

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

Institut für Gebäudetechnik und Energie 2019

Fachberichte Bachelor-Thesis Gebäudetechnik | Energie

Fachberichte MSE Master of Science in Engineering

WOR

WORD

1 Diplomandin und 35 Diplomanden des Studiengangs Gebäudetechnik | Energie haben im Frühlingsemester 2019 ihre Bachelor-Thesis verfasst. Gegen 13'000 Stunden haben sie gemeinsam in ihre Arbeiten investiert, welche das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs aufzeigen. 17 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung Gebäude-Elektroengineering (GEE), 19 die Studienrichtung Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär (HLKS) ab.


Zusätzlich haben 1 Diplomandin und 2 Diplomanden der Studienrichtung HLKS an der Tongji University in Shanghai/China nach zwei Semestern im 2019 einen Zweitabschluss (Dual Degree) als Bachelor of Engineering (BE) in «Building Services Engineering» erworben.

Mit dem erweiterten interdisziplinären Studienprogramm Bachelor+ haben zudem zwei Diplomanden der Studienrichtung HLKS im letzten Studienjahr zusammen mit den Studierenden der Studiengänge Architektur, Bauingenieurwesen und Innerarchitektur ihre interdisziplinären Kompetenzen in Projektmodulen vertieft. Mit der Bachelor-Thesis BAT+ im Frühlingsemester 2019 haben sie sich das Zusatzzertifikat «Interdisziplinarität am Bau» erworben.

1 Diplomand hat zudem den Studiengang Master of Science in Engineering (MSE) mit Vertiefung Gebäudetechnik | Energie abgeschlossen.

Alle bearbeiteten Themen sind konkrete und aktuelle Fragestellungen aus Forschungsprojekten oder von Industriepartnern, die auch einen Beitrag zur 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 Fokusthemen 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 | Energie

Juli, 2019

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

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

INN

NAIT

BACHELOR

Leu Martin	Rupp Ivan	BAT G_19_01
Faggiano Luca		BAT G_19_02
Huber Florian	Apicella Luca	BAT G_19_03
Pfister Reto		BAT G_19_04
Baumgartner Andrin	Stähli Samuel	BAT G_19_05
Stanojlovic Marko		BAT G_19_06
Stulz Christian	Graf Rico	BAT G_19_07
Müller Roman	Hofer Pascal	BAT G_19_08
Zumbrunn Lucca		BAT G_19_09
Maurhofer Marco	Hodel Kevin	BAT G_19_10
End Michael	Alge Sam	BAT G_19_11
Hediger Luca		BAT G_19_12
Moser Stephen	Baumann Adrian	BAT G_19_13
Moser Aaron	Frey Adrian	BAT G_19_14
Riedweg Adrian	Bucher Lukas	BAT G_19_15
Purtschert Christian	Häusler Marc	BAT G_19_16
Joss Benjamin		BAT G_19_17
Lötscher Lukas	Palese Adriano	BAT G_19_18
Kempf Andreas	Schmidt Bianca	BAT G_19_19
Leiggener Samuel	Evangelisti Nicola	BAT G_19_20

BACHELOR+

Stöckl Jan	Widmer Mario	BAT+ G_19_21
-------------------	---------------------	--------------

MASTER

Hotz Dominik	MSE
---------------------	-----

BACH

WELOR

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_01
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Wärmeverteilungskonzepte in der Analyse

Studierende	Ivan Rupp Martin Leu
Dozierende	Prof. Werner Betschart Prof. Reto von Euw
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Migros Genossenschafts Bund, Postfach 1766, 8031 Zürich
Abgabedatum	07. Juni 2019

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

Wärmeverteilkonzepte in der Analyse

Anhand einer bestehenden Anlage sollen typisch eingesetzte Hydraulik-Konzepte analysiert und beurteilt werden. Dazu ist eine Methodik für die Beurteilung von hydraulischen Systemen zu erarbeiten. Weiter sollen in dieser Arbeit Massnahmen aufgezeigt werden, mit welchen die Energieeffizienz von hydraulischen Systemen verbessert werden können. Diese sollen auf durchgeführte Simulationen gestützt werden. Aufgrund der gemachten Analyse sowie den gewonnenen Erkenntnissen soll ein neues hydraulisches System für die bestehende Anlage entwickelt werden.

Für die Erarbeitung dieser Bachelor-Thesis diente eine reale Anlage der Industriepartnerin MIGROS. Die Anlage befindet sich in einem Logistikgebäude in Marin NE. Das Gebäude wird primär für Umschlagszwecke von Food- und Non-Food-Artikel verwendet. Dabei verfügt das Gebäude für die Lagerung dieser Artikel über verschiedene Zonen mit unterschiedlichen Temperaturniveaus. Weiter besitzt das Gebäude auch einen Teil mit Büronutzung sowie eine Bäckerei. Aufgrund der Lagerung von Frischprodukten verfügen die meisten Zonen über eine Pluskühlung. Für die Aufbewahrung von Tiefkühlprodukten sind zudem einige dezentrale Tiefkühlzellen mit einer Minuskühlung vorhanden. Für die Kälteversorgung des Gebäudes befindet sich eine Ammoniak-Kältemaschine im Untergeschoss. Die Abwärme dieser Kältemaschine wird zu Heizzwecken verwendet. Dabei wird nebst der Kondensationswärme auch die Abwärme der Ölkühlung der Kompressoren genutzt. Die Abwärmeenergie gelangt in einen zentralen Wärmespeicher, ab welchem das Gebäude mit Wärmeenergie versorgt wird. Sollte die Abwärmeenergie für die Bedarfsabdeckung nicht ausreichen, wird ein Ölkessel zur Nachheizung zugeschaltet.

Methodik für die Beurteilung von hydraulischen Systemen

Es wurden Anforderungen definiert, welche ein modernes hydraulisches System erfüllen sollte, um einen sicheren und energieeffizienten Betrieb ohne Komforteinbussen für den Nutzer zu gewährleisten. Anschliessend wurde eine Checkliste erarbeitet, mit welcher Hydraulik-Konzepte einfach und schnell auf die Erfüllung der definierten Anforderungen hin überprüft werden können. Mit der konsequenten Anwendung von dieser kann gewährleistet werden, dass die wichtigsten Anforderungen an die Hydraulik erfüllt werden. Bei der Analyse des Hydraulik-Konzepts der bestehenden Anlage wurde die Checkliste angewendet, wobei dadurch einige Fehler eruiert werden konnten. Somit hat sich diese bewährt und kann als Handbuch für die Planung neuer Anlagen und Analyse von bestehenden hydraulischen Systemen verwendet werden. Jedoch ist sie insbesondere bei sehr komplexen System entsprechend zu erweitern, da sie keine Spezialfälle behandelt.

Massnahmen für die Verbesserung der Energieeffizienz im Gesamtsystem

Mittels Simulationen wurden verschiedene hydraulische Schaltungen bezüglich Teillastfälle und verschiedene Vorlauftemperaturen untersucht. Dazu wurden ein Lufterhitzer in einer Luftaufbereitungsanlage und die Fussbodenheizung detaillierter betrachtet. Mit der Analyse eines Lufterhitzers wurde zugleich das Verhalten von Heizkörpern, Luftheizapparaten sowie Türluftschleieranlage untersucht, da deren Eigenschaften bezüglich Wärmeübertragung ähnlich sind. Die Simulationen wurden mit dem Simulationstool IDA-ICE erstellt.

Simulationen Lufterhitzer

In der Heizungstechnik werden für Lufterhitzer aufgrund der Frostsituation gegenwärtig primär hydraulische Schaltungen mit Temperaturregelungen eingesetzt. Die gewählten Schaltungen sind hier üblicherweise Beimisch- oder Einspritzschaltungen mit Durchgangsventil. Die

Massenstromregelung mit Drosselschaltungen wird für Lufterhitzer aufgrund der Frostsituation nur sehr selten verwendet, weil im Lufterhitzer eine inhomogene Temperaturverteilung entsteht. Mit der Verwendung eines Wasser/Glykol-Gemisches als Wärmeträgermedium für die Luftaufbereitungsanlagen ausserhalb des Gebäudes besteht jedoch keine Frostgefahr. Für Luftaufbereitungsanlagen innerhalb des Gebäudes wird meist Wasser als Wärmeträgermedium eingesetzt. Auch bei diesen kann im Betrieb bezüglich Frostgefahr ein sicherer Betrieb gewährleistet werden, wenn auf Seiten Regeltechnik zusätzliche Massnahmen getroffen werden. Die Abbildung 1 zeigt das Verhalten des Lufterhitzers bei einer Aussentemperatur von 10°C und einer Vorlauftemperatur vom Speicher von 35°C. Dabei wird über die Simulationszeit im Sinne einer bedarfsgeführten Lüftung der Volumenstrom durch den Lufterhitzer von 100% auf 0% reduziert. Es ist ersichtlich, dass die Rücklauftemperatur bei der Drosselschaltung (DS) über sämtliche Lastzustände um 2-5°C tiefer liegt als bei der Beimischschaltung (BMS). Auch der sekundärseitige Massenstrom vom Speicher zum Lufterhitzer ist bei der Drosselschaltung geringer. Die Simulationen zeigten auch, dass unabhängig von der Aussenlufttemperatur und der gewählten Vorlauftemperatur die Rücklauftemperatur bei der Drosselschaltung immer tiefer ist als bei der Beimischschaltung.

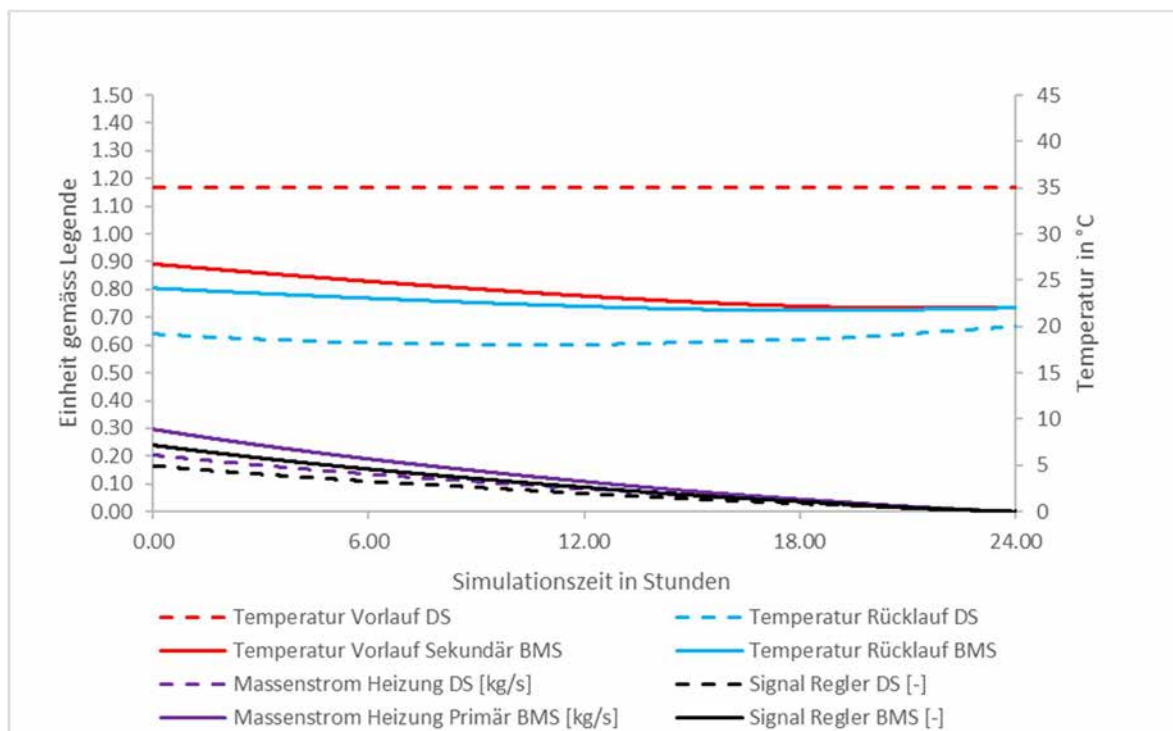


Abb. 1: Verhalten Lufterhitzer bei Aussentemperatur von 10°C und Vorlauftemperatur vom Speicher von 35°C

Simulationen Fussbodenheizung

Bei diesen Simulationen wurde das Verhalten der Rücklauftemperaturen bei der Regelung der Wärmeabgabe mittels variabler Vorlauftemperatur, variablem Massenstrom und ON/OFF-Regelung untersucht. Aufgrund der grossen Trägheit dieses Systems stellten sich in sämtlichen Lastzuständen bei allen Varianten ungefähr dieselben Rücklauftemperaturen ein.

Auswertung Streckenkennlinie

Aus den Simulationen war ersichtlich, dass mit der Drosselschaltung eine stark durchgekrümmte Wärmeübertragerkennlinie entsteht. Damit trotzdem eine lineare Streckenkennlinie resultiert, muss diese durch das Regelventil korrigiert werden. Mit dem Einsatz eines Regelventils mit

gleichprozentiger Ventilkennlinie kann die Wärmeübertragerkennlinie besser korrigiert werden als mit einem Regelventil mit linearer Ventilkennlinie und einem Regelventil mit sensorgeführter Durchflussregelung. Hierbei sind vor allem differenzdruckunabhängige Regelventile ideal, da diese den Differenzdruck über den Wärmeverbraucher konstant halten und sich somit die Streckenkennlinie aufgrund von variierenden Druckverhältnissen im Netz nicht verändert. Um auch in Teillastfällen mit überhöhten Vorlauftemperaturen, bei welchen die Massenströme sehr klein sind, eine möglichst lineare Streckenkennlinie zu erhalten, ist der Einsatz von zwei unterschiedlich grossen Regelventilen zu empfehlen. Dabei sollte das kleinere der beiden Regelventile möglichst klein gewählt werden, damit dieses auch bei sehr tiefen Teillastfällen einen grossen Hubbereich für die Regelung zur Verfügung hat. So kann in allen Betriebssituationen eine präzise Regelung garantiert werden.

Fazit Energieeffizienz

Mit dem Einsatz von Drosselschaltungen sinkt der elektrische Energieverbrauch der Umwälzpumpen, weil bei diesen der Massenstrom variabel ist. Zudem benötigt nicht jeder Luftherhitzer über eine zusätzliche Umwälzpumpe, welche über einen konstanten Massenstrom verfügt. Zudem werden mit Drosselschaltung tiefere Rücklauftemperaturen erreicht, was sich je nach eingesetztem Wärmeerzeuger positiv auf dessen Wirkungsgrad auswirkt.

Neues Hydraulik-Konzept

Anhand der Erkenntnisse aus der Analyse des bestehenden hydraulischen Konzepts und den Simulationen wurde ein neues Hydraulik-Konzept erarbeitet. Dabei geschieht bei sämtlichen Wärmeabgabesystemen, mit Ausnahme der Fussbodenheizung, die Regelung der Wärmeabgabe mittels Drosselschaltungen mit differenzdruckunabhängigen Regelventilen. Die Wärmeabgabesysteme werden nicht wie bis anhin durch die unterschiedlichen Heizgruppen sondern durch ein zentrales Netz erschlossen. So werden deutlich weniger Rohrleitungen und Umwälzpumpen benötigt. Auf die analysierte Anlage adaptiert, können durch das neue Hydraulik-Konzept rund 25% des gesamten Rohrleitungsbedarf und vierzehn Umwälzpumpen eingespart werden. Bei den Luftherhitzern im Gebäude, welche nicht durch ein Wasser/Glykol-Gemisch mit Wärmeenergie versorgt werden, entsteht durch die inhomogene Temperaturverteilung im Luftherhitzer eine erhöhte Frostgefahr. Deshalb werden dort zusätzliche Massnahmen getroffen. So erfolgt die Frostschutzüberwachung sowohl luft- wie auch wasserseitig. Zudem werden von den Ventilen und Umwälzpumpen jeweils Stellungen- bzw. Betriebsrückmeldung angefordert.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_02
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Gebäudemonitoring - Datenplausibilisierung

Studierende	Luca Faggiano
Dozierende	Olivier Steiger Reto Marek
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Avelon Cetex AG, Bändliweg 20, 8048 Zürich)
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Gebäudemonitoring - Datenplausibilisierung

Gebäudetechnische Monitoring-Systeme erfassen eine Vielzahl an unterschiedlichen Daten und Messwerten. Die erfassten Messdaten bilden die Grundlage für nachfolgende Analysen im Bereich des Energie-Management und rund um die Gebäudetechnik. Für eine korrekte Analyse ist die Qualität und Plausibilität der Daten daher essentiell.

Eine fehlerfreie Funktionsprüfung von Verbrauchszählern kann dabei ohne Bezug zu anderen Mess- und Datenpunkten anhand von mehreren Prüfparametern durchgeführt werden. Eine Plausibilisierung von Temperaturmesswerten, Bezugszeiten, Betriebszuständen, bezogener Energie etc. benötigt jedoch nebst den eigenen Messwerten auch zusätzliche Informationen. Dies ist so, weil viele Anlagen auf unterschiedliche Einflüsse von aussen reagieren. Diese Einflüsse müssen für eine Plausibilisierung ebenfalls als Messwert vorliegen um das Verhalten der Anlagen überprüfen zu können.

Systemaufbau

Im Bereich der Gebäudeautomation und des gebäudetechnischen Energie- und Komfort-Monitorings werden über alle Gewerke hinweg Anlagendaten für den Betrieb und die Nebenkostenabrechnung erfasst. Die Erhebung dieser Daten erfolgt meist auf unterschiedlichen Systemen. Durch das Zusammenführen dieser Daten auf eine Ebene wird somit eine Gesamtübersicht der technischen Anlagen und aller daran angebotenen Systeme ermöglicht. Mit den gebündelten Daten bietet das Monitoringsystem somit die Möglichkeit verschiedenste Werte zu überprüfen, miteinander zu vergleichen, Berechnungen auszuführen oder Betriebszustände auszulesen und im Störfall Alarme abzusetzen.

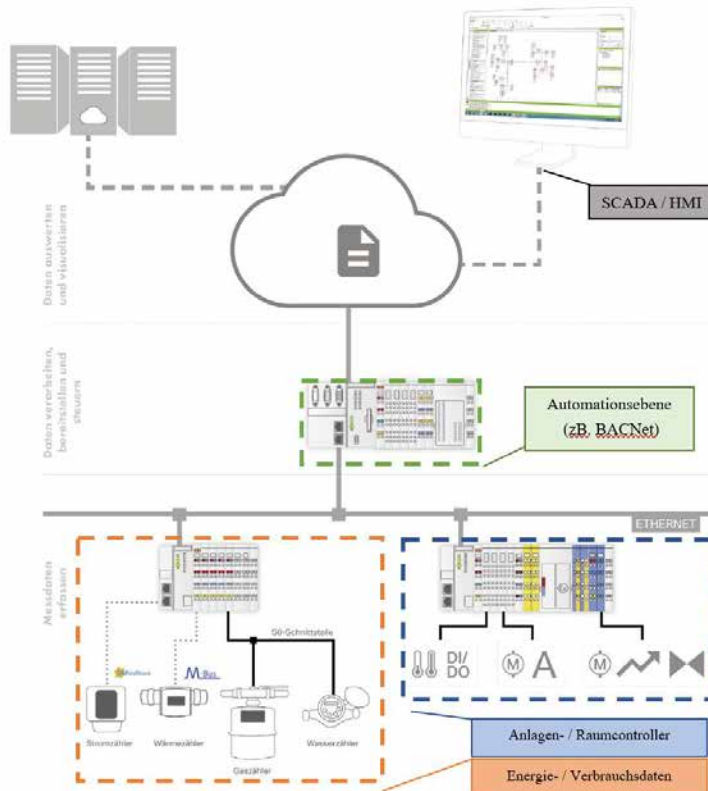


Abb. 1: Trennung von Monitoring und Automationssystem, In Anlehnung an: (WAGO Kontakttechnik Gesellschaft m.b.H., 2016)

Plausibilisierungskonzept

Vor einer Datenanalyse müssen die vorhandenen Werte auf Konsistenz geprüft werden. Dadurch kann verhindert werden, dass defekte bzw. falsche Datensätze analysiert und dadurch falsche Aussagen getroffen werden. Im zweiten Schritt werden die Verläufe der Messwerte detaillierter analysiert. Dabei werden unter anderem Methoden angewandt welche auch andere Messdaten miteinbeziehen. Anschliessend werden die geprüften Daten zur Berechnung von KPI's (Key Performance Indicators) beigezogen. Abschliessend werden aufschlussreiche Visualisierungen zu den Messreihen und den berechneten KPI's erstellt.

Um nützliche und logisch verknüpfte Rule Sets und Plausibilisierungsroutinen zu entwickeln, wird dabei auf die Hilfe einer Metadatenstruktur zurückgegriffen, in welcher die Abhängigkeiten und Einflüsse zwischen den einzelnen Datenpunkten beschrieben wird.

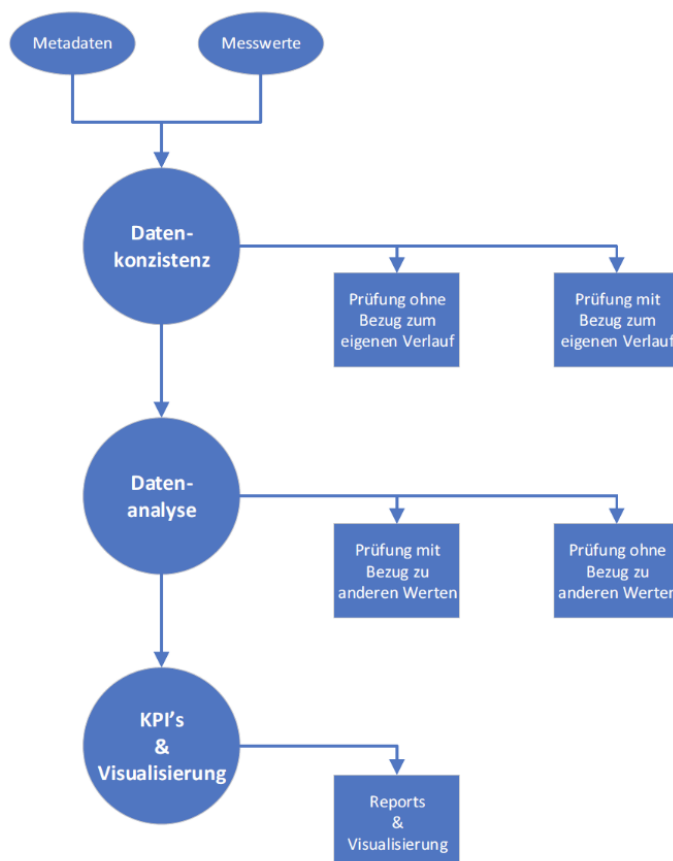


Abb. 2: Plausibilisierungskonzept und Prüfabfolge

Datenkonsistenz:

In diesem Schritt werden die vorliegenden Messwerte auf Datenkonsistenz geprüft und entschieden, ob diese für eine weitere Plausibilisierung in Frage kommen. Somit soll beispielsweise verhindert werden, dass über längere Zeit ein defekter Sensor nicht erkannt wird, Nullwerte liefert oder Werte ausserhalb des zulässigen Bereichs für die weitere Plausibilisierung verwendet werden.

Datenanalyse:

Die Datenanalyse prüft beispielsweise den zeitlichen Verlauf von Temperatursensoren, die Bezugszeiten und den Bedarf an Strom, Kälte, Warm- und Kaltwasser. Durch den Zugriff auf andere Messwerte und die Verknüpfung über Metadaten, können diese Messreihen gegenübergestellt und genauer plausibilisiert werden.

KPI's & Visualisierungen:

Im dritten und letzten Schritt werden sogenannte KPI's berechnet und geprüft. Typische KPI's im Energie Monitoring sind zB. der Wirkungsgrad der WRG, COP der Wärmepumpe und Energiebezugswerte als kWh / m². Weiter werden die Daten aus den Messreihen und berechneten KPI's mit Hilfe von Graphen, Anlagenvisualisierungen und Energieflussdiagrammen dargestellt. Diese Visualisierungen bieten eine simple Möglichkeit die Messwerte zu interpretieren.

Beispiel einer Plausibilisierung

Die nachfolgende Abbildung zeigt eine Heatmap des Elektrozählers einer Krippe. Nebst fehlenden Messwerten (schwarze Felder, markiert durch rote Pfeile) repräsentieren die farbigen Zellen die berechnete mittlere Leistung zwischen zwei Zählerständen die 15 Minuten auseinander liegen. Der Leistungsbereich zwischen 0 bis 8kW wird dabei farblich illustriert. Die entsprechende Farbskala zu den Leistungswerten befindet sich auf der rechten Seite der Grafik.

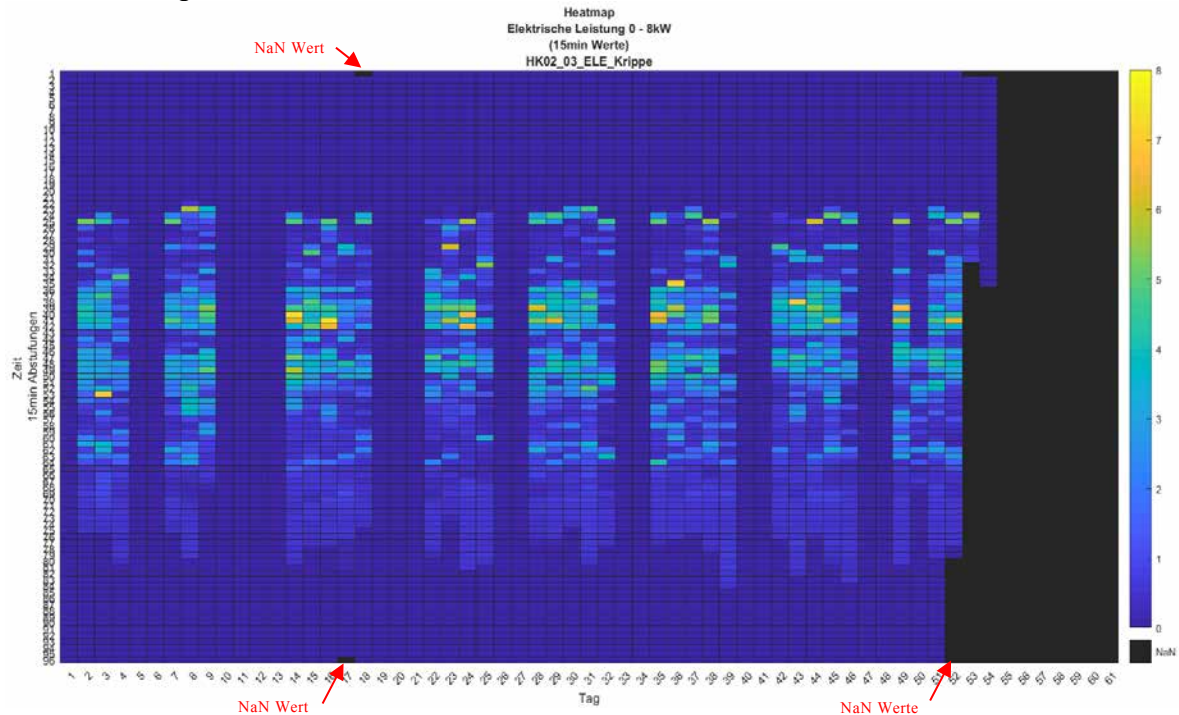


Abb. 3: Heatmap der Messwerte eines Elektrozählers

Durch die Darstellung der Daten in einer Heatmap ist nebst der Anzahl fehlender Messwerte auch ersichtlich, in welchem zeitlichen Verlauf diese fehlen. Weiter ist der Tages- sowie der Monatsverlauf der berechneten 15-Minuten Leistungswerte ersichtlich und kann somit nicht nur durch die Software, sondern auch visuell auf einfache Weise plausibilisiert werden. Mit Hilfe dieser Visualisierung werden beispielsweise Tage, an welchen kein Strom bezogen wurde, klar ersichtlich. Weiter kann der Zeitpunkt des Leistungsbezugs plausibilisiert werden. So ist zB. ein hoher Leistungsbedarf an Wochentagen über die Mittagszeit wahrscheinlich, während der Nacht jedoch aufgrund der Nutzungszeiten der Krippe eher unwahrscheinlich.

Metadatenmodelle im Gebäude können nicht nur für die Datenplausibilisierung Vorteile mit sich bringen, sondern bieten auch bei anderen Anwendungen grosses Potential. Einige dieser möglichen Einsatzgebiete sind zB. prädiktive Regelungen, präsenzabhängige Regelungen, belegungsabhängige Regelungen, automatische Bedarfsregelungen, Generierung von Energiereports, Fehlerdiagnose, Dokumentation der Anlagen in der Planung und im Betrieb, etc.

Ein weiterer Vorteil ist die Flexibilität, die ein solches Model bietet. So können beispielsweise die Rule Sets dynamisch je nach Anlagenzustand, Jahreszeit oder Betriebsfall angepasst werden und mit Formeln oder Lookup-Tabellen hinterlegt werden. Dadurch können zulässige Wertebereiche für die einzelnen Fälle schmaler ausfallen, da es nicht mehr den gesamten Dynamikumfang abdecken muss.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_03
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Entwicklung von adaptiven Heizungsstrategien für die Uni Zürich

Studierende	Florian Huber Luca Apicella
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Gerhard Zweifel
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Philipp Glatt, Universität Zürich, Stampfenbachstr. 73 8006 Zürich)
Abgabedatum	07. Juni 2019

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

Entwicklung von adaptiven Heizungsstrategien für die Uni Zürich

Das Ziel war es, das Heizungssystem der Universität Zürich (UZH) zu analysieren und Energieverbesserungsvorschläge zu formulieren. Die Mitarbeiter des Betriebsdienst sehen ein Energieeinsparpotenzial auf dem gesamten Campus. Es wurden von der Universität Zürich zwei Referenzgebäude zur Verfügung gestellt. Es hat sich herausgestellt, dass die thermische Behaglichkeit in einigen Räumen aus Sicht der Nutzer*innen nicht erfüllt ist. Ebenfalls sind Einstellungen in der Regelung dem Betriebsdienst nicht vollständig bekannt. Eine Nachtabsenkung ist durch das Abkühlverhalten der Gebäude sinnvoll, implementierbar oder weiter ausbaubar. Die Heizgrenze kann in allen Gebäuden weiter herabgesetzt werden. Eine automatisierte Einzelraumregulierung kann man in Betracht ziehen.

Ausgangslage

Die Universität Zürich will ein Konzept für eine Heizungsregelung entwickeln, welche auf mobilen Messungen der Raumtemperatur basiert (Comtac LORA-WAN).

Die Universität Zürich umfasst rund 250 Gebäude verteilt in der ganzen Stadt Zürich. Die Gebäude werden zusammengefasst in vier verschiedene Campus. Der älteste und grösste Campus ist der Universität Zürich Zentrum kurz UZZ genannt. Die Gebäude im UZZ wurden grösstenteils zwischen 1842 und 1900 erbaut. Wie aus der Zeit üblich wurden die Gebäude im UZZ in der Massivbauweise gebaut. Der Zweite Campus ist der Universität Zürich Irchel kurz UZI genannt. Dieser Campus wurde zwischen 1970-1992 erbaut. Massivbauweise mit Stützenprinzip zeichnen diesen Campus aus. Die zwei weiteren Campus befinden sich in Zürich Schlieren und Oerlikon, welche nicht Teil dieser Arbeit sind.

Die UZH hat jeweils ein Gebäude pro Campus als Referenzgebäude zur Verfügung gestellt, welches den jeweiligen Gebäudestandard des Campus repräsentieren soll. Dies hat den Vorteil, dass die gewonnen Erkenntnisse auf die anderen Gebäude übertragen werden können.

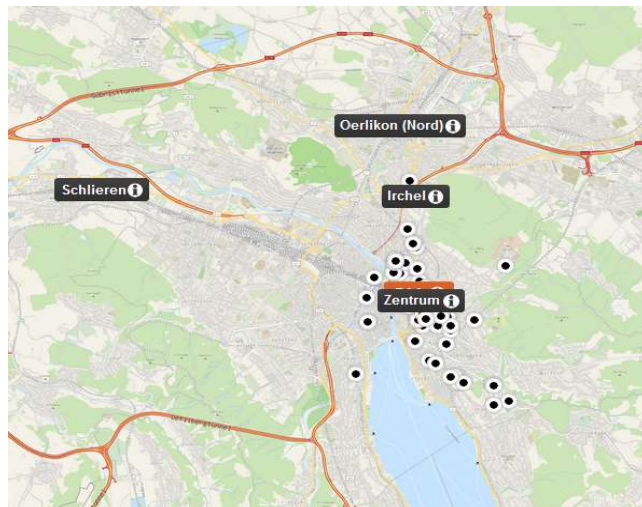


Abbildung 1 Übersicht Standorte Universität Zürich (Infrastruktur UZH)

Vorgehen

In den zwei zur Verfügung gestellten Gebäude wurden Raumtemperaturfühler in verschiedenen Räumen platziert. Diese erfassen alle 15 min die Raumlufttemperatur. Die gesammelten Daten werden mittels eines Transmitters an das Interne Aufzeichnungssystem «SILOVEDA» übermittelt. Im «SILOVEDA» werden weitere benötigte Parameter bereits aufgezeichnet, wie die Aussentemperatur, Aussenfeuchte, Globalstrahlung sowie Vor- und Rücklauftemperatur. Diese Daten wurden nach einer Messperiode von sechs Wochen aus dem Programm exportiert und im Excel verarbeitet.

Erkenntnisse

Es hat sich in der Arbeit herausgestellt, dass eine Energieverbrauchsoptimierung nicht direkt möglich ist. Der Betriebsdienst hat viele Erkenntnisse aus der Arbeit gezogen, was sie zuerst machen müssen. So sind die Lüftungsanlagen in den Gebäuden zuerst zu überprüfen, die Einstellungen aller Regelparameter ausfindig zu machen, die Fenster zu untersuchen oder und die Temperaturen zu erheben. Es wurde festgestellt das folgende Grundlagen für eine energetische Verbesserung gegeben sein müssen:

- Sicherstellung der Behaglichkeit (Lüftung, Temperatur, Fenster)
- Funktionierendes Leitsystem (alle Parametereinstellung und korrekte Informationen zu Feldgeräten und Einstellungen)

In der Arbeit konnten einige Erkenntnisse über das Heizungssystem und die technischen und organisatorischen Gegebenheiten an der UZH gezogen werden. Für den Betriebsdienst der UZH ist es wichtig zu wissen, dass die thermische Behaglichkeit in den Gebäuden nicht überall gegeben ist. So können sie die Behaglichkeit untersuchen und gegeben falls Massnahmen ergreifen. Die Behaglichkeit kann mittels Messungen und Umfragen bestimmt werden. Weiter hat sich gezeigt, dass die Betriebsdienste der UZZ und der UZI sich besser austauschen müssen, um ein einheitliches Konzept zur Verbesserung des Energieverbrauches zu erstellen. Speziell an der UZI sind noch einige Heizungsparameter unklar wie zum Beispiel die Heizgrenze. Die Bedienung des Leitsystems hat sich als schwierig erwiesen. Für künftige Energieoptimierungsmassnahmen muss ausfindig gemacht werden, wie die Parameter (Heizgrenze, Zeitprogramme, Heizkurve) eingestellt werden können. Für eine effiziente Betriebsoptimierung ist es grundlegend, dass die Einstellungen auf der Benutzeroberfläche des Leitsystems ersichtlich sind und ohne grossen Aufwand angepasst werden können. Die ursprüngliche Fragestellung der Arbeit kann soweit beantwortet werden, dass folgende Informationen für die Heizungsregelung notwendig sind:

- Heizkurveneinstellungen und Nachtabsenkung
- Zeitprogramme
- Heizgrenze
- Behaglichkeitsgefühl der Nutzer
- Thermisches Verhalten des Gebäudes
- Elektrische Einzelraumregelung (Automation)

Die Heizkurve, die Nachtabsenkung, die Zeitprogramme sowie die Heizgrenze können in allen Gebäuden erfasst werden, wenn auch unterschiedlich. Diese Parameter reichen aus, um eine Verbesserung des Energieverbrauches zu erzielen. Die Behaglichkeit sowie das thermische Verhalten des Gebäudes sind nötig, um die Heizkurve einzustellen. Mit einer elektrischen Einzelraumregulierung, kann gemäss der Norm SN EN 15232- 1:2017 von der Effizienzklasse C (Einzelraumregulierung Stellantriebe) auf die Effizienzklasse A gesteigert werden. Das senkt den Energieverbrauch. Um auszusagen wie viel diese Massnahme bewirkt und ob sie wirtschaftlich ist, muss in einer weiterführenden Arbeit untersucht werden. Da nicht alle Gebäude gleichermassen reagieren, sollen Messungen der Raumtemperatur in den Räumen erfolgen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_04
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Ionisierte Luft – eine Nachbetrachtung

Studierende	Reto Pfister
Dozierende	Prof. Dr. Rüdiger Külpmann Stefan Walser
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Pascal Eichenberger, Luzerner Kantonsspital, Spitalstrasse 16, 6000 Luzern)
Abgabedatum	07. Juni 2019

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

Ionisierte Luft – eine Nachbetrachtung

In Spitälern ist die Luftqualität für die Patienten wie auch für das Personal von hoher Bedeutung. Dies weiss auch das Luzerner Kantonsspital (LUKS) und hat am Neubau Zentrum für Notfall- und Intensivmedizin (ZNI) ein aussergewöhnliches Lüftungskonzept mit Luftionisation und Leitfähiger Luft® eingesetzt. Nach rund zwei Jahren Betriebszeit wurde das System einer Nachbetrachtung zum Wohlbefinden der Nutzer bezüglich des Raumklimas unterzogen.

Das System wurde mit einer konventionellen Ausführung bezüglich Wirtschaftlichkeit, Energieverbrauch und Platzsparpotenzial verglichen. Gegenüber den geltenden Richtlinien des SWKI wurden vom LUKS erhöhte Anforderungen an die Luftqualität gestellt. Zur Ermittlung des Raumklimas wurden Messungen vor Ort und eine Behaglichkeitsumfrage unter den Mitarbeitern durchgeführt. Als Referenz für die Messungen zu den neuen Räumlichkeiten dient der Schockraum im Altbau.

Anlagenbeschreibung

In der Intensivstation und in den Isolierzimmern wurde pro Bett eine Umluft-Lüftungsanlage Typ „LUM 900“ eingebaut. Das System besteht nebst mehreren Filterstufen und einem endständigen Schwebstofffilter aus einer Behandlung mit Luftionen und UVC-Einheit, sowie Lufterhitzer / Luftkühler für die Raumkonditionierung. Im Auslass wird ein Anteil Aussenluft beigemischt und mit dem System Leitfähige Luft® werden Kleinionen an die Raumluft abgegeben.

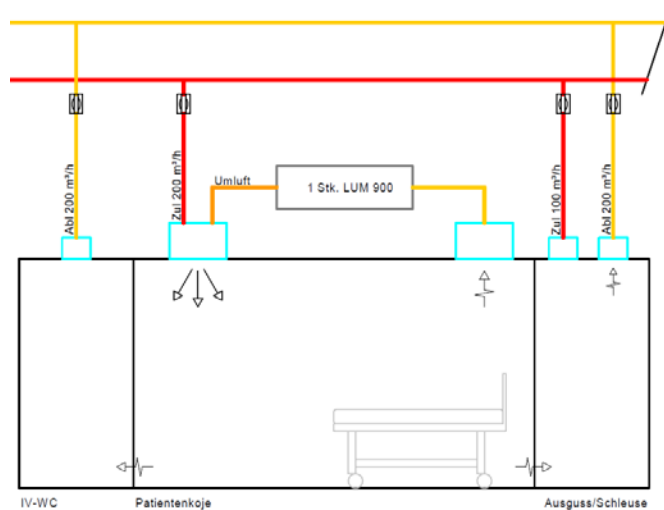


Abb. 1: Systemschnitt Patientenzimmer (1-er Kojе mit Isolierbetrieb)

Die Erzeugung der Kleinionen erfolgt ohne Ozon. Durch die Kleinionen können Partikel in der Raumluft geclustert werden, welche sich an Oberflächen ablagern oder durch die Grösse besser gefiltert werden können. Durch die hohe Ionenkonzentration können statisch geladene Oberflächen entladen werden. Die Raumluft wird ausserdem als natürlicher und „frischer“ wahrgenommen. In einer Studie konnte zudem ein Zusammenhang zu höherem Blutsauerstoffgehalt und reduziertem Puls nachgewiesen werden.

Thermische Behaglichkeit

Die Auswertung der Behaglichkeitsmessung hat ergeben, dass lokale Unbehaglichkeiten wie Zugluft im Arbeitsbereich der Mitarbeiter bestehen. Ein ähnliches Resultat hat die Mitarbeiterumfrage ergeben. Die Raumtemperaturen sind als eher kühl bewertet worden, obwohl diese gemäss Messungen im eher wärmeren Bereich liegen. Bei der Frage nach Zugerscheinungen sind alle Befragten der Meinung, dass Zugluft vorherrscht und dass diese stärker ist als bei früheren, ähnlichen Arbeitsplätzen. Im Bereich der liegenden Patienten sind keine Zugerscheinungen bekannt.

Luftqualität

Aufgrund fehlender Referenzwerte aus Richtlinien ist der Feinstaubgehalt schwer zu beurteilen. Die Messungen wurden deshalb untereinander verglichen. In den Kojen konnte eine geringere Staubbelastung als im Referenzraum festgestellt werden, was auf die gute Luftaufbereitung oder auf das System Leitfähige Luft® zurück zu führen ist. Die Geruchsbelastung und speziell die Effektivität der Geruchsbeseitigung wurde in der Umfrage als positiv bewertet. Dies spricht für die gründliche Aufbereitung der Umluft und für das System Leitfähige Luft®.

Leitfähige Luft®

Um die Funktion des Systems beurteilen zu können wurde die Ionen- und Ozonkonzentration gemessen. Es gibt keine Richtwerte in Richtlinien für die Ionenkonzentration, die einzige Vergleichsgrößen sind daher die Ionenkonzentrationen in der Natur. In den Kojen liegt die Ionenkonzentration bei einigen Tausend, wie sie auch in der Nähe von Wasserfällen zu finden ist.

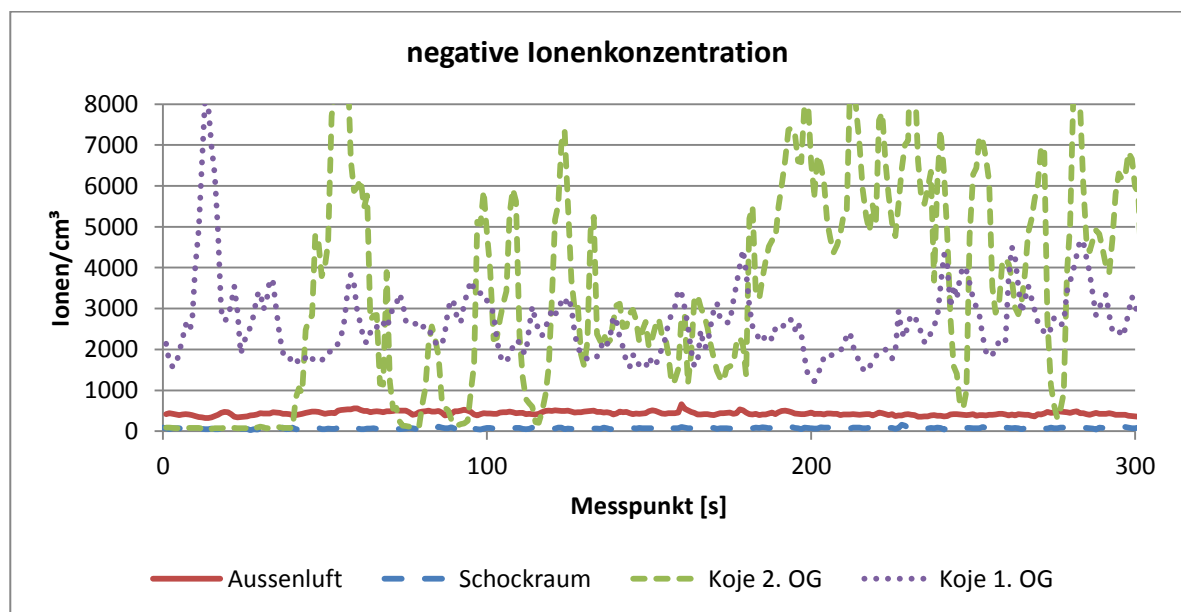


Abb. 2: negative Ionenkonzentration verschiedener Messorte

Fazit

Das Reinigungsgerät LUM 900 mit Leitfähiger Luft® entspricht den hohen Anforderungen an die Luftqualität und birgt Potenzial bezüglich Kosten und Energieverbrauch gegenüber einer konventionellen Variante. In ähnlichen Anwendungen könnte es lohnenswert sein, das System mit konventionellen Anlagen zu vergleichen, dies bietet eine interessante Alternative. Die thermische Behaglichkeit für die Mitarbeiter sollte im konkreten Fall verbessert werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_05
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Analyse und Betriebsoptimierung der zentralen Kälteerzeugungsanlage eines Spitalgebäudes

Studierende	Samuel Stähli Andrin Baumgartner
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Luzerner Kantonsspital: Pascal Eichenberger, Spitalstrasse, 6000 Luzern)
Abgabedatum	07. Juni 2019

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

Analyse und Betriebsoptimierung der zentralen Kälteerzeugung eines Spitalgebäudes

Kälteerzeugungsanlagen werden in Zukunft immer wichtiger. Unter Berücksichtigung von Technisierungsgrad, steigenden Komfortbedürfnissen der Nutzer und der klimatischen Änderungen sollten Kälteerzeugungsanlagen für ein Zeitfenster der nächsten 20 Jahre geplant werden. Aus diesem Grund wird in dieser Arbeit die Kälteerzeugung des Kantonsspitals Luzern analysiert und aufgezeigt, wo Optimierungspotentiale vorhanden sind. Das Ziel der vorgeschlagenen Massnahmen ist die Maximierung der Energieeffizienz. Die Analyse umfasst ergänzend zur Kälteerzeugung die Rückkühlung und deren Standort. Der Standort der Rückkühler wird auf die geltenden Normen und Richtlinien geprüft. Ergänzend wird die vorliegende Leistungsminderung der Rückkühler auf Ursachen geprüft. In einem ausgearbeiteten Zukunftsszenario für das Jahr 2040 wird die Steigerung des Kälteleistungsbedarfes aufgezeigt. Die Prognose wird in einem Vergleich der zur Verfügung stehenden Kälteleistung gegenübergestellt

Analyse

Vier Ammoniak-Kältemaschinen mit einer gesamten Kälteleistung von 5.2 MW versorgen das Spitalareal mit Kälteenergie. Bei tiefen Aussentemperaturen kann der Kältebedarf mittels Freecoolingbetrieb gedeckt werden. Es ist ein autarker und ein serieller Freecooling-Betrieb vorhanden. Der Freecoolingbetrieb deckt 7% des gesamten Kältebedarfes. Die anfallende Abwärme wird über drei Hybrid-Rückkühler abgeführt. Sie wird ebenfalls für die Vorerwärmung des Brauchwarmwassers des Spitalzentrums und zur Einspeisung in das Heizungsnetz des Zentrums für Notfall-/ Intensivmedizin (ZNI) verwendet. Die Abwärmenutzung beläuft sich auf 5 % der gesamten Abwärme. Mit vorgeschlagenen Massnahmen soll die Effizienz der Kälteerzeugung gesteigert und das Abwärmenutzungspotential stärker ausgeschöpft werden.

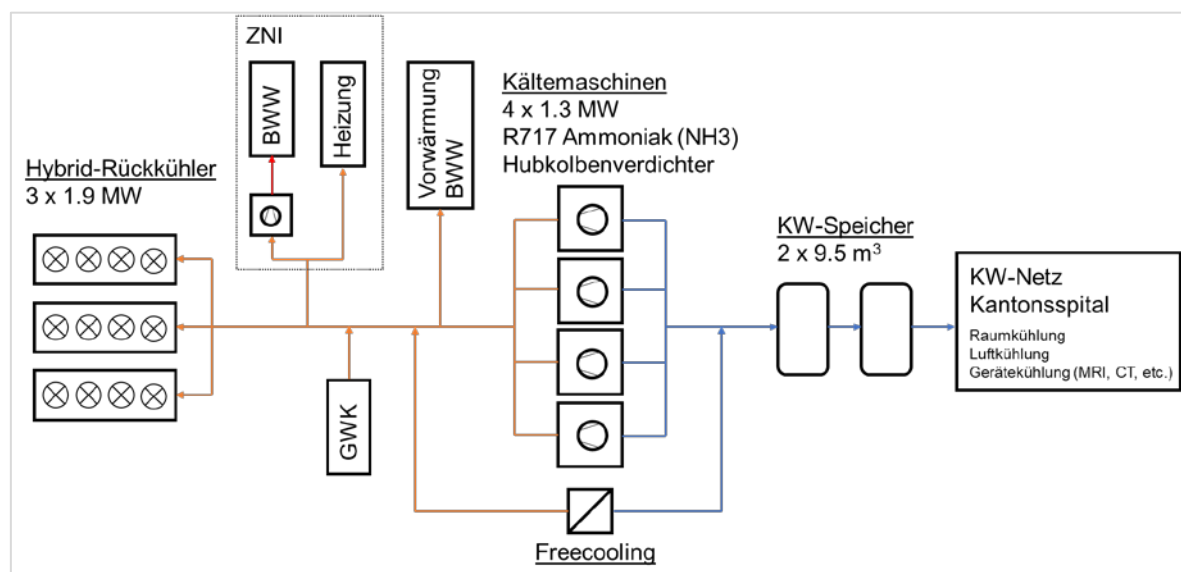


Abb. 1: Vereinfachtes Anlagenschema

Massnahmen

Die kurzfristigen Massnahmen erfordern regeltechnische Anpassungen. Sie beinhalten die Steigerung des Abwärmenutzungspotentiales des ZNI, die Erhöhung der Kaltwasser Vorlauftemperatur und die Abschaltung des ineffizienten seriellen Freecoolingbetriebes. Durch die Umsetzung dieser drei Massnahmen kann eine jährliche Einsparung von 9'609 CHF erzielt werden. Die langfristige Massnahme beinhaltet die Ergänzung einer Wärme-Kältemaschine, welche die Abwärmenutzung steigern soll. Dabei soll die Bandlast des Kältenetzes gedeckt werden und zugleich das Warmwasser des Spitalzentrums auf die gegebene Temperatur erwärmt werden. Die dafür erforderlichen Investitionskosten amortisieren sich in 2.2 Jahren.

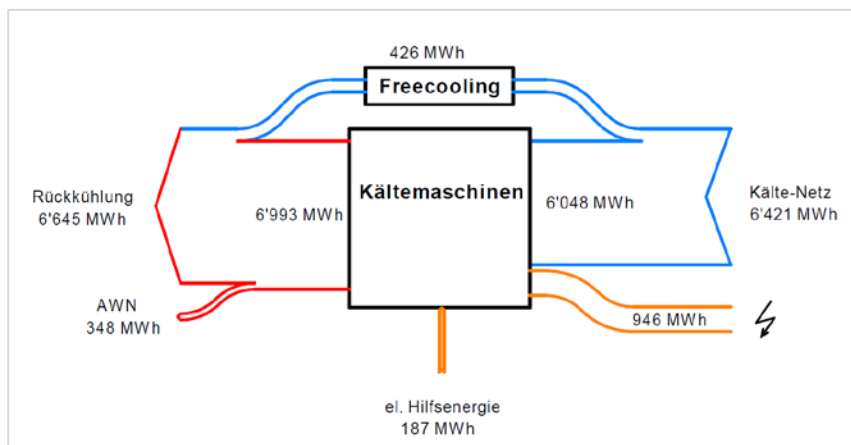


Abb. 2: Vereinfachtes Energieflussdiagramm Kälteerzeugung

Zukunftsszenario 2040

Unter Berücksichtigung vom Technisierungsgrad, den klimatischen Veränderungen, der steigenden Komfortbedürfnisse und der Erweiterung des Spitalareales wurde ein Zukunftsszenario ausgearbeitet. Aus diesem resultiert eine Spitzenkälteleistungssteigerung von 2.4 MW. Die momentane Kälteleistungsspitze beträgt 3.8 MW. Durch Ergänzung der Kälteerzeugung durch die fünfte Kältemaschine, den zusätzlichen Umwälzpumpen und des vierten Rückkühlers, kann eine Kälteleistung von 6.5 MW erbracht werden. Die resultierende Kälteleistungsspitze von 6.2 MW im Jahr 2040 kann durch die Erweiterung der gegenwärtigen Kälteerzeugung gedeckt werden. Dies jedoch nur unter Berücksichtigung der Entschärfung der Rückkühlproblematik durch eine Erweiterung der Abwärmenutzung oder durch einen Eingriff in den Standort oder die Technik der Rückkühler.

Standort Rückkühler

Die geltenden Normen und Richtlinien für den Standort des Rückkühlers werden alle eingehalten und erfüllt. Die untersuchten Faktoren, welche mit der Leistungsminderung an der Rückkühler zusammenhängen könnten, verursachen keine Leistungsminderung. Die Problematik kann folglich allein auf den Standort des Rückkühlers zurückgeführt werden. Durch die vorgeschlagenen konzeptionellen Massnahmen mittels Eingriffe in die Umgebung und den Rückkühlern kann eine Leistungsminderung verringert werden. Die Problematik des Rückkühlerstandortes kann durch eine wesentlich höhere Nutzung der Abwärme auch entschärft werden, da die abzuführende Rückkühlleistung abnehmen wird.

Ausblick

Damit die Effizienz der Kälteanlage verbessert und der Rückkühlbetrieb aufrechterhalten werden kann, sollten die empfohlenen Massnahmen umgesetzt werden. Als Unterstützung zur Umsetzung der Massnahmen bringt ein Energiecontrollingsystem grosse Vorteile mit sich.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_19_06
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

DALI-Parameter einer Tunable-White- Beleuchtungsanlage

Studierende	Marko Stanojlovic
Dozierende	Prof. Björn Schrader Reto Häfliger
Experte/-in	Markus A.E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

DALI-Parameter einer Tunable-White-Beleuchtungsanlage

Durch stetig neu entwickelte Technologien und Erkenntnisse in der Beleuchtungstechnik stellen sich immer grösser werdende Anforderungen an Bedien- und Steuerungseinheiten. Oftmals werden diese zeitlich versetzt vermarktet, was Fragen in Bezug auf Komptabilität und Benutzerfreundlichkeit aufwirft. Die Bachelor-Thesis beschäftigt sich daher mit DALI-Parametern einer Tunable-White-Beleuchtungsanlage, welche Aufschluss über diese bringen soll. Durch diese Weiterentwicklungen in der dynamischen Lichttechnik entstehen neue Probleme infolge Datenbus-Überlastungen und Bedienmöglichkeiten dieser Anlagen. Da es aus technischer Sicht aktuell zu wenig gesicherte Erkenntnisse über zeitliche Abfolgen von Farbwechsel gibt, werden diese mithilfe von Basis-Tests weiter untersucht. Tageslicht-Historien werden auf ihre Einstellungsanglichkeit geprüft und als Dokumentation für Planende und Ausführende zusammengefasst. Diese werden durch eine eigens dafür entwickelten Steuerungsbox und genannten Basis-Tests auf ihre Validität geprüft.

Ausgangslage

Um die DALI-Parameter einer Tunable-White-Beleuchtungsanlage testen zu können, benötigt es nebst den Kenntnissen über die Materie auch die Infrastruktur zur Steuerung. Für die Bachelor-Thesis ist aus diesem Grund eine Steuerungsbox gefertigt worden, welche überall einsetzbar ist. Die Steuerungsbox ist als mobile Station gedacht und kann lediglich mit einem Internet-Anschluss, überall wo eine entsprechende Beleuchtungsanlage installiert ist, gebraucht werden. Die Steuerungsbox kann für die Programmierung dynamischer Lichtverläufe über die "ConneCDIM" oder als Laboreinheit zur Untersuchung von Farbveränderungen über den "Master Configurator" genutzt werden.

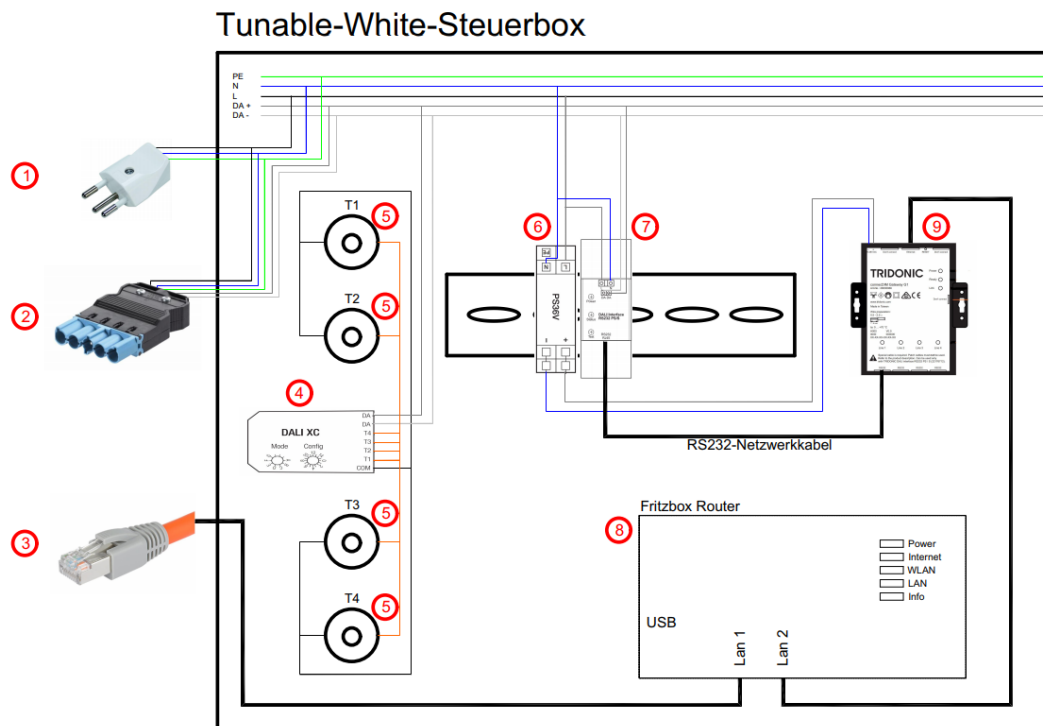


Abbildung 1 Tunable-White-Steuerbox (eigene Darstellung)

Vorgehen

Um neue Erkenntnisse im dynamischen Wechsel von Farbtemperaturen hervorzubringen, wurde eine Handvoll Probanden in Form eines Basis-Tests in einem komplett in Weiss gehaltenem Prototyp-Raum getestet. Die Untersuchung setzte sich aus 25 Teileinstellungen zusammen, welche in einer bestimmten Abfolge getestet wurden. Die veränderbaren Parameter sind zum einen die Fade-Time, welche es zulässt, die Übergangzeiten von einer Farbtemperatur in die nächste zu steuern. Zum anderen sind es die Farbsprünge, welche ausgehend von der Starttemperatur das Delta für die nächste Temperatur definieren. Diese müssen in einem Zusammenspiel so eingestellt werden, dass die Funktionstüchtigkeit der Anlage in jedem Zeitpunkt gewährleistet ist und in den Nutzern kein störendes Empfinden hervorruft. Weiter wurde das DALI-Datenprotokoll mittels der Herstellersoftware DALI-Monitor und der Fremd-Software Wire Shark analysiert. Ziel war es die eindeutigen Befehlsabfolgen zwischen Bedien- und Ausführungseinheit auswendig zu machen und zu prüfen, was Verzögerungszeiten in einem DALI-System hervorrufen kann. Auch die Herstellerkurven für Human-Centric-Light wurden geprüft, wie sich diese mit herkömmlichen Steuer- und Bedieneinheiten adäquat in eine Anlage implementieren lassen.

Erkenntnisse

In Bezug auf den Basis-Test erlangte man die Erkenntnis, dass sich Farbtemperaturänderungen in wärmeren Temperaturen eher bemerkbar machen als in kälteren Bereichen. Die Ergebnisse der Probanden haben impliziert, dass in Bereichen von 3000-4000 Kelvin die Farbänderungen nicht höher als 300 Kelvin betragen sollten. In den Bereichen über 4000 Kelvin kann mit Temperaturänderungen zwischen 500-800 Kelvin gearbeitet werden. Für die Überblendzeiten zwischen den Farbwechseln ist herausgekommen, dass ab einer Zeit von 16 Sekunden die Farbübergänge praktisch nicht mehr realisiert werden.

In Bezug auf den Datenverkehr konnte die Erkenntnis erlangt werden, dass das DALI-Protokoll immer zwei aneinander folgende Befehle versendet. Durch das Empfangen und die versetzten Antworten treten Verzögerungen in ausgelasteten Linien auf. Zudem werden für dynamische Temperaturänderungen fünf Befehle versendet, um eine Änderung zu vollstrecken. Diese summieren sich auf einer vollaugelasteten Linie mit 64 Teilnehmer und 16 Gruppen auf 80 Befehle auf. In den Befehlsabfolgen konnte keine Unstimmigkeit in Bezug auf versendete Befehle gefunden werden. Alle Befehle sind rechtmässig und konnten dem DALI-Protokoll zugeordnet werden. Ein Eingriff in das Protokoll liegt in den Händen der Programmierer. Somit sind präventive Massnahmen für die Verzögerungszeiten fast nicht möglich und bleiben weiter bestehen. Zudem kommen Problematiken hinzu, dass Tunable-White-Beleuchtungskörper mehrere Treiber für die dynamischen Weissstöne beinhalten, was dem Datenverkehr und der Auslastung der DALI-Line nicht wirklich in die Karten spielt.

In Bezug auf die Kunst-Licht-Historien und deren Kurvenverläufe wurde die Erkenntnis erzielt, dass sich diese nicht so einfach generieren lassen wie erhofft. Zudem sind Infrastruktur und Software in frühen Planungsphasen richtig zu wählen, um die gewünschten Ziele erreichen zu können. Auch im Betrieb ergibt sich eine weitere Problematik, dass während eines vollautomatischen Ablaufs schlecht bis gar eingegriffen werden kann. Dies stellt für Nutzer und Bediener ein grosses Defizit dar. Da in einem DALI-Bus keine Priorisierungen getätigt werden können, werden diese Probleme weiterhin bestehen. Eine Änderung ist voraussichtlich erst mit der DALI-Version 2 und der Einführung des Multi-Master-Prinzips in Sicht.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_07
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Elektrochrome Gläser neuester Generation

Studierende	Rico Graf Christian Stulz
Dozierende	Björn Schrader Gerhard Zweifel
Experte/-in	Markus Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Elektrochrome Gläser neuester Generation

Schutz vor Sonne und Wärme und gleichzeitig die Aussicht geniessen. Diese Kombination ist mit einer elektrochromen Verglasung möglich. Durch das Anlegen einer Spannung verändert eine im Fensterglas angebrachte elektrochrome Schicht die Farbe so, dass dadurch die Eigenschaften der Verglasung beeinflusst werden und so vor Sonnenstrahlung und Blendung schützen. Die neueste Generation elektrochromer Gläser ermöglicht einen unterschiedlichen Farbverlauf innerhalb eines Fensters, von oben nach unten und umgekehrt.

Der LichtMessContainer der Hochschule Luzern wurde mit der neuesten Generation elektrochromer Gläser der Firma SageGlass ausgerüstet. Dies war der ausschlaggebende Punkt, die gesamte Technik der Elektrochromie in Verglasungen genauer zu untersuchen. Was schliesslich zur Fragestellung führte, in wie weit und unter welchen Rahmenbedingungen elektrochrome Gläser ein vollständiger Ersatz für den aussenliegenden Sonnen- und den innenliegenden Blendschutz bieten.

Elektrochromes Glas

Die Funktionsweise der elektrochromen Schicht ist herstellerunabhängig identisch. Die Unterschiede finden sich im Schichtaufbau, wo die Hersteller unterschiedliche Varianten anwenden, deren genauen Funktionsweise und Aufbau dementsprechend nicht preisgegeben werden. In dieser technischen Erläuterung wird auf die zwei am meist verbreiteten Varianten eingegangen. Elektrochrome Gläser sind grundsätzlich als zwei- oder dreifach Isoliergläser erhältlich. Von innen nach aussen betrachtet bedeutet dies, dass nach einer Innenscheibe aus Floatglas, ein bei zweifacher Isolierung beziehungsweise zwei bei dreifacher Isolierung, mit Edelgas befüllte Innenräume folgen. Danach folgen zwei weitere Floatgläser, die im Abstand von ca. einem Millimeter angeordnet sind. Das äussere Floatglas ist gleichzeitig die Aussenscheibe. Die elektrochrome Schicht befindet sich entweder zwischen diesen zwei Floatgläsern (Abb. 1) oder an der Innenseite des inneren der zwei Floatgläser (Abb. 2). Die Konfiguration dieser zwei elektrochromen Schichten variieren nach Hersteller. Falls es sich um eine Überkopfverglasung handelt, muss die Innenscheibe als Verbundglas ausgeführt werden (zwei dickere Scheiben mit dazwischen liegender reissfester Folie).

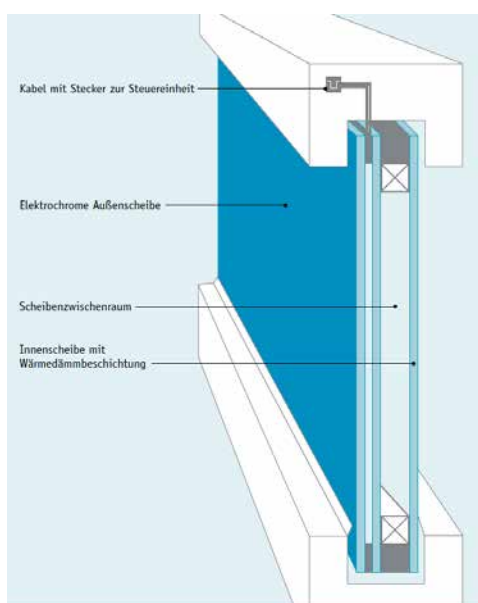


Abb. 1 Aufbau elektrochrome Schicht dazwischen

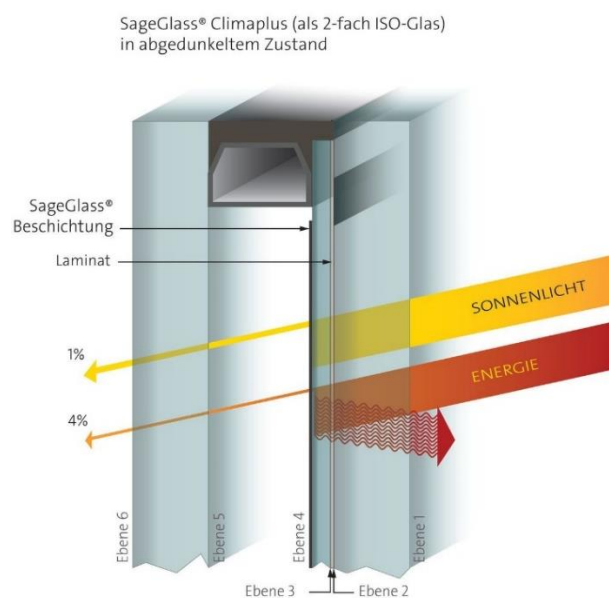


Abb. 2 Aufbau elektrochrome Schicht an der Innenseite

Meteodaten

Um eine Aussage in Abhängigkeit mit den umwelttechnischen Grössen zu machen, sind die vier Jahreszeiten mit den Ausrichtungen Nord, West, Süd, Ost und Dach analysiert worden. Die nachfolgenden Diagramme (Abb. 3) zeigen die globale Strahlung auf die jeweiligen aussenliegenden Flächen an verschiedenen Tagen im Jahr.

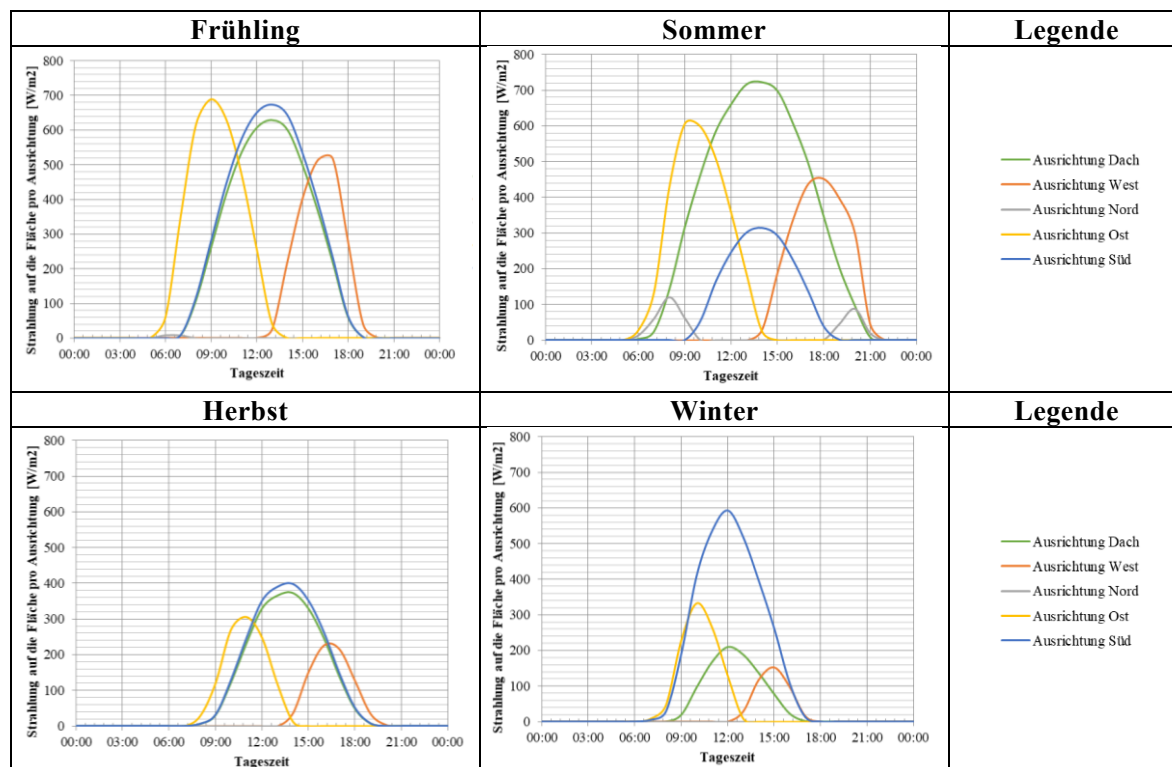


Abb. 3: Vergleich Strahlung pro Fläche und Jahreszeit

Die Ausrichtungen West, Süd, Ost und Dach haben über das gesamte Jahr hohe Einstrahlungswerte. Auf diesen Ausrichtungen ist ein geeigneter Sonnenschutz einzusetzen. Die Ausrichtung Nord weist geringe Werte auf. Somit bringt die Ausrichtung Nord keine hohen Anforderungen an den Sonnenschutz mit sich.

Handlungsempfehlung für Bauherren

Wichtig für den Bauherren ist, dass die Nutzung des Gebäudes klar definiert ist. Elektrochrome Gläser sind bei grossen Fassaden mit Ausrichtung nach Osten, Süden und Westen sowie auf dem Dach sinnvoll, wo der Bezug nach draussen für den Nutzer stetig vorhanden sein soll. Da die Sonne auf der Nordfassade über das Jahr eine geringe direkte Strahlung aufweist, kann bei dieser Ausrichtung auf kostengünstigere Verglasung gesetzt werden. Für Videoräume oder Wohnungen wird von elektrochromer Verglasung abgeraten, da eine komplette Verdunkelung eines Raumes nicht möglich ist und die langen Veränderungszeiten der Zustände nicht die Nutzeranforderungen erfüllen.

Die Simulationen und Messungen haben gezeigt, dass der Energieeintrag in Gebäuden durch elektrochrome Gläser deutlich verringert wird. Aus energetischer Sicht, ist eine elektrochrome Verglasung sinnvoll, diese kann den aussenliegenden Sonnenschutz ersetzen. Elektrochrome Verglasungen sind derzeit (noch) Seltenheit, wodurch Erfahrungswerte rar sind. Bauherren sollten durch den Einsatz elektrochromer Gläser den Glasherstellern Erfahrungswerte weitergeben und zu deren Entwicklung beitragen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_08
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Wasser- und Abwassermanagement in Gebäuden

Studierende	Roman Müller Pascal Hofer
Dozierende	Reto von Euw Werner Betschart
Experte	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

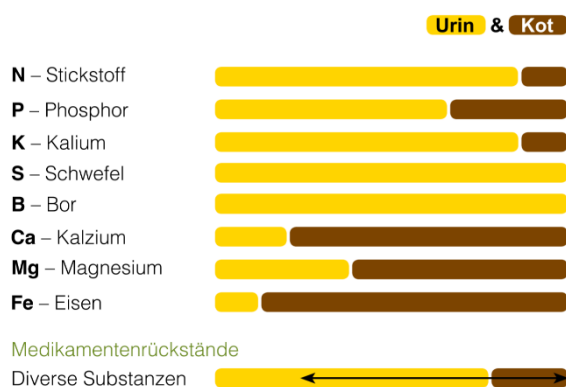
Wasser- und Abwassermanagement in Gebäuden

Konventionelle Abwassersysteme mit zentralen Kläranlagen geraten an ihre Leistungsgrenzen. Aufgrund des demografischen Wandels und des steigenden Lebensstandards wird das häusliche Abwasser stärker belastet. Gleichzeitig werden neue Anforderungen an die Kläranlagen in Bezug zur Reinigungsfähigkeit von Mikroverunreinigungen gestellt. Längere Trockenperioden haben Auswirkungen auf die Grundwasserstände und Starkregenereignisse belasten die Kanalisation und führen zu Überschwemmungen. Mittels der gezielten Versickerung und der Nutzung von Regen-, Gelb- und Grauwasser kann dies vermindert werden.

Die zentralen Kläranlagen sehen sich zunehmend mit einer hydraulischen Überlastung und einer Überlastung der Fracht konfrontiert. Die zusätzliche Fracht wie Mikroverunreinigungen (Medikamentenrückstände, Pflanzenschutzmittel) kann nur mit einer 4. Stufe herausgefiltert bzw. gereinigt werden. Mit der neuen *Gewässerschutzverordnung* (GSchV), die seit 01.01.2016 in Kraft ist, sind 100 der 700 Kläranlagen verpflichtet diese auszubauen. Dies betrifft vor allem grosse Kläranlagen (ab 80'000 Einwohnerwerten [EW]) und solche, die im Einzugsgebiet von Seen liegen (ab 24'000 EW).

Entlastung zentraler Kläranlagen

Ein Grossteil der Kläranlagen sind von einer hydraulischen Überlastung betroffen. Durch die im Mischsystem geführten Kanalisationen gelangt ein grosser Teil unverschmutztes Abwasser und Regenwasser in die Kläranlagen. Dies führt zu einer reduzierter Reinigungsleistung und kann bei starken Regenfällen zu Engpässen in den Kläranlagen führen. Um dies zu verhindern, werden bis anhin Entlastungsöffnungen betätigt, die Abwasser in Flüsse leiten. Die dadurch entstehende Verschmutzung von Oberflächengewässer ist nicht akzeptabel. Überbeanspruchte Kanalisationsleitungen sowohl im Misch- als auch im Trennsystem werden bei Starkregen überbelastet und führen regelmässig zu Überschwemmungen. Mit Hilfe von finanziellen Anreizen könnten Versickerungen von bestehenden befestigten Flächen gefördert werden. In Neubauten besteht schon die Pflicht der Versickerung oder Einführung in einen Vorfluter. Durch diese Entlastung haben die bestehenden Leitungen neue Kapazitäten, um dem verdichteten Bauen gerecht zu werden. So könnten teilweise kostenintensive Um- oder Ausbauten vermieden werden. Um bestehende Kläranlagen zu entlasten, könnten Anpassungen an der Anschlusspflicht an die Kanalisation dazu genutzt werden, neue Stadtteile oder Überbauungen mit Kleinkläranlagen auszurüsten.



Die Trennung von Urin und dessen separate Aufbereitung könnte dazu genutzt werden, Mikroverunreinigungen schon am Entstehungsort aus dem Abwasser zu beseitigen. Denn der grossteil der Medikamentenrückstände werden über den Urin ausgeschieden. Die Nährstoffe im Urin, allen voran der Phosphor und der Stickstoff, könnten zu Dünger aufbereitet werden.

Abb. 1: Inhaltsstoffe im Abwasser; Quelle: Vuna GmbH

Ungenügende Regeneration von Grundwasser

Durch den Klimawandel verstärkte Trockenperioden, wie im Jahr 2003 und jüngst im Jahr 2018, führen dazu, dass die Grundwasservorkommen zu wenig regeneriert werden. Infolge des Bevölkerungswachstums und der Nachfrage nach Boden werden jedes Jahr mehrere Grundwasserschutzgebiete aufgehoben. Da die Grundwasserfassungen Schutzzonen benötigen und der Wasserverbrauch gleichbleibt, werden die bestehenden intensiver genutzt. Es bestehen Interessenskonflikte in der Nutzung des Bodens rund um die Fassungen. Betroffen sind vor allem Wasserversorgungen, die keine Möglichkeit in der Nutzung von Seewasser haben sowie kleinere Quellen von Bauern und Privatpersonen. Der Wasserverbrauch im schweizerischen Haushalt sank kontinuierlich auf heute 163 Liter pro Person und Tag (davon 21 Liter auswärts). Durch den technischen Fortschritt wird nach Schätzungen der Fusspunkt 2030 (mit ca. 130 Liter) erreicht sein. Ca. 35% des heutigen Verbrauchs wird für die Toilettenspülung und zur Bewässerung von Grünflächen benötigt, obwohl an diesen Stellen keine Trinkwasserqualität gefordert wäre. Durch den gezielten Einsatz von Regen- oder Grauwasser könnte dieser Teil ohne Komforteinbussen abgedeckt werden. Mit der *Verordnung über Trinkwasser sowie Wasser in öffentlich zugänglichen Bädern und Duschanlagen* (TBDV) hat die Schweiz seit 2016 eine Verordnung, die unter anderem regelt, zu welchem Zweck Trinkwasserqualität gefordert ist. Dabei sind nur Apparate mit Trinkwasser zu versorgen, die zum Trinken, dem Zubereiten von Speisen und dem Abwasch dienen. Durch stärkere und langanhaltende Hitzeperioden steigt die Nachfrage nach Kühlung von Gebäuden und ganzen Städten. Der Kühlprozess, vor allem der Rückkühlprozess von Kälteanlagen, hat einen hohen Wasserbedarf. Dieser könnte durch Regenwasser gedeckt werden, welches gezielt aufbereitet wird. Des Weiteren könnte aufbereitetes Grauwasser, so genanntes Betriebswasser, dazu verwendet werden, um Gebäude passiv zu kühlen. Diese passive Kühlung geschieht mittels begrünter Dächer und Fassaden. Um die Hitze in Städten zu bekämpfen, könnten Bäume in der Umgebung und in der Stadt mit Betriebs- oder Regenwasser versorgt werden. Da bei der Nutzung von Grauwasser tendenziell stärker konzentriertes Abwasser mit höherem Feststoffanteil in die Kanalisation eingeleitet wird, müssen diese Leitungen öfters gespült werden. Idealerweise wird dies wiederum mit Regen- oder Grauwasser durchgeführt.

Neue Ansätze in der Gebäudetechnik

Es gibt Alternativen zum klassischen Anschluss an die öffentliche Kanalisation. Ob ein Gebäude jedoch angeschlossen werden muss, hängt von verschiedenen Faktoren ab. Allen voran, ob es in der Bauzone liegt oder ein Anschluss zumutbar ist. Um die genannten Problemstellungen zu lösen, gibt es technische, sozio-kulturelle und rechtliche Lösungsansätze. Bei den technischen Lösungen gibt es die Möglichkeit, Gebäude ausserhalb der Bauzone mit dezentralen Kläranlagen oder Trocken-WC auszurüsten. In Kleinkläranlagen gereinigtes Abwasser könnte direkt als Betriebswasser genutzt oder versickert werden, was zur Regeneration des Grundwassers beiträgt. Bei bestehenden Gebäuden oder Neubauten, die in der Bauzone liegen und somit keine dezentrale Aufbereitung in Frage kommt, gibt es Optionen der Regen- oder Grauwassernutzung. Dabei könnte der Trinkwasserbedarf mit beiden Optionen von 142 Liter pro Person auf ca. 77 Liter reduziert werden. Der Vorteil der Grauwassernutzung ist, dass neben den Wassergebühren auch die Abwassergebühren tiefer ausfallen. So könnte eine Grauwassernutzung innerhalb weniger Jahre amortisiert werden. Zudem würde sich die hydraulische Belastung der Kanalisation reduzieren.

Fazit

Um die eingangs erwähnten Problemstellungen zu lösen, benötigt es einen gesamtheitlichen Ansatz, bei dem die Bedürfnisse aller Anspruchsgruppen berücksichtigt werden müssen. Um den Verbrauch von Trinkwasser weiter zu senken, wäre es sogar möglich, die Duschen mit Betriebswasser zu versorgen. Aber ohne Akzeptanz bei den Nutzern fällt dieses System durch. So müssen beispielsweise Besorgnisse hinsichtlich der Hygiene gezielt entkräftet werden. Die Trennung und Aufbereitung von Urin zu Dünger hat die Marktreife noch nicht erlangt, wird aber in den nächsten Jahren stärker an Bedeutung gewinnen. Mittels Kampagnen könnte die Bedeutung von Trinkwasser stärker hervorgehoben werden und zum aktiven Wassersparen angeregt werden. Auf legislativer Ebene könnte, ähnlich wie in Belgien, ein progressiver Ansatz verfolgt werden. Belgien hat mit der eingeführten Verpflichtung Regenwasser in Neuanlagen zu nutzen, mit 68 Liter den niedrigsten Trinkwasserverbrauch pro Person in Europa.



Abb. 2: Wasserkreislauf mit Grauwassernutzung



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_09
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Regeneration von Erdwärmesonden

Studierender	Lucca Zumbrunn
Dozierende	Prof. Gerhard Zweifel Reto Gadola
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Regeneration von Erdwärmesonden

Wärmepumpen mit Erdwärmesonden werden aufgrund der hohen Quelltemperaturen seit Jahrzehnten häufig und gerne eingesetzt. Durch eine zu hoch angesetzte Entzugsleistung oder Verdichtung der Erdwärmesondenfelder befinden sich heute einige Anlagen in einem Temperaturbereich um die 0°Celsius und geraten in den Frost-Tau-Wechsel. Um dem entgegenzuwirken wird aktive oder passive Regeneration der Erdwärmesonden betrieben. Durch unterschiedliche hydraulische Einbindungen und Regelstrategien soll geprüft werden, in welcher Priorität die Solarthermie dem System (Wärmepumpe, Erdwärmesonden) zur Verfügung gestellt werden muss, damit die Anlage möglichst effizient und kostengünstig betrieben werden kann.

Ausgangslage & Ziele

Bis heute gibt es keine Studien oder Simulationsergebnisse, welche das dynamische Verhalten auf der Verbraucher- sowie auf der Quellenseite in ihrer Gesamtheit betrachtet. Wie weit lässt sich die Jahresarbeitszahl (JAZ) einer Wärmepumpe steigern, wenn die Solarthermie direkt genutzt wird? Kann zum Beispiel ein Energiespeicher im Erdsondenkreis eine weitere Erhöhung der JAZ bewirken und wie verhalten sich die Investitionskosten gegenüber den Einsparungen bei den Betriebskosten? Um diese Fragen beantworten zu können, wurden hydraulische Konzepte entwickelt, im Simulationsprogramm IDA-ICE implementiert und über einen Zeitraum von 50 Jahren simuliert. Beim Gebäude bzw. Simulationsmodell, handelt es sich um ein achtstöckiges Mehrfamilienhaus mit 2'500m² Energiebezugsfläche und einer spezifischen Heizlast von 18W/m². Folgende Einbindungen im Erdwärmesondenkreis wurden mittels Simulation geprüft und einander gegenübergestellt:

- B1 (ohne Regeneration und Solaranlage)
- B2 (Solaranlage verglast 60m²)
- V1 (Regeneration parallel WP; Solaranlage 60m²)
- V2 (Regeneration seriell im WP-VL; Solaranlage 120m²)
- V3 (Regeneration seriell im WP-RL; Solaranlage 120m²)
- V4 (Regeneration seriell im WP-VL; Speicher 20m³ parallel; Solaranlage 200m²)
- V5 (Regeneration seriell im WP-VL; Speicher 20m³ seriell, Solaranlage 200m²)

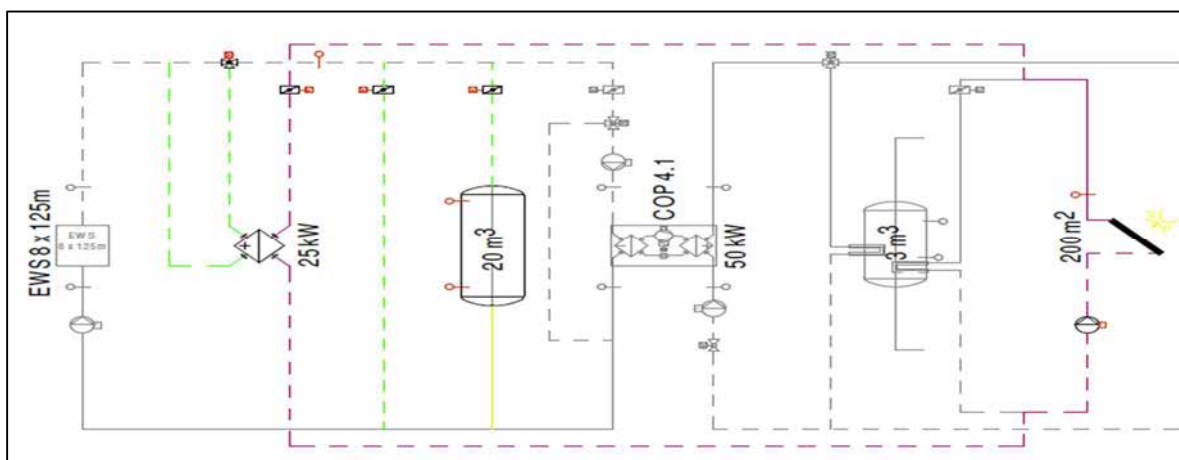


Abbildung 1: Bsp. Prinzipschema Heizung (V4) / Einbindung der Solarthermie in den EWS-Kreis

EWS-Temperatur

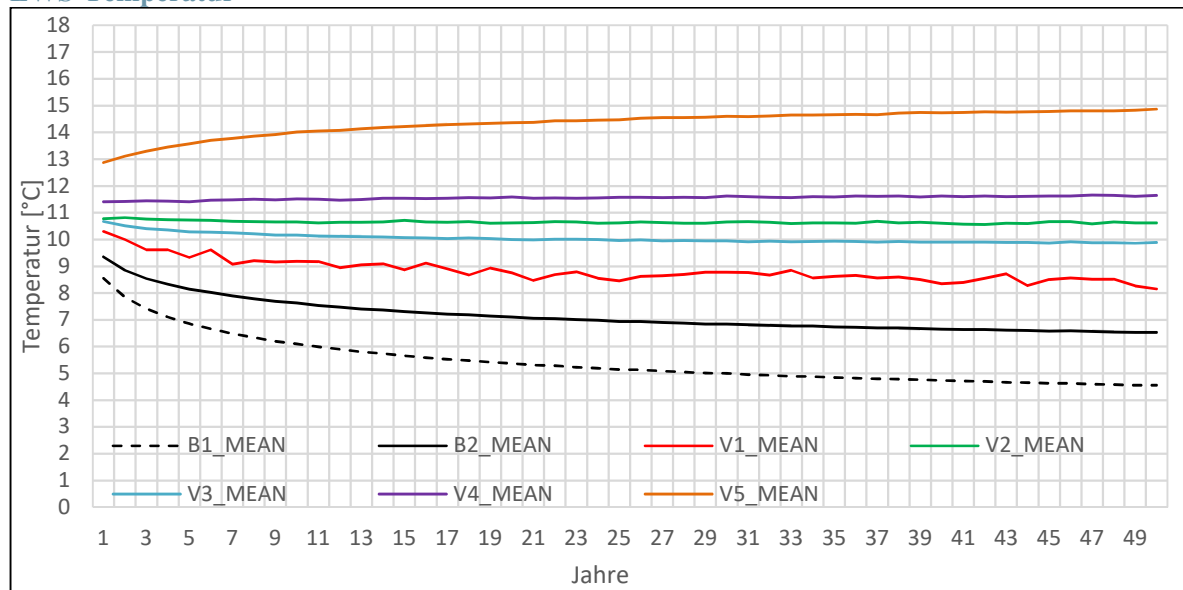


Abbildung 2: Entwicklung der mittleren EWS-Temperatur aller Simulationsmodelle über 50 Jahre

Die Simulationen haben ergeben, dass nach 50 Jahren bei keinem Modell eine Unterschreitung der tiefsten zulässigen mittleren EWS-Temperatur nach SIA 384/6 vorliegt. Bei der Basisvariante (B2) mit 60m² Kollektorfläche für die reine Brauchwarmwasserunterstützung, wird gegenüber dem Basismodell, nach 50 Jahren eine um zwei Kelvin höhere mittlere EWS-Temperatur erzielt. Mit einer Verdopplung der Kollektorfläche auf 120m² und einem aktiven Regenerationsbetrieb, stellt sich bereits ab dem ersten Betriebsjahr ein thermisches Gleichgewicht im Erdwärmesondenfeld ein. Die mittleren EWS-Temperaturen bleiben über die ganze Simulationszeit nahezu konstant. Die Schwankungen dieser Kurve (V1-MEAN) entstehen durch die im Simulationsprogramm gewählte Regelstrategie, bei welcher kein Parallelbetrieb (Regeneration und WP) möglich ist. Mit einer weiteren Erhöhung der Kollektorfläche auf 200m², beginnt die mittlere EWS-Temperatur zu steigen und erreicht bei der Variante 5 eine mittlere Steigung von 0.04 Kelvin pro Jahr. Bei der Variante 4 wurde die Regulierung so gewählt, dass durch die Solarthermie zuerst der Speicher geladen wird und die Anlage erst in zweiter Instanz in den aktiven Regenerationsbetrieb übergeht. Diese Regelstrategie erklärt das tiefere mittlere Temperaturniveau im Erdreich bei gleicher Kollektorfläche.

Jahresarbeitszahl

Der COP der Wärmepumpe (4.1) ist bei allen Varianten gleich, er wurde vom Basismodell so vorgegeben und ist für eine Sole/Wasser-Wärmepumpe eher tief angesetzt. Die besten Jahresarbeitszahlen (JAZ 4.21) werden mit der Variante 4 erzielt. Wegen dem parallel zum EWS-Kreis integrierten Speicher, wird der Förderdruck der Umwälzpumpe und somit die benötigte elektrische Leistung verringert. Die Umwälzpumpe fördert prinzipiell immer aus dem Speicher, deshalb kann auch an Tagen mit geringer Sonneneinstrahlung eine für kurze Zeit eine höhere Vorlauftemperatur auf den Verdampfer der Wärmepumpe erreicht werden. Dadurch wird die JAZ gegenüber dem Basismodell (JAZ 3.58) um 17% gesteigert. Die beste JAZ (3.99) mit 120m² Kollektorfläche und ohne Speicher, erzielte das Simulationsmodell mit der seriell Eingebundenen Solarthermie im WP-Rücklauf (V3).

Betriebs- und Investitionskosten

Im nachfolgenden Diagramm sind die Betriebs-/Investitionskosten aller Varianten ersichtlich. Bei den Varianten mit Regeneration werden die Betriebskosten inkl. Investitionskosten für die zusätzlich benötigten Apparate (Solaranlage, Speicher etc.) angegeben und über 50 Jahre aufsummiert.

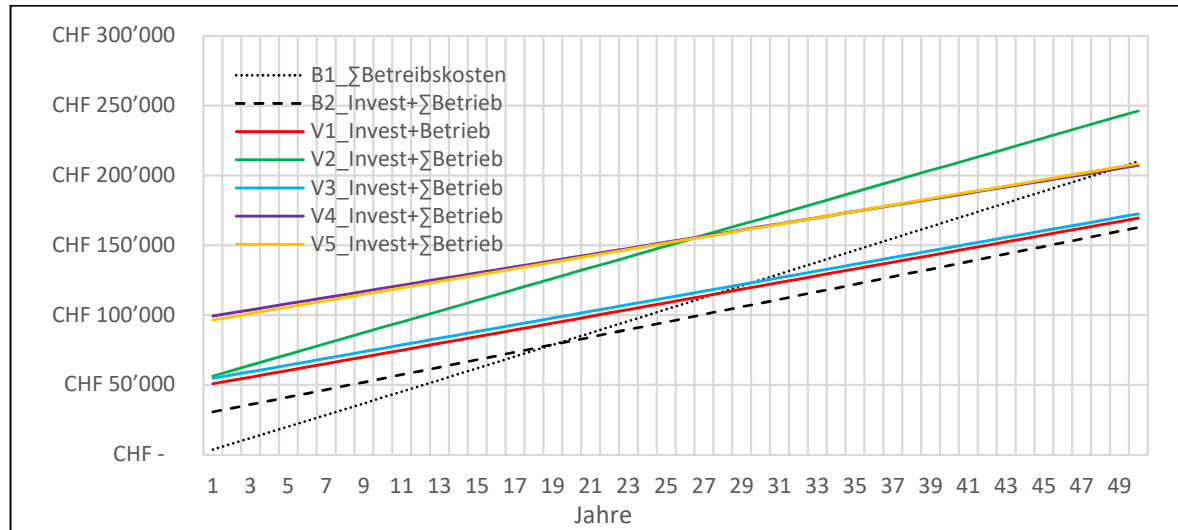


Abbildung 3: Investitions- / Betriebskosten

Bei den Betriebs-/Investitionskosten kann unter der Berücksichtigung der Lebensdauer der Anlage, keine der gewählten Varianten befriedigende Ergebnisse liefern. Die Investitionskosten wurden grob abgeschätzt, sie basieren auf Annahmen und Erfahrungswerten. Beim Basismodell betragen die jährlichen Betriebskosten für den WP-Betrieb 4'202 CHF (inkl. Hilfsenergie). Durch eine Solaranlage (60m²) für die reine Unterstützung der Brauchwarmwassererzeugung können die jährlichen Betriebskosten der WP um 36% reduziert werden, beim Modell V4 mit 200m² Kollektorfläche sind es 48%. Die Investitionskosten für die zusätzlichen benötigten Apparate und Armaturen (Solaranlage, Speicher, Gebäudeautomation etc.), übersteigen jedoch die Einsparungen der Energiekosten bei weitem. Beim Modell B2 sind die Kosten nach 19 Betriebsjahren amortisiert, die Durchschnittliche Lebensdauer der Solaranlage ist aber fast erreicht und es muss mit Reinvestitionen gerechnet werden.

Fazit

Bei diesem Modell wird der Grenzwert (-1.5°C) der mittleren EWS-Temperatur nicht überschritten, die Motivation Regeneration zu betreiben darf in Frage gestellt werden. Wird aber bereits nach 20 Betriebsjahren eine Grenzwertüberschreitung beobachtet, kann von einer irreparablen Schädigung der Sonden ausgegangen werden. Die Investitionskosten um Regeneration zu betreiben müssen in ein neues Verhältnis gesetzt werden. Mit dem aktuellen Hintergrund (kein Kühlbedarf und indirekte Nutzung der Solarthermie) geht keine optimale Lösung hervor, auch die Einbindung eines Speichers im EWS-Kreis generiert keinen wirklichen Benefit. Es wurde jedoch gezeigt, dass mit dem IDA-ICE dynamische Simulationen von Erdwärmesondenfelder und Wärmepumpen über einen Zeitraum von 50 Jahren durchgeführt werden können. Mit der Komplexität der gewählten Hydraulik, steigt auch jene der Gebäudeautomation. Letzteres drängte sich beim Modellaufbau immer mehr in den Vordergrund. Grundsätzlich kann festgestellt werden, dass die Hydraulik allein keine guten Ergebnisse liefert. Das effiziente System steht und fällt mit der Regulierung.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_10
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Integration der Gebäudeautomation in die BIM-Methode

Studierende	Kevin Hodel Marco Maurhofer
Dozierende	Frank Thesseling Prof. Dr. Olivier Steiger
Expert	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Martin Winiger, SCHERLER AG, Friedentalstrasse 43; 6004 Luzern) (Industriepartner: Boris Rohr, IBG B. Graf AG Engineering, Hintermühlestrasse 4; 8409 Winterthur)
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Integration der Gebäudeautomation in die BIM-Methode

Die Building Information Modeling Methode kurz, BIM-Methode, ist ein Prozess, der die Zusammenarbeit von einzelnen Projektpartner untereinander definiert. Die stetige Zunahme der BIM-Projekte in den letzten Jahren führt dazu, dass beinahe alle Gewerke ihren Platz in der BIM-Methode gefunden haben. Für die Gebäudeautomation (GA) ist dies bisher noch nicht der Fall. Für eine nahtlose Integration in die BIM-Methode müssen noch diverse Hemmnisse beseitigt werden. Die Bachelor-Thesis befasst sich mit dieser Thematik.

Die Arbeit wurde dazu in vier Teile unterteilt. Im ersten Teil wurden die beiden Prozesse analysiert. Im zweiten Teil werden die vorhandenen Problematiken, Potentiale und Voraussetzungen aufgezeigt, um daraus die Handlungsempfehlung abzuleiten. Der dritte Teil befasst sich mit der Ausführung in dem die Handlungsempfehlung an einem Anwendungsversuch punktuell getestet wird. Zuletzt erfolgt noch ein Zukunftsausblick auf die behandelte Thematik.

Analyse

Bei der Analyse der BIM-Methode hat sich ergeben, dass der BIM-Projektentwicklungsplan (BAP) ein wesentlicher Bestandteil davon ist. In diesem werden für das Bauprojekt wichtige Informationen festgehalten. Es ist daher essenziell, dass der GA-Planer bei der Ausarbeitung des BAP mitwirken kann. Nur so können die für den GA-Planer wichtigen Informationen im BAP festgehalten werden. Weiter sollte der BAP immer im Projektteam zusammen formuliert werden. Nur so kann sichergestellt werden, dass alle am Projekt beteiligten Personen einverstanden sind mit den definierten Forderungen und Anforderungen.

Weiter hat sich bei der Analyse des GA-Prozesses gezeigt, dass viele für den GA-Planer notwendige Informationen in einer Betriebsmittelliste zusammengefasst werden. Da die Betriebsmittelliste kein Bestandteil der Honorierung des GA-Planers gemäss SIA 108 ist, wird diese im konventionellen Planungsprozess nicht immer erarbeitet. Gelingt es nun aber, alle relevanten Daten einer Betriebsmittelliste plus zusätzliche Daten, wie Hardware-Datenpunkte und e-BKP, aus einem Modell oder Datenbank zu generieren, so könnte der GA-Planungsprozess ebenfalls von den Vorteilen der BIM-Methode profitieren. Die für den GA-Planungsprozess relevanten Daten wurden an einem Workshop mit den Industriepartnern erarbeitet. Da die Daten im Modell/Datenbank immer aktuell und abrufbar sind, sind jederzeit Kostenkalkulationen sowie Mengenauszüge realisierbar. Und die Konsistenz der Daten wird zwischen den einzelnen Bauphasen gewährleistet, da alle immer auf die gleichen Informationen zurückgreifen können.

Auswertung

Als Hemmnisse sind sicherlich die Schweizer Baukultur mit den vielen klein und mittleren Unternehmen (KMU) und die Schwierigkeit der verschiedenen Softwareschnittstellen zu nennen. Das Verständnis der BIM-Methode wächst stetig, jedoch ist aktuell jedes Bauprojekt anders organisiert, was einen einheitlichen Planungsprozess erschwert. Weiter ist die Zusammensetzung der Projektteams durch die vielen KMU für jedes Bauprojekt neu. Dies erschwert den Planungsprozess ebenfalls, da die unterschiedlichen Unternehmen nicht alle die gleichen Voraussetzungen und Verständnisse für die BIM-Methode mitbringen. Die abwechselnden Unternehmen führen auch dazu, dass in jedem Bauprojekt verschiedene Softwares angewendet werden. Erschwerend kommt hinzu, dass die verschiedenen Softwareschnittstellen nicht alle miteinander kompatibel sind.

Es gibt aber trotzdem bereits heute Potentiale, die eine GA-Integration in die BIM-Methode rechtfertigen. Im oberen Abschnitt wurden bereits einige erwähnt. Da der GA-Planer auf die Informationen der anderen Fachplaner angewiesen ist, profitiert er, wenn alle relevanten Daten zentral und strukturiert abgelegt werden. Die Arbeit lässt sich effizienter gestalten und die Produktivität kann gesteigert werden. Aktuell sind die relevanten Daten meistens in unterschiedlichen Dokumenten gespeichert. Dies führt zu Verwirrung, Intransparenz und schlussendlich zu Fehlern.

Damit die Potentiale ausgeschöpft werden können, müssen gewisse Voraussetzungen erfüllt sein. Sei es wie im oberen Abschnitt, dass der GA-Planer bei der Ausarbeitung des BAP mitwirken kann oder dass die anderen Fachplaner gewillt sind, die gewünschten Attribute des GA-Planers in den Elementen zu erweitern. Bei der Anlagenautomation ist zwingend, dass die Monoblocs mit all den Elementen modelliert werden. Nur so können alle relevanten Daten wiedergegeben werden.

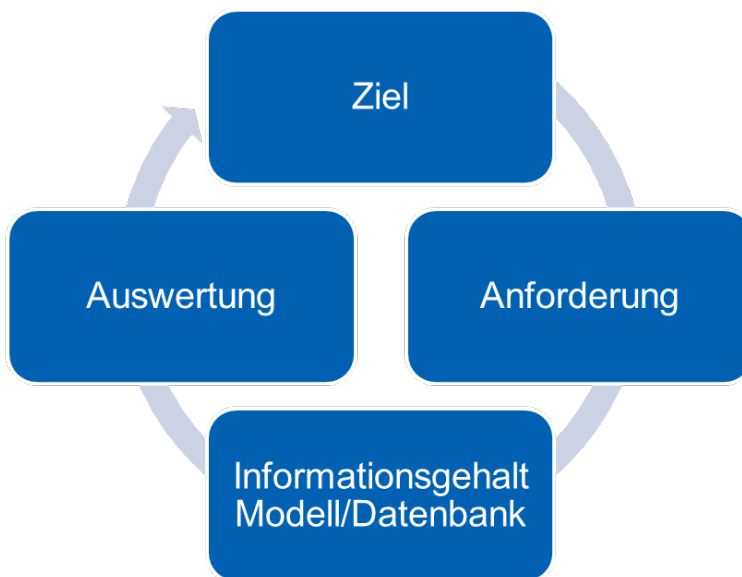


Abb. 1: Methodischen Vorgehen der Formulierung einer Handlungsempfehlung

Die erarbeitete Handlungsempfehlung kann für GA-Planer als Orientierung für die GA-Integration in die BIM-Methode dienen. Zuerst wird ein Ziel formuliert, daraus die Anforderungen abgeleitet und aus diesen ergibt sich der notwendige Informationsgehalt für das Modell bzw. Datenbank. Zum Schluss spiegelt die Auswertung im besten Fall das formulierte Ziel wider. Als Instrument dazu dient jederzeit der BAP. In diesem werden diverse Punkte formuliert wie zum Beispiel:

- wie und von wem das Modell genutzt werden soll
- wer, wann und was in das Modell einarbeiten soll
- wie die Zusammenarbeit funktionieren soll

Wichtig ist, dass zu jedem Zeitpunkt die Punkte hinterfragt werden. Sollte es Probleme bei der Umsetzung geben, muss man allenfalls den Punkt davor anders formulieren.

Ausführung

Im Anwendungsversuch ist man beispielhaft dem in Abbildung 1 gezeigten Verlauf gefolgt und hat sich als Ziel gesetzt eine Betriebsmittelliste 2.0 zu generieren. Die erarbeitete Handlungsempfehlung wurde exemplarisch mit den Softwares Revit und dRofus durchgespielt. So konnte anhand des Anwendungsversuches aufgezeigt werden, dass bereits heute eine Betriebsmittelliste 2.0 aus dem Modell bzw. der Datenbank automatisch generiert werden kann, das Ergebnis ist in Abbildung zwei zu sehen. Dies sofern die anderen Fachplaner gewillt sind, die Parameter gemäss den Vorgaben des GA-Planers zu erweitern. Da es sich bei der Schnittstelle zwischen den beiden Programmen um eine bidirektionale Verbindung handelt, sind sowohl das Modell wie auch die Datenbank jederzeit aktuell.

Artikelnummer	Anlage	Geschoss	Laufnummer	Beschreibung	Zugehörigkeit	Lieferart	Spannung [V]	AC	DC	Strom [A]	Leistung [kW]	BE	BA	AE	AA	e-BKP
244-002	TL001	001	02	02 Temperaturfühler	AUL	LU	50	WAHR	FALSCH						1	D7
244-003	TL001	001	19	19 Temperaturfühler	FOL	LU	50	WAHR	FALSCH						1	D7
244-004	TL001	001	18	18 Ventil Revisionschalter	ABL	EU		FALSCH	FALSCH				1			D1
244-006	TL001	001	01	01 Schaltrelais	AUL	LU	230	WAHR	FALSCH			1	2			D7
244-007	TL001	001	05	05 LE Pumpe	ZUL	LU	230	WAHR	FALSCH			1	2			D7
244-009	TL001	E00	23	23 Anlageschalter (2-stufig)	EU	EU		FALSCH	FALSCH				3			D2
244-010	TL001	001	04	04 Temperaturfühler	ZUL	LU	50	WAHR	FALSCH						1	D7
244-011	TL001	001	03	03 Filterüberwachung	AUL	LU	50	WAHR	FALSCH					1		D7
244-012	TL001	001	06	06 LE Ventil	ZUL	LU	230	WAHR	FALSCH						1	D7
244-013	TL001	001	07	07 Frostschutzwächter	ZUL	LU	50	WAHR	FALSCH					1		D7
244-014	TL001	001	08	08 LK Ventil	ZUL	LU	230	WAHR	FALSCH						1	D7
244-015	TL001	001	09	09 Ventilator	ZUL	LU	230	WAHR	FALSCH	4.5	2.9	2	3			D7
244-016	TL001	001	10	10 Ventilator Laufüberwachung	ZUL	LU		FALSCH	FALSCH					1		D7
244-017	TL001	001	11	11 Ventil Revisionschalter	ZUL	EU		FALSCH	FALSCH						1	D1
244-018	TL001	001	12	12 Filterüberwachung	ZUL	LU	50	WAHR	FALSCH							D7
244-019	TL001	001	13	13 Temperaturfühler	ZUL	LU	50	WAHR	FALSCH						1	D7
244-020	TL001	001	14	14 Filterüberwachung	ABL	LU	50	WAHR	FALSCH							D7
244-021	TL001	001	15	15 Temperaturfühler	ABL	LU	50	WAHR	FALSCH						1	D7
244-022	TL001	001	16	16 Ventilator	ABL	LU	230	WAHR	FALSCH	4.5	2.9	2	3			D7
244-023	TL001	001	17	17 Ventilator Laufüberwachung	ABL	LU		FALSCH	FALSCH							D7
244-024	TL001	001	20	20 Servoantrieb Motorklappe	FOL	LU	230	WAHR	FALSCH			1	2			D7
244-025	TL001	001	21	21 Pumpe	WRG	LU	230	WAHR	FALSCH			1	2			D7
244-026	TL001	001	22	22 Durchgangsventil	WRG	LU	230	WAHR	FALSCH						1	D7
244-027	TC001	001		24 Automationsstation	GU	GU		FALSCH	FALSCH							D2
244-028	TA001	001		25 SSK Lüftung UVL	GU	GU		FALSCH	FALSCH							D2

Abb. 2: Output der Betriebsmittelliste 2.0 aus dRofus

Zukunftsausblick

In der Datenverwaltung der Bauprojekte liegt insbesondere für den GA-Planungsprozess ein grosses Potential. Je schneller die Softwareentwicklung in diesem Bereich voranschreitet, desto besser können die vorhanden Potentiale genutzt werden, weil der GA-Planer von den Informationen der anderen Fachplaner abhängig ist.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_11
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

EATRO/OACF - Zwei energetisch und hygienisch relevante WRG-Kenngrössen in der Praxis

Studierende	Sam Alge Michael End
Dozierende	Heinrich Huber Matthias Balmer
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

EATRO/OACF - Zwei energetisch und hygienisch relevante WRG-Kenngrößen in der Praxis

In den nationalen und europäischen Normen und Energievorschriften wurden interne Leckagen bei Lüftungsgeräten kaum thematisiert. Dies soll sich durch die Revision der EN 308 ändern. Im Rahmen dieser Revisionsarbeiten werden die Kenngrößen EATR (Exhaust Air Transfer Ratio) und OACF (Outdoor Air Correction Factor) übernommen. Dies sind zwei energetisch und hygienisch relevante WRG-Kenngrößen.

Mit Hilfe von exemplarischen Tests unter Laborbedingungen wurden die Einflussfaktoren auf die Kenngrößen EATR und OACF untersucht. Zudem wurden Verfahren zur Messung und Überprüfung dieser Werte anhand von sieben Anlagen erprobt und anschliessend beurteilt.

Einflussfaktoren auf die Kenngrößen

Die Kenngrößen sind gekoppelt und massgeblich von den Druckverhältnissen im Lüftungsgerät abhängig. Diese Druckverhältnisse werden durch die Anordnung der Ventilatoren hervorgerufen. Sie beeinflussen die Drucksituation am Rotor und somit die Leckagerichtung sowie einen möglichen Spülzoneneinsatz. Das nachfolgende Diagramm zeigt das Verhalten der Kenngrößen in Abhängigkeit des Differenzdrucks zwischen Zu- und Abluft auf.

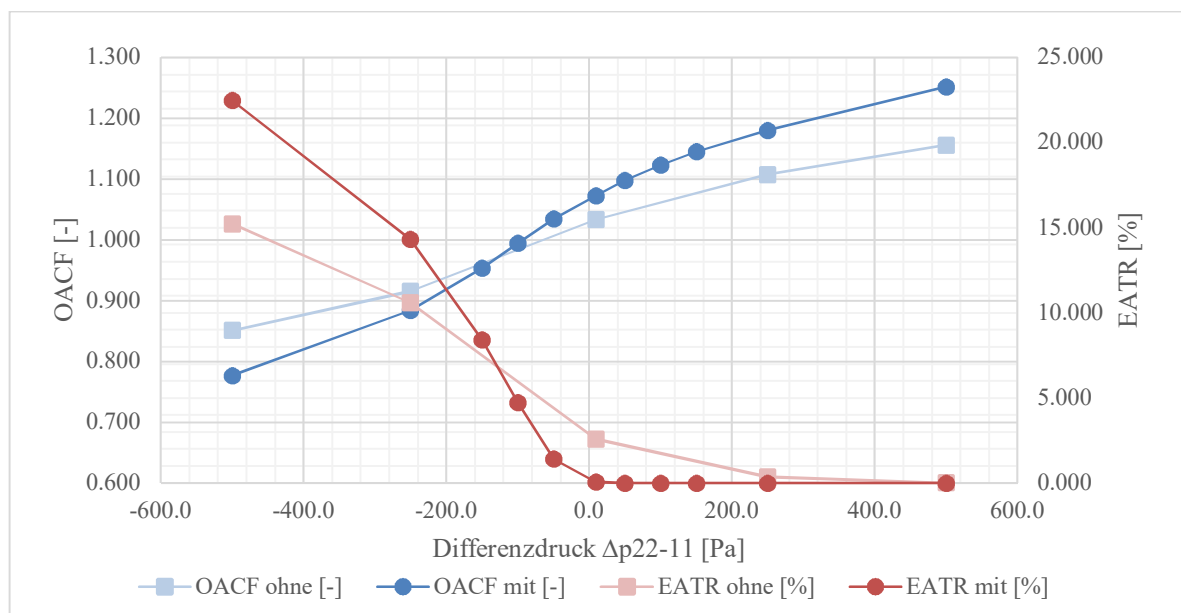


Abb. 1: Verhalten der Kenngrößen in Abhängigkeit des Differenzdrucks 22-11 (mit und ohne Spülzone)

Verfahren zur Messung und Überprüfung der Kenngrößen

Abgesehen von der bewährten Spurengasmethode können die Kennwerte anhand des Temperatur-, CO₂- und Differenzdruckverfahrens gemessen und überprüft werden. Damit die Kennwerte während dem Betrieb berechnet und gemessen werden können, bedingt es Vorschriften für die Hersteller, welche die notwendigen Messvorrichtungen vorsehen.

Umgang mit den Kenngrößen

Anhand eines Beispiels wird in der nachfolgenden Abbildung 2 der Umgang mit den Kenngrößen EATR und OACF sowie deren Einflussfaktoren erläutert. Die wesentlichen Punkte sind auf der Abbildung nummeriert und werden beschrieben.

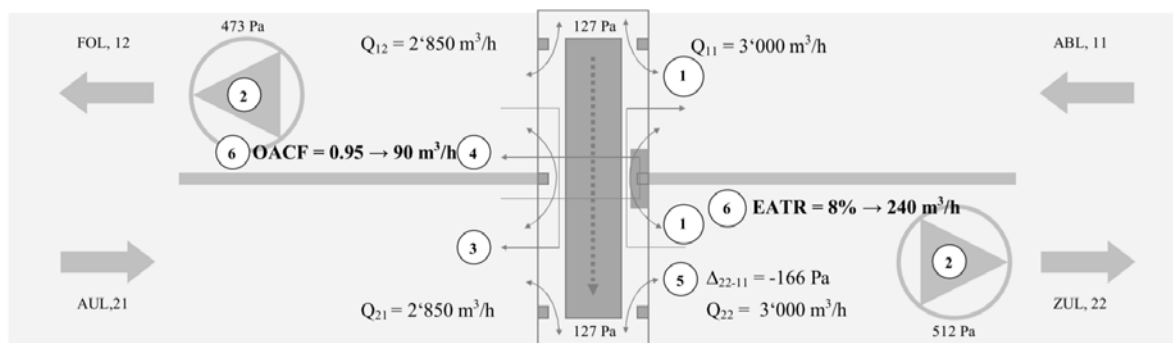


Abb. 2: Beispielanlage

- | | |
|-----------------------|---|
| 1 Dichtungen | Dichtungen verhindern Leckagen. Mit der Zeit entsteht eine Abnutzung der Dichtungen, deshalb sollte eine periodische Wartung durchgeführt werden. |
| 2 Ventilatoranordnung | Beeinflusst die Drucksituation am Rotor und somit die Leckagerichtung sowie einen möglichen Spülzoneneinsatz.
Ideal: Beide Ventilatoren auf der Saugseite (Zu- und Fortluft) |
| 3 Mitrotationsluft | Luft, die innerhalb der Speichermasse eingeschlossen ist und durch die Rotation wechselseitig an die Zu- und Fortluft übertragen wird. |
| 4 Spülluft / Spülzone | Um Mitrotationsleckagen zu verhindern, wird in den meisten Anwendungen eine Spülzone eingebaut. |
| 5 Differenzdruck | Die Kenngrößen können anhand des Differenzdrucks zwischen Zu- und Abluft approximativ geschätzt werden. |
| 6 Kenngrößen | OACF = Aussenluftvolumen / Zuluftvolumen (optimaler Wert = 1)
EATR = Abluftvolumen in der Zuluft / Zuluftvolumen (optimaler Wert = 0%) |

Die künftige nationale Verwendung der beiden Kenngrößen EATR und OACF soll ein Bewusstsein bezüglich der treibenden Faktoren für interne Leckagen beim Lüftungsgerät schaffen und die Herangehensweise zur Verringerung dieser Undichtheiten vereinheitlichen. Mit dem richtigen Umgang in der Projektierungs- bis hin zur Betriebsphase könnte in Zukunft ein relevanter Anteil des Energieeffizienzpotentials der WRG in Lüftungs- und Klimaanlage aus geschöpft werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_12
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Vom Gebäude zur Smart City – skalierbares Energiemanagement

Studierende	Luca Hediger
Dozierende	Olivier Steiger Roger Buser
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Industriepartner	Stefan Lötscher, HKG Engineering AG, Grundstrasse 12, 6343 Rotkreuz
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Vom Gebäude zur Smart City – skalierbares Energiemanagement

Um die Reduktion des Energieverbrauchs voranzutreiben und die erneuerbaren Energien besser zu nutzen, sind Energiemanagementsysteme nötig. Je mehr Komponenten an einem EMS angebunden sind, desto flexibler kann die Energie erzeugt, verteilt, gespeichert und verbraucht werden. Daraus entsteht das zunehmende Bedürfnis, mehrere Gebäude energetisch zusammen zu schliessen. Dies bringt hohe Anforderungen an das Energiemanagementsystem mit sich. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, muss das Energiemanagementsystem skalierbar sein – sprich, ohne grossen Aufwand mit weiteren Komponenten, Gebäuden und Arealen erweitert werden können.

Zurzeit existieren keine Lösungen, um ein solch komplexes Energiemanagement durchzuführen. Die vorhandenen Produkte für Gebäude und Areale funktionieren in einem grösseren Bereich unzuverlässig und ineffizient. In dieser Arbeit soll die Machbarkeit eines skalierbaren Energiemanagements vom Gebäude bis hin zur Smart City untersucht werden.

Was wird skaliert?

In einem Gebäude ist eine Vielzahl an Erzeuger, Speicher und Verbraucher vorhanden bzw. können eingesetzt werden. Auf die Energiebilanz eines Gebäudes haben nicht alle dieser Komponenten einen Einfluss und sind damit für ein Management uninteressant.

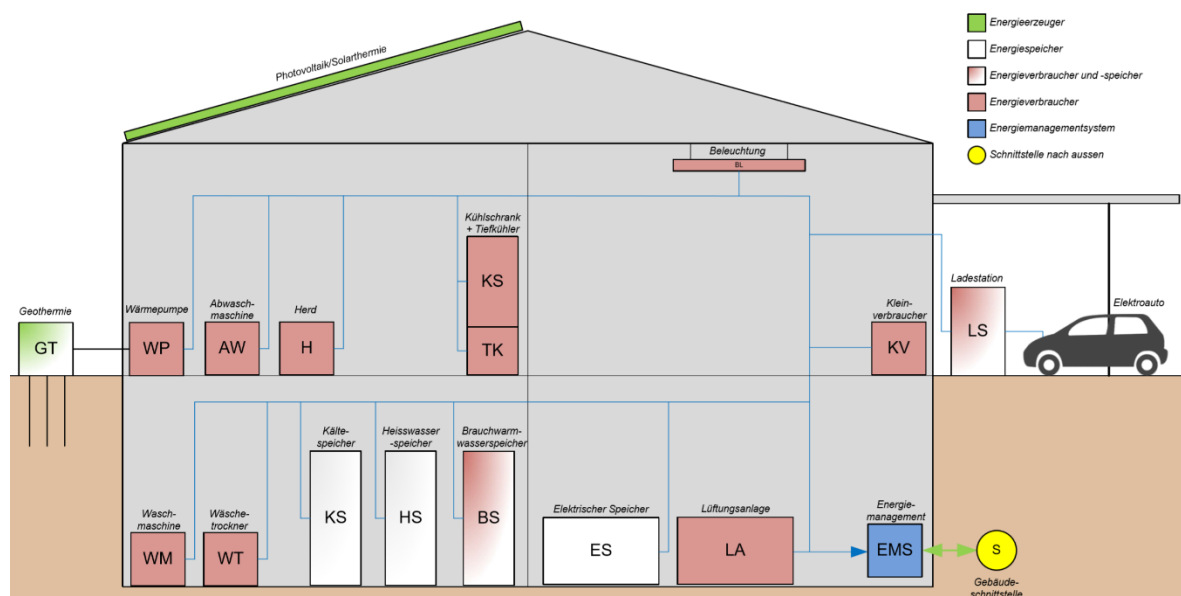


Abb. 1: Theoretisch optimale Ausstattung in einem Wohngebäude

Die Anzahl der Erzeuger, Speicher und Verbraucher im Wohngebäude kann variiert werden. Somit werden letztere im Gebäude als Komponenten definiert, welche skaliert werden. Die theoretische Ausstattung in Abbildung 1 zeigt, welche Komponenten im Wohngebäude eingesetzt werden können. Ergänzend zu der Visualisierung ist eine Energiezusammenstellung zur Veranschaulichung der vorhandenen Energien entstanden. In gleicher Weise ist für die drei anderen Stufen, das Gewerbegebäude, das Areal und die Smart City eine Visualisierung der skalierbaren Komponenten und Anlagen und eine Energiezusammenstellung entstanden.

Wie wird eine sinnvolle Skalierbarkeit erreicht?

Das Erreichen eines sinnvollen Energiemanagements über eine Smart City scheitert hauptsächlich an der Komplexität der Struktur. Wird diese Struktur von der einzelnen Komponente bis hin zur Smart City vorgegeben und strikt eingehalten, ist die Grundlage für ein skalierbares Energiemanagements gelegt. Neben der Struktur muss auch die Kommunikation vorgegeben sein, dies betrifft die Schnittstellen, Protokolle und die auszutauschenden Daten. Anhand von Pflichtenheften sind genau diese Punkte beschreiben und vorgegeben.

Szenario zur Umsetzung einer Smart City

Um diese Pflichtenhefte zu validieren ist ein Szenario mit dem Referenzobjekt Suurstoffi-Areal durchgeführt worden. Es wird Schritt für Schritt aufgezeigt, was gemacht werden muss, um die jeweilige Stufe an dem übergeordnetem Energiemanagementsystem anzubinden. Das Szenario ist mit Beispiel-Produkten hinterlegt, um zu zeigen, über welche Schnittstellen die Komponenten, Gebäude und Areale angebunden werden können.

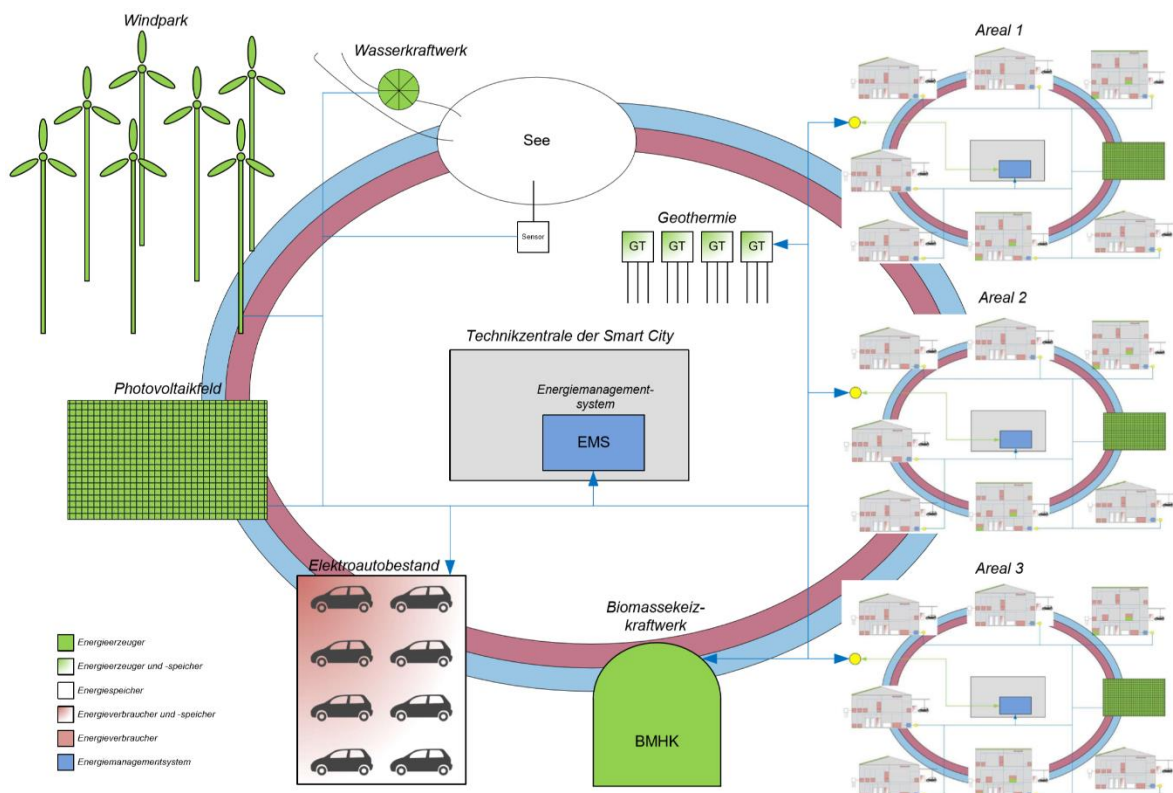


Abb. 2: Optimaler Aufbau einer Smart City

Es kann grundsätzlich gesagt werden, dass ein skalierbares Energiemanagement möglich ist. Um diese Skalierbarkeit zu erreichen sind allerdings gewisse Bedingungen zu erfüllen. Es muss vorgegeben werden, über welche Schnittstellen kommuniziert werden kann und welche Daten ausgetauscht werden müssen. Damit dies eingehalten wird, müssen diese Punkte anhand von Normen, Richtlinien oder Merkblättern festgehalten werden. Daraus ergibt sich auch ein Handlungsbedarf für die Hersteller der Produkte. Sie müssen ihre Produkte überarbeiten und so anpassen, dass sie den Normen entsprechen bzw. in einer Smart City angewendet werden können und sozusagen das Label «Smart City Ready» besitzen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_13
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Gebäudemonitoring - Metadaten

Studierende	Stephen Moser Adrian Baumann
Dozierende	Olivier Steiger Reto Marek
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Gebäudemonitoring - Metadaten

Im Zeitalter der Digitalisierung werden in allen Bereichen der Gesellschaft immer mehr Daten gesammelt. Die Auswertung der aufgezeichneten Daten erfolgt je nach Branche unterschiedlich. Überall gleich ist jedoch, dass eine klar strukturierte Datenbank vorhanden sein muss, um die Daten nutzbar zu machen (von Big Data zu Smart Data), da nur geordnete Daten automatisiert ausgewertet werden können.

Wie diese Datenbank strukturiert ist, entscheidet im Normalfall der Anwender. Das Ziel dieser Arbeit ist es, eine optimierte Struktur zu erstellen, welche von jedem Anwender benutzt werden kann. Der Grundgedanke dabei ist die Verwendung von Metadaten. Dabei werden zum Beispiel Standortinformationen oder Geräteeigenschaften in Metadaten hinterlegt und danach nutzbar gemacht.

Schalenstruktur

Um eine nachhaltige und nachvollziehbare Metadatenstruktur zu erstellen, wird in dieser Bachelor-Thesis mit der Open-Source-Datenbank Neo4j gearbeitet. Als Grundlage für den Aufbau der Datenstruktur wurde das Schalenmodell aus der VDI-Richtlinie 3813 (Verein Deutscher Ingenieure) verwendet. Die vom VDI vorgegebene Norm unterteilt ein Projekt in die Punkte «Liegenchaftsportfolio», «Liegenchaft», «Gebäude», «Bereich» und «Segment». In dieser Arbeit wird das Liegenchaftsportfolio als Projekt und die Liegenchaft als Immobilie bezeichnet. Diese Umbenennung wurde vorgenommen, um die Verständlichkeit während der Programmierung zu verbessern, da hier meist mit englischen Begriffen gearbeitet wird. In den folgenden Abbildungen werden das räumliche und technische Schalenmodell gezeigt.

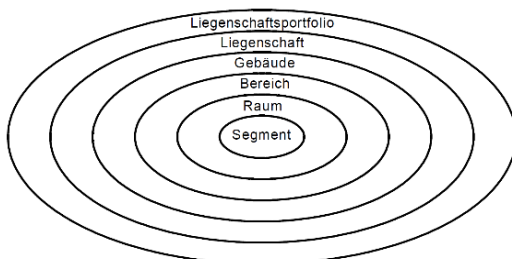


Abbildung 1: Räumliches Schalenmodell

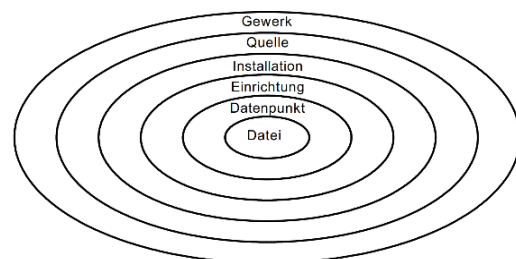


Abbildung 2: Technisches Schalenmodell

Zusätzlich zur beschriebenen räumlichen Aufteilung wird eine technische Aufteilung verwendet. Diese beinhaltet die Punkte «Gewerk», «Quelle», «Installation», «Einrichtung», «Datenpunkt» und «Datei». Durch die Vermischung dieser beiden Strukturen sind präzisere Suchfunktionen möglich und das Gebäude kann nicht nur räumlich, sondern auch technisch abgebildet werden.

Node

Die in den Schalenmodellen beschriebenen Informationen werden in Nodes als Label abgespeichert. Ein Node ist die Verbindung zwischen der Unique-ID, dem Label und den Properties. In Abbildung 3 «Aufbau einer Node» wird gezeigt, wie ein Node konzeptionell aussieht. Die Unique-ID ist eine eindeutig zuweisbare Nummer und Properties sind die Metainformationen. Die Nodes werden mit unterschiedlichen Verbindungstypen verbunden. Durch diese Verbindungen entsteht eine Netzstruktur, welche schnelle Auslesevorgänge ermöglicht.



Abbildung 3: Aufbau einer Node



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_14
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Dimensionierungshilfe für ZEV Wohnungsbau

Studierende	Aaron Moser Adrian Frey
Dozierende	Prof. Volker Wouters Roger Buser
Experte/-in	Markus A.E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Dimensionierungshilfe für ZEV Wohnungsbau

Mit der Energiestrategie 2050 beschloss die Schweiz den schrittweisen Ausstieg aus der Kernenergie. Die Förderung von Photovoltaikanlagen stellt eine Massnahme dar, um dieses Ziel zu erreichen. Die Grundeigentümer von Ein- und Mehrfamilienhäusern mit deren Mietern oder untereinander können sich zu einem Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) vereinigen und somit den Bau solcher Anlagen attraktiver machen. Da sich grössere Verbrauchergemeinschaften bilden lassen, kann mehr vom produzierten PV-Strom an Ort und Stelle verbraucht sowie verkauft werden. Es können höhere Renditen erzielt und Anlagen schneller amortisiert werden. Das ist nicht nur ökologisch, sondern auch wirtschaftlich interessanter.

Für die Auslegung und die Dimensionierung der einzelnen Systeme innerhalb des ZEV wurde ein Excel-Tool entwickelt. Das Tool soll eine Unterstützung zur wirtschaftlichen und technischen Optimierung des ZEV bieten und die Vorteile solcher Zusammenschlüsse aufzeigen. Ein wesentlicher Teil der Optimierung bildet der Eigenverbrauchsanteil. Dieser kann insbesondere durch Energiespeicher in Form von Batterie oder Wärmespeicher erhöht werden. Der Fokus dieser Arbeit liegt jedoch auf die Kombination von PV-Anlagen mit Batteriespeicher und deren Mehrwerte oder Risiken.

Auswertung Dimensionierungshilfe

Anhand eines eigens definierten Mustergebäudes wurde die Dimensionierungshilfe und ihre Ausgaben geprüft. Das vierstöckige Mehrfamilienhaus mit einem Fachgeschäft im Erdgeschoss, wurde auf alle verschiedenen Möglichkeiten mit PV-Modulen ausgestattet und berechnet. Die Auslegung des Batteriespeichers wird anhand der Grösse der PV-Anlage oder des Energieverbrauchs errechnet. Um einen Verlust zu verhindern, kann die Kapazität des Speichers manuell verändert werden und somit ein persönliches Wirtschaftlichkeits- und Eigenverbrauchsoptimum eingestellt werden. Folglich konnte eine PV-Anlage auf dem Dach mit Ost/West-Ausrichtung und integriertem Batteriespeicher, durch reduzieren der Kapazität von 56 auf 19kWh eine Amortisationszeit von 21 Jahren, einen Eigenverbrauchsanteil von 69% und Autarkiegrad von 45% erreicht werden.

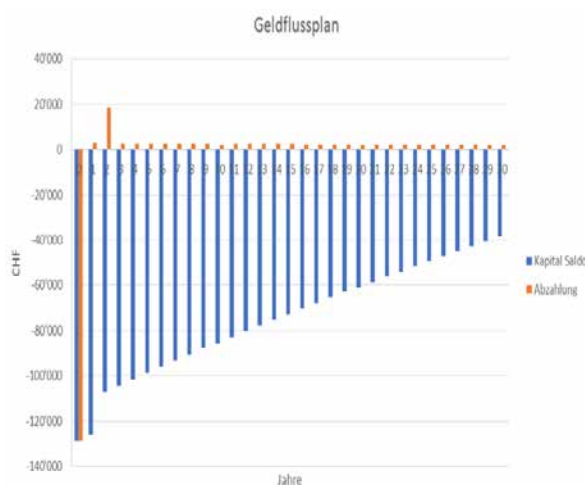


Abb. 2: Dachanlage Ost/West mit 19kWh Batteriespeicher



Abb. 2: Dachanlage Ost/West mit 56kWh Batteriespeicher

Durch die hohen Investitions- und Unterhaltskosten lassen sich Batteriespeicher selten bis nie in einer nützlichen Frist amortisieren. Die Rendite einer solchen Kombination hängt stark von der Auslegung der PV-Anlage und deren Eigenverbrauchsanteil ohne Speicher ab. Es lassen sich zurzeit durch einen Batteriespeicher die Eigenverbrauchsanteile erhöhen, die Amortisationszeiten jedoch nicht verkürzen. Wie positiv sich diese allerdings bei Veränderungen am Markt auswirken, wurde mittels einer Sensitivitätsanalyse untersucht.

Sensitivitätsanalyse

Um den Bau von PV-Anlagen zu begünstigen werden diese staatlich sowie teilweise kommunal gefördert. Diese Förderbeiträge, insbesondere die EIV, kann lediglich für PV-Anlagen beantragt werden. Vom Bund sowie von den meisten Gemeinden bzw. Kantonen ist keine Förderung von Batterien vorgesehen. Anhand der durchgeführten Sensitivitätsanalyse wurde untersucht, wie sich ein Förderprogramm für elektrische Speicher auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt. Anhand des Mustergebäudes wurde ersichtlich, dass sich Förderbeiträge schneller auf die Amortisationszeit auswirken als sinkende Batteriespeicherpreise. Bereits ab einem Beitrag von 25% können PV-Anlagen mit Batterie rund 3 – 8.5 Jahre schneller amortisiert werden.

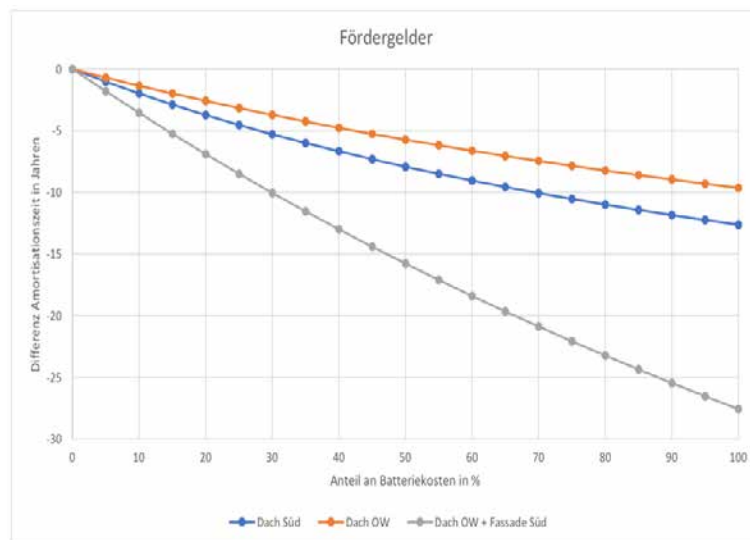


Abb. 3: Sensitivitätsanalyse steigende Förderbeiträge

Um vergleichbare Aussagen über die Auswirkungen auf die Anlagen zu machen wurden die Batteriespeicherkapazitäten jeweils so eingestellt, dass nach ungefähr 30 Jahren das gesamte System amortisiert wird. Dadurch wurde die, in der Grafik blaue Kurve «Dach Süd», eine 16kWp nach Süden ausgerichtete PV-Anlage mit einer 15kWh Speicherbatterie und 97% Eigenverbrauch kombiniert. Die orange Kurve «Dach OW» repräsentiert das Verhalten der nach Ost/West ausgerichteten 44kWp PV-Anlage mit einem 22kWh Batteriespeicher und 71% Eigenverbrauch. Die graue Kurve gehört zur unwirtschaftlichen und für den gerechneten Verbrauch überdimensionierten PV-Anlage mit einer Ost/West ausgerichteten Dachanlage inklusive mit der südlichen Fassadenfläche. Dieses System lässt sich nicht in den 30 Jahren amortisieren und wurde daher mit 73kWp PV-Leistung und 22kWh Batteriespeicher bei einem 47% Eigenverbrauch definiert.

Allgemeine Erkenntnisse

Für Wohnbauten lohnen sich Photovoltaikanlagen, welche die Fassadenflächen einbinden ohne Berücksichtigung der verhinderten Fassadenkosten nicht. Durch die teurere Installation und den geringeren Ertrag, sprechen somit gleich zwei wichtige Faktoren dagegen. Weiter wird durch zusätzliche Aktivierung der Fassade zu viel Energie produziert und damit den Eigenverbrauch reduziert. Dieser lässt sich durch die teuren Batteriespeicher zwar verbessern aber nicht rentabel betreiben. Darum sollte eine PV-Anlage immer auf den Verbrauch abgestimmt werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_15
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Smartes Lastmanagement für E-Mobility- Ladestationen mit Last-Ansteuerung von Allgemeinverbraucher in MFH

Studierende	Lukas Bucher Adrian Riedweg
Dozierende	Volker Wouters Roger Buser
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Paul Aroldi, IBG B. Graf AG, Lindenstrasse 14, 6340 Baar)
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Smartes Lastmanagement für E-Mobility-Ladestationen mit Last-Ansteuerung von Allgemeinverbraucher in MFH

Die Zunahme der Elektromobilität stellt sowohl für Elektroplaner als auch für Gebäudeeigentümer neue Herausforderungen in Bezug auf deren Integration ins Gebäude dar. Aufgrund der gegenwärtigen Situation im Schweizer Gebäudepark ist für Mehrfamilienhäuser im Bestand der mit Abstand höchste potenzielle Bedarf an Ladeinfrastruktur vorhanden. Dabei besteht die grösste Herausforderung in der gegebenen Gebäudezuleitung, deren Erhöhung es zu vermeiden gilt. Diesbezüglich ist geprüft worden, wie hoch die effektiv zu erwartenden Auswirkungen unter Einbezug eines statischen oder dynamischen Lastmanagements sind.

Die Schweizer Mobilität befindet sich im Wandel. Auf politischer Ebene werden Reformen, wie CO₂-Abgaben oder die Senkung des CO₂-Ausstosses pro Kilometer stark diskutiert, die zu einer steigenden Gewichtung der Mobilität führen. Das damit verbundene Wachstum der Elektromobilität in einem Wohngebäude kann zu einer erheblichen Veränderung der energetischen Anforderungen führen. Dazu ist auf Basis des statistischen Verkehrsverhaltens der Schweizer Bevölkerung eine Kalkulationshilfe entwickelt worden, die unter Berücksichtigung des Gebäudelastprofils und gegebener Hauptanschlusssicherung das resultierende Gesamtladeprofil im definierten Worst-Case-Szenario ermittelt. Unter dem Worst-Case-Szenario versteht man in dieser Analyse, dass am Tag mit dem höchsten Stromverbrauch zugleich längere Strecken mit dem Elektrofahrzeug (EV) zurückgelegt werden und somit längere Abwesenheitszeiten als im Normalfall entstehen.

Annahmen

Das Mobilitätsverhalten bildet die Basis für eine plausible Abschätzung vom Ladeprofil. Da die zurückgelegte Tagesstrecke und der Anwesenheitszeitraum täglich und je nach Nutzertyp stark variieren können, bedient man sich im Rahmen dieser Potenzialanalyse hauptsächlich Statistiken und Annahmen. Die Nutzertypen sind in Singles und Paare, Familien und Pensionierte unterteilt. Wie das Anwesenheitsprofil in Abbildung 1 visualisiert, wird der kritischste Fall betrachtet, bei dem alle Bewohnertypen ihre Aktivitäten vollständig ausserhalb der Wohnzone ausüben.

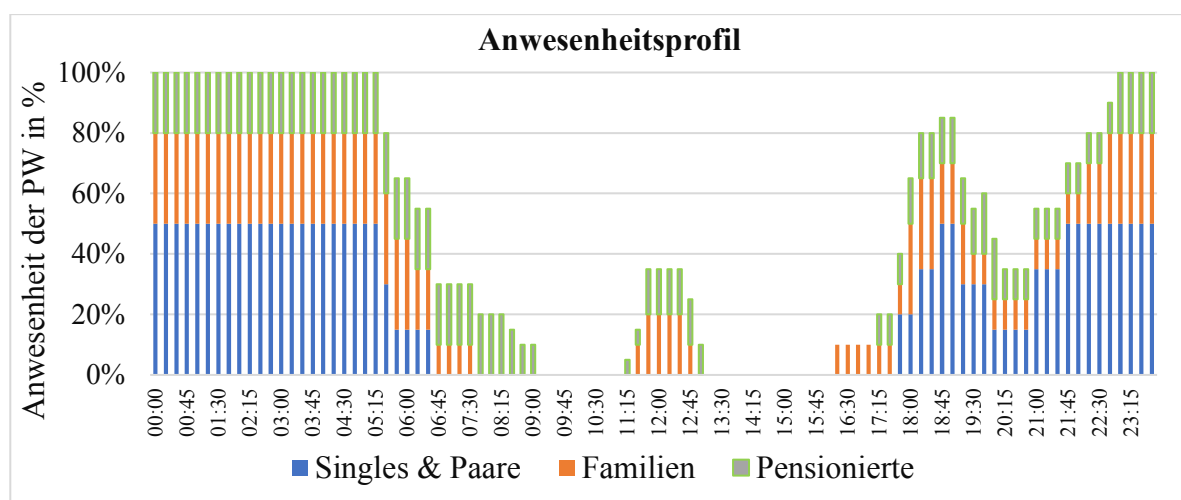


Abb. 1 Anwesenheitsprofil Personenwagen

Smartes Lastmanagement für E-Mobility-Ladestationen mit Last-Ansteuerung von Allgemeinverbraucher in MFH**Ergebnis**

Die Kalkulationshilfe ist an zwei Wohnobjekten verifiziert worden. Anschliessend werden die Ergebnisse von einem Wohngebäude mit 12 Wohneinheiten kurz zusammengefasst. Dabei sind 18 Parkplätze vorhanden, die mit einer Ladestation ausgerüstet werden können. Der Heizenergiebedarf wird momentan vollumfänglich durch eine Ölheizung abgedeckt. Die Analyse des Gebäudelastgangs zeigt, dass mit einer gegebenen Hauptanschlussleistung von 63 Ampere rund 10 Kilowatt für eine statische Ladeanlage verfügbar wären. Für die Begrenzung vom dynamischen Lastmanagement (LM) wird zu jedem Zeitpunkt die momentane Gebäudeleistung plus eine Leistungsreserve von der Anschlussleistung subtrahiert.

Der Ausbau der Elektromobilität in einer Immobilie muss als kontinuierlicher Prozess betrachtet werden. Der entsprechende Verlauf kann jedoch unmöglich exakt vorausgesehen werden. Aus diesem Grund sind die Berechnungen anhand von verschiedenen Ausbaustufen durchgeführt. So ist leicht ersichtlich, wie sich die Worst-Case-Ladekurve im Laufe der Jahre verändern könnte. Beim statischen LM verteilt das Excel-Tool die konstant verfügbare Leistung von 10 kW optimal auf die anwesenden EV. Dies erfolgt mit dem Ziel, dass jedes EV die verbrauchte Energie über 24 Stunden wiederaufladen kann. Um den Verlauf der Kurven besser interpretieren zu können, ist zusätzlich das Anwesenheitsprofil der definierten Nutzertypen auf der Sekundärachse aufgeführt. Mit der Lastgrenze des statischen LM von nur 10 kW ist die Ladeanlage so schon bei kleiner Ausbaustufe ausgelastet. Zu Spitzenzeiten ist die Ladeinfrastruktur schon bei 6 EV, was einer Ausbaustufe von ca. 35 % entspricht, zu 80 % ausgelastet. Bei 14 Fahrzeugen können so nur 76 % des notwendigen Ladeenergiebedarfs abgedeckt werden. Aus diesen Gründen kann bei dieser Gebäudesituation ein statisches LM keinesfalls als zukunftsweisendes Lastmanagementsystem empfohlen werden.

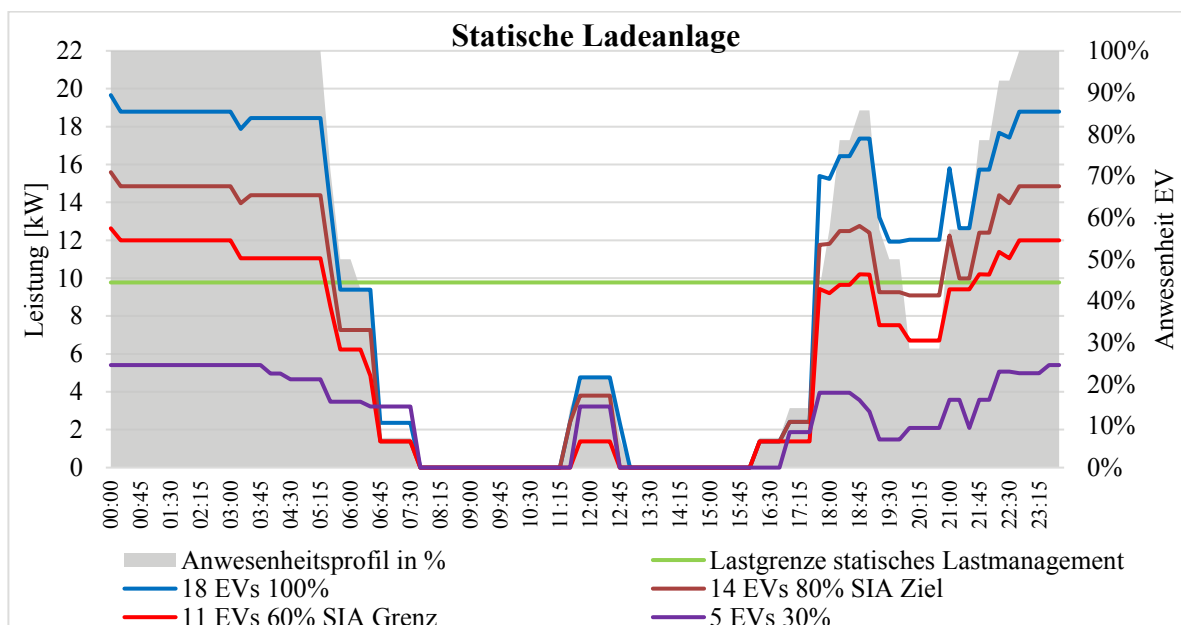


Abb. 2 Ladekurven bei statischem LM

In einem nächsten Schritt wird das Optimierungspotenzial infolge eines dynamischen LM untersucht. Beim Verlauf der resultierenden Ladekurve fällt besonders auf, dass um sieben Uhr abends die Ladeleistung erheblich heruntergeregelt wird. Dies ist darauf zurückzuführen, dass zu dieser Zeit vermutlich ein grosser Teil der Bewohner Energie zum Kochen benötigt, was einen hohen Strombedarf zur Folge hat (vgl. Abb. 3).

Smartes Lastmanagement für E-Mobility-Ladestationen mit Last-Ansteuerung von Allgemeinverbraucher in MFH

Der Vergleich der rot gestrichelten Kurve mit der grünen zeigt, dass die täglich notwendige Ladeenergie der 11 EV im Worst-Case-Szenario in etwa dem elektrischen Gebäudeenergieverbrauch pro Tag entspricht. Trotzdem entsteht mit dem kumulierten Lastverlauf nur eine geringe Erhöhung der Leistungsspitze.

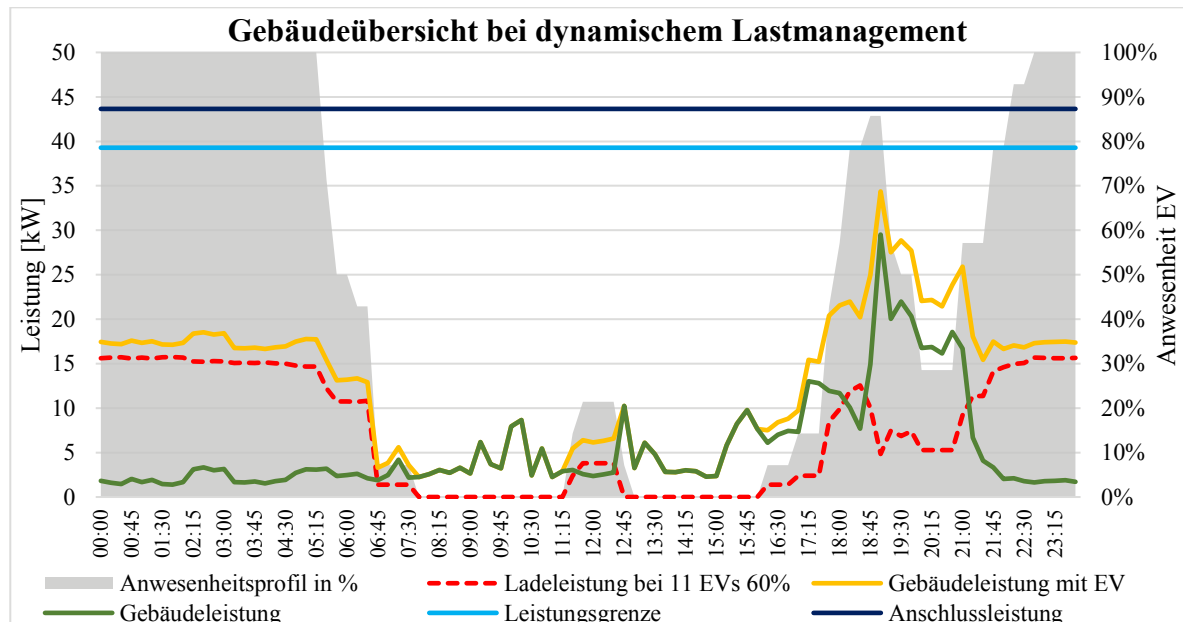


Abb. 3 Gebäudeübersicht bei dynamischen LM und 11 EV

Fazit

Die Auswertung anhand von realen Wohnobjekt-Messdaten hat gezeigt, dass die Gebäudeanschlussleistungen im Bestand oftmals grosszügig dimensioniert sind und somit eine Integration der Elektromobilität massiv erleichtert wird. Vielfach dürfte sogar ein statisches Lastmanagement noch genügend Kapazität liefern, sodass am Ende des Tages sämtliche EV im Vollausbau den gleichen Ladezustand wie zu Beginn erreichen können. Trotzdem ist spätestens ab einer maximalen Auslastung der statischen Ladeanlage von ungefähr 80 % ein dynamisches System vorzuziehen. Denn mit einem dynamischen Lastmanagement kann aktiv auf den Gebäudelastgang reagiert werden und somit können hohe Leistungsspitzen ausgeglichen werden.

Schliesslich kann aus den Ergebnissen geschlossen werden, dass für die Dimensionierung einer intelligenten Ladeanlage im Schnitt ca. 1–1.5 kW pro EV ausreichen. Daher ist es insbesondere bei einem dynamischen LM kaum vorstellbar, dass die Integration der Elektromobilität in Wohngebäuden im Bestand zu einer Überlastung der Gebäudezuleitung führen wird. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass das verwendete Lastmanagementsystem den hohen Ansprüchen in Bezug auf die Reaktionszeit genügt und die Möglichkeit gegeben ist, den Ladezustand auszulesen. Die Auseinandersetzung mit den aktuell verfügbaren Lademanagement-Lösungen zeigt allerdings, dass sich viele davon diesbezüglich noch in der Entwicklungsphase befinden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_16
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Eigenverbrauchsoptimierung im GEE Live Haus

Studierende	Marc Häusler Christian Purtschert
Dozierende	Roger Buser Andreas Odermatt
Experte/-in	Markus A.E. Steinmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Eigenverbrauchsoptimierung im GEE Live Haus

Mit der Annahme der Energiestrategie 2050 im Jahr 2017 setzt die Schweiz ein klares Zeichen gegen die Atomkraftwerke und will die erneuerbare Stromproduktion stärker fördern. Durch die immer wirtschaftlichere Energiegewinnung mittels Photovoltaik nimmt die Anzahl an installierten Photovoltaikanlagen stark zu. Profitierte man zu Beginn noch von hohen Rückliefertarifen, so bekommt man heute weniger für die zurück gespiesene Energie. Der Einsatz von sogenannten Lastmanagementsystemen kann dabei zur Optimierung des Eigenverbrauchs beitragen. Im Rahmen dieser Bachelor-Thesis der Hochschule Luzern, gilt es unterschiedliche Lastmanagementsysteme auf ihre Einsatztauglichkeit im Eigenheim zu prüfen.

Für die Eigenverbrauchsoptimierung gibt es heute viele verschiedene Energiemanager oder Lastmanagementsysteme auf dem Markt. Sie unterscheiden sich bezüglich Kommunikationsstandards, Flexibilität der Bedienung/Einstellungen, Kompatibilität, Regel- und Steuermöglichkeiten sowie der grossen Preisspanne. Auf dem Papier können diverse Systeme bereits miteinander verglichen werden. Bis heute gibt es jedoch noch keine im realen Objekt getesteten Vergleiche der Systeme, bei denen auch die Installation sowie die tatsächliche Steigerung des Eigenverbrauchsanteils verglichen werden können. Die Versuche am realen Objekt werden mit Hilfe des neu ins Leben gerufenen GEE Live Hauses der Hochschule Luzern – Technik & Architektur gemacht.

Das GEE Live Haus

Die Vision des GEE Live Hauses ist es, möglichst viele Möglichkeiten der elektrischen Gebäudetechnik in einer Anlage zu vereinen. Besonders im Fokus stehen dabei praktische Versuche und Forschungseinrichtungen, welche am Campus Horw erweitert und neu aufgebaut werden sollen. Die praktischen Versuche sollen sowohl in Lehre als auch in Weiterbildung und Forschung einfließen. Dabei sollen zukunftsorientierte und innovative Themen, wie z.B. Eigenverbrauchsoptimierung, behandelt und gleichzeitig ein besserer Bezug zur Praxis hergestellt werden. Weiter soll das GEE Live Haus die Infrastruktur für verschiedenste Bachelor-Diplomarbeiten liefern.



Abb. 1: GEE Live Haus

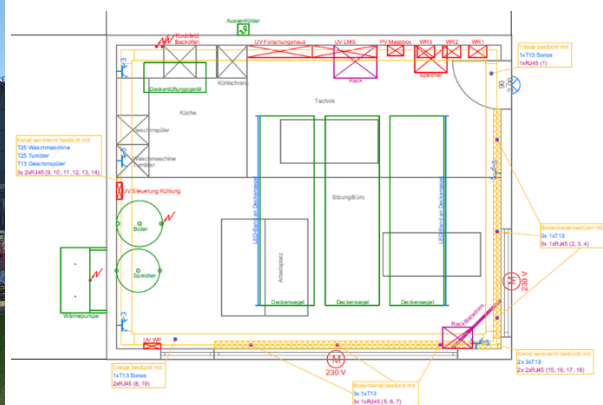


Abb. 2: Apparateplan GEE Live Haus

Die im GEE Live Haus enthaltenen Verbraucher, wie die Küche oder HLKS-Anlagen, sollen so gut wie möglich einen Wohnbau simulieren, auch wenn die Dimension nicht einem realen Wohnbau entspricht.

Vorgehen Analyseverfahren Lastmanagementsysteme

Aus einer grossen Auswahl an Lastmanagementsystemen wurden fünf unterschiedliche Systeme ausgewählt, analysiert und verglichen. Ausschlaggebend für die Wahl der getesteten Systeme war, dass sowohl einfachere als auch komplexere Systeme miteinander verglichen werden können. Es wurde dabei ein besonderes Augenmerk auf das Optimierungspotential, den Installationsaufwand, die Bedienerfreundlichkeit und die verschiedenen Funktionen gelegt. Um ein aussagekräftiges Resultat aus dem Analyseverfahren zu ziehen mussten vorab einige Punkte festgelegt werden. So wurden klare technische Abgrenzungen, die zu beurteilenden Kriterien sowie ein allgemeiner Tagesablauf definiert. Für den Vergleich des Installationsaufwandes sowie der Bedienerfreundlichkeit sind die unterschiedlichen Lastmanagementsysteme im GEE Live Haus integriert worden. Dabei wurde der Zeitaufwand und Schwierigkeitsgrad der Installation sowie der Parametrierung bis zum gewünschten Ergebnis festgehalten. Zu Beginn des Analyseverfahrens wurde der definierte Tagesablauf ohne Optimierungsmassnahmen getestet. Es zeigte sich, dass ein Grossteil der PV-Energie nicht genutzt und folglich ins öffentliche Netz zurückgespielen wurde.

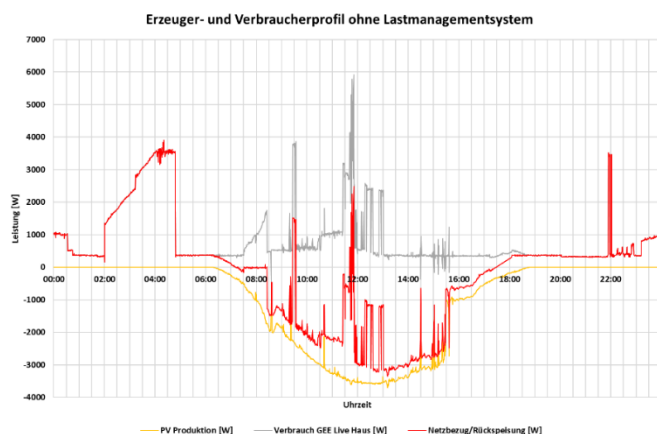


Abb. 3: Erzeuger- und Verbraucherprofil ohne Lastmanagementsystem

Mit Hilfe der Lastmanagementsysteme können Verbraucher, wie die HLKS-Anlagen, Haushaltsgeräte, Batteriespeicher oder der Heizstab, so gesteuert/geregelt werden, dass sie dann zum Einsatz kommen, wenn der Solarertrag überschüssig ist. Durch den Einbezug eines Batteriespeichers kann zudem überschüssige PV-Energie zwischengespeichert und bei Bedarf genutzt werden. Die Nutzung solcher Systeme ermöglicht bei richtiger Parametrierung einen Eigenverbrauchsanteil und/oder Autarkiegrad von über 90%.

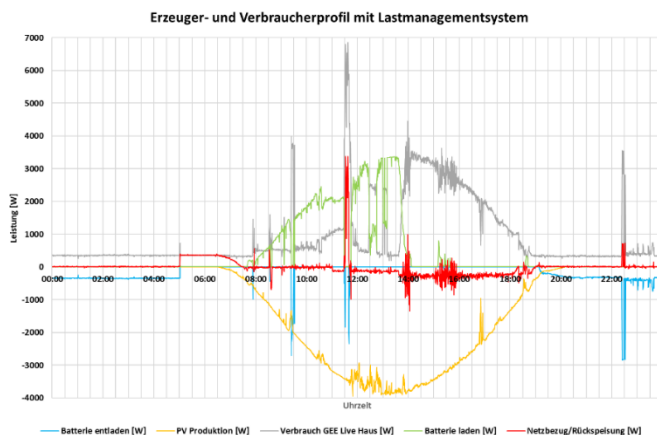


Abb. 4: Erzeuger- und Verbraucherprofil mit Lastmanagementsystem.

Ausblick

Durch die Eigenverbrauchsoptimierung kann der Energiebezug vom öffentlichen Netz stark reduziert werden. Im Zusammenspiel mit den elektrischen und thermischen Speichern sind nahezu autarke Lösungen möglich. Daher wird das Thema Eigenverbrauchsoptimierung in Zukunft immer wichtiger werden, zumal auch grosse Kosteneinsparungen für den Netzbezug elektrischer Energie gemacht werden können. Die Wirtschaft hat das sich abzeichnende Marktvolumen im Bereich von Lastmanagementsystemen zur weiteren Eigenverbrauchsoptimierung erkannt. Sie kann zunehmend zweckdienliche Lösungen entsprechend der unterschiedlichen Nutzerbedürfnisse anbieten. Für die Zukunft der Eigenverbrauchsoptimierung gilt es jedoch einige Punkte zu beachten, um für den Nutzer das gewünschte Ergebnis aus technischer, operativer, aber auch wirtschaftlicher Sicht zu erreichen.

- Einfache und schnelle Installation
- Sämtliche Verbraucher über einheitliche Schnittstelle
- Benutzerfreundliches Interface
- Erweiterungen können einfach getätigt werden
- Preise für Batteriespeicher müssen sinken
- E-Mobilität soll miteingebunden werden

Fazit

Die Auswertung der Analyseverfahren hat gezeigt, dass einige wichtige Faktoren, wie Wetterbedingungen und Jahreszeiten, einen grossen Einfluss auf die Resultate haben. So sind die für die Optimierung des Eigenverbrauchs wichtigen Kennzahlen, wie Eigenverbrauchsanteil und Autarkiegrad, mit Vorsicht zu betrachten. Abschliessend kann die Arbeit hinsichtlich des Optimierungspotenzials eine wegweisende Richtung aufzeigen. Im Gegensatz zum Optimierungspotenzial können die Aufwendungen für Installation und Bedienung/Einstellung einander aussagekräftig gegenübergestellt werden. Dabei hat sich gezeigt, dass sich der Installationsaufwand grundsätzlich immer im gleichen Rahmen bewegt. Die Einbindung der verschiedenen Systeme hat aber oftmals Schwierigkeiten hervorgerufen, da diese unterschiedliche Kommunikationsstandards aufweisen. Grosse Unterschiede konnten beim Aufwand und Schwierigkeitsgrad der Bedienung/Einstellung festgestellt werden. Dies hat wieder direkte Auswirkungen auf die Optimierungsmöglichkeiten der einzelnen Lastmanagementsysteme. Ein nicht zu vernachlässigbarer Punkt für den Nutzer zeigt sich in der Bedienerfreundlichkeit des Systems. Eine einfache und gut übersichtliche App ist in der heutigen Zeit für den Gebrauch im Eigenheim von entscheidender Bedeutung. So können aktuelle Daten einfach, verständlich abgelesen und Konfigurationen im System schnell vorgenommen werden.

Einher mit dem Einsatz eines Lastmanagementsystems, in Verbindung mit einem Batteriespeicher, kann die Effizienz weiter gesteigert werden. Es zeigt sich aber, dass dies zurzeit noch mit grösseren Investitionskosten verbunden ist. Als gute Alternative besteht jedoch die Möglichkeit, die überschüssige Energie zugunsten der Warmwasseraufbereitung zur Verfügung zu stellen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimierung EWS-Felder

Studierende	Benjamin Joss
Dozierende	Prof. Joachim Ködel Prof. Dr. Axel Seerig
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Pascal Märchy, Roche Diagnostics International AG Forrenstrasse 2, 6343 Rotkreuz
Abgabedatum	07. Juni 2019

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

Optimierung EWS-Felder

Um ein Erdwärmesonden-Feld zu regenerieren, dessen Austrittstemperatur aufgrund hohem Kältebedarf jährlich auf bis zu 35°C angestiegen ist, wurden zwei Konzepte untersucht. Eine Variante betrachtet auch den Einbezug eines zusätzlichen Wärmeverbraucher, um den Ausgleich zwischen Kältebedarf und Wärmedarf zu erreichen. Die Nutzung dieses Synergiepotentials ermöglicht die Reduktion von fossilen Brennstoffen.

Auf dem Areal von Roche Diagnostics International AG in Rotkreuz befinden sich mehrere Gebäude mit unterschiedlichem Bedarf an Wärme und Kälte, je nach spezifischer Nutzung der Räumlichkeiten. Als Erzeuger werden Erdsonden-Wärmepumpen, Kältemaschinen und Gasbrenner eingesetzt. Die Austrittstemperatur aus den Erdwärmesonden (EWS)-Felder von zwei Gebäuden ist über die Jahre aufgrund hohem Kühlbedarf angestiegen. Die Bachelor Thesis behandelte das Thema der Regeneration dieser beiden EWS-Felder und allfällige Synergienutzung mit einem Gebäude mit hohem Wärmebedarf.

Situationsanalyse

In einer ersten Phase wurde eine Situationsanalyse durchgeführt. Hierzu dienten monatlich erfasste Werte der Verbraucher, Grundrisspläne sowie Prinzipschemen, die von der Roche Diagnostics International AG zur Verfügung gestellt wurden. Die Zeitspanne der verwendeten Aufzeichnungen beginnt im September 2014 und endet im Januar 2018. Mithilfe dieser Daten konnte festgestellt werden, dass die Wärmezuführung in das EWS-Feld in den letzten Jahren deutlich grösser gewesen ist als der Wärmeentzug. Dies verursachte einen stetigen Anstieg der Austrittstemperatur. In der Abbildung 1 sind der mittlere Wärmeentzug und Zuführung ins EWS-Feld eines Gebäudes grafisch dargestellt.

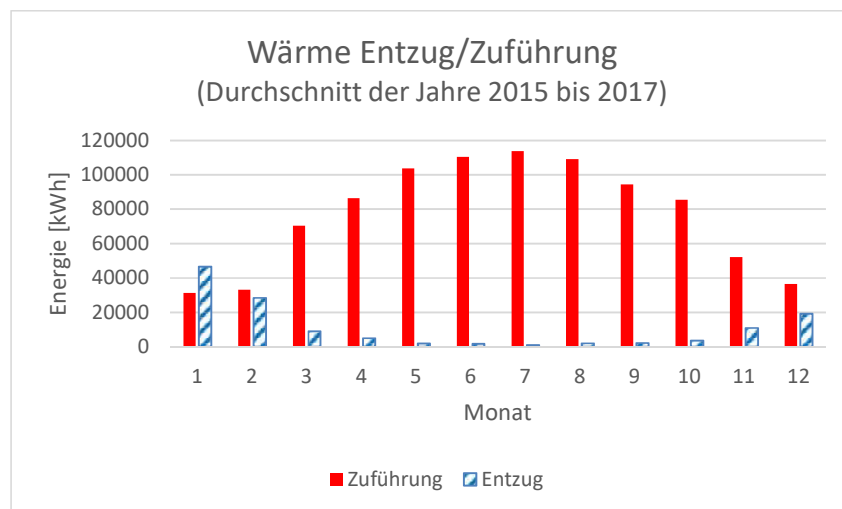


Abb. 1: Wärmeentzug / Zuführung vom EWS-Feld von Gebäude 6

Durch die Sommermonate lief die Wärmepumpe/Kältemaschine durch das gleichzeitige anfallen von Kühl- und Wärmebedarf allgemein im Wärmerückgewinnungsbetriebsmodus. Dabei dient nicht das EWS-Feld als Quelle, sondern das Kältenetz (Kältespeicher). So wurde kaum Wärme aus dem Erdreich entnommen.

Lösungskonzepte 1 und 2

Das Konzept 1 befasst sich mit der Bewirtschaftung von Gebäude 6 und 7. Diese wird so verändert, dass die EWS-Felder für die Kälteerzeugung nicht mehr an erster Position stehen. An erster Stelle wird eine Kältemaschine für die Grundlast gesetzt und erst anschliessend die EWS-Felder für die Abdeckung der Spitzenlast. Für kurzzeitige Extremspitzen wird eine zweite Kältemaschine als 3. Option zugeschaltet. Diese Veränderung in der Reihenfolge ermöglicht eine Regeneration der EWS-Felder.

In diesem Konzept 1 wird kein Synergiepotential bei der Bereitstellung der Wärme für Gebäude 10 realisiert. Es hilft die Problemstellung zu entflechten und erlaubt eine einfachere Umsetzung mit geringeren Investitionskosten.

Mit Konzept 2 wurde die Frage geklärt, wie ein mögliches Synergiepotential für die Wärmeenergie zwischen den Gebäuden 6 und 7 und dem Gebäude 10 als zusätzlicher Verbraucher genutzt werden kann. Dabei sollen die EWS-Felder von den zwei kleineren Gebäuden keine Lasten tragen. Die überschüssige Energie, welche bei der Kälteerzeugung bei Gebäude 6 und 7 entstehen, wird über ein Wärmeverbundnetz an das Gebäude 10 abgeben und nicht über das Erdwärmesonden-Feld rückgekühlt.

Auswertung

In Abbildung 2 sind die berechneten Wärmeentzüge und Zuführungen der beiden Konzepte mit dem aktuellen Bestand dargestellt. Es ist leicht ersichtlich, dass beide Konzepte eine reduzierte Wärmezufuhr in die EWS-Felder aufweisen.

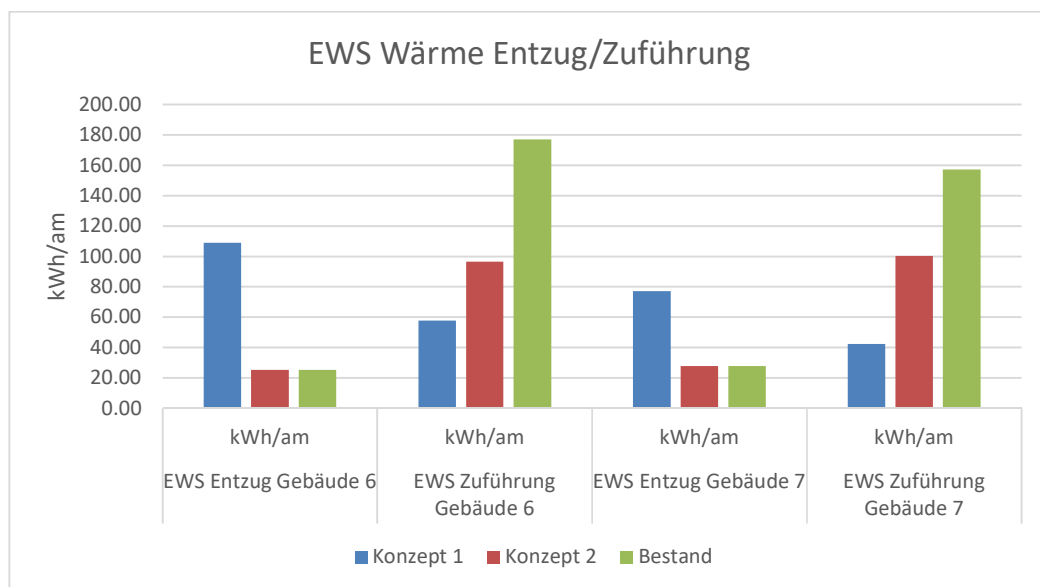


Abb. 2: Vergleich der Wärmeentzüge und Zuführungen.

Mit dem Konzept 1 wird eine mögliche Lösung aufgezeigt, welche die Regeneration der EWS-Felder erlaubt. Die Regeneration bewirkt schlussendlich auch die Verbesserung der Leistungszahlen der Kältemaschinen und Wärmepumpen/Kältemaschinen. Diese Variante weist aber einen höheren Bedarf an elektrischer Energie auf und führt zu höheren Betriebskosten (Abbildung 3).

Das Konzept 2 zeigt die Möglichkeit einer Synergienutzung mit einem Gebäude mit hohem Wärmebedarf auf. Sowohl die CO2 Emissionswerte wie auch der Bedarf an fossilen Brennstoffen

werden dadurch gesenkt. Dies führt letztendlich zu tieferen Betriebskosten und stellt trotz höheren Investitionskosten eine lukrative Variante für die Umsetzung dar.

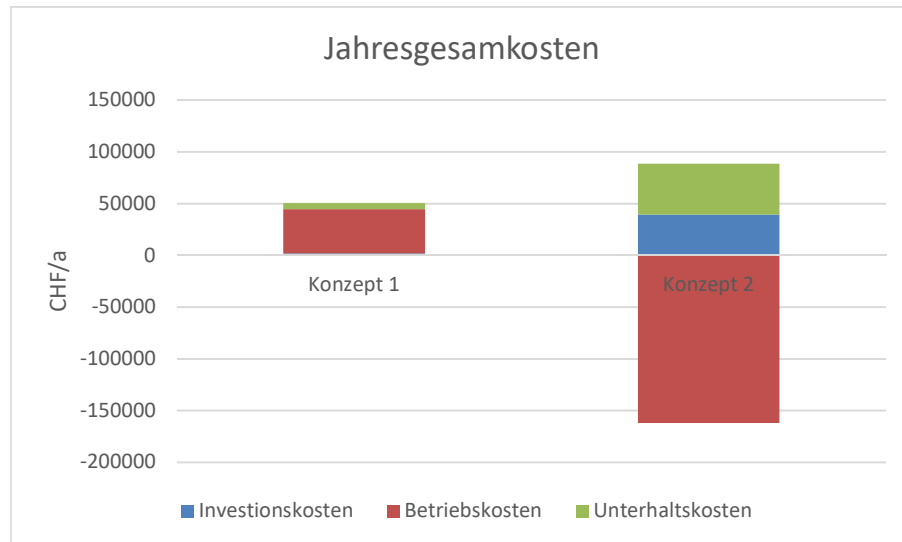


Abb. 3: Jahresgesamtkosten der Konzepte 1 und 2 relativ zu den bestehenden Betriebskosten.



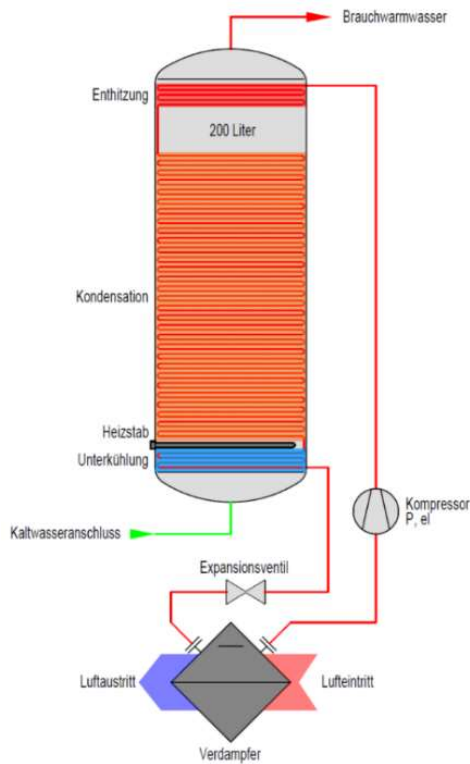
Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Dezentrale Wassererwärmung mittel Luft/Wasser-Wärmepumpe

Studierende	Adriano Palese Lukas Lötscher
Dozierende	Prof. Gerhard Zweifel Andreas Odermatt
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Dezentrale Wassererwärmung mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe



Die Energiewende und der stetig steigende Technisierungsgrad führen zu einem Bedarf an marktauglichen Produkten für die privaten Haushalte. 15 Prozent des Endenergiebedarfs im Jahr 2014 fallen auf die Bereitstellung von Brauchwarmwasser zurück. Der Ersatz der bestehenden Elektroboiler in Miet- und Eigentumswohnungen, durch eine dezentrale Brauchwarmwassererwärmung mittels Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Elektroheizstab als Notbetrieb, ist dabei ein Ansatz, um den Endenergiebedarf zu reduzieren.

Im Auftrag des Industriepartners und mit Hilfe des zur Verfügung gestellten Prototypen, wurde in Zusammenarbeit mit dem ZIG (*Zentrum für integrale Gebäudetechnik*), ein Simulationsmodell im Simulationsprogramm *IDA ICE (IDA Indoor Climate and Energy)* entwickelt. Das Simulationsmodell soll das thermische Verhalten des Brauchwarmwasserspeichers mit innenliegendem Wärmeübertrager, bzw. Kondensator zeigen.

Abb. 1: Prinzipschema Luft/Wasser-WP

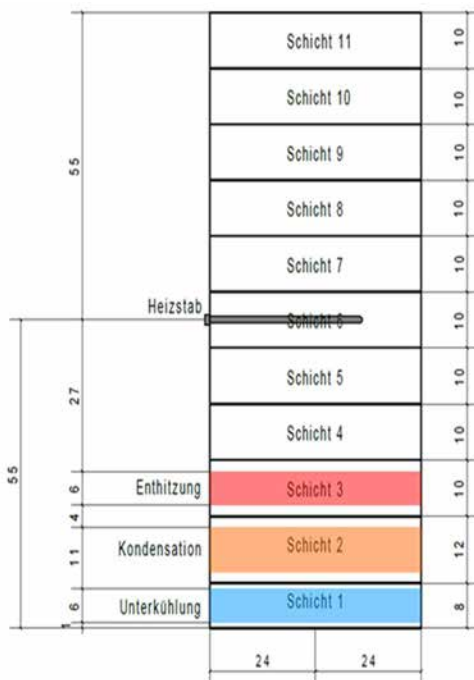


Abb. 2: Schichtaufbau Speicher, Abmessungen in cm

Zielverfolgung

Das Ziel ist, den Prototypen weiter zu entwickeln und für eine typische Wohnung in einem Mehrfamilienhaus zur Marktauglichkeit zu führen. Dabei gilt es, den täglichen Brauchwarmwasserbedarf von 200 Liter zu decken. Die bestehenden Brauchwarmwasserspeicher mit elektrischem Einsatz sind, unter Berücksichtigung der Behaglichkeitsanforderungen, definiert durch die Normen und Richtlinien *SIA 181, SIA 385/1, SWKI VA104-01* und der *SVGW-W3*, bis auf die Kalt- und Warmwasseranschlüsse eins zu eins zu ersetzen.

Simulationsmodell

Das erarbeitete Simulationsmodell, ist am Kältemittelkreislauf der Wärmepumpe orientiert. Durch die zur Verfügung gestellten Messdaten des ZIG am Prototypen, kann mit Hilfe der Kondensationstemperatur, des Isentropenwirkungsgrades, der Verdampfungstemperatur, der Sauggasüberhitzung und der Unterkühlung, die Eintrittstemperatur in den Enthitzungs-Teil über das log(p)-h-Diagramm bestimmt werden. Der gesamte Prozess wird danach von der Enthitzung, über die Kondensation, bis zur Unterkühlung von der Kondensationstemperatur der Wärmepumpe bestimmt. Das funktionierende Simulationsmodell dient als Grundlage für den jetzigen Aufbau des Brauchwarmwasserspeichers und kann für verschiedene Szenarien, sowie Optimierungen ausgewertet werden.

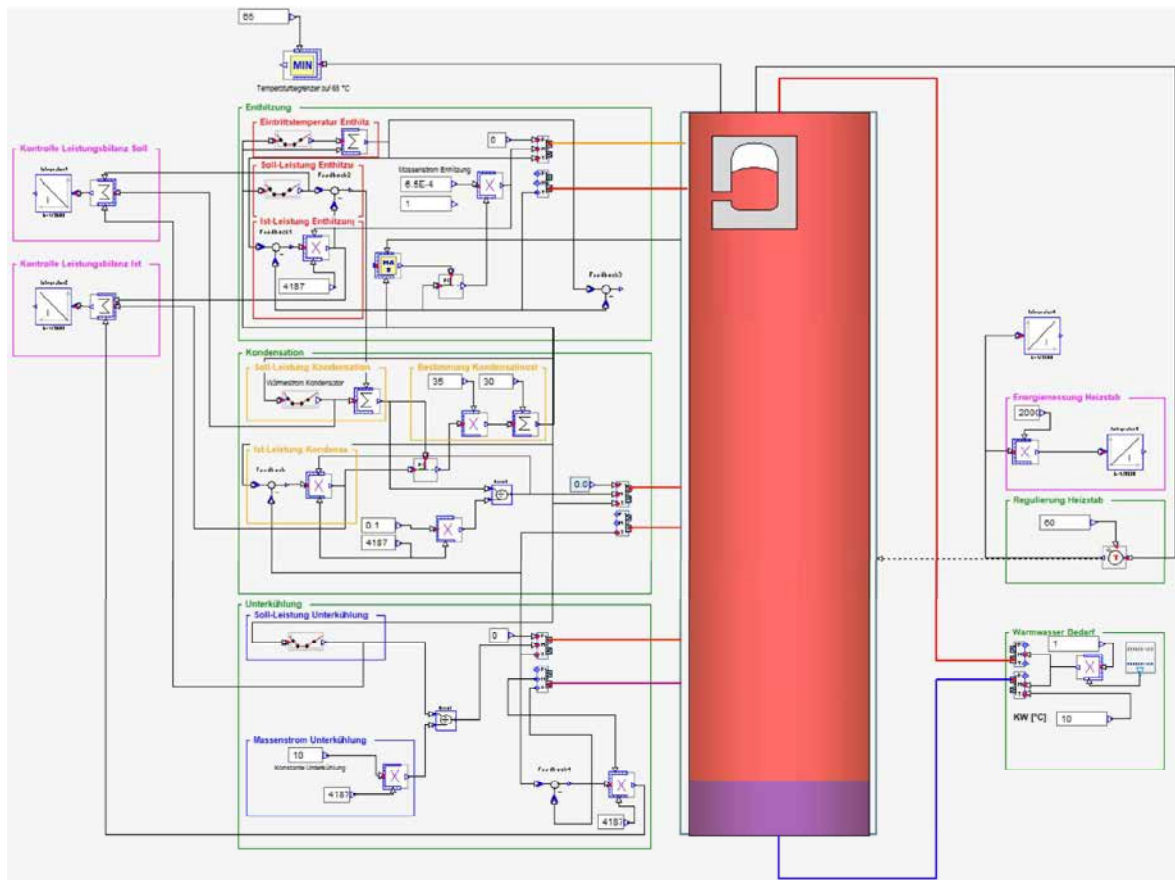


Abb. 3: Simulationsmodell IDA ICE

Schlussfolgerungen

Die Simulationsergebnisse zeigen, dass für eine effizientere Brauchwarmwasserladung und -warmhaltung, der Kondensator-Teil der Wärmepumpe möglichst im unteren Bereich des Speichers platziert werden muss und ein Elektroheizstab als Unterstützung und für den Notbetrieb zwingend notwendig ist. Durch die angepassten Einbauhöhen kann die Laufzeit des Elektroheizstabes auf 8.5 h/Woche reduziert werden, was einer deutlichen Reduktion zum aktuellen Projektstand entspricht. Das erarbeitete Simulationsmodell kann in Bezug auf einen nächsten Prototypen weiterverwendet und erweitert werden. Sämtliche erwähnten Luftschallmassnahmen, Einbauergänzungen für die Luftströmung und den Geräteschutz, sowie die Optimierungen bzgl. Einbauhöhen und Einbausituation in den Wohnungen sind genau zu prüfen, um anschliessend ein ökonomisch, sowie ökologisch interessantes Produkt auf dem Markt zu lancieren.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_19
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Einsatz von Ab- und Adsorptionskälte in Fernwärmenetzen

Studierende	Bianca Schmidt Andreas Kempf
Dozierende	Zoran Alimpic Joachim Ködel
Experte/-in	Roland Stierli
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	07. Juni 2019

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

Einsatz von Ab- und Adsorptionskälte in Fernwärmenetzen

Der Klimawandel, der stetig steigende Technisierungsgrad sowie die wachsenden Komfortbedürfnisse führen zu einer Erhöhung des Kältebedarfs. Innovative Kühlsysteme, wie das Kühlen mit Ab- und Adsorptionskältemaschinen, können hierfür eine Lösung bieten. Wirtschaftlichkeitsberechnungen zeigen aber, dass für einen ökonomisch sinnvollen Einsatz von Ab- und Adsorptionskältemaschinen die Wärme sehr günstig angeboten werden muss, oder Subventionen gutgesprochen werden müssen.

In der Ist-Analyse wird die aktuelle Marktsituation abgebildet. Dieser Ist-Situation wird die Soll-Situation gegenübergestellt. Diese beinhaltet die Vision des Netzbetreibers in Bezug auf das Produkt *Kälte aus Wärme*. Um von der Ist-Situation zur Soll-Situation zu gelangen, werden aus der Wirtschaftlichkeitsberechnung Varianten zur Erreichung des Soll-Zustandes abgeleitet.

Vergleich Ist-Situation/Soll-Situation

Heute sind im Einzugsgebiet des Netzbetreibers keine Ab- oder Adsorptionskältemaschinen im kleinen Leistungsbereich (< 250 kW) im Einsatz. Der fehlende Einsatz im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen ist hauptsächlich in den höheren Investitionskosten und dem höheren Platzbedarf für die Rückkühlung begründet. Dabei wären, wie die Nutzwertanalyse zeigt, folgende Top 3 Produkte marktreif.

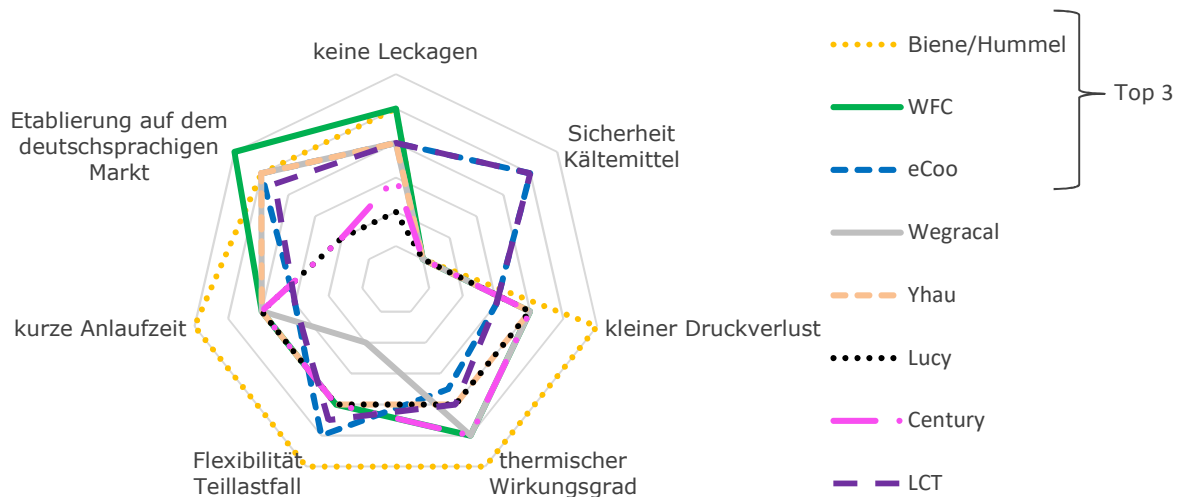


Abb. 1: Nutzwertanalyse zur Produktreife

Um eines dieser drei Produkte in das bestehende Fernwärmenetz einzubinden, müssen aus technischer Sicht keine Betriebsanpassungen vorgenommen werden. Die Unternehmensstrategie des Netzbetreibers sieht vor, dass in den nächsten fünf Jahren eine kleine und moderne Ab- oder Adsorptionskältemaschine am Fernwärmenetz angeschlossen ist. Langfristig, in den nächsten 20 Jahren, soll sich das Produkt *Kälte aus Wärme* etabliert haben, um somit der steigenden Bedeutung der Kälte gerecht zu werden. Der Fokus der Kundenakquise liegt auf den Kleinanlagen (50, 100 und 250 kW).

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung basiert auf einem Wärmepreis von 5 Rp/kWh und einem Strompreis von 22.48 Rp/kWh. Die im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Ab- und Adsorptionskältemaschinen sind im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen in den Leistungsbereichen 50 kW und 120 kW nicht wirtschaftlich. Die Berechnungen zeigen, dass die Betriebskosten der Ab- und Adsorptionskältemaschinen verglichen mit den Betriebskosten der Kompressionskältemaschine nicht genug tief sind, um nach 20 Jahren die hohen Investitionskosten zu kompensieren. Bei 50 kW Kälteleistung schneiden die Adsorptionskältemaschinen nur wenig teurer ab als die Kompressionskältemaschinen. Die Adsorptionskältemaschinen sind in diesem Leistungsbereich, sowie bei 120 kW Kälteleistung jedoch um rund 1/3 teurer als die Kompressionskältemaschine.

Varianten um Soll-Situation zu erreichen

Damit sich trotz diesen Berechnungen der Einsatz von Sorptionskälteanlagen lohnt, muss entweder ein integriertes Kältekonzept oder eine Minergie-Zertifizierung angestrebt werden oder es müssen die Kosten reduziert werden.

Die Kostenreduktion kann in den Investitionskosten und den Betriebskosten vorgenommen werden. Die Reduktion der Investitionskosten kann über Subventionen erfolgen, die zum heutigen Zeitpunkt jedoch noch nicht zugesprochen werden. Die Reduktion der Betriebskosten kann über die Anpassung des Wärmepreises erfolgen. Anhand der folgenden Abbildung kann abgelesen werden, ab welchem Wärmepreis unter ceteris-paribus-Bedingungen¹ der Break-Even Punkt der Sorptionskältemaschine und der Kompressionskältemaschine erreicht wird.

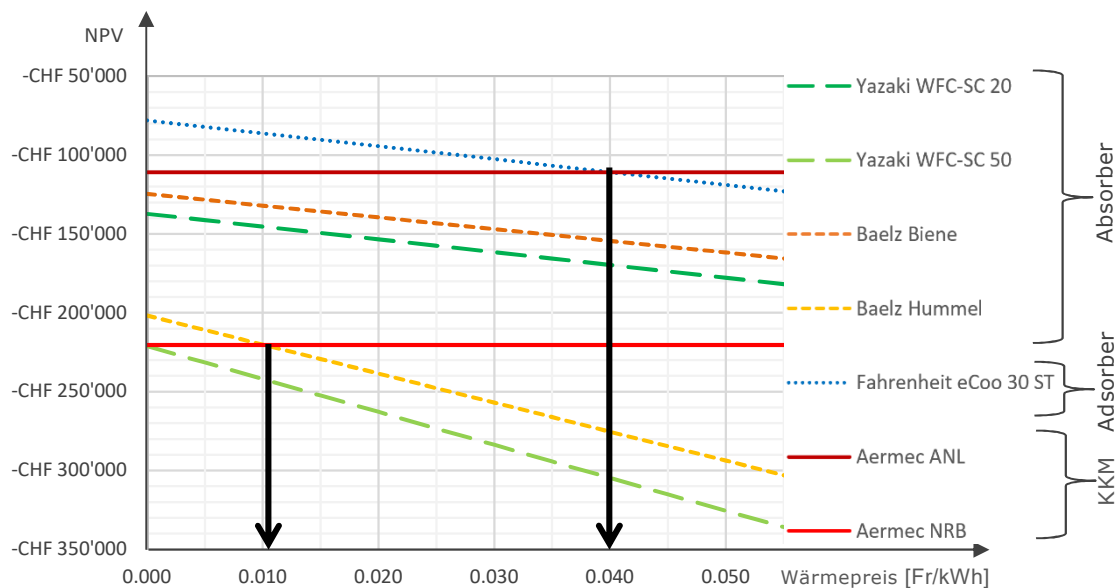


Abb. 2: Break-Even Wärmepreis

Damit der Einsatz einer Sorptionskältemaschine wirtschaftlich ist, darf der Wärmepreis bei 50 kW Kälteleistung maximal 0.04 Fr/kWh sein. Wobei zu diesem Preis nur die Adsorptionskältemaschine eCoo 30 ST der Firma Fahrenheit einen gleichen NPV wie die Kompressionskältemaschine (KKM) erreicht. Bei 120 kW Kälteleistung darf der maximale Wärmepreis 0.01 Fr/kWh betragen, damit die Adsorptionskältemaschine Hummel der Firma Baelz wirtschaftlich eingesetzt werden kann.

¹ $NPV = \sum_{t=0}^n \frac{K_t}{(1+i)^t}$, i =Diskontierungsfaktor 1.5%, n =Lebensdauer 20 Jahre, K =Investitions-, Betriebs- und Instandhaltungskosten



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F19_20
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Konzept zur Integration der Elektromobilität bei Roche Diagnostics International AG in Rotkreuz

Studierende	Samuel Leiggener Nicola Evangelisti
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Roche Diagnostics International AG Alois Heggli Forrenstrasse 2 6343 Rotkreuz
Abgabedatum	14. Juni 2019

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

Konzept zur Integration der Elektromobilität im Roche -Campus Rotkreuz

Die Energiestrategie 2050 soll den Schweizer Energiehaushalt reformieren. Grund dafür ist der Anspruch auf eine zuverlässige und umweltverträgliche Energieversorgung. Die Strategie baut auf verschiedenen Lösungsansätzen, wovon eine die Effizienzsteigerung der Mobilität ist. Hierfür bietet der elektrisch motorisierte Individualverkehr eine technologische Antwort und gehört deshalb in eine strategische Arealplanung einbezogen.

Für den komfort-, kosten-, und effizienzbedingten Wandel hin zur Elektromobilität ist die bestehende Infrastruktur des Hauptsitzes von Roche Diagnostics International AG stetig an die Marktdurchdringung der E-Mobile anzupassen. So kann sichergestellt werden, dass das Park- und Ladeangebot immer der momentanen Nachfrage entspricht. Ob die elektrische Infrastruktur den Anforderungen genügt, muss geprüft werden. Anhand der gewonnenen Erkenntnisse kann eine fundierte Aussage über das Potential und die Schwachstellen gemacht werden. Auch fließen die Ergebnisse in einen Regelbeschrieb ein, mit welchem Überlastfälle oder Fehlladungen verhindert werden können. Ebenfalls werden entstandene Schnittstellen aufgezeigt, behandelt und allenfalls abgegrenzt.

Vorgehen

Ein fundamentaler Arbeitsschritt für die Areal-Integration der elektrischen Mobilität ist die Analyse der Lastverläufe der verschiedenen Bauten und vom Gesamtareal. Bestandteile, zu denen die neuerbaute Photovoltaik-Anlage gehört, wurden auf deren Eigenschaften geprüft, sodass sie in das Elektromobilitätskonzept implementiert werden konnten. Das hierdurch entwickelte Exceltool liefert Resultate wie die minimale Ladeenergie, welche ohne Anhebung der historischen, monatlichen Bezugsleistungsspitzen erwartet werden kann.

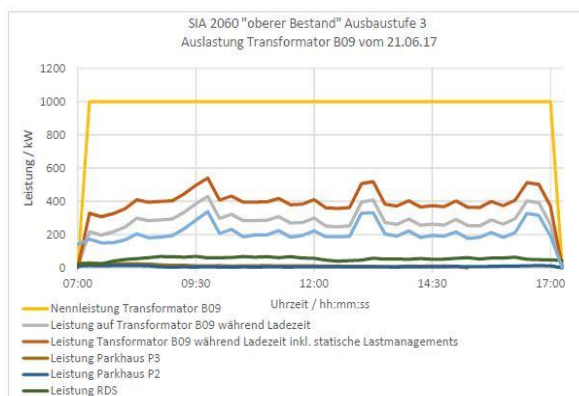


Abb. 1: Analyse Lastgang

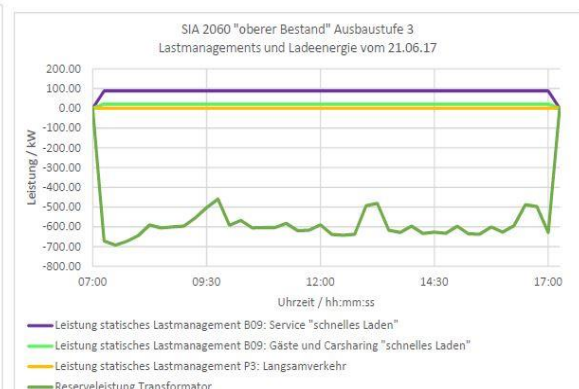


Abb. 2: Ermittlung Ladeleistung

Anhand dessen kann in Abhängigkeit des Entwicklungsszenarios und der Ausbaustufe die Energieabdeckung jedes einzelnen elektrifizierten Parkplatzes abgeschätzt werden. Die Areallastganganalyse und die Transformatoren-, und Leistungsbetrachtung boten Grundlage für einen Regelbeschrieb, welcher gewährleistet, dass im «worst case»-Fall weder die Arealgesamtleistung noch die einzelnen Infrastrukturteile überlastet werden.



Abb. 3: Leistungseinteilung auf Regelzonen

Das Excel-Tool führte ebenfalls zu einer Potentialstudie über bidirektionale Ladevorgänge zur Bezugsleistungsoptimierung durch Spitzenbrechung. Nämlich konnte damit abgeschätzt werden, ob und wenn ja, wie viel der monatlichen Leistungsspitzen durch wie viele bidirektionale Fahrzeuge eingespart werden kann. Alternativ gelten die groben Berechnungen auch für stationäre Akkumulatoren. Dieser Ansatz bietet die Möglichkeit, die elektrischen Netzkosten zu reduzieren. Für die Behandlung der übrigen Themen wie die Bezahlösung oder die Produktauswahl konnte auf Expertenaussagen zurückgegriffen werden. Andere Schnittstellen wie die Auswirkungen auf die Stromqualität, Signalisation oder Erschliessung wurden im sinnvollen Rahmen der Konzeptionsarbeit beantwortet.

Resultate

Die Solaranlage mit etwas über 500 Kilowatt Spitzenleistung ist für das Konzept aufgrund ihrem bescheidenen Leistungsbeitrag wenig Beachtung zu schenken. Für Themen wie der Leistungsspitzenbrechung ist die Anlage wenig relevant.

Die bestehende elektrische Infrastruktur bietet Reserve für den ersten und zweiten Ausbauschnitt. Dies bedeutet, dass bei zukünftig ähnlichem Leistungsbezug bis ins Jahr 2050 der Ladebedarf von mindestens 40 Kilometern pro elektrifizierten Parkplatz abgedeckt werden kann. 40 Kilometer aus dem Grund, da dieser Strecke dem durchschnittlichen Tagesarbeitsweg entspricht. Weiter ist ein Resultat, dass während den letzten drei Jahren nie eine Leistungsspitze mit mehr als 499 Kilowattstunden Kapazität und 335 Kilowatt Leistung in Bezug auf die angepasste Höchstleistung aufgetreten ist.

Fazit

Während die hauseigene Solaranlage zu gering dimensioniert ist, als dass sie Relevanz für das Konzept geniessen würde, bietet die bestehende elektrische Infrastruktur genügend Marge, um die künftigen Bedürfnisse der Automobilisten zu stillen. In Kombination mit dem Mobilitätskonzept von Roche Diagnostics International AG kann der Pendelverkehr der Belegschaft auch in Zukunft weiterentwickelt werden. Die Entwicklung Mobilität in Allgemeinen wird sich je länger je mehr entlastend auf die Parkplatznutzung auswirken. Die Photovoltaik-Anlagen können stark erweitert werden, ohne dass der Eigenverbrauchsanteil unter 1 sinkt. Hierzu bieten die zumeist ungenutzten Dächer auf dem Campus Platz. Für die Optimierung der Netzkosten kann ein Akkumulator durchaus interessant werden. Der «Business Case» ist mit aktuellen Preisen noch unrentabel, jedoch sollte dieser regelmässig den neuen Tarifen und Kosten angepasst werden. Speziell bei einer weiteren Vergünstigung der Batteriepreise ist ein wirtschaftlicher Gebrauch mehr denn je realistisch.

BACH
FLOR

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT+ IGE_F19_21
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimierung massiver Aussenwandkonstruktionen im Wohnungsbau - Eine energetische und ökonomische Betrachtung

Studierende	Jan Stöckl Mario Widmer
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Prof. Gerhardt Zweifel
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Herr Gianrico Settembrini, Institut für Gebäudetechnik und Energie, Forschungsgruppe Nachhaltiges Bauen und Erneuern (NBuE), Technikumstrasse 21, 6048 Horw)
Abgabedatum	13. Juni 2019

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

Optimierung massiver Aussenwandkonstruktionen im Wohnungsbau - Eine energetische und ökonomische Betrachtung

Die Klimaerwärmung schreitet voran und die Gebäude tragen, durch den Bau und deren Betrieb, ihren Teil an der Klimaerwärmung bei. Um die Klimaerwärmung einzudämmen, soll die Produktion von Treibhausgasen verringert werden und um eine nachhaltige Energieversorgung sicherzustellen, sollen erneuerbare Energiequellen zum Einsatz kommen.

Ziel der Bachelorthesis ist, aufzuzeigen ob sich die Speicherfähigkeit der Aussenwände positiv auf die Graue Energie sowie reduzierend auf die Gebäudetechnik auswirken. Zudem sollen die Erkenntnisse dazu dienen, die zukünftige Bauweise in Bezug auf die Umwelt und das Wohlbefinden der Bewohner positiv zu beeinflussen. Dazu wurden die folgenden Forschungsfragen gestellt: Wie gross ist das gesamtheitliche Leistungs- und Energiereduktionspotential und wie wirkt sich der Klimawandel auf den Lebenszyklus aus und welche Massnahmen sind vorzusehen?

Grundlagen

Im Jahr 2017 wurde die Studie *ClimaBau - Planen angesichts des Klimawandels* (Settembrini et al., 2017) veröffentlicht. Die Studie befasste sich mit den Auswirkungen des Klimas, anhand der SRES-Szenarien, auf die heutigen Gebäudetypen. Das Gebäude *Neubau Massiv* aus der *ClimaBau-Studie* dient als Grundlage für die Simulationen und wird so weit wie möglich übernommen. Um eine Aussage über das Zusammenspiel der Gebäudetechnik und der Aussenwandkonstruktion treffen zu können, werden die folgenden sechzehn Varianten (Abbildung 1) untersucht. Diese unterteilen sich in vier Hauptvarianten der Gebäudetechnikintensität und jeweils vier Untervarianten des Wandaufbaus.

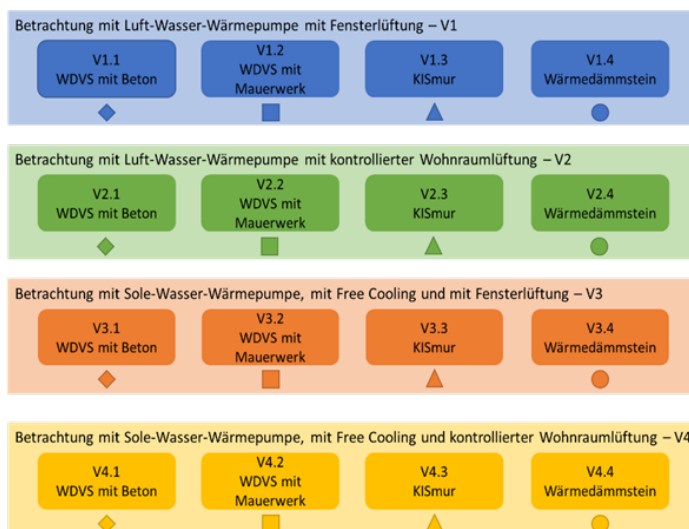


Abb. 1: Variantenmatrix

Methodik

Mit Hilfe von Sensitivitätsanalysen wird der Einfluss verschiedener Parameter auf das Ergebnis der nicht erneuerbaren Primärenergie und auf das Leistungs- und Energiereduktionspotenzial näher betrachtet. In einem zweiten Schritt erfolgt die Ermittlung des optimalen Wandaufbaus je Variante in Bezug auf die nicht erneuerbaren Primärenergie. Weiter wird bei den Optima die Behaglichkeit und das sich verändernde Klima analysiert. Daraus ergebend sich die Erkenntnisse für die proaktiven und reaktiven Massnahmen in Bezug auf die klimatische Veränderung.

Forschungsfrage 1

Die Forschungsfrage, wie gross das gesamtheitliche Leistungs- und Energiereduktionspotential ist, kann unter den festgelegten Randbedingungen folgendermassen beantwortet werden:

Es hat sich gezeigt, dass die Speichermasse der Aussenwand, durch den geringen prozentualen Anteil an der Gebäudemasse, einen geringen Einfluss auf den Heizwärmebedarf und Heizwärmeleistungsbedarf hat. Ausschlaggebend für das Endresultat ist die Änderung der Wärmeleitfähigkeit, die bei einer Änderung von 30 % einen Einfluss von ca. 12 % auf den Heizwärmebedarf hat (Abbildung 2).

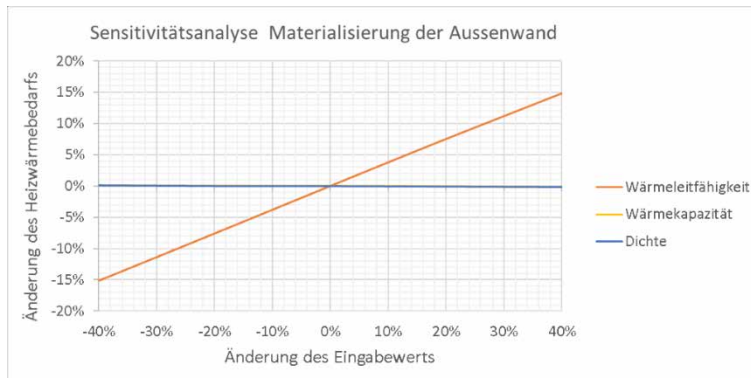


Abb. 2: Sensitivität Aussenwand

Forschungsfrage 2

Die zweite Forschungsfrage, wie sich der Klimawandel über den Lebenszyklus auswirkt und welche Massnahmen vorzusehen sind, kann wie folgt beantwortet werden:

Die Analyse hat gezeigt, dass in Zukunft die Jahresmitteltemperatur gemäss RCP8.5 ca. 2.6 °C ansteigt und dadurch die Überhitzung in den Räumlichkeiten zunimmt. Bei der Datenauswertung haben sich mehrere Massnahmen ergeben, um ein behagliches Raumklima weiterhin zu gewährleisten. Diese Massnahmen sind im Folgenden nach ihrer Effektivität aufgelistet:

- konsequente Nachtauskühlung mittels Fensterlüftung (Abbildung 3),
- Free Cooling mit Sole-Wasser-Wärmepumpe,
- Kontrollierte Wohnraumlüftung,
- Erhöhung der Raumluftgeschwindigkeit auf 0.82 m/s (hat die Erweiterung des Behaglichkeitsfeld zur Folge, Roter Bereich in der Abbildung 3).

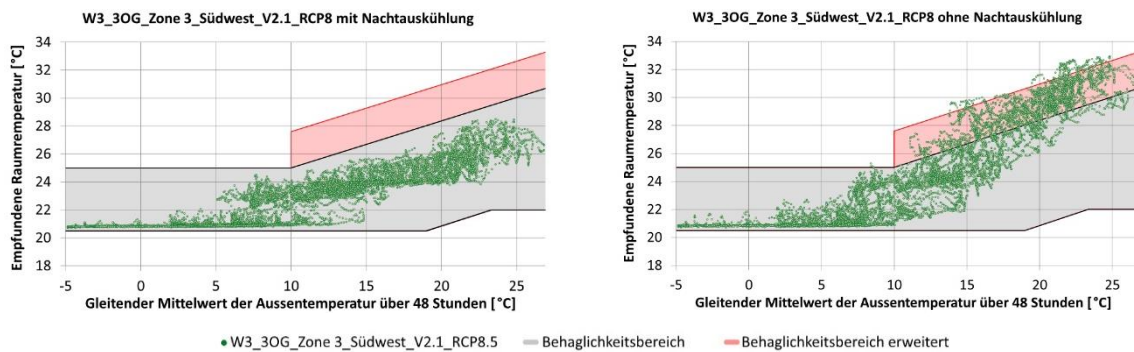


Abb. 3: Streuplot Raumtemperatur nach gleitender Aussentemperatur über 48h mit kontrollierter Wohnraumlüftung

Weitere Erkenntnisse

Es hat sich gezeigt, dass die Variante Sole-Wasser-Wärmepumpe mit Free Cooling und mit Fensterlüftung in Verbindung mit der Konstruktion des Wärmedämmsteins im Vergleich am wenigsten nicht erneuerbare Primärenergie benötigt.

Aus Sicht der Flächeneffizienz (ökonomische Betrachtung) hat sich dasselbe Resultat ergeben mit dem Unterschied, dass der Konstruktionsaufbau ein Wärmedämmverbund-System mit Mauerwerk ist. Hierbei ist die Reduktion der Aussenwandfläche und die daraus resultierenden Mehreinnahmen durch die Miete der ausschlaggebende Faktor.

Die Untersuchung hat ergeben, dass sich beim heutigen Schweizer Lieferantenstrommix die Optima grundsätzlich bei der gesetzlichen Mindestanforderung des U-Wert von $0.17 \text{ W/m}^2\text{K}$ (EnDK, 2015) befinden. Da der Primärenergiefaktor (nicht erneuerbar) des Schweizer Lieferantenstrommix während des Lebenszyklus des Gebäudes einer starken Veränderung ausgesetzt ist, wodurch sich der Einfluss der Nutzenergie auf das Gesamtergebnis der nicht erneuerbaren Primärenergie verkleinert, verschieben sich auch die Optima und es wäre in Bezug auf die nicht erneuerbare Primärenergie ein weniger gedämmten Wandaufbau sinnvoll.

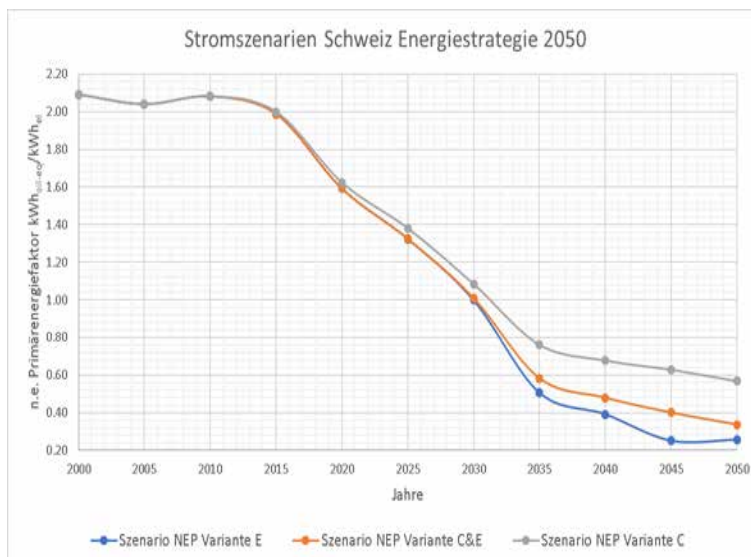


Abb. 4: Entwicklung des Primärenergiefaktor (nicht erneuerbar) des Schweizer Lieferantenstrommix gem. Energiestrategie 2050

MAS

TER

Fachartikel zur
Master Thesis von Dominik Hotz
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Gebäude unterschiedlicher Nutzung ohne Heizung und Kühlung in schweizerischen Klimata

Studierender	Dominik Hotz
Dozierende	Heinrich Manz
Experte/-in	Axel Seerig
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	10.Januar 2019

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

Gebäude unterschiedlicher Nutzung ohne Heizung und Kühlung in schweizerischen Klimata - Parameterstudie mithilfe des Gebäudesimulationsprogrammes IDA ICE

Die Analyse des Schweizerischen Energieverbrauchs nach den Verwendungszwecken zeigt auf, dass der Energiebedarf für Raumwärme hinter der Mobilität den zweitgrössten Bedarf darstellt. Zwar hat sich dieser über die letzten Jahre stetig verringert, trotzdem sind weitere Massnahmen nötig zur Senkung des Energieverbrauchs im Gebäudesektor. Um die gesetzten Ziele einer Verringerung des Energiebedarfs pro Kopf in der Schweiz erreichen zu können, sind effizientere Gebäude notwendig.

Thema dieser Arbeit ist die Untersuchung eines Gebäudes ohne Heizung und aktiver Kühlung in der Schweiz. Ein fiktives Gebäudemodell wurde erstellt und anschliessend untersucht. Dabei wurde der Einfluss von unterschiedlichen Klimata in der Schweiz auf die raumklimatischen Bedingungen analysiert. Die Standorte Luzern, Davos und Lugano wurden als Repräsentanten für drei Schweizer Klimata ausgewählt.

Erstelltes Gebäudemodell

Das erstellte Modell wurde mit Bauteilen nach heutigem Stand der Technik ausgestattet. Um dem Anspruch der Erfüllung der thermischen Behaglichkeit auch ohne Heizung oder Kühlung gerecht zu werden, wurden modernste Verglasungsarten und Bauteile mit tiefen Wärmedurchgangskoeffizienten verwendet. Ausserdem wurde das Modell mit einer Nachtlüftung ausgestattet, um die sommerlichen Wärmelasten zu einem bestimmten Grad durch die kühleren Temperaturen in der Nacht zu kompensieren.

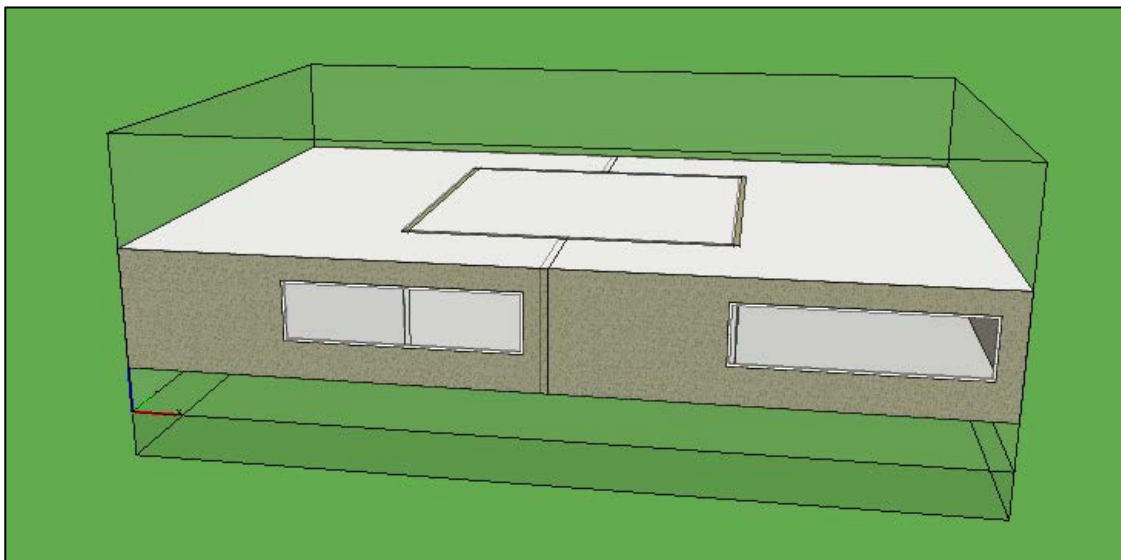


Abb. 1: 3-D Ansicht des erstellten Gebäudemodells

Anhand der Methode der Gebäudesimulation wurden die wichtigsten Gebäudeparameter und deren Einfluss auf die thermische Behaglichkeit detailliert betrachtet. Es wurden Untersuchungen zum

Gebäude unterschiedlicher Nutzung ohne Heizung und Kühlung in schweizerischen Klimata

Fensteranteil, der Wärmedämmung der Fassade, der Fensterverglasung, dem Sonnenschutz, der Infiltrationsrate der Gebäudehülle, der thermischen Masse des Gebäudemodells durchgeführt. Ausserdem wurde die Wirkungsweise der Nachtlüftung untersucht.

Wärmequellen und Wärmelasten

Es wurden zwei verschiedene Nutzungsarten des Gebäudes untersucht: Büro und Wohnen. Dabei wurden die Zeitpläne für Personen, Beleuchtung und Geräte gemäss dem SIA Merkblatt 2024 berücksichtigt. Da keine Heiz- oder Kühleinrichtungen vorgesehen waren, stellten die internen Wärmequellen neben der solaren Einstrahlung die einzige Wärmelast dar.

Da drei unterschiedliche Standorte (Davos, Luzern und Lugano) verwendet wurden, zeigten sich sehr unterschiedliche der solaren Einstrahlung und der Aussentemperatur. Dies hatte einen direkten Einfluss auf die Resultate der Simulationen. Um die Einhaltung von raumklimatischen Grenzwerten beurteilen zu können wurde das Raumklima in vier Behaglichkeitskategorien nach EN 15251 eingeteilt.

Ergebnisse der Parameterstudie

Die Sensibilität des Gebäudemodells auf die Veränderung von einzelnen Gebäudeparametern wurde berechnet. Die Ergebnisse der Simulationen sind nachfolgend dargestellt.

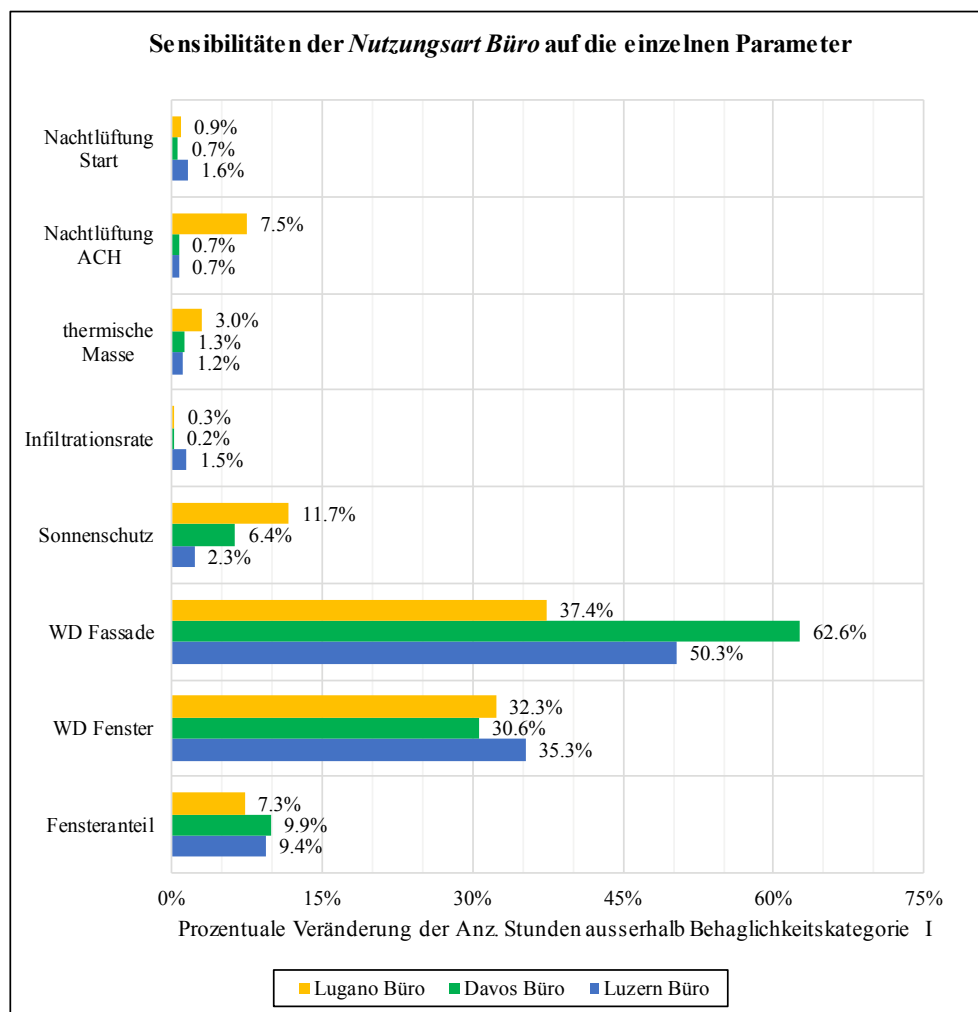


Abb. 2: Übersicht der Sensibilitäten der Nutzungsart Büro

**Gebäude unterschiedlicher Nutzung ohne Heizung und Kühlung
in schweizerischen Klimata****Unser Klima – heute und in Zukunft**

Neben der Frage nach den Ursachen für den Klimawandel und die damit einhergehende globale Erwärmung ist auch die Abschätzung des zukünftigen Klimas von grossem Interesse.

Durch den Klimawandel werden die Aussentemperaturen in der Erdatmosphäre in den nächsten 50 bis 100 Jahren ansteigen, je nach Klimaszenario mehr oder weniger stark. Dies bringt neue Herausforderungen für zukünftige Bauten, in der Schweiz wie auch weltweit. Anhand von zwei verschiedenen Klimaszenarien für die Zukunft wurden in dieser Arbeit Gebäudesimulationen an drei Standorten in der Schweiz vorgestellt und die Auswirkungen des lokalen Klimawandels untersucht.

Ergebnisse der Simulationen mit Zukunftswetterdaten

Die Simulationen mit zukünftigen Klimaszenarien haben aufgezeigt, dass in Zukunft mit erhöhten Aussentemperaturen zu rechnen ist in der Schweiz. Dies muss jedoch nicht zwangsläufig zu einer Erhöhung der thermischen Unbehaglichkeit führen.

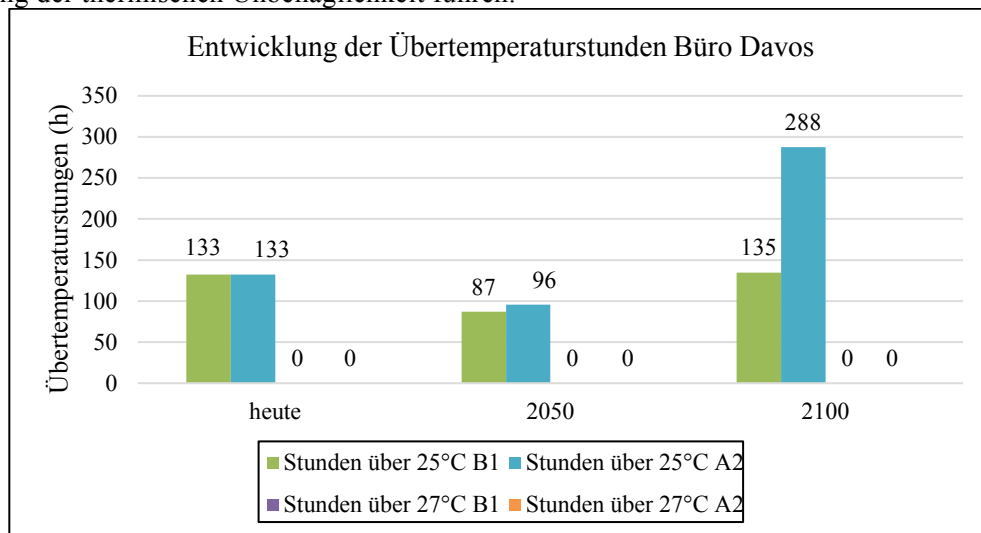


Abb. 3: Verlauf der Entwicklung der zukünftigen Übertemperaturstunden in Bürogebäuden in Davos

Die Simulationen am Standort Davos beispielsweise haben gezeigt, dass auch in Zukunft nicht mit vielen Überhitzungsstunden gerechnet werden muss. Voraussetzung dazu ist jedoch ein gut funktionierendes Sonnenschutzsystem. Bei der *Nutzungsart Büro* stieg die maximale operative Raumtemperatur von 24.4°C auf 26.9°C. Bei der *Nutzungsart Wohnen* stieg die maximale operative Raumtemperatur von 25.3°C auf 26.1°C.

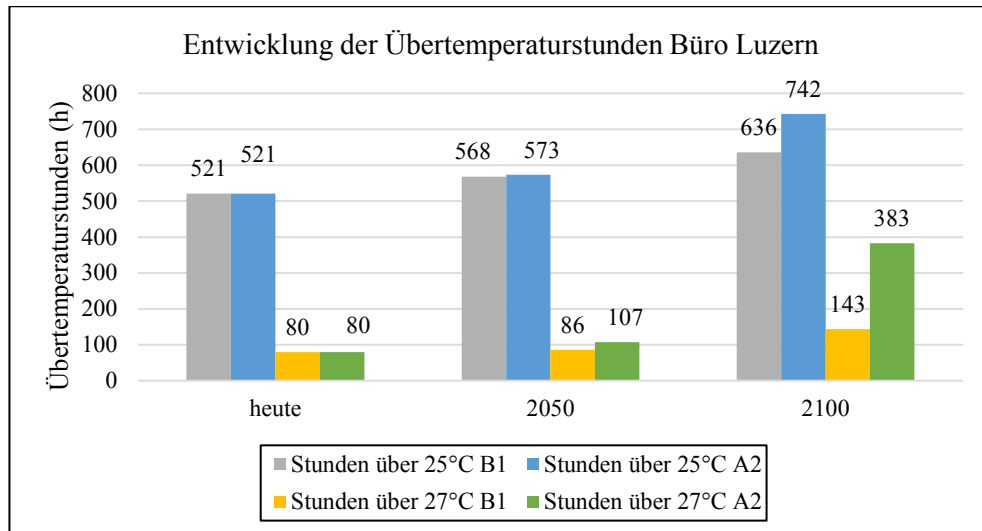
**Gebäude unterschiedlicher Nutzung ohne Heizung und Kühlung
in schweizerischen Klimata**

Abb. 4: Verlauf der Entwicklung der zukünftigen Übertemperaturstunden in Bürogebäuden in Luzern

Am Standort Luzern zeigte sich, dass mit einer leichten Erhöhung der Anzahl Stunden ausserhalb der höchsten Behaglichkeitskategorie gerechnet werden muss. Auf der anderen Seite haben die Zukunftswetterdaten zu einer Abnahme der Diskomfortstunden infolge von kalten Aussentemperaturen geführt. Der Anstieg der Stunden über 25°C war in erster Linie bei der *Nutzungsart Büro* ersichtlich. Es wurde eine maximale operative Raumtemperatur von 31.3°C für das Jahr 2100 vorausgesagt. Bei der *Nutzungsart Wohnen* stieg die maximale operative Raumtemperatur von 26.3°C auf 29.9°C.

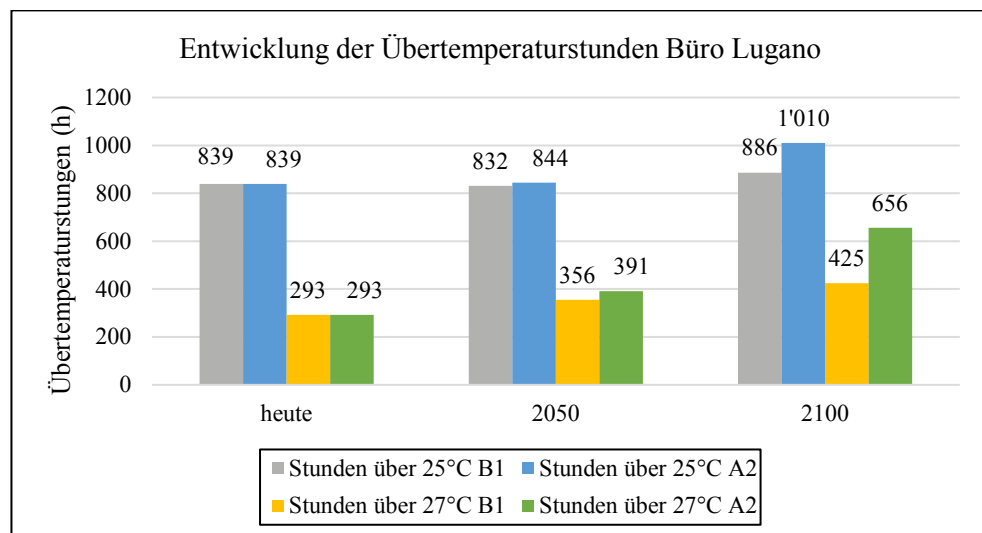


Abb. 5: Verlauf der Entwicklung der zukünftigen Übertemperaturstunden in Bürogebäuden in Lugano

In Lugano war der Einfluss der wärmeren Aussentemperaturen in den zukünftigen Klimaszenarien am deutlichsten sichtbar. Bereits heute entstehen viele Stunden über 27°C, diese Situation wird sich in Zukunft weiter verschärfen. Die maximale operative Raumtemperatur bei *Nutzungsart Büro* stieg von 29.6 °C auf 32.5°C an, was bereits einen grossen Einfluss auf die kognitiven Fähigkeiten allfälliger Büroarbeiter hätte. Bei der *Nutzungsart Wohnen* stieg die operative Raumtemperatur von 26.7°C auf 29.9°C an.

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