der kleinste Quader, welcher die Geräusche Quelle umfasst. Mit einem Abstand d von 1 m kann anschliessend die Messfläche um den Bezugsquader bestimmt werden. Auf jener Messfläche sind die Mikrofone positioniert, wobei diese senkrecht auf der Messfläche liegen. Die Mikrofone nehmen die Schalldruckpegel bei verschiedenen Frequenzen auf. Diese sind mit verschiedenen Korrekturfaktoren zu korrigieren. Zum einen wird der Einfluss der Messumgebung mittels der Nachhallzeit und der daraus resultierenden schallabsorbierenden Fläche korrigiert. Zudem gibt es einen Abzug für Fremdgeräusche. Die Fremdgeräuschkorrektur kommt zum Einsatz, wenn die Differenz des gemessenen Schalldruckpegels zum Fremdgeräusch kleiner als 15 dB beträgt. Am Ende ist der korrigierte Schalldruckpegel in einen Schalleistungspegel umzurechnen. Der Schalleistungspegel bezieht das logarithmische Verhältnis von der Messfläche zur Bezugsfläche mit ein, wobei die Bezugsfläche 1 m^2 beträgt.

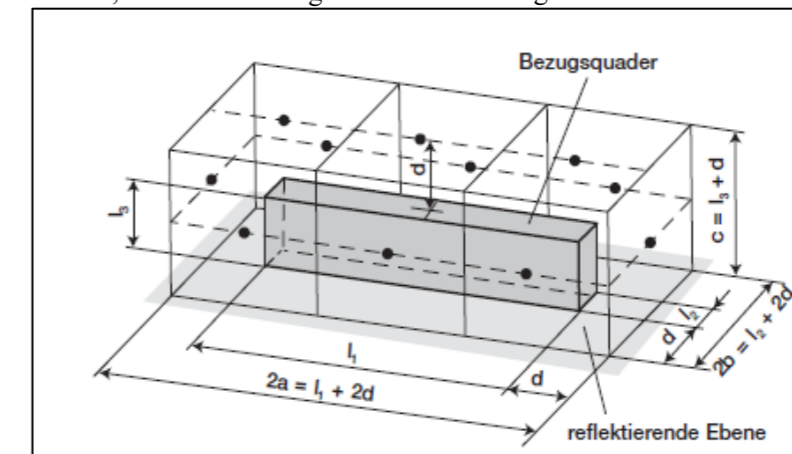


Abb. 2: Aufbau Hüllflächenmessung (Lips, 2015)

Messresultat

In diesem Fachartikel werden die Messresultate zur Hüllflächenmessung dargestellt. Innerhalb der Bachelorarbeit wurden auch Messungen im Innern des Monoblocs durchgeführt, um Aussagen über die Reflexion im Innern des Monoblocs zu machen. Die Auswertungen für die Messungen im Innern des Monoblocs wurden nach dem Verfahren „Schallausbreitung in geschlossenen Räumen“ durchgeführt. Beide Messverfahren konnten mit zwei unterschiedlichen Paneelen durchgeführt werden. Die ersten Paneele sind mit der Schalldämmvariante PIR ausgestattet und die zweiten mit Glaswolle und Antidämmmatte. In der unteren Abbildung werden die Hüllflächenmessungen der neun Betriebspunkte mit der Schalldämmvariante 1 PIR dargestellt. Dabei ist zu sehen, dass sich alle Anlagenkennlinien gleich verhalten. Die Verlaufsbilder von drei Betriebspunkten innerhalb der gleichen Drehzahl ist ähnlich. Die Differenzen nehmen ab der Frequenz $2 \cdot 500 \text{ Hz}$ zu. Je tiefer die Drehzahl ist, desto grösser ist der Abstand zwischen den Peaks. Der erste Peak entsteht aufgrund des Drehklangs. Der Drehklang besteht aus Einzeltönen, welche von der Schaufelanzahl, Art des Ventilators und dessen Betriebsfrequenz abhängen (VDI 2081, 2019). Der zweite Peak entsteht höchstwahrscheinlich durch Vibrationen oder Strömungsrauschen am vorgeschalteten Konus. Die Fremdgeräusche sind sehr tief und haben deshalb keinen Einfluss auf die Messungen. Dies ist zurückzuführen auf den reflexionsarmen Raum. Allgemein ist zu erkennen, dass der Schalleistungspegel mit zunehmender Drehzahl und Volumenstrom zunimmt.

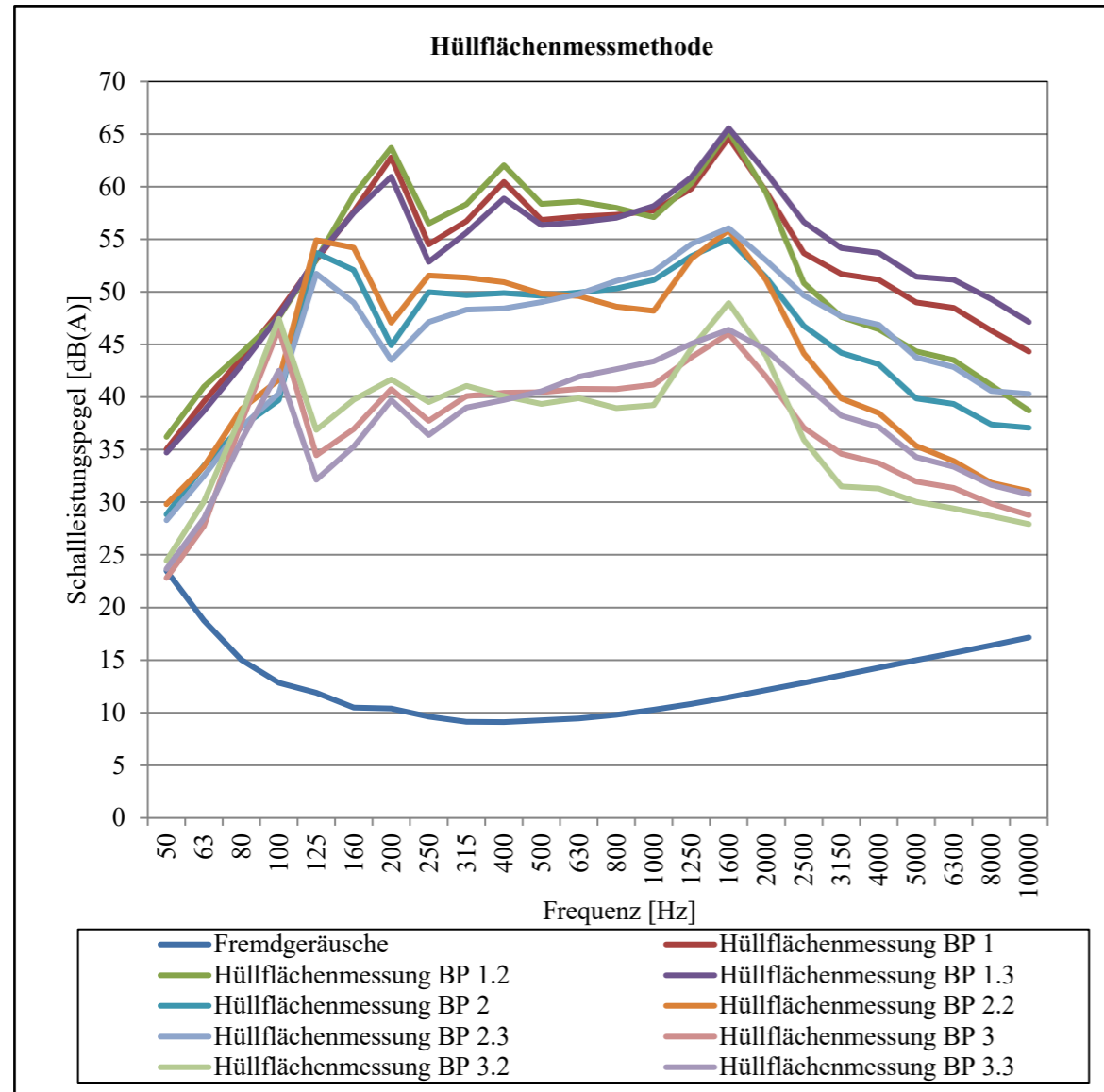


Abb. 3: Hüllflächenmessung aller Betriebspunkte

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_10
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Energetische Betriebsoptimierung ALPINE SPA BÜRGENSTOCK

Studierende	Reto Wolfisberg Marcel Burkard
Dozierende	Prof. Matthias Balmer Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Hubert Theiler, Bürgenstock Hotels AG, 6363 Obbürgen)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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 Betriebsoptimierung ALPINE SPA BÜRGENSTOCK

In den letzten Jahren, insbesondere seit dem Reaktorunfall in Fukushima, wird in allen industrialisierten Gesellschaften intensiver über den Einsatz von Energie diskutiert. Angesichts des Klimawandels sehen grosse Teile der Gesellschaft ein, dass eine Energiepolitik ohne Atomenergie sowie ein minimaler Einsatz fossiler Energie zukunftsfähig und deshalb anzustreben ist. Diese Ziele sind im Rahmen der Diskussionen zur 2'000-Watt-Gesellschaft in der Energiepolitik formuliert. Gebäude energieeffizient zu bauen ist in der Schweiz mittlerweile Stand der Technik. Nach Inbetriebnahme werden aber oft die geplanten Werte nicht erreicht. Das hängt einerseits vom schlecht planbaren Nutzerverhalten ab. Andererseits liegt es daran, dass die gebäudetechnischen Anlagen nicht optimal betrieben werden. Es ist die Aufgabe der energetischen Betriebsoptimierung, die in beiden Aspekten nicht genutzten Effizienzgewinne auszuschöpfen.

Eine energetische Betriebsoptimierung zeigt Massnahmen zur Steigerung der Energieeffizienz auf, die für Gebäudenutzer keine merklichen Komforteinbussen bewirken. Sie soll eine kurze Payback-Dauer von unter zwei Jahren aufweisen, kostengünstig und ohne ordentlichen Planungsprozess umsetzbar sein. Im Vordergrund steht dabei ein schrittweises Vorgehen bis zur Umsetzung einzelner Massnahmen.

Standort und Zielsetzung

Das Bürgenstock Resort befindet sich auf dem Schweizer Bürgenberg und liegt auf rund 879 m ü. M. Das Resort umfasst insgesamt 30 Gebäude. Es ist damit das grösste integrierte Hotel-Resort der Schweiz. Gäste können sich auf Wellness- und Gesundheitsangebote mit einer 10'000 m² grossen Spa-Landschaft mit diversen Pools, Sprudelbädern, Hamams und Saunas freuen. Die Bürgenstock Hotels AG hat sich zum Ziel gesetzt, die Energieverbräuche, Betriebs- und Energiekosten für die gebäudetechnischen Anlagen zu senken. Die energetische Betriebsoptimierung beschränkt sich auf das Gebäude des Alpine Spas. Die komplexen Heizungs-, Lüftungs-, Klima-, Sanitär- und Schwimmbadanlagen energetisch optimal und ohne Komforteinbussen zu betreiben, stellt eine besondere Herausforderung dar. Im Fokus liegen die acht Lüftungsanlagen, welche vertieft bearbeitet werden. Kleinere Priorität geniessen die Heizungs- und Kälteanlagen inklusive Schnittstelle zur Schwimmbadtechnik.

Methodik

In einem ersten Schritt wird die Auftragsdefinition und deren Abgrenzung thematisiert. Die darauffolgende Datenerhebung beinhaltet die Beschaffenheit der Informationen zu den Anlagen und deren Energieverbräuche. Die Datenerhebung dokumentiert unter anderem die Ist-Zustände der Anlagen. Danach werden die energierelevanten Anlagen und Systeme durch Begehungen aufgenommen und dabei die effektiven Betriebsdaten erfasst. Durch temporäre Messungen werden die vorhandenen Daten des Leitsystems verifiziert. Die erarbeiteten Daten werden anschliessend ausgewertet und analysiert. Nutzeranforderungen vergleicht man mit der aktuellen Betriebsweise der Anlagen. Daraus lassen sich Massnahmen und Einsparpotenziale ableiten. Die Massnahmen werden anschliessend berechnet und anhand der Payback-Zeit und des Einsparpotenzials gewichtet. Die gewichteten Massnahmen werden dem Auftraggeber unterbreitet. Nach Absprache wird eine geeignete Massnahme umgesetzt. Die zuvor theoretisch berechnete Einsparung wird nun mit der effektiv gemessenen Einsparung verglichen und einer Erfolgskontrolle unterzogen. Falls notwendig werden Korrekturen vorgenommen. Die Massnahmensicherung stellt die Eigentümer und Betreiber

in die Verantwortung, die nötigen Ressourcen zur Verfügung zu stellen, um die deklarierten Aufgaben wahrnehmen zu können und die Anlagen fortwährend energieeffizient zu betreiben.

Analyse

Im Alpine Spa befinden sich acht Lüftungsanlagen, die unterschiedliche Nutzungsbereiche im Gebäude belüften. Die Lüftungsanlage «Fitness» versorgt die angeschlossenen Räumlichkeiten mit Frischluft, führt geruchbildende Gase von sporttreibenden Personen und thermische Lasten des Raumes ab. Sie ist mit einem Lufterhitzer und Luftkühler ausgestattet. Die Wärmerückgewinnung (WRG) erfolgt über einen Plattenwärmeübertrager. Der Säure- und Chlorraum und die Saunas sowie der Floatingbereich (Solebecken mit > 10 % Salzgehalt) werden mit einer separaten Anlage belüftet. Dies aufgrund der korrosiven Medien in den Nutzungen. Im Floatingbereich sorgt ein Luftkühler als Entfeuchter für eine konstante relative Feuchte. Ein Lufterhitzer sorgt für die gewünschte Zulufttemperatur. Die WRG erfolgt über ein Kreislaufverbundsystem (KVS). Zwei weitere Lüftungsanlage erschliessen die Nutzungen Garderobe, Technik, Ruheraum, Personalräume und ein Shop. Auch hier ist jeweils ein Lufterhitzer verbaut. Die WRG erfolgt bei der einen Anlage über einen Plattenwärmeübertrager und bei der anderen über einen Enthalpie-Plattenwärmeübertrager.

Die Massageräume und separat buchbaren Private Spas werden von einer weiteren Lüftungsanlage versorgt. Mittels KVS-WRG, dem Lufterhitzer und dem Luftkühler wird die Zulufttemperatur auf den eingestellten Sollwert geregelt. Die Küchenanlage des Restaurants «Oak Grill» wird von einer Lüftungsanlage, positioniert auf dem Dach, versorgt. Sie ist ebenfalls mit einer KVS-WRG, Lufterhitzer und Luftkühler ausgestattet. Die Lüftungsanlagen «Wet Area» und «Indoor Pool» belüften die Nutzungen in den Nassbereichen. Die Anlagen sind als standardisiertes, anschlussfertiges Klimagerät für Hallenbäder mit eingebauter Wärmepumpe und Beckenwasserkondensator geliefert. Zur Erhaltung der Behaglichkeit und zur Vermeidung von Kondensat an den Fenstern, sowie Bauschäden muss der Nassbereich entfeuchtet, belüftet und beheizt werden. Für die WRG sind Plattenwärmeübertrager und Beckenwasserkondensatoren vorgesehen.

Massnahmenidentifikation

Vor der energetischen Betriebsoptimierung wurden bis auf die Küche alle Lüftungsanlagen 1-stufig auf einer konstanten Drehzahl betrieben. Über Zeitprogramme wurden die Anlagen in der Nacht ausgeschaltet. Im Kanalnetz sind mit wenigen Ausnahmen Konstantvolumenstromregler verbaut. Im Verlaufe der energetischen Betriebsoptimierung wurden Massnahmen zur bedarfsgerechten Luftversorgung formuliert. Diese beinhalten zusammengefasst CO₂-Steuerungen, Anpassungen beim Wärmestromkapazitäts-Verhältnis des KVS und organisatorische Massnahmen. Die Resultate des berechneten Energieeinsparpotenzials sind in der Abb. 1 pro Anlage ersichtlich.

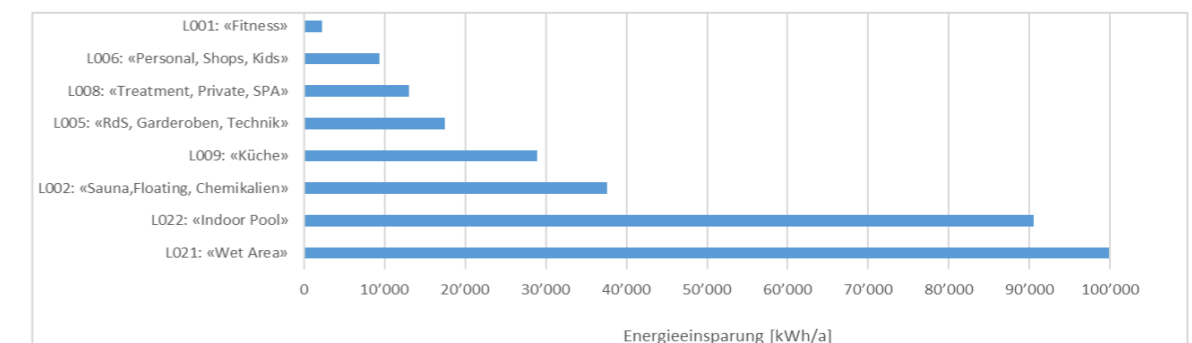


Abb. 1: Übersicht Energieeinsparung aller Lüftungsanlagen

Massnahmenumsetzung

Aus der Analyse geht hervor, dass bei allen Gewerken Einsparpotenzial besteht. Vor allem bei den Lüftungsanlagen kann durch eine bedarfsgerechtere Betriebsweise eine hohe Einsparung des Jahresenergieverbrauchs erzielt werden. Den zeitlichen Rahmenbedingungen geschuldet, hat man zusammen mit den Verantwortlichen des Bürgenstocks eine vorgeschlagene Massnahme der Lüftungsanlage «Fitness» umgesetzt. Nach der Umsetzung wurde bei der Erfolgskontrolle die daraus resultierenden Trends ausgewertet und mit der bisherigen Betriebsweise verglichen. Die umgesetzte Massnahme erzielt gegenüber der bisherigen Betriebsweise eine Energieeinsparung von 80 % und senkt die CO₂-Emissionen um 82.6 %.

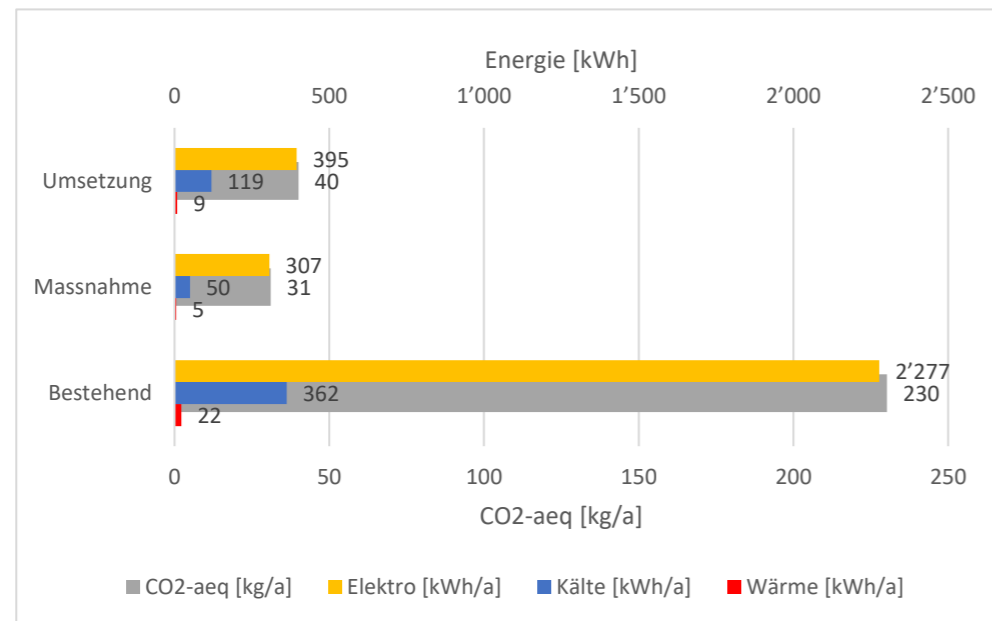


Abb. 2: Vergleich Energieverbrauch LA «Fitness» Erfolgskontrolle

Weitere vorgeschlagene Massnahmen der Gewerke Heizung, Lüftung, Klima, Sanitär und Schwimmbadtechnik sind in dieser Arbeit beschrieben und in einem übersichtlichen Massnahmenumsetzungsplan zusammengefasst. Auf dieser Grundlage kann der Auftraggeber entscheiden, ob und wann weitere Massnahmen in Zukunft umgesetzt werden sollen. Die Massnahmen können für die anderen Gebäude des Bürgenstock Resorts adaptiert werden.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_11
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Kombination von Solarnutzung, E-Mobilität und moderner Gebäudetechnik

Studierende	Claude Küttel Robin Marxen
Dozierende	Roger Buser Prof. Urs-Peter Menti
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Patrick Hofstetter, WWF Schweiz, 8010 Zürich
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Kombination von Solarnutzung, E-Mobilität und moderner Gebäudetechnik

Die Energiewende hat die Schweiz erreicht und beeinflusst die Energieversorgung der Zukunft massgeblich. Mit dem schrittweisen Ausstieg aus der Atomenergie nimmt die Bedeutung von erneuerbarer Energie zu. Im Rahmen von Sanierungen und Neubauten findet diese auch immer mehr Einzug in Gebäude. Gleichzeitig steigt der elektrische Energiebedarf in der Schweiz durch die Zunahme von Elektromobilität weiter an. Um den erhöhten Bedarf bestmöglich abfangen zu können, müssen möglichst viele Flächen im Gebäudebereich solaraktiv gemacht werden.

In Zentrum dieser Studie steht die Elektromobilität und wie diese in ein bestehendes Gebäude eingebunden werden kann und dabei Photovoltaikanlagen bestmöglich genutzt werden können. Die moderne Gebäudetechnik in Form eines Lastmanagements spielt dabei eine zentrale Rolle, um die Elektroinstallation nicht zu überlasten. Neben der technischen Machbarkeit steht dabei die Wirtschaftlichkeit im Zentrum der Betrachtungen. Dabei werden auch Themen wie Eigenverbrauchsoptimierung mit einem Speicher und die Gründung eines Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch (ZEV) untersucht.

Ausgangslage

Durch die aktuelle Energie- und Klimapolitik der Schweiz sind verschiedene Gesetze und Richtlinien erneuert und überarbeitet worden. Dies führte dazu, dass Photovoltaik gezielt gefördert wird und in einigen Kantonen für Neubauten vorgeschrieben ist. Die Integration von Lademöglichkeiten für Elektroautos wird dabei in den allermeisten Fällen direkt vorgesehen oder zumindest vorbereitet. In bestehenden Gebäuden ist diese Implementierung mit verschiedenen Hürden verbunden, wodurch völlig neue Herausforderungen entstehen. Dies betrifft einerseits die technische Machbarkeit, aber auch die Vorgehensweise und Kommunikation zwischen den Parteien Mieter, Verwaltung und Eigentümer.

Für diese Studie wurden verschiedenste Gebäude und Grossüberbauungen untersucht, die eine Ladeinfrastruktur sowie Photovoltaikanlagen besitzen. Unter den betrachteten Gebäuden waren Neubauten und Projekte, die sich noch in der Umsetzung befinden. Folglich wurde von Beginn an ein Gesamtkonzept entwickelt, welches alle einzelnen Systeme kombiniert und einen effizienten Betrieb ermöglicht. Besteht ein Neubauprojekt aus mehreren Gebäuden, werden diese meist zu einem ZEV verbunden. Dadurch kann Energie aus den Photovoltaikanlagen gebäudeübergreifend genutzt werden, was den Eigenverbrauch erhöht. In bestehenden Überbauungen und besonders in Quartieren, ist es schwierig ein ZEV zu gründen. Die bestehenden Netzleitungen sind Eigentum des Netzbetreibers. Eine Übernahme oder eine Einmietung in diese Leitungen lässt dieser meistens nicht zu. Aus diesem Grund müsste ein neues Verteilnetz erstellt werden, was aber mit hohen Investitionskosten verbunden ist. Dazu kommt, dass alle Mieter bei der Gründung ausnahmslos zustimmen müssen.

Um die Problematik der Ladeinfrastruktur in Mietgebäuden aufzuzeigen, wurden zusätzlich verschiedene E-Mobilisten interviewt, welche in Mehrfamilienhäusern wohnen. Aus den befragten Personen wurde die Überbauung Stadtgarten in Emmenbrücke zur genaueren Betrachtung ausgewählt. Die interviewte Person sieht sich mit dem Problem konfrontiert, dass sie ein Elektroauto besitzt, aber in der Einstellhalle keine Lademöglichkeiten vorhanden sind.

Stadtgarten Emmenbrücke

Die Grossüberbauung Stadtgarten in Emmenbrücke wurde im Jahr 2019 fertiggestellt und besteht aus sechs zusammenhängenden Teilgebäuden, welche auf einer grossen gemeinsamen Tiefgarage mit 116 Abstellplätzen ruhen. Gesamthaft besteht der Stadtgarten aus 104 Miet- und Eigentumswohnungen sowie Gewerbeflächen im Erdgeschoss.

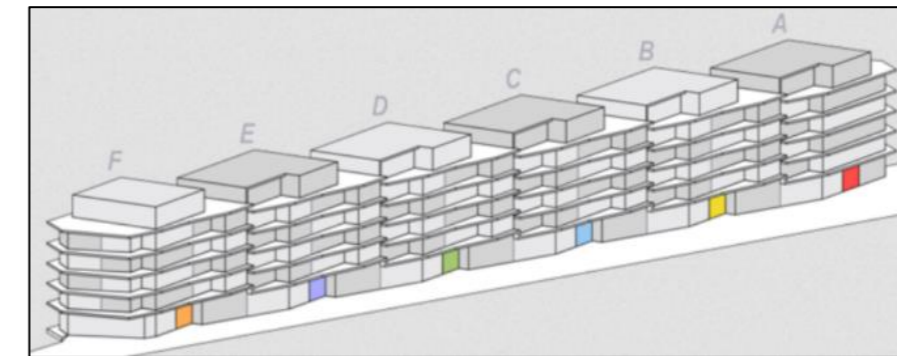


Abbildung 1: Anordnung der einzelnen Teilgebäude (www.romanochristen.ch, 03.06.2021)

In bestehenden Gebäuden limitiert die Hauptzuleitung die maximale Leistung, die bezogen werden kann. Im betrachteten Projekt ist die Hauptzuleitung mit einer Anschlusssicherung mit 315A Nennstrom ausgerüstet. Es besteht eine Reservesicherung von 125A, die für den Ausbau der Elektromobilität genutzt werden kann. Mit den Berechnungen wurde ein Ausbau der Lademöglichkeiten im Gebäude simuliert, welcher sich an der Prognose der SIA 2060 orientiert. Diese geht davon aus, dass bis in das Jahr 2045 Elektroautos einen Anteil von 60% aller Personenwagen ausmachen. Im betrachteten Projekt wären das ca. 70 Elektroautos. Für die Simulation wird davon ausgegangen, dass jedes Fahrzeug ca. 50km am Tag zurücklegt, was dem aktuellen Schweizer Durchschnitt entspricht. Die maximale Leistung, die für das Laden der Fahrzeuge zur Verfügung steht, wird durch zwei Faktoren begrenzt: Einerseits durch die 125A-Sicherung der gesamten Ladeinfrastruktur und andererseits durch den Hausanschluss mit 315A, respektive, 218kW. Damit die beiden Elemente nicht überlastet werden, regelt ein Lastmanagement den Ladevorgang, indem es den aktuellen Verbrauch des Gebäudes misst und dann die Ladeleistung der Fahrzeuge begrenzt. In der Abbildung 2 ist der Lastverlauf der Ladeinfrastruktur dargestellt. Es ist ersichtlich, dass durch das Lastmanagement die Elektroinstallation zu keiner Zeit überlastet wird.

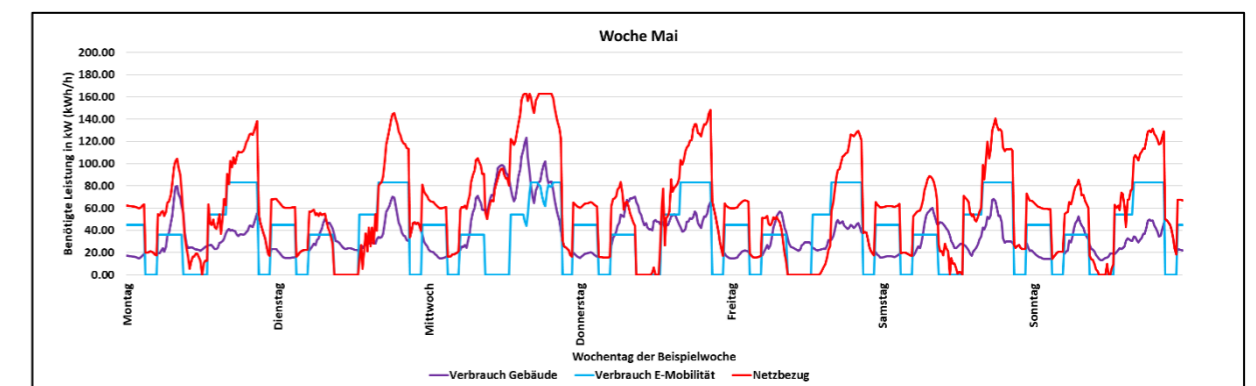


Abbildung 2: Lastverlauf im Gebäude mit 70 Elektroautos

Wirtschaftlichkeit der Elektromobilität

Die Wirtschaftlichkeit spielt neben der technischen Machbarkeit eine grosse Rolle. Die Berechnungen haben gezeigt, dass sich Elektromobilität für den Betreiber der Ladestationen lohnt. Einnahmequellen sind dabei eine Nutzungsgebühr für die Ladestation und der Verkauf der Ladeenergie. In den Berechnungen beträgt die Gebühr 20.- CHF pro Ladestation und Monat. Ebenfalls wird die Ladeenergie zu einem festgelegten Preis verkauft, der durch den Betreiber bestimmt werden kann. In den Berechnung wurde der Betrag auf 30 Rp./kWh festgelegt. Die Betrachtung über 25 Jahre zeigt, dass sich die Ladeinfrastruktur nach 12 Jahren amortisiert. Dabei ist berücksichtigt, dass durch die Zunahme der Elektromobilität immer wieder neue Ladestationen installiert und bestehende nach ca. 12 Jahren ersetzt werden müssen.

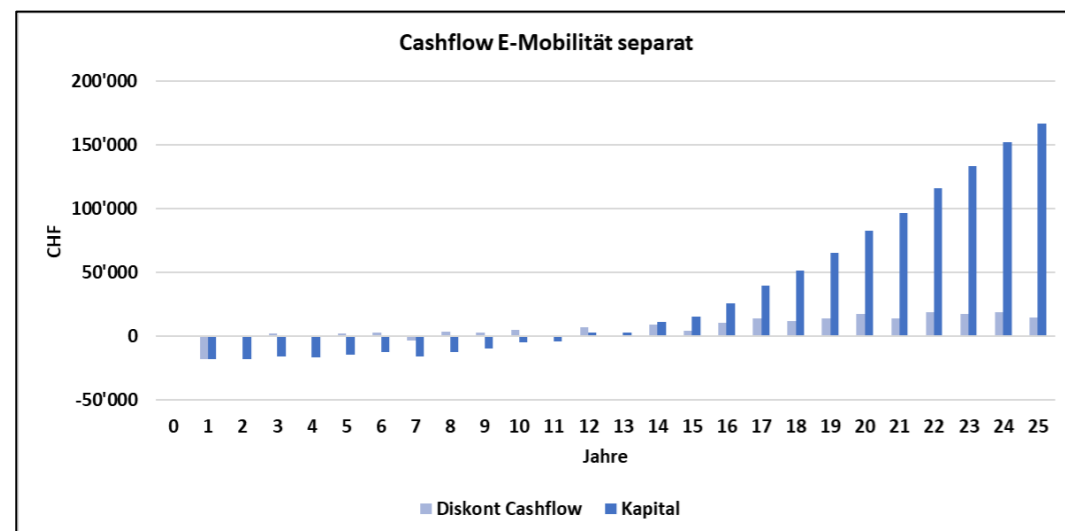


Abbildung 3: Wirtschaftliche Entwicklung der E-Mobilität bei einer Zuwachs nach SIA 2060

Ausblick

Die Energie- und Klimapolitik der Schweiz zeigt deutlich in Richtung erneuerbare Energien. Im Automobilsektor nimmt der Anteil an Elektrofahrzeuge immer mehr zu. In der Baubranche wurden diese Trends bereits erkannt, wodurch Neubauten mit Photovoltaikanlagen, Ladestationen für Elektroautos und mit energieeffizienter Gebäudetechnik ausgerüstet werden. Dies beinhaltet auch das gezielte Ansteuern von Wärmepumpen oder anderen Verbrauchern. Die Implementation einer Ladeinfrastruktur in bestehenden Gebäuden ist technisch machbar und meist wirtschaftlich. Mieter mit Interesse an einer Ladestation sind dabei aber auf die Verwaltung angewiesen, da es ihnen nicht erlaubt ist, selbst eine Ladestation zu installieren. Während einige Verwaltungen die Notwendigkeit einer Ladeinfrastruktur erkannt haben, schrecken andere noch vor den Investitionskosten zurück. Eine Ladeinfrastruktur sollte jedoch langfristig betrachtet werden, denn schlussendlich steigert sie den Wert und die Attraktivität einer Immobilie auf dem Markt. Der Einsatz von Batteriespeichern ist noch sehr gering, da diese aufgrund der hohen Anschaffungskosten noch nicht wirtschaftlich betrieben werden können. Damit die im Gebäude erzeugte, erneuerbare Energie von allen Systemen, bestmöglich genutzt werden kann, besteht die Möglichkeit ein ZEV zu gründen. Bei Neubauten, die aus mehreren einzelnen Gebäuden bestehen, wird dies in Zukunft eine verbreitete Lösung sein. In bestehenden Überbauungen und Quartieren ist dies jedoch wirtschaftlich nicht tragbar, wenn die Netzleitungen im Eigentum des Netzbetreibers sind und dieser sich nicht bereit zeigt, die Leitung zur Verfügung zu stellen.

Um die Gebäude und das Energienetz im Zuge der Energiewende zukunftstauglich zu gestalten, ist Kompromissbereitschaft bei allen beteiligten Parteien gefordert.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_12
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Aufbau von Anergiezentralen in bidirektionalen Anergienetzen

Studierende	Sven Arnold Massimo Pinana
Dozierende	Stefan Mennel Zoran Alimpic
Experte/-in	Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Valentin Müller, Anex Ingenieure AG, Limmatstrasse 291 8005 Zürich)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Aufbau von Anergiezentralen in bidirektionalen Anergienetzen

Aufgrund der steigenden Nachfrage an Kühlung in Gebäuden und der globalen Erwärmung, werden bidirektionale Anergienetze in der Schweiz eine wichtige Rolle bei der Erfüllung der Energiestrategien des Bundes spielen. Da es sich um eine neue Generation von thermischen Netzen handelt, gibt es noch Lücken in der Forschung, wo Verbesserungspotenzial für die Entwicklung neuer Techniken entsteht.

Dieser Fachartikel bietet einen Einblick bezüglich der in dieser Bachelor-Thesis durchgeführten Studie, die ein neues hydraulisches System für Anergie-Wärmeübergabestationen behandelt. Die Untersuchung, die auf einem Konzept des Industriepartners beruht, wurde im Wesentlichen an einem eigens aufgestellten Prüfstand im NODES-Lab durchgeführt. Ziel der Arbeit war es, dem Industriepartner wertvolle Hinweise für die Entwicklung ähnlicher Anlagen geben zu können.

Theoretische Grundlagen

Die Anergiezentralen dienen in bidirektionalen Anergienetzen als Wärme-Übergabestationen, wobei die Wärme- und Kältebilanz im Netz ausgeglichen wird. Die Durchflussrichtung in dieser Art von thermischen Netzen ändert sich je nach Betrieb aufgrund der unterschiedlichen Druckverhältnisse im System. Wenn eine Anergiezentrale oder ein Bezüger beispielsweise Kälteenergie benötigt, zieht sie/er Wasser aus dem Kaltleiter (KL). Gleichzeitig könnte ein zweiter Bezüger Wärmeenergie benötigen und diese aus dem Warmleiter (WL) ziehen. Der Ausgleich des Netzes erfolgt je nach angeschlossener Primärquelle auf unterschiedliche Weise. Beispiele dafür sind grosse Erdsondenfelder, die als saisonale Speicher dienen, oder im Fall des beigefügten Projekts mittels Grundwasser-Wärmetauscher, die entweder Wärme aufnehmen oder abgeben können (Abb. 1). Daher ist es vorteilhaft, die Wärmetauscher immer im Gegenstromprinzip anzuschliessen.

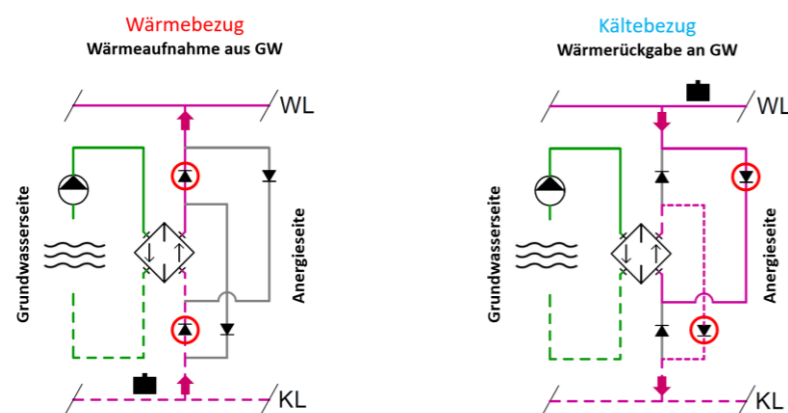


Abb. 1: Einfache Übersichtschemas Anergie-Wärmeübergabestation der zwei möglichen Betriebsfälle

Die Besonderheit dieses Systems ist der Einsatz von vier Rückschlagklappen, durch die ein autonomer und elektrisch unabhängiger Betrieb gewährleistet wird. Prinzipiell wurde das Systemverhalten und deren Einsatzgrenzen in Bezug auf die Netz-Druckverhältnisse untersucht. Mit besonderem Augenmerk auf die Umschaltung der Strömungsrichtung wurde beurteilt, ob es durch die Rückschlagklappen zu Fehlströmungen in der Anergie-Wärmeübergabestation kommt.

Methodisches Vorgehen

Anhand verschiedener Szenarien in einem gerichteten und ungerichteten System, wurden Messungen des Volumenstroms und des Differenzdrucks des Prüfstandes (Ein-Austritt) und über die vier Rückschlagklappen durchgeführt. Die Bedienung des Prüfstandes sowie das Auslesen von Daten wurden mit dem Prozessleitsystem durchgeführt. Das NODES-Lab wurde so eingerichtet, dass bis zu zwei Bezüger gleichzeitig im Betrieb sein konnten. Damit hat man verschiedene Teillastfallsituationen untersucht und bewertet. Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wurde die Hydraulik des Systems unabhängig von thermischen Aspekten getestet. Aus diesem Grund wurde kein Wärmetauscher im Prüfstand montiert. Stattdessen wurde ein Regelventil verwendet, um einen leichten Druckverlust zu simulieren. Die Interpretation der Ergebnisse im Vergleich mit der Realität basierte auf drei wichtigen Faktoren: den unterschiedlichen Materialien, dem Medium und vor allem der Grösse der Rohrleitungen im Verhältnis zu den Eigenschaften der geprüften Rückschlagklappen.

Interpretation der Messresultate

Die Messergebnisse zeigten, dass die Volumenströme über die Anergie-Wärmeübergabestation sehr stark vom Druckverhältnis zwischen Ein- und Austritt und dadurch von dem Bedarf der angeschlossenen Wärme-/Kältebezüger abhängig sind. Das geprüfte Produkt ist für eine solche Anwendung grundsätzlich gut geeignet. Insbesondere wurde festgestellt, dass keine Wasserschläge oder Druckspitzen anfallen, die zu Schäden an Armaturen und Einbauten führen könnten. Ebenfalls erfreulich waren die Reaktionszeiten während den Strömungsumschaltungen von «Wärme zu Kältebezug», da sie zeitsymmetrisch und innerhalb weniger Sekunden reagierten. Diese passiven Elemente sind allerdings nicht vollständig wasserdicht, d.h. es gab immer eine kleine Menge an zirkulierendem Wasser, das als Fehlströmung gekennzeichnet war und in die entgegengesetzte Richtung floss. Diese Fehler sind im Verhältnis zum Aufbauvolumenstrom jedoch in den meistens Fällen klein. Es wurde festgestellt, dass diese Fehlströmungen zunehmen, wenn die tatsächlichen Volumenströme abnehmen. Dieses Phänomen kann auf die Veränderung der Druckverhältnisse zurückgeführt werden. Je kleiner diese Verhältnisse sind, umso kleiner sind die Gegendrücke an den Rückschlagklappen und desto grösser sind die effektiven Fehlströmungen. Vor allem während den Umschaltzyklen wurden die Fehlströmungsspitzen beobachtet (Abb. 2). Die untenstehende repräsentative Abbildung zeigt die Resultate bezüglich relativen Fehlströmungen über die vier Rückschlagklappen (blaue Bezugslinie) im Verhältnis zu den Gesamtströmungsmengen der Prüfstelle. Der Schnittpunkt der beiden Volumenstromlinien von Warm- und Kaltleiter (oder Ein- und Austritt) stellt den Umschaltzeitpunkt des Systems dar.

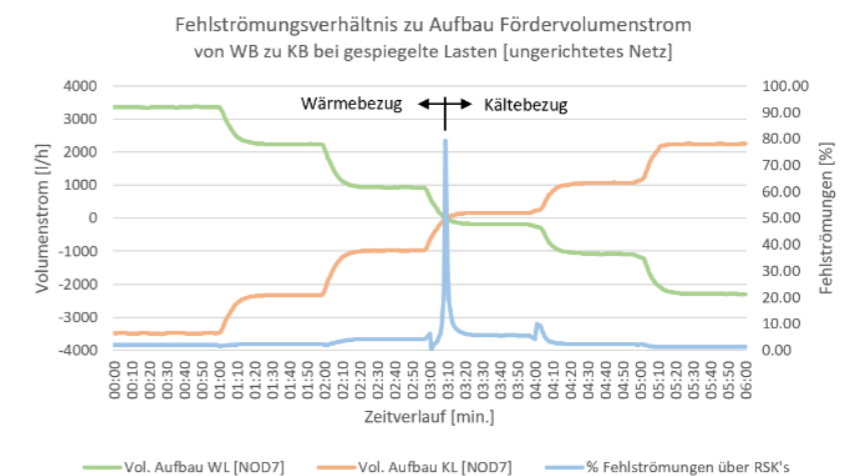


Abb. 2: Fehlströmungsverhältnis zu Fördervolumen von Anergie-Wärmeübergabestation

Die in der Grafik (Abb. 2) dargestellten Messresultate wurden durch die Simulation von zwei Bezüchern mit unterschiedlichem Bedarf (Bezüger 1 Wärme bzw. 2 Kälte) und unterschiedlichen Pumpenlasten durchgeführt (Abb. 3).

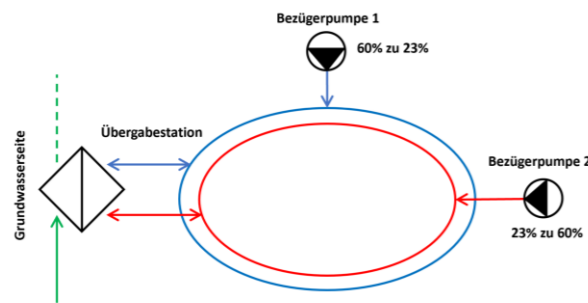


Abb. 3: Vereinfachte Netzdarstellung Umschaltungsversuch durch gespiegelte Pumpenlasten

Die Messungen wurden unter sehr speziellen Bedingungen durchgeführt. Die gelieferten Rückschlagklappen haben die kleinste Produkt-Dimension von DN80, während der Prüfstand eine Dimension von DN40 hat. Folglich waren die Strömungsgeschwindigkeiten und somit auch der dynamische Druck auf einigen Teilen des Systems deutlich reduziert. Unter diesen Voraussetzungen waren auch die Gegendrücke der Rückschlagklappen kleiner, was eine Begünstigung der Fehlströmungen zur Folge hatte. Allerdings sollten die Rückschlagklappen unter normalen und realen Projektbedingungen die gleichen Rohrleitungsdimensionen der Anergie-Wärmeübergabestation haben. Grundsätzlich wären dafür auch die daraus resultierenden Fehlströmungen kleiner, da die Funktion dieser Elemente sehr stark vom Systemdruck und deren Gegendrücke abhängig ist.

Schlussfolgerungen

Die geprüfte hydraulische Schaltung hat im Konzept und Versuch bewiesen, dass es in einem ersten Pilotprojekt einsetzbar ist. Fehlströmungen bedeuten einen Strömungsbypass des Wärmetauschers und damit einen Energieverlust beim Wärmebezug aus dem Grundwasser (Wärmebezug) und bei der Wärmerückgabe an das Grundwasser (Kältebezug). Das bedeutet, dass die Grundwasserpumpe, wenn die Anergie-Wärmeübergabestation in «Betrieb» ist, mehr Zeit benötigt, um das Netz zu bilanzieren und wieder in den richtigen Temperaturbereich zu bringen. Die Folge wäre ein höherer Pumpenstromverbrauch oder ein überdimensionierter Wärmetauscher. Ein weiteres Problem wegen der kleinen Volumenströme über das System ist die Strömungsart des Fluids. Durch die differenten Messungen und die Druckverlustberechnung wurde festgestellt, dass aufgrund der geringen Wassermengen eine laminare Strömung auftreten kann, was ebenfalls zu einer ineffizienten Wärmeübertragung führt. Um diesen Problemen entgegenzuwirken, könnten z.B. Teillastgrenzen für die verschiedenen dezentralen Pumpen definiert werden, sodass das «Stationsdruckverhältnis» nicht unter einen bestimmten Grenzwert fällt. Teillastsituationen müssen jedoch bereits in der Planungsphase gut abgeklärt werden, damit man definieren kann, in welchem Zeitraum diese Teillastgrenzen auftreten können. Um eine optimale Energieüberwachung zu gewährleisten, wäre ein Systemmonitoring mit Durchflussmessern vor und nach dem Wärmetauscher sowie am Ein- und Austritt der beiden Leitern erforderlich. Diese Durchflussmesser (Energiezähler) sollten mit der Grundwasserpumpe kommunizieren, damit ungünstige und ineffiziente Situationen detektiert werden können.

Generell denkt man, dass diese passive Hydraulikschaltung grosses Potenzial hat und mit ein wenig Praxiserfahrung seinen Platz im zukünftigen Stand der Technik finden könnte.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_13
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen im MFH

Studierende	Yves Arnold Thomas Bachmann
Dozierende	Olivier Steiger Roger Buser
Experte/-in	Markus E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen im MFH

Die Anzahl an Photovoltaik-Anlagen in der Schweiz nimmt laufend zu. Bis vor einiger Zeit konnten die Anlagen mit den hohen Rücklieferтарifen finanziert werden. Da die Vergütung für die zurückgespeiste Energie von den Energieversorgungsunternehmen laufend gesenkt wird, rückt der Eigenverbrauch der eigenerzeugten Energie immer mehr in den Fokus. Es gibt dabei zwei grundsätzliche Strategien. Einerseits kann die Energie, zum Beispiel mit einem Batteriespeicher, während der Überproduktion gespeichert werden, und zu einem späteren Zeitpunkt wieder entnommen werden. Die zweite Strategie besteht darin, die Laufzeiten von Verbrauchern in die Zeiten der Überproduktion zu verschieben. Dafür kommen vermehrt Energiemanagementsysteme (EMS) zum Einsatz. Diese Geräte helfen dabei, den Eigenverbrauch zu optimieren, indem sie Verbraucher ansteuern und regulieren. Mittlerweile ist ein beachtlicher Markt für EMS entstanden, in welchem sich unterschiedliche Anbieter mit ihren Produkten bewegen. In der Master-Thesis «Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen – Umsetzung des Bewertungsverfahrens» an der Hochschule Luzern wurde von Carina Gubler ein Verfahren entwickelt, die EMS für Einfamilienhäuser zu testen und die Wirksamkeit der Systeme zu vergleichen. Im Rahmen der Bachelor-Thesis «Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen im MFH» werden die Grundlagen dafür geschaffen das Bewertungsverfahren für EMS auf Mehrfamilienhäuser auszuweiten.

Einführung in das Bewertungsverfahren

Ziel des Bewertungsverfahrens ist es, EMS objektiv miteinander zu vergleichen. Dazu wird auf ein Hardware-in-the-Loop-Verfahren gesetzt. Das zu prüfende EMS wird also in eine Simulationsumgebung eingebunden und in Echtzeit getestet. Das Bewertungsverfahren besteht aus einer Testumgebung und dem Testaufbau. Das EMS wird am Testaufbau angeschlossen und über geeignete Schnittstellen, zum Beispiel einer I/O-Karte, mit der Testumgebung verbunden. Die Testumgebung bildet ein Gebäude als virtuelles Modell ab. Darin sind diverse gebäudetechnische Anlagen vorhanden, welche je nach Gebäudeart und Grösse angepasst werden müssen. Die Testumgebung sendet simulierte Leistungsdaten zu Produktion und Verbrauch an das EMS und regt es dabei zu Schalthandlungen an. Die Testumgebung nimmt Befehle des EMS entgegen und führt diese aus. Befehle, zum Beispiel einzelne Verbraucher ein- und auszuschalten oder deren Leistungen anzupassen, verändern die Energieverbrauchsdaten, welche wiederum an das EMS zurückgeschickt werden. So wird der Kreislauf zwischen der Simulationsumgebung und dem Testobjekt geschlossen.

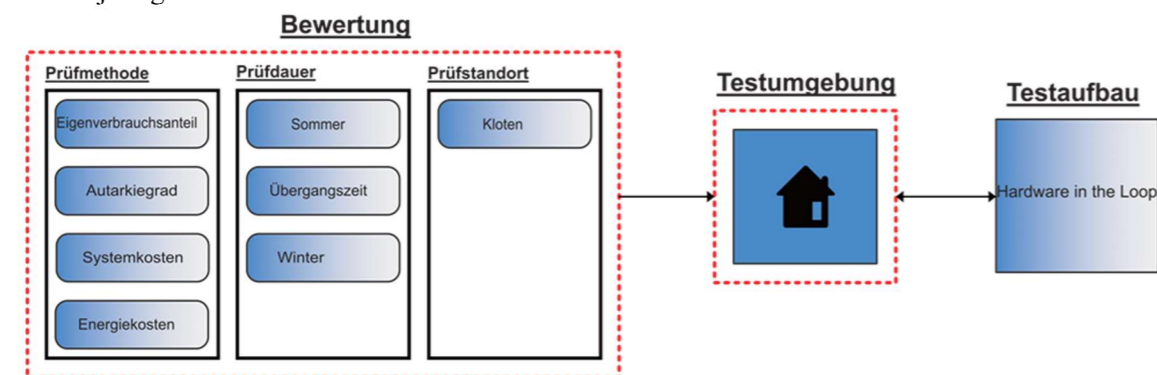


Abbildung 1 Übersicht Bewertungsverfahren

Das Energiemanagementsystem wird nach Ablauf des Simulationsdurchlaufs nach dem erreichten Eigenverbrauchsanteil, dem Autarkiegrad, den Energiekosten und den Systemkosten bewertet. Damit lassen sich die getesteten EMS untereinander vergleichen, da das Testverfahren in derselben reproduzierbaren Testumgebung durchgeführt wurde. Der Fokus dieser Bachelor-Thesis liegt auf der Entwicklung einer frei parametrier- und skalierbaren Testumgebung, um damit Mehrfamilienhäuser verschiedener Grössen und Ausführungen virtuell abbilden zu können.

Überblick Testumgebung

Ziel der Testumgebung ist es, ein reales Mehrfamilienhaus durch ein simuliertes Modell zu ersetzen. Dabei soll sich das Gebäude möglichst frei parametrieren und skalieren lassen, um unterschiedliche Testszenarien zu ermöglichen. Der Grundgedanke dahinter ist, dass sich Mehrfamilienhäuser in Anzahl vorhandener Mietparteien und Gebäudeabmessungen stark voneinander unterscheiden. Die Umsetzung der Testumgebung erfolgte in der Programmiersprache Matlab. Dabei wurde mit dem Matlab AppDesigner eine grafische Benutzeroberfläche (GUI) erstellt, um das Programm benutzerfreundlich zu gestalten.

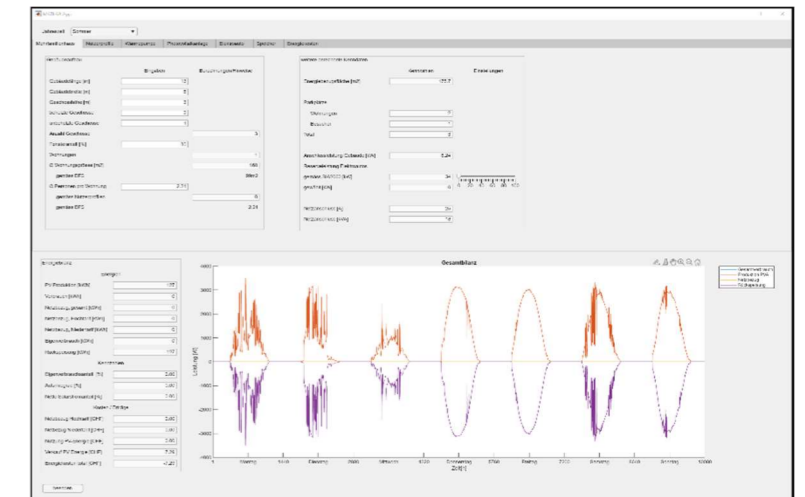


Abbildung 2 Benutzeroberfläche Testumgebung

Die Testumgebung beinhaltet die Modelle unterschiedlicher gebäudetechnischer Anlagen, welche im Folgend kurz erläutert werden.

- Die Mietparteien werden mit vordefinierten oder frei parametrierbaren Lastprofilen abgebildet. Dabei lassen sich alle vorhandenen Profile auswählen und nach Belieben vervielfachen.
- Wärmeerzeugung: Es wird eine Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Warmwasser- und Energiespeicher abgebildet. Die Wärmeerzeugung passt sich an den Warmwasserbedarf der Bewohner und die Heizlast des Gebäudes, welche sich nach den Aussentemperaturen richtet, an.
- Energieerzeugung: Die Photovoltaik-Anlage wird mit einem Neigungswinkel von 10° und Ost-West-Ausrichtung umgesetzt. Dabei lässt sich die Anlage über die Modulanzahl skalieren.
- E-Mobilität: Es ist eine Ladeanlage mit dynamischem Lastmanagement umgesetzt, welche sich an die jeweilige Belegungssituation der Wohnungen anpasst. Die Anzahl und Anwesenheiten der Elektroautos sind über die Nutzerprofile definiert. Zusätzlich wurde eine bidirektionale Ladestation implementiert.
- Batteriespeicher: Der Batteriespeicher wird über die DC Leistung der Photovoltaik-Anlage ausgelegt. Die Ladeleistung ist dabei abhängig von der Nennkapazität des Speichers.

Resultate aus der Testumgebung

Durch das Verändern der Einstell- und Auswahlwerte verändern sich die berechneten Ausgaben stark. Dabei spielt auch der gewählte Simulationszeitraum eine Rolle. Die Ausgabe der Testumgebung passt sich dabei jeder dieser Änderungen an und zeigt damit unmittelbar deren Auswirkungen. Die Ausgabe zeigt einerseits die Profile des Gesamtverbrauchs, der PV-Produktion, des Netzbezugs und der Rückspeisung über den gesamten Zeitraum in Minutenwerten an. Im Weiteren werden daraus die absoluten Werte gebildet und aus diesen wiederum Kennzahlen wie Eigenverbrauchsanteil, Autarkiegrad, Netto-Solarstromanteil und Energiekosten berechnet.

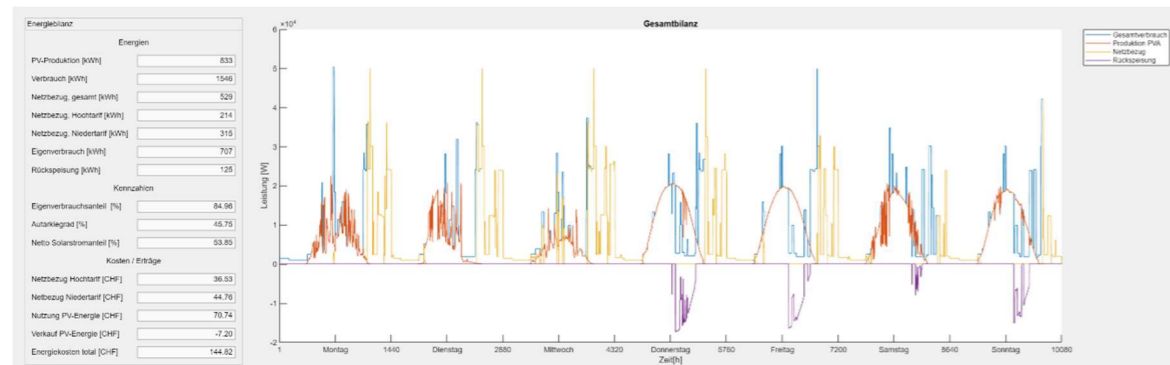


Abbildung 3 Auswertung Testumgebung

Fazit

Die in der Bachelor-Thesis erarbeiteten Modelle bieten die Grundlage für die Modellierung von unterschiedlichsten Mehrfamilienhäusern. Die Modelle passen sich dabei automatisch dem Gebäude an. Durch einzelne Einstellmöglichkeiten kann der Benutzer das Mehrfamilienhaus weiter parametrieren. Der Einfluss der Modelle auf den Energieverbrauch und somit auch auf den Eigenverbrauch lässt sich in der Testumgebung direkt erkennen.

Ausblick

Die erarbeiteten Modelle sind teilweise nahe an der Realität, zum Beispiel die Photovoltaikanlage. Andere Modelle hingegen sind einfach gehalten und können die realen Anlagen deshalb nur bis zu einem bestimmten Grad nachbilden. Als reiner Vergleich für verschiedene Energiemanagementsysteme können die Modelle in das Bewertungsverfahren übernommen werden. Um die Diversität an Mehrfamilienhäusern abzudecken, müssen für das Bewertungsverfahren Testszenarien definiert werden. Dabei könnten zum Beispiel zwei Gebäude mit 4 und 8 Mietparteien aufgebaut werden und die Wirksamkeit der Energiemanagementsysteme bei beiden Szenarien verglichen werden. Eine zukünftige Anwendung des Bewertungsverfahrens könnte auch sein, den Mehrwert eines Energiemanagementsystems für ein Gebäude zu ermitteln. Um dafür noch genauere Vorhersagen treffen zu können, müssen die Modelle weiterentwickelt und die gebäudetechnischen Anlagen in der Testumgebung noch realitätsgetreuer abgebildet werden.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_14
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Feuchterückgewinnung: Einsatzgrenzen und Berechnungshilfen

Studierende	Christian Baratto
Dozierende	Heinrich Huber Stefan Walser
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: POLYBLOC AG, Alex Herzog
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Feuchterückgewinnung: Einsatzgrenzen und Berechnungshilfen

Ist es möglich, mit einer einfachen Berechnung, die Feuchterückgewinnung mit einem Enthalpie-Plattenwärmetauscher bei ändernden Luftvolumenströmen zu berechnen? Kann man klare numerische Empfehlungen zu minimaler und maximaler Feuchterückgewinnung geben? Gebäudetechnik-Student Christian Baratto stellt sich diesen Fragen im Rahmen seiner Bachelor-Arbeit an der Hochschule Luzern, Technik & Architektur.

Diese zwei Fragen sind die Hauptbestandteile der Bachelor-Thesis von Christian Baratto. Die Fragen werden anhand bestehender Formeln und mit Mess- und Klimadaten beantwortet.

Näherungsgleichung zur Feuchterückgewinnung

In einem Beitrag für den TGA-Kongress 2020 (Huber & Kaup, 2020) wurden drei Modelle einer Näherungsformel von Temperaturänderungsgraden an Wärmeübertragern beschrieben. Das Modell A aus diesem Beitrag wird in der Bachelor-Thesis genauer betrachtet und dank der Analogie zwischen Wärme- und Feuchteübertragung soweit abgeändert oder weiterentwickelt, dass dasselbe Modell für die Berechnung einer Näherung für die Feuchterückgewinnung erarbeitet wird. Diese Formel wird mit Auslegungsdaten sowie eigens erstellten Messdaten kontrolliert und der dazugehörige Exponent gemäss den Messdaten für die höchste Genauigkeit optimiert. Erst wird hier der NTU_{Fe} berechnet. (NTU = Number of Transfer Units)

$$NTU_{Fe} = \frac{1}{1-\mu_{2,Fe}} \cdot \ln \frac{1-\mu_{2,Fe} \cdot \Psi_{Fe}}{1-\Psi_{Fe}} \text{ für } \mu_{2,Fe} \neq 1 \text{ und } NTU_{Fe} = \frac{\Psi_{Fe}}{1-\Psi_{Fe}} \text{ für } \mu_{2,Fe} = 1 \text{ und } \mu_{2,Fe} = W_2/W_1$$

Im zweiten Schritt wird die dimensionslose Kennzahl NTU auch hier mit einem empirischen Ansatz auf den korrigierten Zustand umgerechnet.

$$k_{korr} = k_{Te} \cdot \left(\frac{w_{1,korr}}{w_{2,Te}}\right)^n \cdot \left(\frac{w_{2,korr}}{w_{2,Te}}\right)^n \text{ und } NTU_{korr} = NTU_{Fe} \cdot \frac{\dot{m}_{2,Fe}}{\dot{m}_{2,korr}} \cdot \left(\frac{\dot{m}_{1,korr}}{\dot{m}_{1,Fe}}\right)^n \cdot \left(\frac{\dot{m}_{2,korr}}{\dot{m}_{2,Fe}}\right)^n$$

Im dritten Schritt wird der korrigierte Feuchteänderungsgrad berechnet:

$$\Psi_{korr} = \frac{1-e^{(\mu_2-1)NTU_{korr}}}{1-\mu_2 e^{(\mu_2-1)NTU_{korr}}} \text{ für } \mu_2 \neq 1 \text{ und } \Psi_{korr} = \frac{NTU_{korr}}{1+NTU_{korr}} \text{ für } \mu_2 = 1 ; W_i = \dot{m}_i \cdot c_p$$

mit:

- Ψ_{Fe} Feuchteänderungsgrad im gemessenen resp. bekannten Zustand
- $\mu_{2,Fe}$ Feuchtekapazitätsstromverhältnis von Zuluft zu Abluft im gemessenen resp. bekannten Zustand
- \dot{m}_i Wärmekapazitätsstrom des Luftstroms i (1 für Abluft, 2 für Zuluft) in kg/s
- c_p spezifische Wärmekapazität der Luft in kg/s
- k_{korr} umzurechnender Wärmedurchgangskoeffizient in $W/m^2/K$
- k_{Te} Wärmedurchgangskoeffizient im gemessenen resp. bekannten Zustand in $W/m^2/K$
- $w_{1,korr}$ Geschwindigkeit auf der Medienseite 1 im umzurechnenden Betriebszustand in m/s
- $w_{1,Te}$ Geschwindigkeit auf der Medienseite 1 im gemessenen resp. bekannten Zustand in m/s
- $w_{2,korr}$ Geschwindigkeit auf der Medienseite 2 im umzurechnenden Betriebszustand in m/s
- $w_{2,Te}$ Geschwindigkeit auf der Medienseite 2 im gemessenen resp. bekannten Zustand in m/s
- n strömungsabhängiger Exponent zur Charakterisierung der Änderung des Feuchtedurchgangskoeffizienten
- $\dot{m}_{1,Fe}$ Abluftmassenstrom im gemessenen resp. bekannten Zustand in kg/s
- $\dot{m}_{1,korr}$ Abluftmassenstrom im korrigierten Zustand in kg/s
- $\dot{m}_{2,Fe}$ Zuluftmassenstrom im gemessenen resp. bekannten Zustand in kg/s
- $\dot{m}_{2,korr}$ Zuluftmassenstrom im korrigierten Zustand in kg/s
- n strömungsabhängiger Exponent für die Charakterisierung der Änderung des Feuchtedurchgangskoeffizienten
- Ψ_{korr} Korrigierte Feuchterückgewinnungsgrad
- $\mu_{2,Fe}$ Feuchtekapazitätsstromverhältnis von Zuluft zu Abluft im gemessenen resp. bekannten Zustand
- NTU_{korr} Kennzahl NTU in korrigiertem Zustand

Hier wird für den Exponenten «nFeuchte» der Wert 0.165 empfohlen, um eine minimale Abweichung zu erhalten. Gerechnet wurde mit ändernden Massenströmen bei einem Massenstromverhältnis von 1:1, bei änderndem Zuluftmassenstrom und konstantem Abluftmassenstrom sowie mit konstantem Zuluftmassenstrom und änderndem Abluftmassenstrom. Die Abweichungen dieser drei Varianten wird zusammen addiert für die totale Abweichung. (Abbildung 1)

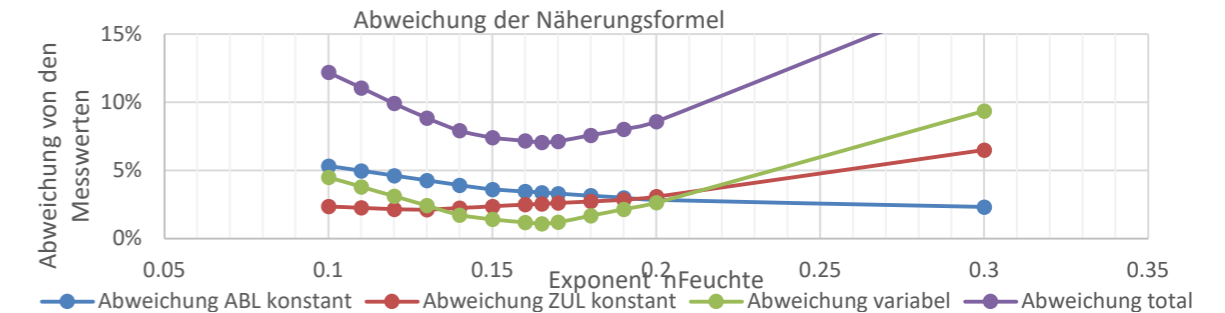


Abbildung 1: Abweichung der Näherungsformel bei verschiedenen Exponenten

Empfehlung minimale und maximale Feuchterückgewinnung

Eine numerische Empfehlung für eine minimale oder auch maximale Feuchterückgewinnung kann nicht abgegeben werden. Dies muss man von Projekt zu Projekt mit den Anlagebetreiber bzw. dem Kunden besprechen, um deren Bedürfnisse zu erörtern. Man kann einzig sagen, dass eine minimale Feuchterückgewinnung in den Wintermonaten Sinn macht, damit man bestimmt keine Einfriergefahr des Plattentauschers hat, hier ist mit minimaler Feuchterückgewinnung gemeint, dass man eine möglichst hohe Rückfeuchtezahl haben möchte, dadurch ist die Wahrscheinlichkeit für eine Kondensatbildung geringer. Mit einem einfachen Diagramm das auf der SIA 180:2014 beruht, kann man den Fachplanern und Kunden jedoch ganz einfach die Furcht vor einer Feuchterückgewinnung und allfälliger Kondensat- und Schimmelbildung nehmen. Dieses Diagramm ist in Abbildung 2 abgebildet. Man beginnt bei (1) mit der Aussenlufttemperatur bis an die Oberflächentemperaturkurve des U-Wertes (0.25 W/(m²K)). Mit (2) geht es weiter zur Oberflächentemperatur innen. Diese Temperatur wird dann wieder unten mit (3) eingesetzt und bis zur Kurve der Raumtemperatur gezogen. Mit (4) findet man die maximale relative Feuchte, die in diesem Raum nicht über längere Zeit überschritten werden sollte, damit man keine Schimmelbildung erhält. Wichtig ist, dass sämtliche Aussenwände gegen Aussenluft sind. Das Erdreich hat andere Temperaturen als die Aussenluft. In diesem Beispiel sieht man, dass bei einer Raumlufttemperatur von 21°C eine Schimmelbildung erst bei einer sehr hohen relativen Feuchte entsteht, deshalb ist dies bei einem guten U-Wert kaum mehr möglich.

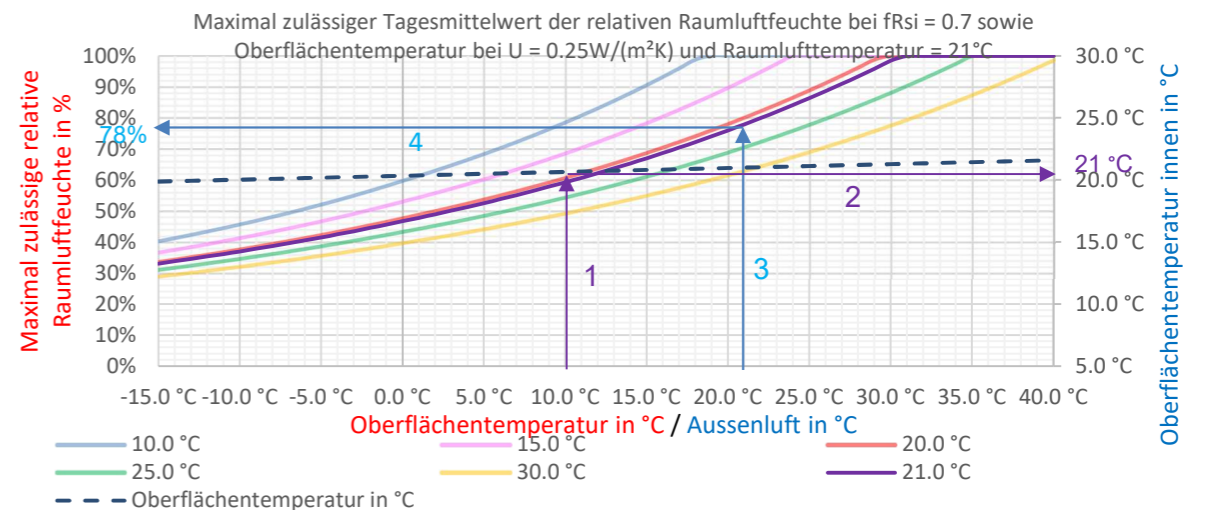


Abbildung 2: SIA180/Schimmelbildung, Diagramm ausgefüllt

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT G_21_15
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Energiebedarf und Regelbarkeit von hydraulischen Gruppen- und Verteilerschaltungen

Studierende	Alexander de Beus Dario Hänslı
Dozierende	Prof. Werner Betschart Leonardo Montali
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Energiebedarf und Regelbarkeit von hydraulischen Gruppen- und Verteilerschaltungen

Bei der Erarbeitung eines hydraulischen Konzeptes wird man früh mit der Frage konfrontiert, welche hydraulische Schaltung am besten geeignet ist. Mit dem laufenden Fortschritt der Technik werden verschiedene hydraulische Schaltungen für die Energieverteilung eingesetzt. Weiter ist der Verbrauchermassenstrom nicht mehr konstant. In dieser Bachelor-Thesis wird anhand von Simulationen, Berechnungen und Messungen das hydraulische Verhalten der Einspritz- und Beimischschaltung untersucht.

Je nach Anwendungen eignen sich in der Theorie gewisse Grundschaltungen besser als andere. Die Einspritz- und Beimischschaltung bieten gewisse Vor- und Nachteile. Durch den Einsatz von Raumthermostaten und Thermostatventile wurde die These erstellt, dass der Massenstrom im Sekundärkreis der Heizgruppe nicht mehr konstant ist. Mit der Simulation wird dies These der Massenströmschwankungen überprüft. Anhand dieser Erkenntnisse wird das hydraulische Verhalten der Einspritz- und Beimischschaltung untersucht.

Simulation

Um das Verhalten der Wärmeabgabe zu analysieren, wurde eine Simulation mit verschiedenen Szenarien durchgeführt. Durch die Simulation welche Wärmegewinne berücksichtigt konnten Tagesabläufe abgebildet werden. Um Einflüsse auf das Verhalten zu evaluieren, wurden verschiedene Wärmeabgabesysteme sowie Nutzungen analysiert.

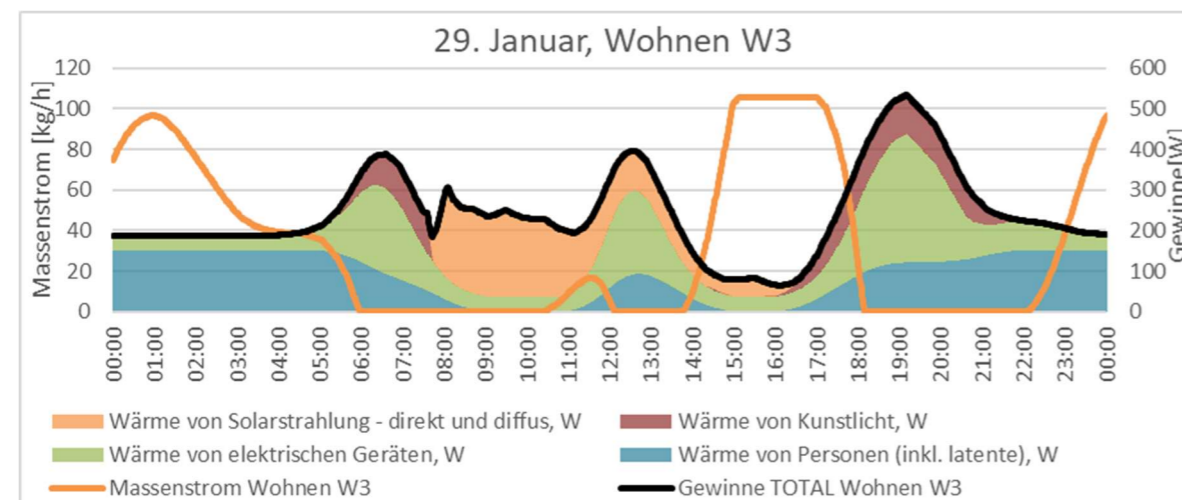


Abb. 1: Auswertung Simulation, Massenstrom Fussbodenheizung mit Wärmeeinträgen.

Durch die Einflüsse der internen und externen Wärmegewinne geben die Wärmeabgabesystemen zu viel Leistung ab. Aus diesem Grund schliessen beispielsweise die Fussbodenheizungsringe. Mit diesem Verhalten schwankt der Massenstrom über den Heizungsverteiler, zwischen 0 und 100 % von dem Auslegungszustand. Anhand dieser Erkenntnisse wurde ein Laborversuch durchgeführt.

Laborversuch

Mit einem Laborversuch wird das hydraulische respektive strömungstechnische Verhalten in Verteilschaltungen untersucht. Dabei wurde dem Betrieb im Teillast eine besondere Beachtung geschenkt. Der Laboraufbau verfügt über zwei Verbraucher-Gruppen, welche beide entweder als Einspritz-, Beimisch- oder Drosselschaltung betrieben werden können. Bei den Messungen galt der Fokus der Analyse des hydraulischen Verhaltens, während das thermische Verhalten nicht berücksichtigt wurde.

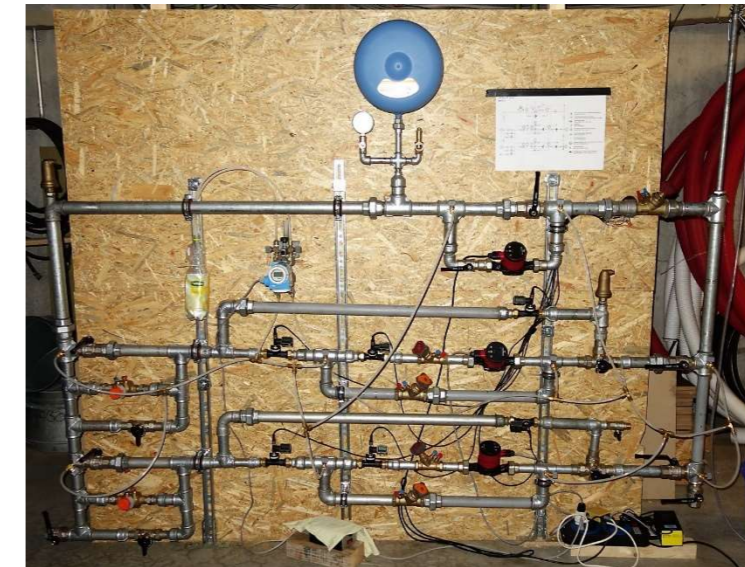


Abb. 2: Messstand hydraulische Messungen

Bei den Messungen der Beimischschaltung mit fester Vormischung, wurde der konstante Bypass im Teillast-Fall der Wärmeabgabe untersucht. Es wurde überprüft, ob eine Unterversorgung in Form der Vorlauftemperatur möglich ist. Zudem galt eine grosse Aufmerksamkeit einer Analyse der «20 %-Regel». Sie sagt aus im welchen Druckverhältnis der Primär- zum Sekundärkreis für einen optimierten Betrieb stehen sollte. Bei der Einspritzschaltung wurden konventionelle und druckunabhängige Regelorgane im Teillast-Fall überprüft und miteinander verglichen.

Ergebnisse

Bei reduziertem Massenstrom bei einer Beimischschaltung mit konstantem Bypass, wurde aufgrund ändernden Druckverhältnisse zu viel Rücklaufwasser beigemischt. Folglich konnte die gewünschte Vorlauftemperatur nicht mehr gewährleistet werden.

Weiter wurde bestätigt, dass der Primärkreis einen möglichst geringen Druckverlust aufweisen soll. Ab einen Druckverlustanteil des Primär- zum Sekundärkreis von rund 20 %, wurden die Auswirkungen von Regeländerungen deutlich sichtbar.

Sofern der gewünschte Massenstrom richtig eingestellt wird, kann ein druckunabhängiges Regelorgan sauber regeln. Das Regelorgan müsste mit den Schwankungen von dem Massenstrom mitregeln.

Bezüglich der Stromaufnahme der Pumpen war die Beimischschaltung stets die effizientere Variante. Sofern kurze und möglichst druckarme Primärleitungen realisierbar sind, wird eine Beimischschaltung empfohlen.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_16
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Energieeffizienz im Spannungsfeld von druckunabhängigen Regelventilen, Dimensionierungsstrategie und hydraulischer Abgleich

Studierende	Ryan Duss
Dozierende	Prof. Werner Betschart Leonardo Montali
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Energieeffizienz im Spannungsfeld von druckunabhängigen Regelventilen, Dimensionierungsstrategie und hydraulischer Abgleich

Für die Auswahl geeigneter Regelventile fehlen in der Thematik des hydraulischen Abgleiches wesentliche Entscheidungsgrundlagen. Die Wissenslücke in der Regelstrategie kann zu einer fehlerhaften Umsetzung des hydraulischen Abgleiches führen. Eine falsch gewählte Regelstrategie oder deren falsche Umsetzung hat zur Folge, dass mehr Investitionskosten und ein erhöhter Energiebedarf entstehen.

Ziel ist es, statische und dynamische Reguliereinrichtungen zu vergleichen. Der Vergleich analysiert, unter Berücksichtigung der Investitionskosten und des erhöhten Druckabfalls, den Mehrwert der dynamischen Ventile gegenüber dem konventionellen statischen Abgleich. Im Weiteren werden die Netzdimensionierungen überprüft und Verbesserungsmöglichkeiten erprobt. Die Pumpenauslegung und deren gewählte Kennlinie spielt im hydraulischen Abgleich eine wesentliche Rolle. In der Arbeit werden Differenzen zwischen der theoretischen Pumpenauslegung und dem effektiven Betriebspunkt ermittelt. Die Thematik wird in einem hydraulischen Abgleich in einem Mehrfamilienhaus mit Fussbodenheizung untersucht.

Die geprüften Szenarien zur Analyse basieren auf Recherche und Simulationen. Ein eigens für die These erbauter Messstand im Labor ermöglicht eine praxisnahe Messung des realen Verhaltens.

Grundlagen

Die Ventilwahl für den hydraulischen Abgleich beeinflusst massgeblich das Einhalten der Massenströme in den Wohnungsverteiler und in den einzelnen Räumen. Die Thesis vergleicht drei verschiedene Regulierventile und analysiert deren Regelverhalten. Für den statischen Abgleich wird ein Strangregulierventil verwendet. Für den dynamischen Abgleich wird in erster Linie ein Differenzdruckregelventil gewählt. In zweiter Linie wird ein druckunabhängiges Ventil direkt im Verteiler analysiert.

Die Dimensionierung der Leitungen hat einen wesentlichen Einfluss auf das Strömungsverhalten im Leitungsnetz. Ziel der Dimensionierungsstrategie ist, den Einfluss des Massenstromverhaltens im Leitungsnetz im Teillastbetrieb aufzuzeigen. Eine moderne Dimensionierung soll die Ventile im hydraulischen Abgleich unterstützen. Aktuell wird branchenüblich mit rund 50 Pa/m dimensioniert. Die handelsüblichen Dimensionen der Rohrleitung sind durch die Industrie vorgegeben. Dadurch kann der Druckverlust pro Meter Rohr, auch R-Wert genannt, bei einigen Teilstrecken vom Optimum abweichen.

In dieser Bachelorthesis werden zwei Dimensionierungsstrategien erprobt. In einer ersten Strategie werden die Verteilungen in der Zentrale klein dimensioniert. Dadurch haben die Leitungen einen verhältnismässigen grossen Druckverlust pro Meter Rohrleitung. Der hohe Druckverlust in den Verteilungen wird in den Anschlussleitungen nahe der Wohnungsverteiler kompensiert. Die zweite Strategie ist gegenläufig zur ersten Strategie. Die Verteilungen werden grosszügig dimensioniert. Die Strategien sollen die gegenseitige Beeinflussung der Massenströme durch den Anteil des Druckverlustes in der gemeinsamen Leitung zeigen.

Gebäudeverhalten

Die Ergebnisse der Simulation zeigen, dass sich das Gebäude 89 % des Jahres im Teillastbetrieb befand. Geräte und Personen sowie Sonneneinstrahlung waren die massgebenden Treiber der schwankenden Lasten.

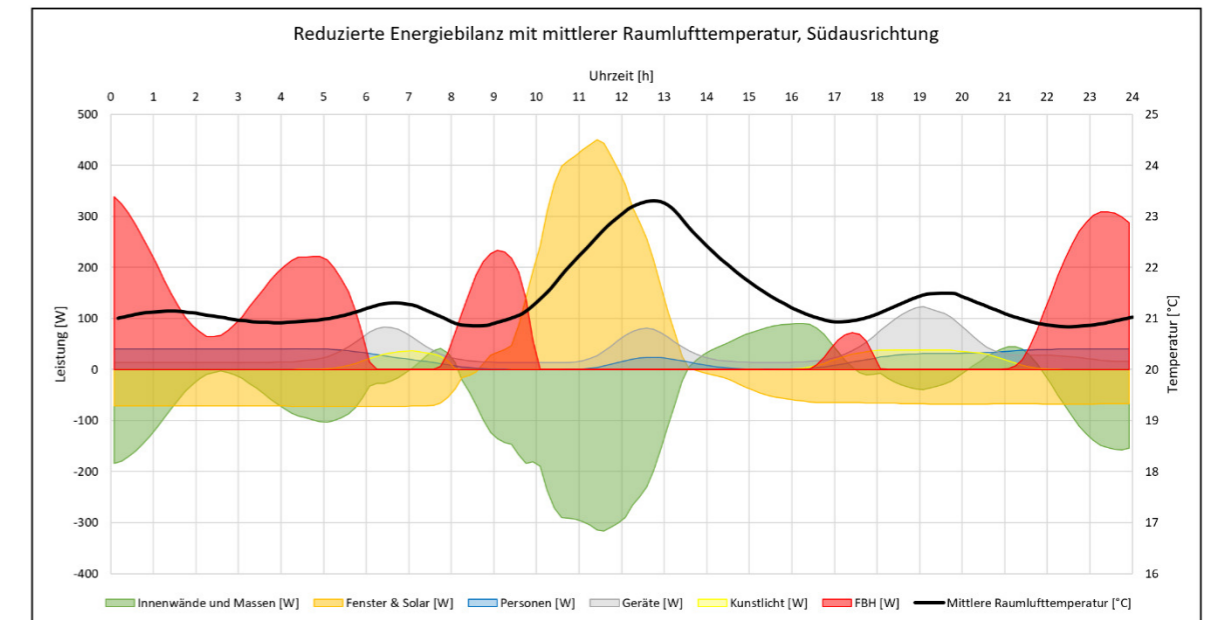


Abb. 1: Reduzierte Energiebilanz mit der mittleren Raumlufttemperatur bei einem Süd ausgerichteten Zimmer

Resultate

Die Messung hat ergeben, dass die Umwälzpumpe die gewünschte Betriebskennlinie nicht erreicht. Eine Abweichung der Betriebskennlinie hat einen massgebenden Einfluss auf den hydraulischen Abgleich. Der statische Abgleich mit Strangregulierventilen und der dynamische Abgleich mit Differenzdruckregler halten im Teillastfall die Wassermenge über dem Verteiler gleichermassen stabil. Im Fussbodenheizungsverteiler gibt es erhebliche Massenstromabweichungen zum gewünschten Teillastbetrieb. Die Abweichungen betragen im statischen Abgleich 13 % und im Abgleich mit Differenzdruckregler 18 %. Der statische Abgleich ist im Verhältnis 15 % kostengünstiger ausgefallen. Der hydraulische Abgleich mit druckunabhängigen Ventilen im Verteiler zeigt eine vernachlässigbare Massenstromabweichung im Fussbodenheizungsverteiler von 1 % - 3 %. Die immer steigende Effizienz der Umwälzpumpen schmälert den elektrischen Strombedarf durch den benötigten Vordruck im dynamischen Abgleich. Die analysierte Dimensionierungsstrategie ergibt bei jeder Ventilwahl, ausser im Falle eines Differenzdruckreglers, eine Verbesserung des hydraulischen Abgleiches.

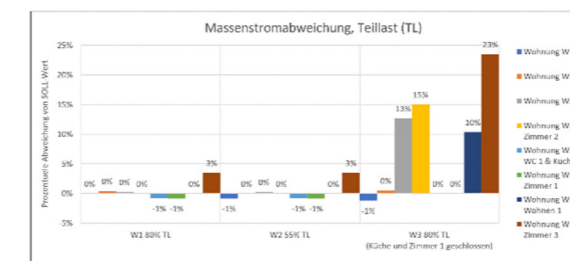


Abb. 2: Abgleich mit Strangreduzierventil

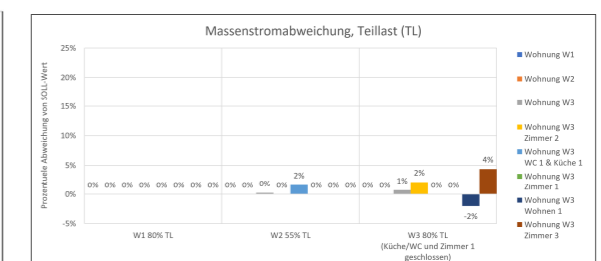


Abb. 3: Abgleich mit druckunabhängigem Ventil im Verteiler

**Energieeffizienz im Spannungsfeld von druckunabhängigen Regelventilen,
Dimensionierungsstrategie und hydraulischer Abgleich**

Fazit

Es ist zu empfehlen, in einem kleineren Wohngebäude mit 6 Wohneinheiten den hydraulischen Abgleich mit druckunabhängigen Ventilen im Verteiler zu realisieren. Die Dimensionierungsstrategie ist so zu wählen, dass in den Verteilleitungen ein kleiner spezifischer Druckverlust resultiert und bei der Wohnungsverteilung einen grösseren spezifischen Druckverlust herrscht. Ist die Wohneinheit offen gestaltet oder sind die Räume nicht schliessbar, kann ein kostengünstigerer statischer Abgleich empfohlen werden. Die Selbstregulierung durch die offenen Räume kann die Wärme in der Wohneinheit verteilen. Bei einem grösseren Gebäude mit einer Verteilleitung von rund 200 Meter mit durchschnittlich 50 Pa/m oder 10 kPa Druckdifferenz wird empfohlen, den hydraulischen Abgleich mit Differenzdruckregler zu realisieren. Für alle hydraulischen Abgleiche ist eine korrekte Einstellung der Abgleichventile und der Förderhöhe sowie der Fördermenge der Pumpe bei Vollast Voraussetzung.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Thermische Desinfektionsbarriere in Warmwasserspeichern

Studierende	Dave Morgenthaler Flavia Wälti
Dozierende	Reto von Euw Franziska Rölli
Experte/-in	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Thermische Desinfektionsbarriere in Warmwasserspeichern

Das Thema Legionellen in Warmwasserversorgungen wird in den letzten Jahren immer präsenter, da die jährlichen Zahlen an erkrankten Personen mit der Legionärskrankheit steigen. Ein Faktor auf dieses Phänomen hat bestimmt die Warmwassertemperatur in Warmwasserspeichern sowie -verteilung und somit auch auf die Wasserhygiene.

Das Überleben der Legionellen in Speichern wie auch in den Verteilleitungen im Gebäude werden im Temperaturbereich zwischen 25 – 45 °C gefördert. In dieser Bachelorthesis (BAT) sollen Faktoren definiert werden, welche einen Einfluss auf die Temperaturschichtung in Speichern haben. Dabei wird ein Fokus auf die thermische Desinfektionsbarriere gelegt.

Definition

Es war genügend Recherchematerial vorhanden, allerdings wurde keine klare Definition für eine thermischen Desinfektionsbarriere gefunden. Daher wurde eine Eigendefinition festgelegt, um die Grundlage für diese Bachelorthesis zu bilden. Die Eigendefinition ist wie folgt beschrieben:

«Die thermische Desinfektionsbarriere verhindert das Eindringen von Legionellen in das Warmwassersystem. »

Um die Desinfektionsbarriere gewährleisten zu können, müssten folgende Punkte vorausgesetzt werden:

- Die SIA 385/1 definiert den Austritt am Warmwasserspeicher so, dass in den warmgehaltenen Trinkwasserleitungen im Normalbetrieb immer eine Temperatur von min. 55°C sichergestellt werden kann.
- Aufgrund der Konvektionsströmungen bei Stufenladungen, kann die Desinfektionsbarriere kann nur mit Schichtladungen entstehen.
- Es ist eine 100 % Abtötung der Legionellen anzustreben. Um dies zu erreichen, ist das ganze Bereitschaftsvolumen während des Ladeprozesses auf die gewünschte Warmwassertemperatur von min. 55 °C zu bringen.
- Das Warmwasser muss eine gewisse Verweilzeit, abhängig von der Wassertemperatur, im Speicher aufweisen, um eine 100 % Abtötung anzustreben. Die jeweilige Verweilzeit kann aus der Literatur «Betriebshygiene» von Römermann, H.-D. & Schliepper M. vom Jahre 2007 herausgelesen werden.

Messungen

Die Temperaturvariante 1 entspricht den Standardeinstellungen des Lieferanten. Die Temperaturvariante 2 entspricht der optimierten Variante. Es wurden zwei Temperaturvarianten berücksichtigt, da das Temperaturniveau aus der Variante 1 zum Teil einen massiven Einfluss auf die Ergebnisse hat. Bei gewissen Versuchen hat sich das Spitzendeckungsvolumen innerhalb von wenigen Minuten um ca. 5 K abgekühlt. Es konnte nicht das Spitzendeckungsvolumen bezogen werden, bevor das System den Ladeprozess eingeleitet hatte. Daher wurde eine optimiertere Variante erstellt, bei der der AUS-Fühler und der

Tab. 1: Temperaturen Ladung

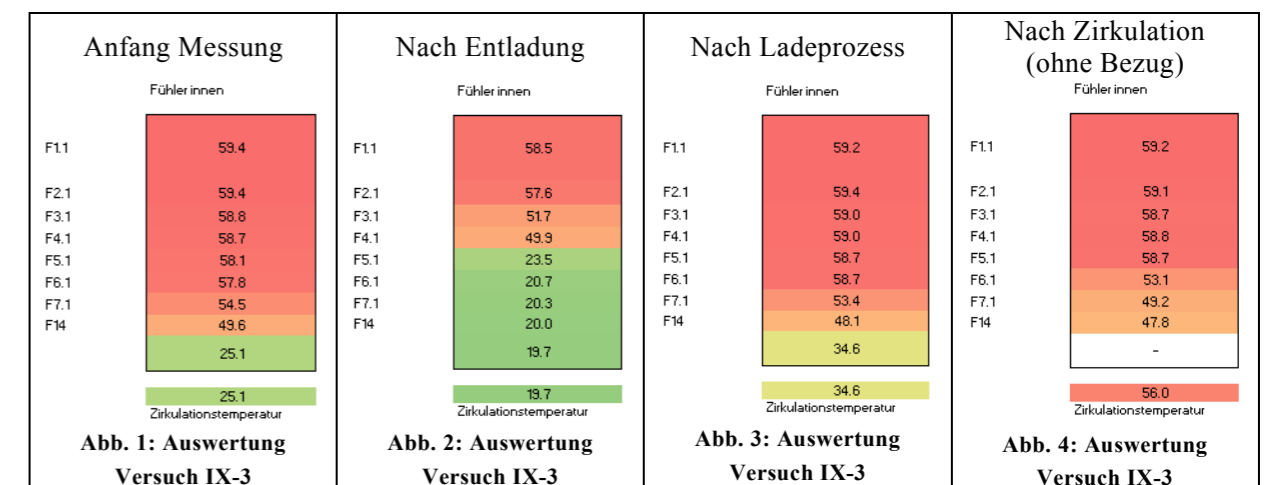
Beschreibung	Variante 1 Standard-einstellung	Variante 2 optimierte Einstellung
Spitzendeckungsvolumenfühler	60 °C	60 °C
EIN-Fühler	55 °C	58 °C
AUS-Fühler	50 °C	60 °C

Spitzendeckungsfühler die gleichen Temperaturen haben (Variante 2). Die eingestellten Temperaturen sind in der Tab. 1 abgebildet.

Ergebnisse

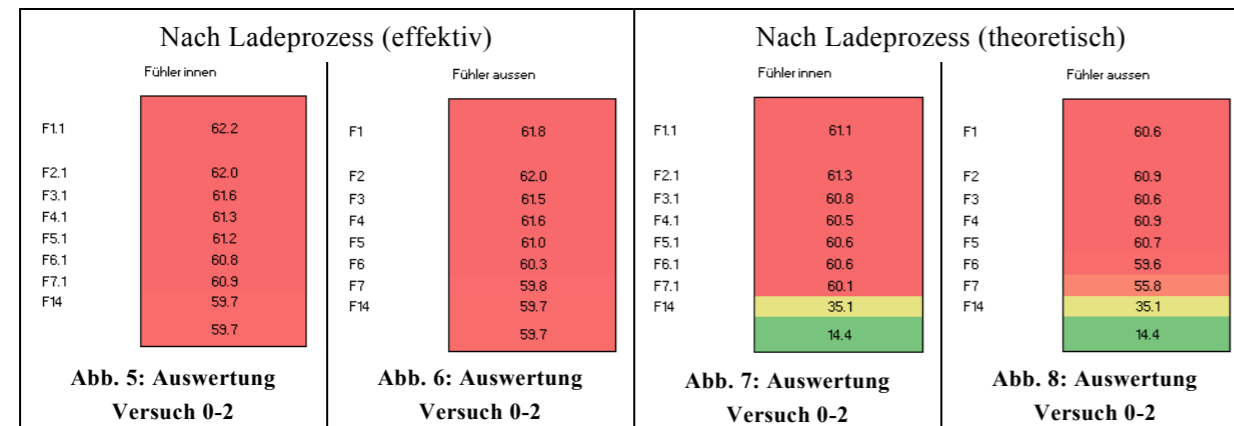
Ein grosser Einfluss hat die Schichtungstemperaturdifferenz im Steuervolumen. In der Temperaturvariante 1 wurde mit einer Schichtungstemperatur von 10 K gearbeitet, das heisst beim EIN-Fühler herrschte eine Temperatur von 60 °C und beim AUS-Fühler eine Temperatur von 50 °C, wenn der Speicher vollgeladen ist. Das Spitzendeckungsvolumen sank innerhalb kurzer Zeit unter 60 °C, da die Schichten sich beim Warmwasserbezug nach oben verschoben. Diese Variante wird daher nicht empfohlen, wenn über längere Zeit kein Warmwasserbezug herrscht. Das Warmwasservolumen kühlt sich zu wenig ab und der Wärmeerzeuger fängt an zu takten. Diese Variante bietet allerdings immer tiefe und konstante Rücklauftemperaturen, da im unteren Teil des Speichers immer eine Kaltwasserschicht vorhanden ist. Bei der Temperaturvariante 2 ist eine konstante Temperatur von 60 °C im Bereitschaftsvolumen vorhanden. Dabei wird bei Bezug immer eine konstante Austrittstemperatur gewährleistet. Allerdings wird beim Ladeprozess die Kaltwasserschicht vernichtet, da der Speicher aufgrund der aussenliegenden Fühler «überladen» und die Rücklauftemperatur steigt an.

Ein weiterer Einflussfaktor ist der Einsatz einer Zirkulation, da diese den Speicher abkühlt. Es muss darauf geachtet werden, dass die Zirkulationstemperatur nicht unter 55 °C fällt und die Eintrittsgeschwindigkeit in den Speicher unter 0.1 m/s liegt. Durch diese Massnahmen werden Verwirbelungen im Speicher verhindert. Des Weiteren sollte die Zirkulation nie ins Kaltwasser eingebunden werden. Dies bewirkt eine Anhebung der Temperatur in der Kaltwasserzone im Speicher und durch den thermischen Auftrieb im Speicher entsteht eine Vermischung der Schichten. Dies kann ein hygienisches Risiko darstellen und den Legionellenwachstum fördern. In den Abb. 1/2/3/4 sind Speicherbilder aus den Versuchen mit der Zirkulationseinbindung in das Kaltwasser und der Temperaturvariante 1 abgebildet. Aus den Abbildungen wird ersichtlich, dass sich aufgrund der Zirkulationseinbindung ins Kaltwasser eine Mischwasserschicht im Speicher bildet (Abb. 3). Diese Temperaturen fördern eine Legionellenbildung.



Ein weiterer interessanter Punkt, der durch die Messungen hervorgehoben wird, ist der Einsatz von aussenliegenden Anlegefühlern. Diese Fühler zeigen eine gewisse Verzögerung im Gegensatz zu Fühlern, die direkt im Medium platziert sind. Im Versuch mit dem optimalen Warmwasserbetrieb ohne Zirkulation wurde ersichtlich, dass der Ladeprozess länger andauert und dadurch der Speicher überladen wird. Dies ist in den Abb. 5/6/7/8 ersichtlich. Die Abb. 7/8 zeigen den theoretischen Ausschaltzeitpunkt, welcher 12 Minuten vor dem effektiven Ausschaltzeitpunkt wäre. Der Fühler aussen misst allerdings noch 55.8 °C und die Speicherladung läuft daher weiter. Die Abb. 5/6 zeigen den

effektiven Ausschaltpunkt und es ist zu sehen, dass der Speicher «überladen» wird und die Kaltwasserzone vernichtet wird. Dadurch entstehen die hohen Rücklauftemperaturen bei der Temperaturvariante 2. Daher wird im Allgemeinen empfohlen, die Fühler mit Tauchhülsen in den Speicher einzubringen.



Wichtige Planungs- und Betriebsaspekte

Aus all den Versuchen wurden wichtige Planungs- und Betriebsaspekte ausgearbeitet, um eine funktionierende thermische Desinfektionsbarriere zu gewährleisten. Diese Aspekte wurden in zwei Checklisten festgehalten. Diese unterscheiden sich lediglich in der Rücklauftemperaturüberwachung. Die vier wichtigsten Aspekte aus den Checklisten sind:

- Warmwassertemperatur am Speicheraustritt i. O.? ($\geq 55\text{ °C}$ in warmgehaltenen Leitungen) (Planung / Betrieb)**
 Die Warmwassertemperatur im Speicher muss so ausgelegt werden, dass in den warmgehaltenen Leitungen mindestens 55 °C gewährleistet werden kann. Bei Zirkulation entspricht das der Eintrittstemperatur in den Speicher. Bei einem Heizband entspricht es der Temperatur bei der weitest entfernten Armatur.
- Wärmesiphon am Speicheraustritt ausgeführt? (Falls Speicheraustritt horizontal) (Planung / evtl. Betrieb)**
 Um eine Mikrozirkulation in der Leitung zu verhindern, muss bei einem horizontalen Speicheranschluss ein Wärmesiphon vorgesehen werden.
- Einbindung Zirkulation in Kaltwasser, wenn möglich, vermieden? (evtl. Planung)**
 Eine Einbindung der Zirkulation ins Kaltwasser sollte vermieden werden, da eventuelle hygienische Probleme im Speicher auftreten können. Durch diese Einbindungsart kann eine Mischtemperatur von rund 35 °C im Speicher entstehen und eine Legionellenbildung gefördert werden.
- Zirkulationsgeschwindigkeit $\leq 0.1\text{ m/s}$? (Planung / evtl. Betrieb)**
 Die Zirkulationsgeschwindigkeit im gesamten System sollte maximal 0.1 m/s betragen. Dies verhindert eine zu schnelle Auskühlung des Bereitschaftsvolumens und eine optimale Einschichtung im Speicher.

Diese Checklisten bieten eine hervorragende Grundlage für Ingenieurbüros, ausführende Betriebe wie auch Bauherren und können an der Hochschule Luzern – Technik & Architektur angefragt werden.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Low-Cost Monitoring Tool Trinkwasserhygiene

Studierende	Gian Luca Demonti
Dozierende	Olivier Steiger Reto Marek
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Low-Cost Monitoring Tool Trinkwasserhygiene

In Heiminstallationen wird hygienisch einwandfreies Trinkwasser erwartet. Trotzdem können Probleme auftreten, insbesondere in Bezug auf Legionellen. Diese lassen sich in Wasserproben im Labor nachweisen. Für Anlagen in Ein- und Mehrfamilienhäusern ist eine häufige Kontrolle von Wasserproben durch ein Labor unüblich. Es bietet sich an, mittels eines Monitoring Tools eine Abschätzung zur Hygienesituation zu erstellen.

Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist die Erstellung eines Konzepts zur Ermittlung von Hygieneproblemen in Hausinstallationen mittels eines Monitoring Tools. Dazu wird ein Messkonzept und ein Exceltool für die Auswertung erstellt.

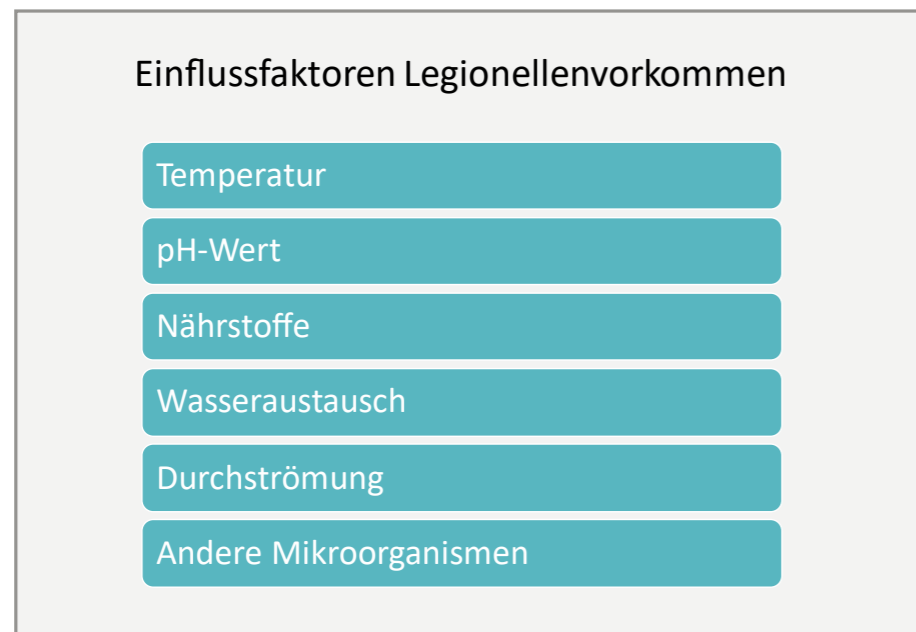


Abb. 1: Einflussfaktoren auf die Legionellen Konzentration

Vorgehensweise

Die Grundlage bildet die Literaturstudie zum Bestimmen von Faktoren, welche das Legionellen vorkommen beeinflussen. Darauf aufbauend erfolgt die Erstellung des Konzepts bezüglich Messpunkte und Auswertung. Teil dieses Konzepts ist die Erstellung eines Excel-Tools, welche die Messdaten auswertet und visualisiert.

An einem Versuchsaufbau im Labor des IGE werden mehrere Messungen durchgeführt und mit dem Tool ausgewertet. Der Versuchsaufbau stellt die zentrale Warmwassererzeugung dar. Es umfasst ein Speicherwassererwärmer mit aussenliegendem Wärmetauscher und eine Zirkulation. Die Versuche im Labor sind bei verschiedenen Systemtemperaturen im Speicher durchgeführt worden.

Abschätzung Legionellen-Kontamination

Basierend auf einer Literaturrecherche sind Faktoren ermittelt worden, welche für die Vorhersage einer Legionellen Kontamination dienen. Zu den Wichtigsten Faktoren gehört die Temperatur und die Zeitdauer, in welchem sich das Wasser in der jeweiligen Temperatur befindet. Besonders kritisch ist der Temperaturbereich von 35 °C bis 42 °C, da dies die optimale Temperatur für die Vermehrung ist. Für die Auswertung im Exceltool sind 6 Temperaturbereiche erstellt worden, basierend auf das Vermehrungsverhalten der Legionellen. Die Verdoppelungszeit gibt die Zeitspanne, an welche die Legionellen benötigen um sich zu Vermehren. Bei einer Temperatur von 37 °C beträgt dies 1.5 bis 6 Stunden. Mit den Temperaturbereichen und der Verdoppelungszeit wird im Excel-Tool abgeschätzt ob ein Legionellen Risiko bestehen könnte.

Temperaturbedingtes Vermehrungsverhalten		
Kategorie	Temperaturbereich	Auswirkung
6	> 55 °C	Abtötung von Legionellen
5	45 °C bis 55 °C	Lebensfähig aber nicht Vermehrungsfähig
4	42 °C bis 45 °C	Vermehrungsfähig
3	35 °C bis 42 °C	Optimale Legionellenvermehrung
2	25 °C bis 35 °C	Vermehrungsfähig
1	< 25 °C	Nicht Vermehrungsfähig

Abb. 2: Vermehrungsverhalten der Legionellen abhängig von der Temperatur

Fazit

Mittels Monitoring von Temperaturen lässt sich bestimmen, ob ideale Bedingungen für eine Legionellen Vermehrung vorherrschen. Daraus lassen sich weiterführende Massnahmen ableiten. Jedoch lässt sich allein mit diesen Faktoren nicht absolut Bestimmen, ob eine Legionellen Kontamination besteht. Auch ersetzt das Tool nicht den Legionellen Nachweis durch ein Labor.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_19
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Impactanalyse Gebäudetechnikplanung – Fokus Gebäude Elektroengineering

Studierende	Lukas Studer
Dozierende	Prof. Volker Wouters Prof. Matthias Balmer
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Impactanalyse Gebäudetechnikplanung – Fokus Gebäude Elektroengineering

Welches sind die massgebenden Einflussfaktoren auf die Gebäudetechnikplanung mit Fokus Gebäude Elektroengineering? Der vorliegende Fachbericht beschäftigt sich mit der Analyse der Einflussfaktoren auf die Gebäudetechnikkonzepte. Ebenfalls wird analysiert, in welchem Ausmass sich die Ausgabegrössen anhand der Einflussfaktoren verändern.

Bei der Analyse des Planungsprozesses, wurden die Einflussfaktoren qualitativ und quantitativ punkto deren Relevanz ausgewertet. Ein Gebäudetechnikkonzept wird von harten und weichen Faktoren beeinflusst. Die harten Faktoren sind der Standort, die gesetzlichen Rahmenbedingungen, sowie die Gebäudestruktur. Die weichen Faktoren sind die Nutzung, die Gebäudesicherheit, die Versorgungssicherheit, die Nachhaltigkeit, die Flexibilität, und der Ausbaustandard.

Dynamisches Modell

Um die Auswirkungen der unterschiedlichen Einflussfaktoren messbar zu machen, wurde eine Impactanalyse mithilfe von drei Referenzobjekten in den Gebäudekategorien Büro, Schule und Wohnen durchgeführt. Die Impactanalyse wurde anhand des Excel-Tools als dynamisches Modell aufgebaut. Mit der Auswahlliste gemäss der Abbildung 1 können den Einflussfaktoren Gebäudesicherheit, Versorgungssicherheit, Nachhaltigkeit und Ausbaustandard eine unterschiedliche Gewichtung vergeben werden. Die ausgewählte Gebäudekategorie, in Kombination mit der Auswahlliste generiert eine Impactanalyse analog der Abbildung 2. Mit den Auswahlmöglichkeiten von Low, Medium und High kann die Bauherrschaft die jeweiligen Anforderungen an die Einflussfaktoren definieren. Die wertbasierte Auswertung erfolgt mit den berechneten Werten aus der Analyse der Referenzobjekte. Die sensitivitätsbasierte Auswertung kann durch die Bauherrschaft anhand des Baukostenplans (BKP) individuell angepasst werden.

Einflussfaktor	keine Anforderungen an die Gebäudesicherheit (nur die durch die Normen geforderten)	minimale Anforderungen an die Gebäudesicherheit (über die durch die Normen geforderten)	erhöhte Anforderungen an die Gebäudesicherheit (über die durch die Normen geforderten)	maximale Anforderungen an die Gebäudesicherheit (über die durch die Normen geforderten)
Gebäudesicherheit	1.1	1.2	1.3	1.4
Versorgungssicherheit	2.1	2.2	2.3	2.4
Nachhaltigkeit	3.1	3.2	3.3	3.4
Flexibilität	4.1	4.2	4.3	4.4
Ausbaustandard	5.1	5.2	5.3	5.4

Abb. 1: Auswahlliste dynamisches Modell

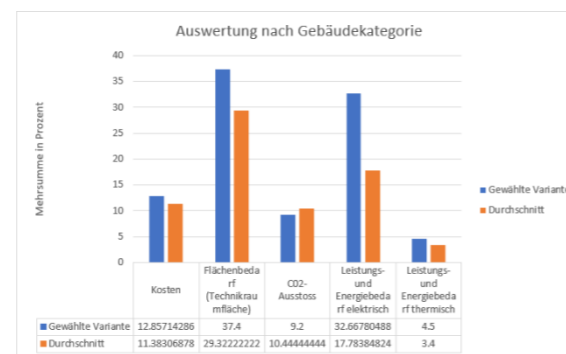


Abb. 2: Auswertung der Ausgabegrössen

Ergebnisse am Beispiel Bürobauten

Bei der Gebäudekategorie Büro wird erkenntlich, dass die Gebäudesicherheit einen starken Impact auf den Flächenbedarf und die Kosten hat. Der CO₂-Ausstoss, sowie der Leistungs- und Energiebedarf werden nur schwach verändert. Bei der Versorgungssicherheit spielt der Flächenbedarf die grösste Rolle, da der Einsatz von Netzersatzanlagen grosse Räumlichkeiten für das Gewerk Elektro zur Folge hat. Die Kosten spielen bei der Versorgungssicherheit ebenfalls eine gewichtige Rolle. Im Referenzprojekt wurde mit dem Einbezug der erhöhten Anforderungen an die Versorgungssicherheit eine Kosten-Mehrsomme von 400'000 CHF generiert. Auf die gesamten

Baukosten des BKP 23 gerechnet, sind dies 20% Mehrkosten für die Bauherrschaft. Die Technikraumfläche hat sich mit den zunehmenden Anforderungen um 275% erhöht. Dies entspricht einer Mehrfläche von 88m² an Technikräumlichkeiten. Der jährliche Mietpreis für Büroflächen liegt im Grossraum Bern bei zirka 250 CHF/m². Mit der zusätzlich benötigten Technikraumfläche entfallen der Bauherrschaft jährliche Mietzinse, im Vergleich zu den Low-Anforderungen, von rund 22'000 CHF. Die Bauherrschaft muss deshalb bei der Auswahl der Kriterien immer eine sorgfältige und detaillierte Kosten-Nutzen-Analyse durchführen. Bezüglich der Nachhaltigkeit haben ebenfalls die Kosten und der Technikraumbedarf den höchsten Impact. Mit steigenden Anforderungen steigen die Investitionskosten für die Photovoltaikanlage und deshalb auch der Technikraumbedarf. Bei der Nachhaltigkeit muss der Bauherrschaft bewusst sein, dass sinnvoll investiertes Geld in die Nachhaltigkeit sich im Laufe der Betriebsdauer wieder amortisiert. Die wirtschaftlichen Berechnungen müssen über den kompletten Lebenszyklus der Anlage betrachtet werden. Der positive Effekt der Photovoltaikanlage zeigt sich in der Reduktion des elektrischen Leistungs- und Energiebedarfs, da die Energie auf dem Dach oder der Fassade produziert wird. Der Einflussfaktor der Flexibilität hat einen hohen Impact auf den elektrischen Leistungs- und Energiebedarf, da beim Referenzprojekt eine Nutzungsflexibilität eingerechnet wurde. Der Ausbaustandard beeinflusst die Kosten am stärksten, da bei einem Bürogebäude ein breites Spektrum an zusätzlichen Installationen und Räumlichkeiten möglich ist. Diesbezüglich steigt auch der Impact des thermischen Leistungs- und Energiebedarfes, da zusätzliche Räumlichkeiten klimatisch behandelt werden müssen.

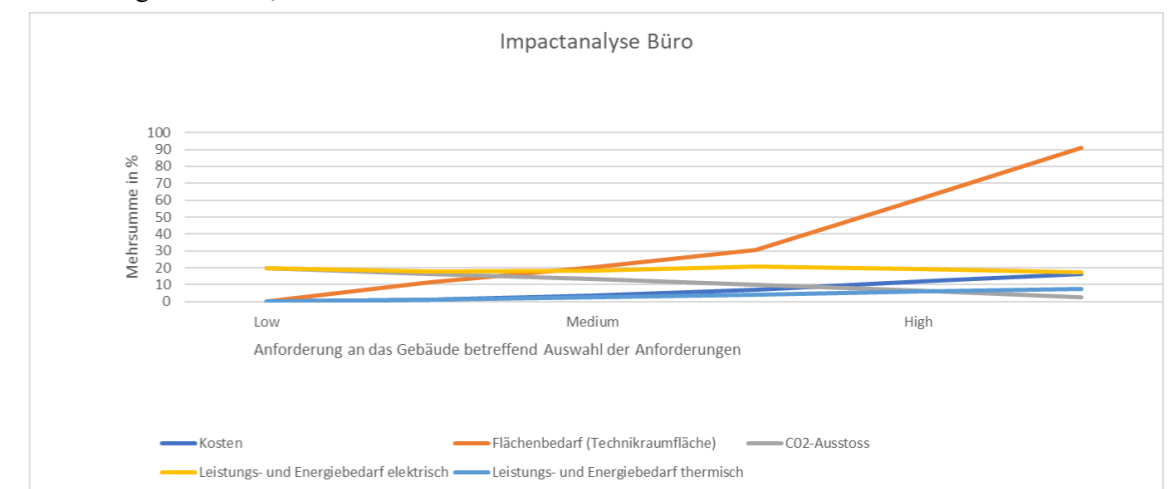


Abb. 3: Impactanalyse Büro

Erkenntnisse

Die wichtigsten Erkenntnisse aus der Impactanalyse sind, dass die Auswirkungen der harten Faktoren bereits in einer frühen Projektphase abzuholen sind. Die weichen Faktoren haben je nach Gebäudekategorie einen unterschiedlichen Impact. Die Impactanalyse wurde anhand der mess- und vergleichbaren Ausgabegrössen Kosten, Technikraumbedarf, CO₂-Ausstoss und elektrischem und thermischem Leistungs- und Energiebedarf ausgewertet. So werden die Kosten und thermische Leistungs- und Energiebedarf bei der Gebäudekategorie Wohnen am stärksten durch die Einflussfaktoren beeinflusst. Der Technikraumbedarf, sowie der CO₂-Ausstoss werden bei der Gebäudekategorie Büro am stärksten durch die Einflussfaktoren beeinflusst. Der elektrische Leistungs- und Energiebedarf wird bei der Gebäudekategorie Schule am stärksten durch die Einflussfaktoren beeinflusst. Mit Hilfe des dynamischen Modells wird der Bauherrschaft und den Gebäudetechnikern aufgezeigt, wie sich die unterschiedlichen Einflussfaktoren auf die Ausgabegrössen auswirken.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_20
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Wirtschaftliche Wärme- und Kälteerzeugungskonzepte bei einem Niedertemperatur-Wärmenetz (Anergienetz)

Studierende	Zamir Sadikaj Ivo Hämmerli
Dozierende	Prof. Stefan Mennel Prof. Joachim Ködel
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Energienetz GSG AG St. Leonhard-Strasse 15 9001 St.Gallen
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Wirtschaftliche Wärme- und Kälteerzeugungskonzepte bei einem Niedertemperatur-Wärmenetz (Anergienetz)

Aufgrund der grossen Nachfrage an erneuerbarer Energie im Raum St.Gallen-Winkeln, soll das bestehende Wärmenetz der energienetz GSG AG in Zukunft grossflächig ausgebaut werden. Um kleine Bezüger wie Ein- oder Mehrfamilienhäuser ebenfalls wirtschaftlich anzuschliessen sind Quartierverbunde, sogenannte Clusternetze notwendig. Welche Möglichkeiten es gibt, Quartierverbunde zu realisieren, soll dieser Artikel aufzeigen.

Im Rahmen dieser Arbeit wird der Frage nachgegangen, ob standardisierte Erzeugungskonzepte für Energieverbunde von Wohn- und Bürobauteilen erstellt werden können. Das Ziel dieser Arbeit ist es, Konzepte für Clusterverbunde, sogenannte Quartiernetze, zu erstellen. Diese sollen am Fallbeispiel der eGSG überprüft und qualitativ hinsichtlich technischer, ökonomischer und sozialer Aspekte beurteilt werden. Zusätzlich wird das bestehende wärmenetz GSG analysiert.

Wärmenetz GSG

Eine Übersicht über das bestehende wärmenetz GSG ist in der Abbildung 1 zu sehen. Durch einen Überschuss an Abwärme kann das Anergienetz im Heizfall stabil und effizient betreiben werden. Da jedoch nur Bezüger aus der Industrie ohne sommerlichen Wärmebedarf, wie z. B. Wohnbauten für die Trinkwasseraufbereitung, angeschlossen sind, ist es schwierig im Kühlfall die Abwärme ebenfalls ans Netz abzugeben. Durch den vorhandenen Abwärme-Überschuss besteht, ist es auch nicht notwendig Erdsondenspeicher einzubauen. Aus diesem Grund ist keine freie Kühlung über das Anergienetz bzw. Erdsonden möglich.

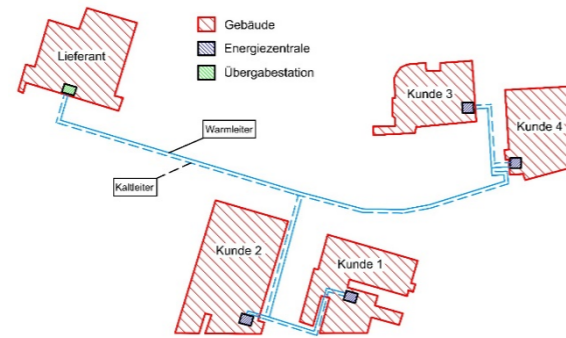


Abb. 1: Übersichtsplan wärmenetz GSG

Konzepterarbeitung

Für die Entwicklung der Erzeugungskonzepte werden drei Kategorien potenzieller Wärmeverbunde erstellt. Diese sind durch Altbau, Neubauten Heizen resp. Neubauten Heizen/Kühlen definiert. Anhand dieser Kategorien werden die Anforderungen der Erzeugungskonzepte beeinflusst. In diesem Artikel werden drei der acht erstellten Erzeugungskonzepte kurz beschrieben und erläutert. Zum einen ist dies eine Variante der Kategorie Neubau Heizen und zum anderen zwei Varianten der Kategorie Neubau Heizen/Kühlen. Die Variante der Altbau wird nicht detailliert beschrieben.

Für die Erschliessung eines Wohnquartiers mit Altbauten wird ein konventionelles zwei-Leiternetz betrachtet. Der Temperaturhub vom Kaltleiter zum Nutzvorlauf wird zentral über eine Wärmepumpe gemacht. Hier gilt es für den wirtschaftlichen Betrieb auf die Temperaturregelung im Netz zu achten.

In Abbildung 2 ist eine Vereinfachung einer Variante für Neubau Heizen aufgezeigt. Hierbei wird zentral der Temperatur für die Niedertemperaturwärmebezüger erstellt und dezentral eine zusätzliche Wärmepumpe für die Warmwasseraufbereitung installiert. Durch die zentrale Bereitstellung der Niedertemperaturwärme entstehen in der Verteilung nur geringe Wärmeverluste. Die dezentrale Warmwasser-Wärmepumpe generiert einen zusätzlichen Wartungsaufwand, kann jedoch autonom vom Bezüger betrieben werden.

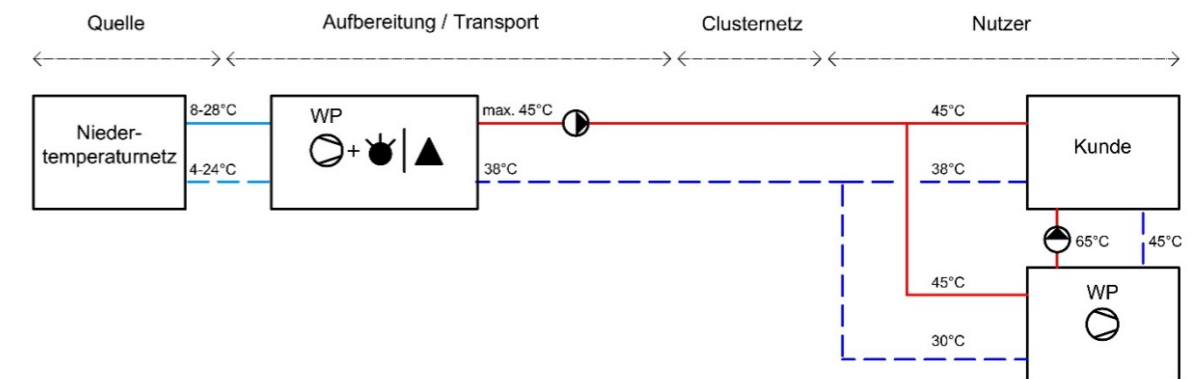


Abb. 2: Vereinfachtes Schema Neubau Heizen mit dezentraler Warmwasseraufbereitung

In Abbildung 3 ist dieselbe Variante wie für die Kategorie Neubau Heizen aufgezeigt und mit einer Einbindung für ein Free-Cooling-Betrieb ergänzt. Mit dieser Variante kann durch geringe Investitions- und Betriebskosten dem Bezüger eine Kühlung zur Verfügung gestellt werden. Das Netz muss dabei nicht weiter ausgebaut werden, da auch im Kühlfall das bestehende zwei-Leiternetz genutzt werden kann.

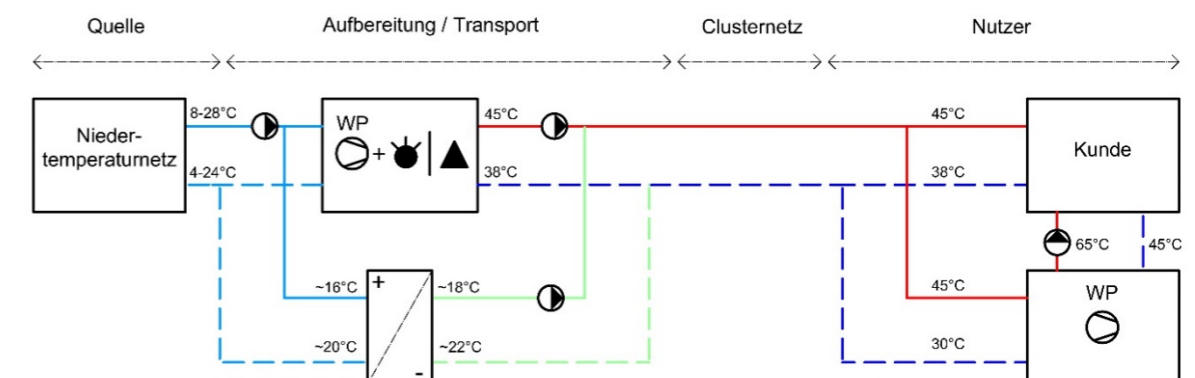


Abb. 3: Vereinfachtes Schema Neubau Heizen/Kühlen mit dezentraler Warmwasseraufbereitung und Freier Kühlung

Wirtschaftliche Wärme- und Kälteerzeugungskonzepte bei einem Niedertemperatur-Wärmenetz (Anergienetz)

In Abbildung 4 ist eine Variante aufgezeigt, bei der die Aufbereitung der Wärme und Kälte zentral erfolgt. Es ist eine Wärmepumpe installiert, die für den Kühlbetrieb umgeschaltet wird. Somit verringern sich neben den Investitionskosten auch die Betriebskosten, da zentral nur eine Maschine erstellt wird und gewartet werden muss. Dezentral kann die Nutzvorlauftemperatur über einen Wärmetauscher direkt genutzt werden und Bedarf nur für die Warmwasseraufbereitung einer weiteren Aufbereitung.

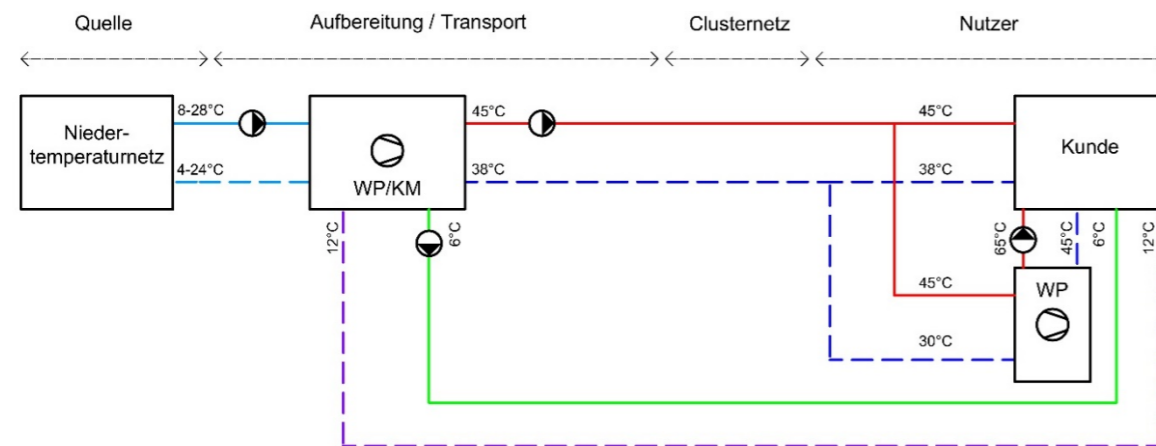


Abb. 4: Vereinfachtes Schema Neubau Heizen/Kühlen mit zentraler Wärmepumpe/Kältemaschine

Fazit

In Bezug auf die Zielsetzung der vorliegenden Arbeit konnte aufgrund der vielen Unbekannten kein Konzept bestimmt werden, mit dem in Zukunft weitergearbeitet werden soll. Es sind jedoch unterschiedliche Konzeptvarianten entstanden, die bei einem möglichen Ausbau berücksichtigt werden können. Aus der Diskussion haben sich verschiedene Vor- und Nachteile, wie auch Chancen und Gefahren für die erarbeiteten Konzepte ergeben. Diese können für eine Erstbeurteilung eines Variantenentscheides dienen.

Sobald konkrete Ausbaupläne vorliegen und neue Kunden akquiriert werden, können die Konzeptvarianten dimensioniert werden. Somit kann die Wirtschaftlichkeit der unterschiedlichen Konzepte mithilfe der Dimensionierung des Netzes sowie der Kundenanforderungen quantitativ bewertet werden.

Der weitere Ausbau des Netzes wird kurzfristig in direkter Nachbarschaft des Initialclusters erfolgen. Die gewonnenen Erkenntnisse zu den bestehenden Anlagen gemäss der durchgeführten Analyse können dort einfließen. Wenn das wärmenetz GSG längerfristig ausgebaut wird und Wohnquartiere angeschlossen werden, ist anhand der Anforderungen zu analysieren, welche Bezüger angeschlossen werden, um so die optimale Wärme- und Kälteerzeugungsanlage zu definieren. Auch saisonale Erdsondenspeicher sind für diese Varianten zu berücksichtigen, da dadurch die Netztemperatur sinken wird und dies den Kunden eine Möglichkeit zur freien Kühlung eröffnet.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_Nr. 21
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Vom virtuellen zum physischen Bauwerk - Eine qualitative Analyse im Themenkomplex «BIM 2 Field»

Studierende	Diego Riveros Dario Vistocco
Dozierende	Frank Thessling Prof. Matthias Balmer
Experte/-in	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Marcel Wyss, Hälg Group, Lukasstrasse 30, 9001 St. Gallen)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Vom virtuellen zum physischen Bauwerk - Eine qualitative Analyse im Themenkomplex «BIM 2 Field»

Die Baukultur durchlebt in der Digitalisierung einen steilen Weg nach oben. Die Methodik Building Information Modelling (BIM) wird rege angewendet. Die Ausführung durch BIM2Field ist ein zentraler Punkt der neuen Methodik. Die Firma Hälg Group, die mit 22 Standorten in der Schweiz über 1100 Mitarbeiter beschäftigt, ist bestrebt, die neue Art der Umsetzung längerfristig und optimiert anzuwenden.

In dieser Arbeit werden nur die BIM Themen analysiert, welche sich auf die Planung und Ausführung des Projekts beziehen. Der Schwerpunkt der Arbeit liegt auf der Analyse von Schnittstellenproblemen aus prozessorganisatorischer und technischer Sicht. Das Ziel ist es herauszufinden, wie der optimale Austausch von Informationen für eine schnelle Umsetzung auf der Baustelle ist. Anhand einer qualitativen Forschung werden Erhalt und Weiterverarbeitung mit Mitarbeitern erörtert und aufgezeigt.

Ausgangslage

BIM2Field ist ein Teil der Umsetzung durch BIM. Ingenieurbüros erstellen ihre Modelle und verpacken darin die Informationen, welche ausführende Unternehmungen für die Umsetzung benötigen. Die genaue Art und Weise, wie die Daten zur Interpretation der Informationen eingepflegt werden, ist nicht bestimmt. Fehlende Informationen oder falsche Angaben müssen nachträglich nach Erhalt ergänzt oder korrigiert werden. Die Zusammenarbeit ist nach Abgabe des Modelles mit Informationen beendet. Die Firma Hälg Group sucht nach optimalen BIM-Anwendungen der erhaltenen Informationen für Ihre auszuführenden Arbeiten.

Optimale BIM-Anwendungsfälle

Aus den ausgewerteten Daten der Interviews und anschliessender Analyse geht hervor, dass klar definierte BIM-Anwendungsfälle für die dauerhafte und nachhaltige Umsetzung notwendig sind. Da für die Firma Hälg Group nicht alle BIM-Anwendungen von Bedeutung sind und sich diese Arbeit auf die Schnittstelle zwischen der Planungsphase und der Ausführungsphase konzentriert, werden die BIM-Anwendungsfälle *Bestellung von Material, Vorfabrikation und Montage vor Ort* definiert.

Die drei BIM-Anwendungsfälle müssen früh im Projekt bei der Projektabwicklungsplan (BAP) integriert werden. Bauherr und Ingenieur können durch frühere Zusammenarbeit sowie unter Berücksichtigung der Fälle der Unternehmer von selbständigerer, schnellerer und effizienterer Umsetzung profitieren. Die Kombination der BIM-Anwendungsfälle und einer früheren Zusammenarbeit ermöglicht dem Unternehmer einen digitalen Zwilling mit weniger Überraschungen vor Ort zu bauen.

Beispiel erarbeiteter BIM-Anwendungsfall "Montage vor Ort"

Im Anschluss ist der Anwendungsfall Montage ersichtlich. Dieser ist einer der drei, welche in der Arbeit näher eingegangen wird. Die BIM-Anwendungsfälle sind als erstes klar definiert worden. Anschliessend ist eine Gegenüberstellung von Ist/Soll Zustand erstellt. Zum Schluss sind die BIM-Anwendungsfälle in Workflows zusammengestellt für die Optimale Umsetzung.

Im Folgenden die Beschreibung zum Anwendungsfall "Montage vor Ort".

Definition	<ul style="list-style-type: none"> Montage der Bauteile und Befestigungen auf der Baustelle
Nutzen	<ul style="list-style-type: none"> Schnelle Montage von Bauteilen aufgrund Vorfabrikation Effizientere Installation von Modellierten Befestigungen Anlieferung benötigtes Material auf die Baustelle Tiefe Fehlerquote bei Montage
Umsetzung	<ul style="list-style-type: none"> Nummerierung der vorfabrizierten Teilstrecken im Modell ersichtlich machen Verteilung der vorgefertigten Anlagenteile und Befestigungen anhand des Modells auf der Baustelle Anzeichnung und Montage der Aufhängungen anhand des Modells mit Hilfe eines Tachymeters Montage der vorfabrizierten Teilstrecken anhand der Reihenfolge des Modells
Implementierungs-voraussetzung	<ul style="list-style-type: none"> Softwarekenntnisse für Erstellung der Nummerierung von Teilstrecken im Modell Montagekenntnisse Technische Kenntnisse für Umgang mit Tachymeter Anwendung von Montage- und Normenrichtlinien
Daten, Modelle & Formate	<ul style="list-style-type: none"> Modell Stand Vorfabrikation (IFC, natives Format) Koordinationsmodell (IFC) Befestigungsmodell (IFC) Daten siehe nachfolgende Tabelle

Abb. 1: Anwendungsfall "Montage vor Ort".

Soll Zustand aus BIM-Model für Umsetzung Anwendungsfall

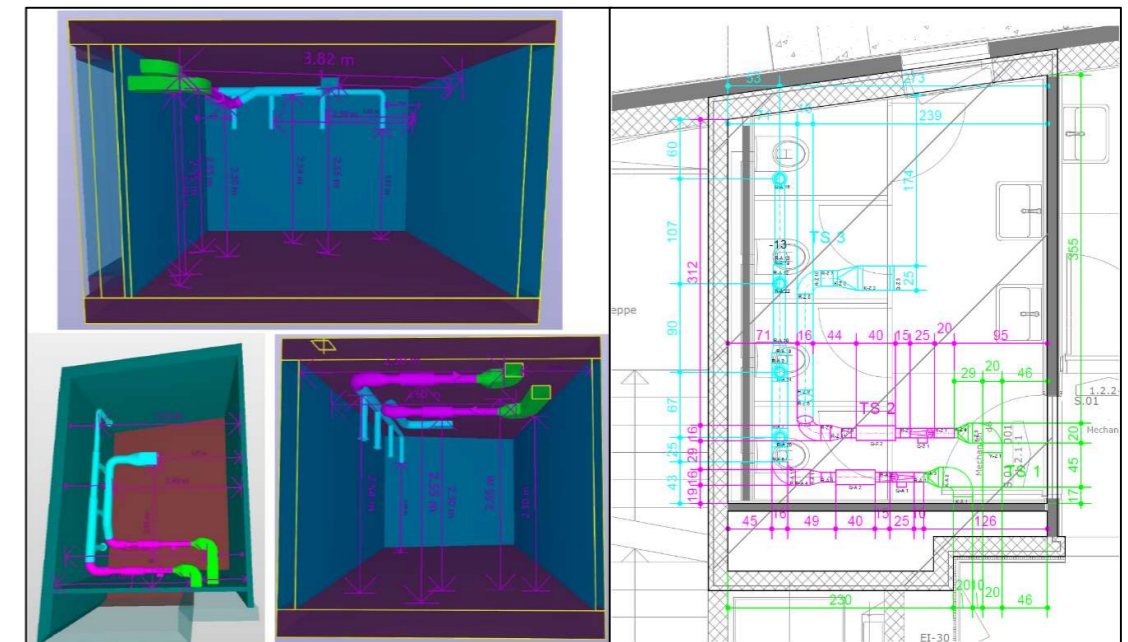


Abb. 2: Sollzustand "Montage vor Ort".

Workflow

Damit die Umsetzung des Anwendungsfalles im Projekt erfolgreich abläuft, ist im Anschluss ein Prozess zu finden, welcher der Umgang mit dem erhaltenen Modell zeigt. Ziel ist es, zu Beginn abzuschätzen, wie der ist Stand ist und anhand dieses erhaltenen Standes die weiteren Schritte einzuleiten.

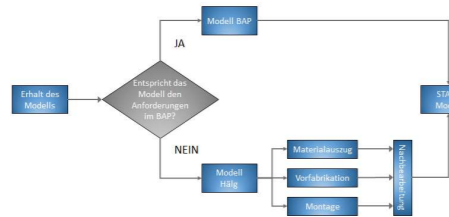


Abb. 3: Workflow Abschätzung ist Stand.

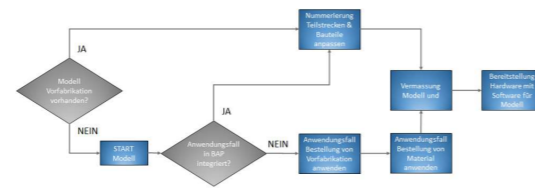


Abb. 4: Workflow "Anwendung "Montage vor Ort".

Kollaboration Ingenieur & Unternehmer

Die langfristige und nachhaltige Verwendung der Anwendungsfälle benötigt einen früheren Einstieg des Unternehmers im Projekt. Die Vorarbeit für die Anwendungsfälle ist sehr wesentlich. Je besser die Zusammenarbeit und dementsprechend das Modell des Ingenieurs, desto weniger muss der Unternehmer nachbearbeiten.

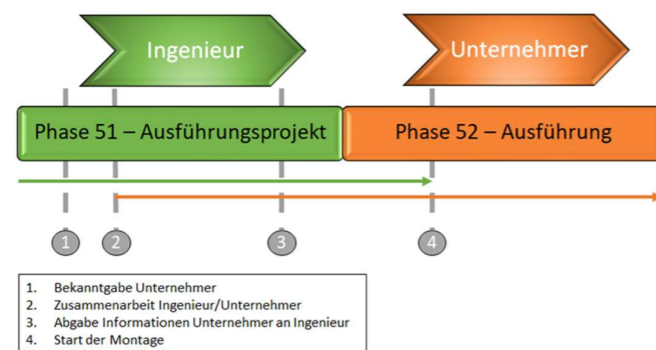


Abb. 5: Kollaboration Ingenieur & Unternehmer.

Fazit

Mit den erarbeiteten Anwendungsfällen als Grundlage und der optimierten Zusammenarbeit zeigt die Arbeit, wie zukünftig Projekte abgewickelt werden müssen. Mit der Optimierung der drei meisterbrachten Arbeiten erspart sich der Unternehmer mühsame Vorabklärungen, kräfteaubender Nachrichtenverkehr durch Nachfragen und Zeitersparnisse bei der Produktion und Endmontage. Die frühe Einpflegung der Anwendungsfälle zeigt Bauherren und Ingenieuren, was Unternehmer für bestmögliche Abwicklung im Bereich BIM2Field benötigen. Menschen in der Gebäudetechnik haben es in der eigenen Hand. Für die Forcierung der Baubranche ist eine überzeugende Denkweise über BIM von Nöten und dies von Arbeitnehmer bis zu Arbeitgeber.

Zukünftig ist eine strukturierte Abwicklung von der Planung bis zur Umsetzung auf der Baustelle immer öfters von Bedeutung. Robotik, automatisierte Arbeitsabläufe und intelligente Programme verlangen einen durchgängigen Informationsaustausch.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_22
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Batteriespeicher (Salz-Nickel-Speicher) für Photovoltaikanlage im praktischen Einsatz

Studierende	Reto Achermann Simon Rölli
Dozierende	Roger Buser Volker Wouters
Experte/-in	Markus E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Andreas Fröhlich, Genossenschaft Migros Zürich, Pfingsweidstrasse 101, 8005 Zürich)
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Batteriespeicher (Salz-Nickel-Speicher) für Photovoltaikanlage im praktischen Einsatz

Mit der Annahme der Energiestrategie 2050 hat sich die Schweizer Bevölkerung für eine nachhaltige Energieproduktion entschieden. Aufgrund einer stetigen Preisreduktion über das letzte Jahrzehnt nimmt die Anzahl an PV-Installationen kontinuierlich zu. Muss ein Grossteil des produzierten Stroms am Tag verkauft und in der Nacht wieder eingekauft werden, macht sich beim Anlagenbetreiber häufig Ernüchterung breit. Mithilfe sogenannter „Zero Emission Batteries“ ist es möglich, die am Tag gewonnene Energie zu speichern und bei Bedarf wieder zu nutzen, ohne auf kritische Materialien wie Lithium und Kobalt zurückzugreifen. Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wird der in der Migros Schlieren - Rietbach eingebaute Salz-Nickel-Speicher auf seine Wirtschaftlichkeit und auf mögliche Optimierungen geprüft.

Durch die starke Preissenkung von lithiumbasierten Speichern sind Batterien nicht nur vermehrt in Autos, sondern auch in Gebäuden vorzufinden. In Kombination mit einer Photovoltaikanlage erhöhen Batteriespeichersysteme den Eigenverbrauch und die Nutzung von nachhaltiger Energie ist sichergestellt. Jedoch wird der Ruf nach alternativen und nachhaltigeren Speichertechnologien immer lauter. Dadurch ist die Salz-Nickel-Batterie, auch ZEBRA-Batterie genannt, wieder in den Fokus gerückt und wird vermehrt eingesetzt.

Migros Filiale Schlieren - Rietbach

Die Genossenschaft Migros Zürich eröffnete im Jahr 2019 ihre erste Energieplusfiliale. Dies sind Supermarktstandorte der Migros, welche mehr Energie produzieren als das Verkaufsgeschäft benötigt. Die Ost-West ausgerichtete Photovoltaikanlage auf dem Gebäudedach ermöglicht eine jährliche Energieproduktion von 750 MWh. Zusammen mit den Verkaufsflächen von Denner und Bike World steht dem ein jährlicher Energieverbrauch in etwa derselben Grösse gegenüber. Durch die grossen Erzeugungsspitzen zur Mittagszeit kann jedoch lediglich 43 % der produzierten Energie selbst genutzt werden. Ein Grossteil der PV-Energie muss somit an den Verteilnetzbetreiber abgegeben werden.



Abbildung 1: Photovoltaikanlage der Migros-Filiale in Schlieren - Rietbach mit einer DC-Leistung von 800 kWp. (Quelle: migros.ch)

Durch die Integration eines Salz-Nickel-Speichers, soll die viel zu grosse Energieproduktion am Tag in der Batterie gespeichert und nach Sonnenuntergang wieder genutzt werden. Mit ihrer Speicherkapazität von 540 kWh vermag sie beinahe den Nachtverbrauch des Gebäudes abzudecken. Der Salz-Nickel-Speicher ist eine Hochtemperaturbatterie und muss rund um die Uhr auf 270 °C gehalten werden. Durch eine Wärmeisolierung wird ein schnelles Abkühlen verhindert. Handelsübliches Kochsalz und Nickel sind die Hauptbestandteile der Batterie. Im Gegensatz zu herkömmlichen Speichertypen ist weder der Materialabbau noch die Nutzung schädlich für Mensch und Umwelt. Durch die robuste Bauweise und den Einsatz von unbedenklichen Rohstoffen gilt die Batterie als äusserst nachhaltig.

Vorgehen

Hauptbestandteil der Bachelorarbeit war es, die im Februar in Betrieb genommene Batterie möglichst wirtschaftlich zu betreiben und die Auswirkungen auf Eigenverbrauch und Autarkiegrad zu analysieren. Mit dem Programm Polysun wurden die Simulationen zu den einzelnen Regelstrategien durchgeführt. Die bereits vorhandenen Erzeuger- und Verbraucherlastprofile aus dem Jahr 2020 konnten in das Programm integriert und genutzt werden. Durch das Erstellen eines digitalen Abbildes des Salz-Nickel-Speichers konnten die einzelnen Regelstrategien simuliert und stetig verbessert werden. Die Resultate wurden anschliessend analysiert und bewertet. Dabei wurden drei verschiedene Regelarten miteinander verglichen. Bei der Eigenverbrauchsoptimierung wird die am Tag überschüssige Energie im Batteriespeicher gespeichert, damit sie in der Nacht wieder genutzt werden kann. Mit der Lastspitzenreduktion wird versucht, Leistungsspitzen zu reduzieren und damit einhergehend die hohen Leistungspreise zu minimieren. Die prädiktive Steuerung ist eine Kombination aus den zuvor beschriebenen Varianten und basiert auf einer Wettervorhersage.



Abbildung 2: Modular aufgebauter Salz-Nickel-Speicher in der Migros-Filiale Schlieren - Rietbach mit einer Speicherkapazität von 540 kWh (Quelle: Innov.Energy)

Resultate

Beim Wirtschaftlichkeitsvergleich der drei Regelstrategien schneidet die Eigenverbrauchsoptimierung, trotz einer Steigerung des Eigenverbrauchs auf 60 %, deutlich am schlechtesten ab. Einer der Hauptgründe für das dürftige Resultat sind die tiefen Netznutzungskosten des örtlichen Verteilnetzbetreibers. Wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung mit anderen Netzbetreibern durchgeführt, vermag die Variante schon eher zu überzeugen. Die beiden anderen Strategien schneiden beinahe gleich gut ab und erwirtschaften einen deutlich höheren jährlichen Gewinn. Allerdings werden bei allen drei Strategien zu wenig Energiekosten eingespart, um die Anschaffungskosten des Batteriespeicher in naher Zukunft zu amortisieren. Die hohe Betriebstemperatur der ZEBRA-Batterie führt dazu, dass der Wirkungsgrad des Batteriespeichersystems bei lediglich 67 % liegt und wird massgebend von der Intensität der Nutzung beeinflusst. Eine hohe Anzahl an Vollladezyklen führt zu einem besseren Systemwirkungsgrad.

Fazit

Bei der Wahl der Regelstrategie ist für jeden Batteriespeicher eine fundierte Analyse durchzuführen. Die vorherrschende Tarifsituation hat grossen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Batteriespeichers. Für die Migros-Filiale in Schlieren – Rietbach wird eine Lastspitzenreduktion empfohlen, wobei in Zukunft die Einbindung einer prädiktiven Steuerung in Betracht gezogen werden muss. Dadurch kann die Abhängigkeit von zukünftig steigenden Energiepreisen gesenkt werden. Bei Neuinstallationen ist der Batteriespeicher so zu dimensionieren, dass eine hohe Anzahl an Vollladezyklen erreicht wird. Dadurch kann die Verlustenergie minimiert und somit der Wirkungsgrad des Systems erhöht werden. Durch den Einsatz des Salz-Nickel-Speichers hat die Migros gezeigt, dass es ökologische und nachhaltige Alternativen zur Lithium-Ionen-Batterie gibt.

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_Nr.23
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Connected Building Safety & Security Systems

Studierende	Marco Schütz Kevin Baumgartner
Dozierende	Prof. Volker Wouters Prof. Dr. Olivier Steiger
Experte	Markus E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Connected Building Safety & Security Systems

Die Safety- und Securitysysteme auf dem Areal eines bekannten Schweizer Pharmaunternehmens funktionieren weitgehend autonom. Die Signale und Alarmierungen werden pro Anlage separat verarbeitet. Ebenfalls werden die Anlagen jeweils von einer spezialisierten Einheit betreut und genutzt. Im Rahmen der Bachelor-Thesis werden Optionen dargestellt, wie die Systeme auch ausserhalb ihres eigentlichen Funktionsradius Vorteile für verschiedene Anspruchsgruppen erbringen können. Das Ziel dieser Thesis ist es, Use Cases zu erstellen und mit den daraus extrahierten Mehrwerten, Nutzen für den Betrieb und die Belegschaft zu generieren.

Die Digitalisierung schreitet unaufhaltsam voran und fordert eine immer grössere Kommunikation unter Systemen. Gleichzeitig gewöhnt sich auch der Mensch zunehmend daran, Dinge zu aus der Ferne zu kontrollieren und zu steuern. Entsprechend dieser Tatsache, besteht bei vielen Unternehmen Potential, die Digitalisierung voranzutreiben. Auch die Effizienz und Automation kann dadurch in vielen Bereichen kontinuierlich gesteigert werden.

Prozess und Methode

Zur Generierung von Use Cases, welche Mehrwerte für mehrere Stakeholder liefern sollen, wurde der Prozess gemäss der untenstehenden Abbildung 1 durchlaufen. Nach dem Erstellen einer Bestandsanalyse der vorhandenen Systeme und Abläufe, wurde in einem weiteren Schritt mit Hilfe von fiktiv geschaffenen Personas, eine Bedürfnisanalyse gemacht. Die Personas wurden dabei realen Stakeholdern nachempfunden. Die Bedürfnisse wurden aus Tagesabläufen herausgefiltert und in eine Transformationsmatrix übertragen. Jedes Bedürfnis erzeugt eine Anforderung. Die Anforderungen wurden bezüglich ihrer Relevanz in Bezug auf die Sicherheit klassifiziert und anschliessend mit Hilfe von zwei Fragen bewertet (Fragen siehe Abbildung 1). Die verbliebenen Anforderungen wurden zu Clustern zusammengefasst. Aus jedem dieser Cluster konnten anschliessend Anforderungen an einen Use Case gestellt werden.

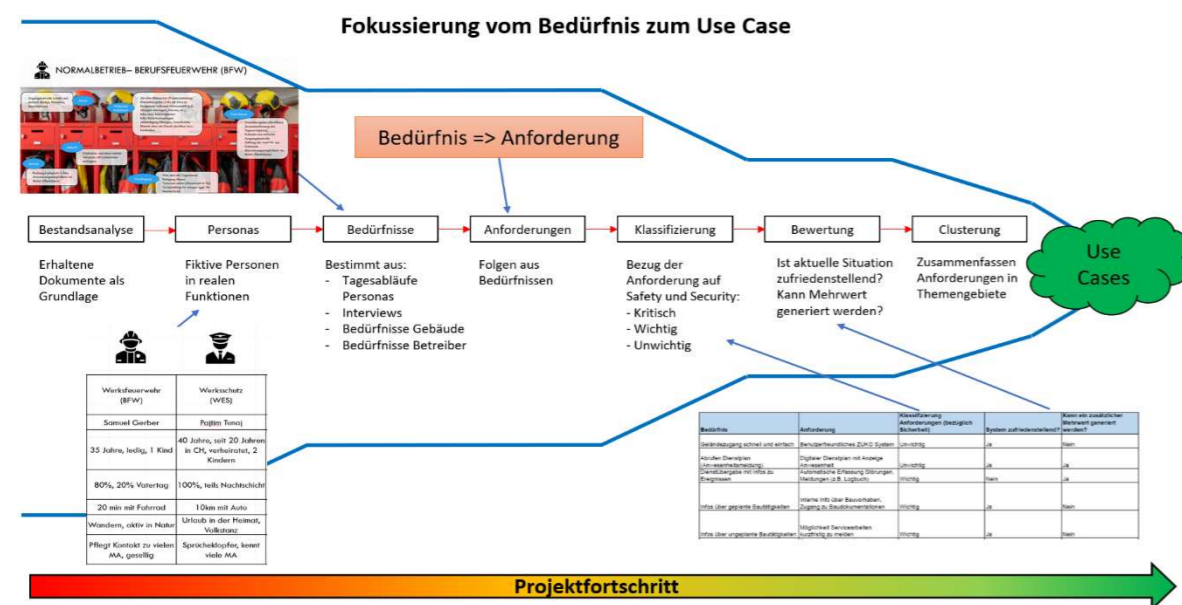


Abb. 1: Prozessablauf vom Bedürfnis zum Use Case

Bedürfnisanalyse und Bestand

Bei der Bedürfnis- und Bestandsanalyse wurde festgestellt, dass der Sicherheitsstandard im untersuchten Unternehmen bereits sehr hoch ist. Verbesserungspotential gibt es vor allem bei der Alarmierung der betriebseigenen Feuerwehr. Die Alarmierung erfolgt mittels potentialfreien Kontakten und einem eigens entwickelten SPS-basierten Alarmübermittlungssystem. Durch diese Alarmierungsform sind die Übermittlungskriterien und damit der Informationsgehalt beschränkt. Ebenfalls fehlt eine Möglichkeit zur mobilen Bedienung der Anlagen. Weiter wurde festgestellt, dass durch vermehrtes Homeoffice und Arbeitsplatzsharing der Feuerwehr die Möglichkeit fehlt, im Evakuationsfall eine Übersicht über die anwesenden Personen innerhalb einer Zone zu gewinnen.

Use Case Systemvernetzung

Bei diesem Use Case ging es darum, der Feuerwehr eine Möglichkeit zu bieten, die Anlagen mobil zu bedienen und dadurch auch schneller die nötigen Informationen zu Verfügung zu haben. Dazu wurden verschiedene Varianten vorgestellt. Von einer Spiegelung der Feuerwehrbedientableaus bis zu einer Gesamtvernetzung aller Systeme mittels Cloud sind alle Möglichkeiten denkbar. Die Mehrwerte, welche dabei jeweils generiert werden, sind stark vom Vernetzungsgrad der Anlagen abhängig. Je mehr Systeme integriert werden, desto mehr Mehrwerte sind generierbar. Je mehr aber Vernetzt wird, desto höher werden die Umsetzungskosten.

Use Case Tracking

Der zweite Use Case bezieht sich auf das Tracking von Personen. Viele Anforderungen aus der Bedürfnisanalyse beziehen sich auf das Auffinden von Personen bzw. auf das Nachvollziehen von Personenstandorten. Ein solches System kann entweder über eine Ortung der persönlichen Geräte im WLAN oder mittels Beacons über Bluetooth Low Energy (BLE) erfolgen. So würden durch eine Implementierung eines Personentrackingsystems für die Feuerwehr Möglichkeiten entstehen, damit sie nachvollziehen kann, ob sich noch eine Person im Gefahrenbereich befindet. Grundsätzlich ist ein Trackingsystem der Schlüssel, um Prozesse und Systeme effizienter und bedarfsgeführt zu betreiben.

Use Case BIM/VDC

Bei diesem Use Case geht es darum, die vorhandenen BIM Modelle für die Feuerwehr mobil zugänglich zu machen. So sollen noch mehr Informationen im Alarmfall abrufbar sein. Raumgegebenheiten wie Gefahrenstoffleitungen können bereits vor Betretung des entsprechenden Raumes auffindig gemacht werden. Ebenfalls können Abschalthähne in Doppeldecken leichter gefunden und Doppeldecken entsprechend gezielter geöffnet werden. Denkbar wäre ausserdem, dass Brandlasten innerhalb eines Raumes oder Bereiches erfasst werden könnten, was eine Analyse der Gefahrensituation vereinfachen würde. Ebenfalls könnte bei jeder Elektroverteilung die vorgeschaltete Sicherung im Modell erfasst werden, somit wäre eine gezielte Abschaltung eines Bereiches möglich. Dieser Use Case würde die aktive Verwendung von BIM Modellen fördern und wäre ein weiterer Grund, die Modelle aktuell zu halten, damit sie bei einer späteren Verknüpfung mit dynamischen Systemdaten von verschiedenen Anlagen auf dem aktuellen Stand sind.

Gesamtvernetzung

Es wurde geprüft, welche Mehrwerte sich bei einer gesamtheitlichen Vernetzung aller Systeme ergeben könnten. Es wird hier davon ausgegangen, dass ein statisches BIM-Modell, welches als Single Source of Truth dient, mit dynamischen Informationen von Fühlern, Anlagen und den erwähnten Use Cases über eine Cloudlösung vernetzt ist. Bei den statischen Gebäudedaten können auch Wartungspläne, Anlageinfos oder Schemata integriert werden. Der prinzipielle Aufbau ist in Abbildung 2 dargestellt. Diese Vernetzung bietet immense Möglichkeiten. So wäre es in einem Bürogebäude mit Arbeitsplatzsharing möglich, dass obere Stockwerke erst zugänglich gemacht werden, wenn die unteren zu einem bestimmten Prozentsatz ausgelastet sind. Mit dieser

Massnahme könnte in den leeren Etagen Heiz-, Kühl- und elektrische Energie gespart werden. Weiter könnte auch das Facility Management davon profitieren, da die Reinigung je nach Personenaufkommen geplant werden kann.

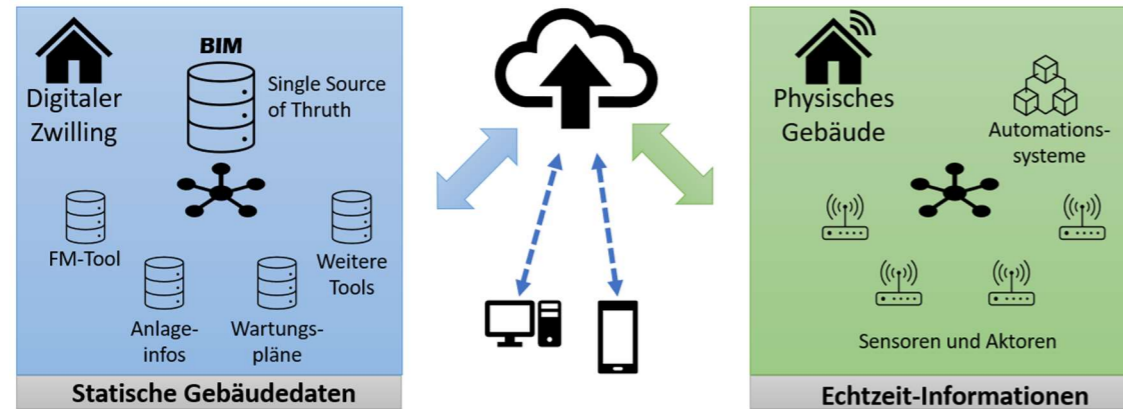


Abb. 2: Aufbau Digital Twin, Eigene Darstellung in Anlehnung an BUILDing360¹.

Zukünftige Planung

Planungsprozesse müssen in Zukunft angepasst werden, damit eine Systemvernetzung die gewünschten Mehrwerte erzielen kann. Die Analyse vom Bestand und von Prozessen muss in Zukunft noch intensiver betrieben werden, als dies aktuell gemacht wird. Weiter müssen klare Schnittstellenkonzepte erschaffen werden, damit alle neuen Anlagen mit entsprechenden BIM Modellen verknüpft werden können. In zukünftigen Planungen wird vertiefter analysiert werden müssen, welche Informationen bereits durch andere Systeme zur Verfügung gestellt und welche noch erfasst werden müssen. Dabei sollte das Augenmerk immer auch auf anderen Systemen liegen, welche ebenfalls von den Informationen profitieren könnten. Die Planung der Zukunft ist im Prinzip eine Poolbewirtschaftung der vorhandenen Daten, welche die Systeme beziehen und zur Verfügung stellen können.

Fazit

Zusammengefasst kann gesagt werden, dass bei dem untersuchten Unternehmen durch die Vernetzung von Sicherheitssystemen grosse Mehrwerte bezüglich der Sicherheit, aber auch für andere Nutzen geschaffen werden können. Entscheidend ist der Vernetzungsgrad der Anlagen. Es können bereits mit wenig Aufwand Mehrwerte geschaffen werden, diese sind jedoch meist spezifisch für einen Stakeholder. Jedoch können durch solche Anwendungen Erfahrungen mit digitalen Vernetzungen gesammelt werden. Weiter sollten die vorhandenen Modelle und Systeme soweit genutzt und gepflegt werden, dass zukünftige Erweiterungen in Richtung Vollvernetzung schrittweise gemacht werden können. Bei einer solchen Vollvernetzung sind die zu erwartenden Mehrwerte sehr hoch. Entsprechend wird eine Entwicklung in diese Richtung wohl unumgänglich sein.

¹ BUILDing360. (1. Juni 2021). www.building360.ch. Von <https://www.building360.ch/journey> abgerufen

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_21_24
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Validierung von Messmethoden zur Bestimmung von Schalleistungen an Lüftungskomponenten

Studierende	Alban Imeri
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Andreas Odermatt
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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 von Messmethoden zur Bestimmung von Schalleistungen an Lüftungskomponenten

Für die Bestimmung der Schalleistung von Geräuschquellen gibt es unterschiedliche Messmethoden. Das Gebäudetechniklabor der Hochschule Luzern-Technik & Architektur ist gut vertraut mit der Schalleistungsermittlung im Hall-Raum. Es wird beabsichtigt zukünftig vermehrt Messungen im echofreien-Raum durchzuführen, da der Prüfaufbau oft einfacher ist. Vergleiche zwischen den Methoden sind aber insbesondere für Messungen an Lüftungskomponenten noch zu wenig bekannt.

In dieser Bachelor-Thesis werden die unterschiedliche Messverfahren untereinander verglichen. Die Messmethoden sind Hüllflächen-, Intensitäts- und Hallraummessverfahren. Dabei soll festgestellt werden, welche für die praktische Anwendung von Messungen in der Lüftungstechnik verwendet werden soll.

Prüfkriterien

Die Prüfkriterien sind in der nachfolgenden Aufzählung:

- Prüfaufwand (Kosten)
- Qualität der Messung (Aussagen zum Frequenzbereich und Messunsicherheit)
- Hinweise auf die Einsatzgrenzen
- Empfehlungen für die Anwendungen



Abb. 1: Vorgehen

Messmethoden

Bei der Hüllflächenmessmethode muss als erstes ein Bezugsquader definiert werden. Dieser Quader ist der kleinste Quader, welches die Schallquelle einschliesst. Die Messfläche wird durch eine definierte Distanz ermittelt. Die Mikrofone befinden sich senkrecht auf der Messfläche und dadurch wird der Schalldruck ermittelt. Bei der Intensitätsmethode wird der Schalldruck und Schalleistung mittels einer Messsonde eruiert.

Dabei kann eine Punkt- oder Abtastungsverfahren verwendet werden. Das Hallraumverfahren nutzt die einfache Tatsache, dass sich Leistungszufuhr und Leistungsverlust im eingeschwungenen Zustand des Raumes im Gleichgewicht sind.

Validierung

Die Validierung der Messmethoden ergab anhand der Prüfkriterien eine bevorzugte Auswahl für die Anwendungsfälle der Lüftungstechnik. Die wesentlichen Prüfkriterien waren Prüfaufwand (Kosten), Qualität der Messung (Aussagen zum Frequenzbereich und Messunsicherheit), Hinweise auf die Einsatzgrenzen und Empfehlungen für die Anwendungen.

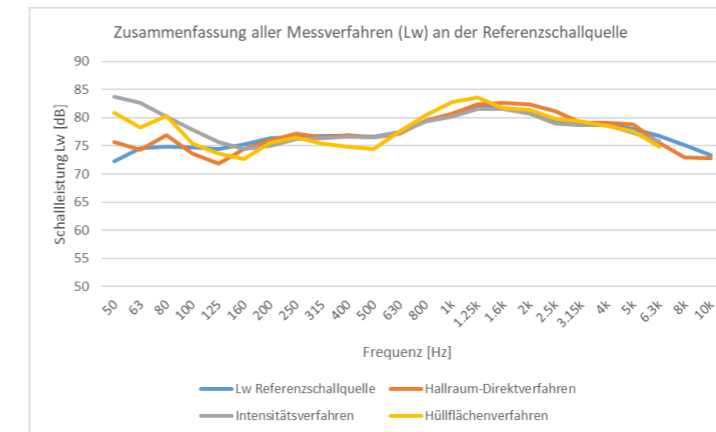


Abb. 2: Diagramm Schalleistung Lw [dB]

Dazu wurden über 18 umfangreiche Messungen durchgeführt und ausgewertet. Die Normen- und Literaturvergleiche dienten als Grundlage dafür. Anhand der festgelegten Prüfkriterien ergab die Validierung als Empfehlung das Intensitätsmessverfahren. Sie ist für die meisten Anwendungsfälle in der Lüftungstechnik geeignet.

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

Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen – Umsetzung des Bewertungsverfahrens

Studentin	Carina Gubler
Dozent	Olivier Steiger
Experte	Martin Stalder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	11. Juni 2021

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.

Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen – Umsetzung des Bewertungsverfahrens

Ein Energiemanagementsystem (EMS) optimiert den Eigenverbrauchsanteil eines Einfamilienhauses (EFH) mit einer Photovoltaik-Anlage. Der Markt für EMS ist in der Schweiz noch jung und das Angebot verändert sich laufend. Das macht es schwierig den Überblick zu behalten und das geeignete System für ein Projekt zu finden. In dieser Master-Thesis wurde deshalb ein Bewertungsverfahren entwickelt, das die verschiedenen EMS untereinander vergleichbar macht.

Energiemanagementsysteme (EMS)

Das EMS misst die PV-Produktion und den Gesamtverbrauch des EFH und vergleicht die beiden Werte miteinander. Wenn die PV-Anlage mehr Energie produziert als verbraucht wird, dann schaltet das EMS Verbraucher ein oder erhöht deren Leistung (z. B. Wärmepumpe). Umgekehrt schaltet das EMS Verbraucher aus oder drosselt ihre Leistung, wenn das EFH mehr Energie verbraucht als produziert wird.

Das EMS bewirkt damit, dass weniger Energie ins Netz zurückgespielen bzw. dass weniger Energie vom Netzbetreiber gekauft werden muss. Dadurch wird der Eigenverbrauch erhöht und die PV-Anlage wird wirtschaftlicher betrieben.

Im Bewertungsverfahren wird ein EFH als Grundlage verwendet, das eine PV-Anlage auf dem Dach, einen Netzanschluss vom Netzbetreiber, allgemeine Verbraucher und vier Bewohner hat. Weiter gehören eine Wärmepumpe mit einem SG Ready Kontakt, ein Geschirrspüler, eine Waschmaschine, ein Tumbler und eine Ladestation für ein Elektroauto dazu. Diese fünf Verbraucher können vom EMS angesteuert werden. In Abbildung 1 ist das EFH mit seinen Komponenten schematisch dargestellt. Die blauen Pfeile stellen den Energiefluss dar. Die Kreise mit der Beschriftung «kWh» sind Zähler. Die anderen Kreise weisen auf Schalter oder eine stufenlose Regelung hin. Auf diese Weise kann das EMS die Verbraucher steuern.

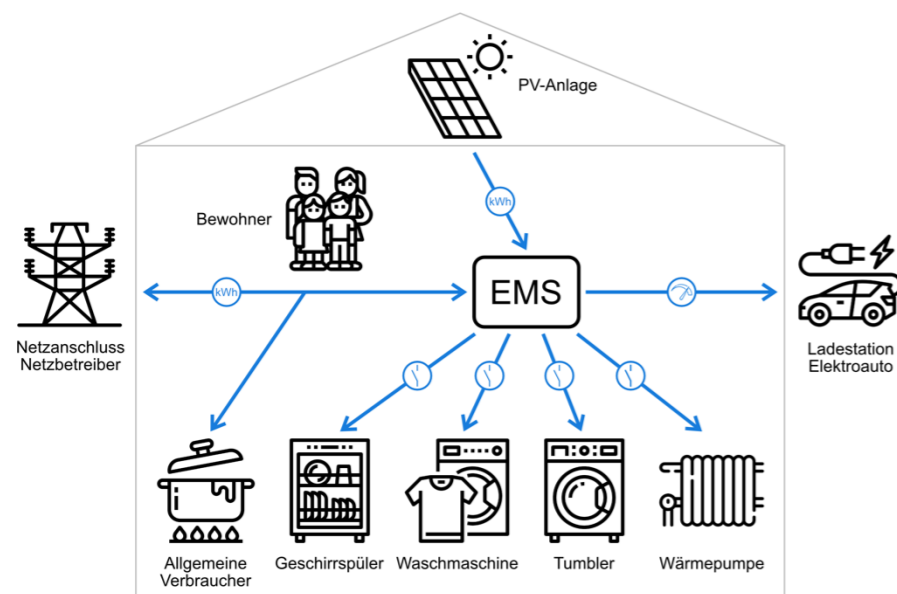


Abb. 1: Energiemanagementsystem im Einfamilienhaus. Quelle: Hochschule Luzern

Bewertungsverfahren

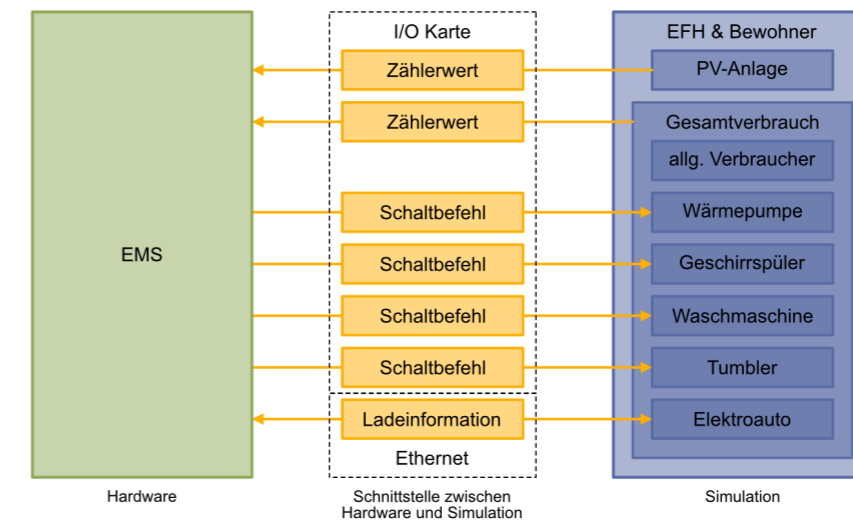


Abb. 2: Prüfmethode «Hardware in the Loop». Quelle: Hochschule Luzern

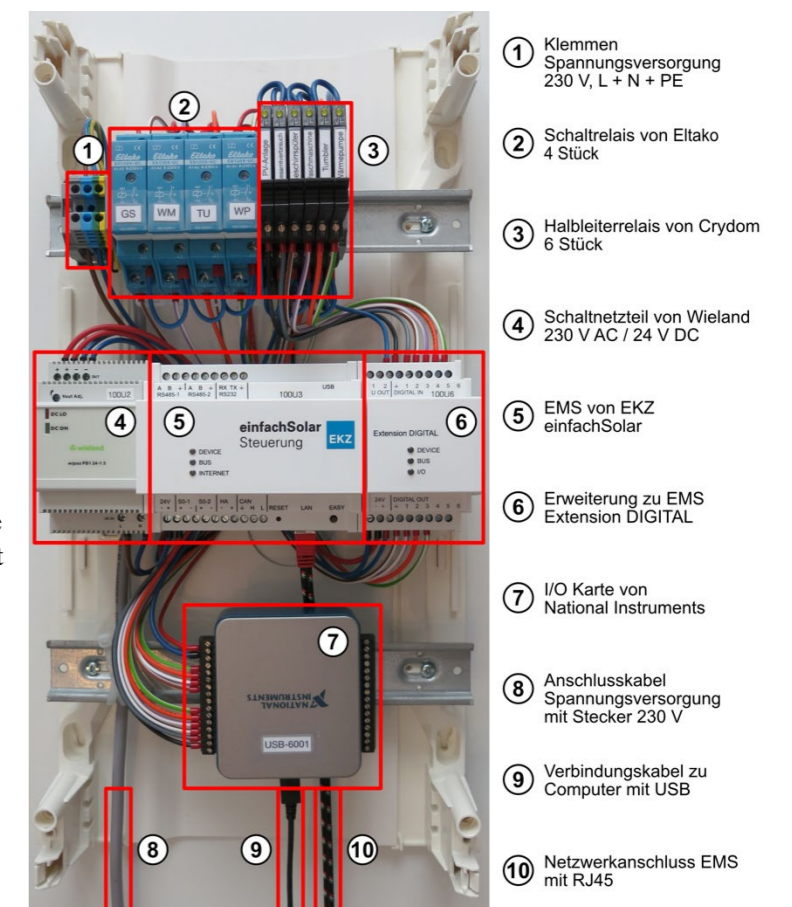
Mit dem Bewertungsverfahren wird geprüft, wie hoch der Eigenverbrauchsanteil und der Autarkiegrad ausfallen. Die Energiekosten werden ebenfalls berechnet.

Umgesetzt wurde das Bewertungsverfahren mit der Methode „Hardware in the Loop“ (Abb. 2). Das EFH mit der PV-Anlage und den Verbrauchern wurde simuliert. Das EMS wurde als reales Gerät in den Prüfaufbau eingebaut (Abb. 3). Über eine I/O Karte mit digitalen und analogen Ein- und Ausgängen kommunizieren die Simulation und das EMS miteinander.

Die Zählerwerte werden in Form von Impulsen (S0) an das EMS gesendet. Anhand dieser Werte steuert das EMS die Verbraucher mittels Schaltkontakten. Die simulierte Ladestation und das EMS tauschen Informationen über das Netzwerkprotokoll UDP aus. Die Simulation wird mit der Software Simulink umgesetzt. Aufgrund von Problemen bei der Umsetzung der beiden Schnittstellen S0 und UDP, konnte das Bewertungsverfahren nicht mit einem EMS getestet werden. Die reine Simulation des Referenzablaufs konnte aber durchgeführt werden.

Abb. 3: Prüfaufbau mit EMS von EKZ.

Quelle: Hochschule Luzern



**Bewertungsverfahren für den Vergleich von Energiemanagementsystemen –
Umsetzung des Bewertungsverfahrens**

Resultate Referenzablauf

Im Referenzablauf wird die Prüfung ohne ein EMS durchgeführt. Das bedeutet, der Ablauf wird vorab bestimmt und ändert sich nicht anhand des Überschusses der PV-Anlage. Die Resultate des Referenzablaufs können bei der Bewertung der EMS als neutrale Grundlage verwendet werden. Das Prüfverfahren besteht aus drei Teilprüfungen (Winter, Übergangszeit, Sommer). Die Teilprüfungen werden nacheinander durchgeführt und die Teilresultate für den Eigenverbrauchsanteil, den Autarkiegrad und die Energiekosten werden ermittelt. Aus den Teilresultaten wird jeweils ein gewichteter arithmetischer Mittelwert gebildet. Die drei entstandenen Gesamtergebnisse werden separat aufgeführt. In Abbildung 4 sind die Resultate von Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad aus der Simulation des Referenzablaufs aufgeführt.

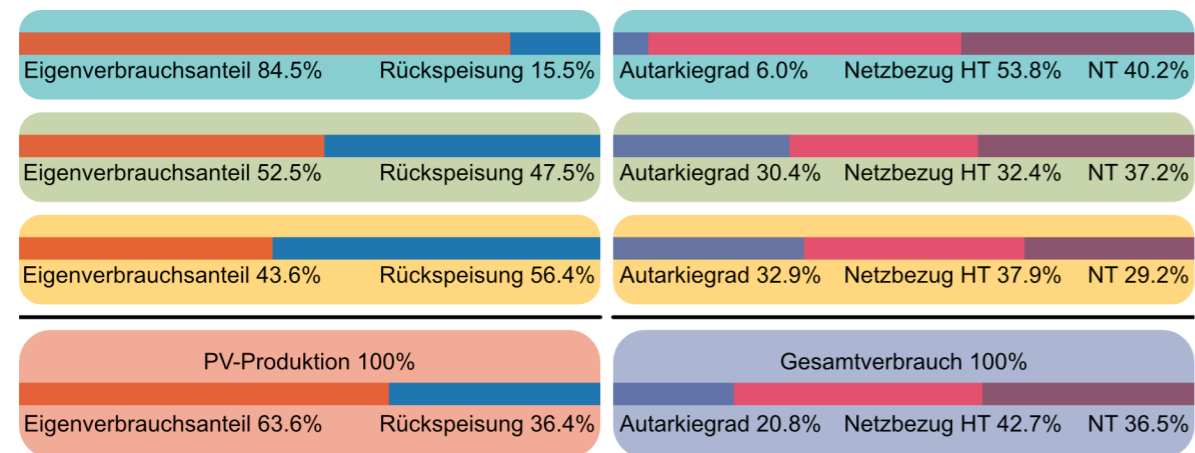


Abb. 4: Resultate von Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad aus dem Referenzablauf. Quelle: Hochschule Luzern

Im folgenden Diagramm (Abb. 5) sind die simulierten Leistungen von Gesamtverbrauch (rot), Produktion der PV-Anlage (grün), Netzbezug (blau) und Rückspeisung (orange) an einem Tag in der Übergangszeit aus dem Referenzablauf abgebildet.

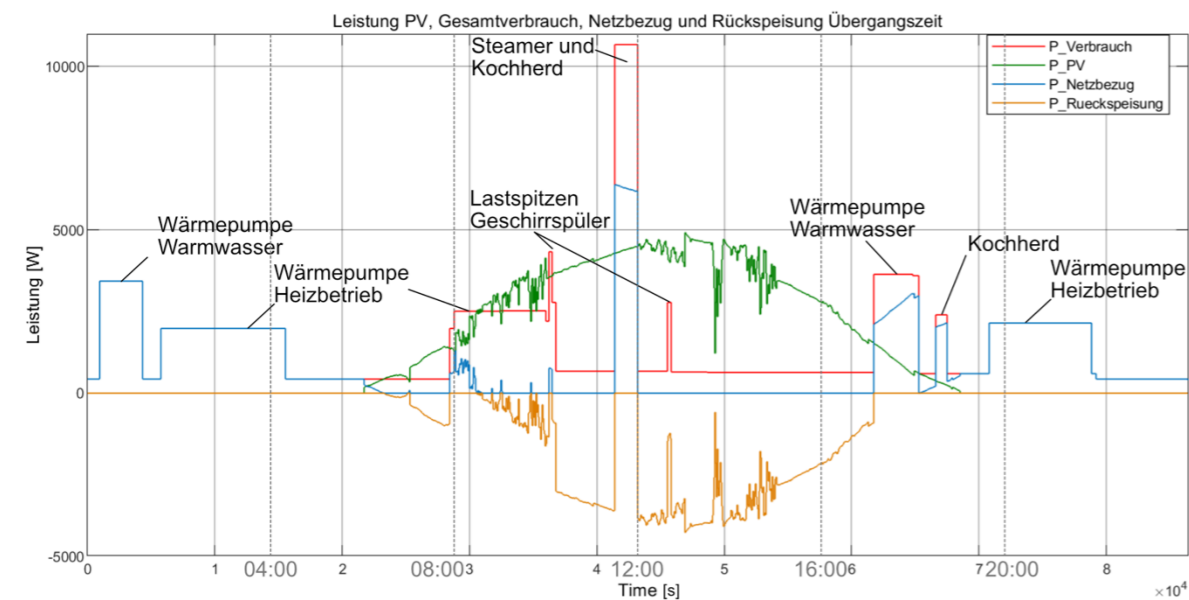


Abb. 5: Diagramm von einem Tag in der Übergangszeit aus dem Referenzablauf. Quelle: Hochschule Luzern



Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik und Energie
Technikumstrasse 21
6048 Horw
+41 41 349 33 03
gebaeudetechnik@hslu.ch
www.hslu.ch/gebaeudetechnik