

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur
FH Zentralschweiz

20 Jahre
HOCHSCHULE
LUZERN



Gebäudetechnik

Fachberichte Diplomarbeiten

Bachelor 2017

WOR

WORD

4 Diplomandinnen und 50 Diplomanden des Studiengangs Gebäudetechnik haben im Frühlingssemester 2017 ihre Bachelor-Diplomarbeit verfasst. Gegen 19'500 Stunden haben sie gemeinsam in ihre Arbeiten investiert. Die Arbeiten zeigen das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs ab. 15 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung Gebäude-Elektroengineering, 39 die Studienrichtung Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär ab.

Alle bearbeiteten Themen sind konkrete und aktuelle Fragestellungen aus Forschungsprojekten oder von Industriepartnern, die auch einen Beitrag zur Umsetzung der Energiestrategie 2050 leisten können. Es sind Arbeiten aus allen Kernthemen des Studiengangs, von der Energie- und Heizungstechnik, über Lüftungs- und Klimatechnik, Sanitärtechnik, Integrale Planung, Gebäude- Elektroengineering bis hin zu Gebäudeautomation dabei. Allen gemeinsam ist die Bedeutung der übergreifenden Fokus-themen wie Funktion für die Nutzer, Energieeffizienz oder Erneuerbare Energien.

Die vorliegende Broschüre ist eine Zusammenstellung der Fachberichte, welche jedes Team über seine Arbeit verfasst hat. Lassen Sie sich inspirieren von der Qualität der Arbeiten und der Fülle der Themen.

Prof. Adrian Altenburger

Studiengangleiter Bachelor Gebäudetechnik

INN

MANA

BDA G_17_01	Hichem Ben Brahim und David Ott
BDA G_17_02	Benno Scheuber und Patrick Gosteli
BDA G_17_03	Andreas Poretti und Brahim Msittef
BDA G_17_04	Jonas Rütter und Moritz Rogger
BDA G_17_05	Christian Roth und David Riederer
BDA G_17_06	Moritz Ruckstuhl
BDA G_17_07	Livio Stäger und Adrian Nützi
BDA G_17_08	Pascal Küttel und Kevin Zäch
BDA G_17_09	Kevin Zenhäusern
BDA G_17_10	Thomas Ming und Stefan Baumgartner
BDA G_17_11	Mirco Stillhart und Silvio Göggel
BDA G_17_12	Alberto Walker
BDA G_17_13	Fabio Hediger
BDA G_17_14	Fabian von Allmen und David Arnold
BDA G_17_15	Marc Aeschlimann und Anastasia Lebedev
BDA G_17_16	Martin Aeberhard und Giuseppe Cudemo
BDA G_17_17	David Egger
BDA G_17_18	Jonas Wyss und An Nhien Nguyen Tran
BDA G_17_19	Marc Fontanive
BDA G_17_20	Christian Graber und Joshua Creti
BDA G_17_21	Andreas Egli und Lukas Flück
BDA G_17_22	Stefan Gebhardt und Halil Mila
BDA G_17_23	Florian Jauner und Remo Hofmann
BDA G_17_24	Jasmin Baumann und Basil Abegg
BDA G_17_25	Christian Ammann und Ricardo da Silva
BDA G_17_26	Fabio Bargetzi und Sandro Hug
BDA G_17_27	Yannick Drollinger und Mario Bucher
BDA G_17_28	Livio Furrer und Lukas Kappeler
BDA G_17_29	Sonja Moser und Thomas Pfeiffer
BDA G_17_30	Sabrina Harr und Andreas Buess



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_01
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Optimierungspotential der HLK-Anlage des Technoparks Winterthur

Studierende	Hichem Ben Brahim David Ott
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Matthias Balmer
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Thomas Schuhmann, Technopark Winterthur AG, Technoparkstrasse 2, 8406 Winterthur)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Optimierungspotential der HLK-Anlage des Technoparks Winterthur

Der Technopark Winterthur ist mit mehreren Problemen konfrontiert. Die Nutzer sind mit dem Raumklima unzufrieden. Im Sommer ist es zu heiss und im Winter ist es an einigen Orten zu kühl. Erstaunlich ist, dass im Altbau weniger Heizenergie pro m² benötigt wird als im Neubau nach Minergie-Standard. Durch ein methodisches Vorgehen wurde das Optimierungspotential der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage ermittelt und Verbesserungsmassnahmen ausgearbeitet. Die abschliessende kritische Analyse beurteilt den Performance GAP zwischen Planungs- und Messwerten, zeigt Ursachen auf und gibt Empfehlungen für künftige Projekte ab.

Die Technopark Winterthur AG bietet ein innovatives Umfeld für Start-ups und Spin-offs, ein Fachhochschul-Institut der Zürcher Hochschule für angewandte Wissenschaften (ZHAW) sowie das regionale Arbeitsvermittlungszentrum (RAV). Der Komplex besteht aus einem Altbau mit einer Aufstockung (saniert 2002) und einem angrenzenden Neubau im Minergie-Standard (gebaut 2009), welcher nicht zertifiziert ist. Das Facility Management ist wiederholt mit Reklamationen bezüglich des Raumklimas konfrontiert. Im Sommer ist es in mehreren Gebäudeteilen zu heiss, im Winter ist es an einigen Orten zu kühl. Zudem ist dem Betreiber aufgefallen, dass der Neubau mehr spezifische thermische Energie verbraucht als der Altbau. Der Bericht zeigt das Optimierungspotenzial der Heizungs-, Lüftungs- und Klimaanlage auf. Für den Betreiber sind Massnahmen erarbeitet, die zu den notwendigen Raumklimaverbesserungen führen den Energieverbrauch des Neubaus erklären und reduzieren.

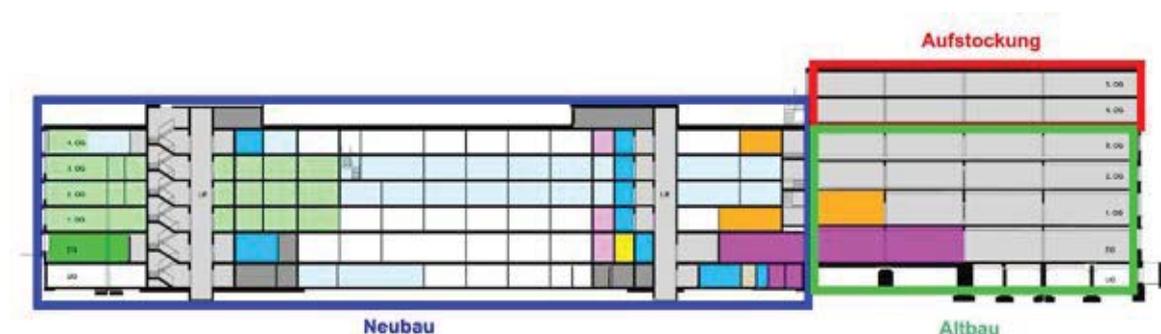


Abb. 1: Arealübersicht Technopark Winterthur AG

Methodik

Das Vorgehen erstreckt sich über fünf Phasen. Die erste Phase beinhaltet die Analyse der gebäudetechnischen Anlagen und der Gebäudehülle. Sie soll einerseits deren Zustand und andererseits anfällige Schwachstellen und Fehler aufzeigen. In der zweiten Phase sind Hypothesen zu den Ursachen des hohen thermischen Energieverbrauchs und zu den Raumklimaproblemen formuliert. Durch Feldmessungen und einer Nutzerumfrage konnten diese bestärkt oder ergänzt werden. Basierend auf den ersten zwei Phasen erfolgt in der dritten die Ausarbeitung der geeigneten Massnahmen. Diese sind auf ihre Realisierung, ihr Nutzen und ihre Wirtschaftlichkeit geprüft. Die vierte Phase umfasst die Ursachenanalyse, eine Beurteilung zum Performance GAP und eine Würdigung der SIA-Planungsphase 6. Letztlich ist eine Handlungsempfehlung zur Reduktion des spezifischen Energieverbrauchs im Neubau und zur Verbesserung des Raumklimas für den Betreiber dargelegt.

Thermischer Energieverbrauch

Der unerklärliche thermische Energieverbrauch ist auf die fehlerhafte Aufzeichnung der Stadtwerkzähler zurückzuführen. Die Feldmessung und die Berechnungen weisen im Altbau einen deutlich grösseren Heizenergieverbrauch auf als der festinstallierte Wärmezähler der Stadtwerke Winterthur aufgezeichnet. Des Weiteren zeigen die Monatsauswertungen des Gesamtzählers im Neubau auch einen unnachvollziehbar kleineren Heizenergieverbrauch. Jedoch sind auch Optimierungspotentiale bei der Heizungsanlage im Neubau vorhanden. Der Tag-, bzw. Nachtbetrieb ist den Nutzungszeiten des Gebäudes anzupassen. Das Temperaturniveau in den zwei Brauchwarmwasserspeichern ist deutlich zu hoch und das Ladesystem suboptimal. Mit Speichertemperaturfühler lässt sich die Wassererwärmung energieeffizienter regulieren und betreiben. Diese Anpassungen lassen sich ohne grossen Installationsaufwand und tiefen Kosten realisieren. Zudem kann durch das Ergänzen von weiteren Messstellen die Betriebsweise der Heizungsanlagen besser überwacht und so einen unnötigen Energieverbrauch verhindert werden.

Raumklima

Zu Beginn ist davon ausgegangen worden, dass die Reklamationen zum Raumklima nur den Neubau und die Aufstockung betreffen. Die Nutzerumfrage hat jedoch gezeigt, dass in allen Gebäudeteilen Probleme herrschen. Im Sommer ist es ganzheitlich zu warm, wobei die Aufstockung am stärksten betroffen ist. Sie zeichnet sich durch einen Leichtbau mit einem hohen Glasanteil aus. Der Sonnenschutz ist hoch, was aber nicht verhindert das ein Raumkühlungssystem nachgerüstet werden muss. Um entscheiden zu können, ob eine natürliche Nachtauskühlung mit automatisierten Fenster für ein behagliches Klima ausreicht, ist eine Simulation notwendig. Ansonsten ist eine Lüftungsanlage mit einer reversiblen Wärmepumpe, wie sie bereits schon im Neubau umgesetzt wurde, eine Alternative. Im Altbau wird empfohlen, die amortisierten Stoffmarkisen durch Metall-Lamellenstoren zu ersetzen. Dadurch reduziert sich der solare Eintrag um bis 25%. Die Lüftungsanlage im Neubau weist eine zu tiefe Luftmenge auf und Nachtauskühlungsfunktion ist zu kurz eingestellt. Bevor teure Massnahmen ergriffen werden, ist eine ausführliche regeltechnische Anlagenoptimierung durchzuführen. Im Winter sind vereinzelte Räume im Neubau zu kühl oder zu warm, was auf eine mangelhafte Raumregulierung und auf einen ungenügenden hydraulischen Abgleich zurückzuführen ist. Zudem ist die Raumluft in allen Gebäudeteilen zu trocken. Die Raumluftfeuchte kann durch ein effizientes Lüften und mit Hilfe von Pflanzen erhöht werden.

Ursachen

Die Differenzen von den Planungszielgrößen und den Messwerten können aufgrund der ungenauen Wärmezählung seitens der Stadtwerke Winterthur nicht abschliessend beurteilt werden. Auch diverse Studien beschreiben ähnliche Situationen. Somit kann auch keine Aussage zum Einhalten der Minergie-Anforderungen im Neubau gemacht werden.

Die Gebäudetechnikplanung kann aufgrund der Dokumentation nicht ganzheitlich nachvollzogen werden. Die Bemessung der Lüftungsanlagen im Neubau entspricht nicht den einschlägigen Normen. Die Bauform der Wassererwärmer im Neubau passen nicht ins Gebäudetechnikkonzept. Weiter weisen diverse hydraulische Schaltungen kleinere Mängel auf. Auch fraglich ist, warum bei der Aufstockung keine Kühlung vorgesehen wurde. Durch den grossen Glasanteil findet offensichtlich im Sommer eine starke Überwärmung statt. In Teil der oben genannten Mängel könnte aber auch in der Realisierungsphase entstanden sein. Dies durch Sparmassnahmen oder ungenügendes Fachwissen seitens der Unternehmer. Über die Planung und Ausführung hat aber auch die Qualitätssicherung nicht zufriedenstellend funktioniert. Mailverläufe und Protokolle weisen bereits auf Planungsfehler und Ausführungsmängel hin. Das lässt vermuten, dass die Qualitätssicherung in der Bauphase gewirkt, aber die Mängelbehebung nicht konsequent verfolgt hat. Nachträglich ergänzte Anlagenteile auch das Anlageverhalten beeinflussen. Im hier vorliegenden Fall mit dem Luftherhitzer Labor wird der Einfluss aber als unmerklich beurteilt. Die Wartungsunterlagen lassen auf einen regelmässigen und seriösen Anlagenunterhalt schliessen. Dem Betreiber ist grundsätzlich kein Vorwurf zu machen. Die Umfrage zeigte auf, dass das Nutzerverhalten ans Gebäude angepasst ist. Wenn die Nutzer zu warm oder zu kalt haben, kleiden sie sich dementsprechend, Lüften angepasst und nutzen den Sonnenschutz. Schlussendlich zeigt sich, dass die Raumklimaprobleme und die unerklärlichen Energieverbräuche im Technopark Winterthur nur zu einem kleinen Teil dem Nutzer zu zuweisen sind. Die Planung hingegen hat einen massgebenden Einfluss.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_02
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Lastmanagement Grossverbraucher (Spitzenlastoptimierung)

Studierende	Patrick Gosteli Benno Scheuber
Dozierende	Roger Buser Markus Loser
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Daniel Wildhaber, R+B engineering AG, Pfungstweidstrasse 102, 8005 Zürich)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Lastmanagement Grossverbraucher (Spitzenlastoptimierung)

Viele Grossverbraucher zahlen hohe Preise für ihren Leistungsbezug. Dies, weil die Netzbetreiber für die monatlichen Spitzenlasten zusätzlich zu den Energiekosten eine Gebühr verlangen. Das Brechen dieser Leistungsspitzen ist für den Strombezügler lukrativ und entlastet das öffentliche Netz. Ein gutes Lastmanagement sorgt durch intelligente Netzanalyse und effizientes Zusammenspiel aller Verbraucher für eine Glättung des Lastgangs, was zu finanziellen Einsparungen führt.

Plötzlich auftretende Leistungsspitzen im öffentlichen Stromnetz sind schwierig zu regulieren und können bei den Produzenten hohe Kosten verursachen. Deshalb erheben die Netzbetreiber bei Grossverbrauchern Leistungsgebühren, damit diese bestrebt sind, ihre Lastspitzen möglichst stark zu senken. Der monatlich abzurechnende Wert ergibt sich aus der höchsten Durchschnittsleistung, die während 15 Minuten bezogen wird. Die Tarife der verschiedenen Werke differieren stark, was pauschale Aussagen für das finanzielle Einsparpotenzial erschwert. Ausserdem hängt der Leistungspreis von Netzebene, Lastprofil und Energiebezug ab.

Analyse am Referenzobjekt

Um eine Grundlage für weitere Überlegungen zu erhalten sind Referenzwerte sinnvoll. Die Analysen werden am Beispiel eines Spitals (nachfolgend Spital A genannt) vorgenommen, einem typischen Grossverbraucher mit vielseitigen Nutzungen. Dazu dienen Lastgangmessungen der gesamten Anlage, sowie der Küche und der drei Wärmepumpen während einer Woche. So sind die grössten Verbrauchergruppen des Spitals zusätzlich zum Gesamtverbrauch aufgezeichnet worden.

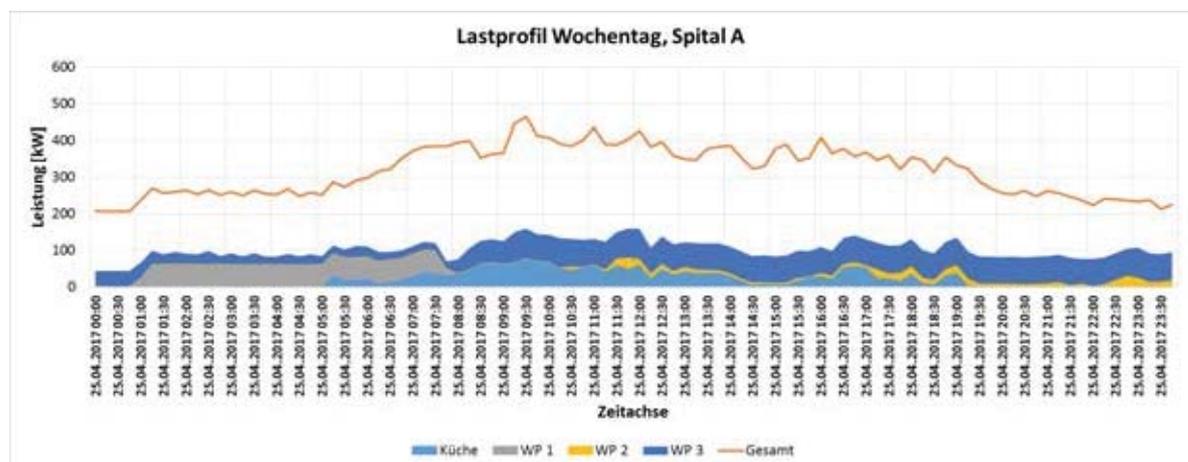


Abb. 1: Tagesprofil Spital A

Auf diesem Tagesverlauf ist eine Spitzenlast von 430 kW um 09.30 zu erkennen. Die Spitze der gesamten Anlage deckt sich mit jenen der untersuchten Verbrauchergruppen. Wärmepumpen und Küche sind somit für die Tagesspitze mitverantwortlich. Für die Wärmepumpe 1 ist aus diesem Grund bereits eine Sperrzeit programmiert, sie wird jeweils morgens mit konstanten 60 kW betrieben. Vergleiche mit anderen Spitälern zeigen, dass der Leistungsverlauf auch bei teils viel höherem Energiebedarf fast deckungsgleich ist. Das bedeutet, dass in der Planung das Verhalten von ähnlichen Anlagen auf ein Objekt adaptiert werden kann. Dies ermöglicht eine Einschätzung über den zu erwartenden Lastverlauf und die Höhe der Leistungsspitzen eines Gebäudes.

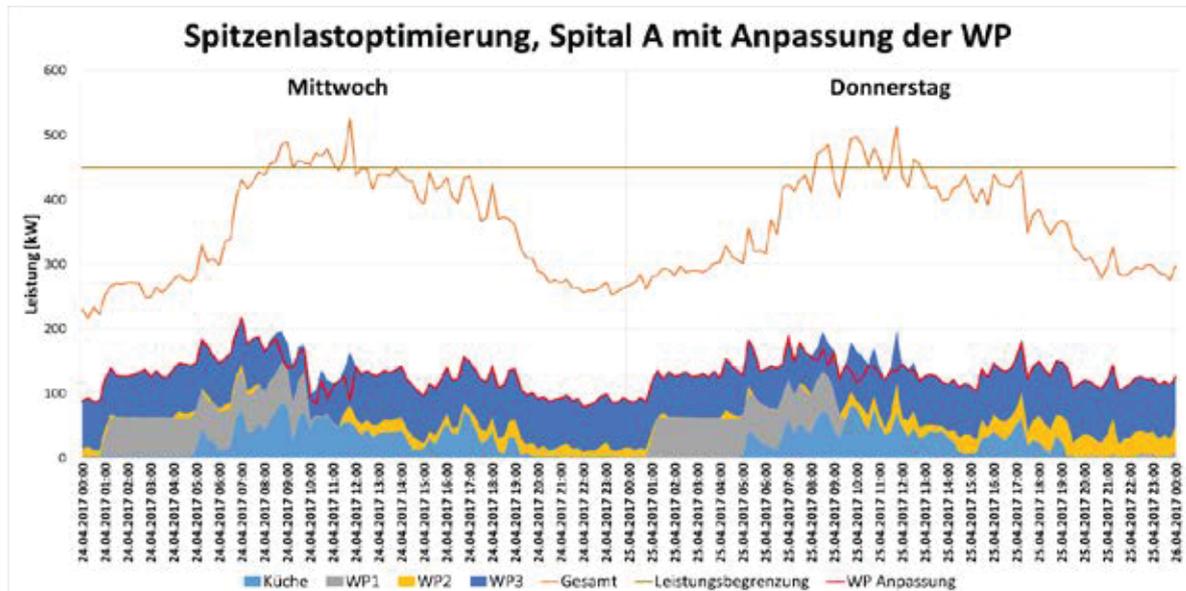


Abb. 2: Potenzial Management Spital A

Auf diesem Diagramm ist ersichtlich, wie ein Lastmanagement aussehen kann. Bereits mit einer zeitweisen Reduktion der Wärmepumpen (rot), sind bei dieser Anlage Senkungen der Spitzenlast von ca. 75 kW möglich, was je nach Tarifmodell jährlich zwischen 4'000 Fr und 10'000 Fr. Kosteneinsparung entspricht und ein Management lukrativ macht. Mit weiteren Massnahmen wäre noch ein höheres Sparpotenzial zu erreichen.

Varianten Lastmanagement

Es gibt viele Möglichkeiten, ein Lastmanagement zu betreiben. Die besten Ergebnisse sind zu erzielen, indem diese kombiniert werden. Die Grundlage bildet meist ein intelligentes Managementsystem, welches die Anlage analysiert, Verhaltensmuster erkennt und die Verbraucher schaltet und reguliert, damit der Lastgang möglichst regelmässig ausfällt. Wird dieses System mit thermischen oder elektrischen Speichern, oder Eigenproduktionen wie Photovoltaikanlagen unterstützt, sind noch bessere Ergebnisse möglich, indem Betriebszeiten der Verbraucher ohne Ausfälle verschoben werden können. Je nach Lastprofil sind Einsparungen von bis zu 20% und mehr im Bereich des Möglichen. Besonders bei kleinen Anlagen sind auch einfache Lastabwürfe oder manuelle Sperrungen zielführend, da dafür nur geringe Investitionen notwendig sind. Die grössten Spitzenlastreduktionen sind mit der Vernetzung von vielen Verbrauchern oder ganzen Arealen zu erreichen. Bei vielen Grossverbrauchern, auch bei Spital A, amortisiert sich der Einbau eines Managementsystems nach wenigen Jahren. Zusätzliche thermische Speicher erweisen sich als wirtschaftlich, wenn die Einsparungen aufgrund des Lastprofils noch vergrössert werden können. Elektrische Speicher sind momentan für die reine Spitzenlastbrechung noch nicht wirtschaftlich, diese stehen aber in starkem Wandel und bilden in Zukunft eine interessante Alternative.

Planung eines Lastmanagements

Viele Grossverbraucher rüsten ihre Anlagen nachträglich mit einem Management aus. Anhand der gemessenen Profile kann ein entsprechendes Konzept entwickelt werden. Bei Neubauten muss aber das Verhalten der Anlage vorab eingeschätzt werden. Es empfiehlt sich, den Fokus auf die grössten Verbraucher zu legen und ihr Verhalten zu studieren, da mit deren Regulierung bereits viel zu erreichen ist. Das Einsparpotential der Anlage kann anhand von vergleichbaren Objekten abgeschätzt werden. Die technischen und räumlichen Voraussetzungen für das Management sind vorgängig zu schaffen, die Feinjustierung erfolgt aber in jedem Fall erst im Betrieb.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_03
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Machbarkeitsstudie zur Nutzung des gebäudenahen Abwassernetzes als Wärmequelle

Studierende	Andrea Poretti Brahim Msitf
Dozierende	Prof. Reto von Euw Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Experte/-in	Roger Neukomm
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Machbarkeitsstudie zur Nutzung des gebäudenahen Abwassernetzes als Wärmequelle

Wird für Heizzwecke in einem Gebäude eine Wärmepumpe eingesetzt, wird die verwendete Umweltenergie höchst wahrscheinlich aus der Aussenluft, aus Gewässern oder dem Erdreich gewonnen. Das hohe Potential der bisher im Abwasser verlorenen Wärme ist bereits bekannt. Nur ist die Wärmerückgewinnung aus dem Abwasser mit hohem Aufwand verbunden. Jedoch sollte es möglich sein, diese Anergiequelle mit wenigen Massnahmen nutzbar zu machen, sodass der Einsatz für ein mittleres Mehrfamilienhaus wirtschaftlich wird.

Grundlagen

Für die Studie ist ein Mustergebäude als Referenz definiert. Dieses Wohngebäude mit acht Wohneinheiten befindet sich im Raum Luzern. Somit gelten die Parameter der Klimaregion Luzern. Ebenfalls entsprechen die verwendeten Abwassertemperaturdaten, denjenigen der bestehenden Abwasserwärmenutzungsanlage am Hirschengraben in Luzern. Diese wurden freundlicherweise zur Verfügung gestellt. Die Kanalisation in Luzern ist als Mischsystem konzipiert, was die Temperaturschwankungen teilweise erklärt. Aber auch Undichtigkeiten im System lassen darauf zurückzuführen. Dennoch ist im Vergleich mit der Aussenlufttemperatur ein konstanteres Temperaturbild zwischen 8 und 23°C erkennbar. Und somit auch ein Potential als Quelle für die Wärmeerzeugung in Gebäuden.

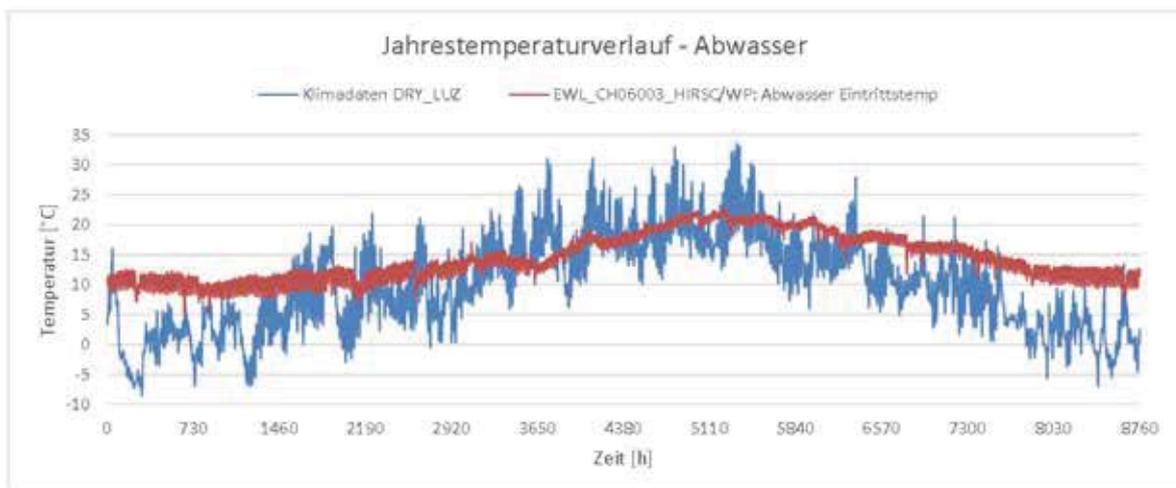


Abb. 1: Jahrestemperaturverlauf Aussenluft und Abwasser der öffentlichen Kanalisation am Hirschengraben in Luzern

Dafür sind mehrere Konzeptvarianten untersucht worden. Dabei wurde unterschieden ob das Abwasser oder die Luft aus der Kanalisation als Anergiequelle genutzt wird. Eine weitere Aufteilung in Neubauobjekte und Bestandsobjekte fächert die Anzahl Varianten weiter auf. Ebenso Optimierungsversuche und Installationsweisen. So sind fünf Varianten mit der Referenzanlage, die eine konventionelle Luft/Wasser-Wärmepumpe beinhaltet, verglichen worden.

Energie

Bei einer Nachhaltigkeitsbetrachtung weisen alle betrachteten Varianten zur Nutzung der Wärme aus dem Abwassernetz bessere Werte auf als eine konventionelle L/W-Wärmepumpe. Insbesondere jene die jeweils über neu verlegte Leitungen Wasser oder Luft aus der öffentlichen Kanalisation beziehen. Ein wirtschaftlicher Betrieb hängt jedoch von den Investitionskosten und den Unterhaltskosten ab. Dennoch haben besonders die Neubauvarianten 2 und 3 eine deutlich bessere Jahresarbeitszahl als die Referenzvariante 1.

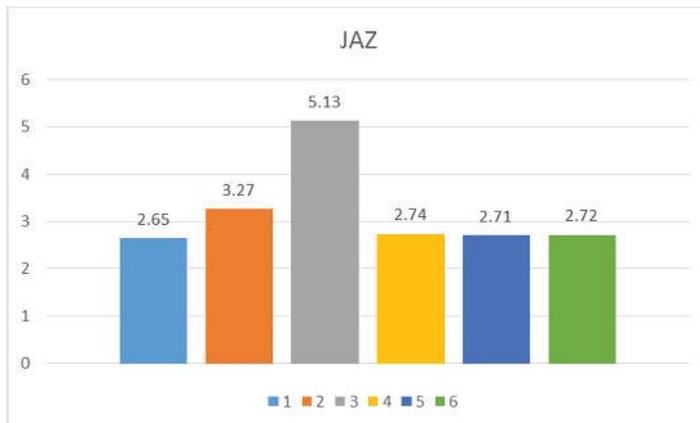


Abb. 2: JAZ- Vergleich der Konzeptvarianten

Kosten

Auch unter Berücksichtigung der Investitions- und Unterhaltskosten zeichnen sich unter anderem die beiden energetischsten Konzepte aus. Es zeigt sich, dass die Variante mit Nutzung des Abwassers aus der Kanalisation nach wenigen Jahren Laufzeit unterhalb der Kosten für eine konventionelle Luft/Wasser-Wärmepumpe liegt. Die Variante mit der Deckung des Wärmebedarfs mittels der Kanalisationsluft liegt nach 13 Jahren unterhalb jener der Referenz-Wärmepumpe. Es ist eindeutig, dass nur bei Neubauobjekten ein wirtschaftlicher Betrieb möglich wird.

Problemstellungen

Um die notwendige Abwasser- oder Luftmenge zu beziehen, sind neuverlegte Leitungen zum öffentlichen Abwasserschacht notwendig, welche einen genügend grossen Querschnitt aufweisen. Die Grundleitungen im Gebäudebestand haben schlicht einen zu kleinen Querschnitt. Die förderbare Menge hat bei der Luftvariante so gut wie keinen wertschöpfenden Effekt. Bei der Abwasservariante bedarf es einer Leitungsgrösse, welche bei Installation in die Grundleitung den Entwässerungsbetrieb nicht unzulässig stören würde. Also sind solche Lösungen vorwiegend bei Neubauten anzustreben, wenn bereits Grabarbeiten für den Entwässerungsanschluss erstellt werden. Weitere zu lösende Probleme bilden bei der Rückgabe der Kanalisationsluft. Wird diese nicht zurückgegeben sind weitere Filtermassnahmen notwendig um die Luft ins Freie abzuführen. Beim Bezug des Abwassers aus der Kanalisation ist das grösste Hemmnis die Unklarheit über die Installation und der möglichen Verstopfung der Förderpumpe.

Fazit

Um nun das öffentliche Abwassernetz für kleine und mittlere Objektgrössen als Energiequelle nutzbar zu machen, ist eine innovative Weiterentwicklung im Bereich der Pump- und Wärmeübertragungstechnik nötig. Und auch wenn die genannten Problemstellungen gelöst werden, kann der wirtschaftliche Betrieb dennoch nur bei Neubauten erfolgen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_04
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Smart Grid VBS

Studierende	Moritz Rogger Jonas Rütter
Dozierende	Dr. Olivier Steiger Markus Loser
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur armasuisse Immobilien, Fachbereich Umweltmanagement, Normen & Standards Herr Martin Steiner, 058 463 00 52, Martin.Steiner@armasuisse.ch
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Smart Grid VBS

Im Rahmen der Bachelor-Thesis an der Hochschule Luzern wurden die elektrischen Anlagen des Militärflugplatzes (FP) in Alpnach untersucht. Die Energieerzeuger bestehend aus Photovoltaik (PV) und Blockheizkraftwerk (BHKW) und die Lasten der einzelnen Gebäude wurden analysiert, um das Potential für eine Optimierung des Eigenverbrauchs sowie zur Minimierung der Lastspitzen zu bestimmen. Es werden Grundkomponenten für den Aufbau eines Smart Grids aufgezeigt, sowie integrierbare Speichertechnologien untereinander verglichen. Anhand des ausgearbeiteten Konzepts wurde eine Lastflusssimulation mit den gegebenen Energiedaten durchgeführt und mittels einer statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung ein Lithium-Ionen Speicher evaluiert. Mit dem genannten Speicher kann der Eigenverbrauch optimiert und die Spitzenlasten gesenkt werden. Wenn jedoch die Investitionskosten und der heutige Energiepreis berücksichtigt wird, ist ein rentabler Betrieb mit den verfügbaren Technologien nicht möglich.

Aufgabenstellung und Begriffsdefinition Smart Grid / Micro Grid

Die Aufgabenstellung teilte sich in vier Hauptpunkte auf. Zuerst musste das gesamte Areal erfasst und entsprechende Daten gesammelt werden. Der zweite Aufgabenpunkt bestand aus Recherche zu den vorhandenen Speicher- und Smart Grid-Technologien, wofür auch Gespräche mit Herstellerfirmen arrangiert wurden. Anschliessend an die Datenauswertung bestand die Aufgabe darin, zwei bis maximal drei Konzeptvarianten zu entwickeln, wovon eine im Detail ausgearbeitet wurde, was dem letzten Aufgabenpunkt entsprach.

Smart Grid ist ein Begriff, der seit ein paar Jahren sehr stark verbreitet ist. Da es kein definierter Standardbegriff ist, wird er oft nicht von allen Personengruppen gleich definiert. Grundsätzlich verbindet ein solches System intelligent Stromkonsumenten und –Produzenten mit verschiedenen Systemen. Ein weiterer, jedoch nicht so verbreiteter Begriff, das ist das Micro Grid. Ein Micro Grid ist ein Unterelement des Smart Grid. Das Hauptmerkmal davon ist die Mittelspannungs- und Niederspannungs-Ebene für die Energieverteilung. Ausserdem können diese Systeme erneuerbare Energien, Energiespeicherung und eine intelligente lokale Verteilung vereinen.

Bei dem Areal in Alpnach handelt es sich daher nicht um ein Smart Grid, sondern um ein Micro Grid.

Übersicht Militärflugplatz Alpnach

Das ganze Areal ist mit einer Mittelspannungsleitung (Abb. 1, rote Linien) im Ring des Elektrizitätswerkes Obwalden erschlossen. Von Norden speist die Leitung ab dem Unterwerk Alpnach und von Süden ab dem Unterwerk Sarnen. Diese Ringleitung ist in die Mittelspannungshauptverteilung (MSHV) geführt und im Normalbetrieb geschlossen. Mit den beiden Transformatoren an je 400 kVA wird die Spannung auf 400V/230V heruntertransformiert und in die Niederspannungshauptverteilung (NSHV) eingespeist.

Die Hallen 1-4, das Mehrzweckgebäude, das Bürogebäude 1 sowie die Hauptverteilung der Komponentenwerkstatt sind direkt ab der NSHV erschlossen. Die weiteren Gebäude auf der Südseite des Areals werden alle ab der HV in der Komponentenwerkstatt gespeist.

Die gewonnene elektrische Energie des BHKWs gelangt unmittelbar mittels Einzelleiter zur HV in der Komponentenwerkstatt und wird dort ins Arealnetz eingespeist und gemessen. Die Energie, welche durch die PV-Anlagen auf den einzelnen Hallen generiert wird, gelangt zu den jeweiligen Wechselrichtern (WR), die daraus netzgeführte Wechselspannung erstellen. Über separate Leitungen (violett) gelangt diese Energie aller Anlagen zur NSHV, wo sie zentral gemessen und ins Arealnetz eingespeist wird.

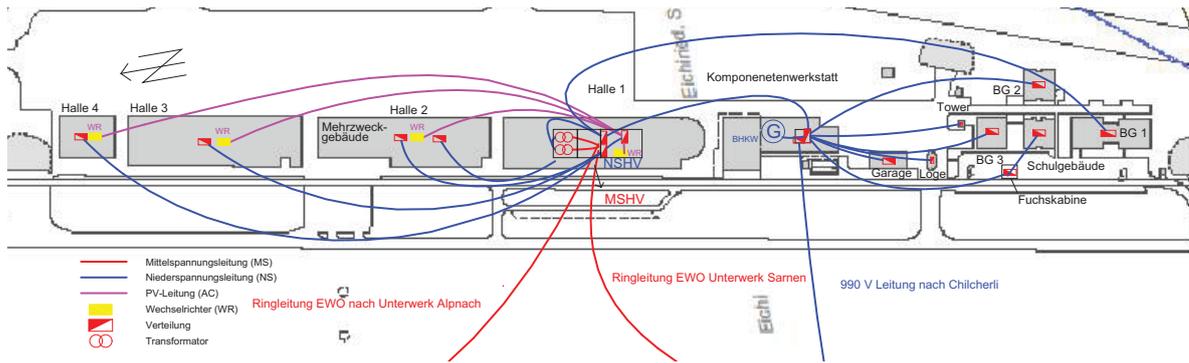


Abbildung 1: Arealplan Militärflygplatz Alpnach

Lastflussanalyse

Um das Areal genauer zu betrachten, wurde eine Lastflussanalyse anhand von 4 Referenzwochen innerhalb eines Jahres durchgeführt. Die 4 Wochen befinden sich im Januar (KW 1), April (KW 14), Juli (KW 27) und Oktober (KW 40). In der Abbildung 2 ist die Referenzwoche vom 4.-10. Juli 2016 zu sehen, welche nachfolgend genauer erklärt wird. Die Sommerwoche entspricht gemäss Aussage des Betreibers dem typischen Nutzerverhalten. Konkret bedeutet dies, dass von Montag bis Freitag der Energiebezug von morgens um 6.00 Uhr bis abends um 20.00 Uhr deutlich zunimmt und zur Mittagszeit eine Spitze von bis zu 500 kW erreicht. In der Nacht fällt der Energiebezug jeweils auf rund 200 kW zurück, was der Bandlast vom ganzen Flugplatz entspricht. Auch am Wochenende war der Betrieb weitgehend eingestellt, sodass ausschliesslich Bandenergie bezogen wurde, die meist rund 200 kW betrug.

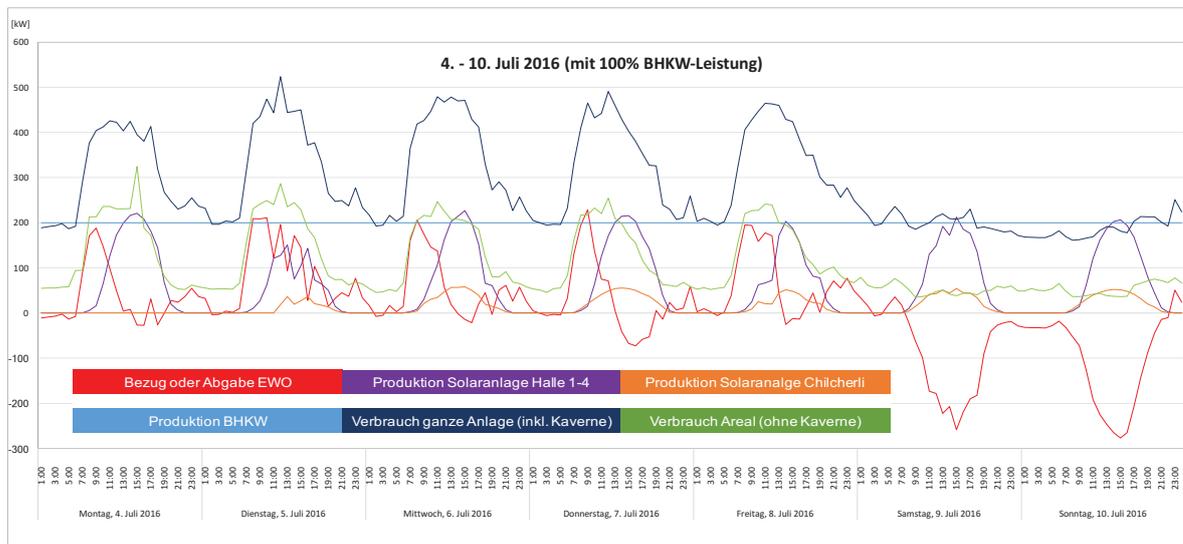


Abbildung 2: Lastflussanalyse Juli 2016

Das Blockheizkraftwerk kann bei 100% Leistung gerade die Bandlast des ganzen FP abdecken. Da es sich um eine mehrheitlich sonnige Sommerwoche¹ gehandelt hat, in der auch die Erträge der PV-Anlagen entsprechend gut ausfielen, konnte über das gesamte Wochenende 4480kWh elektrische Energie ins Netz rückgespielt werden. Ebenfalls konnte jeweils am Nachmittag Energie rückgespielt werden, da auch unter der Woche die PV-Anlagen genügend Energie produzierten.

¹ Gemäss Wetterdaten von metebblue.com

Konzept

In der Konzeptphase wurden zwei verschiedene Varianten entwickelt, wovon eine in Absprache mit dem Industriepartner ausgewählt und im Detail ausgearbeitet wurde. Die Abbildung 3 zeigt den strukturellen Aufbau der gewählten Konzeptvariante: *Eigenverbrauchsoptimierung und Spitzenlastabdeckung*. Dabei ist ersichtlich, dass netzseitig keine vehementen Eingriffe respektive Umbauten vonnöten sind, da lediglich ein Energiespeicher hinzugefügt wird (rot markiert). Dabei wird auch

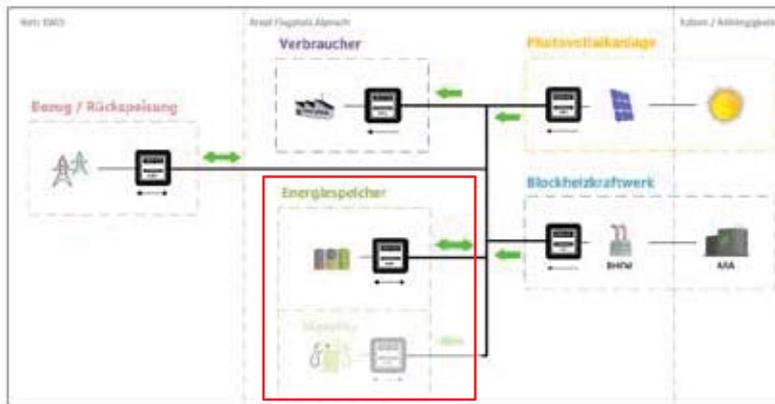


Abbildung 3: Konzeptvariante Eigenverbrauch und Spitzenlastabdeckung

die mögliche Einbindung der E-Mobility in Betracht gezogen, was sich heute jedoch noch als sehr schwierig herausstellte. Auch das Messkonzept kann wie bis anhin weiterbetrieben werden. Ein zentrales Gerät in diesem Konzeptaufbau ist der Laderegler. Er übernimmt das netzseitige Lastmanagement indem er entscheidet, ob bei Überproduktion die Energie in den Speicher oder zurück ins

Netz geliefert werden soll. Ebenso kann der Regler nach verschiedenen Szenarien programmiert und somit auch definiert werden, wann wie viel Energie der Speicher zum aktuellen Verbrauch beisteuern soll. Der Energiespeicher dient somit als «Puffer». Bei Überproduktion kann diese Energie gespeichert und bei Bedarf wieder genutzt werden. Somit steigt nicht nur der Eigenverbrauchsanteil, sondern gleichzeitig sinken mit einer intelligenten Einbindung ins vorhandene Netz auch die Lastspitzen. Dies soll wiederum die Kosten für die Spitzenlastabgabe senken, welche bekanntlich einen sehr hohen Anteil an die Gesamtkosten beitragen. Schlussendlich müssen jedoch der Aufwand und vor allem die Kosten begründet sein, was in einer abschliessenden Wirtschaftlichkeitsrechnung ersichtlich ist, welche die finanziellen Anreize und Problematik aufzeigt.

Wirtschaftlichkeit

Für die mit einem Auswahlverfahren evaluierte Speichertechnologie wurden mit Hilfe einer Lastflusssimulation und einer statischen Wirtschaftlichkeitsrechnung nach der Amortisationsmethode der Speicher auf 250 kWh dimensioniert. Dabei wurde jedoch der Wert des Geldes, sowie jegliche Tarifänderungen und Steuerabzüge vernachlässigt. Einerseits konnten durch den Einsatz des Speichers die Lastspitzen und somit auch die Kosten minimiert, andererseits aber auch der Eigenverbrauchsanteil erhöht werden. Es hat sich jedoch gezeigt, dass die Integration eines Speichers durch die extrem hohen Investitionskosten und des relativ geringen Nutzens aufgrund der tiefen Energiekosten und der sinnvollen Grösse des Speichers nicht rentabel ist und daher nicht empfohlen wird.

Fazit

Die Analyse hat gezeigt, dass der ganze Flugplatz bereits heute einen grossen Anteil der benötigten Energie selber produziert (PV, BHKW). Mit einer präzisen Auswertung und einem Monitoring der erfassten Daten könnten mit verhältnismässig kleinem Aufwand betriebliche Optimierungspunkte eruiert werden. Der Einsatz eines Speichers könnte sich in Zukunft als eine attraktive Ergänzung zu den bestehenden Produktionsanlagen herausstellen. Daher sollte die Preisentwicklung in diesem Bereich nach wie vor im Auge behalten und bei gegebener Situation die Wirtschaftlichkeit eines Speichers erneut geprüft werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_05
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Wirtschaftliche und hydraulische Optimierung des Wärme- und Kältemanagements am Universitätsspital Zürich

Studierende	Christian Roth David Riederer
Dozierende	Matthias Balmer Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte/-in	Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Universitätsspital Zürich, Technischer Dienst, 8091 Zürich Herr Sven Geissler
Abgabedatum	09 Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Wirtschaftliche und hydraulische Optimierung des Wärme- und Kältemanagements am Universitätsspital Zürich

Der nachfolgende Fachartikel beinhaltet die wirtschaftliche und hydraulische Optimierung des Unispitals Zürich (USZ). Dabei ist der Schwerpunkt auf die Wärme- und Kälteenergieerzeugung und dessen Verteilung gelegt. Auf dem Areal des Unispitals Zürich sind drei unterschiedliche Energieverteilnetze vorhanden. Nach der Sanierung der Kältezentralen und diversen Erweiterungen am Wärme-, Energierückgewinnungs- und Kältenetz, ist der Betreiber auf der Suche nach einem optimierten Betrieb der Anlagen. Eine Optimierung soll die Energiekosten senken und die Hydraulik der einzelnen Netze so verbessern, dass es möglich wird, einen grossen Teil der Abwärme der Kältemaschinen zu nutzen.

Die Kälteenergie wird in den drei Kältezentralen (Nord1, KUE, ENGZ) erzeugt, dies erfolgt durch Turboverdichter-, Schraubenverdichter- und zweistufige Absorptionskältemaschinen. Die Abwärme der Kältemaschinen wird über zwei Rückkühlanlagen an die Umwelt abgegeben. Eine Turboverdichter- und die Schraubenverdichterkältemaschine sind speziell für die Einbringung deren Abwärme in das Energierückgewinnungsnetz (ERG) konzipiert. Meldet das ERG-Netz Wärmebedarf an, können diese zwei Maschinen vom Rückkühlbetrieb auf den ERG-Betrieb schalten und erzeugen Abwärme mit einem Temperaturniveau von 52°C.

In der Abbildung 1 ist die Entwicklung der Jahreskälteenergieproduktion mit den Antriebsenergien vom Jahr 1994 bis 2016 ersichtlich.

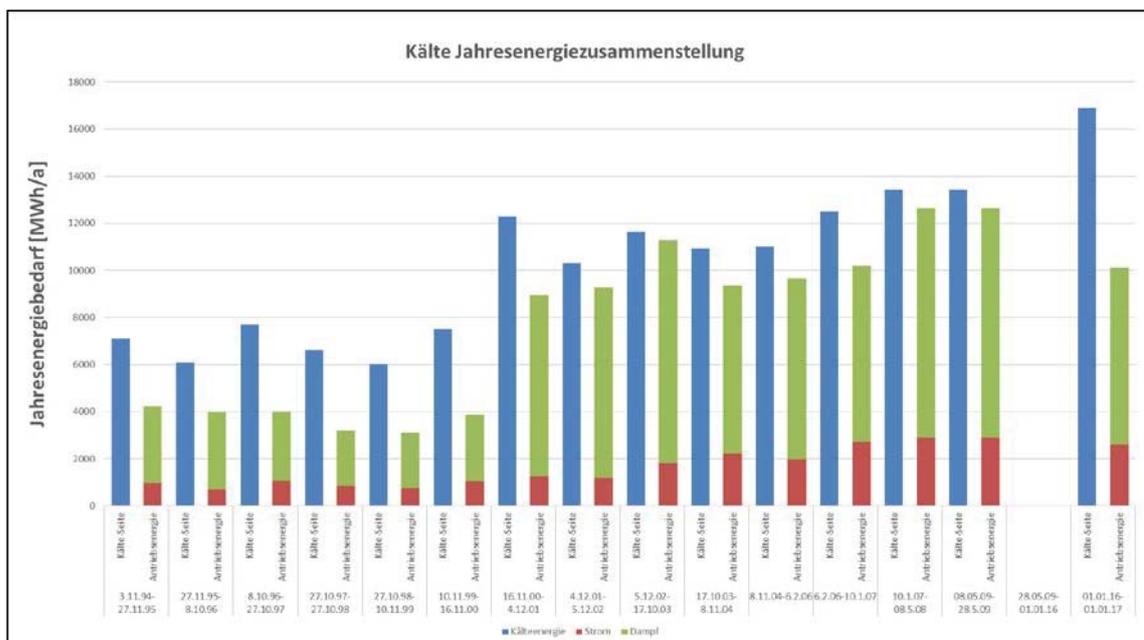


Abbildung 1: Kälte Jahresenergieproduktion mit Antriebsenergien (1994-2016)

Aufgrund der tieferen Dampfpreise im Sommer werden die Absorptionskältemaschinen (AKM) im März dazu geschaltet. Die Verdichterkältemaschinen (EKM) dienen im Sommer-Betrieb nur für die Spitzenabdeckung. Die AKM werden bis im September betrieben. Ab diesem Monat übernehmen

Optimierung des Wärme- und Kältemanagements am Universitätsspital Zürich

EKM die Abdeckung wieder zu 100%. Die Einspeisung in das ERG-Netz im Sommer-Betrieb ist nur minim oder gar nicht vorhanden, weil die AKM die Abwärme nicht in das ERG Netz einspeist. Das bedeutet, dass die Abwärme im Sommerbetrieb wird über die Rückkühler der Kältemaschinen vernichtet.

Hydraulische Optimierung

Der Energiespeicher im ERG-Netz lässt keine optimale Folgeschaltung der Kältemaschinen mit ERG-Funktion zu. Ein Lösungsansatz wäre ein zusätzlicher ERG-Speicher, der direkt von der ERG-Kältemaschine ENGZ mit Abwärme geladen werden kann und der heutige ERG-Speicher neu bei der ERG-Kältemaschine KUE einzubinden. Mit diesen hydraulischen Massnahmen kann die Priorität der beiden Maschinen frei gewählt werden und folglich die Betriebsstunden der Folgemaschine bei beiden Folgeschaltungen optimiert werden. Eine Alternative ist, bei Erreichen der Vollast der heute fixen Führungskältemaschine KUE, über das GLS die Priorität zu wechseln und somit die Kältemaschine ENGZ als Führungsmaschine zu betreiben. Die KM KUE würde als Folgemaschine dazu geschaltet werden und der ERG-Speicher in diesem Fall nur von der Kältemaschine KUE geladen. Für diese Alternative müsste der bestehende Speicher neu bei der Kältemaschine KUE eingebunden werden.

ERG-Nutzung

Die ERG-Nutzung dient der Optimierung des Energiebedarfs auf dem Areal des USZ. Um die Energie nutzen zu können, muss die Kondensationstemperatur der Kältemaschinen erhöht werden. Dies hat zur Folge, dass die elektrische Leistung erhöht werden muss. Dabei stellt sich die Frage, in welchen Leistungsbereichen eine solche Erhöhung sinnvoll ist. Um eine Lösung für dieses Problem zu erarbeiten, wurden die Kosten der Kälte- und Wärmeproduktion miteinander verglichen.

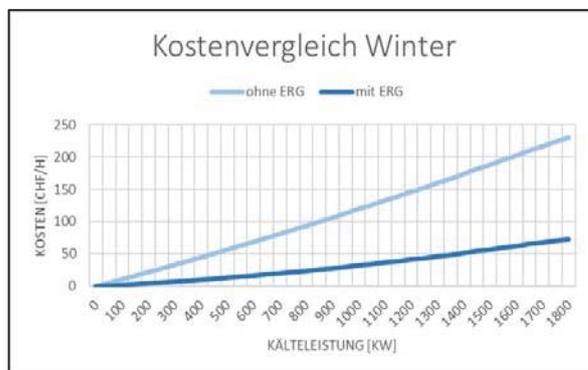


Abbildung 2: Kostenvergleich ERG-Nutzung Winter

Aus der Abbildung ist ersichtlich, dass die Kosten mit ERG-Betrieb tiefer sind als ohne ERG-Betrieb. Da die Kosten bei jeder Leistungsstufe tiefer sind, ist es sinnvoll die ERG-Kältemaschinen, wenn immer möglich, auf der höheren Kondensationstemperatur zu betreiben. Die Einsparungen im Sommer sind aufgrund der tieferen Dampfkosten tiefer. Auch im Sommer ist es sinnvoll, die Abwärme der Verdichterkältemaschinen in das ERG-Netz einzuspeisen. Damit das Optimum aus dem ERG-Betrieb herausgeholt werden kann, muss eine stetige Abnahme an Wärmeenergie vorhanden sein.

Variantenvergleich Ökonomische und Ökologische Bewertung

Um ein optimales Kälte- und Wärmemanagement erstellen zu können, müssen unterschiedliche Betriebsvarianten definiert und analysiert werden. Die Variante IST dient als Referenz-Varianten für die Vergleiche. Bei den ökonomischen Bewertungen werden nur die Energiekosten berücksichtigt. Umwelteinflüsse wie Treibhausgase oder die Primärenergien werden bei der ökologischen Bewertung abgehandelt. Total wurden neun unterschiedliche Varianten gerechnet und aus ökonomischer und ökologischer Sicht bewertet.

Optimierung des Wärme- und Kältemanagements am Universitätsspital Zürich

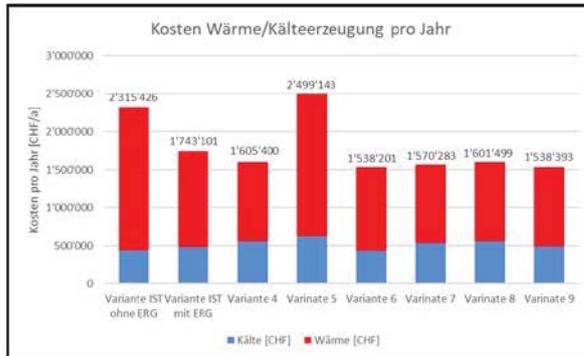


Abbildung 3: Ökonomische Bewertung

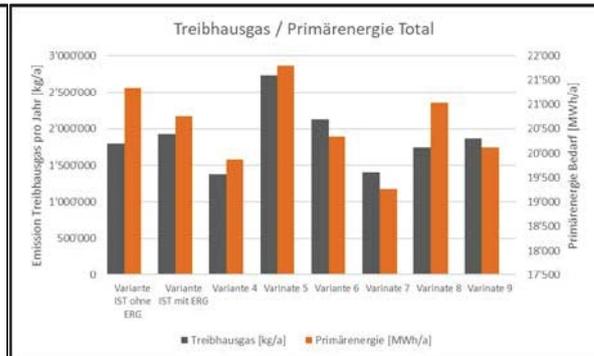


Abbildung 4: Ökologische Bewertung

Werden die zwei Diagramme kombiniert betrachtet, stellt sich heraus, dass mit der Variante 7 das Optimum erreicht werden kann. Bei dieser Variante wird die Kälte im Winterhalbjahr zu 100% mit der Verdichterkältemaschine abgedeckt. Im Sommer wird die Verdichterkältemaschine zu 10% als Spitzendeckung und die Absorptionskältemaschine zu 90% eingesetzt.

Empfehlung Bauherrschaft

Wir empfehlen der Bauherrschaft aus heutiger Sicht einen zusätzlichen Speicher in das ERG-Netz einzubinden. Dies müsste bei der ERG-Kältemaschine in der Zentrale ENGZ erfolgen. Es empfiehlt sich diese Erweiterung mit der Sanierung der Schraubenverdichterkältemaschine zu kombinieren. Weiter empfehlen wir die künftigen Neubauten und Sanierungen mit einem separaten Verteiler für Niedertemperaturverbraucher auszurüsten. Dadurch entsteht die Möglichkeit dieses Gebäude direkt mit Energie aus dem ERG-Netz zu versorgen und die Effizienz des ERG-Systems zu erhöhen. Um das ERG-Netz mit einer möglichst hohen Effizienz zu betreiben, ist es notwendig die ERG-Kältemaschinen, wenn Wärmebezüger vorhanden sind, immer auf der höheren Kondensationstemperatur laufen zu lassen.

Der Variantenvergleich zeigte uns auf, dass der momentane Betrieb optimiert werden kann. Hierzu müsste der Kältebedarf im Winterhalbjahr mit den Verdichterkältemaschinen und im Sommerhalbjahr zum grössten Teil mit den Absorptionskältemaschinen erfolgen. Nur die Spitzenlast im Sommerbetrieb soll durch die Verdichterkältemaschinen übernommen werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_06
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Umbau zu einem Nullenergiehaus

Studierende	Moritz Ruckstuhl
Dozierende	Matthias Balmer Prof. Urs-Peter Menti
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Umbau zu einem Plusenergiehaus

Plusenergiegebäude werden heute schon oft gebaut. Bei den Projekten handelt es sich jeweils um Neubauten, doch ist es auch möglich, diesen Standard durch einen Umbau an einem bestehenden Gebäude zu erreichen?

Bei dem Versuchsobjekt handelt es sich um ein Wohnhaus, Baujahr 1964, welches in einer Bergregion steht. Es soll über alle Gebäudetechnikbereiche untersucht werden, welche Einspar- bzw. Ertragspotenziale vorhanden sind und dazu eine Konzeptstudie erstellt werden. Es soll sowohl die thermische, wie auch die elektrische Energie berücksichtigt werden. Auch die Wirtschaftlichkeit der Investitionen soll beachtet werden. Das Ziel ist es, mit tragbarem Investitionsaufwand, ein autarkes Energiesystem zu erreichen.

Speziell am Versuchsobjekt sind die Nutzungszeiten und die Lage. Es handelt sich um ein Ferienhaus, welches vorwiegend im Winterhalbjahr über die Wochenenden und in den Ferienzeiten belegt ist. Durch die Lage in der Bergregion kann ausserdem von erhöhten Solarerträgen ausgegangen werden, welche über die Abwesenheitszeiten gespeichert werden sollen.



Abb. 1: Ferienhaus Waldrain Flumserberg, Ansicht

Das Objekt wurde anhand eines Simulationsprogramms als Simulationsmodell gemäss dem realen Gebäude aufgebaut. Anhand der Simulationsergebnissen konnten anschliessend Aussagen über die Effizienz der Optimierungsmassnahmen und der Wärmeerzeugervarianten gemacht werden.

Energiebedarfsoptimierung

Als erstes wurden verschiedene Massnahmen zur Reduktion des Energiebedarfs geprüft. Die Massnahmen wurden additiv angewendet, das heisst die Einsparungen summieren sich mit den Massnahmen.

Die erste Massnahme betrifft die Gebäudehülle. Durch die Anbringung einer 20cm dicken Aussendämmung an den geeigneten Aussenwänden und einem Austausch der Fenster kann der Energiebedarf für die Raumheizung von 37'000 kWh pro Jahr auf rund 30'000 kWh pro Jahr, bzw. um 19% gesenkt werden.

Die zweite Optimierungsmassnahme betrifft die Gebäudeautomation. Im Bestand wird das Gebäude im Winter bei Nichtbelegung manuell auf eine Temperatur von 14°C abgesenkt. Tiefere Temperaturen sind nicht möglich, da sich sonst Komforteinbussen zu Beginn einer Belegungszeit ergeben würden aufgrund der tiefen Raumtemperaturen. Deshalb soll eine Steuerung vorgesehen werden, welche einen Fernzugriff auf die Wärmeerzeugung und die Heizkörperthermostate in den Räumen ermöglicht. Auf diese Weise kann das gesamte Heizsystem heruntergefahren werden. Vor einer Belegungszeit kann der Wärmeerzeuger über den Fernzugriff auf die gewünschte Temperatur gebracht werden. Ausserdem soll über elektronisch vernetzte Heizkörperthermostate die Temperaturen in den einzelnen Räumen ebenfalls über Fernzugriff reguliert werden können. Dies hat den Vorteil, dass je nach Bedarf nicht alle Räume aufgeheizt werden müssen. Gemäss einer Studie (Departement für Umweltwissenschaften der Eidgenössischen Technischen Hochschule Zürich, 2016) kann ein Gebäude ausserdem auf bis zu 6°C auskühlen, ohne bauphysikalischen Schaden zu nehmen. Damit kann bereits ab einer Abwesenheit von 5 Tagen zwischen zwei Wochenenden Energie gespart werden. Diese Massnahme führte zu einer Einsparung der Energie für die Raumheizung von 30'000 kWh pro Jahr auf rund 22'500 kWh pro Jahr, bzw. um weitere 25%.

Die dritte Massnahme beschäftigt sich mit der Lüftung. Es ergibt sich ein jährlicher Energieverlust durch Infiltration und die manuelle Fensterlüftung von rund 1900 kWh. Für die Simulation wurde mit einer Fensterlüftung ausgewählter Fenster von 15 Minuten um 18:00 Uhr pro Tag bei Anwesenheit gerechnet. Mit dieser manuellen Fensterlüftung kann eine ausreichende Raumluftqualität erreicht werden. Nun soll abgeschätzt werden, wie diese Energie eingespart werden kann. Die Raumluftqualität nimmt entsprechend stark ab, wenn auf eine Fensterlüftung verzichtet wird. Ausserdem nimmt durch die Optimierung der Gebäudehülle die Luftdichtigkeit des Gebäudes zu, was wiederum zu weniger Infiltration führt. Es soll demnach eine mechanische Lüftungsanlage eingebaut werden. Da es sich um ein bestehendes Objekt handelt, soll eine Lösung mit dezentralen Lüftungsgeräten mit Wärmeakkumulator-Prinzip angestrebt werden. Nach den Simulationsergebnissen ergibt sich wiederum eine Einsparung von rund 800 kWh.

Somit beläuft sich die spezifische thermische Energie für Heizung, Lüftung und Sanitär bei einer Energiebezugsfläche von 374m² auf 57.4 kWh/(m²a). Auf diesen Grundlagen sollen nun verschiedene Wärmeerzeugervarianten geprüft werden.

Wärmeerzeuger - Variantenvergleich

In einem zweiten Schritt wurden verschiedene Varianten für die Wärmeerzeugung erarbeitet. Für jedes Konzept soll mit einer thermischen Solaranlage und einer Photovoltaikanlage Energie erzeugt werden.

Ein Konzept funktioniert mit einem grossen Energiespeicher zur saisonalen Speicherung von Solarenergie. Die Anlage beruht auf dem Prinzip einer Eisspeicheranlage. Im Gegensatz zu einem Eisspeicher soll der Speicher jedoch auf einem höheren Temperaturniveau betrieben werden. Der Speicher soll als Energiequelle für eine Niedrighub-Wärmepumpe dienen, welche zwei Bereitschaftsspeicher für die Raumheizung und das Warmwasser bewirtschaftet. Mit dem Energiespeicher kann einen Teil der im Sommer gespeicherten Wärme saisonal gespeichert und im Winter genutzt werden. Für ein autarkes System resultiert ein Energiespeicher von 6m Höhe und

6m Durchmesser. Dieser Platz steht im untersuchten Objekt nicht zur Verfügung, womit diese Variante nicht realisierbar ist.

Ein zweites Konzept prüft eine Speicherung von Solarenergie im Erdreich mittels Erdsonden. Bei dieser Simulation resultiert ein Restbedarf von rund 3'000 kWh elektrischer Energie. Wodurch die angestrebte Autarkie nicht erreicht wird.

Schliesslich wurde noch eine dritte Variante untersucht, bei welcher ein Holzheizkessel realisiert werden soll. Die Anlage hält wiederum die definierten Systemgrenzen nicht ein durch die Zufuhr der Holpellets. Auch der elektrische Energiebedarf kann nicht ganz Abgedeckt werden.

Wirtschaftlichkeit

Um die Wirtschaftlichkeit der Varianten zu vergleichen wurde die Annuitätsmethode angewendet. Annuität ist eine, über die Nutzungsdauer einer Anlage jährlich gleichbleibende Zahlung, die Rückzahlung und Verzinsung einer Investition berücksichtigt. Für die Preise der installierten Anlagenteile wurden Herstellerunterlagen verwendet oder Abschätzungen vorgenommen. Bereits berücksichtigt wurden ausserdem die Förderbeiträge für energetische Sanierungsmassnahmen des Kantons St. Gallen. Die drei simulierten Varianten wurden zusätzlich mit einer Minimalvariante verglichen, welche darauf basiert, nur den Ölheizkessel und den Wassererwärmer zu ersetzen, ohne den Einbau von Solarkollektoren und den Optimierungsmassnahmen. Für die Gebäudetechnischen Anlagenteile wurde eine Nutzungsdauer von 25 Jahren angenommen, mit Ausnahme der Erdsondenbohrungen, für welche eine Nutzungsdauer von 50 Jahren angenommen wurde. Der Betrachtungszeitraum wurde demnach auf 25 Jahre festgelegt. Es wurde ausserdem ein Kalkulationszinssatz von 2.5 % festgelegt.

Aus den Berechnungen ist ersichtlich, dass über den Betrachtungszeitraum die Variante mit dem Holzheizkessel am günstigsten abschneidet. Dies kann auf die geringeren Investitionskosten gegenüber den anderen Varianten und die geringeren Energiekosten gegenüber dem Ölheizkessel zurückgeführt werden. Je länger der Betrachtungszeitraum gewählt wird, desto schlechter schneidet die Minimalvariante mit dem Ölheizkessel ab aufgrund der Energiekosten.

Fazit

Wenn man die Simulationsergebnisse, die Wirtschaftlichkeitsberechnung und die CO₂ Emissionen betrachtet, ergibt sich der Holzheizkessel als die optimale Lösung. Dabei werden die anfangs beschriebenen Systemgrenzen, über welche keine Energie zugeführt werden soll, nicht eingehalten. Man erreicht demnach kein autarkes, jedoch nichtsdestotrotz ein umweltfreundliches und nachhaltiges System.

Zum Schluss wurde das Potential für den Gebäudepark Schweiz abgeschätzt, welcher rund 420'000 erfasste Zweitwohnungen zählt. Es resultiert ein erhebliches Potential bei der Optimierung der Gebäudeautomation bzw. der Steuerung über Fernzugriff, da diese Massnahme mit geringem Aufwand und grossen Einsparungen verbunden ist.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_08
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Entlastung der Betriebskosten der Rollmaterial Instandhaltung durch Nutzung von Photovoltaik

Studierende	Pascal Küttel Kevin Zäch
Dozierende	Roger Buser Robert Bayard
Experte	Matthias Tuchschnid
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Gerhard Züger, Zentralbahn AG, Stansstad)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Entlastung der Betriebskosten der Rollmaterial Instandhaltung durch Nutzung von Photovoltaik

Mit der Befürwortung der Energiestrategie 2050 setzt die Schweiz auf die verstärkte Nutzung von erneuerbaren Energiequellen. Die Energiegewinnung mittels Photovoltaik (PV) wird wirtschaftlich und ökologisch immer interessanter. Mit dem Bau einer Photovoltaikanlage will die Zentralbahn wirtschaftlich und energiepolitisch einen Schritt vorwärtskommen. Die Betriebskosten der Rollmaterial Instandhaltung der Zentralbahn sind durch Nutzung von Photovoltaik zu entlasten. Im Rahmen der Bachelor-Thesis der Hochschule Luzern gilt es zu prüfen, welche Dachflächen sich für die Energiegewinnung mittels Photovoltaik am besten eignen und wie sich die Verbraucherseite optimal einbeziehen lässt.

Die Attraktivität von Photovoltaikanlagen steigt durch deren stetig sinkenden Gestehungskosten und der tendenziellen Erhöhung der Energiepreise. Die Produktion von Solarstrom ist jedoch stark von Witterung und Tageszeit abhängig. Ein Lastmanagement ist unabdingbar um die Produktion und den Verbrauch aufeinander abzustimmen. Stromspeicher stellen eine geeignete Lösung dar um die Flexibilität zu erhöhen. In Zeiten mit hoher Einstrahlung nehmen die Speicher den Strom auf und in Schlechtwetterphasen speisen sie diesen ins Stromnetz oder der Betreiber verbraucht ihn selber um den Eigenverbrauchsanteil zu erhöhen.

Analyse Ist-Zustand

Die Zentralbahn verfügt in Meiringen und Stansstad über Werkstätten für die Instandhaltung ihres Rollmaterials. Der Energieverbrauch der beiden Standorte wird anhand von Lastprofilen näher betrachtet. Hierbei ist der Bedarf an elektrischer Energie stark von den auszuführenden Arbeiten abhängig. Die Grundlast besteht hauptsächlich aus dem Energieverbrauch der Beleuchtung. Die grössten Lastspitzen treten an beiden Standorten vormittags auf. In den Sommermonaten ist der Energieverbrauch im Vergleich zu den Wintermonaten, wie das untenstehende Tageslastprofil zeigt, deutlich geringer. Dies lässt sich auf die elektrischen Heizgebläse, die Kaltluftschleier und die erhöhte Nutzung der Beleuchtung zurückführen. Die Untersuchungen von unterschiedlichen erneuerbaren Energiegewinnungssystemen führen zum Schluss, dass sich die Energiegewinnung mittels Photovoltaik für die Standorte der Zentralbahn bestmöglich eignet.

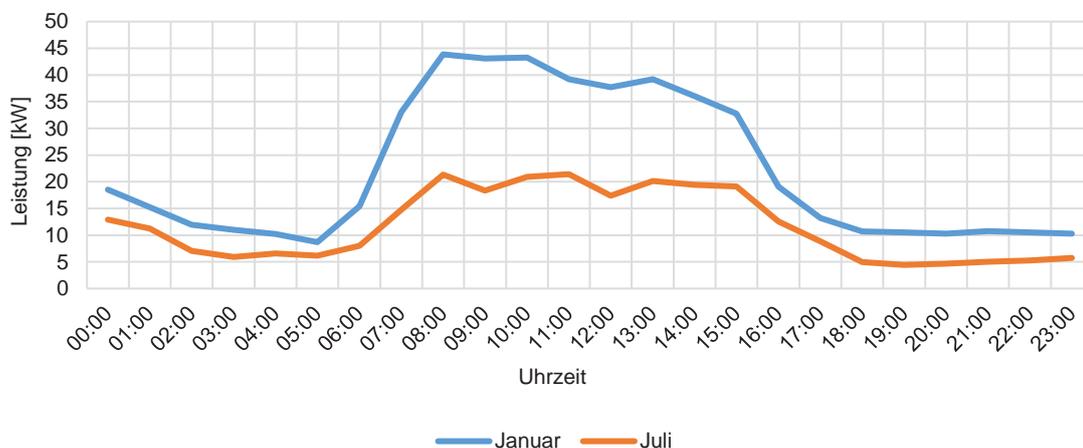


Abb. 1: Vergleich Tageslastprofil eines Winter- und Sommertages am Standort Stansstad

Analyse Photovoltaik und Stromspeicher

Die Photovoltaik wurde hinsichtlich der Themengebiete PV-Module, Wechselrichter, Installationssysteme und Fördergelder vertieft untersucht. Es empfiehlt sich polykristalline PV-Module einzusetzen, da sie mit ihrem Preis-Leistungs-Verhältnis und einer hohen Lebensdauer von über 30 Jahren überzeugen. Eine Evaluation der marktführenden Wechselrichtersysteme führt zum Schluss, dass sich Zentralwechselrichter ohne Transformatoren für die Standorte optimal eignen. Die Stärken der Zentralwechselrichter liegen im Bereich der ökonomischen Aspekte und der Lebensdauer. Bezüglich der Fördergelder empfiehlt sich die Wahl für die Einmalvergütung. Mit der Annahme des ersten Massnahmenpakets der Energiestrategie 2050, können neu auch Betreiber mit einer Anlage bis 50 MW eine Einmalvergütung beantragen. Mit der Analyse der Stromspeichertechnologien gilt es die bestmögliche Technologie für die Standorte zu evaluieren. Untenstehendes Diagramm zeigt den Vergleich der Stromgestehungskosten für die potentiellen elektrochemischen Stromspeicher der Zentralbahn. Der Vergleich erfolgt über eine Betrachtungsdauer von 25 Jahren und mit einer Annahme von 400 Ladezyklen jährlich. Als bestmöglicher Stromspeicher hat sich der Lithium-Ionen-Akkumulator herauskristallisiert. Dabei kostet ein Strombezug aus dem Lithium-Ionen-Akkumulator 24 Rp/kWh.

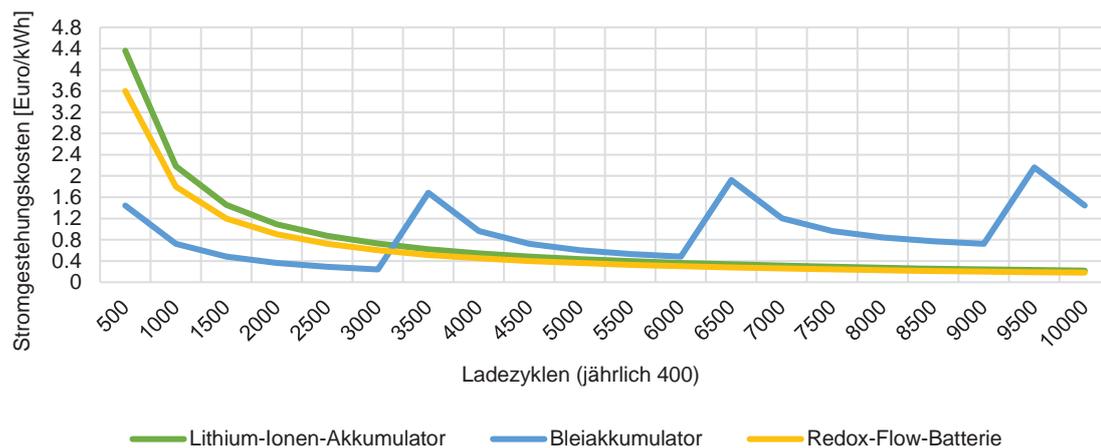


Abb. 2: Vergleich Stromgestehungskosten von Stromspeichern bei einer Betrachtungsdauer von 25 Jahren

Lastmanagement

Um eine optimale Nutzung der produzierten Energie der PV-Anlage zu erreichen, ist ein Lastmanagement notwendig. Im Vordergrund des Lastmanagements stehen die wirtschaftlichen Aspekte. Dabei werden folgende drei Varianten betrachtet: Netzeinspeisung mit vollständigem Verkauf, Ertrag der PV-Anlage für den Eigenverbrauch und Ertrag der PV-Anlage mit Stromspeicherung für den Eigenbedarf. Die Auswertung der Lastmanagementvarianten zeigt, dass sowohl eine Netzeinspeisung mit vollständigem Verkauf als auch eine Nutzung des Ertrags der PV-Anlage mit Stromspeicherung für den Eigenbedarf aus ökonomischer Sicht nicht sinnvoll ist. Die Untersuchung der Stromspeicher führt zur Erkenntnis, dass die Stromgestehungskosten der Stromspeicher derzeit nicht mit den Strombezugskosten von den Verteilnetzbetreibern an den Standorten mithalten können. Aus diesem Grund ist der Einsatz von Stromspeichern an den Standorten der Zentralbahn momentan nicht wirtschaftlich. Daher empfiehlt sich die Variante den Ertrag der PV-Anlage für den Eigenverbrauch zu nutzen. Die überschüssige Energie der PV-Anlage nehmen die Verteilnetzbetreiber zu einem tiefen Rücklieferatarif ab. Deshalb ist ein Produktionsüberschuss, mit einer optimal auf den Eigenverbrauch dimensionierten PV-Anlage, gering zu halten. Weiter lässt sich die Effizienz des Lastmanagements durch den optimalen Einbezug der Verbraucherseite steigern. Dabei ist die intelligente Vernetzung von Verbraucher und Produzent notwendig.

Dimensionierung Photovoltaikanlage

Aufgrund der Analyse des Lastmanagements ist die PV-Anlage nur so gross wie nötig zu dimensionieren. Ziel ist es, den Eigenverbrauchsanteil so hoch wie möglich anzusetzen, so hält sich der einzuspeisende Überschuss in Grenzen. Die Produktion der PV-Anlage und der Verbrauch der Standorte sind optimal aufeinander abzustimmen. Die Dimensionierung erfolgt ausgehend von den Lastprofilen der Zentralbahn. Nebst dem Verbrauch sind die monatlichen solaren Einstrahlungswerte zu berücksichtigen. Die monatliche Einstrahlung erreicht ihren Höhepunkt im Monat Juli. Dieser Monat ist massgebend für die Auslegung, da die PV-Anlage die höchste Produktion aufweist. Für die Ausrichtung und Neigung der PV-Module sind die standortspezifischen Gegebenheiten der Dachflächen zu beachten. Anschliessend ist die Produktionszeit der PV-Anlagen mit den Tageslastprofilen der Standorte in Korrelation zu bringen. Anhand der Tageslastprofile erfolgt die Berechnung der notwendigen PV-Anlagenleistungen in Kilowattpeak (kWp). Für den Standort Meiringen empfiehlt sich eine Anlagenleistung von 148 kWp und für den Standort Stansstad eine Anlagenleistung von 102 kWp. Mithilfe des Simulationsprogramm PVSol, ausgehend von den berechneten Anlagenleistungen der beiden Standorte, erfolgt die Ermittlung der stündlichen Erträge der PV-Anlage. Nachstehendes Diagramm zeigt die Korrelation zwischen dem Tageslastprofil und der mit PVSol ermittelten Tagesproduktion der PV-Anlage in Stansstad. Die Korrelation von Produktion und Verbrauch steigert sich je höher der Energieverbrauch und je geringer die Produktion der PV-Anlage ist. Zutreffend ist dies besonders auf die Wintermonate. Dadurch kommt es zur Erhöhung des Eigenverbrauchs und zur Senkung des ins Stromnetz eingespeisten Überschusses.

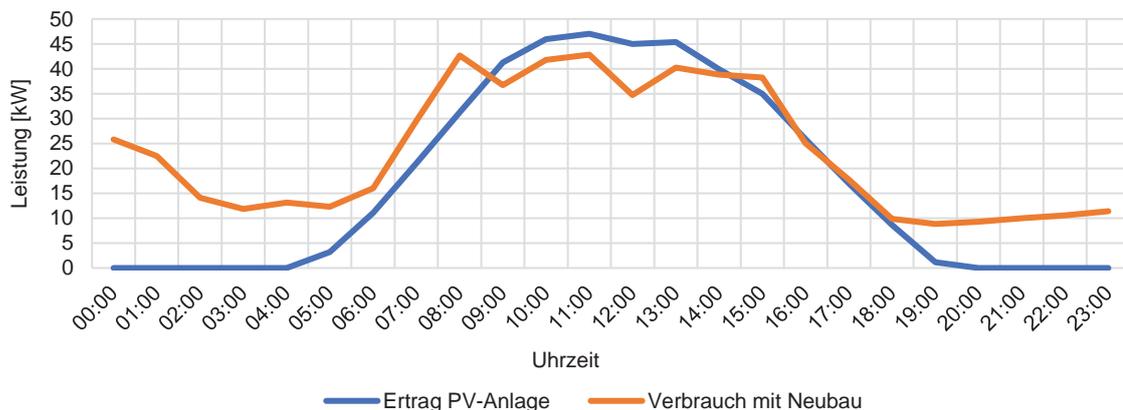


Abb. 3: Vergleich Tageslastprofil und ermittelte Tagesproduktion im Monat Juli am Standort Stansstad

Fazit

Da die Vergütung für die Rücklieferung der produzierten Energie der PV-Anlagen tiefer sind als die Kosten für den Strombezug von den Verteilnetzbetreibern, ist die produzierte Energie für den Eigenverbrauch zu nutzen. Damit möglichst wenig der produzierten Energie ins Stromnetz zurück geliefert wird, ist eine hohe Korrelation zwischen den Lastprofilen und dem Ertrag der PV-Anlagen anzustreben. Die Effizienz des Lastmanagements lässt sich durch den optimalen Einbezug der Verbraucherseite steigern.

Die PV-Anlagen amortisieren sich am Standort Meiringen nach 11 Jahren und in Stansstad nach 15 Jahren. Mit den PV-Anlagen lassen sich die Betriebskosten in Meiringen jährlich um 15 % und in Stansstad um 9 % senken. Die CO₂-Emissionen reduzieren sich für beide Standorte gemeinsam um 150 Tonnen jährlich. Aus ökonomischer und ökologischer Sicht empfiehlt sich die Installation der PV-Anlagen für die Standorte Meiringen und Stansstad der Zentralbahn.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_09
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Innenliegender Blendschutz – Aussagen zur Steigerung der Energieeffizienz und des Komforts

Studierender	Kevin Zenhäusern
Dozierende	Björn Schrader Gerhard Zweifel
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Création Baumann AG, Bern-Zürich-Strasse 23, 4901 Langenthal)
Abgabedatum	02. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Innenliegender Blendschutz – Aussagen zur Steigerung der Energieeffizienz und des Komforts

Mit der Annahme der Energiestrategie 2050 wird die Energieeffizienz von Gebäuden immer ein zentraleres Thema. Auch der Sonnenschutz spielt dabei eine wichtige Rolle, sollte aber bei modernen Bauten möglichst unsichtbar sein. Ein funktionales, innenliegendes System stellt hierfür eine gute Alternative zu bewährten Technologien dar.

Um eine möglichst energieeffiziente und komfortable Nutzung in einem Gebäude zu garantieren, fungiert der Sonnenschutz meist als Wärme-, Blend- und Sichtschutz zugleich. Ein aussenliegendes System, in Form eines Lamellenstores, deckt diese Funktionen umfänglich ab. Bei ästhetisch ansprechenden Fassaden oder bei Umbauten sind solche Systeme aber vielfach störend und sehr kostenintensiv. Der Einsatz eines innenliegenden Blendschutzes, welcher auch die Funktionen von Wärme- und Sichtschutz übernimmt, wäre hier durchaus sinnvoll.

Vorgehen

Mittels Messungen und Simulationen wurden verschiedene Systeme untersucht, verglichen und auf ihre Energie- und Komforteigenschaften hin bewertet. Als Referenzobjekt diente der Lichtmesscontainer der Hochschule Luzern – Technik und Architektur in Horw. Dabei wurden funktionale Sonnenschutztextilien, entwickelt und hergestellt von der Création Baumann AG, im Messraum zur Untersuchung installiert und in der Simulationssoftware implementiert. Die Stoffe zeichnen sich durch ihre metallisierten Oberflächen aus, welche die Reflexionswerte deutlich verbessert.

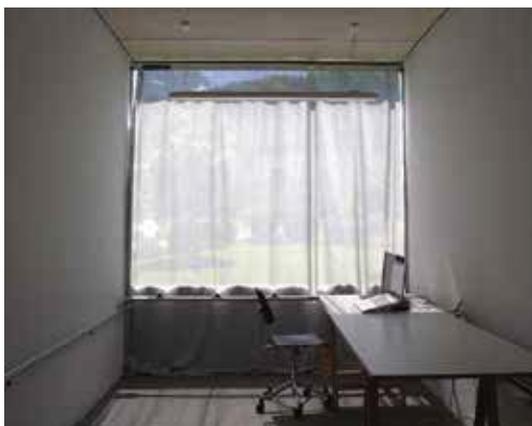


Abb. 1: Messraum mit innenliegendem Sonnenschutz

Untersucht wurden die Textilien als Einzelsysteme und in Kombination mit einem aussenliegenden Lamellenstores. Dabei wurden Betrachtungen auf den Gebieten Nutzerempfinden, Tageslichtnutzung, Blendbewertung und Energieeffizienz ausgeführt. Die erhaltenen Resultate wurden immer mit dem Lamellenstores als praxisnahes Vergleichsobjekt ausgewertet.

Betrachtung Einzelsysteme

Bei der subjektiven Betrachtung, welche während der Arbeiten im Lichtmesscontainer ausgeführt wurde, konnten Vor- und Nachteile von den verschiedenen innenliegenden Systemen eruiert werden. Mit der richtigen Produktwahl wird dem Nutzer im Raum der Blick nach aussen gewährt und ein genügender Blendschutz geboten. Zudem ermöglicht der Einsatz von hellen Textilien eine gute, zum Teil sogar durch die diffuse Abstrahlung gegenüber anderen Systemen verbesserte Tageslichtnutzung im Raum.

Die Wärmeeinstrahlung bei direkt einfallendem Sonnenlicht wurde durch die Stoffe fühlbar verringert, wobei jedoch die Raumtemperatur durch die Klimatisierung reguliert wurde. Durch eine Jahressimulation wurde ermittelt, dass mit einem innenliegenden Sonnenschutz der Gesamtenergieverbrauch um 52% gegenüber dem Verbrauch mit einem aussenliegenden Lamellensystem anstieg. Grund dafür ist die während der Sommermonate stark ansteigende Kühlenergie, die auf eine Erwärmung des Innenraumes zurückzuführen ist. Andererseits wirkt sich das innenliegende System in den Wintermonaten positiv auf die Heiz- und Beleuchtungsenergie aus, welche um 71% bzw. 19% zurückgingen.

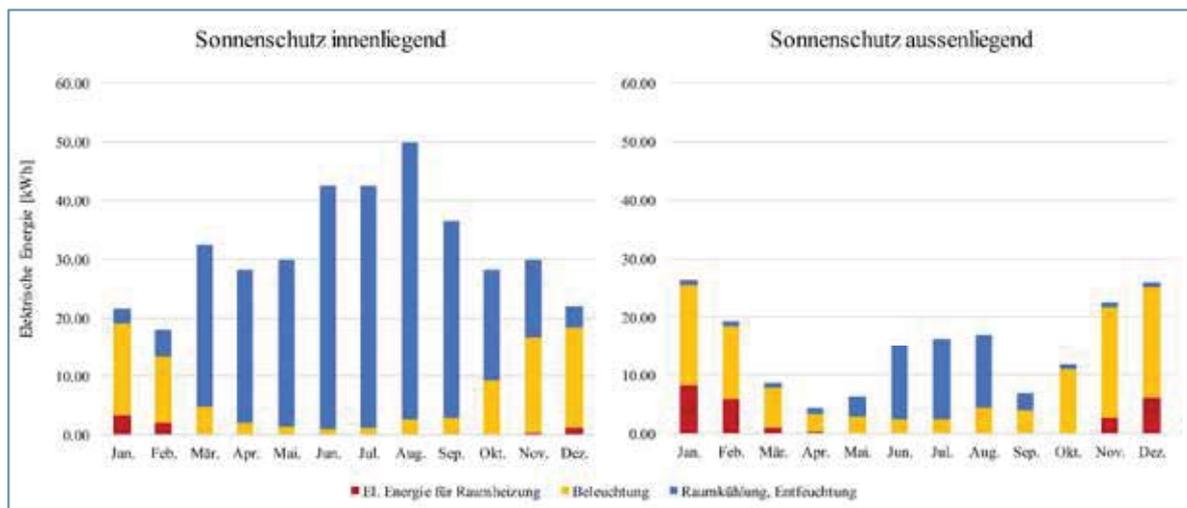


Abb. 2: Energieverbrauch Einzelsysteme im Jahresverlauf

Durch diese Betrachtungen erschliesst sich, dass eine ganzjährige Nutzung der Textilien als innenliegendes Einzelsystem energietechnisch nicht sinnvoll ist. Mithilfe von gebäudetechnischen Einrichtungen kann aber der Komfort im Sommer für die Raumnutzer aus thermischer Sicht gewährt werden. Somit können die besseren Tagelichtnutzungs- & Blendschutzeigenschaften der Textilien im Raum genutzt werden, die Investitions- & Unterhaltskosten sind geringer und die ästhetische Wirkung von Raum und Fassade kann individuell verbessert werden.

Betrachtung Systemkombinationen

Die innen- und aussenliegenden Einzelsysteme erbringen genau zur gegenteiligen Zeit ihre vorteilhaften Funktionen. Darum erschliesst sich eine Betrachtung von Systemkombinationen. Hierbei spielt die Fahrstrategie der beiden Systeme eine zentrale Rolle. Für die Betrachtung wurde eine sehr vereinfachte Variante gewählt, sodass während den Zeiten mit Kühlbedarf im Raum der aussenliegende und während Zeiten mit Wärmebedarf der innenliegende Schutz aktiviert wurde. Aussen kam wiederum ein Lamellenstoren und innen ein funktionaler Textilbehang zum Einsatz.

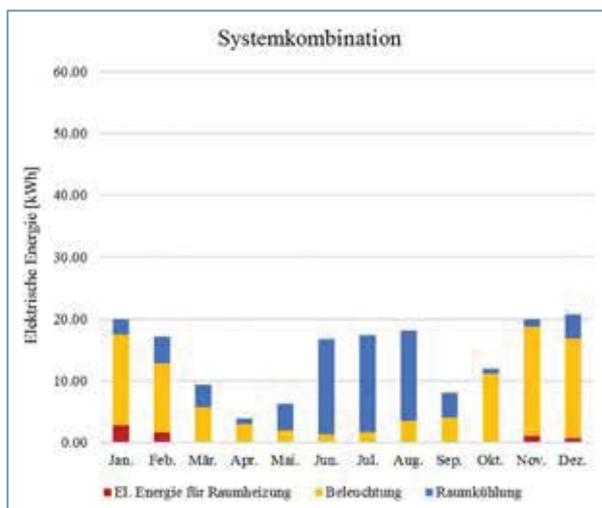


Abb. 3: Energieverbrauch Systemkombinationen im Jahresverlauf

Durch die Kombination können die Vorzüge der innenliegenden Systeme genutzt und die energetischen Nachteile im Sommer durch den aussenliegenden Wärmeschutz gemindert werden. Im Vergleich zum einzelnen Lamellensystem wurde eine Reduktion der Gesamtenergie von 6.4% verzeichnet. Die Heizenergie ging um 69% und die Beleuchtungsenergie um 9.8% zurück. Bei der Kühlung verzeichnete sich eine Zunahme von 23%, was aber mit einer optimierten Fahrstrategie noch deutlich verringert werden könnte.

Fazit

Der Einsatz von einem innenliegenden Sonnenschutz als Einzelsystem ist aus energietechnischer Sicht gesehen nicht sinnvoll, bringt jedoch sehr viele Vorteile bezüglich Komfort mit sich. Wird eine Systemkombination eingesetzt, können diese Vorteile genutzt und die Energieeffizienz verbessert werden, immer abhängig von höheren Investitions- & Unterhaltskosten und einer intelligenten Fahrstrategie. Schlussendlich muss von Fall zu Fall projekt- und bedürfnisorientiert die beste Variante ermittelt werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_10
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Wirtschaftliche Energiespeicher für die Stadt Luzern

Studierende	Thomas Ming Stefan Baumgartner
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte	Dr. Stephan Schnez
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Cyril Haab, ewl energie wasser luzern, Industriestrasse 6, 6002 Luzern)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Wirtschaftliche Energiespeicher für die Stadt Luzern

Mit dem Ausbau erneuerbarer Energien werden die Verteilnetze über den Tag betrachtet immer ungleichmässiger belastet. Die Produktion von erneuerbaren Energien wie Wind- und Sonnenenergie ist nicht planbar, da sie abhängig vom Wetter ist. Das Angebot für private Kleinspeicher-Batterieanlagen ist zunehmend. Solche Ausgleichssysteme ermöglichen es Haushalten, mit einer eigenen Photovoltaikanlage, die durch den Tag überschüssig produzierte Energie zu speichern und später für den Eigenverbrauch zu verwenden. Bewähren sich solche Heimspeicher oder sind Quartierspeicheranlagen wirtschaftlicher?

Mit der Annahme der Energiestrategie 2050 wurde der Grundstein für den weiteren Ausbau erneuerbarer Energien gelegt. Durch deren, jedoch nicht planbarer Energieproduktion, gewinnt die Regelbarkeit der Versorgungsnetze zunehmend an Bedeutung. Energiespeicher, als Netzpuffer in Knotenpunkten, werden in Zukunft unumgänglich. Autarkiegrade in Quartieren werden mit dem kontinuierlichen Ausbau von Photovoltaikanlagen und dem Einsatz von Energiespeicheranlagen gefördert.

Variantenstudie

Es gibt zahlreiche Möglichkeiten elektrische Energie zu speichern. Mit einer Variantenstudie wurden verschiedenste Energiespeicher nach unterschiedlichen Kriterien bewertet. Die Spitzenreiter, der am stärksten gewichteten Bewertungskriterien, sind Salzwasser- und Lithium-Ionen-Batterien. Die Salzwasserbatterie weist fast überall überdurchschnittliche Werte auf, da relativ einfache und ökonomische Speichermaterialien verbaut werden. Die Energiedichte liegt aber einiges unter derer eines Lithium-Ionen-Speichers. Dieser ist zusätzlich ein bewährtes Energiespeichersystem, welches in Sachen Regelleistungstauglichkeit einige Vorzüge hat. Die Anschaffungskosten sind jedoch hoch, können aber mit der hohen technischen und zyklischen Lebensdauer kompensiert werden. Auf Grund dieser Erkenntnisse wurden die verschiedenen Einsatzszenarien mit der Lithium-Ionen-Technologie untersucht.

Einsatzszenario Netzebene 5 - Mittelspannungsebene

Das Unterwerk Steghof neben dem Bahnhof Luzern, welches vom Industriepartner «ewl energie wasser luzern» betrieben wird, bildet im oberen Stockwerk einen Reserveplatz für eine später auszubauende 110 kV Schaltanlage. Der Raum ist zudem für einen Standort einer Batterie-speicheranlage bestens geeignet. Er befindet sich optimal, oberhalb einer Mittelspannungsschaltanlage, welche auf der Netzebene 5 betrieben wird. Ein Energiespeicher könnte direkt und an zentraler Stelle in das Netz geschaltet werden.

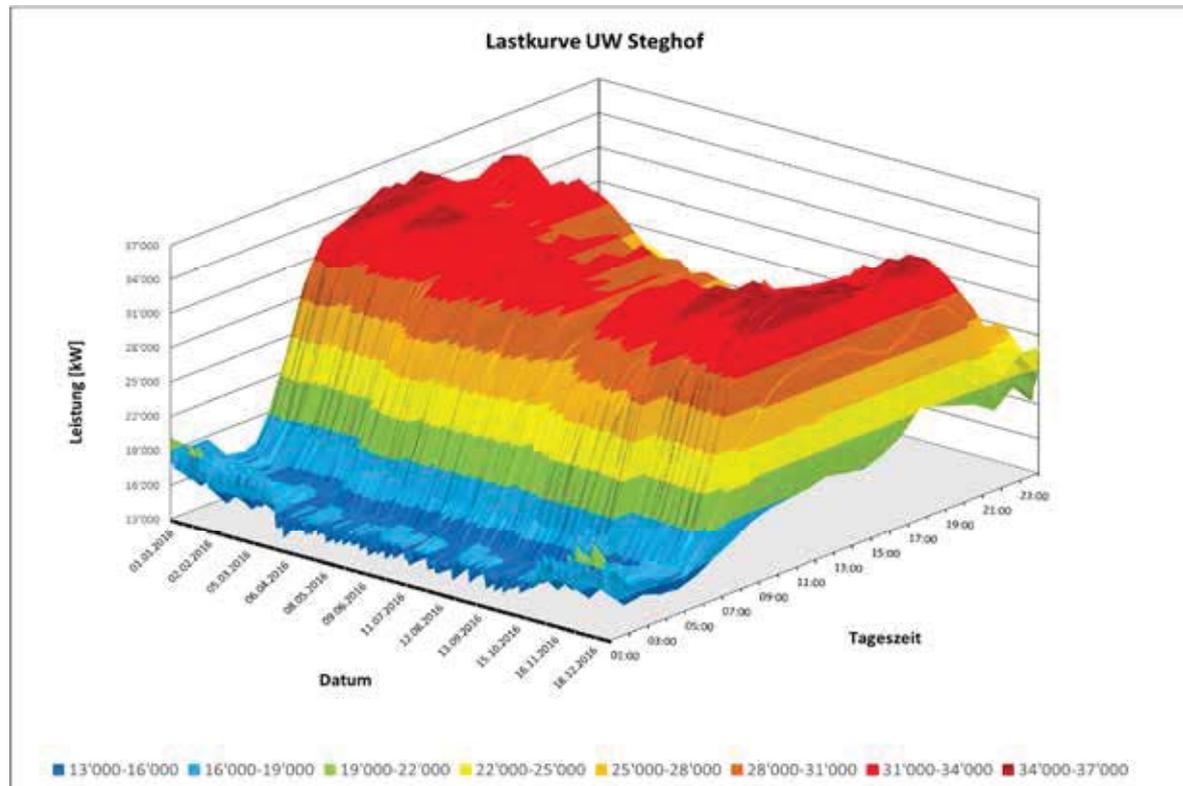


Abb. 1: Jahreslastkurve Unterwerk Steghof

Die stündlichen Lastwerte des Jahres 2016 sind in Abb. 1 visualisiert. Mit dem auf 5.3 kWh dimensionierten Lithium-Ionen-Speicher ist es möglich Lastspitzen ab 31'000 kW zu brechen. Die dazu benötigte Energie wird nachts im Niedertarif in den Speicher geladen und bei Anfallen einer Lastspitze am Tag, daraus bezogen.

Ebenfalls können mit einem solchen Speicher Systemdienstleistungen der swissgrid angeboten werden. Bei einem Zuschlag an einer Auktion kann Primär- und Sekundärregelleistung bereitgehalten werden, um die Netzstabilität der Regelzone Schweiz zu gewährleisten.

Einsatzszenario Netzebene 7 - Niederspannungsebene

In diesem Szenario wurden die Auswirkungen eines Photovoltaik-Vollausbaus und der wachsenden Elektromobilität für ein bestehendes Wohnquartier der Stadt Luzern untersucht. Berücksichtigt wurden alle potentiell tauglichen Hausdächer für eine Installation einer Photovoltaikanlage. Verschiedene Energie-Autarkiegrade während dem ganzen Jahr wurden berechnet. Eine mögliche Wochenlastkurve für die zukünftige Elektromobilität sowie die zusätzliche Energie der Photovoltaikanlagen, wurden realen Lastwerten der Transformatorenstation des Quartiers dazugerechnet.

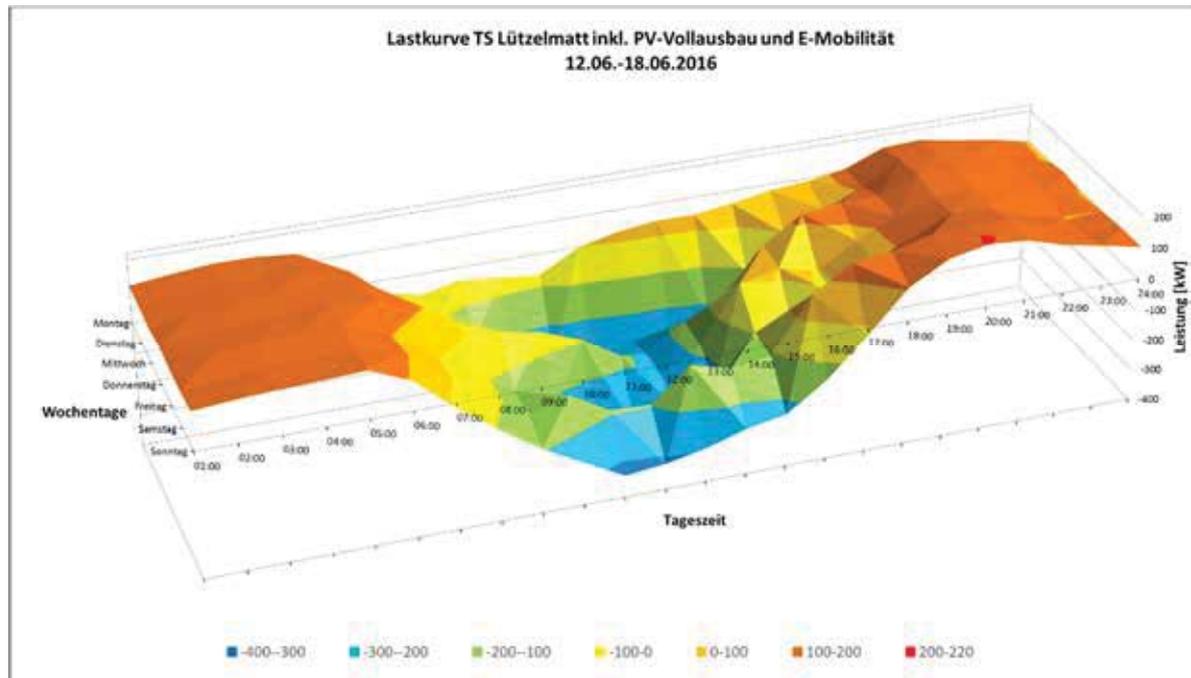


Abb. 2: Lastkurve Sommerwoche TS Lützelmatte inkl. PV-Vollausbau und E-Mobilität

Ein Lithium-Ionen-Speicher mit einem Energiespeichervermögen von 2.5 MWh ermöglicht im Sommer einen Quartiers-Energieautarkiegrad von rund 62 Prozent. Im Winter zeigt sich jedoch ein Autarkiegrad von nur zwei Prozent. Da der Speicher in dieser Jahreszeit nur sehr wenig beansprucht wird, ist es denkbar, als zusätzliche Einnahmequelle, Sekundärregelleistung anzubieten. Über das ganze Jahr gerechnet kann rund 35 Prozent der benötigten Energie vom Quartier selber produziert werden.

Wirtschaftlichkeit

Es zeigt sich, dass mit zunehmenden Vergütungen von Regelleistungen, Energiespeicher auf beiden untersuchten Netzebenen wirtschaftlich betrieben werden können. Ebenfalls stellt sich heraus, dass Kleinspeicheranlagen für Haushalte durch ihre kurze Lebensdauer, weder rentabel noch ökologisch sinnvoll sind.

Fazit

Anhand möglicher Szenarien konnte der Einfluss der wachsenden Elektromobilität und der Ausbau von Photovoltaikanlagen, auf die Versorgung eines Wohnquartiers aufgezeigt werden. Es hat sich gezeigt, dass durch den Einsatz eines zentralen Energiespeichers hohe Energie-Autarkiegrade erreicht werden können. Anhand neu entstandener Marktfelder für Energiespeicheranlagen konnten neue Dienstleistungen für ewl und die dazu notwendigen Schritte aufgezeigt werden. Erneuerbare Energien haben ihre wirtschaftlichen Reize, sowohl auf der Betreiber-, wie auch auf der Kundenseite. Es lohnt sich, die künftige Entwicklung von Batteriespeichersystemen im Auge zu behalten. Auch für Netzbetreiber wird sich das Marktumfeld im Energiesektor in den kommenden Jahren weiter verändern.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_11
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Dezentrale Lüftungslösungen in der Gebäudesanierung

Mit dem Fokus auf Fensterlüftungen und deren Problematiken

Studierende	Silvio Göggel Mirco Stillhart
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Prof. Kurt Hildebrand
Experte	Dipl. Ing. Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Velux Schweiz AG, Industriestrasse 7, 4632 Trimbach)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Dezentrale Lüftungslösungen in der Gebäudesanierung

Mit dem Fokus auf Fensterlüftungen und deren Problematiken

Durch luftdichtkeitsverbessernde Massnahmen wie dem Fensteraustausch bei Sanierungen, bei gleichzeitigem Verzicht auf Dämmmassnahmen zur Minderung thermischer Schwachstellen, können vor allem bei Wohnungsbauten Feuchteproblematiken auftreten. Eine dezentrale Lüftungslösung, um den feuchtebedingten minimalen Luftwechsel zur Verfügung zu stellen, lässt sich bei Sanierungsbauten oftmals einfacher realisieren als eine zentrale Lüftungslösung. Doch wie gut bewähren sich die Fensterlüftungslösungen bezüglich Energieverlust, Hygiene, Schall und wie stark haben die Wetterbedingungen Einfluss auf die Funktionalität der Fensterlüftungsgeräte?

Feuchteproblematik bei Sanierungen

Die Auswertung der Feuchteproblematik zeigt, dass vor allem wenn die Dämmeigenschaften der Aussenhülle unverändert bleiben und das Gebäude durch den Ersatz der Fenster dichter wird, ohne ausreichender Luftaustausch Schimmel an den kalten Oberflächen entsteht. Bei älteren Fenstern, mit einem hohen Fugendurchlassgrad, reicht der natürliche Austausch welcher durch die Fugen stattfindet aus, um Zeitnah den Grenzwert zur Schimmelpilzbildung zu unterschreiten. Werden aber neue Fenster eingesetzt verringert sich der Fugendurchlassgrad und der Infiltrationsvolumenstrom reicht nicht mehr aus um die Feuchte abführen zu können. Diese Problematik trifft vor allem auf Wohnungsbauten zu, welche durch hohe interne Feuchtelasten belastet sind.

Vergleich und Beurteilung von dezentralen Lüftungslösungen

Im Systemvergleich wurden vier verschiedene Varianten von dezentralen Lüftungslösungen miteinander verglichen. Alle Systeme haben als Gemeinsamkeit, dass sie reine Fensterlüftungslösungen sind. Der Systemvergleich zeigte, dass nicht alle untersuchten Fensterlüftungssysteme die Anforderungen an die geforderte Raumlufthqualität erfüllen konnten. Den Luftwechsel zum Feuchteschutz hingegen erreichten alle untersuchten Systeme. Das Einsparpotential hinsichtlich Energie von Fensterlüftungsgeräten mit Wärmerückgewinnung ist im Vergleich zu einem neueren Fenster vorhanden, aber nicht beträchtlich (Abbildung 1). Dies ist darauf zurückzuführen, dass die untersuchten Fensterlüftungssysteme den ganzen Tag über einen konstanten Volumenstrom fördern. Ein Optimierungspotential liegt bei mechanischen Fensterlüftungen in der bedarfsgeregelten Volumenstromzufuhr, was einige auf dem Markt verfügbare Fensterlüftungsgerätetypen bereits aufweisen.

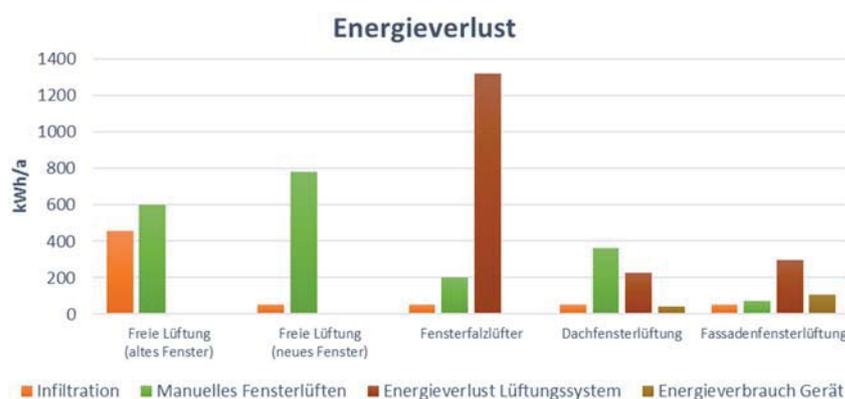


Abbildung 1: Energievergleich der untersuchten Fensterlüftungssysteme

Windproblematik

Die Windgeschwindigkeiten können je nach Umgebung und Höhe unterschiedlich stark ausfallen. Weil sich der Windeinfluss dadurch nur sehr schwer abschätzen lässt, ist es schwierig das Verhalten des Windes auf eine bestimmte Stelle des Gebäudes genau vorherzusagen. Der Windeinfluss ist auch innerhalb der Schweiz, regional stark unterschiedlich. Es lässt sich also nicht einfach eine Aussage über die Windgeschwindigkeit und deren Einfluss auf die Fensterlüftungen machen. Deshalb wird in dieser Arbeit der Windeinfluss auf ein Fensterlüftungsgerät mittels Versuchsstand unter Laborbedingungen gemessen und soll in einem späteren Konzept, für einen Prüfstand unter Langzeitbedingungen, einfließen.

Windversuch am Velux Smart Ventilation

Die Achillessehne der dezentralen Fensterlüftungsgeräte ist ihre Windanfälligkeit. Aus diesem Grund wird die Auswirkung auf den Zuluftvolumenstrom mithilfe eines Versuchsaufbaus im Labor der Hochschule Luzern erforscht. Der simulierte Wind wird dabei einmal frontal und einmal mit einem Anströmungswinkel von 45 Grad auf das Fensterlüftungsgerät treffen. Das heisst, bei frontaler Anströmung soll der Wind das Gerät umströmen und im Falle der 45 Grad Anströmung bläst der Wind genau in die seitliche Geräteöffnung.

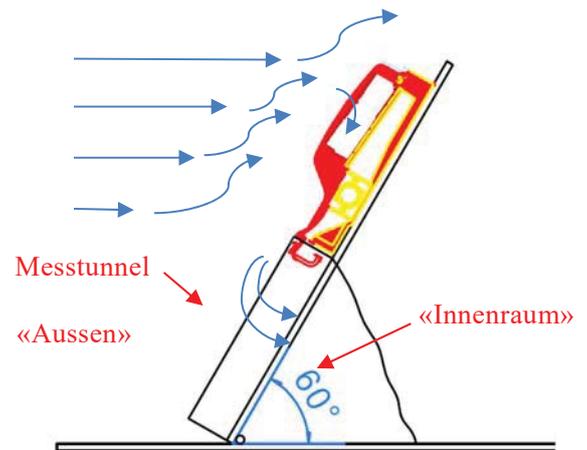


Abbildung 2: Aufbau des Messversuchs

Die Auswertung der Daten bei frontaler Anströmung des Fensterlüftungsgeräts ergeben eine Zuluft-Volumenstromreduktion um 39 Prozent. Wenn jetzt aber der Wind direkt auf die Öffnungen wirkt, im untersuchten Fall mit einer 45 Grad Anströmung, erhöht sich der Volumenstrom markant. Nach Auswertung der Resultate kann eine Volumenstromerhöhung um 496 Prozent festgestellt werden. Das heisst, der Volumenstrom erhöht sich von anfänglich 19.2m³/h auf 95.1m³/h bei starkem Windeinfluss, was eigentlich als positiv bezüglich Luftaustausch betrachtet werden kann. Gleichzeitig erhöht sich aber dadurch auch die Zuluft-Austrittsgeschwindigkeit von anfänglich 0.365m/s auf 1.81m/s (Abbildung 3). Dies hat zur Folge, dass der Temperaturänderungsgrad der WRG sinkt und Zugserscheinungen im Raum auftreten können.

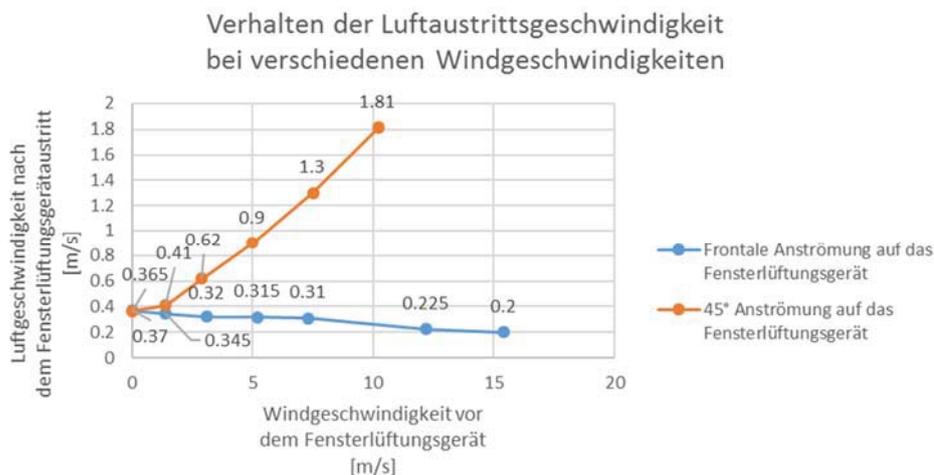


Abbildung 3: Verhalten der Luftaustrittsgeschwindigkeit beim Messversuch

Der Laborversuch mit dem Fensterlüftungsgerät hat zudem gezeigt, dass die Abluft ab 3m/s Windgeschwindigkeit nicht mehr richtig abgesogen werden kann. Der Druck der Ventilatoren reichte nicht mehr aus um den Winddruck zu überwinden. Der entscheidende Vorteil beim Fensterlüftungsgerät «Smart Ventilation» ist aber, dass es sich um einen Pendellüfter handelt. Das heisst, dass die Ab- und Zuluft alle 50 Sekunden gewechselt wird. Das bedeutet, dass nach 50 Sekunden die Funktion der angeströmten Öffnung wechselt und die Abluft nun auf der für die Funktion windgünstigeren Seite liegt.

Konzept für einen Langzeitprüfstand

Es wurde ein Konzept für einen Prüfstand für dezentrale Fensterlüftungsgeräte entwickelt. Der Prüfstand soll zum einen Erkenntnisse geben wie sich die Fensterlüftungsgeräte bei realen Wetterbedingungen verhalten und zum anderen soll er den Herstellern dienen um ihre Produkte optimal weiterentwickeln zu können, was wiederum der Energieeffizienz und somit dem Endkunden zugutekommt und den Markt der dezentralen Fensterlüftungsgeräte vorantreibt. Die Geräte sollen unter transparenter Herleitung, gleichen Rahmenbedingungen und ausführlicher Dokumentation, geprüft, bewertet und zertifiziert werden können. Es sollen dabei vor allem die Einsatzgrenzen unter einer Langzeitprüfung untersucht werden. Der Versuch bezüglich Einfluss des Windes auf Fensterlüftungsgeräte hat deutlich gemacht, dass die Wetterbedingungen die Funktion der Fensterlüftungsgeräte massiv beeinflussen und sogar einschränken können. Wie sich die Fensterlüftungsgeräte aber über einen längeren Zeitraum und über verschiedene, saisonal bedingte Wetterbedingungen verhalten, soll mit dem Prüfstand erforscht werden können.

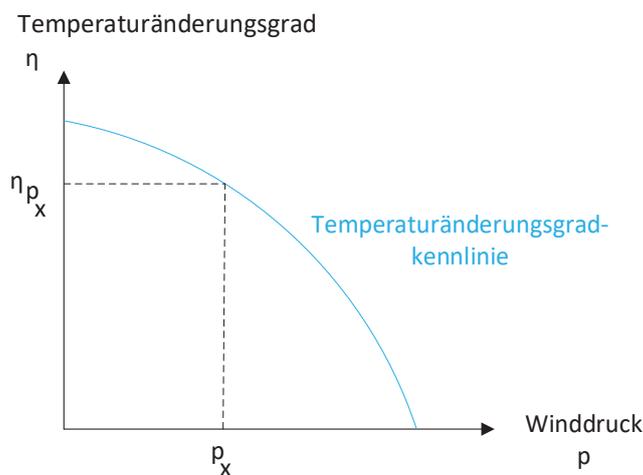


Abbildung 4: Einfluss des Winddrucks auf den Temperaturänderungsgrad

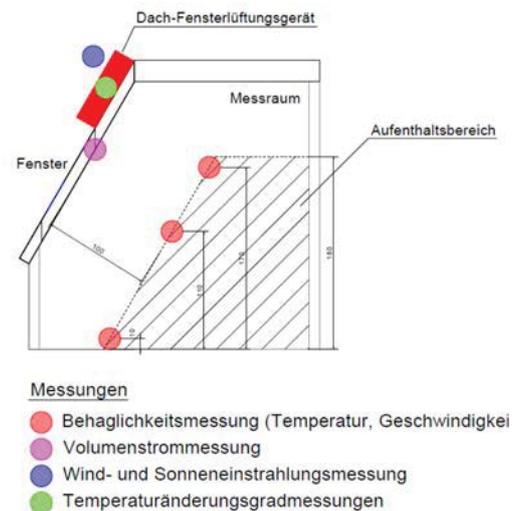


Abbildung 5: Messraum inkl. Messstellen

Verschiedene reale Einflussfaktoren wie Wind, Sonneneinstrahlung und Temperaturdifferenzen werden in die Messungen einbezogen und das Verhalten des Fensterlüftungsgeräts bei diesen Bedingungen wird ausgewertet (Abbildung 4). Daher muss der Prüfstand im Aussenbereich aufgebaut werden.

Der Prüfstand soll zudem so aufgebaut werden, dass ein grosses Spektrum an Fensterlüftungsgeräten abgedeckt werden kann. Es müssen Fensterlüftungsgeräte im Fassadenbereich, wie auch im Dachbereich geprüft werden können.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_12
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Bedeutung des Tageslichts in energieeffizienten Gebäuden

Studierender	Alberto Walker
Dozierende	Björn Schrader Olivier Steiger
Experte/-in	Ralf Wagner
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Velux AG Schweiz, Industriestrasse 7, 4632 Trimbach)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Bedeutung des Tageslichts in energieeffizienten Gebäuden

Das Tageslicht fördert die Gesundheit, verbessert die Sehleistung, erhöht die Produktivität, vermindert die Unfallgefahr und erzeugt hohe Beleuchtungsstärken im Raum, bei einer zusätzlichen höheren Toleranz gegenüber Blendung. Ausserdem steht das Tageslicht vollkommen kostenlos zu Verfügung. Alle diese Vorteile konnten wissenschaftlich bewiesen werden und sind heute allgemein bekannt. Wird die Tageslichtnutzung in der Schweiz jedoch ausreichend gefördert? Der vorliegende Artikel beschäftigt sich mit der effizienten Tageslichtnutzung und den damit verbundenen Massnahmen. Zusätzlich werden die Vorschriften in den Schweizer Normen auf ungünstige Einschränkungen überprüft.

In den skandinavischen Ländern gehören Flachdachfenster längst zum festen Bestandteil der Baukultur. Die Nutzung des Tageslichts hat in diesen Breitengraden einen hohen Stellenwert und die klimatischen Bedingungen erlauben einen günstigen Wärmegewinn über die flächigen Bauteile. In der Schweiz werden üblicherweise Fassadenfenster eingebaut, die den Raum von der Seite her beleuchten. Der Einbau von Flachdachfenstern wird in den Normen stark eingegrenzt zum Schutz vor einer thermischen Überhitzung. Dabei stellt sich die Frage, ob Flachdachfenster auch bei unseren klimatischen Bedingungen einen positiven Wärmegewinn im Winter schaffen und die Tageslichtnutzung verbessern können.

Komfort und Behaglichkeit

Im Lichtmesscontainer der Hochschule Luzern – Technik und Architektur wurden 4 Studierende über den Komfort und die Behaglichkeit befragt. Dabei wurde das Tageslicht einmal von der Decke in den Raum geführt und ein anderes Mal von der Fassade. Die Flachdachfenster konnten durch die gleichmässige Helligkeit überzeugen, obwohl der Raum als kürzer wahrgenommen wurde und die ungewohnte Beleuchtungssituation im ersten Moment als unangenehm empfunden wurde. Die direkten hohen Beleuchtungsstärken durch das Fassadenfenster wurden auf der Haut als unangenehm empfunden. Der Blendschutz konnte dagegen eine angenehme Schattigkeit erzeugen. Bei beiden Fenstern kann nicht mehr gearbeitet werden, wenn der thermische Hitzeschutz geschlossen wird. Die Regelung des Blend- und Hitzeschutzes trägt demnach viel zur Tageslichtnutzung bei. In einem Raum mit einem grossen Fassadenfenster sank der Komfort bei freier Sicht nach aussen, da man sich ausgestellt fühlte. Ein Raum ohne Aussicht wurde ebenfalls als nicht angenehm empfunden um längere Zeit darin zu arbeiten.



Abbildung 1: Lichtmesscontainer mit Flachdachfenster (freie Sicht) und Fassadenfenster (thermischer Hitzeschutz)

Aussicht

Die Norm prEN 17073, Stand Juli 2016, welche sich im Moment in der Vernehmlassung befindet, gibt Empfehlungen zur minimalen Aussicht in einem Raum. Eine minimale Aussicht ist laut Norm gegeben, wenn der Nutzer die Zeit, den Ort und das Wetter sichten kann. Da die Sicht durch Flachdachfenster auf den Himmel begrenzt ist, kann der Ort nicht wahrgenommen werden und die Aussicht ist somit nicht gegeben. Ein Raum mit einer längeren Nutzungszeit sollte ein Fassadenfenster besitzen, da die Aussicht durch Flachdachfenster ungenügend ist. (prEN17037, 2016, Kapitel 5.2)

Bedeutung des Tageslichts in energieeffizienten Gebäuden

Blendung

Eine weitere Bewertung im Lichtmesscontainer befasste sich mit der Blendung. Dabei wurde festgestellt, dass Flachdachfenster gleich oft blenden wie ein Fassadenfenster in einer Ost- oder Westfassade, jedoch weniger als Fassadenfenster in einer Süd-Ost-, Süd-West- oder Südfassade. Flachdachfenster erzeugen grundsätzlich kleinere Flächen, welche eine zu hohe Leuchtdichte aufweisen. Der Blendschutz der beiden Fenstertypen wirkt zuverlässig gegen Blendung, gerade beim Flachdachfenster wird die Blendung jedoch hauptsächlich durch den thermischen Hitzeschutz

vermieden. Der Blendschutz müsste zum Hitzeschutz zusätzlich während 1% der gesamten Zeit im Jahr geschlossen werden. Die Wirtschaftlichkeit für den Einbau eines Blendschutzes muss bei einer so kurzen Zeitdauer angezweifelt werden. Mit einer zweistufigen Regelung des Blend- und des thermischen Hitzeschutzes, bei welcher der Blendschutz ebenfalls zum Schutz vor einer Überhitzung eingesetzt wird, könnte die Einsatzzeit des Blendschutzes erhöht und die Tageslichtnutzung verbessern, da die handelsüblichen Blendschutzsysteme meist einen höheren Lichttransmissionsgrad aufweisen als die Hitzeschutzsysteme

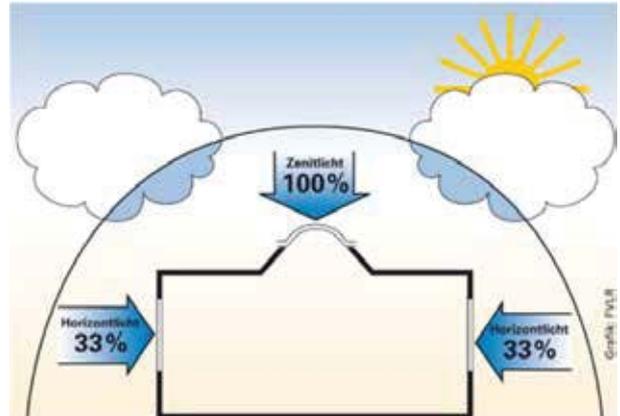


Abbildung 2 Nutzare Leuchtdichte, aus verschiedenen Richtungen bei bedecktem Himmel, Quelle: Tageslicht kurz gefasst – Informationen für Architekten, Planer und Errichter (FVLR, Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V., S.8)

Tageslichtnutzung

Flachdachfenster ermöglichen eine erhöhte Tageslichtnutzung, da diese den ganzen Raum gleichmässiger ausleuchten als ein Fassadenfenster. Die Messung des Tageslichtquotienten ergab, dass dieser bei Fassadenfenstern stark abfällt. Im hintersten Teil des Raumes konnten nur noch sehr kleine Werte ermittelt werden. Mit Hilfe der unterschiedlichen Einstrahlungsrichtungen können Flachdachfenster vom gesamten Zenitlicht profitieren, während dessen Fassadenfenster nur rund einen Drittel der Leuchtdichte in den Raum führen können. (FVLR, Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V., o. J., S. 8) Diese These konnte durch die Messungen verifiziert werden; das Fassadenfenster erzeugte im Raum einen spezifischen mittleren Tageslichtquotienten von $0.9\%/m^2$ Fensterfläche, die Flachdachfenster erreichten $2.6\%/m^2$ Fensterfläche.

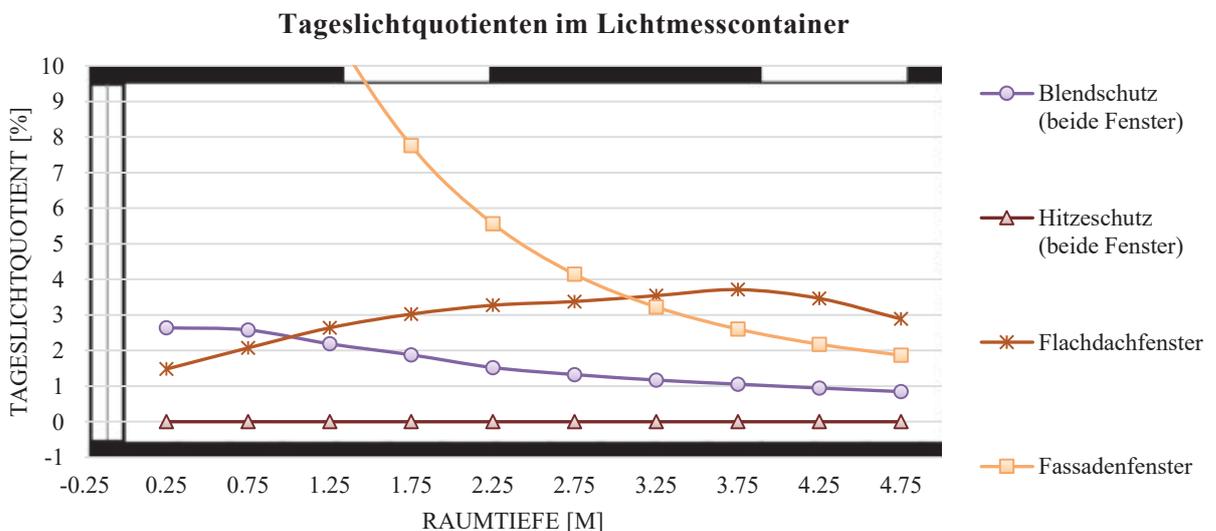


Abbildung 3 Tageslichtquotienten im Lichtmesscontainer

Bedeutung des Tageslichts in energieeffizienten Gebäuden**Normen**

Die Norm SIA 180 macht restriktive Vorgaben zur Einhaltung des sommerlichen Wärmeschutzes bezüglich des Einbaus von Flachdachfenstern. Die Norm bietet drei Verfahren an, wobei die Verfahren 1 und 2 vor allem Anforderungen an die einzelnen Bauteile stellen. Das Verfahren 1 begrenzte die Rohbaufläche der Fassadenfenster im Lichtmesscontainer auf 5% der Nettogeschossfläche, mit dem Verfahren 2 hätten die Flachdachfenster 17.8% der Nettogeschossfläche betragen dürfen. Mit dem dritten Verfahren, respektive einer Simulation, können weitaus grössere Flachdachfenster eingebaut werden und somit das Tageslicht besser genutzt werden. Die minimalen Empfehlungen der prEN 17037 für die Tageslichtnutzung können mit dem Verfahren 1 nicht eingehalten werden. Die Einführung eines neuen Bewertungsverfahrens, welches mit der SIA 380/1 oder sogar mit der SIA 387/4 zusammenhängend durchgeführt werden kann, ist zu überprüfen. Mit einem solchen Verfahren könnten die verschiedenen Bauteilanforderungen vernachlässigt werden und Planer erhalten ein effektives Mittel zur Überprüfung ihrer Gebäude. Vor allem die Vorgaben an die einzelnen Bauteile der SIA 180 repräsentieren oftmals nicht die optimalen Werte und ein neues Planungsverfahren könnte einen sinnvollen Wertevergleich ermöglichen. (SIA 180, 2014, Kapitel 5.2)

Energiegewinn und -verlust

Der Lichtmesscontainer wurde als Raum in einem grösseren Gebäude mit SIA-Standardwerten simuliert. Die Simulation mit IDA ICE ergab, dass mit einem grösseren Flachdachfenster durchaus mehr Energie eingespart werden kann. Das folgende Diagramm zeigt den Gesamtenergiebedarf der verschiedenen Flachdachfenstergrössen (in Prozent der Nettogeschossfläche). das Fassadenfenster wurde weggelassen um die Flachdachfenster zu vergleichen. Mit der Zunahme der Fensterflächen nimmt die Beleuchtungsenergie ab, die Kühl- und Heizenergie jedoch zu. Das Optimum wurde bei einem Flachdachfenster mit 30% der Nettogeschossfläche erzielt.

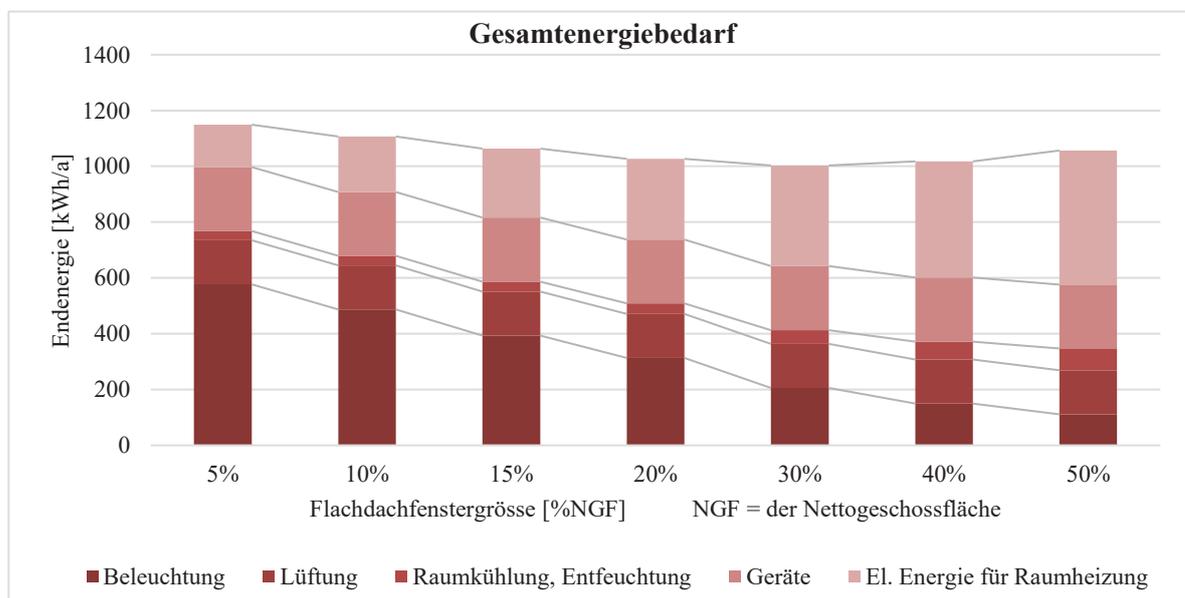


Abbildung 4 Gesamtenergiebedarf des Lichtmesscontainers bei verschiedenen Flachdachfenstergrössen

Quellenverzeichnis

- FVLR, Fachverband Tageslicht und Rauchschutz e.V. (o. J.). Tageslicht kurz gefasst - Informationen für Architekten, Planer und Errichter, 16.
- prEN17037 Tageslicht in Gebäuden, Pub. L. No. Juli 2016, prEN 17037 (2016).
- SIA 180 - Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden (SN 520180), SN 520180 § (2014).



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_13
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Dezentrale Intelligenz in der Gebäudeautomation

Studierender	Fabio Hediger
Dozierende	Dr. Olivier Steiger Prof. Björn Schrader
Experte	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Industriepartner	Stefan Schneiter, Amstein + Walthert Bern AG, Hodlerstrasse 5, 3001 Bern Henning Fuhrmann, Siemens Schweiz AG, Gubelstrasse 22, 6301 Zug
Abgabedatum	09. Juni 2017

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

Dezentrale Intelligenz in der Gebäudeautomation

Der Trend zur Dezentralisierung und Verteilung von Intelligenz hält auch in der Gebäudeautomation (GA) Einzug. Ein neuartiges Gebäudeautomations-System muss den technischen Anforderungen entsprechen und darf die Planung und Inbetriebnahme nicht erschweren. Besondere Bedeutung hierbei hat die Übertragungszeit der Daten, welche bei einem cloudbasierten System nicht zu stark variieren darf. Diese Erkenntnisse werden aus einem praktischen Versuch gewonnen. Bei Problemen bei der Inbetriebsetzung (IBS) verschafft ein temporäres Cloud-Gateway oder eine portable lokale Cloud Abhilfe.

Die Informatik-Branche macht es vor: Alle Prozesse werden virtualisiert und in ein dezentrales Rechenzentrum, im Volksmund die Cloud, ausgelagert. Dieser Trend lässt sich zunehmend auch in der Gebäudeautomation erkennen. Dezentrale Intelligenz in der Gebäudeautomation bedeutet die Auslagerung von Rechenleistung und Speicherkapazität in die Cloud. Eine weitere Form ist die verteilte Intelligenz, dabei befindet sich die Intelligenz für die Ausführung der GA-Funktionen auf einzelnen Anlagenteilen oder Feldgeräten. Ziel der Arbeit ist, mit Hilfe von Fachliteratur und in Gesprächen mit Experten die Möglichkeiten und Anforderungen an solche Systeme zu analysieren.

Wird die Inbetriebsetzung eines dezentralen GA-Systems zum Problem?

Gespräche mit Fachspezialisten zeigen, dass sich ein cloudbasiertes GA-System durchaus durchsetzen kann. Bei der Inbetriebsetzung sehen sie jedoch ein Hindernis, denn bei diesem System benötigen die Feldgeräte eine Netzwerkverbindung über mehrere Switches, über den Router und die Firewall bis in die Cloud. Eine fehlende Verbindung aufgrund nicht vorhandener Komponenten oder nicht bestellten Abonnements für Internet und Cloud-Plattform führt zu Problemen bei einer Inbetriebsetzung.

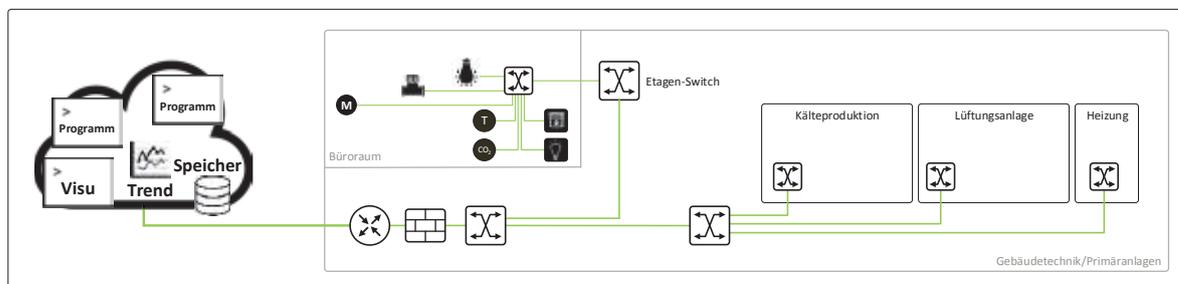


Abb. 1: Beispiel Prinzipschema eines dezentralen Gebäudeautomations-Systems

Damit ein Systemintegrator eine IBS unabhängig von diesen möglichen Problemen ausführen kann, liegen mit der Arbeit zwei Ansätze vor. Zum einen können mit einem «Cloud-Gateway» Anforderungen wie eine etappenweise Inbetriebsetzung trotz fehlender Netzwerkkomponenten durchgeführt werden. Das Cloud-Gateway überbrückt die Verbindung zur Cloud, egal ob es direkt am Feldgerät oder am Etagenswitch angeschlossen ist. Falls aufgrund eines fehlenden Abonnements kein Zugriff in die Cloud gewährleistet ist, bringt auch eine Überbrückung der Internetverbindung nichts. Gegen dieses Problem verschafft der zweite Ansatz, eine «portable lokale Cloud», Abhilfe. Damit kann der Systemintegrator das Steuer- und Regelprogramm vorübergehend auf einem portablen Cloud-Server einrichten und so den Datenpunkttest und die Funktionskontrolle durchführen. Sobald die definitive Cloud-Plattform verfügbar ist, portiert der Inbetriebnehmer das Programm von der portablen lokalen Cloud auf die Plattform des Anbieters.

Echtzeit-Regelung mit einer portablen Cloud

Ein Praxisversuch zeigt, dass eine einfache Echtzeit-Regelung über eine Cloud-Plattform und somit der Einsatz einer portablen lokalen Cloud grundsätzlich möglich ist. Anhand eines Versuchsaufbaus und der Programmierung von netzwerkfähigen Feldgeräten wird die tageslichtabhängige Regelung einer Leuchte umgesetzt. In Versuchen mit dem Modell eines Büroraums wird das Verhalten der Regelung bei Veränderungen der Übertragungszeit ermittelt. Es zeigt sich, dass inkonstante Übertragungszeiten zwischen dem Beleuchtungsstärke-Sensor und der portablen Cloud eine instabile Regelung ergeben. Sofern sich die Übertragungszeit aber im Bereich von Millisekunden variiert, funktioniert die Echtzeit-Regelung zuverlässig.

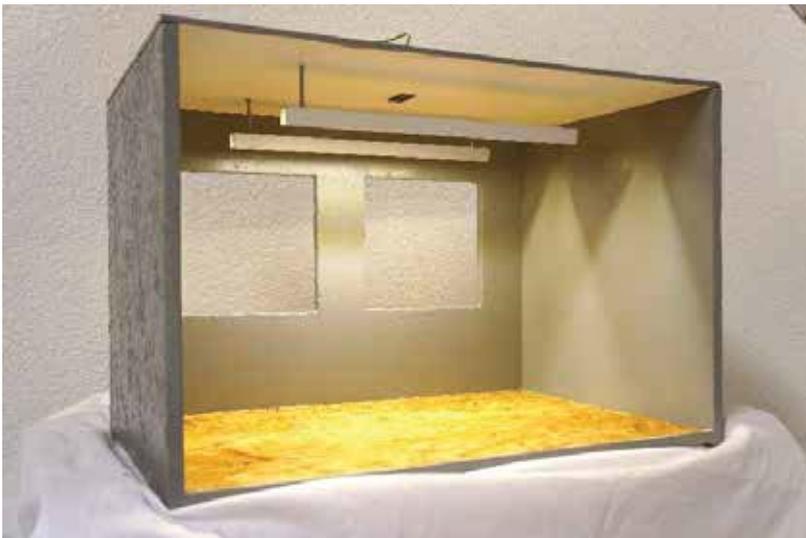


Abb. 2: Versuchsmodell mit dimmbaren Leuchten und Beleuchtungsstärke-Sensor

Anforderungen an dezentrale und verteilte GA-Systeme

Des Weiteren liefert die Arbeit einerseits einen Überblick über die Anforderungen aus technischer Sicht. Andererseits wird aber auch die Perspektive des Kunden, des Planers und des Systemintegrators durchleuchtet. Die technische Umsetzbarkeit ist die Voraussetzung für ein solches System. Darunter fallen zum Beispiel die Verarbeitungsfunktionen. Für deren Sicherstellung sind die Reaktions-, Verarbeitungs- und Übertragungszeit entscheidend. Eine weitere technische Komponente ist die Wahl eines geeigneten Kommunikationsprotokolls. Aus der Sicht des Kunden bestehen Anforderungen an die Ausfall- und Datensicherheit. Der Planer möchte die Vorteile der Datenaufzeichnung in der Cloud für die Verifizierung der Planungswerte nutzen. Zudem muss der Systemintegrator das System möglichst effizient konfigurieren und in Betrieb nehmen können.

Das Konzept zur Inbetriebnahme und der praktische Versuch zeigen, dass die Möglichkeiten für eine Umsetzung einer dezentralen Gebäudeautomation vorhanden sind. Die Probleme, welche durch die Auslagerung der Intelligenz für die Inbetriebnahme ein Hindernis darstellen, können mit einem Cloud-Gateway oder mit der portablen lokalen Cloud gelöst werden. Echtzeit-Regelungen sind über eine Cloud-Plattform möglich, sofern die Übertragungszeiten nicht zu hoch sind und nicht zu stark variieren. Für eine Umsetzung von Gesamt-Anlagen auf Basis dezentraler oder verteilter Intelligenz sind weitere Bereiche zu untersuchen. Dazu gehören zum Beispiel der Datenschutz, die Kommunikationsübertragung, eine vereinfachte Konfiguration oder die Ausfallsicherheit.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_14
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Projektstudie Rückkühler und Abwärme- Nutzung

Studierende	Fabian von Allmen David Arnold
Dozierende	Matthias Balmer Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Emmi Schweiz AG, SSP Kälteplaner AG)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Projektstudie Rückkühler und Abwärme-Nutzung

Industriebetriebe mit Kältebedarf (Abwärmepotential) und Heizwärmebedarf stehen vielfach vor dem Problem, dass durch eine fehlende gesamtheitliche Sichtweise Synergien nicht genutzt werden können. Es resultieren unnötig hohe Betriebskosten und Umweltbelastungen. Im Rahmen der Projektstudie sind verschiedene Abwärmenutzungs- und Wärmerückgewinnungsmassnahmen auf dem Areal der Emmi AG in Kirchberg untersucht. Im Fokus stehen die Gewerke Heizung und Kälte, sowie die Waschprozesse.

Ein Vergleich der erarbeiteten Konzepte, mit den auf dem Areal erhobenen Leistungs- und Energiedaten, zeigt sinnvolle Einbindungen einer Abwärmenutzung (AWN). Das Potential von Wärmerückgewinnungsmassnahmen der Waschprozesse und einer Wärmepumpeneinbindung in die Kältemaschine zur Deckung des Heizwärmebedarfs ist untersucht.

Die interne Wärmerückgewinnung (WRG) bei kontinuierlichen Prozessen hat sowohl wirtschaftlich wie auch ökologisch grosses Potential. Mit vergleichsweise kleinen Investitionen können hohe Deckungsgrade erreicht werden. Die wichtigsten zwei Faktoren der AWN von Kälteprozessen zur Deckung des Heizwärmebedarfs sind das Temperaturniveau und die Gleichzeitigkeit. Bei der Nutzung der hochwertigen Abwärme auf Rückkühlniveau können Wärmepumpen (WP) zur zeitlich direkten AWN sehr effizient betrieben werden. Eine Unterteilung auf verschiedene Temperaturniveaus und die Auslegung der Leistung auf eine Bandlast ist besonders sinnvoll. Bei gemeinsamer Sanierung der Kälteanlage ist eine Einbindung der WP in die Kältemaschine prüfenswert, da Exergieverluste durch zusätzliche Wärmeübertrager verhindert werden können.

Die Bedeutung von Industriearealen ist hoch einzustufen, da bei hohen Laufzeiten und grossen thermischen Leistungen viele Synergien entstehen. WP zur AWN sind besonders interessant, da Amortisationszeiten von wenigen Jahren und Verbesserungen in der Ökobilanz erreicht werden.

Vorgehen Abwärmenutzungskonzept

Systemtemperaturen, Spitzenleistungen, Leistungsverteilungen und Gleichzeitigkeiten sind auszuwerten. Bei komplexen Anlagen mit vielen aufzuwärmenden und abzukühlenden Medienströmen eignet sich die Pinch-Systematik für eine erste Übersicht. Bei kontinuierlichen Prozessen können so detaillierte Aussagen getroffen werden. Bei Prozessen mit variablen Leistungen und Betriebszeiten muss unter Berücksichtigung der Gleichzeitigkeiten eine detailliertere Berechnung durchgeführt werden.

Projektstudie Emmi Kirchberg

Das Ziel der Emmi AG Kirchberg ist eine AWN zur Deckung des Heizwärmebedarfs, falls die Anlagen wirtschaftlich realisierbar sind. Das nebenstehende Energieflussdiagramm zeigt die jährlichen Energieströme des Konzeptvorschlags. Es werden eine Reihe von WRG Massnahmen, sowie eine WP-Einbindung mit zwei Temperaturniveaus in die Kälteanlage vorgeschlagen. Die WRG Massnahmen beziehen sich auf zwei energieintensive, kontinuierliche Waschprozesse mit grossen Laufzeiten und können in kürzester Zeit amortisiert werden. Ausserdem können Temperaturspitzen, die zu hohen Netztemperaturen der Heizung führen, umgangen werden.

Eine 74%-Deckung des jährlichen Heizwärmebedarfs für Lüftung, Gebäudeheizung und Brauchwarmwasser auf dem Areal ist durch die Einbindung von zwei WP's auf den Temperaturniveaus 45°C und 65°C vorgesehen. Als Quelle ist die Abwärme der Kälteanlage genutzt, indem über einen Zwischendruckbehälter zwei weitere Druckniveaus im Kältekreislauf integriert werden.

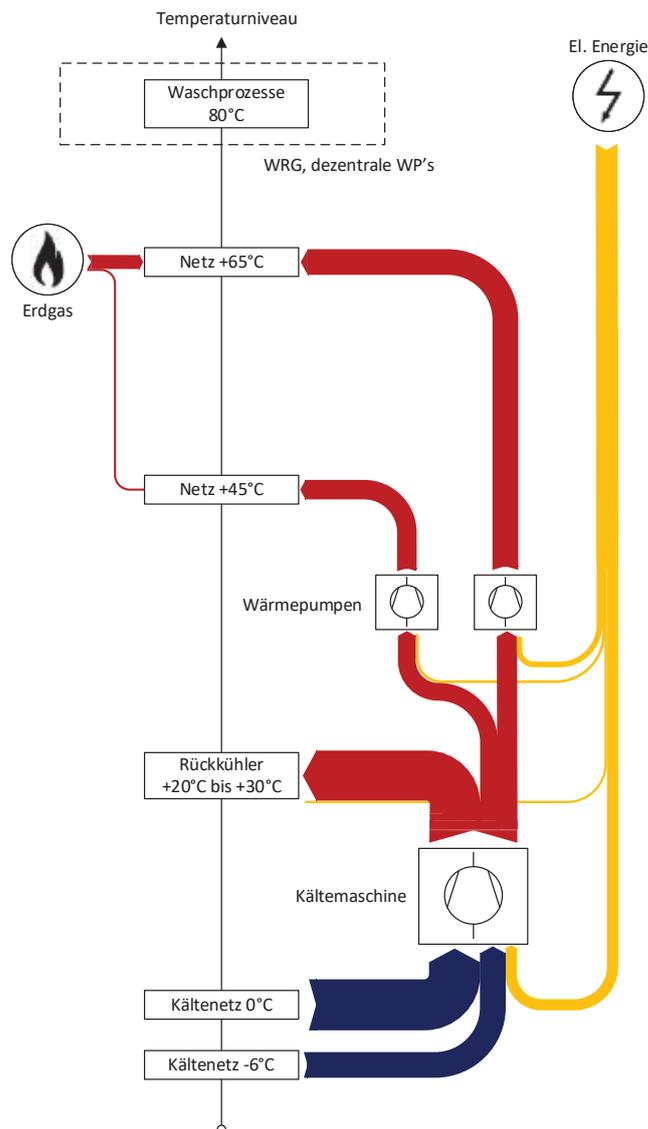


Abbildung 1 Energieflussdiagramm AWN-Konzept

Durch diese WP-Einbindungen sind effektive jährliche Einsparungen unter Berücksichtigung aller Kapitalkosten im Bereich von 100'000 Fr./a zu erwarten. Ausserdem kann der Aufwand an Primärenergie um 70% reduziert werden. Die Redundanz und Deckung des restlichen Heizwärmebedarfs ist durch die bestehenden Gaskessel gewährleistet. Der angestrebte Deckungsgrad berücksichtigt den maximalen Ertrag bei zeitlich direkter AWN. Eine Erhöhung des Deckungsgrades kann nur durch saisonale Speicherung erreicht werden. Aufgrund der Speichergrösse und der zusätzlichen Exergieverluste durch notwendige treibende Temperaturdifferenzen ist die saisonale Speicherung weder wirtschaftlich noch technisch sinnvoll umsetzbar.

Quintessenz

Ein gesamtheitliches WRG- und AWN-Konzept macht auf jeden Fall Sinn. Besonders bei hochwertigen Quellen, wie zum Beispiel der Abwärme einer Kälteanlage, ist die AWN wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll. Der anzustrebende Deckungsgrad ist vom Abwärmepotential und dem Heizwärmebedarf abhängig. Die Umweltpolitik und Nachhaltigkeit von Unternehmen werden mit den aktuellen politischen Entwicklungen, auch in Anbetracht der Energiestrategie des Bundes, immer bedeutender. Eine weite-

re Betrachtung gilt der Energiepreissteuerung. Durch einen höheren AWN-Deckungsgrad wird eine gewisse Unabhängigkeit gegenüber der Energiepreisentwicklung fossiler Brennstoffe erreicht.

- Umfangreiches Messkonzept und Anlagendokumentation Grundlage für sinnvolles AWN-Konzept und nachträgliche Betriebsoptimierung
- Heizungsseitige Temperaturniveaus hinterfragen und falls möglich anpassen.
- Hohe Vorlauftemperaturen mit dezentralen Lösungen umgehen.
- Interne WRG bei kontinuierlichen Prozessen als erste Priorität prüfen.
- Technisch einfaches System durch direkte Einbindung der AWN möglich in Kombination mit tiefen Rücklauftemperaturen.
- AWN mittels WP zur Temperaturerhöhung für hohe Deckungsgrade des Heizwärmebedarfs. Auslegung auf Bandlast besonders wirtschaftlich.
- Direkte Einbindung der WP in die Kältemaschine bei Totalsanierung prüfenswert.
- AWN mittels saisonaler Speicherung nur beschränkt wirtschaftlich umsetzbar.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_15
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Vergleich zentrale Wassererwärmung vs dezentrale Frischwasserstationen in Hochhäusern

Studierende	Anastasia Lebedev Marc Aeschlimann
Dozierende	Prof. Reto von Euw Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Philipp Vögeli, Ingenieurbüro Riesen AG, Stauffacherstrasse 65, 3014 Bern)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Vergleich zentrale Wassererwärmung vs dezentrale Frischwasserstationen in Hochhäusern

Aufgrund der begrenzten Grundfläche und der Überarbeitung des Raumplanungsgesetzes werden in der Schweiz vermehrt Hochhäuser entstehen. Die Frage nach der idealen Warmwasseraufbereitung, zentral oder dezentral, wird in vielen Ingenieurbüros heiss diskutiert. Bewährt sich die zentrale Warmwasseraufbereitung oder sind Frischwasserstationen wirtschaftlicher?

2016 trat das überarbeitete Raumplanungsgesetz (RPG) in Kraft. Bund, Kantone und Gemeinden haben dafür zu sorgen, dass der Boden haushälterisch bewirtschaftet wird. Dies führt dazu, dass in der Schweiz vermehrt Hochhäuser geplant und realisiert werden. Bei der Planung von Hochhäusern stellt sich die Frage, ob eine Wassererwärmung pro Druckzone zentral oder in jedem Geschoss dezentral vorgesehen wird. Anhand des geplanten Hochhauses in Ostermundigen, Agglomeration Bern, erstellte man einen Vergleich für die Energie und die Investitionskosten. Die Energie ist mit verschiedenen Temperaturen in Bezug auf die Hygiene aus der SIA-Norm 385/1 errechnet.

Druckzonen, Druckreduzierung und Varianten

Für die Einteilung der Druckzonen in einem Hochhaus ergeben sich verschiedene Möglichkeiten. So kann man nach Nutzungen trennen. Eine andere Variante berücksichtigt die Druckverhältnisse. Die Trennung nach Nutzungen hat sich bei diesem Hochhaus aufgrund des Vordruckes angeboten. Dabei sind drei Varianten für den Vergleich entstanden.

1. Basisvariante: zentrale Wassererwärmung im gesamten Gebäude
2. Variante 1: zentrale Wassererwärmung im Hotel, Frischwasserstationen in den Wohnungen
3. Variante 3: Frischwasserstationen im gesamten Gebäude

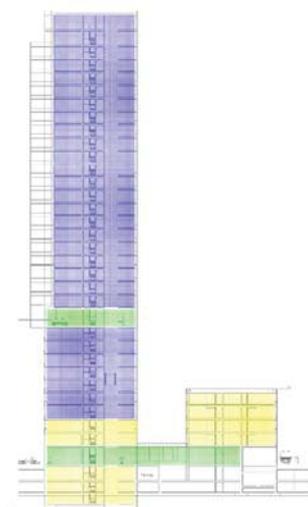


Abb. 1: Hochhaus mit zwei Druckzonen bei drei Nutzungen.
Blau: Wohnungen, Gelb: Hotel und Grün Gastronomie

Die in der Abb. 1 als gelb markierte Druckzone bezieht sich auf das geplante Hotel und wird mit natürlichem Versorgungsdruck erschlossen. In den Wohnungen – in der Abb. 1 blau markiert - ist eine Druckerhöhungsanlage vorgesehen. Die Gastronomie - grün markierte Zone - besteht aus einer Mischlösung aus den Erschliessungen mit natürlichem Druck und einer Druckerhöhungsanlage. Die Wohnungen stellen eine Druckzone dar. Dies führt dazu, dass die Druckverhältnisse in den unteren Geschossen einen überhöhten Ruhedruck aufweisen. Der Einsatz von Druckreduzierventilen soll diesen ausgleichen. Damit keine Druck- und Temperaturschwankungen auftreten, sind nur einzelne Räume mit wenig gleichzeitigen Entnahmen an die Verteiler angeschlossen worden. So lassen sich gemäss dem Merkblatt des SVGW Druck- und Temperaturschwankungen verhindern oder minimieren.

Warmwasserbedarf und Wärmeverluste

Der verlustfreie Warmwasserbedarf ist über die Bewohner-, Betten- und Sitzplatzzahl errechnet. Die Energie, die für den Vergleich wichtig ist, ändert sich im Gegensatz zur Menge bei verschiedenen Entnahmetemperaturen nicht. Aufgrund dieser Berechnungen wurden die Wärmeverluste, wie beispielsweise die Ausstoss-, Speicher-, Wärmeverluste der Rohre, usw., bei verschiedenen Bedingungen ermittelt und verglichen.

Kosten und Wirtschaftlichkeit

Für die Kostenberechnung wurden die sich verändernden Anlagekomponenten aufgelistet und verglichen. Zu diesen Kosten gehören die Wassererwärmer, die Frischwasserstationen und die Leitungen inkl. Dämmungen. Diese Untersuchung zeigte, dass sich die meisten Komponenten in einer solchen Anlage von der Sanitärseite auf die Heizungsseite verlagern. Nur die Frischwasserstation ist ein zusätzliches Element, das keine vergleichbare Komponente in der Basisvariante hat und sich somit nicht ausgleichen lässt.

Vergleich und Resultate

Der Energievergleich mit verschiedenen Temperaturbedingungen hat gezeigt, dass die Basisvariante am besten abschneidet. Zudem ist diese Variante am kostengünstigsten. Die Abweichungen zwischen den Varianten betragen ca. 20 bis 30% bei der Energie und 18 bis 23% bei den Investitionskosten. Bei dem Wirtschaftlichkeitsvergleich betragen die Differenzen der jährlichen Jahresmittelkosten bis zu 25%. Diese Differenzen kommen hauptsächlich von den Frischwasserstationen. Die anderen Komponenten werden in allen Varianten entweder Heizungs- oder Sanitärseitig benötigt.

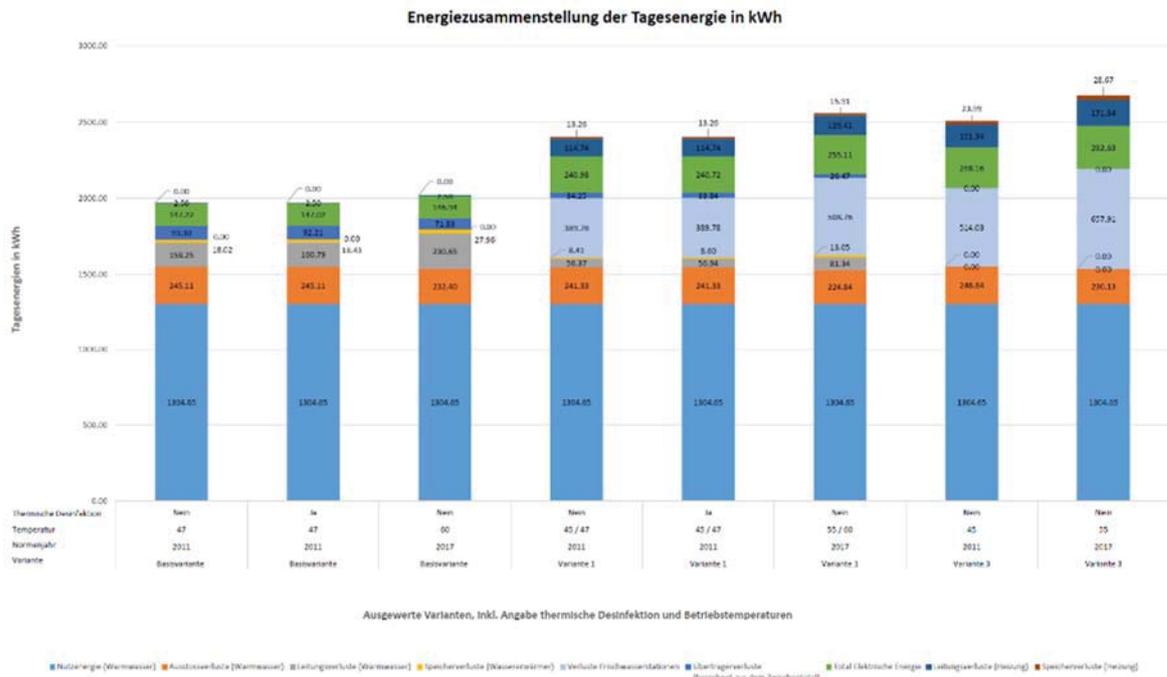


Abb. 2: Tagesenergiezusammenstellung Nutzeenergie bis Sekundärenergie

Hygienisch gesehen ist die zentrale Wassererwärmung bei einer täglichen Umsetzung des Inhalts unbedenklich. Um die Erneuerung des Inhalts zu gewährleisten, wählte man die Wassererwärmer mit einem kleineren Inhalt. Zusätzlich kann eine thermische Desinfektion, Aufheizung des Warmwassers auf 60° C, installiert werden.

Fazit

Generell kann eine Frischwasserstation nicht kategorisch ausgeschlossen werden. Die Hersteller solcher Stationen forschen diesbezüglich effizienteren Lösungen. Für ein Einfamilienhaus ohne warmgehaltene Leitungen könnte dies eine Option darstellen. Allerdings bleibt der Nachteil, dass die Heizungsanlage das ganze Jahr in Betrieb sein muss, um die hohen Temperaturen bereit zu stellen.

Die zentrale Warmwasseraufbereitung kann weiterhin eingesetzt werden. Mit einer besseren Dämmung der Systemkomponenten lassen sich die Wärmeverluste weiter reduzieren. Diese Massnahme bedingt aber weiterhin die Einhaltung der hygienischen Vorschriften.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_16
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

BIM – Perspektive Gebäudetechnik

Studierende	Martin Aeberhard Giuseppe Cudemo
Dozierende	Prof. Gerhard Zweifel Frank Thesseling
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Patrik Stierli, Amstein + Walthert AG, 8050 Zürich Rolf Moser, Enerconom AG, 3001 Bern
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

BIM – Perspektive Gebäudetechnik

Building Information Modeling (BIM) ist derzeit in aller Munde. In BIM-Projekten werden zwar mit neuester Technik ICE-Sitzungen abgehalten, Probleme direkt in 3D- Modellen diskutiert und gelöst und Modelldateien in regelmässigen Abständen auf CDE hochgeladen und versioniert, „zu Hause“ in den Planungsbüros stellen die folgenden drei Punkte aber noch grosse Herausforderungen dar.

1. Auffinden von Daten in einer Dateiablage

2. Versionierung und Änderungsmanagement: Welche Datei gilt?

3. Verlinkung von Daten: Abschreiben oder Kopieren als Fehlerquelle

Können also positive Erfahrungen aus BIM-Projekten in den Planungsalltag integriert und für alle Mitarbeiter nutzbar gemacht werden?

Herausforderung Datenhaltung: Lösungsansätze aus Normen und Literatur

Diese Fragen im Zusammenhang mit der Datenhaltung innerhalb von Planungsbüros der Gebäudetechnik werden in der Literatur nur stiefmütterlich behandelt. Wohl betonen die Autoren die Wichtigkeit vernetzter und strukturierter Daten, beziehen dies jedoch auf „informierte 3D Modelle“, die als *single source of truth* sämtliche relevanten Daten in den Attributen von Objekten enthalten sollen [1] [2]. Bernd Essig [3] weitet dieses Konzept vernetzter und strukturierter Daten auf unterschiedliche Dokumente und Dateien aus, die zusammen ein Informationsmodell bilden.

Damit ein solches Informationsmodell in Form einer Datenbank aufgebaut werden kann, braucht es sogenannte Ordnungssysteme. Dazu gehören ein Fachvokabular (Nomenklatur), das die Schreibweise (Syntax) und Bedeutung (Semantik) von Begriffen festlegt, Klassifikationssysteme (Taxonomien), die diese Begriffe hierarchisch ordnen und Ontologien, die mehrere Klassifikationssysteme miteinander verbinden [4].

Strukturierung von Systemen und Referenzkennzeichnung

Die mehrteilige Normenserie SN EN 81346 *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung* [5] [6] [7] [8] stellt Regeln vor, wie die Komponenten von Anlagen zu Teilsystemen und Systemen zusammengefasst und so eine solche Ontologie in Form von Referenzkennzeichen im Bauwesen aufgebaut werden kann. Im Gegensatz zu den *Weisungen zur Kennzeichnung und Beschriftung von Gebäudetechnik-Installationen* vom 1. Januar 2016 des Bundesamts für Bauten und Logistik (BBL) [9] unterscheidet diese Normenreihe zwischen verschiedenen Aspekten. Dies ermöglicht eine Anlage und ihre Komponenten in Bezug auf ihre Funktion, ihren Ort oder die Produkte, aus denen sie aufgebaut ist zu beschreiben. Für jeden Aspekt wird eine eigene hierarchische Struktur aufgebaut, die parallel zu den anderen funktioniert. Die Unterscheidung in diese drei Aspekte erlaubt eine schrittweise Erfassung und Konzipierung von gebäudetechnischen Systemen über ihren gesamten Lebenszyklus.

Sind die Strukturen einmal gebildet, werden gemäss Normenreihe sogenannte Referenzkennzeichen gebildet, um die einzelnen Teile der Struktur eindeutig zu identifizieren. Für den Funktionsaspekt werden die zu referenzierenden Objekte in Klassen nach vorgesehenem Zweck oder vorgesehener Aufgabe eingeteilt. Referenzkennzeichen können zusätzlich zu den Komponenten und (Teil-)Systemen von gebäudetechnischen Anlagen auch auf weitere Daten wie Signale, Anschlüsse und Dokumente ausgeweitet werden. Das Referenzkennzeichnungssystem kann durch zusätzliche Klassifizierungssysteme ergänzt werden, um weiteren Nutzen aus der strukturierten Datenhaltung zu generieren.

Die Strukturierung und Referenzkennzeichnung wurde in dieser Arbeit an einem konkreten Beispiel durchgespielt und diskutiert. Die Anwendung ist leicht erlernbar dank der Beschreibung des Vorgehens in der Norm in Form von Regeln. Schwierigkeiten sind aufgetaucht bei der Zuordnung von Komponenten zu den Klassen aus den Normen. Nicht für alle Komponenten haben wir eine Klasse gefunden, die passt (z.B. Sicherheitsventile)

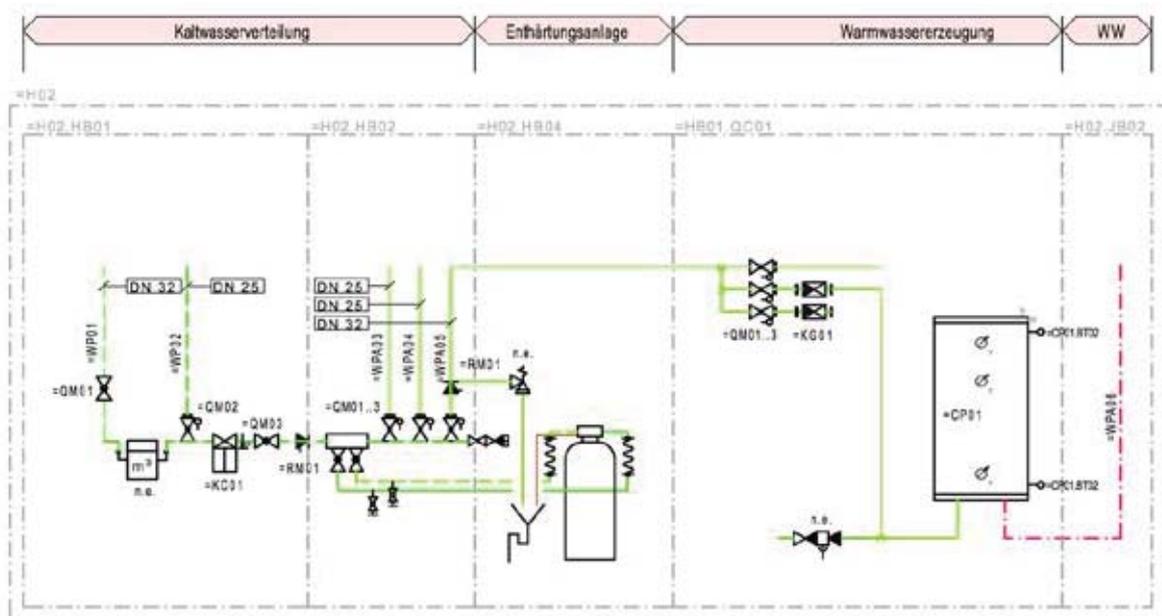


Abb. 1: Prinzipschema Sanitär

Mit den soeben beschriebenen Methoden wird eine Grundlage für den Aufbau einer BIM-Datenbank geschaffen. Damit mit dieser Datenbank auch effizient gearbeitet werden kann, und nicht bloss Unmengen an Daten gesammelt werden, braucht es einerseits eine Vereinbarung der Projektbeteiligten über die benötigten Daten (Auftraggeber Informationsanforderungen, kurz „AIA“). Andererseits braucht es auf internationaler Ebene Standards in Bezug auf den Austausch von Herstellerinformationen, einheitliche Softwareschnittstellen (Software Vendor Adoption) und eine sprachenübergreifend vereinheitlichte Terminologie (sog. Common Object Property Sets oder Merkmalsserver). Letzteres ist insbesondere notwendig, weil der Umfang der derzeit für das IFC-Format vorgesehenen Attribute nicht ausreicht, um sämtliche relevanten Daten zu den Komponenten von gebäudetechnischen Anlagen zu erfassen [10].

Das Projektinformationsmodell Gebäudetechnik im Planungsprozess

Die internationale Organisation buildingSMART ist daran, die sogenannte *Common Object Platform* zu entwickeln, die solche Standards zur Verfügung stellen soll [11]. Ihre Ansätze sind äusserst vielversprechend, jedoch derzeit noch nicht verfügbar. Die Grundlagen dieser Common Object Platform müssen erst noch erarbeitet werden.

Uns hat interessiert, wie diese Konzepte bereits heute für die Datenhaltung von Planungsbüros einen Mehrwert generieren können. Ausgehend von der SIA Ordnung 108 Leistungen und Honorare der Ingenieurinnen und Ingenieure der Bereiche Gebäudetechnik, Maschinenbau und Elektrotechnik haben wir typische Planerleistungen ab SIA Phase 3 zusammengetragen. Die Informationen, die als Grundlage zur Bearbeitung dieser Planungsaufgaben nötig sind und die Daten, die mit der Planung erarbeitet werden, werden als Teilmenge eines Projektinformationsmodells Gebäudetechnik betrachtet. Dieses Informationsmodell könnte in Form

einer Datenbank auf einem Büro internen Server gespeichert werden. Mit der Methode der Referenzkennzeichnung - ergänzt durch zusätzliche Klassifizierungssysteme, wie sie in der Gebäudetechnik oft genutzt werden - können Teilmengen der Daten identifiziert und die Sicht darauf anhand von Filtern eingeschränkt werden (Anwendung des Konzepts der Model View Definition).

Implementierung des Informationsmodells in Form einer Datenbank

Die gemäss unseren Recherchen einzigen auf dem Markt verfügbaren Datenbank-Tools, die explizit zur Datenhaltung von gebäudetechnischen Anlagen vorgesehen sind, sind das schwedische Raumbuch-Programm *dRofus* [12], mit seinem Ursprung in der Spitalplanung und der *Granlund Designer* [13] des gleichnamigen finnischen Gebäudetechnik-Planungsbüros. Beide Produkte werden ausschliesslich als *Software as a Service* in Cloud-Lösungen angeboten und mit erster Priorität in den lokalen Märkten vertrieben.

Diese beiden Lösungen machen bereits einen grossen Schritt in Richtung Informationsmodell, wie Essig es beschreibt ohne allerdings explizit ein Referenzkennzeichnungssystem zu verwenden. Die Versionierung wird durch personalisierte Logins und einer datenbasierten Änderungshistorie abgedeckt. Durch die bidirektionale Verbindung von 3D-Modell und Prinzipschema mit einer Datenbank wird eine *single source of truth* geschaffen. Hingegen beschränkt sich die Kompatibilität von *dRofus* und dem *Granlund Designer* derzeit auf wenige CAD-Programme. Eine Verbindung zu anderen, nicht CAD-basierten Dokumenten, wie Funktionsbeschrieben, Herstellerofferten, Kostenschätzungen, Berichten zu Simulationen usw. ist unsers Wissens beim *Granlund Designer* nicht vorgesehen. *dRofus* erlaubt das Anhängen von PDF-Dateien.

Im letzten Teil dieser Diplomarbeit haben wir den Prototyp eines BIM-Informationsmodells in Form eines Raumbuchs in *FileMaker* programmiert. Als Schnittstelle zum Datenaustausch mit externen Projektpartnern - in diesem Fall der Architekt mit seinem Architekturmodell - haben wir das IFC-Format gewählt. Anhand von Flächen- und Nutzungsinformationen von Räumen, die nach dem Klassifizierungsschema aus dem SIA Merkblatt 2024 *Raumnutzungsdaten für die Energie- und Gebäudetechnik* erfasst werden, können in dieser Datenbank erste Abschätzungen zum Leistungs- und Energiebedarf eines Gebäudes ermittelt werden.

Als Orientierungshilfe für den Anwender der Datenbank wollten wir, dass die Räume auch graphisch dargestellt werden können. Dazu haben wir einen Webviewer in das Layout der Datenbanks Oberfläche integriert. In diesem werden die Raumpolygone mittels *Scalable Vector Graphic* und HTML dargestellt. Hingegen sind bei der Extraktion der Raumpolygone aus den IFC-Dateien zweierlei Probleme aufgetaucht. Zum einen stimmt die Umrechnung der Koordinaten bei Räumen, die in Form von *IfcRectanlgeProfileDef* definiert sind - vermutlich bedingt durch Rundungsfehler - nicht ganz, so dass sich einzelne Raumpolygone in der graphischen Darstellung überschneiden. Zum anderen kann das zur Umwandlung von IFC-Dateien in CSV-Dateien verwendete Tool *IFC File Analyzer* [14] aus einem dem Software-Hersteller unbekanntem Grund keine *IfcTrimmedCurves* auslesen.

Als alternatives Austauschformat könnte sich das *Green Building Extensible Markup Language* (gbXML) eignen [15]. Dieses Dateiformat wurde speziell für den Austausch von Gebäudedaten als Grundlage für Energie-Berechnungen und Simulationen entwickelt. Die Koordinatenpunkte der Raumpolygone werden beim Export von gbXML-Dateien aus CAD-Programmen bereits im globalen Koordinatensystem angegeben, womit sich die Umrechnung in der Datenbank erübrigt.

Zusammenfassend kann festgehalten werden, dass der BIM-Datenbank-Prototyp dieser Diplomarbeit das Problem der Verlinkung von Daten löst. Das Auffinden von Informationen in der Dateiablage kann mit wenig Aufwand mittels eines zusätzlichen Feldes in der Datenbank, das den Link zum Ablageort enthält, vereinfacht werden. Die Herausforderung des Änderungsmanagements wurde in unserem Prototyp nicht angegangen. Die Software des *Granlund Designers* zeigt aber diesbezüglich mögliche Lösungsansätze. Somit könnte eine weiterentwickelte Version unseres Prototyps bereits heute BIM-Methoden auf Ebene der Planungsbüros mehrwertbringend anwenden.

Literaturverzeichnis:

- [1] Charles M Eastman u. a. *BIM handbook: A guide to building information modeling for owners, managers, designers, engineers and contractors*. John Wiley & Sons, 2008.
- [2] Kerstin Hausknecht und Thomas Liebich. *BIM-Kompendium*. Frauenhofner IRB Verlag, 2016.
- [3] Bernd Essig. *BIM und TGA*. Deutsches Institut für Normierung, 2015.
- [4] André Borrmann u.a. *Building Information Modeling: Technologische Grundlagen und industrielle Praxis*. Springer-Verlag, 2015.
- [5] Internationale Elektrotechnische Kommission. SN EN 81346-1:2009 *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 1: Allgemeine Regeln*. 2009.
- [6] Internationale Elektrotechnische Kommission. SN EN 81346-2:2009 *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 2: Klassifizierung von Objekten und Kennbuchstaben für Klassen*. 2009.
- [7] Internationale Organisation für Normierung. ISO 81346-3:2012 *Industrielle Systeme, Anlagen und Ausrüstungen und Industrieprodukte - Strukturierungsprinzipien und Referenzkennzeichnung - Teil 3: Anwendungsregeln für ein Referenzkennzeichnungssystem*. 2012.
- [8] Internationale Organisation für Normierung. Draft International Standard ISO DIS 81346- 12:2016 *Industrial systems, installations and equipment and industrial products - Structuring principles and reference designations - Part 12: Construction works and building services*. 2016.
- [9] Bundesamt für Bauten und Logistik. *Weisungen zur Kennzeichnung und Beschriftung von Gebäudetechnik-Installationen*. 2016.
- [10] Quelle: Gespräch mit Odilo Schoch, Studiengangleiter des CAS ETH ARC in Digitalisierung vom 27.03.2017
- [11] Informationen online verfügbar unter: <http://buildingsmart.org/standards/standards-library-tools-services/datadictionary/>, zuletzt abgerufen am 27.05.2017
- [12] Produktdokumentation dRofus, in englischer Sprache online verfügbar unter <http://db.nosyko.no/wiki/display/DV/06+Systems>, zuletzt abgerufen am 09.03.2017
- [13] Informationen als Webinar online verfügbar unter https://www.youtube.com/watch?v=-gvlyN_gzJ0, zuletzt abgerufen am 11.05.2017
- [14] online zum Download verfügbar unter <https://www.nist.gov/services-resources/software/ifc-file-analyzer>, zuletzt abgerufen am 14.05.2017
- [15] Informationen online verfügbar unter <http://www.gbxml.org>, zuletzt abgerufen am 25.05.2017



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Potential von erneuerbaren Energien der SBB Infrastruktur

Studierende	David Adrian Egger
Dozierende	Roger Buser Stefan Mennel
Experte/-in	Matthias Tuchschnid
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Yves Hurni, SBB Infrastruktur Projekte TA-LZ, 6002 Luzern)
Abgabedatum	09.06.2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Potential von erneuerbaren Energien der SBB Infrastruktur

Die Schweizerischen Bundesbahnen SBB sind als bundesnaher Betrieb in einer Vorbildfunktion. Dies wird einerseits durch die Position als grösstes Transportunternehmen der Schweiz, und andererseits auch als einer der grössten Immobilienunternehmen der Schweiz verdeutlicht. Um dieser Rolle gerecht zu werden, sind sie Akteure in der Gruppe «Energie-Vorbild Bund». Diese wird durch das Bundesamt für Energie geführt. Damit hat sich die SBB grundsätzlich der Förderung von erneuerbaren Energien verpflichtet. Es wurden bereits viele Studien zur Erhebung des Potenzial im Bereich erneuerbaren Energien durchgeführt. Allein im Bereich der Photovoltaik wird ein Potenzial von rund 22 GWh/a erwartet.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit ist es, gerade im Bereich der Photovoltaik eine konkrete Analyse der standardisierten Bahntechnikgebäude vom Typ Premoco durchzuführen. Bis Ende des Jahres 2016 betrieb und unterhielt die SBB-Infrastruktur rund 500 Bahntechnikgebäude (BTG) und davon waren 41 vom neuen standardisierten Typ Premoco. Zudem wird eine Analyse der technischen Umsetzung durchgeführt. Und in einem letzten Schritt wird die Wirtschaftlichkeit untersucht.

Das Konzept der 10 Grad Neigung

Da die Orientierung nach den Himmelsrichtungen der rund 41 GTB vom Typ Premoco ganz unterschiedlich sind wird für die Ausrichtung das Konzept der 10 Grad Neigung verwendet. Wenn ein Photovoltaik Modul ohne Neigung einfach Flach auf ein Dach gelegt wird produziert es unabhängig von der Ausrichtung immer gleich viel Energie. Dies kann in der Praxis aus verschiedenen Gründen nicht ausgeführt werden. Zum einen würde sich schnell Schmutz auf der Fläche absetzen und zum anderen könnte das Regenwasser nicht abfliessen. Ohne die Reinigung durch den Niederschlag würde der Wirkungsgrad schnell absinken. Ausdiesem Grund müssen die Module eine leichte Neigung aufweisen. Wird der Neigungswinkel jedoch grösser wird der Faktor der Orientierung wichtiger. Je geringer die Neigung desto weniger entscheidend ist die Orientierung eines Moduls. Da bei einer Neigung von weniger als 10 Grad das Regenwasser nicht mehr gut abfliessen kann und so Gefahr von stehendem Wasser besteht, wird eine Neigung von 10 Grad untersucht.

Himmelsrichtung	Neigung [Grad]	Jahresenergieertrag [kWh/(kWp*a)]
Norden	10	923
Nordost	10	949
Osten	10	1000
Südost	10	1050
Süden	10	1070
Südwest	10	1040
Westen	10	990
Nordwest	10	940

Himmelsrichtung	Summe [kWh/(2*kWp*a)]	Differenz [%]
Norden + Süden =	1993	100%
Nordost + Südwest =	1989	99,799%
Osten + Westen =	1990	99,85%
Südost + Nordwest =	1990	99,85%

Abb. 1: Beweis des 10 Grad Neigungskonzeptes

In der Grafik wird der Jahresenergieertrag von einer Photovoltaik Anlage mit einer Nennleistung von einem 1kWp dargestellt. Als Standort wurde das BGT Immensee im Kanton Schwyz gewählt. Das Konzept ist jedoch nicht Standortabhängig, es kann an jedem Ort verwendet werden. Für die Berechnung des Jahresenergieertrags wurde das online Berechnungstool von PVGIS verwendet. Werden nun die beiden Erträge der Module Addiert welche der entgegengesetzten Himmelsrichtungen Ausgelegt sind. Also immer Norden plus Süden oder Nordost plus Südwest, dann erhält man die Summer des Jahresenergieertrags einer 2kWp Anlage. Beim Vergleich des Ertrags stellt man fest, dass es keine erwähnenswerte Differenz ergibt. Dieses 10 Grad Neigungskonzept wird für die Auslegung der BTG genutzt. So wird ein einheitliches Konzept verwendet welches nicht von der Gebäudeausrichtung abhängt. Zusätzlich ist es auf diese Weise möglich die Dachfläche optimal zu nutzen.

Die Eigenverbrauchs Analyse

In den folgenden Grafiken wird die minimale Leistung des Gebäudes mit dem Erzeugungsprofil der Photovoltaikanlage verglichen. Für das Erzeugungsprofil wurde der Monat Juli gewählt. Der längste Tag im Jahr ist zwar der 21.Juni, jedoch ist die Energieproduktion im Juli höher. In Rotkreuz besteht der Spezialfall, dass die Photovoltaikanlag grösser als 30kWp dimensioniert werden kann. Aus diesem Grund sind in der Grafik zwei unterschiedliche Anlageleistungen dargestellt. Die eine Anlage wurde auf 30kWp begrenzt und die zweite Anlage entspricht der maximalen Auslegung.

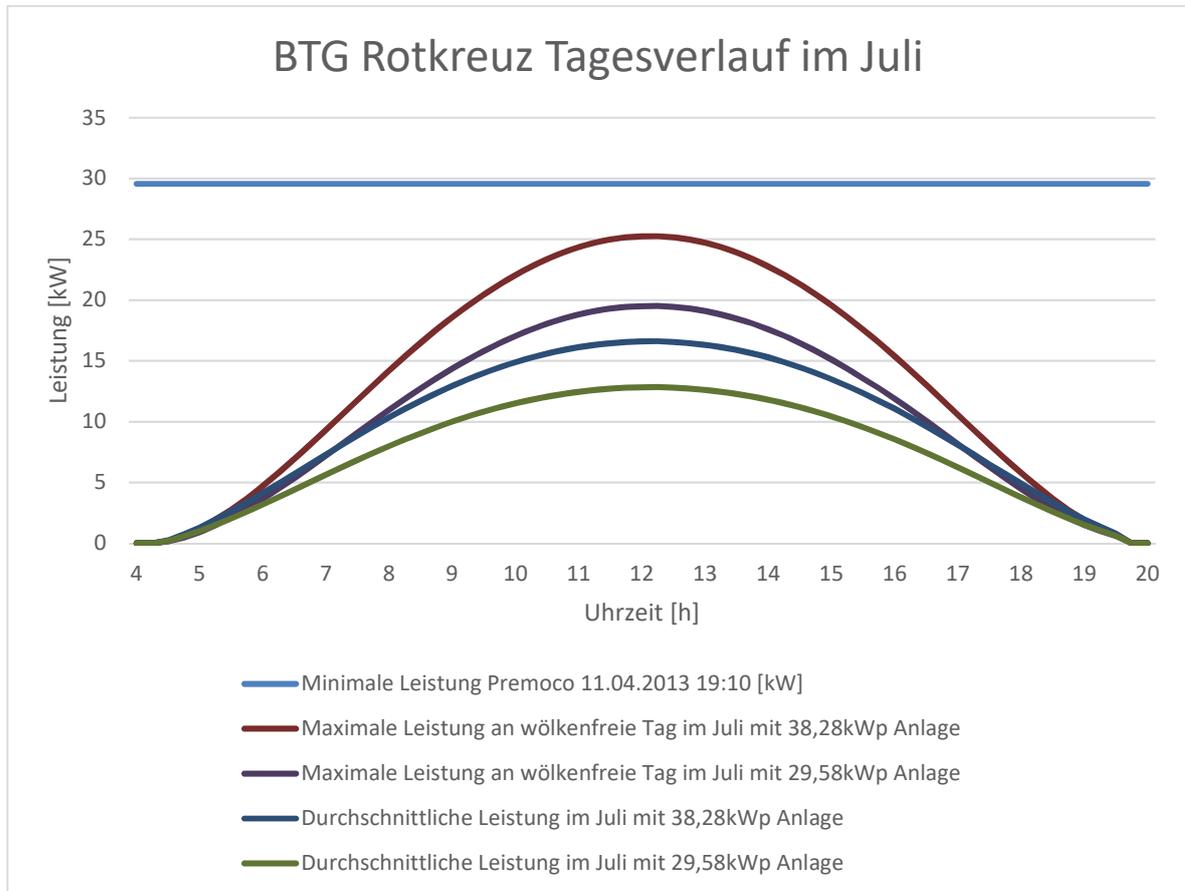


Abb. 2: Tagesverlauf der Photovoltaik im Juli mit der minimalen Leistung des BTG

Aus der Grafik ist ersichtlich, dass die von der Photovoltaik produzierte Leistung die kleinste gemessene Leistung vom gesamten BTG Rotkreuz nicht überschreitet. Somit kann Angenommen werden, dass die gesamte produzierte Energie der Photovoltaik im BTG verbraucht wird.

Die wirtschaftliche Analyse

Aufgrund des hohen Energiebedarfs in Bahntechnikgebäuden ist die Wirtschaftlichkeit von Photovoltaik Anlagen auf den Premoco Gebäuden gewährleistet. Hinzu kommt, dass die Bauten optimale Bedingungen für Photovoltaik Anlagen bieten. Da die Flachdächer neu sind, keine Anschlusskosten notwendig sind, und zu Letzt gut zugänglich sind. Mit diesen Eigenschaften sind viele Vorteile für eine effiziente Installation gegeben.

Mit den Premoco Bahntechnikgebäuden bietet sich für die SBB ein grosse Chance Erfahrung und Knowhow zu sammeln, um einen Grundstein für weiterführende Projekte zu legen. Jedoch darf die SBB nicht zu lange warten, mit dem in Kraft treten des revidierten Energiegesetzes Anfang 2018 werden die Einmalvergütungen nicht mehr zeitnah ausbezahlt. Die Analyse der Arbeit zeigt somit auf, dass die SBB anhand von Photovoltaik Anlagen auf den Premoco Gebäuden einen kosteneffizienten Beitrag zur Umwelt leisten können.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Untersuchen von unterschiedlichen Leitungs- verlegearten in der Stockwerksverteilung

Studierende	An Nhien Nguyen Tran Jonas Wyss
Dozierende	Reto von Euw Stefan Mennel
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Geberit Vertriebs AG, Schachenstrasse 77 8645 Jona SG
Abgabedatum	9. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Untersuchen von unterschiedlichen Leitungsverlegearten in der Stockwerksverteilung

Heute kommen in der Schweiz oft Einzelleitungen als Stockwerksverteilung in Ein- und Mehrfamilienhäusern zum Einsatz. Alternative Verlegearten, wie die Reihen- und Ringleitungen gelten jedoch als geeignete Installationsvarianten, um Druckverluste und Hygienrisiken durch Stagnation zu verringern sowie Installationskosten zu sparen.

Erfolgt die Schlaufung der Entnahmestellen korrekt, kann durch Verminderung von Wasserstagnation die Biofilmbildung reduziert werden. Unbekannt sind bei diesen alternativen Verlegearten die Temperaturschwankungen und die Druckverhältnisse bei unterschiedlichen Zapfprofilen und die Wartezeiten (Ausstosszeiten), bis 40 °C warmes Wasser an den Entnahmestellen fliesst.

Um die Temperatur- und Druckschwankungen, sowie die Ausstosszeiten zu ermitteln, wird ein Grundriss einer 4.5 Zimmer-Wohnung in Betracht gezogen. Diese Wohnung entspricht dem Grundriss der Referenzwohnung, welcher in der Richtlinie W3 zur Anwendung kommt. Im ersten Schritt werden die Leitungen für die verschiedenen Verlegearten dimensioniert und berechnet. Aus der Dimensionierung heraus kann die Ausstosszeit nach SIA 385/1 berechnet werden.

Um die berechneten Werte zu vergleichen, wird im ZIG Labor der Hochschule Luzern ein Laborversuch aufgebaut, welcher den Sanitärapparaten und Massen der Wohnung entspricht. Die gemessenen Werte werden anschliessend mit den berechneten und den zu erwartenden Werten miteinander verglichen und ausgewertet.

Vergleich gemessene Ausstosszeiten Waschtisch

Um die gemessenen Ausstosszeiten miteinander zu vergleichen, wurden sämtliche Messungen in dieser Grafik zusammengefasst. Die Ausstosszeit wurde an dem Waschtisch durchgeführt, welcher mit der Leitungsdimension 12 x 1.8 mm in allen Verlegearten ausgelegt wurde.

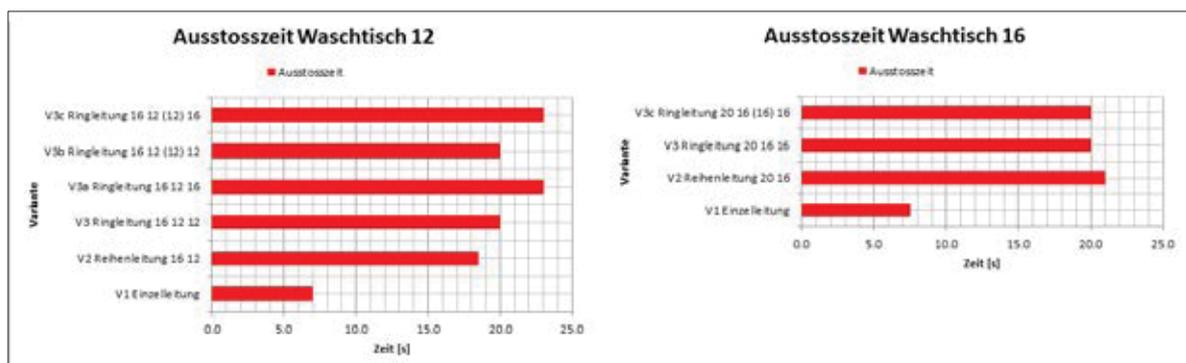


Abb. 1: Vergleich Ausstosszeiten (gedämmter Verteiler mit Anschlussleitung und Armatur)

Die Ausstosszeit konnte nach SIA 385/1 nur bei der Verlegeart Einzelleitung eingehalten werden. Bei der Reihen- und Ringleitung beträgt die Ausstosszeit teilweise über 20 s. Die Ausstosszeit ist auch vom Grundriss abhängig. Um diese möglichst kurz zu halten, ist die Disposition der Entnahmestellen in einer frühen Planungsphase mit dem Architekten einzubeziehen.

Vergleich gemessene Temperaturschwankungen

Die Temperaturschwankungen der Dusche beträgt bei der Verlegeart Reihenleitung (Dusche mit Waschtisch in Reihe angeschlossen) bei Wasserentnahme des Waschtisches (12mm) 2.9 K. Bei der Einzelleitung beträgt diese Variante lediglich 0.8 K. Bei der Ringleitung liegen die Temperaturschwankungen zwischen 1.1 bis 1.7 K, je nach Dimensionierung. Die Temperaturschwankung ist abhängig von der Volumenstromdifferenz von Kalt- und Warmwasser. Mit Entnahmestellen, welche nicht zum Dusche-Strang gehören, sind die Temperaturschwankungen aller Verlegearten ähnlich. Mit Entnahmestellen, welche zum Dusche-Strang gehören, sind die Temperaturschwankungen aller Verlegearten unterschiedlich.

Die Temperaturschwankungen sind von der Ausgangstemperatur abhängig. Im Labor während den Messungen betrug das Kaltwasser zwischen 11 und 13 °C und das Warmwasser zwischen 60 und 62 °C (ab Speicher). Die Messung im Labor hat gezeigt, dass die Temperaturschwankung im Extremfall 4.4 K beträgt. Eine Temperaturschwankung von 4 K ist noch im behaglichen Bereich. In modernen Gebäuden ist die Differenz der Ausgangstemperatur kleiner als im Labor, demzufolge ist die Temperaturschwankung mit noch weniger als 4 K zu erwarten.

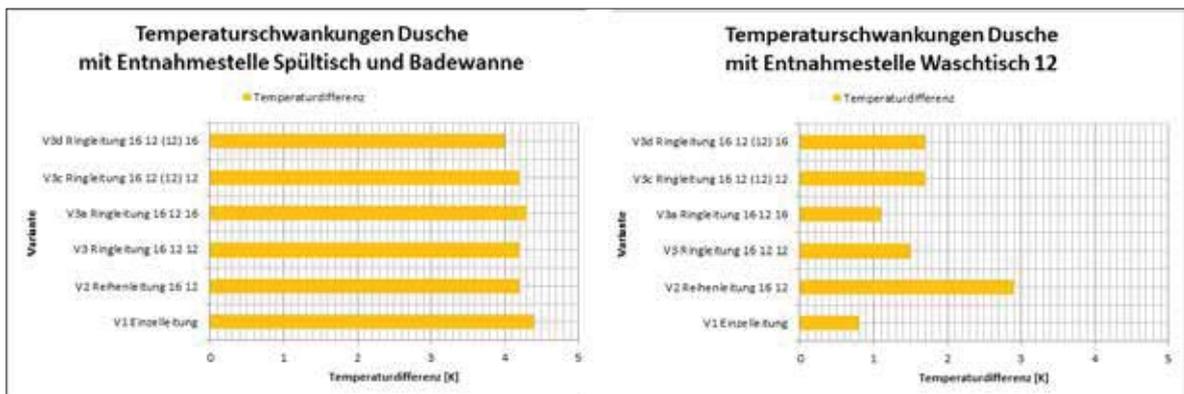


Abb. 2: Vergleich Temperaturschwankungen

Vergleich gemessene Druckschwankungen

Die Druckschwankungen der Dusche betragen bei der Verlegeart Reihenleitung (Dusche mit Waschtisch in Reihe angeschlossen) bei Wasserentnahme des Waschtisches (12 mm) 0.33 bar bei Kalt- und Warmwasser. Bei der Einzelleitung beträgt diese Variante lediglich 0.25 bar. Bei der Ringleitung liegen die Druckschwankungen zwischen 0.25 bis 0.31 bar bzw. 0.20 bis 0.29 bar, je nach Dimensionierung. Die Druckschwankung ist auch abhängig von der Volumenstromdifferenz von Kalt- und Warmwasser. Mit Entnahmestellen, welche nicht zum Dusche-Strang gehören, sind die Druckschwankungen aller Verlegearten ähnlich. Mit Entnahmestellen, welche zum Dusche-Strang gehören, sind die Druckschwankungen aller Verlegearten unterschiedlich.

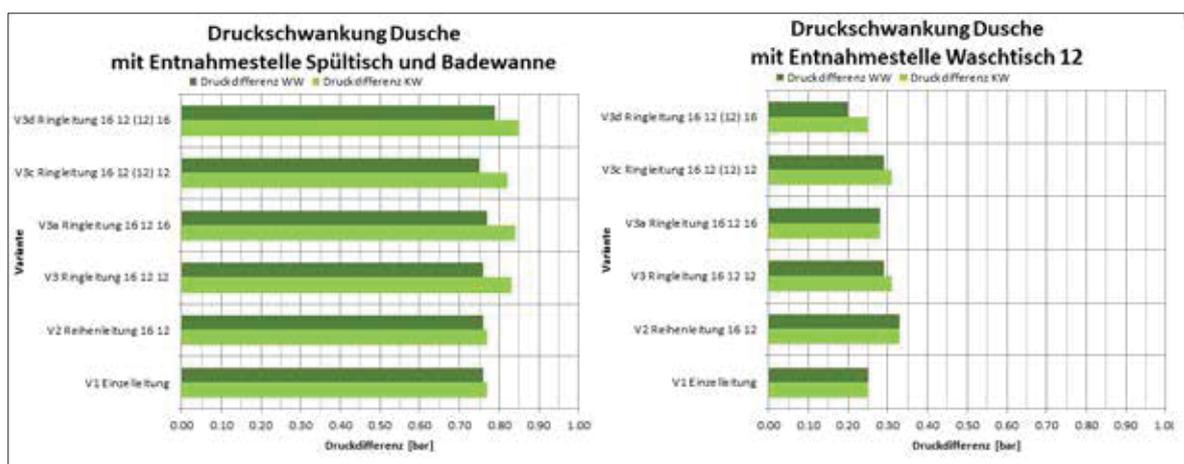


Abb. 3: Vergleich Druckschwankungen

Fazit

Die Messungen im Labor haben ergeben, dass die Verlegeart Einzelleitung (mit eingelegter Anschlussleitung) am besten geeignet ist. Nur mit dieser Verlegeart kann die Ausstosszeit nach der SIA 385/1 garantiert werden. Bei den anderen Verlegarten Ring- und Reihenleitung (mit eingelegter Anschlussleitung) konnte die Ausstosszeit nicht eingehalten werden. Unter Berücksichtigung der Hygiene sind Ringleitungen am besten geeignet, jedoch müsste bei der Ausstosszeit ein Kompromiss eingegangen werden. Wenn nach SIA gebaut wird, müssen die Ausstosszeiten zwingend eingehalten werden. Die Warmwasserentnahmestellen sollten nur dort geplant und eingesetzt werden, wo Warmwasser wirklich benötigt wird.

Die Temperaturschwankungen bei der Verwendung einer Normalbrause sind nicht relevant. Für temperaturempfindliche Personen kann man mit dem Einsatz einer entsprechenden Thermostataratur die Temperaturschwankung minimieren, möglicherweise auch verhindern. Zur Überprüfung dieser Aussage müssten jedoch zu einem späteren Zeitpunkt weitere Messungen zu den Temperaturschwankungen mit den verschiedenen Zapfprofilen an der Verlegeart Einzelleitung durchgeführt werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_19
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Erweiterte DALI-Funktionalitäten bei Beleuchtungsanlagen

Studierende	Marc Fontanive
Dozierende	Prof. Björn Schrader Dr. Olivier Steiger
Experte/-in	Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Moos Licht AG, Täschmattstrasse 27, 6015 Reussbühl Tridonic AG, Obere Allmeind 2, 8755 Ennenda Bühler+Scherler AG, Breitfeldstrasse 13, 9015 St. Gallen
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Erweiterte DALI-Funktionalitäten bei Beleuchtungsanlagen

Spätestens seit der Messe Light+Building 2016 bewirbt die Beleuchtungsindustrie biologisch wirksame Beleuchtungen mit den Begriffen *Human Centric Lighting* und *Tunable White*. Noch fehlen wissenschaftliche Erkenntnisse zur nicht-visuellen Wirkung des Lichts. Dennoch steigt die Nachfrage nach biologisch wirksamen Beleuchtungsanlagen. Für die Projektbeteiligten stellt sich die Frage, wie solche Anlagen mit der meistverwendeten Steuerschnittstelle für Beleuchtungsanlagen, DALI, umgesetzt werden können und was es für sie dabei zu beachten gilt.

Das Ziel von *Tunable White* ist es, mit der Veränderung der Farbtemperatur über einen Bereich von mehreren 1000 Kelvin den Verlauf des Sonnenlichts nachzuempfinden, um die Wachheit, Leistungsfähigkeit, Erholung und somit die Gesundheit und das Wohlbefinden der Menschen positiv zu beeinflussen (Abb. 1).



Abb. 1: *Tunable White* Beleuchtungsanlage IA-Atelier, HSLU T&A Horw (R. Haefliger, HSLU, 2017)

Die Arbeit gibt einen Einblick in die Funktionalitäten von DALI in Bezug auf biologisch wirksame Beleuchtungsanlagen, zeigt die planungsrelevanten Aspekte für die Integration an einem realen Praxisbeispiel und untersucht die Umsetzung einer tageslichtgeführten Farbtemperatursteuerung. Als Resultat enthält die Arbeit einen Planungsleitfaden für die Projektierung, Ausschreibung, Realisierung und den Betrieb von *Tunable White* Beleuchtungsanlagen mit DALI.

DALI - Digital Addressable Lighting Interface

DALI ist eine standardisierte digital adressierbare Schnittstelle für Beleuchtungssteuerungen. Aufgrund der niedrigen Komplexität kommt DALI als eigenständiges System oder als Subsystem eines Gebäudemanagementsystems hauptsächlich auf der Feldebene der Gebäudeautomation zum Einsatz. Durch die erweiterten Anforderungen an die Funktionalität der Kunstlichttechnik wurden die Funktionen von DALI um die Gerätetypen DT6 und DT8 erweitert. *Tunable White* Beleuchtungsanlagen sind mit beiden Gerätetypen realisierbar (Abb. 2).

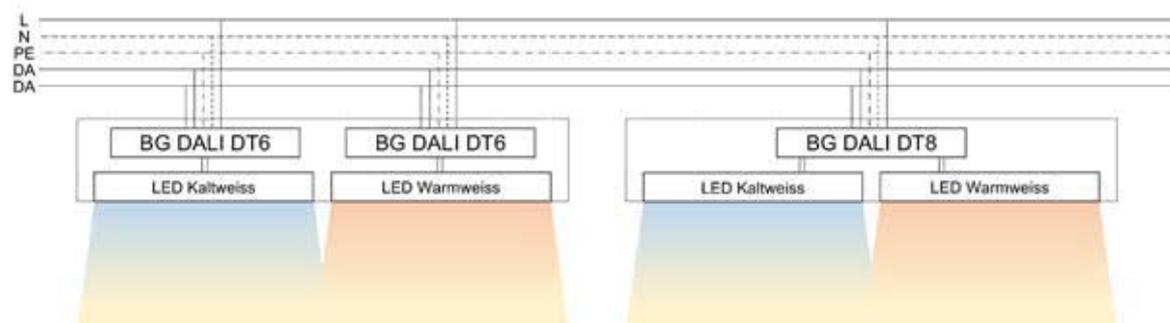


Abb. 2: Systemaufbau *Tunable White* mit Gerätetyp 6 oder Gerätetyp 8 (eigene Darstellung)

Ersatz der Beleuchtungsanlage im Atelier der Innenarchitektur

Im Rahmen der Arbeit wurde der Ersatz der Beleuchtungsanlage im Atelier der Innenarchitektur begleitet und die DALI-Steuerung der neuen Beleuchtungsanlage in Bezug auf die eingesetzte Technik, den vorangehenden Planungsprozess, die Inbetriebnahme und die Bedienbarkeit analysiert. Die Untersuchung umfasst die Funktionen zur Farbdarstellung mit DALI als eigenständiges System oder als Subsystem eines übergeordneten Gebäudemanagementsystems.

Mit dem Einsatz von *Tunable White* Beleuchtungsanlagen stellt sich die Frage, welche Farbtemperatur zu welcher Uhrzeit eingestellt werden, von welchen Faktoren die Einstellung abhängig sein sollte und wer die Verantwortung für mögliche Auswirkungen, wie zum Beispiel die Verschiebung des circadianen Rhythmus der Nutzer, trägt. Noch fehlen umfangreiche wissenschaftliche Erkenntnisse zur nicht-visuellen Wirkung des Lichts, um Aussagen über einen Farbverlauf für einzelne Anwendungsbereiche machen zu können. Bewiesen ist, dass Licht unseren Tages- und Nachtzyklus beeinflusst und dabei unsere innere Uhr synchronisiert.

Tageslichtgeführte Farbtemperatursteuerung mit DALI

Der Ansatz der tageslichtgeführten Farbtemperatursteuerung vereinfacht die Verantwortlichkeit der Farbeinstellung, in dem die Farbtemperatur des Sonnenlichts als Referenzgrösse auf der Anlage umgesetzt wird. Die Untersuchungen zeigen die technische Umsetzung, die Integrierbarkeit in die bestehende Infrastruktur, ein Konzept zur Verarbeitung der Sensordaten und erste Praxistests.

Die Realisierung einer tageslichtgeführten Farbtemperatursteuerung ist mit einer reinen DALI-Anlage derzeit aufgrund fehlender Steuergeräte und Sensorik mit DALI-Schnittstellen nicht möglich. Die Integration einer speicherprogrammierbaren Steuerung (SPS) als Drittsteuerung ermöglicht die schnittstellenübergreifende Kommunikation von Steuerfunktionen. Das Konzept sieht vor, die Farbtemperatur des Tageslichts zu messen (Abb. 3), die Messwerte zu verarbeiten und über die DALI-Schnittstelle auf die Anlage zu versenden, um so eine tageslichtgeführte Farbtemperatursteuerung in die bestehende Anlage zu integrieren.

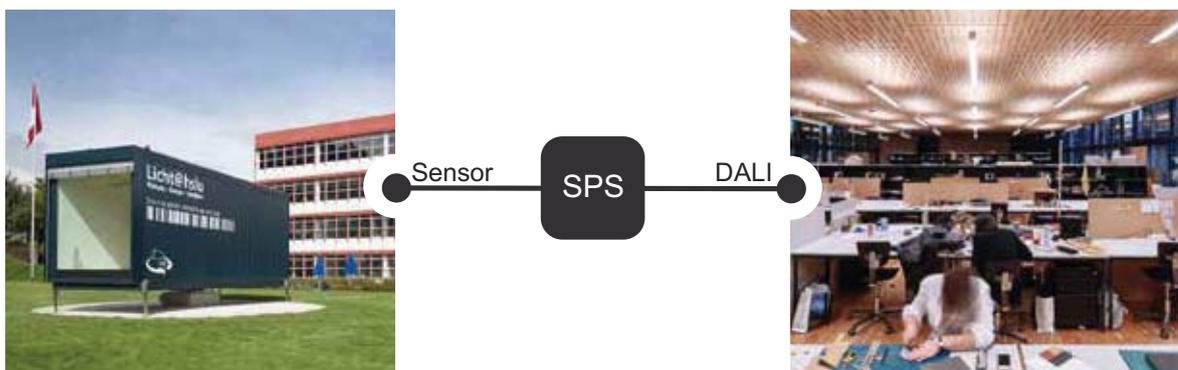


Abb. 3: Konzept tageslichtgeführte Farbtemperatursteuerung mit DALI (eigene Darstellung)

Die Untersuchungen zeigen, dass sich *Tunable White* Anlagen mit DALI technisch flexibel und individuell realisieren lassen. Im Vergleich zu konventionellen DALI-Steuerungen gilt es für die Projektbeteiligten durch die erweiterte Farbfunktionalität in allen Phasen eines Projekts einige Punkte zu beachten. Der Planungsleitfaden für *Tunable White* Beleuchtungsanlagen mit DALI fasst die Erkenntnisse und Empfehlungen für die Projektbeteiligten zusammen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_20
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

2/4-Leitersystem in technischer / wirtschaftlicher Betrachtung bei unterschiedlichen Nutzerkonstellationen und Anschlusswilligkeiten

Studierende	Christian Grab Joshua Creti
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Prof. Dr. Axel Seerig
Experte	Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Daniel Kaufmann, Hans Abicht AG, Industriestrasse 55, 6300 Zug)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

2/4-Leitersystem in technischer / wirtschaftlicher Betrachtung bei unterschiedlichen Nutzerkonstellationen und Anschlusswilligkeiten

Die Stadt Zug nimmt die Energiestrategie 2050 ernst und setzt auf erneuerbare Seewasserenergie. Diese ist mittels Wärmepumpe (WP), Kältemaschine (KM) oder im freecooling Betrieb im Energieverbund an die Verbraucher der Stadt Zug zu liefern. Die Realisierung und das Contracting übernimmt das Wasserwerk Zug (WWZ).

Die Aufgabe besteht darin, ein 2-Leitersystem und ein 4-Leitersystem für diese Seewassernutzung in technischer und wirtschaftlicher Sicht, unter Berücksichtigung verschiedener Nutzerkonstellationen, zu vergleichen. Zu versorgen sind die Zonen 1.1 bis 2.3, welche in der Abbildung 1 ersichtlich sind. Ziel ist es, eine Aussage zu machen, welches Verteilsystem, aus Sicht des Contractors, sich am besten für den Energieverbund Zug eignet.



Abb. 1: Zonenaufteilung Stadt Zug

Methodik

In einem ersten Schritt ist eine Analyse über das Nutzen von Seewasser aus technischer Sicht zu erstellen. Mit diesem Wissen erfolgt die Ausarbeitung der Schemata für das 2/4-Leitersystem. Anhand der Schemata und der Grobdimensionierung des Verteilnetzes ist eine Simulation mit dem IDA Indoor Climate Energy (ICE) Programm durchzuführen. Die Simulation liefert Kenntnisse über den elektrischen Strombedarf der Versorgungspumpen und der Kompressoren, sowie über die thermischen Leitungsverluste. Die Resultate fließen dann in die Wirtschaftlichkeitsberechnung ein. Mittels dieser Betriebskosten, den Unterhaltskosten- und einer Investitionskostenabschätzung sind die zwei Systeme aus wirtschaftlicher Sicht über 30 Jahre zu vergleichen. Welches System sich am besten für den Energieverbund Zug eignet, ist anhand dieser Vergleiche zu bestimmen.

Resultate

Die Analyse hat ergeben, dass im 2-Leitersystem auf eine Niedertemperaturwärmepumpe zu setzen ist. Diese hebt den gemeinsamen Vorlauf auf 10°C an. Durch die grössere Temperaturdifferenz

reduziert sich der elektrische Strombedarf der Versorgungspumpen. Die Anhebung auf die erforderlichen Systemtemperaturen erfolgt dezentral bei den Verbrauchern. Im warmen 4-Leitersystem ist eine zentrale Hochtemperaturwärmepumpe die eine Systemtemperatur von 75°C bringt. Im kalten 4-Leitersystem sind dezentrale KM vorgesehen, welche die Systemtemperaturen bei Bedarf zusätzlich senken. Adaptiert in die Simulation haben sich folgende Resultate ergeben. Die thermischen Verluste tragen, bezogen auf die Nutzenergie von 79'616MWh/a im 2-Leitersystem mit 1.6% thermischem Gewinn und im 4-Leiternetz mit 2.5% thermischem Verlust, zu buche. Das 2-Leitersystem hat einen elektrischen Energiebedarf für den Pumpenstrom der Versorgungspumpen und für die Kompressoren der WP und KM von 25'236MWh/a. Einen grösseren elektrischen Energiebedarf von 33'329MWh/a hat das 4-Leitersystem. In der wirtschaftlichen Betrachtung über 30 Jahre belaufen sich die Kosten für das 2-Leitersystem auf 134 Millionen CHF und für das 4-Leitersystem auf 140 Millionen CHF. Dies ergibt eine Differenz von 6 Millionen CHF. Für einen Contractor ist es wichtig, dass er seine Investitionskosten so tief wie möglich halten kann und diese so schnell wie möglich Rendite abwerfen. Um dies zu gewährleisten ist ein System von Vorteil, dass die grossen Investitionskosten am Ende der Energiekette hat. Die hohen Investitionskosten des 2-Leitersystems liegen bei den dezentralen Wärmeerzeugern und somit am Ende der Energiekette. Beim 4-Leitersystem ist dies umgekehrt, denn die grossen Kosten fallen hier bei der Energiegewinnung, Energieerzeugung und Energieverteilung an.

Fazit

Die Empfehlung ist die Umsetzung eines 2-Leitersystems. Dies, da es aus energetischer Sicht effizienter, in der wirtschaftlichen Betrachtung kostengünstiger und aus Sicht des Contractors flexibler ist. Der grössere exergetische Aufwand für das 4-Leitersystem ist für das schlechtere Abschneiden aus energetischer Sicht ausschlaggebend. In der Abbildung 2 ist dies anhand eines Rechenbeispiels ersichtlich. Das 4-Leitersystem benötigt im Rechenbeispiel 1.8 MW Leistung mehr als das 2-Leitersystem.

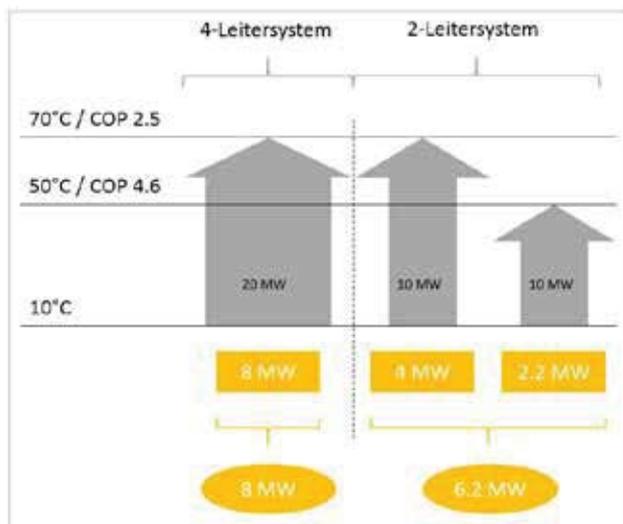


Abb. 2: Exergetischer Vergleich 2/4-Leitersystem

Es ist ersichtlich, dass ein Verteilsystem dessen Erzeugung auf die spezifischen Verbraucher-temperaturen ausgelegt sind, sinnvoll ist. In Bezug auf die Seewassernutzung für die Stadt Zug macht es also Sinn, mit einem 2-Leitersystem bis zum Verbraucher zu fahren und dort die Energieerzeugung zu platzieren. Dies kann eine Unterstation sein die ein ganzes Areal versorgt oder eine einzelne Hausstation.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_21
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Einbindung von Ladestationen in die Gebäudeinfrastruktur

Studierende	Andreas Egli Lukas Flück
Dozierende	Prof. Volker Wouters Roger Buser
Experte/-in	Dr. Stephan Schnez
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Matthias Vogelsang, HHM, 5001 Aarau)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Einbindung von Ladestationen in die Gebäudeinfrastruktur

Die individuelle Mobilität befindet sich im Wandel. Neben herkömmlichen verbrennungsmotorbetriebenen Fahrzeugen erscheinen vermehrt auch Hybrid- und Elektrofahrzeuge im Individualverkehr. Diese Entwicklung ist nicht nur der Politik, welche sich für eine CO₂-neutrale Fortbewegung einsetzt, zu verdanken, sondern auch der allgemeinen gesellschaftlichen Entwicklung hin zu nachhaltigem Umgang mit den vorhandenen Ressourcen. Auch die technische Weiterentwicklung der Elektrofahrzeuge in den letzten Jahren spricht für eine Anschaffung. Die Qualität sowie Zuverlässigkeit der Fahrzeuge steigen stetig, sodass heute Elektroautos mit herkömmlichen Fahrzeugen konkurrenzieren können. Damit die Elektrofahrzeuge mit Energie versorgt werden können, benötigen sie Ladestationen. Diese können sich sowohl im privaten als auch halböffentlichen oder öffentlichen Raum befinden. Untersuchungen in der Bachelorarbeit "Einbindung von Ladestationen in die Gebäudeinfrastruktur" zeigen die Folgen der Integration einer Flotte von Elektroautos in unterschiedliche Bautypen. Das Aufzeigen der durch die Ladung der Fahrzeuge entstehenden Lastgänge im Verhältnis zur Gebäudeleistung steht zu diesem Zweck im Vordergrund.

Verschiedene Organisationen in der Schweiz, so auch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK), der Touring Club Schweiz (TCS) oder auch die Ladestationsvertreiber sind bestrebt, Prognosen betreffend Entwicklungen im Elektromobilitätsmarkt zu erstellen. Diverse Rahmenbedingungen werden dabei als Potenzial für weitere positive Entwicklungen in der Elektromobilität gesehen. Hierzu zählen allfällige Quantensprünge in der Batterieentwicklung, schärfere Energiegesetze und Subventionen, Strategien der Automobilhersteller, Alltagsauglichkeit bezüglich Reichweite und Ladeinfrastruktur, Kosten für Elektrofahrzeuge (EV) und Batterien sowie die Entwicklungen der Städte in der Zukunft. In der Schweiz ist die Energiestrategie 2050 grosser Treiber für die Förderung der Elektromobilität, vergleiche hierzu Abbildung 1, welche eine mögliche Entwicklung des Elektrofahrzeug-Bestandes gemäss UVEK darstellt. Somit darf bis ins Jahr 2050 mit rund 30% Elektroautos gerechnet werden und durch entsprechende Förderprogramme sogar mit einem Anteil von über 40% Elektromobile, gemessen am Gesamtbestand an Fahrzeugen. Wichtig zu wissen ist, dass die meisten Autonutzer heute deutlich weniger als 40 km Arbeitsweg auf sich nehmen und somit nicht unbedingt an eine höhere Reichweite gebunden sind. Auffällig ist auch, dass beinahe 80 % aller Auto-Pendler weniger als 20 km Arbeitsweg haben (vgl. Abb. 2). Ein weiterer in allen Verkehrsbetrachtungen zu beachtender Fakt ist, dass 95 % aller Fahrzeuge im Alltag stillstehen und somit nicht verwendet werden.

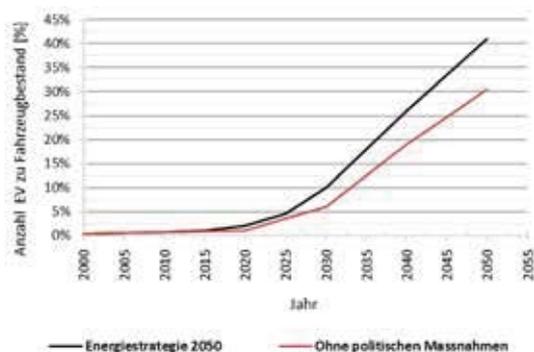


Abb. 1: Anteil EV gemessen am Fahrzeug-Bestand

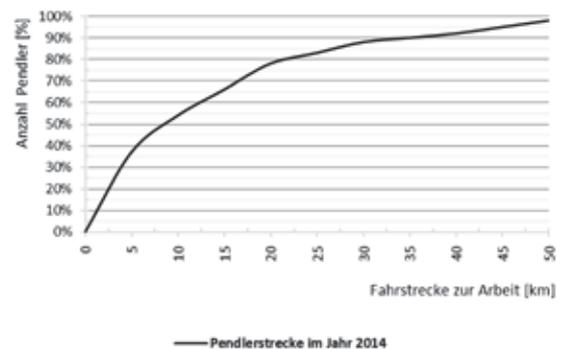


Abb. 2: Durchschnittliche Pendlerstrecke Schweiz

Einbindung von Ladestationen in die Gebäudeinfrastruktur

Simulationsprogramm

Die Einbindung von Elektroladestationen in die Gebäudeinfrastruktur unterliegt verschiedenen Hindernissen. Die maximal mögliche Bezugsleistung der Gebäude ist durch ihren Hausanschluss begrenzt. Wenn jedoch Elektroladestationen in Bauten integriert werden, besteht die Möglichkeit, dass die verfügbare Gebäudeleistung überschritten wird. Dies hat im schlimmsten Fall einen Stromausfall zur Folge oder bringt unnötig hohe Kosten für Spitzenleistungen mit sich. Verschiedene Verhaltensweisen von unterschiedlichen Nutzern sowie unterschiedliche Gebäudetypen beeinflussen die Dimensionierung der Ladeinfrastruktur. Im Umfang der Bachelor-Thesis entwickelten die Diplomanden hierzu ein Berechnungstool, welches allfällige Probleme bei der Integration von Ladestationen in die Gebäude aufzeigt. Probleme entstehen, wenn zu viele EV an einem Gebäudeanschluss gleichzeitig geladen werden. Die Grundlage dieses Simulations-Tools bilden bekannte Standard-Gebäudelastprofile für unterschiedliche Gebäudetypen wie Büro, Spital, Hotel, Wohnbauten, Einkaufszentren etc. Die Nutzung der Elektrofahrzeuge ist extrem variabel. Je nach Nutzung kann die tägliche Fahrstrecke, der Energieverbrauch oder die Standzeit deutlich abweichen. Um dieses unterschiedliche Nutzerverhalten im Simulations-Tool abzubilden, sind diese Nutzerverhalten standardisiert. Resultiert sind die Nutzertypen vergleichbar mit dem Elektrofahrverhalten von Hausfrau/-mann, Sachbearbeiter/-in, Projektleiter/-in und Einsatzfahrzeugen. Mit diesen Nutzertypen sind etliche Konstellationen von Elektrofahrzeug-Flotten darstellbar. Entscheidend für eine realitätsnahe Darstellung der Leistungskurven in einem Gebäude sind die hinterlegten Daten betreffend Ladepriorität, maximale Ladeleistung, gewünschte Energie bei Abfahrt und Ladezustand bei Ankunft. Hierzu betrachtet das Simulations-Tool den definierten schlimmsten Fall (worst-case), was bedeutet, dass die Fahrzeuge mit einem Ladestand der Batterie von lediglich 30% am Gebäude erscheinen und diese bis zum Verlassen 100% geladen sein müssen. Das Ankommen und Verlassen an der Immobilie kann je nach EV-Nutzertyp mehrmals täglich erfolgen (beispielsweise bei Nutzerverhalten Projektleiter/-in) oder auch nur einmalig (beispielsweise Nutzerverhalten Sachbearbeiter/-in)

Ergebnisse am Beispiel Bürobau

Der untersuchte Bürokomplex erstreckt sich über drei Stockwerke, wobei diese jeweils an unterschiedliche Mieter vergeben sind. Die Stockwerke sind durch den jeweiligen Mieter verschieden ausgebaut. Von den total 96 Mitarbeitern reisen 42 mit dem Auto zur Arbeit an, teils mit Geschäftsfahrzeugen, teils mit Privatfahrzeugen. Ein beträchtlicher Teil nutzt die Geschäftsfahrzeuge nur für Aufträge während des Tages. Die Annahme für den Bürobau ist, dass sich alle Mietparteien zu einem Pilotprojekt vereinen. In diesem Projekt wollen sie die Teilelektrifizierung ihrer Fahrzeugflotte prüfen. Die zur elektrifizierende Flotte, ca. 30% der gesamten Flotte, ist definiert mit 23 Elektrofahrzeugen bestehend aus den Nutzertypen Hausfrau/-mann (10), Sachbearbeiter/-in (5) und Projektleiter/-in (8). Das Simulationsresultat in Abbildung 3 zeigt, dass mit der definierten Flotte im worst-case die maximale Gebäudeleistung dreimal täglich überschritten wird und diese Umsetzung so nicht möglich ist. Deshalb sind im Berechnungsprogramm einige Optimierungsschritte implementiert. Diese Schritte erlauben durch Priorisierung der Nutzertypen, Anpassung der Ladeleistung, zeitliche Umverteilung und Sperrung eine bessere Verteilung der notwendigen Ladeleistung. Die Optimierungsschritte reduzieren die Leistungsspitze von 225 kW, des schlimmsten Falles, auf eine Amplitude von ca. 140 kW. Trotzdem werden noch alle unterschiedlichen Elektromobile mit genügend Leistung und Energie versorgt und Komforteinbussen sind nicht zu erkennen. Erst die Herabsetzung der Lastspitze ermöglicht eine allfällige Realisation, ohne dass die bestehende Netzanschlussstelle des Energienetzbetreibers vergrössert oder umgebaut werden muss. Somit lassen sich unnötige Ausbaurkosten vermeiden. Bei einer Umsetzung ohne Last-Management liegen die Investitions- und auch die jährlichen Energiekosten zwischen 40 und 50 % höher als bei einer optimierten Variante inklusive intelligentem Last-Management. Aus ökonomischer und technischer Sicht ist ein optimierter Ladevorgang immer sinnvoll und es gilt, ihn in jedem Fall anzuwenden.

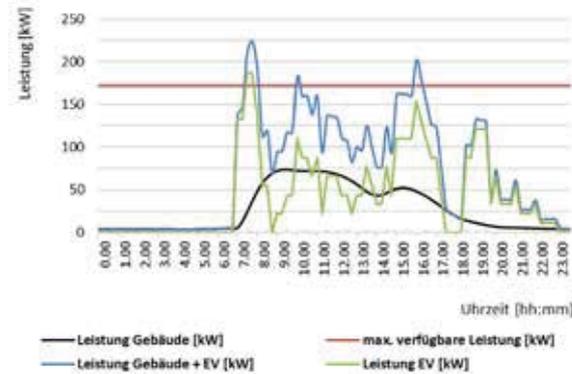


Abb. 3: Leistungsbedarf worst-case Bürobau

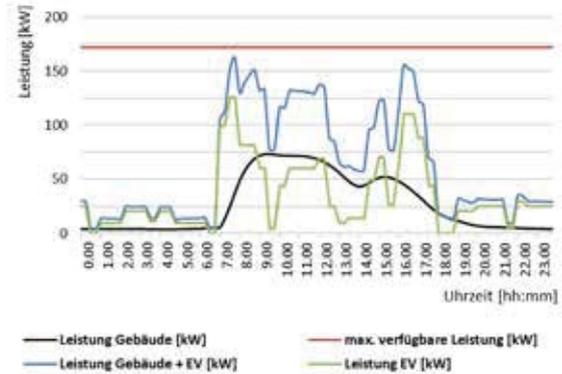


Abb. 4: Leistungsbedarf optimiert Bürobau

Fazit und Ausblick

Das gesteckte Ziel der Entwicklung einer Planungs- und Dimensionierungshilfe zur Einbindung von EV-Ladestationen ist mit der Bachelor Diplomarbeit "Einbindung von Ladestationen in die Gebäudeinfrastruktur" erreicht. Weiter zeigt diese auch die Möglichkeiten für zukünftige Entwicklungen. Das resultierte Simulationstool kann eine grosse Hilfe bei der Planung und Umsetzung einer Elektroauto-Flotte sein. Um sinnvolle Aussagen treffen zu können, ist jedoch die Kenntnis bezüglich Gebäude und Nutzerverhalten zwingend. Je genauer die externen Inputs bekannt sind, desto besser können die Folgen der Integration einer EV-Flotte ins Gebäude betrachtet werden. Die Resultate bilden den Grundstein für Überlegungen zur Ladestrategie und Implementierung im Bauwerk, sind jedoch stark standardisiert und verallgemeinert. Die Betrachtung in verschiedenen Projekten hat spezifisch zu erfolgen und kann nicht direkt aus den Resultaten der Thesis abgeleitet werden.

Die Kommunikation zwischen den Ladestationen ist für ein übergeordnetes Lademanagement elementar. Durch die Etablierung standardisierter Lademanagementsysteme, im Speziellen des OCPP Protokolls und des ISO/IEC 15118, werden die Ladestrategien der Zukunft intelligenter (vgl. Abb. 5). Das heute kurz vor der Marktreife stehende OCPP 1.6 ermöglicht hier schon erste sinnvolle Ansätze. Für vollends smarte Ladestrategien inklusive kurzfristigen Leistungs- und Ladekapazitätsprognosen sind aber mindestens Gedankengänge aus dem OCPP 2.0 Standard erforderlich. Dieser erscheint in den kommenden Jahren und bietet markant mehr Funktionen für smarte Ladestrategien. Die Betrachtung einer smarten EV-Ladestrategie kann für das individuelle Gebäude einen grossen Mehrwert bieten. Noch grösser ist aber das Potenzial eines gesamtheitlichen Zusammenspiels der Leistungen vom Gebäude über das Areal bis zum nationalen und internationalen Energieverteilnetz sowie die Zusammenführung von Energieerzeugungsanlagen wie Photovoltaik, Blockheizkraftwerke und Speichermöglichkeiten.

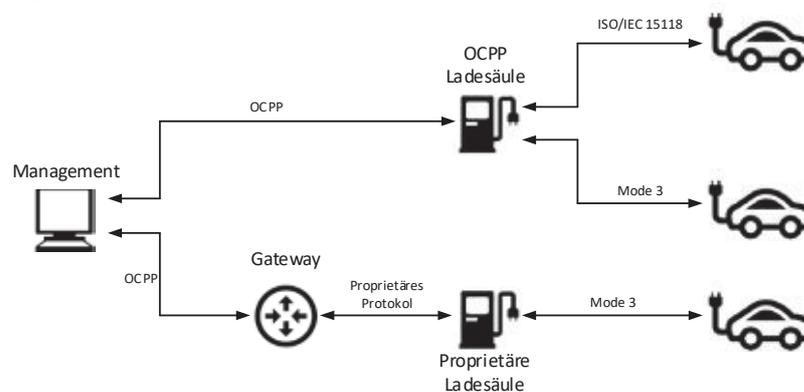


Abb. 5: Übersicht Kommunikationsprotokolle EV- Management



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_22
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Energieeffiziente Behaglichkeit mit Kühl- und Heizdecken

Studierende	Stefan Gebhardt Halil Mila
Dozierende	Prof. Gerhard Zweifel Prof. Werner Betschart
Experte/-in	Dr. Prof. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Michel Wenger, Barcol-Air, 8603 Schwerzenbach)
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Energieeffiziente Behaglichkeit mit Kühl- und Heizdecken

Behagliche Raumtemperaturen sind besonders in Bürobauten essenziell, um produktiv zu arbeiten. Der hohe technische Ausstattungsgrad und die arbeitenden Personen generieren interne Wärmelasten. Hohe Glasanteile der Fassade und fehlende aussenliegende Sonnenschutzsysteme fügen dem Raum zusätzliche externe Lasten zu. Ohne ein Kühlsystem bewegen sich die Raumtemperaturen in den Sommermonaten oberhalb der Behaglichkeitsgrenze.

Herkömmliche Kühldeckensysteme führen die Wärme während dem Bürobetrieb leicht zeitverzögert ab. Dabei entstehen hohe Leistungsspitzen, die nur über kurze Zeit benötigt werden. Die gesamte Kälteanlage ist auf diese Spitze auszulegen.

Hybridkühldeckenmodul

Hybridkühldeckenmodule bieten die Möglichkeit, durch Anbindung an die Betonfläche diese zu aktivieren und als Massenspeicher zu verwenden. Mit der Massenaktivierung kann die Kühlleistung zeitversetzt an den Raum abgegeben werden. Der Nutzenergiebedarf bleibt dabei gleich. Jedoch verlängert sich die Laufzeiten der Kühldecke. Folglich ergibt sich eine geringere Lastspitze, wobei die Dimensionierung der Kälteanlage kleiner ausfällt. Die Betonmasse wird als Kältespeicher genutzt und nimmt die thermischen Lasten, welche über den Tag anfallen, auf. Die Unterseite der Kühldecke kann zusätzlich bei Bedarf beigeschaltet werden. Die Masse des Betons erwärmt sich über den Tag und nimmt Wärme aus dem Raum auf. In den Nachtstunden, wenn geringe bis keine Lasten anfallen, kann der Beton wieder abgekühlt.

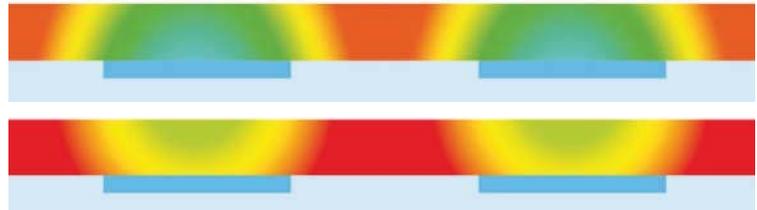


Abb. 1: thermische Ladung und Entladung der Betondecke (Barcol-Air)

Simulationsprogramm

Durch das Simulationsprogramm IDA bietet sich die Möglichkeit dynamische Berechnungen durchzuführen. Mit den hinterlegten Klimadaten und dem Kälteanlagenmodell ist eine umfassende Energieauswertung möglich. Daher ist das Simulationsprogramm Hauptbestandteil dieser Arbeit. In der ersten Phase wird im Simulationsprogramm die Validierung des Laborraums von der Firma Barcol-Air und den Kühldeckensystemen durchgeführt. Dabei werden folgende Kühldeckensysteme untersucht:

- Strahlungskühldecke
- Deckenkühlsegel
- Hybridkühldeckenmodul

Dazu sind die Ergebnisse aus der Simulation mit den Messwerten im Laborraum abzugleichen. Die validierten Kühldeckenmodelle werden von der Laborbedingung in ein Referenzobjekt mit realen Bedingungen integriert. Zusätzlich kommt die Kälteerzeugung mit der Verteilung hinzu, um eine komplette Kälteanlage darzustellen. Der Klimakältebedarf und der Energieverbrauch werden mit dem Simulationsprogramm berechnet und für die Wirtschaftlichkeit verwendet.

Simulation Laborraum Barcol-Air

Im Laborraum von der Firma Barcol-Air werden Messungen von verschiedenen Kühldeckensystemen durchgeführt. Der Laborraum ist folgendermassen aufgebaut:

1. Laborraum
2. Klimaraum
3. Zwischenraum
4. Umliegende Räume

Die umliegenden Flächen des Laborraums bestehen aus zwei Wänden und zwei Fassaden, die komplett verglast sind. Ausserhalb der Verglasung ist der Klimaraum (2), der bei Messungen für die Behaglichkeit die Raumkonditionen verändert. Während den Messungen war der Klimaraum jedoch nicht aktiv. Der grosse Bereich stellt das Büro und somit den für die Messung relevanten Raum dar. Der kleine Bereich gilt als Zwischenraum (3). Um den Laborraum befinden sich die umliegenden Räume der Firma Barcol-Air. Die rot markierten Seiten sind Fassaden von den umliegenden Räumen zum Aussenklima.

Ziel der Simulation war es durch die Generierung des Raummodells mit Berücksichtigung der Kühldeckenmodelle die Messwerte zu erreichen. Durch die erste Validierung mit den Strahlungskühldecken war das weitere Vorgehen andere Kühldeckensysteme in den Raum einzubauen, um so die Kühldecke anzupassen bis diese validiert sind. Jedoch sind durch fehlende Angaben der äusseren Einflüsse und gewisse fehlende veränderbare Parameter im Programm die Validierung nicht komplett abgeschlossen, sodass immer eine gewisse Fehlertoleranz bei den weiteren Kühldeckensystemen vorhanden ist. Demzufolge ist das Modell des Hybridkühldeckenmoduls in diesem Stand nicht ganz ausgereift. Um das Modell des Hybridkühldeckenmoduls komplett zu validieren, ist es nötig die genauen Raumkonditionen im und um den Raum während der Messdauer zu kennen. Da im momentanen Kühlelement im Simulationsprogramm die Parameter Wärmedurchgangskoeffizient und Konvektions- (α -Wert) sowie Strahlungsanteil intern berechnet wird, wäre ein weiteres Vorgehen diese im Falle einer Umprogrammierung zu verändern. Mit Berücksichtigung der Fehlertoleranz ist diesen Kühldeckensystemen in den nächsten Simulationen weiter verwendet worden.

Simulation Referenzobjekt

Das Ziel im Referenzobjekt war durch das Integrieren der verschiedenen Kühldeckensysteme und der Kälteerzeugung im Simulationsprogramm die Energieeffizienz der Systeme zu überprüfen und den Endenergiebedarf in der Wirtschaftlichkeitsberechnung einfließen zu lassen. Jedoch ist nach mehrmaliger Überarbeitung des Modells die Simulation ohne Ergebnisse abgebrochen worden, da die Temperaturen im Rückkühlkreis keine realistischen Werte aufweisen. Die Temperaturen variierten zwischen 11 und 18°C, obwohl Temperaturen zwischen 40 und 45°C zu erwartet sind. Ausserdem sind durch die Integration des Modells des Hybridkühldeckenmoduls Fehlermeldungen generiert worden. In einer weiterführenden Arbeit wäre es möglich die Fehler im Simulationsprogramm zu überprüfen und zu überarbeiten, damit der Energiebedarf entnommen werden kann.

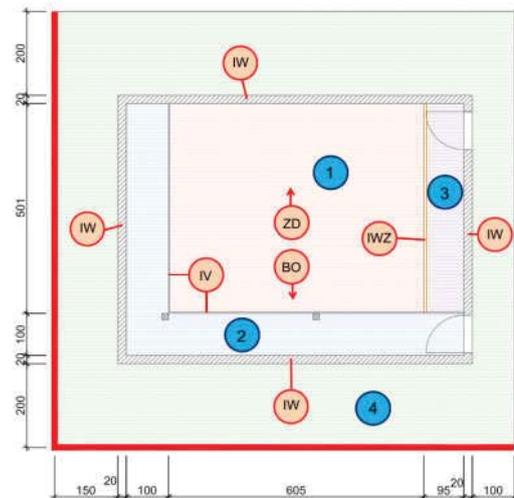


Abbildung 2: Grundriss Laborraum

Wirtschaftlichkeit

Mittels Wirtschaftlichkeitsberechnung lassen sich die drei Kühldeckensysteme untereinander vergleichen. Die Kosten sind nicht nur auf die Investition zu begrenzen, sondern ganzheitlich über die Lebensdauer zu betrachten.

Die Strahlungskühldecke und das Deckenkühlsegel haben fast gleich hohe Investitionskosten pro aktive Deckenfläche. Da die benötigte Kühldeckenfläche für das Segel geringer ist, sind dementsprechend auch die Kapitalkosten geringer. Das Hybridkühldeckenmodul benötigt die geringste Fläche, ist jedoch bei der Anschaffung am teuersten.

Die drei Kühldeckensysteme sind auf 15 Jahre Betriebsdauer miteinander verglichen. Dazu wurden die jährlichen Kapital- und Energiekosten addiert und über die Jahre auf multipliziert. Trotz den tieferen Energiekosten und einer um 20% kleineren Kälteerzeugung ist das Hybridkühldeckenmodul weiterhin die teuerste Variante. Der Einfluss der Energiekosten ist für die Gesamtkostenbetrachtung zu gering. Experten gehen jedoch davon aus, dass der Strompreis in Zukunft tendenziell ansteigen wird. Steigende Stromkosten würden für das Hybriddeckenmodul sprechen.



Abbildung 3: Variantenvergleich der Gesamtkosten nach 15 Jahre Betriebszeit

Ausblick

Hohe solare Lasten führen gleichzeitig zu hohen Kälteleistungen. Mit der Energiestrategie 2050 ändert die Energieerzeugung zu erneuerbaren Energien. Es stellt sich die Frage, ob es sinnvoll ist die Kältemaschine in der Nacht laufen zu lassen, wenn kein Solarstrom vorhanden ist.

Nach Bearbeitung dieser Arbeit wäre ein weiterer Schritt die definitive Validierung des Laborraums inklusive der Umprogrammierung der Kühlelemente, um fehlende Parameter einstellen zu können. Dadurch wird es besser möglich sein, das noch unausgereifte Modell für das Hybridkühldeckenmodul so zu überarbeiten, dass es in jedes Objekt integriert werden kann. So kann der definitive Energiebedarf aus dem Simulationsprogramm entnommen und in der Wirtschaftlichkeitsberechnung berücksichtigt werden.

Weitere zu bearbeitende Themen wären die Überprüfung der Behaglichkeit bei typischen Büroräumen. Dazu sind bereits Raummodelle erstellt worden. Für die Überprüfung der Behaglichkeit kann eine CFD-Simulation (Computational Fluid Dynamics) in Betracht gezogen werden.

Ein weiterer zu untersuchende Punkt wäre, wie sich die indirekte Betonaktivierung bei einem Deckenkühlsegel verhält. Durch die offene Bauart dieses Kühldeckensystems wird stets durch die Konvektion und Strahlung die Raumdecke aktiviert, jedoch ist nicht bekannt, wie diese berücksichtigt werden kann. Durch das Temperaturgefälle ist ein Betrieb für ein paar Stunden in der Nacht anzudenken, wo die Leistungsabgabe an den Raum noch hoch ist.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_23
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Energieautarkes Restaurant auf 3020 m.ü.M.

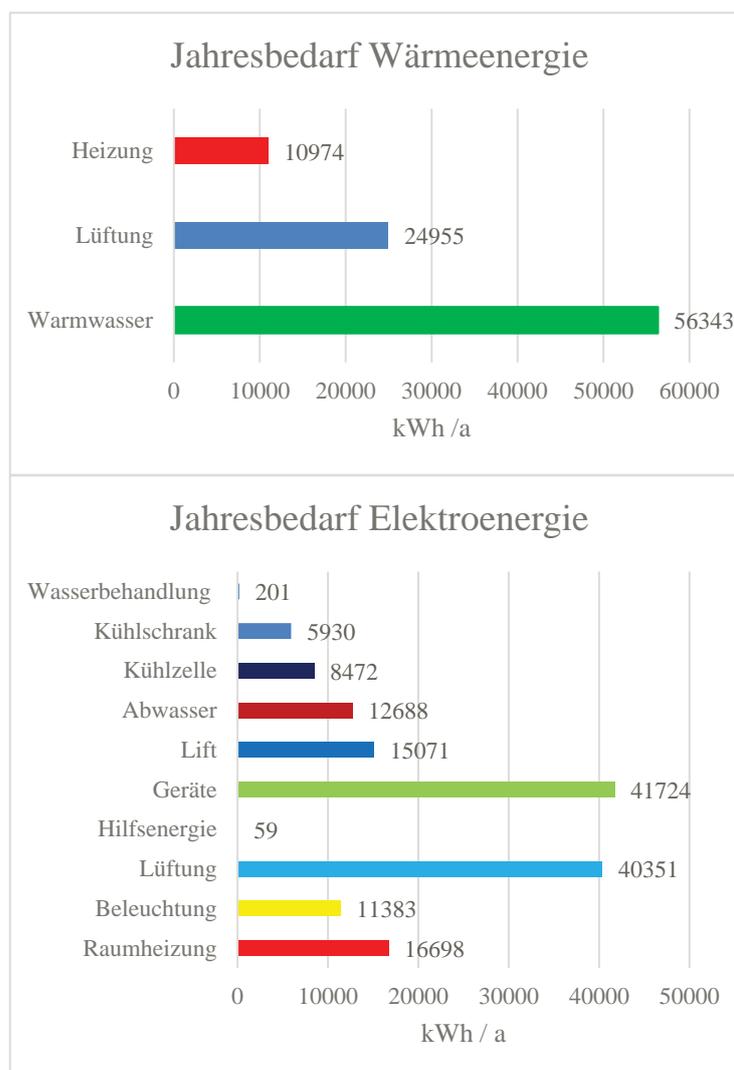
Studierende	Florian Jauner Remo Hofmann
Dozierende	Matthias Balmer Prof. Gerhard Zweifel
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Aarchitektur Bergbahnen Engelberg-Trübsee-Titlis
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Energieautarkes Restaurant auf 3020 m.ü.M.

Diese Bachelor Diplomarbeit dient hauptsächlich als gebäudetechnischer Leitfaden für ein späteres architektonisches Grundkonzept. Der Kerngedanke dabei ist ein Restaurant auf 3020 m.ü.M. ausschliesslich mit erneuerbaren Energien zu versorgen und komplett autark zu betreiben. Schlussendlich wird ein integrales Gebäudetechnikkonzept ausgearbeitet und Vorgaben an die Architektur gemacht, um das hochgesteckte Ziel erreichen zu können.

Um die Zielsetzung zu erfüllen wird zu Beginn mittels diversen Normen und anhand eines Simulationsprogramms der thermische, der elektrische und der Bedarf an Frischwasser ermittelt. Weiter werden die örtlichen Energieträger mit einer Umweltanalyse analysiert. Später werden verschiedene Konzepte bezüglich der Versorgung erstellt und beurteilt. Das am besten bewertete Konzept wird weiterverfolgt. Anhand dessen werden Voraussetzungen der einzelnen Systemkomponenten gemacht und Auswirkungen auf die Architektur definiert.



Bedarf

In der Abbildung 1 ist der jährliche Energiebedarf dargestellt. Dieser wurde in verschiedene Sparten unterteilt. Den Bedarf der Raumheizung und des Luftherhitzers, so wie ein Teil des Strombedarfs wurde mit dem Simulationsprogramm IDA ICE ermittelt und optimiert. Um die klimatischen Bedingungen auf dem Titlis zu berücksichtigen, wurde mithilfe des Programms Meteororm 7 ein Standortprofil erstellt. Dieses hat zusammen mit dem erstellten Architekturmodell einen Einfluss auf die Simulation. Um den Bedarf zu ermitteln, wurden den einzelnen Räumen eine Nutzung zugeteilt. Zudem wurden einzelne Parameter, wie zum Beispiel U-Werte, festgelegt. Um die Energie des Luftherhitzers zu definieren, wurden zu Beginn die Luftmengen, wie auch die entsprechenden Komponenten der Lüftungsanlage definiert. Der thermische Bedarf bezüglich der Raumheizung wurde ebenfalls mit den, im IDA vordefinierten Parametern ermittelt.

Abbildung 1: Jahresenergiebedarf

Hinsichtlich, des im IDA ermittelten Elektro-Energiebedarf ist zu erwähnen, dass einige Bezüger, wie zum Beispiel der Lift, nicht berücksichtigt wurden.

Um diese jedoch nicht zu vernachlässigen, wurde eine Excel-Tabelle erstellt sodass ein realistischer Elektro-Energiebedarf resultiert. In der selben Excel-Tabelle wurde auch der Gesamt- und Warmwasserverbrauch und dessen Energiebedarf berechnet.

Erzeugung

Um das Brauchwarmwasser aufzubereiten, die Raumheizung zu betreiben und die Lufterhitzer im Monoblock zu versorgen, wird mittels einer Wärmepumpe und Sonnenkollektoren Warmwasser produziert. Um die Energieproduktion vom Energiebedarf abzukoppeln und die Laufzeiten der Wärmepumpe möglichst gleichmässig und lang zu halten, wird das Wasser in einem thermischen Speicher gelagert. Dieser dient ebenfalls dazu, möglichst viel Sonnenenergie speichern zu können, umso Zeiten, an denen keine Sonne scheint, zu überbrücken. Als Quelle der Wärmepumpe dient zum einen das häusliche Abwasser. Dieses besitzt eine Temperatur von 19 °C und eignet sich somit, auch aufgrund des hohen Gesamtwasserverbrauchs, optimal zur Speisung der Wärmepumpe. Um Synergien zu nutzen, wird die Abwärme der Kühl- und Gefrierzelle dazu benutzt, den Quellwasserkreislauf zusätzlich aufzuwärmen.

Um den elektrischen Bedarf zu decken, wird mittels PV-Modulen und einer Windkraftanlage Strom produziert. Da dies beides unbeeinflussbare Energiequellen sind, bedarf es auch stromseitig eine Speichermöglichkeit. Da die Energieproduktion der Windkraftanlage unabhängig von der PV-Anlage läuft, kann so an mehreren Zeiten der elektrische Bedarf abgedeckt werden, ohne auf den elektrischen Speicher zurückzugreifen. Dies wirkt sich dementsprechend auch auf dessen Grösse aus. Es kommen jedoch durchaus windstille Zeiten und Zeiten, an denen keine Sonne scheint, vor. Um diese Zeiten zu überbrücken bedarf es einem elektrischen Speicher. Hierzu dient eine Batterie, die 3'855 kWh speichern kann.

Um die Restaurantbesucher wie auch das Personal jederzeit mit genügend Frischluft zu versorgen ist eine passende Lüftungsanlage vorzusehen. Die Lüftungsanlage hat einen Volumenstrom von 32'760 m³/h. Dazu werden zwei Abluft- und ein Zuluftmonoblock eingebaut. Diese drei Lüftungsgeräte sind über die Wärmerückgewinnung, ein Kreislaufverbund-System, miteinander verbunden. Die neuen Monoblocke verfügen über drehzahlregulierte Ventilatoren mit Frequenzumformern, die entsprechenden Filter, Klappen, und einer Lufterhitzerbatterie.

Dass der Gesamtwasserbedarf abgedeckt werden kann, wird das Wasser in einer Höhe von 3055 m.ü.M. in einem Reservoir gespeichert. Der geodätische Höhendruck wird genutzt, um an der letzten Entnahmestelle einen Fließdruck von einem bar zu gewährleisten. Um den hygienischen Bestimmungen gerecht zu werden, wird das Wasser entsprechend gefiltert. Das anfallende Abwasser wird in zwei Abwassertanks, welche jeweils ein Volumen von 19 m³ besitzen, gespeichert. Dort findet ebenfalls alle drei Tage für acht Stunden die Abwasserreinigung statt. Das Warmwasser wird mittels Frischwassermodul produziert. So kann die gespeicherte Brauchwassermenge auf ein Minimum reduziert werden, umso präventiv gegen Probleme wie Legionellen vorzugehen.

Damit dieses Gebäudetechnikkonzept funktioniert und das Bergrestaurant autark betrieben werden kann, ist ein Gebäudeleitsystem unabdingbar. Nur so kann garantiert werden, dass alle gebäudetechnischen Anlagen einwandfrei miteinander kommunizieren können.

Speicherung

Um die entsprechenden Speicher auszulegen und ein realistisches Lastmanagement zu erstellen, wurden die Resultate der Simulation auf Stundenwerte in die Excel-Tabelle importiert. Für die restlichen Werte wurde anhand des Besucherprofils der Titlisbahnen und eines erstellten Tageslastprofils, ebenfalls Stundenwerte geschaffen. Die Differenz zwischen Ertrag und Bedarf wurde jeweils aufsummiert.

Die Berechnung ergab einen elektrischen Speicherbedarf von 3'855 kWh. Dieser wird, um das Gebäude autark zu betreiben, mit einer Lithium-Ionen-Batterie ausgeführt. Hier ist zu klären, ob eine entsprechende Langzeitspeicherung realistisch ist.

Die Energie, welche im thermischen Speicher gespeichert werden muss, beträgt 25'000 kWh. Dies entspricht einer Speichergrösse von 45'000 Litern.

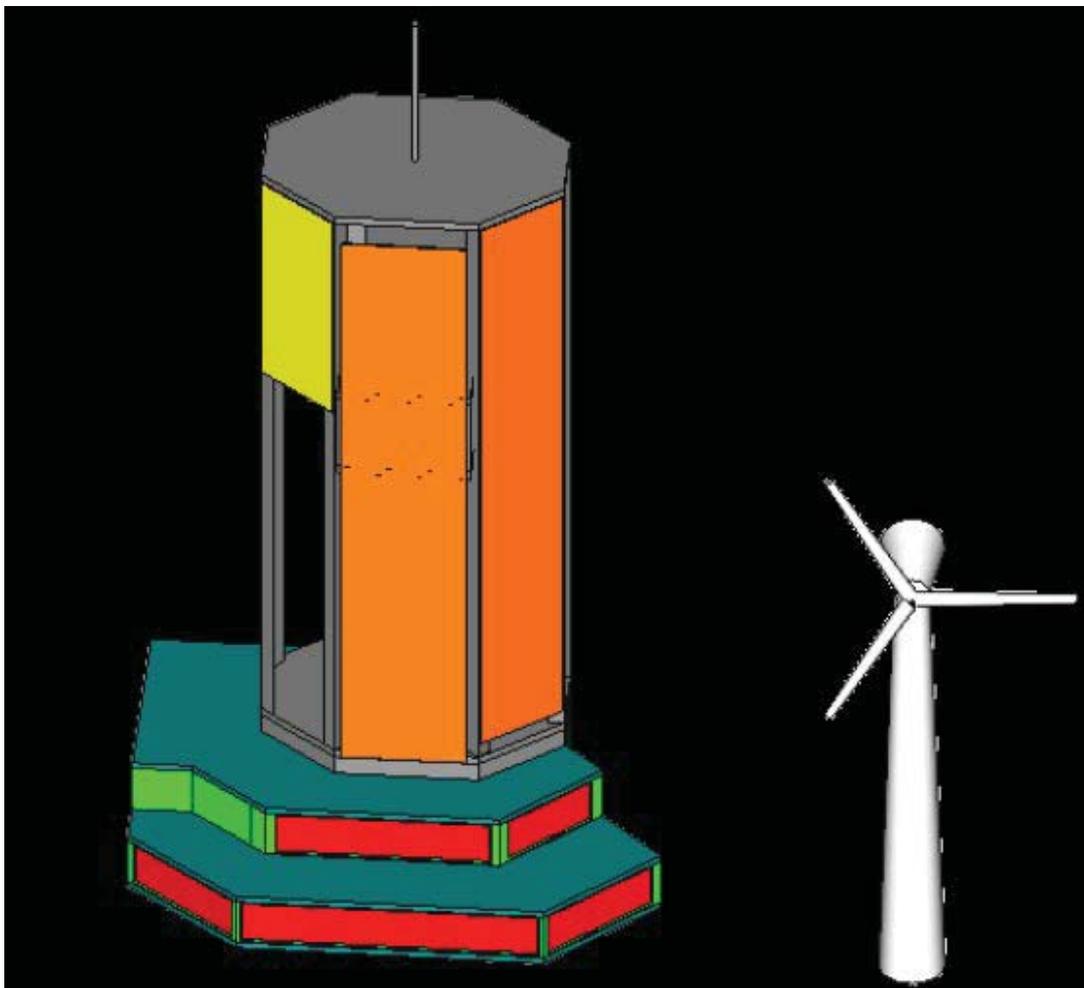


Abbildung 2: Gebäudemodell mit der Windkraftanlage, PV- und Solarflächen

Die Abbildung 2 stellt das Gebäudetechnikmodell des Restaurants und dem PTT-Turm dar. Hier sind die bereits erwähnten Solarmodule wie auch die Windkraftanlage ersichtlich. Schlussendlich ist zu erwähnen, dass mit den gemachten Vorgaben an die Architektur und dem Einhalten gewisser Parameter ein energieautarker Restaurantbetrieb auf 3020 m.ü.M. möglich ist.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_BDA_G_17_25
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Vergleich der Belastung von Erdwärmesonden mit Ergebnissen von Auslegungssoftware

Studenten	Christian Ammann Ricardo Da Silva
Dozenten	Stefan Mennel Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur EKZ – Abteilung Energiecontracting Huber Energietechnik AG
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Vergleich der Belastung von Erdwärmesonden mit Ergebnissen von Auslegungssoftware

Die Bachelorarbeit „Vergleich der Belastung von Erdwärmesonden mit Ergebnissen von Auslegungssoftware“ vergleicht Ergebnisse der Simulationssoftware EWS mit effektiven Trenddaten der Elektrizitätswerke des Kanton Zürich.

Es geht darum, das Programm EWS anhand der Anlagen in Betrieb vom EKZ auf die Belastung der Erdwärmesonden zu prüfen. Dazu braucht es verschiedene Parameter und Daten von den Anlagen, welche die EKZ auf ihrem Gebäudeleitsystem speichert. Um verschiedene Aspekte der Auslegung zu beleuchten, sind die geprüften Anlagen in Unterkategorien aufgeteilt. Dazu zählen z. B. Anlagen mit grossen EWS-Feldern, mit unterschiedlicher Sonden hinterfüllung oder mit passiver Kühlung.

Methodik

Das Programm EWS ermöglicht eine Langzeit- und eine Jahresprognose. Die Jahresprognose ermöglicht eine Einschätzung der Simulation und bei Übereinstimmung mit den Trenddaten wird eine Langzeitprognose möglich. Die Langzeitprognose dient zur Einschätzung der Abkühlung des Erdreichs. Die mittlere minimale Soletemperatur darf nach 50 Jahren in Betrieb den Wert von -1.5 °C nicht unterschreiten.

Bei einer Anlage mit einer längeren Laufzeit ist mit dem effektiven Energieverbrauch eine Langzeitprognose genauer und aussagekräftiger. Für die Jahresprognose ist die effektive entzogene Leistung aus den Trenddaten ermittelt. Die thermischen Leistungen des Erzeugerkreises sind für das gesamte Jahr 2016 in Stundenschritten berechnet. Alle Anlagen sind mit den effektiven Energieverbräuchen simuliert.

Die Abb. 1 zeigt schematisch die Abgrenzung bei dieser Bachelorarbeit. Die Nachbarsonden spielen für die zu untersuchende Anlage eine Rolle, denn sie können die Temperaturen im Erdreich beeinflussen

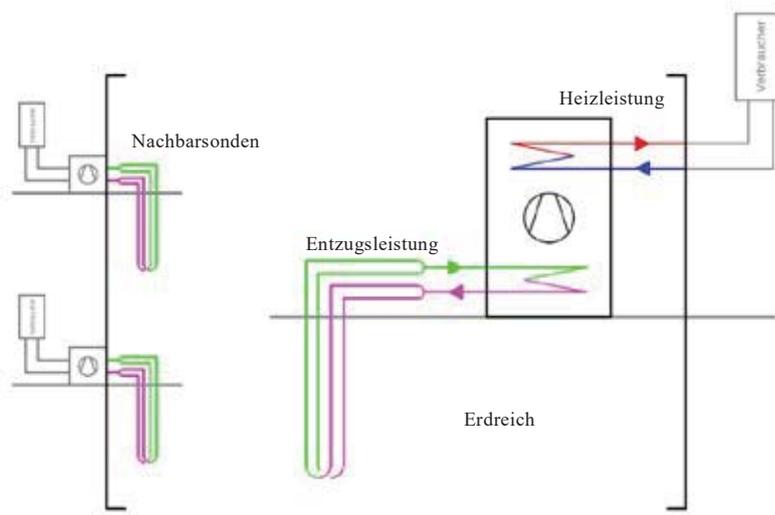


Abb. 1: berücksichtigte Anlagekomponenten

Analyse

Bei der Analyse einer Heizungsanlage macht der Vergleich von den Trenddaten und der Simulation vor allem in den Wintermonaten Sinn. In den Übergangszeiten läuft die Wärmepumpe zu wenig lange nach dem Einschalten, um Vergleiche ziehen zu können. Bei den Anlagen mit passiver und aktiver Kühlung sind die Sommermonate wichtig, um das Verhalten im Kühlbetrieb zu analysieren. Um die Beeinflussung auf einen Zeitraum von 50 Jahren zu sehen, lässt sich anhand der Durchschnittswerte eine Langzeitprognose erstellen. Das Programm EWS kann die Auskühlung eines Erdwärmesondenfeldes grafisch darstellen. Die feinen, schwarzen Linien in der Abb. 2 markieren Isothermen. Der Abstand zwischen diesen Linien beträgt jeweils 1 K Temperaturdifferenz.

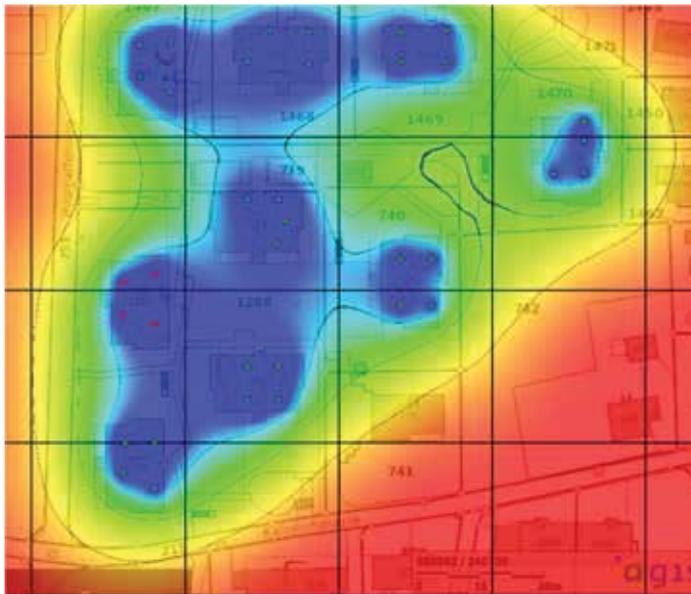


Abb. 2: Abkühlung von EWS-Feld nach 50 Jahren

Fazit

Das Programm EWS hat Vollaststunden realitätsnah simuliert. Beim Teillastbetrieb hat es mehrheitlich auch Übereinstimmungen gegeben. Es gab jedoch Fälle, in der die Simulation als nicht korrekt eingestuft werden musste. Die Analyse zeigte jedoch, dass die Fehlerquelle nicht das Programm EWS ist, sondern es die eingegebenen Parameter und die Leistungseingaben waren. Bei allen Anlagen sind jeweils die Nachbarnsonden, sofern vorhanden, mit zu berücksichtigen. Dafür benötigt man von dem GEO-Portal des jeweiligen Kantons die Informationen, ob die Nachbargrundstücke Erdwärmesonden haben. Hierbei gibt es Unterschiede von Kanton zu Kanton. Im Kanton Graubünden ist aus dem GEO-Portal zu entnehmen, wie viele Erdwärmesonden das Nachbargrundstück hat und wie tief diese jeweils sind. Im Kanton Zürich ist dies nicht der Fall. Dort sieht man lediglich, ob es eine Erdwärmesonde hat oder nicht. Nach dieser Arbeit ist zu sagen, dass alle Kantone auf ihren Geo-Portalen möglichst viele Informationen aufführen sollten. Dazu zählen auch Bohrprofile und Temperaturmessungen der Erdwärmesonde. Diese Bachelorarbeit zeigt, dass das Programm EWS exakt simuliert. Weiter gibt sie Aufschluss über Anlagen, die schon lange in Betrieb sind. Die untersuchten Anlagen funktionieren gut. Bei keiner Anlage konnten Fehlplanungen aufgezeigt werden und sie erfüllen nach 50 Jahren Laufzeit die Bestimmungen von der SIA 384/6.

Die Analyse und Raumlasten haben gezeigt, dass das Intensivpflegezimmer am meisten von starken Geruchsbelastungen betroffen ist. Dies weil zusätzlich zu den Darmentleerungen auch häufig stark riechende Wunden hinzukommen. Die Wärmelasten und der konvektive Anteil sind sehr hoch. Ein Umluftsystem mit Luftreinigung und Endfilterstufe H13 kann diese Anforderungen gesamthaft am besten erfüllen. Die Hilfsenergie für Ventilatoren und weitere Komponenten sind jedoch auf ein Minimum zu reduzieren. Das Gerät ist daher dreistufig mit 900 / 600 / 300 m³/h (Spül / Tag / Nacht) zu betreiben. Der Frischluftanteil soll im Tag- / Nachtbetrieb 200 / 130 m³/h betragen. Heute sind aufgrund der Spezialanwendung nur wenige Systeme zur Umluft-Reinigung erhältlich. Ionisationsverfahren ohne Ozonbildung sind für diese Anwendung sehr gut geeignet. Der Umsetzungsvorschlag fällt hier deshalb auf die Kombination 1, Umluftgerät mit Heiz- / Kühlfunktion und Luftreinigung mit Ionisation. Dieses wurde speziell für die Anwendung im Bereich der Intensivmedizin, der Pflege und geruchsbelasteten Räumen entwickelt (S-LEIT swissengineering AG).

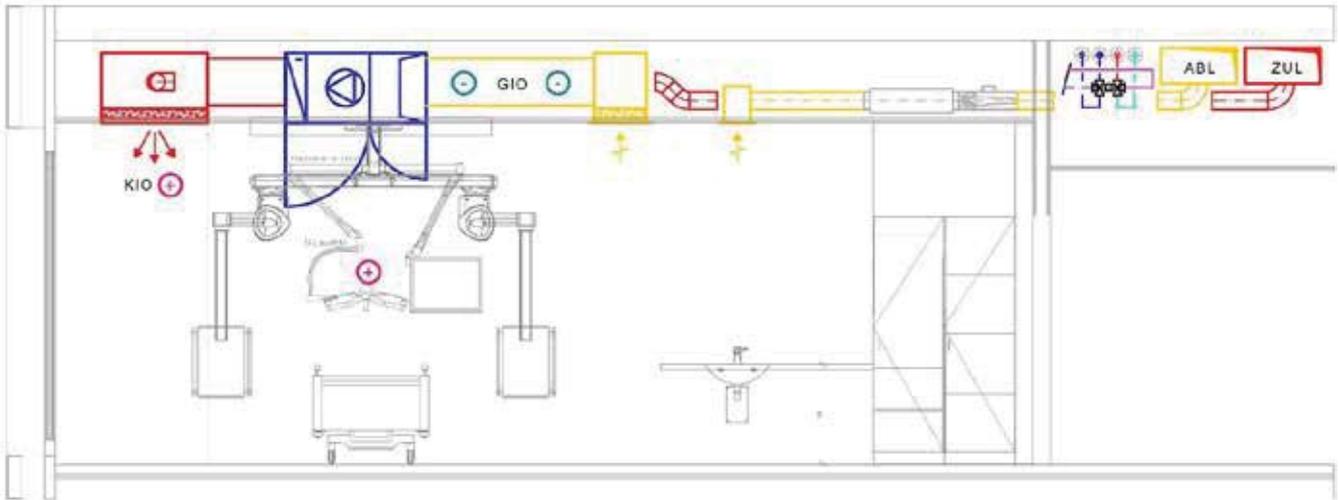


Abbildung 1: Funktionsschnitt Intensivpflege mit Umluft-Reinigungsgerät mit Ionisation

In den Bettzimmern beruhen die Geruchsbelastungen vor allem auf die Darmentleerungen. Die Wärmelasten sind hier wesentlich kleiner als in den Intensivpflegezimmern und der konvektive Anteil ist tiefer. Eine abgehängte Decke ist aufgrund der Erschliessung der Betriebseinrichtungen, Beleuchtung und Klimatechnik aus hygienischen Gründen zu empfehlen. Der Umsetzungsvorschlag fällt hier deshalb auf die Kombination 2, Heiz- / Kühldecke geschlossen und Quelllüftung mit Spüllüftung bei Geruchsbelastungen. Die Luftvolumenströme für das Bettzimmer Neubau betragen 600 / 140 / 80 m³/h, für das Bettzimmer Sanierung 1'100 / 250 / 160 m³/h (Spül / Tag / Nacht). Das Auslösen der Spüllüftung über einen Taster mit 30 Minuten Nachlaufzeit gewährleistet, dass diese nur wenn nötig in Betrieb ist. Zur Kompensation des Ionenmangels kann in der Zuluft ein Klein-Ionengenerator eingebaut werden.

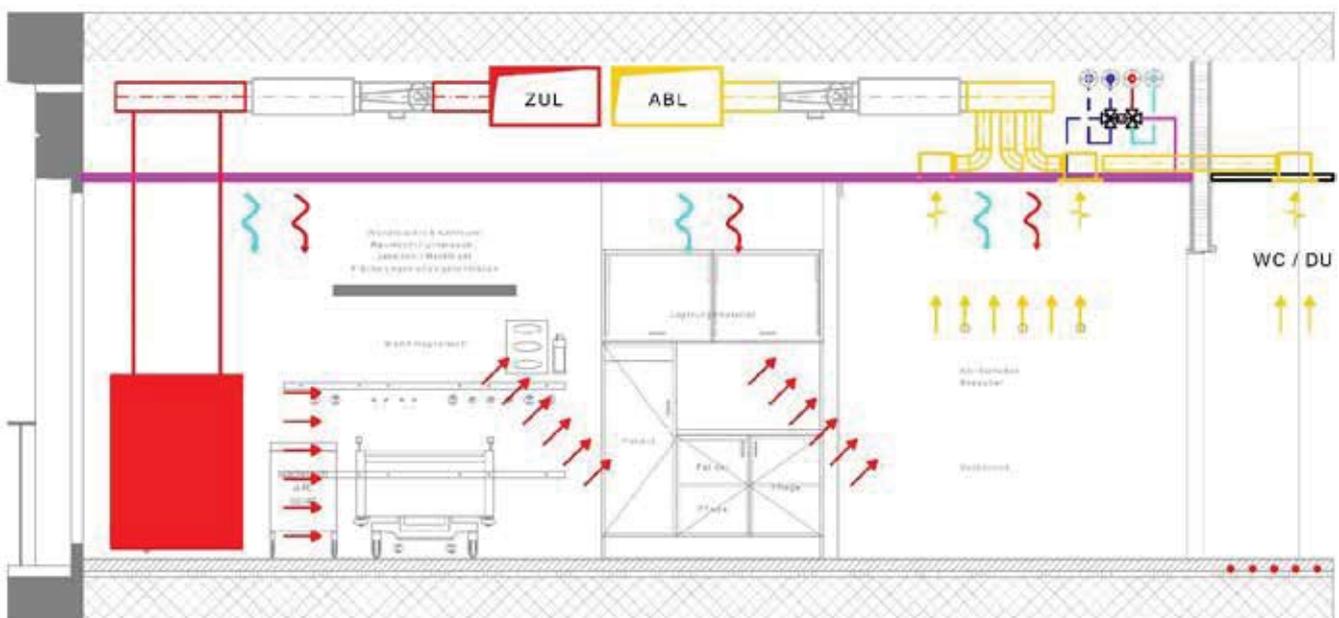


Abbildung 2: Funktionsschnitt Bettzimmer mit Heiz- / Kühldecke und Quelllüftung mit Spüllüftung



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_26
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Vergleich einer Abluftanlage mit dezentralen Lüftungsgeräten mit dezentralen Zu-/Abluftgeräten bei einem realen Bürogebäude

Studierende	Fabio Bargetzi Sandro Hug
Dozierende	Heinrich Huber Stefan Mennel
Experte/-in	Ralf Wagner
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Aarchitektur Industriepartner: Amstein + Walthert AG Andreasstrasse 11 CH-8050 Zürich
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Vergleich einer Abluftanlage mit dezentralen Lüftungsgeräten mit dezentralen Zu-/Abluftgeräten bei einem realen Bürogebäude

Vergleich einer Abluftanlage mit dezentralen Lüftungsgeräten mit dezentralen Zu-/Abluftgeräten bei einem realen Bürogebäude

Im Rahmen der vorliegenden Bachelor-Diplomarbeit soll anhand des A+W-Hauptgebäudes, von welchem reale Messdaten vorhanden sind, die bestehende Lüftungstechnische Anlage der Hauptnutzung "Büro/Sitzungszimmer" mit einem dezentralen Zu-/Abluftgerät verglichen werden. Das bestehende A+W-Hauptgebäude mit den dezentralen Luftboxen (LuBo's) und der zentralen Abluftanlage wurde mittels der vorhandenen Messdaten analysiert und ausgewertet. Die Vergleichsvariante mit den dezentralen Zu-/Abluftgeräten wurde anhand eines Simulationsmodells nachgebildet und simuliert. Dank der ausgewerteten Messdaten und den simulierten Werten konnte ein Vergleich der beiden Systeme erstellt werden. Der Vergleich wurde bezüglich des Energieverbrauchs der Systeme, den Lebenszykluskosten und der Behaglichkeit im Raum vorgenommen.

1. Analyse A+W-Hauptgebäude

Das Hauptgebäude der Firma Amstein und Walthert AG (A+W) ist in der Stadt Zürich, unmittelbar neben dem Bahnhof Oerlikon gelegen. Die Hauptnutzung dieses Objektes dient der Büronutzung. Durch die gesetzlichen Rahmenbedingungen ist der maximale Baukörper und die Anzahl der Geschosse stark eingeschränkt. Die gebäudetechnischen Einrichtungen sind auf einer Rohbauhöhe von drei Meter zu platzieren. Die geringe Rohbauhöhe führte zu einem durchdachten und gesamtheitlich passenden Gebäudetechnikkonzept. Die Wärmeabgabe im Gebäude erfolgt grösstenteils über ein thermoaktives Bauteilsystem. Für ein optimales Raumklima werden die Büroräumlichkeiten und die Sitzungszimmer über eine zentrale Abluftanlage und den dazugehörigen dezentralen Zuluftgeräten in Form von Luftboxen (LuBo's) mit Aussenluft versorgt. Die Wärmerückgewinnung bei der Ausgangslage erfolgt über eine Abluftwärmenutzung. Mittels der warmen Ablufttemperaturen kann der Wasser-Glykol-Kreislauf der Wärmepumpe vorgewärmt werden und so die Effizienz der Wärmepumpe steigern. Weitere Lüftungstechnische Einrichtungen versorgen spezifische Nutzungen wie Cafeteria und Nasszellen.

Durch die geringe Bauhöhe der Geschosse kann eine klassische Lüftungsanlage mit einer konventionellen Zu-/Abluftkanalführung nicht eingesetzt werden. Der Ersatz der ursprünglichen Anlage erfolgt mittels dezentralen Zu-/Abluftgeräten, welche an der Fassade angebracht werden. Die Einbauposition der neuen Einrichtungen ist identisch zu übernehmen, damit das Gebäude sowohl aus statischen als auch architektonischen Gründen nicht umgestaltet werden muss.

Die erhaltenen Messdaten zum A+W-Hauptgebäude wurden ausgewertet und die Funktionen und die Laufzeiten der Anlage analysiert. Dabei wurde das Referenzjahr 2016 ausgewertet, da in diesem Jahr die grösste Informationsdichte vorhanden war. Anhand dieser Analyse konnte mittels der nachfolgenden Simulationen ein Vergleich der beiden Systeme gemacht werden.

Vergleich einer Abluftanlage mit dezentralen Lüftungsgeräten mit dezentralen Zu-/Abluftgeräten bei einem realen Bürogebäude

2. Simulation dezentrale Zu-/Abluftgeräte

Um ein Vergleich der bestehenden Anlage mit einer zentralen Abluftanlage mit den dazugehörigen LuBo's und den dezentralen Zu-/Abluftgeräten erstellen zu können, musste ein Simulationsmodell aufgebaut werden. Anhand dieser Simulationenwerte soll ein Vergleich zwischen den ausgewerteten Messdaten und der Simulation gemacht werden.

Für die nachstehenden Simulationen wurden Referenzräume bestimmt. Diese Referenzräume bilden die Hauptnutzungen des Gebäudes. Da sich die simulierten Räume im Gebäude mehrfach wiederholen, wurden lediglich die Referenzräume simuliert und über das ganze Gebäude aufgerechnet.

Plausibilitäts-Simulation

In einer ersten Phase wurde versucht ein möglichst genaues Simulations-Modell zu erstellen. Dabei wurde das A+W-Hauptgebäude detailgetreu nachgebildet und die Gebäudetechnik nach den Planungsunterlagen und Funktionsbeschrieben erstellt.

Anhand dieser Plausibilitäts-Simulation konnte bewiesen werden, dass das Simulationsmodell in Bezug auf den Energieverbrauch nur kleine Abweichungen im Vergleich zum realen A+W-Hauptgebäude aufweist. Somit kann mit den weiteren Simulationen ein aussagekräftiger Vergleich gemacht werden.

Für die beiden Simulationen 1 und 2 wurde dasselbe Gebäudemodell verwendet, da die Plausibilität bewiesen werden konnte. Bei der Gebäudetechnik wurde die komplette Lüftungsanlage entfernt und die Heizungsanlage teilweise angepasst.

Simulation 1

In der Simulation 1 wurde in das bestehende Gebäudemodell eine neue Lüftungsanlage eingesetzt. Dabei wurde ein Modell nach den dezentralen Zu-/Abluftgeräten der Firma Trox Hesco nachgebildet. In diesem Modell entfällt im Gegensatz zu der bestehenden Anlage des A+W-Hauptgebäudes die zentrale Abluftanlage.

Der Vorteil der dezentralen Zu-/Abluftgeräte zu der bestehenden Anlage mit zentraler Abluftanlage mit dazugehörigen LuBo's ist, dass diese nach CO₂-Gehalt im Raum geregelt werden können. Mit dieser Regelung kann der Volumenstrom bei niedriger Belegung im Raum reduziert werden und wird nicht konstant betrieben. Mit dieser Massnahme kann die Anlage effizienter betrieben werden.

Die Simulation der dezentralen Zu-/Abluftgeräte, kann den maximalen Volumenstrom bis auf 35 Prozent reduzieren. Damit kann ein Sockelwert garantiert werden, welcher nach den Werten von SIA MB 2024 bestimmt wurde.

Simulation 2

Die Simulation wurde identisch zu der Simulation 1 aufgebaut. Der einzige Unterschied liegt bei der CO₂-Regelung. Bei der Simulation 2 gibt es keinen Sockelwert und der Volumenstrom kann beliebig reduziert werden. Mit dieser Simulation wird das Potenzial der CO₂-Regelung aufgezeigt. Allerdings wird diese Variante nicht weiterverfolgt und der Vergleich findet zwischen den realen Messwerten und der Simulation 1 statt.

Vergleich einer Abluftanlage mit dezentralen Lüftungsgeräten mit dezentralen Zu-/Abluftgeräten bei einem realen Bürogebäude

3. Resultate

In der folgenden Abbildung 1 sind die Resultate des Vergleichs ersichtlich. Dabei ist zu erkennen, dass bei den dezentralen Zu-/Abluftgeräten nach CO₂-Regelung Energie eingespart werden kann. Dies ist vor allem auf die variablen Volumenströme und die direkte Wärmerückgewinnung bei den Fassadengeräten (Luft/Luft) zurückzuführen. Sowohl der elektrische Energieverbrauch der Lüftungsanlage, als auch der thermische Energieverbrauch der Heizregister der Fassadengeräte konnte halbiert werden.

Der elektrische Energieverbrauch der Wärmepumpe konnte ebenfalls vermindert werden. Dies ist auf die Reduktion des thermischen Energieverbrauchs zurückzuführen. Allerdings wird die Wärmepumpe ineffizienter betrieben als bei der Ausgangslage bei dem A+W-Hauptgebäude, da die Wärmerückgewinnung direkt an den dezentralen Zu-/Abluftgeräten an die Aussenluft zurückgeführt wird und nicht in den Erdsondenkreislauf eingespiessen wird.

Der thermische Energieverbrauch der Heizgruppe TABS bleibt annähernd konstant, da hauptsächlich der Transmissionswärmeverlust gedeckt werden muss und die Aufheizung der 18°C Einblastemperatur auf die Raumtemperatur nur ein kleiner Anteil ausmacht.

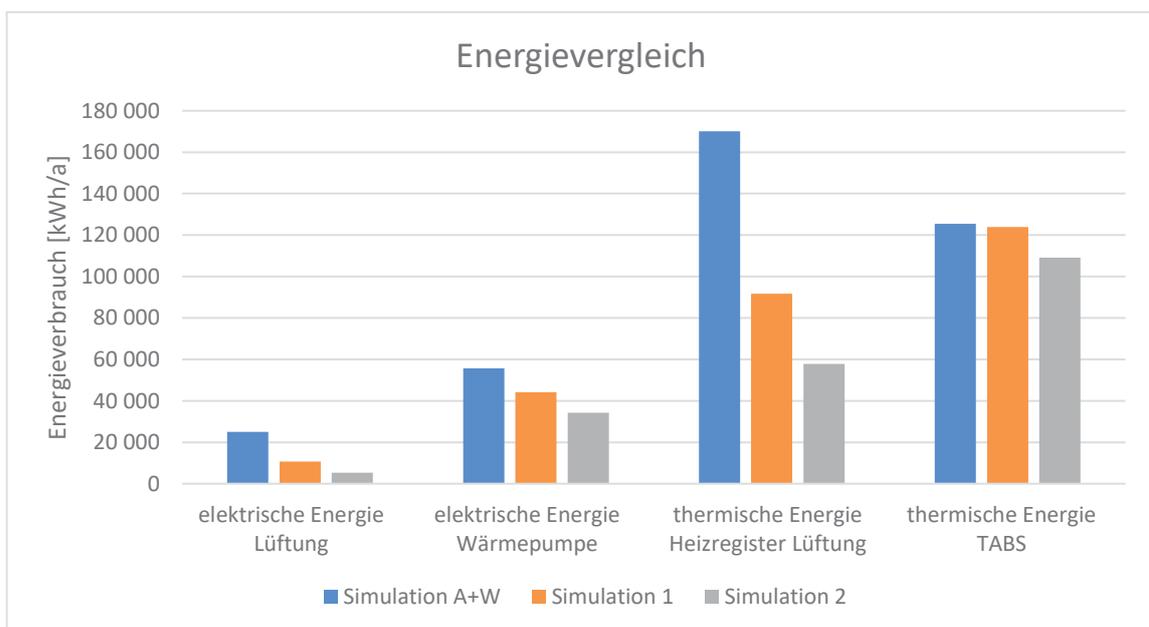


Abb. 1: Energievergleich

Durch das Gegenüberstellen der Lüftungstechnischen Systeme wurde ersichtlich, dass die jährlichen Kosten bis zur Amortisation, bei den dezentralen Zu-/Abluftgeräten höher ausfallen als bei der zentralen Abluftanlage inkl. LuBo's. Die Investitionskosten der Einzelraumlüftungsgeräte fallen mit 78 Prozent Mehrkosten gegenüber den LuBo's mit zentraler Abluft deutlich stärker ins Gewicht. Der Energieverbrauch und der Komfort kann jedoch mit den dezentralen Zu-/Abluftgeräten optimiert werden, da einzelne Zonen und Räume bedarfsgerecht und unabhängig voneinander betrieben werden können.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_28
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Strategie, Entwicklung und Optimierung der dezentralen Energiesysteme durch Verbund

Studierende	Livio Furrer Lukas Kappeler
Dozierende	Joachim Ködel Mathias Balmer
Experte/-in	Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Pascal, Meyer, Roche Diagnostics International AG, Industriestrasse 7, 6343 Rotkreuz)
Abgabedatum	09 Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Strategie, Entwicklung und Optimierung der dezentralen Energiesysteme durch Verbund

Die Bachelor Diplomarbeit befasst sich mit dem Energiekonzept des Areals der Roche Diagnostics International AG in Rotkreuz. Das Areal besteht aus 10 Gebäude mit verschiedenen Nutzungen. Zurzeit ist die Wärme- und Kälteerzeugung dezentral aufgebaut und mögliche Synergien zwischen den Gewerken (Heizung, Kälte) und den verschiedenen Gebäuden bleiben ungenutzt.

Situationsanalyse

Das Areal weist einen Kälteenergiebedarf von 5'857 MWh/a und einen Wärmeenergiebedarf von 5'830 MWh/a auf. Über das Jahr betrachtet, beträgt die Differenz zwischen Wärme- und Kälteenergie 27 MWh/a. Dies sind gute Voraussetzungen zur Nutzung von Synergien oder für den Einsatz eines saisonalen Speichers.

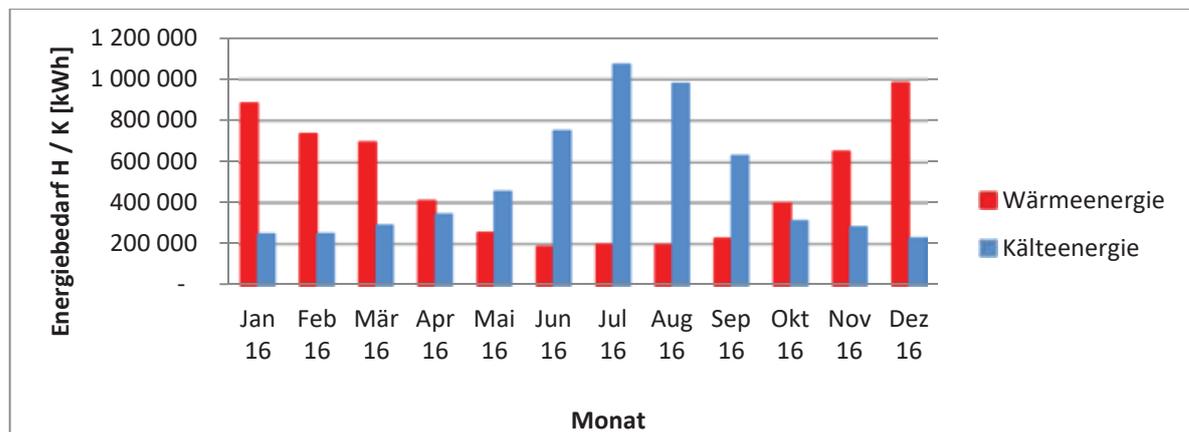


Abb. 1: Energiebedarf Areal Roche Rotkreuz

Die Abbildung 1 zeigt den Energiebedarf des ganzen Areals im Jahr 2016. Die Diplomarbeit befasst sich mit verschiedenen Umbauvarianten zur Optimierung des Areals, sowie drei mögliche Neubauvarianten. Ziel ist die Primärenergie nicht erneuerbar ($E_{p,nren}$) sowie die Treibhausgasemission (M_{co_2}) zu reduzieren. Die Varianten sollen ebenfalls bezüglich Wirtschaftlichkeit geprüft werden.

Umbauvarianten

Es werden drei Konzepte für den Umbau der Energieversorgung des Areals betrachtet. Der Bestand dient als Vergleich und Referenz der verschiedenen Konzepte. Dabei handelt es sich um die Varianten Erdwärmespeicher, Eisspeicher und Fernwärme der Kehrichverbrennungsanlage (KVA) Renergia.

Im Konzept Erdwärmespeicher ersetzen reversible Wärmepumpen (WP/KM) die bestehenden Gas- und Ölheizkessel. Als Quelle sind zwei zusätzliche Erdsondenfelder mit 67 und 128 Sonden à 200m zu erstellen. Ausserdem ist ein Verbund zu schaffen um die Synergien zu nutzen und die Energien der Gebäude untereinander auszugleichen.

Bei der Variante Eisspeicher muss ebenfalls ein Verbund erstellt werden. Die Gaskessel sind durch Wärmepumpen zu ersetzen. Die Kälteversorgung kann über das Freecooling erfolgen. Für diese Variante ist ein Eisspeicher mit einem Volumen von 21'160m³ zu erstellen.

Im Konzept Fernwärme werden die installierten Gas- und Ölkessel durch die Fernwärme der KVA ersetzt. Bei den Bauten, welche bereits mit einer WP/KM ausgestattet sind, werden keine Änderungen vorgenommen.

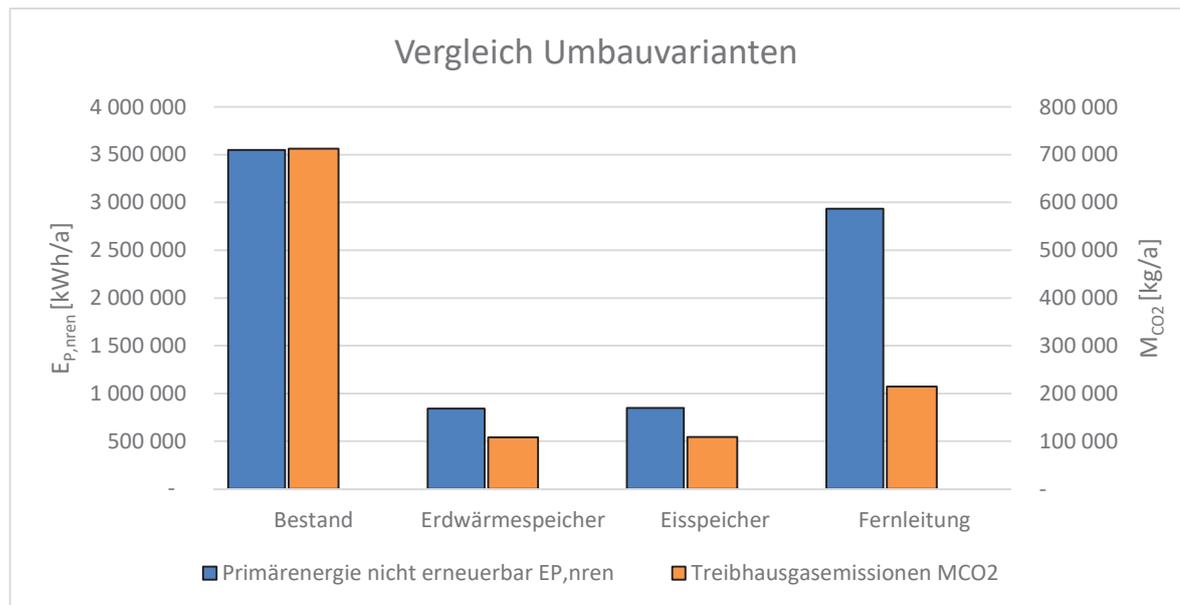


Abb. 2: Umbauvarianten Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen

Die Abbildung 2 zeigt das Potential bezüglich Reduktion des $E_{p,nren}$ und des M_{CO_2} . Ist eine Reduktion der Treibhausgase mit tiefen Investitionskosten angestrebt, empfiehlt sich die Variante Fernwärme zu berücksichtigen. Dieses Konzept nutzt keine Synergien und eine saisonale Speicherung der Energie ist nicht möglich. Bei Betrachtung aller drei Varianten ist der Erdwärmespeicher die Variante mit dem grössten Potential, bezüglich Reduktion des Primärenergiebedarfs nicht Erneuerbar sowie die Reduktion der Treibhausgasemissionen schneidet dieses Konzept am besten ab. Nachteil des Erdwärmespeichers sind die hohen Investitionskosten und die vielen nötigen Umbaumaassnahmen. Die Variante Eisspeicher schneidet in Bezug auf den Primärenergiebedarf nicht erneuerbar und die Treibhausgasemissionen sehr gut ab, ist aber aufgrund der hohen Investitionskosten keine gute Option.

Neubauvarianten

Das Areal ist ebenfalls als Neubau „grüne Wiese“ betrachtet worden. Die Fragestellung lautet, welches Energiekonzept für die Bereitstellung der Wärm- und Kälteenergie für einen Neubau des Areals am sinnvollsten ist. Auch zu dieser Fragestellung sind drei Varianten ausgearbeitet: Erdwärmespeicher, Seewassernutzung und Fernleitung mit Absorptionskältemaschinen. Die Erdwärmespeicher können im Neubau unter den Gebäuden realisiert werden. Die verschiedenen Speicher werden mit einem Niedertemperaturnetz verbunden und dienen den WP/KM als Wärmequelle oder Wärmesenke.

Für die Seewasser Variante wird das Wasser im Zugersee gefasst und auf das Areal der Roche transportiert. Die Kühlung wird direkt über Freecooling abgedeckt, die Wärmeenergie mit Wärmepumpen erzeugt.

Um mit der Fernwärme Synergien zu nutzen wird eine Absorptionskältemaschine berücksichtigt. Der Absorber wird mit der Fernwärme direkt betrieben, das notwendige Kühlwasser als Wärmeenergie zum Heizen genutzt oder bei Überschuss an die Rückkühler abgegeben.

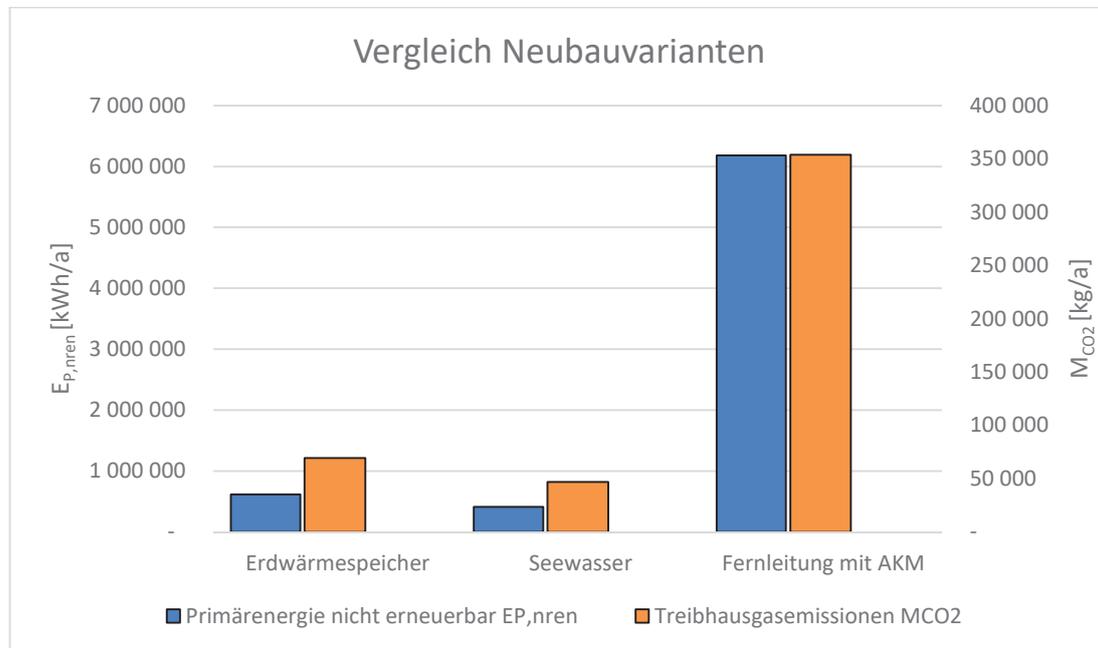


Abb. 3: Neubauvarianten Primärenergie nicht erneuerbar und Treibhausgasemissionen

Die Abbildung zeigt den Vergleich der drei Varianten bezüglich $E_{P,nren}$ und M_{CO_2} . In dieser Betrachtung schneidet der Seewasser am besten ab. Die Variante Erdwärmespeicher schneidet ebenfalls sehr gut ab. Die Problematik bei der Seewasserleitung ist die Länge von 2.3 km bis zum Zugersee. Die Variante Fernleitung mit Absorptionskältemaschine (AKM) ist aufgrund der hohen Investitionskosten und der höheren $E_{P,nren}$ nicht zu empfehlen. Eine Variante Fernleitung mit AKM ist nur bei tiefem Fernwärmepreis sinnvoll. Wird das komplette Areal als Neubau betrachtet, ist die Variante Seewasser die ökologisch die sinnvollste. Jedoch ist die Umsetzung einer 2.3km lange Seewasserleitung nicht einfach und die Kosten sind schwer abzuschätzen. Deshalb kommt sowohl die Variante Erdwärmespeicher, als auch die Variante Seewasser in Frage.

Fazit

Das Areal weist aufgrund der Energieverbrauchsdaten grosses Potential bezüglich saisonaler Speicherung auf. Das gesamte Areal zu vernetzen ist mit hohen Investitionskosten verbunden. Mit zusätzlichen Erdsondenfelder und einem Verbund der Gebäude kann der $E_{P,nren}$ um 76% und die Treibhausgasemissionen um 85% gesenkt werden. Würde man das komplette Areal neu bauen, wäre die Variante Erdwärmespeicher die sinnvollste, auch eine Vernetzung des Areals ist aufgrund der unterschiedlichen Verbrauchsdaten der Gebäude notwendig.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_29
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Integrales Energiekonzept für das Regionalspital Laufenburg

Studierende	Sonja Moser Thomas Pfeiffer
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Prof. Matthias Balmer
Experte	Bruno Soder
Auftraggeber	Gesundheitszentrum Fricktal AG, 4310 Rheinfelden Heiko Stotz Jobst Willers Engineering AG, 4310 Rheinfelden Carsten Pötschke
Abgabedatum	09. Juni 2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Integrales Energiekonzept für das Regionalspital Laufenburg

Das, in den 70er-Jahren gebaute Regionalspital Laufenburg, wird durch verschiedene Wärme- und Kälteerzeuger versorgt. Neben zwei mit Rheinwasser betriebenen reversiblen Wärmepumpen ist eine Dampfkesselanlage und ein Ölkessel für die Versorgung des Spitalareals und des nah gelegenen Altersheims zuständig. Die Dampfkesselanlage und der Ölkessel haben mit über 30 Jahren ihre Lebensdauer erreicht. In Zukunft soll die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen für die Wärmeerzeugung reduziert werden. Ebenfalls ist die Einbindung der Abwärme der bestehenden Wärmepumpen zu optimieren. Für die Nachhaltigkeitsstrategie und die zukünftigen Anforderungen an den Spitalbetreiber muss ein integrales Energiekonzept erarbeitet werden.

Das gesamte Spitalareal, das benachbarte Altersheim und das Betriebsgebäude werden heute durch eine gemeinsame Wärme- und Kältezentrale, welche sich im 2. Untergeschoss des Baus 84 befindet, versorgt. Die Wärmeerzeugeranlagen arbeiten auf ein Hochtemperaturnetz 65/45°C und ein Niedertemperaturnetz 50/35°C. Die Grundlast des Niedertemperaturnetzes wird über zwei Wasser/Wasser-Wärmepumpen abgedeckt. Als Wärmequelle dient Flusswasser, welches vom 120m entfernten Rhein in einem Pumpenhaus gefasst und wieder zurückgegeben wird. Die Wärmepumpen wurden im Jahr 2015 wegen eines Totalausfalls ersetzt. Für die Spitzendeckung des Niedertemperaturnetzes und für die Versorgung des Hochtemperaturnetzes wird eine Dampfanlage und eine Ölkesselanlage verwendet. Die Dampfanlage versorgt zusätzlich drei Kochapparate und eine Geschirrspülmaschine. Die Zentralsterilisation und diverse Küchengeräte wurden bereits zurückgebaut. Die Abwärme der gewerblichen Kälte ist momentan nicht ins System eingebunden.

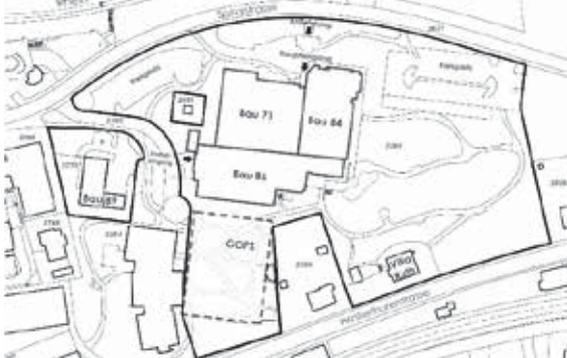


Abbildung 1: Areal Spital Laufenburg¹

Der steinige Weg der Analyse

Als Grundlage für die Analyse standen diverse Messdaten der vergangenen vier Jahre zur Verfügung:

- Wärmenergie und den Strombedarf der Wärmepumpen
- Nutzenergie Altersheim, GOPS und Warmwasser
- Heizölverbrauch der Dampf- und Ölkesselanlagen
- Betriebsstunden der gewerblichen Kälte

Der, bei der Sanierung 2015 eingebaute, Hauptzähler der Kälteverteilung wurde bei den Messdaten nicht erfasst. Der Kältebedarf musste dementsprechend abgeschätzt werden. Die technischen Daten der Dampfverbraucher und Kesseldaten wurden bei den Herstellern angefragt oder angenommen.

¹ Gesundheitszentrum Fricktal, 2013

Das Prinzipschema der bestehenden Anlage stand zur Verfügung, jedoch keine Pläne. Für die Ermittlung der Wärmeverluste sind die Leitungen vor Ort von Hand ausgemessen worden.

Die Wahl der richtigen Ressource

Nach einem Gespräch mit Herrn Heiko Stotz, dem technischen Leiter des Gesundheitszentrum Fricktal, wurden die Pläne für die Zukunft des Spitals in Erfahrung gebracht. In einer Nachhaltigkeitsstrategie will der Betreiber erneuerbare Energien fördern und den Einsatz von fossilen Brennstoffen minimieren. Weiter soll in den kommenden Jahren der Bau 71 modernisiert und um zwei Geschosse mit klimatisierten Büros erhöht werden.

Die Schwierigkeit auf der Suche nach neuen Energieressourcen bestand darin, die hohen Temperaturen für die Fernleitung und die thermische Desinfektion des Warmwassers zu garantieren und gleichzeitig die zukünftige Kältebereitstellung zu ermöglichen. Mit einer Gas- oder Holzschnitzelanlage werden Temperaturen bis 90°C einfach erreicht, jedoch besitzt die Gemeinde Laufenburg keinen Gasanschluss und ein Holzlager ist aus Platzgründen nicht realisierbar. Das Areal liegt auf der Grundwasserschutzzone 1. Eine Erdsondenbohrung sowie die Grundwassernutzung auf dem Areal ist somit nicht zulässig. Jedoch ist der Ausbau der Flusswasserfassung nach Abklärung mit dem Departement Bau, Verkehr und Umwelt des Kantons Aargau möglich. Ebenso kann Luft als Energiequelle eingesetzt werden.

Grundlagen für die Variantenerarbeitung

Neben der ökologischen und wirtschaftlichen Betrachtung ist in einem Spitalbau der Redundanzbetrieb der Wärme- und Kälteerzeuger wichtig. Fällt ein Wärmeerzeuger aus, muss der laufende Betrieb des Spitals trotzdem garantiert sein. Bei jeder Variante wird die bestehende Dampfanlage zurückgebaut und die mit Dampf versorgten Küchengeräte durch Elektrogeräte ersetzt. Die bestehenden Wasser/Wasser-Wärmepumpen werden weiter betrieben. Als Grundvariante wurde eine reine Anlage mit zwei kondensierenden Ölkesseln erarbeitet. Diese erlaubt eine bessere Betrachtung der Ersatzvarianten aus ökologischer und wirtschaftlicher Sicht.

Variante 1: Luft/Wasser-Wärmepumpe mit kondensierendem Ölkessel

Für die Deckung der Wärmelast des Hochtemperaturnetzes und zur Spitzendeckung des Niedertemperaturnetzes wird eine bivalent-teilparallele Anlage vorgesehen. Die Grundlast im Winter wird über eine Luft/Wasser-Wärmepumpe abgedeckt. Für die Deckung der Spitzenlast dient ein kondensierender Ölkessel. Aus Redundanzgründen wird ein zweiter Ölkessel für die Aufrechterhaltung des Hochtemperaturnetzes installiert. Die Abwärme der gewerblichen Kälte wird in den neuen Energiespeicher für die Luft/Wasser-Wärmepumpe eingebunden. Die Abwärme der gewerblichen Kälte und der bestehenden Wasser/Wasser-Wärmepumpen wird in den neuen Energiespeicher für die Luft/Wasser-Wärmepumpe eingebunden.

Variante 2: Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Wasser/Wasser-Wärmepumpe zur Nacherwärmung

Für die Deckung der Wärmelast des Hochtemperaturnetzes und zur Spitzendeckung des Niedertemperaturnetzes wird eine bivalent-parallele Anlage vorgesehen. Die Grundlast im Winter wird über eine Luft/Wasser-Wärmepumpe abgedeckt. Zur Deckung der Temperaturen über 50°C wird die zusätzliche Wasser/Wasser-Wärmepumpe in der Zentrale nachgeschaltet. Die Luft/Wasser-Wärmepumpe sowie die Wasser/Wasser-Wärmepumpe wird als redundante Anlage vorgesehen. Die Abwärme der gewerblichen Kälte und der bestehenden Wasser/Wasser-Wärmepumpen wird in den neuen Energiespeicher für die Luft/Wasser Wärmepumpe eingebunden.

Variante 3: Wasser/Wasser-Wärmepumpe mit kondensierendem Ölkessel

Für die Deckung der Wärmelast des Hochtemperaturnetzes und zur Spitzendeckung des Niedertemperaturnetzes wird eine bivalent-parallele Anlage vorgesehen. Die Grundlast im Winter wird über eine Wasser/Wasser-Wärmepumpe abgedeckt. Als Quelle dient, analog der bestehenden Wasser/Wasser-Wärmepumpen, das Rheinwasser. Für die Deckung der Spitzenlast dient ein

kondensierender Ölkessel. Aus Redundanzgründen wird ein zweiter Ölkessel für die Aufrechterhaltung des Hochtemperaturnetzes installiert. Die Abwärme der gewerblichen Kälte und der bestehenden Wasser/Wasser-Wärmepumpen wird in den neuen Energiespeicher für die Wasser/Wasser-Wärmepumpe eingebunden.

Ergebnisse und Empfehlung

Neben den ökologischen und wirtschaftlichen Aspekten war die Betriebssicherheit während und nach dem Umbau ein wichtiger Faktor für die Variantenempfehlung. Die Variante 2 ist aus ökologischer Sicht empfehlenswert, ist wegen den hohen Investitionskosten aber unwirtschaftlich. Ausserdem ist die Betriebssicherheit bei dieser Variante nicht gegeben. Die Variante 3 ist aus ökologischer Sicht, mit einer zusätzlichen Einsparung von rund 35% an nicht erneuerbarer Primärenergie und der Treibhausgasemission, besser zu bewerten als die Variante 1. Die Investitionskosten fallen bei der Variante 1, mit einer Einsparung von CHF 90'000.00 tiefer aus, jedoch sind die jährlichen Kosten um CHF 5'000.00 höher als bei der Variante 3. Die Variante 1 amortisiert sich mit 10 Jahren, ein Jahr vor der Variante 3. Die Variante 3 hat gegenüber der Variante 1 einen hohen Platzbedarf in der bestehenden Zentrale. Die Platzreserve für spätere Ausbauten ist nicht gewährleistet. Die Variante 3 ist deshalb für die zukünftige Energiebereitstellung negativ zu bewerten. Mit der Variante 1 werden gegenüber dem IST-Zustand jährlich 84% Heizöl eingespart, was zu einer erheblichen Verbesserung der Energieeffizienz führt.

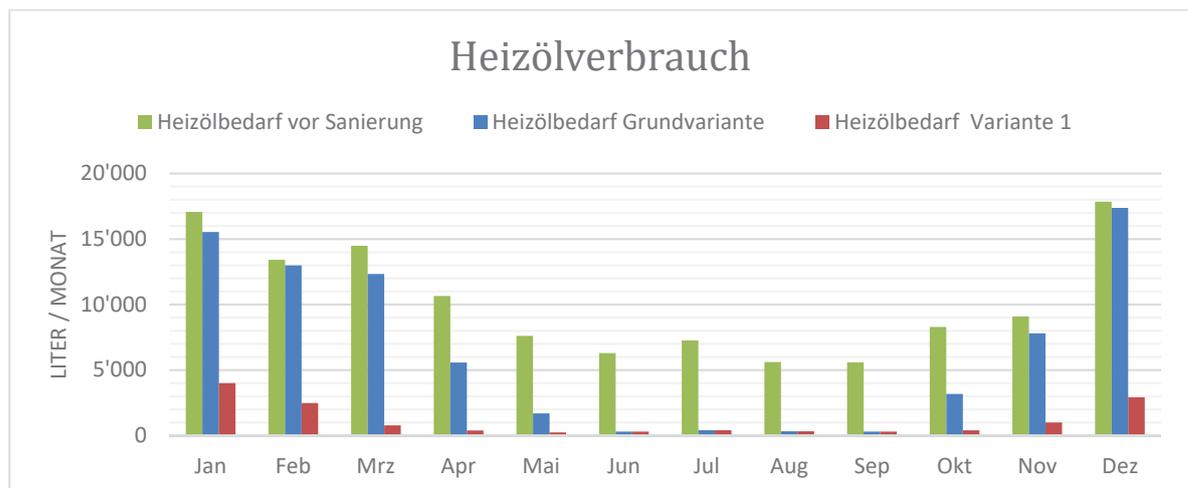


Abbildung 2: Gegenüberstellung Heizölverbrauch Variante 1

Die Betriebssicherheit ist bei der Anlage jederzeit gewährleistet. Mit der jährlichen Einsparung der nicht erneuerbaren Primärenergie von 55% und der Senkung der Treibhausgasemissionen um 81% gegenüber dem IST-Zustand sind die ökologischen Ziele erreicht. Mit der Variante 1 wird eine kostengünstige, betriebssichere und energieeffiziente Anlage empfohlen, welche der Nachhaltigkeitsstrategie des Spitals Rechnung trägt.

Ausblick

Mit der Erarbeitung des Energiekonzepts für das Regionalspital Laufenburg ist nur ein erster Schritt zum nachhaltigen und energieeffizienten Betrieb des Spitals gemacht. Es gibt weiterhin viel Optimierungspotential im Bereich der Fassade, der Lüftungsanlagen und des Lichts, die bei dieser Arbeit ausser Acht gelassen wurden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_17_30
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Energieeffiziente und gästefreundliche Lüftung im Erlebnisbad und Spa

Studierende	Sabrina Harr Andreas Buess
Dozierende	Reto von Euw Axel Seerig
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Andreas Grimm Bernaqua Erlebnisbad & Spa Riedbachstrasse 98 3027 Bern
Abgabedatum	09.06.2017

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 der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Energieeffiziente und gästefreundliche Lüftung im Erlebnisbad und Spa

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit dem elektrischen und thermischen Energieverbrauch der Lüftungs- und Klimaanlage des Bernaquas Erlebnisbad und Spa. Seit Eröffnung des Bades im Jahr 2008, sind fortwährend Verbesserungen durchgeführt worden, um den Energieverbrauch zu verringern und einen nachhaltigen und effizienten Betrieb sicherzustellen. Die Arbeit untersucht das Potenzial zur Minderung des Energieverbrauchs und zeigt weitere Optimierungen, unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit, auf.

In einem ersten Schritt wurde der Energieverbrauch der Hauptverbraucher Badewasser, Lüftung, Brauchwarmwasser und Heizung analysiert, um die Schwerpunkte der Optimierung zu priorisieren. Dabei wurde das grösste Potenzial zur Steigerung der Effizienz in der Lüftung erkannt. Danach wurden Massnahmen aufgezeigt, mit welchen der Energieverbrauch in Zukunft verringert werden kann. Abschliessend sind die Investitionskosten und die Amortisationszeit abgeschätzt worden, um eine Empfehlung der Massnahmenumsetzung abgeben zu können.

Objektbeschreibung

Das Gebäude verläuft über fünf Geschosse mit mehreren Bereichen. Dazu gehört das Erlebnisbad, der Wellnessbereich sowie das Fitnesscenter. Gesamthaft weist das Bad 18 Wasserbecken unterschiedlichster Nutzungen auf. Das Bad ist dem Einkaufszentrum Westside angegliedert. Die Gebäudetechnikanlagen laufen jedoch autonom.



Abb. 1: Erlebnisbad Bernaqua

Hauptverbraucher

Als Referenzjahr des Energieverbrauchs wurde das Jahr 2016 definiert. Anhand diesen Werten wurde die Optimierung der Lüftung durchgeführt.

Der Jahresenergieverbrauch wird in zwei Kategorien eingeteilt. Zum einen in den thermischen Energieverbrauch, zum anderen in den elektrischen Energieverbrauch. Nachfolgend wird der thermische Energieverbrauch der Lüftungsanlagen aufgezeigt.

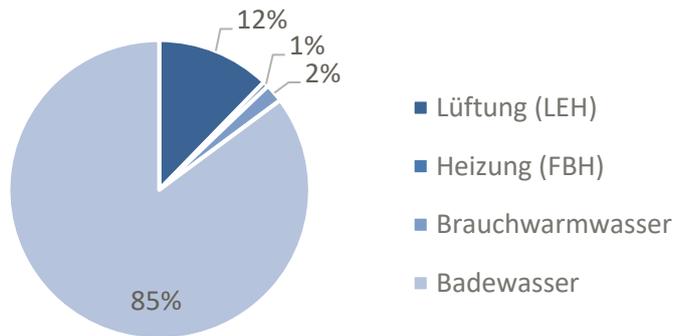


Abb. 2: Jahresverbrauch thermisch 2016

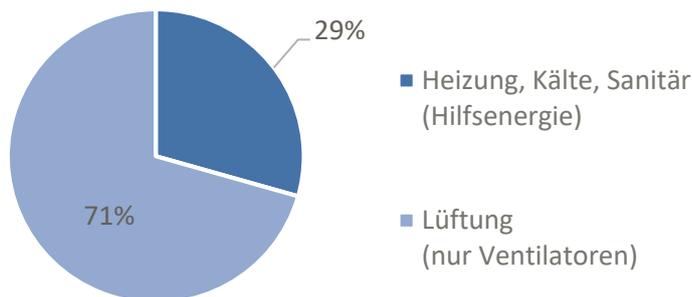


Abb. 3: Jahresverbrauch elektrisch 2016

Die Arbeit beschränkt sich auf die 12% des thermischen Energieverbrauchs der Lüftung. Der gesamte Energieverbrauch entspricht 13.8 GWh.

In der oberen Abbildung 3 wird der elektrische Verbrauch aufgezeigt. Deutlich zu erkennen ist, dass die Ventilatoren mit 0.7 GWh den grössten Energieverbrauch aufweisen.

Optimierung

Folgende Optimierungsmassnahmen wurden untersucht.

- Massnahme 1: Optimierung Volumenstrom
- Massnahme 2: Erhöhung Effizienzklasse Ventilatormotoren
- Massnahme 3: Abwärmenutzung
- Massnahme 4: Filtervorwärmung

Massnahme 1: Optimierung Volumenstrom

Der Zuluftvolumenstrom wird derzeit in der Nacht nicht reduziert und somit der Sollwert der Raumfeuchte stark unterschritten. Durch Senkung des Volumenstroms kann elektrische sowie thermische Energie eingespart werden.

Massnahme 2: Erhöhung Effizienzklasse Ventilatormotoren

Die Motoren der Ventilatoren sind gemäss dem Energiestand des Jahres 2008 ausgeführt worden. Die Effizienzklasse ist nach dem heutigen Stand der Technik auszuwählen.

Massnahme 3: Abwärmenutzung

Bestehende Anlagen mit integrierten Wärmetauscher Registern, welche nicht angeschlossen sind, sollen miteinander verbunden werden, um die warme Abluft zu nutzen und keine Energie zu vernichten.

Massnahme 4: Filtervorwärmung

Die ganzjährig warme Fortluft der Schwimmhallenlüftungen soll mittels KVS Registern für die Filtervorwärmung genutzt werden. Da ebenfalls ganzjährig hohe Zulufttemperaturen gefordert sind, dient die Filtervorwärmung nicht nur dem Verhindern von Kondensatbildung, sondern wirkt sich auch positiv auf den thermischen Energieverbrauch aus.

Resultate

In den nachfolgenden Tabellen werden die Einsparungen der einzelnen Massnahmen aufgezeigt. Tabelle 1 zeigt die thermische Einsparung und Tabelle 2 die elektrische Einsparung.

Tab. 1: Thermische Einsparung

Massnahmen	Einsparung Thermisch		Tarif Thermisch [Fr./kWh]	Einsparung Thermisch [Fr./a]
	[kWh/a]	[%]		
Optimierung Volumenstrom	83'351	12%	0.076	6'335
Erhöhung Effizienzklasse Ventilatormotoren	0	0%	0.076	0
Abwärmenutzung	41'880	3%	0.076	3'183
Filtervorwärmung	625'580	37%	0.076	47'544
Total	750'811	45%	0.076	57'062

Tab. 2: Elektrische Einsparung

Massnahmen	Einsparung Elektrisch		Tarif Elektrisch [Fr./kWh]	Einsparung Elektrisch [Fr./a]
	[kWh/a]	[%]		
Optimierung Volumenstrom	248'445	35%	0.100	24'844
Erhöhung Effizienzklasse Ventilatormotoren	57'905	8%	0.100	5'791
Abwärmenutzung	0	0%	0.100	0
Filtervorwärmung	0	0%	0.100	0
Total	306'350	43%	0.100	30'635

Der thermische Verbrauch kann beim Umsetzen aller Massnahmen um 45% reduziert werden. Beim elektrischen Verbrauch entsteht eine Einsparung von 43%.

Empfehlung

Unter Berücksichtigung der Wirtschaftlichkeit werden, bis zur Steigerung der Effizienzklasse, sämtliche Massnahmen zur Umsetzung empfohlen. Die Investitionen effizienterer Motoren gegenüber der Einsparung sind nicht verhältnismässig. Der Einsparung des elektrischen Verbrauchs wird dadurch um lediglich 8% verringert, wobei die thermische Einsparung beibehalten wird mit 43%.

Die Investitionskosten zur Umsetzung der empfohlenen Massnahmen sind in rund elf Monaten amortisiert und liegen somit im Rahmen einer energetischen Betriebsoptimierung.

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