

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur

60 Jahre

**HOCHSCHULE LUZERN
TECHNIK &
ARCHITEKTUR**

Institut für Gebäudetechnik und Energie 2018

Fachberichte Bachelor-Thesis Gebäudetechnik | Energie

Fachberichte MSE Master of Science in Engineering

WOR

WORD

3 Diplomandinnen und 49 Diplomanden des Studiengangs Gebäudetechnik | Energie haben im Frühlingsemester 2018 ihre Bachelor-Thesis verfasst. Gegen 19'000 Stunden haben sie gemeinsam in ihre Arbeiten investiert, welche das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs aufzeigen. 24 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung Gebäude-Elektroengineering, 28 die Studienrichtung Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär ab.

Erstmals schliesst mit Guo Weipeng ein Student der Tongji University Shanghai/China nach zwei Semestern an der Hochschule Luzern mit einen «Dual Degree» unseren Studiengang als Bachelor of Science in Gebäudetechnik | Energie in der Studienrichtung HLKS ab.

Ebenfalls erstmals haben zwei Studierende unseres Studiengangs das Zusatzzertifikat «Bachelor+ Interdisziplinarität am Bau» erlangt und ihre Bachelor-Thesis als Vertiefungsaufgabe aus der einjährigen interdisziplinären Teamarbeit generiert.

3 Diplomanden haben 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, 2018

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

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

INN

NAIT

Moggio Damiano	Uzakgider Osman	BAT G_18_01
Troxler Matthias	Heinzmann Thomas	BAT G_18_02
Reinhard Emanuel		BAT G_18_03
Marbach Rajah	Schenk Philipp	BAT G_18_04
Diacon Marc	Schüepp Florian	BAT G_18_05
Müller Tobias	Wüest Dominic	BAT G_18_06
Spahic Zlatko		BAT G_18_07
Bajraktari Pajtim	Maliqi Bafti	BAT G_18_08
Brun Roman	Ruppen Matteo	BAT G_18_09
Vögele Simon	Klemensberger Jérôme	BAT G_18_10
Hakios Stephan	Käslin Alexander	BAT G_18_11
Stamm David	Krebs Thomas	BAT G_18_12
Guo Weipeng	Hehli Kevin	BAT G_18_13
Argirò Stefano	Stahel Corinna	BAT G_18_14
Friedli Michael	Fontana Michael	BAT G_18_15
Bötschi Martin		BAT G_18_16
Schmid Nina	Vorburger Patrick	BAT G_18_17
Amacher Simon	Bühler Lorenz	BAT G_18_18
Egger David		BAT G_18_19
Caduff Maurus	Hug Silvio	BAT G_18_20
Lucarelli Kevin	Andermatt Kevin	BAT G_18_21
Leiggener Nicolas	Storchenegger Stefan	BAT G_18_22
Zehnder Timotheus	Jeker Gregor	BAT G_18_23
Vuckovic Dejan	Meier Timon	BAT G_18_24
Knieper Aljoscha	Meili Michael	BAT G_18_25
Hodel Marco	Simic Igor	BAT G_18_26
Bühlmann Roger	Vlasec Michael	BAT G_18_27
Bischof Gilbert		BAT G+_18_01
Labarile Pascal		BAT G+_18_02
Nguyen Tran An Nhien		BAT G_H17
Wyss Jonas		BAT G_H17
Civatti Daniele		MSE
Gemperle Stefan		MSE
Moretti Luca		MSE

BACH

WELOR

Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Saisonale Energiespeicherung in einem Plusenergiegebäude mit einer Kombination von aktiver solarer Nutzung, Wärmepumpe und Erdregister

Studierende	Damiano Moggio Osman Uzakgider
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Prof. Dr. Zoran Alimpic
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Reto Miloni, Miloni Solar AG, Im Grund 12, Baden- Dättwil)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Saisonale Energiespeicherung in einem Plusenergiegebäude mit einer Kombination von aktiver solarer Nutzung, Wärmepumpe und Erdregister

Für ein 5 Familienhaus im Minergie P- Standard wird an Stelle von Erdwärmesonden ein Erdregister geplant, das unter der isolierenden Bodenplatte verlegt wird. Dabei soll untersucht werden, ob die energetische Effizienz und Ergiebigkeit eines saisonalen Speichers mittels Erdregister in Kombination mit aktiver solarer Nutzung gewährleistet werden kann. Die Durchführung der Simulationen erfolgt mit dem Simulationsprogramm IDA ICE Version 4.8.

Referenzgebäude

Um den Wärmeentzug des Erdregisters aus dem Erdreich über ein Wärmeanforderungssignal zu regulieren, wird ein Gebäudemodell erstellt. Für die Eingabe der Bauphysikalischen Daten des Modells, werden die Daten des geplanten Mehrfamilienhauses verwendet. Das Gebäude im Minergie P-Standard mit fünf Wohneinheiten befindet sich in der Klimastation Buchs – Aarau und besteht aus einem Untergeschoss und drei Obergeschossen mit insgesamt 44 Räumen. Die Zonen wurden mit einer Fussbodenheizung und -kühlung ausgestattet und mit den Betriebszeiten und internen Wärmequellen (Personen, Geräte und Licht) nach SIA 2024 – Tabelle 1.1 hinterlegt.



Abb. 1: Modell Referenzgebäude

Simulationen

Es wurden zwei verschiedene Bodenbeschaffenheiten berücksichtigt um die Wärmebedarfsdeckung mittels Sole/Wasser Wärmepumpe und den ergänzenden solaren Gewinn aufzuzeigen. Durch eine Energiebilanz Berechnung, wurde der Nachweis erbracht, dass die Regulierung der Regeneration über eine Temperaturdifferenzregelung zu einem überschüssigen Wärmeeintrag in das Erdreich führt, wodurch eine jährliche Temperaturzunahme hervorgerufen wird. Ausserdem kann durch Einbindung der Fussbodenkühlung über ein Wärmeübertrager in den Erdregisterkreislauf eine sanfte Kühlung in den Sommermonaten gewährleistet werden. Die Simulationen haben aufgezeigt, dass durch die Hybridkollektoren- Absorberfläche von 49 m² eine Erdreichtemperatur von 0°C zur Schutz der Gebäudebodenplatte nicht unterschritten wird. Jedoch wird der Nutzenergiebedarf im Sommer für die Brauchwarmwassererwärmung nicht erreicht. Dazu wäre eine zusätzliche Solaranlage nur für die Brauchwarmwassererwärmung notwendig. Aufgrund der hohen Investitionskosten ist die Anlage jedoch nicht wirtschaftlich betreibbar.

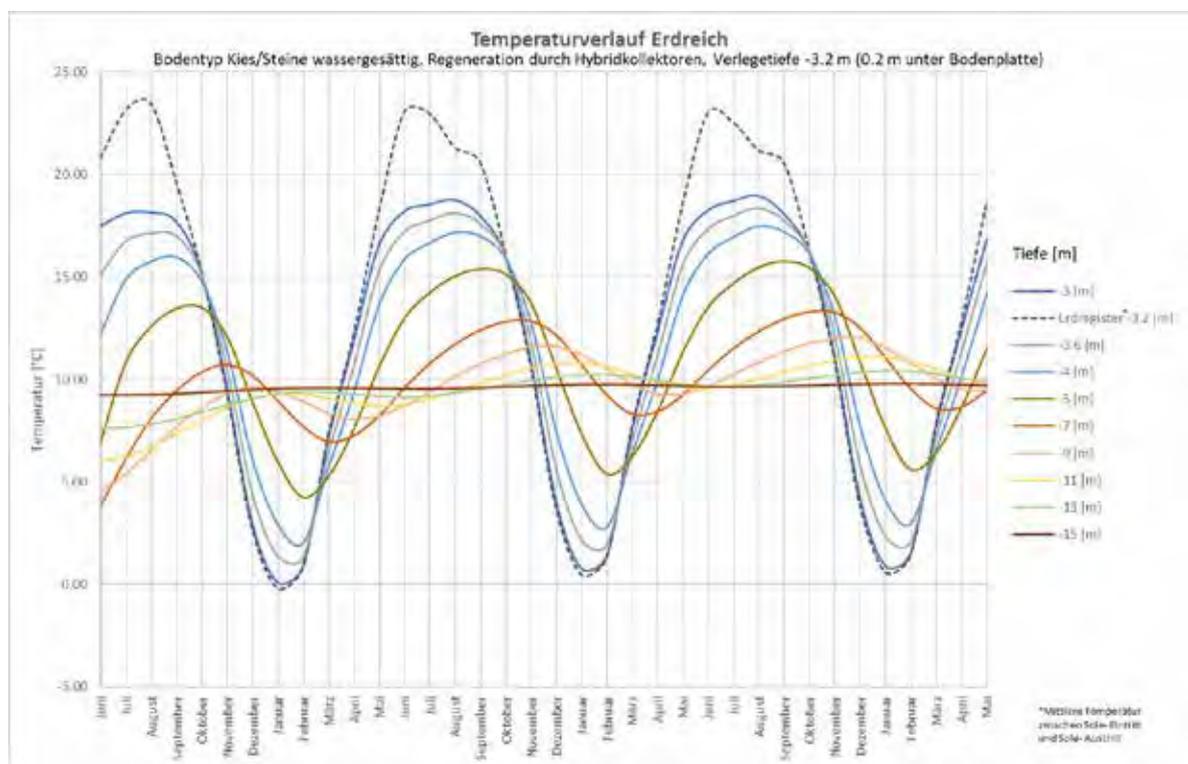


Diagramm 1: Temperaturverlauf Erdreich



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Sanierung Wärmeerzeugung Spital Thun

Studierende	Matthias Troxler Thomas Heinzmann
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Prof. Kurt Hildebrand
Experte:	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Spital STS AG, Krankenhausstrasse 12, 3600 Thun Andreas Meyer
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Sanierung Wärmeerzeugung Spital Thun

Die Wärmeerzeugungsanlage im Spital Thun wurde 2003 ersetzt und saniert. In den nächsten drei Jahren soll die Wärmeerzeugung saniert werden. Im Rahmen einer Bachelor-Thesis wurde für das Spital Thun ein neues Wärmeerzeugerkonzept erarbeitet. Durch Analysen und Berechnungen wurde die geeignetste Variante ermittelt. Dabei sind Vorgaben bezüglich der Betriebswirtschaftlichkeit, Ökologie, Effektivität, Energieeffizienz und Betriebssicherheit berücksichtigt worden.



Abbildung 1: Bestehender Wärmeerzeuger (Öl/Gas)

Das Areal des Spitals befindet sich in der Nähe des Schloss Thun. Das Spitalgebäude besteht aus mehreren zusammenhängenden Trakten und Einzel-Gebäuden. Das Areal wurde in den letzten Jahren immer wieder erweitert und saniert. Die bestehende Wärmeerzeugungsanlage wurde letztmals 2003 saniert. Die Heizzentrale, bestehend aus zwei identischen, fossilen Wärmeerzeugern, versorgt das gesamte Spital Areal. Ausgenommen ist ein Gebäude auf der gegenüberliegenden Strassenseite.

Bestandesaufnahme IST-Zustand

Zu Beginn musste der IST-Zustand beurteilt werden. In Zusammenarbeit mit dem technischen Dienst wurde die erste Bestandesaufnahme erstellt. Im Ist-Zustand wird das Areal mit zwei Zweistoffheizkesseln (Öl/Gas) mit je einer Leistung von 1.2 MW versorgt. Eine Wärmeerzeugungsanlage wird als Redundanz eingesetzt. Betrieben werden die Wärmeerzeuger mehrheitlich mit Gas.

Die Systemtemperaturen wurden bei der damaligen Sanierung auf eine Vorlauftemperatur von 90°C gesenkt. Dieser Entscheidung erfolgte aufgrund einer strategischen Entscheidung, zugunsten von dezentraler Dampferzeugung. Im Jahr 2003 hat das Spital entschieden das geplante BHKW nicht zu realisieren. Die Infrastruktur wie Speicheranlage wurden damals bereits vorinvestiert. Es besteht zudem ein Öltank mit total 250'000 Liter Fassungsvermögen. Über externe Wärmetauscher werden drei Brauchwarmwasserspeicher von jeweils 9'000 Liter bewirtschaftet. Zusätzlich sind in einem weiteren Trakt zwei Warmwasserspeicher von je 1'750 Liter installiert. Die Abwärme des Kältesystems wird mittels einer Wärmerückgewinnung an das Heizungssystem abgegeben. Die Restabwärme wird über Rückkühler weggeführt.

Wärmeerzeugervarianten

Der Wärmeleistungsbedarf und die Einsatzenergie wurden neu berechnet. Das gesamte Areal, inklusiv des dezentral beheizten Einzelgebäudes, hat einen maximalen Wärmeleistungsbedarf von 1'400 kW. Die Einsatzenergie wurde mittels dem effektiven Öl- / Gasverbrauch ermittelt. Pro Jahr beträgt der Einsatzenergiebedarf des Spitals 2.9 MWh.

Nach der Beurteilung des IST-Zustandes und der Definition der Wärmeleistung und dem Energieeinsatz, wurden verschiedene Wärmeerzeugervarianten geprüft. Insgesamt wurden sechs Grobkonzeptvarianten vertieft analysiert und in einem Vergleich gegenüber gestellt.

- Öl- / Gasheizkessel mit Gasheizkessel
- Erdsonden-Wärmepumpe mit Gasheizkessel
- Flusswasser-Wärmepumpe mit Gasheizkessel
- Fernwärme mit Gasheizkessel
- BHKW mit Öl- / Gasheizkessel
- Holzkessel mit Gaskessel

Für die Entscheidungsfindung wurden neun Entscheidungsparameter bestimmt:

- Investitionskosten
- Jahresgesamtkosten (JGK)
- Platzbedarf (Heizzentrale und Brennstofflager)
- Trägheit
- Treibhausgasemissionen
- Primärenergieanteil
- Nicht erneuerbarer Primärenergieanteil
- Einbindung Kältesystem

Die Varianten wurden verglichen und die Berechnungen für die Parameter durchgeführt.

Tabelle 1: JGK und Wärmegestehungskosten

Variante	Wärmeerzeugung	JGK [CHF]	Wärmegestehungskosten [CHF/kWh]
1	Öl- / Gasfeuerungsanlage (Zweistoffanlage) Gasfeuerungsanlage	523'578	0.179
2	Erdsonden-Wärmepumpen Gasfeuerungsanlage	466'795	0.159
3	Flusswasser-Wärmepumpe Gasfeuerungsanlage	502'869	0.172
4	Fernwärme Gasfeuerungsanlage	445'788	0.152
5	BHKW Öl- / Gasfeuerungsanlage	528'670	0.180
6	Holzfeuerungsanlage Gasfeuerungsanlage	563'931	0.192

Die Analyse zeigt, dass die Fernwärme aufgrund der geringen Investitionskosten den tiefsten Wert bei den Jahresgesamtkosten erreicht. Trotz hohen Investitionskosten, konnte für die Erdsonden-Wärmepumpe, ein tiefer Jahresgesamtkostenwert ausgewiesen werden. Durch die tiefen Energiekosten konnte die Variante der Erdsonden-Wärmepumpe, annähernd die Jahresgesamtkosten der Fernwärme erreichen. Die Abweichung der Wärmegestehungskosten liegt bei ca. 5%.

And the winner is...

Mit einem Rangreihverfahren und einer Nutzwertanalyse wurden die Varianten miteinander verglichen. Durch dieses Verfahren werden alle Parameter nach ihrer Wichtigkeit berücksichtigt. Die Bedürfnisse des Spitals wurden zusammen mit dem Betreiber, definiert und gewichtet. Die Entscheidungsparameter und Gewichtungsfaktoren wurden für die Entscheidungsfindung mit einbezogen.

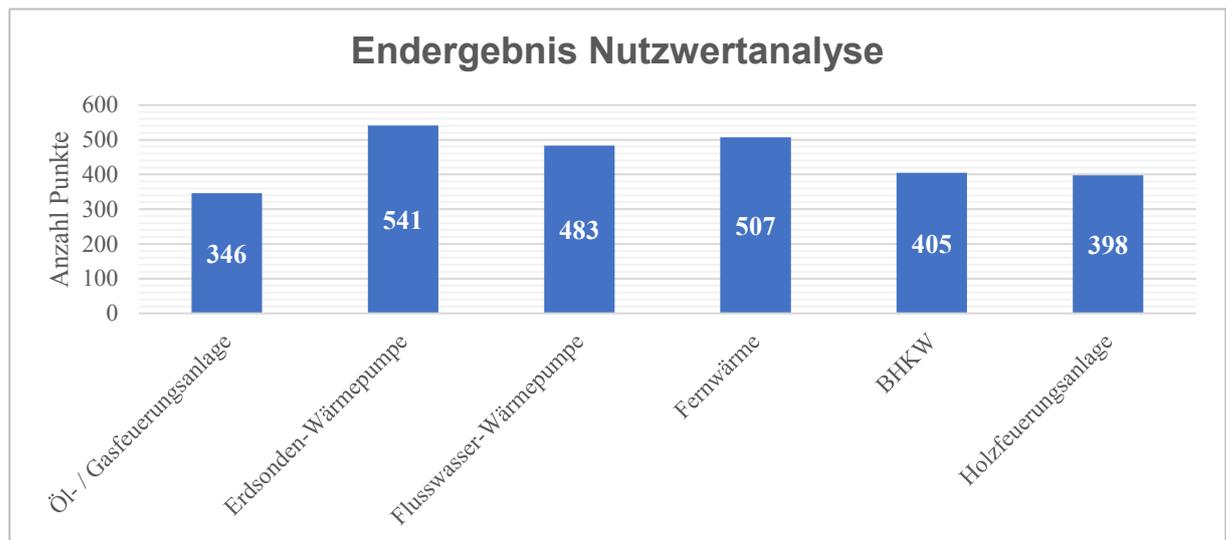


Abbildung 2: Endresultat Nutzwertanalyse

Die Erdsonden-Wärmepumpe Variante verspricht tiefe Jahresgesamtkosten und tiefe Treibhausgasemissionen. Dadurch überzeugt sie in betriebswirtschaftlicher und ökologischer Hinsicht.

Diese Variante ist zugleich die Empfehlung an den Industriepartner.

Zusätzlich kann diese Variante in das Kältenetz eingebunden werden. Ein Teil der Abwärme der Kältemaschine kann an die Erdsonden abgeben werden. Mit dieser Abwärmerückführung wird das Erdsondenfeld regeneriert. Ausserdem kann die Wärmepumpe auch reversibel als Kältemaschine betrieben werden.

Die Anlage wird bivalent / alternativ betrieben. Die Wärmepumpe ist auf eine maximale Vorlauftemperatur begrenzt. Die Wärmepumpenanlage kann aufgrund der bestehenden Verteilsystembetriebstemperaturen nicht parallel betrieben werden.

Bei diesem Konzept werden zwei Erdsonden-Wärmepumpen mit jeweils 322 kW eingesetzt. Die Grundlast des Brauchwarmwassers wird mit einer separaten Erdsonden-Wärmepumpe über das ganze Jahr abgedeckt. Die Leistung für diese Grundlast beträgt 135 kW. Zusätzlich zu den Wärmepumpen werden drei Gasheizkessel modulierend eingesetzt. Die Gesamtleistung der Gasheizung beträgt 1368 kW und ist auf zweimal 489 kW und einmal 390 kW aufgeteilt.

Das Erdsondenfeld ist beim Aussenparkplatz vor dem Spital vorgesehen. Dabei wird die Installation in zwei Etappen durchgeführt, damit nicht der gesamte Parkplatz während der gesamten Bauphase gesperrt werden muss.

Optimierung der Variante

Erste Priorität hat die Optimierung der Systemtemperaturen. Durch die Optimierung der Gebäudehülle und anlagentechnischer Sanierungsmassnahmen kann dieses Ziel erreicht werden. Die Systemtemperatursenkung bewirkt eine Erhöhung der Laufzeit der Wärmepumpen. Damit können die Jahresgesamtkosten sowie die Treibhausgasemissionen weiter verbessert werden. Wird die heutige Vorlauftemperatur um 10 Kelvin auf 70°C gesenkt, hat dies zur Folge, dass die Treibhausgasemissionen um rund 35 % und die JGK um 6.9 % tiefer ausfallen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Leistungsverhalten von Wärmeübertragern im Teillastfall (Einfluss der Strömung in den Rohren)

Studierender	Emanuel Reinhard
Dozierende	Heinrich Huber Kurt Hildebrand
Experte	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Peter Künzle, Konvekta AG, Letzistrasse 23, 9015 St. Gallen
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Leistungsverhalten von Wärmeübertragern im Teillastfall (Einfluss der Strömung in den Rohren)

Lüftungsanlagen werden mehrheitlich im Teillastfall betrieben. Der Volumenstrom im Kreislaufverbundsystem-Wärmerückgewinnungs-Zwischenkreis wird dem Luftvolumenstrom angepasst. Mit abnehmendem Wasser-Glykol Volumenstrom kann die Strömung in den Rohren des Wärmeübertragers in den laminaren Bereich übergehen. Dies hat zur Folge, dass der konvektive Wärmeübergang am Rohrrinnen und damit auch die Leistung des Wärmeübertragers abnehmen. In dieser Bachelor-Thesis wird der Einfluss der Strömung in den Rohren auf das Leistungsverhalten untersucht.

Die Konvekta AG, Industriepartner der Bachelor-Thesis, möchte mit den Erkenntnissen dieser Arbeit über das Leistungsverhalten herausfinden, ob mit laminarer Strömung und optimalem Massenstrom-Verhältnis (Wärmekapazitätsstromverhältnis) oder mit turbulenter Strömung und einem abweichenden Massenstrom-Verhältnis eine höhere Effizienz der Wärmerückgewinnung möglich ist.

Aufbau Laborprüfstand

Der von Konvekta gelieferte Hochleistungs-Wärmeübertrager ist in einen Monobloc eingebaut, mit dem der Fortluftapparat einer Lüftungsanlage simuliert wird. Um für die Messungen unterschiedliche Abluftkonditionen herzustellen, wurde ein elektrischer Lufterhitzer und ein elektrischer Dampfbefeuchter verbaut. Der Ventilator fördert die benötigte Luftmenge. Um ein gutes Bild der Temperaturverteilung auf der Fortluftseite zu erhalten, wurden oben und unten je drei Temperaturfühler angeordnet. Die Luftfeuchtigkeit wird mit je einem Fühler im oberen und unteren Bereich erfasst. Das Wasser-Glykol-Gemisch wird mit einem Wärmeübertrager abgekühlt, welcher am -5°C -Netz des Labors angeschlossen ist. Der Glykol-Anteil wurde auf 30Vol. % festgelegt.

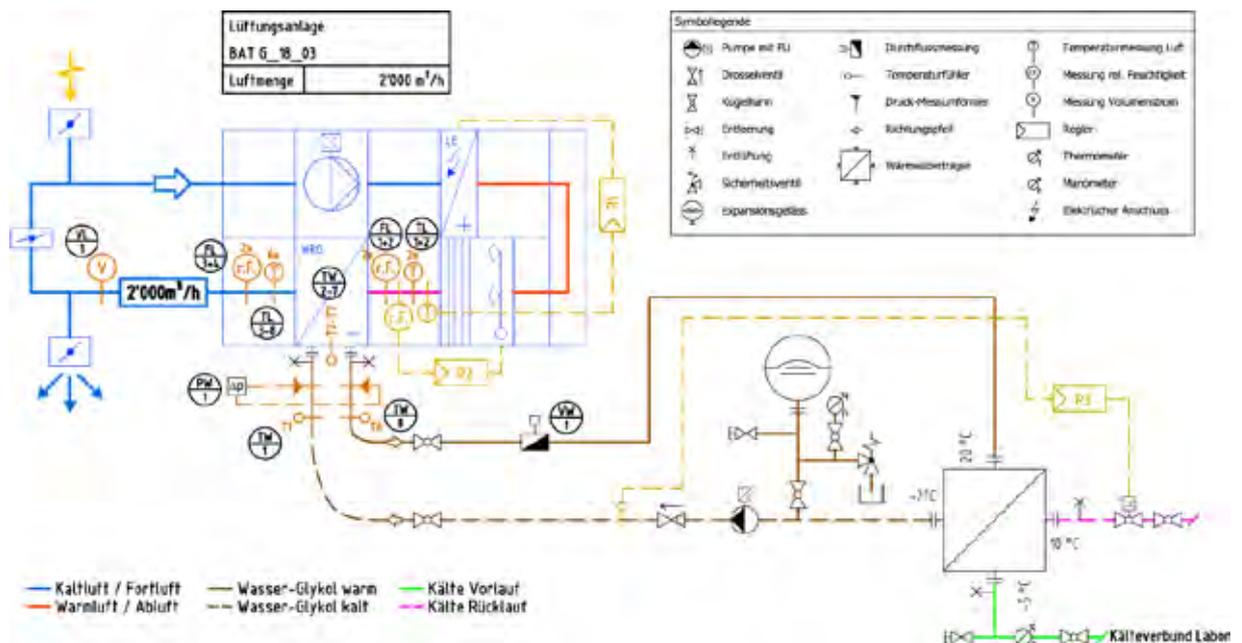


Abb. 1 Prinzipschema Laborprüfstand

Feststellen der vorherrschenden Strömungsart

Um festzustellen, welche Strömungsart im Wärmeübertrager vorherrscht, wurde der Druckverlust über den Wärmeübertrager bei verschiedenen Temperaturen und Volumenströmen gemessen und aufgezeichnet. Anhand der Druckverläufe konnte aufgrund der Steigung der Kurven nachgewiesen werden, dass die Strömung bei geringem Volumenstrom grösstenteils laminar ist. Ein Umschlagpunkt ist nicht erkennbar. Die Kurven steigen gleichmässig an. Mit einer Thermographie konnte die Strömungsart sichtbar gemacht werden. In Abb. 3 sind die entstehenden Turbulenzen in den Rohren (Pfeil) durch die Umlenkungen sowie die Beruhigungsstrecke zu erkennen.

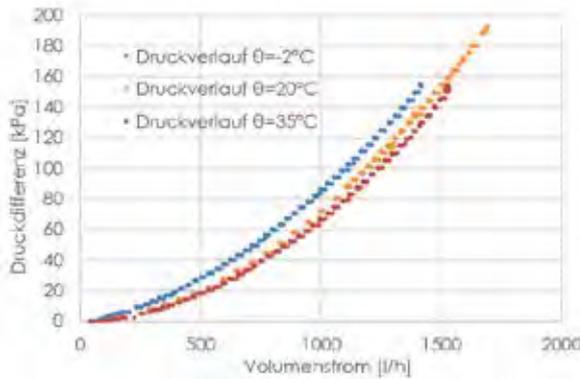


Abb. 2 Aufzeichnung Druckverläufe

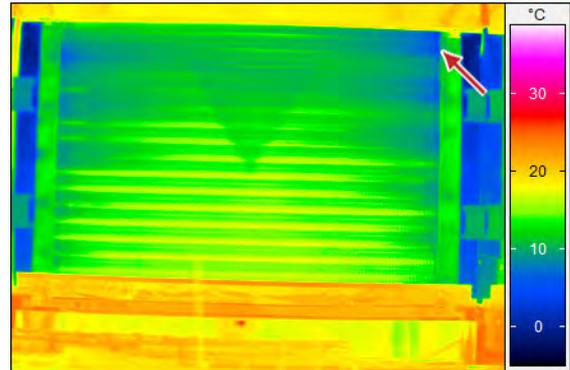


Abb. 3 Thermographie des Wärmeübertragers

Temperaturverlauf im Wärmeübertrager

Wegen der sich mit Faktor 2,2 ändernden Viskosität von Wasser-Glykol zwischen -2°C und +20°C, muss bei einigen Betriebszuständen von einem Wechsel der Strömungsart im Wärmeübertrager ausgegangen werden. In der Theorie ist der Wärmeübergang bei laminarer Strömung erheblich kleiner. Die Aufzeichnung des Temperaturverlaufs sollte zeigen, in welchem Bereich die Strömungsart ändert. Dazu wurde der Wärmeübertrager angebohrt und mehrere Messstellen platziert. Die Temperaturmessung TW3 bei 7m zeigte keine korrekten Werte an und fehlt deshalb in Abb. 4.

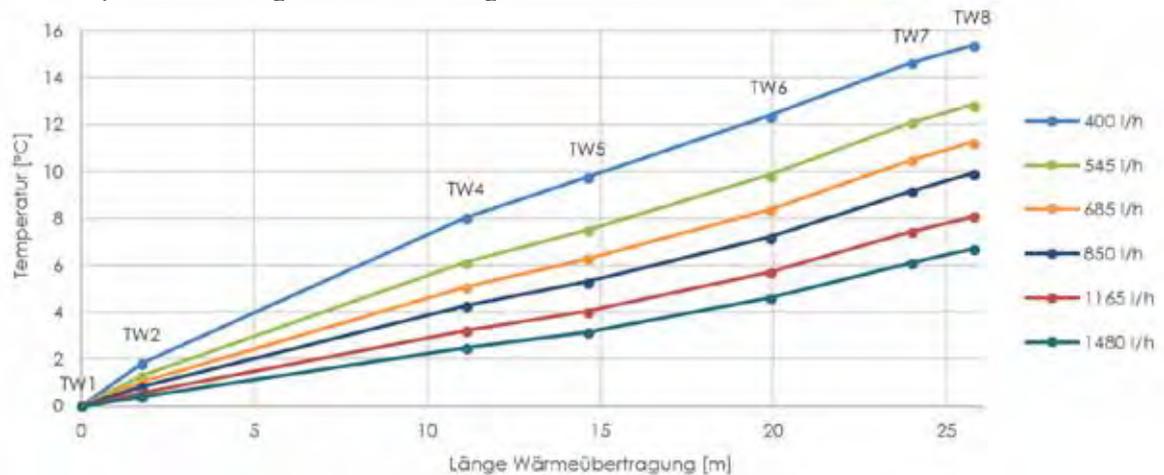


Abb. 4 Temperaturverlauf im Wärmeübertrager

Bei gleichbleibenden Abluftkonditionen verändert sich der Temperaturverlauf mit zunehmendem Volumenstrom. Eine Änderung des Wärmeübergangskoeffizienten konnte nicht beobachtet werden. Der Unterschied der Biegung bei 400 l/h und 1'480 l/h ist auf die Übertemperatur zurückzuführen, welche bei geringem Volumenstrom mit der Länge abnimmt und bei höherem Volumenstrom mit der Länge zunimmt.

Leistungsmessungen

Leistungsmessungen wurden mit Luftvolumenströmen von 500 – 2'300m³/h durchgeführt. Es wurde untersucht, in welchem Umfang sich die laminare Strömung auf die Leistung auswirkt, um Empfehlungen für eine untere Betriebsgrenze geben zu können. Es stellte sich heraus, dass die Leistungsabnahme mit optimalem Massenstrom-Verhältnis in guter Näherung linear verläuft (Abb. 5). Bei einem abweichenden Massenstromverhältnis steigt die Wärmeübertragung mit zunehmendem Volumenstrom ebenfalls linear an, bis die Grenze des Wärmeübergangs auf der Luftseite erreicht ist (Abb. 6).

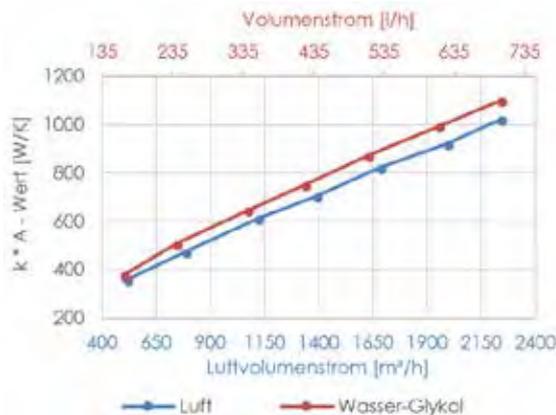


Abb. 5 k*A - Wert bei optimalem Massenstrom-Verhältnis

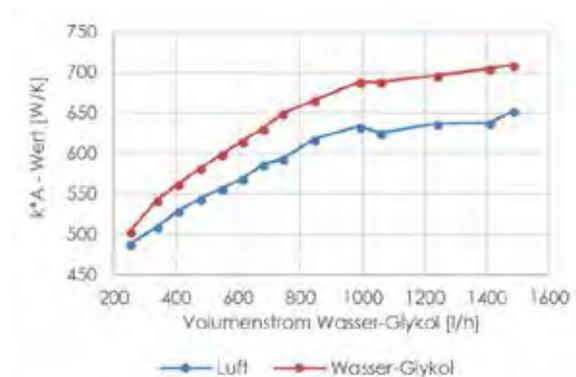


Abb. 6 k*A - Wert bei abweichendem Massenstrom-Verhältnis

Fazit

Mit der Thermographie konnte die Strömungsänderung in den Rohren des Wärmeübertragers erfasst werden. Ein sprunghafter Umschlag von laminarer auf turbulente Strömung konnte nicht beobachtet werden. Vielmehr zeigt sich, dass sich die entstehenden Turbulenzen bei Rohreintritt, mit zunehmendem Volumenstrom, immer weiter in das Rohr hinein ausbreiten. Die Leistungsmessungen bestätigen dieses Verhalten. Die stetig stärker steigenden Druckverlaufskurven deuten ebenfalls auf dieses Verhalten hin. Daraus kann gefolgert werden, dass mit der vom Industriepartner gewählten Bauart mit beidseitigen Sammelkollektoren, auch bei stark reduzierter Strömungsgeschwindigkeit, der negative Einfluss laminarer Strömung auf den k*A-Wert nahezu verhindert werden kann. Weitere unbekannte Faktoren, welche einen Einfluss auf die Strömung haben, sind nicht auszuschliessen. Ein Vergleich mit Wärmeübertragern von anderer Bauart wäre interessant.

Übertragbarkeit auf andere Anlagen

In dieser Bachelor-Thesis wurde ein Wärmeübertrager detailliert betrachtet. Eine Übertragung auf andere Praxisbeispiele ist nicht zu empfehlen. Wegen der kurzen Einbautiefe von 70cm ist der Einfluss der Umlenkungen grösser, als er bei längeren Wärmeübertragern wäre. Um eine fundierte Aussage über die Frage, ob eine KVS-WRG mit optimalem Wärmestromkapazitätsverhältnis und laminarer Strömung oder erhöhtem Volumenstrom und turbulenter Strömung effizienter betrieben werden kann, ist ein Versuchsaufbau mit AUL- und FOL-Wärmeübertrager nötig. In dieser Betrachtung gilt es auch, den Elektro-Thermischen-Verstärkungsfaktor (ETV) zu berücksichtigen.

Für die Praxis bedeutet dies, dass eine Überprüfung, ab welchem Teillastfall die Strömung im Wärmeübertrager laminar wird, sinnvoll sein kann, um laminare Strömungen zu vermeiden, falls die Lüftungsanlage mehrheitlich im Teillastbetrieb läuft.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Potenzialstudie Abwasserwärme Horw

Studierende	Rajah Marbach, Philipp Schenk
Dozierende	Joachim Ködel Stefan Mennel
Experte/-in	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Potenzialstudie Abwasserwärme Horw

Aktuelle Themen wie Klimawandel und Prognosen zu Rohstoffknappheit fordern auch die Gemeinde Horw zu haushälterischem Umgang mit Ressourcen und die damit verbundene Umsetzung von erneuerbaren Energiekonzepten. Basierend auf dem Energierichtplan wird eine Abwasserwärmenutzung für einen Nahwärmeverbund im Eignungsgebiets E 23 untersucht.

Ziel der Arbeit ist den Siedlungswärmebedarf mit dem vorhandenen Abwasserwärmepotenzial zu vergleichen, um eine entsprechende Aussage über die Machbarkeit einer Abwasserwärmenutzung zu formulieren. Nach Untersuchung des Abwasserwärmeüberträgers, der Energieerzeugung und der Wärmeverteilung wird die resultierende Konzeptempfehlung auf ihre ökologischen sowie ökonomischen Aspekte geprüft. Nachfolgende Graphik zeigt die Vorgehensweise, wie über verschiedenen Analyseschritte die Konzeptempfehlung entstand.

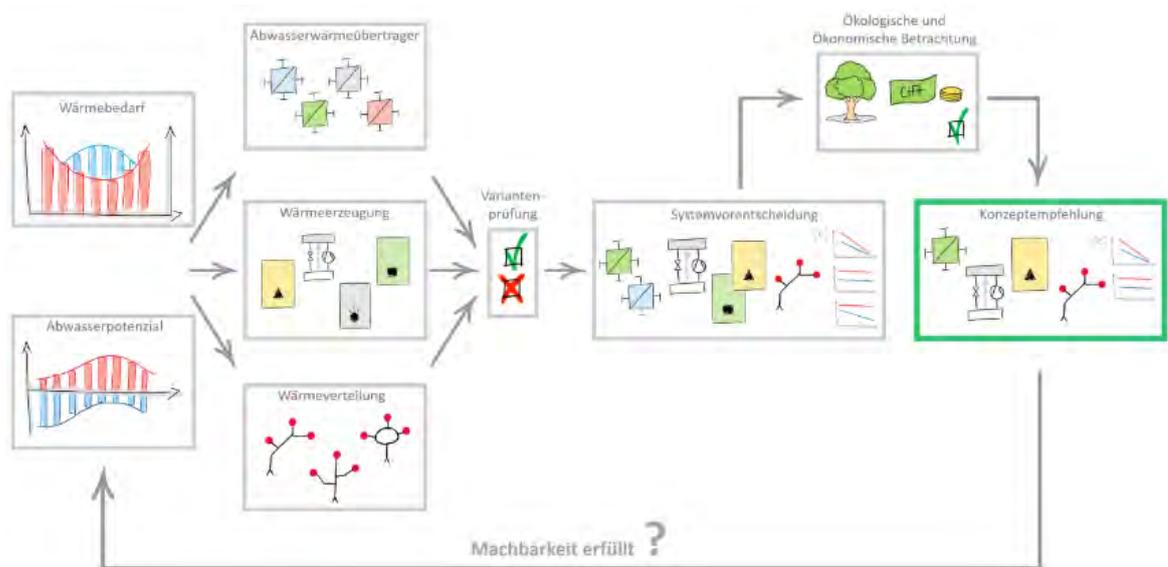


Abb. 1 : vom Abwasserpotenzial zur Konzeptempfehlung - methodisches Vorgehen

Von der Abwasserwärme zur Raumwärme

Die Wärmeenergieerzeugung für den Nahwärmeverbund kann ganzjährig über eine Wärmepumpe sowie einem Gasheizkessel sichergestellt werden. Die Wärmepumpe wird auf 50 % der Last bzw. 450 kW dimensioniert wobei sie 75 % der Nutzenergie liefert. Das als Wärmequelle dienende Abwasser wird aus dem Sammelbecken des lokalen Pumpwerks bezogen und über einen Doppelrohrwärmeübertrager geführt. Der Spitzenlastkessel wird aus Betriebsicherheitsgründen auf 100 % bzw. 900 kW ausgelegt. Mittel- bis langfristig sind Synergienutzungen mit angrenzenden Wärmeverbänden möglich, die den fossilen Energieträger substituieren. Die Wärmeverteilung erreicht eine durchschnittliche Dimension von DN 80 und fungiert als linearer Nahwärmeverbund.

Ein weiteres Resultat zeigt, dass bereits bei einem Anschlussgrad von 40 % der Liegenschaften eine Liniendichte von 4'550 MWh/(km·a) vorherrscht, was als Indikator für einen wirtschaftlichen Fernwärmebetrieb gilt. Ausgehend von einer Wärmepumpenleistungszahl von fünf liegt die notwendige Entzugsleistung des Abwassers bei 360 kW. Diese steht, je nach Monat, einer Abwasserwärmeentzugsleistung von 210 bis 1320 kW gegenüber, was die Machbarkeit einer Abwasserwärmenutzung bejahen lässt.

Ökonomisch wie auch ökologisch sinnvoll

Hinsichtlich der Wärmegestehungskosten von rund 0.14 CHF/kWh ist die Konzeptempfehlung, im Vergleich zu herkömmlichen Energieerzeugungen, durchaus konkurrenzfähig. Gegenüber der heutigen Wärmeerzeugung können jährlich zirka 500 Tonnen CO₂ eingespart werden. Folglich wird für das Eignungsgebiet E23 eine Abwasserwärmenutzung und eine weitere Projektforcierung empfohlen. Die untenstehenden Graphiken zeigen Wärmegestehungskosten bzw. Treibhausgasemissionen im Systemvergleich.



Abb. 2 : Wärmegestehungskosten im Vergleich



Abb. 3 : Treibhausgasemissionen im Vergleich

Wie ist eine Abwasserwärmenutzung weiter zu forcieren?

Die Machbarkeit einer Abwasserwärmenutzung für einen Nahwärmeverbund im Eignungsgebiet E23 kann bejaht werden, untermauert wird dies von der vorherrschende Liniendichte, der Wärmegestehungskosten sowie auch der CO₂-Einsparung.

Da in der Potenzialbetrachtung der Einfluss der Abwassertemperatur um ein Vielfaches grösser ist wie jener der Abwassermenge, wird empfohlen, die effektive Abwassertemperatur am Standort zu messen. Könnte durch eine genauere Potenzialbetrachtung in den Wintermonaten mit einer Entzugstemperaturerhöhung von ein bis zwei Kelvin gerechnet werden, hätte dies eine beträchtliche Potenzialerhöhung zur Folge.

Wird das Projekt durch die Gemeinde weiterverfolgt, gilt es sämtliche Beteiligte wie REAL oder ewl frühzeitig in den Planungs- bzw. Bewilligungsprozess einzubinden. Auch ist die Koordination mit dem Tiefbau und die Beantragung von Fördergeldern zeitnah einzuleiten.

Ein funktionierendes und gut durchdachtes Wärmenetz verliert an Bedeutung, wenn sich dafür keine Abnehmer finden lassen. Deshalb stand bei der Projekterarbeitung stets eine Gesamtlösung, welche den Bezüger rundum versorgt, im Vordergrund. Die Kundenakquirierung und Ausarbeitung von Vorverträgen sind ebenfalls zeitnah anzugehen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT IGE_18_05
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Ermitteln der idealen Raumkonditionen und Aufzeigen der Auswirkungen auf den Energieverbrauch eines modernen Hochhauses

Studierende	Marc Diacon Florian Schüepp
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Urs-Peter Menti
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Claudio Magoni, F. Hoffmann-La Roche AG, Areal Infrastruktur Engineering, Bau 1/OG31.S659, 4070 Basel)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Ermitteln der idealen Raumkonditionen und Aufzeigen der Auswirkungen auf den Energieverbrauch eines modernen Hochhauses

Die Bachelor-Thesis BAT IGE_18_05 untersucht die Raumkonditionen (Temperaturen, Luftfeuchtigkeit, etc.) in Räumen des Roche Bau 1. Das Ziel der Untersuchung ist es, den Einfluss der Raumkonditionierung auf den Energieverbrauch, die thermische Behaglichkeit und die Leistungsfähigkeit der Mitarbeiter aufzuzeigen. Des Weiteren sollen Sollwerte für verschiedene Raumnutzungen wie Activity Based Working, Open Space, Sitzungszimmer und Video Konferenz erarbeitet werden, welche einen positiven Einfluss auf die vorhin genannten Einflussfaktoren haben.

Vorgehen

Die Untersuchung erfolgte anhand von Simulationen, welche mit dem Programm IDA Indoor Climate and Energy Version 4.8 (IDA ICE) des Herstellers EQUA Simulation AB verwendet. IDA ICE ist eine dynamische Simulationssoftware zur Beurteilung des Innenraumklimas und des Energieverbrauchs von Gebäuden. Dabei wurden 11 verschiedene Räume des Baus 1, welche sich in Nutzung und Orientierung unterscheiden, betrachtet. In einem ersten Schritt ist das Simulationsmodell mittels Heizungs- und Kälteleistungsmesswerten aus dem 5. OG verifiziert worden. Um den Einfluss von verschiedenen Parametern wie z.B. Raumtemperatur oder Luftmengen in den verschiedenen Nutzungsbereichen bestimmen zu können, wurden diese anhand einer Sensitivitätsanalyse untersucht. Als Ergebnis dieser Analyse werden pro Nutzung zwei Varianten der Parametereinstellungen aufgezeigt, welche sowohl auf den Energieverbrauch als auch auf die thermische Behaglichkeit einen positiven Einfluss haben. Diese zwei Varianten wurden vertieft berichtet und der jetzigen Ist-Situation gegenübergestellt. Daraus wurden dann die theoretisch optimalen Parameter definiert.

Optimierung der Parameter

Mit der Berechnung des vorausgesagten mittleren Votums, kurz auch PMV (Predicted Mean Vote) genannt, lässt sich eine Klimabeurteilung (neutral, zu heiss oder zu kühl) auf rechnerische Weise vornehmen. Dieses liegt für eine sitzende Bürotätigkeit idealerweise bei einem Bereich zwischen 0 bis +0,5 (Fanger, 1970 und Mayer, 1998). Mit Hilfe des PMV lässt sich der vorausgesagte Prozentsatz an Unzufriedenen, kurz PPD (Predicted Percentage of Dissatisfied) berechnen. Dieser Index sagt den rechnerischen, prozentualen Anteil an dem Umgebungsklima unzufriedenen Personen voraus (EN ISO 7730, 2006, S. 8). Bei Berechnung des PPD nach Mayer, wird von einem minimalen Prozentsatz von 15% unzufriedenen ausgegangen. Die Berechnungsmethode nach Mayer gilt als am ausschlaggebendsten für mechanisch belüftete Gebäude und wurde deswegen der Methode nach Fanger vorgezogen.

So wurden die Parameter des Ist-Zustandes (Tabelle 1: Parameter Ist-Zustand) so optimiert, dass die thermische Behaglichkeit verbessert und der Energieverbrauch reduziert werden kann.

Dies wurde für alle Nutzungszonen erreicht und in der Tabelle 2 dargestellt. Beispielhaft wurde eine vereinfachte Auswertung des Raumes 5.S677 (Open Space Bürobereich, Südostausrichtung mit 4 Personen und 38 m²) in der Tabelle 3 dargestellt.

Ermitteln der idealen Raumkonditionen und Aufzeigen der Auswirkungen auf den Energieverbrauch eines modernen Hochhauses

Parameter Ist-Zustand	Open Space Büro	Activity Based Working	Sitzungs-zimmer	Videokonferenzraum
Raumtemperatur Winter	22°C	22°C	22°C	22°C
Raumtemperatur Sommer	26°C	26°C	26°C	26°C
Min. Relative Feuchte	40%	40%	40%	40%
Max. Relative Feuchte	65%	65%	65%	65%
Luftmenge	70 m ³ /h*P	70 m ³ /h*P	45 m ³ /h*P	45 m ³ /h*P
Zulufttemperatur	22°C	22°C	22°C	22°C

Tabelle 1: Parameter Ist-Zustand

Parameter Optimierung	Open Space Büro	Activity Based Working	Sitzungs-zimmer	Videokonferenzraum
Raumtemperatur Winter	23°C	23°C	22°C	22°C
Raumtemperatur Sommer	26°C	26°C	25°C	25°C
Min. Relative Feuchte	40%	40%	40%	40%
Max. Relative Feuchte	65%	65%	65%	65%
Luftmenge	40 m ³ /h*P	40 m ³ /h*P	45 m ³ /h*P	45 m ³ /h*P
Zulufttemperatur	21°C	21°C	20°C	20°C

Tabelle 2: Parameter Optimiert

5.S677 (Open Space Büro)	Ist – Zustand	Optimiert
Bereiche PMV	-0.2 bis 0.39	-0.09 bis 0.38
Jahres-Ø PPD nach Mayer	22%	20%
Behaglichkeitsbeurteilung Winter	Leicht zu kühl	i.O.
Behaglichkeitsbeurteilung Sommer	i.O.	i.O.
Energiebedarf (thermisch)	100%	95%

Tabelle 3: Exemplarische Auswertung Raum 5.S677

Die Änderung der Raumtemperatur hat, auf den exemplarisch Ausgewerteten Raum (Tabelle 3), den grössten Einfluss auf die Verbesserung der thermischen Behaglichkeit. Der positive Einfluss auf den thermischen Energieverbrauch resultiert aus der Verringerung des Luftvolumenstroms und der damit zusammenhängenden Einsparung an thermischer Energie bei der Luftkonditionierung.

Ermitteln der idealen Raumkonditionen und Aufzeigen der Auswirkungen auf den Energieverbrauch eines modernen Hochhauses

Ausblick und Empfehlung

In weiteren Schritten ist es möglich durch weitere Parameteränderungen zu versuchen, die Behaglichkeit und die Energieeffizienz des Baus 1 oder folgender Bauten noch weiter zu verbessern.

Mögliche Parameter sind z.B.:

- Wetterszenarios für zukünftige Perioden (z.B. Hitzejahr) simulieren
- Detaillierte Untersuchungen zur Leistungsfähigkeit in Bezug auf die thermische Behaglichkeit und der Zu- und Abluftmenge
- Anpassung der Vor- und Rücklauftemperaturen der Heiz- und Kühldecken und somit deren Einfluss der Oberflächentemperatur auf die thermische Behaglichkeit und des Entfeuchtungssollwert
- Detailliertere Untersuchung der Luftgeschwindigkeiten in den Räumen, mittels Messungen oder Strömungssimulationen, in Bezug auf die Behaglichkeit
- Betrachtung der Ventilatorenergie, bei Reduzierung der Luftmenge

Diese Parameter können dann mit einer Sensitivitätsanalyse auf ihren Einfluss geprüft werden und dadurch die in dieser Arbeit erstellte Analyse ergänzen. Dies kann zu einer Anpassung der vorgeschlagenen Varianten, einer weiteren Senkung des Energieverbrauchs und einer besseren Behaglichkeit und Leistungsfähigkeit der Mitarbeitenden führen.

Literatur- und Quellenverzeichnis

Fanger, P. O. (1970). *Thermal Comfort: analysis and applications in environmental engineering*. Kopenhagen: Danish Technical Press.

Mayer, E. (1998). Ist die bisherige Zuordnung von PMV und PPD noch richtig? *KI Luft- und Kältetechnik*, Ausgabe 12, S. 575-577.

SN EN ISO 7730:2005. (2006). Winterthur: SNV.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT IGE_18_06
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Dezentrale Einbindung einer WP- Warmwasser ins Heizungssystem

Studierende	Tobias Müller Dominic Wüest
Dozierende	Prof. Werner Betschart Prof. Reto von Euw
Experte/-in	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	08. Juni 2018

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 Einbindung einer WP-Warmwasser ins Heizungssystem

Mit der Gesamtenergiestatistik zeigt der Bund seit 1990 jährlich auf, wie sich der Energieverbrauch der Schweiz im Vergleich zu den Vorjahren entwickelt hat. Darin wird ersichtlich, dass die Gruppe Haushalt am Endverbrauch mit 28,2% einen grossen Anteil hat (BFE, 2016). Der Verbrauch für Warmwasser macht davon rund 32% aus. Da das Bedürfnis der Nutzer nach Warmwasser nicht eingeschränkt werden soll, muss eine Senkung des Energieverbrauchs durch Substitution bestehender Warmwassererwärmungsanlagen mit effizienteren Systemen angestrebt werden.

Ersatz von Elektrowassererwärmer hat grosses Potenzial

Der Bestand an Wohnungen in Mehrfamilienhäusern, in welchen das Warmwasser dezentral und direktelektrisch erwärmt wird, beläuft sich laut Schätzungen des BFE auf eine Anzahl von 552'000 (Nipkow, 2013). Der Ersatz von Elektrowassererwärmer durch Brauchwarmwasserwärmepumpen hat in Anbetracht der hohen Verbreitung ein grosses Potenzial. Pro Ersatz eines Elektrowassererwärmers kann der Stromverbrauch mehr als halbiert werden. Laut dem BFE besteht aber für einen flächendeckenden Ersatz von Elektrowassererwärmer ein bedeutender Forschungsbedarf, um machbare Lösungen zu finden und zu entwickeln (Jakob, et al., 2016). Dezentrale Wärmepumpen für Brauchwarmwasser sind eine zukunftsorientierte Lösung, eine Herausforderung ist jedoch die Erschliessung der Wärmequelle. (Heim, Sicre, & von Euw, 2016). Im Dezember 2016 wurde das Forschungsprojekt Decentralised DHW von der KTI (Kommission für Technologie und Innovation) ins Leben gerufen. In diesem Forschungsprojekt geht es darum, eine dezentrale Brauchwarmwassererwärmung, bestehend aus einem Warmwasserspeicher und einer Wärmepumpe, zu entwickeln und in ein Gesamtsystem einzubinden. Beteiligt in diesem Forschungsprojekt sind das Zentrum für Integrale Gebäudetechnik und das CC Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik.

Das Ziel dieser Bachelor-Thesis ist, eine effiziente hydraulische Einbindung der Brauchwarmwasserwärmepumpe zu entwickeln, die die Brauchwarmwasserladung ganzjährig mit der Wärmepumpe ermöglicht. Dazu soll im Sommer die Wärme im Raum als Quelle der Brauchwarmwasserwärmepumpe genutzt werden.

In vier Phasen vorgegangen

Das methodische Vorgehen der vorliegenden Bachelor-Thesis teilt sich in die vier Phasen Recherche, Laboraufbau, Messung und Auswertung auf. In der ersten Phase wurde eine Recherche zur Ausgangslage und den bereits vorhandenen Lösungen betrieben. Im Laboraufbau wurde die entwickelte hydraulische Einbindung in der Grösse eines 3-Familienhauses realisiert. Messeinrichtungen für Druck und Durchfluss wurden in den Laboraufbau eingeplant und in mehreren Messreihen aufgezeichnet, ausgewertet und analysiert. Mit der Simulationssoftware IDA ICE wurde ein Mustergebäude simuliert, um das Potenzial der sommerlichen Raumkühlung mit dem Bedarf an Energie für Warmwasser zu vergleichen.

Ergebnisse

Die Simulation brachte die Erkenntnis, dass das Potenzial der sommerlichen Raumkühlung übers Jahr im Altbau 19.9% und im Neubau 13.7% des gesamten Energiebedarfs, der für das Warmwasser benötigt wird, darstellt. Im Neubau liegt der Wert tiefer, da sie einen besseren sommerlichen Wärmeschutz aufweisen. Die hydraulische Einbindung erfüllt die Anforderungen der Brauchwarmwasserwärmepumpe für die sommerliche Raumkühlung mit der Sommerpumpe und kann der Wohnung Wärme entziehen.

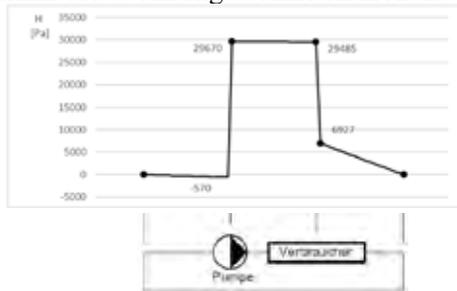


Abbildung 1: Druckverlauf Hauptpumpe



Abbildung 2: Referenzgebäude aus IDA ICE



Abbildung 3: Laboraufbau

Die entwickelte hydraulische Einbindung hat in Bezug auf eine Altbausituation die Eigenschaft, dass sie im Heizungsauslegungsfall einen minimalen Einfluss auf das Raumheizungssystem hat. Die Unterversorgung während der Warmwasserladung vernachlässigbar klein. Bei der Nebausituation kommt es beim Abschalten der Warmwasserladungen zu einer starken Überversorgung des Raumheizungssystems von bis zu 75% des Massenstroms. Aus diesem Grund muss das System mit dynamischen Abgleichventilen ausgerüstet werden.

Für Alt- und Neubau hat die hydraulische Einbindung, die in dieser Bachelor-Thesis entwickelt, gebaut und ausgemessen wurde, die Anforderungen erfüllt. Die hydraulische Schaltung der Wärmequelle kann die Anforderungen des Verdampfers unter Berücksichtigung des gesamten Heizungssystems in allen Betriebsfällen abdecken.

Quellen:

- BFE. (2016). *Schweizerische Energiestatistik 2016*. Bern: Bundesamt für Energie.
- Heim, T., Sicre, B., & von Euw, R. (2016). *Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude*. Bern: Bundesamt für Energie.
- Jakob, D., Catenazzi, D., Melliger, M., Forster, R., Martius, G., & Ménard, M. (2016). *Potenzialabschätzung von Massnahmen im Bereich der Gebäudetechnik*. Bern: Bundesamt für Energie .
- Nipkow, J. (2013). *Elektrische Wasserwärmung in der Schweiz*. Bern: Bundesamt für Energie.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT IGE_18_07
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Vergleich der Energieeffizienz von EFH mit Dachfenstern ohne und mit Photovoltaik-Anlagen

Diplomand: Spahic Zlatko
Studiengang:: Gebäudetechnik|Energie|Elektroengineering
Abschlussjahr: 2018
Dozierende Prof. Björn Schrader
Roger Buser
Diplomexperte Stefan Jaques
Auftraggeber Velux Schweiz AG, Industriestrasse 7, 4632 Trimbach
Abgabedatum 08.06.2018

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

Vergleich der Energieeffizienz von EFH mit Dachfenstern ohne und mit Photovoltaik Anlagen

Vergleich der Energieeffizienz von EFH mit Dachfenstern ohne und mit Photovoltaik Anlagen

Mit der Annahme der Energiestrategie 2050 und den damit verbundenen Atomausstieg fordern die Politik und auch die Bevölkerung eine Deckung der verbrauchten Energie durch erneuerbare Energiequellen. Dies spiegelt sich auch in den neusten Mustervorschriften der Kantone wider, die eine Eigenstromproduktion für Neubauten voraussetzen. Durch all diese Kriterien verschärft sich die Situation auf den heimischen Dächern, die Existenzberechtigung von Dachfenstern wird hinterfragt

In dieser Arbeit werden die Dachflächen von Einfamilienhäusern analysiert. Es wird aufgezeigt, wie Dachfenster in sanierungsfähigen Dächern optimal zur Tageslichtgewinnung genutzt werden können, ohne dabei die Energiegewinnung zu behindern. Dachfenster ermöglichen eine einfache Tageslichtnutzung, sie sind in den nördlichen Ländern der Welt (Britannien, Skandinavien) ein wichtiger Bestandteil der Baukultur. In der Schweiz sind diese strengen Regeln und Normen unterzogen



Abb. 1: PV-Anlage mit integriertem Dachfenster,
Quelle: VELUX Schweiz

Das Tageslicht der Taktgeber für den Menschen

Das menschliche Auge hat sich über die Jahrzehnte an das Sonnenlichtspektrum angepasst. Die menschliche Biologie braucht diese ständigen Veränderungen des Tageslichtspektrums um nicht müde zu werden. Fehlen diese Veränderungen, wie zum Beispiel durch ständig gleichförmige Bestrahlung mit künstlichem Licht, tritt schneller die Ermüdung ein und genau diese Müdigkeit führt zu einer grösseren Anzahl an Fehlern bei konzentrierten Arbeiten.

Analyse Photovoltaik Potenzial der Schweiz

Das Vorgehen zur Ermittlung der möglichen Eigenenergieproduktion durch Photovoltaikanlagen wurde in drei verschiedene Potenziale unterteilt. Ein unrealistisches Potenzial, das die gesamte Bodenfläche der Schweiz beinhaltet, ein theoretisches das alle Dachflächen berücksichtigt und zum Schluss noch ein technisches Potenzial, das nur die realisierbaren Dachflächenbestand abbildet. Die Ergebnisse zeigten, dass mit dem heutigen Stand der Technik etwa ein Drittel des Schweizer gesamt Energieverbrauchs gedeckt werden kann. Das Potenzial der Dachflächen auf den Einfamilienhäusern ist zwar nicht sehr gross sollte aber trotzdem genutzt werden. Abschliessend hat die Analyse gezeigt, dass sich der Einbau eines Dachfensters in einem Einfamilienhaus nur minimal auf die Energieproduktion auswirkt.

Vergleich der Energieeffizienz von EFH mit Dachfenstern ohne und mit Photovoltaik Anlagen

Simulation als Beweis der Machbarkeit

Die Simulation wurde nicht nur genutzt um Unterschiede zwischen den Einfamilienhäusern festzustellen, sondern auch um eine Optimierung der Dachfenstergrösse vorzunehmen. Die Verifizierung der Machbarkeit war dabei sehr wichtig, denn einige Schweizer Normen, wie die SIA 180, sind sehr restriktiv was die Grösse von Dachfenstern betrifft. Alle benötigten Simulationen wurden mit dem Programm IDA ICE der Firma EQUA erstellt. IDA ICE (Indoor Climate and Energie) ist ein Simulationsprogramm, das der Untersuchung des Innenklimas dient. Damit verschiedene Fenstergrössen geprüft werden können, wurden sogenannten Parametric Runs erzeugt. Parametric Run heisst übersetzt so viel wie ein „vorangestellter Lauf“ und überprüft in diesem Falle verschiedene Fenstergrössen auf den Tageslichtquotienten und die Überhitzung im Raum. Mit dieser Methode konnte aufgezeigt werden, dass Dachfenster keine «Energieschleudern» sind sehr gut mit der heutigen Bauweise einhergehen.

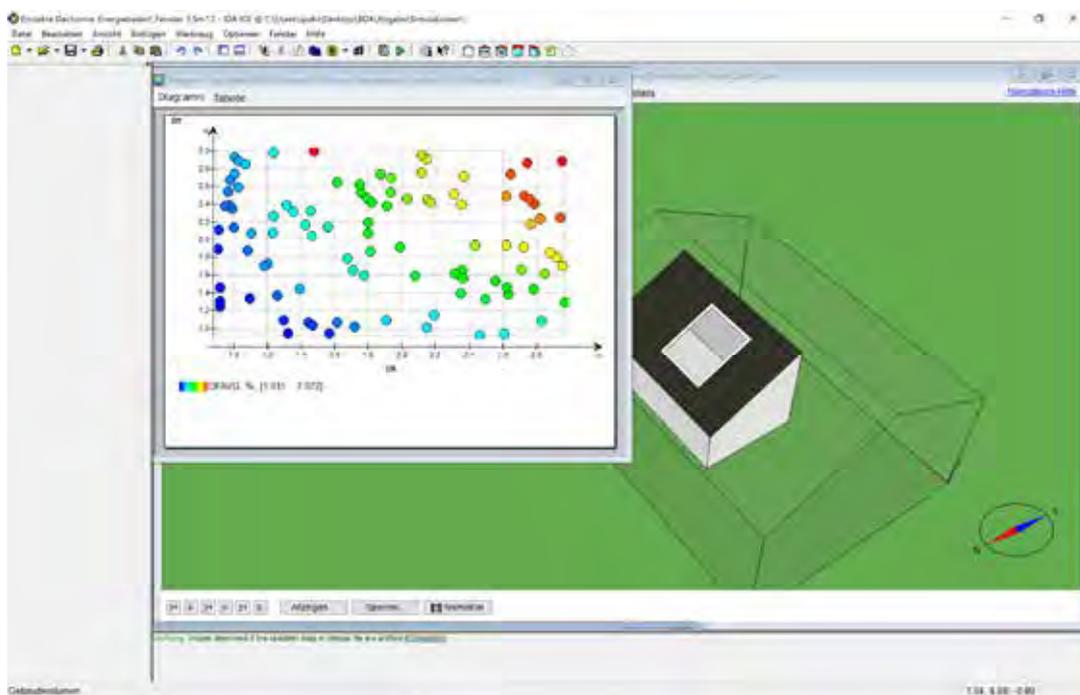


Abb. 2: Beispiel Tageslichtoptimierung (eigene Darstellung), Quelle: IDA ICE

Maximale Nutzung der Solarenergie

So wie die Sonne nicht nur Energie und Wärme, sondern auch Licht bringt wurde zum Schluss Bewiesen, dass sich die Energieproduktion und das Tageslicht nicht widersprechen müssen. Es bleibt zu hoffen, dass die erbrachten Leistungen und Berechnungen zu einer Zunahme der Dachfenster in der Schweiz führen und somit dazu beitragen, dass sich die Tageslichtnutzung in der Schweizer Baukultur etabliert.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimierte Wärmeabgabesysteme und Vorlauftemperaturen bei Wärmepumpenanwendungen

Studierende	Bafti Maliqi Pajtim Bajraktari
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Bernard Dubochet, Kanton Thurgau, Abteilung Energie, 8510 Frauenfeld Toni W. Püntener, Stadt Zürich, 2000-Watt-Gesellschaft, 8021 Zürich
Abgabedatum	08. Juni 2018

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

Optimierte Wärmeabgabesysteme und Vorlauftemperaturen bei Wärmepumpenanwendungen

Mittels Variierung der maximalen Vorlauftemperatur wird der Einfluss dieser auf die Arbeitszahl der Wärmepumpe und die Dimensionierung der Fussbodenheizung untersucht. Dabei soll das Optimum zwischen den Mehrkosten und den Energieersparnissen gefunden und ausgewiesen werden. Des Weiteren wird eine zukunftsorientierte Regelung für die Raumheizung vorgeschlagen.

Dieser Fachartikel befasst sich mit der Optimierung von Vorlauftemperaturen bei Flächenheizungen und der direkten Auswirkung auf die Arbeitszahl der Wärmepumpe. Ziel ist es, herauszufinden ob und in wie weit die Vorlauftemperaturen bei Flächenheizungssystemen, insbesondere bei Fussbodenheizung, gesenkt werden können, ohne dabei die Behaglichkeit zu beeinträchtigen.

1. Rahmenbedingungen

Als Nutzungskategorie ist «Wohnen» vorgesehen. Um den Einfluss des Baustandards auf die Dimensionierung der Fussbodenheizung zu erfassen, wird die Gebäudehülle einmal nach der MuKE n und einmal nach dem SIA MB 2024 festgelegt. Der Fokus der Arbeit liegt auf dem Neubau. Die Arbeit und die daraus resultierenden Erkenntnisse beziehen sich auf eine geschlossene heizungsseitige Betrachtung. Als Wärmeerzeugung wird eine Luft-Wasser-Wärmepumpe berücksichtigt.

2. Thermische Behaglichkeit

Einen wesentlichen Teil der thermischen Behaglichkeit machen die Oberflächentemperaturen der Umschliessungsflächen aus. So beeinflusst die Variierung der Vorlauftemperatur direkt die Oberflächentemperatur des Fussbodens. Alle Optimierungsmaßnahmen, welche betrachtet und untersucht werden, haben stets den Anspruch die thermische Behaglichkeit in keinsten Weise negativ zu beeinträchtigt. Die Behaglichkeitskontrolle wurde nach dem Glück-Verfahren berechnet und ergab das die thermische Behaglichkeit in beiden optimierten Fällen gewährleistet bleibt.

Optimierte Wärmeabgabesysteme und Vorlauftemperaturen bei Wärmepumpenanwendungen

3. Ergebnisse Einfluss Vorlauftemperatur

Eines der primären Ziele der Arbeit beinhaltet die Festlegung des Optimums zwischen den erhöhten Investitionskosten zu den Energieersparnissen. Der in dieser Arbeit ausgewiesene Optimumsbereich bezieht sich lediglich auf unser Gebäudemodell.

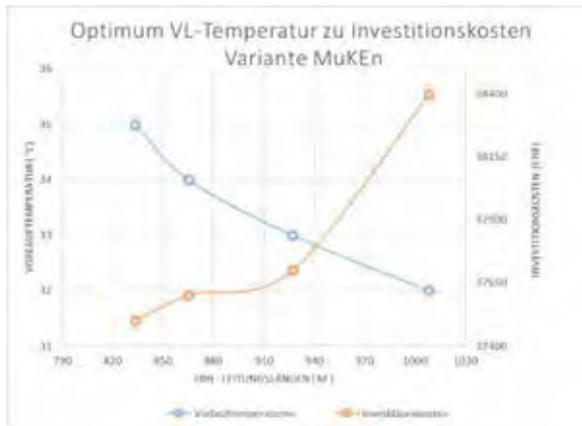


Abb. 1: Optimum VL-Temperatur bei EFH MuKEN



Abb. 2: Optimum VL-Temperatur bei EFH Zielwert

Die obenstehenden Abbildungen zeigen die Entwicklung der Investitionskosten in Abhängigkeit der Leitungslängen und somit dem direkten Zusammenhang zur Vorlauftemperatur. Bei der Variante MuKEN liegt das Optimum der Vorlauftemperatur zwischen 33°C und 32°C. Die Amortisationszeit beträgt ca. 15 Jahre bei einer Vorlauftemperatur von 32°C. Somit empfiehlt es sich für die Variante MuKEN eine Vorlauftemperatur von 32°C bei der Auslegung anzustreben. Bei der Variante Zielwert SIA MB 2024 liegt das Optimum der Vorlauftemperatur zwischen 31°C und 29°C. Berücksichtigt man hier nun auch die Amortisationszeit bei einer durchschnittlichen Lebensdauer des gesamten Systems von 30 Jahren, liegt das Optimum der Vorlauftemperatur bei 30°C. Daher empfiehlt es sich für die Variante Zielwert SIA MB 2024, aus wirtschaftlicher Sicht, eine Vorlauftemperatur von 30°C anzustreben.

4. Moderner Regelungsansatz

Nebst der Senkung der Vorlauftemperatur können auch andere Massnahmen die Energieeffizienz des Gebäudes steigern. Durch ein intelligentes und gut vernetztes Gebäudeautomationssystem kann dies bewerkstelligt werden. Heutig werden Wärmeerzeuger oftmals nach der Aussentemperatur geregelt. Moderne Systeme zielen darauf hin, den Wärmeerzeuger exakt nach dem Verbrauch der Räume zu regulieren. Das zusätzliche thermische Einsparpotenzial liegt bei der MuKEN Variante bei ca. 13%.

Optimierte Wärmeabgabesysteme und Vorlauftemperaturen bei Wärmepumpenanwendungen**5. Fazit**

Durchschnittlich beträgt der jährliche elektrische Energieverbrauch der Luft-Wasser-Wärmepumpe für die Heizung ca. 2400 kWh/a. Die elektrische Energieersparnis beträgt dabei durchschnittlich ca. 240 kWh/a. Dadurch wäre der elektrische Verbrauch der Wärmeerzeugung jedes zehnten Neubaus abgedeckt. Der Energieverbrauch der Umwälzpumpe spielt keine bedeutende Rolle. In beiden Varianten reduzierte sich die Stromaufnahme der Umwälzpumpe um wenige Watt. Nebst dieser statischen Analyse gemäss der Aufgabenstellung wurde zusätzlich eine dynamische Simulation für beide Varianten durchgeführt. Die Ergebnisse der Simulation gehen mehrheitlich in die gleiche Richtung wie die Resultate bei der statischen Betrachtung. Der Anstieg der JAZ fällt, aufgrund der Berücksichtigung der Brauchwarmwassererzeugung, tiefer aus als bei der statischen Betrachtung. Des Weiteren wird die Einhaltung der thermischen Behaglichkeit bestätigt.

Die Resultate der Arbeit zeigen auf, dass die Anforderungen an die Vorlauftemperatur verschärft werden können. Um die Individualität der Gebäude zu erfassen, empfiehlt es sich den Grenzwert für die Vorlauftemperatur auf 33°C zu verschärfen. In einem weiteren Schritt könnten Faktoren wie die Auslastung des Stromnetzes oder Umweltbelastung als Entscheidungsgrundlagen herangezogen werden. Somit liesse sich eine erweiterte Analyse über die Auswirkungen der Optimierungsmassnahme tätigen.

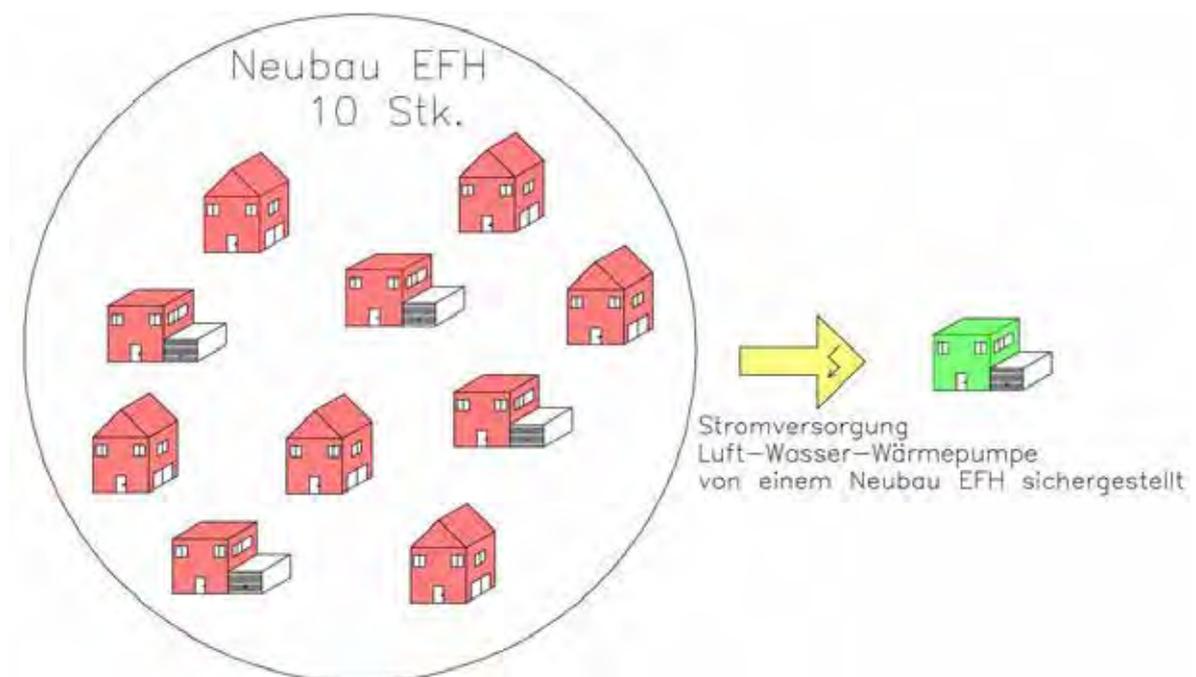


Abb. 3: Bilanzierung Stromverbrauch Luft-Wasser-Wärmepumpe



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Steuerstrategie zur Eigenverbrauchsoptimierung im EFH und MFH

Studierende Matteo Ruppen
Roman Brun

Dozierende Roger Buser
Dr. Olivier Steiger

Experte/-in Rudolf Geissler

Auftraggeber Hochschule Luzern – Technik & Architektur

Industriepartner: Martin Müller, Kanton Thurgau / Abteilung Energie,
Promenadenstrasse 8, 8510 Frauenfeld

Industriepartner: Cyrill Burch, EVG Zentrum, Technikumstrasse 21, 6048 Horw

Abgabedatum 08. Juni 2018

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.

Steuerstrategie zur Eigenverbrauchsoptimierung im EFH und MFH

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 wurde die Energieverordnung revidiert und damit eine neue Eigenverbrauchsregelung für Klein-Photovoltaikanlagen eingeführt. Während bei der bestehenden KEV der Anreiz war, möglichst viel Strom ins Netz einzuspeisen, ist es nun bei der EIV wirtschaftlicher, möglichst viel Strom selbst zu verbrauchen. Mit der richtigen Steuerstrategie kann der Eigenverbrauchsanteil im Gebäude markant gesteigert und somit Kosten eingespart werden. Welche Faktoren müssen bei einer Steuerstrategie zur Eigenverbrauchsoptimierung berücksichtigt werden und gibt es bereits dementsprechende Geräte auf dem Markt?

Durch die Annahme des neuen Energiegesetzes im Mai 2017 ist es für Besitzer von Photovoltaikanlagen kleiner 30kWp möglich, eine Einmalvergütung (EIV) zu erhalten. Diese deckt zwar ca. 30% der Investitionskosten, die ins Netz gespeisene PV-Energie wird jedoch je nach Region lediglich mit 5 Rp./kWh vergütet. Dies ist einer der Gründe, welcher als Anreiz für einen hohen Eigenverbrauch gilt.

Analyse des Optimierungspotentials

Ohne eine Optimierung der gebäudetechnischen Anlagen, wird in einem durchschnittlichen Schweizer EFH ein Eigenverbrauchsanteil von 15 bis 30% erreicht. Den allgemeinen Haushaltsverbrauch zu optimieren ist eher schwierig, da dieser stark vom Nutzerverhalten der Bewohner abhängig ist. Werden grössere Verbraucher wie Kochherd, Waschmaschine und Tumbler jedoch bewusst zu Zeiten mit PV-Überschuss benutzt, kann der Eigenverbrauch um ca. 10 bis 20% erhöht werden.

Das Optimierungspotential ist vor allem in den Bereichen der Produktion von Warmwasser und Wärme für die Heizung sehr hoch. Werden die richtigen, energieeffizienten Geräte eingesetzt, kann durch deren Optimierung der Eigenverbrauch um ca. 20 bis 30% zusätzlich erhöht werden. Wird dabei ein ideal dimensionierter thermischer Speicher verwendet, liegt das Potential noch höher. Mit Hilfe eines elektrischen Speichers lässt sich der Eigenverbrauchsanteil ebenfalls um ca. 10% verbessern.

Auch bei der Elektromobilität liegt ein grosses Potential vor. Dieses ist jedoch stark vom Nutzerverhalten bzw. der Anwesenheit des Elektroautos abhängig. So kann es für die Eigenverbrauchsoptimierung in Zukunft sehr interessant sein, die Batterien eines Elektrofahrzeugs, welches tagsüber selten benutzt wird und an der Ladestation angeschlossen ist, als mobilen elektrischen Speicher zu nutzen.

Steuerstrategie

Eine effiziente Steuerstrategie zur Eigenverbrauchsoptimierung schaltet die bedeutenden Verbraucher möglichst dann ein, wenn die jeweils benötigte Energie bestmöglichst durch die PV-Anlage geliefert werden kann. Um diesen solaroptimierten Betrieb von verschiedenen Verbrauchern wie Wärmepumpe, Elektroboiler und Elektroauto zu garantieren, aber gleichzeitig den Komfort für die Bewohner nicht zu beeinträchtigen, muss die Steuerstrategie über eine Schnittstelle für MeteoDaten verfügen. Mittels Wettervorhersage kann so bereits in der Nacht abgeschätzt werden, wie gross der zu erwartende Photovoltaik Energieertrag am darauffolgenden Tag sein wird. Falls dieser nicht gross genug ist, um zum Beispiel den Bedarf des Warmwasserboilers zu decken, wird bereits in der Nacht mit Niedertarif ein Teil des Warmwassers aufbereitet.

Es gibt bereits eine Vielzahl an gratis verfügbaren online-Eigenverbrauchsrechnern, mit welchen durch wenige Eingaben eine jährliche Berechnung des Eigenverbrauchsanteils und Autarkiegrades durchgeführt werden kann. Leider zeigen diese Tools nicht auf, wie tatsächlich optimiert wurde und wie sich das auf das Lastprofil des betreffenden Haushalts auswirkt.

Darum wurde im Rahmen dieser Bachelorthesis ein Excel basierendes Simulationstool entwickelt, welches eine saisonal und wetterabhängige Analyse von jeweils drei aufeinanderfolgenden Tagen erlaubt. In dieser Zeitperiode werden unoptimierte sowie optimierte Lastprofile eines Gebäudes in Kombination mit dem Ertrag der Photovoltaikanlage dargestellt, was eine genauere mathematische und visuelle Analyse ermöglicht: Eigenverbrauchsanteil, Autarkiegrad, tarifliche Einsparungen, der Netzbezug und die Netzurückspeisung werden aufgezeigt, was wiederum zur Ladeanalyse eines Speichers dienen kann.

Das Tool bietet zwar keine vollständig ausgereifte Steuerstrategie zur Eigenverbrauchsoptimierung an, kann aber als Grundlage dienen, um mögliche Probleme und Herausforderungen der Optimierung erkennen zu können.

Simulationsbeispiel eines EFH

Als Beispiel wird ein Einfamilienhaus mit einer vierköpfigen Familie, einer 10kWp PV-Anlage, einem Kleinwagen mit einer täglichen Reichweite von 40 km (während dem Tag an der Ladestation angeschlossen) sowie einem elektrischen Warmwasserboiler à 5kW simuliert.

Für die Simulation werden jeweils drei zusammenhängende Tage betrachtet, bei denen die momentane Leistung im Verhältnis zur Uhrzeit dargestellt wird. Interessant sind primär Tage mit unterschiedlichen Solarerträgen: Kann die benötigte Energie nicht durch die Photovoltaikanlage geliefert werden, werden die Lasten teilweise in die Nacht vorverschoben. Dies erfolgt in der nachfolgenden Grafik am zweiten Tag mit dem Elektroboiler (grün) oder mit dem Elektroauto (rot) am dritten Tag. Ist der PV-Ertrag wie am ersten Tag genügend gross, kann die Warmwasseraufbereitung sowie die Ladung des Elektroautos vollständig mit PV-Strom generiert werden (violett).

Durch die Optimierung kann der Eigenverbrauchsanteil auf 57% erhöht werden, was mit einem gleichzeitigen Autarkiegrad von 70% einen sehr guten Wert darstellt für die Übergangsmonate.

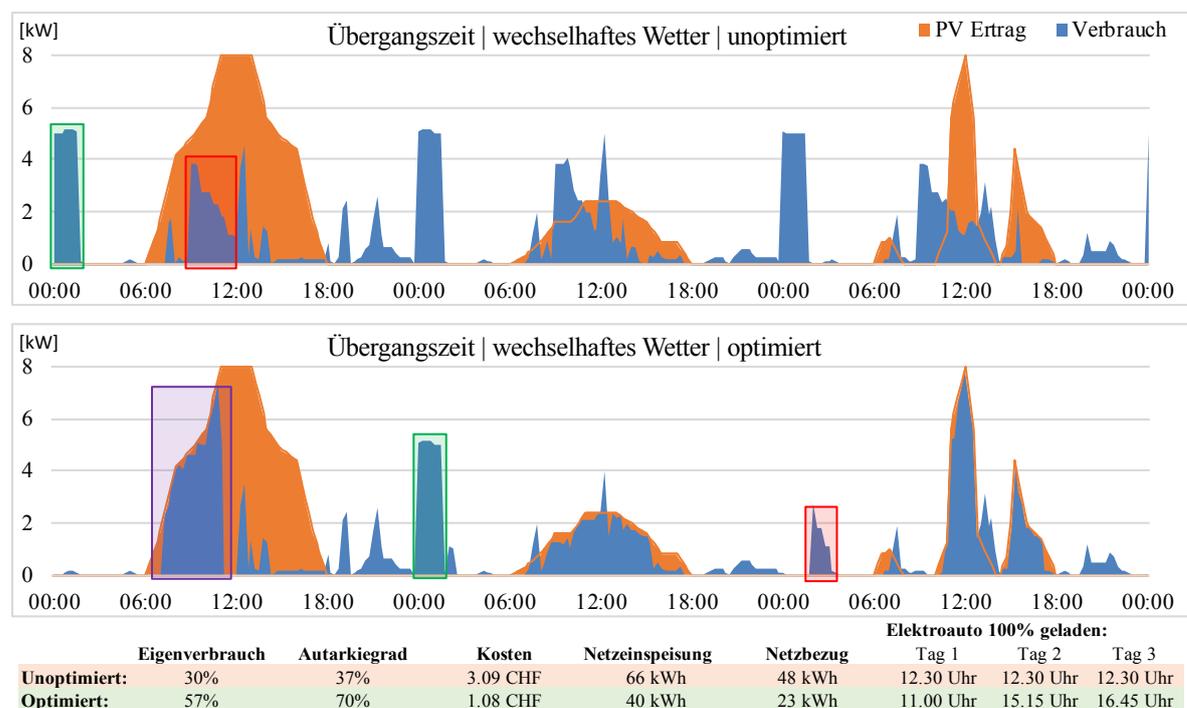


Abbildung 1: Simulation EFH, Übergangszeit (Herbst & Frühling)

Während im Sommer der Energieertrag verhältnismässig am höchsten ist, liefert die Photovoltaikanlage in den Wintermonaten nur einen geringeren Energieertrag. Trotzdem gilt es, soviel Solarenergie wie möglich selber zu verbrauchen. Wie das nachfolgende Beispiel mit drei Schönwettertagen im Winter zeigt, ist dies mit der entwickelten Steuerstrategie möglich. Die Warmwasseraufbereitung (grün) kann zwar nicht vollständig durch PV-Strom generiert werden, jedoch ist es so immer noch kostengünstiger, als eine Ladung des Warmwasserboilers in der Nacht mit Niedertarif. So lässt sich der Eigenverbrauchsanteil des Einfamilienhauses an sonnigen Wintertagen auf bis zu 91% steigern, wobei der Autarkiegrad noch 60% beträgt. Dies gilt allerdings nur, wenn keine elektrische Energie als Primärenergie für die Heizung verwendet wird.

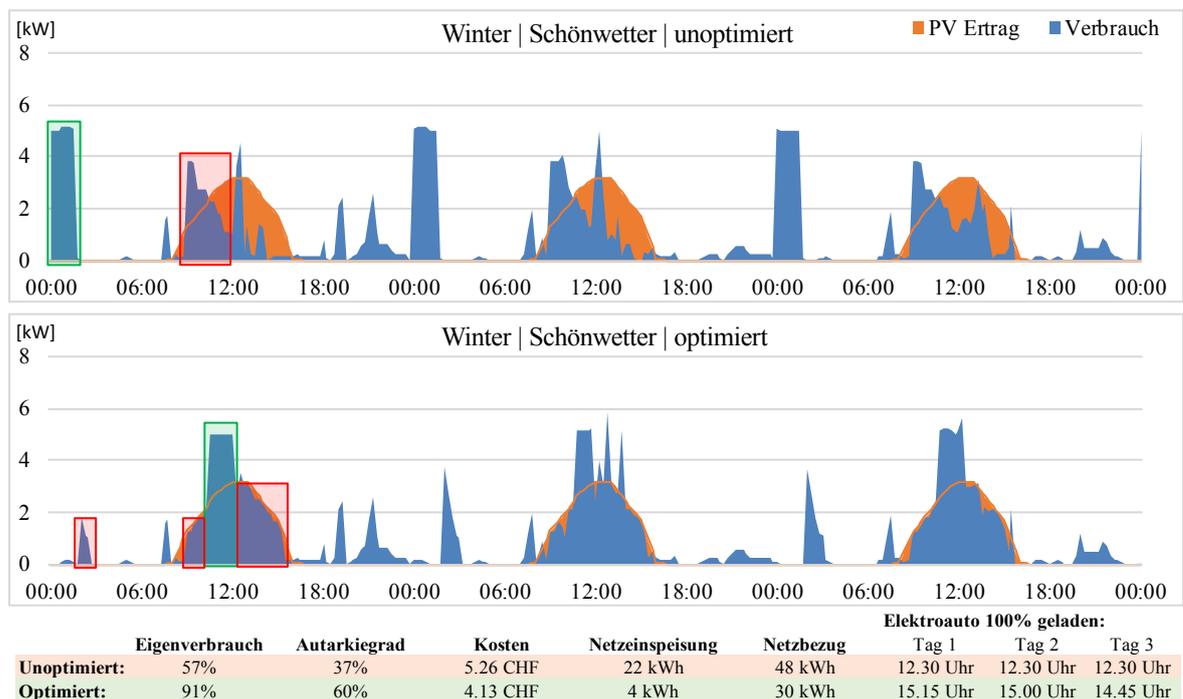


Abbildung 2: Simulation EFH, Winter

Fazit

Verschiedene Simulationen haben gezeigt, dass bei dem Eigenverbrauchsanteil sehr hohe Differenzen (bis zu $\pm 40\%$) in den unterschiedlichen Jahreszeiten entstehen können. Noch grösser können die saisonalen Unterschiede des Autarkiegrads sein ($\pm 70\%$ beim analysierten EFH). Dies lässt sich auf die allgemeine Problematik der Photovoltaikanlagen zurückführen: Wenn die Energie am dringenden benötigt wird (im Winter), kann diese durch die PV-Anlage nicht zur Verfügung gestellt werden. Auf der anderen Seite wird im Sommer viel Energie von der Photovoltaikanlage geliefert, gleichzeitig wird aber nur wenig Energie benötigt, da das Gebäude nicht geheizt werden muss. Deshalb sollten durchschnittliche Jahreswerte immer mit Vorsicht betrachtet werden.

Mit der richtigen Steuerstrategie ist es auf jeden Fall möglich, den Eigenverbrauch und den Autarkiegrad massiv zu verbessern. Pauschale Aussagen über deren Steigerung sind nicht möglich, da jedes Gebäude individuell betrachtet werden muss.

Es gibt bereits einige gute Eigenverbrauchsmanager auf dem Markt, wobei deren Technik teilweise noch nicht vollständig ausgereift ist. Der technische Fortschritt wird jedoch nicht Halt machen, sodass davon ausgegangen werden kann, dass bereits in einigen Jahren qualitativ hochstehende Eigenverbrauchsmanager zu marktfreundlichen Preisen angeboten werden können.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Benutzeranalyse von Human Centric Lighting - Beleuchtungsanlagen

Studierende	Jérôme Klemensberger Simon Vögele
Dozierende	Prof. Björn Schrader Dr. Olivier Steiger
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Benutzeranalyse von Human Centric Lighting – Beleuchtungsanlagen

Mit dem Nachweis des nichtvisuellen Fotorezeptors durch Trapan und Brainerd im Jahr 2001 hat sich in der Beleuchtungsindustrie der Fachbegriff Human Centric Lighting (HCL) etabliert. Durch die Farbtemperatur und Beleuchtungsstärke wird die melanopische Lichtwirkung stimuliert. Die Beleuchtungsindustrie verfolgt seither die Vermarktung einer solchen Beleuchtungssteuerung. Die Bachelorarbeit befasst sich mit der Benutzeranalyse von HCL-Beleuchtungsanlagen bezüglich der Wahrnehmung von verschiedenen Lichtsituationen. Die Befragungen werden im Innenarchitektur-Atelier der Hochschule Luzern durchgeführt. Mit der mobilen Standalone-Anlage können bei Forschungsprojekten ausserhalb des Campus weitere Benutzeranalysen durchgeführt werden. Das emotionale und visuelle Empfinden der Nutzer stehen dabei im Mittelpunkt.



Abb. 1: Beleuchtungsanlage IA-Atelier, HSLU T&A Horw (eigene Aufnahme)

Befragung IA-Atelier

Untersucht werden verschiedene Farbtemperatur-Verläufe über den Zeitraum von drei Wochen. Dabei wird zum einen eine Farbveränderung gem. DIN SPEC 67600:2013 und die Voreinstellung seitens Hersteller verwendet. Durchgeführt werden eine Spontanbefragung sowie zwei weitere Onlinebefragungen. In der Benutzeranalyse zeigt sich bei der Spontan- und Onlinebefragung, dass mehrheitlich kein Wunsch nach Einfluss der eingestellten Farbtemperatur vorhanden ist. Es hat sich gezeigt, dass die Farbtemperatur um 3'000 Kelvin mehrheitlich als störend empfunden wird.

Benutzeranalyse von Human Centric Lighting - Beleuchtungsanlagen**Standalone-Anlage**

Sobald der eingestellte Farbtemperaturverlauf als störend empfunden wird, kann mit einer Fernbedienung die gewünschte Änderung (wärmer / kälter) signalisiert werden. Die gewünschten Änderungen werden mit dem Excel Auswertungs-Tool analysiert. In einer weiteren Phase kann die Standalone-Anlage ausserhalb der Hochschule Luzern eingesetzt werden.

Die Auswertung zeigt grundsätzlich den eingestellten Farbtemperatur-Verlauf im Bereich der definierten Arbeitszeiten. Zusätzlich werden die eingegangenen Rückmeldungen dargestellt. Die Darstellung ist so festgelegt, dass sämtliche Rückmeldungen der Testphase auf nur einem Tagesverlauf dargestellt werden. So ist eine klare Tendenz in Bezug auf die Uhrzeit erkennbar (Abb. 2).

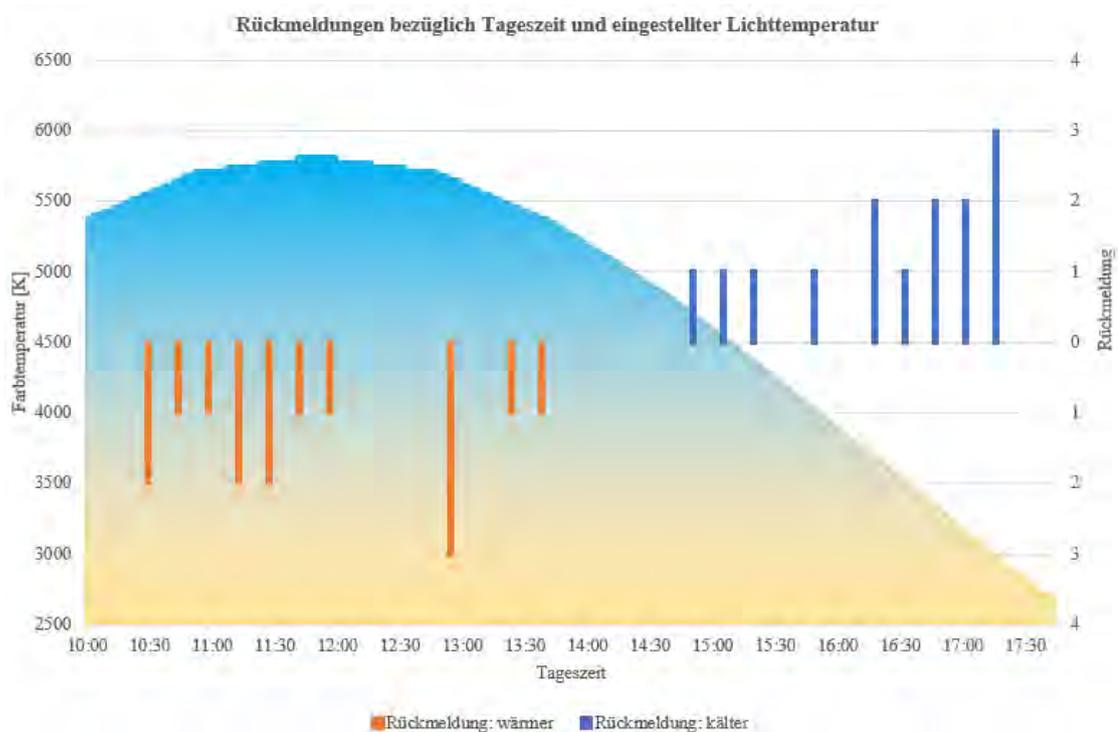


Abb. 2: Grafik für die Auswertung der Rückmeldungen

Erkenntnisse

Aus unserer Sicht leidet die qualitative Beleuchtung unter den Auswirkungen einer melanopischen wirksamen Beleuchtungsanlage. Auch wenn die HCL-Beleuchtungsanlage positiven Einfluss auf den Organismus hat, ist die optische Wirkung für den Arbeitnehmer wichtig. Ebenfalls ist der melanopische Wirkungsbereich im Gegensatz zur natürlichen Beleuchtung marginal und dient somit lediglich als Ergänzung zum Tageslicht. Mithilfe der Rückmeldungsfunktion kann auf unangenehme Lichtsituationen aufmerksam gemacht werden. Der Arbeitnehmer erhält somit die Möglichkeit bei der Einstellung der Farbtemperatur-Verläufe sein Feedback bezüglich Wahrnehmung der Beleuchtung abzugeben.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_18_11
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimierungsmöglichkeiten Eigenverbrauch elektrischer Energie in einer Eigenverbrauchsgemeinschaft

Studierende	Stephan Hakios Alexander Käslin
Dozierende	Roger Buser Volker Wouters
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Patrick Küng, CKW Connex AG, Hirschengraben 33, 6002 Luzern)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Optimierungsmöglichkeiten Eigenverbrauch elektrischer Energie in einer Eigenverbrauchsgemeinschaft

Im Zuge der Energiestrategie 2050 können seit dem 1. Januar 2015 Eigenverbrauchsgemeinschaften (EVG) gebildet werden. Dabei können sich mehrere Mieter von Wohnungen oder Grundeigentümer von Ein- oder Mehrfamilienhäusern zusammenschliessen und gegenüber dem Verteilnetzbetreiber als ein Kunde beziehungsweise als ein Vertragspartner auftreten. Der Zusammenschluss zum Eigenverbrauch (ZEV) macht aber nur dann Sinn, wenn Produktionsanlagen vorhanden sind, welche beispielsweise Strom aus Sonnen-, Wind- oder Biomasseenergie produzieren. Der Zusammenschluss zum Eigenverbrauch hat dabei den grossen Vorteil, dass der am selben Ort produzierte Strom innerhalb des ZEV ganz oder teilweise selber verbraucht werden darf.

Mit Hilfe eines eigens entwickelten Planungstools werden die Optimierungsmöglichkeiten von Photovoltaikanlagen für verschiedene Nutzungen untersucht. Dabei wird der Fokus auf die Energiespeicherung, vor allem auf Batteriespeicher, gelegt. Damit soll der Eigenverbrauchsanteil und die Autarkie gesteigert werden. Des Weiteren wird analysiert ob eine Photovoltaikanlage mit Batteriespeicher einen wirtschaftlichen und ökologischen Mehrwert generieren kann. In diesem Bericht wird dies anhand der Nutzung Mehrfamilienhaus aufgezeigt.

Auswertung Mehrfamilienhaus

Ein Mehrfamilienhaus (MFH) mit einer nutzbaren Fläche von 850m² wird mit einer Photovoltaikanlage von 180m² bestückt. Die Photovoltaikanlage mit einer Nennleistung von 33.75kWp generiert so einen Jahresertrag von 32'481.69kWh. Der Energieverbrauch des MFH beträgt 23'771.76kWh. Wird die Anlage ohne Speicher betrieben, stellt sich ein Eigenverbrauchsanteil von 24.58% und eine Autarkie von 33.58% ein. Die Anlage weist eine positive Rendite auf und wäre nach 25 Jahren amortisiert.

Auf dem nachfolgenden Diagramm ist der Tagesverlauf eines Frühlingstages ohne Speicher dargestellt (siehe Abb. 1). Die gelbe Kurve zeigt die Überproduktion der Photovoltaikanlage. Diese Überproduktion wird ohne Speicher ins Verteilnetz rückgespeist. Die Überproduktion bildet somit das speicherbare Energiepotential, mit dem der Eigenverbrauch optimiert werden kann. Die graue Kurve stellt den Netzbezug dar. Um den Verbrauch zu decken, wenn die Photovoltaikanlage keinen Ertrag abwirft, muss Energie vom Verteilnetzbetreiber bezogen werden. Der Netzbezug kann mit Hilfe eines Speichers und dem damit verbundenen Anstieg des Eigenverbrauchsanteils minimiert werden. Es fällt auf, dass in der Nacht von ca. 02.00 Uhr bis 05.00 Uhr eine Spitze mit einem Bezug von bis zu fünf Kilowattstunden vorhanden ist. Diese Leistungsspitze entsteht durch die Warmwassererwärmung.

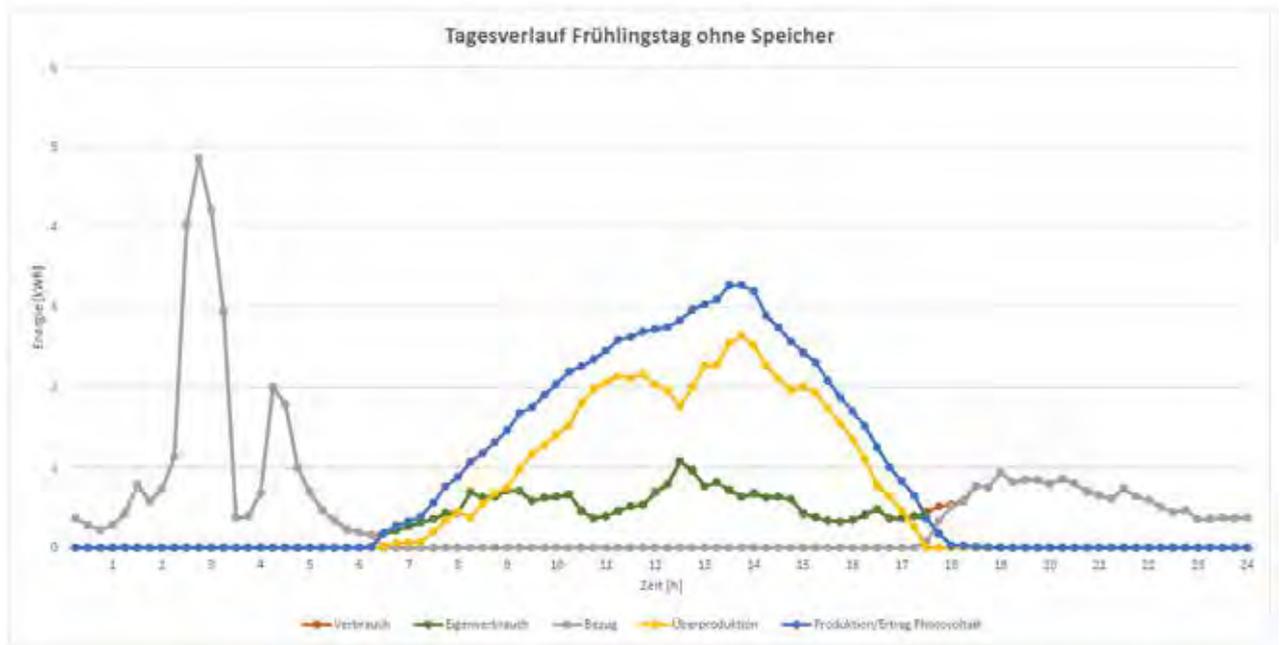


Abb. 1: Tagesverlauf Frühling ohne Speicher

Wenn nun ein Speicher hinzugeschaltet wird, ist ein Eigenverbrauchsanteil von ca. 50% und eine Autarkie von ca. 80% anzustreben. Somit ergibt sich ein signifikanter ökologischer Mehrwert durch die Speicheranlage.

Bei einem MFH ist mit einem Batteriespeicher wirtschaftlich kein Mehrwert generierbar. Die Rendite ist für jede Speicherkapazität negativ, ausgenommen bei einer Kilowattstunde. Dies aufgrund der hohen Investitionskosten und der hohen Unterhaltskosten der Photovoltaik- und vor allem der Speicheranlage. Aus den gleichen Gründen sind die Stromgestehungskosten exorbitant. Wird nun der ökologische Nutzen in den Vordergrund gestellt, ist dennoch ein Mehrwert durch den Speicher generierbar. Dies macht sich im Anstieg des Eigenverbrauchsanteils und der Autarkie bemerkbar. Es wird ersichtlich, dass für dieses konkrete Beispiel mit einem Batteriespeicher mit einer Speicherkapazität von 39kWh ein Eigenverbrauchsanteil von 58% und eine Autarkie von 80% erreicht werden kann.

Abgesehen vom Batteriespeicher kann die Überproduktion auch zur Warmwassererzeugung genutzt werden. Somit findet die Warmwassererzeugung tagsüber statt und nicht wie bis anhin in der Nacht. Beim MFH beträgt die Überproduktion der Photovoltaikanlage 24'499kWh pro Jahr. Die Spitze von 02.00 Uhr bis 05.00 Uhr bewirkt einen Verbrauch von 8'852kWh pro Jahr. Wird die Spitze nun mit der Photovoltaik im Eigenverbrauch gedeckt, generiert dies einen Eigenverbrauchsanteil von 52% und eine Autarkie von 71% (siehe Abb. 2). Um dies umzusetzen, muss ein Smart Home Energy Management System eingebaut werden. Hierzu gibt es diverse Anbieter und Hersteller. Diese Systeme beinhalten meist eine speicherprogrammierbare Steuerung (SPS) über diese werden Informationen vom Wechselrichter verarbeitet und der Befehl auf den Warmwassererzeuger ausgegeben. Eine Steuerung dieser Art ist in der Anschaffung und im Unterhalt um ein Vielfaches günstiger als ein Batteriespeicher. Somit ergibt sich für das MFH eine positive Rendite von 2.05%.



Abb. 2: Vergleich Autarkie und Eigenverbrauchsanteil

Es ist festzuhalten, dass mit einem Batteriespeicher und der Warmwassererzeugung ähnliche Optimierungen des Eigenverbrauchsanteils und der Autarkie erreicht werden können. Ökologisch gesehen ist somit kein signifikanter Unterschied feststellbar. Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung fällt die Beurteilung anders aus. Die Warmwassererzeugung bzw. der Wärmespeicher ist um einiges wirtschaftlicher als ein Batteriespeicher.

Allgemeine Erkenntnisse

Das ein Batteriespeicher heute nicht rentabel ist, hat mehrere Hintergründe. Zum einen sind die Investitionskosten von Batteriespeichern mit ca. 1'000 Franken pro Kilowattstunde noch beträchtlich. Andererseits sind die Unterhaltskosten mit 50 Rappen pro Kilowattstunde bei 260 Ladezyklen pro Jahr immens. Des Weiteren gibt es kein staatliches Förderprogramm für Batteriespeicher, wie etwa die Einmalvergütung für Photovoltaikanlagen. Diese Faktoren sind zum jetzigen Zeitpunkt ausschlaggebend, dass ein Batteriespeicher nicht wirtschaftlich betrieben werden kann.



Auswirkungen von Eigenenergieerzeugungsanlagen und Speicherung auf die elektrischen Schutzkonzepte

Studierende David Stamm, Thomas Krebs

Dozierende Prof. Volker Wouters
Roger Buser

Experte Rudolf Geissler

Auftraggeber Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Industriepartner: HSLU IGE, Technikumstrasse 21, 6048 Horw

Abgabedatum 08. Juni 2018

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.

Auswirkungen von Eigenenergieerzeugungsanlagen und Speicherung auf die elektrischen Schutzkonzepte

Durch den technologischen Fortschritt sind Technologien wie Photovoltaikanlagen und elektrische Energiespeicher marktfähig geworden. Der verbreitete Einsatz der Komponenten führt zu neuen Bedürfnissen im Strommarkt. Bekannte Betriebsmodi dieser Anlagen wie der Netzparallelbetrieb und der Inselbetrieb werden in Zukunft flexibel umschaltbar sein. Somit lassen sich Gebäude bei Stromausfall auch als Inselanlage betreiben und bei Netzbetrieb als Netzparallelbetrieb. Dies ist heute in den meisten Fällen nicht möglich, auch wenn bereits ein Energiespeicher und eine Photovoltaikanlage im Gebäude vorhanden sind.

Die Grundlage für den Betrieb einer solchen Anlage kann nur durch die Einhaltung der Schutzkonzepte und weiteren Auflagen, wie die ESTI Verordnung 233 bewilligt werden. Zudem werden durch den bidirektionalen Energiefluss neue Herausforderungen an die Schutzelemente gestellt. Das Verhalten von Inverteranlagen wie Wechselrichter für Photovoltaikanlagen und Batteriespeicher sind zudem Herstellerabhängig.

Vorgehen

Anstoss für die Untersuchung dieser Problematik ist die Norm IEC 60364-8-2. In dieser Norm werden verschiedene Szenarien aufgezeigt, welchen besondere Beachtung geschenkt werden sollte. In der Norm sind verschiedene Betriebsmodi definiert. Für die Überprüfung dieser haben sich drei Szenarien herausgestellt.

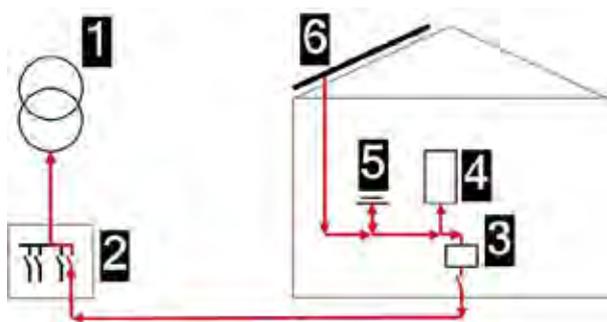


Abbildung 1: Betriebsmodus 1

Legende:

- 1 Transformator Netzebene 6
- 2 Verteilkasten Netzebene 7
- 3 EEMS (Electrical Energy Management System)
- 4 Verbraucher
- 5 Energie inkl. Inverter
- 6 Energieerzeuger (Photovoltaik) inkl. Inverter

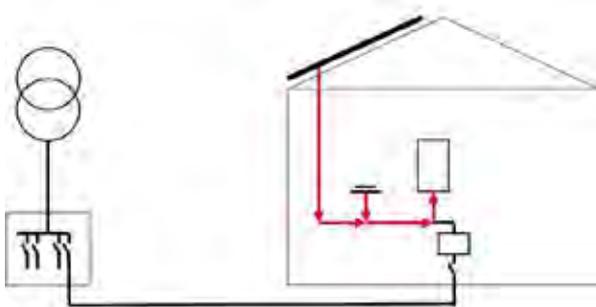
Auswirkungen von Eigenenergieerzeugungsanlagen und Speicherung auf die elektrischen Schutzkonzepte

Abbildung 2: Betriebsmodus 2

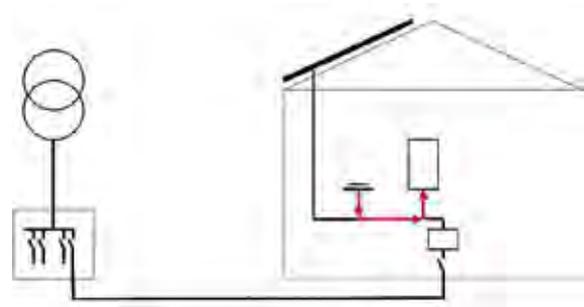


Abbildung 3: Betriebsmodus 3

In all diesen Betriebsmodi sind Schutzmassnahmen aufgrund der Normen einzuhalten. Besonderer Beachtung gilt folgender Punkte:

- Durch das Trennen aller aktiven Leiter (ausser im TN-C) muss ein neuer Netzsternpunkt gebildet werden. Zudem ist die Erdungsanlage wieder herzustellen.
- Das Umschaltverhalten vom Netzparallelbetrieb in Inselbetrieb muss gemäss Vorschrift erstellt sein. In diesem Fall ist die ESTI Verordnung 233 massgebend.
- Der Überlastschutz und Kurzschlusschutz aller Geräte muss gewährleistet sein.
- Die Abschaltzeit in allen Stromkreisen und Betriebsmodi müssen eingehalten werden.

Für die Überprüfung wurden mit dem Einfamilienhaus, dem Mehrfamilienhaus und dem Bürogebäude drei verbreitet Gebäudetypen in einer Standardausführung angenommen. Durch die unterschiedlichen Betriebsmodi, die Anforderungen aus der IEC Norm sowie den örtlichen Vorschriften, wurden für die drei Gebäudetypen eine Simulation erstellt. Mit dem Simulationstool sind die Gebäudetypen auf die Schutzfunktionen, die Abschaltzeiten, die Überlastströme sowie auf die Kurzschlussströme überprüft worden. Für die Auslegung lieferte der Betriebsmodus 1 den maximalen Kurzschlussstrom I_{k3} welcher zur Überprüfung von Abschaltbedingung und der Selektivität benötigt wird. Der Betriebsmodus 3, bei welchem nur eine Quelle einen Kurzschlussstrom liefert, definierte I_{k1} den Prüfwert zur automatischen Abschaltung im Fehlerfall.

In einem weiteren Schritt wurden die Schutzkomponenten untersucht. Dabei hat sich herausgestellt das die meisten Komponenten wie Leitungsschutzschalter und NH-Sicherungen ihre Funktion auch bei bidirektionalen Stromflüssen erfüllen. Bei Leistungsschaltern und Fehlerstromschutzschaltern hingegen muss dies jeweils nach Hersteller separat betrachtet werden.

Simulation, Ergebnisse und Massnahmen

Die Simulationen zeigen auf, dass die kleinen Kurzschlussströme im Betriebsmodus 3, bei welchem der Batteriespeicher als Energiequelle dient, die Abschaltbedingung nicht eingehalten werden.

Aufgrund der Erkenntnis, dass die Inverteranlagen einen kleinen Kurzschlussstrom beitragen, kann das Ausschaltvermögen der Komponenten bei I_{k3} auf den netzseitigen Kurzschluss Strom ausgelegt werden. Erst bei Kurzschlussstrombeiträgen von Invertern über 100A muss das Schaltvermögen der Schutzelementen überprüft werden.

Auswirkungen von Eigenenergieerzeugungsanlagen und Speicherung auf die elektrischen Schutzkonzepte

Um die Abschaltbedingungen einzuhalten ist der minimale Kurzschlussstrom des Batteriespeichers entscheidend, der im Betriebsmodus 3 den minimalen Kurzschlussstrom I_{k1} liefert.

Aufgrund der Simulationsauswertung werden folgende Probleme der automatischen Abschaltung ersichtlich.

Tabelle 1: Auswertung Schutzfunktionen Einfamilienhaus

Status	Stromkreis	Schutzelement	Bemerkung
	Endstromkreis		
	Bodenheizverteiler	LSC13	Automatische Abschaltung nicht gewährleistet
	Licht Steckdosen	FI/LSC13	Automatische Abschaltung nicht gewährleistet
	Rechaud	LSC16	Automatische Abschaltung nicht gewährleistet
	Steckd. WA/TU	FI/LSC16	Automatische Abschaltung nicht gewährleistet

Massnahmen zur Erfüllung der Schutzfunktionen:

- Durch den Einsatz von Schutzelementen welche bei kleineren Kurzschlussströmen auslösen. Folgende Massnahmen könnten getroffen werden:
 - Leitungsschutzschaltern mit Charakteristik B anstelle von Leitungsschutzschaltern mit Charakteristik C
 - Leistungsschalter anstelle von NH-Sicherungen

Ein anderer Ansatz ist auch die Erhöhung des Kurzschlussstromes.

- In einem Einfamilienhaus ist der Betrieb mit einem I_{k1} des Energiespeichers unter 200A meist nicht mehr möglich.

Fazit

Die Herausforderungen für die neuen Energiekonzepte sind nun bekannt. Nun gilt es mit einer vorausschauenden Planung diese Hürden zu meistern und in einem frühen Stadium die entscheidenden Punkte zu beachten. Zu diesen Punkten gehören eine Anpassung des Sternpunktes beim Umschalten in den Inselbetrieb (Betriebsmodus 2+3) nach ESTI Richtlinie 233. Die Wahl des Wechselrichters und vor allem des Energiespeichers zur Sicherstellung des minimalen I_{k1} sind für die Dimensionierung der Anlage von entscheidender Bedeutung.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18_13
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimierung von Unterflurkonvektoren

Studierende	Weipeng Guo Kevin Hehli
Dozierende	Prof. Werner Betschart Andreas Odermatt
Experte	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hansjörg Alexander Allenspach Allco Allenspach AG Römerstrasse 30 4314 Zeiningen
Abgabedatum	08. Juni 2018

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 von Unterflurkonvektoren

Produkte aus der Schweiz werden oft mit Qualität in Verbindung gebracht. Um diesem Anspruch gerecht zu werden sind Schweizer Unternehmen bedacht, ihre Produkte laufend zu optimieren und auf dem neusten Stand der Technik zu entwickeln. In der Bachelor-Thesis wird die Optimierung von Unterflurkonvektoren untersucht. Ziel ist es die Strömungsverhältnisse und damit die Wärmeübertragung (Heizen/Kühlen) zu optimieren, sowie die Geräuschentwicklung zu reduzieren.

Mit Labormessungen in der Klimakammer der Hochschule Luzern – Technik & Architektur wird der Kaltluftabfall und der IST-Zustand des zu untersuchenden Unterflurkonvektors analysiert. Mit ergänzenden Simulationen werden drei Optimierungsmassnahmen definiert, um die thermischen Leistungen zu steigern. Zudem werden die Luftströmungen mit Rauch sichtbar gemacht und die Behaglichkeit im Raum beurteilt.

Kaltluftabfall

Um das Strömungsverhalten entlang einer Fensterfassade zu verstehen, wurde der Kaltluftabfall bei den Raumlufttemperaturen 24°C und 18°C, sowie mit und ohne internen Wärmelasten bei unterschiedlichen U-Werten gemessen. Der Vergleich zwischen den theoretischen Berechnungsformeln und den Messungen zeigt teilweise Differenzen. Insbesondere die relevanten Berechnungen für die Luftgeschwindigkeiten im Abstand x zum Fenster für die Behaglichkeitsbeurteilung weisen 32 bis 55 % niedrigere Werte aus. Die Luftgeschwindigkeiten befinden sich dabei in einem niedrigen Messbereich. Bereits minimale Veränderungen durch Bewegungen oder durch thermische Quellen beeinflussen das Strömungsverhalten.

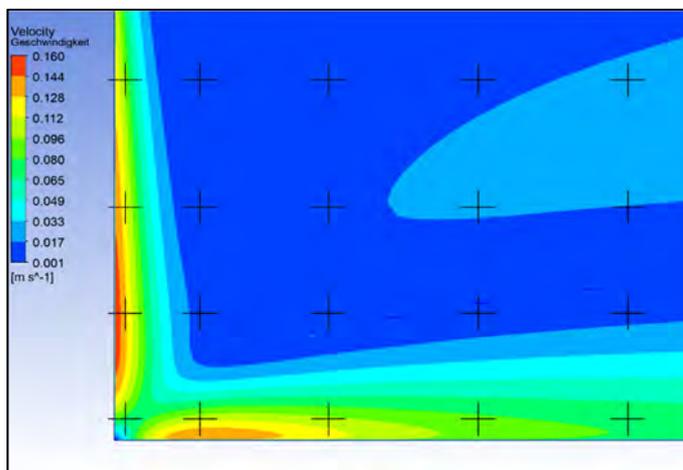


Abb. 1: CFD-Simulation Kaltluftabfall entlang einer Fensterfassade

Unterflurkonvektor IST-Zustand

Beim IST-Zustand konnte im Heizbetrieb eine leichte Luftwalze über den Unterflurkonvektor festgestellt werden. Die Luft wird aber deutlich, entlang der Fensterfassade, an die Decke gefördert und verteilt sich anschliessend im Raum. Im Kühlbetrieb entsteht jedoch eine starke Luftwalze über den Unterflurkonvektor. Dadurch wird die Temperaturdifferenz zwischen Raumlufttemperatur und der mittleren Wärmeübertragertemperatur reduziert und die Leistung nimmt folglich ab.



Abb. 2: Unterflurkonvektor IST-Zustand im Kühlbetrieb

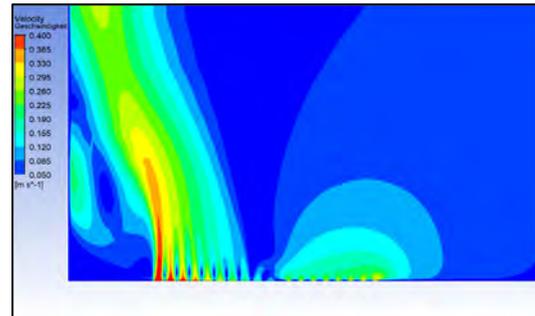


Abb. 3: CFD-Simulation IST-Zustand, Heizbetrieb

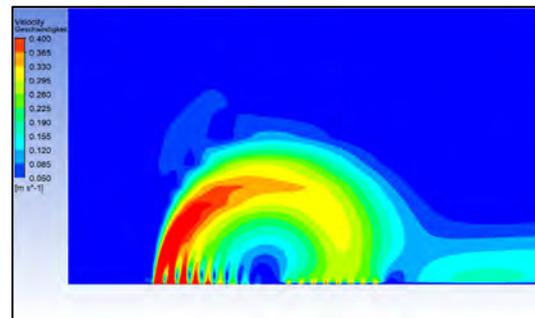


Abb. 4: CFD-Simulation IST-Zustand, Kühlbetrieb

Optimierungsmassnahmen

Aus den Messungen des Kaltluftabfalls, den Messungen des Unterflurkonvektors im IST-Zustand und den ergänzenden Simulationen wurden drei Optimierungsmassnahmen erarbeitet, um die thermischen Leistungen des Unterflurkonvektors zu erhöhen. Mit dem Umbau "Allco" als Optimierungsmassnahme, kann eine Heizleistungssteigerung von 23.5 % und eine Kühlleistungssteigerung von 19.8 % erreicht werden. Die Heizleistung wird hauptsächlich mit der Ausnutzung der kompletten Wärmeübertragerfläche optimiert. Die Kühlleistungssteigerung ist auf die hohe Austrittsgeschwindigkeit aus dem Unterflurkonvektor in den Raum zurückzuführen und auf die Verhinderung der Luftwalze. Es handelt sich dabei lediglich um eine thermische Leistungsoptimierung. Material- oder Herstellungskosten wurden nicht berücksichtigt. Somit kann eine signifikante thermische Optimierung erreicht werden, wobei noch eine grosse Vielfalt von Möglichkeiten besteht.

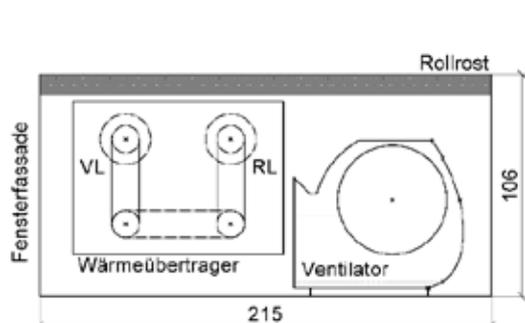


Abb. 5: Zeichnung Unterflurkonvektor IST-Zustand

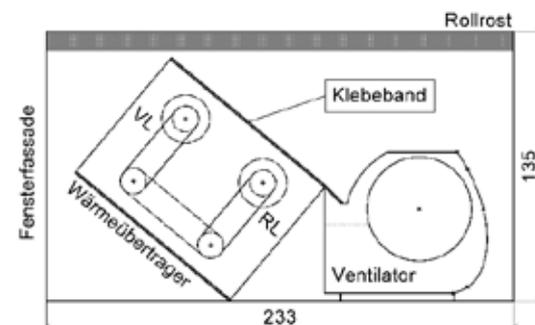


Abb. 6: Zeichnung Unterflurkonvektor Umbau "Allco"



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Einfrierverhalten und Geruchsübertragung von Enthalpie-Plattentauschern

Studierende	Stefano Argirò Corinna Stahel
Dozierende	Matthias Balmer Prof. Heinrich Huber
Experte	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Peter Müller, Polybloc AG, Fröschenweidstrasse 12, 8404 Winterthur)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

In der heutigen Zeit ist die Wärmerückgewinnung bei Lüftungsanlagen nicht mehr wegzudenken. In vielen Wohnungs-, Büro-, Spital- und Schulbauten werden Plattentauscher eingesetzt. Damit in den kalten und trockenen Wintertagen die aufbereitete Zuluft auch die Feuchte aus der Abluft rückgewinnen kann, werden Enthalpie-Plattentauscher verwendet. In der vorliegenden Arbeit werden das Einfrierverhalten und die Geruchsübertragung von diesem Wärmerückgewinnungssystem mit Hilfe von Labormessungen untersucht.

Im Rahmen der Bachelor-Thesis an der Hochschule Luzern werden an einem Enthalpie-Plattentauscher das Einfrierverhalten und die Geruchsübertragung untersucht. Ein weiterer Enthalpie-Plattentauscher wird nur für die Geruchsübertragung verwendet, um die zwei verschiedenen Membranen miteinander zu vergleichen. Beide Enthalpie-Plattentauscher werden von der Firma Polybloc AG zur Verfügung gestellt. Sie unterscheiden sich nur aufgrund der eingebauten Membrane, nicht aber in der Dimension.

Einfrierverhalten

«Keine Einfriergefahr in mitteleuropäischen Klimaverhältnissen» (Balmer, 2016, S.18). Diese Aussage wird in der Bachelor-Thesis anhand eines Enthalpie-Plattentauschers auf ihre Richtigkeit untersucht. Bei einem Plattenwärmetauscher muss gemäss (Hörner & Schmidt, 2014, S. 364) die Trennwandoberflächentemperatur unter der Taupunkttemperatur der vorbeiströmenden Luft liegen, dass eine Kondensation auftritt. Zudem muss die Trennwandoberflächentemperatur unter dem Gefrierpunkt liegen, also weniger als 0°C betragen, damit eine Eisbildung entstehen kann. Weiter hat die Feuchtigkeit in der Fortluft sowie der Temperatur einen entscheidenden Einfluss. Auch das Wärmekapazitätsstromverhältnis C'_{AUL}/C'_{FOL} sowie die Spaltgeschwindigkeit w_{SP} spielen eine massgebende Rolle beim Einfrierverhalten eines Plattentauschers.

Um das Einfrierverhalten eines Enthalpie-Plattenwärmetauschers nicht nur theoretisch zu untersuchen, sind diverse Messungen durchzuführen, welche in einem vereisten Enthalpie-Plattentauscher resultieren. Unter welchen Bedingungen der Enthalpie-Plattentauscher gefriert, bei welchen Bedingungen er wieder auftaut und bei welcher Abluftfeuchte der Enthalpie-Plattentauscher anfängt zu vereisen, wird mit Labormessungen beurteilt.



Abb. 1: Bildung von Eiszapfen beim Fortluftaustritt des Enthalpie-Plattentauschers

Nach einer der Messungen ist das Foto entstanden, welches die Vereisung des Enthalpie-Plattentauschers zeigt. In folgendem Diagramm 1, welches für diese Messung erstellt wurde, ist der Druckverlust auf der ABL / FOL-Seite zu sehen, in Abhängigkeit von der Aussenlufttemperatur, bei einem Zeitraum von 70 Minuten. Ab der 44. bis zur 48. Minute ist der Druck um 70 Pa angestiegen. In diesen vier Minuten hat sich das Kondensat zu Eis umgewandelt. Es ist interessant zu sehen, dass dies passiert, obwohl sich die Aussenluft von -14 °C auf -12 °C erwärmt hat und dann wieder auf -15 °C gesunken ist. Dabei ist das Kondensat noch mehr vereist, was den Druckverlust auf 500 Pa ansteigen lässt.

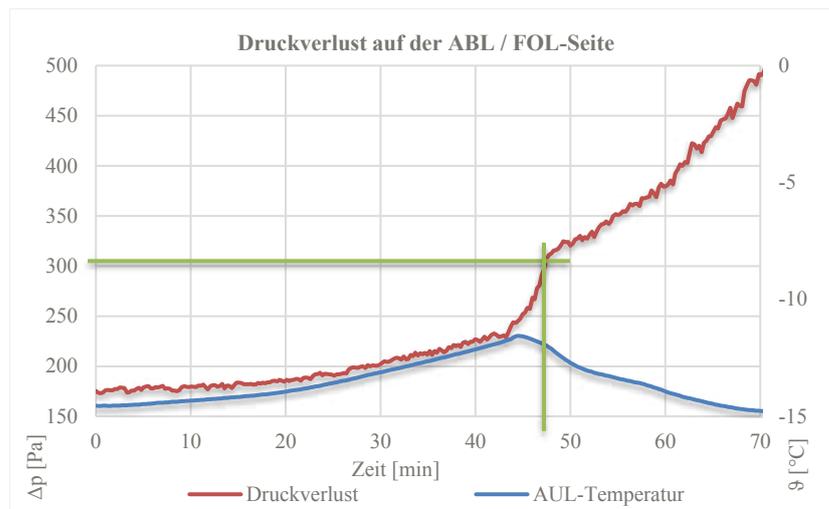


Diagramm 1: Druckverlust auf der ABL / FOL-Seite

Nachdem alle Messungen ausgewertet wurden, zeigte sich, dass der Enthalpie-Plattentauscher bei einer Aussenlufttemperatur von -6 °C, bei einer Abluftkondition von 22 °C und einer relativen Feuchte von 40% anfängt zu vereisen. Bei extremen Minustemperaturen unter -10 °C kann der Enthalpie-Plattentauscher schon bei einer Abluftfeuchte von 30% einfrieren. Allgemein gilt, je feuchter die Abluft, umso grösser das Risiko, dass der Enthalpie-Plattentauscher einfriert. Die Druckverlustzunahme auf der Fortluftseite ist geringer, je tiefer die Spaltgeschwindigkeit w_{SP} ist. Zudem dauert die Vereisung zeitlich länger, als wenn die Spaltgeschwindigkeit 2 m/s beträgt.

Die Frostschutzschaltung sollte zudem durch den Druckverlust des Enthalpie-Plattentauschers und nicht über die Aussenlufttemperatur gesteuert werden. Damit die Aussenluft über die Bypass-Klappe gelenkt wird, wenn ein drastischer Druckverlustanstieg durch den Enthalpie-Plattentauscher erkennbar ist. Wird die Frostschutzschaltung über die Aussenlufttemperatur gesteuert, kann es sein, dass keine Gefahr für eine Vereisung besteht, da die Abluftfeuchte sehr gering ist.

Geruchsübertragung

In der Lüftungstechnik spielen die Gerüche eine grosse Rolle. Die Geruchsemissionen im Gebäude wie auch im Aussenbereich werden durch die Lüftungsanlage angesogen und in die anderen Luftströme transportiert. Gewisse Gerüche können mit Aktivkohlefilter aus der Luft filtriert werden. Eine solche Filtrierung ist jedoch teuer, wartungsintensiv und nicht für jedes System geeignet. Die häufigsten Gerüche, die in der Abluft von Wohnhäusern, Spitälern und Büros angesogen werden sind Ausdünstungen von Möbeln und anderen Einbauten, sowie auch Küchengerüche, WC-Gerüche und vereinzelt auch Tabakrauchgerüche. In diesen Situationen ist es empfehlenswert, dass eine Wärmerückgewinnung eingesetzt wird, die keine Gerüche von der Abluft in die Zuluft transportiert. Allerdings wird dann meistens auf eine Feuchterückgewinnung verzichtet. Neuerdings gibt es jedoch Enthalpie-Plattentauscher, die das Ziel verfolgen, Wärme und Feuchte zurückzugewinnen, die Gerüche und Verunreinigungen jedoch nicht durch die Membrane übertragen.

Die zwei zur Verfügung gestellten Membranen werden in Bezug auf die Geruchsübertragung getestet. Dabei wird bei beiden Membranen eine olfaktorische und analytische Messung durchgeführt. Die Gerüche, die in dieser Bachelor-Thesis besonders unter die Lupe genommen werden, sind der Tabakrauch- und der Raumluftgeruch, der mit einem Zusatz von Eucalyptol und Menthol versehen ist. Der Tabakrauch wird mit einer brennenden Zigarette simuliert. Die Raumluft mit dem Gasgemisch als Zusatz wird von der schweizerischen Unfallversicherungsanstalt (SUVA) geliefert und im Labor getestet.

Die zentrale Frage dieser Messungen ist, welche der beiden Membranen weniger Gerüche von der Abluft in die Zuluft überträgt. Bei einer olfaktorischen Geruchsmessung ist die Wahrnehmung eines Geruchs sehr personenabhängig, da das Empfinden und die Geruchswahrnehmung bei jeder Person variiert. Das Ergebnis dieser Geruchsmessungen ist, dass die erste sowie die zweite Membrane sicher in einem Plattentauscher für einen Wohnungsbau, einen Hotelbau oder ein Spital im Zentralgerät verwendet werden kann. Vorsicht ist geboten, wenn der Nachbar in der Wohnung raucht. Hierbei können die Tabakrauchgerüche durch beide Membranen strömen, dabei wobei erste Membrane geringfügig resistenter ist.

Die analytische Geruchsmessung hat die olfaktorische Messung bestätigt und gezeigt, dass die erste Membrane dreimal weniger flüchtige organische Verbindungen durchlässt. Das heisst aber nicht, dass die zweite Membrane schlecht ist, denn auch wenn diese mehr von der Abluft in die Zuluft überträgt, ist die Konzentration gering und praktisch nicht wahrnehmbar. Olfaktorisch sowie auch analytisch ist zu sehen, dass die erste Membrane, die im Prüfling 1 eingesetzt wurde, die bessere ist und weniger Übertragungen zulässt. Generell heisst das aber nicht, dass die zweite Membrane, die im Prüfling 2 eingesetzt wurde, nicht geeignet ist für Wohnbauten, Bürobauten und Spitäler, denn auch diese Membrane hat wenig bis keine Gerüche in die Zuluft übertragen.

Quellenverzeichnis

Balmer, M. (2016). *Wärmerückgewinnung in der RLT Teil 2*. Horw: Hochschule Luzern, Technik & Architektur.

Hörner, B. & Schmidt, M. (2014). *Handbuch der Klimatechnik. Band 2: Anwendungen*. Berlin: VDE Verlag GmbH.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Umsetzung von eigenverbrauchsoptimierten PV-Anlagen

Studierende	Michael Friedli Michael Fontana
Dozierende	Roger Buser Markus Loser
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	HKG Engineering AG Patrick Baschnagel Hohenrainstrasse 12A 4133 Pratteln
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Umsetzung von eigenverbrauchsoptimierten PV-Anlagen

Der Fachartikel befasst sich mit folgenden Fragen der Bachelor-Thesis. Welche Variante einer Photovoltaik-Anlage ist für den Eigenverbrauch und für die Wirtschaftlichkeit am besten? Mit dem neuen Energiegesetz des Bundes rückt der Eigenverbrauch ins Zentrum. Durch Neigung, Ausrichtung und Technologie bieten sich viele Varianten zur Umsetzung. Unterschiedliche Wirkungsgrade und Preise sind auf dem Markt zu finden. Doch bringen Module mit dem höchsten Wirkungsgrad auch die kürzeste Amortisationszeit?

Die Bachelor-Thesis geht der Frage nach, welche Varianten für den Eigenverbrauch, wie auch für die Wirtschaftlichkeit am geeignetsten sind. Geprüft werden Dünnschicht- und kristalline Modultechnologien auf ihr Temperatur- und Schwachlichtverhalten. Ziel ist es, eine Basis für einen Offerten-Vergleich zu schaffen, die den Planenden eine Entscheidungsgrundlage bietet. Die

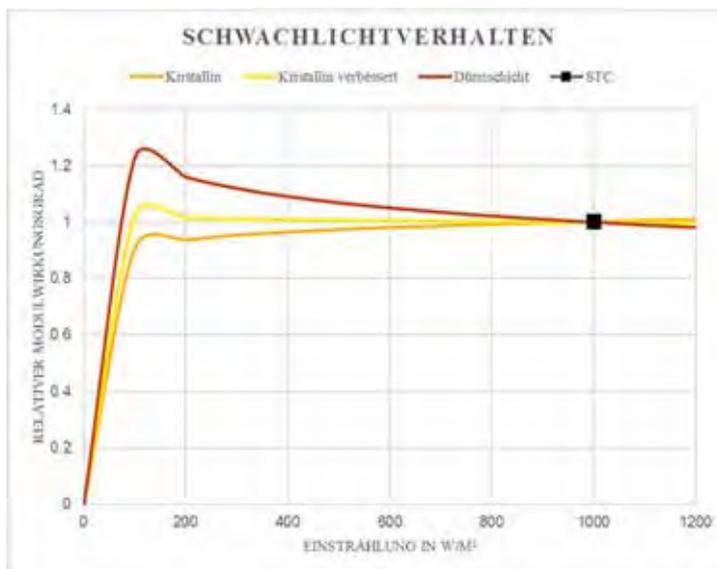


Abbildung 1: Schwachlichtverhalten

Berechnungen erfolgen im Softwaretool IDA ICE. Die Funktionen über das Schwachlichtverhalten sowie die Abhängigkeit der Leistung von der Temperatur werden in ein bestehendes Modell implementiert. Das Schwachlichtverhalten beschreibt den Modulwirkungsgrad in Relation mit der Einstrahlung. Diese Funktion ist bei Dünnschichtmodulen und kristallinen Modulen unterschiedlich. Auf Abbildung 1 ist ersichtlich, dass Dünnschicht Module bei niedrigerem Schwachlicht einen besseren Wirkungsgrad aufweisen (rote Kurve).

Simulationen

Eine erste Simulation zeigt Unterschiede zwischen den Modultechnologien. Für einen aussagekräftigen Vergleich, wird eine Referenzfläche definiert. Das Ergebnis der Simulation wird als Ertrag pro Viertelstunde dargestellt. Die elektrische Leistung bei «Standard Test Conditions» (STC) von Dünnschichtmodulen ist tiefer als bei kristallinen Modulen. Die Auswertung zeigt, dass sich das bessere Schwachlichtverhalten der Dünnschichtmodule nicht positiv genug auf den Ertrag auswirkt. Der daraus resultierende höhere Wirkungsgrad kann diese Differenz nicht ausgleichen. Die zweite Simulation befasst sich mit dem Eigenverbrauch. Die Simulationsergebnisse werden aus dem IDA ICE exportiert und im Excel mit unterschiedlichen Lastprofilen aus der Praxis verrechnet. Anschliessend folgt eine Wirtschaftlichkeitsberechnung. Folgende Gebäudekategorien werden als Lastprofile in die zweite Simulation integriert: Hotel, Verkaufsladen, Industrie, Schule, Büro. Jede Gebäudekategorie wird mit achtzehn unterschiedlichen Zusammensetzungen bestückt. Die Ausrichtung wird jeweils nach Süden und Ost-West variiert.

Konfiguration Büro

Zur Veranschaulichung sind die Ergebnisse der Gebäudekategorie Verwaltung mit Büronutzung ausgeführt. Auf Abbildung 2 sind Kennwerte der ganzen Dachfläche des Büros über ein Jahr dargestellt. Ersichtlich sind die Ergebnisse als Eigenverbrauchsquote, Solarstromanteil und Autarkiegrad. Folgende drei Anlagegrößen werden simuliert und ausgewertet: Die bestehende Dachfläche wird maximal ausgenutzt mit einer Anlagenleistung von 138 kWp, die Anlage wird auf die minimale Grösse der Minergie-Vorgaben 10 W pro Energiebezugsfläche ausgelegt und ergibt eine Anlagengrösse von 12,6 kWp, die Anlage wird vergrössert und auf eine Referenzleistung von 300 kWp dimensioniert. Aus den Auswertungen folgt, dass die nach Süden ausgerichteten Module höhere Ertragsspitzen generieren. Ausserdem deckt sich das Ertragsprofil derselben Variante am besten mit dem Lastprofil. Der Eigenverbrauch ist dadurch höher. Eine nach Ost-West ausgerichtete Anlage produziert mehr Strom, da mehr Modulfläche auf die Dachfläche passt. Wird die Anlage nun auf Minergie-Vorgaben verkleinert, liegt das Ertragsprofil unterhalb des Lastprofils, was einen Eigenverbrauchsanteil von 100% bedeutet. Wird die Anlage auf 300 kWp vergrössert, liegt das Ertragsprofil weit über dem Lastprofil. In diesem Fall ist die Anlage überdimensioniert. Beim Modulvergleich nach Minergie oder 300kWp zeigt sich, dass die Dünnschichttechnologie mehr Strom erzeugt als die kristallinen Module, weil die gleiche Anlagenleistung verglichen wird.

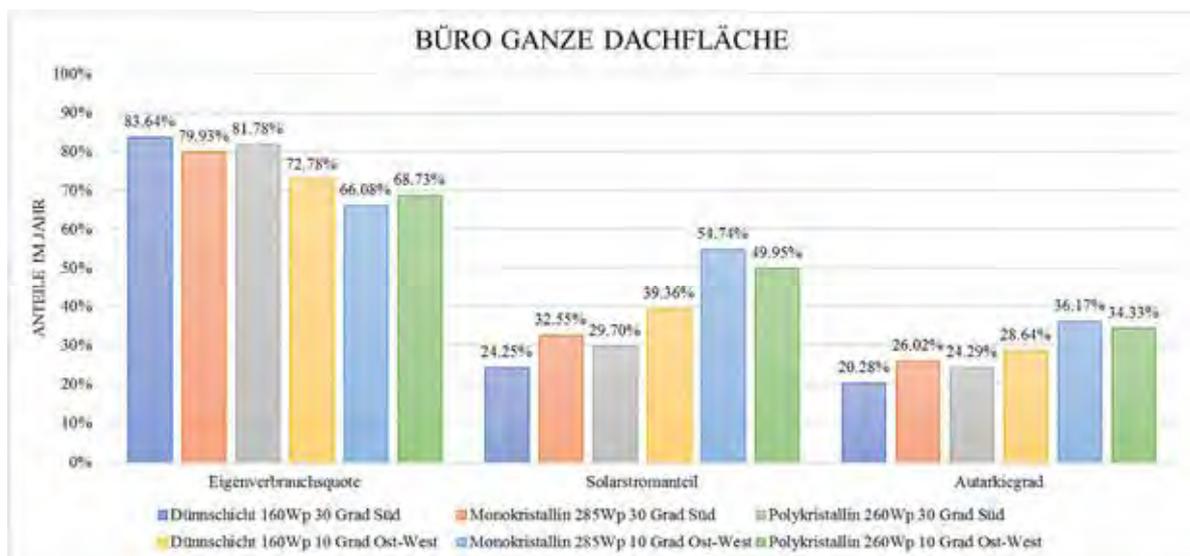


Abbildung 2: Kennwerte Büro ganze Dachfläche

Wirtschaftlichkeit

Bei einer wirtschaftlichen Betrachtung sind die Bedürfnisse der Bauherren abzuklären. Die Amortisationszeit bei einer voll ausgenutzten Dachfläche (Abbildung 3) ist bei einer Süd-Ausrichtung kürzer als bei einer Ost-West Ausrichtung. So ist beispielsweise die 30 Grad Süd-polykristalline Anlage bereits nach acht Jahren amortisiert. Längerfristig generiert die Variante Ost-West jedoch höhere Renditen.

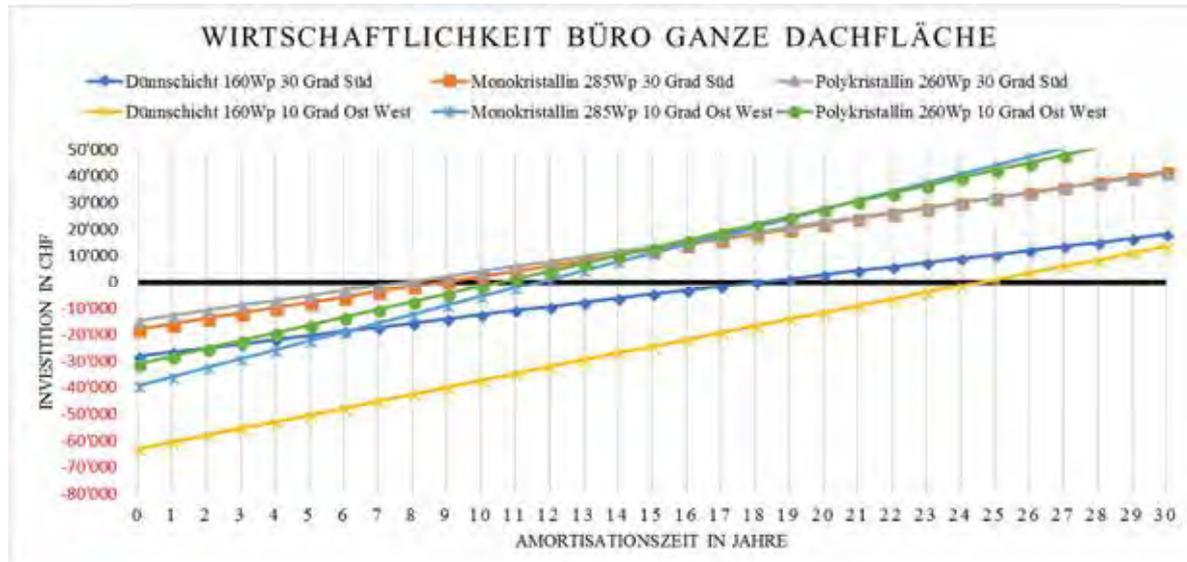


Abbildung 3: Wirtschaftlichkeit Büro ganze Dachfläche

Bei der Anlagegrösse Minergie zeigt sich, dass die Dünnschichtmodule am schlechtesten abschneiden. Eine Anlage mit monokristallinen und polykristallinen Modulen, mit der Neigung von 30 Grad Süd, ist durchgängig am wirtschaftlichsten.

Fazit

Die passendste Konfiguration der PV-Anlage ist abhängig vom Lastprofil. Daher ist es lohnenswert, sich vor der Planung mit dem Lastprofil, dem Standort des Gebäudes sowie den Bedürfnissen der Bauherren auseinanderzusetzen. Damit die Anlage möglichst eigenverbrauchsoptimiert ist, muss das Erzeugerprofil mit dem Lastprofil möglichst deckungsgleich sein. Es lohnt sich, eine grössere Anlage vorzusehen, wenn die Nutzung einen grossen Grundenergiebedarf hat. Aus den Berechnungen geht hervor, dass nicht die grösste Anlage am rentabelsten ist, sondern jene die intelligent dimensioniert wird. Eine wichtige Rolle spielen dabei die Vergütungen des lokalen Elektrizitätswerkes. Sind die Stromgestehungskosten tiefer als die Höhe der Vergütung, so ist zu empfehlen den erzeugten Strom ins Netz einzuspeisen. Ebenfalls hat sich aus den Berechnungen ergeben, dass bei der Auslegung nach Minergie Standard der Eigenverbrauch einer Anlage am optimalsten ist. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass trotz des besseren Schwachlichtverhaltens der Dünnschichtmodule, diese für Dachaufbauten nicht geeignet sind. Die Dünnschichtmodule sind gegenüber den kristallinen Modulen wirtschaftlich nicht konkurrenzfähig. Beim Offerten-Vergleich sollte ein besonderes Augenmerk auf die Wechselrichtergrösse gelegt werden. Allenfalls kann der Wechselrichter kleiner dimensioniert werden und dadurch können Kosten gesenkt werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Raumklimatische Wirkung von begrünten Flächen und Wasserwänden

Studierende	Martin Paul Bötschi
Dozierende	Prof. Dr. Rüdiger Külpmann Prof. Gerhard Zweifel
Experte/-in	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Moritz Küderli, Hydroplant, Neubrunnenstrasse 50, Zürich)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Raumklimatische Wirkung von begrünten Flächen und Wasserwänden

Das Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit war es, theoretische Grundlagen, Installationsaufwand sowie energetische und raumklimatische Wirkung von begrünten Flächen und Wasserwänden in Innenräumen zu untersuchen. Zudem sollte ein Simulationsmodell zur Berechnung der energetischen und raumluftechnischen Wirkung erarbeitet werden. Dazu wurde eine ausführliche Literaturrecherche durchgeführt und mit einem Expertengespräch bestätigt. Aus Gründen des Umfangs dieser Arbeit wurden in Absprache mit dem betreuenden Professor Wasserwände nicht thematisiert. Die Ergebnisse bestärken die Fähigkeit begrünter Flächen, aktiv die Luftfeuchtigkeit und Temperatur in Innenräumen zu beeinflussen. Die Bachelorarbeit ist für Gebäudetechnikingenieure, Architekten und Produzenten von Flächenbegrünungen für Innenräume interessant.

Die Arbeit stellt sich der Aufgabe einen erweiterten Blick auf Arbeitsräume zu ermöglichen und nebst den bekannten mechanischen Massnahmen wie z. B. der Klimaanlage eine biologische Komponente zu ergänzen. Es soll aufgezeigt werden, wie sich eine Flächenbegrünung in einem Raum verhält, was die Auswirkungen auf Mensch und Klima sind und wie die Erkenntnisse in die Praxis übertragen werden können.

Ergebnisse der Literaturrecherche

Aktuell werden Innenraumbegrünungen noch mehrheitlich nur zu gestalterischen Zwecken eingesetzt, dabei handelt es sich meist um konventionelle Topfpflanzen. Diese haben eine sehr geringe Blattfläche im Vergleich zum Raum. Darum ist die physikalische Wirkung dementsprechend gering. Immer häufiger werden neu ganze Pflanzenkonstruktionen in Büroräumen, Lobbys und sogar Spitälern, zur gezielten Steigerung des Wohlbefindens, eingebaut. Diese Vertikalbegrünungen haben ein sehr hohes Verhältnis von Blattfläche zu Raumfläche, benötigen aber nur einen Bruchteil der Hauptnutzfläche. Durch den viel höheren Pflanzendichte steigt auch die Wirkung auf Raum und Mensch. Nachweislich können Pflanzen die Luftfeuchte signifikant verbessern (Bucher et al. 2016), eine Kohlendioxidminderung respektive Sauerstoffproduktion ist in Innenräumen aber kaum zu erwarten. Der Stoffwechsel der Gewächse ist in Innenräumen zu stark gedrosselt (Bötschi 2018). Weiter können Pflanzen eine ganze Palette an Schadstoffen aus der Raumluft filtern, diese Wirkung ist jedoch noch nicht umfassend erforscht worden (Wolverton et al. 1989). Des Weiteren wurde ein Projekt einer Pflanzenwand im Inselspital Bern betreut, mit brisantem Ergebnis. Das Pflanzensystem genügte den hohen Anforderungen des Spitals nicht und musste durch ein anderes ersetzt werden. Die aktuelle hygienische Situation ist nicht bekannt.

Berechnungsmethoden zur Abschätzung von Feuchtegängen und der resultierenden Kühlung in Innenräumen gibt es noch nicht. Modelle mit ähnlicher Anwendung werden in der Agrarmeteorologie und Pflanzenmodellierung für forstwirtschaftliche Zwecke eingesetzt (Calanca et al. 2011); (Pretzsch 2001). Das erwartungsvollste (Penman-Monteith-Modell) wurde in dieser Arbeit näher untersucht.

Raumklimatische Wirkung von begrünten Flächen und Wasserwänden**Modell zur Simulation pflanzenbedingter Raumklimaveränderungen**

Das erarbeitete Simulationsmodell ist als Erweiterung zum Gebäudesimulationsprogramm IDA ICE konzipiert. Es beruht auf den Grundlagen des Penman-Monteith-Modells. Es berücksichtigt demnach die Zustandsgrößen Temperatur, Strahlung, atmosphärischen Druck und Feuchtigkeit der Raumluft. Der Raum erfährt durch das Modell eine Änderung der Luftfeuchtigkeit und wegen der Verdunstungskühlung eine Temperaturänderung. Das Modell lässt sich auf sämtliche Raumszenarien anwenden und ist innert 2 Minuten einsatzbereit.

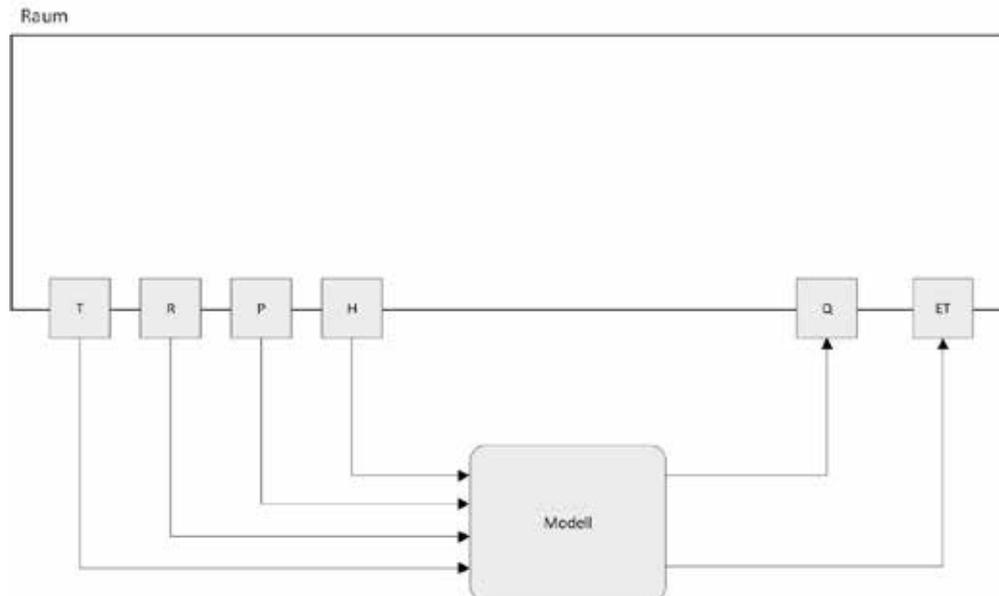


Abb. 1: Berechnungsprinzip pflanzenbedingter Raumklimaveränderungen T (Temperature), R (Radiation), P (Pressure), H (Humidity), Q (Energy) und ET (Evaporation)

Ergebnisse der Simulation

Das Modell wurde für einen gewöhnlichen Büroraum (SIA Nutzung 3.2 Grossraumbüro) mit 33 m² Hauptnutzfläche und 1-fachem Luftwechsel getestet. Dabei liessen sich unter anderem folgende Erkenntnisse ableiten:

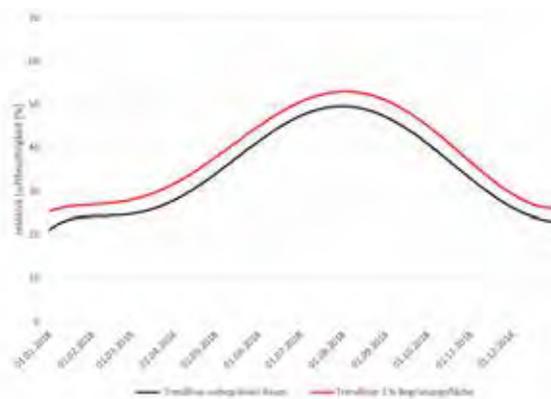
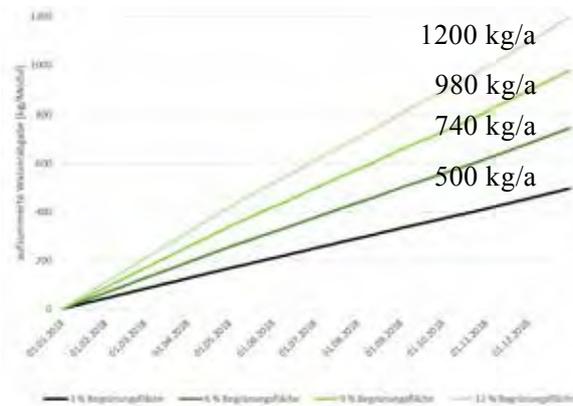


Abb. 2: charakteristische Feuchtegänge im begrünten und unbegrünten Büro

Durch Einsatz einer Pflanzenwand, hier am Beispiel mit 1 m² Grundfläche (entspricht 3 %) dargestellt, kann eine konstante Erhöhung der Luftfeuchtigkeit berechnet werden. Bereits ein Begrünungsanteil von 3 % löst eine signifikante Erhöhung der Luftfeuchtigkeit aus. Im Vergleich mit (Bucher et al. 2016) zeigen sich aber gewisse Mängel des Modells. Die Literatur legt nahe, dass sich im Sommer der Feuchteanstieg verringert. Es wird von der Selbstregulation der Pflanzen gesprochen. Dies wird zwar im Modell berücksichtigt, zeigt aber zu geringe Wirkung.

Raumklimatische Wirkung von begrünten Flächen und Wasserwänden



Das aufsummieren des transpirierten Wassers über den Simulationszeitraum zeigt einen stark linearen Zusammenhang. Dies deckt sich mit der Erkenntnis der mehrheitlich konstanten Feuchteerhöhung. Wichtig zu erkennen ist der nicht direkt proportionale Zusammenhang zwischen der Wasserabgabe und der Begrünungsfläche. Eine Verdoppelung der Begrünungsfläche resultiert nicht in einer Verdoppelung der Wasserabgabe. Dies ist ein wichtiger Erkenntnis der Arbeit und deckt sich mit den Ergebnissen in (Bucher et al. 2016), welche ein ähnliches Thema untersuchten.

Abb. 3: Vergleich der jährlichen Wasserabgabe bei unterschiedlichem Begrünungsanteil

Planungshinweise

Aus den erarbeiteten Daten können Planungshinweise generiert werden. Diese sind jedoch noch nicht verifiziert und sind darum mit Vorsicht zu gebrauchen. Folgend ist ein Beispiel aus den abgeleiteten Daten dargestellt.

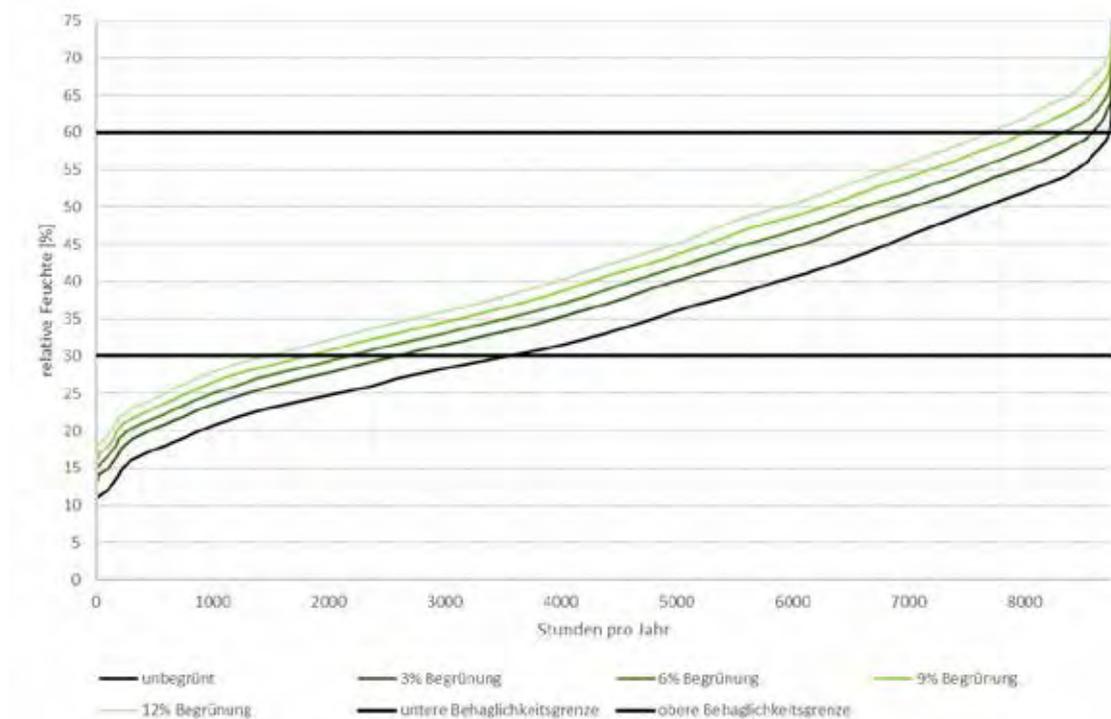


Abb. 4: Summenhäufigkeitsdiagramm der relativen Feuchtigkeit eines Büroraumes mit 1-fachem Luftwechsel und ohne Raumkühlung am Standort Luzern

Raumklimatische Wirkung von begrünten Flächen und Wasserwänden

Die vorhergegangene Abbildung zeigt den Verlauf der relativen Feuchtigkeit des simulierten Raumes in Abhängigkeit der Zeit dar. Die beiden schwarzen Linien markieren das Behaglichkeitsfeld nach (Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein 2014). Durch Einbau einer funktionalen Begrünung verschiebt sich die Kurve nach links, was einer Reduktion der Stunden unterhalb der Behaglichkeitsgrenze resp. einer Erhöhung der Stunden über der Behaglichkeitsgrenze entspricht. Durch eine Begrünung lässt sich in diesem Szenario eine Verringerung der Stunden unterhalb der Behaglichkeitsgrenze von 1120 mit 1 m² Begrünungsfläche und 2170 mit 4 m² erreichen. Dies verdeutlicht verringerte Leistungsfähigkeit der Begrünung mit zunehmender Fläche des Pflanzensystems. Um eine Verdoppelung der verringerten Stunden zu erreichen, benötigt es beinahe die vierfache Fläche.

Literaturverzeichnis

Bötschi, Martin Paul (2018): Allgemeine Fragen zu Innenraumbegrünungen. Interview mit Christian Körner. Botanisches Institut Basel. Tonaufnahme.

Bucher, Annette; Kohlrausch, Franziska; Kuckelkorn, Jens Michael; Troll, Raphael (2016): Berechenbare Unterstützung der Klimatisierung von energetisch hocheffizienten Gebäuden durch dezentrale, funktionale Innenraumbegrünung. Stuttgart: Fraunhofer IRB Verlag (Forschungsinitiative ZukunftBau, 2970).

Calanca, Pierluigi; Pascalle, Smith; Annelie, Holzkämper; Christof, Ammann (2011): Die Referenzverdunstung und ihre Anwendung in der Agrarmeteorologie. In: *Agrar Forschung Schweiz* (4), S. 176–183. Online verfügbar unter https://www.agrarforschungschweiz.ch/artikel/deckblatt_pdf_27.pdf, zuletzt geprüft am 10.05.2018.

Pretzsch, Hans (2001): Modellierung des Waldwachstums. Berlin: Parey.

Schweizerischer Ingenieur- und Architekten-Verein (2014): Lüftungs- und Klimaanlageanlagen - Allgemeine Grundlagen und Anforderungen. 1. Auflage. Zürich: SIA (Schweizer Norm).

Wolverton, Bill; Johnson, Anne; Bounds, Keith (1989): Interior Landscape Plants for Indoor Air Pollution Abatement. Hancock County, Mississippi: National Aeronautics and Space Administration.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_18_17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Langzeiterfahrungen mit verschiedenen Wohnungslüftungskonzepten

Studierende	Nina Schmid Patrick Vorbürger
Dozierende	Prof. Heinrich Huber Matthias Balmer
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Zehnder Group AG, Moortalstrasse 3, 5722 Gränichen)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Langzeiterfahrungen mit verschiedenen Wohnungslüftungskonzepten

Die Häufigkeit installierter mechanischer Wohnungslüftungen nimmt seit fünfzehn Jahren wegen der immer luftdichteren Bauweise von Neubauten zu. Erstinstallierte Anlagen jener Zeit erreichen heute die theoretische Mindestlebensdauer. Wie der aktuelle Zustand und die Funktion von Anlagen, die länger als fünf oder gar zehn Jahre in Betrieb sind, aktuell ist und was es mit dem Imageproblem auf sich hat, weiss man nicht genau. Eine systematische Untersuchung dessen leistet einen ersten Beitrag dazu.

Viele Komponenten und Bestandteile der erstinstallierten Wohnungslüftungsanlagen unterstehen dem Sekundärsystem und erreichen langsam die angenommene Mindestlebensdauer von fünf-zehn Jahren. Bis auf einige Erfolgskontrollen bei Pilotprojekten im Zeitraum von 1995 bis 2005 wurden keine systematischen Untersuchungen von Wohnungslüftungen durchgeführt. Diese Kontrollen bezogen sich teils auf die Akzeptanz von Wohnungslüftungen. Da die Lüftungstechnik für den Nutzer nur ein schwierig fassbares Thema ist, können falsche Rückschlüsse ein naheliegender Grund für das im Fachkreis bekannte Imageproblem der Lüftung sein.

Für zukünftige Anlagen könnte von Erkenntnissen aus Untersuchungen von älteren Anlagen profitiert werden. Mit der Untersuchung von Funktion und Zustand solcher Anlagen soll eine Aussage über die Langzeiterfahrung gemacht werden.

Ungenutztes Erfahrungspotential

Nachdem eine Wohnungslüftungsanlage in Betrieb genommen worden ist, haben die dafür zuständigen Fachleute meistens keine weiteren Kenntnisse über das Betriebsverhalten und den Zustand der Anlage. Ziel der Untersuchung von älteren Anlagen ist es, diesbezüglich Erkenntnisse in Form von konstruktiven Empfehlungen und Inputs für Regelwerke und den auf den Markt beteiligten Fachleuten zu entwickeln. Es wird erwartet, dass in Form von präventiven Massnahmen die Lebensdauer, die Unterhaltskosten und das Imageproblem reduziert werden kann.

Vorgehen und Methode bei der Untersuchung und Auswertung

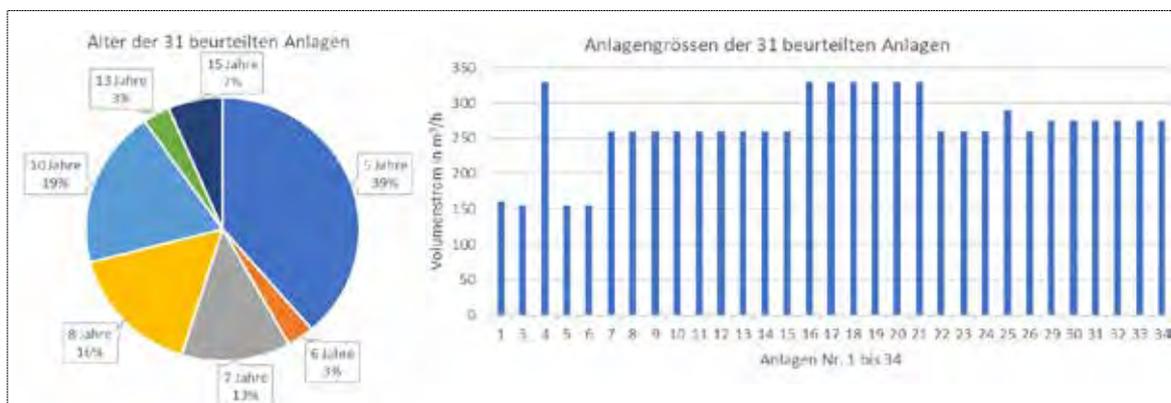


Abb. 1: Alter und Grösse der beurteilten Anlagen

Anhand einer reproduzierbaren Methode wurde der Zustand und die Funktion von 31 Anlagen einfacher Wohnungslüftungen erfasst und beurteilt. Ein ausgearbeiteter Vorlagebericht zur Erfassung

relevanter Kriterien und Beurteilungsgrößen diente als Hilfsmittel zur Datenerhebung. Dieser fungierte als Basis für eine Bewertungsmatrix, in der die erfassten Variablen mit entsprechenden Skalen bewertet sind. Anhand der Matrix konnten die Ergebnisse statistisch ausgewertet und Hypothesen aufgestellt werden. In der Auswertung wurde vereinfacht angenommen, dass zwischen den Eingangsvariablen keine gegenseitige Beeinflussung möglich ist. Die relevanten Kriterien des Anlagenzustands (z.B. eingestellte Betriebsstufe) sind anhand einem Rangfolgeverfahren definiert worden. Im Rahmen einer nachfolgenden Diskussion wurde jede Hypothese überprüft und entsprechend angenommen oder verworfen. Resultierend aus diesen angenommenen Hypothesen sind die Empfehlungen und Inputs formuliert worden. Mittels Differenzierung des Einflusses der erfassten Daten bezüglich Hygiene, Funktion und Imageproblem konnten nachvollziehbare Rückschlüsse erstellt werden, ob eine entwickelte Empfehlung die Lebensdauer der Anlage optimieren oder das Imageproblem der Wohnungslüftungen reduzieren kann.

Inputs zur Optimierung der Lebensdauer

Aus der Analyse resultieren folgende vier Hypothesen. In der Tabelle ist dargestellt, wie die Variablen von den jeweiligen genannten Kriterien beeinflusst sind. Da in dieser Arbeit nur eine kleine Anzahl von Stichproben mit 31 Anlagen vorhanden ist, kann nur bedingt angenommen werden, dass die resultierenden Hypothesen für die Grundgesamtheit gelten. Die Signifikanz zeigt auf wie repräsentativ eine Hypothese ist.

Tab. 1: Abhängigkeit der vier Hypothesen in Bezug auf die Lebensdauer

Kriterium	Beeinflussung Variable	Signifikanz
Hohe Ventilatorstufe	Verschmutzung WRG steigt	2 von 31 Anlagen
Wechsel Filter 2.Stufe > 1 Jahr	Verschmutzung in Gerät und Rohren steigt	4 von 31 Anlagen
1. Filterstufe in Aussenluft	Verschmutzung im Gerät sinkt auf null	6 von 31 Anlagen
Servicevertrag für Gerät	Verschmutzung im Gerät sinkt	18 von 31 Anlagen

Alle untersuchten Geräte wurden mit vom Volumenstrom unabhängigen, konstanten Drehzahlen betrieben. Neue Wohnungslüftungsgeräte auf dem Markt können die Drehzahl abhängig vom benötigten Volumenstrom anpassen. Dies hat neben der verbesserten Behaglichkeit und Energiebilanz einen weiteren Vorteil: Die Verschmutzung vom Wärmetauscher im Gerät kann reduziert werden, wenn die Lüftung mit einer kleineren Stufe betrieben wird. Dem Gerätehersteller wird empfohlen, alle neuen Geräte mit Feuchte- und CO₂-Sensoren zu erweitern. Dies ermöglicht eine bedarfsgerecht geführte Anlage sowie ein vollautomatisch gesteuerter Betrieb.

Im Merkblatt SIA 2023 (2008, S.47) wird empfohlen, den Aussenluftfilter zweiter Stufe alle zwei Jahre zu wechseln. Dies widerspricht der Erkenntnis aus der Analyse, dass bei einem jährlichen Filterwechselintervall die Verschmutzung im Gerät und in den Rohren reduziert werden kann. Eine weitere Erkenntnis ist, dass bei Anlagen mit einer ersten Filterstufe in der Aussenluft (Vorfilter) keine Verschmutzung im Gerät möglich ist (siehe Abb.2). Als Grundvoraussetzung gilt ein regelmässiger Wechsel der ersten Filterstufe. Gemäss SIA MB 2023 (2008, S.47) soll dieser einmal im Jahr gewechselt werden. Der Wechsel sollte in Form eines einfachen Servicevertrages vorgenommen werden. Wenn keine erste Filterstufe Aussenluft eingesetzt ist, wird deshalb den Eigentümern der Anlage empfohlen, dass ein Servicevertrag mit jährlicher Prüfung und allfälliger Reinigung des Geräts abzuschliessen ist.

Mit den vier genannten Inputs kann mit einer geringen Investition neben Energiekosten auch an Unterhaltskosten eingespart und die Lebensdauer dieser Komponenten verlängert werden.

Inputs zur Reduzierung des Imageproblems

Bei der Übergabe der Anlagen an den Eigentümer ist im SIA Merkblatt 2023 (2008, S.41) vorgegeben, dass eine Instruktion über die Wohnungslüftungsanlage erfolgen muss, welche auch schriftlich abzugeben ist. Die Analyse zeigt, dass diese Instruktion bei den Nutzern keine Anwendung findet. Zur Reduzierung des Imageproblems muss das Bewusstsein des Nutzers über die Funktionsweise der Anlage erhöht werden. Eine Lösung wäre eine einfache Anleitung bezüglich Unterhalt und Betrieb direkt am Gerät anzubringen. Ausserdem sollte zur Nachvollziehbarkeit, welche Arbeiten an der Anlage vorgenommen worden sind, ein Servicebuch geführt werden. Dies ist im Merkblatt nicht spezifisch erwähnt und dementsprechend auch bei keiner Anlage umgesetzt worden. Mit den genannten Inputs kann das Bewusstsein des Nutzers bezüglich der zu erledigenden Unterhaltsarbeiten gesteigert und das Imageproblem reduziert werden.

Optimierung und Empfehlungen für die Zukunft

Die wichtigste präventive Optimierung für zukünftige Anlagen ist die Empfehlung, einen Filter erster Stufe (Vorfilter) in der Aussenluft vorzusehen (siehe Abb. 2, alle 6 Anlagen sehr sauber).

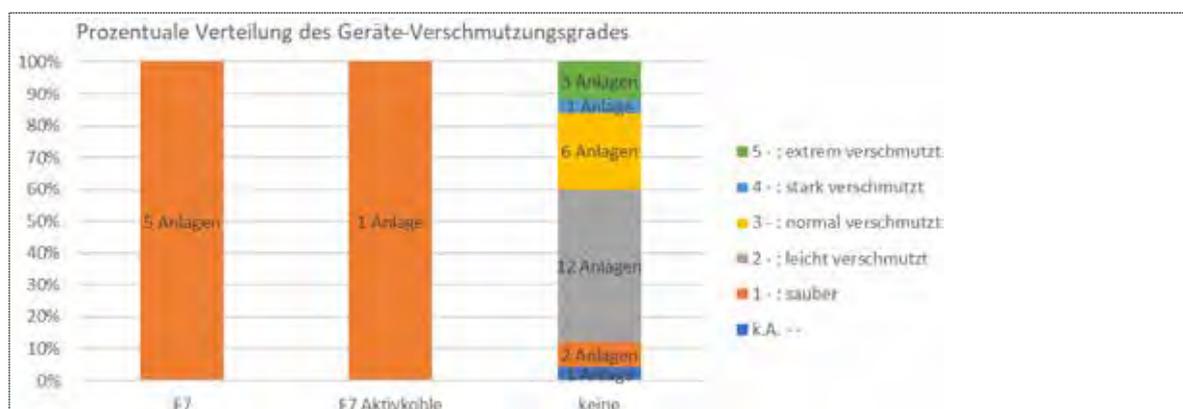


Abb. 2: Prozentuale Verteilung des Verschmutzungsgrades im Gerät in Abhängigkeit der 1. Filterstufe

Die kleine Anzahl von Stichproben generiert eine Unsicherheit bezüglich Signifikanz der aufgestellten Hypothesen. Damit die Wahrscheinlichkeit einer repräsentativen Hypothese gegeben ist, wird empfohlen diese mit einem grösseren Stichprobenumfang zu überprüfen. Mit der aufgezeigten Methode zur Untersuchung der Anlagen könnte dies in kurzer Zeit durchgeführt werden.

Weiterführend sollte die gegenseitige Beeinflussung der Eingangsvariablen anhand einer Regressionsanalyse miteinbezogen werden. Da ordinale Grössen vorhanden sind, muss ein entsprechendes Modell gewählt werden. Eine solche Regression sollte mit einer Software zur statistischen Auswertung gelöst werden, wie zum Beispiel SPSS Statistics. Diese ermöglicht es, grosse Datenmengen mit rechenintensiven Methoden zu analysieren, was im Rahmen dieser Arbeit aufgrund von Zeitmangel nicht möglich war. Im SPSS steht zur Aufklärung von ordinalen Variablen die Prozedur PLUM (Polytomous Universal Model) zur Verfügung (Baltes-Götz, 2012, S.72).

Literatur- und Quellenverzeichnis

Baltes-Götz, B. (2012). Logistische Regressionsanalyse mit SPSS. Trier: Universität Trier - Zentrum für Informations-, Medien- und Kommunikationstechnologie.

SIA MB 2023. (2008). Lüftungen in Wohnbauten. Zürich: Schweizerischer Ingenieur- und Architektenverein.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Erweiterte Präsenzerfassung mittels bestehender Gebäudeautomation

Studierende	Simon Amacher Lorenz Bühler
Dozierende	Olivier Steiger Reto Marek
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Pius Widmer Immobilien Stadt Luzern Hirschengraben 17 6002 Luzern
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Erweiterte Präsenzerfassung mittels bestehender Gebäudeautomation

Bei der konventionellen Präsenzerfassung wird die Anwesenheit von Personen im Raum erfasst. Die erweiterte Präsenzerfassung liefert darüber hinaus Information zur Anzahl anwesender Personen, deren Position und Handlungen. Diese Zusatzinformation kann beispielsweise mittels Bildanalyse oder durch Sensornetzwerke erfasst werden. Es ist aber auch möglich, die Information über bereits vorhandene Sensoren der Gebäudeautomation zu gewinnen.

In dieser Arbeit wurde untersucht, inwiefern sich die Daten aus bestehenden GA-Systemen nutzen lassen, um eine erweiterte Präsenzerfassung durchzuführen. Im Vordergrund stand die Verknüpfung der Daten von konventionellen PIR-Präsenzmeldern, Luftqualitätssensoren, Temperatur- und Feuchtesensoren, Tür- und Fensterkontakten sowie Bediengeräten. Weitere Sensoren und Angaben aus Planungswerkzeugen wie das Outlookprogramm wurden ebenfalls berücksichtigt.

Versuchsaufbau C401b

Für die Untersuchung wurde ein Raum als Versuchslabor so eingerichtet, dass mehrere Messungen im Bereich erweiterte Präsenzerfassung durchgeführt werden können. Der Raum C401b an der Hochschule Luzern ist ein modifizierter Testraum für verschiedene Versuche im Bereich der Gebäudeautomation. Die Grundfläche des Raums beträgt 28.8m² und die Decke darin ist höhenverstellbar von 1.5 bis 3.6 m. Für die Messversuche sind im Testraum unterschiedliche Sensoren installiert. Betrachtet werden zwei PIR-Präsenzmelder mit integrierter Helligkeitsmessung, ein kombinierter Luftqualitäts-, Temperatur- und Feuchtesensor sowie ein Tür- und zwei Fensterkontakte. In der Abbildung 1 sind diese Sensoren mit den wichtigsten Spezifikationen ersichtlich. Sämtliche Sensoren sind direkt oder via Gateway mit einem KNX Bus verknüpft. Die Controller der Automationsebene befinden sich ausserhalb des Raums in einem Schaltschrank. Alle Daten der Sensoren werden dabei gesammelt und weiterverarbeitet. Für die Managementebene wird das Programm Desigo CC der Siemens verwendet, um die erfassten Daten weiterzuverarbeiten.

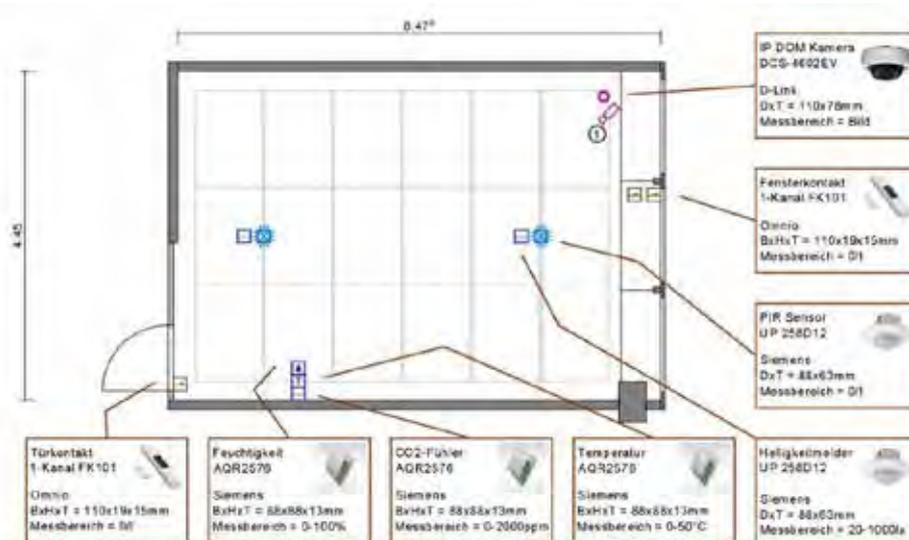


Abb. 1: Versuchsraum C401b mit integrierten Sensoren

Erweiterte Präsenzerfassung mittels bestehender Gebäudeautomation**Durchführung der Messungen**

Anhand von Drehbüchern wurden Messszenarien vorgegeben, welche der Realität entsprechen sollen. In diesen simulierten Alltagssituationen wurden die Daten der Sensoren aufgezeichnet und anschliessend analysiert. Die Plausibilitätsprüfung der Messversuche erfolgte über eine Bildanalyse der installierten Videokamera. Der Hauptzweck dieser festgelegten Szenarien war, gleichwertige Messungen miteinander zu vergleichen, um ein Verhaltensmuster der Sensoren zu erkennen. Über den ganzen Monat April wurden zehn geplante Messungen durchgeführt. Über den hochschul-internen Outlook Kalender lässt sich der Raum C401b mieten. So kamen Neun weitere Messungen über zufällige Nutzungen des Raums als Sitzungszimmer zu Stande.

Datenanalyse einzelner Sensoren

Da die einzelnen Funktionen der Sensoren bekannt sind, war es möglich, erste logische Annahmen zu treffen. Aus den Helligkeitssensoren, dem Temperatur- und Feuchtesensor, dem Outlook Kalender und den Tür- und Fensterkontakten konnten kein direkter Mehrwert generiert werden. Bei äusseren Einflüsse werden diese so stark beeinträchtigt, dass keine Regelmässigkeiten in den Messdaten zu erkennen ist.

Sensorkombinationen

Von allen getesteten Sensorkombinationen haben sich hauptsächlich zwei Sensoren bezüglich der erweiterten Präsenzerfassung durchgesetzt. Die zwei PIR-Melder und der CO₂-Fühler können, unter gewissen Rahmenbedingungen, die Hauptkriterien der erweiterten Präsenzerfassung erfüllen. Weitere Sensoren wie der Fenster- oder der Türkontakt können als Hilfssensoren eingesetzt werden. Abweichungen bezüglich der Messdaten sind einfacher nachzuvollziehen und eine erste Personendetektion erfolgt über diese. Mit der Verknüpfung der ermittelten Sensoren ist es möglich grosse Personengruppen von Einzelpersonen zu unterscheiden und die Tätigkeit von Personen zu bestimmen. So können diese Sensorkombinationen eine Aussage machen ob die Probanden einer sitzenden oder einer bewegungsintensiveren Aktivität nachgehen. In Abbildung 2 ist der Versuch Meeting 1 mit zwei Personen ersichtlich. Die Personen befinden sich in der Mitte des Raums und sitzen an den Tischen. Der Ein- und Austritt erfolgt gemeinsam. Der CO₂-Wert steigt kontinuierlich bis der Raum verlassen wird.

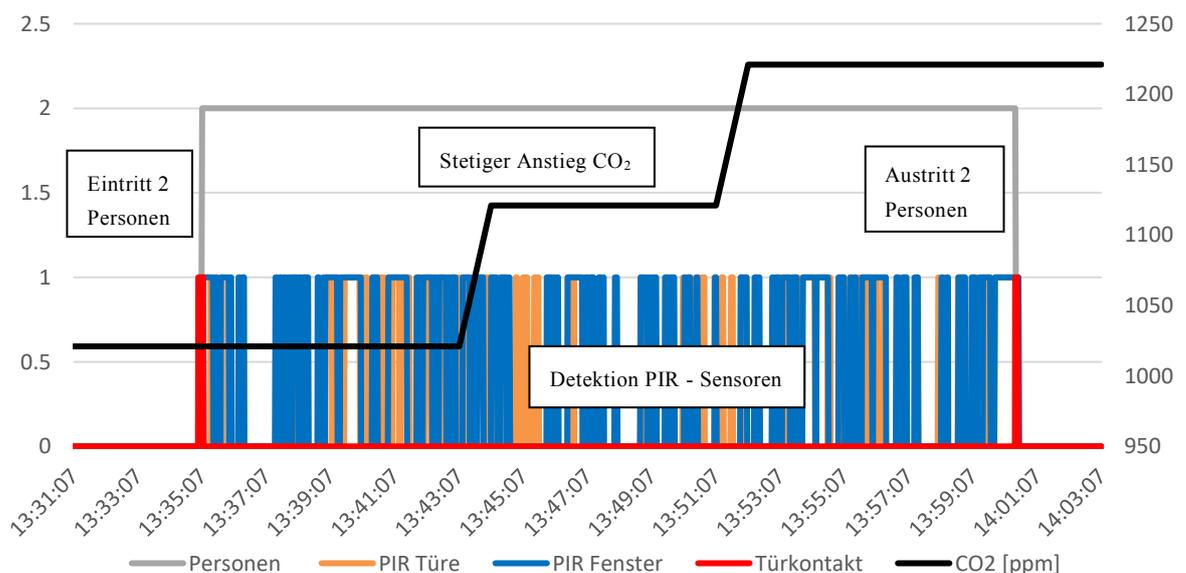


Abb. 2: Messergebnisse Versuch Meeting 1 (01. Mai 2018)



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Sensoren zur erweiterten Präsenzerfassung

Studierende	David Adrian Egger
Dozierende	Dr. Olivier Steiger Prof. Björn Schrader
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Vorname Name, Firma, Adresse)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Sensoren zur erweiterten Präsenzerfassung

Titel der Bachelor-Thesis

Die erweiterte Präsenzerfassung ist längst Bestandteil unseres Alltags. An Orten mit hohen Personenströme werden sie bereits eingesetzt und beeinflussen den Betrieb von unterschiedlichen Anlagen. Die erweiterte Präsenzerfassung unterscheidet sich von der konventionellen durch das Erfassen der Personenanzahl, deren Position und Tätigkeit. Diese Informationen können die Betriebseffizienz wesentlich verbessern und reduzieren den Energieverbrauch in der Gebäudeautomation und im Gebäudemanagement.

Schon länger erfolgt die konventionelle Präsenzerfassung über Meldesysteme, welche entweder mit Infrarot, elektromagnetischen Wellen oder mit Ultraschall operieren. Aktuell wird für die erweiterte Präsenzerfassung Bildanalysen oder Sensornetzwerke eingesetzt.

Die gegenwärtige Norm der SIA386.110:2012 EN 15232 Energieeffizienz von Gebäuden - Einfluss von Gebäudeautomation und Gebäudemanagement, definiert Effizienzklassen in Bezug auf die GA (Gebäudeautomation) - und TGM (technische Gebäudemanagement) -Funktionen und beinhaltet ein Verfahren zur Einschätzung der Wirkung dieser Funktionen auf Energieeffizienz, welche in Nutzerprofile gegliedert sind.

Dafür wurde der Sensor HPD2 (Human Presence Detection) der Firma Steinel auf seine Eigenschaften und Funktionstüchtigkeit getestet. Als alternative Berechnungsmöglichkeit ist das vereinfachte Berechnungsverfahren mit anpassbaren Faktoren für die Nutzerprofile geprüft worden. Die Messreihe zeigte, dass der Sensor HPD2 die Funktionstests und die Anwendungstests gut bestanden hat. Jedoch kann er nicht auf die Tätigkeit oder Handlung einer Person eingehen. Hingegen kann im Bereich der Beleuchtung über den HPD2 die Nachlaufzeit optimiert werden, und eine Konstantlichtregelung ist ebenfalls möglich.

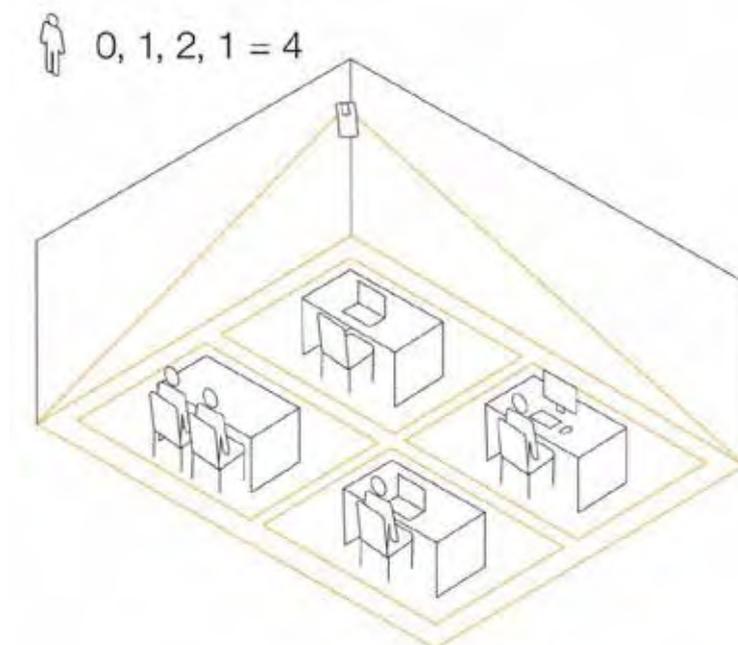


Abbildung 1: Die Anzahl der Personen in den unterschiedlichen Zonen

In den Gewerken Heizung, Lüftung und Kälte kann ebenso von der kürzeren Nachlaufzeit profitiert werden. Sie ist jedoch von der Trägheit der Systeme abhängig. Der Anwendungsbereich der erweiterten Präsenzerfassung geht allerdings weit über das Gebiet der Gebäudetechnik hinaus. In Bereichen der Personenflüsse, Retail oder der Mobilität wird die erweiterte Personenerfassung schon rege genutzt. Auch bei der Personenbelegung, Ausnutzung der Räumlichkeiten oder dem flexiblen Arbeitsplatz-Management besteht ein grosses wirtschaftliches Potential.

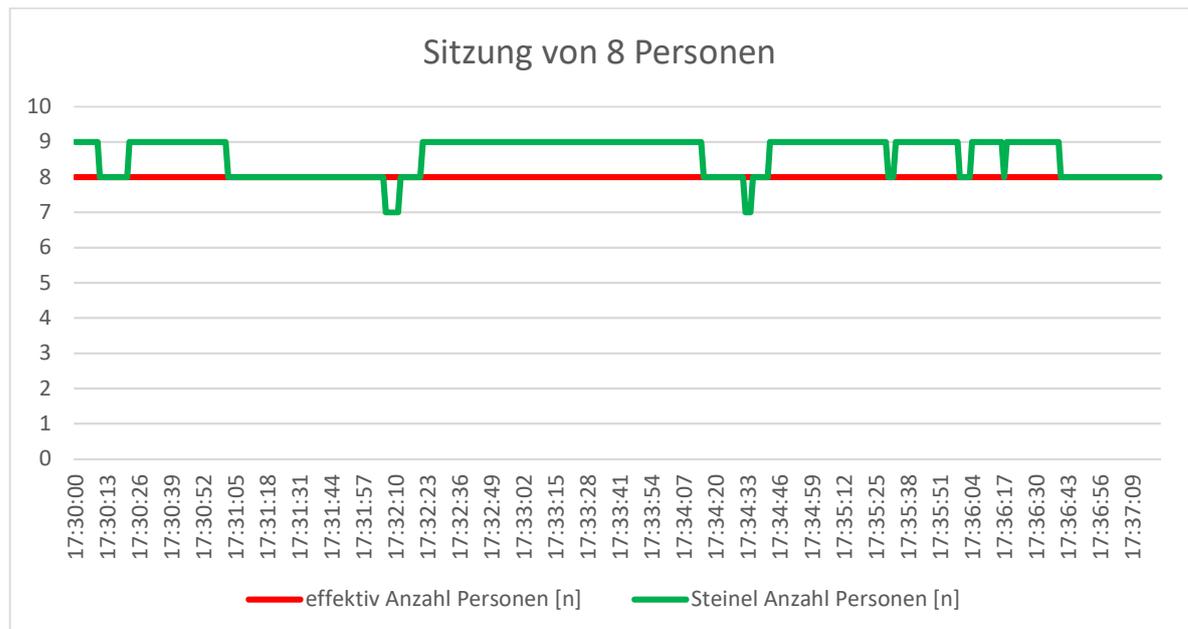


Abbildung 2: Auswertung Praxis Test

In der folgenden Grafik ist ersichtlich, dass immer wieder zu viele Personen vom HPD2 erkannt werden. Die Ausschläge nach unten sind viel kürzer und nicht von grosser Bedeutung. Beim Auswerten der des Videomaterials wird ersichtlich, dass Spiegelungen bei dunklem Gang möglich sind

Die Rechtfertigung einer erweiterten Personenerfassung darf nicht alleine in der Gebäudetechnik gesucht werden. Das Management über freie Raume oder unbelegte Arbeitsplätze ist ein interessanter wirtschaftlicher Faktor. Um dies zu visualisieren und zu verbessern braucht es ein technisches Gebäudemanagement welches nicht nur die Betriebszeiten der Heizung analysiert. Die Daten Aufbereitung und Analyse wird immer mehr zum Entscheidenden Faktor in Gebäuden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18_20
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Analyse von Druckschwankungen in Netzen mit dezentralen Pumpen zur optimalen Dimensionierung der Rohre in Verteilnetzen.

Studierende	Maurus Caduff Silvio Hug
Dozierende	Stefan Mennel Prof. Reto von Euw
Experte	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: SAGA – Forschungsgruppe Simulation und Analyse von Gebäuden und Arealen)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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 von Druckschwankungen in Netzen mit dezentralen Pumpen zur optimalen Dimensionierung der Rohre in Verteilnetzen.

Thermische Netze, mit welchen ein simultaner Heiz- und Kühlbetrieb gefahren werden kann, gewinnen in den letzten Jahren an Bedeutung. Diese Bachelor-Thesis untersucht einen Spezialfall von Thermischen Netze mit dezentralen Pumpen. Hauptmerkmal lag auf der Frage: Wie kann der Zusammenhang zwischen Druckvariationen im Verteilnetz beim Zu- und Wegschalten von Bezüger und dem Widerstand in der Strecke mit variablem Durchfluss beschrieben werden?

Neben den Druckvariationen im Verteilnetz, soll vor allem auch die Volumenstromschwankungen über den Bezüger genau Analysiert werden. Speziell wurden folgende Schwerpunkte definiert:

- Wie soll die EWS geplant werden bezüglich Hydraulik und Druckverlust?
- Was für einen prozentualen Anteil darf der variable Teil maximal am Gesamtdruckverlust ausmachen?

Aus den gesetzten Schwerpunkten und der Forschungsfrage ergeben sich nachfolgende Hypothesen, welche anschliessen im NODES-LAB der Hochschule Luzern überprüft werden:

- Das Zuschalten eines grossen Bezügers zu einem kleinen Bezüger hat bezüglich Volumenstromänderungen über den Bezüger, der von Beginn weg in Betrieb ist grösseren Einfluss als wenn ein kleinerer, respektive gleich grosser Bezüger zugeschaltet wird.
- Je kleiner die Druckdifferenz über dem variablen Teil gehalten wird, desto geringer ist der Einfluss bei Zuschalten eines weiteren Bezügers auf die Veränderung der Anlagenkennlinie des Bezügers, der von Beginn weg in Betrieb ist.
- Je kleiner das Netz (variabler Teil) ist, desto grösser ist der Anteil und somit die Auswirkungen des Druckverlustes der EWS im variablen Teil.

Versuche am NODES-LAB

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde vorab eine gründliche Literaturrecherche durchgeführt. Auf Basis dieser wurden im Anschluss mehrere Versuche mit unterschiedlichen Parametern am Prüfstand NODES der Hochschule Luzern durchgeführt.

In einer ersten Versuchsreihe ging es vorerst darum die Druckschwankungen, beziehungsweise die Volumenstromschwankungen, über einen Bezüger aufzuzeigen und zu analysieren. Dadurch sollte die Ursache der Schwankungen gefunden werden. Die verschiedenen Parameter der Versuche unterscheiden sich wie folgt: Hoher oder niedriger Druckverlust in der variablen Strecke und der Betrieb der Pumpen geregelt oder ungeregelt. Dazu wurden die Versuche mit zwei verschiedene Szenario durchgeführt. Einmal mit zwei gleich grossen Bezüger, sowie mit zwei unterschiedlich grossen Bezüger.

Aus den gewonnen Erkenntnisse wurden zusätzliche Versuche durchgeführt. Ein erster Versuch zeigt auf bei welchem Verhältnis zwischen den variablen Druckverlust und den Gesamtdruckverlust, die Schwankungen im Netz zu gross werden. Weiter wurde untersucht, ob die Auswirkungen im Netz, bei einem stufenweisen Hochfahren der Pumpe, reduziert werden können. Der letzte Versuch sollte aufzeigen, ob eine zusätzliche Pumpe bei der EWS sinnvoll ist.

Analyse von Druckschwankungen in Netzen mit dezentralen Pumpen zur optimalen Dimensionierung der Rohre in Verteilnetzen.**Ergebnisse**

Beim Versuch, wo der Druckverlust stetig erhöht wurde, zeigte sich, dass bis zu einem Verhältnis von 25% zwischen variablem Druckverlust und Gesamtdruckverlust der Volumenstrom über dem Bezüger 1 im definierten Toleranzbereich von $\pm 20\%$ blieb (1, Abb. 1). Beim weiteren Erhöhen des Druckverlustes stieg das Verhältnis stärker an als am Anfang. Die hatte zusätzlich grössere Auswirkungen auf den Volumenstrom. Damit der Druckverlust im variablen Teil noch weiter reduziert werden kann, wurde in der EWS eine zusätzliche Pumpe eingebaut. Somit wurde das Verhältnis auf 7% reduziert. Die Volumenschwankungen betragen über dem Bezüger 1 noch 2%.

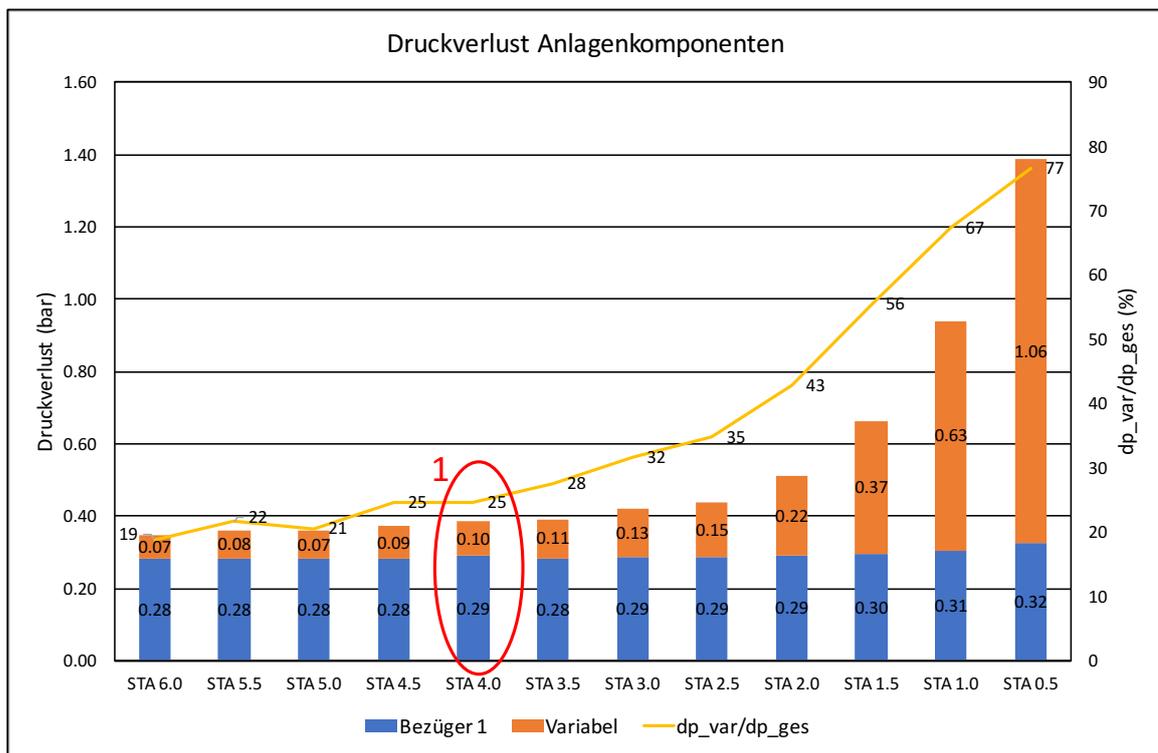


Abb. 1 Verhältnis variabler Druckverlust zu Gesamtdruckverlust

Um die Volumenschwankungen noch weiter zu reduzieren, wurde in einen weiteren Versuch die Pumpe im Bezüger 2 stufenweise hochgefahren. Dadurch konnte die Pumpe des Bezüger 1 kontinuierlich ihre Pumpenaktivität den neuen Gegebenheiten anpassen (2, Abb. 2). Das Wegschalten der Pumpe des Bezügers 2 geschah wieder schlagartig (3, Abb 2). Dadurch wird vermieden, dass z.B. im Heizfall das warme Wasser des Warmleiter ungekühlt in der Kaltleiter gelangt. Um dies zu vermeiden, empfiehlt es sich den Bezüger mittels Speicher zu entkoppeln. So kann ein stufenweises Hoch- und Runterfahren der Pumpen ermöglicht werden.

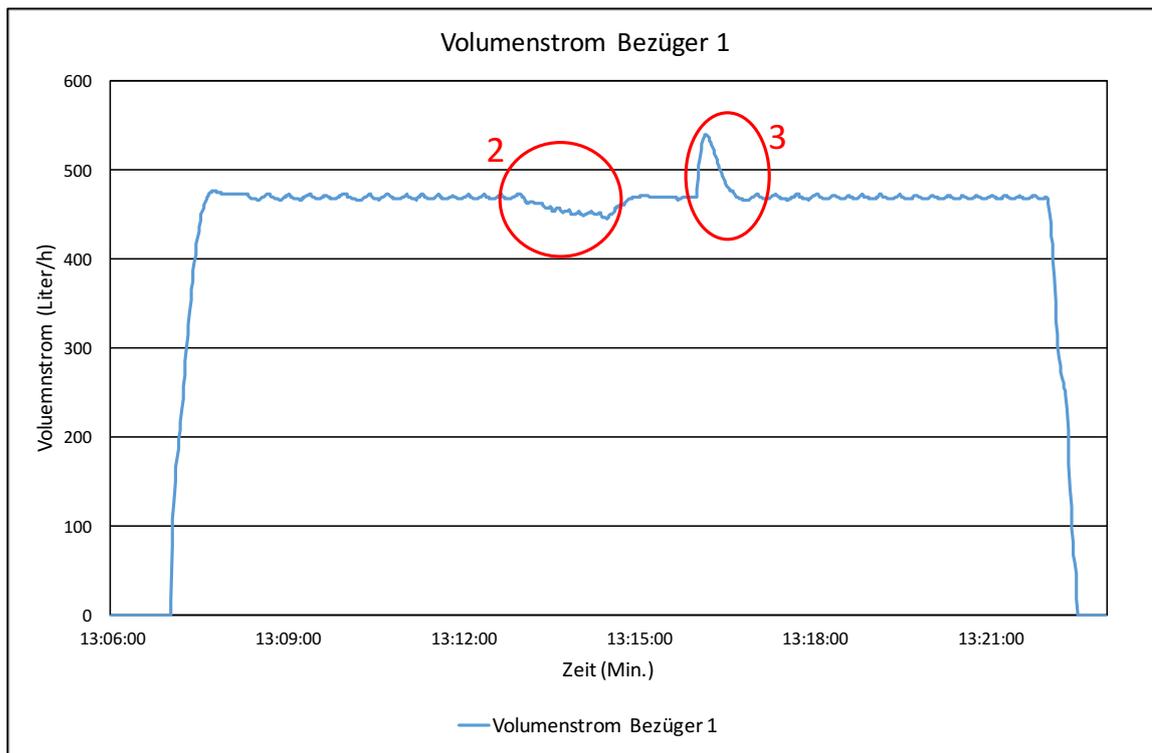
Analyse von Druckschwankungen in Netzen mit dezentralen Pumpen zur optimalen Dimensionierung der Rohre in Verteilnetzen.

Abb. 2 Volumenstrom in Bezüger 1 beim stufenweise Hochfahren der Pumpe des Bezügers 2

Empfehlungen

Diese experimentelle Forschung hat gezeigt, dass zwingend Pumpen eingesetzt werden sollen, die regulierbar sind, um sich den Veränderungen im Netz anpassen zu können. Nebstdem kann mit regulierten Pumpen das Zu- und Wegschalten stufenweise erfolgen, was Schwankungen im Netz und deren Bezüger minimiert.

Um das Verhältnis zwischen dem Druckverlust im variablen Teil zum gesamten Druckverlust klein zu halten (<25%), empfiehlt es sich, die EWS mit einer separaten Pumpe auszustatten und diese hydraulisch vom Netz zu trennen. Die Dimensionierung der Rohrleitung erfolgt somit anlagenspezifisch.

Fazit

Die in der Einleitung formulierten Fragestellungen und definierten Ziele können im Rahmen dieser Arbeit beantwortet werden. Durch die Versuche und deren Auswertung kann eine Empfehlung zur richtigen Planung von Thermischen Netzen mit dezentralen Pumpen getätigt werden.

Dadurch, dass am Versuchstand NODES nur ein Verhältnis von 5:1 bei den Volumenströmen simuliert werden konnte, ist die Skalierbarkeit auf Netze mit grösserem Verhältnis nur bedingt gegeben. Deshalb ist es ratsam, die Empfehlungen an grösseren Netzen zu prüfen.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Laborversuch für adiabate Kühlung und Be- feuchtung mittels Regenwasser

Studierende	Kevin Andermatt Kevin Lucarelli
Dozierende	Matthias Balmer Reto von Euw
Experte	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Laborversuch für adiabate Kühlung und Befeuchtung mittels Regenwasser

Der Bedarf, ein Gebäude im Sommer zu kühlen sowie im Winter die Luft zu befeuchten, steigt immer mehr. Um den Mehrverbrauch an Energie und Wasser zu kompensieren, stellt sich die Frage, ob Regenwasser statt aufwendig aufbereitetes Trinkwasser dazu verwendet werden kann. Das Regenwasser verfügt über optimale technische Eigenschaften. Doch kann das Regenwasser als Ersatz für Trinkwasser gebraucht werden? Dabei wird geprüft, in welchem Grade die Luft durch die Befeuchtung mit Regenwasser "verschmutzt" wird und wie viel Regenwasser für eine Anlage zur Verfügung stehen soll.

Die Bachelor-Thesis soll Bauherren und Investoren zur Regenwassernutzung sensibilisieren. Sie soll aufzeigen, ob und wie eine Regenwassernutzung für Anwendungen wie adiabate Kühlung und Befeuchtung eingesetzt werden kann. Um in einer frühen Planungsphase den Wasserbedarf und das anfallende Regenwasser zu vergleichen, wird ein Excel-Tool zur Verfügung gestellt. Gleichzeitig kann damit die Wirtschaftlichkeit geprüft werden. Zudem wird in der Thesis der Stand der Technik in Normen, Richtlinien und Empfehlungen aufgezeigt. Grundlagen-Themen wie Partikel, Mikrobiologie und Prozesse der Luftzustände werden beschrieben sowie veranschaulicht. Es wird aufgezeigt, wie eine Anlage richtig geplant und gebaut werden kann.

Mit zwei Versuchen wird herausgefunden, wie sich Regenwasser im Vergleich zu Osmose- und Evian-Wasser (Trinkwasserqualität) verhält. Dabei wird einerseits das Wachstum des ATP-Werts (Adenosintriphosphat; Zellbestandteil von Bioorganischen Stoffen) an verschiedenen Lager-Standorten untersucht, andererseits soll mithilfe einer Partikelmessung die Reinheit der Luft nach der Befeuchtung mit verschiedenen Wasser beschrieben werden.

Wachstumskurve der Biomasse an verschiedenen Zisternen-Standorten

Im Laborversuch der ATP-Wachstumskurve werden Osmose-, Evian- und Regenwasser an drei verschiedenen Zisternen-Standorten auf ihre Biomasse [rlu] geprüft. Dabei werden die Standorte von einer erdverlegten Zisterne, freistehenden Zisterne mit Lichteinfall und freistehenden Zisterne ohne Lichteinfall simuliert. Periodisch werden während vier Wochen Proben genommen.

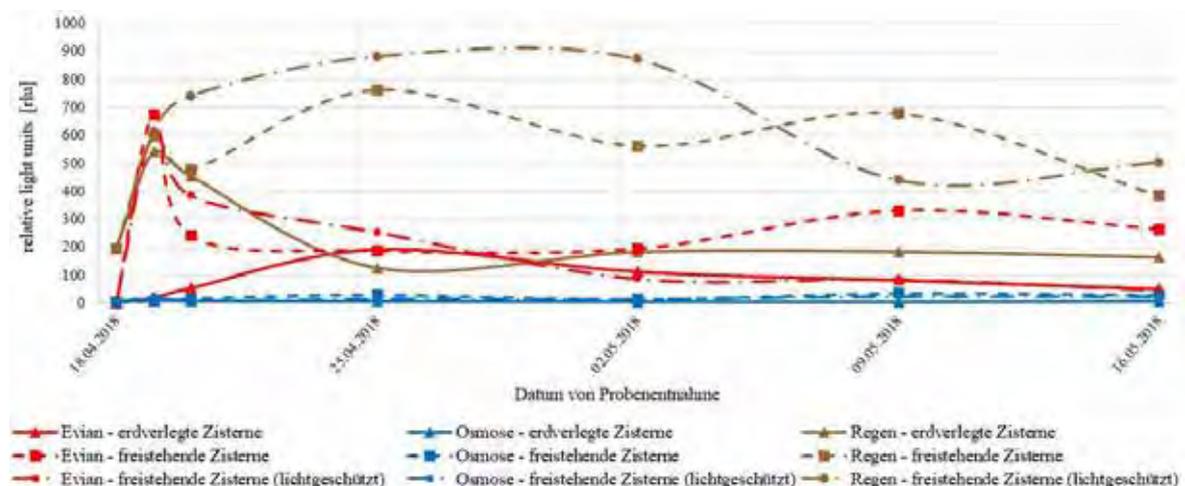


Abb. 1: Diagramm Ergebnisse ATP-Messung

Laborversuch für adiabate Kühlung und Befeuchtung mittels Regenwasser

Die Ergebnisse zeigen, dass Osmosewasser, welches als heutiger Standard für Befeuchtungen gilt und sozusagen keine Nährstoffe beinhaltet, unabhängig vom Lager-Standort, praktisch kein Wachstum von Biomasse zulässt. Evian-Wasser, welches ein natürliches und stabiles Gemisch an chemischen Stoffen und verschiedenen Bakterien enthält, erfährt ein starkes Wachstum zu Beginn der Periode. Flacht aber im Laufe der Zeit wieder ab. Regenwasser erreicht den höchsten ATP-Wert. Dies, weil es auf dem Weg aus der Atmosphäre bis zur Lagerung mit Nährstoffen angereichert wird und so der Biomasse einen guten Lebensraum bietet. Der Versuch bestätigt, dass die richtige Wahl der Lagerung entscheidende Einflüsse auf die darin enthaltene Biomasse hat. Die erdverlegte Zisterne führt dazu, dass Regenwasser nach einer Periode von vier Wochen bereits einen ATP-Wert von unter 200 rlu aufweist. Die konstant tiefen Temperaturen des Erdreichs (10 - 15 °C) und die Unterbindung des Lichteinfalls hemmen dabei das Wachstum der Biomasse. Im Vergleich dazu weist das Evian-Wasser einen ATP-Wert von rund 100 – 150 rlu auf. Eine weitere Messung zeigt auf, dass mit einem Schlammfang nur ein Zehntel der gemessenen Biomasse und Verunreinigungen in den eigentlichen Wasserspeicher gelangen.

Luftverschmutzung durch Befeuchterwasser

Bei der Partikelmessung wird die Verschmutzung der Luft durch das Befeuchterwasser untersucht. Dabei wird eine Befeuchtung im Zerstäuberprinzip in einem Monoblock simuliert. Vor und nach der Befeuchtung mit Osmose-, Evian- und Regenwasser werden jeweils die Partikelzahlen in der Luft gemessen. Daraus können Rückschlüsse gezogen werden, wie viele Partikel durch das jeweilige Wasser dem Luftstrom beigegeben wurden.

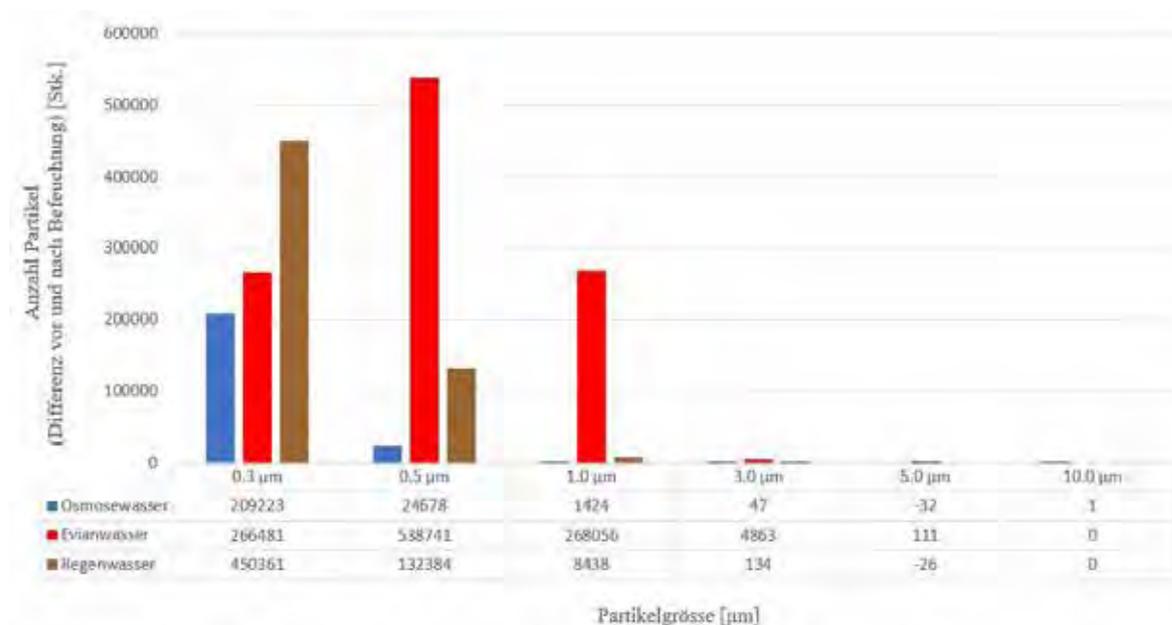


Abb. 2: Diagramm Ergebnisse Partikelmessung

Vom Evian-Wasser gelangen ausser bei der Partikelgrösse von 0.3 µm jeweils am meisten Partikel in die Luft. Dies kann mit dem natürlich hohen Bakterien-Gehalt (Grössenordnung ca. 0.5 µm) im Evian-Wasser begründet werden. Osmosewasser bestätigt sich als hygienisch einwandfrei, es erzeugt praktisch nur Nebelpartikel. Regenwasser hat im Vergleich zu Evian-Wasser tiefe Werte. Jedoch kann keine Aussage darüber getroffen werden, um welche Typen es sich bei den gemessenen Partikeln handelt. Um hygienische Aspekte genauer zu untersuchen, müssen in einem weiteren Schritt mikrobiologische Messungen im Wasser sowie im Luftstrom folgen. Ebenfalls müssen dabei Langzeitfolgen berücksichtigt werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Potenzialanalyse Strom, Wohntürme Luzern

Studierende	Nicolas Leiggener Stefan Storchenegger
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Gerhard Zweifel
Experte/-in	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Reto Herger, ewl energie wasser luzern, Industriestrasse 6,6002 Luzern)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Potenzialanalyse Strom, Wohntürme Luzern

Durch die Umstellung der Stromerzeuger auf regenerative Quellen wird die Energieerzeugung klima- und wetterabhängig. Mit zuverlässigen Prognosen lassen sich ein Energiemangel oder -überschuss präzise vorhersagen. Ohne die dementsprechende Anpassung der Energieproduktion hilft das jedoch wenig. Dabei stellen sich folgende Fragen: Falls die Erzeugung dem Verbrauch nicht mehr folgen kann, in wie weit kann der Verbrauch zeitlich dem Angebot angepasst werden? Wo sind die Potentiale für Netzbetreiber? Kann das Netz durch Lastverschiebung stabilisiert werden?

Um die Energieerzeugung und -verteilung besser steuern zu können, muss als erstes der Energieverbrauch genauer untersucht werden. Eine einfache Möglichkeit bieten RLM-Zähler (Lastgangzähler), welche den mittleren, viertelstündlichen Leistungswert speichern und via Fernablesung der Netzbetreiberin zustellen. Diese Zähler sind jedoch bis anhin meist nur bei Grosskunden im Einsatz. Aus den erhaltenen Werten kann die Netzbetreiberin dann ein Lastprofil des Konsumenten erstellen.

Bestehende Standardlastprofile

Ein Standardlastprofil dient der Beurteilung der Netzbelastung, der Steuerung, der Erzeugung und der entsprechenden Tarifgestaltung in Abhängigkeit der Zeit. Stromzähler, welche bei privaten Haushalten installiert sind, können den Lastgang meistens nicht aufzeichnen. Bei diesen Kunden erstellen die Netzbetreiber einen voraussichtlichen Fahrplan des Stromverbrauches. Aus diesem Grund haben Netzbetreiber für verschiedene Kundenkategorien Standardlastprofile festgelegt.

Das Haupteinsatzgebiet von Standardlastprofilen liegt in den Verbrauchsprognosen für Energielieferanten und Netzbetreiber. Diese versuchen so, Energieengpässe und -überschüsse weitgehend zu vermeiden. Zahlreiche deutsche Netzbetreiber greifen neben ihren eigenen standardisierten Lastprofilen zusätzlich auf die Standardlastprofile des BDEW (Bundesverband der Energie- und Wasserwirtschaft) zurück. Der BDEW bietet für den Haushalt das Standardlastprofil H0 an. Schweizer Netzbetreiber verwenden höchst selten eigene Standardlastprofile für Haushaltskunden. Diese werden meist nur für Geschäftskunden geführt. Viele Schweizer Netzbetreiber greifen deshalb auf Standardlastprofile für Haushalte aus Deutschland zurück.

Standardlastprofile Wohntürme Luzern

Ein Jahr lang wurden von den Wohnungen der Luzerner Wohntürme der Stromverbrauch gemessen. Die Messwerte wurden analysiert und in Standardgruppenlastprofile aufgeteilt. Dazu wurden die Messwerte anhand einer Zeitreihenanalyse nach visuellen und mathematischen Kriterien bewertet und den Haushaltstypen des Bundesamtes für Statistik zugeordnet. So konnten fünf Standardlastprofile generiert werden. Ein sechstes Standardlastprofil zeigt sämtliche Zähler der Überbauung ohne Gruppeneinteilung.



Abb. 1: SLP 1 Winter



Abb. 2: SLP 2 Winter



Abb. 3: SLP 3 Winter



Abb. 4: SLP 4 Winter



Abb. 5: SLP 5 Winter



Abb. 6: SLP gesamte Überbauung Winter

Verbrauchsoptimierung

In Bezug auf die Stromversorgung müssen zu jedem Zeitpunkt in den elektrischen Netzen Angebot und Nachfrage ausgeglichen sein. Dies kann durch eine Steuerung der Stromerzeugung, der Stromnachfrage oder durch eine Zwischenspeicherung erfolgen. DSM (Demand-Side-Management) ist eine gezielte Steuerung der Stromnachfrage und wird durch eine Steigerung der Energieeffizienz oder durch die Steuerung von Endgeräten umgesetzt.

Eine Energieeffizienzsteigerung kann durch den Einsatz von Energiesparlampen, das Ausschalten von Standby-Geräten oder den Kauf effizienterer Haushaltsgeräte erreicht werden. Eine Möglichkeit zur Lastverschiebung bietet die Steuerung der Endgeräte. Dabei wird die zeitliche Nutzung eines Gerätes verschoben. Eine weitere Möglichkeit zur Steuerung der Nachfrage ist der Einsatz von Energiespeichern zur Lastverschiebung.

Netzstabilisation durch Lastverschiebung

Energiespeicher dienen dem Ausgleich zwischen einem schwankenden Energieangebot und der sich verändernden Energienachfrage. Um die Lastspitzen abzusenken, laden sich die Speicher in den Lastsenken auf und entladen sich im Zeitraum der Lastspitzen. Für eine durchschnittliche Schweizer Wohnung würde dafür ein Speicher in der Grösse von 1.6 kWh zum Einsatz kommen. Mit einem zentralen Speicher für eine Überbauung mit 150 Wohnungen würde ein Speicher mit einer Kapazität von gut 500 kWh benötigt. Die Berechnung der Speichergrössen erfolgt für die Sonntage in den Wintermonaten, da in diesem Zeitraum der Energieverbrauch am höchsten ist.

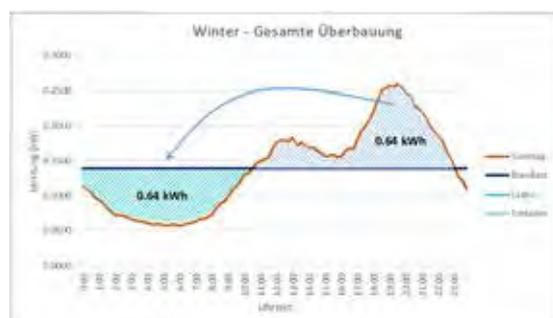


Abb. 7: Lastverschiebung SLP gesamte Überbauung

Fazit

Der Vergleich mit Standardlastprofilen aus Deutschland hat gezeigt, dass sich Schweizer Haushalte ähnlich verhalten wie Haushalte aus Deutschland. Sehr ähnlich sind die Zeiträume, in welchen die Lastspitzen auftreten. Jedoch benötigen Schweizer Haushalte abends deutlich mehr und tagsüber deutlich weniger Energie als deutsche Haushalte. Die Grundlast von Schweizer Haushalten ist zudem leicht erhöht.

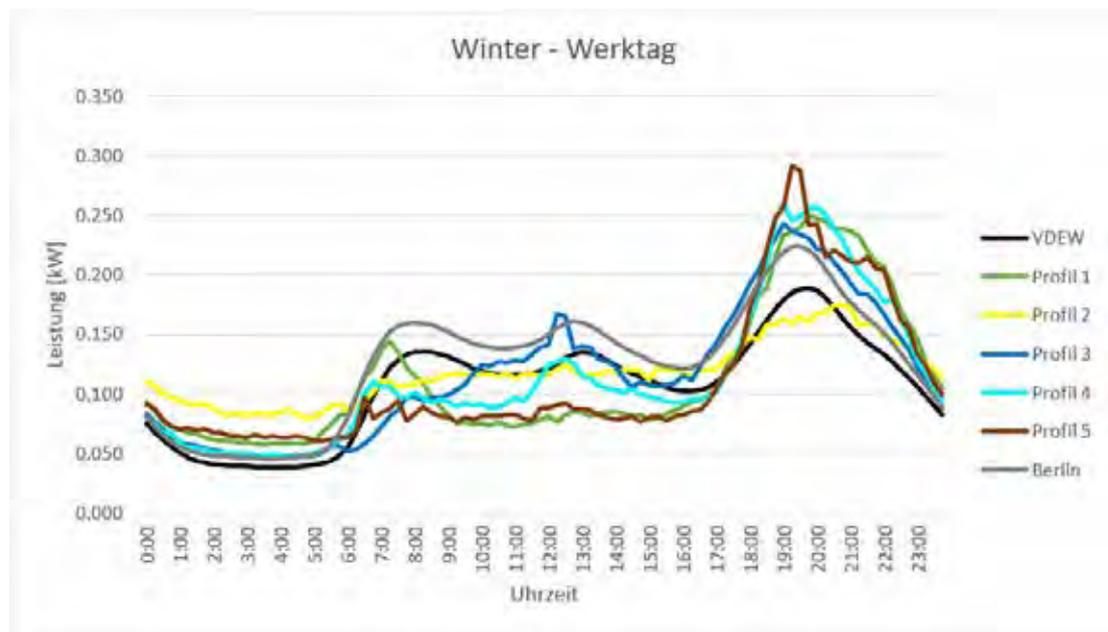


Abb. 8: Vergleich von Gruppen SLP mit VDEW und Stromnetz Berlin Winter - Werktag

Das Potenzial der Lastverschiebung kann mittels Energiespeicherung genutzt werden. Ein sparsamerer und intelligenterer Umgang kann den Energieverbrauch von effizienteren Geräten zusätzlich senken. Ein Zusammenhang zwischen Energieverbrauch und Sonneneinstrahlung konnte nicht eindeutig nachgewiesen werden.

In einem weiteren Schritt könnte mit nicht anonymisierten Messwerten und Nutzerbefragungen die Entstehung der Lastspitzen weiter ergründet werden. Dadurch wäre es möglich, einen Zusammenhang zwischen Witterungseinflüssen und dem Energieverbrauch definitiv zu bestätigen oder zu widerlegen. Die generierten Standardlastprofile eignen sich dafür, den Energieverbrauch grösserer Überbauungen zu prognostizieren.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Empfehlung für ein Anergienetz zum Heizen und Kühlen

Studierende	Timotheus Zehnder Gregor Jeker
Dozierende	Prof. Dr. Zoran Alimpic Stefan Mennel
Experte/-in	Andreas Glauser
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur Industriepartner: Jobst Willers Engineering AG, 4310 Rheinfelden
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Empfehlung für ein Anergienetz zum Heizen und Kühlen

Im Verlaufe der Jahre 2024 bis 2050 wird der Gebäudepark des Universitätsspitals Zürich (USZ) sukzessive erneuert oder saniert. In diesem Artikel wird der Aufbau und die Charakteristik eines «Thermischen Niedertemperaturnetzes» als Energieversorgungskonzept für das gesamterneuerte USZ-Areal untersucht. Dabei wird eine thermische Vernetzung mit maximaler Synergienutzung zwischen den Kälte- und Wärmeverbrauchern und über die Jahreszeiten angestrebt. Da der Kältebedarf in Zukunft klar dominiert, wird dabei ein Temperaturniveau angestrebt, das einen hohen Freecooling-Anteil ermöglicht.

Netzcharakteristik

Empfohlen wird ein ungerichtetes 2-Leiter-System, das ohne eine durch die Hauptpumpe vorgegebene Fliessrichtung funktioniert. Dies ermöglicht den mit dezentralen Wärmepumpen und Kältemaschinen ausgestatteten Netzteilnehmern den Bezug aus Warm- oder Kaltleiter. Der Energiefluss erfolgt dabei bidirektional, das heisst Bezüger können aus Sicht des Netzes sowohl als Quelle oder Senke funktionieren und sich teilweise gegenseitig versorgen. Die Netztemperatur variiert je nach Jahreszeit zwischen 3-19°C und wird durch zwei Erdspeicherfelder und zwei Kältezentralen, ausgestattet mit verschiedengrossen Kompressions-Kältemaschinen, bewirtschaftet. Je nach Grösse der Erdspeicherfelder kann dabei durch eine durchdachte Betriebsstrategie die Kälte bei tiefen Aussentemperaturen effizienter erzeugt und somit Energie und Kosten gespart werden.

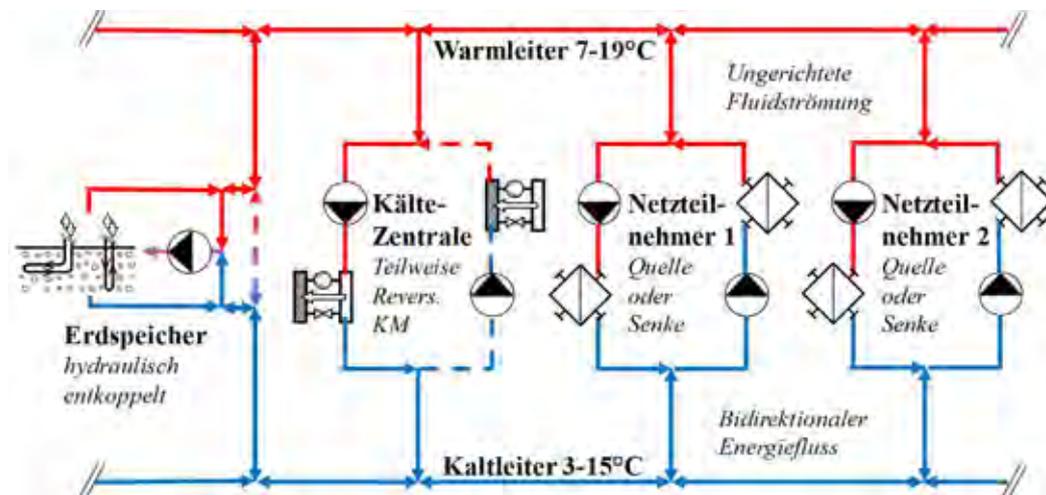


Abb. 1: Schematische Darstellung Niedertemperaturnetz-Empfehlung für das USZ-Areal

Energie- und Leistungsanalyse

Die vorgeschlagene Form der thermischen Vernetzung ist für das USZ-Areal ideal, da es trotz starker saisonaler Schwankungen sowohl beträchtliche Wärme- wie auch Kältebandlasten aufweist (siehe Abb. 2). Der Wärmebedarf ist positiv dargestellt, der Kältebedarf negativ. Die graue Schraffur zeigt den monatlichen Residualbedarf. Die Energie- und Leistungsanalyse ergibt für das Jahr 2050 einen etwa doppelt so hohen Kälte- wie Wärmebedarf.

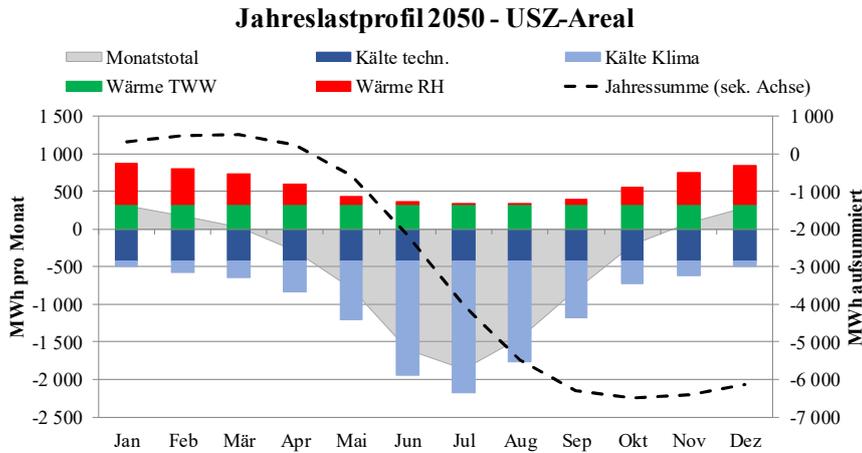


Abb. 2: Jahreslastprofil im Jahre 2050 für das USZ-Areal nach Neubau / Sanierung

Wärme- und Kälteaufbereitung

Mittels thermischem Netz und der saisonalen Speicherung (EWS 1 & 2) kann die entstehende Abwärme den Wärmebedarf über das Jahr komplett decken und es braucht somit keine zusätzliche Quelle. Bei der Wärmearaufbereitung wird dabei ein hoher Wirkungsgrad angestrebt, indem nach Systemtemperaturen der Verbraucher unterschieden wird und diese möglichst tief gehalten werden.

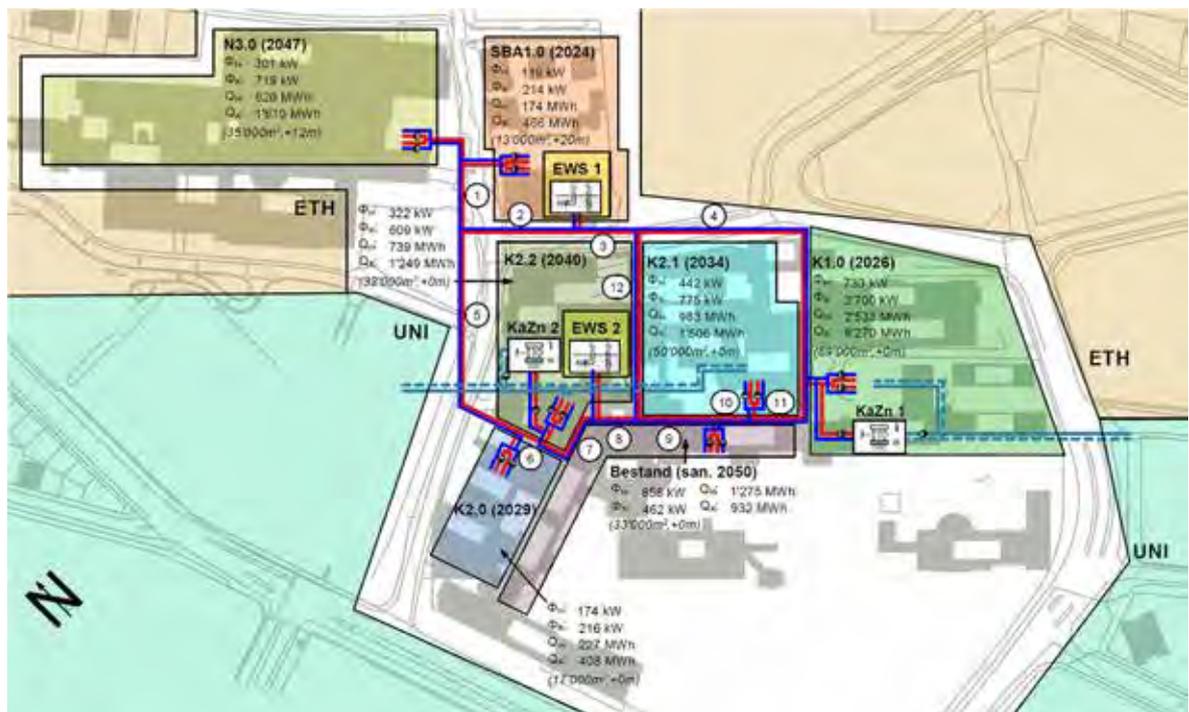


Abb. 3: Empfohlenes Niedertemperaturnetz mit Lastschwerpunkten

Die Kälteaufbereitung erfolgt mehrheitlich zentral durch Turboverdichter-Kältemaschinen mit hohem Wirkungsgrad (KäZn 1 & 2). Die Abwärme dieser Kältezentralen wird in einem hydraulisch getrennten Rückkühlnetz entweder an angrenzende USZ-Gebäude sowie die benachbarten Universität und ETH Zürich abgegeben oder über Hybrid-Rückkühler an die Umwelt abgeführt. Innerhalb des Netzes wird ein grösstmöglicher Freecooling-Anteil angestrebt. Lediglich der Entfeuchtungsbetrieb benötigt den Einsatz der dezentralen Kältemaschinen, deren höherwertige Abwärme direkt für die Warmwasseraufbereitung verwendet wird.

Topologie-Untersuchungen

Der Bericht macht einen Vorschlag für die Entwicklung des Netzes und prüft verschiedene Topologien, indem die Abschnitte 11 und 12 (siehe Abb. 3) wahlweise realisiert oder weggelassen werden. Mittels eines Netzberechnungs- und Simulationstools wird ein energetischer und ökonomischer Vergleich zwischen einer Baum-, Ring- und Maschenstruktur durchgeführt indem die Förderenergie verschiedener Lastfälle (Winter, Sommer, Frühling) simuliert wird.

Ergebnisse Topologie-Untersuchung	Baumstruktur (11 & 12 nicht realisiert)			Einfache Ringstruktur (11 realisiert, 12 nicht)			Maschenstruktur (2 Ringe) (11 & 12 realisiert)			
	Sommer	Winter	Frühling	Sommer	Winter	Frühling	Sommer	Winter	Frühling	
Lastfall										
Thermische Energie	94	73	51	94	73	51	94	73	51	[MWh/d]
Elektrische Förderenergie (exkl. Sondenpumpe)	2 215	1 613	1 079	2 184	1 603	1 073	2 182	1 592	1 072	[kWh/d]
Verhältnis elektrisch / thermisch	2.35	2.21	2.09	2.32	2.19	2.08	2.32	2.18	2.08	[%]
Jährliche Energieeinsparung					-4 700			-6 024		[kWh/a]
Jährliche Kosteneinsparung (0.15 CHF/kWh)					-705			-904		[CHF/a]
Mehrinvestition (1500 CHF/Trassemeter)					105 000			262 500		[CHF]
Amortisationsdauer (0% Zins)					149			291		[Jahre]

Tab. 1: Ergebnisse Topologie-Untersuchung

Wie der Tab. 1 entnommen werden, ist in diesem Anwendungsfall eine Baumstruktur ökonomisch am sinnvollsten. Aus redundanztechnischen und energetischen Überlegung wird aber trotzdem eine einfache Ringstruktur mit vereinzelter Verästelung empfohlen. Eine Maschenstruktur, realisiert durch einen zusätzlichen Ringschluss, bringt bezüglich benötigter Förderenergie kaum Vorteile, ist aber mit erheblichen Mehrinvestitionen verbunden. Anhand der Simulation kann zudem aufgezeigt werden, dass die Wahl der Topologie (Baum-, Ring- oder Maschenstruktur) keine Auswirkung hat auf die hydraulische Funktionalität des Netzes. Das heisst, eine Versorgung aller Bezüger ist mit allen untersuchten Netzstrukturen jederzeit gewährleistet. Eine Strukturänderung oder ein Netzausbau, zum Beispiel die Erschliessung der Universität oder ETH Zürich, ist somit möglich.

Energiefluss-Analyse

Die Energieflussanalyse zeigt, dass dank des thermischen Netzes und des saisonalen Speichers etwa die Hälfte der genutzten Energie innerhalb des Systems umgesetzt werden kann. Es kann ein ökologisches Gesamtbild im Sinne der 2000-Watt-Gesellschaft gezeichnet werden. Bis zur Realisierung müssen aber noch Herausforderungen solcher modernen Netze gemeistert werden, wie zum Beispiel Temperatur- und Druckschwankungen.

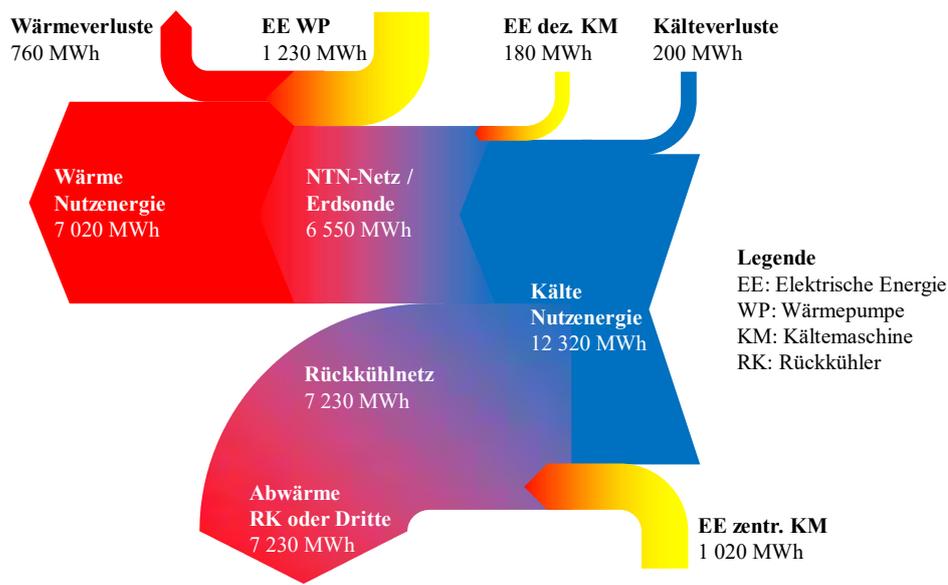
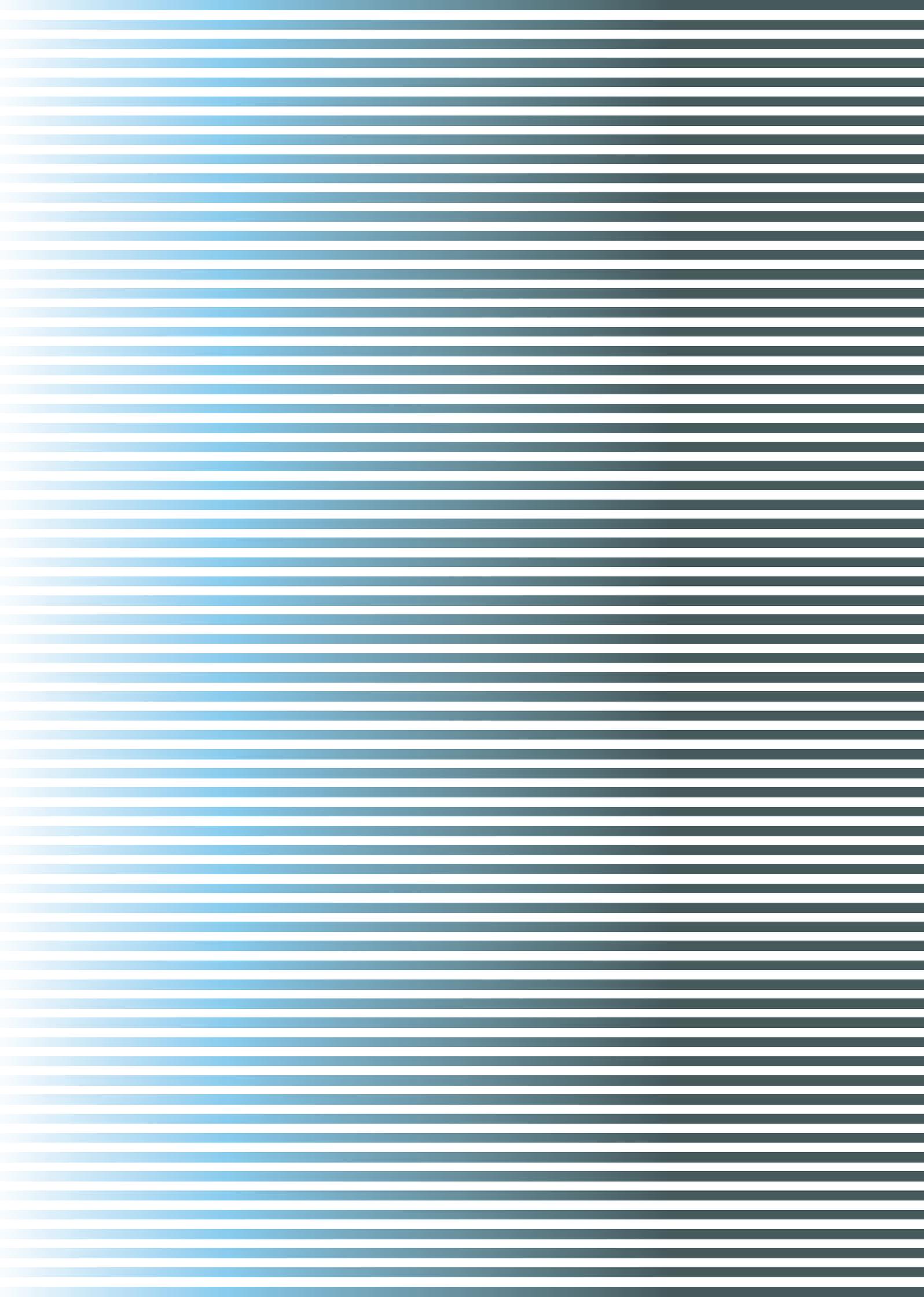


Abb. 4: Energieflussdiagramm



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Analyse Arealnetz

Studierende	Dejan Vuckovic Timon Meier
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Christoph Meyer, Bühler + Scherler AG, 9015 St. Gallen)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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 Arealnetz

Es wird ein Grossunternehmen der Schweiz, welches weltmarktführend in ihrer Branche ist, auf elektrische Energieoptimierung untersucht. Dabei werden die Themen Energiemanagement, Steigerung der Energieeffizienz in den Büros, elektrische Eigenerzeugungsanlagen und Eigenverbrauchsoptimierung behandelt.

Mithilfe von Recherchen und Messungen wurde das Potential einzelner Anlagen und Systeme auf ihre Energieeffizienz untersucht. Die passenden Systeme wurden anschliessend auf das Areal ausgelegt. Der Untersuchung des wirtschaftlichen Aspekts auf das Unternehmen wurde abschliessend beurteilt. Die Arbeit gliedert sich in den Themen: Analyse, Optimierung, Eigenerzeugungsanlagen und Eigenverbrauchsoptimierung auf. Abschliessend wird eine umfassende Empfehlung abgegeben.

Analyse

In der Analyse untersuchte man das hauseigene Energiemonitoring sowie das Areal selber. Die Analyse hat gezeigt, wo die Schwächen in Bezug auf Energieverbrauch und Energieeffizienz liegen. Zum einen wurde das Potential der Spitzenlastverschiebung festgestellt, zum anderen die Steuerung der Gebäudetechnik, welche konventionell ausgeführt ist. Folglich wurden die Schwerpunkte zur weiteren Untersuchung auf das Energiemanagement und die Optimierung der Büros gelegt.

Energiemanagement

Auf dem untersuchten Arealabschnitt sind wenige bis gar keine flexiblen Anlagen für ein Spitzenlastmanagement vorhanden womit die Wirtschaftlichkeit nicht gewährleistet ist. Berechnungen haben jedoch gezeigt, dass Energieeinsparungen möglich sind. Es wird empfohlen, eine detaillierte Analyse des Energiemanagements auf das gesamte Areal zu tätigen.

Optimierung Büros

In der Bürooptimierung wurde eine Abschätzung nach BKP 23 durchgeführt. Diese zeigte das Optimierungspotential jedes einzelnen Bereichs auf. Um diese zu verifizieren führte man eine Messung für Licht- und Steckdosenabgänge durch. In mehreren Bereichen wurde das Potential der Optimierung festgestellt. Aufgrund der wirtschaftlichen Situation, womit die tiefen Strompreise und folglich die höhere Amortisationszeit gemeint ist, stellen sich nicht alle Bereiche als lohnenswert dar. Folgende Optimierungen werden empfohlen: Durch eine Umrüstung auf LED-Leuchtmittel ist eine Energieeinsparung möglich. Zusätzliche Vorteile liegen in der Wahrnehmung des Lichtes und der Lebensdauer. Die passiven Leistungen, die während Nacht- und Wochenendbetrieb bei Informatikanlagen herrschen, können durch simple Abschaltungen vermieden werden. Ersichtlich ist dies auf der folgenden Abbildung:



Abb. 1: Leistungsverbrauch Steckdosenabgang

In der Gebäudeautomation wurde eine Effizienzbeurteilung nach Norm EN 15232 durchgeführt. Das Resultat zeigte, dass die Büros die schlechteste Klassifizierung von einem D erzielten. Mehrere Optimierungsvarianten aus der Norm zeigten grosses energetisches Einsparpotential. Wirtschaftlich gesehen macht letztendlich nur die Variante „Regelung über Bewegungsmeldern mit automatischer Abschaltung“ Sinn. Mit dieser Umsetzung würde die Klassifizierung „Regelung der Beleuchtung“ von einem D auf ein C steigen, womit der Standard erreicht wäre. Es empfiehlt sich jedoch bei einer Sanierung die Klassifizierung B anzustreben. Es steigert nicht nur die Energieeffizienz und ist innovativer, sondern wertet auch erheblich den Komfort für die Mitarbeitenden auf. Zusätzlich zu den technischen Optimierungen wurde die Änderung des Nutzerverhaltens untersucht. Durch Aufklärung und Sensibilisierung des Fehlverhaltens kann Energie eingespart werden. Beispiele dafür sind: Beleuchtung bei genügend Tageslicht ausschalten, Computer bei Nichtverwendung herunterfahren und Jalousien bei geringer Blendung heraufkurbeln um Tageslichteinfall zu vergrössern. Die Änderung des Nutzerverhalten stellte sich als günstigste und vor allem effektivste Methode heraus.

Photovoltaik

Es wurden mehrere Eigenerzeugungsanlagen untersucht, wobei sich lediglich die Photovoltaik durchsetzte. Die Machbarkeitsstudie hat aufgezeigt, dass eine PV-Anlage durchaus sinnvoll sein kann. Die potenzielle Fläche ist vorhanden. Folgende vier Varianten wurden ausgearbeitet:

Tab. 1: Varianten PV-Anlagen

	Anlage	Anlageleistung in MWp	Energieertrag in MWh/a	Stromentstehungskosten in Rp./kWh	Amortisationsdauer in Jahre
Var. 1	Flachdach Ost/West	3.560	3'172	8.89	18
Var. 2	Komplettausbau	4.750	4'281	8.97	18
Var. 3	Komplettausbau Flachdach Ost	3.168	3'070	8.43	16
Var. 4	Parkplatz	2.224	2'206	12.92	31

Die Variante 3 ist innerhalb von 16 Jahren amortisiert. Die Variante 2 nach 18 Jahren, jedoch auf 25 Jahre gesehen wirtschaftlicher und demzufolge zu favorisieren.

Eigenverbrauchsoptimierung

Anhand einer Eigenverbrauchsoptimierung wurde aufgezeigt, wie mithilfe eines Speichers die Lastspitzen gebrochen werden können und somit der monatliche Leistungspreis sinkt. Die Auswertung von verschiedenen elektrischen Speichern hat ergeben, dass nur die Blei-, Lithium-Ionen- oder die Redox-Flow-Technologie für einen 3 MWh Speicher Sinn machen. Mithilfe von Berechnungen aus den ausarbeitenden Werten der Photovoltaikanlage und der benötigten Energie der Spitzenberechnung konnten die monatlichen Einsparungen ausgerechnet werden. Anhand der Einsparungen und der Kosten des Speichers stellte man fest, dass ein Speicher für diesen Zweck im Moment keinen Sinn macht. Da in den nächsten Jahren mit Preissenkungen zu rechnen ist, folgt automatisch eine Senkung der Amortisationszeit des Speichers. In diesem Fall empfiehlt es sich, einen Speicher umzusetzen.

Ausblick

Die dargelegten Themen zeigen eindrücklich auf, mit welchen Mitteln eine Energieoptimierung für das Areal umgesetzt werden kann. Die hohen Investitionskosten und tiefen Strompreise gestalten die jeweiligen Optimierungen auf den ersten Blick oft nicht erfolgsversprechend. Trotzdem darf dies keine Ausrede sein, um die Optimierungen in Angriff zu nehmen. Neben den Zielen des Bundes sollte eine Firma mit solch einem Stellenwert eine gewisse Vorreiterrolle einnehmen. Denn es ist durchaus möglich, durch vernünftige Optimierungen Energie einzusparen. Letztendlich sollte das Ziel "kein Betrieb ohne Nutzen" verfolgt werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Energy Harvesting und EnOcean in Industrieprojekten

Studierende	Aljoscha Knieper Michael Meili
Dozierende	Dr. Olivier Steiger Anthony Bellwald
Experte/-in	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Patrick Fürer, Bühler + Scherler AG, Breitfeldstrasse 13, 9015 St. Gallen)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Energy Harvesting und EnOcean in Industrieprojekten

Moderne Industrieanlagen verfügen über eine Vielzahl von Sensoren und Aktoren, um den stetig steigenden Anforderungen an Steuerungs-, Überwachungs- und Sicherheitsaufgaben gerecht zu werden. Zugleich muss eine maximale Ausfallsicherheit und leichte, beziehungsweise schnelle Wartung gewährleistet werden. Um den Verkabelungsaufwand zu minimieren, oder sogar zu vermeiden, wird der Einsatz von Funktechnologien untersucht.

Als Referenzobjekte stehen das Swissmill-Gebäude in Zürich, sowie die Halle des Instituts für Gebäudetechnik und Energie IGE der Hochschule Luzern zur Verfügung. Die Betrachtung der Funktechnologien fokussiert sich auf EnOcean und auf LoRaWAN, wobei auch kurz auf die gesamte Situation auf dem Markt eingegangen wird. Die Grenzen der beiden Technologien werden getestet, sodass ein möglichst naher Vergleich möglich ist. Die Versuche legen den Schwerpunkt auf die Durchdringung des Funksignals durch diverse Materialien und Wandaufbauten, sowie deren Auswirkung auf die Reichweite des Signals. Auch die Antennenausrichtung, sowie den Paketverlust einzelner Übertragungen werden analysiert.

Praktische Versuchsreihen

Die Grenzen der beiden Technologien LoRaWAN und EnOcean wurden in praktischen Versuchsreihen eruiert. Dafür wurden verschiedene Wandaufbauten wie Backstein, Holz und Beton angefertigt, mittels welchen dann die Dämpfung des Signals gemessen werden konnte. Aufgrund der Analyse der Wanddurchdringungen und der Dämpfung durch Umhausungen wie Metall oder Plastik resultieren realistische Vergleichswerte, welche den Herstellerangaben gegenübergestellt werden können.



Abb. 1: EnOcean Sender in Backsteinbox

Des Weiteren wurde die Streuung der Antennen gemessen und analysiert, um festzustellen, ob die Ausrichtung der Komponenten eine Auswirkung auf die Sendereichweite hat. Die abschliessenden Versuche in einer Industriehalle und einem Schulgebäude bieten den direkten Vergleich der Feldversuche zu den Umgebungsbedingungen in Gebäuden mit laufendem, sich ständig veränderndem Betrieb.

Auswertung und Planungsleitfaden

Die Messungen zeigen grundsätzlich eine Tendenz zu schlechteren Werten, als von den Herstellern angegeben. So spricht EnOcean von Reichweiten bis zu 300m im Freifeld. Jedoch war die maximal erreichte Distanz in den Versuchen mit EnOcean 60m. LoRa meistert, entsprechend den Erwartungen und Angaben der Hersteller, die Reichweite der maximalen Messdistanz von 150m. Auch die Durchdringungsobjekte dämpfen nicht stark genug, um das LoRa Signal in der Messdistanz zum Erliegen zu bringen.

Aufgrund weiterer Kriterien wie Paketverlust, elektrische Autonomiegrad oder Störanfälligkeit resultiert eine Planungsgrundlage, welche bei zukünftigen Planungen von Anlagen mit Funkkomponenten eine erste Abschätzung zur Machbarkeit bietet. Diese Planungsgrundlage bezieht die beiden Technologien LoRaWAN und EnOcean ein, und enthält eine Empfehlung zu verschiedenen Einsatzgebieten.

Tab. 1: Eigenschaften LoRaWAN und EnOcean

Technologie	Frequenz	Signalleistung	Maximale Reichweite	Wand-durchdringungen	Stockwerks-durchdringungen	Energy Harvesting	Sicherheits-anwendungen
LoRaWAN	868MHz	Max. 500mW	>150m	>6	>6	Nein	Nein
EnOcean	868MHz	Max. 50µW	60	1	1	Bedingt	Nein

Tab. 2: Anwendungsmöglichkeiten LoRaWAN und EnOcean

Technologie	Produktion	Forschung / Labor	Landwirtschaft	Areale	Gebäudetechnik	Bürogebäude	Wohngebäude
LoRaWAN	Nein	Bedingt	Ja	Ja	Ja	Ja	Bedingt
EnOcean	Nein	Bedingt	Nein	Nein	Ja	Ja	Ja

Ausblick

Funktechnologien wie LoRaWAN und EnOcean werden sich in Zukunft schnell weiterentwickeln und gemeinsam mit verbesserten Energy Harvesting Komponenten zunehmend autonomer werden. Die Produkte können so noch flexibler eingesetzt werden. Um die Funktechnologien auch für Sicherheitsanwendungen einsetzen zu können, braucht es jedoch noch stabilere Kommunikationsverbindungen seitens der Hersteller, sowie ein Umdenken der Industrie, solche Produkte auszuprobieren und für die Sicherheitsanwendungen zuzulassen. So wird hoffentlich in einigen Jahren das volle Potential aus diesen Technologien genutzt werden können.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Arealkonzept Eigenverbrauchsgemeinschaft

Studierende	Marco Hodel Igor Simic
Dozierende	Roger Buser Prof. Volker Wouters
Experte/-in	Christoph Portmann
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Oliver Werren, Bühler + Scherler AG, Breitfeldstrasse 13, 9015 St. Gallen)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Arealkonzept Eigenverbrauchsgemeinschaft

Durch die Annahme der Energiestrategie 2050 werden die Themen dezentrale Energieerzeugung und Eigenverbrauchsoptimierung in Zukunft eine wichtige Rolle einnehmen. Eine Möglichkeit davon ist es, eine Eigenverbrauchsgemeinschaft zu bilden mit dem Ziel den Eigenverbrauch der elektrischen Energie wirtschaftlich und ökologisch zu optimieren.

Durch das Bilden einer Eigenverbrauchsgemeinschaft kann die produzierte Energie durch mehrere Parteien genutzt werden, damit die produzierte Energie möglichst direkt verbraucht werden kann. Denn dieser hohe Eigenverbrauch ist wichtig, damit eine Produktionsanlage, in diesem Fall eine Photovoltaikanlage, wirtschaftlich betrieben werden kann. Durch Optimierung der Photovoltaikanlage kann ein hoher Eigenverbrauchsanteil erreicht werden.

Eigenverbrauchsgemeinschaft

Das behandelte Objekt soll in der Gemeinde Uzwil im Kanton St. Gallen entstehen. Das Areal mit dem Projektnamen «Wieseon», der sich aus den Worten Wiese und Vision zusammensetzt, umfasst rund 36'000 m² mit zehn Wohnhäusern bestückt, die kreisförmig angeordnet werden. Im Zentrum der Anlage wird ein begrünter Innenhof gestaltet. Insgesamt werden rund 300 Wohneinheiten vorgesehen.



Abbildung 1: Veranschaulichung und Arealplan (uzwil24.ch 2017)

In der Schweiz ist es seit dem April 2014 möglich, den selbst produzierten Strom von einer Photovoltaikanlage innerhalb der eigenen Immobilie zu nutzen oder an Mieter zu verkaufen. Dieses Vorgehen wird als Eigenverbrauchsgemeinschaft, kurz EVG, bezeichnet. Neu wird die EVG durch ZEV (Zusammenschluss zum Eigenverbrauch) als Name abgelöst.

Das Ziel einer Eigenverbrauchsgemeinschaft ist es, durch dezentrale Energieerzeugung den Bedarf von umweltschädlichen Kraftwerken (Kohlekraftwerke, Atomkraftwerke) zu verringern. Schlussendlich soll mit der lokalen Produktion die Energiewende erreicht werden.

Damit das Areal als Eigenverbrauchsgemeinschaft anerkannt werden kann, müssen einige Bedingungen erfüllt werden. Unter anderem muss die produzierte Leistung der Anlage mindestens 10 Prozent der Anschlussleistung betragen. Das Areal muss jedoch hinter ein und demselben Netzanschlusspunkt erschlossen sein.

Excel-Tool

Da das Areal «Wieseon» noch nicht gebaut ist, stehen keine Daten und Messungen zur Verfügung, welche ausgewertet werden können. Um dennoch mit repräsentativen Werten Berechnungen durchführen zu können, werden die Grundlagen mithilfe eines Excel-Berechnungs-Tools und dem Simulationsprogramm IDA ICE eigenständig erarbeitet. Im Berechnungstool werden Nutzungsprofile und Lastprofile erarbeitet und hinterlegt, welche für Berechnungen integriert werden. Mithilfe der Simulation werden Erzeugerlastprofile erstellt. Die Profile werden gegenübergestellt und miteinander ausgewertet. Mit dieser Grundlage können Wirtschaftlichkeitsberechnungen und Optimierungen der Photovoltaikanlage durchgeführt werden.

Eigenverbrauchsoptimierung

Die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage hängt stark vom Eigenverbrauchsanteil ab. Aus dem Grund wird die Photovoltaikoptimierung und der damit verbundenen Wirtschaftlichkeit der Anlage näher betrachtet. Das Ziel der Auslegung ist es, die Photovoltaikanlage in einer bestimmten Zeit kostentechnisch zu amortisieren. Verschiedene Auslegungen und Ausrichtungen der Photovoltaikanlagen werden miteinander verglichen und abgewogen, welche die wirtschaftlichste Variante darstellt. Die Haupteigenschaften der Wirtschaftlichkeit ist es, dass keine ideale Auslegung existiert. Die ideale Auslegung liegt nur im Auge des Betrachters, besonders des Investors. Ist der Investor bereit eine grosse Anlage mit viel Grundkapital zu bauen, um nach der Amortisationszeit mehr Geld zu erwirtschaften, oder eine kleine Anlage zu bauen, die jedoch weniger Geld erwirtschaftet und somit mehr als Image-Objekt dient. Die Amortisationszeit bei der grossen und der kleinen Variante bleiben dabei annähernd gleich.

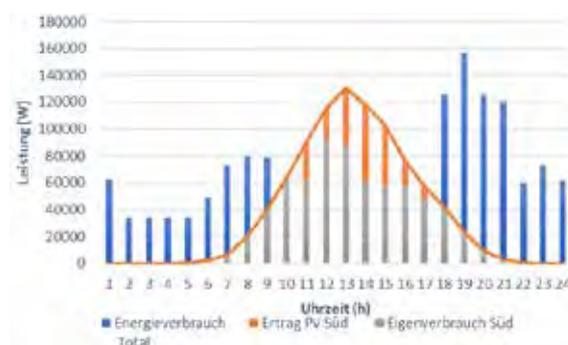


Abbildung 2: Tageslastprofil Süd Sommer Areal Standard

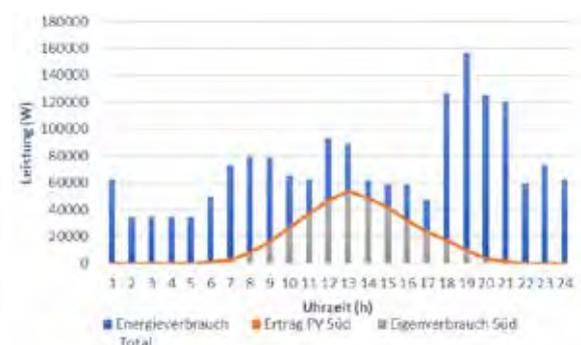


Abbildung 3: Tageslastprofil Süd Areal Sommer optimiert

Zusätzlich hängt die Wirtschaftlichkeit der Anlage und somit auch der Gemeinschaft stark von den Parametern wie Strompreise, Vergütungen sowie den technischen Fortschritt der Anlage ab. Vor allem der Einsatz der Vergütung, der in den letzten Jahren stetig kleiner wurde, kann einen besonderen Anreiz für den Bau einer Anlage bringen sowie auch beeinflussen, ob die Anlage wirtschaftlich sein wird. Ein steigender Strompreis bewirkt sich positiv auf die Wirtschaftlichkeit, jedoch muss beachtet werden, dass der Eigenverbrauchsanteil möglichst hoch sein sollte.

Ausblick

In naher Zukunft kann davon ausgegangen werden, dass der Strompreis steigen wird, da Atomkraftwerke abgeschafft werden sollen und die Versorgungssicherheit mit Photovoltaik Anlagen nicht gewährleistet werden kann. Um Energieengpässe zu vermeiden, müssen Energiespeicher her. Chemische Energiespeicher sind teuer und umweltschädlich herzustellen. In Zukunft wird der Einsatz von Stromspeichern unverzichtbar sein. Schlussendlich kann gesagt werden, dass die Gründung einer Eigenverbrauchsgemeinschaft ein erster wichtiger Schritt in Richtung grüne Energie ist.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Gebäudeautomation für die Altersresidenz der Zukunft

Studierende	Roger Bühlmann Michael Vlasec
Dozierende	Dr. Olivier Steiger Reto Marek
Experte/-in	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur (Industriepartner: Herr Ivo Bracher, bonainvest AG, 4503 Solothurn)
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Gebäudeautomation für die Altersresidenz der Zukunft

Die Schweiz befindet sich in einem demografischen Wandel. Gemäss dem Referenzszenario des Bundesamtes für Statistik, wird die Schweiz 2045 insgesamt 2,7 Millionen Personen ab 65 Jahren zählen, das sind rund 1,8-mal Mehr als heute. Dagegen wird die Zahl der Personen unter 20 Jahren bis 2045 von 1,7 nur auf 1,9 Millionen zunehmen. Es wird mit einem prozentualen Anteil der Rentner von über 50% in 30 Jahren gerechnet. Durch die Zunahme der älteren Bevölkerung gegenüber den jungen Generationen, entstehen für die Schweiz in der Zukunft grosse Herausforderungen. Eine davon ist selbständiges Wohnen im Alter.

In der Bachelor-Thesis wird untersucht, welche Anforderungen die Gebäudeautomation und Netzwerkinfrastruktur von altersgerechten Wohnungen in Zukunft aufweisen müssen, und welche Funktionalität diese bieten soll. Die Bonacasa als Industriepartner, entwickelt flexible Lösungen im Bereich Smart Living und schafft Mehrwerte für Jung und Alt. Ziel der Arbeit ist, mit Hilfe von Fachliteratur und in Gesprächen mit Bewohnern und Partnern des Industriepartners, die vorhandenen Techniken weiter zu entwickeln und weitere Ideen und Lösungen zu finden. Dabei gilt es, für einen Investor Lösungen auszuarbeiten, welche ihm ermöglichen, ausgewählte Gebäudetechniksysteme in seine altersgerechten Wohnungen zu integrieren. Zudem werden die Systeme in ein technisches Internet für Mehrfamilienhäuser integriert.

Kundenzufriedenheitsumfrage und Ergründung Kundenwünsche

In einem ersten Teil wird ein Überblick über die auf dem Markt vorhandenen Gebäudeautomationsysteme gewonnen. Mit den Erkenntnissen aus der Recherche und den Gesprächen mit der Bonacasa und der Besichtigung einer Musterwohnung in Oensingen wurde ein zielorientiertes Interview mit den Bewohnern der Bonacasa-Überbauung in Utzenstorf, sowie dem Pflegepersonal eines Altersheims in Kriens vorbereitet und durchgeführt. Im zweiten Teil werden anhand der Interviews und Gesprächen mit Partnern der ABB konkrete Systemlösungen erarbeitet, welche zu einer Verbesserung des eingesetzten Systems führen, eine Komfortsteigerung bewirken oder die Sicherheit erhöhen und dadurch das selbständige Leben im Alter in den eigenen vier Wänden ermöglichen.

Erarbeitete GA-Lösungen

Aus den Gesprächen geht hervor, dass das free@home der Firma ABB zuverlässig funktioniert und die Bedienung intuitiv und einfach ist. Das Potential des vorhandenen Systems wird aus fehlenden Kenntnissen und ungenügenden Instruktionen nicht vollumfänglich ausgeschöpft. Um eine einfache Komfortsteigerung zu bewirken, wird die Zutrittskontrolle mittels Fingerprintterminals erweitert und eine Öffnungshilfe für die massiven Balkontüren vorgesehen.

Mit einem Personenassistenzsystem von Avidamo wird ein intelligentes Erinnerungssystem für die Medikamenteneinnahme geschaffen. Durch ein System der automatischen Abschaltung von Küchengeräten werden gefährliche Küchenbrände verhindert. Eine Sturzerkennung verhindert das jemand nach einem Sturz unbemerkt liegen bleibt. Für eine einfache und intuitive Bedienung werden nun die Systeme zu einem Gesamtsystem (siehe Abbildung 2) zusammengeführt.

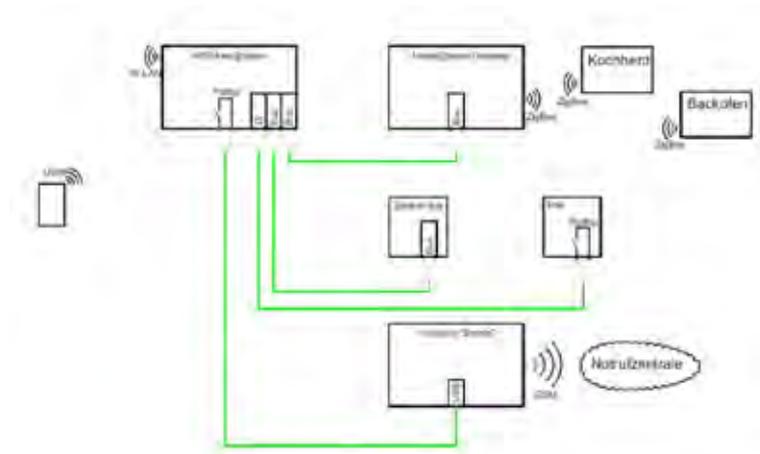


Abb. 2: Einbindung der Systeme ins ABB free@home

Technisches Internet für Mehrfamilienhäuser

Damit die vorgeschlagenen Systeme auch wohnungsübergreifend vernetzt werden können, wurden Lösungen für ein technisches Internet ausgearbeitet. Für das technische Internet sollen Lift, Hauszugang, Schlüsseltresor, Heizung, Storen, kontrollierte Lüftung, Klingel, Licht, Alarm und Sensoren miteinander vernetzt werden. Ziel ist es, von einer Managementstation die einzelnen Systeme zu steuern und Informationen abzurufen. So können die einzelnen Teilsysteme als ein Gesamtsystem betrieben und dadurch die Effizienz gesteigert werden. Weiter besteht die Möglichkeit Trends aufzuzeichnen, um dann allfällige gebäudetechnische Änderungen vorzunehmen. Die Anlagen können von extern über eine Managementstation abgerufen, gesteuert und verwaltet werden. So können sämtliche Bonacasa-Überbauungen, die ans technische Internet angeschlossen sind, zentral verwaltet und überwacht werden. Da zurzeit noch nicht bekannt ist welche Funktionen genau von der Managementstation abgerufen werden, ist es schwierig ein konkreter Systemvorschlag zu machen. Deshalb werden drei mögliche Varianten mit ihren Vor- und Nachteilen vorgestellt. Der Trend zeigt jedoch in Richtung Cloud-Lösung. Dabei werden sämtliche Systeme von Drittanbietern mittels Connectivity Hub (Gateway der ABB) mit der ABB Cloud verbunden. Von einem Computer kann nun darauf zugegriffen und die einzelnen Systeme gesteuert werden. In Zukunft werden viele neue Technologien auf den Markt kommen und so noch mehr verschiedene Lösungen ermöglichen.

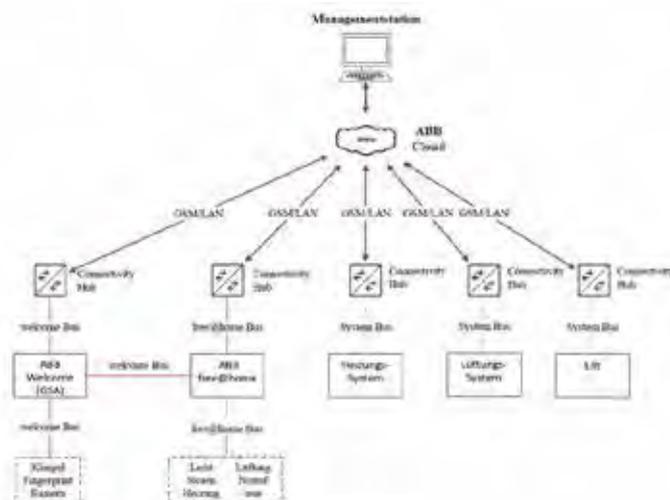


Abb. 2: Systemtopologie ABB Variante (eigene Darstellung)



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Optimale Abwärmenutzung in der Gastronomie am Beispiel Cookuk Aarau

Studierende	Gilbert Bischof
Dozierende	Adrian Altenburger Matthias Name
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	08. Juni 2018

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

Optimale Abwärmenutzung in der Gastronomie am Beispiel Cookuk Aarau

Am Gastronomiebetrieb Cookuk in Aarau soll Abwärmenutzung optimal ins Heizsystem eingebunden werden, um die Autarkiedauer des Betriebs während den Sommermonate zu gewährleisten. Es wird ermittelt, welche Abwärmequellen genutzt werden sollen und wie die hydraulische Einbindung schematisch aufgebaut ist, um das ökonomische Maximum zu erreichen.

Unterschiedliche Wärmequellen benötigen unter Umständen auch unterschiedliche Wärmesenken. Abwärmenutzung und Solarthermie konkurrieren sich. Der Solarertrag nimmt erheblich zu, wenn auch Temperaturen und 30°C genutzt werden können.

Abwärmepotenzial Abwasser und Kühlräume

Mit Berücksichtigung des Abwasserabwärmepotenzials zu 100% und das der Kühlräume zu 100% ist wie in Abb.1 aufgezeigt weiterhin mindestens ein jährlicher Restnutzwärmebedarf von 7727 kWh zu erwarten. Eine Hauptwärmequelle ist weiterhin notwendig.

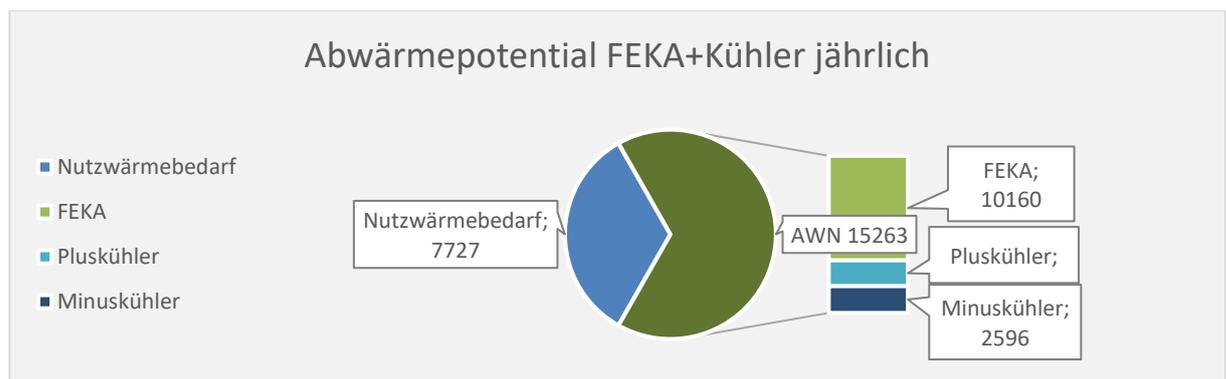


Abb.1: Abwärmepotenzial FEKA und Kühler, Anteil an Nutzwärmebedarf

Speichergrösse und dessen Einfluss auf den Abwärmeeintrag

Die optimale Speichergrösse kann iterativ bestimmt werden, indem bei jeder Veränderung der Speichergrösse die verknüpfte Wirtschaftlichkeitsrechnung überprüft wird, bis diese den höchsten mittleren Jahresertrag aufweist. Dieses Auswahlverfahren funktioniert nur, wenn das System die finanziellen Einsparungen der Mehreinträge den Mehraufwand des Speichers decken kann.

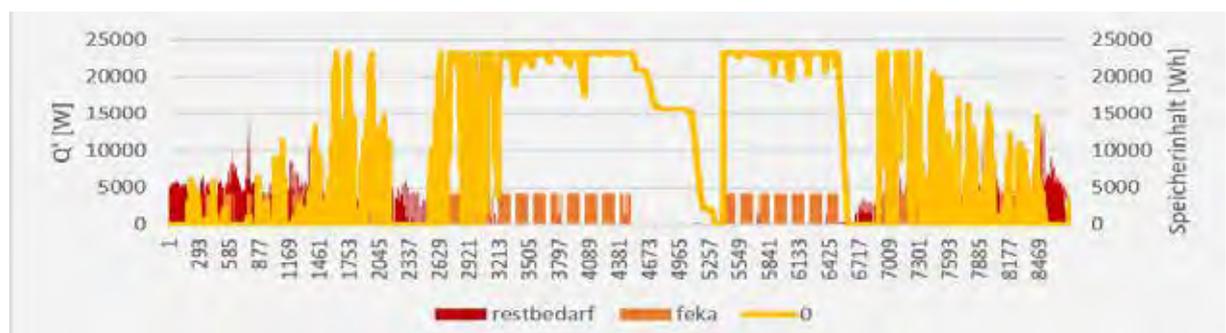


Abb. 2: Der Speicherverlauf in der Jahresbetrachtung es 1m³ Speichers

Die Diagramme aus Abb. 2 und Abb.3 zeigen mögliche Speicherverläufe in Gelb bei gewählten Volumen von 1m³, oder 100m³. Als Restbedarf ist der Nutzwärmebedarf bezeichnet, der noch zu decken gilt nach Abzug der Kühlraum Abwärmenutzung.

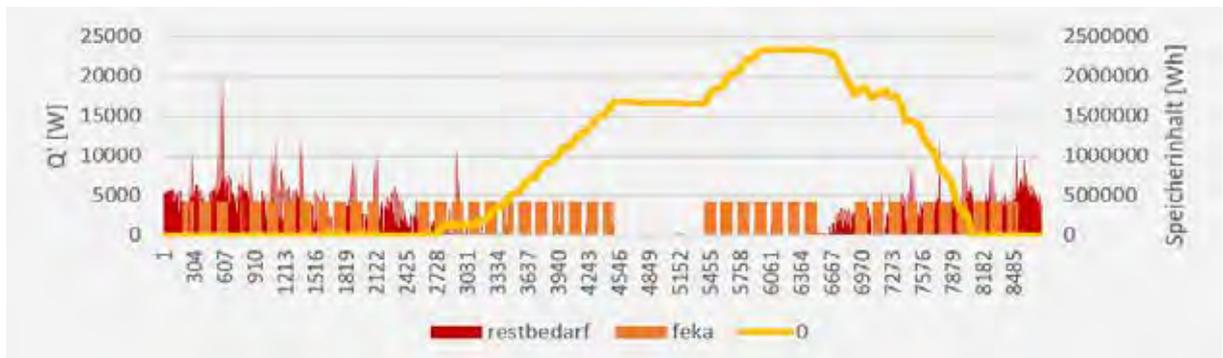


Abb. 3: Der Speicherverlauf in der Jahresbetrachtung es 100m³ Speichers

Auswertung der Wirtschaftlichkeitsrechnung

Die Variante 1 mit Speicherwahl nach grösstmöglichem Ertrag hat den höchsten Jahresgesamtertrag, jedoch ist dieser immer noch negativ. Ein wirtschaftlicher Betrieb der Anlage kann nicht sichergestellt werden. Bei der Variante 1 wird die ökonomisch optimale Speichergrösse trotzdem iterativ festgestellt.

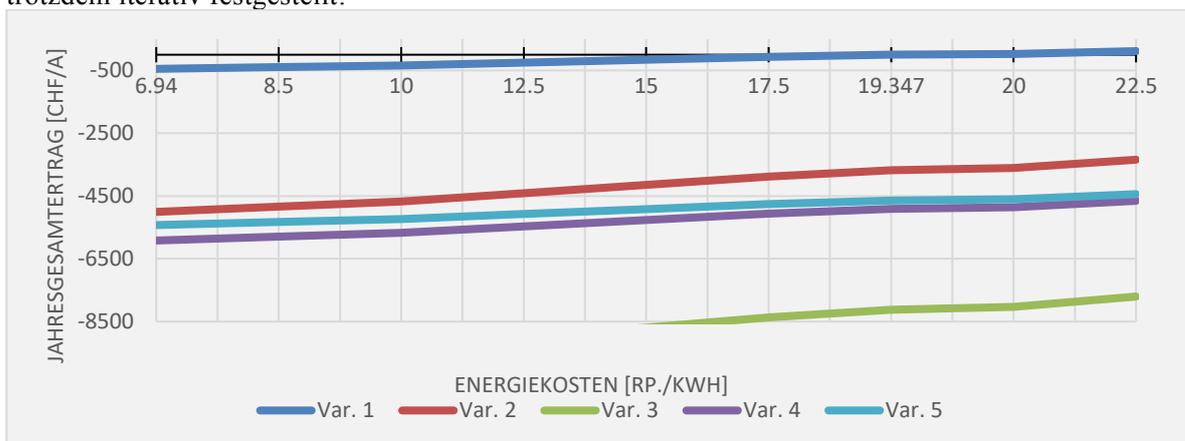


Abb. 3: Die Abhängigkeit der Wirtschaftlichkeit der Systeme vom Energiepreis

Es wurde festgestellt, dass die Varianten der Abwärmenutzung bei den Gegebenheiten von geringem Nutzwärmebedarf und mit günstiger und klimaneutraler Fernwärme keine Amortisation der Abwärmenutzung erreicht wird.

Eine weitere hydraulische Einbindung der Wärme wurde abgeleitet und wird der Standardvorschlag für Abwärmenutzung, sofern die Hauptwärmequelle diese Einbindung unterstützt.

Die in der Arbeit untersuchte Abwärmequelle «Abwasser» erfüllt die Rahmenbedingungen nicht, da sie nur unter hohem Aufwand ins Heizsystem eingebunden werden kann, bei zu geringen Abwärmepotenzial.



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_IGE_F18
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Vermeidung von Geruchsemissionen in der Gastronomie am Beispiel Cookuk Aarau

Studierender	Pascal Labarile
Dozierende	Prof. Adrian Altenburger Matthias Balmer
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	08. Juni 2018

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.

Vermeidung von Geruchsemissionen in der Gastronomie am Beispiel Cookuk Aarau

Mit Strömungssimulationen sollen Geruchsausbreitung und Geruchsbelastung in einem Quartier untersucht werden. Am Beispiel der Eventküche Cookuk in Aarau wird gezeigt, wie sich die Küchenfortluft auf das umliegende Wohnquartier auswirkt. Es werden unterschiedliche Umgebungstemperaturen, Emissionswerte, sowie Wind- und Fortluftgeschwindigkeiten untereinander verglichen.

Im Modul "Interdisziplinäre Projektarbeit 2" kam die Frage auf, ob für die erarbeitete Situation ein gewöhnlicher Fortluftauslass genügt oder ob es notwendig ist, einen Kamin zu erstellen, welcher die umliegenden Gebäude überragt. Gemäss der Empfehlung „Mindesthöhe von Kaminen über Dach“ wurde ein Kamin mit 2 m als genügend hoch befunden. Dieses Resultat beruhte auf der Annahme, dass die Küchenfortluft kein grosser Schadstoffmassenstrom emittiert. Da sich die Eventküche Cookuk jedoch in einem Quartiershof befindet (Abbildung 1), blieben Unsicherheiten bestehen. Das Cookuk befindet sich in einer Art Kessel, indem es von einer Seite durch ein Bürogebäude flankiert wird. Auf zwei Seiten befinden sich Wohnbauten und auf der letzten Seite erhebt sich ein Hang mit einer Steigung von rund 80 %.

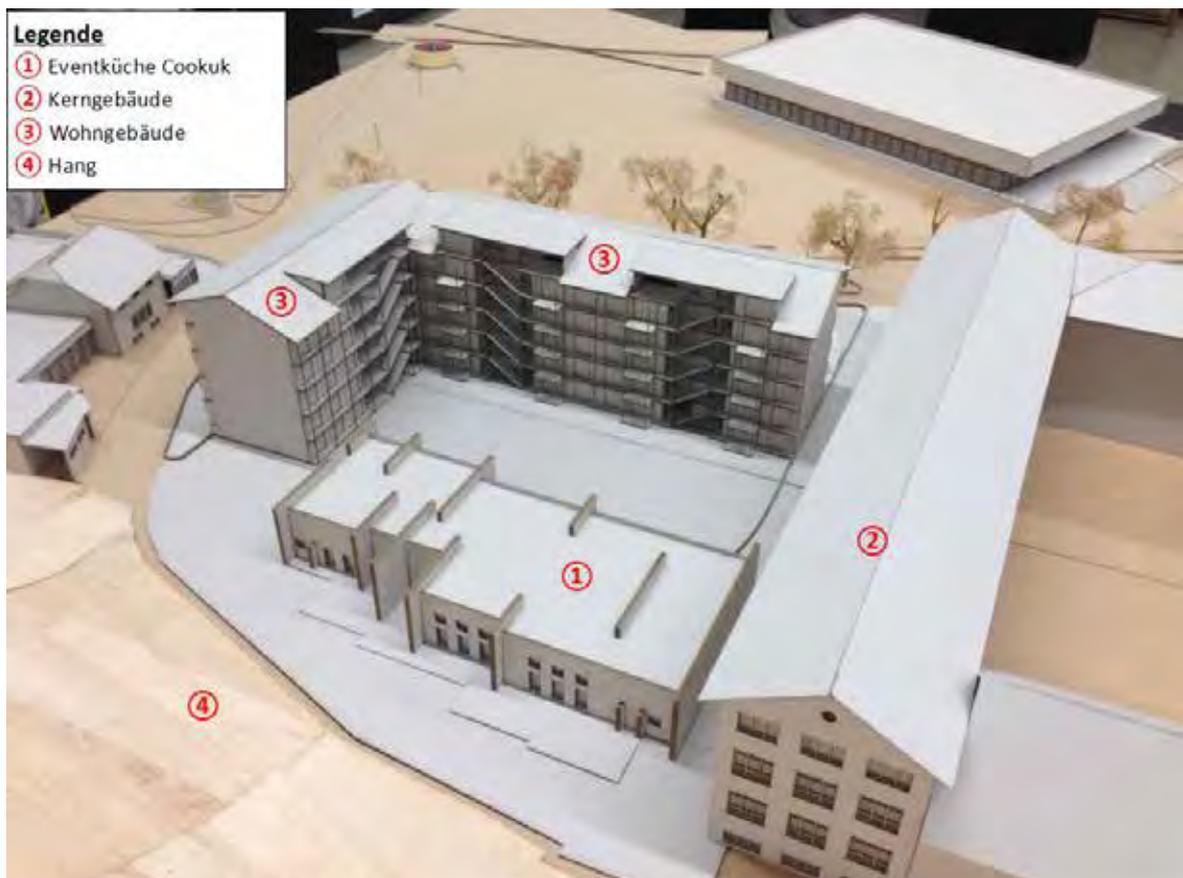


Abbildung 1: Situationsmodell Cookuk und Quartier (Quelle: S. Marti, 2018)

Vermeidung von Geruchsemissionen in der Gastronomie am Beispiel Cookuk Aarau**Grundlagen**

Um abzuklären, ob ein zwei Meter Kamin genügt, damit die Fortluft weder in den Wohnungen noch im Quartiershof zu Belästigungen führt, werden Strömungssimulationen durchgeführt. Als Grundlagen dienten die SIA 382/1 und die SWKI VA 102-01 sowie die Empfehlungen „Mindesthöhe von Kaminen über Dach“ und „Empfehlung zur Beurteilung von Gerüchen“ vom Bundesamt für Umwelt (BAFU). Wirkungsgrade von verschiedenen Filtersystemen wurden von Messfirmen angefragt, um auch die technischen Möglichkeiten zu simulieren. Als Grundlage wurde auch die Windsituation in Aarau miteinbezogen.

Die in den Simulationen verwendete Einheit ist GE/m^3 . GE bedeutet Geruchseinheit und gibt die Geruchsstoffkonzentration ohne Bezug auf die genaue Zusammensetzung, in der Luft an. Die Geruchsschwelle liegt bei $1 \text{ GE}/\text{m}^3$ und ist so definiert, dass die Konzentration der enthaltenen Geruchsstoffe gerade so hoch ist, dass diese in 1 m^3 Luft gerade noch wahrgenommen werden können. Zur Beurteilung der Simulationen wurden Grenzwerte für die Geruchsstoffkonzentration definiert. $1 \text{ GE}/\text{m}^3$ sollte im Aufenthaltsbereich nur selten und wenn, dann in kleinem Volumen überschritten werden. Bei einer Geruchsstoffkonzentration von $5 \text{ GE}/\text{m}^3$ kann der Geruch eindeutig identifiziert werden. Dieser Wert soll im Bereich der Gebäude möglichst selten überschritten werden. Ab $10 \text{ GE}/\text{m}^3$ ist ein starker Geruch wahrnehmbar. In diesem Bereich ist der Geruch belästigend und sollte daher nicht an eines der Gebäude grenzen.

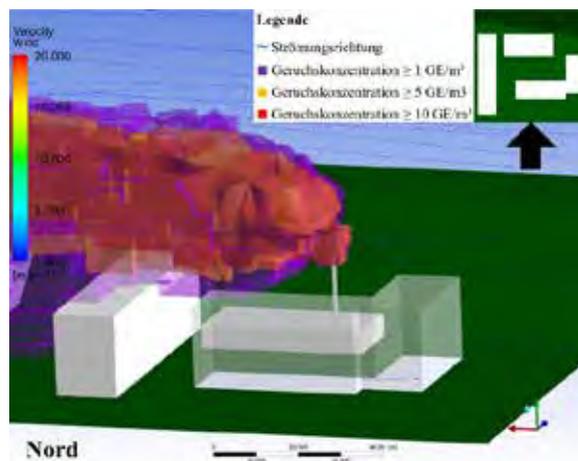
Strömungssimulationen

Abbildung 2: Kamin 18.5 m, Westwind 0.5 m/s
($2000 \text{ GE}/\text{m}^3$ am Auslass)

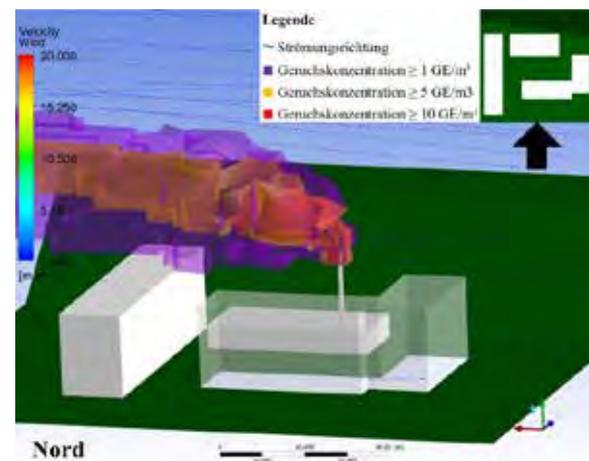


Abbildung 3: Kamin 18.5 m, Westwind 0.5 m/s,
Aktivkohlefilter ($300 \text{ GE}/\text{m}^3$ am Auslass)

Die Simulationen wurden in Gruppen von neun Schritten durchgeführt. Ein solcher Schritt wurde aufgrund der Ergebnisse des vorherigen Schrittes definiert. Der erste Schritt gab Aufschluss darüber, dass es keinen grossen Unterschied macht ob Sommer oder Winter. Auch Thermik und Hangabwinde beeinflussen die Ausbreitung der Küchenfortluft nur sehr gering. Im zweiten Schritt wurde gezeigt, welche Wirkung ein hoher Kamin hat. Der Kamin wurde 4 m über die Dächer der Nachbargebäude geführt, was zu massiv besseren Ergebnissen führte. Der dritte Schritt hat gezeigt, dass die Erhöhung des Fortluftvolumenstroms keine Verbesserung mit sich bringt. Im vierten und fünften Schritt befasste man sich mit sehr kleinen Windgeschwindigkeiten. Daraus konnte die Erkenntnis gezogen werden, dass vor allem kleinen Windgeschwindigkeiten unter 1 m/s viel Beachtung geschenkt werden muss, da bei diesen die Geruchsstoffkonzentration allgemein sehr hoch ist. In den Schritten sechs und sieben wurden unterschiedliche Geruchsstoffkonzentrationen in der Fortluft simuliert. So wurden die verschiedenen Filterwirkungsgrade verglichen.

Vermeidung von Geruchsemissionen in der Gastronomie am Beispiel Cookuk Aarau

Für die Situation mit einem 2 m hohen Kamin wird ein Filter mit einem Geruchsbeseitigungs-Wirkungsgrad von 99 % benötigt, damit nur noch geringe Konzentrationen von Geruchsstoffen an der Fassade des Nachbargebäudes sind. Dagegen reicht ein Filter mit einem Geruchsbeseitigungs-Wirkungsgrad von 85 % bei einem hohen Kamin, damit die Luft geruchsstofffrei ist. Im achten und neunten Schritt wurde noch analysiert, ob die Resultate der Schritte sechs und sieben auch mit anderen Windgeschwindigkeiten und Windrichtungen übereinstimmen.

Ergebnisse

Die meisten meteorologischen Einflüsse wie Umgebungstemperatur, Hangabfallwinde oder auch der thermisch bedingte Auftrieb verändern die Ausbreitung der Geruchsstoffe kaum. Die Windgeschwindigkeit hingegen hat einen grossen Einfluss auf die Verteilung und Durchmischung der Küchenfortluft. Vor allem den geringen Windgeschwindigkeiten muss viel Beachtung geschenkt werden. Um garantieren zu können, dass im ganzen Quartier keine Geruchsimmissionen auftreten, ist ein höherer Kamin notwendig. Die Erhöhung der Fortluftgeschwindigkeit führt zu keiner Verbesserung der Luftqualität in der näheren Umgebung. Auch reicht ein Geruchsfilter-Wirkungsgrad von 99 % in dieser Situation noch nicht aus, damit die Umgebung garantiert geruchsfrei ist.

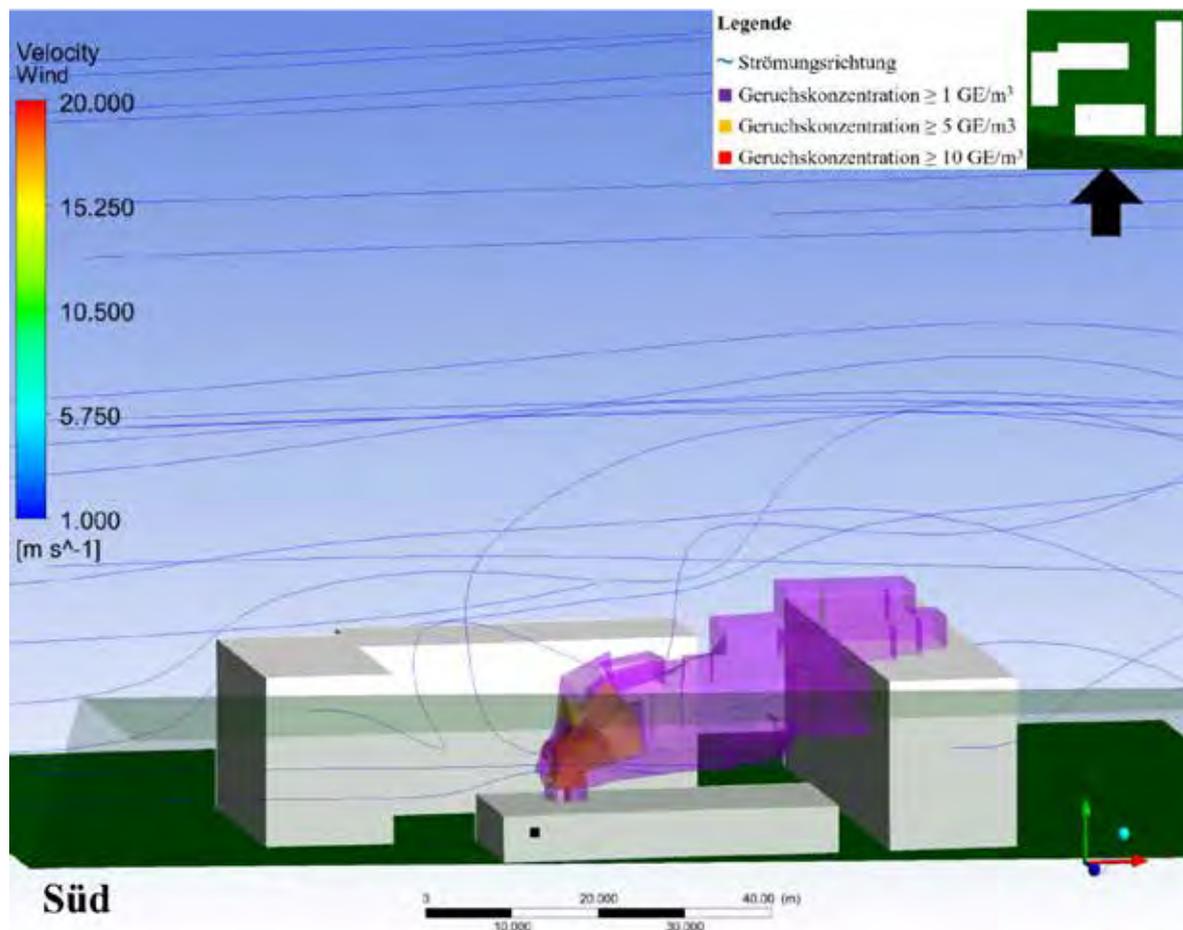


Abbildung 4: Kamin 2 m, Westwind 0.5 m/s, Plasmafilter (99 % Geruchsbeseitigung) (50 GE/m³ am Auslass)



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BDA_G_H17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie

Lade- und Entladeverhalten eines Energiespeichers mit einem innenliegenden Wärmeübertrager

Diplomand	An Nhien Nguyen Tran
Professoren	Heinrich Huber Werner Betschart
Experte	Roni Hess
Auftraggeber	Hochschule Luzern für Technik und Architektur
Abgabedatum	8. Januar 2018

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

Lade- und Entladeverhalten eines Energiespeichers mit einem innenliegenden Wärmeübertrager

Ein Warmwasserspeicher dient zur Überbrückung von Differenzen in der Wärmeproduktion und Verbrauch. Vorwiegend werden im Sanitärnetz sensible Wärmespeicher eingesetzt. Durch die Optimierung der Lade- und Entladebedingungen kann die Effizienz des Speichers optimiert werden.

Im Rahmen der Bachelordiplomarbeit wird im Zentrum für Integrale Gebäudetechnik für Technik und Architektur ein Versuchstand aufgebaut. Der Versuchstand erlaubt, dass die Konvektion beim Laden, Entladen und Nachladen in einem Brauchwarmwasserspeicher mit einem innenliegenden Wärmeübertrager sichtbar zu machen.

Um Trinkwarmwasser aufzubereiten, gibt es zwei Wassererwärmungsarten. Bei der direkten Wassererwärmung erfolgt die Energieumwandlung direkt im Speicher- oder im Durchflusswassererwärmer. Die Erwärmung geschieht direkt ohne Energiemittelträger. Das Prinzip zur Beladung des Speichers ist die thermische Schichtung. Der Wärmeübertrager liegt ausserhalb des Speichers. Die Schichtladung erfolgt mit oder ohne sekundäre Temperaturhochhaltung. Eine gute Grenzschicht zwischen kalter Schicht und warmer Schicht (kleine Mischzone) ist in der Abbildung 1 zu erkennen.

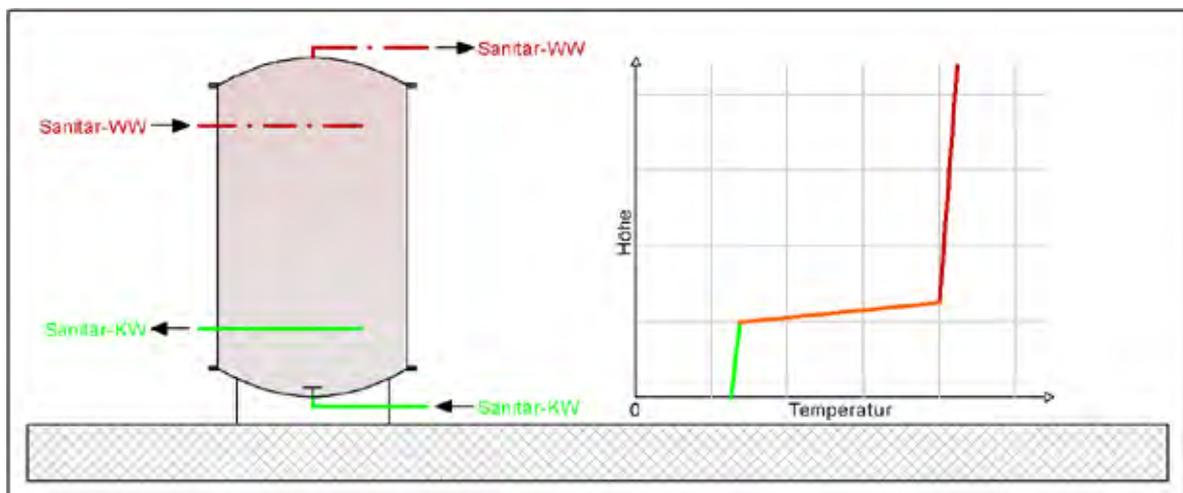


Abb. 1: Direkt beladene Speicher mit aussenliegendem Wärmeübertrager und Temperaturschichtung über die Höhe

Bei der indirekten Wassererwärmung erfolgt die Erwärmung indirekt über einen Energiemittelträger, in dem Quellenenergie in einem Wärmeerzeuger ausserhalb des Wassererwärmers zugeführt wird. Die indirekt beladenen Speicher sind mit einem oder mehreren innenliegenden Wärmeübertrager ausgestattet, meist als Glattrohrwärmeübertrager ausgeführt. Die Temperaturschichtung ist über die Speicherhöhe in der Abbildung 2 gezeigt, dass im Bereich des Wärmeübertragers und darüber eine gleichmässige Erwärmung stattfindet und sich eine niedrige Temperatur mit darunterliegender Kaltzone einstellt. Am Anfang ist die Mischzone klein und mit der wird sie durch Wärmeleitung zwischen den Schichten und durch Wärmeverlust an der Wand immer grösser. Dieses Phänomen gilt auch für direkt beladenen Speicher.

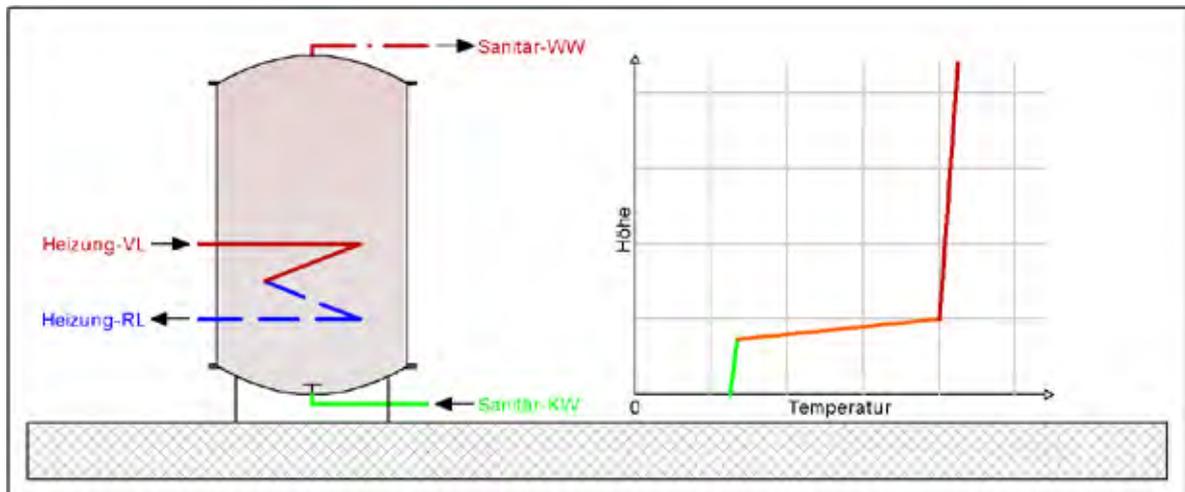
**Lade- und Entladeverhalten eines Energiespeichers
mit einem innenliegenden Wärmeübertrager**

Abb. 2: Indirekt beladene Speicher mit innenliegendem Wärmeübertrager und Temperaturschichtung über die Höhe

Wassererwärmer mit innenliegendem Wärmeübertrager

Die innenliegenden Wärmeübertrager werden häufig eingesetzt. In Kleinanlagen (bis 2000 Liter) sind die Warmwassererwärmer mit innenliegendem Wärmeübertrager aufgrund der geringen Investition verbreitet. Die Erwärmung erfolgt mit einer induzierten Konvektion. Der Massenstrom ist über den Wärmeübertrager auf der Heizungsseite konstant und auf der Sanitärseite wird die Temperatur durch die Konvektion in Stufen erhöht.

Temperaturmessungen im Speicher

Die Gesamtspeichernutzung ist nicht möglich. Die Soll-Warmwassertemperatur wird erst gegen Ende des Ladeprozesses erreicht. Beim Laden durchbricht die Konvektionsströmung die Temperaturschichten und es stellt sich eine Mischtemperatur im Speicher ein. Um zu verdeutlichen wie sich die Temperatur über die Speicherhöhe darstellt, werden Temperaturfühler eingebaut. Die PT-100 Temperaturfühler werden über die Speicherhöhe gleichmässig verteilt. Die gemessenen Widerstände können mit Hilfe eines Digitalmultimeters in Temperaturwerte umgerechnet werden. Die gemessenen Temperaturen werden an den Steuerrechner abgegeben.

Versuchsstand

Der Versuchsstand besteht aus einem transparenten 1300-Liter Speicher. Der Mantel besteht aus Plexiglas und der Boden bzw. die Decke aus Stahl. Im Speicher sind Temperaturfühler PT-100 und bei der KW-Zuleitung ist ein Durchflussmessgerät eingebaut. Im hydraulischen Kreis sind ein Temperaturfühler beim VL bzw. RL und ein Durchflussmessgerät montiert. Durch das eingebaute Dreiwegventil kann die gewünschte VL-Temperatur festgelegt werden. Durch die Laborrahmenbedingungen muss der Glattröhrwärmeübertrager in der Mitte eingebaut werden und dadurch liegen ca. 500 Liter Wasser in der Kaltzone. Die KW-Zuleitung wird mit einem Prallblech versehen und mit einer Dosierpumpe kann Lebensmittelfarbe eingepflegt werden. Aufgrund der Konstruktion mit Plexiglas ist der Wassererwärmer über einen offenen Expansionsbehälter angeschlossen. Durch diesen Behälter werden Lebensmittelfarbe und Pigmenten beigemischt. Der Speicher ist nicht gedämmt.

Lade- und Entladeverhalten eines Energiespeichers mit einem innenliegenden Wärmeübertrager

Das Laden mit der konstanten 70°C, 55°C VL-Temperatur und mit der variablen 35°C bis 65°C VL-Temperatur untersucht. Das Entladen wird mit einem 800l/h (0.22l/s) und einem 2000l/h (0.56l/s) Volumenstrom an der Entnahmestelle gemessen. Beim Nachladen ist die Durchbrechung der Temperaturschicht zu untersuchen. Dies führt zu Versuche mit gleicher Temperaturdifferenz der kalten und warmen Schicht (10°C/50°C) und mit der Grenzschicht bei der Höhe von 80cm, 100cm, 120cm und 140cm sowie Versuche mit gleicher Höhe von 120cm, aber mit verschiedener Temperaturdifferenz wie 10°C/30°C, 10°C/40°C und 10°C/50°C.

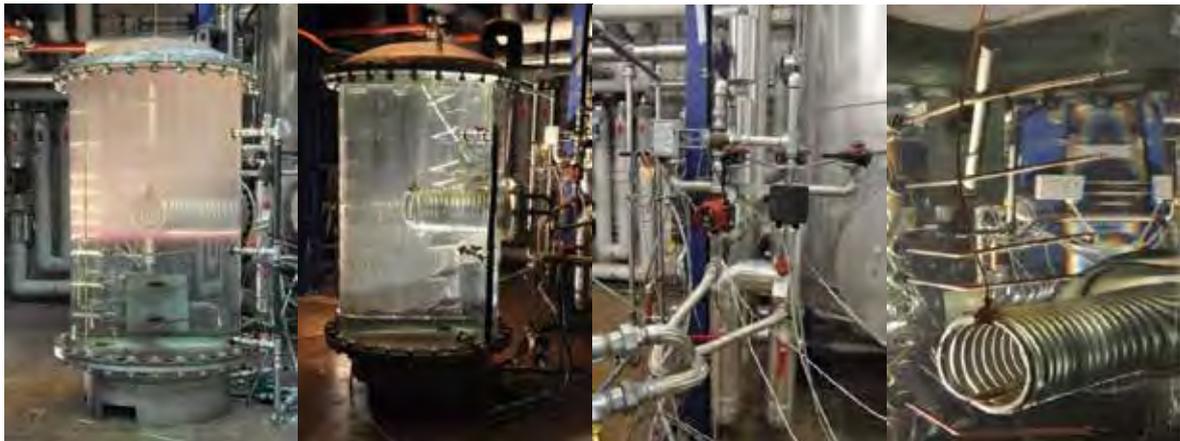


Abb. 3: Versuchstand: Speicher (1&2), hydraulische Einbindung (3) und Glattrohrwärmeübertrager (4)

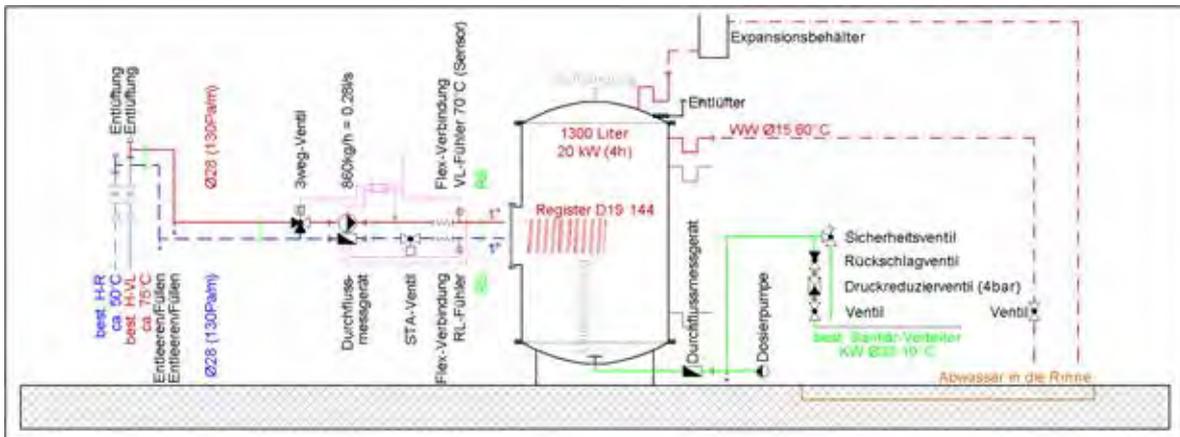


Abb. 4: Prinzipschema des Versuchstandes



Abb. 5: Visualisierung mit Lebensmittelfarbe (1), Thermochrom-Pigment (2, 3) und Laser (4)

Lade- und Entladeverhalten eines Energiespeichers mit einem innenliegenden Wärmeübertrager

Visualisierung

Für die Visualisierung beim Laden, Entladen und Nachladen des Speichers werden Lebensmittel-farbe und Thermochrom-Pigmente über die Pumpe oder den Expansionsbehälter zugeführt, mit dem Laser bestrahlt und mit der Kamera und Wärmebildkamera bzw. mit den Fühlern die Temperatur im Speicher aufgezeichnet.

Ergebnis

Beim Laden wird das erwärmte Wasser durch ihre unterschiedliche Temperatur langsam eingeschichtet. Es bildet sich eine grosse kalte Schicht und eine grosse warme Schicht. Es findet eine Wärmeleitung bei der Grenzschicht nach unten statt. In der warmen Schicht findet eine gleichmässige Erwärmung statt. Unter der Grenzschicht befindet sich eine kalte Schicht mit niedrigerer Temperatur. Mit der Zeit stellt sich durch die Wärmeleitung eine Übergangsschicht (Mischzone) ein. Die Grenzschicht befindet sich immer auf derselben Höhe, egal mit welcher Leistung geladen wird. Von der Grenzschicht bis zur obersten Stelle des Speichers wird die Temperaturdifferenz gegen Ende des Ladeprozesses immer kleiner.

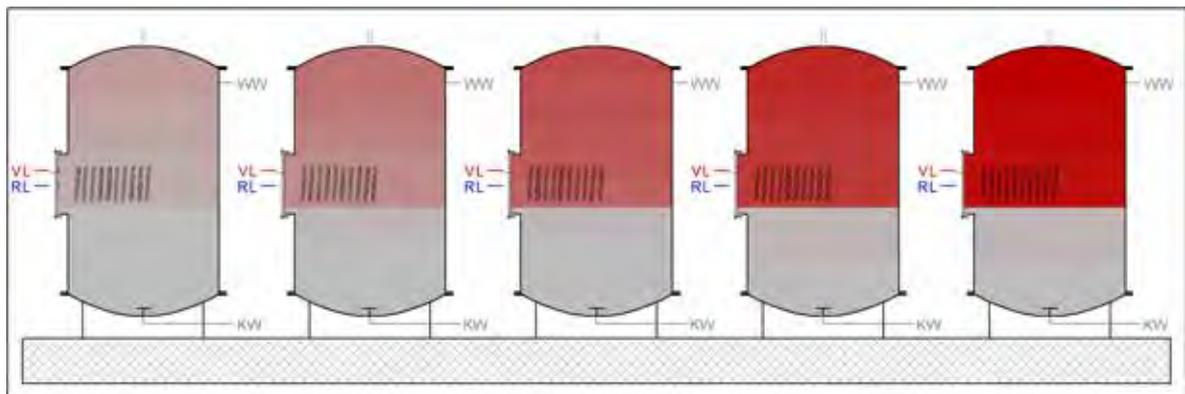


Abb. 6: Grenzschichtbildung und Temperaturverlauf beim Laden

Beim Entladen bewirkt die Einströmung des Kaltwassers eine Übergangsschicht (Mischzone) im Speicher. Je grösser der Volumenstrom ist, desto grösser ist die Übergangsschicht. Es kann dadurch eine Durchmischung in der Kaltwasserzone entstehen. In der Folge wird die Grenzschicht durch die Einströmung und durch die Wärmeleitung gegen Ende des Entladeprozesses immer grösser. Beim Laden entsteht eine Mischzone unterhalb des Wärmeübertrager und wird beim Entladen grösser.

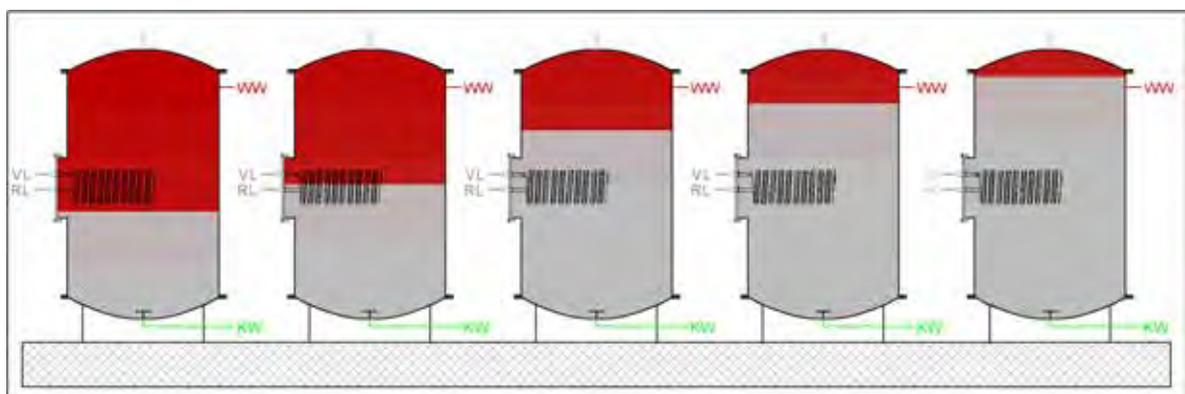


Abb. 7: Grenzschichtverschiebung und Temperaturverlauf beim Entladen

**Lade- und Entladeverhalten eines Energiespeichers
mit einem innenliegenden Wärmeübertrager**

Beim Nachladen durchbricht die Konvektionsströmung die Temperaturschichten. Je grösser das Verhältnis der zu erwärmenden kalten Schicht und der warmen Schicht und je grösser die Leistung sind, desto mehr bewirkt es einen grösseren Temperaturabfall. Bei der Grenzschicht ist dieser Temperaturabfall am grössten.

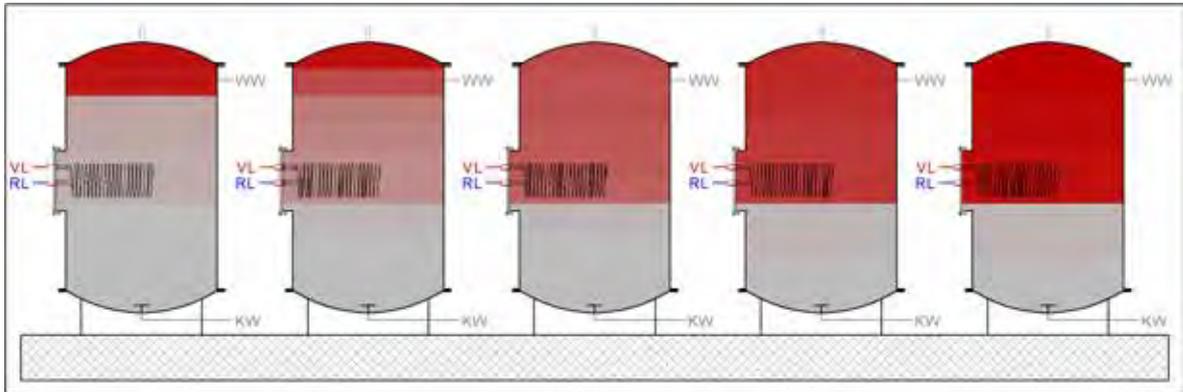


Abb. 8: Grenzschichtbildung, -durchbrechung und Temperaturverlauf beim Nachladen

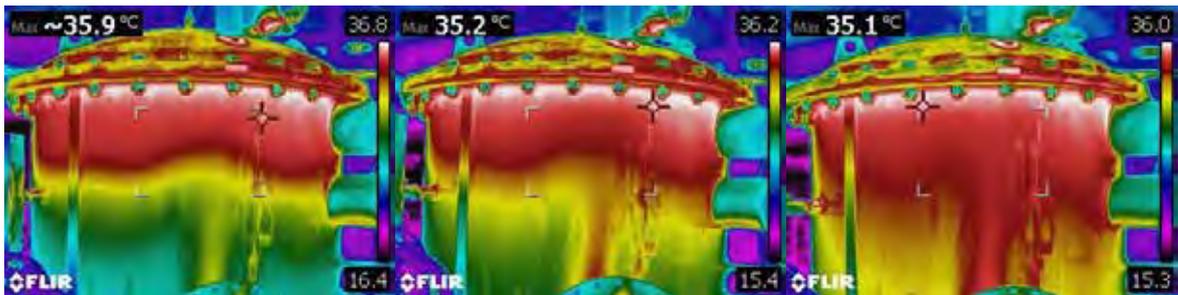


Abb. 9: Grenzschichtdurchbrechung mit Wärmebildkamera beim Nachladen



Abb. 10: Grenzschichtdurchbrechung mit Lebensmittelfarbe beim Nachladen



Fachartikel zur
Bachelor-Thesis BAT_G_H17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Betriebsoptimierung Hauptsitz Herzog Kull Group Aarau

Studierende	Jonas Wyss
Dozierende	Prof. Dr. Axel Seerig Dr. Olivier Steiger
Experte/-in	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur HKG Consulting AG, Mühlemattstrasse 16, 5001 Aarau
Abgabedatum	08. Januar 2018

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.

Betrieboptimierung Hauptsitz Herzog Kull Gruppe Aarau

Der Hauptsitz der Herzog Kull Group AG befindet sich in Aarau. Im Bürotrakt dieses Neubaus lassen sich die vier verschiedenen Gebäudeautomations-Energieeffizienzklassen A-D systematisch umschalten. Es besteht so die Möglichkeit, den Energieverbrauch und die Behaglichkeit der einzelnen Energieeffizienzklassen unter gleichen baulichen und anlagentechnischen Gegebenheiten zu vergleichen. Die anhand eines Projektes des Bundesamtes für Energie und der Hochschule Luzern durchgeführten Messungen entsprachen im Vergleich zur Norm SIA 386.110 teilweise nicht den Erwartungen. Zudem weist die Gebäudeautomation noch diverse Fehler und unplausible Betriebszustände auf. In dieser Bachelor-Thesis werden Vorschläge für die Betriebsoptimierung erarbeitet, um den idealen Betriebsmodus zu finden, unter Berücksichtigung von Energie, Komfort und individuellen Ansprüchen der Nutzer.

Vorgehen

Im ersten Schritt werden die Daten der Gewerke Heizung, Lüftung, Kälte, Sanitär und Elektro analysiert. Als Referenzjahr der Analyse gilt der Zeitraum von Oktober 2016 bis Oktober 2017, in welchem das Gebäude in der Energieeffizienzkategorie B betrieben wurde. Betrachtet werden sämtliche Einstellungen im Leitsystem sowie der jährliche Energieverbrauch. Bei Bedarf wird zusätzlich der monatliche bis tägliche Energieverbrauch der Gewerke betrachtet, um Unregelmässigkeiten sowie Ausreisser genauer identifizieren zu können.

Datenanalyse

In der Datenanalyse werden alle Gewerke mit Hilfe von Diagrammen und Messdaten auf den Energieverbrauch während des Referenzjahres betrachtet, entsprechend überprüft und kritisch hinterfragt. Sämtliche Daten stammen aus dem Leitsystem Alcedo, Beetle T4, welches vor Ort installiert ist.

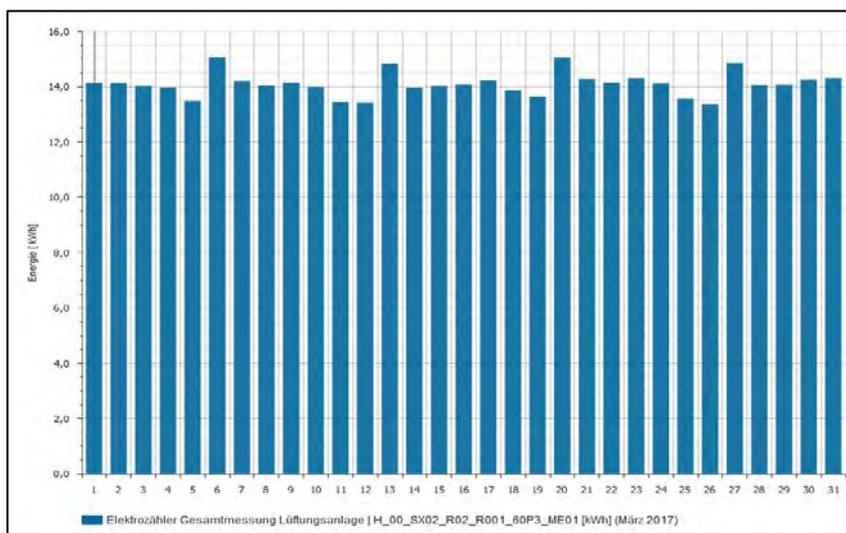


Abbildung 1: Beispiel Lüftung elektr. Energieverbrauch März 2017

Als Beispiel ist in der Abbildung 1 der elektrische Energieverbrauch der Lüftungsanlage im Monat März 2017 abgebildet. Dabei wurde festgestellt, dass die Lüftungsanlage im Dauerbetrieb läuft. Der Dauerbetrieb der Lüftungsanlage besteht nach weiteren Recherchen seit Februar 2017.

Fehleranalyse Gewerke

Anhand der Datenanalyse werden die Fehler, welche unter anderem im Leitsystem oder aufgrund von unplausiblen Betriebszuständen sowie des Energieverbrauchs pro Gewerk ersichtlich sind thematisiert und untersucht.

Fehleranalyse Lüftung

Aufgrund falscher Messwerte der Raumluftqualitätsfühler im Grossraumbüro G0.12 läuft die Lüftungsanlage seit Februar 2017 im Dauerbetrieb. Mit einem mobilen Luftqualitätsmessgerät wurden die Fühler vor Ort auf ihre Plausibilität überprüft. Gemessen wurden mit dem Messgerät 687 ppm, im Leitsystem zeigt der betroffene Luftqualitätsfühler einen Wert von 1541 ppm an. Zusätzlich weist die Regulierung der Zulufttemperatur eine Abluft-Zuluft-Kaskadenregelung auf. Auf diese Anlage bezogen ist aus energetischer Sicht diese Regelstrategie nicht zielführend. Eine Kaskadenregelung wird nur eingesetzt, wenn der Raum mit der Lüftungsanlage geheizt oder gekühlt werden muss. Die Lüftungsanlage im Bürotrakt des Gebäudes ist auf den hygienischen Luftwechsel ausgelegt und somit kann mit dieser Anlage weder geheizt noch gekühlt werden.

Kälte Fussbodenheizung

Bei der Analyse des Anlagebildes der Fussbodenheizung Kühlen des Leitsystems wurde festgestellt, dass das Regelventil der Gruppe manuell mit Bacnet Priorität 8 (manual operator) ständig 42% geöffnet ist. Die Folge davon ist, dass die Hauptpumpe mehr Strom verbraucht sowie nicht benötigte Kälteenergie zusätzlich von der Fernkälte geliefert wird. Die Kühlgruppe kann mit dem von Hand eingestellten Ventil nicht mehr richtig regeln. Dies führt dazu, dass im Sommer bei hohen Aussentemperaturen die Wärme in den Büroräumlichkeiten nicht mehr ganz abgeführt wird.

Manuelle Eingriffe an den Komponenten der Gebäudeautomation führen zu unplausiblen Betriebszuständen in den Gebäudetechnikanlagen und der Regulierung.

Vorschläge für die Betriebsoptimierung

Monitoring

Damit manuelle Eingriffe sowie unplausible Betriebszustände in Zukunft vermieden werden, ist der Aufbau eines Monitorings unumgänglich. Das Monitoring überwacht sämtliche Zustände der Anlagen und löst frühzeitig bei nicht optimalen Bedingungen (manuelle Eingriffe, abrupte Änderung von Sollwerten, Defekt von Komponenten, Nichteinhalten von Solllaufzeiten, etc.) einen Alarm aus. Das Monitoring erkennt somit frühzeitig einen ungünstigen Betrieb der Anlage und der Bediener des Leitsystems kann so den Fehler schnell beheben.

In der untenstehenden Tabelle 1 wird aufgezeigt, wie die Zustände im Monitoring als Beispiel realisiert werden können.

Tabelle 1: Beispiele für Monitoring

Datenpunkt (IO/ Virtueller Datenpunkt)	Zeitraum Überwachung Grenzwert	Aktion
Handeingriff (Bacnet Priorität 7/8), oder Out of Service	sofort	Meldung an GLS, Alarm
Luftqualitätsfühler Büro	>1400 ppm, >2h	Alarm
Betriebsstundenerfassung (Pumpen, Ventilatoren, etc.)	Betrieb Lüftung >12h (Mo-Fr) Betrieb Lüftung >2h (Sa-So)	Bei Abweichungen Alarm an GLS
Gruppe FBH: Wärmeenergie im Sommer (Mai-September)	Überwachung Wärmezähler ob in dieser Zeit Wärmeenergie verbraucht wird	Meldung an GLS, ungünstiger Betriebszustand
Ausfall Fernkälteversorgung	Sofort	Alarm, Meldung an GLS und Fernalarmierung

Umschaltung Heizen-Kühlen Fussbodenheizung (FBH)

Die Umschaltung der FBH von Heizen auf Kühlen und umgekehrt erfolgt mit der heutigen Einstellung der Regelung zu spät, insbesondere in der Übergangszeit. Als Vorschlag kommen hier folgende Möglichkeiten in Frage:

- **Variante 1:** In der ersten Variante wird die Aussentemperatur mit einem Totband in der Software gefiltert. Je nach Gebäudetyp beträgt die individuell einstellbare Zeit 48 bis 64h. Mit dieser Variante wird ein zu schnelles Umschalten von Heizen auf Kühlen und umgekehrt verhindert.
- **Variante 2:** In der zweiten Variante wird die Aussentemperatur über die Wettervorhersage (z.B. Meteo Schweiz) übers Internet ins Gebäudeleitsystem integriert. Hier erfolgt die Umschaltung frühzeitig und der Effekt der Gruppe ist früher bemerkbar. Dieser Dienst ist jedoch nicht kostenlos und es wird zusätzliche Hardware für die Integration der Applikation in der Gebäudeautomation benötigt.

Generell wird die Kühlung der FBH erst ab einer Aussentemperatur grösser 18°C freigegeben.

Lüftung

Neu erfolgt die Aufbereitung der Zuluft über eine Zulufttemperaturregelung anstelle einer Abluft-Zuluft-Kaskadenregelung. Die Drehzahl der Ventilatoren erfolgt über die Rückmeldung der Klappenposition der variablen Volumenstromregler. Die Lüftungsanlage wird freigegeben über die Einzelraumregulierung. Bei Bedarf sowie Sondereinstellungen (z.B. Nachtauskühlung) kann die Lüftung über das Zeitschaltprogramm freigegeben werden.

Einzelraumregulierung

Im ersten Schritt sind die Raumluftqualitätsfühler im Büro G0.12 auf die Konvertierung in der Software zu überprüfen. Die Fussbodenheizung ist ein träges System und mit individueller Einzelraumregulierung schwierig zu regeln. Dementsprechend ist die FBH in den Zonen neu mittels zentralem Zeitschaltprogramm inklusive Nachtabsenkung zu steuern. Die Zonenventile sind dann zu öffnen.

Die Luftmengenregelung erfolgt bedarfsabhängig über die Präsenzmelder sowie die variablen Volumenstromregler. Im Bürotrakt sind die Fenster nicht überwacht. Deshalb wird empfohlen, die Fenster mittels Fensterkontakt nachzurüsten. Werden die Fenster geöffnet, werden die Ventile und die variablen Volumenstromregler geschlossen.

Die Jalousien werden mit einem Schattenrechner ergänzt. Dieser berücksichtigt die Nachbargebäude und Umgebung geometrisch. Mit dieser Ergänzung wird jede Jalousie individuell angesteuert. Sämtliche Leuchten sind über den DALI BUS erschlossen. Die Lichtregelung in den Bürozonen erfolgt neu über die individuelle Konstantlichtregelung mit Berücksichtigung der Innen- und Fensterzonen der Büroräumlichkeiten.

Tabelle 2: neue Sollwerte Raumregulierung

Sollwert	Betriebsart	Wert
Heizen	Anwesend (Komfort)	22°C
Heizen	Abwesend (Economy)	18°C
Kühlen	Anwesend (Komfort)	24°C gleitend nach Aussentemperatur
Kühlen	Abwesend (Economy)	26°C
Raumluftqualität	Anwesend (Komfort)	1000-1400 ppm
Zeiteinstellung Abwesenheit Lüftung	Abwesend (Economy)	15 Minuten
Zeiteinstellung Abwesenheit Licht	Abwesend (Economy)	15 Minuten

Fazit

Das Ziel der Arbeit, einen optimalen Betriebsmodus für die Gebäudeautomation zu finden, wird mit der Ausführung der Optimierungsvorschläge für alle Gewerke erreicht. Das Gebäude soll in Zukunft in der Energieeffizienzklasse A betrieben werden. Für einen optimalen Betriebsmodus wird das Zusammenspiel zwischen Automation und Nutzer vorausgesetzt. Mit den vorhandenen Optimierungsvorschlägen und den bestehenden Funktionen des Betriebsmodus A ist die Gebäudeautomation unter Berücksichtigung von Energie und Komfort für Nutzer, Betreiber und Eigentümer langfristig gewährleistet. Zudem hat die Optimierung nach SIA Merkblatt 2048 auch einen positiven Einfluss auf die Lebensdauer der Gebäudetechnik Anlagen. Während der schrittweisen Umsetzung der Optimierungsvorschläge müssen kontinuierlich Befragungen der Nutzerzufriedenheit durchgeführt und bei der Betriebsoptimierung mitberücksichtigt werden. Solche Befragungen können mittels Online-Fragebogen erfolgen. Zudem soll der Betreiber die Nutzer regelmässig Informationen über die Anlagen mitteilen und über ein energieoptimales Verhalten informieren.

MAS

TER

Master-Thesis Engineering, Fachgebiet Energy and Environment

Energetic refurbishment of an 18th century residential building according to Minergie Standards.



Problem description

The old building stock plays a very influential role in the overall energy demand of the country (Prognos, 2016). Refurbishing the old building stock by following the Minergie standard might be a cost-effective solution to reduce the energy demand and impacts. Minergie is a very established standard that assures and elevate level of quality in terms of energy and comfort. Although it is generally associated to new or totally renovated buildings, this report studies the feasibility of partially refurbishing an historical building and achieving the basic Minergie Standard.

Solution concept

To assess the feasibility of fulfilling the Minergie requirements and the best energetic practice to adopt for the renovation, different scenarios were created. Five renovation scenarios were based on the new renovation systems provided by Minergie (Minergie, 2017).



An additional scenario attempts to verify the potential of receiving a Minergie Standard by exclusively adopting the MuKE requirements for renovation (EnFK, 2014). A final Scenario that includes the most severe requirements of the Minergie's Renovation Systems was created.

With the aid of a computational tool developed during the project, the following variables were computed for each Scenario: the heating demand, the Index Minergie, the Costs and the Environmental impacts. Lastly it was assessed the fulfilment of the basic Minergie standard and a comparison of the different scenarios' results was provided.

In order to assess the efficiency of each scenario, the term payback period for all dimensions under analysis (Costs, Energy, Environmental Impacts) was introduced. This term helped to verify whether or not the energetic refurbishment made sense and how fast it would take to obtain benefits from the current situation, the threshold scenario. Based on the three dimensions, the best scenario for renovation was recommended.

Daniele Civatti

MSE Student and Scientific Assistant

Academic Advisor:
Prof. Dr. Axel Seerig

References

Prognos AG (2016). Der Energieverbrauch der Privaten Haushalte 2000 – 2015.

Minergie (2017). Systemerneuerung.

EnFK (2014). Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich (MuKE).



Fachartikel zur
Master-Thesis MAT_IGE_H17
am Institut für Gebäudetechnik und Energie IGE

Sensitivitätsanalyse von Wärmeverbunden

Studierende	Stefan Gemperle
Dozierende	Axel Seerig Thomas Schluck
Experte/-in	Hanspeter Eicher
Auftraggeber	Hochschule Luzern - Technik & Architektur
Abgabedatum	19. Januar 2017

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

Sensitivitätsanalyse von Wärmeverbunden

Die Energiestrategie 2050 hat einen versorgungssicheren und CO₂-armen Energiesektor zum Ziel. Wärmeverbunde sind dafür im Gebäudesektor ein wichtiges Mittel. Wie Wärmeverbunde aber auf Sanierungsmassnahmen am Gebäudepark reagieren ist nicht bekannt. Die Grundlagen, um diese Frage zu beantworten, sind mit dieser Arbeit erstellt worden. Basierend auf einem bestehenden Wärmeverbund ist ein Wärmeverbundmodell modelliert und eine Sensitivitätsanalyse durchgeführt worden. Mit diesen Grundlagen und Erkenntnissen können weiterführende Forschungen schneller und effizienter durchgeführt werden. Dadurch wird es möglich Wärmeverbunde zu optimieren, mit neuen Technologien zu kombinieren und sie in bestehende, städtische Strukturen zu integrieren.

Die Schweiz und die Europäische Union haben sich einen sicheren, wettbewerbsfähigen und CO₂-armen Energiesektor zum Ziel gesetzt.

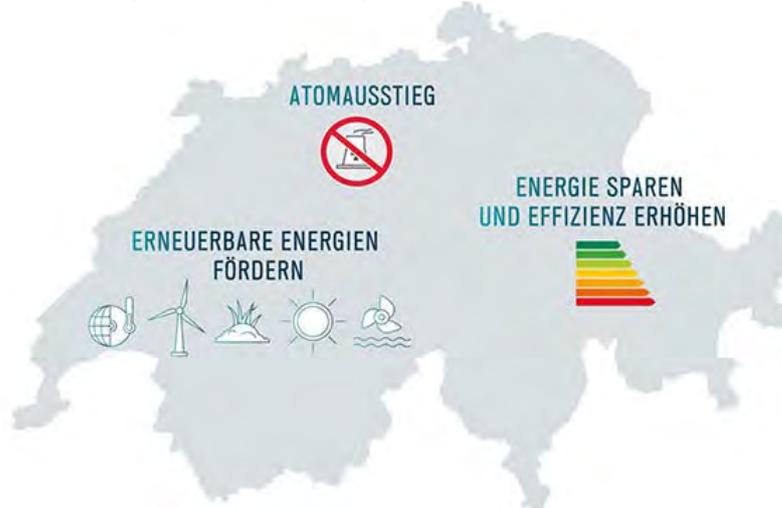


Abb. 1: Massnahmen Energiestrategie 2050 CH.

Die Motivation hierzu liegt darin, dass der Preis bei einem Versagen schlicht zu hoch wäre. Denn Energie bildet die Grundlage unserer Gesellschaft; die Bevölkerung, die Industrie und die Wirtschaft sind von ihr abhängig und auf eine sichere und nachhaltige Energieversorgung angewiesen. Um dieses Ziel zu erreichen, nehmen Wärmeverbunde im Gebäudesektor eine wichtige Rolle ein.

Problemstellung

Bereits bestehende Wärmeverbunde stehen aber vor wirtschaftlichen Problemen. Der Endenergiebedarf ihres angeschlossenen Gebäudeparks verringert sich aufgrund energetischer Sanierungen. Dieser Endenergiebedarf stellt aber zugleich ihre einzige Einnahmequelle dar. Deshalb verringern sich mit dem sinkenden Endenergiebedarf auch direkt die Einnahmen. Um die Auswirkungen dieser energetischen Veränderungen am Gebäudepark auf das System Wärmeverbund ganzheitlich zu verstehen müssen wissenschaftliche Untersuchungen erfolgen. Nur so kann auch ermittelt werden, ob und wenn ja, welche Gegenmassnahmen notwendig sind. Dafür muss in einem ersten Schritt analysiert werden, welche spezifischen energetischen Sanierungsmassnahmen im Gebäudesektor wesentlichen Einfluss auf das System Wärmeverbund haben. Diese Frage zu beantworten ist Ziel der vorliegenden Arbeit. Der Hauptfokus liegt auf den ökologischen Grössen Primärenergie und Treibhausgasemissionen des Wärmeverbunds. Zusätzlich

werden auch für die Ökonomie eines Wärmeverbunds wichtige Grössen betrachtet. Dies sind die Endenergie Verbraucher, die Endenergie Wärmeverbund und die lineare Wärmedichte.

Methodik

Um die notwendigen Analysen erfolgreich und realitätsnah durchführen zu können, wird ein bestehender Wärmeverbund der dritten Generation analysiert und alle Daten zum Gebäudepark und zum Fernwärmenetz gewonnen. Diese werden als Grundlage verwendet und mit Daten aus aktuellen Normen und Statistiken ergänzt. Darauf aufbauend wird ein vereinfachtes Wärmeverbundmodell erstellt. Die benötigten Simulationen werden im Batch-Betrieb durchgeführt. Mit den Ergebnissen des Wärmeverbundmodells wird eine globale, varianzbasierte Sensitivitätsanalyse nach Saltelli durchgeführt. Damit wird die Stärke des Einflusses möglicher zukünftiger Veränderungen des Gebäudeparks auf die ökologischen und ökonomischen Grössen eines Wärmeverbunds untersucht. Die in der vorliegenden Arbeit simulierten Veränderungen beziehen sich auf die Wärmedämmung, die Ausnutzung der passiven Sonnenenergie und die internen Gewinne durch die Beleuchtung.



Abb. 2: Angewandte Methodik.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Sensitivitätsanalyse zeigen, dass die untersuchten energetischen Veränderungen am Gebäudepark alle betrachteten ökologischen und ökonomischen Grössen des Wärmeverbunds gleichmässig beeinflussen. Den stärksten Einfluss unter den untersuchten Veränderungen hat mit Abstand die Veränderung der Wärmedämmung. Einen geringeren Einfluss hat die Veränderung der Ausnutzung der passiven Sonnenenergie. Keinerlei Einfluss hingegen hat die Veränderung der internen Gewinne durch die Beleuchtung.

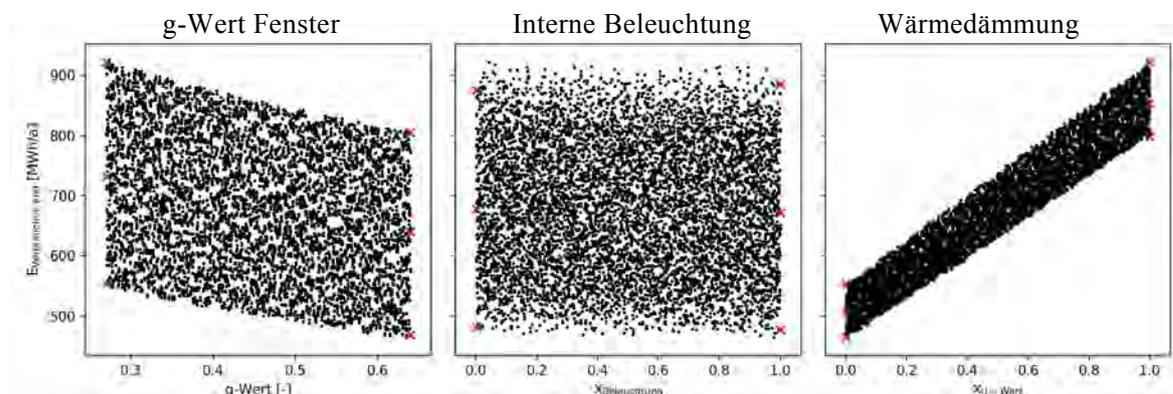


Abb. 3: Ergebnisse Sensitivitätsanalyse.

Die simulierten Veränderungen führen grundsätzlich zu einer Reduktion des Endenergiebedarfs des angeschlossenen Gebäudeparks. Dies führt zu einem reduzierten Primärenergiebedarf und zu reduzierten Treibhausgasemissionen des Wärmeverbunds. Damit werden die ökologischen Werte des Wärmeverbunds durch die Veränderungen des Gebäudeparks verbessert. Ökonomisch betrachtet sind die Veränderungen allerdings ein Problem für einen Wärmeverbund. Mit der Reduktion des Endenergiebedarfs des angeschlossenen Gebäudeparks reduzieren sich ebenfalls die Einnahmen des Wärmeverbunds. Gleichzeitig steigt der relative Anteil der Wärmeverluste an dessen Gesamtendenergiebedarf. Diese negativen wirtschaftlichen Auswirkungen sind so gross, dass es für bestehende Wärmeverbunde notwendig werden kann Gegenmassnahmen zu treffen, um den wirtschaftlichen Betrieb weiter zu ermöglichen.

Ausblick

Um möglichst effiziente Gegenmassnahmen in den Bereichen Effizienz (z.B. Reduktion von Wärmeverlusten) und Absatz (Anschliessen zusätzlicher Verbraucher zur Erhöhung des Endenergiebedarfs) erarbeiten zu können, muss die Problematik weiter untersucht werden. Mit der in der vorliegenden Arbeit angewandten Methodik, dem erstellten Wärmeverbundmodell und den Ergebnissen der Sensitivitätsanalyse sind die Grundlagen dafür erarbeitet worden. Auch für andere weiterführende Themen wie das Integrieren neuer Technologien in Wärmeverbunde oder das Kombinieren von Wärmeverbunden mit anderen Energienetzen bieten sich die erarbeiteten Grundlagen als funktionale Werkzeuge an.

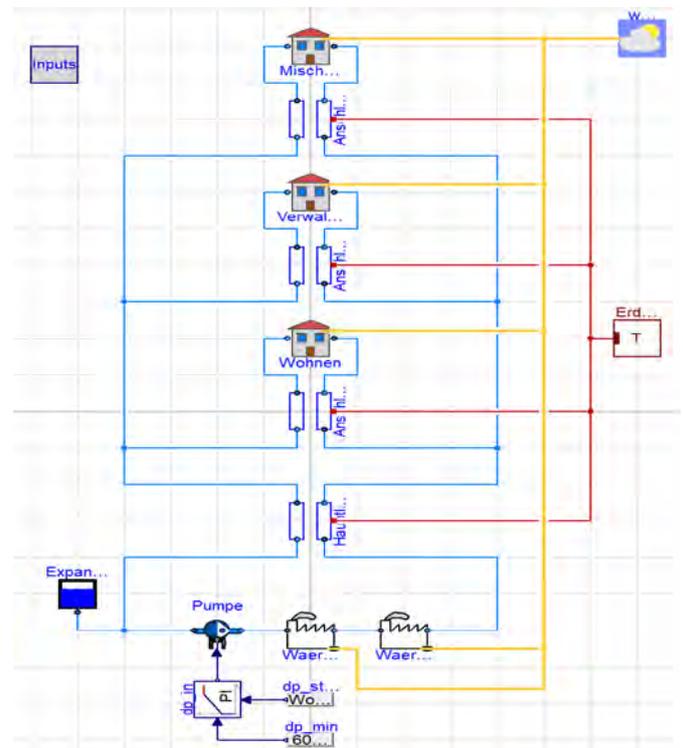
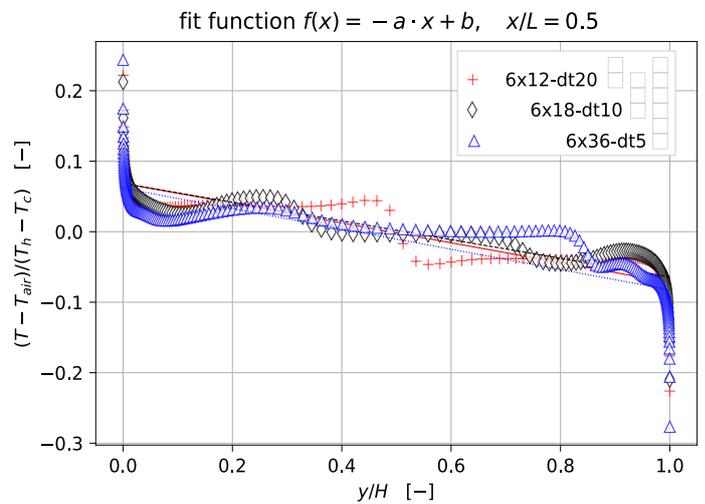
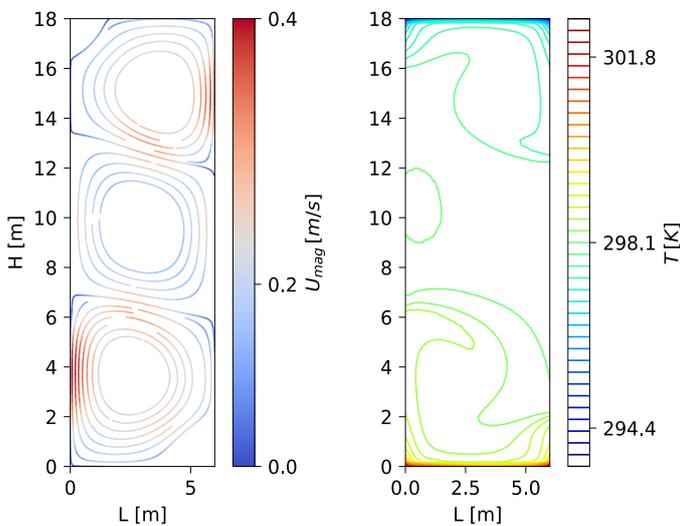
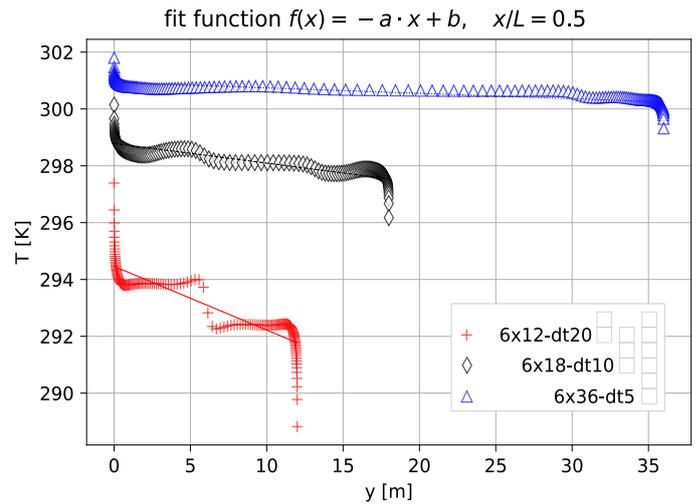
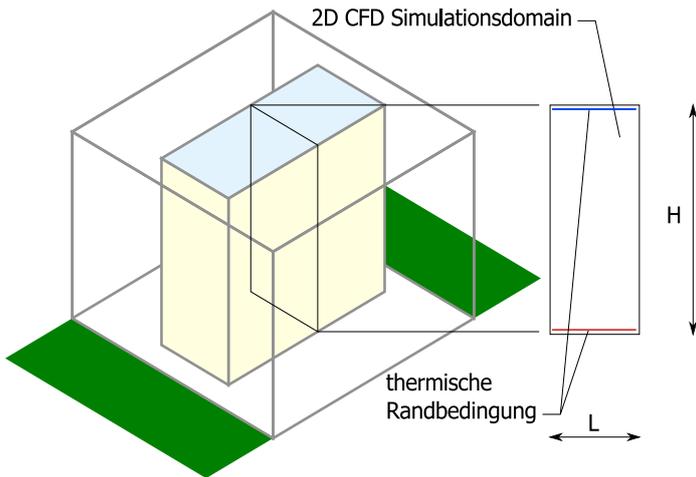


Abb. 4: Wärmeverbundmodell.



Master-Thesis Engineering, Fachgebiet Civil Engineering and Building Technology

Innenklima von grossflächig verglasten Gebäuden oder Gebäudeteilen



Problemstellung

Das Ziel dieser Arbeit war, die Muster der Raumluftströmungen in verglasten Atrien und die daraus folgenden thermischen Komfortbedingungen besser zu verstehen. Mit Hilfe der Gebäudesimulation wurden vorgängig für verschieden Geometrien typische Temperaturrandbedingungen ermittelt, welche anschliessend in den CFD-Modellen verwendet wurden.

Zweidimensionale Strömungssimulationen wurden für 30 verschiedene Fälle durchgeführt, wobei sowohl die Geometrie als auch die Temperaturdifferenz zwischen Boden und Decke variiert wurde. Die Resultate der Strömungssimulation wurden soweit möglich in dimensionsloser Form dargestellt und sowohl grafisch als auch numerisch ausgewertet.

Empirische Korrelationen für die zu erwartenden charakteristische Geschwindigkeiten bzw. Temperaturstratifikationen wurden hergeleitet als mögliche Hilfe in einer sehr frühen Planungsphase.

Luca Moretti

Betreuer:
Prof. Dr. Heinrich Manz
Prof. Dr. Axel Seerig

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