

Institut für Gebäude- technik und Energie 2023

Fachberichte Bachelor-Thesis Gebäudetechnik | Energie
Fachberichte MSE Master of Science in Engineering

→ hslu.ch/gebaeudetechnik



Sehr geehrte Leserin, sehr geehrter Leser

1 Diplomandin (entspricht 1.8 % Frauenanteil) und 53 Diplomanden des Studiengangs «Gebäudetechnik|Energie» haben im Frühlingsemester 2023 ihre Bachelor-Thesis verfasst. Gegen 19'440 Stunden haben sie in ihre Arbeiten investiert, welche das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs aufzeigen.

15 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung «Gebäude-Elektroengineering (GEE)», 39 die Studienrichtung «Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär (HLKS)» ab. Dieses Jahr erhält auch wieder ein Incoming-Studierender der Tongji University aus China sein Diplom als BSc Hochschule Luzern/FHZ in Gebäudetechnik|Energie.

Die Studierenden wurden bei Ihrer Arbeit von unseren 20 Dozierenden und 10 Experten mit zwei formalen Zwischenpräsentationen betreut und am Ende mit der Schlusspräsentation sowie der abgegebenen schriftlichen Arbeit beurteilt.

Der Grossteil der abschliessenden Kohorte hat ihr Studium im «Coronamodus» gestartet und alle konnten dann im Frühjahr 2022 wieder in den normalen Modus wechseln. Im letzten Winterhalbjahr 2022/2023 wurde aber der Komfort in den Räumen im Rahmen der Energieeffizienzmassnahmen auf dem Campus Horw als Beitrag zur Bewältigung einer drohenden Strommangellage zwar etwas strapaziert, aber die Qualität des Unterrichts und die Erlangung der Kompetenzen nicht tangiert.

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

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

Simulation, Gebäude-Elektroengineering bis hin zu Gebäudeautomation und Gebäudeinformatik dabei.

Die vorliegende Broschüre ist eine Zusammenfassung der Thesisberichte, welche durch die Diplomandin und 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

Horw, im Juli 2023

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

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

Inhaltsverzeichnis

Bachelor

Ryter Daiman		BAT G_23_01
Martin Marcel		BAT G_23_02
Büchler Dennis	Steiner Nicolas	BAT G_23_03
Nagl Sandro	Senn Dominik	BAT G_23_04
De Lorenzi Silas	Pinto Matteo	BAT G_23_05
Lüscher Marc	Häfliger Benjamin	BAT G_23_06
Meier Andreas	Raidt Sandro Flurin	BAT G_23_07
Truninger Oliver		BAT G_23_08
Schärz Timo	Bertschi Pascal	BAT G_23_09
Orode Godwin Ayko	Sanchez Nicolas Leon	BAT G_23_10
Schmid Pascal Fabian		BAT G_23_11
Merdanović Ermin	Mostefai Malik	BAT G_23_12
Zürcher Matthias	Ott Pascal	BAT G_23_13
Lan Tianyi		BAT G_23_14
Stucki Florian	Schoch Mike	BAT G_23_15
Zogg Peter Andreas	Liesch Dario Silas	BAT G_23_16
Spicker Maximilian	Rüthemann Daniel	BAT G_23_17
Piersanti Joel	Albisser Marc	BAT G_23_18
Hirschi Timo Janic	Ferber Julius	BAT G_23_19
Lindegger Markus		BAT G_23_20
Baggenstos Martin	Attieh Samir	BAT G_23_21
Bühler David Josef		BAT G_23_22
Blümli Lukas	Zehnder Sandro Renato	BAT G_23_23
Vidori Luca		BAT G_23_24
Bachmann Oliver	Stalder Philippe	BAT G_23_25
Moser Sandra Karin	Flury Marius	BAT G_23_26
Hildenbrand Joel Andreas	Röthlisberger Florian	BAT G_23_27
Häberli Armin	Traxel Michael	BAT G_23_28
Thalmann Sebastian Georges	Fernandes Sousa Daniel	BAT G_23_29
Lüem Andreas		BAT G_23_30
Tahiri Donat		BAT G_23_31
Brühlmann Daniel	Leiggener Julian	BAT G_23_32

Master

Patrick Walczak	MT_G_23
------------------------	---------

Bachelor

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_01
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Gebäude ohne Heizung und Kühlung? Fallstudie mit drei schweizer Klimata

Studierende	Daimen Ryter
Dozierende	Prof. Dr. Heinrich Manz Prof. Adrian Altenburger
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Vorname Name, Firma, Adresse)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Gebäude ohne Heizung und Kühlung? Fallstudie mit drei schweizer Klimata

Rund 45 Prozent des gesamten Energieverbrauches der Schweiz wird durch die Gebäude verursacht. Getrieben wird dieser Verbrauch vor allem durch das Klimatisieren, also Heizen und Kühlen der Gebäude. Um die Innentemperatur von schweizerischen Gebäude innerhalb des Komfortbandes zu halten, entsteht ein enormer Energieaufwand was dementsprechende Treibhausgasemissionen zur Folge hat. Im Rahmen dieser Bachelorthesis werden die Machbarkeit sowie die Grenzen bei der Planung und Realisierung von Gebäuden ohne thermische Energie an unterschiedlichen Standorten in der Schweiz untersucht. Weiter wird der Einfluss der Klimaerwärmung auf diese Gebäude anhand von Klimaszenarien im Jahr 2060 untersucht.

Die Untersuchungen dieser Bachelorthesis beschränken sich auf den Gebäudetyp Bürobau. Für eine möglichst breite Abdeckung der Ergebnisse, werden die Untersuchungen an drei Standorten in den schweizerischen Hauptklimaregionen durchgeführt. Für die Klimaregion Mittelland dienen die Klimadaten der Wetterstation Zürich/Kloten, für die Alpenregion die Daten der Wetterstation Davos und für die Südschweiz werden die Klimadaten der Station Lugano verwendet. Die Auswirkungen des Klimawandels auf die Gebäude werden mit Klimadatensätzen 2060 nach dem RCP-Szenario 4.5 untersucht.

Thermische Gebäudesimulation

Um sämtliche Einflüsse wie Wärmegewinne und Wärmeverluste so wie die Einflüsse des Klimas auf die Gebäude und die thermische Behaglichkeit repräsentativ zu untersuchen, wurden Simulationsmodelle erstellt. Für die drei Standorte der Hauptklimaregionen wurde ein Referenzmodell erstellt. Das Referenzgebäude stellt ein mehrgeschossiges, freistehendes und quaderförmiges Bürogebäude mit einer Bruttofläche von 400 m² dar. Durch die Annahme das jedes der Geschosse die gleiche Nutzung beherbergt wurden nur ein repräsentatives Geschoss modelliert.

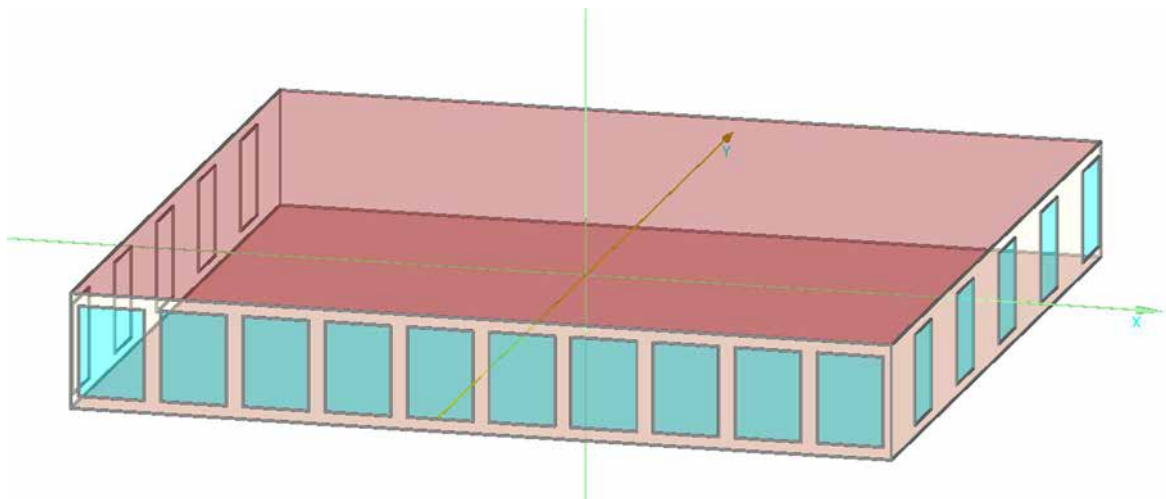


Abb. 1: Gebäudemodell

01 Gebäude ohne Heizung und Kühlung? Fallstudie mit drei schweizerischen Klimata

Anhand einer Parameterstudie mit der one-factor-at-a-time (OFAT) Methode werden die Einflüsse von der Ausrichtung, der Speichermasse, der Dämmstärke, der Verglasung, der Fensterhöhen, der Verschattung, der Nachtauskühlung durch Fensterlüftung sowie der Belegung auf den thermischen Komfort untersucht.

Ergebnisse thermische Simulation

Das Referenzmodell wurde so gewählt, dass die Raumtemperatur möglichst optimal im definierten Komfortband liegt. Auf dem Scatterplot sind die Stündlichen Raumtemperaturwerte vom Referenzmodell (hier beispielsweise am Standort Zürich/Kloten) über das gesamte Jahr in Abhängigkeit der Aussenlufttemperatur vom Referenzmodell abgebildet. Die Raumtemperaturen liegen bis auf ein paar einzelne Stunden immer innerhalb des Komfortbereiches. Das Referenzmodell schafft dadurch eine gute Voraussetzung für die Untersuchung der Einflüsse der einzelnen Parameter.

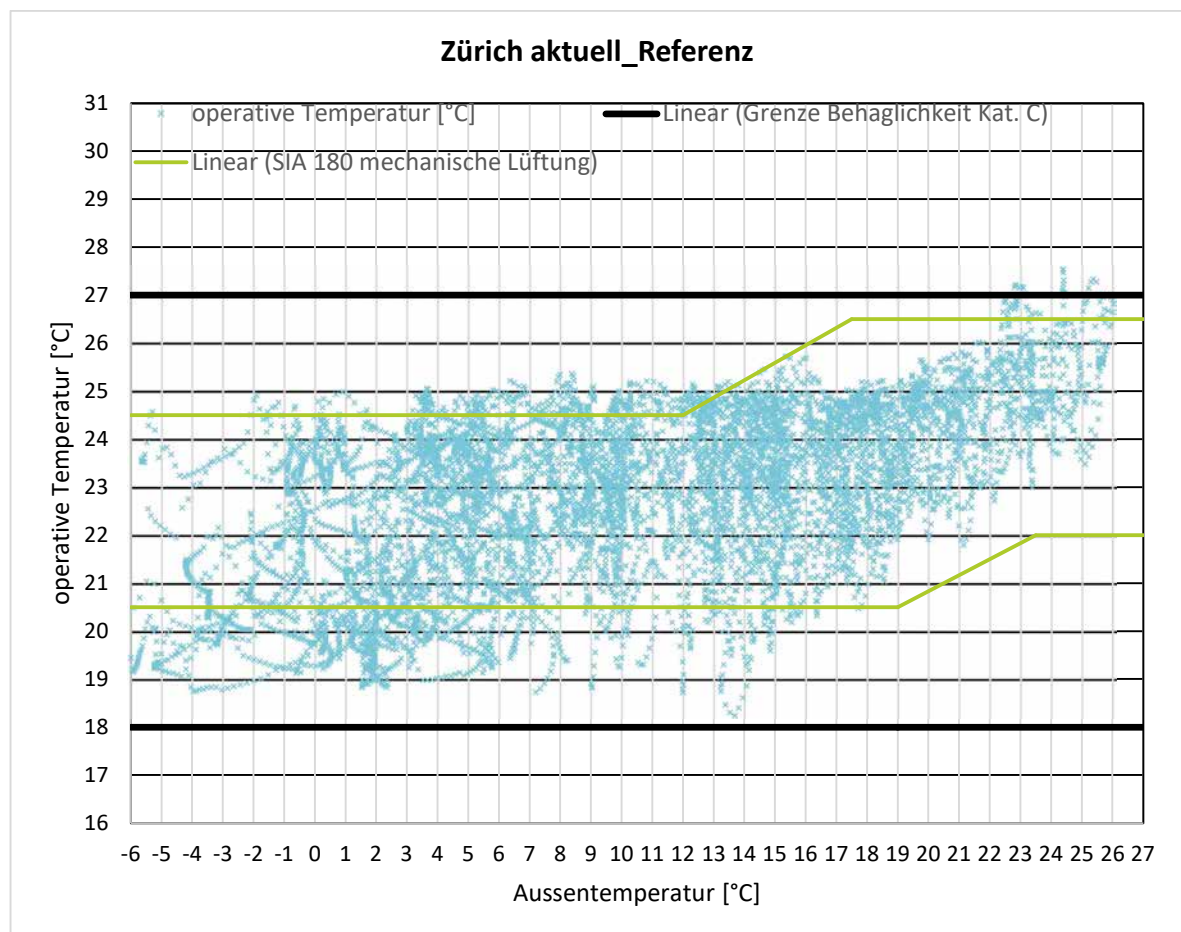


Abb. 2: Raumtemperatur in Abhängigkeit der Aussentemperatur.

01 Gebäude ohne Heizung und Kühlung? Fallstudie mit drei schweizerischen Klimata

Die Ergebnisse der Parameterstudie wurden nach den einzelnen Punkten Ausrichtung, Speichermasse, Dämmstärke, Verglasung, Fensterhöhe, Verschattung, Nachtauskühlung und Belegung zusammengefasst und bewertet. Um eine Aussage über den Einfluss der Parameter auf den thermischen Komfort machen zu können, wurden die Stunden oberhalb oder unterhalb eines Definierten Komfortbandes bewertet. In der Abbildung unten das Beispiel des Einflusses der Speichermasse auf den thermischen Komfort.

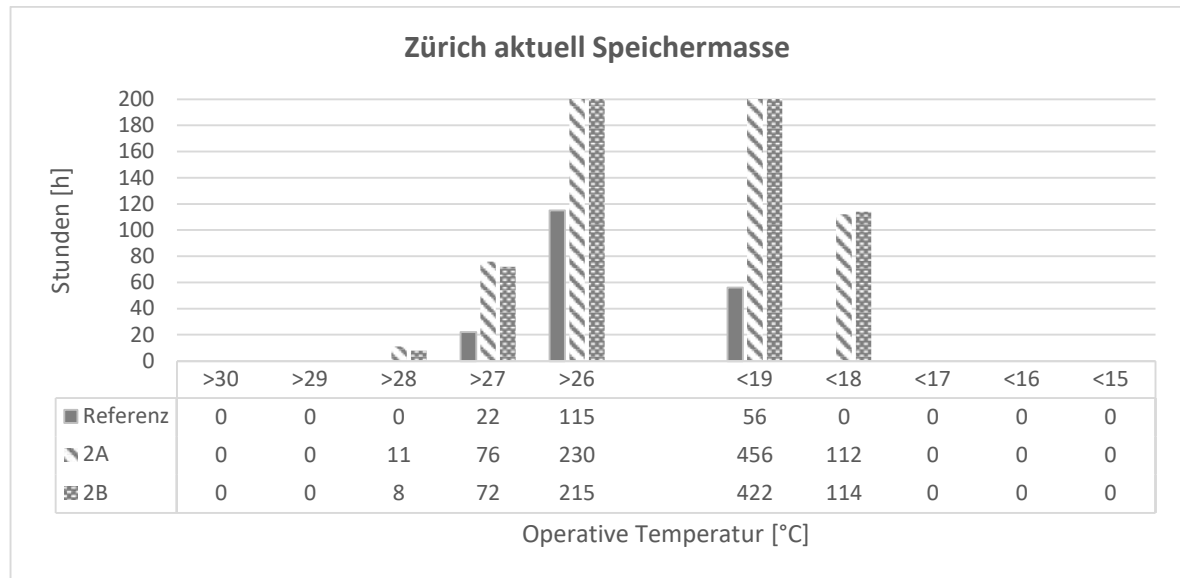


Abb. 3: Resultat thermische Gebäudesimulation / Speichermasse.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_02
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Kapazitätsengpässe in thermischen Netzen

Studierende	Marcel Martin
Dozierende	Stefan Mennel Timotheus Zehnder
Experte/-in	Roman Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Jörg Hoffmann, EWL, Industriestrasse 6, 6005 Luzern)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Kapazitätsengpässe in thermischen Netzen

Der Zweck der Arbeit besteht darin, den Prozess zur Bewältigung von Kapazitätsengpässen in thermischen Netzen zu untersuchen. Der Fokus liegt dabei auf den Themenbereichen IoT-Analysetools und der Überwindung von Engpässen mithilfe von Wärmepumpensystemen. Um diese Themen zu veranschaulichen, wurde eine theoretische Analyse des Engpassüberwindungsprozesses durchgeführt. Diese umfasst die Analyse, die Identifizierung und die Überwindung von Engpässen. Eine Variantenstudie sowie die Entwicklung eines IoT-Clamp-On-Messgerätes vertiefen diese Thematik.

Variantenstudie EWL - Zentrale Wärmepumpe vs. Booster

Die durchgeführte Variantenstudie untersuchte das Thema "Kapazitätserweiterung durch den Einsatz einer Wärmepumpe im Rücklauf thermischer Netze". Dabei wurden die zwei Varianten "dezentrale Wärmepumpe" und "Wärmepumpenbooster" hinsichtlich energetischer, ökonomischer und ökologischer Aspekte analysiert.

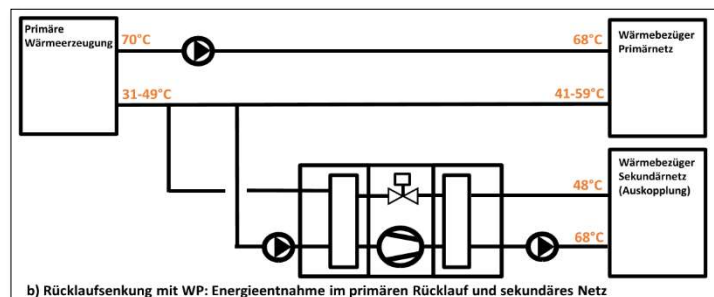


Abb 1 Schematische Darstellung der Variante "Wärmepumpe"

Die Variantenstudie hat gezeigt, dass Wärmepumpenlösungen gut geeignet sind, um Engpässe in thermischen Netzen zu überwinden. Es konnten signifikante Temperaturrücklausenkungen von bis zu 24K erreicht werden. Allerdings war in der durchgeführten Variantenstudie bei allen Varianten keine Rentabilität gegeben. Daher können die Varianten technisch eingesetzt werden, sind aber unter Berücksichtigung der gegebenen Situation wirtschaftlich nicht rentabel. Die Rentabilität könnte durch eine Erhöhung der Wärmebezugsdichte verbessert werden.

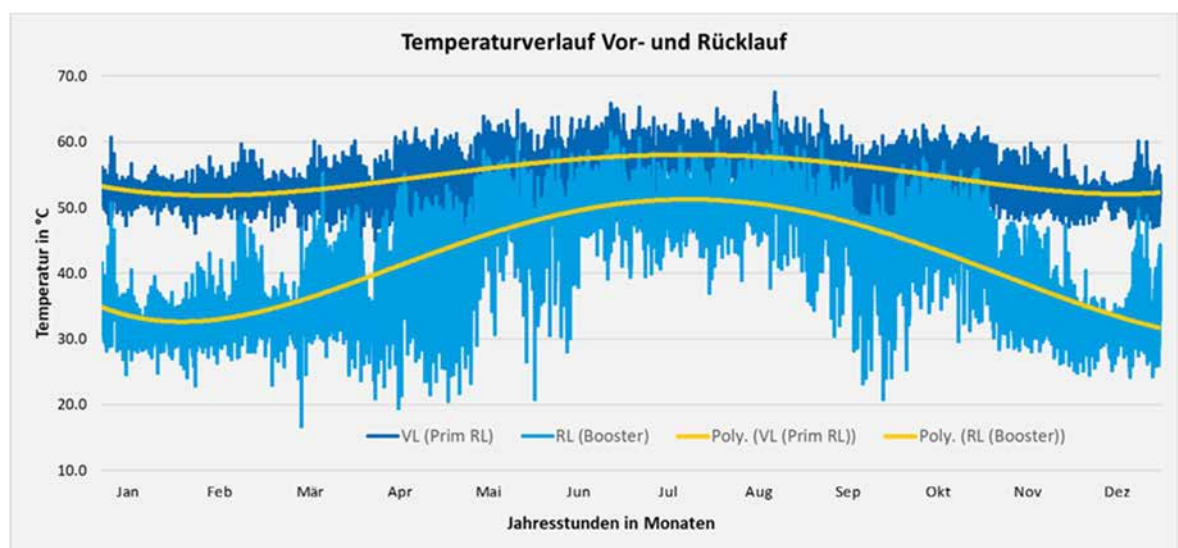


Abb 2 Temperaturreduktion des primären Rücklaufs nach Energieentnahme (Variante "Booster")

Low-cost IoT-Produktentwicklung ClamCon

"Im Zuge der Dekarbonisierung wurden zuletzt viele Wärmenetze realisiert. Dabei weisen insbesondere ältere Verbunde ein erhebliches Effizienzpotential auf. Aufgrund der fehlenden Informationslage (Datenmanagement und Netzüberwachung) ist dieses Potential aber schwierig zu identifizieren. Unidentifizierte Mängel und ein Optimierungspotential bei Netzverbrauchern sind die Hauptursache von hohen Rücklauftemperaturen und damit verbundenen Effizienzeinbussen und Störungen in der Energiezentrale, welche zu überhöhtem Energieeinsatz und übermässigem Verbrauch der meist fossilen Spitzenlastzeugung führen. Ohne digitale Netzüberwachung ist die Optimierung dieser Fernwärmenetze mit hohen Kosten und Personalaufwand verbunden und wird deshalb oft nicht durchgeführt.“ (Steiger & Martin, 2023)

Im Rahmen dieser Arbeit wurde das Produkt ClamCon entwickelt. Dieses Messgerät dient primär zur Ausmessung von Fernwärmeunterstationen. Der ClamCon verfügt über vier Temperatursensoren, welche über einen Datenbus abgefragt werden. Die verbaute Ultraschalldurchflussmessung wird mittels ModBus-Schnittstelle ausgelesen. Bereitgestellt werden die Werte über den Funkstandard LoRaWAN. Die Sensorik hat eine Messgenauigkeit von $\pm 0,5$ K, bezogen auf die Temperaturmessungen. Die Durchflussmessungen weisen eine Ungenauigkeit von $\pm 15\%$ auf unter Berücksichtigung einer linearen Kalibrierung mit Hilfe eines Referenzwertes. Die Übertragung der gemessenen Werte wird, bei ausreichender Funkstärke des Loranetzes, über das Gerät sichergestellt. Geringe Funkstärken können mit Hilfe von Lora-LTE-Gateways überwunden werden. Die Materialkosten für den ClamCon belaufen sich auf 285 CHF.

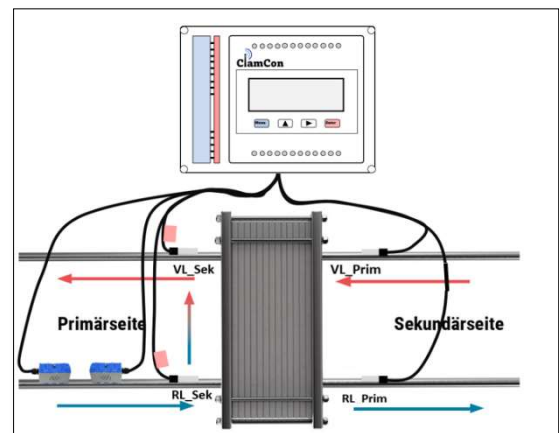


Abb 3 Funktionsprinzip ClamCon

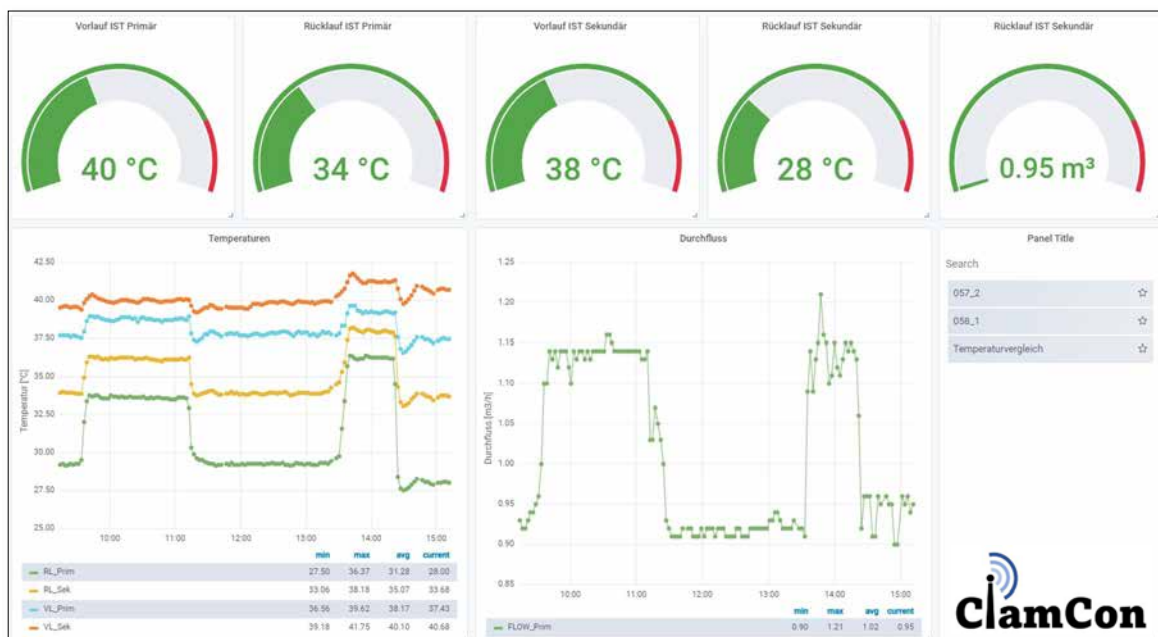


Abb 4 Webbasiertes Dashboard des ClamCons (Basierend auf Visualisierungsplattform Grafana)

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_03
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Analyse der Quellen und Senken für das Arealkonzept des Campus' Horw

Studierende	Dennis Büchler Nicolas Steiner
Dozierende	Stefan Mennel Leonardo Montali
Expert:in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Andreas Schmid, Gruner AG, 4052 Basel)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Analyse der Quellen und Senken für das Arealkonzept des Campus' Horw

Der Neubau der Hochschule Luzern, mit dem Standort in Horw, soll ein Leuchtturmprojekt im nachhaltigen Bauen sein. Dies wird erreicht durch die Sanierung der bestehenden Gebäude, eine kompakte Hybridbauweise der Neubauten sowie eine durchdachte Energieversorgung (thermisch und elektrisch) des neuen Areals.

In der Bachelor-Thesis wird die Herausforderung der Analyse der Quellen und Senken für das Arealkonzept des Campus in Horw untersucht. Das Ziel der Studie beinhaltet die Energien im eigenen Kreislauf zu halten sowie möglichst wenig Energie aus dem See zu beziehen. Dabei stellen sich die Fragen, welche Möglichkeiten bietet der Standort, wie verhält sich das Klima, welche Abwärmen fallen an, wie kann das Abwärmepotential sinnvoll eingesetzt werden und wie wird der Campus versorgt?

Vorgehen und Methodik

Die Grundlagen werden durch die Analyse von Standort, Klima, Gebäude und Nutzung sowie des Abwärmepotentials gelegt. Aus der Standortanalyse wird entschieden, welche Energiequellen und -senken für die weitere Betrachtung eingesetzt werden können. In einem Energiekonzept werden der zeitliche und örtliche Bedarf und Abwärmeeinfall bewertet sowie Varianten, die Abwärme einzusetzen, erarbeitet werden. Varianten zur Energieverschiebung und -versorgung werden im Erschliessungskonzept gewertet. Daraus ergibt sich eine Empfehlung zur Umsetzung.

Ergebnisse aus der Analyse

Die Analyse von Gebäude, Nutzung und Potential an Abwärme ergaben, dass das Potential an Abwärme mit dem Kältebedarf immer grösser ist als der benötigte Wärmebedarf, dies aufgrund der Rechenzentren. Die Auslegungsmonate wurden für den Wärmebedarf mit dem Februar sowie für den Kältebedarf mit dem Juli gewählt, aufgrund der Analyse der Nutzungszeit. Aus der Analyse von Standort und Klima ergab sich als sinnvolle Quelle und Senke die vorhandene Seewassernutzung.

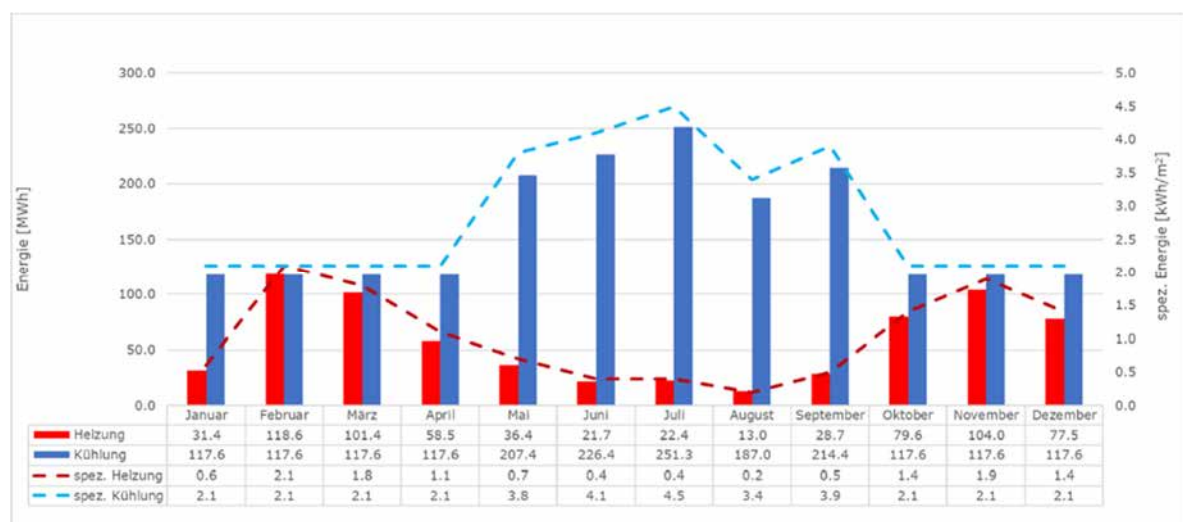


Abb. 1: Jahresverlauf Wärme- und Kältebedarf

03 Analyse der Quellen und Senken für das Arealkonzept des Campus' Horw**Energie- und Erschliessungskonzept**

Im Energiekonzept wurde der hohe Anteil an Abwärme auf einem tiefen Temperaturniveau erkannt und somit im Erschliessungskonzept mit der Vernetzung eines 2-Leiternetzes (FC) entschieden. Dabei gibt die EWL eine Schnittstelle vor, welche mit der Kenntnis der Bachelor-Thesis verschoben wird.

Fazit und Ausblick

Im Vergleich zur Variante vom EWL bedeutet dies eine thermische Energieeinsparung von 952'800 kWh sowie eine Kosteneinsparung pro Jahr von bis zu CHF 153'800. Im Vergleich benötigt die Variante 77'600 kWh elektrische Energie mehr im Jahr, welche aber mit der eigenen PV-Anlage auf dem Dach hergestellt werden kann. Bei der Kosteneinsparung ist zu beachten, dass das ganze Jahr Wärme durch Einspeisung ins Seewassernetz verkauft werden könnte und somit noch mehr Kosten eingespart werden könnten. Die Variante aus der Bachelor-Thesis ermöglicht ausserdem den Ausschluss von jeglichen fossilen Brennstoffen.

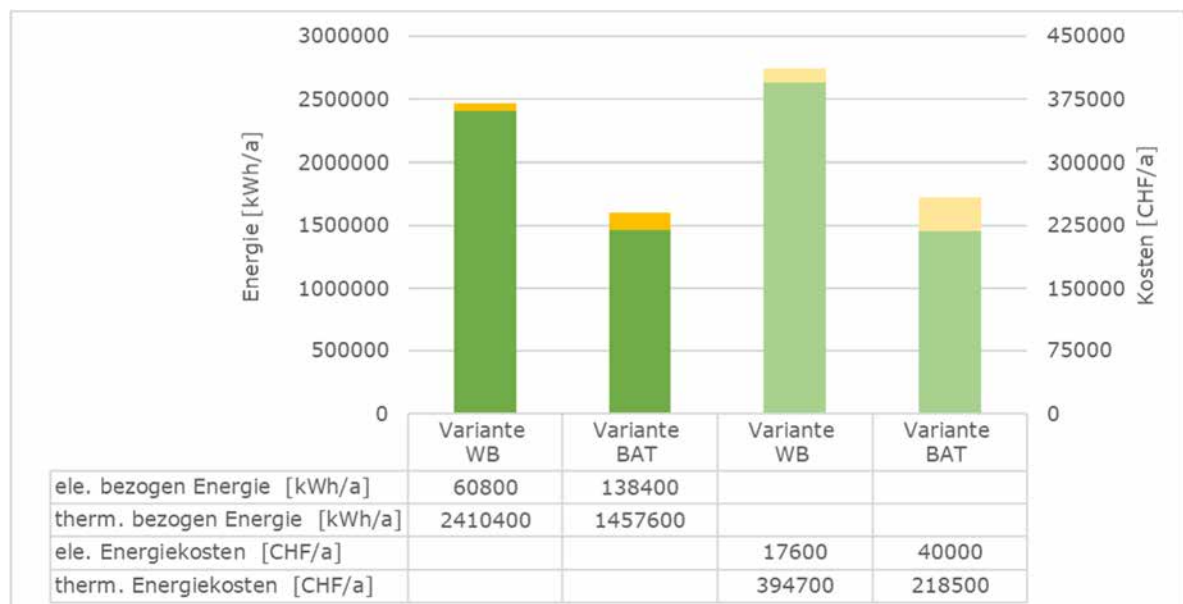


Abb. 2: Vergleich Energie und Kosten von Wettbewerb zu Bachelor-Thesis

Mit dem Vorschlag der Energieoptimierung soll zusätzlich Energie eingespart werden. Dies ohne Warmwasserentnahmestellen in den Toiletten-Anlagen sowie der Vorerwärmung der Aussenluft mit dem Überschuss an Abwärmeenergie auf tiefem Temperaturniveau.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_04
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Untersuchung von effizienten Zirkulationserwärmungssystemen

Studierende	Sandro Nagl Dominik Senn
Dozierende	Prof. Reto von Euw Frank Gubser
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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

Untersuchung von effizienten Zirkulationserwärmungssystemen

Wassererwärmungsanlagen müssen die gestiegenen Komfort- und Hygieneforderungen erfüllen. Um die Ausstosszeiten einhalten zu können, werden Zirkulationssysteme verbaut. In ihrer konventionellen Ausführung verursachen diese Systeme jedoch eine Durchmischung der Speicherschichten, welche unterschiedliche Probleme verursacht. Ein Durchmischen der Speicherschichten führt zum häufigen Nachladen durch den BWW-Erzeuger. Dabei muss der BWW-Erzeuger mit hohen Rücklauftemperaturen arbeiten. Diese hohen Rücklauftemperaturen sorgen für einen Verlust der Effizienz.

Das Ziel der Bachelorarbeit bestand darin neue Konzepte zur erarbeiten, die eine energieeffiziente Warmwasserversorgung ermöglichen. Neben der Energieeffizienz wurden Kriterien wie Hygiene, Komfort, Fähigkeit zur Warmwasserbereitstellung, Kosten und Betriebssicherheit betrachtet. Die problematische Auswirkung der konventionellen Zirkulation auf die Schichtung des Warmwasserspeichers ist im Vergleich zur reinen Speicherausköhlung (Szenario 0) in Abbildung 1 dargestellt.

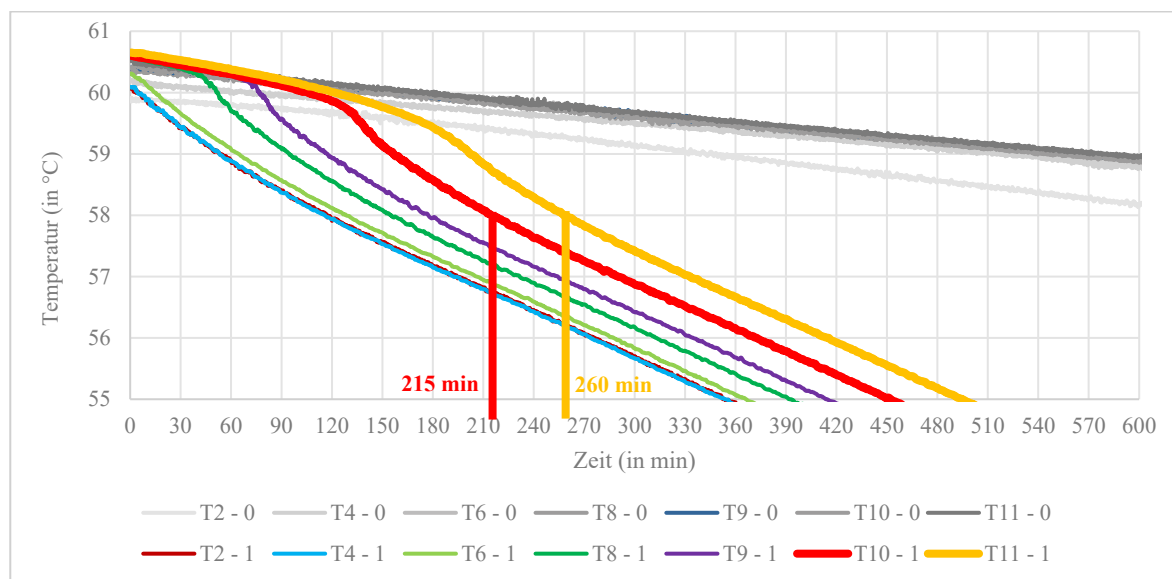


Abbildung 1: Temperaturverlauf - Speicherausköhlung (Szenario 0) und konventionelle Zirkulation (Szenario 1)

Methodik

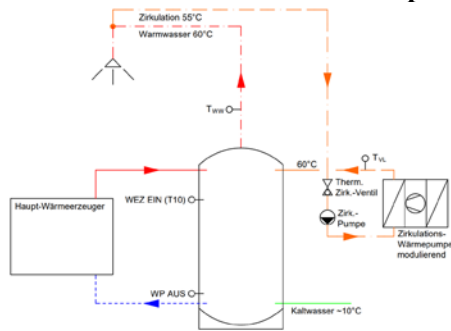
Aus einer Literaturrecherche und eigenen Überlegungen ergab sich nach der detaillierten Analyse der Problematik eine Ideensammlung an Lösungsvarianten. Dabei erwies sich das Konzept der speicherexternen Nacherwärmung der Zirkulation mit Hilfe einer Zirkulationswärmepumpe als die vielversprechendste Variante. Daher wurde dieses Konzept praktisch im Labor des IGE der Hochschule Luzern untersucht. Die Speicherschichtung wurde durch acht Temperaturfühler im Speicher erfasst. Das Spitzendeckungsvolumen wird durch die Fühler (T10 und T11) dargestellt.

Lösungsvarianten

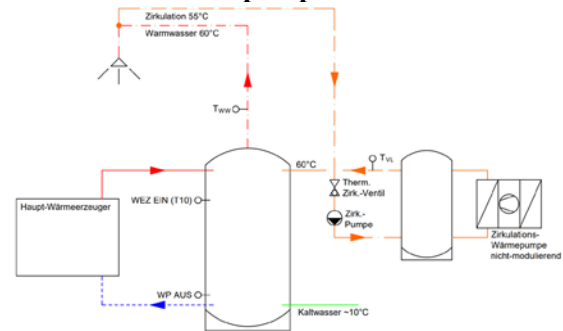
Erforscht wurde das Konzept in vier unterschiedlichen Varianten. Diese Varianten sind im Folgenden grafisch dargestellt. Bei der Rückführung der Zirkulation in den Warmwasserspeicher wurde darauf geachtet, dass eine Eintrittsgeschwindigkeit von 0.1 m/s nicht überschritten wird.

Nr. 04 - Untersuchung von effizienten Zirkulationserwärmungssystemen

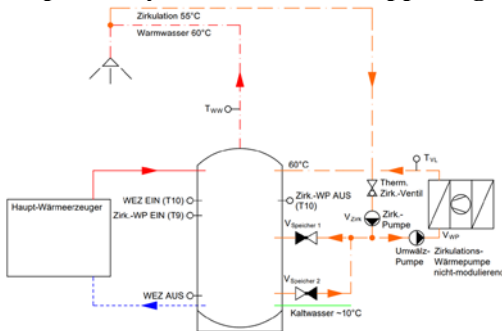
Modulierende Zirkulationswärmepumpe



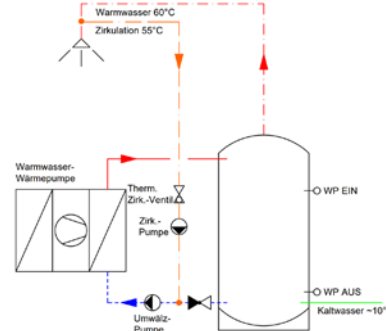
Zirkulationswärmepumpe mit Puffer



Nicht-modulierende Zirkulationswärmepumpe mit hydraulischer Entkoppelung



Warmwasserwärmepumpe



Messresultate

Zur Gewinnung von Erkenntnissen wurden diverse Messungen durchgeführt. Dargestellt in Abbildung 2 ist die Messung der Variante «Zirkulationswärmepumpe mit Puffer» (Szenario 4). Der Temperaturverlauf dieses Szenarios ist dem Verlauf des Szenarios der modulierenden Zirkulationswärmepumpe sehr ähnlich. Es ergeben sich konstante und störungsarme Verläufe auf hohem Temperaturniveau.

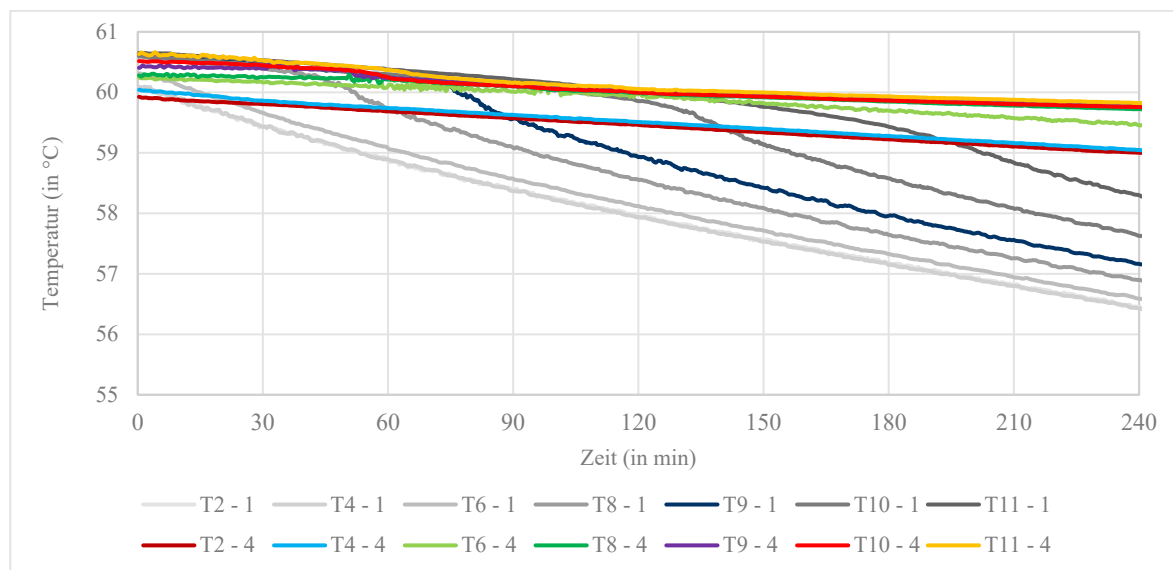


Abbildung 2: Temperaturverlauf - konventionelle Zirkulation (Szenario 1) und Zirkulationswärmepumpe mit Puffer (Szenario 4)

Nr. 04 - Untersuchung von effizienten Zirkulationserwärmungssystemen

Die nicht-modulierende Zirkulationswärmepumpe mit hydraulischer Entkoppelung hingegen zeigt einen anderen Temperaturverlauf. Die Zirkulationswärmepumpe wird erst aktiviert, sobald die Temperatur bei dem EIN-Fühler (T9) unter 58 °C fällt. In dieser Phase von etwa drei Stunden wird konventionell zirkuliert, sodass in dieser Phase die Temperaturen fallen.

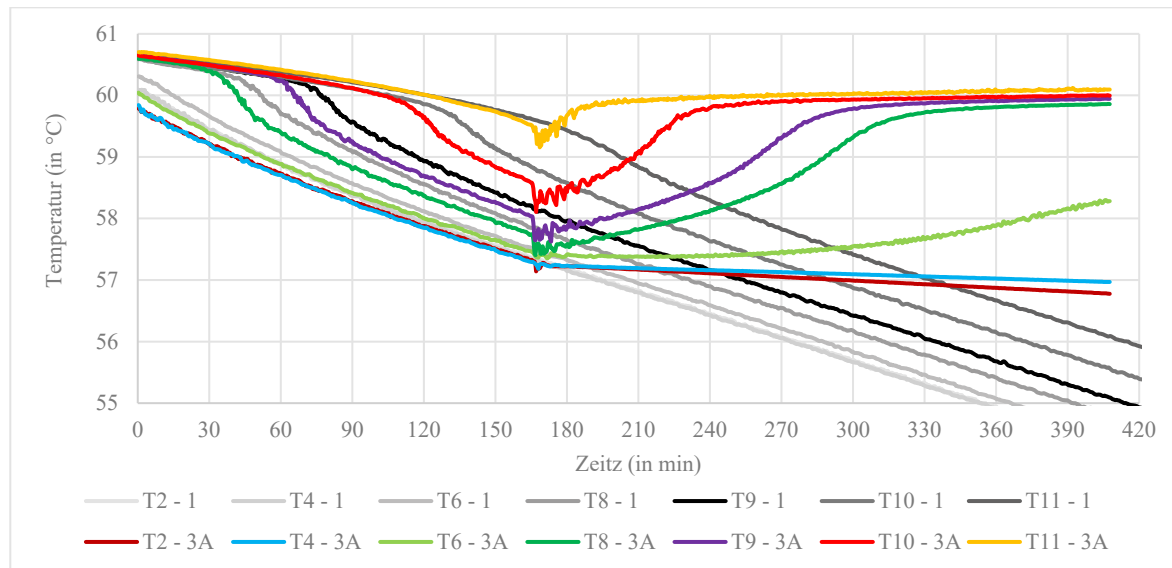


Abbildung 3: Temperaturverlauf - konventionelle Zirkulation (Szenario 1) und nicht-modulierende Zirkulationswärmepumpe mit hydraulischer Entkoppelung (Szenario 2, 3A, 3B)

Schlussfolgerungen

Der Vergleich von Abbildung 2 und Abbildung 3 zeigt, dass zwar alle untersuchten Varianten eine wesentliche Verbesserung der unterschiedlichen Kriterien ermöglichen. Dennoch sind die Varianten «Zirkulationswärmepumpe mit Puffer» und «modulierende Zirkulationswärmepumpe» auf Grund ihrer kontinuierlichen Temperaturverläufe mit geringerer Beeinflussung der Schichtung zu bevorzugen. Ihre Schichtung wirkt sich positiv auf folgende Kriterien aus.

- **Energieeffizienz.** Durch Gewährleisten einer guten Speicherschichtung kann ein häufiges Nachladen mit hohen Rücklaufftemperaturen durch die BWB-Wärmeerzeugung verhindert werden. Dadurch verbessert sich die Energieeffizienz der Warmwasserversorgung.
- **Warmwasserbereitstellung.** Exergetische Betrachtungen zeigen, dass im Messintervall hohe Warmwassertemperaturen im Spitzendeckungsvolumen und im ganzen Speicher gewährleistet werden können.
- **Hygiene.** Das konstant hohe Temperaturniveau bietet ebenfalls gute hygienische Bedingungen.
- **Komfort.** Es konnten keine schwankenden Warmwassertemperaturen beobachtet werden. Die Rückführung der Zirkulation in den Warmwasserspeicher ist der Rückführung der Zirkulation in die Warmwasserleitung vorzuziehen. Die Rückführung in die Warmwasserleitung ist jedoch auch möglich.
- **Kosten.** Auf Grund einer verbesserten Effizienz können die höheren Investitionskosten durch niedrigere Betriebskosten ausgeglichen werden.
- **Betriebsicherheit.** Bei Umsetzung des Konzeptes müssen die ermittelten Anforderungskriterien mit den Herstellern der Zirkulationswärmepumpe abgesprochen werden.

Die Dimensionierung der Zirkulationswärmepumpe ist abhängig von den Leistungsverlusten der Zirkulation. Eine Marktanalyse zeigt, dass in kleinen Leistungsbereichen von unter 1.8 kW kaum modulierende Wärmepumpen, jedoch Wärmepumpen mit Puffer (Warmwasser-Wärmepumpen) verfügbar sind.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT G_23_05
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Integration von Wärmepumpen im Rücklauf zur Steigerung der Kapazität und Energieeffizienz des Wärmeverbundes Porrentruy

Studierende	Silas De Lorenzi Matteo Pinto
Dozierende	Timotheus Zehnder Stefan Mennel
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Valentin Schnyder Thermoréseau Porrentruy SA Route d'Alle 87 2900 Porrentruy +41 32 466 11 31
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Integration von Wärmepumpen im Rücklauf zur Steigerung der Kapazität und Energieeffizienz des Wärmeverbundes Porrentruy

Energie ist knapp und darf deshalb nicht verschwendet werden. Aus ökologischen und ökonomischen Gründen ist eine hohe Energieeffizienz bei der Energieproduktion und der Energieverteilung stets anzustreben. Insbesondere bei der Energieerzeugung mit Holz ist es wichtig, den Rohstoff nachhaltig einzusetzen, da die Holzversorgung in den nächsten Jahren an ihre Grenzen stossen könnte. Die Nachfrage nach Biomassefeuerungsanlagen oder einen Anschluss an einem Fernwärmenetz steigt stetig an. Um diesen erhöhten Bedarf abfangen zu können, spielen Wärmepumpen eine wichtige Rolle.

Im Zentrum dieser Studie steht die Integration von Wärmepumpen in neue oder bestehende Blockheizkraftwerke oder Biomassefeuerungsanlagen und Fernwärmenetze. Die korrekte Einbindung einer dezentralen Wärmepumpe kann zu einer Netzkapazitätssteigerung führen und die Wärmeverteilung effizienter gestalten. Auch führt die korrekte Einbindung einer zentralen Wärmepumpe zur Realisierung einer Rauchgaskondensation zu einer Effizienzsteigerung und somit reduziertem Ressourcenverbrauch. Neben der Erarbeitung von Standardvarianten für die dezentrale und zentrale Einbindung wird auch die ökologische und ökonomische Auswirkung einer zentralen Wärmepumpe auf ein reales Blockheizkraftwerk in Porrentruy untersucht.

Ausgangslage

Durch die mögliche Verknappung von Energieholz in den nächsten Jahren und der stetig steigenden Nachfrage an Anschlüssen an das Fernwärmenetz in Porrentruy steht die Thermoréseau SA vor einer grossen Herausforderung. Die im Fernwärmenetz angestrebte Temperaturspreizung kann nicht eingehalten werden. Der Rücklauf kommt zu warm in die Zentrale zurück. Dadurch entstehen Netzkapazitätsprobleme und eine Rauchgaskondensation kann nicht rentabel betrieben werden, da der Taupunkt des Wasserdampfes in den Rauchgasen tiefer liegt als die Rücklauftemperatur. Dadurch verschlechtert sich die Effizienz stark, da ca. 25% der erzeugten thermischen Energie durch die Rauchgase ins Freie verloren geht. Damit die Thermoréseau SA die Versorgungssicherheit für ihre Kunden gewährleisten kann, wird die Realisierung einer Rauchgaskondensationsanlage genau untersucht und auf einen Betriebspunkt ausgelegt, bei welchem die Holzeinsparung einvernehmlich mit der Rentabilität hervorgeht. Für die Netzkapazitätssteigerung werden Lösungen aufgezeigt.

Die Thermoréseau SA verfügt in der Zentrale Roche de Mars über zwei Holzkessel mit insgesamt 8.5 MW thermischer Leistung, einer ORC-Trubine für die Stromproduktion mit einer Leistung von 1.35 MW und einem Öl-Spitzenlastkessel mit 4 MW, welcher weniger als 0.5% der Jahresenergie erzeugt. Die Abbildung 1 zeigt eine vereinfachte Darstellung der Zentrale.

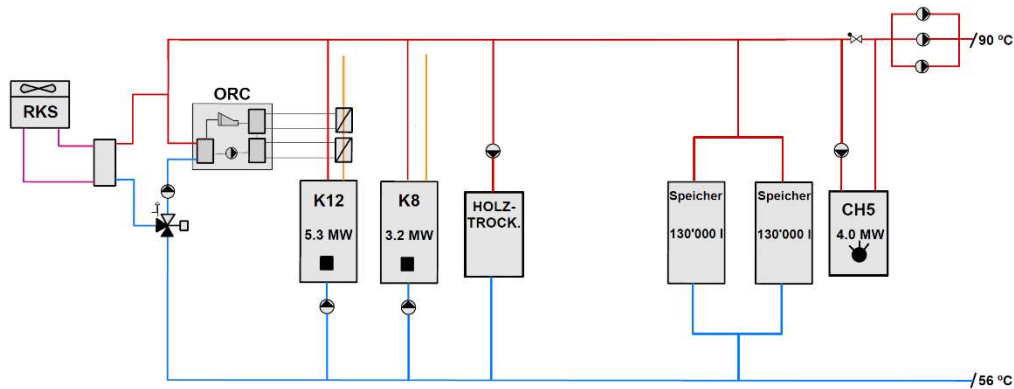
BAT G_23_05 Integration von Wärmepumpen im Rücklauf zur Steigerung der Kapazität und Energieeffizienz des Wärmeverbundes Porrentruy

Abbildung 1 Vereinfachte Zentrale Roche de Mars (eigene Darstellung)

In der Studie wird eine ausführliche Datenerhebung- und Interpretation durchgeführt. Es werden alle Einkaufs- und Verkaufspreise untersucht und in einer Excel-Datei eingefügt. Die Excel-Datei wird mit einer Rauchgaskondensationsanlage, welche aus einer zweistufigen Wärmerückgewinnung besteht, ergänzt. Die erste Stufe bildet ein Wärmetauscher im Rauchgas, welcher die Wärme an den Rücklauf abgibt. Dies kann mit oder ohne Kondensation stattfinden. Die zweite Stufe wird mittels einer Wärmepumpe realisiert, indem die Wärmepumpe einen Zwischenkreis abkühlt und die zurückgewonnene Wärme und die Antriebsenergie des Verdichters in den Rücklauf einspeist. Das Leistungspotential der Rauchgase wird für fünf verschiedene Abgastemperaturen berechnet. Bei jedem Betriebspunkt ändert sich die Leistung und die Leistungszahl der Wärmepumpe. Die Integration der Rauchgaskondensationsanlage wird wie in Abbildung 2 vollzogen.

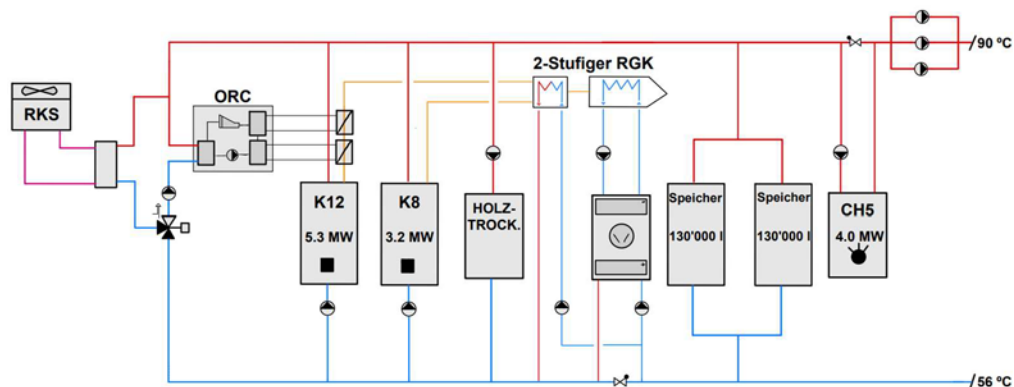


Abbildung 2 Lösungsvariante zukünftige Zentrale Roche de Mars (eigene Darstellung)

Ökologische Ergebnisse

Das ökologische Potenzial wird gemessen an der jährlichen Holzeinsparung bei gleichbleibendem Energieabsatz durch den Betrieb der Rauchgaskondensationsanlage. Der bisherige Holzverbrauch pro Jahr liegt bei 63'256 Schüttraummeter. Durch die Anpassung kann eine Einsparung von bis zu 31% realisiert werden, sollte das Rauchgas auf 8 °C abgekühlt werden. Der optimale Betriebspunkt für die Thermoreseau SA liegt jedoch bei 33 °C und einer jährlichen Holzeinsparung von 23 % (14'488 Schüttraummeter). Bei diesem Betriebspunkt kann die Anlage rentabel betrieben werden.

BAT G_23_05 Integration von Wärmepumpen im Rücklauf zur Steigerung der Kapazität und Energieeffizienz des Wärmeverbundes Porrentruy**Ökonomische Ergebnisse**

Das ökonomische Potenzial wird gemessen am jährlichen zusätzlichen Deckungsbeitrag bei gleichbleibendem Energieabsatz durch den Betrieb einer Rauchgaskondensationsanlage. Der bisherige Deckungsbeitrag liegt bei 2'790'150 CHF. Durch die Anpassung kann ein zusätzlicher Deckungsbeitrag von 182'302 CHF erzielt werden, sollte das Rauchgas auf 43 °C abgekühlt werden. Dadurch kann jedoch nicht sehr viel Holz eingespart werden, weshalb der gewählte Betriebspunkt bei 33 °C und einem jährlichen zusätzlichen Deckungsbeitrag von 165'545 CHF liegt.

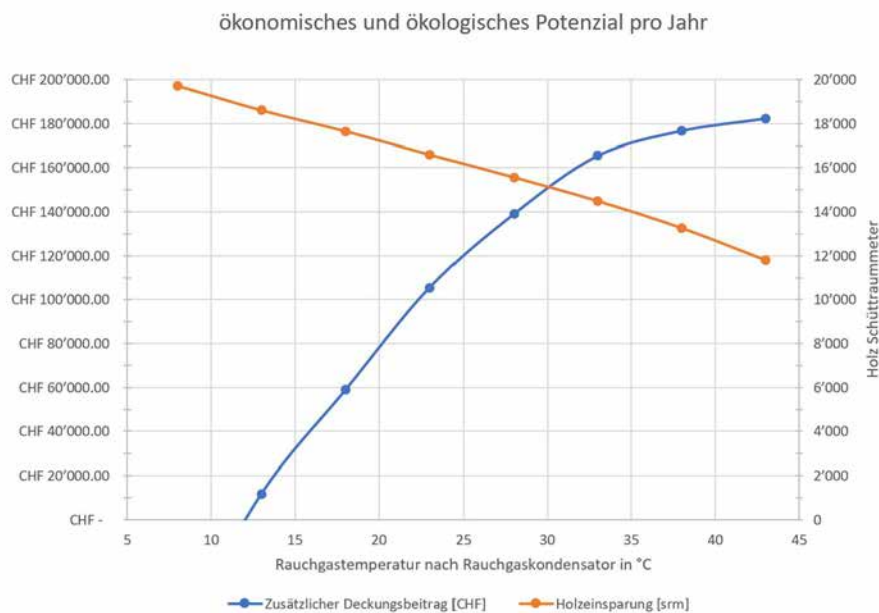


Abbildung 3 Ökonomisches und ökologisches Potenzial bei einer Holzfeuchte $w = 40\%$ (eigene Darstellung)

Ausblick

Stösst ein Fernwärmenetz an seine Kapazitätsgrenzen, gilt es, die Temperaturspreizung zu erhöhen. Dies kann mittels Optimierungen bei den Übergabestationen oder dem Einbau einer dezentralen Wärmepumpe erfolgen welche die Wärme aus dem Netzzrücklauf entzieht.

Die steigende Nachfrage nach Energie und die Verknappung von Ressourcen machen klar, es darf nichts verschwendet werden. Die Resultate der Arbeit machen deutlich, dass eine Betriebsoptimierung durch die Rauchgaskondensation mittels Wärmepumpe in jedem Fall zu prüfen ist und nicht nur ökologische, sondern auch ökonomische Vorteile mit sich bringt. Ebenfalls wird durch die Wärmepumpe ein weiterer Energieträger im Portfolio des Energielieferanten aufgenommen. Diese Diversifizierung der Energieträger erlaubt es einem Energielieferanten flexibel und anpassungsfähig zu sein. Je nach Verfügbarkeit oder Einkaufspreis kann die Aufteilung der Energieträger angepasst werden.

Um die Ressource Holz und somit die Versorgungssicherheit der Kunden der Thermoréseau SA zu gewährleisten, ist eine Investition mit einer Amortisationszeit von 12 bis 19 Jahren gefordert. Sollte dies von weiteren Betreibern von Holzheizkraftwerken ebenfalls realisiert werden, stehen die Chancen gut für eine nachhaltige und gesicherte Energieversorgung mit Holz.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_07
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

RLT-Anlagen für Labors im Kontext zur neuen EKAS Richtlinie Labor

Studierende	Andreas Meier Sandro Raidt
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Frank Gubser
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Andreas Häfeli, Kalt + Halbeisen Ingenieurbüro AG, Albulastrasse 47, 8048 Zürich)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Energetisch optimale Kombination von Geothermie und Aussenluft

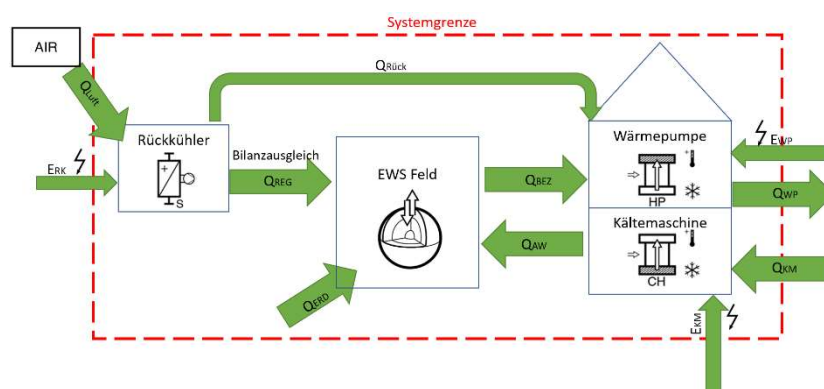
Seitdem am 21. Mai 2017 das Energiegesetz zur Energiestrategie 2050 in der Schweiz angenommen wurde, wird immer stärker auf den Ausbau und die Forschung von erneuerbaren Energien gesetzt. Dazu zählt der Einsatz von Wärmepumpen mit Erdwärmesonden als Quelle. Eine Herausforderung beim Einsatz einer Sole/Wasser-Wärmepumpen ist die Langzeitunterkühlung des Erdreiches. Um dieser entgegenzuwirken, gibt es verschiedene Methoden zur Erdreichregeneration. Eine, die bisher wenig erforscht wurde, ist die Regeneration mithilfe von Aussenluft mittels eines Rückkühlers.

Diese Arbeit befasst sich mit der Regeneration des Erdreiches mithilfe von Aussenluft mittels Einbindung eines Rückkühlers. Dabei soll der Rückkühler als Optimierungsparameter betrachtet werden. Um dieses System zu untersuchen, werden drei Modelle aufgestellt, in welchen die Energieflüsse und die Bilanzgrössen ersichtlich sind, sowie die hydraulische Einbindung der Modelle betrachtet für die Grundlagen zur Auslegung des Systems. Hierbei steht vor allem der Vergleich verschiedener Leistungsbereiche im Vordergrund. Dabei wird auch auf die Auswirkung dieser Regenerationsmethode in Bezug auf die Klimaszenarien eingegangen.

Ausgangslage

In der Schweiz sind Gebäude für einen Drittel der CO₂-Emissionen und für über 40 % des Endenergieverbrauches verantwortlich. Neben Holzheizungen gehören Wärmepumpen mit Erdwärmesonden als Quelle zu den effizientesten erneuerbaren Wärmeerzeugungsanlagen. Sie sind somit ein wichtiges Mittel für den Ausbau erneuerbarer Energie und die Senkung der CO₂-Emissionen.

Für diese Arbeit wurden drei Modelle erstellt, wie sie auch in der Industrie anzutreffen sind. Die Modelle sollen aufzeigen, wie sich die Regeneration des Erdreiches in den verschiedenen Nutzungen und in einem idealen Gebäude verhält. Das erste Modell befasst sich mit der Regeneration mit dem Erdreich, wenn dafür nur ein Rückkühler eingebunden wird und nur eine Heizlast besteht. Im zweiten Modell soll das Verhalten aufgezeigt werden, wenn zusätzlich im Sommer noch ein Free-Cooling- System miteingebunden wird. Im dritten Modell soll zusätzlich noch eine aktive Kältelast berücksichtigt werden,



welcher mit einer Kältemaschine zur Verfügung gestellt wird. In den Modellen zwei und drei soll die abgeführte Abwärme also zusätzlich neben dem Rückkühler als Regenerationsmittel dienen.

Abb. 2: Model Erdsondenregeneration durch Rückkühler mit Heiz- und Kältelast

Da sich die Erdreichtemperatur dynamisch verhält, wird die Fragestellung mithilfe eines Simulationsprogramms genauer untersucht.

Simulationen

Anhand der drei Modelle wurden die Simulationen mit dem Simulationsprogramm EWS der Huber Energietechnik AG durchgeführt. Dabei wurden für jedes Modell fünf Leistungsstufen zwischen 0 und 500 kW und zu jeder Leistungsstufe fünf verschiedene Rückkühlgrößen definiert, welche simuliert wurden. Aus den Simulationen wurden die Wärmeeintrags- sowie die Wärmebezugsenergie herausgelesen. Dabei wurden die Regenerationsgrade, Gesamtleistungszahlen und Jahresarbeitszahlen berechnet und miteinander verglichen.

Jahresverlauf

Aus den Stundendaten der Simulationen wurden die Jahresdaten herausgelesen und die Rückkühlleistung über das Jahr gesehen analysiert. Dabei wurden die Stundendaten über die Monate aufsummiert und so miteinander bilanziert. Daraus entsteht die Jahresbilanz des Erdreichs mit der Entzugs- und der Eintragsenergie in das Erdreich.

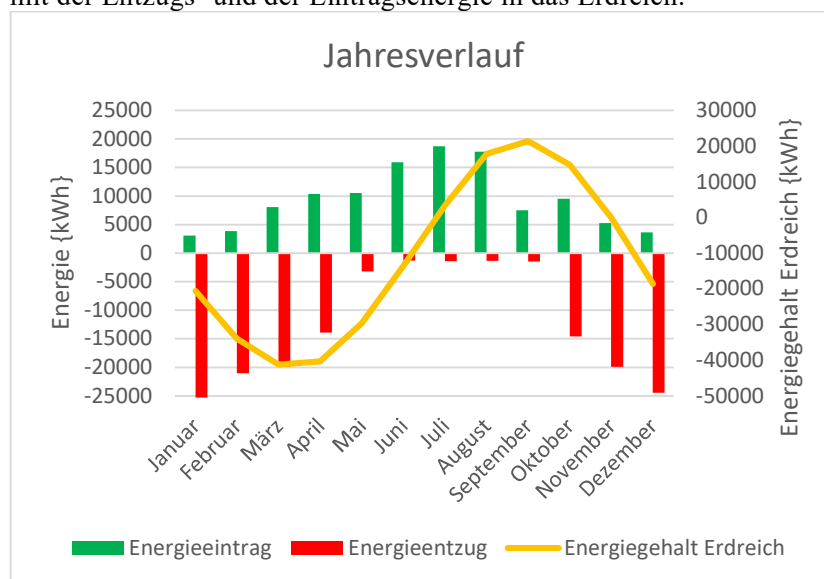


Abb. 2: Jahresverlauf der Sondenenergie

Die Entzugsenergie ist in den Wintermonaten am höchsten, um die Wärme des Gebäudes bereitzustellen. Während im Sommer nur noch ein kleiner Teil der Wärme benötigt wird. Durch den grossen Bezug von Dezember bis März sinkt der Energiegehalt des Erdreiches und stabilisiert sich in der Übergangszeit, in der der Rückkühler bereits genutzt werden kann, um das Erdreich zu regenerieren. Während den Sommermonaten ist der Energieeintrag in das Erdreich durch den Rückkühler am höchsten und lädt das Erdsondenfeld auf, bis der Energiegehalt im Erdreich etwa im September das Maximum erreicht. Danach nimmt der Energiegehalt im Erdreich durch den Bezug der Wärmepumpe ab.

Ergebnisse

Die Analyse hat gezeigt: Die energetisch optimale Kombination von Erdwärmesonden und Rückkühler ergibt sich bei Gebäuden mit Heizungsleistungen von 100 bis 200 kW in Kombination mit einem Rückkühler mit Rückkühlleistung bei 135 bis 270 kW. In dieser Leistungsstufe erhält man im Vergleich die höchsten Regenerationsgrade mit dem kleinsten Aufwand. Im ersten und zweiten Modell gibt es Regenerationsgrade bis 0.7 und im dritten Modell mit Einbindung einer Kältelast bis zu 0.85. Dabei liegt die Gesamtleistungszahl in diesem Leistungsbereich zwischen 5.8 und 6.2.

Die Klimaerwärmung hat einen positiven Effekt in Bezug auf den Rückkühler, indem sich der Regenerationsgrad um 10%-18% steigern kann. Im Vergleich zu einem Erdsonden-Wärmepumpen-System ohne Regeneration lässt sich bei Verwendung eines Rückkühlers bis zu einem Drittel der Sondenmeter einsparen.

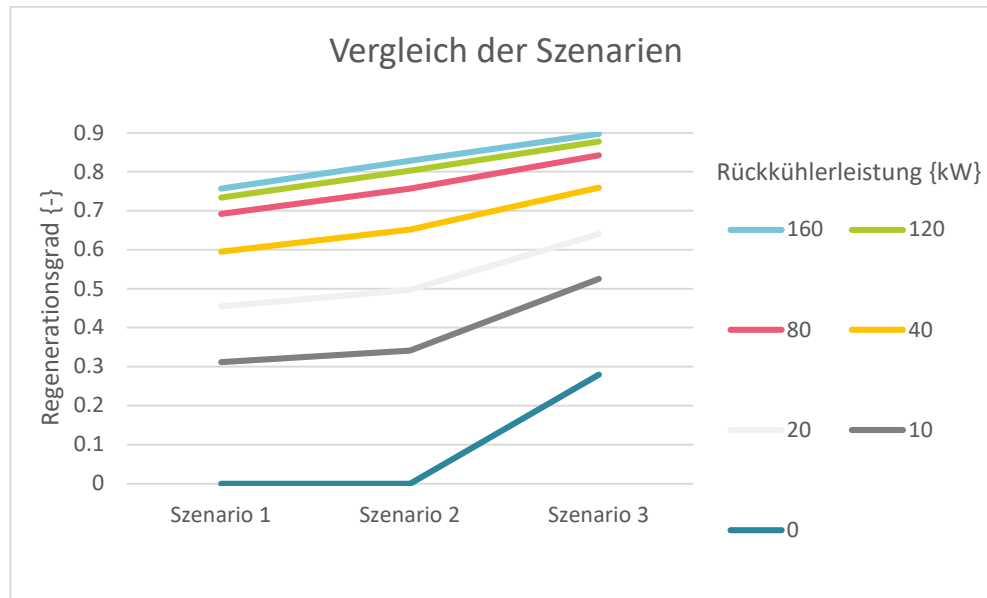


Abb. 3: Vergleich der Szenarien bei 70 kW Heizleistung

Wenn die Szenarien übergreifend miteinander verglichen werden, ist bei kleiner ausgelegten Rückkühlern eine grössere Veränderung des Regenerationsgrades sichtbar. Grund dafür ist die Zunahme des Wärmeeintrags über die Szenarien. Während im ersten Szenario nur der Rückkühler zur Regeneration dient, wird im zweiten Szenario durch Einsatz von Free-Cooling bereits ein Teil des Wärmeeintrages in das Erdreich zurückgegeben. Im dritten Szenario vergrössert sich dieser Eintrag noch mehr durch den Einsatz einer Kältemaschine, die das Erdreich ebenfalls durch ihre Abwärme regeneriert.

Ausblick

In der Schweiz und in ganz Europa wird der Ausbau erneuerbarer Energie immer wichtiger und die Entwicklung nimmt rasant zu. Für die Wärmeerzeugung wird immer häufiger auf den Einbau von Wärmepumpen gesetzt, wobei vor allem Sole/ Wasser Wärmepumpen zum Einsatz kommen. Doch dieser Trend birgt auch einige Herausforderungen, zum Beispiel die Langzeitauskühlung des Erdreichs.

Wissenschaftlich wurde dieser Problematik bislang eher wenig Beachtung geschenkt. Angesichts der stark wachsenden Nachfrage und Verwendung von Wärmepumpen, ist es jedoch umso wichtiger, dass nachhaltige Ansätze gefunden werden. Dabei ist nicht nur die ökologische Komponente relevant, sondern auch die ökonomische. Schliesslich lassen sich Anlagen und Systeme nur dann erfolgreich vermarkten, wenn sie einen wirtschaftlichen Anreiz schaffen. Diese Arbeit über die energetisch optimale Kombination von Geothermie und Aussenluft ist denn auch – im Sinne einer ökonomischen Betrachtungsweise – als kleiner wissenschaftlicher Beitrag zu verstehen.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_07
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

RLT-Anlagen für Labors im Kontext zur neuen EKAS Richtlinie Labor

Studierende	Andreas Meier Sandro Raidt
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Frank Gubser
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Andreas Häfeli, Kalt + Halbeisen Ingenieurbüro AG, Albulastrasse 47, 8048 Zürich)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

RLT-Anlagen für Labors im Kontext zur neuen EKAS Richtlinie Labor

Im Juli 2022 wurde die neue EKAS Richtlinie «1871 Richtlinie Labor» veröffentlicht. Neu werden minimale Raumlftwechselzahlen gefordert, welche wesentlich höher sind als die bisher verwendeten Planungswerte. Die Arbeit untersucht, ob die Erhöhung der Luftwechselzahl tatsächlich zu mehr Sicherheit führt und welche Auswirkungen dies auf den Energiebedarf der Luftaufbereitung hat.

Diese Bachelor-Thesis soll neue Erkenntnisse zur Personen- und Arbeitssicherheit in typischen Biologie Laboren liefern. Der Fokus liegt darauf, die geforderten Luftwechselzahlen zu überprüfen und ihre Notwendigkeit zu bewerten. Es wird untersucht, ob die Sicherheit in Biologie Laboren auch bei niedrigeren Luftwechselzahlen gewährleistet werden kann. Anhand verschiedener authentischer Szenarien wird die Fragestellung in einem Biologie Labor an der ETH Zürich auf dem Campus Höggerberg untersucht.

Die optimale Konditionierung der Luft in Laboren benötigt schon heute eine erhebliche Menge an Energie. Die neu geforderten Luftwechselzahlen erhöhen diesen Verbrauch weiter. Dies führt zu einer verstärkten CO₂-Belastung der Umwelt. Angesichts dieser Aspekte stellt sich die Frage, ob eine Erhöhung der Luftwechselzahlen wirklich gerechtfertigt ist.



Abb. 1: Biologie Labor mit exemplarischen Versuchsaufbau

Vorgehen und Methodik

Um die Untersuchung durchzuführen, werden vier authentische Szenarien in einem Biologie Labor bei unterschiedlichen Betriebsarten und Raumlftwechselzahlen untersucht. Mit den beiden Arbeitsstoffen Ethanol und Aceton wird erforscht, ob sich gesundheitsgefährdende Stoffkonzentrationen im Raum bilden. In der folgenden Tabelle sind die verwendeten Luftwechselzahlen ersichtlich.

Tab. 1: Untersuchte Luftwechselzahlen bei verschiedenen Betriebsarten des Labors

Betriebsart	EKAS	KHI	ETH	Einheit
Stand-by-Betrieb (Nacht)	-	1	-	[LW]
Betrieb mit Belegung min.	3	2	3	[LW]
Betrieb mit Belegung und Gerätschaften	-	4.5	8	[LW]

Um die obenstehenden Luftwechselzahlen im Raum zu ermitteln, wurde die Methode der konstanten Aufdosierung mit dem Tracergas HFO-1234yf und anschliessender Auswertung der Abklingmethode angewendet.

Für die Messungen im Labor wurde das Gasanalysegerät Gasera ONE und das Gasmeter DX4015 verwendet. Zur Erfassung der Stoffkonzentration wurden insgesamt fünf Messpunkte (M1/G1/G2/G3/G4) festgelegt.

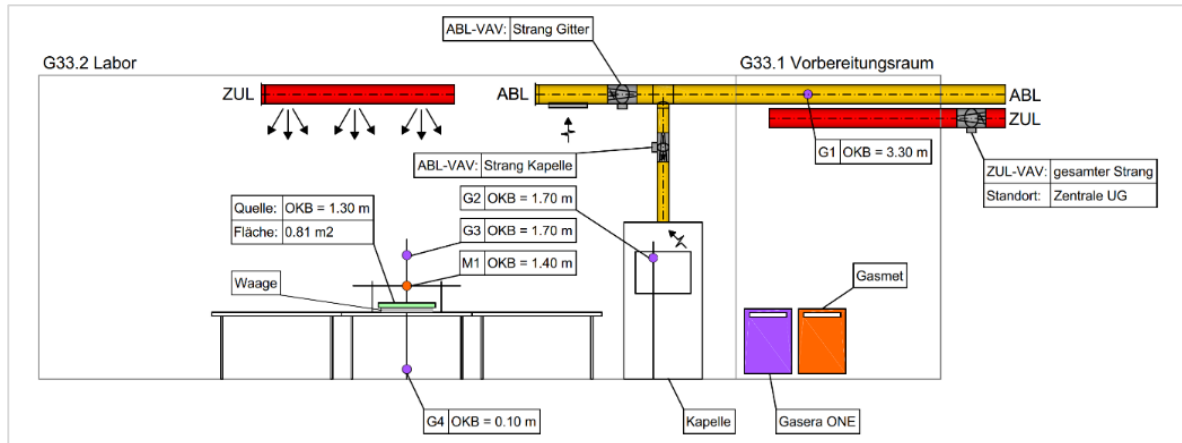


Abb. 2: Schnitt des exemplarischen Versuchsaufbaus

Für die vier Szenarien wurde ein Messsetting verwendet, bei dem lediglich die Art und Position der Quelle variierte. Im Szenario "offene Flasche" befand sich der zu untersuchende Arbeitsstoff in einer Glasflasche mit einer Fläche von 0.00071 m^2 (Flaschenöffnung) in der Mitte des Labors. Für die Szenarien "Ausschüttung Tisch", "Ausschüttung Boden" und "Raumvolumen Betrachtung" wurde die Quelle in zwei Blechbehälter mit einer Fläche von 0.81 m^2 einerseits auf dem Tisch und andererseits auf dem Boden positioniert. Dabei wurden Aceton oder Ethanol über einen Zeitraum von einer Stunde für jedes Szenario freigesetzt.

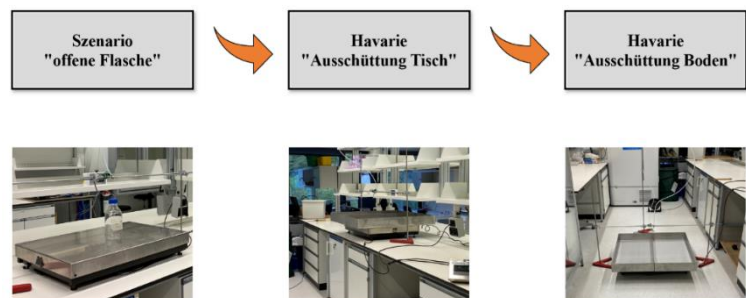


Abb. 3: Szenarien für die Versuche

Messresultate

Die ausgewerteten Messresultate zeigen, dass für die untersuchten Szenarien die neu geforderte minimale Raumlufwechselszahl von drei zu hoch ist. Ein einfacher Raumlufwechsel ist ausreichend, da sich schon bei dieser Raumlufwechselszahl keine gesundheitsgefährdenden Stoffkonzentrationen mehr bilden. Um die Resultate zu validieren und die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse zu gewährleisten, wurden die Messungen mehrfach wiederholt.

Da der MAK-Wert bei allen Szenarien mit einer Messdauer von einer Stunde den Grenzwert nicht überschritten hat, wurde ein Langzeitversuch durchgeführt. Über eine Messdauer von vier Stunden wurde der MAK-Wert kurzzeitig für etwa 50 Minuten überschritten. Es ist jedoch zu beachten, dass der Grenzwert als höchstzulässige Durchschnittskonzentration über eine Arbeitszeit von acht Stunden definiert ist. Im Langzeitversuch mit Aceton und einem 1-fachen Luftwechsel wurde die Durchschnittskonzentration nie überschritten und lag bei etwa 400 ppm.

Diese Untersuchung zeigt, dass selbst bei einer längeren Freisetzung von Arbeitsstoffen aufgrund eines Fehlverhaltens der Nutzer keine gesundheitsgefährdenden Stoffkonzentrationen im Raum entstehen.

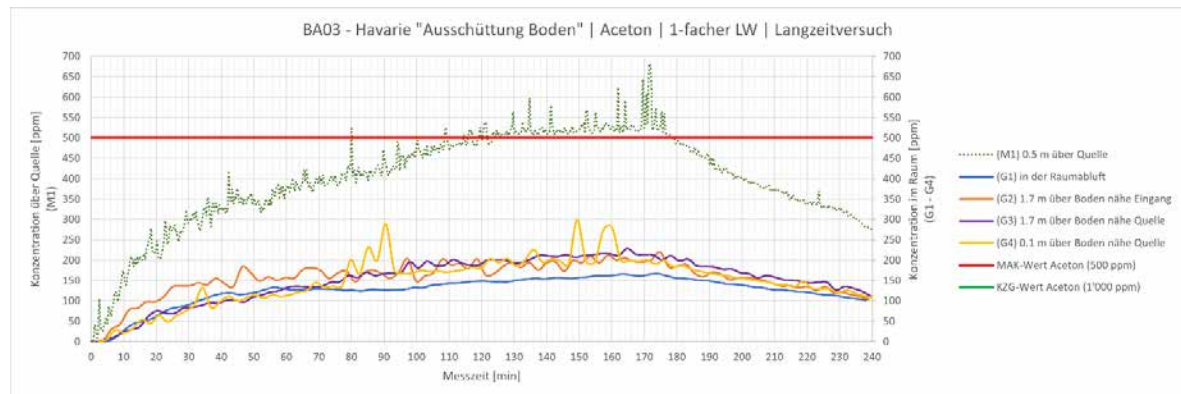


Abb. 4: Versuch BA03 - 1-facher Luftwechsel | Aceton | Langzeitversuch

Die durchgeführten Messungen mit den Arbeitsstoffen Ethanol und Aceton zeigen, dass bei der Verwendung von Chemikalien mit einer Verdunstungszahl grösser als 2.1 (entspricht Aceton) gemäss den getesteten Szenarien keine Gefahr für die Nutzer besteht.

Energieberechnung

Für die Energiebetrachtung wurden drei verschiedene Betriebsprofile mit unterschiedlichen Luftwechselzahlen und Raumhöhen erstellt. Dabei wird das Referenzobjekt ETH-Zentrum betrachtet. Es wird der erforderliche Energiebedarf durch die höheren Raumlüftungszahlen mit dem IST-Zustand und dem Planungswert verglichen. Die Auswertung der Resultate zeigt auf, dass der Fall "EKAS- / ETH-Richtlinie" im Vergleich zu dem "IST-Zustand / ETH HPL" mehr als doppelt so viel Energie für die Lüftungsaufbereitung benötigt. Aufgrund der neu geforderten Raumlüftungszahlen ist insgesamt 140 % mehr thermische und elektrische Energie erforderlich. Dies führt dementsprechend zu einem prozentual gleichen Anstieg der Treibhausgasemissionen und Betriebskosten. In Bezug auf Einfamilienhäuser entspricht bei dieser Betrachtung die Energieerhöhung von 2'100 MWh einem Jahresenergiebedarf von etwa 510 Häusern.

Schlussfolgerung

Zusammenfassend kann die Aussage getroffen werden, dass die erzielten Messresultate zeigen, dass ein einfacher Raumlüftungswert die Sicherheit der Nutzerschaft gewährleistet. Es werden keine kritischen Grenzwerte überschritten und es bilden sich keine gesundheitsgefährdenden Stoffkonzentrationen im Raum. Die Untersuchungen zeigen, dass die Labore mit niedrigeren Luftwechselraten als die in der EKAS Richtlinie vorgeschriebenen minimalen Werte zu betreiben. Die Energieuntersuchung hat gezeigt, dass eine reduzierte Luftwechselrate zu erheblichen Einsparungen bei dem Energiebedarf, bei den Treibhausgasemissionen und den Betriebskosten führt.

Aus diesen Gründen wird empfohlen, sorgfältig mit der Wahl der Luftwechselzahlen für die verschiedenen Betriebsarten umzugehen. Wie sich gezeigt hat, ist die Sicherheit in Laboratorien für die Nutzerschaft gewährleistet, daher bringt eine Erhöhung der Luftmengen keinen Mehrwert. Eine Erhöhung der Luftwechselzahl bringt einen höheren Energieverbrauch mit sich. Die aktuelle Energiekrise zeigt in der heutigen Zeit nochmals deutlich auf, dass mit den Ressourcen sparsam umzugehen ist. Durch eine nicht erforderliche Erhöhung der Luftmengen steigt der Energieverbrauch und die CO₂-Belastung für die Umwelt an.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_08
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Betrachtung von Wasserspeichern mit innenliegenden Wärmeübertragern

Studierende	Oliver Truninger
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig, Leonardo Montali
Experte/-in Auftraggeber	Prof. Dr. Frank Tillenkamp Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Betrachtung von Wasserspeichern mit innenliegenden Wärmeübertragern

Die Anforderungen an die Gebäudetechnik unterliegen dem Wandel der gesellschaftlichen Normen und der wissenschaftlichen Erkenntnisse. Die Warmwasserversorgung hat mit dem Streben nach energiesparenden und nachhaltigen Heizungssystemen neue Betriebsbedingungen und Temperaturanforderungen erfahren. Gleichzeitig besteht eine erhöhte Sensibilität gegenüber der Warmwasserhygiene und Personensicherheit. Moderne Heizungskonzepte erfordern zunehmend tiefe Rücklauftemperaturen, gleichzeitig wurden die Temperaturanforderungen zur Sicherstellung der Warmwasserhygiene in den revidierten Normen strikter. In der vorliegenden Arbeit wird die Vereinbarkeit der Anforderungen an die Warmwasser- und Rücklauftemperaturen bei der Verwendung von Warmwasserspeichern mit innenliegenden Rohrwärmeübertragern untersucht.

Ausgangslage

Der aktuelle Stand der Technik zur Einhaltung der lebensmittelrechtlichen Hygieneanforderungen in Warmwasserspeichern wird mitunter in den SIA Normen 385/1 (2020), 385/2 (2015) und in der SVGW W3/E3 (2020) abgebildet. Die zulässige Temperatur des Brauchwarmwassers beträgt in diesen Normen grundsätzlich $>55^{\circ}\text{C}$, Speicherbereiche mit tieferen Temperaturen dürfen nur in einem beschränkten Teilvolumen vorliegen. Die Anschlussverträge der Fernwärmenetze begrenzen die maximal zulässige Rücklauftemperatur. Der von QM-Fernwärme herausgegebene Leitfadens zur Planung von Fernwärme-Übergabestationen spricht Empfehlungen aus, anhand derer Wasserspeicher mit innenliegenden Wärmeübertragern Rücklauftemperaturen von 45°C einhalten sollen. Die Empfehlungen sind jedoch nur Umschreibungen der Lösungsansätze, die dem Fachplaner keine konkreten Auslegungsgrundlagen bieten.

Vorgehen

Mit einer vereinfachten Modellierung und anschließenden numerischen Simulation in Python werden theoretische Erkenntnisse über das Ladeverhalten von Warmwasserspeichern mit innenliegenden Rohrwärmeübertragern gewonnen. Als Grundlage für das Speichermodell dienen auf dem Markt verfügbare Serienspeicher, welche den Empfehlungen von QM-Fernwärme entsprechen. Der Modellierung wird ein bestehendes Berechnungsmodell zugrunde gelegt, welches an die Anforderungen der Fragestellung angepasst in vier Modellvarianten erweitert wird. Vor der Simulation werden die verwendeten Näherungsgleichungen und Nusselt-Funktionen zur Berechnung der konvektiven Wärmeübergänge in einer Parameterstudie untersucht. Die Modellvarianten verwenden unterschiedliche Berechnungsansätze und Detailierungsgrade. Speicher und Wärmeübertrager werden in 1D Modellen vertikal, in den 2D Modellen vertikal und horizontal unterteilt. Die Berechnungszeitschritte betragen ca. 1 oder 15 Sekunden. Der Wärmedurchgang wird iterativ über die beidseitigen Wärmeübergänge angenähert, welche von den Temperaturen der Oberflächen und Fluide abhängig sind. Die Speicherladung wird in allen Modellvarianten simuliert. Die Ergebnisse werden zur Plausibilisierung mit Angaben aus der Fachliteratur abgeglichen und zur Auswertung der Fragestellung gegenübergestellt.

Erkenntnisse

Mit den Simulationsergebnissen der ausgearbeiteten Modellspeichervarianten liegen Erkenntnisse vor, die eine erste Abschätzung über das Ladeverhalten von Warmwasserspeichern mit innenliegenden Wärmeübertragern ermöglichen. Nach 45 Minuten wird der Grenzwert von 45°C im Rücklauf erreicht, zu dem Zeitpunkt sind 45% des Bereitschaftsvolumen über 55°C erwärmt. Dies entspricht 36% des gesamten Speichervolumens. Nach 75 Minuten Ladezeit erreicht das gesamte Bereitschaftsvolumen die benötigten 55°C. Die Rücklauftemperatur ist zu diesem Zeitpunkt auf 59°C angestiegen, wodurch die Temperaturanforderung des Rücklaufs während 40% der Ladezeit um bis zu 14 K überschritten wird.

Die Interpretation der Simulationsergebnisse hinsichtlich der Normen und der Empfehlungen der Fernwärmebranche deuten darauf hin, dass eine Diskrepanz zwischen den Hygieneanforderungen und den Lösungsansätzen der Fernwärmetechnik besteht. Die vorliegenden Erkenntnisse sind aufgrund der fehlenden Validierung mit reale Messdaten jedoch nicht belastbar und als begründete Vermutung zu betrachten. Zudem vernachlässigen die Modellannahmen physikalische Vorgänge, die einen wesentlichen Einfluss auf den Verlauf der Speicherladung haben dürften. Dies ist in weiterführenden Untersuchungen zu beachten und zu überprüfen.

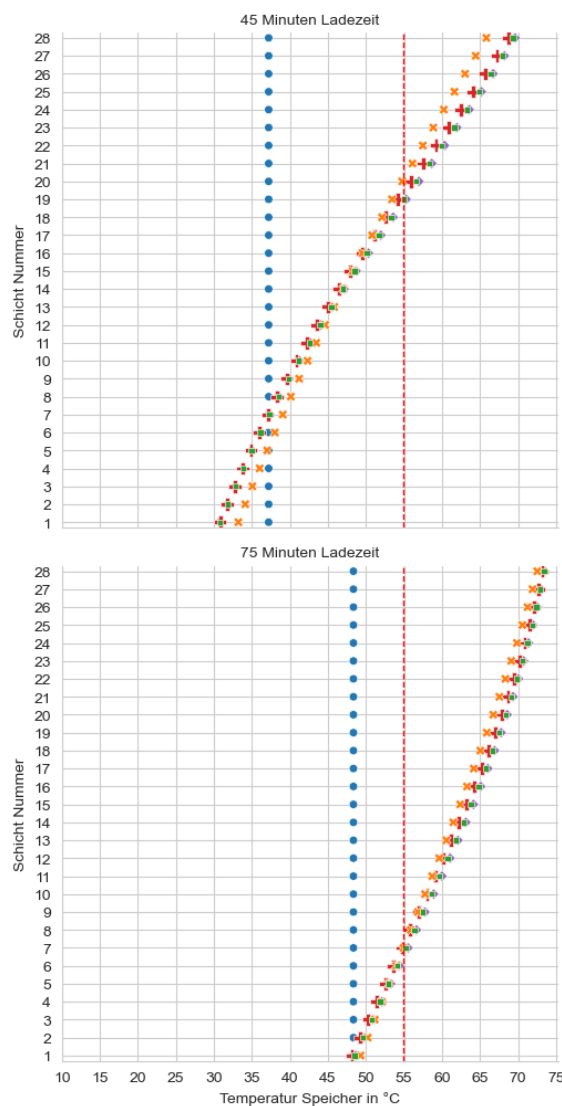


Abbildung 1: Temperaturverlauf Warmwasser der Modellvarianten über die Speicherhöhe

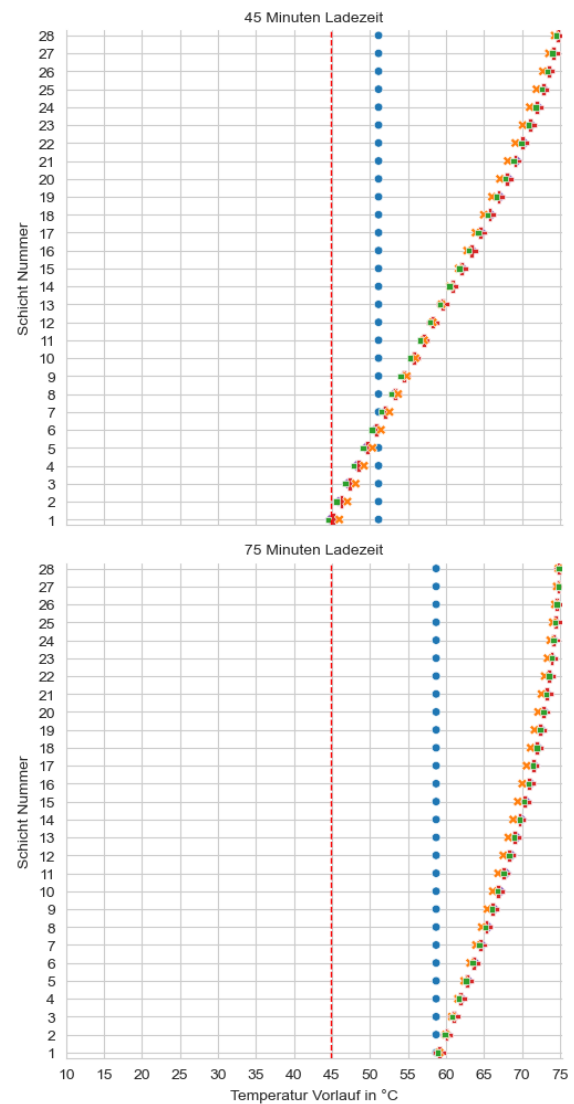


Abbildung 2: Temperaturverlauf Heizungswasser der Modellvarianten über die Speicherhöhe

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_09
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Dekarbonisierung einer alpinen Gemeinde

Studierende	Pascal Bertschi Timo Schärz
Dozierende	Stefan Mennel Willy Villasmil
Experte/-in	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Gemeinde Pontresina)
Abgabedatum	08. Juni 2023

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.

Dekarbonisierung einer alpinen Gemeinde

Gemeinden in alpinen Regionen stehen vor grossen Herausforderungen bei der Frage nach der Dekarbonisierung ihrer Wärmeversorgung. Da der Wärmebedarf aufgrund der tiefen Aussentemperaturen besonders hoch ist und erneuerbare Energiequellen wie Erdreich, Seen, Flüsse oder Biomasse meist nur begrenzt vorhanden sind, stellen sich vielschichtige Problem-bereiche.

Die vorliegende Bachelorarbeit befasst sich mit dem Ziel, Möglichkeiten der Dekarbonisierung der Wärmeversorgung der alpinen Gemeinde Pontresina aufzuzeigen. Dabei werden verschiedene Energiekonzepte mit einem thermischen Netz und einer zentralen Wärmeerzeugung entwickelt.

Bedarf und Potenzial

Die Bedarfsermittlungen zeigten, dass über 90% des Energiebedarfs für die Raumwärme und Warmwasseraufbereitung wird in der Gemeinde über den fossilen Energieträger Heizöl abgedeckt sind. Auch wenn bereits diverse Neubauten und Sanierungen mit einer beträchtlichen Anzahl von dezentralen Erdsonden-Wärmepumpen realisiert wurden, zeigte sich der Bedarf zur Dekarbonisierung in der Gemeinde deutlich. Die Gemeinde Pontresina bietet durch ihre geografische Lage neben der Möglichkeit zur Erdwärmenutzung auch diverse andere potenzielle Energiequellen wie das Grundwasser, die Druckleitung des Elektrizitätswerk Samedan und das Abwasser. Auch der Energieträger Holz erweist sich als wichtiger Bestandteil um die Dekarbonisierung der Gemeinde voranzutreiben und den fossilen Deckungsgrad des Heizöls zu reduzieren.

Energiekonzepte und Wirtschaftlichkeit

Für das Bahnhofsgelände der Gemeinde Pontresina wurden drei mögliche Energiekonzepte erarbeitet, die für eine Quartiersversorgung des Gebietes in Betracht gezogen werden können. Dabei wurden die Investitionskosten, Jahreskosten, ökologische und nachhaltige Aspekte sowie die Wärmege-stehungskosten miteinander verglichen. Für den Vergleich wurde als Referenzvariante eine monovalente Holzschnitzelanlage berücksichtigt.

Übersicht	1 Grundwasser+Aussenluft	2 Druckleitung Kraftwerk	3 Erdsonden+Rückkühler	4 Holzschnitzelanlage								
Investitionskosten	▲ 4'719'000 CHF	● 4'224'000 CHF	◆ 5'942'000 CHF	● 3'740'000 CHF								
Jährliche Kosten *	● 480'000 CHF/a	● 461'000 CHF/a	▲ 533'800 CHF/a	● 496'300 CHF/a								
Primärenergiebedarf (gesamt)	● 3'273'100 kWh/a	● 3'257'600 kWh/a	● 3'263'300 kWh/a	◆ 4'073'600 kWh/a								
Primärenergie nicht erneuerbar	● 35'500 kWh/a	● 34'200 kWh/a	● 35'500 kWh/a	◆ 118'600 kWh/a								
Treibhausgas-Emissionen	● 28'440 kg/a CO _{2e}	● 31'200 kg/a CO _{2e}	● 30'100 kg/a CO _{2e}	◆ 45'630 kg/a CO _{2e}								
Umweltbelastung (UBP)	● 124'890'000 Punkte/a	● 122'150'000 Punkte/a	● 124'570'000 Punkte/a	◆ 446'800'000 Punkte/a								
Gestehungskosten Wärme	15.7 Rp./kWh	15.1 Rp./kWh	17.5 Rp./kWh	16.3 Rp./kWh								
Hauptvorteil	● Wirtschaftlichkeit / Ökologie	● Wirtschaftlichkeit / Ökologie	● Fundierte Energiequelle	● Investitionskosten								
Hauptnachteil	▲ Ungewissheit Grundwasser	▲ Abhängigkeit EW Samedan	◆ Investitionskosten	◆ Ökologie / Energiekosten								
Fazit, Empfehlung	▲ 2. Platz	● 1. Platz	◆ 3. Platz	◆ Referenzvariante								
* Mittelwert über Betrachtungsdauer (25 Jahre) <table style="width:100%; border:none;"> <tr> <td style="width:25%;">● gut / niedrig / erfüllt Zahlenvergleich: < 10/25* % über Minimum</td> <td style="width:25%;">▲ mittel / teilweise erfüllt Zahlenvergleich: 10..20/25..50* % über Minimum</td> <td style="width:25%;">◆ schlecht / hoch / nicht erfüllt Zahlenvergleich: > 20/50* % über Minimum</td> <td style="width:25%;"></td> </tr> <tr> <td colspan="2">* Grenzen bei 10 und 20%: Jährliche Kosten und Primärenergiebedarf (gesamt)</td> <td colspan="2">Grenzen bei 25 und 50%: Alle übrigen Werte</td> </tr> </table>					● gut / niedrig / erfüllt Zahlenvergleich: < 10/25* % über Minimum	▲ mittel / teilweise erfüllt Zahlenvergleich: 10..20/25..50* % über Minimum	◆ schlecht / hoch / nicht erfüllt Zahlenvergleich: > 20/50* % über Minimum		* Grenzen bei 10 und 20%: Jährliche Kosten und Primärenergiebedarf (gesamt)		Grenzen bei 25 und 50%: Alle übrigen Werte	
● gut / niedrig / erfüllt Zahlenvergleich: < 10/25* % über Minimum	▲ mittel / teilweise erfüllt Zahlenvergleich: 10..20/25..50* % über Minimum	◆ schlecht / hoch / nicht erfüllt Zahlenvergleich: > 20/50* % über Minimum										
* Grenzen bei 10 und 20%: Jährliche Kosten und Primärenergiebedarf (gesamt)		Grenzen bei 25 und 50%: Alle übrigen Werte										

Abb. 1: Überblick Ergebnisse Variantenvergleich Wirtschaftlichkeitsberechnung

In der wirtschaftlichen und ökologischen Betrachtung schneidet die Variante 2 (Druckleitung Kraftwerk) am besten ab. Durch die geringen Energie- und Investitionskosten kann die Wärme am kostengünstigsten bereitgestellt werden. Auch hinsichtlich der Nachhaltigkeit und Ökologie steht diese Variante an erster Stelle.

Wärmeverbund Bahnhof

Durch diverse Neubau- und Sanierungsprojekte im Bereich des Bahnhofs von Pontresina und den örtlichen Energiequellen eignet sich das Gebiet um den Bahnhof besonders für den Ausbau eines thermischen Netzes als erste zielführende Massnahme für eine Dekarbonisierung. Damit können die Bestandesbauten sowie die Ersatz- und Neubauprojekte erschlossen werden. Für die Wärmeerzeugung ist eine zentrale Quartierzentrale geplant. Von dieser Zentrale aus werden die einzelnen Gebäude des Gebiets durch Fernwärmeleitungen mit Hochtemperaturwärme von 65°C versorgt. Die Wärmeübergabe erfolgt dabei innerhalb der Gebäude.

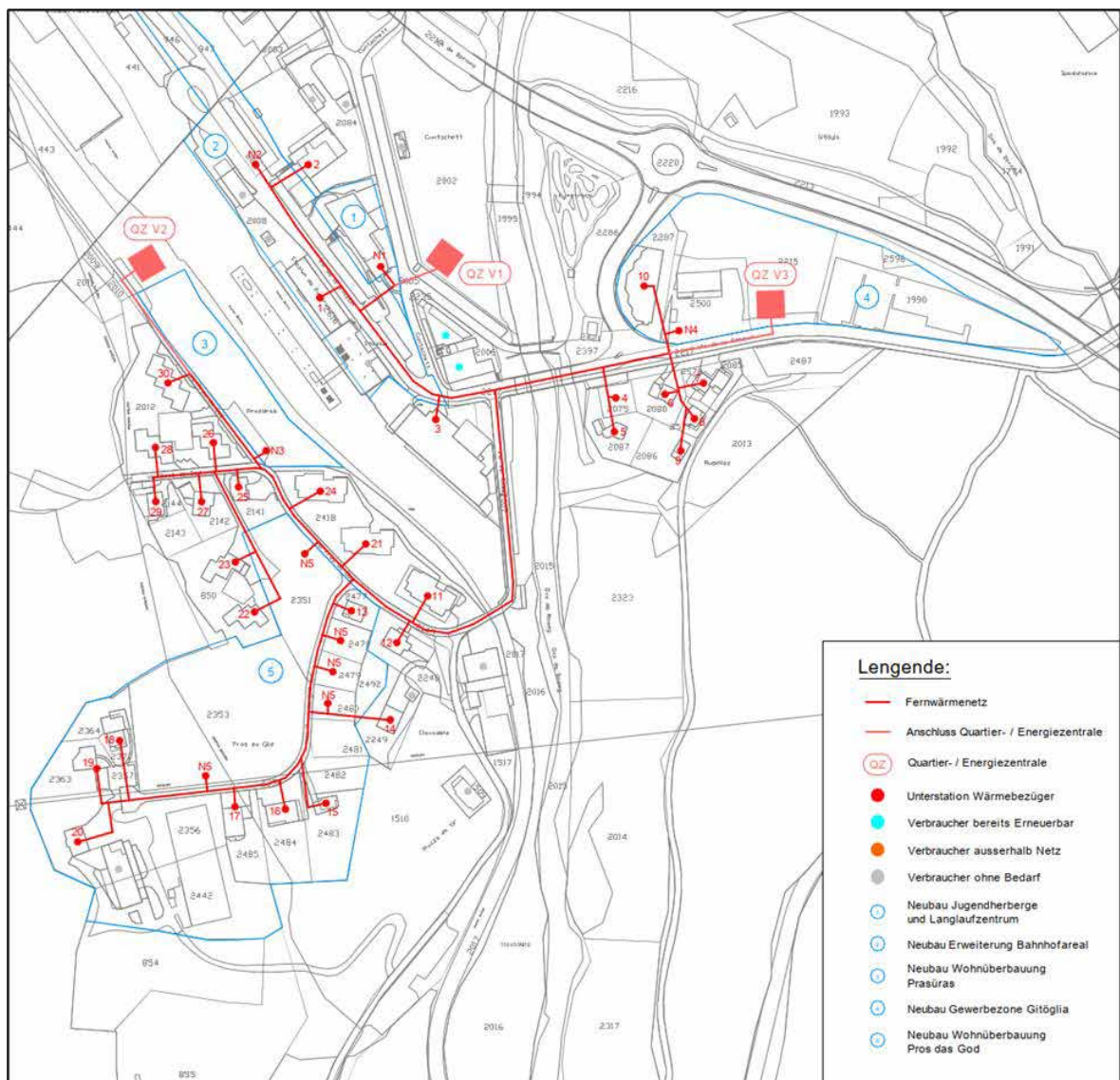


Abb. 2: Übersichtskarte Quartierzentralen Bahnhofsgelände

Ausblick und Fazit

Durch den Ausbau eines thermischen Netzes mit erneuerbarer Wärmeerzeugung im Bahnhofsgelände können die Treibhausgasemissionen der Gemeinde in Bezug auf die Wärmeversorgung um ca. 900 Tonnen CO₂ pro Jahr (8%) gesenkt werden. Dies ist ein erster Schritt in Richtung erneuerbare Energieversorgung der Gemeinde. Damit eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung auf dem ganzen Gemeindegebiet erreicht werden kann, ist auch der Ausbau von thermischen Netzen in den übrigen Gebieten anzustreben. Obwohl im Dorfkern aufgrund der bestehenden Infrastrukturen und der hohen Baudichte eher ungünstige Bedingungen für einen Netzausbau vorliegen, ist es dennoch möglich, einen Wärmeverbund aufgrund der hohen Energiedichte wirtschaftlich umzusetzen. Weiter gilt es anhand gezielter Sanierungsmassnahmen den hohen Energiebedarf der bestehenden Altbauten zu senken, damit eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung überhaupt Sinn macht. Abschliessend lässt sich festhalten, dass es in Pontresina grosses Potenzial und mehrere Möglichkeiten für eine Dekarbonisierung der Wärmeversorgung gibt. Durch den Ausbau von Wärmeverbänden mit erneuerbaren Energiequellen leistet die Gemeinde einen wichtigen Beitrag für eine nachhaltige und klimafreundliche Zukunft und stellt eine Vorbildfunktion für andere alpine Gemeinden dar.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_10
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Wasserressourcenmanagement durch autarke Kreislaufsystem

Studierende Ayko Orode Godwin und Nicolas Leon Sanchez

Dozierende Reto von Euw
Roger Gmünder

Experte/-in Roni Hess

Auftraggeber Hochschule Luzern - Technik & Architektur

Abgabedatum 09. Juni 2023

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.

Wasserressourcenmanagement durch autarke Kreislaufsysteme

In dieser Bachelorarbeit wurde ein Konzept für das Wasserressourcenmanagement für ein bestehendes Schulgelände im Norden Tansanias erstellt. Es präsentiert eine Lösung zur lokalen und dezentralisierten Abwasseraufbereitung und illustriert die Vorteile für die Nutzer. Das Konzept beinhaltet die Nutzung von Regenwasser, die Wiederverwendung von Grauwasser aus den Handwaschbecken und die Nutzung von aufbereitetem Abwasser zur Bewässerung der lokalen Felder.

Die Wasserknappheit nimmt weltweit zu und betrifft viele Regionen, einschliesslich europäischer Länder wie Italien, Frankreich, Portugal und Spanien, die bereits seit einigen Sommern mit diesem Problem kämpfen. Derzeit sind über zwei Milliarden Menschen von Wasserknappheit betroffen. Daher ist ein bewusster Umgang mit Wasser wichtiger denn je, und das dezentrale Wasserressourcenmanagement spielt dabei eine entscheidende Rolle.

Erfassen der Ausgangslage

Das zentrale Ziel dieser Arbeit ist die Entwicklung einer Abwasseraufbereitung für die Schule, die das Wasser lokal aufbereitet und wiederverwendbar macht. Der kontextspezifische Charakter dieses ist dabei von besonderer Bedeutung. Das Schulgelände verfügt über keinen öffentlichen Anschluss an eine Kanalisation, Wasser- oder Stromversorgung. Weiter ist die Materialwahl durch die lokal verfügbaren Ressourcen sowie die erschwerte Erschliessung beschränkt.

Der abgelegene Standort der Schule, der kulturelle Hintergrund der Nutzer und die begrenzten technischen Möglichkeiten vor Ort müssen sorgfältig in die Gestaltung des WRM-Konzepts integriert werden.



Abb. 1: Bauphase des neuen Schulgebäudes (APC Tanzania, 2020)

Die Analyse der Ausgangssituation führte zu wichtigen Erkenntnissen, die die Konzeptentwicklung beeinflussten. Die bestehende WC-Anlage ist kapazitätsmässig an ihren Grenzen angelangt und bedarf daher eines Ersatzes. Die Abwasseraufbereitungsanlage sollte leicht zu warten sein, eine Anforderung, die durch die abgelegene Lage der Schule noch wichtiger wird. Da kulturell bedingt die Reinigung nach dem Stuhlgang mit Wasser erfolgt wird ein wassergeführtes System für die Konzeptfindung favorisiert. Diese sollte, aufgrund des jungen Alters der Schülerinnen und Schüler einfach zu bedienen sein.

Konzeptfindung

Neben den Erkenntnissen aus der Ausgangslage, wurden die möglichen Risiken und Nutzungspotentiale des Abwassermanagements analysiert. So bietet es sich am Standort an, eine Urinseparierung umzusetzen, daraus Dünger herzustellen und die Ernte auf den schuleigenen Feldern zu steigern. Mit dem aufbereiteten Schwarzwasser sollen die Felder des Schulgeländes bewässert werden, was eine pathogene Reduktion von 3-4 Log-Einheiten erfordert. Das Lösungskonzept sollte dabei keine Komponenten mit offenen Wasseroberflächen beinhalten, da besonders für kleine Kinder ein erhöhtes Erkrankungsrisiko bei Kontakt mit unbehandeltem Abwasser besteht.

Lösungsvorschlag Abwassermanagement

Durch die Analyse der Potenziale und Risiken sowie eine Nutzwertanalyse wurden verschiedene Konzeptvarianten erstellt. Diese wurden mit Hilfe einer Online-Datenbank mit bestehenden Anlagen verglichen. Das Konzept, das die effizienteste pathogene Reduktion verspricht, wurde ausgewählt und bildet die Grundlage für den ausgearbeiteten Lösungsvorschlag.

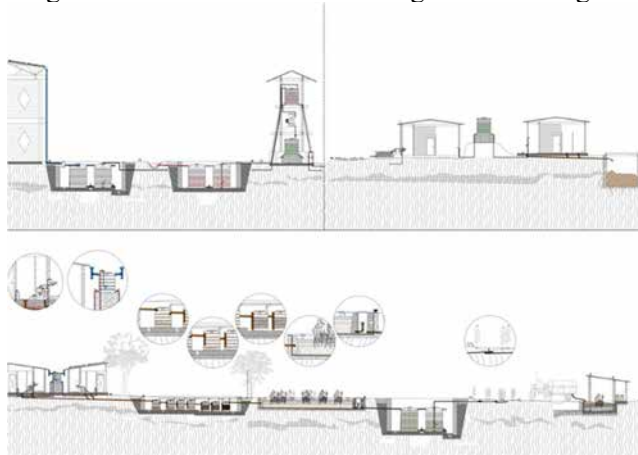


Abb. 2: Konzeptschema WRM (Eigene Darstellung, 2023)

Die finale Konfiguration für die Schwarzwasseraufbereitung besteht aus einem Schlammabscheider, einem anaeroben Tauchwandreaktor, anaeroben Filtern und einem horizontalen Pflanzenfilter. Mit dieser Kombination wird eine uneingeschränkte Bewässerung nach WHO-Standards ermöglicht. Das entwickelte Aufbereitungskonzept ermöglicht die Wiederverwendung von rund 65% des anfallenden Abwassers, was zur Bekämpfung der lokalen Wasserknappheit beiträgt.

Der vorgeschlagene Ansatz beinhaltet auch eine Diversifizierung der Wasserversorgung durch Nutzung von Regenwasser. Mit einem Speichervolumen von 20 m³ kann der Bedarf an Brauchwasser für die Handwaschanlagen ganzjährig gedeckt werden. Zudem wird das Grauwasser aus den Handwaschbecken für die WC-Spülung wiederverwendet, was zu einer jährlichen Wassereinsparung von etwa 13% führt. In einer späteren Phase könnte eine Urinseparierung zur Erzeugung von Trockendünger nachgerüstet werden.

Für die Umsetzung des Konzepts wurde ein Zeitplan erstellt, der eine Bauzeit von 12 Wochen vorsieht. Das dezentrale Abwassermanagement bringt die Verantwortung zurück zum Nutzer, was zur Stärkung des Bewusstseins für den Wert von Wasser beiträgt. Ein Überwachungs- und Wartungsverfahren wurde definiert, einschließlich der Kontrolle des Fluoridgehalts im Trinkwasser und der E. coli-Bakterien und Helmintheneier im aufbereiteten Abwasser.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_11
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Empirische Analyse zur Leistungsabgrenzung eines BIM-Prozesses für das Gebäudeelektroengineering im baukulturellen Schweizer Kontext

Studierende	Pascal Schmid
Dozierende	Frank Thesseling Prof. Dr. Oliver Steiger
Experte/-in	Oliver Blank
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Daniel Rieben, elektroplan Buchs & Grossen AG, Rollstrasse 24, 3714 Frutigen)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Empirische Analyse zur Leistungsabgrenzung eines BIM-Prozesses für das Gebäudeelektroengineering im baukulturellen Schweizer Kontext

Building Information Modeling (BIM) hat sich für das Gebäudeelektroengineering in der Schweiz noch nicht vollständig durchgesetzt. Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist einerseits die heutigen Hemmnisse für BIM-Projekte und die Schnittstellen zu anderen Stakeholdern zu analysieren. Andererseits soll der Elektroplanungsprozess des Industriepartner durch die BIM-Methode optimiert und eine sinnvolle Leistungsabgrenzung erarbeitet werden.

Die Digitalisierung bietet der Bau- und Immobilienbranche durch den Einbezug von neuen Technologien und der BIM-Methode diverse Möglichkeiten, um die Effizienz zu steigern. Die Grundlage dafür bilden digitale Bauwerksmodelle, die das Gebäude in 3D darstellen und als Informationsdatenbank dienen.

Grundlagen zum baukulturellen Schweizer Kontext

Die Digitalisierung der Bau- und Immobilienwirtschaft wird in der Schweiz massgeblich von Bauen Digital Schweiz geprägt, welche diverse Positionspapiere und Anwendungshilfen zur Verfügung stellt sowie das BIM-Abwicklungsmodell beschreibt (vgl. Abb. 1). Die Bauplanung ist stark durch den Schweizerischen Ingenieur- und Architektenverein (SIA) geprägt, welcher die Grundlagen des Planungsprozesses für die gesamte Baubranche anhand von Normen erarbeitet. Zusätzlich sind mit den Branchenverbänden EIT.swiss und swissgee weitere Stakeholder involviert, welche die Interessen des Gebäudeelektroengineerings vertreten und diverse Hilfsmittel für die Mitglieder ausarbeiten. Für das Gebäudeelektroengineering in BIM-Projekten hat jedoch noch keiner dieser Stakeholder eine klare Leistungsabgrenzung definiert.

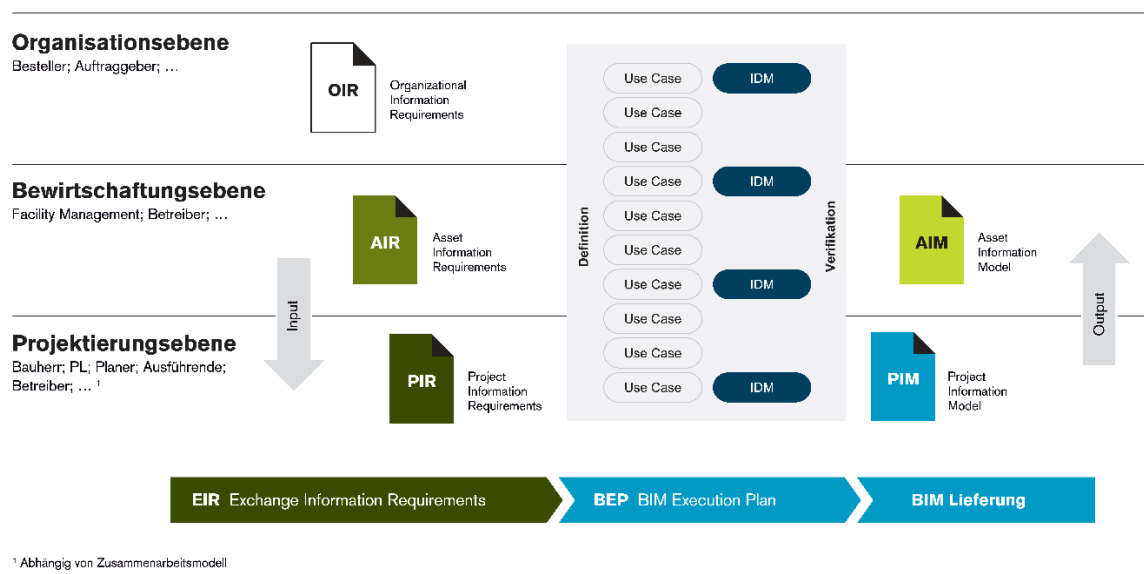


Abb. 1: Ebenen des BIM-Abwicklungsmodells gemäss Bauen Digital Schweiz

Nr. 11 Empirische Analyse zur Leistungsabgrenzung eines BIM-Prozesses für das Gebäudeelektroengineering im baukulturellen Schweizer Kontext**Vorgehen**

Zusammen mit dem Industriepartner wurde der aktuelle Elektroplanungsprozess analysiert. Darauf basierend wurden die Hemmnisse und der Mehrwert von BIM eruiert. Zudem wurden Vorschläge zur Leistungsabgrenzung des Gebäudeelektroengineerings in BIM-Projekten erarbeitet. Die Erkenntnisse des Industriepartners wurden anhand einer Umfrage mit den Mitgliedern von swissgee verifiziert.

Ergebnisse

Die quantitative Auswertung der Umfrage zeigt, dass ein Mehrwert entsteht, wenn die BIM-Methode von allen Projektbeteiligten angewendet wird. Jedoch wird zurzeit der Grossteil der Gebäudeelektroengineering-Projekte ohne die BIM-Methode geplant. Das grösste Hemmnis für BIM-Projekte liegt im fehlenden Knowhow der involvierten Stakeholder. Zudem variieren die Meinungen zur Definition der BIM-Leistungsabgrenzung des Gebäudeelektroengineerings stark. Durch BIM verändern sich die erforderlichen Leistungen und damit auch der Planungsaufwand in den einzelnen Projektphasen. Um den Elektroplanungsprozess in BIM-Projekten effizient zu gestalten, muss der Zeitpunkt der Entscheide und Projektgrundlagen des Auftraggebers definiert werden. Für eine Qualitätssteigerung des Gebäudeelektroengineerings ist zudem die Optimierung der Schnittstellen zu den anderen Stakeholdern notwendig.

BIM-Anwendungsfälle

Um die Leistungsabgrenzung des Gebäudeelektroengineerings klar zu definieren, wurden diverse BIM-Anwendungsfälle erarbeitet. Mit diesen Anwendungsfällen wird eine klare Leistungsabgrenzung für das Gebäudeelektroengineering geschaffen. Wichtig ist, dass diese BIM-Anwendungsfälle immer auf die Projektziele abgestimmt werden.

Elektroplanungsprozess für BIM-Projekte

Der Elektroplanungsprozess orientiert sich anhand der Projektphasen und Leistungen der SIA-Norm 108. Durch den Einsatz der BIM-Methode ergeben sich für jede Projektphase neue Vorteile und Herausforderungen. Um den Elektroplanungsprozess für BIM-Projekte zu optimieren, wurden zusammen mit dem Industriepartner die Vorgehensänderungen bei BIM-Projekten definiert. Damit die Effizienz des Gebäudeelektroengineerings gesteigert werden kann, müssen die Leistungen der anderen Stakeholder für die einzelnen Projektphasen definiert werden. Der Auftraggeber muss dabei frühzeitig die Anwendungsfälle, Konzepte und Modelle bestätigen. Mit dem Planungsteam muss der Zeitpunkt für die Zwischenstände der BIM-Modelle definiert werden. Der überarbeitete Elektroplanungsprozess des Industriepartners dient als Grundlage für die zukünftigen Projekte und kann auf die individuellen Projektanforderungen angepasst werden.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_12
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Einfluss des steigenden Homeoffice Trends auf HLK-Anlagen in neuen wie bestehenden Bürogebäuden anhand einer Analyse sowie einer energetischen Betriebsoptimierung am Referenzgebäude

Studierende	Ermin Merdanovic Malik Mostefai
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Leonardo Montali
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Herr Tobias Eckert, Gähler und Partner AG, Sonnenbergstrasse1, 5408 Ennetbaden
Abgabedatum	09. Juni 2023

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

Einfluss des steigenden Homeoffice Trends auf HLK-Anlagen in neuen wie bestehenden Bürogebäuden anhand einer Analyse sowie einer energetischen Betriebsoptimierung am Referenzgebäude

In den letzten Jahren hat sich der Homeoffice-Trend infolge der Corona-Pandemie rasch in allen Bereichen der modernen Arbeitswelt ausgebreitet. Um den neuen Anforderungen an flexibles Arbeiten gerecht zu werden, bieten immer mehr Unternehmen Homeoffice-Möglichkeiten an. Dieser Homeoffice-Trend und seine Beliebtheit bei den Arbeitnehmern wurde schon mehrfach untersucht, jedoch blieb die Gebäudetechnik der Büroräume und das daraus resultierende Raumklima bisher weitgehend unberücksichtigt.

Zielsetzung

Hauptziel ist es, den Einfluss des Homeoffice-Trends und des daraus resultierenden Nutzerprofils auf die Behaglichkeit in Büroräumen zu untersuchen. Dabei wird analysiert, wie die Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage an die neuen Bedürfnisse angepasst und damit der jährliche Energieverbrauch reduziert werden kann. Die Analysen werden am Bürogebäude des Industriepartners Gähler und Partner AG (GPAG) durchgeführt.

Methodik

Es wurden verschiedene Methoden verwendet, um das Ziel zu erreichen. Zu Beginn wird eine grundlegende Literaturrecherche zum Thema Homeoffice (HO) und Behaglichkeit durchgeführt. Anhand einer Umfrage im Referenzgebäude wird das empfundene Raumklima und das Nutzerverhalten untersucht. Zusätzlich konnten Referenzräume für die Messungen mittels unterschiedlicher Parameter definiert werden. Die Referenzräume wurden in Büotypen unterteilt, um eine Vergleichbarkeit zu erhalten. In den Referenzräumen werden Luftqualitäts- und Volumenstrommessungen ausgeführt, um einen Überblick der Behaglichkeit zu erhalten. Basierend auf diesen Messungen werden verschiedene Simulationen für relevante Bürotypen im Referenzgebäude durchgeführt, um den Einfluss des Homeoffice-Trends auf die Luftqualität zu analysieren. Es wurden vier Simulationsszenarien erarbeitet, um den Einfluss des Homeoffice-Trends zu ermitteln. Die ersten beiden Szenarien basieren auf der SIA MB 2024:2021. Zum einen mit dem in der Norm definierten Personenprofil und zum anderen mit dem gleichen Profil inklusive HO-Abwesenheiten. Die letzten beiden Szenarien basieren auf den Grundlagen der GPAG vor und nach der Pandemie. Mit diesen beiden Szenarien wird der Einfluss der HO-Abwesenheiten und der neuen verdichteten Personenbelegung auf die Luftqualität im Referenzgebäude untersucht. In Abb. 1 ist ein Beispiel für die Personenverteilung im Zweierbüro für das Szenario 4 dargestellt, das die aktuelle Situation widerspiegelt.



Abb. 1: Personenverteilung Zweierbüro Szenario 4

BAT_G_23_12 Einfluss des steigenden Homeoffice Trends auf HLK-Anlagen in neuen wie bestehenden Bürogebäuden anhand einer Analyse sowie einer energetischen Betriebsoptimierung am Referenzgebäude**Trends und Analyse**

Die Umfragen zeigen, dass in der GPAG der Freitag der beliebteste HO-Tag ist, gefolgt von Mittwoch, Montag, Dienstag und Donnerstag. Wird zusätzlich die allgemeine Abwesenheit berücksichtigt, weist der Donnerstag die höchste Personenpräsenz auf, gefolgt von Dienstag, Montag, Mittwoch und Freitag. Die Umfrage zur Behaglichkeit zeigt, dass die Unzufriedenheit mit der Raumtemperatur und der Luftqualität unter 11 % liegt.

Die Messungen haben gezeigt, dass die Volumenströme in den Referenzräumen, von denen des Strangschemas abweichen. Um die Realität in den Simulationen abbilden zu können, werden die gemessenen Volumenströme als Basiswerte verwendet. Der Grenzwert von 1000 ppm kann in allen Bürotypen mit Ausnahme des Zweierbüros eingehalten werden. Die Messungen zeigen, dass die Temperaturen in allen Bürotypen zwischen 22,5°C und 24°C schwanken. Die relative Raumluftfeuchte schwankt in allen Bürotypen zwischen 45 % r.F. und 55 % r.F..

Generell kann festgestellt werden, dass Abwesenheiten aller Art, ein hoher Luftwechsel und ein grosses Raumvolumen die Luftqualität in Büroräumen positiv beeinflussen. Eine hohe Personenbelegungsdichte, ein geringer Luftaustausch, ein geringes Raumvolumen und eine ungleichmässige HO-Verteilung über die Woche wirken sich negativ auf die Luftqualität aus.

Der Vergleich von Szenario 3 (S3) mit (S4) zeigt, dass im Referenzgebäude die Ausprägung der genannten Faktoren je nach Bürotyp unterschiedlich ist. In den Bürotypen Grossraumbüro, Gruppenbüro und Zweierbüro dominiert der Faktor «Verdichtung der Arbeitsplätze», was zu einer Verschlechterung der Luftqualität führt. In Zweierbüros wurde der Grenzwert von 1000 ppm überschritten, da die CO₂-Konzentration von etwa 850 ppm auf maximal 1100 ppm anstieg. Der Grund für den starken Anstieg der CO₂-Konzentration im Zweierbüro ist die sehr geringe Ausprägung des Faktors «unvorhersehbare externe Abwesenheit». Im Einzelbüro ist der Faktor «Verdichtung der Arbeitsplätze» nicht vorhanden, daher hat sich hier die Luftqualität von etwa 800 ppm auf 770 ppm verbessert.

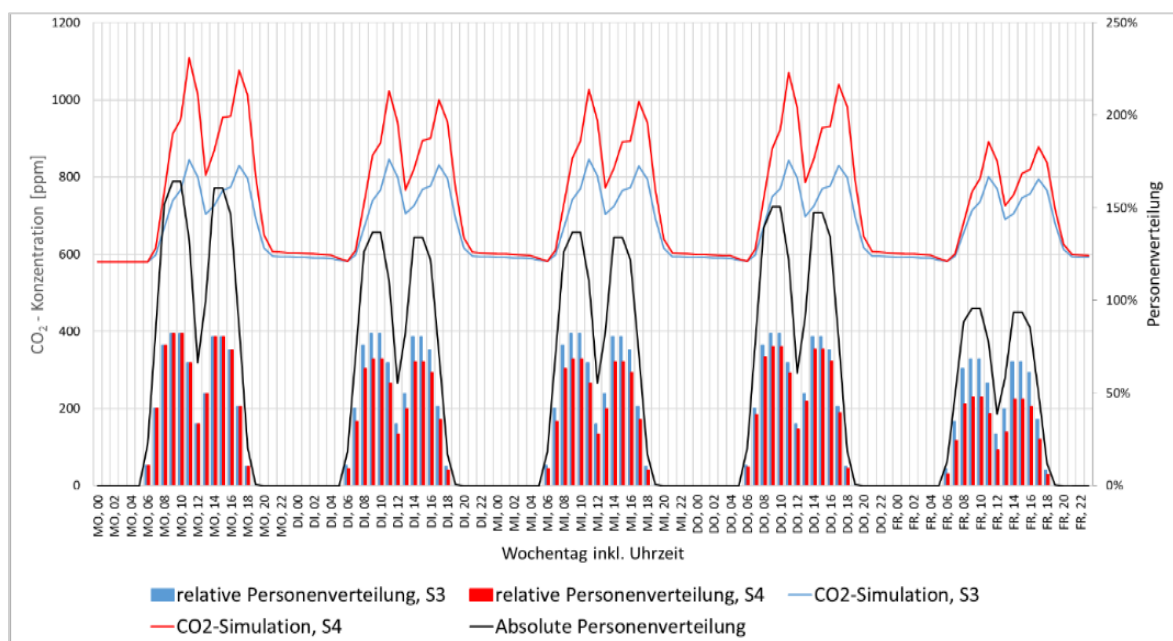


Abb. 2: Vergleich Simulation Zweierbüro Szenario 3 und 4

BAT_G_23_12 Einfluss des steigenden Homeoffice Trends auf HLK-Anlagen in neuen wie bestehenden Bürogebäuden anhand einer Analyse sowie einer energetischen Betriebsoptimierung am Referenzgebäude

Die Vergleiche von Szenario 1 (S1) mit Szenario 2 (S2) zeigen die Einflüsse des HO-Trends auf Basis der SIA MB 2024:2021. Diese Vergleiche zeigen, dass in der Anpassung der Personenprofile in der SIA MB 2024:2021 je nach Bürotyp Potenzial besteht. Konkret wäre zu prüfen, ob die Tagesprofile zu Wochenprofilen erweitert und täglich variierende Reduktionsfaktoren definiert werden können.

Energetische Betriebsoptimierung

Im Rahmen der Arbeit wurden verschiedene energetische Betriebsoptimierungsmassnahmen eruiert. Um den Einfluss der Abwesenheiten und das Einsparpotential der Förderenergie aufzuzeigen, wurde die bedarfsgerechte Volumenstromanpassung durch zwei Varianten genauer betrachtet. Ziel ist es, die Lüftungsanlage dem neuen Bedarf anzugleichen. Konkret soll die CO₂-Konzentration nicht weit unter 1000 ppm liegen, da dieser Wert als Grenz- sowie Planungswert fungierte.

In beiden Varianten wurde eine Wochenendabstellung der Lüftungsanlage vorgesehen, welche eine wöchentliche Energieeinsparung von 29 % bewirkt. Bei der ersten Variante wurde keine Desksharing-Lösung betrachtet und die Volumenströme auf den aktuellen Bedarf angepasst. Dabei kann eine weitere wöchentliche Energieersparung von 15 % bewirkt werden. In der zweiten Variante wurde nur in Zweierbüros eine Desksharing-Lösung betrachtet, da hier die Grenzwerte überschritten wurden. Die Volumenströme wurden in den restlichen Räumen wie in der Variante 1 angepasst. Mit der zweiten Variante lässt sich 28 % der aktuellen Förderenergie einsparen.

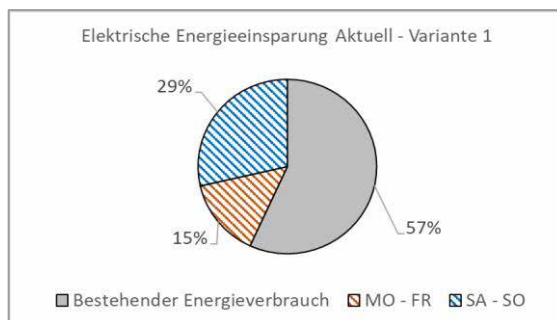


Abb. 3: Ersparnis elektrische Energie V1

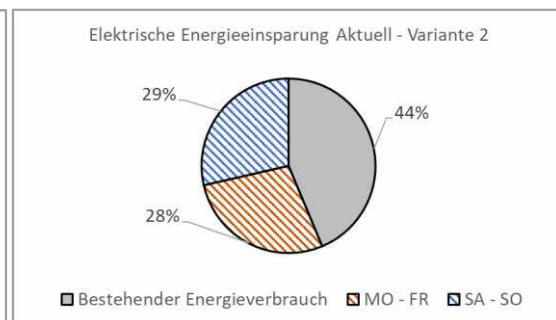


Abb. 4: Ersparnis elektrische Energie V2

In Abb. 3 und Abb. 4 sind die Verhältnisse des aktuellen Energieverbrauchs zu dem Energieverbrauch der beiden Varianten ersichtlich. Die Diagramme zeigen, welcher Anteil der Ersparnis auf das Konto der Wochenendabstellung der Lüftungsanlage (SA – SO) und welcher auf das Konto der Luftmengenanpassungen als Folge des HO-Trends in den Büros geht (MO – FR).

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_13
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Studierende	Matthias Zürcher, Pascal Ott
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Andreas Odermatt
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

Hinweis: Dieser Fachartikel ist Teil der Bachelor-Thesis. Er wurde vom erstbetreuenden Dozenten aus Gründen der Vertraulichkeit geringfügig gekürzt. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

13 Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Luft-Wasser-Wärmepumpen sind energieeffiziente umweltschonende Wärmeerzeuger. Neben den zahlreichen Vorteilen gegenüber anderen Wärmeerzeugern, führen die Schallemissionen jedoch immer wieder zu Problemen. Standartmässig wird für die Erfüllung des Schallschutzes die rechnerische Methode angewendet. Diese Methode repräsentiert jedoch nur bedingt die örtlichen Gegebenheiten.

Diese Bachelor-Thesis befasst sich im Wesentlichen mit drei Schwerpunkten. Zuerst wird der Zusammenhang zwischen der Schallemission und der Energieeffizienz untersucht. Des Weiteren geht die Arbeit der Frage nach, ob es möglich ist, den Schallschutznachweis mit einem Lautsprecher zu erbringen. Die Messungen mit einem nachgebildeten Geräusch boten dabei auch die Möglichkeit, den akustischen Einfluss der Wärmepumpe an verschiedenen Standorten zu untersuchen. Der letzte Schwerpunkt befasst sich mit dem Nachtmodus und untersucht das akustische und energetische Verhalten. Beim ausgemessenen Prüfling wird dieser als Silent-Mode bezeichnet.

Methodisches Vorgehen

Um mit der Thematik und insbesondere mit der Laboreinrichtung vertraut zu werden, konnte bereits im Herbstsemester 2022 im Rahmen des Moduls «Experimentelles Arbeiten» mit den ersten Messungen gestartet werden. Es wurde die Aufgabe gefasst, einen Geräuschemulator zu entwickeln, der das Geräusch einer Luft-Wasser-Wärmepumpe nachbildet. Für Labormessungen an der der HSLU wurde eine aussenaufgestellte L-W-WP zur Verfügung gestellt. Die Messungen wurden dabei im dafür vorgesehenen Hallraum durchgeführt.

Am Ende des Moduls lag vorerst noch kein Geräuschemulator vor. Es bestand jedoch eine solide Grundlage, auf welcher weiter aufgebaut werden konnte. Basierend auf den Erkenntnissen des Moduls «Experimentelles Arbeiten», konnten weitere Ideen gesammelt und die Aufgabenstellung für die Bachelor-Thesis formuliert werden.

In der ersten Teilphase der Bachelor-Thesis ging es darum, genaue und umfangreiche Messungen im Hallraum und auf dem Feld durchzuführen. Im Hallraum wurden energetische und akustische Messungen bei diversen Betriebspunkten durchgeführt. Zusätzlich wurden Tonaufnahmen von der L-W-WP für die spätere Entwicklung des Emulators generiert. Auf dem Feld wurde der Schalldruckpegel bei den Betriebspunkten 120 rps, 50 rps und dem Silent-Mode ausgemessen. Der Betriebspunkt 120 rps entspricht der vollen Leistung der Wärmepumpe, der Betriebsmodus 50 rps ist der tiefst mögliche einstellbare Betriebspunkt und der Silent-Mode ist der leiseste Betriebspunkt.

13 Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Zusätzliche wurden diverse technische Daten, beispielsweise die Kompressor-Drehzahl, der Wärmepumpe während 1.5 Wochen im März aufgezeichnet und ausgewertet.

In einer zweiten Teilphase wurde auf der Grundlage von Teil I das emulierte Geräusch generiert. Mit diesem konnte das Geräusch der Wärmepumpe mit einem Lautsprecher abgespielt werden. Dabei wurde das aufgenommene Geräusch so lange mit einem Equalizer verändert, bis es dem Geräusch der Wärmepumpe sehr ähnlich war. Die Abbildung 1 zeigt den Aufbau des Emulators. Nach einer erfolgreicher Testmessung auf dem Feld in Horw, konnten darauffolgend Messungen in Beromünster LU, Pfäffikon ZH und Illnau ZH mit dem Emulator durchgeführt werden. Die drei Standorte unterscheiden sich sowohl in ihrer Raumgeometrie als auch im Standort des jeweiligen Referenzraums. Ausserdem waren der Grundschallpegels und die Platzierung des Emulators jeweils unterschiedlich. Der Emulator bot die Möglichkeit, das Geräusch der Wärmepumpe lauter abzuspielen und dadurch den Einfluss des Grundschallpegels auf das Messresultat zu minimieren. Anhand der Messungen konnte der effektive Einfluss der Wärmepumpe auf die Geräuschkulisse in einem Raum bestimmt werden.

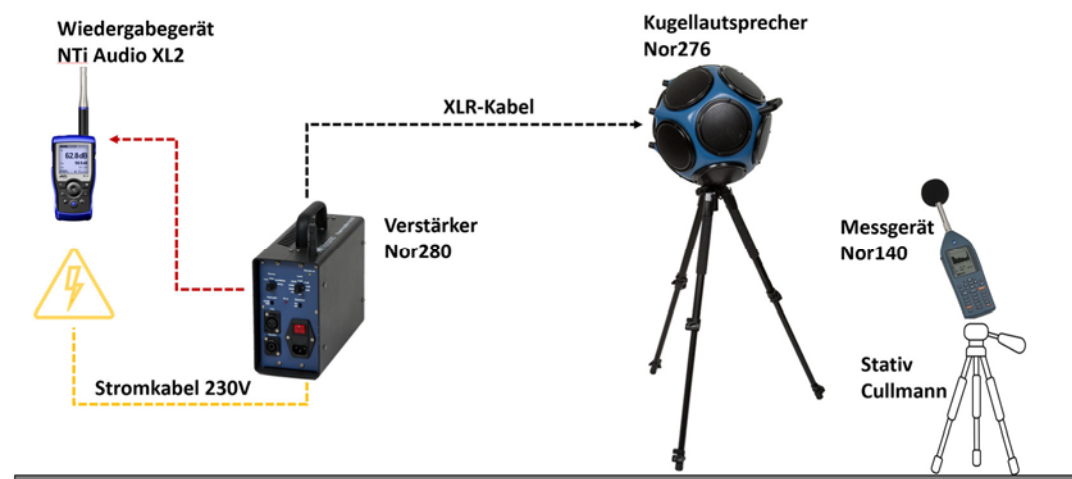


Abbildung 1: Aufbau Emulator

In der dritten und letzten Teilphase wurden die gesetzlichen Bestimmungen hinterfragt. Dabei wurden die Messungen mit dem Emulator mit den berechneten Werten der Web-Applikation der Fachvereinigung Wärmepumpen Schweiz (FWS) verglichen.

Des Weiteren wurde der Silent-Mode untersucht. Die Lärmschutzverordnung (LSV) gibt für die Nacht einen strengeren Grenzwert an. Um diesen einzuhalten, wird bei der untersuchten Wärmepumpe der Silent-Mode eingeschaltet. Die akustischen und energetischen Auswirkungen wurden anhand der Wärmepumpe im Feld, den Messungen im Labor und den Messungen mit dem Emulator analysiert.

13 Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Ergebnisse

Die Messungen im Hallraum zeigten, dass die Schallleistung steigt, wenn die Kompressor Umdrehungen (rps) der Wärmepumpe steigen. Die Energieeffizienz wiederum sinkt bei steigenden rps. Bevor der Emulator für die Messungen genutzt wurde, wurde er mit der Wärmepumpe im Feld validiert. Dabei zeigte sich, dass das emulierte Geräusch beim Betriebspunkt mit voller Leistung sehr ähnlich zum Geräusch der Wärmepumpe ist. Beim Betriebspunkt Silent-Mode gibt es allerdings einige Abweichungen zu den Messungen mit der Wärmepumpe. Die Ergebnisse mit dem Silent-Mode sind daher mit Vorsicht zu betrachten.

Die Messungen mit dem Emulator zeigen, dass neben dem Abstand auch die Topologie einen entscheidenden Einfluss hat. Dies ist in der Abbildung 2 klar erkennbar. Denn die Distanz zwischen dem Messpunkt und dem Emulator war in Illnau ZH deutlich kürzer als bei den Messungen in Pfäffikon ZH. Trotzdem war der Schallpegel nicht wesentlich höher und bei der Frequenz 125 Hz sogar tiefer. Der Grund dafür ist höchstwahrscheinlich die Topologie in Illnau ZH. Denn der Emulator war in einem «Korridor» aufgestellt und gegenüber dem Messpunkt befand sich ein bepflanzter Hang. Die Messungen in der Abbildung 2 und Abbildung 3, die mit «+30 dB korrigiert» gekennzeichnet sind, wurden mit dem verstärkten Geräusch gemessen. Das heisst, dass das Geräusch mit dem Verstärker um 30 dB erhöht und bei der anschliessenden Analyse wieder 30 dB abgezogen wurden.

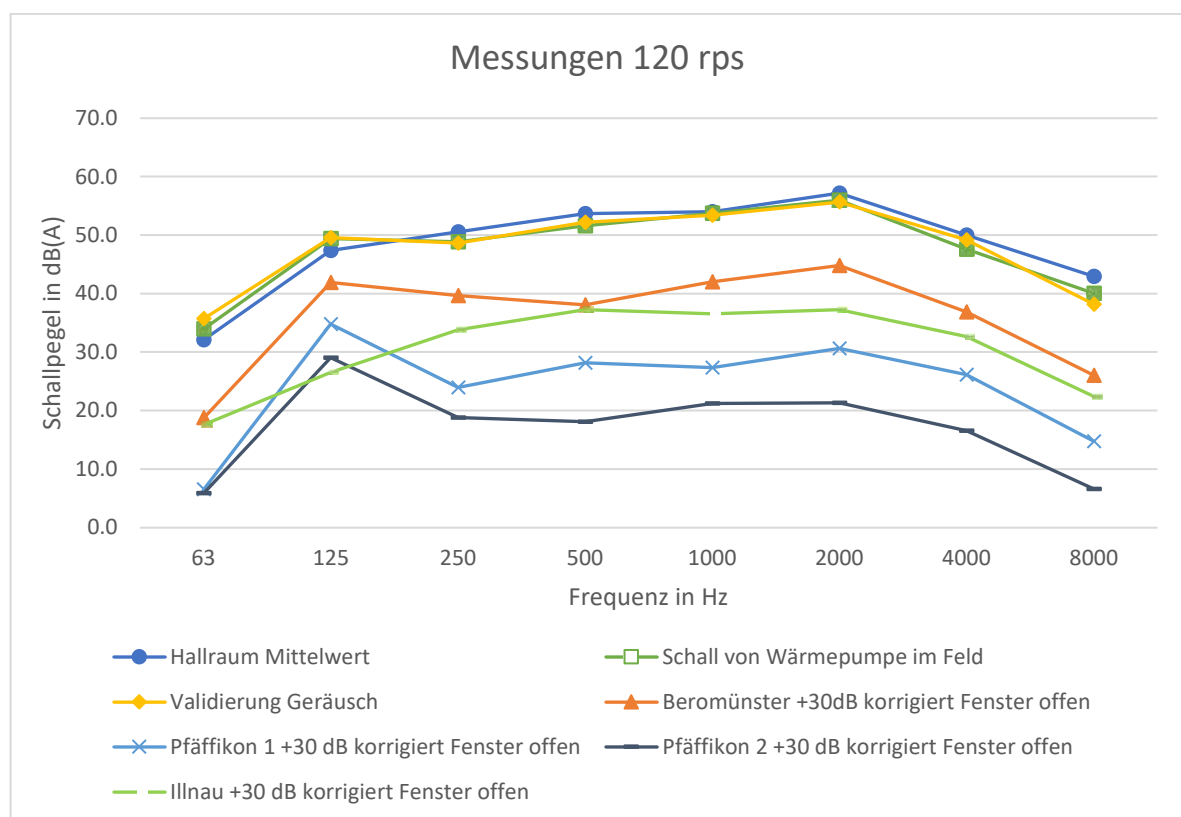


Abbildung 2: Messungen bei 120 rps im Hallraum und auf dem Feld

13 Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Des Weiteren zeigen die Messungen mit dem Emulator, dass bei der untersuchten Wärmepumpe besonders die Frequenzen 100 Hz und 125 Hz kritisch sind. Denn bei diesen Frequenzen ist das Geräusch der Wärmepumpe lauter als der Grundschallpegel. Das zeigt die Abbildung 3, welche die Messergebnisse bei offenem Fenster in Pfäffikon ZH darstellt. Dies ist relevant, da diese Frequenzen somit auch mit blossen Ohr hörbar waren. Die anderen Frequenzen waren mit blossen Ohr nicht hörbar. Die Abbildung 3 zeigt ausserdem, dass auch der Silent-Mode in der Frequenz 100 Hz über dem Grundschallpegel liegt und somit hörbar ist. Allerdings ist zu beachten, dass das emulierte Geräusch in dieser Frequenz vom Geräusch der Wärmepumpe abweicht und die Frequenz in der Realität tiefer wäre.

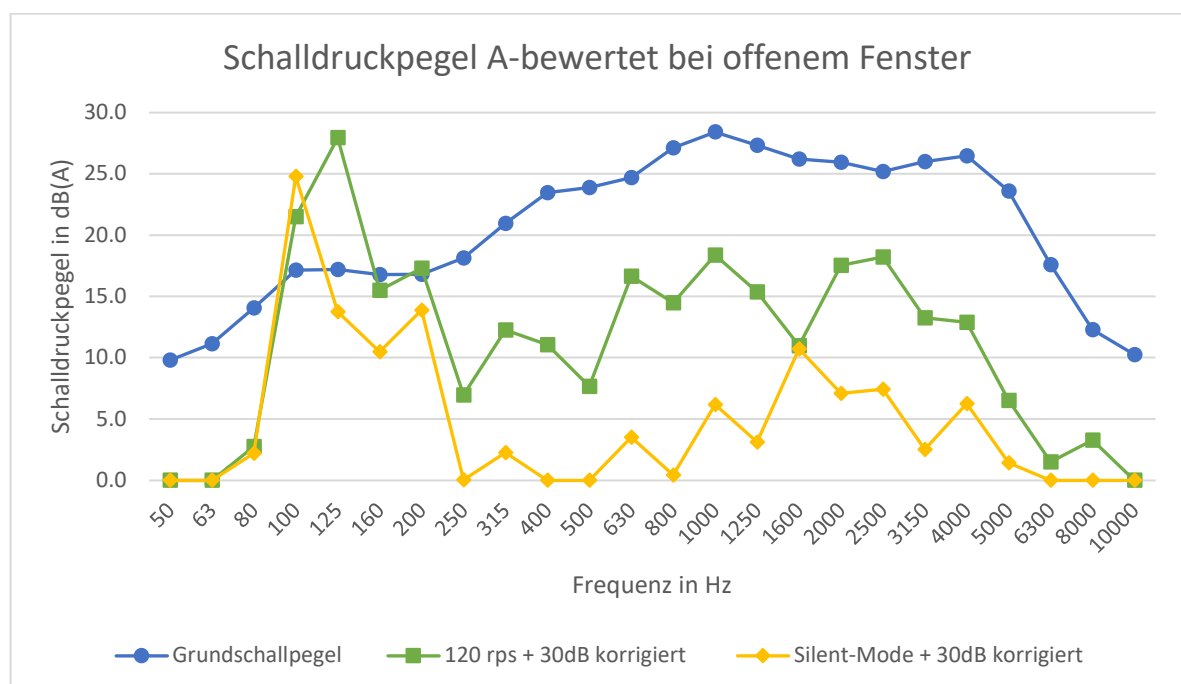


Abbildung 3: Schalldruckpegel A-bewertet bei offenem Fenster in Pfäffikon ZH

Aus der Analyse des Silent-Modes ist zu entnehmen, dass dieser einen negativen Einfluss auf die Energieeffizienz hat. Denn während der Silent-Mode eingeschaltet ist, ist der COP tiefer als wenn er bei gleicher Leistung nicht eingeschaltet wäre. Des Weiteren muss die Wärmepumpe die Energie, die aufgrund des Silent-Modes fehlte, am darauffolgenden Morgen kompensieren.

Die Auswertung der energetischen Daten ergab, dass die Wärmepumpe in diesem Fall auf maximale Leistung schaltet. Daraus resultiert, dass der COP am nächsten Morgen im Vergleich zum Betrieb ohne Silent-Mode ebenfalls schlechter ist. Zusätzlich ist die Schalleistung bei voller Leistung höher. Das heisst, wenn am Morgen die Fenster zum Lüften geöffnet werden, sind die Schallemissionen am höchsten.

13 Luft-Wasser-Wärmepumpe: Nachbildung der Geräusche mit Lautsprechern und Effizienzbetrachtung versus Schallreduktion

Diskussion

Die Vergleiche der Hallraummessungen mit den Feldmessungen und den Emulationsmessungen zeigen, dass das Geräusch einer Wärmepumpe mit einem Emulator nachgebildet werden kann. Der Schallschutznachweis nach der Web-Applikation der FWS beachtet für die Berechnung die Schallleistung der Wärmepumpe den Abstand und den Aufstellungsort der Wärmepumpe. Die Messungen mit dem Emulator zeigten allerdings, dass auch die Topologie der Umgebung einen entscheidenden Einfluss auf den Schallpegel hat. Somit könnte die Verwendung eines Emulators für den Schallschutznachweis an speziellen Topologien sinnvoll sein. Auch würde der Emulator die Möglichkeit bieten, verschiedene Standorte beim Gebäude zu testen. Dafür wäre es allerdings sinnvoll, eine einfachere Variante für die Emulation zu entwickeln. Denn die gewählte Methode ist aufwendig und somit in den allermeisten Fällen nicht verhältnismässig.

Des Weiteren wurde festgestellt, dass das Frequenzband genauso wichtig wie die Schallleistung ist. Denn schlussendlich ist nicht die Schallleistung entscheidend, sondern ob die Wärmepumpe hörbar ist. Wenn die Wärmepumpe bei einer entscheidenden Frequenz den höheren Schallpegel als der Grundschallpegel aufweist, ist sie hörbar, auch wenn der gemessene Schalldruckpegel der Wärmepumpe insgesamt tiefer als jener des Grundschallpegels ist. Somit könnte es sinnvoll sein, nicht nur die Schallleistung, sondern auch das Frequenzband beim Nachweis zu beachten.

Bei der Untersuchung des Silent-Modes wurde festgestellt, dass er bei den Frequenzen um 100 Hz lauter als der Grundschallpegel und somit, obwohl er deutlich leiser als andere Betriebsfälle ist, hörbar ist. Zudem hat er einen negativen Einfluss auf die Energieeffizienz. Deshalb fragt sich, ob der Einsatz des Silent-Modes gerechtfertigt ist.

Abschliessend wurde das Vorsorgeprinzip aus dem Umweltschutzgesetz (USG) herangezogen und den Nutzen des Emulators abgeschätzt.

Das Vorsorgeprinzip basiert auf drei emissionsreduzierenden Maßnahmen. Die erste Massnahme verlangt, dass eine möglichst emissionsarme Anlage installiert wird. Der Emulator bietet hierbei keine sonderlichen Vorteile. Die zweite Massnahme betrifft die Standortwahl, welche darauf abzielt, die Lärmbelastung in der Nachbarschaft zu minimieren. Diese kann mit Hilfe des Emulators schnell und realitätsnah bewertet werden. Zuletzt bietet der Emulator auch Unterstützung bei der Überprüfung der Effektivität bereits umgesetzter Lärmschutzmaßnahmen und der Beurteilung der erforderlichen Schalldämmmaßnahmen an einem bestimmten Standort.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_14
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Einfluss unterschiedlicher Wetterdatenquellen auf das Ergebnis dynamischer Modellrechnungen

Studierende	Tianyi Lan
Dozierende	Axel Seerig
i	
Experte/-in	Urs-Peter Menti
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Claudio Magoni, F. Hoffmann-La Roche AG, Areal Infrastruktur Engineering Bau 27 / OG 3, 4070 Basel)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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

Einfluss unterschiedlicher Wetterdatenquellen auf das Ergebnis dynamischer Modellrechnungen

Zur Aufrechterhaltung der Behaglichkeit in Innenräumen wird von Klimaanlage in Gebäuden erwartet, dass sie ein relativ stabiles Raumklima aufrechterhalten. Äussere Einflüsse, wie z.B. das Wetter, beeinflussen jedoch mehrheitlich den Betrieb von Klimaanlage. Die Forschungsfrage lautet daher: Wie stark beeinflusst das Klima den Energieverbrauch von Gebäuden?

Ziel der Arbeit ist es, den Einfluss verschiedener Wetterfaktoren auf den Energieverbrauch von Gebäuden zu untersuchen. Für die Arbeit wurden Raummodelle erstellt, verschiedene Wetterdaten eingegeben, der Energieverbrauch mit der Software IDA-ICE simuliert und die Daten anschliessend analysiert.

Referenzraum – Das Modell

Nur ein entsprechender Trend des Energiebedarfs mit der Temperatur wurde verbraucht. Deshalb wurde nur ein vereinfachtes Modell mit allen Parametern des Einzelbüros im Obergeschoss erstellt.

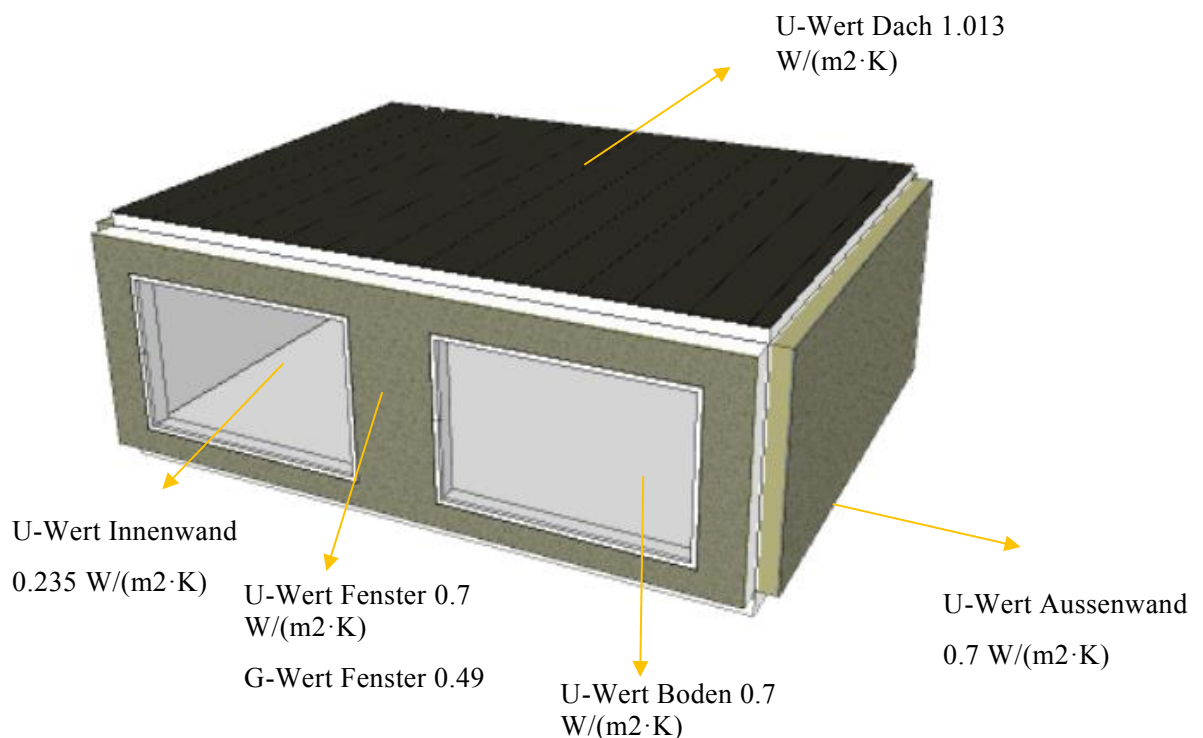


Abbildung 1 Referenzraum mit Parametern der Gebäudehülle.

Nach der empfundenen Temperatur von SIA 180:2014 und um während der Simulation gleichzeitig Heizen und Kühlen zu vermeiden, wurden die Temperatur-Reglungssollwerte mit 21 und 23 Grad definiert.

Simulationsverfahren

Von 2012 bis 2022 bilden 11 Jahre Wetterdaten von MeteoSchweiz und Wetterdaten von IDA-ICE selbst (im Folgenden „Referenzjahr“ oder „Referenzjahr 2011“ genannt) die Eingangsdaten. Diese Wetterdaten umfassen die Aussentemperatur, die relative Luftfeuchtigkeit, die Windgeschwindigkeit und -richtung sowie die Sonneneinstrahlung. Die Temperatur- und Strahlungsdaten werden weiter ausgewertet.

Die Simulation wurde zweimal durchgeführt. Beim ersten Mal wurden nur die Wetterdaten simuliert. Dadurch kann der Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Wetterdaten besser beurteilt werden. Beim zweiten Mal wurde auch die interne Wärmeerzeugung im Büro berechnet. Dies kommt der Realität näher.

Ergebnis

Das Ergebnis zeigt deutlich, dass der Heizbedarf wesentlich höher ist als der Kühlbedarf. Als Beispiel können die Wetterdaten des Referenzjahres dienen. Im Referenzjahr gibt es nur 505 von 8760 Stunden, in denen die Außentemperatur höher als 23 Grad ist. Andererseits gibt es 7928 Stunden, in denen die Temperatur unter 21 Grad liegt. Wie weiter unten gezeigt wird, ist die Korrelation zwischen Energieverbrauch und Aussentemperatur recht hoch, mit einem durchschnittlichen relativen Verhältnis zwischen 0,844 und 1,130 für alle Datenjahre.

Die Sonneneinstrahlung ist von Jahr zu Jahr sehr unterschiedlich. Man kann auch sagen, dass sie nicht wesentlich von der Zeit abhängt. Der Zusammenhang zwischen Energiebedarf und Sonneneinstrahlung ist nicht sehr deutlich. Ebenso kann der Einfluss des Windes vernachlässigt werden.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass die Aussentemperatur eine wesentliche Rolle bei der Beeinflussung des Energiebedarfs spielt. Die Schwankungen der Simulationsergebnisse liegen in einem vertretbaren Rahmen.

Jahr	Referenz	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Mittelwert des Verhältnisses ohne interne Wärmequellen	0.844	0.967	0.955	0.924	1.130	0.922	0.973	0.962	0.886	0.867	1.031	0.885
Mittelwert des Verhältnisses mit internen Wärmequellen	0.921	1.012	1.009	0.989	1.099	0.964	1.177	1.028	0.934	0.936	1.043	0.953

Tabelle 1 Mittelwerte des Verhältnisses zwischen der relativen Temperatur und des relativen Energiebedarfs

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_15
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Netzentlastung und Dekarbonisierung von thermischen Netzen durch thermische Ener- giespeicherung

Studierende	Mike Schoch Florian Stucki
Dozierende	Willy Villasmil Timotheus Zehnder
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

G_23_15 Netzentlastung und Dekarbonisierung von thermischen Netzen durch thermische Energiespeicherung

Netzentlastung und Dekarbonisierung von thermischen Netzen durch thermische Energiespeicherung

Zur Erreichung des Klimaziels Netto-Null bis 2050 spielt der Ausbau und Betrieb thermischer Netze eine zentrale Rolle. Die Arbeit befasst sich mit dem Einfluss von thermischen Energiespeichern (TES) auf die Dekarbonisierung und Netzentlastung von thermischen Netzen.

Der Schwerpunkt liegt auf der Analyse und Quantifizierung der Dekarbonisierung in Abhängigkeit des TES-Volumens. Zusätzlich soll der Nutzen einer dezentralen TES-Platzierung für eine Netzentlastung untersucht und dargestellt werden.

Thermische Energiespeicher können, wie in Abbildung 1 dargestellt, die Spitzenlastenergie durch Grundlastenergie substituieren. Dabei werden die TES bei niedrigem Wärmebedarf des Netzes (blaue Kurve) geladen. Zu Zeiten von höherem Bedarf als die Grundlastleistung (rote Kurve) werden die TES entladen und liefern zusätzlich Energie ins Netz. Die Spitzenlastenergie wird somit von den TES gedeckt. Dieser Ansatz nutzt die Schwankungen des Bedarfes aus und ermöglicht eine Glättung der Erzeugerleistung.

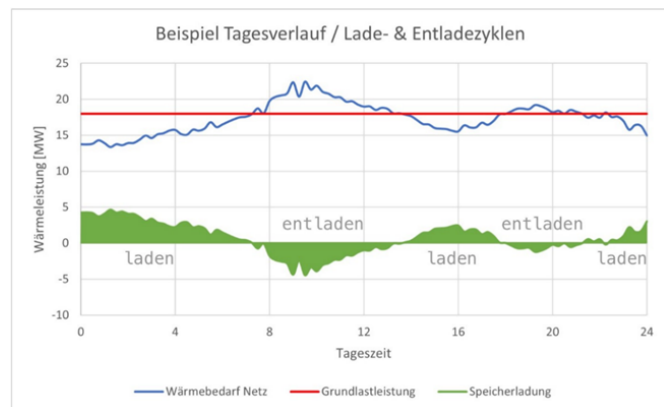


Abb. 1: Verhalten TES bei Ladung / Entladung anhand Tagesverlauf

Methodik

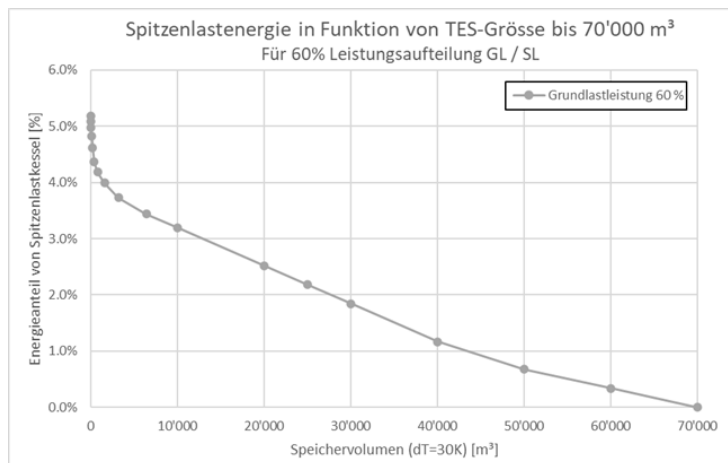
Die Untersuchungen der **Dekarbonisierung** und **Netzentlastung** basieren auf zwei verschiedenen Berechnungsmethoden. Beide stützen sich dabei auf bereinigte Messdaten des Fernwärmenetzes der KVA in Buchs SG (32 MW). Das ursprüngliche Verteilnetz, welches die Gemeinden Buchs und Grabs versorgt, wurde vereinfacht und die Verbraucher zu 18 repräsentativen Clustern zusammengefasst. Aufgrund fehlender Lastprofile der einzelnen Verbraucher wurden diese anhand der Nutzung und Aussentemperatur mit einem Software-Tool der TU Dresden generiert. Das daraus modellierte, realitätsnahe Netz wurde anschliessend für die Berechnungen verwendet. Weitere Vereinfachungen halten die Ergebnisse allgemein und lassen eine Übertragbarkeit auf andere Netze zu.

Spitzenlast-Substitution / Dekarbonisierung

Im Grossteil der Schweizer Fernwärmenetze erfolgt die Erzeugung der Spitzenlast noch immer mit fossilen Brennstoffen. Die Substitution dieser Spitzenlastenergie ist daher ein wesentlicher Baustein für die Dekarbonisierung thermischer Netze. Der Anteil fossiler Energie ist massgeblich von der Leistungsaufteilung zwischen Grund- und Spitzenlast abhängig. Je grösser die Grundlastleistung gewählt wird, desto kleiner muss das TES-Volumen für eine vollständige Dekarbonisierung sein. Beim gewählten Leistungsverhältnis von 60 % wird eine vollständige Substitution der Spitzenlastenergie ab einem TES-Volumen von 70'120 m³ erreicht. Dies entspricht, bei der gewählten

G_23_15 Netzentlastung und Dekarbonisierung von thermischen Netzen durch thermische Energiespeicherung

Temperaturdifferenz von 30 K, einer Speicherkapazität von 2'385 MWh bzw. dem Verbrauch von etwa sechs Wintertagen. In der Abbildung 2 ist das Verhalten der Spitzenlastenergie in Funktion der TES-Volumina grafisch dargestellt. Es zeigt sich ein verstärkter Rückgang der Spitzenlastenergie bereits bei moderaten TES-Volumina. Die Änderungsrate (Steilheit) der Kurve reduziert sich fortlaufend. Daraus lässt sich ableiten, dass mit steigendem TES-Volumen die substituierte Spitzenlastenergie pro Kubikmeter abnimmt. Anders ausgedrückt, ist schon mit kleinen TES-Volumina eine effiziente Substitution möglich. Die anfänglich stärkere Abnahme der Spitzenlastenergie kann darauf zurückgeführt werden, dass TES vor allem bei einem oszillierenden Lastprofil um die Grundlast wirksam sind.

Abb. 2: Spitzenlastenergie bei $dT = 30$ K und 60 % GL-Leistung

Für die Betrachtung der CO_2 -Emissionen sind die Energieträger der Grund- und Spitzenlast entscheidend. Dabei soll die Grundlast möglichst geringe Treibhausgasemissionen pro kWh produzierte Energie aufweisen (hier z.B.: KVA). Beim untersuchten Netz führt eine vollständige Dekarbonisierung zu einer CO_2 -Einsparung von 1'439 t/a, was dem CO_2 -Ausstoss von rund 400 Einfamilienhäuser entspricht.

Die CO_2 -Reduktion durch den Anschluss weiterer UST und damit die Verdrängung fossiler Wärmeerzeuger ist in dieser Betrachtung jedoch nicht berücksichtigt.

Netzentlastung

In der Untersuchung der dezentralen TES-Platzierung wurde erkannt, dass diese einen erheblichen Einfluss auf die Netzentlastung haben. Durch das Entladen können punktuell auftretende Druckverluste um über 50 % reduziert werden. Die Dauer der Entlastung ist dabei vom TES-Volumen und der gewählten Ladestrategie abhängig.

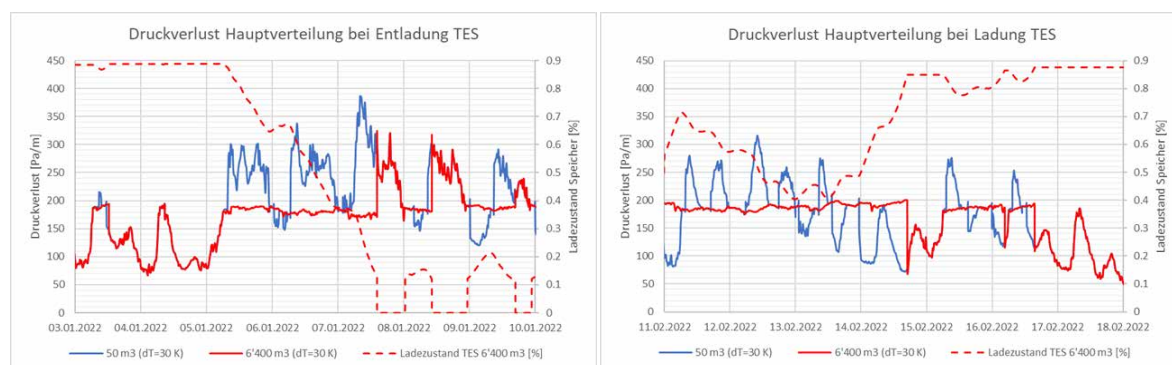


Abb. 3: Spez. Druckverlust in Hauptleitung bei Ladung und Entladung von dezentralem TES

Die Abbildung 3 zeigt das Verhalten des spezifischen Druckverlustes (Pa/m) in der Hauptverteilung bei zwei unterschiedlichen TES-Volumina. Die blaue Linie entspricht der Baseline mit einem vernachlässigbar kleinem TES-Volumen. Die rote Linie zeigt den spez. Druckverlust mit einem

G_23_15 Netzentlastung und Dekarbonisierung von thermischen Netzen durch thermische Energiespeicherung

dezentralen TES von 6'400 m³. Im linken Diagramm ist der Bedarf höher als die Grundlast und der Speicher wird entladen (rot gestrichelte Linie). Dies führt zu einer partiellen Reduktion des Druckverlustes von 380 Pa/m auf 180 Pa/m. Im rechten Diagramm wird der Speicher wieder geladen. Es ist zu sehen, dass der Druckverlust in der Leitung dadurch zeitweise höher ist als bei der Baseline, wo keine Ladung notwendig ist.

Ein Nachteil ist, dass zum Zeitpunkt einer kompletten Entleerung die dezentralen TES keine Entlastung mehr bieten. In der durchgeführten Simulation werden die TES ausschliesslich mit Grundlastenergie geladen. Dies führt dazu, dass für eine vollständige Netzentlastung grosse TES-Volumina notwendig sind. Liegt das Hauptmotiv ausschliesslich in einer Netzentlastung / Leistungssteigerung, so ist ein vielversprechender Ansatz, die Spitzenlast auch zur Ladung der TES zu nutzen. Dies setzt jedoch eine prädiktive Ladung voraus, welche sicherstellt, dass die TES während den zu entlastenden Leistungsspitzen nicht leer sind und zur Glättung dieser Spitzen beitragen können.

Wirtschaftlichkeit

Mit der Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde herausgefunden, dass ab einer Preisdifferenz von 7.6 Rp./kWh bezogen auf die Nutzenergie eine vollständige Dekarbonisierung mittels TES in 20 Jahren amortisiert werden kann (siehe Abbildung 4). Bei Volumina unter 10'000 m³ sind bereits geringere Preisdifferenzen rentabel.

Weiter zeigte die Berechnung auch, dass bei einer Preisdifferenz von 6 Rp./kWh sich ein wirtschaftlich optimales Speichervolumen von 800 m³ (ca. 30 MWh) ergibt. Dies entspricht der Abdeckung einer Stundenspitze oder 1.1 % des Volumens, welches für eine vollständige Dekarbonisierung bei 60 % Grundlastleistung benötigt würde. Mit diesen 1.1 % TES-Volumen ist bereits eine Reduktion von 19 % der jährlichen CO₂-Emissionen möglich.

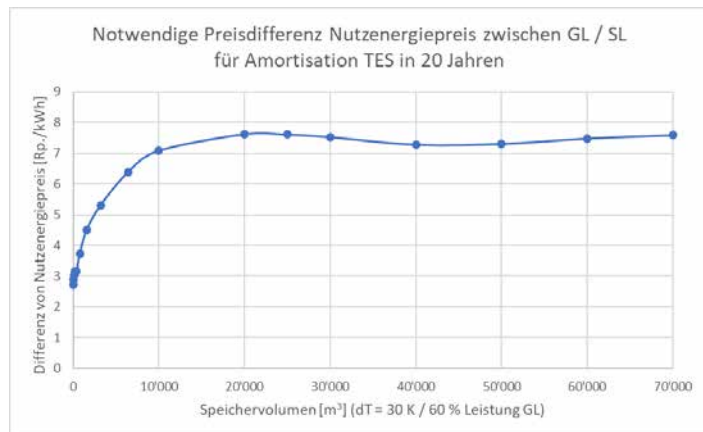


Abb.4: Notwendige Preisdifferenz der Nutzenergie für eine Amortisation in 20 Jahren

Schlussfolgerung & Fazit

Abschliessend ist zu erwähnen, dass für die Erreichung der Energiestrategie 2050 eine vollständige Dekarbonisierung thermischer Netze von Bedeutung ist. Dabei spielen saisonale Energiespeicher eine Schlüsselrolle. Es konnte gezeigt werden, dass ab einem bestimmten TES-Volumen die für eine wirtschaftliche Investition notwendige Preisdifferenz nahezu konstant bleibt. Dies hat zur Folge, dass bei gleichbleibender Amortisationszeit grössere TES-Volumina (< ca. 20'000 m³) wirtschaftlich betrieben werden können. Die CO₂-Emissionen nehmen jedoch mit steigendem Volumen immer weiter ab und ergeben somit einen grösseren ökologischen Mehrwert.

Es ist festzuhalten, dass TES in thermischen Netzen sowohl ökologisch wie auch ökonomisch einen Mehrwert generieren. Das optimale Volumen der TES ist jedoch von diversen Projektfaktoren abhängig und muss deshalb für jedes Netz individuell betrachtet werden. Bei ausreichend Platz und genügend hoher Energiepreisdifferenz zwischen Grund- und Spitzenlast ist eine vollständige Dekarbonisierung durch TES empfehlenswert und zwingend in Betracht zu ziehen.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_16
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung des SRF Campus am Leutschenbach

Studierende	Peter Zogg Dario Liesch
Dozierende	Timotheus Zehnder Axel Seerig
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Peter J. Krähenbühl, SRF, Fernsehstrasse 1-4, Zürich)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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

Nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung des SRF Campus am Leutschenbach

Für den Campus des Schweizer Radio und Fernsehen [SRF] soll im Rahmen dieser Bachelorarbeit die zukünftige Wärme- und Kälteversorgung nachhaltig ausgerichtet werden. Die Ergebnisse zeigen, dass das Areal ein beachtliches Potential betreffend der Abwärmenutzung und der Reduktion des Treibhausgasausstosses aufweist. Mit einem neuen Betriebskonzept der bestehenden Kälte- und Wärmeversorgung ist ohne grosse technische Massnahmen eine Reduktion der THG-Emissionen von 64 % möglich. Werden zusätzlich zwei neue Abwärme-Wärmepumpen vorgesehen, ist gar eine Reduktion von 82 % denkbar, dies bei annähernd gleichbleibenden Wärmegestehungskosten.

Areal und Energieverbrauch

Das Schweizer Radio und Fernsehen produziert an diesem Standort einen Grossteil seiner deutschschweizerischen Fernseh- und Radioprogramme. Das Hauptgebäude stammt aus dem Jahr 1973. Im Laufe der Zeit sind schrittweise weitere Trakte wie der Filmtrakt, das Hochhaus und der Verbindungstrakt zum Stammareal ergänzt worden. Als letztes Projekt kam das News- & Sportcenter im Jahr 2019 zum Stammareal dazu. Die Nutzungen auf dem Campus sind vielseitig, wobei die Büronutzung den grössten Flächenanteil einnimmt. Daneben gibt es weitere Nutzungen wie Gastronomie, Werkstätten, Ateliers und Nebenräume. Weiter haben Fernsehstudios, Serverräume, Schnitt- und Regieräume einen Flächenanteil von 12 % am Gesamtareal. Dabei ist hervorzuheben, dass diese verhältnismässig kleinen Nutzungen durch ihre hohen internen Lasten 81 % des gesamten Kältebedarfs verursachen.

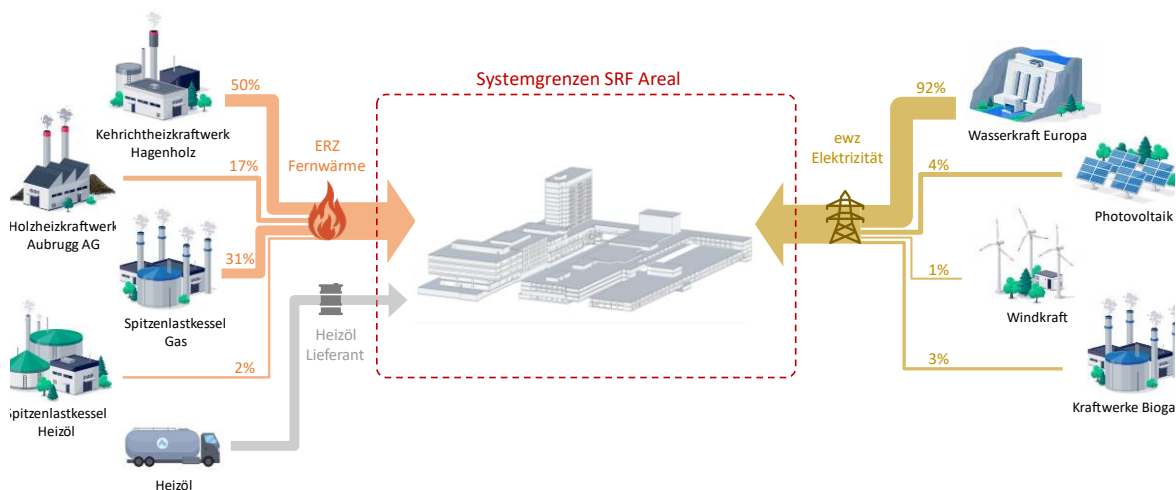


Abbildung 1: Energieversorgung SRF Areal

Aus der Abbildung 1 gehen die aktuelle Wärmeversorgung sowie die Stromzusammensetzung hervor. Die Kälteerzeugung für den Altbau und das News- & Sportcenter erfolgt zurzeit in zwei separaten Kältezentralen. Der Kältebedarf des gesamten Areals beträgt 7.6 GWh pro Jahr und wird zu 33 % durch Freecooling und zu 67 % durch Kältemaschinen erzeugt. Der Wärmebedarf von 5.6 GWh pro Jahr wird zu 96 % mit dem Bezug von Fernwärme gedeckt. Lediglich die Beheizung des News- & Sportcenters erfolgt bereits mit der Abwärme der Kältemaschinen. Dies macht allerdings nur 4 % des gesamten Wärmebedarfes aus. In der folgenden Abbildung 2 ist das jährliche Verbrauchsprofil der Wärme- und Kälteversorgung ersichtlich. Der Betrieb der Fernseh- und Radiostudios verursacht auch im Winter einen hohen Kältebedarf. Dieser wird mit Kältemaschinen

BAT G_23_16 Nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung des SRF Campus

gedeckt, bei derer Betrieb Abwärme anfällt. Bei der Betrachtung der Gleichzeitigkeit des Wärmebedarfs und der anfallenden Abwärme ist ersichtlich, dass in der Nutzung der Abwärme ein grosses Potential liegt. Zurzeit werden lediglich 2 % der anfallenden Abwärme genutzt. Das Ziel ist, Varianten zu entwickeln, mit welchen dieses Potential möglichst vollständig ausschöpfen wird.

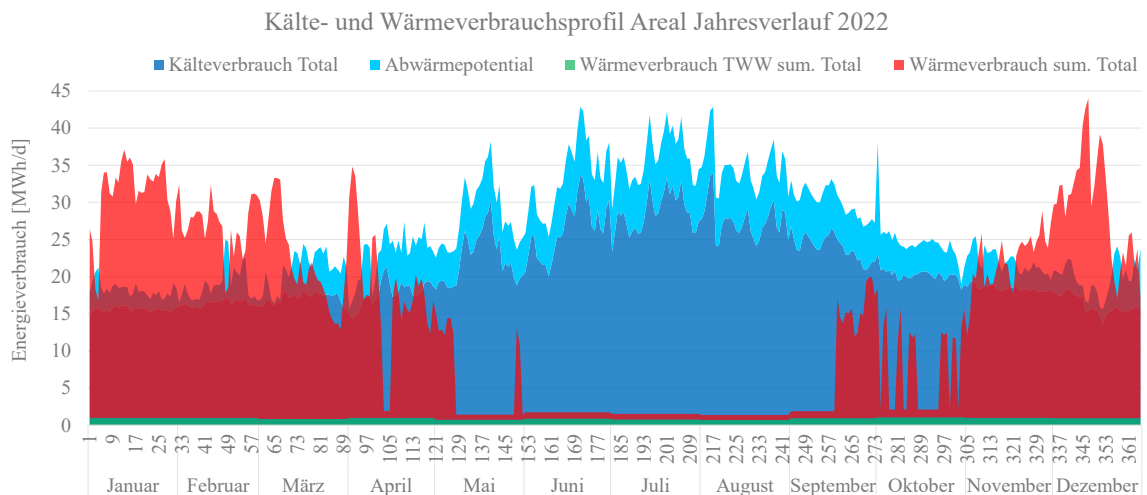


Abbildung 2: Jahresverlauf Heizung Kälte und Abwärmepotential

Simulation und Sanierungsmassnahmen

Im Rahmen dieser Arbeit ist ein detailliertes Simulationsmodell des Areals erstellt worden, welches das Gesamtbild der Anlagen verfeinert. Dadurch lassen sich Grössen ermitteln, welche in der realen Anlage nicht einfach erfasst werden können. Weiter dient die Simulation als Grundlage für die Untersuchung von gebäudetechnischen Massnahmen. Die Resultate zeigen, dass eine Verbesserung der Gebäudehülle den Wärmebedarf reduziert, aber zu einer Erhöhung des Kältebedarfs führt (siehe Abbildung 3). Die Ursache liegt bei den hohen internen Lasten in den Studios, Server- und Regieräumen, welche bei einer gut gedämmten Gebäudehülle schlechter nach draussen gelangen können und über die Kälteanlage abgeführt werden müssen. Entsprechend empfiehlt es sich nur die Gebäudehülle des Hochhauses zu sanieren, da dort durch die geringen internen Lasten die Energieeinsparung höher ist als die Zunahme des Kältebedarfs.

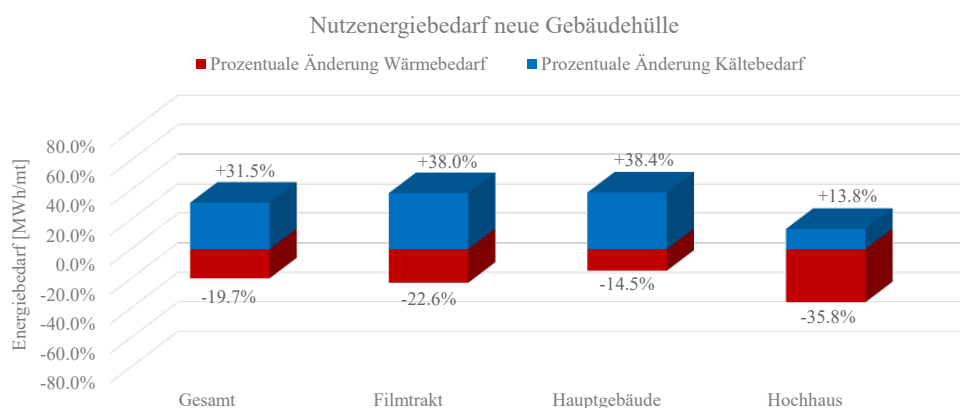


Abbildung 3: Simulationsresultat Verbesserung der Gebäudehülle

In einem zweiten Szenario wird die Erneuerung der Lüftungsanlage überprüft. Durch diese Massnahme kann der Wärmeverbrauch um 17 % gesenkt werden. Beim Kälteverbrauch ist eine Reduktion von 6 % zu erwarten.

Grundsatzentscheidungen

Beim Areal sind drei Grundsatzentscheidungen zu treffen, welche Auswirkungen auf die Produktion und Nutzung der Abwärme haben. Die erste betrifft den Systemzusammenschluss der aktuell getrennten Wärme- und Kälteversorgung zwischen Altbau und News- & Sportcenter. Durch die Verbindung der Systeme können Synergien genutzt werden. Dabei ist jedoch zu berücksichtigen, dass sich gewisse Konzepte auch negativ auf die Abwärmenutzung auswirken, wie zum Beispiel ein alleiniger Zusammenschluss der Kältesysteme. Als zweite Entscheidung muss die Betriebsstrategie der Kälteerzeugung geklärt werden. Aus der Auswertung geht hervor, dass ein ausschliesslicher Betrieb der Kältemaschinen ohne Freecooling entgegen den Erwartungen bei den Kriterien wie Ökologie und Ökonomie besser abschneidet als ein Betrieb mit Freecooling. Dies ist durch die grössere Menge an anfallender Abwärme zu erklären, welche für die Deckung des Wärmebedarfes genutzt werden kann. Da die anfallende Abwärme ein zu tiefes Temperaturniveau für die direkte Nutzung aufweist, muss ein zusätzlicher Temperaturhub erfolgen. Dafür kommt eine Abwärme-Wärmepumpe oder die Fernwärme in Frage. In der folgenden Abbildung 4 sind die Auswirkungen der Grundsatzentscheidungen auf den Abwärmedeckungsgrad ersichtlich. Dieser ist abhängig von der maximalen Verdampfeintritts- und Austrittstemperatur der Kältemaschinen.

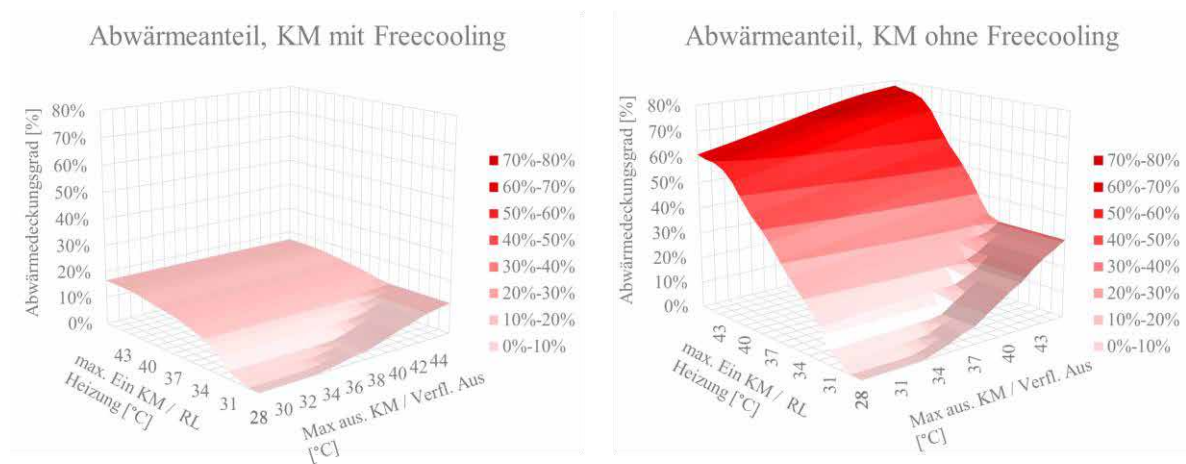


Abbildung 4: Abwärmedeckungsgrad des Wärmebedarfs nach Betriebsstrategie und Temperaturen

Empfehlung

Aus der Variantenstudie gehen zwei überzeugende Konzepte hervor, welche die Kriterien Ökologie, Ökonomie, technischer Aufwand und externe Abhängigkeit am besten erfüllen. Für den aktuellen Anlagezustand und ohne die Berücksichtigung zukünftiger Entwicklungen wird dem Industriepartner empfohlen, mit geringen technischen Massnahmen einen Heizungszusammenschluss zu realisieren. Ebenfalls soll die Betriebsstrategie von einem Betrieb mit Freecooling auf einen alleinigen Betrieb mit Kältemaschinen ohne Freecooling umgestellt werden. Das Resultat ist eine effiziente Abwärmenutzung und eine Reduktion des Fernwärmebezuges um 67 %. Unter Betrachtung der Lebensdauer der technischen Komponenten in der Kältezentrale Hauptgebäude ist jedoch eine Abwärme-Wärmepumpe zu bevorzugen. Dadurch kann der Fernwärmebezug um 86 % verringert werden. Dies bringt im Weiteren einen beachtlichen ökologischen Vorteil mit sich, welcher eine nachhaltige Wärme- und Kälteversorgung des SRF Campus am Leutschenbach ermöglicht.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT G_23_17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Nutzung der Gebäudespeicherfähigkeit in Niedertemperaturnetzen

Studierende	Daniel Rüthemann Maximilian Spicker
Dozierende	Willy Villasmil Markus Koschenz
Experte/-in	Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Adriano Levy, Gemeinde Pontresina, Via Maistra 133, 7504 Pontresina)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Nutzung der Gebäudespeicherfähigkeit in Niedertemperaturnetzen

Alpine Gemeinden sind vor allem wegen ihrer Lage über das ganze Jahr hinweg tieferen Temperaturen ausgesetzt, was zu einem erhöhten Wärmebedarf führt. Der Energiespeicherung kommt in solchen Fällen eine besondere Wichtigkeit zu. Damit auch in alpinen Gemeinden die Dekarbonisierung vorgebracht werden kann, werden neue Methoden gesucht, um die aufgewendete Energie langfristig zu speichern und mittels intelligentem Lastmanagement die Spitzenleistung der Wärmeerzeuger zu senken.

Innerhalb dieser Arbeit wird untersucht, welches Lastverschiebungspotential durch die Aktivierung der Gebäudespeichermasse in bestehenden Gebäuden erreicht werden kann und inwiefern sich dies auf die Spitzenlast auswirkt.

Methodik

Für die Ermittlung der Gebäudeträgheit und der Spitzenlast im Referenzfall wird das Simulationsprogramm IDA ICE verwendet. Als Grundlage für die Simulationen und die Analyse des Gebäudeparks dienen die Daten aus dem Eidg. Gebäude- und Wohnregister. Da es sich um die Betrachtung einer ganzen Gemeinde handelt und die verschiedenen Bauweisen der Gebäude berücksichtigt werden sollen, werden die Gebäude nach deren Jahrgang in die Kategorien Alt- oder Neubau unterteilt sowie Referenzgebäude für die Nutzungen «Einfamilienhaus», «Mehrfamilienhaus» und «Hotel» simuliert. Mittels der ausgewählten und simulierten Referenzgebäude lässt sich die gesamte Gemeinde abbilden. Das Lastverschiebungspotential unterscheidet sich aufgrund der Bauweise stark zwischen den Alt- und Neubauten. Damit eine Betrachtung einer versetzten Aktivierung der einzelnen Heizsysteme möglich ist, werden einzelne Zeitprofile für Sperrzeiten festgelegt. Die einzelnen Profile stellen somit die Stellschrauben für die Lastverschiebung dar. Damit eine optimale Lastverschiebung möglich ist, werden die einzelnen Nutzungen und deren Flächen, den jeweiligen Profilen zugeteilt.

Abb. 1 gibt eine Übersicht über das Vorgehen der Bachelor-Thesis und zeigt, wie das Lastverschiebungspotential ermittelt wurde und welche Inputs für diese Betrachtung benötigt wurden.

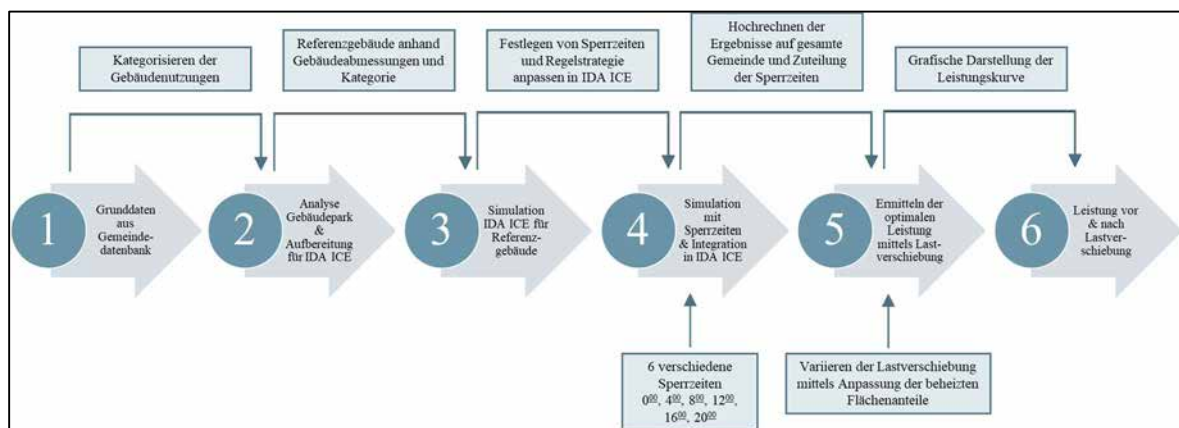


Abb. 1: Methodik zur Ermittlung des Lastverschiebungspotentials

BAT_G_23_17 Nutzung der Gebäudespeicherfähigkeit in Niedertemperaturnetzen

Als Output ergibt sich das Lastverschiebungspotential und folglich die Lasteinsparung. Mit der Reduktion der Spitzenlast soll schlussendlich eine finanzielle Einsparung in Bezug auf die Wärmeerzeugung und des Fernwärmenetzes erreicht werden.

Ermittlung des Lastverschiebungspotentials

Für die einzelnen Referenzgebäude ergaben sich bei den Simulationen jeweils Verläufe für die Raumtemperatur in Abhängigkeit der Dauer, in der das Heizsystem abgeschaltet wurde. Die Simulationsdurchgänge wurden in Stundenschritten und jeweils so lange durchgeführt, bis die Raumtemperatur unter 20.5 °C fiel. Diese Grenze entspricht der ermittelten Komforttemperatur, welche anhand der SIA 180 (Figur 6) festgelegt wurde.

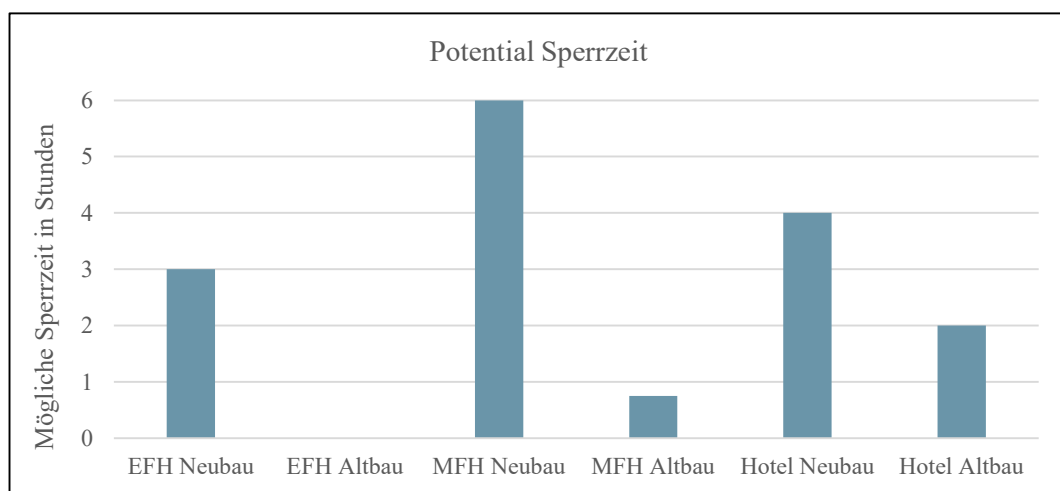


Abb. 2: Potential Sperrzeiten Gebäudekategorie

In der Abb. 2 ist das Potential für die einzelnen Gebäudekategorien, welche für die Simulationen verwendet wurden, ersichtlich. Das Potential für die Sperrzeiten wurde in einem ersten Simulationsdurchgang ermittelt, bei dem der Verlauf der Raumtemperatur und die Dauer bis zum Unterschreiten der Komforttemperatur analysiert wurde. Wie in der Methodik hingewiesen, ist ein klarer Unterschied zwischen Alt- und Neubau ersichtlich. Mittels der eruierten Sperrzeiten können die Gebäude untereinander abgestimmt und in die Zeitprofile eingeteilt werden.

Wärmeleistung mit Lastverschiebung

Mit der Einteilung in die Zeitprofile und der Beachtung des maximal möglichen Unterbruchs des Heizsystems, ergibt sich eine kleinere Spitzenlast. In der Abb. 3 ist der Verlauf der ursprünglichen Spitzenleistung, die Leistung mit der Lastverschiebung sowie die Aussentemperatur ersichtlich. Für den Betrachtungszeitraum wird die Woche mit der längsten und gravierendsten Kälteperiode gewählt, da dies der relevante Zeitraum für die Spitzenlast ist. Zum Zeitpunkt der maximal benötigten Leistung ist die Aussentemperatur abfallend und befindet sich bei ca. -18 °C. Durch die versetzte Aktivierung der Heizsysteme in den Gebäuden kann eine Leistungseinsparung von 1'200 kW erreicht werden. Dies entspricht mehr als 13% der Spitzenlast im Referenzfall, die bei 9'000 kW liegt. Somit weist die neu benötigte Spitzenleistung 7'800 kW auf. Eine Leistungseinsparung von 1'200 kW führt zu einer Reduktion der Leitungsdimensionen des Fernwärmenetzes sowie zu einer kleineren Wärmeerzeugung. Das Ergebnis von 13 % deckt sich unter anderem mit anderen Studien, die eine Lasteinsparung zwischen 3 % und 14 % ausweisen (Masy et al. 2015).

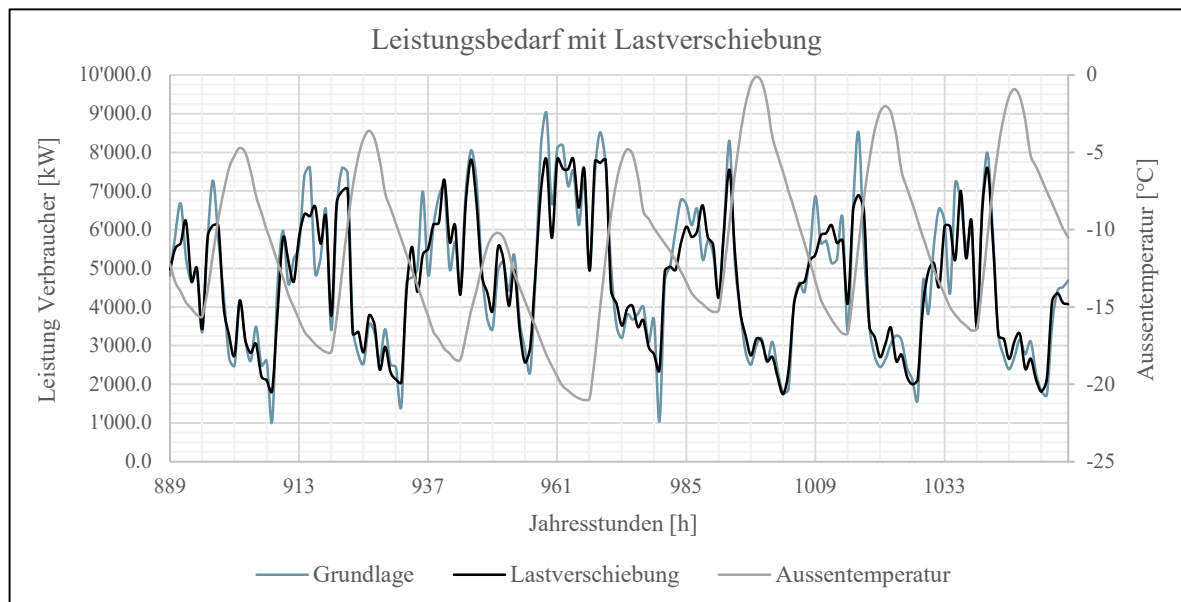


Abb. 3: Leistungsbedarf mit Lastverschiebung

Schlussfolgerung und Fazit

Mittels einer aktiven Nutzung der Gebäudespeichermasse und einem intelligenten Lastmanagement, ist eine theoretische Reduktion der Spitzenlast um mehr als 13 % erreichbar.

Durch die Analyse der Arbeit und der einzelnen Schritte zeigt sich, dass besonders ein Augenmerk auf die Datenerhebung gelegt werden muss. Nur durch das Festhalten der Daten in Bezug auf die Baukonstruktion eines Gebäudes können genaue Aussagen zu deren Gebäudespeichermasse und Zeitkonstante gemacht werden. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen auf, dass die Gebäudespeichermasse in Bezug auf eine Lastverschiebung ein grosses Potential darstellen kann. Dies gilt vor allem für Neubauten, da diese mit ihrer Bauweise und der daraus resultierenden Zeitkonstante eine längere Deaktivierung des Heizsystems zulassen. Im Fall dieser Arbeit liegt der Unterschied zwischen Alt- und Neubau bei den als Referenzgebäude genutzten Mehrfamilienhäusern bei mehr als 5 h. Zusätzlich kann mit Hilfe der eingesparten Leistung die Wärmeerzeugung sowie die Leitungsdimensionen des Fernwärmenetzes kleiner dimensioniert werden. Dies wirkt sich in Bezug auf eine finanzielle Betrachtung der Leistungseinsparung auf die Investitionskosten und die jährlichen Betriebskosten der Förderpumpen aus.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Untersuchung eines neuen Deckenluftauslasses für hohe Räume

Studierende	Joel Piersanti Marc Albisser
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Prof. Markus Koschenz
Experte	Stefan Walser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Ronald Tschöp, Durrer-Technik AG, Winkelbüel 3, 6043 Adligenswil)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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

Untersuchung eines neuen Deckenluftauslasses für hohe Räume

Einleitung

Die erarbeitete Bachelor-Thesis untersucht das Verhalten eines neuartigen Luftdurchlasses der Firma Durrer Technik AG, welcher in zwei Baugrößen zur Verfügung steht. Dieser soll den vielfältigen Anforderungen in hohen Räumen wie Veranstaltungs-, Musik- oder Mehrzweckhallen gerecht werden. Im Vordergrund stehen dabei die thermische Behaglichkeit und der Schallschutz. Die oben genannten Nutzungen erfordern oft eine Anordnung der Lüftungsinstallationen an der Decke, um die Bodenfläche möglichst flexibel gestalten zu können. Oftmals werden mit Lüftungsanlagen auch Heiz-, und/oder Kühlfunktionen übernommen. Damit nun frische und eventuell vorkonditionierte Luft möglichst behaglich und leise in den Raum eingeblasen werden kann, spielen Luftauslässe dabei eine zentrale Rolle.

Einerseits ist die Platzierung der Auslässe zu beachten. Andererseits ist die Wahl des Luftauslastypen entscheidend. Bei der Platzierung soll darauf Wert gelegt werden, dass die Ausblasrichtung nicht direkt in den Aufenthaltsraum der Personen gerichtet ist. Doch vor allem bei Mehrzweckräumen werden die Einrichtungen und dementsprechend auch die Aufenthaltszonen flexibel gestaltet. Dies macht eine optimale Platzierung der Luftauslässe nahezu unmöglich.

Je nach Luftauslastyp und dessen charakteristischen Eigenschaften entstehen zudem verschiedene Raumluftrömungen, welche vor allem bei hohen Räumen nicht immer ideal sind. Die grössten Herausforderungen ist das Erreichen einer guten Luftqualität, eine zugsfreie Zuluft einbringung und das Einhalten der akustischen Werte. Ausserdem sind die optischen Anforderungen an diese sichtbaren Bauteile nicht zu vernachlässigen.

Um all diesen Ansprüchen gerecht zu werden, besteht der neu entwickelte Luftdurchlass aus einem Quellelement in Kombination mit einer Weitwurfdüse. Dadurch sollen die Vorteile der beiden bereits auf dem Markt erhältlichen Luftauslasssysteme verknüpft werden.

Vorgehen

Das methodische Vorgehen ist in fünf Phasen aufgeteilt: Recherche, Laboraufbau, experimentelle Untersuchung, Auswertung mit zusätzlichen Optimierungsvorschlägen. Es wurden insgesamt drei verschiedene Laborversuche durchgeführt. Dabei standen zwei unterschiedliche Baugrößen des Luftauslass-Prototyps zur Verfügung.

Die für diese Arbeit geforderten Parameter wurden aus den Vorgaben der Firma Durrer Technik AG simuliert und gemessen. Die Beurteilung des Volumenstroms, Druckverlustes und der Schallleistung wurde auf Grundlagen der SIA-Normen vorgenommen. Die Komfortmessung wurde mit der thermischen Behaglichkeitstheorie nach Fanger und der EN ISO 7730 Norm ausgewertet und beurteilt. Auf Grundlage der Erkenntnisse aus den experimentellen Untersuchungen konnten Optimierungsvorschläge für den Prototyp gemacht werden.

Messresultate

Die Messresultate des Volumenstroms und Druckverlustes zeigten suboptimale Werte. Bereits bei geringen Volumenströmen stellte sich ein hoher Druckverlust ein. Die in einem Hallraum durchgeführten Schallmessungen zeigten auf, dass der Lüftungsauslass hohe Schallleistungspegel erzeugt. Die Vorgaben seitens Durrer Technik AG konnten nicht erfüllt werden.

Die Auswertungen der Messergebnisse im Laboraufbau Komfort zeigen, dass die Lüftungsauslässe für einen isothermen Betrieb bestens geeignet sind. Ein Kühlbetrieb ist ebenfalls ab einer Ausblashöhe von 6,5m möglich. Bei geringeren Raumhöhen entsteht eine erhöhte Luftgeschwindigkeit im Aufenthaltsbereich. Diese kann zu Unbehaglichkeit führen. Anhand den zusätzlich erstellten Rauchtestversuche lässt sich keine Beurteilung der Komfoteigenschaften für den Heizbetrieb machen. Es wurde festgestellt, dass sich die warme Luft an der Decke ansammelt und nicht bis in den Aufenthaltsbereich gelangt. Das gewünschte Ziel einer Zuluft einbringung mit Übertemperatur kann demnach nicht erfüllt werden.



Abbildung 1: Laborversuch
Volumenstrom/Druckverlust



Abbildung 2: Laborversuch Hallraum

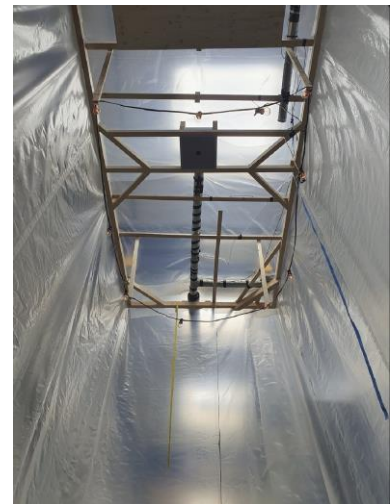


Abbildung 3: Laborversuch Komfort

Optimierungspotentiale

Aufgrund der drei durchgeführten Labormessversuchen konnte das Potential der beiden vorhandenen Lüftungsauslässe ermittelt werden. Damit die hohen Druckverluste und die dadurch resultierenden hohen Schallleistungspegel reduziert werden können, sind Anpassungen an der Konstruktion von Nöten. Zum einen kann das Druckaufbauelement, welches zur Verteilung des Luftvolumenstroms beim Quellelement dient, mit einem höheren freien Querschnitt versehen werden. Zum anderen ist es sinnvoll, das Düsenelement in einer nicht schwenkbaren Ausführung vorzusehen. Diese beiden Optimierungsvorschläge verbessern die Eigenschaften hinsichtlich dem Volumenstrombereich, Druckverlust und Schallleistungspegel. Die Auswirkungen auf die Komfoteigenschaften sind schwierig abzuschätzen. Da mit den Anpassungen ein höherer Volumenstrom gefördert werden kann wird angenommen, dass sich die Impulswirkung des Auslasses verstärkt. Das führt im Heizfall zu einer verbesserten Eindringtiefe des Luftstrahls. Im Kühlfall hingegen wird befürchtet, dass höhere Luftgeschwindigkeiten im Aufenthaltsbereich vorhanden sind. Bei isothermer Zuluft einbringung kann davon ausgegangen werden, dass keine negativen Auswirkungen entstehen.

Fazit

Durch die Laborversuche konnten die Stärken und Schwächen einer Weitwurfdüse, in Kombination mit einem Luftqueller, wissenschaftlich erarbeitet werden. Die folgend erstellten Überlegungen zu den möglichen Optimierungspotentialen zeigten auf, dass sich der Volumenstrombereich und der Schallleistungspegel mit geringen Anpassungen verbessern lässt. Für die Komforteigenschaften zeigte sich jedoch ein ambivalentes Bild. Zum einen werden dabei die Eigenschaften im Heizfall verbessert. Zum anderen verschlechtert sich die Zuluftfeinbringung im Kühlfall. Damit dieser Auslastyp eine optimale Zuluftfeinbringung von -5 bis +10 Kelvin gewährleisten könnte, bietet sich ein separater Luftanschluss, inklusive Klappenelemente und Stellantriebe, für das Quellelement und die Weitwurfdüse an. Allerdings werden dadurch die Material-, Inbetrieb-, und Betriebskosten massiv erhöht. Die Überlegungen seitens Durrer Technik AG, die Vorteile beider Luftfeinbringungsarten miteinander zu kombinieren, sind absolut nachvollziehbar. Doch wird es ohne elektrisch verstellbare Elemente nicht möglich sein, einen vertikalen Auslastyp so zu konstruieren, dass dieser eine Heiz-, und Kühlfunktion übernehmen kann.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_19
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimierung des Vereisungsschutzes bei Platten-Enthalpieübertragern zur Reduktion von elektrischen Leistungsspitzen

Studierende	Julius Ferber Timo Janic Hirschi
Dozierende	Heinrich Huber Leonardo Montali
Experte/-in	Markus A.E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

Hinweis: Diese Version des Fachartikels wurde vom erstbetreuenden Dozenten aus Gründen der Vertraulichkeit gekürzt. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis des Instituts Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Optimierung des Vereisungsschutzes bei Platten-Enthalpieübertragern zur Reduktion von elektrischen Leistungsspitzen

Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wurde der Start der Vereisung sowie das Vereisungsverhalten von einem Platten-Enthalpieübertrager im Labor untersucht. Mit den erarbeiteten Erkenntnissen wurden verschiedene Vereisungsschutzstrategien optimiert und beurteilt. Der Fokus liegt dabei auf der Reduzierung von elektrischen Leistungsspitzen im Winter.

Platten-Enthalpieübertrager gewinnen zusätzlich zu herkömmlichen Platten-Wärmeübertragern aus Aluminium nicht nur die Wärme, sondern auch die Feuchte aus der Abluft zurück. Aufgrund der Feuchterückgewinnung wird die Vereisungsgefahr gegenüber einem Platten-Wärmeübertrager erheblich reduziert, wodurch Vereisungsschutzstrategien erst bei tieferen Aussenlufttemperaturen zum Einsatz kommen.

Laborversuch zum Vereisungsverhalten

Zunächst wurden systematisch geplante Messungen durchgeführt, um den Startpunkt sowie das weitere Verhalten bei einer Vereisung zu eruieren. Dabei wurde eine Messmatrix mit verschiedenen Aussenlufttemperaturen und Abluftfeuchten erstellt. Diese bezieht sich auf den nominellen Luftvolumenstrom des Platten-Enthalpieübertragers von 400m³/h. Weiter wurde eine kleinere Messmatrix für einen reduzierten Luftvolumenstrom von 210m³/h erstellt. Es konnte festgestellt werden, dass die Vereisung durch die Reduzierung des Luftvolumenstromes verzögert wird. Die Vereisung wurde über den Druckverlustanstieg an der Abluft-Fortluftseite detektiert. Nach einer Analyse der Messdaten wurde der Startpunkt der Vereisung mit im Lüftungsgerät detektierbaren Messgrössen beschrieben. Aus der Auswertung der Messpunkte im h,x-Diagramm geht hervor das der Platten-Enthalpieübertrager bei Fortluftkonditionen von unter 0°C und einer relativer Feuchte von über 80% vereisen.

400m ³ /h		Abluftfeuchte			
		30	40	50	[% r.F.]
		4.9	6.5	8.1	[g/kg]
Aussenluft- temperatur [°C]	-3				
	-6				
	-9				
	-12				
	-15				

Legende

	Keine Vereisung (kein Anstieg des Druckverlustes nach 6h)
	Start der Vereisung (kein Signifikanter Anstieg des Druckverlustes)
	Vereist (Erreichen des doppelten Druckverlustes)

Abb. 1: Messmatrix 400m³/h

19 Optimierung des Vereisungsschutzes bei Platten-Enthalpieübertragern zur Reduktion von elektrischen Leistungsspitzen

Art der Vereisung

Anhand einer visuellen Untersuchung des Platten-Enthalpieübertragers wurde die Verteilung und die Art der Vereisung ermittelt. Die Vereisung konzentriert sich auf die kalte Ecke des Platten-Enthalpieübertragers an welcher sich die kalte Aussenluft sowie die heruntergekühlte und weiterhin feuchte Ab- bzw. Fortluft am nächsten beieinander sind. Bei der Art der Vereisung handelt es sich um Eiskristalle, welche sich zunächst an den Lamellen für die Luftführung bilden und den Querschnitt für den Luftstrom von der Abluft in die Fortluft sukzessive verengen. Die festgestellten Eiskristalle weisen eine mehrheitlich weisse bis durchsichtige Farbe auf und sind sehr fein.

Vereisungsschutzstrategien

Mit den Erkenntnissen aus dem Labor wurden verschiedene Vereisungsschutzstrategien auf ihre Leistungsspitze und ihren Einfluss auf die Behaglichkeitskriterien untersucht. Jede Vereisungsschutzstrategie hat eine Auswirkung auf die Leistungsspitze oder auf die Behaglichkeit. Deshalb ist die beste Vereisungsschutzstrategie diejenige, die nicht zum Einsatz kommt. Wie dies mit dem Einbau eines Platten-Enthalpieübertragers möglich ist. Liegen die Aussenlufttemperaturen am Standort ganzjährig oberhalb von -9°C muss bei einem Platten-Enthalpieübertrager im Wohnungsbau mit typischen Abluftfeuchten von durchschnittlich 30% r.F. im Winter keine Vereisungsschutzstrategie berücksichtigt werden. Liegen die minimalen Aussenlufttemperaturen jedoch tiefer und eine Luftvolumenstromreduzierung ist zulässig, führt eine balancierte Reduktion des Luftvolumenstroms zu einer deutlichen Verzögerung der Vereisung und keiner resultierenden Leistungsspitze. Kann der Luftvolumenstrom nicht reduziert werden führt ein Bypass als Vereisungsschutzstrategie zu der geringsten Leistungsspitze. Jedoch kann dabei nicht die volle Feuchterückgewinnung ausgenutzt werden. Ist die Feuchterückgewinnung für die Anwendung unersetzlich, sollte eine Vorwärmung als Vereisungsschutzstrategie eingesetzt werden. Im Vergleich zu einem Platten-Wärmeübertrager werden die Leistungsspitzen durch den Einsatz eines Platten-Enthalpieübertragers massgeblich reduziert.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_20
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Strommangellage – Photovoltaik als Notstromversorgung

Studierende	Markus Lindegger
Dozierende	Volker Wouters Roger Buser
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Martin Winiger, SCHERLER AG, Friedentalstrasse 43 CH-6004 Luzern)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Strommangellage – Photovoltaik als Notstromversorgung

Mit sich verschärfender Lage auf dem europäischen Energiemarkt wird oft von einer Krise oder einer Mangellage gesprochen, so auch von einer Strommangellage in der Schweiz. Eine Strommangellage entsteht bei einem Ungleichgewicht von Produktion und Verbrauch elektrischer Energie während mehrerer Tage, welchem die Wirtschaft nicht aus eigener Macht begegnen mag. Besteht solch eine Mangellage über einen Längeren Zeitraum, kommt es zu Massnahmen wie Verbrauchseinschränkungen oder zeitweisen Netzabschaltungen.

Um den Netzabschaltungen und den Einschränkungen entgegenwirken zu können, als Endverbraucher, hat man die Möglichkeit bei sich lokal eine Notstromversorgung zu errichten. In letzten Jahren haben Photovoltaikanlagen einen Boom erlebt. Angesichts einer Mangellage liegt die Frage nah, wie man den produzierten Photovoltaikstrom bei einem Netzausfall trotzdem brauchen kann.

Strommangellage

Das Bundesamt für Bevölkerungsschutz bearbeitet regelmässig die nationale Risikoanalyse. Anhand eines ausführlichen Katalogs, in welchem denkbare Gefährdungen aufgelistet sind, werden die für die Schweiz relevanten Gefährdungen herausgefiltert und weiterbearbeitet. So gilt auch eine Strommangellage als eines für die Schweiz relevanten Risiken und wird einer detaillierten Risikoanalyse unterzogen. Aufgeteilt in die Kategorien: Gefahrenquelle, Zeitpunkt, Ort/Ausdehnung und Ereignisablauf wird ein Szenario erstellt, um anhand greifbarer Ereignisse darzustellen, welche gesellschaftlichen, wirtschaftlichen, ökologischen und humanen Auswirkungen eine Strommangellage hat. Das für die Strommangellage erstellte Szenario dauert 16 Wochen an, während welchen es Verbrauchseinschränkungen, Stromnetzabschaltungen und zentral gesteuerten Angebotslenkungen und Ausführeinschränkungen kommt. Für die Umsetzung einiger dieser Massnahmen ist die Organisation für Stromversorgung in ausserordentlichen Lagen (OSTRAL) verantwortlich. In der nationalen Risikoanalyse ist die Strommangellage als Top 1 Risiko eingestuft.

Notstromversorgung

Eine Notstromversorgung besteht aus einer oder mehreren Anlagen, welche bei Ausfall der normalen Stromversorgung über das Stromnetz die Funktion als Energiequelle übernehmen. Dies können entweder Stromspeicher sein oder elektrische Energieerzeugungsanlagen. Üblich im Gebrauch für Notstromversorgungen sind Notstromaggregate oder Batteriespeicher, seltener sind Flywheels oder Dieseldynamische unterbrechungsfreie Stromversorgungen.

Photovoltaikanlage

Eine Photovoltaikanlage als alleinstehende Anlage eignet sich nicht als Notstromversorgung, da sie nur Strom produziert, wenn die Sonne scheint. Die produzierte Energie einer Photovoltaikanlage ist somit stark vom Wetter als auch der Tageszeit abhängig. Möchte man eine verlässliche und berechenbare Notstromversorgung hat man die Photovoltaikanlage mit anderen Anlagen zu kombinieren. Im Zusammenspiel mit anderen Anlagen entstehen Synergien aber auch Schwierigkeiten. Zum Beispiel kann in Kombination mit einem Notstromaggregat, welches oft Diesel verwendet, Treibstoff gespart werden. Dies führt zu tieferen Betriebskosten und geringerem Treibhausgasausstoss. Für Schwierigkeiten sorgt eine Photovoltaikanlage dann, wenn ihre schwankende Produktion für Instabilitäten im Netz sorgt.

20: Strommangellage – Photovoltaik als Notstromversorgung**Lösung**

Das Problem der Netzstabilität tritt dann auf, wenn die Photovoltaikanlage erheblich grössere Leistungen produziert als die anderen Anlagen ausgleichen können. Dieses Problem entsteht, weil jeweils die zur Photovoltaikanlage ergänzende Anlage die netzgenerierende Funktion übernimmt und die Photovoltaikanlage sich lediglich an das von der anderen Anlage erstellte Netz angleicht. Einen Ansatz dieses Problem zu lösen, ist ein Pufferspeicher. Dieser sorgt dafür, dass die sich zu schnell ändernde Produktion im Pufferspeicher zwischengespeichert wird und dann kontrolliert ins Netz eingespeist wird.

Ein weiteres Problem im Notstrombetrieb ist die Sicherheit der elektrischen Installation. Gerade die Schutztrennung im Fehlerfall ist stark von den Kurzschlussströmen abhängig. Diese sind je nach verwendeter Notstromanlage deutlich tiefer als im Normalzustand, da sich die Anlage im Inselbetrieb befindet und die Kurzschlussenergie nicht vom Stromnetz kommen kann. Eine weitere Problematik im Inselbetrieb ist die Erdung. Je nach Netzform die im Netzverbundenen Zustand vorhanden ist, kann diese sich beim Trennen vom Netz und Übergang in den Inselbetrieb ändern. Im Inselbetrieb ist trotzdem zu gewährleisten, dass die Erdung sowie der Sternpunkt klar definiert sind. Abhilfe hierbei bietet die SN-EN 60364-8-82, welche unter anderem dieses Thema behandelt.

Fazit

Es ist technisch, wenn auch mit gewissen Aufwänden verbunden, möglich Photovoltaikanlagen in eine Notstromversorgung miteinzubeziehen. Da in der Schweiz das Bedürfnis bisweilen dafür nicht da war, ist ein Unbehagen zu verspüren eine solche Lösung zu implementieren. Für Hoffnung sollen Anwendungen in anderen Ländern sorgen. In Gebieten, wo keine zuverlässige Stromnetze vorhanden sind, werden bereits heute Microgrids erstellt, um mit Hilfe von erneuerbaren Energieerzeugern, Batteriespeichern und anderen Erzeugern ein verlässliches lokales Stromnetz zu erzeugen.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_21
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Elektroinstallationen ohne Betoneinlagen

Studierende	Samir Attieh Martin Baggenstos
Dozierende	Prof. Volker Wouters Prof. Björn Schrader
Experte	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_22
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Photovoltaik Freiflächen Anlage Andiastr

Studierende	David Bühler
Dozierende	Roger Buser Johan Verbiest
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Industriepartner	Rudolf Vogel, Vogel Architekten, Baslerstrasse 15, 4310 Rheinfelden
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Gegenüberstellung und Vergleich

Diese Smart Home Installation wird im Wohnungsbau im Vergleich zu anderen Elektroinstallationsarten gegenübergestellt. Dabei werden ökonomische und ökologische Aspekte betrachtet. Als Fallobjekt dient eine Musterwohnung.

Die Kostenanalyse für die gesamte Musterwohnung zeigt, dass die Aufputz- und die Bauplatteninstallation die höchsten Kosten verursachen. Dies liegt daran, dass die Installation in der gesamten Wohnung zeitaufwändig ist. Die Unterputzinstallation liegt im mittleren Preissegment, während die Smart Home Installation aufgrund der reduzierten Installationsausführung die kostengünstigste Variante darstellt.

Der Vergleich der Ökobilanzen bezieht sich auf Unterputz- und Smart-Home-Installationen. Die Unterschiede in der Ökobilanz weisen nicht die gewünschten Umweltentlastungen auf. Bei der konventionellen Installation im Wohnungsbau sind hohe Umweltbelastungen im Bereich der Kabel und Rohre festzustellen. Beim Smart Home-System können die Umweltbelastungen um ca. 23 % bis 27 % reduziert werden. Das ist kein Glanzstück, aber ein Schritt in Richtung Nachhaltigkeit.

Durch die gezielte Reduktion der Umweltbelastung in der Elektroinstallation wird ein wichtiger Beitrag zum Umweltschutz geleistet. Mit der Smart Home Installation können Energieeinsparungen durch effiziente Steuerung erzielt werden. Dies führt trotz der zusätzlichen Standby-Energie zu einer Reduktion der Energiekosten.

Ausblick

Die vorliegenden Analysen haben gezeigt, dass durchdachte Elektroinstallationsarten, die darauf abzielen, Einlagen in tragenden Konstruktionen zu minimieren oder zu vermeiden, ein enormes Potenzial für ökologische und ökonomische Vorteile bieten. Der Einsatz neuer Technologien und innovativer Installationsarten ermöglicht eine effizientere Ressourcennutzung und reduziert die Umweltbelastung. Die Integration von Smart Home Komponenten bietet Nutzende einen enormen Komfort und ermöglicht eine effizientere Steuerung. Die Kombination von ortsveränderlichen Steckdosen und funkbasierter Steuerung verspricht eine vielversprechende Zukunft für die Smart Home Installation. Die Integration von drahtlosen Schaltern macht verkabelte Schalter überflüssig, was zu Kosteneinsparungen führt. Die Lebensdauern der Baustruktur und der Installation unterscheiden sich teils stark. Um effiziente und nachhaltige Installationserweiterungen zu gewährleisten, soll in Zukunft eine Systemtrennung umgesetzt werden. Dabei soll speziell die Integration von Photovoltaikanlagen, Ladestationen für Elektroautos und elektrischen Energiespeichern berücksichtigt werden

Die Reduzierung von Einlagen in Betontragwerke wird als Handlungsempfehlung für den Wohnungsbau vorgeschlagen. Dabei sollten Aspekte wie Systemtrennung, Nutzungsflexibilität, Benutzerfreundlichkeit, Kostenvergleich und Umweltbelastung berücksichtigt werden. Die Zukunft der Elektroinstallation liegt in Smart Home Lösungen, bei denen Spracherkennungssysteme und künstliche Intelligenz eine zentrale Rolle spielen. Die Einbindung von HLKE-Komponenten erleichtert die Bedienung und es ist realistisch, auf physische Schalter zu verzichten.

Um die Vorteile dieser Entwicklung maximal auszuschöpfen, empfiehlt es sich, die Ergebnisse und Empfehlungen dieser Arbeit mündlich an alle relevanten Akteure weiterzugeben. Ein Dominoeffekt kann dazu führen, dass der Nutzen dieser innovativen Ansätze global verbreitet wird und die Elektroinstallation dadurch im Bereich der nachhaltigen Entwicklung optimiert wird.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_22
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Photovoltaik Freiflächen Anlage Andiastr

Studierende	David Bühler
Dozierende	Roger Buser Johan Verbiest
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Industriepartner	Rudolf Vogel, Vogel Architekten, Baslerstrasse 15, 4310 Rheinfelden
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Photovoltaik Freiflächen Anlage Andiastr

Der Bau von Photovoltaikanlagen umfasst in der Schweiz beinahe nur Dach- und Fassadenanlagen. Freistehende Photovoltaikanlagen (PVA) sind wenig verbreitet, trotz einem riesigen Potenzial zur Energieerzeugung. Exemplarisch wird das Potenzial an einem Standort in der Surselva (GR) untersucht. Die Ergebnisse zeigen, welchen Nutzen freistehende PVA erbringen können und welche Varianten am geeignetsten sind.

Momentan werden in der Schweiz Hochalpine Photovoltaikanlagen und deren Potential für die Winterstromversorgung diskutiert. Dabei stehen oft grosse Anlagen, welche ganze Alpliegenschaften und Täler für sich einnehmen, im Mittelpunkt der Diskussion. Dezentrale Energieeinheiten und deren Potential zur lokalen Energieproduktion und -verbrauch gehen dabei vergessen. Jedoch haben dezentrale Photovoltaikanlagen das grösste Potential bezüglich Landschaftsschutz und Ökologie, da sie kleine und räumlich getrennte Flächen beanspruchen. Zudem können dezentrale Anlagen einen wichtigen Beitrag zur Produktion von umweltfreundlichem Winterstrom beitragen. Folgend wurde untersucht, unter welchen raumplanerischen, technischen und ökologischen Vorgaben eine freistehende PVA in der Ortschaft Andiastr (GR) gebaut werden kann. Das betrachtete Grundstück hat eine Fläche von 1'500 m², weist eine Neigung von 30° auf und ist nach Südosten (-50° Azimut) ausgerichtet.

Standortanalyse

Andiastr weist mit jährlich 1'800 Sonnenstunden einen hohen Wert auf. Zum Vergleich, das Schweizer Mittelland hat gemäss Meteo Schweiz eine mittlere Sonnenscheindauer von 1'500 Stunden pro Jahr. Dank der hohen Anzahl Sonnenstunden beträgt die jährliche horizontale Globalstrahlung 1'367 kWh/m². Aufgrund des Albedo Effekts weist der Standort auch im Winter eine hohe Globalstrahlung auf.

Die Anlage ist durch Naturgefahren, wie Rutschungen, Oberflächenwasser, Hagel, Schnee und Sturmböen gefährdet. Diese Gefahren können mit technischen oder planerischen Massnahmen reduziert werden. Die Anlage wird in einer beeindruckenden Berg- und Tallandschaft errichtet, daher ist der Landschaftsverträglichkeit ein hoher Stellenwert beizumessen. Mit dem Bau einer freistehenden Anlage kann für die Vielfältigkeit der Flora und Fauna ein Mehrwert geschaffen werden. Dies kann durch eine extensive Bewirtschaftung der Fläche und durch das Schaffen von Struktureichtum (Steinhäufen, Sandhäufen, Holzhaufen, etc.) geschehen. Die verschiedenen Varianten wurden gemäss den oben genannten Anforderungen untersucht und bewertet, daraus resultierte die Gewinnervariante.

Gewinnervariante

Die Ergebnisse der Variantenstudie sind in Abbildung 1 dargestellt. Dabei wurden die verschiedenen Varianten mit Punkten bewertet, wobei die Variante mit der höchsten Punktzahl als Gewinner hervorgeht. Die bewerteten Kriterien sind ebenfalls in Abbildung 1 ersichtlich. Die Variante Solarzaun «Standard» hat aufgrund der guten Landschaftsverträglichkeit und der einfach umsetzbaren ökologischen Ausgleichsmassnahmen am besten abgeschlossen. Sie weist aufgrund der vertikal angeordneten Module eine hervorragende Winterstromerzeugung auf. Zudem lässt der Solarzaun eine extensive Nutzung des Grundstücks als Schafweide zu.

Kriterien	Solarzaun Standard	Solarzaun gefärbt	Solar Wings	Rebberg	Smartflower	Felsberg	Gruppirt
Landschaftsverträglichkeit	120	120	90	120	120	60	120
Ökologie	100	75	100	125	50	50	125
Innovation	75	60	75	75	60	45	45
Realisierbarkeit	50	50	20	30	50	50	40
Wirtschaftlichkeit	30	10	0	20	20	50	40
Schutz vor Naturgefahren	25	25	25	20	15	15	15
Effizienz in Winterhalbjahr	25	15	20	15	15	5	5
Total erreichte Punkte	425	355	330	405	330	275	390
Rangierung	1	4	5	2	5	7	3

Abb. 1: Auswertung der Varianten. In der Tabelle sind den Kriterien die erreichten Punkte zugeordnet. Pro Variante ergibt sich eine Gesamtpunktzahl, welche zur Rangierung der Varianten genutzt wird.

Mit der Gewinnervariante wird der Nutzen eines eventuellen Zusammenschlusses zum Eigenverbrauch (ZEV) und dessen Potential für eine nachhaltige Entwicklung untersucht.

Nachhaltige Entwicklung

Der Solarzaun produziert jährlich 183'219 kWh Solarstrom. Davon können 54'925 kWh durch die Bildung eines ZEV vor Ort verbraucht werden. Den ZEV-Teilnehmern kann ein interner Stromtarif von 16 Rp. / kWh angeboten werden. Dieser Wert ist 9 Rp. günstiger als das günstigste Stromprodukt des regionalen Netzbetreibers. Zudem kann ein grosser Teil der erzeugten Energie verkauft werden und somit ein Erlös von etwa 15'000 Fr. erwirtschaftet werden. Der nicht eigenverbrauchte Solarstrom des ZEV wird in das Schweizer Stromnetz eingespeist. Dadurch ersetzt er die gleiche Menge an Strom des CH-Verbrauchermixes. Somit können jährlich ca. 10 Tonnen CO₂-eq. eingespart werden. Über einen Zeitraum von 30 Jahren betrachtet bedeutet dies eine Einsparung von 296 Tonnen CO₂-eq.

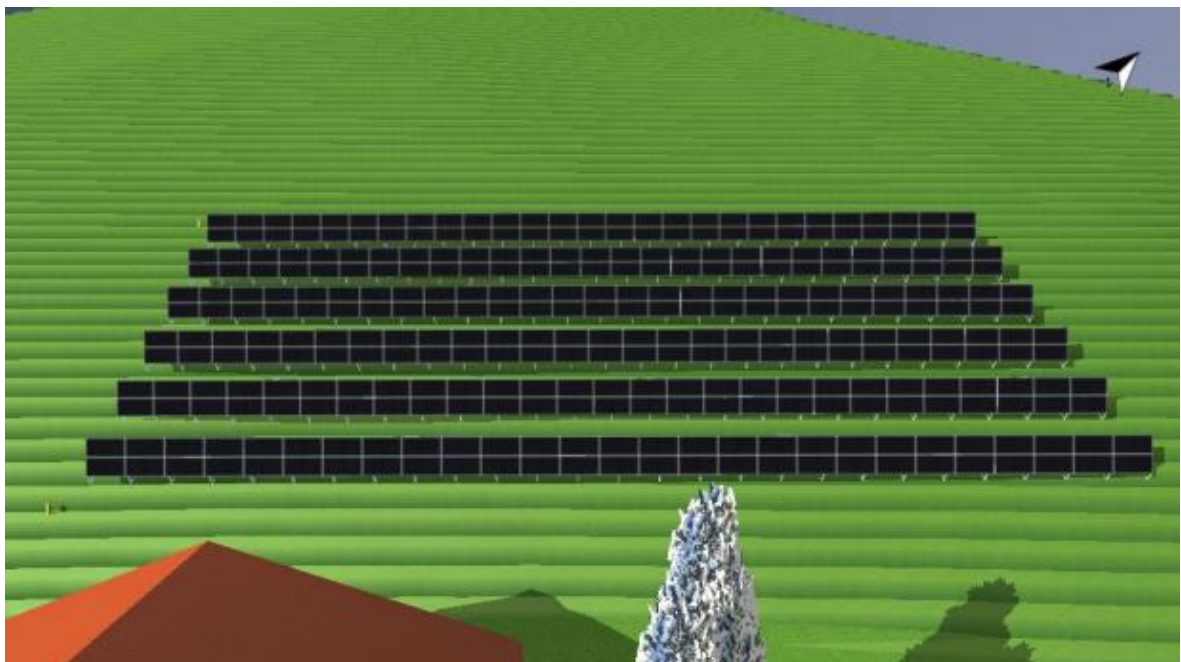


Abb. 2: Ansicht der Photovoltaikanlage Solarzaun «Standard» (PVSOL premium 2023)

Das Dorf Andiast hat, wie viele Bergdörfer, mit der Demographie seiner Bevölkerung zu kämpfen. Gemäss einer Untersuchung kann dem demographischen Rückgang in Dörfern durch das bewusste

Gestalten und Aufwerten von Dorfkernen entgegengewirkt werden. Durch die Schaffung eines ZEV kann den Anwohnern der günstige Energiepreis zugutekommen und einen Anreiz geschaffen werden, in Andiastr wohnen zu bleiben. Die Bachelorarbeit «Photovoltaik Freiflächen Anlage Andiastr» bietet innovative und nachhaltige Lösungen für die Anforderungen der Gegenwart und der Zukunft.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_23
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Neuer Campus Horw – Der Campus als Kraftwerk BAT G_23_23

Studierende	Lukas Blümli Sandro Zehnder
Dozierende	Roger Buser Johan Verbiest
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Prof. Urs Rieder, Hochschule Luzern, Technikumstrasse 21, 6048 Horw
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Neuer Campus Horw – Der Campus als Kraftwerk

Der Campus Horw soll in den nächsten Jahren renoviert und vergrößert werden. Neben dem Departement Technik & Architektur wird ab dem Jahr 2029 auch die Pädagogische Hochschule Luzern auf dem neuen Campus vertreten sein. Mit dieser Bachelor-Thesis soll das Potenzial zur Produktion von erneuerbarer Energie auf dem neuen Campus bestimmt werden. Im Fokus der Thesis steht die Photovoltaik.

Als Grundlage für die Bachelor-Thesis dienten die Unterlagen des Wettbewerbsprojekt Gravity. Für die Simulationen und die Auswertung wurde nur der Stand Wettbewerb betrachtet. Zu Beginn wurden sämtliche vorhandenen Unterlagen gesichtet und ein erstes Potenzial abgeschätzt. Mit der Auswahl von verschiedenen Montagesystemen und Belegungsflächen wurde die Grundlage für eine detaillierte Simulation geschaffen. Anschliessend wurden von allen möglichen Flächen und Systemen Simulationen in Stundenwerten angefertigt und ausgewertet. Mit dem eigens erstellten Exceltool konnten die Simulationsergebnisse optimal ausgewertet werden. Gleichzeitig ist mit diesem Tool eine Auswertung auch für Personen mit weniger Fachkenntnis möglich.

Potenzialanalyse anhand der vorhandenen Flächen

Nach der Bedürfnisanalyse der Bauherrschaft wurde eine erste Flächenabschätzung durchgeführt. Um den Umfang der Arbeit zu definieren und eine optimale Grundlage für die Simulation zu schaffen, wurde das ganze Areal analysiert. Es wurde bestimmt, welche Flächen sich für eine Aktivierung mit einer Photovoltaikanlage anbieten und welche eher nicht. In der Abbildung 1 wurden diese Flächen mit unterschiedlichen Farben gekennzeichnet. Die grünen Flächen stellen das Potenzial für gängige Dachanlagen dar. Bei den orangen Flächen handelt es sich um Dachränder, die genügend breit sind, um eine Aktivierung zu ermöglichen. Neben den gängigen Montagesystemen könnten die violett und blau markierten Flächen mit speziell angefertigten Montagesystemen ausgestattet und ebenfalls aktiviert werden. Bei diesen Flächen handelt es sich um überdachte Passerellen und Fahrzeugunterstände (violett) sowie einem Verschattungssystem für Atrien und Dachgärten (blau). Auch Absturzsicherungen wie Zäune sollen aktiviert werden. Diese sind in der Abbildung 1 rot markiert.



Abb. 1: Möglicher Belegungsplan des neuen Campus Horw

Neben den horizontalen Flächen und den «Spezialflächen» sollen auch die vertikalen Flächen auf dem Campus betrachtet werden. Daher ist angedacht, dass auch sämtliche Fassadenflächen aktiviert werden sollen. In der Abbildung 2 ist eine mögliche Ausstattung für die Trakte 2 bis 4 dargestellt.

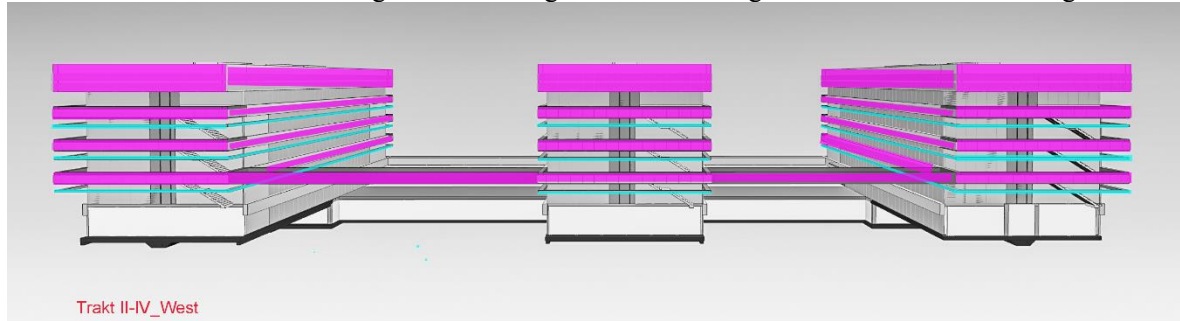


Abb. 2: Skizze mögliche Fassadenaktivierung am Beispiel der Trakte 2-4

Simulation

Die gesamte Analyse basiert auf den Wettbewerbsunterlagen. Um dennoch eine aussagekräftige Empfehlung abgeben zu können, wurde jede Fläche und jedes Montagesystem einzeln simuliert. Durch diese Aufteilung der Simulation kann einfacher auf spätere Anpassungen im Projekt reagiert werden. Die Betrachtung des Areals ist dank dem dafür erstellten Exceltool dennoch möglich.

Die Simulationen der Photovoltaikanlagen wurden mit der Software PV*sol premium von der Firma Valentin Software GmbH erstellt. Inkludiert in die dynamische Simulation sind bifaziale Energieerträge, eine Verschattungssimulation anhand der umliegenden Gebäude und dem Horizont sowie die Degradation und Verschmutzung. Sämtliche Simulationen wurden mit einer stündlichen Auflösung durchgeführt und als CSV-Dateien exportiert. Die CSV-Dateien bilden die Grundlage für das Exceltool.

Lastprofil und elektrisches Arealkonzept

Um eine plausible Auswertung der Simulationen zu ermöglichen, sind ein elektrisches Arealkonzept und ein mögliches Lastprofil von grosser Relevanz. Das Lastprofil wurde anhand der vorhandenen Arealdaten und den Schätzungen nach SIA für das neue Areal ermittelt. Das elektrische Arealkonzept wurde in Absprache mit dem Elektroingenieur des neuen Areals entwickelt.

Szenarien

Mit Hilfe des Exceltools können verschiedene, mögliche Szenarien betrachtet werden. Für die Thesis wurden die drei relevantesten ausgesucht und detaillierter untersucht. Betrachtet wurden das Szenario «maximale Produktion», ein ökonomisch optimiertes Szenario und ein Winterstrom optimiertes Szenario.

Empfehlung

Der Bauherrschaft wurde das Szenario 1 «maximale Produktion» empfohlen. Mit diesem Szenario ist eine Produktion von circa 3.1 GWh elektrischer Energie möglich. Bei einem jährlichen Verbrauch von circa 3.9 GWh kann mit dem Szenario 1 bilanziell betrachtet fast 80 % der verbrauchten Energie gedeckt werden. Auch ökonomisch betrachtet ist eine Anlage mit einer Amortisationszeit von circa 19 Jahren definitiv vertretbar. Der neue Campus Horw soll ein Leuchtturmprojekt werden und mit der Umsetzung einer Photovoltaikanlage in diesem Ausmass kann dies sicherlich erreicht werden. Gleichzeitig kann mit diesem Szenario auch im Bereich der Lehre ein grosser Mehrwert gewonnen werden, indem den Studierenden aufgezeigt wird, wo eine Photovoltaikanlage überall zur Anwendung kommen kann.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_24
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Energiekonzept und energetische Optimierung einer Kleinbrauerei

Studierender	Luca Vidori
Dozierende	Leonardo Montali Harry Gmür
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Vertraulich)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Energiekonzept und energetische Optimierung einer Kleinbrauerei

Die Bachelor-Thesis befasst sich mit der energetischen Optimierung einer Mikro Brauerei. Der Betrieb ist innerhalb von wenigen Jahren von einem Hobby und Freizeitprojekt organisch zu einer angesehenen Kleinbrauerei gewachsen. Doch das Wachstum zog auch Probleme mit sich. Ineffiziente Übergangslösungen wurden zum fixen Bestandteil des Brauprozesses. Verglichen mit den kleinen Produktionsmengen sind die Energiekosten massiv. Da es sich bei den Betreibern um Privatpersonen ohne einen Investor im Hintergrund handelt ist das Kapital für Investitionen jedoch begrenzt. Die Optimierung soll daher sowohl aus energetischer als auch wirtschaftlich Sicht Sinn ergeben.

Hauptziel der Arbeit war es, eine Energiebilanz aufzustellen und zu analysieren in welchen Bereichen Verbesserungen und Einsparungen möglich sind. Der Optimierungsvorschlag sollte als Prinzipschema aufgezeichnet werden und mit einem Funktions- und Regelbeschrieb ausgearbeitet werden. Die Investitionskosten und die Einsparungen sollten gegenübergestellt werden und ein Fazit daraus gezogen werden.

Methodik

Bei der Anlagebesichtigung wurde der aktuelle Stand der Brauerei aufgenommen. Beim Rundgang wurde der Brauprozess erklärt und die bestehenden Komponenten gezeigt. Die Erkenntnisse aus der Anlagebesichtigung flossen in eine Standort-, Nutzer- und Bedürfnisanalyse. Diese Analysen bilden die Eckpfeiler der Arbeit und schafften eine Eingrenzung für die Systemwahl. Mit der Eingrenzung wird ermittelt in welchen Bereichen die Möglichkeit für Verbesserungen besteht. Zudem wurden auch unkonventionelle Energiequellen auf ihren Nutzen analysiert, wie die exotherme Energie, welche durch die alkoholische Gärung entsteht. Mit einer Messung wurden die Ergebnisse aus der Berechnung dazu überprüft. Des Weiteren wurden die Energieflüsse, welche für die Erwärmung und die Kühlung notwendig sind, berechnet. Mit Hilfe dieser Ergebnisse konnten zwei Varianten für die Wärmerückgewinnung erarbeitet und verglichen werden. Für die aus dem Vergleich als Sieger hervorgehende Variante, wurde ein Funktions- und Regelbeschrieb ausgearbeitet. Mit einer Kostenschätzung und dem Fazit daraus wurde die Arbeit abgeschlossen und kann als Entscheidungshilfe für die Betreiber genutzt werden.

Energie aus der exothermen Reaktion der alkoholischen Gärung

Die alkoholische Gärung ist ein Anaerob ablaufender Prozess. Dabei wird die in der Bierwürze enthaltene Glukose durch Hefe in Ethanol und Kohlenstoffdioxid reduziert. Dieser Vorgang führt zu einer exothermen Reaktion, denn durch die Reduktion nimmt die Innere Energie des Systems ab und wird in Form von Wärme freigesetzt. Entscheidend für die exotherme Energie, ist die in der Bierwürze enthaltene Glukosemenge. Je höher diese Ausfällt, desto mehr Abwärme entsteht. Referenzwerte oder Kennzahlen fanden sich kaum in der Fachliteratur. Daher wurde die exotherme Energie in der Arbeit auf zwei verschiedene Arten berechnet. Bei den in der Brauerei produzierten Bierstilen ergab sich, bei einer Gärung von 1'000 Litern Bierwürze, eine Energiemenge von 16.22kWh bis zu maximal 33.43kWh. Dies jedoch über einen Gärzeitraum von 240 Stunden also zehn Tagen. Die Thermische Leistung der Gärung liegt somit im Bereich um die 100 Watt. Somit ist die exotherme Energie während der Fermentation zwar spürbar und kann über längere Zeit auch zu einer Temperaturerhöhung führen, um sie jedoch aktiv zu nutzen ist die Leistung viel zu klein.

Messung am Fermenter

Um die Berechnungen zur exothermen Energie zu überprüfen, wurde ein Messversuch durchgeführt. Dabei wurde der Durchfluss der Kältemaschine gemessen, sowie die Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der Kälte. Zudem wurden noch die Oberflächentemperaturen und die Raumlufttemperatur gemessen. Während der Messperiode herrschten perfekte Bedingungen für das Brauen von obergäurigem Bier, ein Wärmeeintrag durch die Raumluft konnte ausgeschlossen werden. Mit der Messung konnten die berechneten Ergebnisse zur exothermen Energie verifiziert werden, die Abweichung lag bei weniger als einem Prozent. Eine weitere Erkenntnis aus der Messung war, dass die Kältemaschine taktet. In Abbildung 1 ist dies gut an den Vorlauf- und Rücklauftemperaturen der Kälte zu sehen. Die Kältemaschine schaltet jeweils für wenige Minuten ein und stoppt dann rapide. Die restliche Zeit war die Kältemaschine nicht aktiv. Um die Laufzeiten zu verlängern und das Takten zu glätten, wurde daher ein Kältepufferspeicher als Optimierung empfohlen.

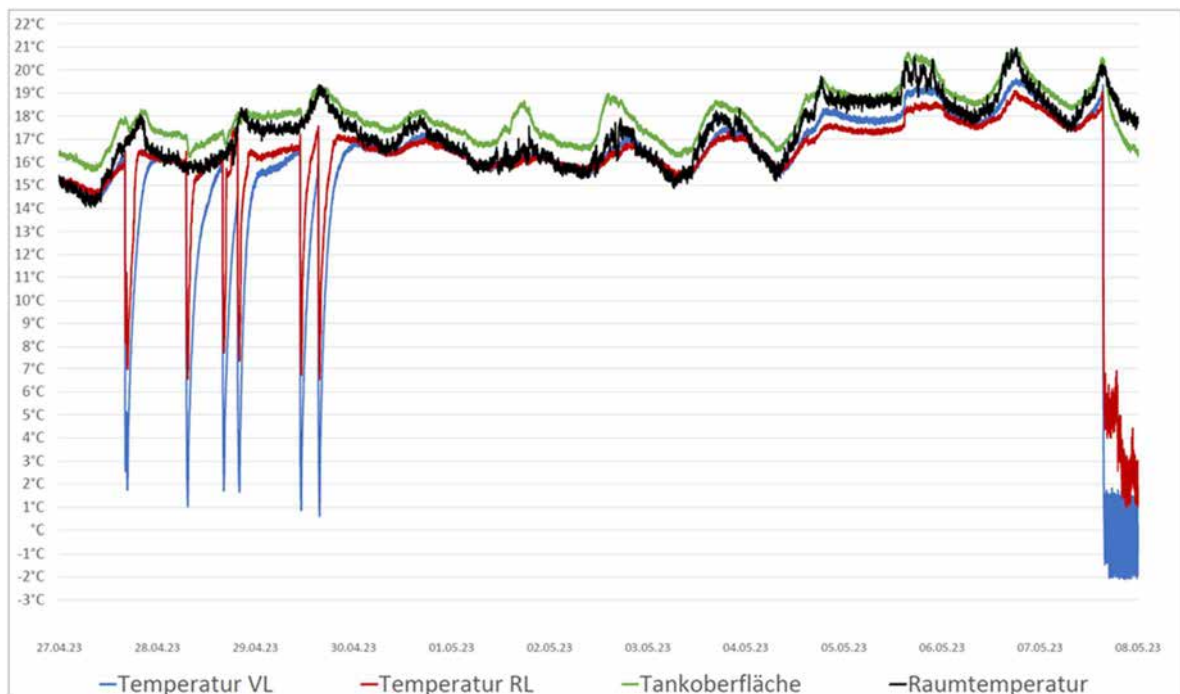


Abb. 1: Messergebnisse der Temperaturfühler.

Vergleich Latentspeicher und Schichtspeicher

Es zeigte sich schnell, dass die grösste Energieeinsparung in einer Wärmerückgewinnung liegt. Da jedoch jeweils nur einmal pro Woche Wärme für den Kochprozess benötigt wird, muss die Energie gespeichert werden. Dazu wurden zwei Speichervarianten verglichen, einmal ein Latentspeicher welcher mit einem Phasenwechsel Material gefüllt ist und einmal ein konventioneller Schichtspeicher mit Wasser. Entscheidend für Beurteilung waren vor allem die Wärmerückgewinnung und die Speicherverluste. Es zeigte sich das die Wärmeverluste des Latentspeichers kleiner waren als die des Schichtspeichers. Jedoch konnte mit dem Latentspeicher aufgrund der vorgegebenen Arbeitstemperaturen nur ein Bruchteil der Energie zurückgewonnen werden. Für die Brauerei wurde daher ein Konzept mit einem Schichtspeicher weiterverfolgt.

Einbindung des Schichtspeichers

Der ausgearbeitete Verbesserungsvorschlag sieht vor, dass die Energie aus zwei Bereichen zurückgewonnen wird. Zum einen aus dem Heisswassertopf, dieser wird zuerst für die Erwärmung der Maische genutzt. Dabei kommt ein ähnliches System wie bei einem Durchlauferhitzer zum Einsatz. Die Maische fliesst durch ein Spiralregister welches im Heisswassertopf liegt. Durch das heisse Wasser wird die Maische langsam erwärmt und auf die gewünschte Temperatur gebracht. Nach diesem Prozess bleibt die Restwärme aktuell im Heisswassertopf zurück. Die überschüssige Energie geht an die Raumluft über, bis sich der Heisswassertopf nach einer gewissen Zeit wieder komplett auf die Raumlufttemperatur abgekühlt hat. Der Optimierungsvorschlag sieht vor, dass diese Energie in Zukunft in einem Schichtspeicher zurückgewonnen wird. Der zweite Bereich in dem Energie zurückgewonnen werden kann, ist während der Abkühlung der Würze vor dem umfüllen in den Fermentertank. Momentan wird die Abwärme aus diesem Prozess nicht genutzt und geht komplett verloren. Die Optimierung sieht vor, dass die Abwärme in Zukunft ebenfalls im Schichtspeicher zurückgewonnen werden kann. Die Zurückgewonnene Energie wird eine Woche später, für die Vorwärmung des Heisswassertopfes genutzt. So kann ein Grossteil der Stromkosten, welche durch die elektrische Widerstandsheizung verursacht wird, eingespart werden.

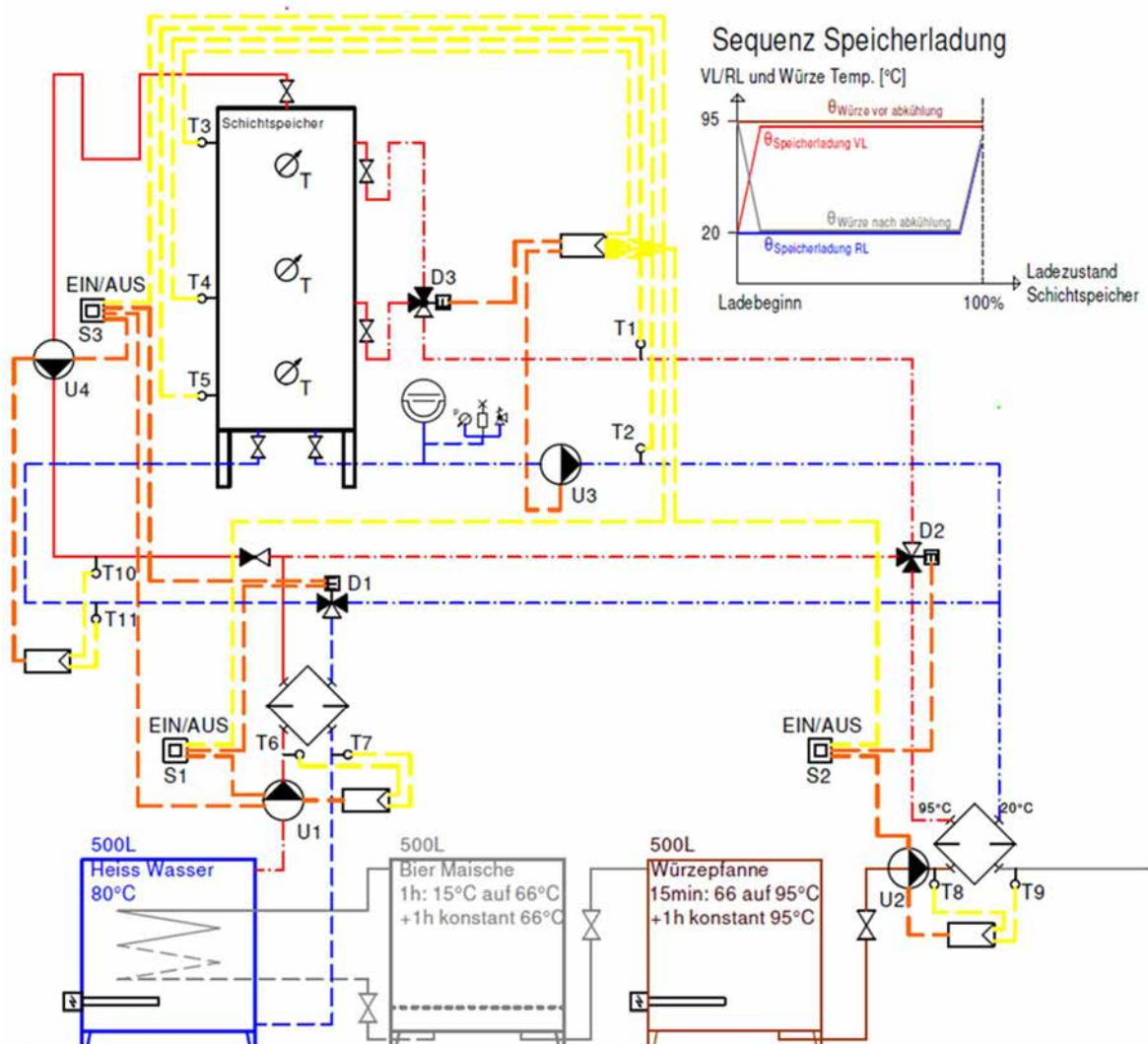


Abb. 2: Prinzipschema Wärmerückgewinnung.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_25
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Funktion von RLT-Anlagen mit Kombination von Variabel- und Konstant- Luftvolumenstromreglern

Studierende	Oliver Bachmann Philippe Stalder
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Harry Gmür
Experte	Stefan Walser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

25_Funktion von RLT-Anlagen mit Kombination von Variabel- und Konstant-Luftvolumenstromreglern

Funktion von RLT-Anlagen mit Kombination von Variabel- und Konstant-Luftvolumenstromreglern

Das sogenannte Mischsystem, bestehend aus Variabel- und Konstant-Luftvolumenstromreglern, ist eine weit verbreitete Möglichkeit eine Lüftungsanlage im Betrieb dynamisch abzugleichen. Beobachtungen an solchen Anlagen zeigen jedoch problematische Phänomene auf. Im Rahmen dieser Diplomarbeit sollen praxisnahe Anlagekonzepte analysiert und potenzielle Probleme im System identifiziert werden. Das Ziel besteht darin, eine Grundlage für zukünftige branchenspezifische Empfehlungen zu erarbeiten.

Problemstellung

In der Praxis werden verschiedene Abgleichsorgane parallel oder seriell kombiniert, was bei ungünstiger Umsetzung bereits im Neuzustand der Anlage zu erhöhtem Energieverbrauch führen kann. Mechanische Volumenstromregler in der Lüftungstechnik sind widerstandsfähig, aber weniger präzise als elektrische Volumenstromregler. Normalerweise stellen Abweichungen von $\pm 10\%$ des Sollwerts in den meisten Systemen kein Problem dar. Jedoch können signifikante Abweichungen und die Summierung dieser Ungenauigkeiten in grösseren Anlagen die Energieeffizienz beeinträchtigen. Mechanische Volumenstromregler arbeiten mit Drehmomenten und nutzen Federn zur Einstellung des Sollwerts. Dies führt zu einer kontinuierlichen Belastung der Bauteile und möglicherweise zu höherem Verschleiss. Schwingungen der leichtgelagerten Regelklappen werden durch Dämpfungselemente reduziert. Dennoch treten gemäss Beobachtungen Schwingungen und erhöhte Schallemissionen in der Praxis auf.

Ökonomie

Mit der Wirtschaftlichkeitsberechnung konnte erwiesen werden, dass ein Mischsystem die Vorteile einer Variablen-Anlage mit tiefen Betriebskosten und einer Konstant-Anlage mit geringeren Investitionskosten durchaus kombinieren kann (siehe Abb. 1). Dabei wurde die Empfehlung entwickelt, dass ab einem Luftvolumenstrom in einer Zone von mehr als $1'000 \text{ m}^3/\text{h}$ in jedem Fall eine variable Luftmengenregulierung nach einer gemessenen Regelgrösse zu prüfen ist. Das Referenzobjekt der Berechnung war ein mittelgrosses Büro mit einer Belegung von 30 Personen.

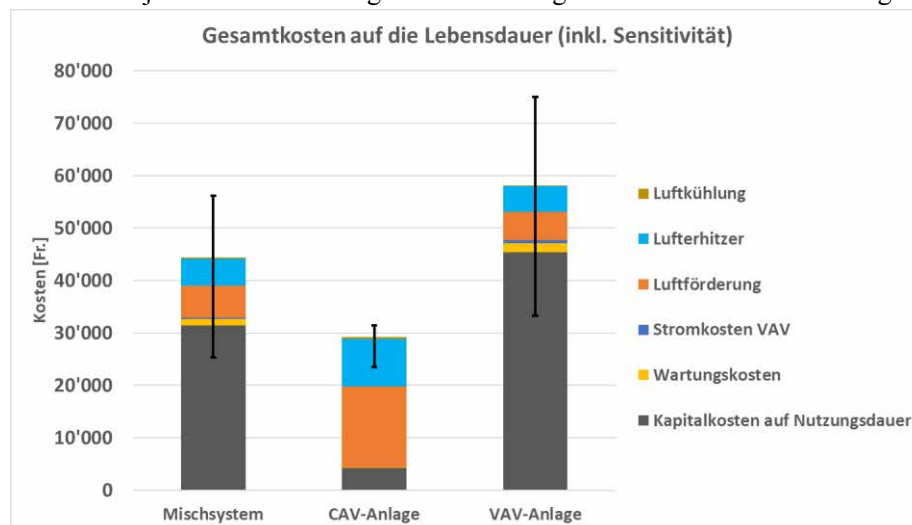


Abb. 1: Gesamtkosten einer Büroanlage auf die Lebensdauer von 25 Jahren mit Sensitivitätsanalyse

25_Funktion von RLT-Anlagen mit Kombination von Variabel- und Konstant-Luftvolumenstromreglern

Laboruntersuchung am IGE

Zur Untersuchung der Problemstellungen wurde am IGE in Horw ein bestehender Versuchsstand erweitert. Ausgerüstet mit mechanischen und elektrischen Volumenstromregler wurden folgende Überprüfungen im parallelen wie seriellen System vorgenommen: Genauigkeiten und Einstellbereiche der Konstant-Luftvolumenstromregler, Schwingfähigkeitsprüfung, Systemstabilität bei unterschiedlicher Drucksituation, Betriebsverhalten mit Fan Optimizer Regelung.

Erkenntnis Labor

Mithilfe des Laborversuchs konnte erwiesen werden, dass in einer Anlage mit kombinierter paralleler Einbindung von Konstant- und Variablen-Luftvolumenstromregler im Neuzustand keine Schwingungen entstehen und ein stabiler Betrieb möglich ist. Diese Erkenntnis legt nahe, dass allfällige Schwingungen durch die Alterung der Komponenten ausgelöst werden.

In einer seriellen Anordnung spielt hauptsächlich die Regelung des Ventilators und die Positionierung des Druckfühlers eine entscheidende Rolle. Ist der Druck vor der seriellen Anordnung grösseren Schwankungen ausgesetzt, benötigt das System eine längere Ausregelzeit, was sich negativ auf die Betriebsstabilität auswirkt. Unstetige Volumenströme können in diesem Fall durch die variablen Volumenstromregler oder die Regelung des Ventilators, nicht aber durch die konstanten Volumenstromregler ausgelöst werden. Deshalb empfiehlt es sich bei Auftreten von Problemen immer auch die Regelung des Ventilators zu überprüfen.

Die Genauigkeitsüberprüfung hat ergeben, dass die mechanischen Volumenstromregler einer Kennlinie folgen (siehe Abb. 2). Bei genügend hohem Vordruck konnte die gewünschte Genauigkeit der Hersteller von $\pm 10\%$ nachgewiesen werden. Weiter wurde kein erhöhter Energiebedarf im Betrieb festgestellt.

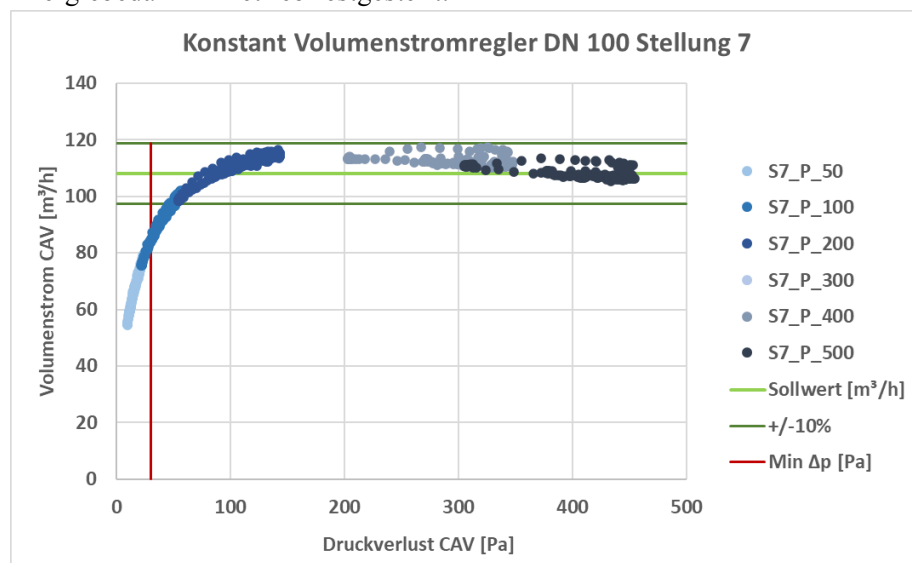


Abb. 2: Druckverlust-Volumenstrom Messpunkte des CAV Typ Balg DN 100 Stellung 7

Empfehlungen und Ausblick

Die gewonnenen Erkenntnisse verdeutlichen, dass je nach Funktionsprinzip unterschiedliche Empfehlungen ausgesprochen werden müssen. Es empfiehlt sich, das Funktionsprinzip eines Balges gegenüber einer Feder zu bevorzugen und in dem Einstellbereich von mittig bis hoch auszulegen. In einigen Bereichen konnten nicht alle Fragestellungen und Hypothesen abschliessend beantwortet werden, was Raum für zukünftige Forschung und Weiterentwicklung branchenspezifischer Empfehlungen zur Förderung effizienter Luftverteilung offenlässt. Denkbar wären Langzeitmessungen in Problemanlagen, um die Ursachen für die erhöhten Energieverbräuche, Schwingungen oder Alterungseffekte zu ermitteln.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_26
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Elektrische Speichermassnahmen für ein Areal BAT G_23_26

Studierende	Marius Flury Sandra Moser
Dozierende	Volker Wouters Olivier Steiger
Experte/-in	Oliver Blank
Auftraggeber Rotkreuz)	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Martin Müller, HKG Engineering AG, Grundstrasse 12 6343
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Elektrische Speichermassnahmen für ein Areal

Auf einem Areal aus Neu- und Umbauten soll in den nächsten Jahren ein Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) mit 32 Gebäuden entstehen. Die Gebäude werden primär für Wohn-, Büro- und Gewerbenutzen erstellt. Im Rahmen dieses ZEV's soll in dieser Arbeit technisch und wirtschaftlich untersucht werden, ob der Eigenverbrauch durch den Einsatz eines geeigneten elektrischen Speichers deutlich erhöht bzw. auf 100 % maximiert werden kann.

Grundlageanalysen

In einem ersten Schritt wurden verschiedene Recherchen sowie Berechnungen und Simulationen zum Areal durchgeführt. Dabei wurden das Areal und seine Geschichte sowie die geplante Zukunft untersucht. Dazu gehörte auch eine Berechnung des Stromverbrauchs auf dem Gelände. Dieser beträgt ca. 14,1 GWh pro Jahr. Der Ertrag der Photovoltaikanlage (PVA) des Areals wurde mittels Simulation ermittelt und beträgt bei maximaler Bestückung der Dachflächen sowie sinnvoller Fassadenflächen ca. 7,25 GWh elektrische Energie pro Jahr. Die geplante PVA amortisiert sich bereits nach einer Laufzeit von fünf Jahren. Mit Hilfe einer dynamischen Stundenwertberechnung in Excel konnten die in Abbildung 1 dargestellten Jahresenergieflüsse ermittelt werden. Der Eigenverbrauchsanteil (EVG) beträgt aufgrund der Dimensionierung bereits ohne Maßnahmen beachtliche 68,5 % und der Autarkiegrad liegt bei 51,5 %.

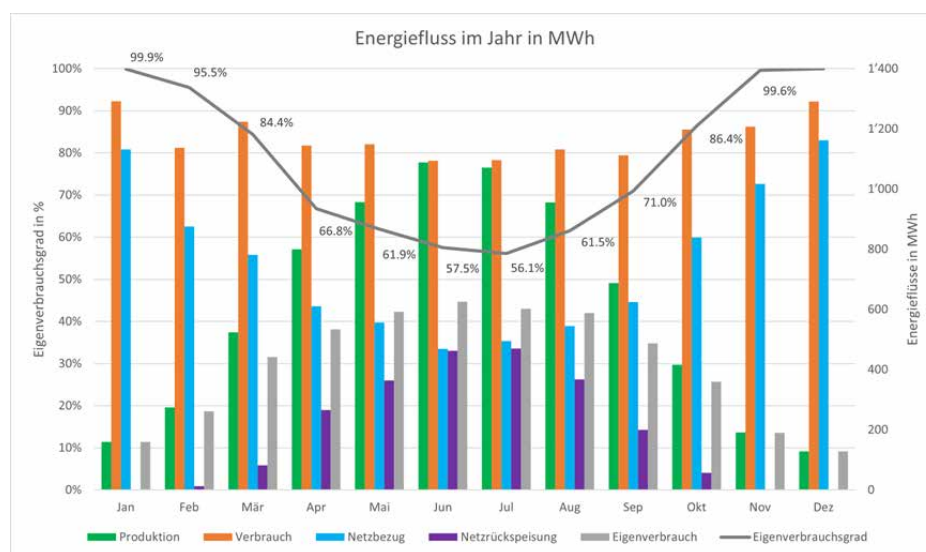


Abbildung 1: Energieflüsse auf dem Areal pro Jahr ohne Massnahmen

Potenzialanalyse

Zur Steigerung des Eigenverbrauchs gibt es verschiedene Möglichkeiten und Massnahmen. Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis wurden fünf Massnahmen definiert und auf ihr Potenzial untersucht. Die Massnahmen mit dem grössten Potenzial wurden anschliessend auf Machbarkeit und Umsetzung geprüft und ausgearbeitet. Zu den untersuchten Massnahmen gehören die Aktivierung der Fahrzeugbatterien in den Parkhäusern, der Einsatz eines Energiemanagementsystems, ein sensibler Wärmespeicher oder Technologien zur Lang- bzw. Kurzzeitspeicherung.

Potenzial E-Mobilität

Als Ergebnis der Abschätzungen kann festgehalten werden, dass die Nutzung von Fahrzeugbatterien als Kurzzeitspeicher auf sehr vielen Annahmen beruht. Dies liegt vor allem daran, dass derzeit nur wenige Fahrzeuge bidirektional laden können und keine regulatorische Lösung für die Abrechnung entwickelt wurde.

Potenzial sensibler Wärmespeicher

Durch den Einsatz eines sensiblen Wärmespeichers kann mit dem jährlichen Produktionsüberschuss von ca. 2,28 GWh eine Wassermenge von 40'000 m³ auf 50 Grad erwärmt werden. Für diese zusätzliche Warmwassermenge gibt es auf dem Areal keine Verwendung und somit keine effiziente Energiespeicherung.

Potenzial Energiemanagementsystem

Ein Energiemanagementsystem ist für ein Areal dieser Grösse unumgänglich und muss zwingend umgesetzt werden. Um wie viel Prozent der Eigenverbrauchsgrad durch den Einsatz eines solchen Systems erhöht werden kann, hängt von der Eingriffstiefe ab. Ob und inwieweit der Nutzer auf dem Areal in seinem Handeln eingeschränkt werden soll bzw. kann, ist zum jetzigen Zeitpunkt nicht definierbar und muss im Zuge der Planung durch ein entsprechendes Projekthandbuch ausgearbeitet werden.

Potenzial Langzeitspeicher

Langzeitspeicher wie die evaluierte Wasserstoffspeicher-Technologie können den Eigenverbrauchsgrad zwar erhöhen, führen aber aufgrund der geringen Wirkungsgrade nicht zu einer signifikanten Reduktion des Netzbezugs. Bei einer ganzjährigen Ladung des Speichers und einer definierten Entladeperiode von Oktober bis April ist der Speicher bereits am 10. November entladen. Ab diesem Zeitpunkt beschränkt sich die Betriebszeit zum Laden auf wenige Stunden, da in den Wintermonaten nur eine minimale Überproduktion stattfindet und der Speicher die restliche Zeit leer und ungenutzt am Standort steht. Einen Überblick über die Energieflüsse bei einem solchen Langzeitspeicher gibt Abbildung 2.

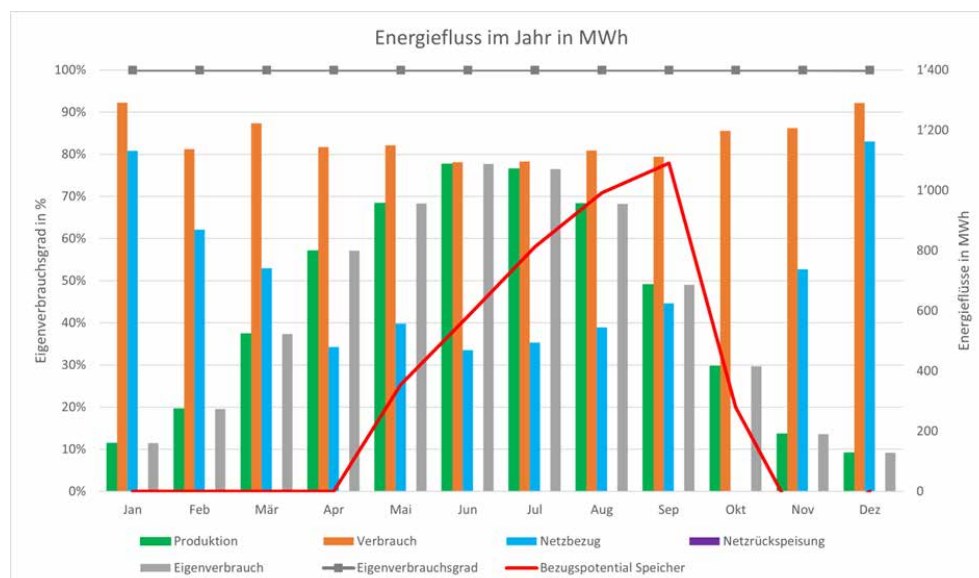


Abbildung 2: Energieflüsse im Verlauf des Jahres mit Langzeitspeicher bei 100 % EVG

Ausarbeitung Kurzzeitspeicher

Durch die erstellte Potenzialanalyse stellte sich heraus, dass das grösste Potential für das Areal in der Kurzzeitspeicherung liegt. Durch eine durchgeführte Technologieanalyse konnte mittels einer Nutzwertanalyse die Lithium-Eisen-Phosphat-Batterie überzeugen. Ein Kurzzeitspeicher aus den Batterien erreicht ab einer Kapazität von 95.2 MWh einen EVG von 100 %, erwirtschaftet in seiner Lebensdauer jedoch einen enormen Verlust. Ein Eigenverbrauchsgrad von 98 % kann bereits mit einer Kapazität von 30 MWh erzielt werden und erwirtschaftet dabei nach 15 Jahren Gewinn.

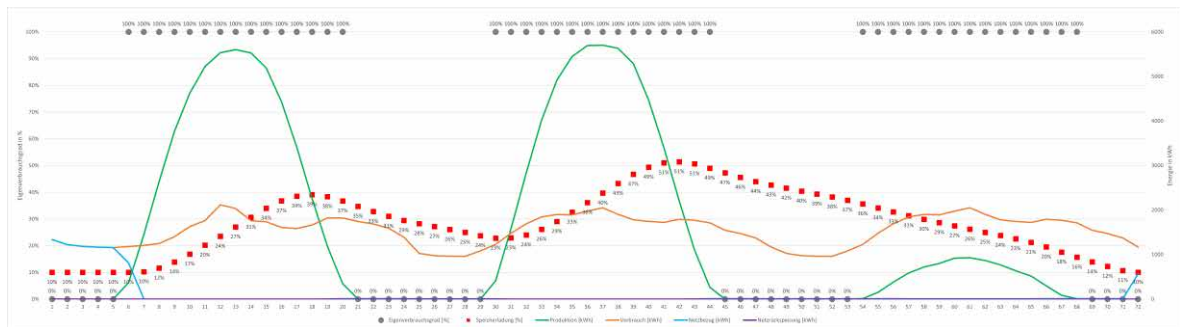


Abbildung 4: Energiefluss über 3 Tage mit Kurzzeitspeicher von 95.2 MWh (EVG = 100 %)

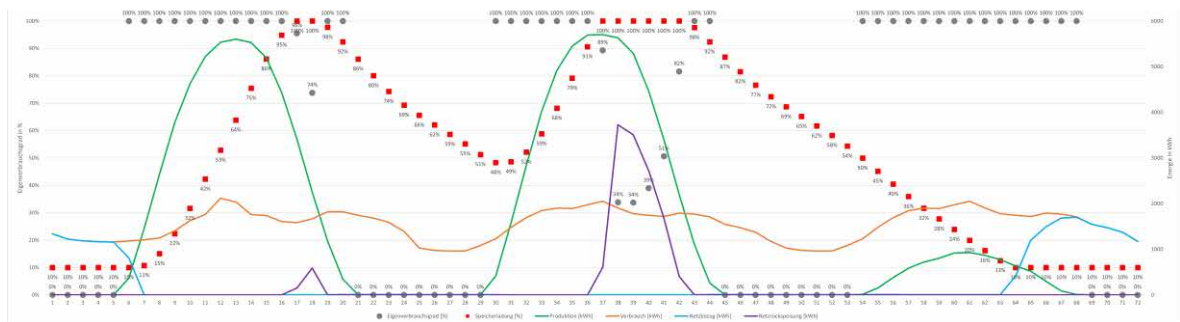


Abbildung 3: Energiefluss über 3 Tage mit Kurzzeitspeicher von 30 MWh (EVG = 98 %)

Mittels der bereits zum Zeitpunkt der Analyse erstellten Berechnungstool konnten die Energieflüsse der verschiedene Speicherdimensionen veranschaulicht werden. Für eine aussagekräftige Beurteilung dient eine Betrachtung von mehreren Tagen am Stück. Dazu wird am Tag mit dem grössten Überschuss (gemäss Simulationsergebnissen der 24. Mai) und die beiden darauffolgenden Tagen betrachtet. Die beiden Abbildungen 3 und 4 zeigen die Energieflüsse sowie den Ladestand des Speichers und den entsprechenden Eigenverbrauchsgrad. In grün ist die Produktion, orange der Verbrauch, blau der Netzbezug und violett die Netzurückspeisung dargestellt. Wie in den beiden Abbildungen erkennbar ist, wird bei einem EVG mit 100 % nichts ins Netz zurückgespeist, während bei 98 % ein gewisser Anteil ins Netz zurückgespeist wird.

Platzbedarf Batteriespeicher

Die Verortung des Batteriespeichers wurde auf zwei Möglichkeiten geprüft. Eine Variante davon beansprucht durch den Einsatz von ressourcenschonenden Second-Life Energiespeicher für das Erreichen eines hundertprozentigen EVG 30 Räume à jeweils ungefähr 184 m². Für einen EVG von 98 % reichen 30 Räume mit einer ungefähren Fläche von 62 m² aus.

Eine weitere Variante bietet sich durch die Verortung des Speichers in Containern an. Von diesen Containern werden für einen Eigenverbrauch von 100 % insgesamt 26 Stück benötigt und für einen EVG von 98 % reichen neun Container auf dem Areal aus.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_27
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Beurteilung des Einsatzes von Low-Cost Sensoren für Labor- und Feldtests

Studierende	Florian, Röthlisberger
Studierende	Joel, Hildenbrand
Dozierende	Prof. Dr. Olivier Steiger Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Industriepartner	Luzerner Bäuerinnen- und Bauernverband (LBV)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Beurteilung des Einsatzes von Low-Cost Sensoren für Labor- und Feldtests

In den vergangenen Jahren hat die Bedeutung der Luftqualität für unsere Gesundheit zunehmend an Bedeutung gewonnen. Besonders der Smog und seine gesundheitlichen Auswirkungen haben zu einem gesteigerten Bewusstsein für die Notwendigkeit der Reduzierung von Feinstaub und flüchtigen organischen Verbindungen (VOC) geführt. Diese Arbeit widmet sich der Thematik der Messung von Feinstaub und VOC mittels Low-Cost Sensoren.

Zielsetzung

Im Rahmen dieser Arbeit werden verschiedene Low-Cost Sensoren im Labor charakterisiert, um sie auf ihre Tauglichkeit für Feldtests zu prüfen. Mit aufgestellten Hypothesen, wie bspw. die Sensoren auf ihre Umgebung reagieren sollen dazu beantwortet werden

Grundlagen Feinstaub und VOC

Feinstaub besteht aus partikel- und faserförmigen Immissionen, die mit blossen Auge kaum erkennbar sind. Je nach Grösse der Partikel sind sie den Kategorien PM_{0.1}, PM_{2.5} und PM₁₀ zugeordnet. Der Begriff "PM" steht für Particular Matter und stammt aus dem Englischen, er bezeichnet die Partikelgrösse. Flüchtige organische Verbindungen VOC (Volatile Organic Compounds) sind Gase, die aus flüssigen und festen Stoffen entweichen und in unsere Atemluft gelangen. Je nach Konzentration lassen sie sich als Geruch wahrnehmen.

Die Arbeit thematisiert die Grenzwerte bezüglich Feinstaub und VOC in der Schweiz, EU sowie die Empfehlung der WHO. Zudem sind Aspekte zum Thema Gesundheit und Umwelt abgehandelt.

Charakterisierung Partikel-Sensoren mit Messaufbau Thunder Scientific

Die Abweichung der Low-Cost Partikelensoren zum Referenzgerät sind bei Variation der Temperaturen und Feuchte mithilfe des Laborprüfstands Thunder Scientific zu ermitteln. Die anschliessende Auswertung erfolgt mithilfe einer linearisierten Korrekturkennlinie.



Abb. 1: Prüfstand Thunder Scientific

Charakterisierung VOC-Sensoren mit Prüfboxen

Die VOC-Sensorleiterplatte ist eine Entwicklung der HSLU und besteht aus 4 VOC – Sensoren namhafter Hersteller sowie zusätzliche Sensoren für Temperatur und Luftfeuchtigkeit.

Die VOC-Sensoren liefern ihre Ausgabewerte in Form eines ohmschen Widerstands. Durch eine lineare Korrektur und Umrechnungen der Werte in ppm (Teile pro Million), können die Sensoren für anschliessende Feldmessungen eingesetzt werden.

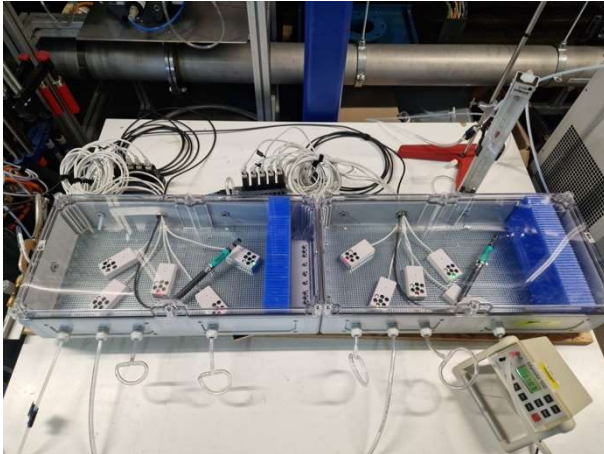


Abb. 2: Messaufbau VOC-Prüfbox mit Toluol

Feldmessung

Mit der Feldmessung auf einem Schweinemastbetrieb in der Umgebung von Luzern werden die Sensoren unter realen Umgebungsbedingungen auf ihre Einsatztauglichkeit getestet. Die Messungen finden mit selbstentwickelten Messstationen statt. 14 Tage dauert die Feldmessung.



Abb. 3: Mess- und Wetterstation Feldmessungen im Einsatz

Ergebnisse und Schlussfolgerung

Die Umgebungsbedingungen beeinflussen das Messsystem erheblich. Insbesondere die Aerosolführung mit Druckluft stört die klimatischen Bedingungen in der Kammer und somit die Messung. Die Auswertungen mit einer linearen Korrektur haben ergeben, dass aufgrund der grossen Streuung, rund 60 % der Messung eine Korrelation von über 80 % aufweisen. Daher weist ein Grossteil der Messungen grössere Ungenauigkeiten auf.

Die Bauweise der Messstationen hat sich für den Tauglichkeitstest der Sensoren bewährt. Eine präzise Sensorbeurteilung benötigt weitergehende Laboruntersuchungen, um die Störeinflüsse exakt durch Korrekturen zu berücksichtigen.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_28
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Vergleich zwischen opaken und transparenten Gewächshäusern für eine Pflanzenforschungseinrichtung

Studierende	Michael Traxel Armin Häberli
Dozierende	Prof. Dr. Heinrich Manz Prof. Björn Schrader
Experte	Herr Markus Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Jobst Willers Engineering AG,
Abgabedatum	07. Juni 2023

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

Vergleich zwischen opaken und transparenten Gewächshäusern für eine Pflanzenforschungseinrichtung

Extreme Wetterkapriolen beeinflussen die landwirtschaftlichen Erträge in einem immer grösseren Ausmass. Das veränderte Klima begünstigt die Bildung neuartiger Krankheiten und Schädlinge. Gleichzeitig verlangt das Bevölkerungswachstum effizientere Anbaumethoden und erhöhte Erträge. 2021 litten bereits 828 Millionen Menschen unter Hunger. Diese Vorzeichen rücken die Pflanzenforschung zur Sicherung unserer Ernährung immer stärker in den Fokus.

In Gewächshäusern kann mit kontrollierten Umweltfaktoren am vertieften Verständnis für die komplexen Wechselwirkungen zwischen den Pflanzen und ihrer Umgebung geforscht werden. Durch die Forschung können widerstandsfähigere Pflanzenarten gegen Schädlinge, Krankheiten und Extremwetterereignisse resultieren. Das Wissen über eine optimierte Nährstoff- und Wasserversorgung steigern den zukünftigen Ertrag und erhöhen die Nahrungsmittelsicherheit.

Ausgangslage und Ziel

Bei einer Pflanzenforschungsanstalt im schweizerischen Mittelland haben die bestehenden Gewächshäuser das Ende ihres Lebenszyklus überschritten und sollen in naher Zukunft erweitert, saniert oder ersetzt werden. Die folgende Arbeit soll die Frage nach der zukünftigen Gewächshausart beantworten. Es stehen sich dabei ein opakes Gewächshaus (PF) mit komplett künstlicher Beleuchtung und ein transparentes Gewächshaus (CGH) mit natürlicher und künstlicher Beleuchtung gegenüber. Dafür sollen die folgenden zwei Forschungsfragen beantwortet werden:

- Welche Gewächshausart eignet sich am besten für den Einsatz in einer Pflanzenforschungseinrichtung?
- Wie kann der Betrieb der ausgewählten Gewächshausart energetisch optimiert werden?

Vorgehensweise

Mithilfe einer Literaturrecherche wurde die Basis für die wissenschaftliche Arbeit geschaffen. Die Recherche umfasste die Bereiche Beleuchtung, Pflanzenphysiologie und Gewächshausarten. Durch Gespräche mit Projektbeteiligten konnte das Verständnis für das aktuelle Projekt und den Alltag in einer Pflanzenforschungsanstalt geschärft werden.

Für die Energiebedarfsberechnung wurde ein stationäres, mathematisch-physikalisches Modell entwickelt. Das Modell wurde in der Tabellenkalkulationssoftware «Microsoft Excel» integriert. Damit konnte die Energieberechnung für die beiden Gewächshausarten durchgeführt werden. Parallel wurde mit den gleichen Grundlagen ein IDA ICE Simulation von Patrick Walczak (Jobst Willers Engineering AG) erstellt. Die Berechnung wurde für eine Gewächshauszone mit 47.8 m² Fläche erstellt.

Die Kombination dieser Methoden bildete die Grundlage für die Analyse der Fragestellung im Rahmen dieser wissenschaftlichen Arbeit. Durch die Literaturrecherche gewannen wir fundiertes Wissen, während das Excel-Tool und die IDA ICE Simulation die energetischen Aspekte des vorliegenden Projektes abbildeten.

Ergebnisse

Im Rahmen dieser Arbeit wurden ein Vergleich zwischen einer PF und einem CGH durchgeführt. Die Nutzung beruht auf einer Pflanzenforschungseinrichtung. Die Ergebnisse der Berechnungen machen deutlich, dass der elektrische Endenergieverbrauch der PF um ca. 20 % höher ist als derjenige des CGH (vgl. Abbildung 1).

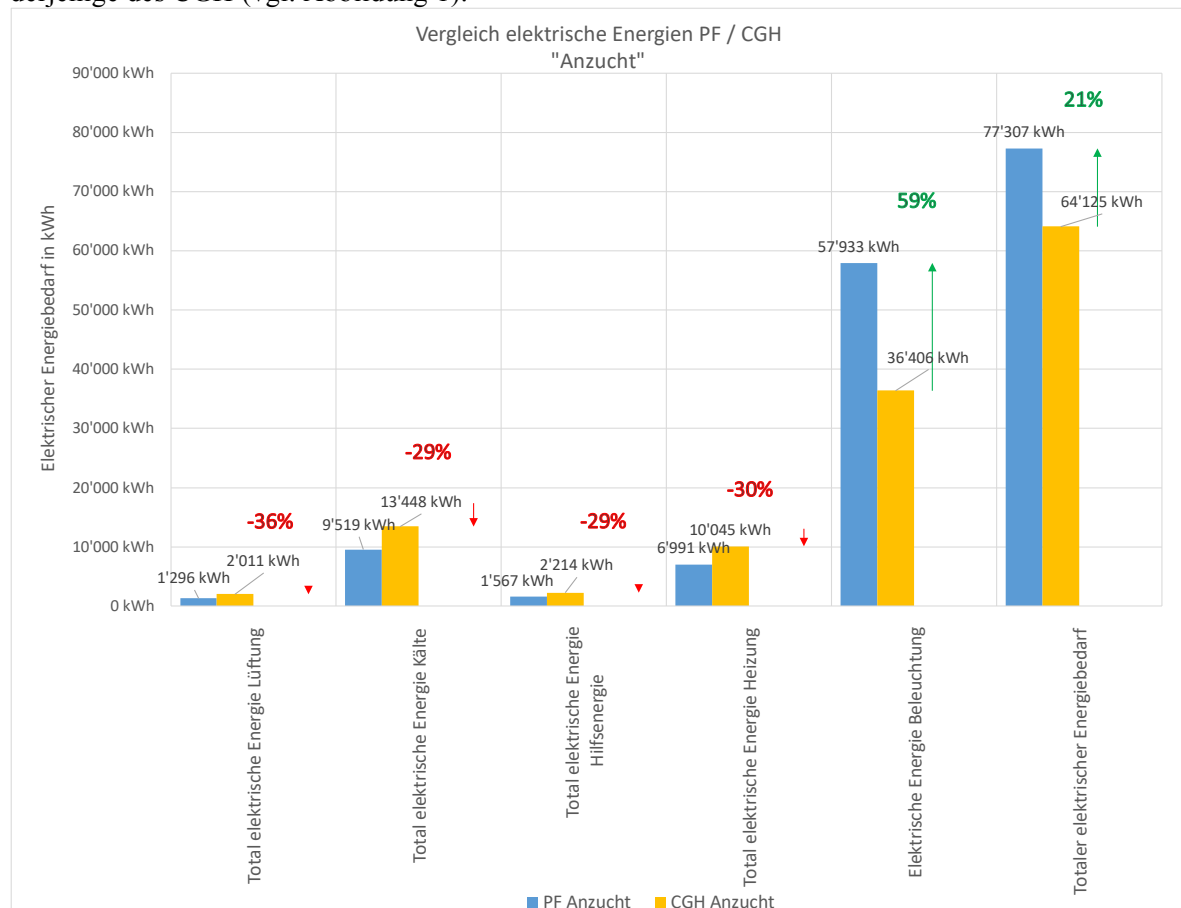


Abb. 1: Vergleich elektrischer Energiebedarf PF Anzucht und CGH Anzucht

Der Energieverbrauch der künstlichen Beleuchtung macht im berechneten Szenario bei der PF 75 % des Gesamtenergieverbrauches aus (vgl. Abbildung 2). Dies kann auch durch den ca. 30 % tieferen Verbrauch der Klimatisierung nicht ausgeglichen werden. Jedoch hat auch beim CGH die künstliche Beleuchtung einen Anteil von 57 %. Damit bietet sich bei der Beleuchtung ein grosses Energiesparpotential.

Der Jahresverlauf der mittleren Lufttemperaturen (vgl. Abbildung 3) zeigt deutliche Schwankungen der Temperaturen. Bei der PF bewegen sich diese zwischen 18 °C und 25 °C. Beim CGH sind die Schwankungen ausgeprägter und liegen bei 14 °C bis 35 °C.

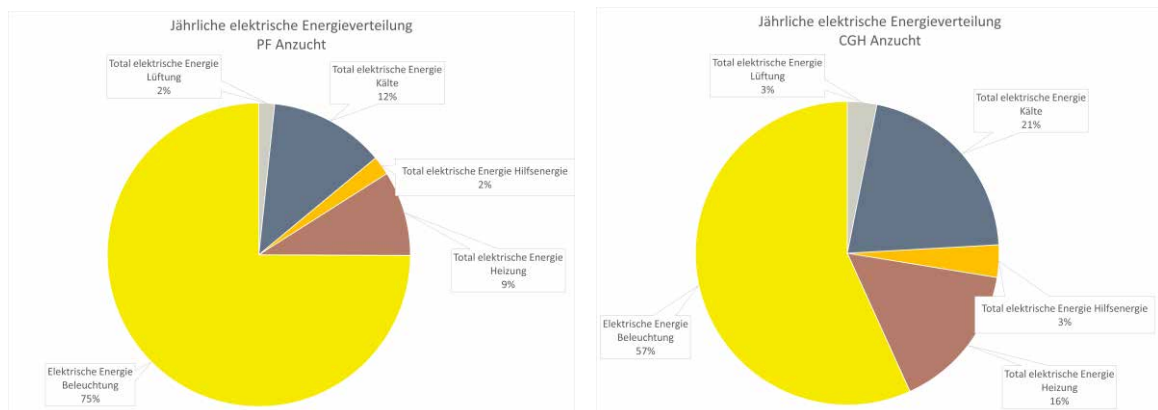


Abb. 2: Vergleich der jährlichen elektrischen Energieverteilung PF Anzucht und CGH Anzucht

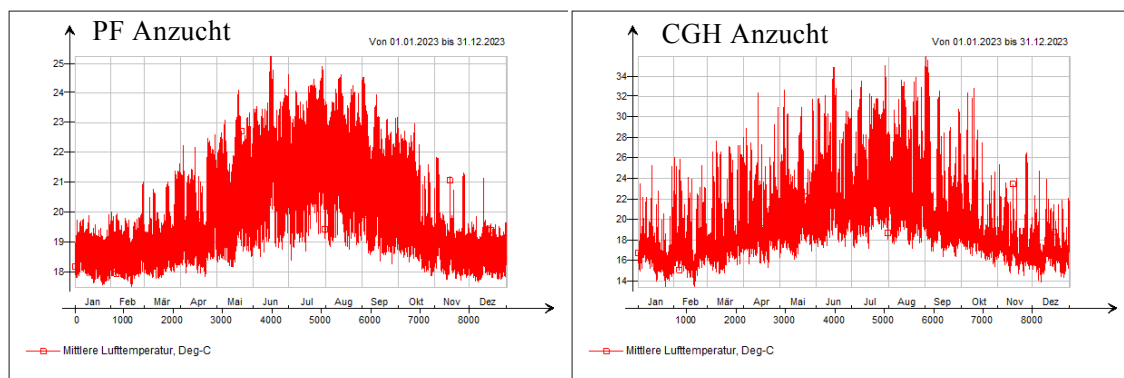


Abb. 3: Vergleich der mittleren Lufttemperatur PF Anzucht und CGH Anzucht (IDA ICE, Patrick Walczak)

Fazit und Empfehlung

Die Frage nach der Gewächshausart für eine Pflanzenforschungseinrichtung kann für das berechnete Szenario mit der PF beantwortet werden. Die IDA ICE Simulation ergab, dass die Anforderungen von Agroscope am ehesten mit einer PF erreicht werden können (vgl. Abbildung 3). Der Nachteil der PF besteht im stark erhöhten Energiebedarf für die Beleuchtung im Vergleich zum CGH. Aus diesem Grund sind die Planung und der Betrieb der Beleuchtung entscheidend.

Die Beleuchtungsanlage bietet in der Planung und im Betrieb ein enormes Potenzial an Einsparung. Fehlendes Wissen über die biologischen Bedürfnisse der Pflanzen führt momentan zu erhöhtem Energieverbrauch. Für optimale Auslegung und Betrieb einer solchen Anlage ist es notwendig, die Bedürfnisse der Pflanzen zu kennen und dem entsprechend zu planen. Ziel ist es, die Beleuchtung an den Bedürfnissen der Pflanzen auszulegen und eine Überproduktion zu verhindern. Doch auch die Klimatisierung bietet ein Optimierungspotential. Grosszügige Toleranzwerte bezüglich der Feuchte und der Temperatur senkt den Kälte- und Wärmebedarf. Eine Abwärmenutzung minimiert den Endenergiebedarf zusätzlich. Ausserdem ist die Sensibilisierung der Forschenden in Bezug auf die Energie entscheidend. Die überlegte Planung der Experimente anhand der voraussichtlichen Klimabedingungen können den Energieverbrauch erheblich senken.

Für den weiteren Ersatz der Gewächshäuser gilt es, die Anforderungen kritisch zu hinterfragen. Möglicherweise ist eine Kombination aus PF und CGH die optimale Lösung für die Pflanzenforschungseinrichtung.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_29
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Planung, Bau und Betrieb von vorkonfektionierten Installationssystemen

Studierende	Sebastian Georges Thalmann Daniel Fernandes Sousa
Dozierende	Volker Wouters Björn Schrader
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Marc Fontanive, IBG Engineering AG, 8409 Winterthur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Planung, Bau und Betrieb von vorkonfektionierten Installationssystemen

Unternehmen und Baustellen sollen rentabler werden, klimaneutral agieren und ihren sozialen Verpflichtungen gegenüber Arbeitern und der Gesellschaft nachkommen. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, wird die Möglichkeit untersucht, bestimmte Bereiche durch Vorkonfektionierung zu verbessern. Dies ermöglicht eine Steigerung der Qualität, eine Minimierung des Materialverschleisses, eine Effizienzsteigerung durch wiederkehrende Arbeitsschritte und eine Kostenreduzierung. Obwohl es viele Vorteile gibt, hinken die Unternehmen bei der Umsetzung der Vorkonfektionierung noch hinterher.

Im Zentrum dieser Arbeit steht die Vorkonfektion und wie diese für die zukünftige Bauweise Auswirkungen hat. Die Art und Nutzung des Projekts spielen dabei einen zentralen Faktor. Die moderne Holzbauweise zeigen ein gutes Beispiel, wie die vorkonfektionierte Bauweise aussehen könnte. Dabei wird eine Entscheidungshilfe entwickelt, welcher anhand von Kriterien und Notenvergabe die bestgeeignete Bauvariante auswertet.

Ausgangslage

Die Baubranche in der Schweiz steht vor Herausforderungen, insbesondere im Bereich der Vorkonfektionierung, der in einigen Gewerken noch wenig entwickelt ist. Die Baubranche spielt eine bedeutende Rolle in der Gesellschaft und ist eng mit den drei Säulen der Nachhaltigkeit (Ökonomie, Ökologie und Soziales) verbunden. Der aktuelle Wandel ist auf die Energiestrategie 2050 des Bundes und den Fachkräftemangel zurückzuführen. Dieses Thema behandelt, wie die Branche in anderen Gewerken in der Schweiz mit der Vorkonfektionierung umgeht, welche Fortschritte in der Vergangenheit gemacht wurden und wie die aktuelle Lage in der Elektrobranche aussieht. Um einen solchen Überblick zu schaffen, liefern die Umfrageergebnisse wichtige Erkenntnisse über verschiedene Aspekte der Baubranche in Bezug auf Gewerke, Erfahrungen mit vorkonfektionierten Systemen und deren Vor- und Nachteile sowie die zukünftige Entwicklung der Vorkonfektionierung. Die Ergebnisse zeigen, dass die Baubranche ein beträchtliches Potenzial und grosses Interesse an vorkonfektionierten Installationssystemen hat. Zeitersparnis und ökonomische Vorteile werden als bedeutende Faktoren für den Einsatz solcher Systeme betrachtet. Die Herausforderungen bestehen darin, die Integration und Koordination der Planungs- und Bauprozesse zu verbessern, Kundenwünsche zu berücksichtigen, die Kommunikation zwischen Planungs- und Ausführungsunternehmen zu stärken sowie eine nachhaltige Umsetzung sicherzustellen. Weitere Forschung und Entwicklung sowie die Etablierung von Standards könnten dazu beitragen, die Vorkonfektionierung fest in der Baubranche zu etablieren.

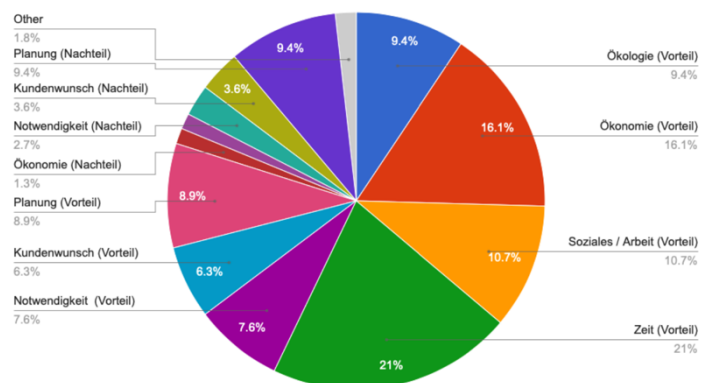


Abbildung 1: Beurteilung der genannten Beweggründe der Wahl zur Vorkonfektion

29_Planung, Bau und Betrieb von vorkonfektionierten Installationssystemen

Für die Untersuchung der Anwendungen und Auswirkungen der Vorkonfektion sind Interviews mit Lieferanten/Produzenten sowie Planungs- und Ausführungsunternehmen für die Informationsgewinnung, über mögliche Anwendung und Auswirkungen der Vorkonfektionierung in verschiedenen Bereichen am geeignetsten.

Die Ergebnisse zeigen, dass vorkonfektionierte Installationssysteme eine schnellere Installation ermöglichen, den Arbeitsschutz verbessern und zu einer effizienteren Nutzung von Ressourcen beitragen. Die Integration neuer Technologien und nachhaltiger Lösungen eröffnen zusätzliches Potenzial. Entscheidend sind eine sorgfältige Planung, enge Zusammenarbeit in einer frühen Planungsphase und Standardisierung für den Erfolg der Vorkonfektionierung.

Varianten der Vorkonfektionierung

Die Bauweise mit vorkonfektionierten Komponenten ähnelt der konventionellen Bauweise, bietet jedoch Vorteile in Bezug auf Vereinfachung der Abläufe und Verkürzung der Bauzeit. Die Komponenten werden von Herstellern geliefert, die bereits Materialien für die konventionelle Bauweise produzieren. Diese sind weiterentwickelte Produkte, die bestimmte Arbeitsschritte vereinfachen sollen. Sie werden bereits in nahezu allen Bereichen der Elektroinstallation eingesetzt.

In der Bauweise mit vorkonfektionierten Systemen in der Gebäudetechnikbranche werden komplette Systeme für die Gebäudetechnik bereits in einer Fabrik oder Werkstatt vorgefertigt und dann auf der Baustelle installiert. Diese Methode bietet viele Vorteile im Vergleich zur konventionellen Bauweise. Vorkonfektionierte Systeme werden häufig in bestimmten Bereichen eingesetzt, insbesondere bei grösseren Projekten, bei denen standardisierte Lösungen gefragt sind, sowie bei Sanierungs- und Modernisierungsprojekten. Im Vergleich zur konventionellen Bauweise ist der Einsatz vorkonfektionierte Systeme jedoch selten anzutreffen. Bei der Verwendung solcher vorkonfektionierte Systeme müssen bestimmte Bauanforderungen erfüllt und den geltenden Standards und Vorschriften entsprechen. Eine genaue Planung und Abstimmung zwischen den verschiedenen Gewerken sind entscheidend, um sicherzustellen, dass die Systeme erfolgreich in das Gebäude integriert werden können und ordnungsgemäss funktionieren

Der Bau mit vorkonfektionierten Elementen in der Gebäudetechnikbranche gewinnt in den letzten Jahren zunehmend an Bedeutung. Bei dieser Methode werden bestimmte Elemente des Gebäudes bereits in einer Fabrik oder Werkstatt vorgefertigt und dann auf der Baustelle transportiert. Obwohl die Verwendung von vorkonfektionierten Elementen in der Baubranche immer noch selten ist, wird sie aufgrund der Weiterentwicklung von Produktionsprozessen und dem Einsatz moderner Technologien immer häufiger eingesetzt. Dadurch wird es einfacher, Elemente wie Fertigwände, Installationsmodule oder modulare Raumstrukturen herzustellen. Die Planung von vorkonfektionierten Elementen erfordert eine präzise Abstimmung zwischen den verschiedenen Gewerken und eine gründliche Koordination der Systeme und Komponenten. Ein umfangreicher Planungs- und Engineering Prozess ist notwendig, um sicherzustellen, dass die vorkonfektionierten Elemente den spezifischen Anforderungen des Bauprojekts entsprechen. Durch eine gute Planung kann der Arbeitsaufwand auf der Baustelle erheblich reduziert werden, da viele Vorarbeiten bereits in der Vorfertigung erledigt wurden. Die Montage der vorkonfektionierten Elemente erfordert weniger Fachkräfte und weniger Zeit. Dies führt zu einer effizienteren Baustellenabwicklung und potenziellen Kosteneinsparungen, zum Beispiel durch eine kürzere Verwendung von Baugerüsten oder anderen temporären Anlagen.

29_Planung, Bau und Betrieb von vorkonfektionierten Installationssystemen

Entscheidungshilfe

Die Entscheidungshilfe unterstützt bei der Auswahl einer Vorkonfektionierung, indem sie den Entscheidungsprozess erleichtert und fundierte Informationen liefert. Eine Variantenevaluation ist ein wichtiges Instrument in der Entscheidungsfindung, um die beste Lösung für ein Problem oder eine Aufgabe zu finden. Sie beinhaltet den Vergleich von verschiedenen Varianten, um die beste Lösung auszuwählen. Dabei werden verschiedene Faktoren berücksichtigt, die je nach Anwendungsgebiet variieren können.

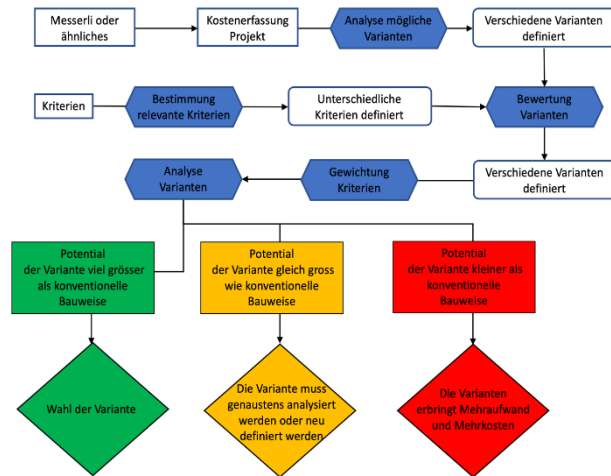


Abbildung 2: Variantenevaluation

Rentable Szenarien

Die Kostenverteilung und die Anwendung der Vorkonfektionierung unterscheiden sich beim Raumtyp "Büro" im Vergleich zu anderen Raumtypen "Nasszelle, Küche und Wohnen/Schlafen". Beim Raumtyp "Büro" erfolgt eine gleichmässige Aufteilung der Kosten von 50% für Material und 50% für Arbeitsaufwand, während bei den anderen Raumtypen eine Kostenverteilung von 30% für Material und 70% für Arbeitsaufwand vorliegt. Diese Unterschiede haben direkte Auswirkungen auf die Entscheidungen und Überlegungen zur Vorkonfektionierung. Es zeigt sich, dass Projekte mit einem höheren Materialaufwand sich weniger für die Vorkonfektionierung eignen.

Dabei wird betont, dass eine differenzierte Betrachtung der Raumtypen und deren spezifischen Kostenverteilung von grosser Bedeutung ist, wenn es um Entscheidungen zur Vorkonfektionierung geht. Eine gründliche Analyse der Projektparameter, einschliesslich des Material- und Arbeitsaufwands, ermöglicht es, fundierte Entscheidungen zu treffen und die Effektivität der Vorkonfektionierung zu maximieren.

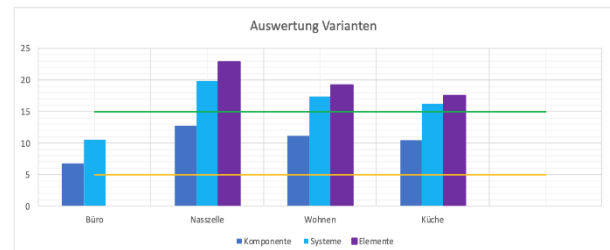


Abbildung 3: Ausschnitt aus Entscheidungshilfe

Ausblick

Die Vorkonfektionierung bietet grosses Potenzial zur Zeit- und Kostenersparnis, vorausgesetzt es erfolgt eine gründliche und frühzeitige Planung. Koordinationsprobleme zwischen Gewerken können, während dem Bauablauf durch einen gegenseitigen Austausch vermindert werden. Zudem kann die Vorkonfektionierung dazu beitragen, dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken, indem sie die Abhängigkeit von hochqualifizierten Fachkräften vor Ort reduziert.

Allerdings wurden auch Herausforderungen bei der Umsetzung der Vorkonfektionierung festgestellt. Eine detaillierte Planung, ausreichende Vorlaufzeiten und eine gute Kommunikation zwischen den Gewerken sind entscheidend für den Erfolg solcher Projekte. Eine reibungslose Zusammenarbeit und eine effiziente Umsetzung der Vorkonfektionierung erfordern eine frühzeitige koordinierte Planung sowie eine rechtzeitige Beschaffung der benötigten Materialien und klare Kommunikation zwischen den beteiligten Parteien.

Damit eine Umsetzung vereinfacht werden könnte, besteht eine Möglichkeit darin, die Umsetzung von vorkonfektionierten Bauteilen zu erleichtern, indem man eine Standardisierung oder Umstrukturierung der SIA-Planungsphasen in Betracht ziehen würde.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_30
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von elektrischen Speichern

Studierende	Andreas Lüem
Dozierende	Olivier Steiger Volker Wouters
Experte/-in	Oliver Blank
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von elektrischen Speichern

«Strommangellage» ein Wort welches im letzten Jahr in den Medien an Präsenz gewann. Die Versorgungssicherheit und die Stabilität des Schweizer Stromnetzes waren in der Vergangenheit sehr gut. Durch die Energiewende und die stockenden Verhandlungen mit der EU ist diese in Gefahr. Um Die Versorgungssicherheit auch zukünftig zu gewährleisten, werden Technologien benötigt, die den steigenden Anteil der fluktuierenden erneuerbaren Stromerzeugung ausgleichen können. Eine solche Technologie sind elektrische Speicher wie Batterien.

Bis heute wird von den meisten die Meinung vertreten das Batteriespeicher nicht wirtschaftlich eingesetzt werden können, im speziellen bei Wohnhäusern. Trotz der stetigen Senkung der Anschaffungskosten für einen Batteriespeicher. Mit den gestiegenen Stromkosten zu Beginn des Jahres könnte nun endlich die Hürde der Wirtschaftlichkeit für Batteriespeicher überschritten werden. Mit dieser Bachelor-Thesis soll dies überprüft werden und zusätzlich ein Berechnungstool erstellt werden, welches bei der Entscheidung und Berechnung der Wirtschaftlichkeit behilflich ist.

Vorgehen bei der Erstellung eines Berechnungstool

Um einen Batteriespeicher ideal auszulegen werden einerseits der Energiebedarf und die Ertragssumme einer Energieerzeugungsanlage benötigt. Für das Tool wurden deshalb verschiedene Parameter festgelegt welche benötigt werden, um einen Batteriespeicher zu dimensionieren. Grundlegende Punkte sind dabei wie schon erwähnt der Energiebedarf und der jährliche Ertrag aus der Energieerzeugungsanlage. Die gängigste Energieerzeugungsanlage für den privaten Gebrauch in der Schweiz sind Photovoltaikanlagen, weshalb sich das Berechnungstool auf diese konzentriert. Ein weiterer wichtiger Punkt ist die Speichertechnologie, da diese zum Teil grosse Unterschiede aufweisen.



30_ Entscheidungsgrundlage für den Einsatz von elektrischen Speichern

Abb. 1: Batteriespeichervergleich

Testlauf Berechnungstool

Das erstellte Tool wurde mittels zwei unterschiedlichen Testszenarien getestet und auf seine Plausibilität überprüft. Die Testverläufe haben mehrere Optimierungspotenziale aufgezeigt. Jedoch zeigte sich auch das bei der genaueren Berechnung im Tool plausible Werte ergeben. Nur die Grobabschätzung für einen schnellen Überblick hat Plausibilitätsprobleme. In der Abbildung 2 kann der berechnete Tagesverlauf aus dem Testszenario 2 betrachtet werden.

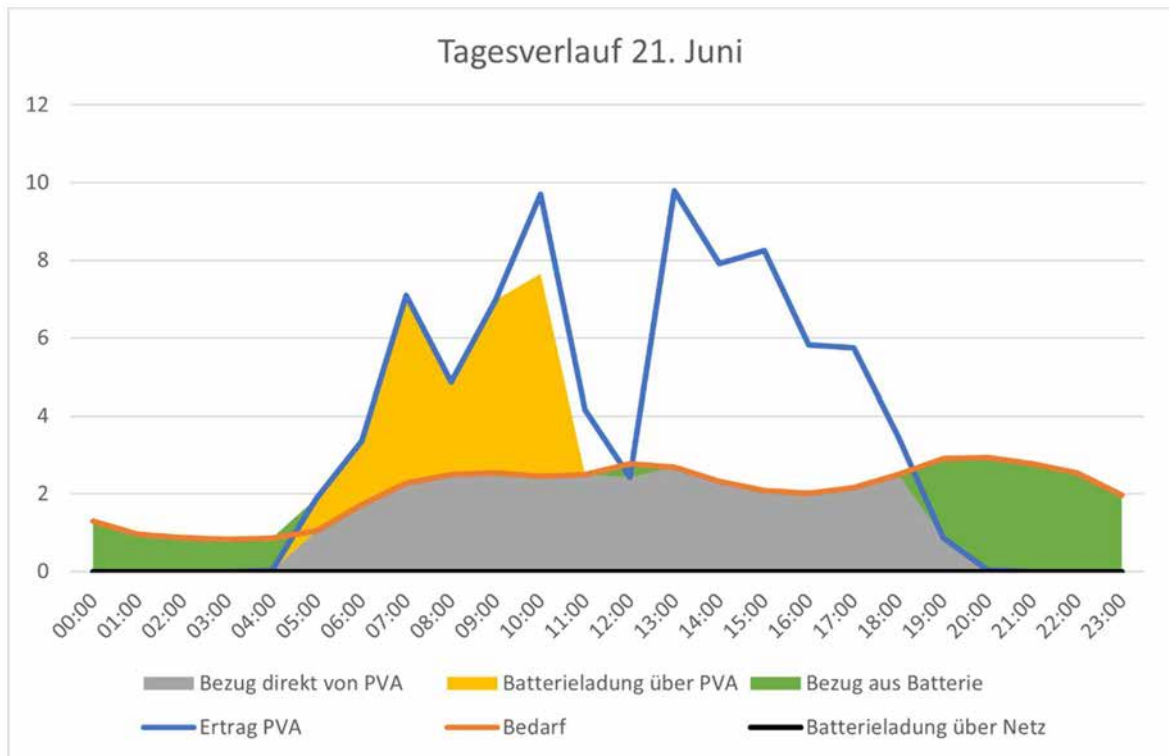


Abb. 2: Tagesverlaufsberechnung aus Berechnungstool

Fazit

Die Testszenarien haben gezeigt, dass auch mit den gestiegenen Stromkosten die Wirtschaftlichkeit von Batteriespeichern noch nicht gegeben hat.

Vorgaben Gestaltung:

Titel: Times New Roman, 20 Punkt, Bold, Farbe blau RGB 106, 149, 169

Zwischentitel: Times New Roman, 10.5 Punkt, Bold, Farbe blau RGB 106, 149, 169

Lauftext: Times New Roman, 10.5 Punkt, Regular, Farbe Schwarz
Gestaltung im Flattersatz, 1-spaltig

Bildlegenden: Times New Roman, 8.5 Punkt, Regular, Farbe Schwarz

Seitenzahlen: Die Seitenzahlen sind in der Fusszeile

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_31
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Vertical Farming

Studierende	Donat Tahiri
Dozierende	Stefan Mennel Björn Schrader
Experte/-in	Markus Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Magnus Willers, Jobst Willers Engineering AG, Juchstrasse 7, 8048 Zürich)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Vertical Farming

In der vorliegenden Bachelorthesis wird ein bestehendes Vertical Farming im betrieblichen sowie energetischen Aspekt analysiert. Das neuartige System soll für eine Entschärfung der globalen Probleme sorgen. Klimawandel, Ernährungssicherheit und städtische Dichte sind grosse Herausforderungen, welche bereits heute stark diskutiert werden. Leider ist keine Besserung in Sicht, denn die steigende Weltbevölkerung lässt eher auf eine Verschärfung der Situation schliessen. Durch das Vertical Farming können lokal und wetterunabhängig fast alle Nutzpflanzen angebaut werden. Dieses Konzept verringert Transportwege und senkt somit die CO₂-Emissionen. Des Weiteren wird dadurch auch die Agrikultur massgebend revolutioniert.

Der Fokus dieses Berichts liegt dabei beim Hauptzuchtraum und bei der dazugehörigen Umluftanlage. In erster Linie gilt es mögliche betriebliche sowie energetische Optimierungen rund um das Vertical Farming zu finden. An zweiter Stelle sollen die Parameter für die Raumkonditionen definiert werden. Aufgrund dieser Parameter werden weitere Optimierungsmöglichkeiten eruiert.

Methodik

Um eine vertiefte Analyse durchzuführen, wurden Systemgrenzen definiert. Sukzessive wurde der Analysebereich vom einzelnen Raum, zum Gebäude und auf die Umgebung erweitert. Um die Anlage und die Raumkonditionen zu verstehen, dient zuerst eine Analyse der Messwerte. Infolgedessen wird eine vereinfachte Energiebilanz erstellt, um einen Überblick der Energieflüsse zu erhalten. Anschliessend wird eine Parameterstudie für eine detaillierte Jahresbilanz dienen. Dieses Vorgehen gilt für die beiden ersten Systemgrenzen. Die Umgebung wird nur konzeptionell behandelt. Es soll als Denkanstoss für weiterführende Studien dienen.

Messwertanalyse

Anhand der Methodik wurden zuerst die Leistungen mittels Messwerte analysiert. Alle Ergebnisse beruhen auf den Messwerten von drei Monaten, welche vom Betreiber bereitgestellt wurden. Allerdings gab es während der Messung einen Unterbruch aufgrund der Anlagenerweiterung. Diese führte zu fehlerhaften und teilweise unplausiblen Messdaten, wie beispielsweise ein negativer CO₂-Pegel. Insofern mussten auch konstante Werte für den Feuchteanfall im Zuchtraum angenommen werden. Dadurch konnte die Transpiration der Pflanzen und die Verdunstung des Umlaufwassers nicht genau definiert werden. Aufgrund dessen sind die ermittelten Medianwerte für die Leistungs- und Energieermittlung eine Annäherung der effektiven Istwerte. Nachfolgend wird die Ermittlung der ersten Ebene in der Zeitspanne von 1 bis 6 Uhr aufgezeigt.

Leistungsermittlung Ebene 1 | Umluftanlage Nacht 1 bis 6 Uhr

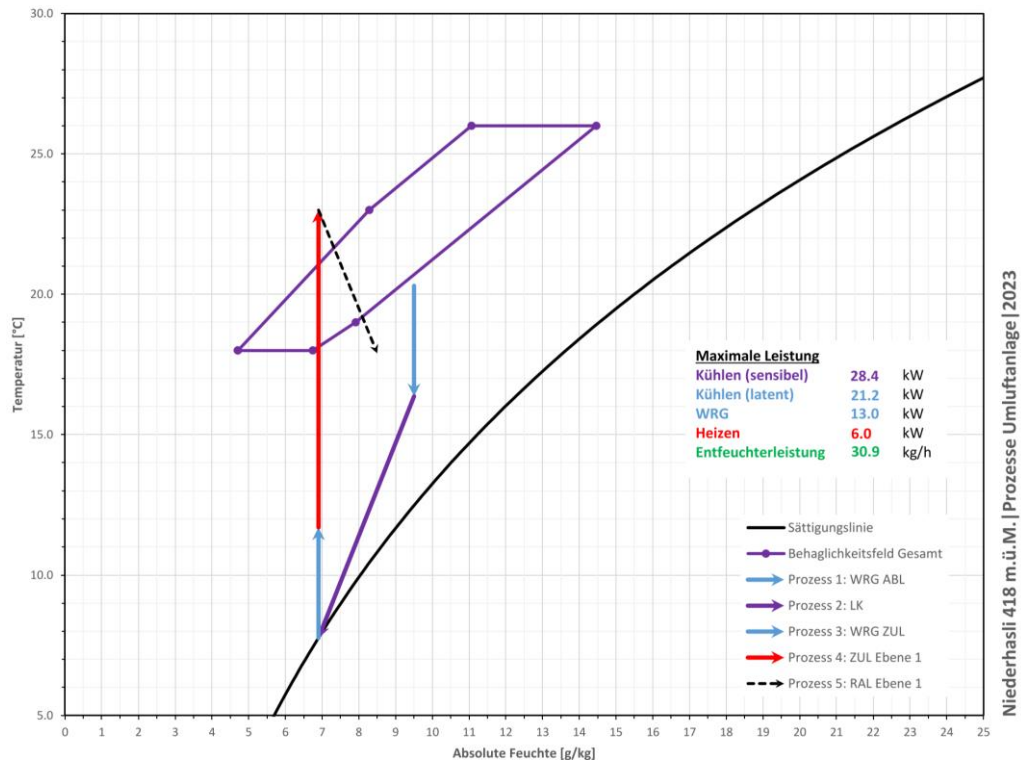


Abb. 1: Leistungsermittlung Ebene 1 | Umluftanlage Nacht 1 bis 6 Uhr

Energiebilanz

Anhand der Methodik wurden zuerst die Leistungen der sechs Ebenen ermittelt. die elektrische Endenergie von rund 850 MWh berechnet. Daraus ergaben sich folgende Anteile: 87 % für die Beleuchtung, 10 % für den Kühlbedarf und 3 % für Hilfsenergie. Für den Wärmebedarf ergab sich keine Endenergie, da die Abwärme der Kälterzeugung dafür diente.

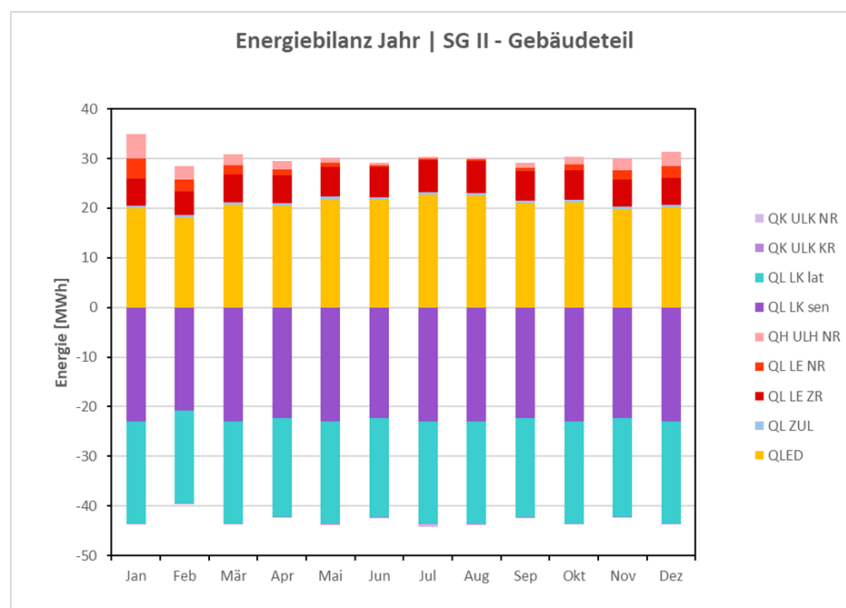


Abb. 2: Energiebilanz Jahr | Systemgrenze II - Gebäudeteil

Fazit

Bei der Umluftanlage dienen momentan sechs Lufterhitzer für die Luftkonditionierung pro Ebene. Aufgrund der Thermik werden jedoch zwei Lufterhitzer für die erste und vierte Ebene empfohlen, um das gleiche Resultat zu erreichen. So kann in Zukunft auf vier Lufterhitzer verzichtet werden. Zudem wird eine gestaffelte Ein- und Ausschaltung der Beleuchtung für die erleichterte Regelbarkeit vorgeschlagen. Für die thermische Behaglichkeit sind Heizkörper auf der jeweiligen kältesten Wand der entsprechenden Nebenräume anzugliedern. So wird der Strahlungsasymmetrie entgegengewirkt. Zusätzlich entwickelt sich keine Warmluft im Raum, wie es bei einer Ausführung von Umluftheizgeräten der Fall ist. In Zusammenarbeit mit dem Betreiber wurden die Parameter für die optimale Raumkonditionen festgelegt. Sie dienen in Zusammenhang mit den gelieferten Messwerten als Grundlage für weitere Betrachtungen. Dementsprechend wird eine energetische Optimierung erreicht, wenn die Systemtemperaturen auf der Verdampferseite höher betrieben werden. Der grösste Anteil der Kälteanlage benötigt nicht so tiefe Temperaturen wie der Kühlraum. Mit dieser Massnahme wird die elektrische Endenergie bezogen auf den Kühlbedarf um rund 10 % gesenkt. Infolgedessen kann auch der Wärmeübertrager umpositioniert werden und sorgt somit für eine weitere Optimierung. Dadurch wird nämlich weniger Ethylenglykol für die Anlagenfüllung verwendet wird.

Das Vertical Farming ist eine Massanfertigung, welche in fast jedes Industriegebäude platziert werden kann. Aus den Rahmenbedingungen wurden für die Betrachtung Grenzen festgelegt. Dies kann unter Umständen zu anderen Ergebnissen führen. Eine Jahresmessung des betriebenen Zuchtraums würde zu genaueren Resultaten führen. Dann wäre auch eine dynamische Simulation sinnvoll. Ferner kann eine PV-Anlage die Beleuchtungsenergie massgebend reduzieren und so für weniger Stromkosten sorgen. Zudem entfallen Batterien für die Speicherung. Auch kann die Arealanalyse weitere Erkenntnisse betreffend Energieverschiebung bringen. Eine Korrelation mit Bürogebäuden könnte für beide Nutzer lukrativ sein.

Fachartikel zur Bachelor-Thesis BAT_G_23_32
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Analyse der Auswirkungen von elektrischen Speichern und Energieerzeugungsanlagen im Niederspannungsverteilstromnetz

Studierende	Daniel Brühlmann Julian Leiggener
Dozierende	Roger Buser Olivier Steiger
Experte/-in	Oliver Blank
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Jan Giger, Genossenschaft Elektra, Bernstrasse 40, 3303 Jegenstorf)
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Analyse der Auswirkungen von elektrischen Speichern und Energieerzeugungsanlagen im Niederspannungsverteilstromnetz

Um ihren Beitrag zur Beschränkung der globalen Erwärmung zu leisten, hat sich die Schweiz das Ziel gesetzt ihre Treibhausgasemissionen bis zum Jahr 2050 auf Netto-Null zu reduzieren. Die „Langfristige Klimastrategie der Schweiz“ sieht hierbei vor, dass die Sektoren „Gebäude“ und „Verkehr“ emissionsfrei werden. Diesbezüglich steht das Schweizer Energiesystem vor wegweisenden Veränderungen und neuen Herausforderungen.

Durch die angestrebte Dekarbonisierung und Elektrifizierung der Heizsysteme sowie auch der Mobilität wird der Strombedarf in Zukunft steigen. Auch im Hinblick auf den bevorstehenden und bereits beschlossenen Atomausstieg gilt es alternative Erzeugungsanlagen auszubauen, um den steigenden Bedarf sicher und nachhaltig decken zu können. Zur Erreichung der energie- und klimapolitischen Ziele wird insbesondere die Energieproduktion aus Photovoltaikanlagen forciert. Im Rahmen dieser Arbeit werden die Auswirkungen von elektrischen Speichern und Energieerzeugungsanlagen auf das lokale Niederspannungsverteilstromnetz anhand eines realen Versorgungsgebietes untersucht, entstehende Herausforderungen eruiert und entsprechende Lösungsansätze ausgearbeitet.

Analyse Situation 2022

Eine erste Untersuchung der bestehenden Auslastung der Netzkomponenten innerhalb des Versorgungsgebietes zeigt, dass der Transformator sowie auch sämtliche Leitungen ausreichen, um den Bedarf zu decken und die Überproduktion des Quartiers abzuführen. Auffällig ist, dass die höchste vom Transformator an die Netzebene 5 abgegebene Rückspeiseleistung, bereits im Jahr 2022, die höchste Bezugsleistung übersteigt. In Anbetracht der noch bewilligten PV-Anlagen ist in naher Zukunft mit einer Überlastung des Transformators zu rechnen.

Analyse Situation 2050

Für die Analyse der Auswirkungen einer konsequenten Umsetzung der Energiestrategie wurden die resultierenden Entwicklungen gemäss dem VSE-Dokument «Energiezukunft 2050» für ein bestimmtes Gebiet verwendet. Anhand der simulierten Gebäudelastgängen kann der Lastgang des Transformators gemäss Abbildung 1 errechnet werden.

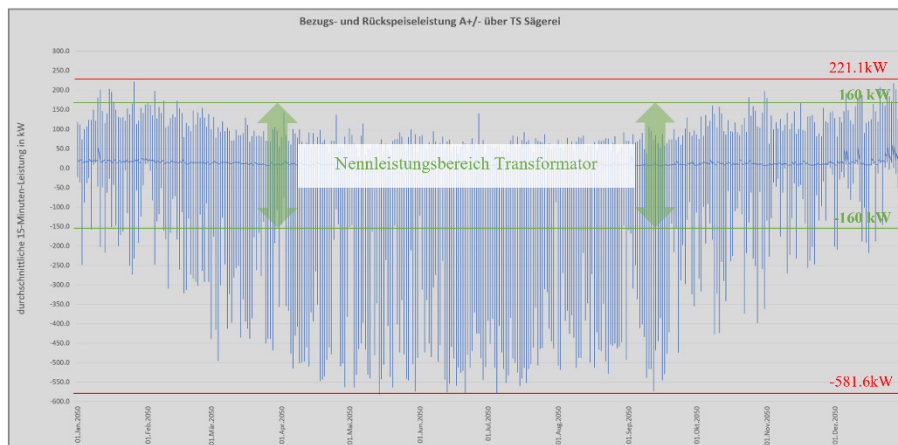


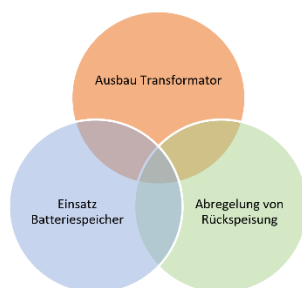
Abb. 1: Lastgang über dem Transformator 2050

BAT_G_23_32 Analyse der Auswirkungen von elektrischen Speichern und Energieerzeugungsanlagen im Niederspannungsverteilstromnetz

Wie in der Abbildung 1 ersichtlich, würde der bestehende Transformator (Nennleistungsbereich grün dargestellt) sowohl durch die erhöhten Bezugs-, insbesondere jedoch durch die stark erhöhten Rückspeiseleistungen, massiv überlastet. Während die notwendigen Kabelersatzarbeiten vergleichsweise geringe Kosten verursachen, entstehen beim allfälligen Ausbau des Transformators hohe Kosten. In dieser Hinsicht wird der Fokus zur Reduktion der Investitionskosten auf die Ausarbeitung einer optimalen Variante bezüglich des Transformatorausbaus gelegt.

Massnahmen

Es werden grundsätzlich die drei in Abbildung 2 in einem Venn-Diagramm dargestellten Massnahmen definiert, welche allenfalls alleinstehend oder in Kombination mit den anderen Ansätzen zum Einsatz kommen können.



Beim Ausbau des Transformators fallen hohe Investitionskosten an. Abhängig von der Grösse des neuen Transformators fallen zusätzlich kostenintensive Arbeiten an der Mittelspannungserrschliessung an. Durch den Einsatz eines Speichers lassen sich die Ausbauarbeiten für den Transformator allenfalls vermeiden. Auch hier fallen jedoch hohe Investitionskosten an.

Bei der Einspeiseabregelung der Rückspeiseleistung können, abhängig vom Ausmass der Abregelung und auf Kosten der eingespeisten Energie, hohe Rückspeisespitzen vermieden werden.

Abb. 2: betrachtete Massnahmen

Durch die Kombination der drei Massnahmen entsteht eine Vielzahl an Möglichkeiten zur Bewältigung der Herausforderung. Unter Berücksichtigung der definierten Parameter und anhand einer Grobrechnung der jährlichen Kosten, können die betrachteten Variationen eingegrenzt werden. Die jährlichen Kosten, bestehend aus den Investitionskosten für den Transformator, den Batteriespeicher und die Abregelung sowie aus den jährlichen Kosten für den Leistungstarif, dienen schlussendlich der Evaluation von zwei im Detail zu vergleichende Varianten.

Zur Berechnung der jährlichen Kosten werden zwei Szenarien eingeführt. Aufgrund der steigenden Netzrelevanz der Rückspeiseleistung wird davon ausgegangen, dass der auf die jährlichen Kosten stark relevante Leistungstarif in Zukunft auf die höchste Leistung, unabhängig von der Richtung des Leistungsflusses, zu begleichen ist. Anhand dieses Szenarios (Szenario 2) fallen, bei einer höheren Belastung des Netzes durch die Rückspeisung, höhere Kosten an. Diese Zahlungen werden vom vorgelagerten Netzbetreiber wiederum für den Netzausbau verwendet.

Verhältnis von maximaler Einspeiseleistung zu DC-Generatorleistung	Nennleistung des Transformators			
	160 kVA	250 kVA	400 kVA	630 kVA
0 %	47'534 CHF	48'804 CHF	54'031 CHF	55'150 CHF
10 %	46'551 CHF	47'821 CHF	53'048 CHF	54'167 CHF
20 %	50'177 CHF	51'447 CHF	56'674 CHF	57'792 CHF
30 %	79'012 CHF	64'483 CHF	69'710 CHF	70'829 CHF
40 %	99'477 CHF	90'875 CHF	87'038 CHF	88'156 CHF
50 %	121'094 CHF	118'996 CHF	101'430 CHF	102'548 CHF
60 %	140'345 CHF	124'114 CHF	120'066 CHF	115'770 CHF
70 %	155'646 CHF	135'564 CHF	132'594 CHF	127'418 CHF
80 %	161'844 CHF	141'089 CHF	135'648 CHF	136'366 CHF
90 %	160'660 CHF	139'601 CHF	133'202 CHF	137'402 CHF
100 %	160'184 CHF	139'125 CHF	132'726 CHF	136'926 CHF

Eine Abregelung auf unter 60 % der Einspeiseleistung wurde während des Prozesses, aufgrund der erhöhten Energieeinbusse, ausgeschlossen.

Abb. 3: jährliche Kosten der Varianten gemäss Szenario 2

Gemäss der Abbildung 3 stellt der Einsatz eines 630 kVA Transformators, in Kombination mit einer Abregelung der Einspeiseleistung auf 60 %, die kosteneffizienteste Lösung dar. Die eingesparten Kosten bezüglich des Leistungstarifs reichen nicht aus, um die hohen Investitionskosten für einen entsprechend ausgelegten Speicher zu decken. Im Gegenzug dazu stellt die Abregelung eine geeignete Massnahme zur Reduktion der Ausbauiinvestitionen dar.

Master

Fachartikel zur
Master-Thesis MT_G_23
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Labor- und Bürogebäude in Basel – Fallstudie mit Hilfe der Gebäudesimulation

Studierende	Patrick Walczak
Dozierende	Heinrich Manz
Experte/-in	Stefan Barp
Abgabedatum	09. Juni 2023

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.

Labor- und Bürogebäude in Basel – Fallstudie mit Hilfe der Gebäudesimulation

Das in dieser Fallstudie untersuchte Gebäude, befindet sich in Basel (Schweiz), mit einer Fläche von ca. 8'000m², auf dem der Umbau eines Labor- und Bürogebäudes geplant ist. Die folgenden Forschungsfragen wurden definiert: Was sind die Möglichkeiten und Grenzen der Gebäudesimulation, um ein solches Gebäude bezüglich Energie, Leistung und Komfort zu optimieren? Was sind die Möglichkeiten und Grenzen von Massnahmen an der Gebäudehülle vs. Gebäudetechnik? Welche Einflüsse haben a) räumliche/ technische Veränderungen (Flexibilität, interne Einflüsse) und b) Änderungen im Aussenklima infolge des Klimawandels (externe Einflüsse) auf den Energiebedarf und/ oder Leistung in den Büro- und Laborräumlichkeiten?

Ziele

Um die oben genannten Fragen zu beantworten, sind die Hauptziele, die Untersuchung der Bedürfnisse sowie der technischen Anforderungen; die Untersuchung der klimatischen Bedingungen; der Vergleich von mehreren Szenarien und die Diskussion von Einsatz von Gebäudesimulationen bei komplexen Gebäuden. Die Hauptaspekte für den weiteren Verlauf in den Projektphasen auf Seiten der Bauherrschaft sowie Planerteams, sind die Ermittlung des Energiebedarfs und Leistungsbedarfs sowie das Einhalten des geforderten Raumklimas.

Methode

Als Forschungsmethode wurde eine umfangreiche Recherche zum Thema Laborplanung in Kombination mit Büroräumen in der Schweiz durchgeführt. Nach einer sorgfältigen Untersuchung konnte das digitale Modell der Architektur in einem Gebäudesimulations-Programm modelliert werden. Aus den Rechercharbeiten sowie Diskussionen mit dem Planerteam des Projekts sind zum einen statische und dynamische Berechnungen entstanden. Zudem konnten aus dem erstellten Modell unterschiedliche Szenarien erzeugt werden, um die Fragestellungen zu beantworten.

Resultate & Fazit

Die Auswertungen zeigen, dass sich der Einsatz von dynamischen Gebäudesimulationen auch in komplexen Gebäuden in Verbindung mit konkreten Anforderungen der Bauherrschaft lohnt. Zudem konnte durch einfache Massnahmen wie Fensterlüftung im Bürobereich oder Einsatz von selektivem Glas, eine positive Auswirkung auf den Energiebedarf aufgezeigt werden. Ausserdem haben die Berechnungen gezeigt, dass der städtebauliche Kontext einen spürbaren Einfluss auf die Effektivität von Sonnenschutz aufweist.

Im Detail ist zu beobachten, dass die Regelungsart der Gebäudetechnik einen grossen Einfluss auf die Leistungsabgabe des wasser- und luftgeführten Systems aufweist. Zudem konnte bestätigt werden, dass auch der thermische Komfort in hoch technisierten Gebäuden gewährleistet werden kann.





Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Institut für Gebäudetechnik
und Energie
Technikumstrasse 21
6048 Horw

T +41 41 349 33 03
gebaeudetechnik@hslu.ch
hslu.ch/gebaeudetechnik



Mehr Informationen
zum Institut für
Gebäudetechnik und Energie