

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur
FH Zentralschweiz



Gebäudetechnik

Fachberichte Diplomarbeiten
Bachelor und Master 2015

WOR

WORD

Drei Diplomandinnen und 42 Diplomanden des Studiengangs Gebäudetechnik haben im Frühlingssemester 2015 ihre Bachelor-Diplomarbeit verfasst. Gegen 20'000 Stunden haben sie gemeinsam in ihre Arbeiten investiert. Die Arbeiten zeigen das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs auf. 18 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung Gebäude-Elektroengineering, 27 die Studienrichtung Heizung-Lüftung-Klima-Sanitär ab.

Alle bearbeiteten Themen sind konkrete und aktuelle Fragestellungen aus Forschungsprojekten oder von Industriepartnern. 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 sind die Bedeutung der übergreifenden Fokusthemen wie Funktion für die Nutzer, Energieeffizient 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.

Urs Rieder

Studiengangleiter Bachelor Gebäudetechnik

INN

NAIT

BDA G_15_01	Marcel Hartmann und Roman Bättig
BDA G_15_02	Cedric Queloz und Daminik Bollhalder
BDA G_15_03	Jürg Furrer und Andreas Züger
BDA G_15_04	Vladimir Vasic und Pascal Birrer
BDA G_15_05	Manuel Schilliger und Fabrizio Sonderegger
BDA G_15_06	Raffael Steiner und Mathias Burren
BDA G_15_07	Daniel Hadorn und Sandro Frey
BDA G_15_08	Ivan Sebastiano und Reto Elmiger
BDA G_15_10	Diego Kaufmann
BDA G_15_11	Pascal Widmer
BDA G_15_12	Marcel Kammer
BDA G_15_13	Michèle Heller
BDA G_15_14	Roland Schwendener und Samuel Rufer
BDA G_15_15	Bruno De Simoni und Ueli Weiss
BDA G_15_16	Michael Varga , David Annen und Reto Weibel
BDA G_15_17	Daniel Walti und Maurice Ramel
BDA G_15_18	Simon Mihelic und Daniel Strebel
BDA G_15_19	Kaj Jörn Witzig
BDA G_15_20	Marco Frick
BDA G_15_21	Diego Cina
BDA G_15_22	Sandra Strebel und Carina Gubler
BDA G_15_23	Patrick Kürner
BDA G_15_24	Marcel Hänseler und Michael Pfister
BDA G_15_25	Michael Bättig und Pascal Hutter
BDA G_15_26	Roger Dober und Nicolas von Rotz
BDA G_15_27	Yves Frei und Josua Rüegger
MSE 2015	Daniela Wohlgemuth

BACH

WELOR

Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_01
an der Abteilung Gebäudetechnik

NODES LAB – New Opportunities for Decentralized Energy Systems Laboratory

Studenten	Roman Bättig Marcel Hartmann
Dozenten	Prof. Matthias Sulzer Prof. Werner Betschart Andreas Odermatt
Experte	Charly Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

NODES LAB – New Opportunities for Decentralized Energy Systems Laboratory

Mit der Energiestrategie 2050 des Bundes soll einerseits der Atomausstieg erreicht werden und zum anderen der CO₂-Ausstoss reduziert werden. Um diese Ziele zu erreichen, soll vermehrt auf dezentrale Energieversorgung gesetzt werden. Um die so erzeugte Energie optimal zu verteilen, sind intelligente, vermaschte Netze notwendig. Bei der Strom und Gasversorgung sind solche Netze bereits auf dem Vormarsch. Bei der thermischen Energieversorgung ist diese Technologie noch nicht ausgereift und ausreichend erforscht. Um diesen Rückstand aufzuholen wurden verschiedene Kompetenzzentren geschaffen. Eines davon ist das FEEB&D: Future Energie Efficient Buildings & Districts, welches die dezentralen Energiesysteme bearbeitet. Um Untersuchungen zu tätigen wurde der NODES Versuchsstand im Zentrum für Integrale Gebäudetechnik (ZIG) in Horw aufgebaut.

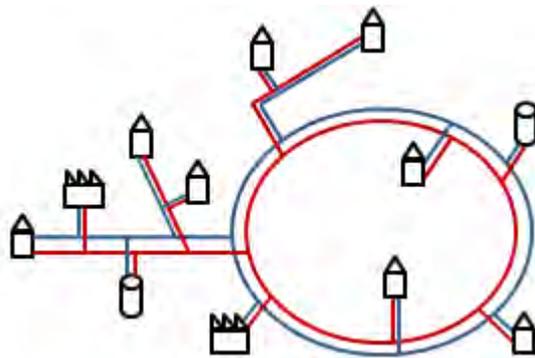


Abbildung: Bsp. Vernetzung der dezentralen Energiesysteme

Das Ziel für die Zukunft ist es, die auf einem Areal vorhandene Energie optimal zu nutzen. Die Abwärme eines Gebäudes kann an ein Niedertemperaturnetzwerk abgegeben werden. In einem anderen Gebäude kann die abgegebene Wärme mittels einer Wärmepumpe auf das nötige Temperaturniveau gebracht und zum Heizen verwendet werden. Umgekehrt kann die von der Wärmepumpe abgegebene Kälte zum Kühlen genutzt werden.

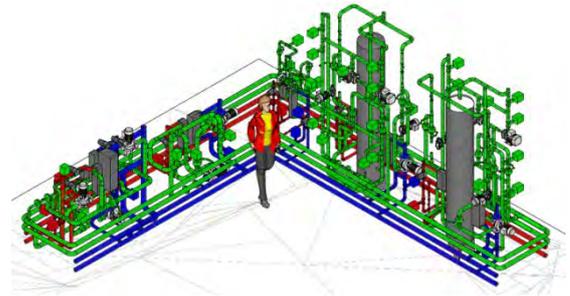


Abbildung: 3D-Ansicht NODES Labor-Versuchsstand

Der NODES Labor-Versuchsstand ist ein Modell eines solchen Niedertemperaturnetzwerkes. Er besteht aus drei Bezüglern/Produzenten, einer Quelle/Senke und einem Erdwärmesondenfeld, welche hydraulisch als Zweileiter-System (Warm- & Kaltleiter) miteinander verbunden sind. Die Einspeisung von Wärme- oder Kälteenergie geschieht über Wärmeübertrager (sog. Emulatoren).

Mit dem Versuchsstand können verschiedene thermische und hydraulische Szenarien eingestellt und überprüft werden.

Im Rahmen der Bachelor-Diplomarbeit wurde der Versuchsstand in Betrieb genommen und zwei erste grundlegende hydraulische Versuche durchgeführt. Dabei lag der Fokus auf dem hydraulischen Unterschied zwischen einem klassischen Fernwärme-/kältenetz und einem ungerichteten, bidirektionalen Niedertemperaturnetzwerk (Ring-Netz mit dezentralen Umwälzpumpen).

Bei jedem Versuch wurden insgesamt vier Netztypologien untersucht:

1. **Netztypologie:** Lineares Netz mit zentraler Umwälzpumpe
2. **Netztypologie:** Lineares Netz mit dezentralen Umwälzpumpen
3. **Netztypologie:** Ring-Netz mit zentraler Umwälzpumpe
4. **Netztypologie:** Ring-Netz mit dezentralen Umwälzpumpen

Mit dem ersten Versuch sollte der ideale Anschlusspunkt des Ausdehnungsgefässes gefunden werden. Der zweite Versuch sollte die Frage beantworten, ob in einer Ringleitung mit dezentralen Umwälzpumpen der hydraulische Vorteil gegenüber einem linearen Netz mit zentraler Umwälzpumpe geltend gemacht werden kann.

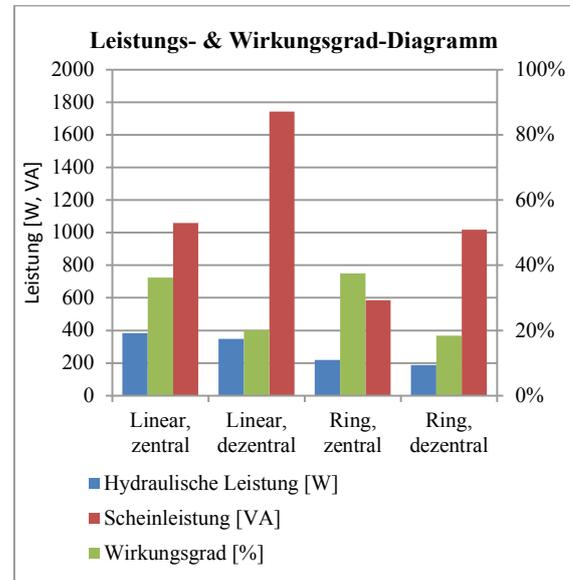
Bei der Inbetriebnahme und der Durchführung der beiden Versuche konnten zahlreiche Erkenntnisse gewonnen werden:

Grundsätzlich kann man sagen, dass in Netzen mit dezentralen Umwälzpumpen die Drücke weniger unter den Arbeitsdruck der Expansion fallen als bei Netzen mit zentralen Umwälzpumpen. Ob Das Netz linear oder als Ring aufgebaut wird, hat dabei einen kleinen Einfluss.

Für Netze mit zentraler Umwälzpumpe wird die Expansion idealerweise in der Saugleitung der zentralen Pumpe angeschlossen.

Bei Netzen mit dezentralen Umwälzpumpen, spielt der Anschlusspunkt der Expansion eine untergeordnete Rolle. Der Druckverlauf des Netzes liegt bei allen Anschlusspunkten nahe dem Arbeitsdruck der Expansion. Der Anschlusspunkt soll so gewählt werden, dass die Verbindung zwischen Expansion und dem Netz nicht versehentlich durch das Schliessen von automatischen Absperrungen getrennt werden kann. So zum Beispiel wenn die Quelle/Senke oder ein Bezüger vom Netz weggeschaltet wird. Ausschlaggebend für einen reibungslosen Betrieb des Netzes ist der Fülldruck der Expansion. Ist der Fülldruck genügend hoch, besteht bei keinem Anschlusspunkt der Expansion Gefahr vor Kavitation im Netz.

Nachfolgend ist ein Diagramm dargestellt, welches verschiedene Messwerte der hydraulischen Leistung, der Leistungsaufnahme und des Wirkungsgrades des Versuches Nr. 2 enthält. Die Ausgangslage des Versuches Nr. 2 kann folgendermassen umschrieben werden: Heizbetrieb von allen drei Bezügern, mit ca. 75% Volllast-Anteil der maximalen Heizleistung, $\dot{V}_{\text{Quelle}} = 5'550 \text{ l/h}$, $\dot{V}_{\text{EFH}} = 750 \text{ l/h}$, $\dot{V}_{\text{Wohnen}} = 2'350 \text{ l/h}$, $\dot{V}_{\text{Büro}} = 2'350 \text{ l/h}$, Drosselventile im Ring gedrosselt um eine plausible Rohrlänge zu simulieren.



Bei der Betrachtung des Diagramms fällt auf, dass die Summe der Leistungsaufnahmen der dezentralen Umwälzpumpen höher liegt, als die Leistungsaufnahme der zentralen Umwälzpumpe. Dies gilt sowohl für ein lineares Netz, wie auch für ein Ring-Netz. Der Hauptunterschied liegt dabei im Wirkungsgrad der Umwälzpumpen, da die hydraulische Leistung in etwa gleich ist.

Die Auslegung der Umwälzpumpen hat demnach einen entscheidenden Einfluss auf einen effizienten Betrieb des Netzwerkes. Dabei spielt nicht nur die Grösse der Pumpe eine Rolle, sondern auch deren Bauart. Dabei kann es vorkommen, dass eine zu gross dimensionierte Umwälzpumpe (zu viel Förderhöhe) einen besseren Wirkungsgrad aufweist, als eine Pumpe, welche an ihrer Leistungsgrenze betrieben wird.

Die durchgeführten Versuche decken nur einen kleinen Teil der Hydraulik ab. Die Bachelor-Diplomarbeit dient dabei als Grundlage für weitere Untersuchungen. Mit den gewonnenen Erkenntnissen ist es noch nicht möglich ein reales Niedertemperaturnetzwerk energieeffizient zu planen. Weitere Forschungsarbeiten sind unumgänglich. Dies betrifft nicht nur die Hydraulik, sondern sämtliche Gebiete von Niedertemperaturnetzwerken, welche in klassischen Anlagen weitestgehend erforscht und erprobt sind.



Energieeffiziente Lüftungskonzepte in Laboratorien

Die HL-Mediendecke der H. Lüdi AG könnte in Zukunft, in Bezug auf eine effiziente Laborlüftung, eine grosse Rolle spielen. Sie sorgt für optimalen Komfort, Sicherheit und Energiesparpotenzial. Bei unterschiedlichen Lastbedingungen wurde der thermische Komfort, das Zugluftrisiko, die Erholzeit und die Temperaturschichtung im Raum gemessen und die Ergebnisse entsprechend ausgewertet. Zudem visualisierte man die Raumluftströmung sowie die Anströmung der Kapelle anhand von Rauchversuchen. Dabei konnte die HL-Mediendecke als gut bis sehr gut bewertet werden.

Thermischer Komfort, Zugluftrisiko, Erholzeit und die Temperaturschichtung

Die Auswertung der Messungen ergab, dass der thermische Komfort als gut bis sehr gut definiert werden kann. Die Anzahl prozentual unzufriedener Personen (PPD) im Raum wurde als gering vorausgesagt. Anhand der Abbildung 1 kann man erkennen, dass beim Messpunkt vor der Kapelle (K1), alle Werte in der Kategorie A liegen. Dies entspricht einem PPD von unter 6%. Bei dem zweiten Messpunkt vor dem Arbeitstisch (K2) befanden sich 40% in der Kategorie A und die restlichen 60% in der Kategorie B, was einem PPD von unter 10% entspricht.

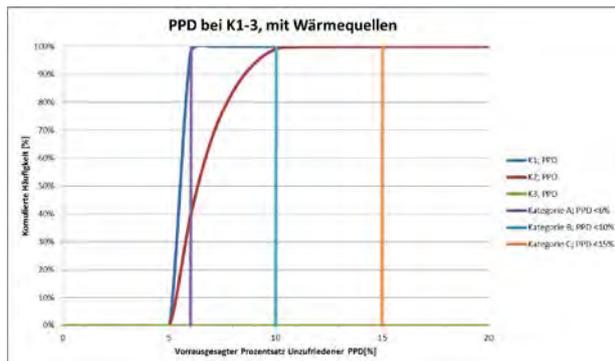


Abbildung 1 Kumulierte Häufigkeit des PPD bei K1, K2 & K3, mit WQ

Das Zugluftrisiko wurde am Arbeitstisch (Z1) und einer der Kapellen (Z2) auf jeweils vier kritischen Höhen gemessen. Dabei fielen die Werte an der Kapelle ausschliesslich besser

aus, als jene am Arbeitstisch. Man erkennt, dass bei der Kapelle alle Werte in der Kategorie A oder B sind. Somit ist das Zugluftrisiko kleiner als 20% (Siehe Abbildung 2).



Abbildung 2 Kumulierte Häufigkeit des Zugluftrisikos bei Z2, ohne WQ

Beim Messpunkt Z1 befindet sich der Grossteil, mit Ausnahme der Messung auf 0.6m Höhe, in der Kategorie B (Siehe Abbildung 3). Man nimmt an, dass die Resultate auf



Abbildung 3 Kumulierte Häufigkeit des Zugluftrisikos bei Z1, ohne WQ

einer Höhe von 0.6m deshalb so schlecht ausfielen, weil viele Laboranten im Labor

waren und der Standort ungünstig gelegen ist. So war der Messort direkt vor dem Vakuumofen, welcher Abwärme und somit mögliche Zugluft generiert. Zudem mussten viele Laboranten mit dem Vakuumofen arbeiten, wobei viele an unserem Messpunkten vorbeigingen.

Die Resultate zu den Erholzeiten fielen sehr gut aus. Ohne Wärmequellen wurden durchschnittliche Erholzeiten von 25 Minuten, mit Wärmequellen Erholzeiten von 21 Minuten ermittelt. Die Messungen bezüglich der Temperaturschichtung im Raum ergaben, dass keine derart hohen Abweichungen wie erwartet auftraten. So betrug die höchst

gemessene Abweichung zwei Kelvin (Siehe Tabelle 1). Dennoch kann durch diese Schichtung Energie gespart werden, da nur der Aufenthaltsbereich unterhalb des Auslasses in einem behaglichen Klima gehalten werden muss.

Tabelle 1 Durchschnittliche Temperaturen auf einer Höhe von 0.7-3.6m

Mittelwerte der Temperaturschichtung				
Bezeichnung	Durchschnitt Temperatur ohne Wärmequellen	Δt	Durchschnitt Temperatur mit Wärmequellen	Δt
3.60m	22.1°C	+0.1K	22.5°C	+0.2K
3.45m	22.0°C		22.3°C	
3.30m	22.0°C	-0.8K	22.1°C	-1.9K
3.00m	22.8°C		24.0°C	
2.85m	22.4°C	0.0K	23.1°C	+0.2K
2.70m	22.4°C		22.9°C	
2.55m	22.2°C	+0.1K	22.7°C	+0.3K
2.40m	22.1°C		22.4°C	
2.25m	22.0°C	0.0K	22.3°C	+0.1K
2.10m	22.0°C		22.2°C	
1.70m	21.8°C	0.0K	22.0°C	0.0K
1.20m	21.8°C		22.0°C	
0.70m	21.9°C	-	22.4°C	-

Visualisierung der Raumluftrömung und Anströmung der Kapelle

Die Rauchversuche zeigten, dass der Vakuumofen in der Mitte des Labors in Bezug auf die Raumluftrömung eine bedeutende Rolle spielt. Die Luft wurde durch den Ofen erwärmt und stieg über dem Arbeitstisch nach oben weg. Die kältere Bodenluft strömte sodann über die Laborseiten am Boden entlang nach (Siehe Abbil

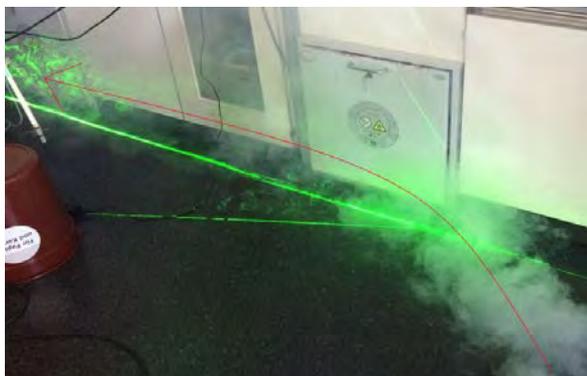


Abbildung 4 Strömungsvisualisierung mittels Rauchabgabe

dung 4). Weiter konnte gezeigt werden, dass sich ohne Wärmequellen keine deutlichen Luftwalzen einstellten. Erst mit Wärmequelle konnten die erwarteten Luftwalzen visualisiert werden. Raumluft strömte in der Mitte des Auslasses auf und wurde anschliessend mit der Zuluft vermischt, welche dann seitlich herabfiel. Diese Abtriebsströmung ist jedoch gegenüber der Auftriebsströmung eines Laboranten schwächer (Siehe Abbildung 5). Betreffend der Anströmung der Kapelle wurde letztlich festgestellt, dass mit Ausnahme des Falles, wo ein Laborant nahe der offenen Kapelle vorbeiläuft, in keiner Situation ein Lastaustrag vorhanden war.



Abbildung 5 Auftriebsströmung des Dummies

Vergleiche

Abschliessend wurden bezüglich thermischen Komforts (PPD-Wert), Zugluftrisiko und Erholzeit Vergleiche mit einer älteren HL-Mediendecke getätigt. Diese wurde in einer früheren Diplomarbeit aus dem Jahre 2013 im selben Labor getestet. Sie zeigten, dass sich fast in allen Bereichen eine Verbesserung einstellte. Auf den Abbildungen 5 und 6, kann der Vergleich der PPD-Werte betrachtet werden. Anhand dieses Vergleiches kann man erkennen, dass der Messpunkt K1 (1.1m Höhe) des verbesserten Auslasses, deutlich besser abgeschnitten hat. Auch auf der Messpunkt K2 auf einer Höhe von 0.6m weist leichte Verbesserungen auf. Bei der Erholzeit schlossen sowohl die Messungen mit wie auch ohne Wärmequelle besser ab. Beim Zugluftrisiko waren prozentual mehr Messwerte in der Kategorie A beim verbesserten Auslass. Abgesehen

von der Messung auf 0.6m waren alle Messungen besser. Dieser war jedoch bedeutend schlechter. Mögliche Erklärungen dazu wurden schon anhand der Zugluftauswertungen erläutert.

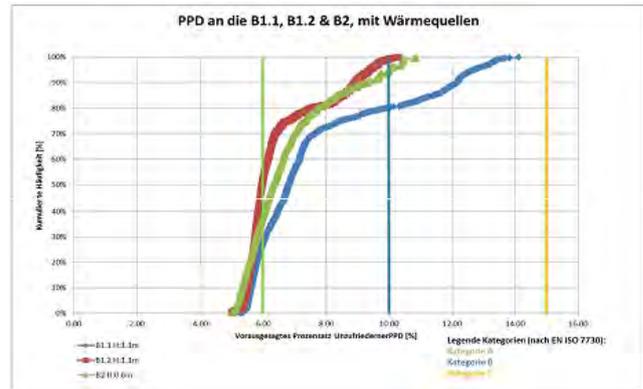


Abbildung 6 PPD Werte des älteren Medienauslasses, mit Wärmequellen

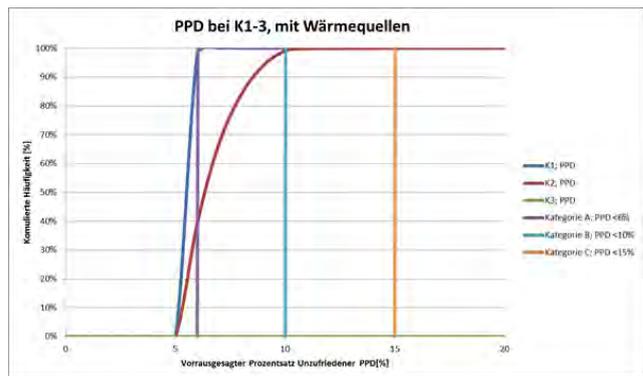


Abbildung 7 PPD Werte des neuen Medienauslasses, mit Wärmequellen

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass sich die HL-Mediendecke sehr gut für Laboratorien und dessen Belüftung eignet. Dies zeigten auch Vergleiche mit einer älteren HL-Mediendecke, welche von einer anderen Gruppe im Rahmen einer Diplomarbeit an der Fachhochschule Luzern am 7. Juni 2013 verfasst wurde.



Validierung der Richtlinie „Prüfverfahren für mobile Raumlufthereinigungsgeräte“

Die Raumluftheinigungsqualität in Innenräumen nimmt heute einen hohen Stellenwert ein. Um die Schadstoffe in der Raumluftheinigung zu senken, kommen häufig mobile Umlufthereiniger zum Einsatz. Damit die verschiedenen Anwender jeweils das für ihr Anwendungsfall geeignetste Gerät wählen können, hat die Hochschule Luzern die Richtlinie „Prüfrichtlinie für mobile Raumlufthereinigungsgeräte“ erarbeitet. In Diagramm 1 ist der Ablauf dieser Prüfrichtlinie ersichtlich. Auch die Abgrenzung der Bachelorarbeit ist darin abgebildet.

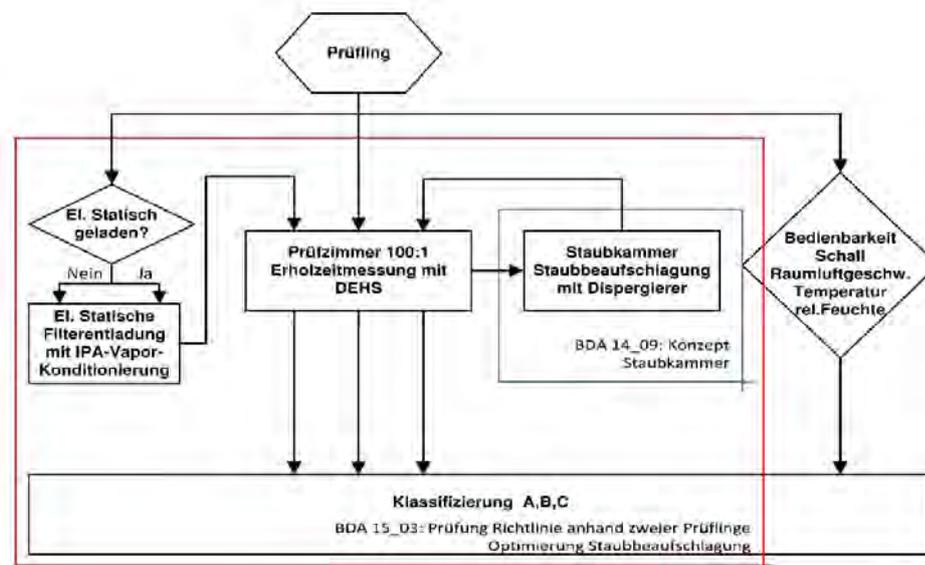


Diagramm 1 Ablauf Prüfverfahren gemäss Prüfrichtlinie inkl. Abgrenzung BDA 15_03



Abb. 1 Prüfling IQ Air Allergen 100



Abb. 2 Prüfling ECO Clean E150

Die Prüfung nach dieser Richtlinie ergibt eine Klassifizierung, mit der die Umlufthereinigungsgeräte miteinander verglichen werden. Um die Methoden zur Bestimmung der Klassifizierung aus der Richtlinie zu validieren, sind diese auf ihre Reproduzierbarkeit zu testen. Das Augenmerk liegt dabei auf den Methoden zur Bestimmung der Reinigungsleistung der Raumlufthereinigungsgeräte. Ziel dieser Bachelorarbeit ist es, die Methode der künstlichen Alterung der Filter weiter zu verbessern, sowie die verschiedenen benötigten Erholzeitmessungen durchzuführen, um allfällige Optimierungen zu eruieren. Dazu wird dieser Teil der Richtlinie mit den Prüflingen IQAir Allergen 100 (Abb. 1) und ECO Clean E150 (Abb. 2) durchgeführt.

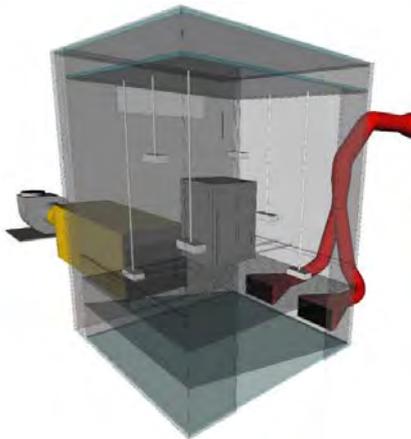


Abb. 3 Visualisierung Staubkammer aus
(Büchler & Eichenberger, 2014)



Diagramm 2 Massenkonzentration in der
Staubkammer

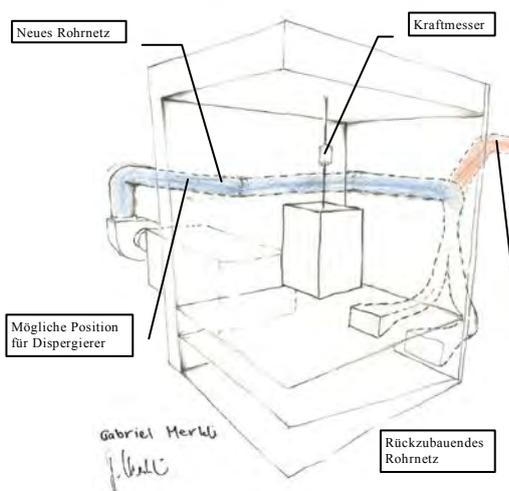


Abb. 4 Visualisierung Methode mittels eines
Kraftmessers und Umluftbetrieb

Zur künstlichen Alterung der Filter kommt die Staubkammer zum Einsatz. Eine Visualisierung dieser Kammer ist in Abb. 3 zu sehen. Dabei wird im Zuluftrohr, in der Visualisierung rot dargestellt, mittels eines Dispergierer Feinstaub aufgegeben und mit dem Rohrsystem in den Druckboden eingebracht. Über das Lochblech wird eine quasi laminare Strömung erzeugt, so dass in der Kammer eine gleichmässige Massenkonzentration herrscht. Die Luft wird dann im oberen Bereich abgesogen und über drei Filterstufen gereinigt und mit dem Ventilator wieder am Aussenraum zugeführt.

Um die Methode zur künstlichen Alterung zu verbessern, ist in einem ersten Schritt die Staubbeaufschlagung der BDA_14_09 analysiert worden. Dies hat ergeben, dass die effektive Massenkonzentration in der Staubkammer der ausschlaggebende Faktor für die Reproduzierbarkeit ist. Die Massenkonzentration ist mit einer Messung über längere Dauer ermittelt worden (Diagramm 2). Aus der Messung ist ersichtlich, dass die Methode zur künstlichen Alterung in dieser Form nicht praktikabel ist. Da aufgrund von Ablagerungseffekten und dem Anfahrverhalten die Expositionszeit des Prüflings mathematisch nicht ermittelt werden kann.

Aus den Erkenntnissen sind zwei Konzeptvarianten zur Vereinfachung entstanden. Das Konzept des Beladens des Filterpaares mittels einer Siebmethode, sowie das Konzept zur Beladung mittels der Staubkammer und mit Hilfe eines Kraftmessers und Umluftbetrieb. Die Optimierung mithilfe eines Kraftmessers ist als die erfolgversprechendere Variante eingestuft worden und sollte in einem weiteren Schritt überprüft werden (Abb. 4).



Abb. 5 Versuchsaufbau, Betrachtung Messpunkt M3

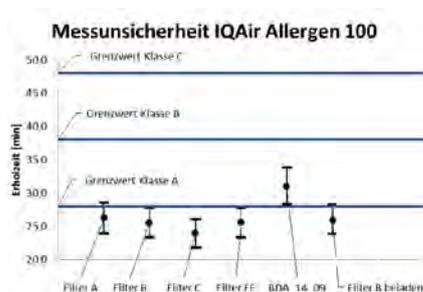


Diagramm 3 Messunsicherheit pro Filter IQAir Allergen 100

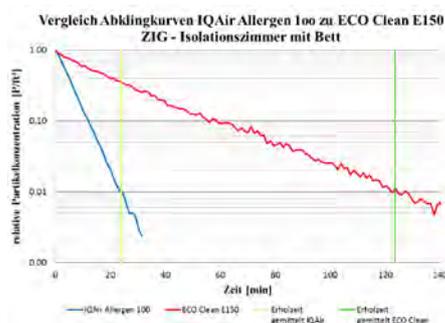


Diagramm 4 Vergleich Erholzeiten

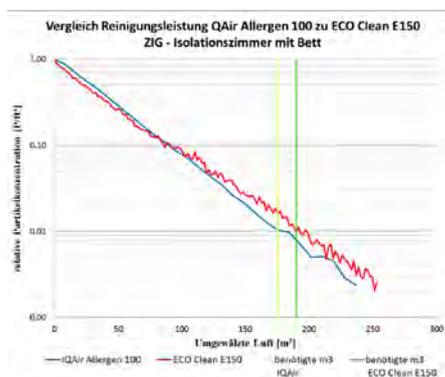


Diagramm 5 Vergleich Reinigungsleistung

Die 100:1 Erholzeitmessung, beschreibt wie lange es dauert, bis eine bestimmte Konzentration an Partikel im Prüfraum auf ein Prozent des Anfangswerts gesunken ist. Dieses Verfahren eignet sich um vergleichbare Ergebnisse bezüglich der Reinigungsleistung bei den Umluftreinigungsgeräten zu erzielen. In der Richtlinie für mobile Raumlufthereinigungssysteme ist der Prüfraum für die 100:1 Erholzeitmessung definiert. Dieser ist ein Nachbau eines Isolierzimmers des Universitätsspitals Zürich. Die Abb. 5 zeigt den Aufbau einer Erholzeitmessung aus Sicht der Eingangstüre des Isolierzimmers. Dabei sieht man im Vordergrund eine Messstelle.

Für das Messkonzept der Erholzeitmessung wird die Messunsicherheit ermittelt. Die Methode zur Ermittlung der Erholzeit hält eine sichere Grenze von $\pm 9.8\%$ ein. Die Klassenbreiten der Klasseneinteilung gemäss der Richtlinie sind in Bezug zu den Messunsicherheiten somit genug gross, durch den Messfehler ist es nicht möglich in drei Klassen gleichzeitig zu sein (Diagramm 3).

Die Erholzeitmessungen haben folgende Erkenntnisse ergeben: Die sich ergebende Erholzeit hat in erster Linie mit dem Luftwechsel der Prüflinge zu tun (Diagramm 4). Die Filterklasse hat einen beschränkten Einfluss. Wenn die Erholzeit mit dem Volumenstrom des Prüflings korrigiert wird, erhält man die erforderliche Luftmenge welche der Prüfling umwälzen muss um die Partikelkonzentration auf 1 % zu senken (Diagramm 5). Dabei wurde festgestellt, dass die Reinigungsleistung eines Klasse B Prüflings nur geringfügig besser ist als ein Gerät welches keine Klasse erreicht. Daher ist zu prüfen ob alleine die Erholzeitmessung als Massstab für eine Qualifizierung beigezogen werden kann.



Energieoptimale Ventilator-Regelung von VAV-Lüftungsanlagen

Ventilatoren in mechanischen Lüftungs- und Klimaanlage können einen erheblichen Anteil am Gesamtenergiebedarf in Gebäuden ausmachen. Diese werden jedoch oft nicht energieoptimal geregelt und verursachen so unnötig hohe Betriebskosten. Mit geeigneten Regelungen sind Einsparungen von bis zu 50 % möglich.

Heutzutage werden Ventilatoren in VAV-Anlagen üblicherweise auf einen konstanten Druck geregelt. Gerade im Teillastbetrieb wird durch den Ventilator so ein höherer Druck, als eigentlich nötig wäre, erzeugt. Dies führt einerseits zu Schallemissionen bei den Volumenstromregler und andererseits zu einer höheren elektrischen Leistungsaufnahme der Ventilatoren. Die Lösung wäre eine bedarfsgerechte Regelung, bei welcher nur so viel Druck wie nötig, erzeugt werden würde. Dazu sind auf dem Markt bereits Lösungen verfügbar, jedoch werden diese noch zu wenig oft eingesetzt.

Bedarfsgerechte Regelung

An einem Laboraufbau der Hochschule Luzern wurde eine entsprechende Variante umgesetzt und untersucht. Dabei wird nicht der Druck, sondern die jeweilige Stellung der Volumenstromregler als Referenz verwendet. Das Programm wählt die aktuell am weitesten geöffnete Klappe aus, und regelt denn Ventilator so, dass eine Klappenstellung von 90 % erreicht wird. Somit ist sichergestellt, dass mindestens ein Volumenstromregler fast komplett geöffnet ist. Zusätzlich wurde eine Hardware-Lösung in Form des Belimo Fan Optimisers untersucht. Dieser regelt auf eine offene Klappenstellung von ca. 70 – 75 %.

Dadurch kann der Ventilator mit einer tieferen Drehzahl betrieben werden, was wiederum zu einer geringeren elektrischen Leistungsaufnahme führt.

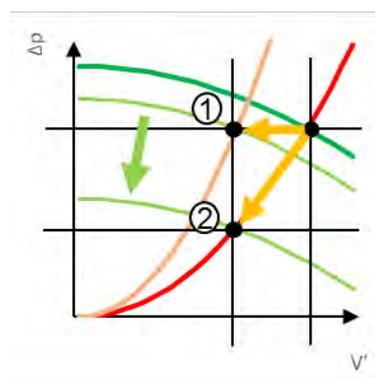


Abbildung 1: Anlagenkennlinie
1 Teillastpunkt Konstantdruck, 2 Teillastpunkt Optimiser

Einsparpotential

Die Einsparung einer bedarfsgeführten Regelung hängt stark von der Art der Anlage und dem Betrieb ab. So kann bei einer überdimensionierten Anlage mit wenigen Volllaststunden mehr eingespart werden, statt bei einer mit vielen Volllaststunden. Bei drei verschiedenen Betriebs-Profilen konnte im Labor mit der erstellten konnte die benötigte elektrischen Energie um 32 bis 47 % reduziert werden.

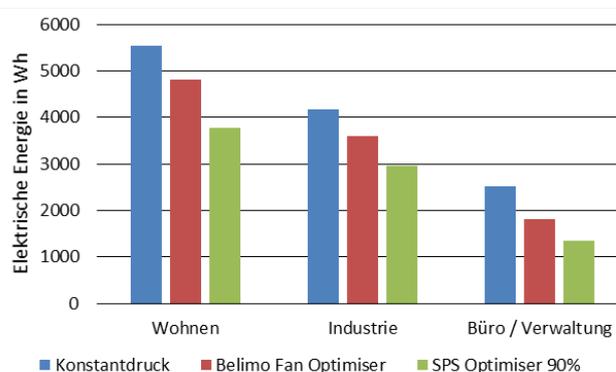


Abbildung 2: Energiebedarf Labormessung

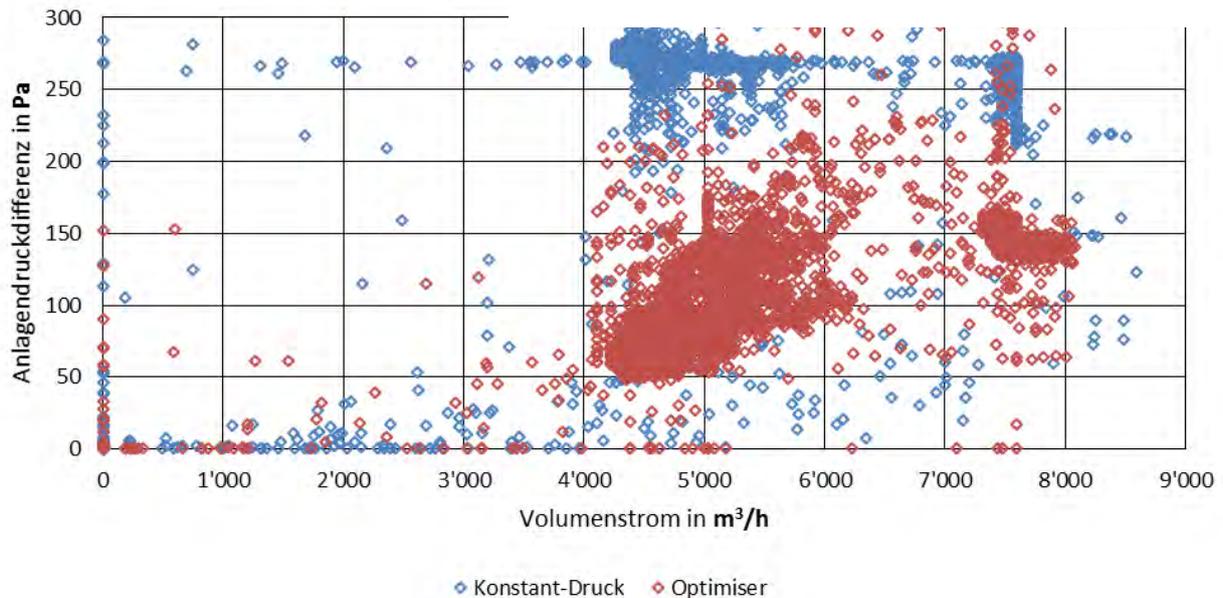


Abbildung 3: Lüftungsanlage Hörsäle HSLU T&A, Horw – Druck,Volumenstrom-Diagramm

Nachrüstung

Gemäss den Autoren müsste gerade bei neuen VAV-Lüftungsanlagen eine bedarfsgeführte Regelung der Ventilatoren als Standard gelten. Diese sind unter energetischen und wirtschaftlichen Konstant-Druck Regelungen vorzuziehen. Doch auch Nachrüstungen bestehender Konstant-Druck geregelten VAV-Anlagen können sich lohnen. So konnte im Rahmen der Diplomarbeit eine Lüftungsanlage der Hochschule Luzern mit dem Belimo Fan Optimiser nachgerüstet werden (siehe Abbildung 3). Durch diesen Eingriff wurde der Betrieb mit einem geringeren Anlagendruck aufrecht erhalten und man erzielte eine Einsparung von 35 %. Zur Evaluation einer Nachrüstung von bestehenden Konstant-Druck geregelten Anlagen wurde auf Excel-Basis ein Berechnungstool entwickelt. Dieses soll als Hilfestellung für Planer und Betreiber bei einer Nachrüstung dienen. Über die anlagespezifischen Eingabeparameter werden die Investitions- und einzusparenden Betriebskosten berechnet.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor-Diplomarbeit 2014
an der Abteilung Gebäudetechnik

*Energieoptimale Ventilator-Regelung von
VAV-Lüftungsanlagen*

Betreuer: Prof. Arnold Brunner

Student: Vladimir Vasic

Student: Pascal Birrer



HEIZEN MIT EIS

An einem bestehenden Einfamilienhaus in Udligenswil LU, mit Baujahr 1996, wurde im Jahr 2013 die bestehende Ölheizung ersetzt. Mit zwei im Erdreich vergrabenen Eisspeichern von je 12m³ Volumen wurde eine Wärmepumpe installiert. Zu diesem System gehört eine Absorber-Anlage (Solar Luft-Kollektoren), welche die Speicher wieder regenerieren oder der Wärmepumpe direkt die vorhandene Solarenergie Zuspeisen. Der Name „Eisspeicher“ kommt daher, dass die Wärmepumpe über ein Wasser-Glykol Gemisch Wärme aus, den mit Wasser gefüllten, Behälter entzieht. Dies solange bis das Wasser zu Eis gefriert und dem System latente Wärme abgibt. Mittels Datenlogger, Speicherkarten aus Reglern und Handablesungen konnten diverse Messdaten im Zeitraum August 2014 bis Februar 2015 erfasst werden. Mit Temperaturen, Pumpenlaufzeiten, Ventilstellungen, Wärme- und Durchflussmessungen kann die Anlage analysiert, im Simulationsprogramm IDA-ICE nachgebildet, und mögliche Optimierungspotentiale ermittelt werden. Nebst diesen Arbeitspunkten wurde eine Variantenstudie durchgeführt. Mit dieser soll abgeklärt werden, ob sich die erfolgte Sanierung im Vergleich zu anderen Strategien in Ökologischer und Ökonomischer Sicht gelohnt hat.



Abbildung 1 Einbau Eisspeicher



Abbildung 2 Wärmepumpe in Heizzentrale



Abbildung 3 Absorber-Anlage auf Dach

Messanalyse

Anhand der Anlagendokumentation und den Messdaten kann, bis auf eine Ausnahme, bestätigt werden dass die Anlage so funktioniert wie sie es nach Beschrieb soll. Die Ausnahme betrifft den Betrieb für die Umschichtung von Wärme zwischen dem Puffer- und Kombispeicher. Im Pufferspeicher wird die überschüssige Wärme aus der thermischen Solaranlage (Flachkollektoren) gespeichert. Nach Beschrieb sollte die Umschichtung in Betrieb gehen, sobald der Pufferspeicher 75°C erreicht hat. Dies geschieht jedoch bereits im Fall bei dem der Pufferspeicher ein höheres Temperaturniveau als der Kombispeicher erreicht. Eine weitere Erkenntnis ergab, dass dieser Pufferspeicher (alter Boiler aus der Ölheizung) ein zu grosses Volumen für die thermische Solaranlage aufweist. So ist die Masse zu gross damit der Pufferspeicher ein höheres Temperaturniveau erreicht um die Wärme abgeben könnte. Gemäss der Analyse lief die Umschichtung nur 0.8 Stunden über die Periode von August bis Februar.

Die Jahresarbeitszahl (JAZ) der Anlage ist nach den Messdaten ermittelt und liegt, über die Messperiode, mit 4.7 über dem Richtwert von 4.0 des Europäischen Wärmepumpenverbandes (EHPA). Aus dieser Kennziffer wird auf eine effiziente Anlage im Betrieb geschlossen, mit der Bemerkung dass diese Arbeitszahl auf einem milden Winter beruht, jedoch über das Jahr noch besser sein würde wenn der Sommer miteingerechnet wird.

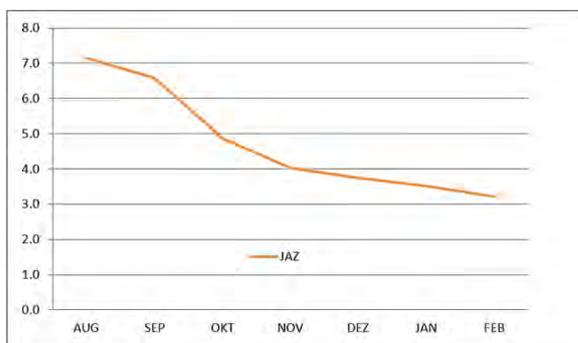


Abbildung 4 Jahresarbeitszahl der Anlage über Messperiode

Simulation / Optimierung

In der Simulation ist das Gebäude mittels den vorliegenden Grundrissen und entsprechenden Bauteilen im Simulationsprogramm IDA ICE abgebildet worden. Mit den Standardnutzungen nach SIA 2024 sind die Räume mit den entsprechenden Internen Wärmegewinnen aus Personen, Geräten und Beleuchtung hinterlegt. Über die gesamte Betrachtungsdauer hat die Raumsimulation eine Abweichung von unter 10 Prozent gegenüber den Messdaten erreicht. Nebst dem Wärmebedarf vom Gebäude wurde die Gebäudetechnik mit allen relevanten Komponente und Regelungen integriert. Anhand der Simulation konnte das Verhältnis

zwischen Kollektorfläche und Volumen des Pufferspeichers verbessert werden um eine bessere Ausnutzung der Solaranlage zu erreichen. Nebst diesem Punkt ist aus dem Betrieb der Anlage bekannt, dass bei hohem Schneeanfall die Absorber-Anlage komplett zugedeckt war und keinen Wärmertrag liefern konnte. Eine mögliche Optimierung wäre ein Begleitheizband über eine kleine Fläche des Absorbers zu legen um die Anlage vom Schnee zu befreien. Die Stromzufuhr soll dabei eigenständig aus einer kleinen Photovoltaik-Zelle generiert werden, welche in einem steilen Winkel steht um nicht vom Schnee bedeckt zu werden und zudem eine gute Ausnutzung der Wintersonne ermöglicht.

Variantenstudie

Mittels vier Varianten wird eine wirtschaftliche Betrachtung durchgeführt. Nebst dieser werden die ökologischen Werte „Graue Energie“ und „Treibhausgasemissionen“ von Erstellung und Betrieb ermittelt und verglichen. Referenzvariante der Betrachtung, welche auf 50 Jahre angelegt ist, bildet die bestehende Ölheizung vor der Sanierung. Nebst der ausgeführten Eisspeicher-Anlage werden Sanierungen nach MuKEn und Minergie mit Lüftung durchgeführt. Grundlage für die vier Varianten bildet dabei die Simulation. Mit dieser wird die Endenergie der einzelnen Varianten ermittelt.

Wirtschaftlich betrachtet wird man mit einer Ölheizung die tiefsten Kosten haben, mit der Annahme dass der Ölpreis weiterhin auf einem Durchschnitt aus den letzten 10 Jahren stagniert.

Ökologisch wurde mit der Eisspeicher-Anlage die nachhaltigste Variante eingesetzt. Durch die Sanierung der Gebäudehülle, wie auch der Einbau der Lüftung in der Minergie-Variante, wird eine hohe Menge an Grauer Energie und Umweltschädlichen Gasen aus Herstellung und Transport in das Gebäude eingeführt.

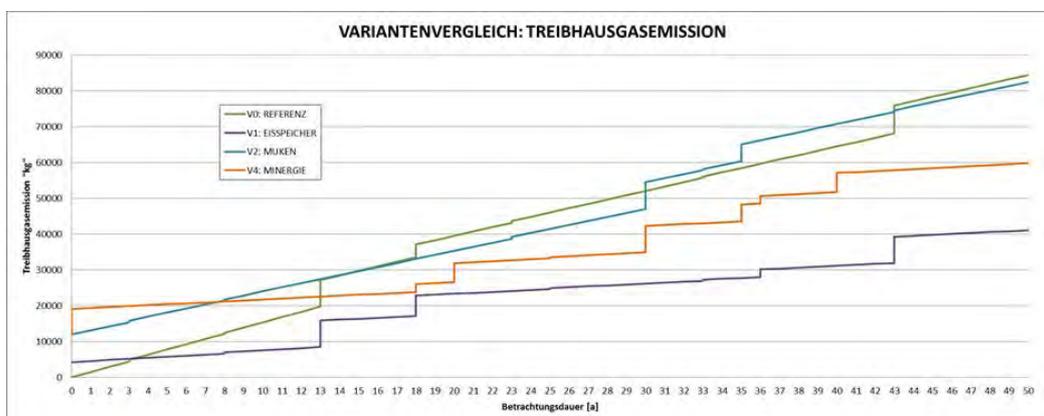


Abbildung 5 Vergleich Treibhausgasemission von Erstellung und Betrieb



NISV – Berechnungen im Energieversorgungsnetz ab Gebäudeeinführung

In der Planung ist die Herausforderung der nichtionisierenden Strahlung (NIS) schon länger bekannt – fundiertes Wissen über die Entstehung und das Verhalten von magnetischen Strahlen sowie sinnvolle Instrumente für die Planung sind in vielen Planungsbüros nur beschränkt vorhanden. Die Ansprüche und die Sensibilität der Bauherren bezüglich diesem Thema sind jedoch gestiegen. Verordnungen (u.a. Nichtionisierende Strahlungsverordnung NISV) und Labels (u.a. Minergie-ECO) fordern die Einhaltung von Grenzwerten.

Welche Grenzwerte gelten?

In der Schweiz wird die Problematik der NIS, welche Einfluss auf die Gesundheit von Menschen haben kann, in der NISV geregelt. Wo sich Menschen aufhalten können gilt der Immissionsgrenzwert (IGW) von $100 \mu\text{T}$. Der tiefere allgemein gültige Grenzwert ist der Anlagegrenzwert (AGW) der NISV, welcher $1 \mu\text{T}$ fordert. Dieser Grenzwert gilt unter anderem in der Nähe von Transformatorstationen für Orte mit empfindlicher Nutzung (OMEN). Zu Installation macht die NISV nur allgemeine Aussagen qualitativer Natur. Die neue NISV (in Revision) verweist auf die NIN 2015, welche zu diesem Thema ebenfalls keine konkreten Aussagen macht und auf die NISV zurückverweist.

Was ist die Ursache der NIS?

Elektrische Anlagen erzeugen in ihrem Umfeld zwangsläufig elektrische und magnetische Felder, welche durch Spannungen und Ströme entstehen. Je nach Leistung der Anlage variieren diese Feldstärken. Sie beschränken sich nicht nur auf die angestrebte Aufgabe (Spannungsänderung bei Transformatoren, Energietransport bei Leitungen, etc.), sondern wirken u.a. auch auf Organismen. Fachtechnisch spricht man von NIS.

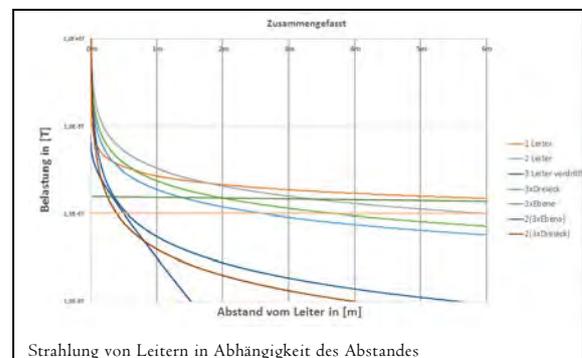
Bei elektromagnetischen Wellen mit Netzfrequenz können die elektrischen und die magnetischen Felder voneinander entkoppelt und getrennt betrachtet werden.

Das elektrische Feld breitet sich auf der Aussenfläche

eines Körpers aus – es lässt sich durch Schirmung weitgehend vermeiden. Beschwerden oder Krankheiten, welche auf elektrische Felder zurückzuführen sind, sind begrenzt bekannt.

Niederfrequente Magnetfelder durchdringen aufgrund der geringen Frequenz den menschlichen Körper und gängige Baustoffe praktisch ungehindert. Sie können mit ferromagnetischen Materialien – sogenannten μ -Metallen – abgeschirmt werden, was jedoch nur zu einer Umverteilung der Felder führt. Qualitative Abschirmungen sind sehr kostspielig und durch eine frühzeitige Planung meistens gar nicht erst erforderlich. Aus diesem Grund wird hier untersucht, wie die NISV-Grenzwerte ohne zusätzliche Abschirmung eingehalten werden können.

Die Stromstärke ist die beeinflussende physikalische Grösse in Bezug auf NIS. Magnetische Strahlung wird in Tesla angegeben. Sie kann in Abhängigkeit der Frequenz gemessen werden. Für eine frühzeitige Planung kann die Strahlung mittels Software berechnet werden. Diesen Rechnungen liegt das Gesetz von Biot Savart zu Grunde, welches besagt, dass das magnetische Feld an jedem Punkt im Raum nach Betrag und Richtung bestimmt werden kann. Die Strahlung ist stark abhängig von der Anordnung und dem Abstand zwischen den stromführenden Anlageteilen sowie der Symmetrie der Belastung.

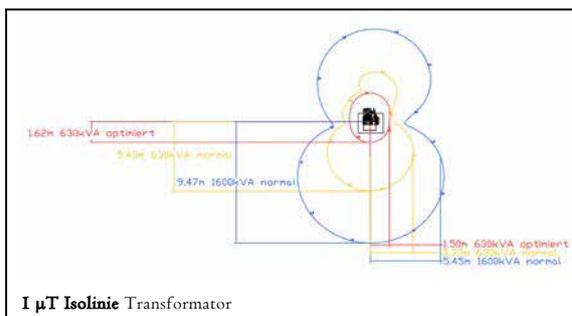


Was wird untersucht?

Grundsätzlich entsteht NIS überall dort, wo grosse Ströme fließen. Deshalb wurde das Gebäude als Baukasten-System entwickelt und untersucht, welches die massgeblichen NIS-verursachenden Komponenten der Installation sind. Betrachtet wurden Transformatoren, Verbindungen und Verteilungen. Sie wurden nach ihrer Strahlungsintensität bewertet. Der Transformator wurde in den Ausführungen strahlungsoptimiert und normal betrachtet. Die Verbindungen wurden nach Stromstärke (13A-1000 A) und Typ unterteilt. Die Verteilungen wurden in 14 Simulationen systematisch überprüft. Parameter, die in der Praxis nicht verändert werden können, wurden ausser Betracht gelassen. Mit der Simulation kann abschliessend eine Aussage über das Strahlungspotential der Komponenten gemacht werden.

Welche Erkenntnisse resultieren?

Bei **Transformatoren** nehmen die Strahlungslinien mit zunehmender Leistung nahezu proportional zu. Befindet sich der Transformator in der Nähe von Orten, an welchen sich Personen aufhalten können, ist stets ein NISV-optimierter Transformator einzusetzen. Diese weisen im Vergleich zu handelsüblichen Transformatoren starke Strahlungsreduktionen auf.



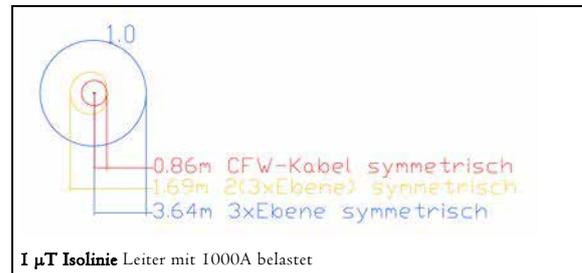
Solange **Verbindungen** symmetrisch belastet werden, verhalten sich die Strahlungen konzentriert. Speziell bei unsymmetrischen Belastungen von

Flachbandkabeln oder bei der Anordnung von Einzelleitern in der Ebene vergrössern sich die Strahlungen bedeutend.

Ob Kabelsysteme, deren Leiter in einer Ebene angeordnet sind (Flachbandkabel, Stromschiene, Einzelleiter in einer Ebene), horizontal oder vertikal montiert werden, ist nicht von Bedeutung, da sich im Betrachtungsbereich von wenigen Mikro-Tesla die Feldlinie als Kreis ausbreitet.

Bei symmetrischer Belastung steigen die Felder annähernd proportional mit der Stromstärke an, sofern die Anordnung der Leiter identisch ist.

Bei der Simulation der **Verteilungen** hat sich



ergeben, dass im Vergleich zu der Einspeisung und der Sammelschiene die Abgänge das grösste Strahlungspotential aufweisen. Der Aufbau einer Verteilung kann mit folgenden Massnahmen NIS-optimiert werden:

Anordnung der Einspeisung in der Mitte der Verteilung; symmetrische Belastung der Verteilung; Einspeisung von zwei Seiten via separate Zuleitung; zweiteilige Verteilung mit Rücken-an-Rücken-Positionierung und punktsymmetrischer Leitungsführung.

Eine bedeutende NIS-Verbesserung bringt die Kombination mehrerer Optimierungsmassnahmen.

Da der Aufbau einer NSV jeweils von vielen verschiedenen Faktoren abhängig ist und nur sehr selten baugleich erfolgt, wurden hier einzelne Verbesserungsmassnahmen untersucht, ohne dass eine abschliessende Aussage über die beste Kombination der Varianten gemacht werden könnte.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_07
an der Abteilung Gebäudetechnik

Energieoptimierung durch Spannungsstabilisation

Energieoptimierung ist ein zentrales Bedürfnis der Gesellschaft um Ressourcen zu schonen und Kosten zu sparen. Eine Möglichkeit dazu bietet der Einbau eines Spannungsstabilisators. Dieser hat die Funktion, dass er die Versorgungsspannung einerseits senkt und andererseits stabilisiert. Die Frage stellt sich, ob und wo mit dem Spannungsstabilisator Energie eingespart werden kann und welche Auswirkungen der Einbau auf die Verbraucher und den Betrieb des Gebäudes hat.

Die elektrische Energie stellt ein Grundbedürfnis der heutigen Gesellschaft dar. In Bezug auf die Energiestrategie 2050 des Bundes und der damit verbundenen Abschaltung der Kernkraftwerke sind Energieeinsparungen nötig, um die Gefahr vor bevorstehenden Versorgungsengpässen mit elektrischer Energie zu reduzieren. Der Spannungsstabilisator, auch LEC oder VoltControl genannt, ist in der Deutschschweiz noch unbekannt. In der Westschweiz wurde dieses Gerät bereits in einigen Gebäuden eingebaut. Im Rahmen der Bachelor-Diplomarbeit wurde untersucht, ob mit dem Spannungsstabilisator Energie eingespart werden kann und welche Auswirkungen der Einbau auf die Verbraucher und den Betrieb des Gebäudes hat.

Labormessungen

Bei der Labormessung wurden verschiedene Verbraucher im Labor im Trakt III der Hochschule Luzern für Technik und Architektur in Horw untersucht. Es handelt sich dabei um typische Büro- und Haushaltsverbraucher wie Leuchten, Computer, Laptops, Kühlschränke und Staubsauger. Weiter wurde ein Drehstrom Asynchronmotor gemessen. Dabei wurde untersucht, wie sich die Verbraucher bezüglich der Leistungsaufnahme, der Funktionalität und der Effizienz bei abgesenkter Spannung verhalten. Die Labormessung ergab, dass elektronische Betriebsmittel, LED Leuchten mit Vorschaltgerät und dreiphasige Asynchronmotoren bei der Absenkung von 230V auf 200V die Wirkleistungsaufnahme kaum reduzieren. Beim ohmschen Verbrauchern, Staubsauger, Kühlschrank, sowie der LED Retrofit, EVG Leuchte und KVG Leuchte sind Wirkleistungsreduktionen erkennbar. Beim dreiphasigen Asynchronmotor, Staubsauger und den Leuchten wurde zusätzlich die Funktion untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass die Verbraucher mit hohem Wirkleistungssparpotenzial die grössten Funktionseinbussen aufweisen. Erkennbar ist auch, dass die KVG Leuchte beim Betrieb an abgesenkter Spannung effizienter wird.

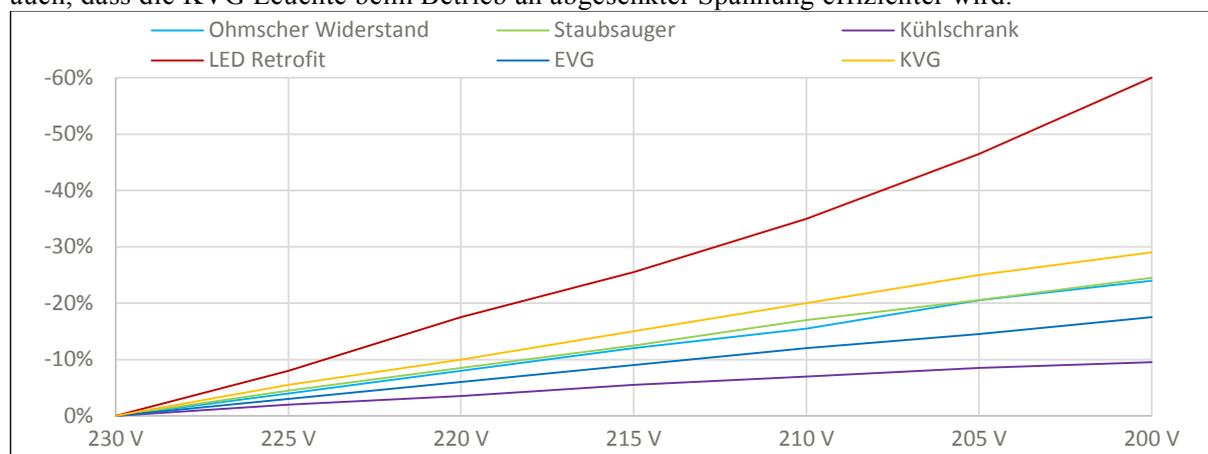


Abbildung 1: Gemessene Einsparpotentiale der Labormessung

Funktionsweise

Der Spannungsstabilisator reduziert die Eingangsspannung durch verschiedene Transformatoren auf den vorgegebenen Sollwert. Dies geschieht mit Hilfe der Gegeninduktion. Durch die entgegengesetzte Einspeisung des Transformators wird ein Magnetfeld erzeugt, welches dem normalen Magnetfeld entgegen wirkt. In den Aussenleitern sind je vier in Serie geschaltete und einzeln schaltbare Transformatoren eingebaut. Diese können die Eingangsspannung stufenweise um 2.5V senken bis auf eine maximale Reduzierung von 35V. Die Eingangsspannung wird alle 30 Sekunden überprüft. Bei Abweichung von mehr als +/- 2.5V wird durch eine andere Kombination der Transformatoren oder durch einfaches Zuschalten die Ausgangsspannung wieder auf den vorgegebenen Sollwert korrigiert.

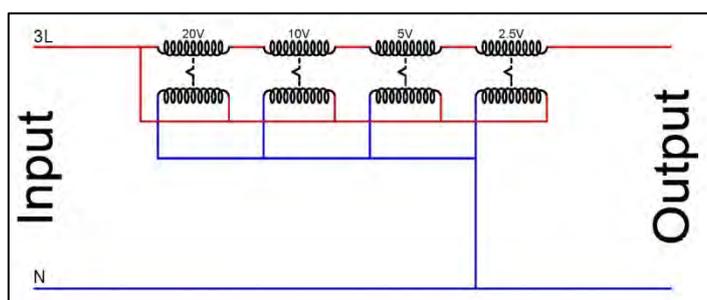


Abbildung 2: Funktionsweise des Spannungsstabilisators

Feldmessung

Die Feldmessung beinhaltet den Einbau eines Spannungsstabilisators im Trakt IV der Hochschule. Weiter wurden die Verbraucher im Trakt IV eruiert und das theoretische Energiesparpotenzial anhand der Erkenntnisse aus der Labormessung berechnet. Das reale Einsparpotenzial wurde anschliessend mit Referenzmessungen und Umschaltungen im Betrieb bestimmt. Bei der Feldmessung stellte sich heraus, dass 48% der Energie des gemessenen Trakts IV durch die

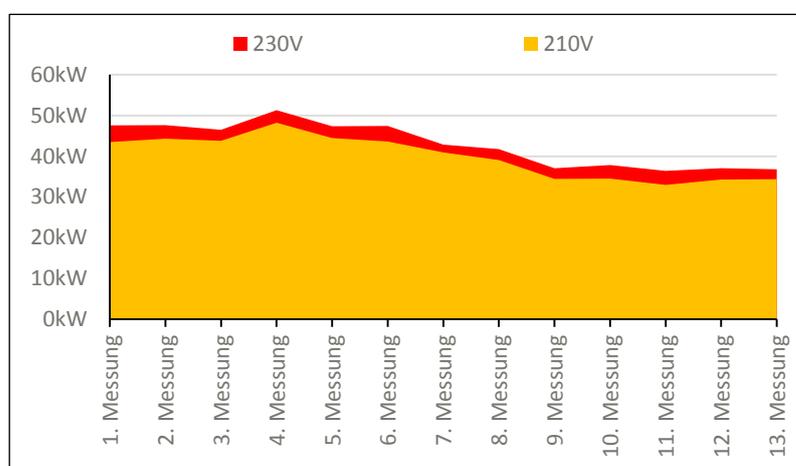


Abbildung 3: Wirkleistungseinsparung bei der Umschaltung im Betrieb

und durch die Umschaltungen im Betrieb 7% Energieeinsparung ermittelt.

Beleuchtung verbraucht wird und dass 87% der Beleuchtung mit Leuchtstoffleuchten ausgeführt sind. Auf theoretischer Basis wurde bei der Absenkung der Spannung von 230V auf 210V das Energiesparpotenzial von 8.8% berechnet. Nach dem Einbau des Spannungsstabilisators wurde mit der realen Überprüfung mittels Vergleich zweier Referenzwochen ohne Spannungsabsenkung 6%

Schlussendlich wurde festgestellt, dass das grösste Energie-sparpotential bei einer Spannungsabsenkung in der Beleuchtung steckt. Voraussetzung dafür ist eine Beleuchtung welche aus Leuchtstoffleuchten mit KVGs oder EVGs ohne Stabilisations-effekt besteht. Weil bei diesen die Beleuchtungsstärkereduktionen noch vertretbar sind und in einem akzeptablen Mass zur eingesparten Energie stehen. Mit einer Beleuchtungsstärke-reduktion ist dennoch zu rechnen. Dies sollte jedem Käufer bewusst sein. Weiter muss vor dem Einbau des Spannungs-stabilisators auf die Überprüfung des Kurzschlussstromes, des Platzbedarfs und auf die Fortführung der Abwärme geachtet werden.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit
in Gebäudetechnik 2015
Energieoptimierung durch
Spannungsstabilisation

Betreuer: Volker Wouters
Betreuer: Peter Bosshart
Student: Daniel Hadorn
Student: Sandro Frey



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_08
an der Abteilung Gebäudetechnik

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Studenten	Reto Elmiger Ivan Sebastiano
Dozenten	Prof. Reto von Euw Prof. Werner Betschart Prof. Gerhard Zweifel
Experte	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Die MuKE 2014 sieht als Massnahme der Energiestrategie 2050 vor, dass nach ihrer Inkraftsetzung alle zentralen Elektrowassererwärmer innerhalb von 15 Jahren ersetzt werden müssen. Aufgrund des erhöhten Sanierungsaufwandes gilt dies nicht für dezentrale Elektrowassererwärmer. Im Sinne der Energiestrategie 2050 ist deren Ersatz dennoch sinnvoll.

2011 waren in der Schweiz etwa 950'000 Elektrowassererwärmer im Betrieb. Sie machen rund 4% des schweizerischen Elektrizitätsverbrauchs aus. Mehr als 550'000 Elektrowassererwärmer sind dezentral platziert. Nach der Energiestrategie 2050 sollen die Energieeffizienz und die erneuerbaren Energien gefördert und später durch Lenkungsabgaben ersetzt werden. Daher soll hochwertige, elektrische Energie nicht mehr für die Erzeugung von Raumwärme und Warmwasser verwendet werden.

Sanierung der Warmwasserversorgung

Bevor Sanierungsarbeiten an der Gebäudetechnik vorgenommen werden, ist das Gebäude ganzheitlich zu analysieren. Sind in den nächsten Jahren Anpassungen an der Gebäudehülle geplant, stossen Installationen an das Ende ihrer Lebenszeit oder ist die Integration von erneuerbaren Energien gewünscht oder vorgeschrieben, kann dies grossen Einfluss auf die Wärmeerzeugung haben. Das Zusammenfassen von Massnahmen, sowie die richtige Reihenfolge bei der Umsetzung, können Fehlinvestitionen und teure Anpassungsarbeiten verhindern.

Bestehende Gebäude bieten die Möglichkeit konkret auf die Personenbelegung und den Warmwasserverbrauch einzugehen. Vor allem wenn keine grösseren Bewohnerwechsel oder familiären Veränderungen erwartet werden. Mit Nutzungsvereinbarungen können Abweichungen von den Standardwerten festgehalten werden. So kann unter Umständen verhindert werden, dass eine Anlage überdimensioniert wird. Tiefe Warmwassertemperaturen verlängern die Ausstosszeiten und können Auswirkungen auf die Hygiene haben. Es ist daher sinnvoll die Auslegedaten mit der Bauherrschaft zu vereinbaren.

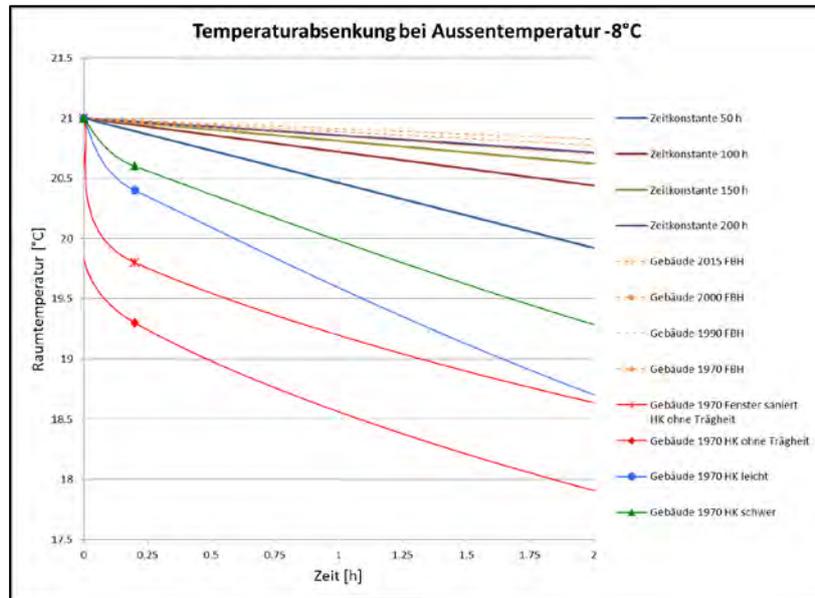
Anhand der bestehenden Anlage kann ermittelt werden, wie gross der bisher benötigte Wärmeleistungsbedarf der Raumheizung ungefähr ist und welche Kapazität für die Wassererwärmung noch zur Verfügung steht. Vor allem die Wärmeerzeuger von älteren Gebäuden weisen in der Regel ausreichende Kapazitäten auf. Konnte bereits bisher die gewünschte Raumtemperatur, trotz ausreichender Kapazität des Wärmeerzeugers nicht eingehalten werden, sind der hydraulische Abgleich und die Heizkurve zu überprüfen. Auch wenn die Leistung des Wärmeerzeugers in der Auslegeperiode nicht ausreicht, um die Wassererwärmung vollständig abzudecken, ist der Anschluss der Wassererwärmung in der Regel sinnvoll. Denn über die meiste Zeit des Jahres genügt die Leistung des Wärmeerzeugers, um das Trinkwasser zu erwärmen oder vorzuwärmen. Eine allfällige Spitzenabdeckung kann weiterhin mit einem Elektroerwärmereinsatz erfolgen. Besonders zu beachten ist die Begrenzung des Wärmebezugs bei Erdsonden. Eine zu starke Abkühlung des Erdreichs verstösst gegen die SIA 384/6 und kann zur Beschädigung der Erdsondenanlage führen.

Raumtemperaturverlauf mit Wassererwärmung

Bei Gebäuden mit einer hohen Zeitkonstante, sprich Gebäude mit guter Wärmedämmung und nass verlegter Fussbodenheizung, kann die Raumheizung während der Wassererwärmung ausgeschaltet werden. Es erfolgt keine spürbare Temperaturabsenkung während der Ladung.

Beachtet werden müssen allerdings weitere Wärmebezügler, wie Lufterhitzer von Lüftungsanlagen, welche nicht unterbrochen werden dürfen. Sofern keine solchen Wärmebezügler vorhanden sind, steht durch das Ausschalten der Raumheizung die gesamte Wärmeerzeugerleistung für die Wassererwärmung zur Verfügung.

Bei Gebäuden mit geringer Zeitkonstante, beispielsweise Gebäude mit hohen Wärmeverlusten und Heizkörpern, sinkt die Raumtemperatur bei einem Versorgungsunterbruch der Raumheizung sehr schnell. Die Leistung der Raumheizung soll daher möglichst wenig reduziert werden.



Die für die Raumheizung im reduzierten Betrieb erforderliche Vorlauftemperatur muss mit einem ausreichenden Massenstrom sichergestellt werden. So darf keine Vorrangschaltung der Wassererwärmung aufgrund der Hydraulik erfolgen.

Wahl des Wassererwärmungskonzepts

Stufenladungen beziehen am Anfang des Ladeprozesses grosse Leistungen. Daher sind sie weniger gut geeignet als Schichtladungen, wenn gleichzeitig die Raumheizung sichergestellt werden muss. Ist die Vorlauftemperatur höher als bei der Auslegung der Speicherladung vorgesehen, beziehen die Speicher eine höhere Leistung. Somit steht der Raumheizung eine tiefere Leistung zur Verfügung, respektive der gesamte Wärmeleistungsbedarf erhöht sich.

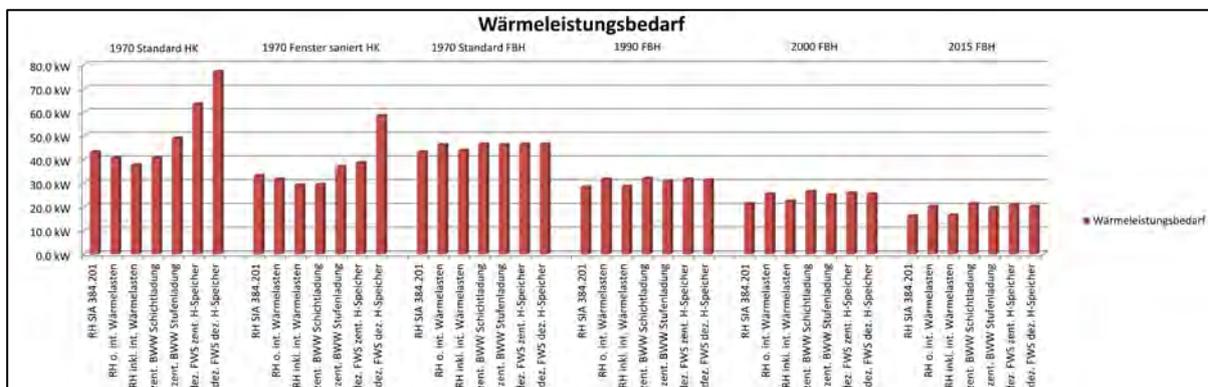


Abb. 2: Wärmeleistungsbedarf bei Raumtemperatur 21°C

Kann die Raumheizung während der Speicherladung unterbrochen werden, sind die Unterschiede beim Wärmeleistungsbedarf gering. Die Massenströme sollen in diesem Fall eher grosszügig ausgelegt werden, damit die Leistung des Wärmeerzeugers über einen grossen Bereich der Ladezeit abgegeben werden kann.

Die einzelnen Wassererwärmungskonzepte unterscheiden sich beim Jahreswärmebedarf kaum. Während das Warmwasser beim Gebäude aus den 70er-Jahren ohne Fenstersanierung den Jahreswärmebedarf um 18% erhöht, beträgt die Erhöhung beim Gebäude aus dem Jahr 2015 60%.

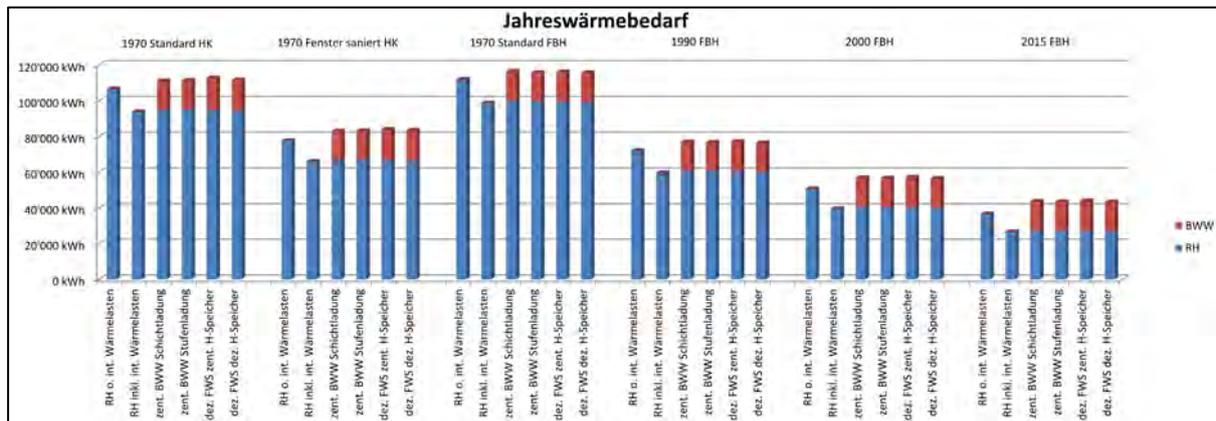


Abb. 3: Jahreswärmebedarf

Die Realisierung einer thermischen Solaranlage ist bei einer zentralen Speicherung einfacher, als bei mehreren dezentralen Speichern. Zudem kann die Solarenergie effizienter genutzt werden. Aufgrund des zentralen Speichers steigt jedoch der Platzbedarf beispielsweise im Keller, gegenüber der bisherigen dezentralen Speicherung.

Die dezentralen Speicher können zwar den bisherigen Standort nutzen, aufgrund der Heizungsinstallationen steigt jedoch der Platzbedarf und ein Schrankelement genügt meistens nicht mehr.

Bei Schichtladungen steigt die Temperatur oben im Speicher rasch an und erhöht somit die Leistung für den Spitzenbezug. Die geringere Störung der Schichten reduziert zudem die Legionellenvermehrung. Stufenladungen können am Anfang mit tiefen Vorlaufemperaturen geladen werden. Dies führt bei Wärmepumpen zu tiefen Verflüssiger-Temperaturen und somit zu höheren Jahresarbeitszahlen. Speicher mit innenliegenden Registern sind zudem in der Regel günstiger als Systeme mit aussenliegendem Wärmeübertrager.

Dezentrale Frischwasserstationen bieten die Möglichkeit von tieferen Systemtemperaturen. Durch den geringen Systeminhalt und den Wegfall einer Zirkulationsleitung, kann das hygienische Risiko gegenüber einer zentralen Frischwasserstation deutlich reduziert werden. Sie eignen sich deshalb besonders für Systeme mit Wärmepumpen.

Die Wahl des Wassererwärmungskonzeptes ist daher abhängig von der Hygiene, der Art der Wärmeerzeugung und den Platzverhältnissen. Deshalb ist eine gebäudespezifische Betrachtung erforderlich.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit in Gebäudetechnik 2015

Strategie für den Ersatz von Elektrowassererwärmern unter Einbezug des Gesamtwärmesystems im Gebäude

Betreuer: Prof. Reto von Euw

Student: Reto Elmiger

Student: Ivan Sebastiano



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_10
an der Abteilung Gebäudetechnik

Energetechnische Aussagen über Einsatz von Lichtapplikationsfunktionen mit Desigo TRA (Total Room Automation)

Student	Diego Kaufmann
Dozenten	Björn Schrader Peter Parrag
Experte	Christoph Portmann
Auftraggeber	Siemens Switzerland Ltd, Building Technologies Division, International Headquarters, Gubelstrasse 22, 6301 Zug
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Energetechnische Aussagen über Einsatz von Lichtapplikationsfunktionen mit Desigo TRA (Total Room Automation)

Durch einen sinnvollen Einsatz von einem Gebäudeautomationssystem lässt sich die Effizienz von verschiedenen Anlagen in der Gebäudetechnik steigern. Auch in der Beleuchtungstechnik kann durch eine effektive Ansteuerung die Energieeffizienz gesteigert werden. Gleichzeitig ermöglicht die vermehrte Verwendung von LED Leuchten zusätzliche Möglichkeiten in Kombination mit einem Gebäudeautomationssystem.

Die LED Technologie verändert die Beleuchtungstechnik in Gebäuden grundlegend. Im Gegensatz zu Leuchtstofflampen haben LED Leuchten im Betrieb viele Vorteile. Sie geben im Gegensatz zu Fluoreszenzlampen (FL) mit kälter werdenden Temperaturen einen höheren Lichtstrom ab. Auch in Bezug auf die Ansteuerung bringen LED Leuchten verbesserte Eigenschaften mit, ihre Lebensdauer ist unabhängig von der Anzahl Schaltzyklen, sowie einer minimalen Laufzeit nach einer Schaltung. Dies bringt insbesondere in Verkehrsflächen ein grosses Einsparpotential durch möglichst kurz eingestellte Nachlaufzeiten der Präsenzmelder.

Eine der bedeutendsten Vorteile ist jedoch die Eigenschaft der Leuchte im Dimmbetrieb. Dabei gilt es festzuhalten, dass die Lichtstromabgabe einer FL in niedrigen Leistungsbereichen nicht mehr linear verläuft. Im Diagramm, stellt die grüne Kurve den Verlauf einer FL dar. Die Diskrepanz im unteren Leistungsbereich ist deutlich zu erkennen,

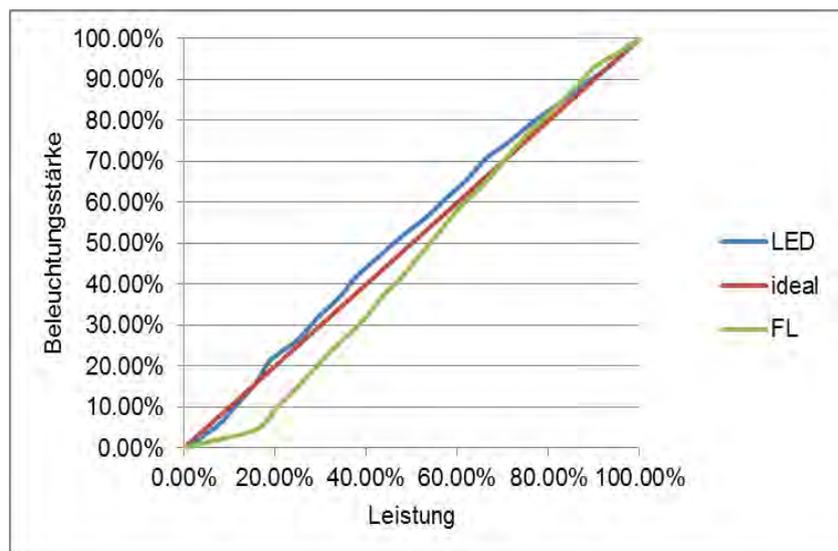


Abb. 1 Dimmkurve Vergleich LED/FL

sodass bei einer Leistungsaufnahme von ca. 20% noch eine Beleuchtungsstärke von 10% im Raum gemessen wird. Die blaue Kurve der LED Leuchte verläuft jedoch nahezu linear über das gesamte Leistungsspektrum.

Durch eine Reduktion der Leistung wird die LED Leuchte ebenfalls mit einem geringeren Strom betrieben, was sich wiederum positiv auf die Temperatur des LED-Chips auswirkt und damit die Lebensdauer der LED Leuchte verlängert. Die genannten Vorteile können durch die Kombination der LED Leuchte mit dem Desigo TRA System, welches diese Eigenschaften unterstützt ideal hervorgehoben werden.

Aber auch unabhängig vom Beleuchtungssystem kann mit gezielt eingesetzten Lichtapplikationsfunktionen die Effizienz von Beleuchtungssystemen optimiert werden. Ein entscheidender Faktor für das Potential der Effizienzsteigerung sind die äusseren Bedingungen, so besteht bei schlechter Witterung kaum ein Sparpotential den die Beleuchtung wird in solchen Fällen unabhängig von der Ansteuerung immer benötigt. Verändert sich die Aussenbeleuchtungsstärke an sonnigen Tagen im Tagesverlauf, kann mit einem intelligenten Steuerungssystem eine sehr hohe Effizienzsteigerung erzielt werden. Bei einer manuellen Ansteuerung erfolgt die Beurteilung der Raumhelligkeit erfahrungsgemäss nur zum Zeitpunkt des Betreten des Raumes, ist dies nun am Morgen so bleibt die Beleuchtung mindestens den gesamten Morgen über eingeschaltet, ohne dass es dafür eine Notwendigkeit gibt. Dort liegen die Stärken eines automatisierten Systems, die Helligkeit wird aufgrund von technischen Kriterien immer wieder neu beurteilt und im Idealfall kommt es so kaum zu Zeiten in welchen die Beleuchtung ohne Notwendigkeit eingeschaltet ist.

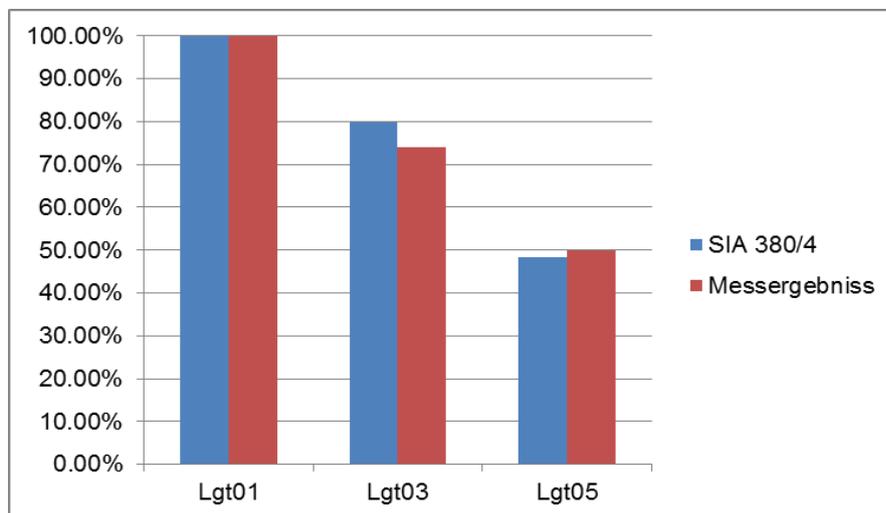


Abb.2 Effizienzsteigerung durch Lichtapplikationsfunktionen im Vergleich zu SIA 380/4

Konstantlichtregulierung steigt dieser Wert gar auf gut 50% an. Der Eigenenergieverbrauch des Gebäudeautomationssystems wurde bei dieser Untersuchung bewusst nicht Berücksichtigt. Im obenstehenden Diagramm ist zusätzlich der Vergleich zwischen den Messergebnissen und den berechneten Effizienzsteigerung aus den SIA Normen zu sehen. Die Werte sind ungefähr auf demselben Niveau. Da es sich bei den Messwerten um die Effizienzsteigerung bei optimalen Bedingungen wird das Effizienzsteigerungspotential in den Normen zu hoch eingeschätzt.

Die Zukunft in der Beleuchtungstechnik wird von der LED Leuchte bestimmt. Der Energieverbrauch wird aus diesem Grund bereits auf ein tiefes Niveau gesenkt werden können. Durch den zusätzlichen Einsatz eines Automationssystems kann eine LED Leuchte aus energetischer Sicht, aber auch aus Sicht des Komforts ideal eingesetzt werden. Um die hohen Ziele der Energiestrategie 2050 für die Senkung des elektrischen Energieverbrauchs zu erreichen, ist der Einsatz von Gebäudeautomation in Nichtwohnbauten im Bereich der Beleuchtung notwendig.

In Zahlen ausgedrückt bedeutet dies, dass durch eine Ansteuerung durch Präsenzmelder bei gleichen Bedingungen eine Effizienzsteigerung von 25% erzielt werden kann im Vergleich zu einer manuellen Ansteuerung. Durch den Einsatz einer



Energiekonzept „Zentrumsüberbauung MITTIM Effretikon“

Das Ziel der 2000-Watt-Gesellschaft ist es, bis zum Jahr 2100 in der Schweiz, den Primärenergieverbrauch auf 2000 Watt- und die CO₂ Emission auf 1 Tonne pro Person und Jahr zu senken. Die Zentrumsüberbauung „Mittim Effretikon“ soll nach den Prinzipien der 2000-Watt-Gesellschaft und in Anlehnung der SIA 2040 Effizienzpfad Energie erstellt und betrieben werden. Das Energiekonzept der Überbauung ist zu 100% CO₂-Neutral und besteht aus einem Anergienetz, das seine Energie mittels Erdwärmesonden aus dem Erdreich gewinnt.

Bauprojekt

Im Zentrum von Effretikon beim Bahnhof soll ein neues Areal, zehn Neubauten davon drei Hochhäuser, entstehen. Die grösste Veränderung entsteht durch die Nutzungsverdichtung des Zentrums (Baumassenziffer = 8.0 m³/m²). Es sollen vor allem hochwertiger, moderner Wohnraum für alle Generationsstufen sowie Verkaufsflächen und Dienstleistungen entstehen. Es sind folgende Nutzflächen vorgesehen:

- Wohnen: ca. 45'300 m²
- Verkauf: ca. 9'900 m²
- Restaurant: ca. 2'300 m²
- Dienstleistungen: ca. 19'400 m²
- Hotel: ca. 1'000 m²
- Total Nutzfläche: ca. 77'900 m²



Abb. 1: Nutzungskonzept Betriebszustand (Hänseler Immokonzert AG, Privater Gestaltungsplan Mittim Effretikon, 2009, S.21)

Berechnungsgrundlagen

Als Berechnungsgrundlage für die Energiebedarfsermittlung dient das aktuelle SIA Merkblatt 2024. Diese gibt die spezifischen Leistungs- und Energiebedarfswerte vor. Anhand diesen Werten und der Energiebezugsfläche, lässt sich der Nutzenergiebedarf berechnen. Weiter gilt die Berücksichtigung der Vorgaben von Bauherr, Behörden und den Energiestandards.

Nutzenergieprofil

Die Überbauung benötigt ein Nutzenergiebedarf für Heizung, Lüftung und Trinkwarmwasser von rund 2'330 MWh pro Jahr. Dies ergibt 92.3 MJ/m².

Der erhöhte Energiebedarf in den Monaten Juni und September lässt sich auf die von dem SIA MB 2024 vorgegebenen

Monatsgleichzeitigkeit von 100% bei dem Warmwasserverbrauch zurückschliessen.

Für die Beleuchtung, Betriebseinrichtungen,

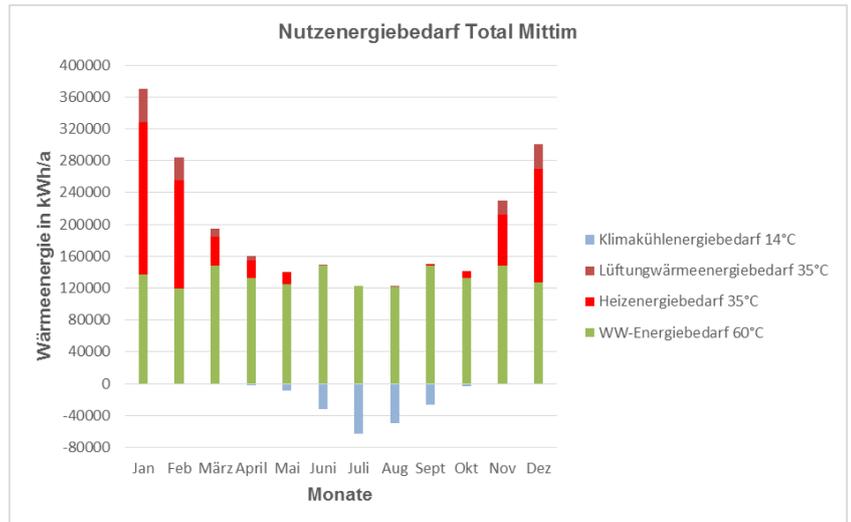


Abb. 2: Jahresverlauf des Nutzenergiebedarfs Heizung-Lüftung-Sanitär-Klimakühlung (ohne Freecooling)

Wärmepumpen und Lüftungsanlagen bedarf die Überbauung rund 4'237 MWh elektrische Energie pro Jahr. Dies ergibt 197 MJ/m².

Energiekonzept

Das Energiekonzept besteht aus einem Anergienetz, das seine Energie mittels 70 Erdwärmesonden, welche bis zu 250 Meter tief sind, aus dem Erdreich gewinnt. Die Energieerzeugung erfolgt mittels Wärmepumpen welche die Vorlauftemperaturen auf 35°C (Raumheizung) und 60°C (Trinkwarmwasser) bringen. Als Regeneration des Erdspeichers dienen Wärmerückgewinnungen aus Abwärme von mechanischer Kälte, Freecooling, Solar und Umweltwärme welche aus 500 m² unverglasten selektiv Beschichteten Solarkollektoren gewonnen werden. Weitere 2'560 m² Photovoltaik Zellen decken rund 10% des gesamten Elektroenergieverbrauchs ab. Eine weitere Abwärmennutzung aus dem Abwasser wird ausschliesslich für die Trinkwarmwasser Aufbereitung genutzt und deckt rund 30% davon ab.

Erfüllung der 2000-Watt-Gesellschaft

Die Anforderung von 100% erneuerbaren Energiequellen lässt sich auf der thermischen Seite mit Erdwärmesonden und Abwärmennutzungen erfüllen. Für die Elektroversorgung bedingt es zwingend mindestens 10% Anteil durch Eigenversorgung durch Photovoltaikanlagen und 90% eingekauften „Öko-Strom“ bzw.

durch Wasserkraftwerke. Ferner ist es zwingen, dass die Bauweise der Gebäude kompakt gehalten wird und durch eine Leichtbauweise erfolgt.

Ebenso ist ein effizientes Beleuchtungskonzept mit LED Technik und eine optimale Tageslichtnutzung anzustreben um die Prinzipien der 2000-Watt-Gesellschaft zu erreichen.

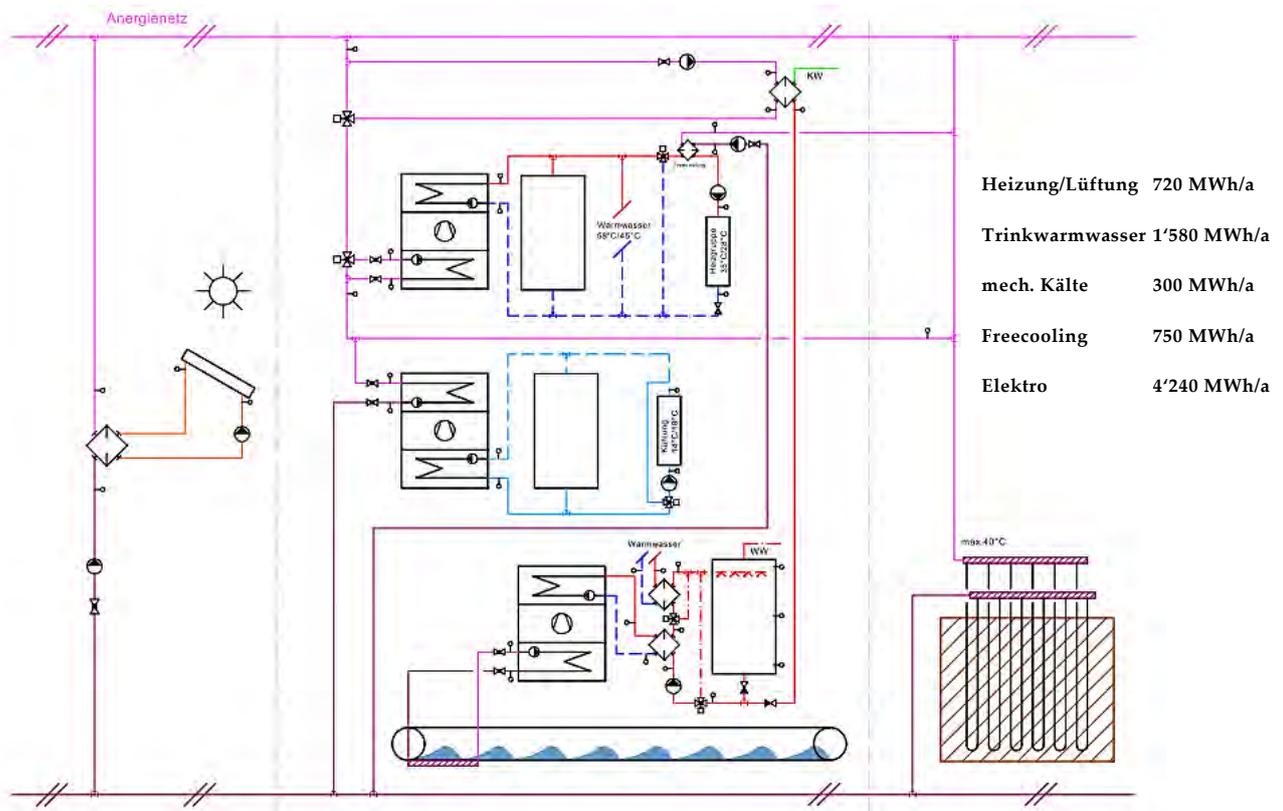


Abbildung 3 Prinzipschema

Das ganze Areal ist mit einem Energie Netz umschlossen. Der grösste Teil der Energie bezieht es aus dem Erdwärmesonden Feld.

Geben die thermischen Solarkollektoren in den Sommermonaten hohe Temperaturen (70°C-100°C) ab, lässt sich das Kaltwasser für die Trinkwarmwassererzeugung vorwärmen.

Reicht die Energie aus der Abwärmenutzung des Abwassers für die Trinkwarmwassererzeugung nicht aus, kann die Wärmepumpe für die Raumheizung Unterstützung leisten. Der Wärmetauscher im Heizungskreislauf ermöglicht in den Sommermonaten das „Freecooling“.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit
In Gebäudetechnik 2015
Energiekonzept
Zentrumsüberbauung „MITTIM
Effretikon“

Betreuer: Prof. Urs-Peter Menti
Prof. Urs Rieder
Student: Pascal Widmer



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_12
an der Abteilung Gebäudetechnik

Evaluation von Wärmepumpen, zur gleichzeitigen Wärme- und Kälteerzeugung in einem Spitalkomplex

Student	Marcel Kammer
Dozenten	Prof. Dr. Zoran Alimpic Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Experte	Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Herr René Halbherr, Leiter Technischer Dienst, Sicherheitsbeauftragter Spital Limmattal, Urdorferstrasse 100, 8952 Schlieren
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Evaluation von Wärmepumpen, zur gleichzeitigen Wärme- und Kälteerzeugung in einem Spitalkomplex

Auf dem bestehenden Areal des Limmat Spitals in Zürich entsteht ein neues Akutspital. Im Neubau ist eine neue Energiezentrale vorgesehen. Die Energiezentrale wird mit einer reversiblen Wärmepumpe, einer Hochtemperatur-Wärmepumpe, zwei mechanischen Kälteanlagen sowie zwei Spitzenlastkesseln ausgerüstet. Ziel ist es, eine Aussage für die geplanten Wärmepumpen und Kälteanlagen betreffend der optimalen Konfiguration tätigen zu können.

Anlagenkonzept

Das Kernstück des Energiekonzeptes bildet eine reversible Niedertemperatur-Wärmepumpe, welche gleichzeitig oder als Unterstützung als Kältemaschine betrieben werden kann. Das Ziel ist, während möglichst vielen Betriebsstunden der Anlage sowohl die produzierte Wärmeenergie als auch die Kälteenergie gleichzeitig nutzen zu können.

Die Hochtemperaturwärme wird mittels einer Hochtemperatur-Wärmepumpe, welche die Wärmeenergie aus dem Niedertemperatur-Wärmenetz bezieht, bereitgestellt. Um bei der Klimakälte eine möglichst hohe Kälteversorgung mit Freecooling erreichen zu können, werden die Klimakälteverbraucher hydraulisch von den Prozesskälteverbrauchern getrennt und in zwei Systeme mit unterschiedlichem Temperaturniveau aufgeteilt.

Kältemittelwahl

Aufgrund der Beschränkung der Kältemittelwahl durch die Chemikalien-Risikoreduktionsverordnung und der SN EN 378 sind die möglichen Kältemittel auf R-744 (CO₂) und R-717 (NH₃) beschränkt. Die Untersuchung deren thermischen Grundeigenschaften sowie erste COP und EER Vergleiche lieferten folgendes Bild.

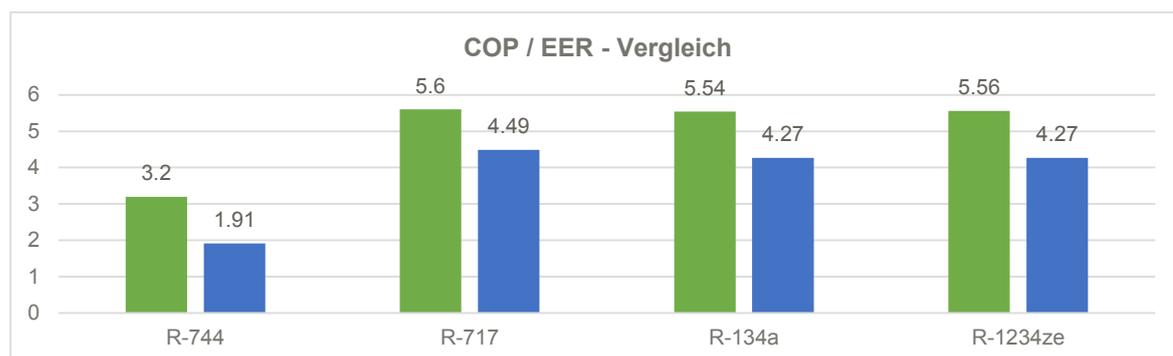


Abbildung 1: COP / EER Vergleich bei Kaltdampf-Kreisprozess NT-WP

Wirtschaftlichkeitsberechnung

Anhand der Kältemittelauswahl wird eine Kältemittelgegenüberstellung von R-717 (NH₃) mit R-744 (CO₂) getätigt. Daraus wird für sämtliche Anlagen ein Anlagendesign abgeleitet, welches für die Wirtschaftlichkeitsberechnung weiterverwendet wird. Dabei werden die jeweiligen Vor- und Nachteile der Designs berücksichtigt.

Bei der Betrachtung der Investitionskosten stellt man fest, dass die R-744 (CO₂) Anlagen günstiger sind als die R-717 (NH₃) Anlagen. Die Kostenunterschiedsfaktoren liegen zwischen dem 1.5 – 2.0 Fachen.

Die Annuitätskosten sind abhängig von den Investitionskosten, dem Kalkulationszinssatz sowie der Nutzungsdauer der Anlagen. Der Kalkulationszinssatz entspricht dem Anhang C.2.4 der SIA480:200. (3%)

Als Nutzungsdauer werden 25 Jahre vorgesehen. Bei den jährlichen Kostenberechnungen fällt auf, dass die Energiekosten für die Pumpen und die Lüftung im Vergleich zu der Energiekosten der Verdichter bedeutend kleiner sind.

Die Unterhalts- und Betriebskosten sind mit einem prozentualen Anteil der Investitionskosten festgelegt. Die Prozentwerte variieren je nach Kältemittel und Anlagentyp

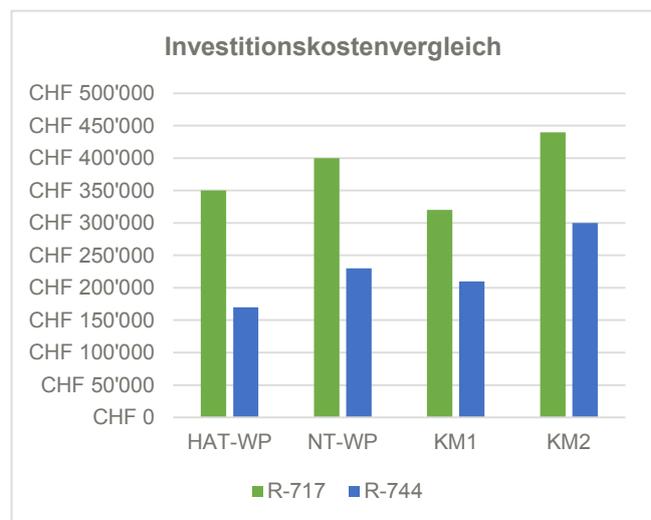


Abbildung 2: Investitionskostenvergleich

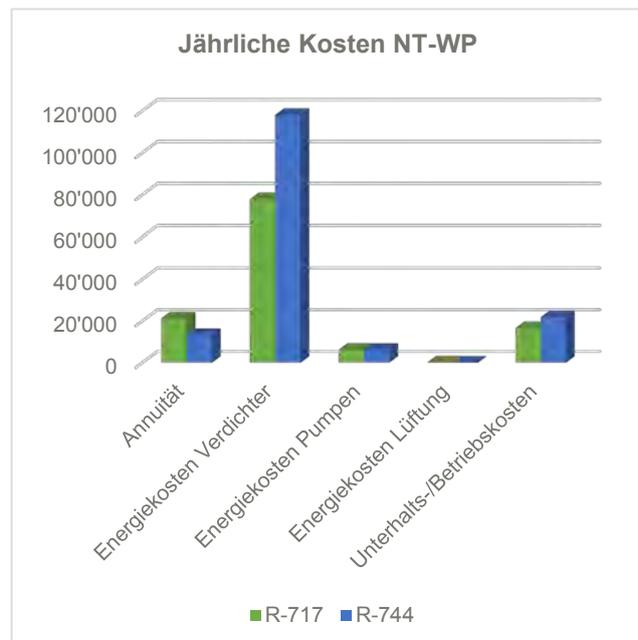


Abbildung 3: Jährliche Kosten NT-WP

Gesamtkosten

Es ist ersichtlich, dass die Gesamtkosten von R-717 (NH₃) um ca. 30% tiefer sind als diese von R-744 (CO₂).

Die Frage welche sich nun aufdrängt ist, ob mit der Mehrinvestition für die effizienteren R-717 (NH₃) Anlagen am Kapitalmarkt

nicht ein höherer Gewinn erzielt werden könnte. Aus diesem Grund wird schlussendlich die theoretische Rendite, welche sich als Kosteneinsparung ausweist, berechnet.

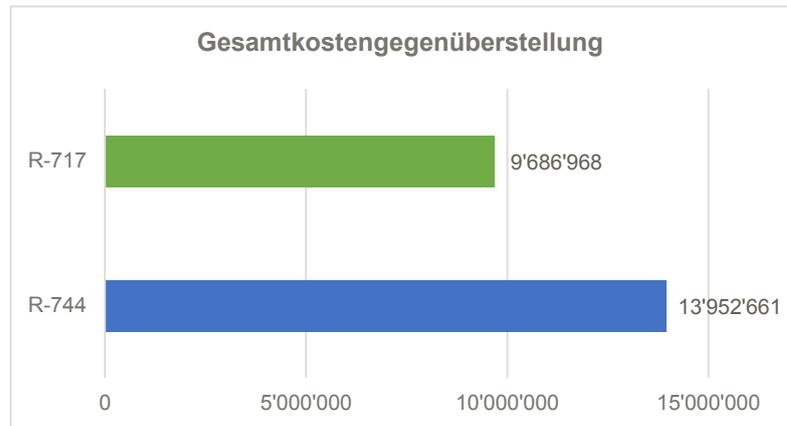


Abbildung 4: Gesamtkostengegenüberstellung

Gesamtkostenersparnis der R-717 (NH₃) Anlagen: 4'265'939 CHF (Zinsertrag)

Laufzeit: 25 Jahre

Theoretischer Zins: **8.95% am Kapitalmarkt**

Dies bedeutet, dass mit den Mehrinvestitionen eine theoretische Rendite von 8.95% erzielt werden kann. Dieses Geld wird zwar nicht als Gewinn ausbezahlt, es kann jedoch bei den Gesamtkosten der Anlagen eingespart werden. Oder anders ausgedrückt, um keinen Verlust auf dem Investitionskapital zu erzielen, müsste dieses für mindestens 8.95% am Kapitalmarkt für 25 Jahre angelegt werden.

Empfehlung

Der Einsatz von natürlichen Kältemitteln bei diesen geforderten Anlagenleistungsgrössen ist zwingend notwendig. Aufgrund der Resultate der Wirtschaftlichkeitsberechnung sollte der Einsatz von R-717 (NH₃), in Zusammenhang mit der Kombination der NT-WP und HAT-WP, vorgesehen werden. Trotz der erhöhten Investitionskosten sind die tieferen Energiekosten für die Gesamtkosten-betrachtung massgebend.

Die Berechnung zeigt zudem, dass sich bei steigendem Kälteleistungsbedarf des Spitals, z.B. durch zukünftige Erweiterung, die Wirtschaftlichkeit der R-717 (NH₃) Anlagen noch weiter erhöhen wird. Zudem ist R-717 (NH₃) ein branchenbekanntes Kältemittel. Etliche Schweizer Kältefirmen verfügen über einen grossen Erfahrungsschatz für den Umgang und Betrieb mit diesem Kältemittel.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_13
an der Abteilung Gebäudetechnik

Effiziente Gebäudeautomation für eine Energiezentrale mit erneuerbaren Energieträgern

Studenten Michèle Heller

Dozenten Matthias Balmer
 Zoran Alimpic

Experte Charlie Schönenberger

Auftraggeber Betriebe Barmelweid AG

Abgabedatum 05. Juni 2015

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

Effiziente Gebäudeautomation für eine Energiezentrale mit erneuerbaren Energieträgern

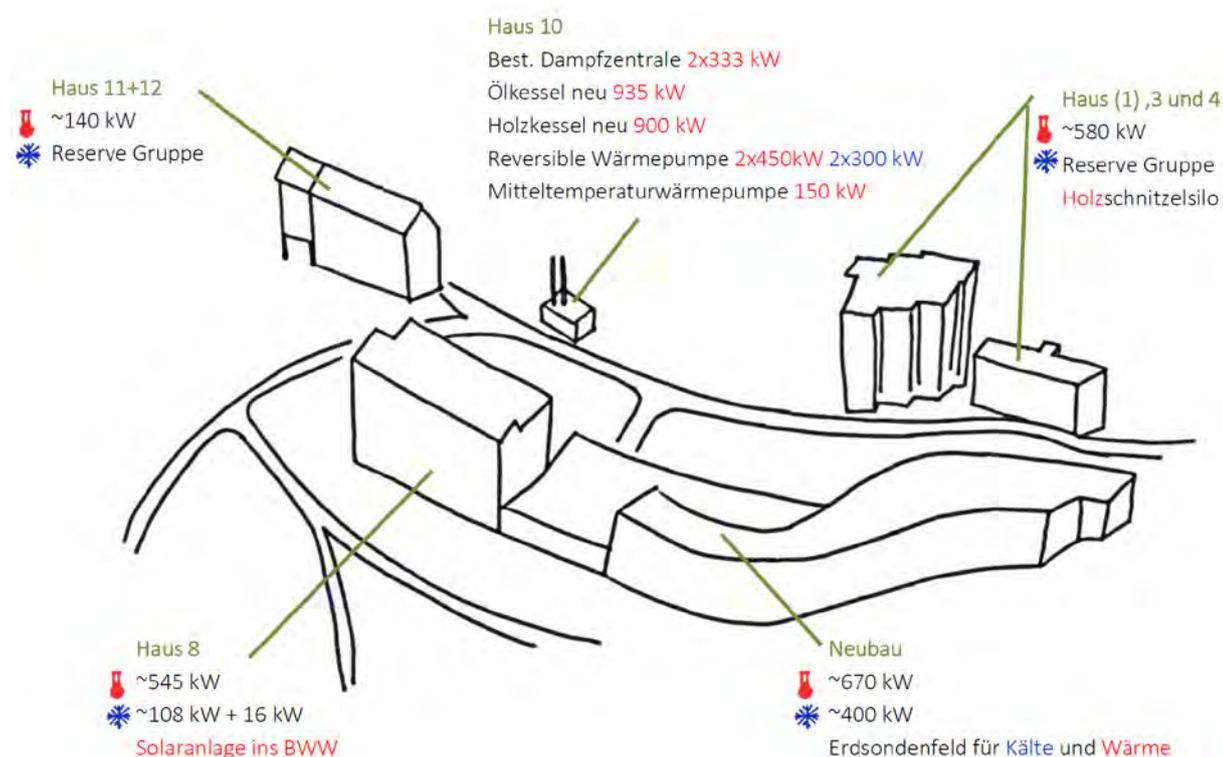


Abbildung 1: Arealübersicht mit Erzeuger und Verbraucher

Die Spezial- und Rehabilitationsklinik Barmelweid im Kanton Aargau mit eigenem Pflegezentrum will sich vergrössern. Im Rahmen dieser Umbaumaassnahmen, welcher ein Neubau sowie der Rückbau von drei bestehenden Gebäuden beinhalten, wird eine neue Energieversorgung realisiert. Das hydraulische Konzept der Energiezentrale sowie die Energieerzeuger und deren Leistungen sind bereits definiert.

Aufgabenstellung

Die Herausforderung besteht darin, acht Energieerzeuger effizient zu regeln. Es handelt sich dabei um zwei reversible Wärmepumpen, eine Mitteltemperaturwärmepumpe (MT-WP), eine Holzschnitzelanlage,

ein Ölkessel, zwei bestehende Dampfkessel und eine bestehende Solaranlage die direkt in das Brauchwarmwasser integriert ist.

Vorgehen

Aufgrund der Bedürfnisanalyse von Erzeuger und Verbraucher, werden mögliche Kaskadierungen der Erzeuger abgeleitet. Als Ausgangslage wird die vom Bauherrn gewünschte Variante verwendet und im Jahresverlauf dargestellt. Aus dieser Auswertung soll eine Tendenz abgeleitet werden können, die es ermöglicht die optimale Variante zu finden und anschliessend die dazugehörige Regelstrategie auszuarbeiten.

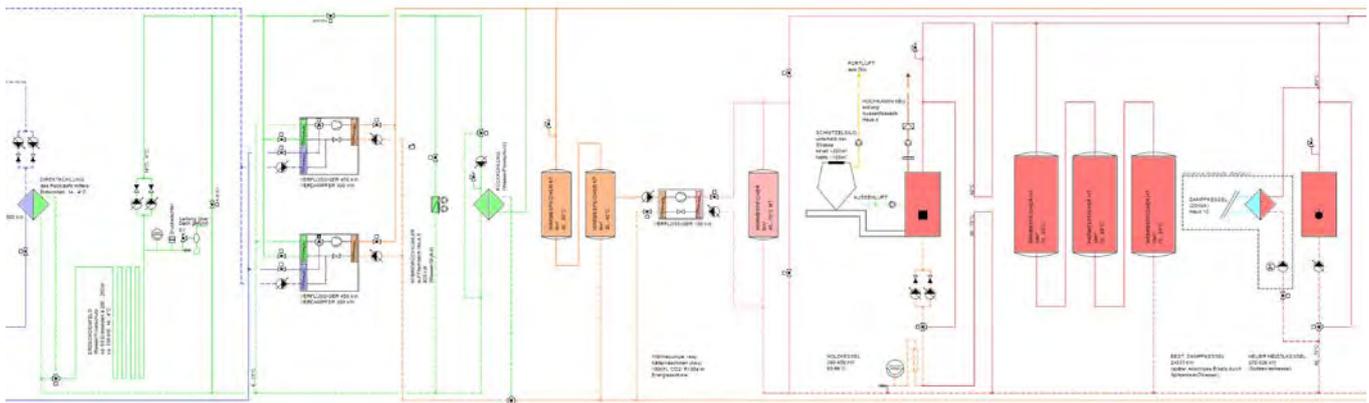


Abbildung 2: Ausschnitt synoptisches Schema Energiezentrale

Variantenanalyse

Um Aussagen zu Laufzeiten, Energiebilanz des Erdsondenfeldes und sinnvollen Erzeugerkaskadierung machen zu können, wird das Areal und dessen Leistungen in einem Jahresverlauf betrachtet. Die Berechnungen sind als Abschätzung zu verstehen und sollen als Richtungsweiser dienen.

Bauherrenvariante

Der Bauherr wünscht folgende Erzeugerkaskade:

- 1) Reversible Wärmepumpen (2 Stk.)
- 2) Mitteltemperaturwärmepumpe
- 3) Holzkessel
- 4) Ölkessel (oder vor Umrüstung 2x Dampfkessel)

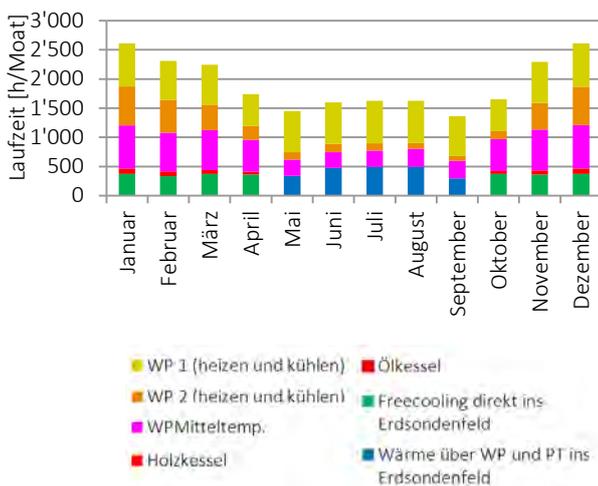


Abbildung 3: Laufzeiten übers Jahr Bauherrenvariante

Jedoch ist diese Variante in diversen Punkten nicht ideal. Unter anderem taktet der Holzkessel und die Bilanz des Erdsondenfeldes ist mit 74% Entzug und 26% Zufuhr unausgeglichen.

Der Jahreswärmeenergiebedarf wird zu 85 % mit den reversiblen Wärmepumpen abgedeckt. Die Mitteltemperaturwärmepumpe hat einen Anteil von 10 % und die Holzschitzelanlage von 5 %.

Variante 1

Die erste Veränderung ist das Weglassen der Mitteltemperaturwärmepumpe im Winter. Dadurch sollte das Erdsondenfeld weniger belastet werden, da die Mitteltemperatur-WP die Quelle im Niedertemperaturnetz hat.

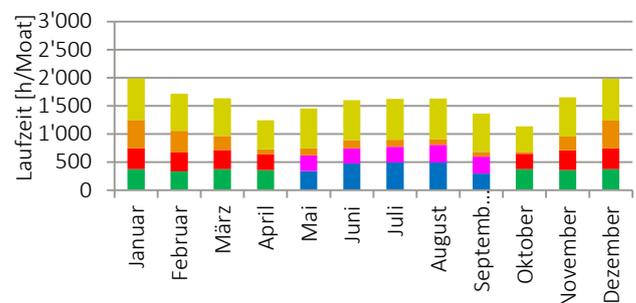


Abbildung 4: Laufzeiten übers Jahr Variante 1

Die Jahresbetrachtung zeigt eine unwesentliche Verbesserung der Energiebilanz von 5%, jedoch taktet der Holzkessel noch immer. Der Jahreswärmeenergiebedarf wird zu 72 % mit den reversiblen Wärmepumpen abgedeckt. Die Holzschitzelanlage hat einen Anteil von 25 % und die Mitteltemperaturwärmepumpe weniger als 5 %.

Zwischenschritte

Um eine möglichst optimale Variante zu erhalten wurden noch zwei weitere Zwischenvarianten bis zur gewählten Variante 4 ausgearbeitet.

Variante 4 – gewählte Variante

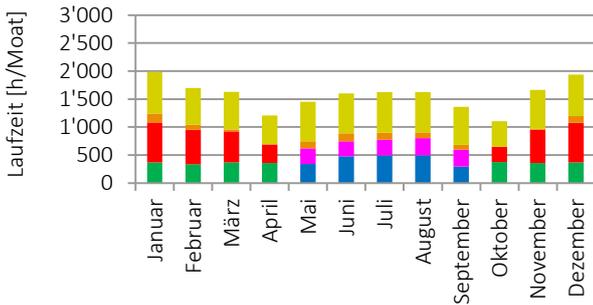


Abbildung 5: Laufzeiten übers Jahr Variante 4

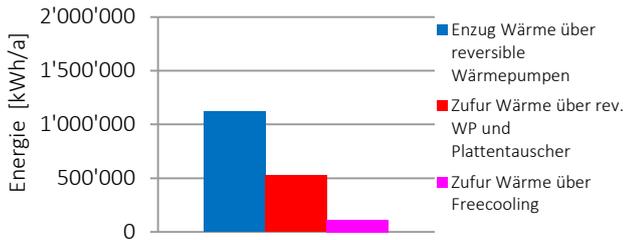


Abbildung 6: Erdsondenfeld Wärmebilanz Variante 4

Die gewählte Variante beinhaltet zwei Regelperioden. Mai bis September wird als Sommer bezeichnet und Oktober bis April als Winter. Im Sommer wird der gesamte Wärme- und Kältebedarf durch die reversiblen Wärmepumpen und die Mitteltemperaturwärmepumpe abgedeckt. Hingegen ist im Winter der Kälteverbrauch direkt über Freecooling mittels eines Wärmeübertragers ins Erdsondenfeld abgedeckt. Um lange Laufzeiten beim Holzschnitzelkessel zu erhalten, wird dieser erst ab einer bestimmten Leistung auf einer niedrigen Stufe betrieben. Die Leistungsschwankungen werden durch die restlichen Energieerzeuger, hauptsächlich die reversiblen Wärmepumpen, ausgeglichen. Im Winter wird bewusst darauf verzichtet, die Mitteltemperaturwärmepumpe zu betreiben, da zu diesem Zeitpunkt das hohe Tempe-

raturniveau, welches für Teile des Altbaus und die Brauchwarmwassererzeugung nötig ist, von Holz, Öl und Dampf bereits ausreichend abgedeckt wird. In *Abbildung 7* ist die Kaskadierung der Wärmeerzeuger im Winter sichtbar. Diese gibt ein Ausgangssignal an die jeweiligen Erzeugerregelungen. Dort wird anhand der Ladezustandsabfrage des Speichers noch einmal überprüft ob der Erzeuger zugeschaltet oder nur die Stufe gewechselt werden kann. Vor Ausschaltung des Erzeugers werden jeweils zugehörigen die Speicher durchgeladen.

Im Sommerfall, wenn überschüssige Wärme durch die kältegeführten reversiblen Wärmepumpen anfällt, wird über ein Plattentaucher die Wärme im Erdsondenfeld gespeichert oder im Notfall über Rückkühler an die Umgebung abgegeben.

Ausblick

Um das Optimum aus dem System herauszuholen, sollten die Leistungen der Verbraucher, auf welchen die Regelstrategie und die Erzeugerleistungen grundlegend aufbauen, nochmals hinterfragt werden. Um ein genaueres Bild der Temperaturverläufe im Erdreich zu erhalten, sind die bereits extern erstellte Erdsondensimulation aufgrund der neuen Regelstrategie erneut zu prüfen.

Damit die Energiezentrale auf lange Sicht effizient ist, sollte eine Langzeitanalyse durchgeführt werden. Dadurch kann das Verhalten von Erdsondenfeld, Erzeuger und Verbraucher ausgewertet werden und gegebenenfalls Optimierungen vorgenommen werden. Grundsätzlich bietet es sich an, dass diese Objektoptimierung durch eine in der Planung beteiligte Person durchgeführt wird.

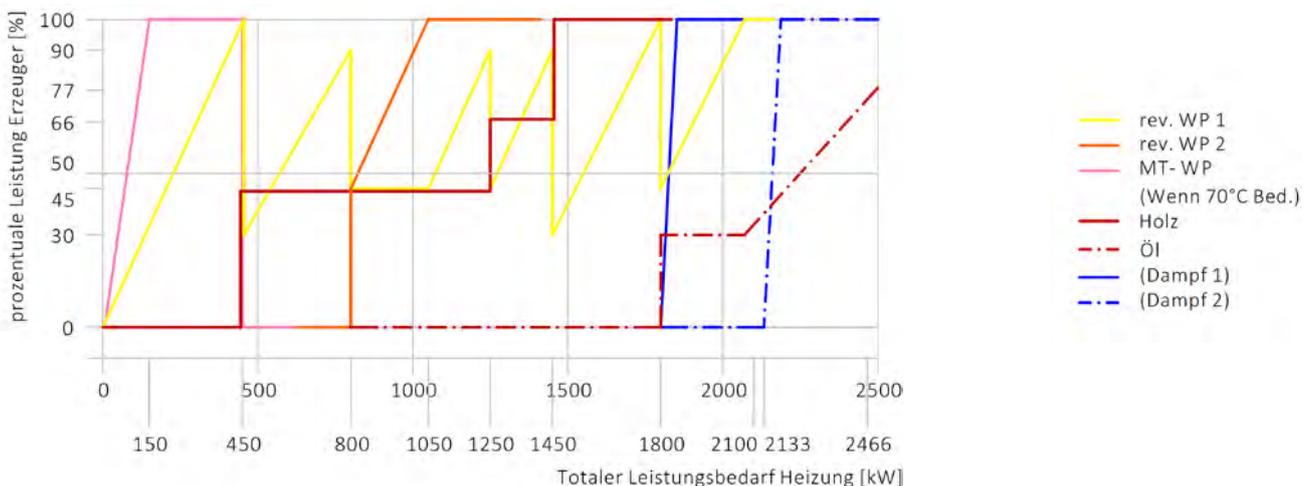


Abbildung 7: Übergeordnete Kaskadierung Wärmeerzeuger im Winter



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_14
an der Abteilung Gebäudetechnik

Entwicklung und Auswahl effizienter Kühlung für kleine Serverräume

Studenten	Roland Schwendener Samuel Rufer
Dozenten	Prof. Dr. Rüdiger Külpmann Prof. Reto von Euw
Experte	Dipl. HLK Ing. FH Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Entwicklung und Auswahl effizienter Kühlung für kleine Serverräume

Die in der Schweiz betriebenen Rechenzentren benötigten im Jahr 2013 rund 1.66 TWh Strom, was 2.8 % des Schweizerischen Gesamtstromverbrauchs entspricht. 43 % der installierten Serverleistung gingen zu Lasten von kleinen Serverräumen mit einer abzuführenden Kühllast von 5 kW bis 100 kW. Im Durchschnitt wurde lediglich die Hälfte des Energiebedarfs für die nutzbaren Rechenprozesse aufgewendet. Das ergibt einen Stromverbrauch von rund 357 GWh, der für den Betrieb der Infrastruktur eingesetzt wurde, Tendenz steigend.

Untersuchungen zeigen, dass kleinere Serverräume oft ineffizienter und somit verhältnismässig kostenintensiver betrieben werden als grosse Rechenzentren.

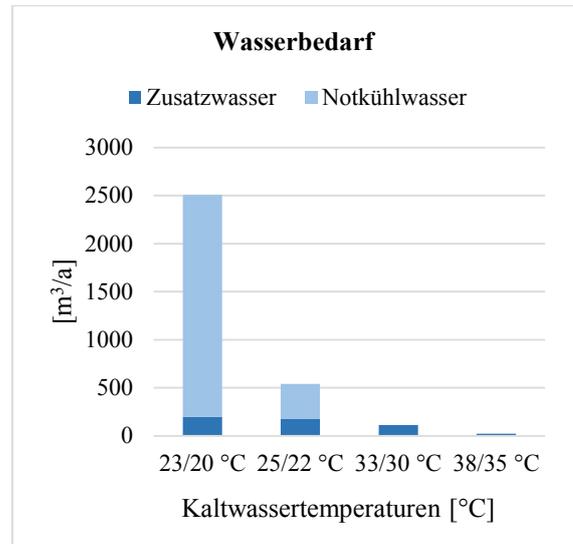
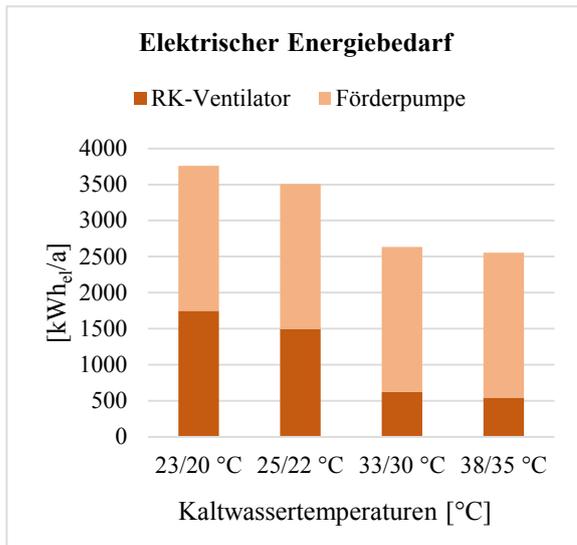
Um dieses Einsparpotential zu nutzen, wurden verschiedene Rückkühlsysteme analysiert, ausgewertet und verglichen. Mit dem Ziel bestehende als auch neue Rückkühlsysteme effizienter zu betreiben. Die wichtigsten Erkenntnisse sind nachfolgend aufgeführt.

Anhebung der Serverraumtemperaturen

Unterschiedliche Normen und Richtlinien geben Empfehlungen über die Raumluftkonditionierung von Serverräumen ab. Festzustellen ist, dass Hersteller von IT-Komponenten oft merklich tiefere Anforderungen an die Raumluft stellen als von den meisten Richtlinien empfohlen wird. Die zulässige Serverraumtemperatur ist ein entscheidender Faktor, um die Energieeffizienz eines Rückkühlsystems zu steigern. Die nachfolgenden Grafiken zeigen in Abhängigkeit der Kaltwassertemperaturen das Einsparpotential eines hybriden Rückkühlers.

Im Vergleich zu der Empfehlung von ASHRAE aus dem Jahr 2004 kann durch die Anhebung der Serverraumtemperatur bis zu 69 % der vom RK-Ventilator benötigten Hilfsenergie eingespart werden. Gleichzeitig sinkt der Wasserbedarf um bis zu 99 %.¹

¹ **Einstellparameter:** Abzuführende Kühllast: 25 kW; Startpunkt Befeuchtung: 11/15/15/23 °C;
Mittlerer Gesamtwirkungsgrad Ventilator: 40 %; relative Luftfeuchtigkeit bei Rückkühlwerkaustritt: 90 %;
Hilfsenergiebedarf Förderpumpe: 2'011 kWh_{el}/a

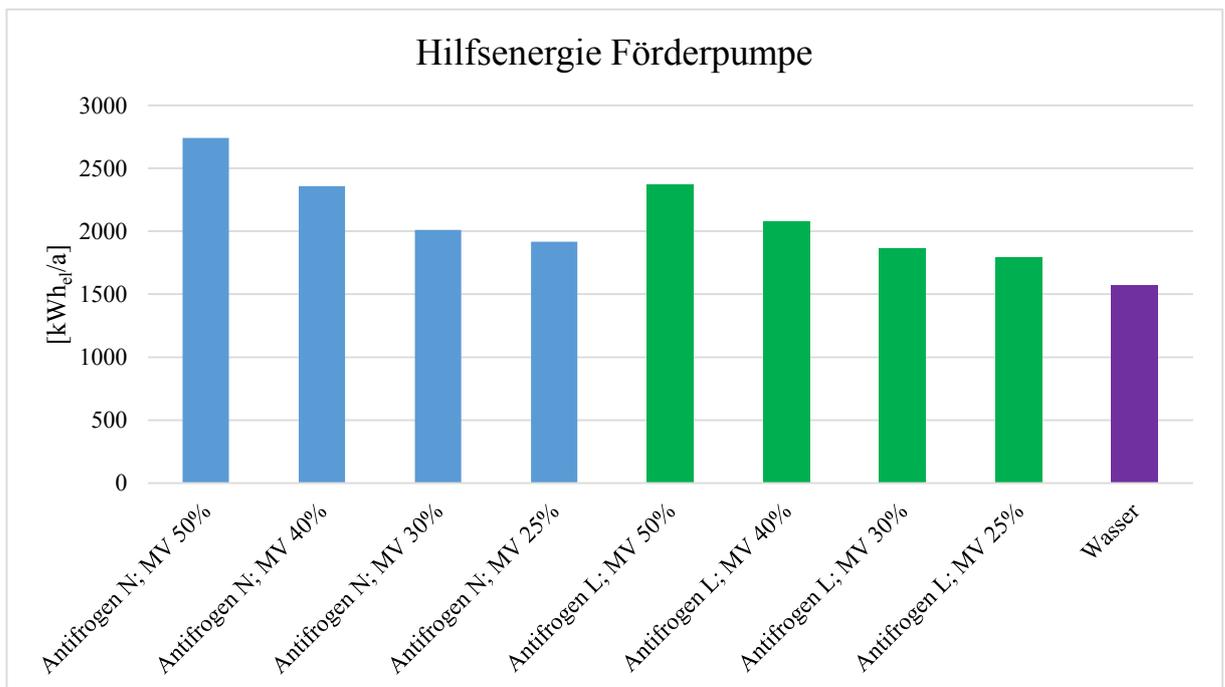


Elektrischer Energiebedarf, hybrider Rückkühler

Wasserbedarf, hybrider Rückkühler

Hilfsenergie Förderpumpe

Ein oft unterschätztes Thema ist die Hilfsenergie der Förderpumpe. Um das Leitungsnetz vor dem Einfrieren zu schützen, werden dem Wasser Frostschutzmittel beigemischt. Es wurde berechnet, welchen Einfluss unterschiedliche Frostschutzgemische auf den Druckverlust und den Volumenstrom und somit auf den Hilfsenergiebedarf der Förderpumpe haben. Als Vergleichswert dient eine Druckverlustberechnung eines realisierten Rechenzentrums. Die Grafik zeigt, dass je nach Medium und Mischungsverhältnis Einsparungen von rund 42 % erzielt werden können.²



² **Einstellparameter:** Abzuführende Kühllast: 25 kW; Druckverlust Auslegefall: 43'000 Pa; Medium: Antifrogen N/Wasser: 30%; Rohrleitungslängen, Dimensionen und Widerstandsbeiwerte (ζ-Werte): Für alle Varianten konstant.

Hilfsenergie Förderpumpe in Abhängigkeit des Betriebsmediums.

Wassernachbehandlung

Werden adiabate- oder hybride Rückkühler eingesetzt, müssen die herstellerbedingten Anforderungen an das Zusatz- resp. Umlaufwasser beachtet und eingehalten werden. Dies erfordert im Normalfall den Einsatz einer Enthärtungs- und/oder Entsalzungsanlage (Umkehrosmose). Da bei kleinen Kühllasten und gleichzeitig hoch angesetzten Serverraumtemperaturen nur geringe Mengen an Zusatzwasser für die Besprühung/Berieselung erforderlich sind, steigen die spezifischen Kosten für behandeltes Wasser exponentiell an. Branchenübliche Kennzahlen werden dabei um das Vielfache überschritten. Ein Rückgang des Zusatzwasserbedarfs bewirkt zudem, dass sich die Wasserbezugsperiode verkürzt. Dies führt zu langen Standzeiten und bedingt durch Zwangsregenerationen etc. zu einem unnötig hohen Verhältnis zwischen Rohwasser- und Zusatzwasserverbrauch. Zu gross dimensionierte Wassernachbehandlungssysteme verstärken diesen Effekt zusätzlich.

Bei der Planung eines Rückkühlsystems ist darauf zu achten, dass wenn möglich auf Wassernachbehandlungssysteme verzichtet werden kann.

Berechnungstool

Im Zuge der Bachelordiplomarbeit (BDA) wurde für die Auswertung und den Vergleich der unterschiedlichen Rückkühlsysteme ein Tool auf Basis von Microsoft Excel erstellt. Dieses soll Fachplaner bei der Planung unterstützen. Nebst der Auswertung von Energie- und Wasserbedarfswerten können mit Hilfe der Wirtschaftlichkeitsberechnung die Lebenszykluskosten ausgewertet und verglichen werden. Zudem besteht die Möglichkeit eine Druckverlust- sowie eine Schallberechnung durchzuführen. Sämtliche quantitativen Auswertungen der BDA basieren auf diesem Tool.

Schlussfolgerung

Das Abführen der Abwärme kann in unseren Breitengraden ausschliesslich über trockene freie Kühlung erfolgen, sofern der Serverraum mit der vom Hersteller maximal zulässigen Temperatur betrieben wird.

Nebst dem Temperaturniveau sind die Grädigkeiten der Wärmeübertrager optimal abzustimmen. Diese beeinflussen u.a. die Luftvolumenstrommenge, den Druckverlust und somit die Gerätegrösse und den Hilfsenergiebedarf eines Rückkühlsystems.

Beim Einsatz von adiabaten- oder hybriden Rückkühlssystemen ist die Nutzung von Regenwasser zu prüfen. Bei Berücksichtigung der hygienischen Aspekte erübrigt sich in den meisten Fällen der Einsatz von konventionellen Wassernachbehandlungssystemen.

Die Kühlung eines Serverraums ist lediglich ein Bestandteil eines Gesamtsystems. Für eine nachhaltige, effiziente und ökonomisch tragbare Lösung ist eine gesamtheitliche Betrachtung unerlässlich. Dies erfordert jedoch eine interdisziplinäre Zusammenarbeit zwischen Fachplaner, Betreiber und Hersteller.

Nebst der Symptombekämpfung mit dem Optimieren von Rückkühlsystemen sollen:

- Die Kapazitäten von bestehenden Rechenzentren ausgelastet werden
- Effiziente Server eingesetzt werden
- Effiziente USV-Anlagen eingesetzt werden
- etc.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_15
an der Abteilung Gebäudetechnik

Zertifizierung von Rechenzentren- Alternative CH-Zertifizierung

Studenten	Bruno De Simoni Ueli Weiss
Dozenten	René Fasan Peter Parrag
Experte	Ruedi Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Zertifizierung von Rechenzentren- Alternative

CH-Zertifizierung

Es gibt schon hunderte Rechenzentren in der Schweiz und es werden immer mehr. Jedoch sind nur die wenigsten davon zertifiziert und garantieren so die Versorgungssicherheit ihrer Standorte. Doch nur mit einer hohen Zertifizierungsrate kann eine gute Qualität der Schweizer Rechenzentren sichergestellt werden. Es wird geprüft ob eine Schweizer Zertifizierung für Rechenzentren gewünscht und umsetzbar ist.

Weltweit gibt es tausende Rechenzentren und dementsprechend auch viele Angebote für eine Zertifizierung. Jedoch haben sich nur wenige durchgesetzt und sich auf dem Markt behauptet. Dies sind Zertifizierungen des Uptime Institute, TÜV IT und Datacenter Star Audit, welche vom Verein eco gegründet wurde. Dabei ist die TIER-Zertifizierung mit Abstand die bekannteste und am meisten verwendete.

		
Uptime Institute USA, seit 1993 TIER I-IV Weltweit 392 x Design 146 x Facility 13x Sustainability	TÜV IT DE, seit 1990 LEVEL I-IV Europa, VAE, Südafrika 89 x Zertifizierungen davon 19 x abgelaufen	Datacenter Star Audit DE, seit 2005 ★ - ★★★★★ Westeuropa 15 x Zertifizierungen

Abb. 1: Vergleich RZ-Zertifizierungen weltweit

Schweizer Markt

In der Schweiz gibt es zurzeit sieben zertifizierte Rechenzentren und einige befinden sich im Bau. Drei davon sind nach TIER-Standard und vier nach TÜV IT zertifiziert. Alle zertifizierten Rechenzentren gehören Firmen welche als Colocator tätig sind, also ihre Fläche vermieten. Recherchen haben jedoch ergeben, dass sich viele Anbieter fälschlicherweise mit Zertifizierungen schmücken, die sie gar nicht besitzen und so Kunden täuschen. Um abzuschätzen ob sich eine Schweizer RZ-Zertifizierung langfristig lohnt, wurde in eine Marktanalyse mit 20 jähriger Prognose erstellt.

Das Segment der Rechenzentren mit 10-2'000 installierten physikalischen Servern erscheint am besten geeignet, da sich viele KMU's und nationale Firmen darunter befinden, die Standorte für eine internationale Zertifizierung aber doch zu klein sind.

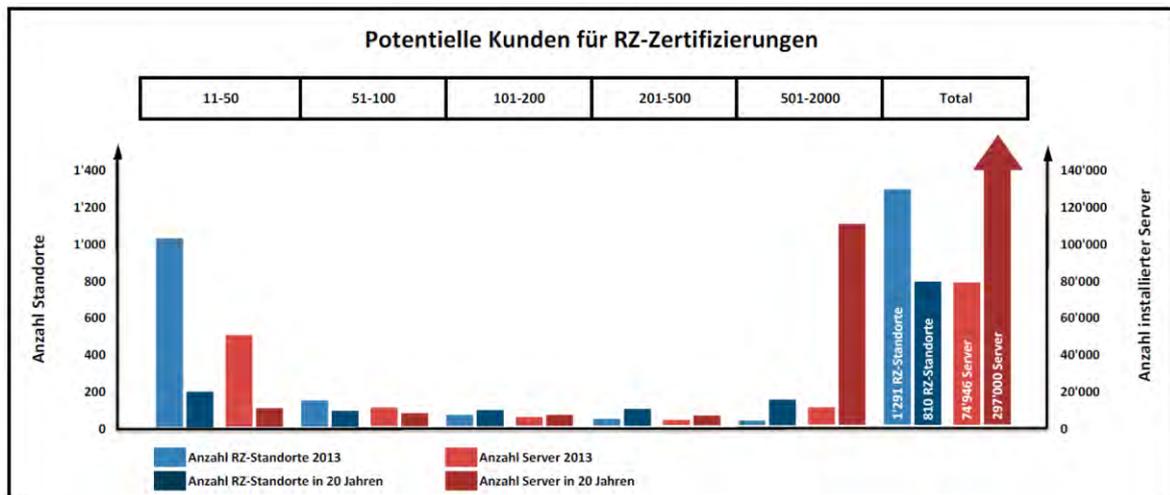


Abb. 2: Marktanalyse/Prognose, potentielle Kunden für Schweizer RZ-Zertifizierung

Die Anzahl RZ-Standorte der potentiellen Kunden wird in den nächsten 20 Jahren stark abnehmen, die Zahl der installierten Server sich aber vervierfachen. So kann von einem Trend zu mehr Outsourcing und grösseren Rechenzentren gesprochen werden, was sich auch als Chance für eine neue Zertifizierung entwickeln kann.

3 Szenarien für eine alternative CH-Zertifizierung

Eine **neue Zertifizierung**, die Schweizer Normen und alternative Energieversorgungskonzepte berücksichtigt. Durch eine freiere Gestaltung der Kriterien könnten so mehr RZ-Betreiber angesprochen werden. Eine neue Zertifizierung zu entwickeln dauert aber mehrere Jahre und kostet viel Geld, was sich vielleicht nicht auszahlen würde.

Aufbauend auf der neuen RZ-Norm **EN50600** könnte eine **Auditierung** angeboten werden. Durch die sehr anpassungsfähige Struktur, kann vollkommen auf die Bedürfnisse der Betreiber eingegangen und eine Zustandsanalyse gemacht werden.

Die einfachste Lösung wäre eine **Zusammenarbeit mit Datacenter Star Audit**. Sie bieten eine sehr innovative Zertifizierung, welche laufend an die neusten Normen angepasst wird, an. Ob eine Zusammenarbeit wirklich zustande kommen würde ist fraglich und auch die damit verbundenen Einschränkungen sind nicht ideal.



Energiespeicher im Gebäude

Energiespeicher übernehmen als verbindende Komponente zwischen Wärmeerzeugung und Wärmeverbraucher eine zentrale Rolle im Energiekonzept. Mithilfe von Gebäudesimulationen wurden die erforderlichen Energiespeichervolumen bei unterschiedlichen Wärmeerzeugerleistungen untersucht. Mit geringfügigen Vergrößerungen der Energiespeicher könnte die Wärmeerzeugerleistung um rund 30% reduziert werden.

Das erforderliche Volumen von Energiespeichern ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Neben der Art der Wärmeerzeugung sowie der Warmwasseraufbereitung und den damit verbundenen Rahmenbedingungen wie Sperr- und Ladezeiten können auch die Wahl des Wärmeabgabesystems und die Masse des Gebäudes einen Einfluss auf die Dimension des Energiespeichers haben.

Typisches Schweizer Gebäude

Um die Relevanz der Untersuchungen zu rechtfertigen, wurden Daten vom Bundesamt für Statistik und dem Bundesamt für Energie beigezogen. Auf dieser Basis konnte man den Gebäudetyp mit dem höchsten Anteil am gebäudetechnischen Wärmeverbrauch der Schweiz ausfindig machen. Es handelt sich dabei um ein Mehrfamilienhaus mit drei bis vier Geschossen und rund 18 Zimmern. Diese Daten bildeten die Grundlage für die Geometrie und das Nutzerverhalten des Gebäudemodells.

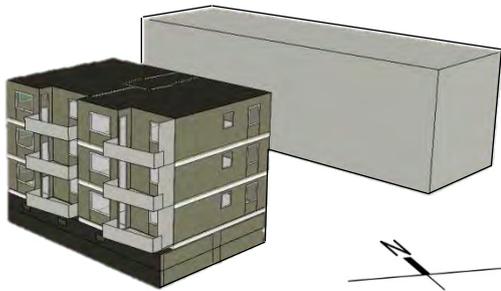


Abb. 1: Geometrie und Ausrichtung Gebäudemodell
Modellkombinationen

Damit die Untersuchungen möglichst breit gefächert sind, wurden im

Simulationsprogramm IDA ICE acht verschiedene Gebäudemodelle erstellt. Sie unterscheiden sich in ihrer Bauweise sowie der Art der Wärmeabgabe:

- schwere Bauweise
 - Heizkörper
 - Fussbodenheizung
 - TABS
- mittelschwere Bauweise
 - Heizkörper
 - Fussbodenheizung
 - TABS
- leichte Bauweise
 - Heizkörper
 - Fussbodenheizung

Diese acht Gebäudemodelle wurden anschliessend mit vier verschiedenen Wärmezentralen kombiniert, welche sich in der Art der Wärmeerzeugung sowie der Warmwasseraufbereitung unterscheiden:

- Konzept 1: modulierender Wärmeerzeuger und Frischwasserstation
- Konzept 2: Wärmepumpe und Frischwasserstation
- Konzept 3: Wärmepumpe und Schichtladespeicher, zwei WW-Ladezyklen pro Tag
- Konzept 4: Wärmepumpe und Schichtladespeicher, drei WW-Ladezyklen pro Tag

Dadurch existieren insgesamt 32 verschiedene Modellkombinationen, in denen das minimal erforderliche Energiespeichervolumen bei unterschiedlichen Wärmeerzeugerleistungen untersucht wurde.

Automatisierter Optimierungsvorgang

Um das minimal erforderliche Energiespeichervolumen bei verschiedenen Wärmeerzeugerleistungen zu bestimmen, wurde das Simulationsprogramm IDA ICE mit dem Optimierungsprogramm MOBO gekoppelt. Aufgrund der Zielgrössen „minimales Speichervolumen“ und „keine Unterversorgung“ suchte MOBO anhand definierter Algorithmen nach den minimal erforderlichen Speichervolumen. Insgesamt

erforderte der Optimierungsvorgang rund 20'000 Jahressimulationen.

Optimierungsergebnisse

Die Resultate des Optimierungsvorgangs wurden ins Excel übernommen und mit Diagrammen graphisch veranschaulicht.

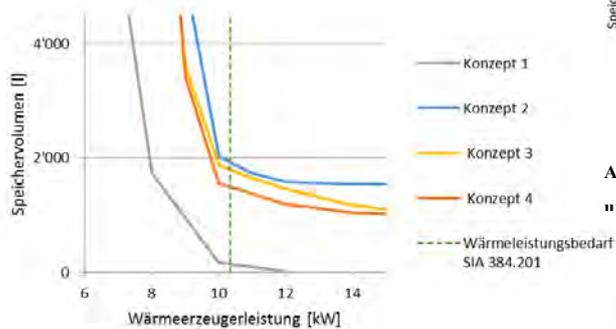


Abb. 2: Vergleich Speichergrosse bei mittelschwerer Bauweise und Konzept 1 bis 4

Die Abbildung 2 zeigt den Einfluss der Wärmeerzeugung sowie der Warmwasseraufbereitung. Wie erwartet fallen die erforderlichen Energiespeicher beim modulierenden Wärmeerzeuger ohne Sperrzeiten am geringsten aus, während sie bei der Wärmepumpe mit Frischwasserstation am grössten sind.

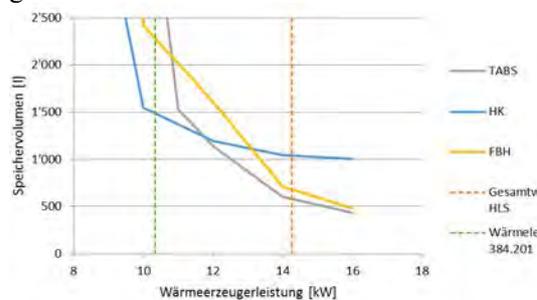


Abb. 3: Vergleich Speichergrosse bei mittelschwerer Bauweise und Konzept 4

In Abbildung 3 sind die Einflüsse des Wärmeabgabesystems auf die Speichergrösse ersichtlich. Die Heizkörper weisen im oberen Leistungsbereich den höchsten Speicherbedarf auf, da sie während den Sperrzeiten nicht unterbrochen werden können. Die beiden Systeme Fussbodenheizung und TABS hingegen müssen während diesen Zeitfenstern nicht aktiv beheizt werden. Im unteren Leistungsbereich fallen die Aufheizvorgänge der Bauteilaktivierung stärker ins Gewicht, wodurch die Energiespeicher bei der

Fussbodenheizung und beim TABS grösser ausfallen.

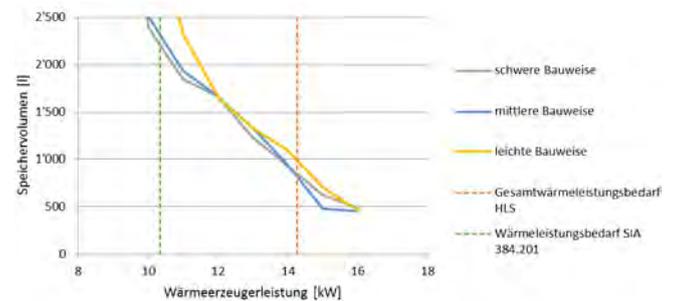


Abb. 4: Vergleich Speichergrosse mit FBH bei unterschiedlicher Bauweise und Konzept 3

Der Einfluss der verschiedenen Bauweisen ist in Abbildung 4 erkennbar. Von allen betrachteten Faktoren hat die Bauweise den grössten Einfluss auf die Speichergrösse. Bei einer höheren Speicherfähigkeit der Baustoffe resultiert jedoch eine kleine Reduktion der Speichergrösse. Allgemein lässt sich erkennen, dass die Wärmeerzeugerleistung auf 10 bis 11 kW reduziert werden kann und dabei vertretbare Speichergrössen von rund 2'000 Litern resultieren. Bei kleineren Leistungen geht der Trend eher in Richtung Saisonspeicher.

Vergleich mit der Praxisauslegung

In der Praxis werden Wärmeerzeuger von den Herstellerunterlagen dimensioniert. In diesem Projekt resultiert dabei aufgrund des statischen Gesamtwärmeleistungsbedarfs für alle Konzepte eine Wärmeerzeugerleistung von 15 kW. Die erforderlichen Speichergrössen können dann über einen spezifischen Wert in Litern pro Kilowatt Wärmeerzeugerleistung bestimmt werden, wobei dieser Wert je nach Planungsunterlagen stark variiert. Im Mittel ergaben sich Energiespeichergrössen zwischen 500 bis 1000 Litern. Gebäudesimulationen mit nach Herstellerunterlagen dimensionierten Wärmezentralen zeigten, dass die Speichervolumen in einigen Fällen zu klein waren. Dies führte zu unbehaglichen Temperaturen im Raum.

Erkenntnisse

Die Resultate zeigen, dass im untersuchten Objekt bei der Dimensionierung der Wärmeerzeugerleistung ein Reduktionspotenzial von rund 30% besteht, wenn man davon ausgeht, dass ein Energiespeicher von 2'000 Litern realisierbar ist.

Auf der Gebäudeebene bringt ein grösser dimensionierter Wärmeerzeuger zwar keine energetischen Nachteile mit sich, jedoch fallen die Lastspitzen der regionalen und nationalen Energielieferanten dadurch höher aus. Dies kann die Ziele der Energiewende negativ beeinflussen, da reaktionsschnelle Spitzenlasterzeuger oft auf Kosten der Energieeffizienz arbeiten.

Aufgrund des Zeitaufwands macht es in der Praxis für kleinere Objekte keinen Sinn, die Wärmeerzeugerleistung anhand von Gebäudesimulationen zu optimieren. Jedoch führen detailliertere Handmethoden, welche dynamische Aussentemperaturen, Gleichzeitigkeiten und Nachtabsenkungen berücksichtigen, bereits zu beträchtlichen Reduzierungen der Wärmeerzeugerleistung. Um noch näher an die effektiv erforderlichen Anlagengrössen heran zu kommen, müssten jedoch die Trägheit des Gebäudes sowie fixe interne Wärmegewinne in solche Berechnungsmodelle integriert werden.

Abkürzungen

FBH	Fussbodenheizung
HK	Heizkörper
MOBO	Multi-Objectiv Building Performance Optimization
TABS	Thermoaktives
Bauteilsystem	



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_17
an der Abteilung Gebäudetechnik

Optimierung des thermischen Energiebedarfs und der Abluftqualität bei Mastgeflügelställen

Studenten	Maurice Ramel Daniel Walti
Dozenten	Rüdiger Külpmann Arnold Brunner
Experte	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Optimierung des thermischen Energiebedarfs und der Abluftqualität bei Mastgeflügelställen

Mastgeflügelställe gelten heute als regelrechte Energieschleudern. Die gebäudetechnischen Einrichtungen sind wenig aufeinander und auf den eigentlich notwendigen Bedarf abgestimmt. Wegen fehlender Erhebungsdaten und dem geringen Gesamtkostenanteil der Energie für die Geflügelmast wurde dieser Thematik bislang aber wenig Beachtung geschenkt. Anhand eines Beispielstalls in Ballwil LU werden nun mögliche Verbesserungen aufgezeigt. Durch des hohen Fettanteils in der Stallabluft wurde das vorgesehene, zu testende Luftreinigungssystem stattdessen in einem Intensivpflegezimmer bei ähnlich starker Geruchsbelastung geprüft - mit eindrucklichen Ergebnissen.

Energiebedarf Mastgeflügelstall

Die Geflügelmast in Ställen stellt hohe Anforderungen an die Gebäudetechnik. In kurzer Zeit setzen die eingestellten Küken rund das 50-fache ihres Startgewichtes an. Während dieser Wachstumsphase, nimmt auch deren Wärme-, Wasserdampf- und Kohlendioxidabgabe rapide zu. So gibt beispielsweise ein Huhn gegen Ende der Mastperiode, also nach knapp 36 Tagen, gute 15 Watt Wärme an die Umgebung ab. Im betrachteten Stall mit 9'000 Tieren ergibt dies eine beachtliche Wärmeleistung, welche gehandhabt werden muss, um die klimatischen Wohlfühlbedingungen der Tiere zu gewährleisten.

Zu diesem Zweck ist der untersuchte Stall nebst einem Monobloc und mehreren Ventilatoren zur Belüftung und einem Warmluftgebläse zur Heizung, mit einem Klimacomputer ausgerüstet, welcher verschiedene Parameter im Stall misst, auswertet und aufzeichnet.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde untersucht, wie effizient diese Anlage läuft und wo Optimierungspotential vorhanden ist. Dazu wurden zunächst sämtliche Energieströme im Stall bilanziert. Diese werden in der untenstehenden Abbildung aufgezeigt.

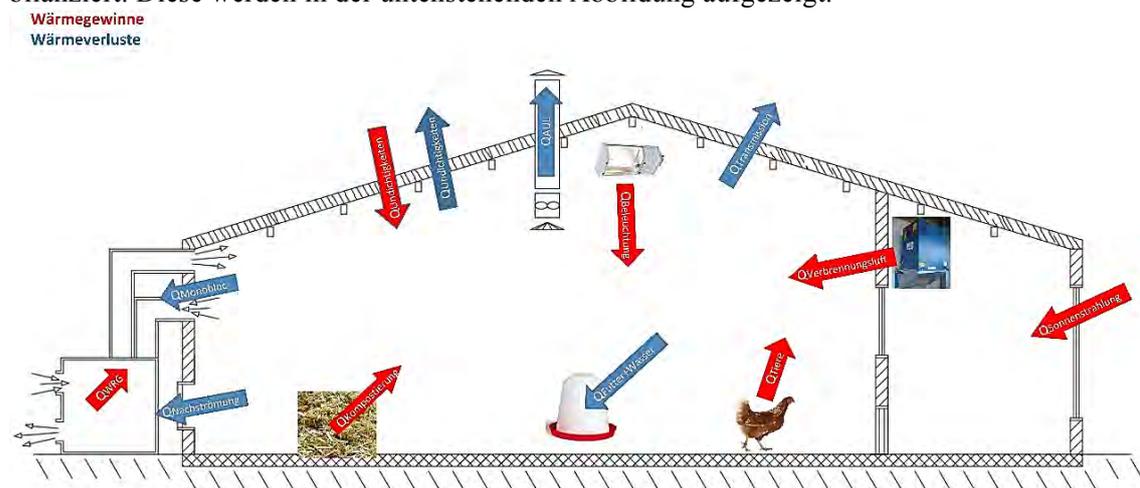


Abbildung 1: Energiefluss im Geflügelmaststall

In einem zweiten Schritt werden die vom Klimacomputer gemessenen Werte mittels Stichprobenmessungen überprüft. Dabei zeigten sich bereits erste Probleme. So werden z.B. die aufgezeichneten Temperaturen nur als Tagesmittelwerte dargestellt oder an falschen Orten gemessen.

Unter Berücksichtigung dieser Ungenauigkeiten wurde anschliessend mit einem eigens entwickelten Auswertungstool, der thermische und elektrische Energiebedarf zweier Mastperioden ermittelt. Die gewählten Mastperioden sind dabei während den extremsten Aussentemperaturen angesetzt.

Da mit diesem Tool auch der Idealfall berechnet werden kann, sprich für den Fall wenn die ganze Anlage sauber laufen würde und nur die notwendigen Luft- und Energiemengen zugeführt werden, kann rasch das Einsparpotential herausgelesen werden.

Leider sind diese Ergebnisse vorerst noch mit Vorsicht zu geniessen, da wie oben erwähnt, viele erhaltene Messwerte mit einer grossen Unsicherheit behaftet sind. Sobald exaktere Messwerte vorliegen, kann auch eine genauere Auswertung gemacht werden. Gewisse Tendenzen sind aber auch jetzt schon erkennbar. So könnte mit einer besseren Messtechnik und sauberer Regelung der Anlage z.B. nach CO₂ schon einiges an Energie gespart werden.

Luftreinigung Intensivpflegestation

Ein neues Luftionisationsverfahren der Schweizer Firma s-Leit sollte ursprünglich die Staub- und Geruchsbelastung aus der Abluft des Mastgeflügelstalls entfernen. Nach der Analyse einer Luftstaubprobe war allerdings klar, dass dessen Einbau nicht möglich sein würde. Schnell war mit der Intensivpflegestation des Luzerner Kantonsspitals aber eine Alternative gefunden, bei der ein Einsatz möglich ist, und ähnliche Geruchsbelastungen auftreten. Diese Gerüche entstehen dabei durch Ausscheidungen und Ausdünstungen der Patienten, oder eitrige Wunden.

Durch die langsame Reinigungswirkung der RLT-Anlagen verharren diese Gerüche noch stundenlang im Patientenzimmer, was weder für Personal noch Patienten angenehm ist. Daneben hat diese Lösung die Nachteile von relativ hohen Betriebskosten und hohem Platzbedarf.

Da Alternativen wie die Fensterlüftung oder herkömmliche Ionisation aber gesundheitsschädigende Nebenwirkungen haben können, hat sich die Luftreinigung mittels RLT-Anlage bislang bewährt.

Die Firma s-Leit hat sich intensiv mit dieser Problematik auseinandergesetzt, und ein kompaktes Luftionisationsgerät entwickelt, welches auf ein Einzelpatientenzimmer zugeschnitten ist. Ein solches soll in einer provisorischen Erweiterung der Intensivpflegestation beim Luzerner Kantonsspital zum Einsatz kommen.

Dieses Umluftreinigungsgerät „LUM 900“ saugt die kontaminierte Luft direkt über der Quelle (Patientenbett) ab, reinigt sie mittels 7 Filterstufen, und bläst sie geschwindigkeitsarm wieder in den Raum ein. Es wird dabei nicht nach den üblichen Behaglichkeitsparametern wie CO₂-Gehalt oder Temperatur geregelt, sondern auf eine konstante Polarität und Anzahl der Ladungsträger – es wird ein natürliches Verhältnis der Luft-Kleinionen erzeugt. Dadurch werden die mikrobiellen, leicht flüchtigen, organischen Stoffe (MVOCs) neutralisiert und die Feinstäube können besser abgeschieden werden.



Luft-Kleinionen	
- Natur/Gebirge:	4'000 bis 10'000 Ionen/cm ³
- Stadt:	200 bis 500 Ionen/cm ³
- klimatisierte Räume:	10 bis 100 Ionen/cm ³

Abbildung 2: Vergleich Luft-Kleinionenkonzentration

Damit kann eine Steigerung von Gesundheit, Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit erreicht werden. Im Gegensatz zu herkömmlichen Luftionisationsverfahren wird kein schädliches Ozon erzeugt. Die genaue Wirkungsweise des Gerätes ist ein Betriebsgeheimnis.

Da die Reinigungswirkung bislang nur von Mitarbeitern der Herstellerfirma bestätigt wurde, war auch eine externe Prüfung nötig.

Das Luzerner Kantonsspital verfügt über einen Versuchsraum mit den Ausmassen und Einrichtungen eines normalen Patientenzimmers. Dieser wurde extra für die vorgängige Prüfung von Systemen und Komponenten erstellt, welche später allenfalls eingebaut werden sollen.

Für die Prüfung mittels Probandenversuchen und Gasanalysen der Luftreinigungswirkung des „LUM 900“ wurde ein solches in die heruntergehängte Decke des Versuchsraums eingebaut.

Eine starke Geruchsprobe, bestehend aus Fäkalien und Erbrochenem, wurde erwärmt und die Gerüche im Raum verteilt. Danach bewerten die Probanden die Luft bezüglich thermischem Raumklima und Raumluftqualität mittels Fragebogen.

Das Umluftreinigungssystem wird danach eingeschaltet, die Probanden betreten in festgelegten Zeitabschnitten den Raum und bewerten wiederum die oben erwähnten Punkte. Zeitgleich wird ebenfalls die Konzentration verschiedener Gase aufgezeichnet um die Reinigungswirkung auch quantitativ aufzeigen zu können.

Über den zeitlichen Verlauf wird so die Reinigungswirkung des Gerätes ersichtlich.

Die Bewertungen der über 60 Probanden zeigen einen klaren Verlauf. Beispielsweise ist im untenstehenden Diagramm die Akzeptanz der Raumluftqualität mit Mittelwert und Standardabweichung dargestellt über die Zeit. Dabei werden die Bewertungen bei Standard-Betriebseinstellungen zusammengefasst.

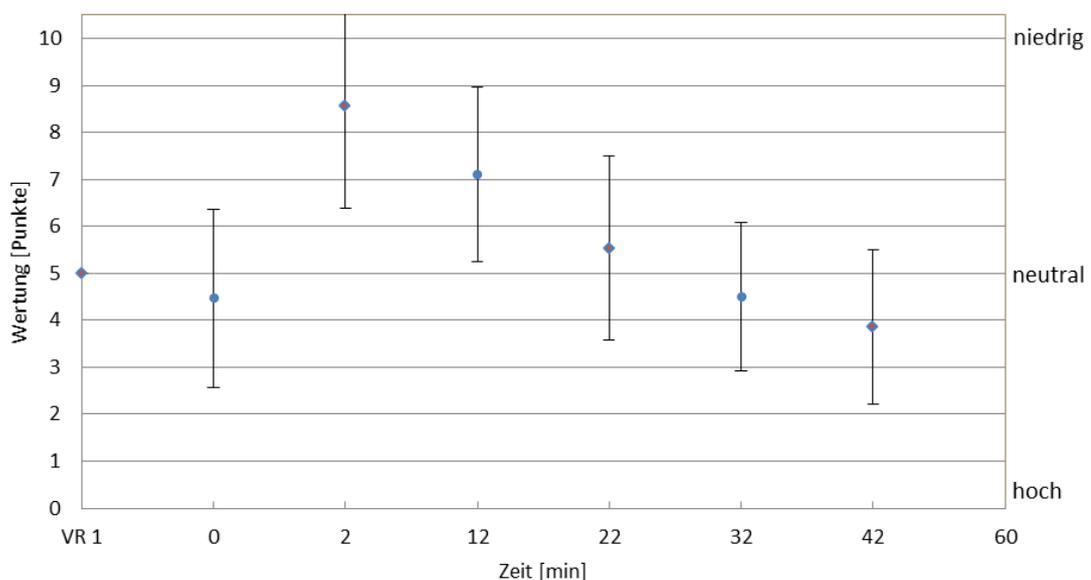


Abbildung 3: Bewertungen der Raumluftakzeptanz über die Zeit bei Standardeinstellungen

Zeitpunkt 0 ist die Bewertung vor der Verunreinigung, 2 mit Verunreinigung. Dabei zeigt sich klar, dass die Raumluftqualität nach gut 30 Minuten wieder gleich akzeptiert wird, wie zu Beginn. Auffällig ist auch, dass nach gut 40 Minuten, diese Akzeptanz sogar noch höher ist!

Dieselben Tendenzen sind bei sämtlichen anderen Punkten ebenfalls erkennbar und werden von der Gasanalyse noch untermauert.

Damit wird die Reinigungswirkung des „LUM 900“ klar bestätigt. Für den Einsatz in Patientenzimmern von Intensivabteilungen bietet dieses Gerät mit seiner kompakten Bauweise, dem geringen Energieverbrauch und der hohen Reinigungswirkung folglich viele Vorteile.

Ein Einsatz in anderen Gebieten mit starker Geruchsbelastung wäre darum prüfenswert.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_18
an der Abteilung Gebäudetechnik

Regionale Energieplanung/Nahwärme-/ Kälteversorgung

Studenten	Simon Mihelic Daniel Strebel
Dozenten	Joachim Ködel Prof. Matthias Sulzer
Experte	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Regionale Energieplanung / Nahwärme- und Kälteversorgung in der Stadt Basel

Im Rahmen der Bachelor Diplomarbeit (BDA) 15_18 zum Thema Regionale Energieplanung / Nahwärme- und Kälteversorgung wurden die Stadtgebiete Breite und Klybeck / Westquai untersucht. Mit dem Rhein besitzt die Stadt Basel eine sehr grosse Energiequelle. Ziel dieser Arbeit war es, dieses Potential für eine thermische Nutzung mittels Wärmepumpe oder Kältemaschine abzuklären.

Unterschiedliche Ausgangslagen erfordern unterschiedliche Vorgehensweisen. Das Quartier Breite ist ein weitgehend bestehendes Wohnquartier, welches voraussichtlich in seiner Bausubstanz in den nächsten Jahren wenig Veränderung erfahren wird. Beheizt werden die Gebäude vorwiegend mit Öl- und Gasfeuerungen welche in den nächsten Jahren ersetzt werden müssen.

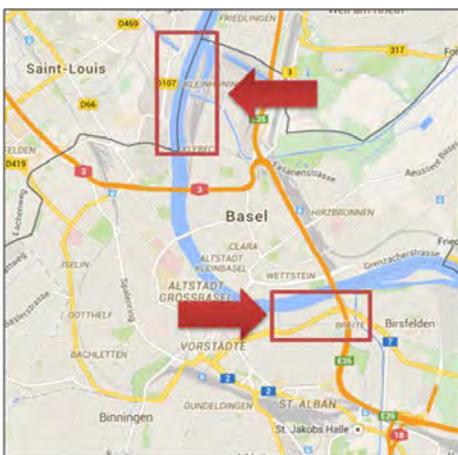


Abbildung 1: Standorte der Gebiete Klybeck / Westquai (oben) und Breite

Ein ganz anderes Bild zeigt sich im Gebiet Klybeck / Westquai. Aufgrund des stark wachsenden Güterverkehrs per Schiff kommt der heutige Hafen im Gebiet Klybeck / Westquai an seine Kapazitätsgrenzen. Deshalb wird der Hafen ausgebaut und teilweise verlagert. Dies schafft im Gebiet Klybeck / Westquai erstmals seit den 1940er-Jahren die Möglichkeit, eine Veränderung betreffend der Nutzungssituation in diesem Gebiet herbeizuführen. Diese Möglichkeit der Umnutzung und Aufwertung soll genutzt werden um dieses Gebiet bezüglich Ökologie und Energie optimal aufzustellen. Anstelle des ehemaligen Hafens soll ein gemischtes Wohn- und Arbeitsgebiet entstehen, welches den Ansprüchen der 2000-Watt-Gesellschaft gerecht wird.

Als Energiequellen kommen Rhein- und Grundwasser in Frage. Der Rhein darf grundsätzlich für Wärme- und Kälteanwendungen genutzt werden. Es zeigt sich jedoch, dass eine thermische Nutzung des Rheins nur eingeschränkt möglich ist. Die Wassertemperatur schwankt leicht versetzt und gedämpft zur Lufttemperatur, was eine ganzjährige Nutzung des Rheinwassers verunmöglicht. Dies einerseits wegen physikalischen und andererseits wegen gesetzgeberischen Grenzen.

Im Winter fällt die Rheinwassertemperatur in die Nähe von 2°C. Ein Einfrieren der Wärmetauscher bei weiterem Wärmeentzug kann bei dieser Temperatur nicht ausgeschlossen werden. Im Sommer, wenn Kühlung verlangt wird, ist der Rhein bereits gegen 25°C warm. Diese Temperatur-Obergrenze wird bereits durch den Gesetzgeber vorgeschrieben und darf durch thermische Nutzung nicht überschritten werden.

Eine Alternative bietet das Grundwasser. Die über das Jahr relativ konstante Temperatur von 12°C ermöglicht einen ganzjährigen Freecoolingbetrieb für Klimakälte, sofern keine Entfeuchtung garantiert werden muss. Für den Heizfall können mit dieser Quelltemperatur gute COP-Werte erreicht werden.

Das richtige Konzept entscheidet über Erfolg oder Misserfolg von einem Fernwärmekonzept. Deshalb kommt der Konzeptentwicklung ein grosser Stellenwert zu. Für die beiden Gebiete werden auf die Bedürfnisse abgestimmte Konzepte entwi-

ckelt. Besondere Beachtung wurde folgenden Punkten geschenkt.

- Temperaturanforderungen Verbraucher
- tiefe Vorlauftemperatur
- grosse Temperaturspreizung zwischen Vor- und Rücklauf
- wenig Wärmeverlust
- Heizungsabschaltung im Sommer
- Freecooling für Kälte

In einem iterativen Prozess werden die Konzepte weiter verfeinert und anschliessend verglichen.

Der Kältebedarf hat entscheidenden Einfluss auf die Konzeptwahl. Im bestehenden Wohngebiet Breite sind hohe Temperaturen zum Heizen, jedoch kaum Kältebedarf vorhanden. Mit einer Vorlauftemperatur von 70°C können alle Gebäude zuverlässig versorgt werden, während eine Kälteversorgung wirtschaftlich und ökologisch keinen Sinn macht.

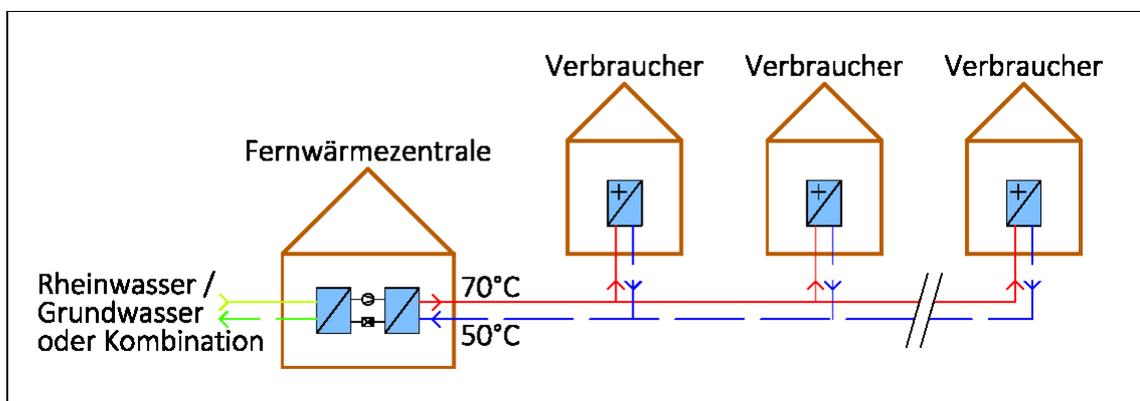


Abbildung 2: Prinzipschema Fernwärmeversorgung Breite

Im Gebiet Klybeck / Westquai ist die Situation komplexer. Der Kältebedarf beträgt ungefähr 1/3 der thermisch benötigten Energie, 2/3 fallen der benötigten Wärmeenergie für Heizung, Lüftung und Warmwasser zu. Zudem werden im neu erstellten Quartier Niedrigtemperatur-Wärmeabgabesysteme eingesetzt. Dies ermöglicht ein absenken der Vorlauftemperatur und somit eine Verbesserung der Jahresarbeitszahl der Wärmepumpen. Der relativ ausgeglichene Wärme- und Kältebedarf bringt zudem das Thema Energienetz ins Spiel.

Das Versorgungsgebiet wird mit einem Energienetz thermisch vernetzt. Dies jedoch auf einem Temperaturniveau nahe der Umgebungstemperatur. Die erforderlichen Temperaturniveaus werden erst bei den Verbrauchern erzeugt. Dies minimiert die Energieverluste. Der unterschiedliche Wärme- und Kältebedarf wird mit einem Wärmetauscher über das Grundwasser ausgeglichen. Dieses Konzept erweist sich als das optimale für das Gebiet Klybeck / Westquai.

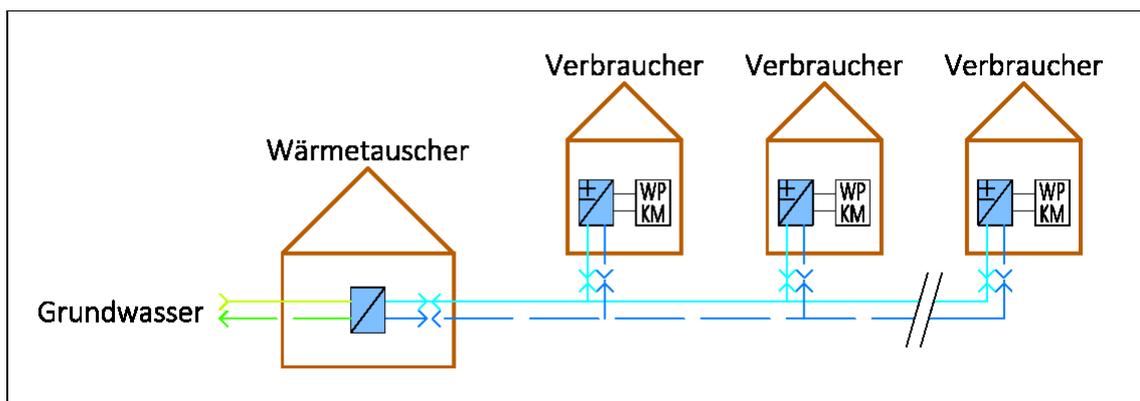


Abbildung 3: Prinzipschema Energienetz Klybeck / Westquai

Für jedes Gebiet das passende Fernwärme, -kälte oder Anergienetz. Es ist nicht immer der Fall, dass Fernwärme, -kälte oder Anergienetze die optimale Lösung sind für eine ökologische und wirtschaftliche Wärme- und Kälteversorgung. In Stadtgebieten mit einer hohen Bebauungsdichte ist die Möglichkeit

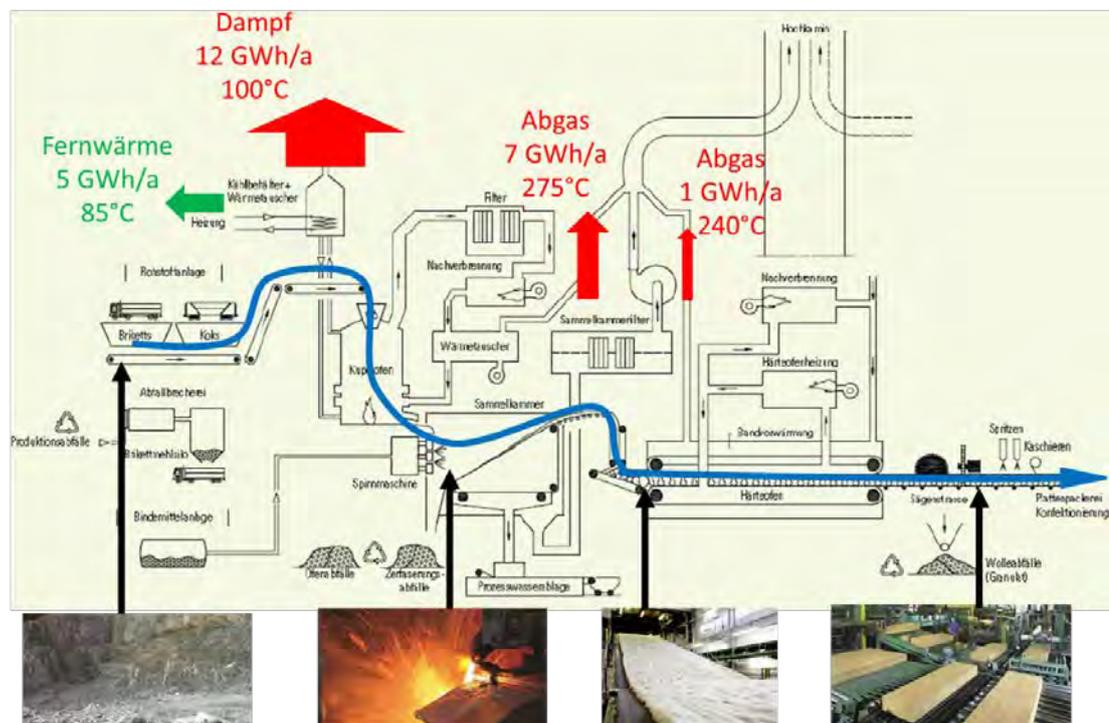
einer thermischen Vernetzung auf jeden Fall abzuklären. Insbesondere wenn in der Nähe nutzbare Abwärmequellen vorhanden sind, welche günstige Wärme- oder Kälteenergie liefern können. Oft ist die Wärme vorhanden, sie wartet nur auf ihre Nutzung.



Abwärmenutzung für Fernwärmenetz und ORC-Anlage: Thermo-ökonomische Optimierung mittels Pinch-Analyse

In dieser Bachelor-Diplomarbeit wird die Thematik der energetischen Gesamtoptimierung mit Fokus auf der Abwärmenutzung anhand des Produktionsprozesses von Steinwolle der Flumroc AG vertieft.

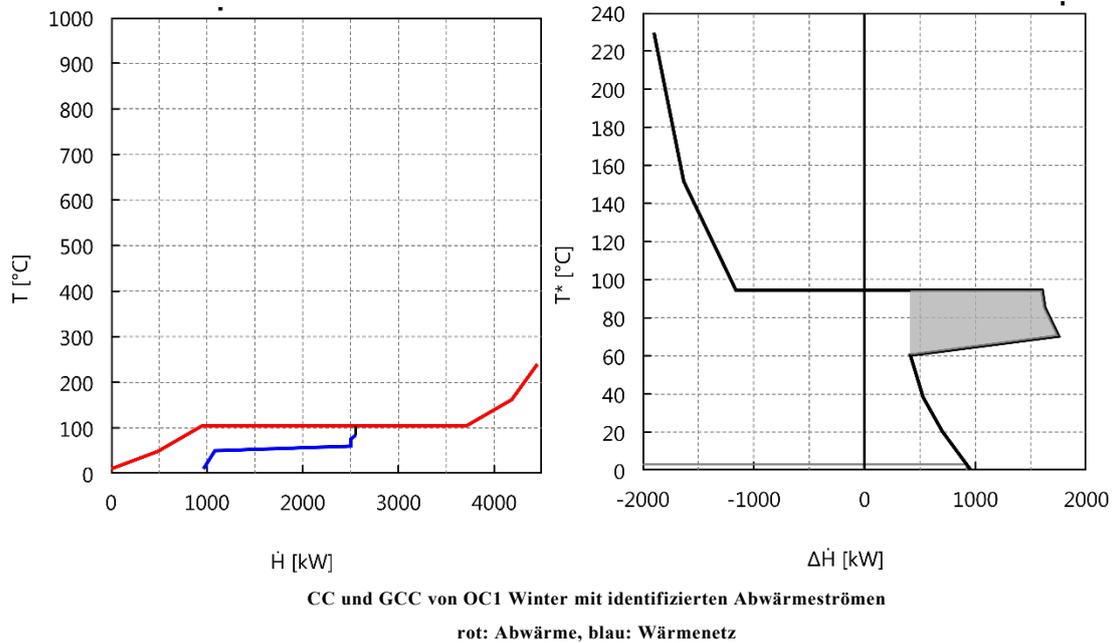
Die Flumroc AG stellt in Flums jährlich rund 50'000 Tonnen Steinwolle her. Der Produktionsprozess ist energieintensiv, wobei primär Koks und Erdgas verbrannt werden. Obwohl interne Wärmerückgewinnungen existieren, fällt bei der Produktion viel Abwärme an. Diese wird teilweise für den Betrieb eines Wärmenetzes genutzt. Bei Produktionsunterbruch am Wochenende wird das Wärmenetz mit erdgasbetriebenen Heizkesseln beheizt.



Steinwolle Produktionsschema mit Wärmeenergieströmen (rot)

grün: Abwärmenutzung, blau: Gestein – Steinwolle

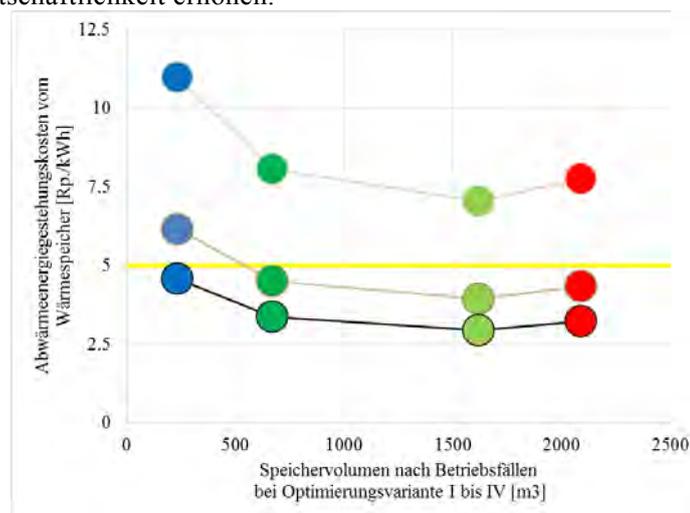
Anhand einer Literaturrecherche wurde eine praxisnahe Methode entwickelt, die aufzeigt, welche Optimierungspotenziale ein Gesamtsystem energetisch und wirtschaftlich besitzt. Dabei wurden die prozessinterne Wärmerückgewinnung und die Abwärmenutzung als Gesamtsystem mittels Pinch-Analyse und Simulationen thermo-ökonomisch optimiert.



Es wurden mögliche Nutzungen von Abwärme anhand eines Fernwärmenetzes mit sensiblem Wärmespeicher und Stromerzeugung mittels Organic Rankine Cycle (ORC) Anlage untersucht. Dazu wurden die benötigten Daten zusammengetragen, analysiert und mittels Pinch-Analyse ausgewertet. Dabei wurden verschiedene Optimierungsvarianten gefunden und nach technischen, ökonomischen und energetischen Gesichtspunkten untersucht.

Es wurde aufgezeigt, dass im Rekuperator des Kupolofens noch Wärmerückgewinnungspotential vorhanden ist. Durch eine Optimierung des Rekuperators könnten jährlich Fr. 422'000 an Energiekosten eingespart werden.

Es zeigt sich, dass sich ein 600 bis 2'100 m³ Wärmespeicher über den Betrachtungszeitraum von 10 Jahren gegenüber einer erdgasbetriebenen Heizanlage finanziell lohnt. Eine wichtige Rolle spielen die vier gefundenen Optimierungsvarianten des Wärmenetzes, da sie die Speicherinvestitionen senken und die Wirtschaftlichkeit erhöhen.



Abwärmeenergiegestehungskosten des Wärmespeichers,
hell graue Kurve: Betrachtungszeit 5 Jahre, dunkel graue Kurve: Betrachtungszeit 10 Jahre,
schwarze Kurve: Betrachtungszeit 15 Jahre, gelbe Kurve : Erdgaskosten



Schimmelfreiheit in Untergeschossen von Niedrigenergiegebäuden

Untergeschosse zählen in Neubauten häufig nicht zum beheizten Raumvolumen. Daher wird vielfach auch auf eine Lüftung bzw. eine Luftbehandlung verzichtet. Allerdings ist auch bei gut gedämmten Kellerräumen Feuchtigkeit und somit das Risiko von Schimmelpilzbildung vorhanden. Es empfiehlt sich also, auch in den unbeheizten Räumen ein Lüftungsgerät zu installieren und die Luft in den gefährdeten Stunden zu entfeuchten.

Ausgangslage

Obwohl einige Schimmelpilzarten für den Menschen sogar nützlich sein können (z.B. bei Käse), ist der grösste Teil gesundheitsgefährdend. Krankheiten oder Allergien werden speziell bei immungeschwächten Personen hervorgerufen.

Damit sich Schimmelpilz bilden kann, müssen verschiedene Bedingungen erfüllt sein (vgl. Abb. 1). Die wichtigsten sind die Nahrungsgrundlage, der Temperaturbereich und die Luftfeuchtigkeit. Bis auf diese sind in den Wohngebäuden, inkl. Kellerräumen, die meisten Parameter gegeben. Somit bleibt als einziger Faktor zur Beeinflussung und Verhinderung der Schimmelpilzbildung die Feuchtigkeit.

Das Kondensieren der Luft an Oberflächen ist nicht notwendig. Bereits bei einer relativen Feuchte von 80 % bildet sich Schimmel. Durch entsprechende Bauweise und das Nutzerverhalten kann dem Auftreten von Schimmelpilzen vorgebeugt werden. Hat er sich einmal gebildet, müssen Massnahmen getroffen und der Schimmelpilz vollständig entfernt werden.

Unterschiedliche Modellvarianten

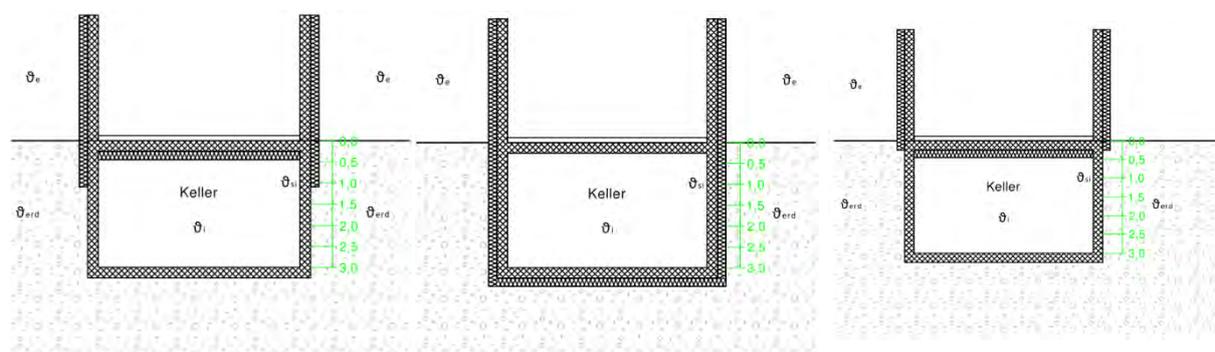


Abb. 2: Modellvarianten Neubau mit Dämmung an Kellerdecke (Modell A, links), Dämmung unter Keller (Modell B, mitte) und Sanierung (Modell C, rechts)

In der obigen Abbildung sind die drei berechneten Modellvarianten dargestellt (vgl. Abb. 2). Modell A zeigt die häufigste Art bei Neubauten. Der Dämmperimeter verläuft einige Zentimeter unter die Kellerdecke ins Erdreich und die Kellerdecke ist gedämmt. Ebenfalls Neubau aber eine

Feuchte	pH-Wert	Nährstoff	
Die Schimmelpilze benötigen für die Sporenceimung, das Myzelwachstum und die Sporenbildung Feuchte. Die meisten Hausschimmelpilze haben ihre Wachstumsgrenze bei 80-85% relativer Feuchte und ihr Optimum bei 90-98% relativer Feuchte.	Die Schimmelpilze bevorzugen ein leicht saures Milieu mit pH-Werten zwischen 4,5 und 6,5. Einige Arten wachsen noch bei pH um 2 oder pH um 8.	Die Nährstoffansprüche der Schimmelpilze sind so minimal, dass dem Hausschimmel für die Ernährung meist schon der unvermeidliche, dort zufliegende Staub in den Wohnräumen ausreicht.	
Temperatur	Sauerstoff	Licht	Zeit
Für das Myzelwachstum liegt die Minimaltemperatur meist bei 0 °C, die Optimaltemperatur zwischen 30 und 45 °C.	Die Hausschimmelpilze stellen geringere Ansprüche an den Sauerstoffgehalt der Atmosphäre als der Mensch.	Für das Wachstum der Hausschimmelpilze ist Licht nicht erforderlich.	Bildung erster Schimmelpilzkolonien nach: - 1 bis 2 Wochen bei $\varphi_{D_0} = 95\%$ - 2 bis 3 Wochen bei $\varphi_{D_0} = 90\%$ - 5 bis 6 Wochen bei $\varphi_{D_0} = 85\%$

eher unübliche Variante ist in der Mitte dargestellt. Hierbei verläuft der Dämmperimeter unter dem Keller hindurch. Die letzte Variante ist die Sanierung, wo eine Dämmung an der Kellerdecke angebracht wird.

Weiter werden die verschiedenen Temperaturverläufe bestimmt. Anhand der gemessenen Aussen-temperatur wird die Erdreichtemperatur berechnet und über die unterschiedlichen Konstruk-tionen die innere Oberflächentemperatur. Diese ist relevant für die Bestimmung, ob sich Schim-melpilz bildet oder nicht. Der jeweilige Partialdruck wird mit jenem der Aussenluft verglichen. Unter der Annahme, dass diese unkonditioniert in den Raum gebracht wird, gilt:

$$p_a > p_i: \text{Schimmelpilzbildung}$$

p_a Partialdruck Aussenluft Pa

p_i Partialdruck innere Oberfläche Pa

Ist der Partialdruck der Aussenluft grösser als jener der inneren Oberfläche, so bilden sich Schimmelpilze. In allen drei Modellvarianten ist diese Bedingung während einiger Stunden pro Jahr erfüllt und es herrscht ein hygienisch kritischer Luftzustand. Somit muss die Luft entfeuchtet werden. Um die Betriebszeiten zu berechnen, bedarf es einem zusätzlichen Kriterium:

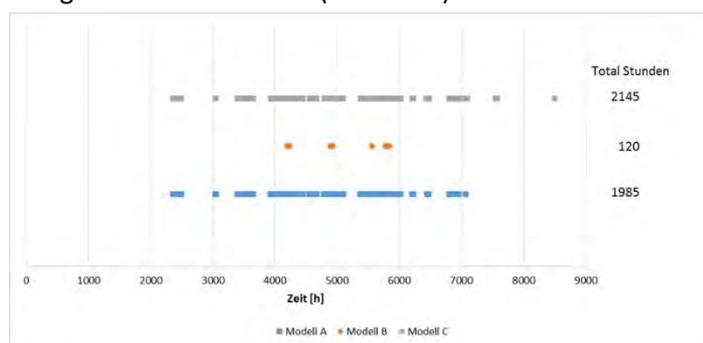
"Als gefährdend wird ein Zustand beschrieben, der über einen Zeitraum von mehr als 12 Stunden an 5 aufeinanderfolgenden Tagen diese Grenze überschreitet." (Sedlbauer, 2001, S. 29)

"Diese Grenze" beschreibt den kritischen Wert der relativen Luftfeuchtigkeit von 80 %. Für den Betrieb der Lüftungsanlage bzw. der Entfeuchtung der Aussenluft wird jedoch angenommen, dass diese Bedingung während nur drei Tagen erfüllt sein muss. Ansonsten wäre die Schimmel-pilzbildung bereits so weit vorangeschritten, dass auch ein Entfeuchten nicht mehr hilft.

In jedem Fall Schimmelpilzbildung

Die Berechnungen zeigen, dass in allen drei Fällen einige Stunden auftreten, in denen die klima-tischen Bedingungen für die Schimmelpilzbildung gegeben sind. Unter Berücksichtigung, dass die Lüftungsanlage nach drei Tagen mit mindestens 12 Stunden erhöhter Luftfeuchtigkeit läuft (vgl. oben), sind dies im gut gedämmten Fall (Modell B) 120 Stunden. In dieser Zeit muss eine Ent-feuchtung der zugeführten Aussenluft stattfinden. In der nachfolgenden Graphik sind die drei Modelle einander gegenübergestellt (vgl. Diagramm 1).

Die gedämmte Variante (Modell B) weist deutlich weniger Stunden auf, als die Varianten A und C. Bei diesen ist die Anzahl der kriti-schen Stunden in etwa gleich gross.

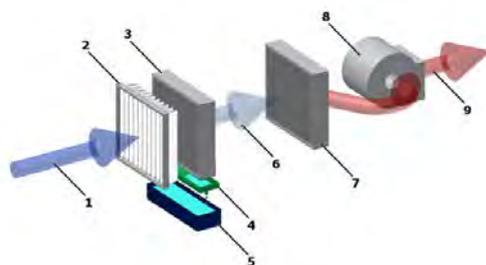


Ebenfalls ist die Verteilung über das Jahr ersichtlich. Die problematische Jahreszeit (d.h. Stunden mit zu hoher Luftfeuchtigkeit, ist demnach der Sommer (Stunden 4000 – 6000, ent-spricht Juni bis September). Einige Stunden im Frühling und Herbst wei-sen insbesondere bei den weniger gedämmten Varianten jedoch eben-falls eine zu hohe Luftfeuchtigkeit auf.

Vergleich der Entfeuchtungsarten

Für die Entfeuchtung der Kellerräume kommen zwei Varianten in Frage: Kondensations- oder Adsorptionsentfeuchtung. Das Prinzip der Kondensationsentfeuchtung entspricht jenem des Kühlschranks. Die Luft wird über einen Luftkühler geführt, welcher als Direktverdampfer eines Kältekreislaufs betrieben wird. Die Luft wird soweit abgekühlt, dass die Taupunkttemperatur unterschritten wird und dadurch Wasser auskondensiert. Dieses wird in einem Behälter aufge-

fangen oder direkt in die Kanalisation geführt. Die Luft wird anschliessend mit der bei der Kondensation gewonnenen Wärme aufgewärmt und in den Raum geführt.



- 1 feuchte Luft
- 2 Filter
- 3 Luftkühler (Kondensator)
- 4 Abtropfschale
- 5 Kondensatbehälter
- 6 entfeuchtete und abgekühlte Luft
- 7 Lufterhitzer
- 8 Ventilator
- 9 entfeuchtete und erwärmte Luft

Abb. 3: Prinzip Kondensationsentfeuchtung (Master Climate Solutions, 2015)

Bei der Adsorptionsentfeuchtung dient der so genannte Adsorptionsrotor als Hauptkomponente. Im Gegenstrom durchqueren zwei Luftströme diesen Wärmetauscher. Die in der Aussenluft enthaltene Feuchtigkeit wird hierbei an den Adsorbens – ein wasseraufnehmendes Material, meistens Silikagel – abgegeben. Die trockene, aufgewärmte Luft kann in den Raum eingebracht werden. Auf der Gegenseite wird diese Feuchte mittels der beheizten Regenerationsluft wieder aus-

- 1 Filter
- 2 feuchte Luft
- 3 Rotor
- 4 entfeuchtete Luft
- 5 Ventilator
- 6 Regenerationsluft
- 7 Lufterhitzer
- 8 heisse Regenerationsluft
- 9 feuchte Regenerationsluft

getrieben
und nach
ausen ge-
führt.

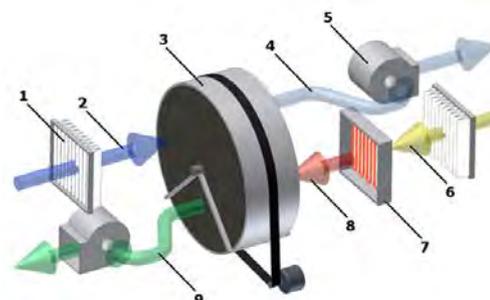


Abb. 4: Prinzip Adsorptionsentfeuchtung (Master Climate Solutions, 2015)

Für ein fiktives Untergeschoss mit zwölf Kellerräumen à 7.5 m² Fläche wird der minimale Luftwechsel nach SIA angenommen. Dieser beträgt 0.5 m³/hm². Der totale Volumenstrom ist somit 45 m³/h.

Modell	Wassermenge
A	185.63 kg
B	47.14 kg
C	235.36 kg

Mit diesen Daten lässt sich für die drei Modelle die abzuführende Wassermenge bestimmen (vgl. Tab. 1).

Eine Entfeuchtung ist für die Kellerräume sehr empfehlenswert, um der Schimmelpilzbildung vorzubeugen.

Der abschliessende Vergleich der beiden Entfeuchtungssysteme zeigt, dass der elektrische Energiebedarf in etwa gleich gross ist. Betrachtet man jedoch die drei Modellvarianten, so gibt es deutliche Unterschiede. Das gut gedämmte Modell benötigt nur rund halb so viel Energie, wie die beiden anderen Varianten.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

**Bachelor Diplomarbeit
in Gebäudetechnik 2015**

Schimmelfreiheit in Untergeschossen von Niedrigenergiegebäuden

Student:
Marco Frick

Betreuer:
Prof. Arnold Brunner
Prof. Dr. Heinrich Manz
Prof. Urs Rieder



Analyse der Strom- und Sicherheitsoptimierung eines Produktionsgebäudes

Die Firma Sigrist Photometer produziert seit mehr als 60 Jahren hochpräzise Messtechnik zum Nachweis von Fremdstoffen und Trübungen in flüssigen oder gasförmigen Stoffen. Rund 60 Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter befassen sich im Hauptsitz in Ennetbürgen mit Entwicklung, Produktion, Vertrieb und Kundendienst. Weil der Energieverbrauch in den letzten Jahren im zweistelligen Prozentbereich gestiegen ist, wünscht sich die Firma eine Strom- und Sicherheitsoptimierung ihres Produktionsgebäudes. Unabhängig von der Stromoptimierung soll eine Realisierung einer Photovoltaikanlage aus energetischer und wirtschaftlicher Sicht untersucht werden.

Bestandsaufnahme der elektrischen Energieflüsse

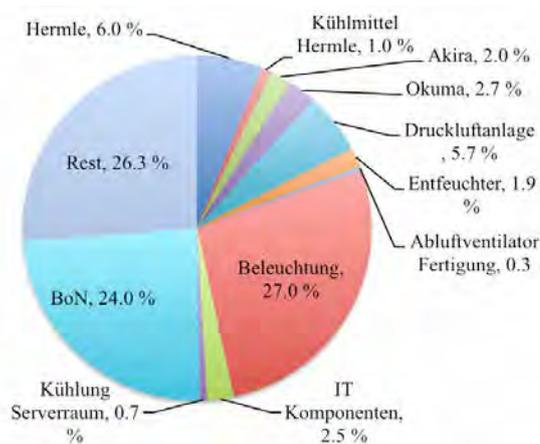


Abbildung 1 Energieanteile am Tagesenergieverbrauch

Mit Hilfe einer IST-Analyse konnte 74% des täglichen Energieverbrauchs aufgedeckt werden. Die Daten wurden aus Messungen, Befragungen, dem Energiezähler und Datenblättern ermittelt. Am täglichen Energiebedarf machen die Produktionsmaschinen gerade mal 18% aus. Der grösste Energieverbrauch liegt bei der Beleuchtung mit 27% und dem Betrieb ohne Nutzen BoN mit 24%. Beim BoN handelt es sich um den Energieverbrauch ausserhalb der Arbeitszeiten. Der Rest von rund 26% machen kleinere Produktionsmaschinen, die Büromatika ect. aus.

Grund für den Energieanstieg

Der Anstieg des Energieverbrauchs der letzten Jahre muss auf die Produktion zurückzuführen sein. Anhand der IST-Analyse ist bekannt, dass 33% des täglichen Energiebedarfs abhängig von der Produktion ist. Weil die Energieverbräuche nicht mit den Produktionszahlen auf Grund des Produktionsprozesses und allfälligen Fremdproduktionen verknüpft werden kann, konnte die These nicht definitiv bestätigt werden. Durch Befragung der Mitarbeiter wurden jedoch keine weiteren Gründe für einen Anstieg gefunden.

Massnahmen zur Stromoptimierung

Durch die Bestandsaufnahme der Energieflüsse ist bekannt, dass die Druckluftanlage und der Abluftventilator in der Fertigung auch ausserhalb der Arbeitszeiten in Betrieb sind. Da die Firma keinen direkten Nutzen für diese Energie hat, ist ein Einsparpotenzial bei diesen Maschinen vorhanden. Diese Energien können mit organisatorischen Massnahmen leicht eingespart werden, ohne dass die Firma Investitionen tätigen muss. Durch die beiden Massnahmen kann pro Jahr rund 3.4 MWh/a eingespart werden.

Weiter können durch eine neue Beleuchtung in der Reparatur und dem Ausschalten der Büromatika ausserhalb der Arbeitszeit ebenfalls Energie eingespart werden. Das Ausschalten erfolgt mit einem Schlaufstecker, welcher über einen Schalter die Büromatika vom Stromnetz trennt. Bei diesen Massnahmen muss die Firma Investitionen tätigen. Eine Wirtschaftlichkeitsberechnung hat aber gezeigt, dass die Massnahmen wirtschaftlich sind. Somit können ca. 4.7 MWh/a eingespart werden.

Eine weitere Energiesparmassnahme wäre eine neue Beleuchtung in den Büroräumlichkeiten, der Laserkalibrierung und den Verkehrszonen. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung hat jedoch gezeigt, dass diese Massnahmen für die Firma nicht wirtschaftlich sind. Da die bestehende Beleuchtung zum Teil veraltet ist, wird der Firma Sigrist angeraten, sich für eine neue Beleuchtung auf LED Basis zu entscheiden.

Photovoltaikanlage

Eine Überprüfung verschiedener Varianten hat ergeben, dass eine 48 kW_p Ost-Westanlage auf beiden Dächern energetisch, wie auch wirtschaftlich für die Firma Sigrist sinnvoll wäre. Mit der Anlage kann rund 23% der benötigten Energie lokal produziert werden. Auf dem Dach des Produktionsgebäudes kommt auf Grund der natürlichen Dachgeometrie keine andere Ausrichtung in Frage. Eine Untersuchung auf dem Dach der Cafeteria hat gezeigt, dass eine Ost-Westanlage mehr Energie produziert, als eine Südanlage. Dies ist möglich, weil sich die Module bei einer Ost-Westausrichtung gegenseitig nicht verschatten. Dadurch können mehr Solarmodule für die Stromproduktion platziert werden. Bei der Platzierung der Solarmodule musste auf Schattenwürfe durch umliegende Dachaufbauten oder durch die unterschiedlichen Dachniveaus geachtet werden. Eine Verschattung der Solarmodule kann sich merklich auf die Energieproduktion auswirken. Die wirtschaftliche Analyse hat gezeigt, dass die Anlage innert 22 Jahren knapp wirtschaftlich ist, wenn die Energie verkauft wird anstatt sie für den

Eigenverbrauch zu nutzen. Bei einer Photovoltaikanlage kann mit einer Lebensdauer von rund 25 Jahren gerechnet werden. Danach kann die Funktionalität nicht mehr gewährleistet werden. Die Anlage wird vom Bund mit einer KEV von 19.4 Rp./kWh gefördert. Aus der Untersuchung ging ebenfalls hervor, dass keine Photovoltaikanlage ohne Fördergelder wirtschaftlich ist.

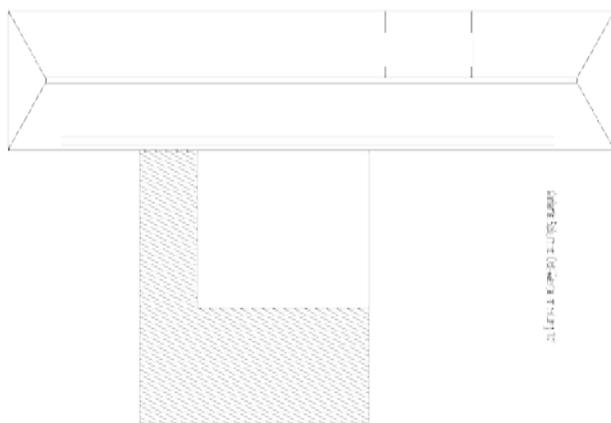


Abbildung 2 Ost-Westanlage

Beurteilung des Personen- und Sachschutzes in der NS-Installation

Grundsätzlich ist der Personen- und Sachschutz durch die Schutzeinrichtungen in der Niederspannungsinstallation gegeben. Dennoch wurden kleinere Mängel gefunden, die so bald als möglich behoben werden sollten. Als wichtigster Punkt ist zu erwähnen, dass der Zugang zur Unterverteilung 1 für Laien unterbunden werden muss. In der Unterverteilung sind NH-Sicherungen verbaut, welche von Laien aus Personenschutzgründen nicht bedient werden dürfen.

Neben den Massnahmen für Personen- und Sachschutz, wurden Massnahmen zur Verbesserung der Betriebssicherheit erarbeitet. Dabei wurde festgestellt, dass Heizungsrohre oberhalb der HV verlaufen. Durch einen Rohrbruch kann die HV erheblichen Schaden nehmen und der Betrieb wird unterbrochen. Es wird empfohlen, diese Massnahme umgehend umzusetzen. Es wurde auch erkannt, dass fünf Unterverteilungen bereits veraltet sind. Diese sollten aus Gründen der Betriebssicherheit innert 10 Jahren ersetzt werden.



Abbildung 3 Gefährdung der Betriebssicherheit durch HLKS Rohre.

Fazit der Optimierung

Mit den wirtschaftlichen Massnahmen sollte der Jahresenergieverbrauch in Zukunft um rund 8.1 MWh sinken. Entscheidet sich die Firma Sigrist für eine neue Beleuchtung kann zusätzlich pro Jahr 11.8 MWh eingespart werden. Dies jedoch auf Kosten der Wirtschaftlichkeit.

Eine Photovoltaikanlage mit Ost-Westausrichtung deckt 23% des Energieverbrauchs und ist zugleich auch wirtschaftlich. Zudem steigt der ökonomische Wert der Firma durch die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien.

Durch kleinere Massnahmen kann der Personen- und Sachschutz im Betrieb optimiert werden. Die Betriebssicherheit ist jedoch durch HLKS-Rohre oberhalb der HV stark gefährdet. Ein Rohrbruch kann den Betrieb unterbrechen. Daher muss da dringend gehandelt werden.



In Aarau wurde im Frühjahr 2014 das neue Wohn- und Bürogebäude der Herzog Kull Group (HKG) eröffnet. Dieses Gebäude verfügt in den Büroräumlichkeiten über eine Gebäudeautomation, dessen Hard- und Software es ermöglichen, die Energieeffizienzklassen nach SN EN 15232 umzuschalten. Das Projekt wird vom Bundesamt für Energie (BFE) als Pilot- und Demonstrationsprojekt anerkannt und unterstützt. Die Ziele des Projekts sind, die elektrische Energieeinsparung im Systemverbund aufzuzeigen und neue Benchmarks zu schaffen.

Das Gebäude mit seinem Automationskonzept

Im Erdgeschoss befinden sich die Büroräumlichkeiten der HKG. Die Heizung und die Kühlung werden über Fernwärme bzw. Fernkälte der IBAarau gespeist. Die Grundfläche beträgt rund 900 m². Die Gebäudeautomation kann zwischen den Energieeffizienzklassen A bis D umgeschaltet werden. Für die Umschaltung gibt es einen Schalter, der neben dem Haupteingang beim Empfang installiert ist. Es werden auf Feldebene verschiedene Bus-Systeme eingesetzt, um in jedem Bereich dessen Vorteile nutzen zu können. Die Automations- und Managementebene wird mit BACnet betrieben, welches eine Kommunikation zwischen Geräten verschiedener Hersteller zulässt.



Installierter Schalter

Die Energieeffizienzklassen

Die Einteilung der Klassen erfolgte nach der Norm SN EN 15232 bzw. SIA 386.110, wobei von Klasse D nach A der Automatisierungsgrad steigt. Die Gebäudeautomation regelt die Heizung, die Lüftung, die Beschattung und die künstliche Beleuchtung. Um den Energiebedarf in den einzelnen Klassen zu ermitteln und schliesslich zu vergleichen, werden verschiedene Messungen durchgeführt. Sie werden unterteilt in Kraft und Betriebseinrichtungen, Beleuchtung, Lüftungsanlage, Heizungskomponenten, Storen, ICT und Eigenbezug der Automation. Alle Messwerte werden anschliessend im Webbrowser „Alcedo“ angezeigt. Dort können Diagramme zur Visualisierung der Werte erstellt und exportiert werden.

Erfolgskritische Daten

Wichtige oder gar erfolgskritische Daten sind aussagekräftig und zeigen schnell auf, wo man im Vergleich zu anderen Werten steht. Ebenfalls dienen sie dazu, den Komfort für die Nutzer des Gebäudes einzuhalten. Für die Automation und den Nutzer wichtige Messwerte sind die Temperatur [°C / K], die elektrische Leistung [W] und Energie [kWh], die Uhrzeit [h], die Luftqualität [ppm] und die Beleuchtungsstärke [lx], wobei die Werte nicht in jeder Effizienzklasse die gleiche Wichtigkeit haben. Erfolgskritische Werte sollen mit anderen Gebäuden oder Benchmarks vergleichbar sein. Die Messwerte müssen auf einen Quadratmeter der Nettogeschossfläche oder einen definierten Zeitraum heruntergebrochen werden. Die in dieser Diplomarbeit definierten erfolgskritischen Daten sind die spezifische elektrische Leistung [W/m²], die spezifische elektrische Energie [kWh/m²], die gewichtete Energiekennzahl [kWh/m²] und die elektrische Energie pro definierte Zeiteinheit [kWh].

Benchmark

Für diese Arbeit wurden verschiedene Studien, Berichte und die Norm SN EN 15232 auf Benchmarks untersucht. Als Beispiel sind hier die Einsparungen für die Elektroenergie eines Nicht-Wohngebäudes nach SN EN15232 angegeben:

Tab: Einsparungen Elektroenergie SN EN 15232

Studie	Raumtyp	Messdauer	Referenzklasse	Zielklasse	Einsparung
SN EN 15232	Büro	Simulation	C	A	13 %
SN EN 15232	Büro	Simulation	C	B	7 %
SN EN 15232	Büro	Simulation	D	C	10 %

Konzept zur Auswertung der Messdaten

Das Wichtigste zu Beginn einer Auswertung ist die Fragestellung, die zu den gewünschten Ergebnissen führen soll. Diese sollen vorerst als allgemeine Fragen formuliert werden. Wichtige Begriffe sind zu präzisieren. Nun soll untersucht werden, ob jedes Unterelement oder jeder präzisierter Begriff durch eine Messgrösse ermittelt werden kann. Da dies meist nicht der Fall ist, müssen alle Grössen zur Berechnung des gewünschten Werts vorhanden sein. Falls die benötigten Daten nicht gemessen oder berechnet werden können, sind sie mit anderen Methoden aufzufindig zu machen. Nachdem jeder Grösse eine genaue Bezeichnung zugewiesen wurden, können die Formeln zur Beantwortung der am Anfang definierten Fragen aufgestellt werden. Wichtig ist auch die Definition der Messperiode und der Aufzeichnungsfrequenz. Mit diesen Angaben ist eine Abschätzung der zu erwartenden Datenmenge möglich. Bei der Auswahl der Hilfsmittel, Hard- oder Software, ist auf diese ein besonderes Augenmerk zu legen. Wenn alle Vorbereitungen abgeschlossen sind, geht es daran, die Daten zu erfassen. Sie sollen eingesammelt, transformiert und in die gewünschte Zieldatenbank geladen werden. Anschliessend können die notwendigen Werte ausgeschnitten und aggregiert werden, um danach die eigentliche Analyse und Mustererkennung vorzunehmen. Hierzu dienen beispielsweise Diagramme, Tabellen und Grafiken.

Analyse Messungen HKG

Das Konzept zur Auswertung von Daten wurde an den Messwerten der Herzog Kull Group angewendet. Folgende Resultate wurden erzielt:

Wie hoch ist das Einsparpotenzial des gesamten elektrischen Energiebedarfs zwischen den Energieeffizienzklassen?

von	nach	HKG
B	A	-6.6%
C	A	-11.1%
D	A	-5.1%
C	B	-4.2%
D	B	1.4%
D	C	5.4%

Durch Plausibilitätsprüfungen wurden einige Mängel im installierten System der HKG festgestellt. Aus diesem Grund weichen die Resultate aus den Messwerten von den Erwartungen ab.

Anmerkung: negatives Vorzeichen = Mehrverbrauch

**Wie hoch ist das Einsparpotenzial der elektrischen Energie einzelner Verbraucherka-
tegorien nach SIA 380/4 zwischen den Energieeffizienzklassen?**

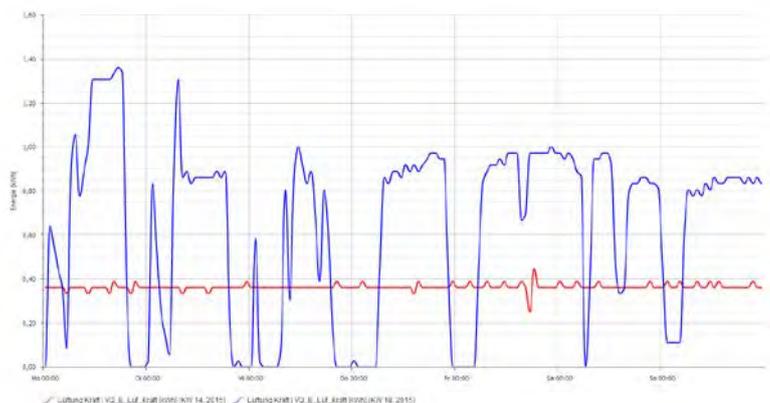
von	nach	Beleuchtung	Betriebs- einrichtung	Lüftung	div. Gebäude- technik
B	A	-4.0%	-2.1%	-46.5%	-3.7%
C	A	-10.1%	-1.0%	-103.9%	-14.8%
D	A	0.2%	0.9%	-75.2%	-23.7%
C	B	-5.9%	1.1%	-39.2%	-10.7%
D	B	4.0%	2.9%	-19.6%	-19.2%
D	C	9.3%	1.9%	14.1%	-7.7%

**Wie hoch ist das Einsparpotenzial des elektrischen Energiebedarfs der GA-abhängigen
Verbraucher zwischen den einzelnen Energieeffizienzklassen und im Vergleich mit
einem Benchmark?**

von	nach	HKG	SN EN 15232
B	A	-7.5%	
C	A	-19.9%	13.0%
D	A	-11.5%	
C	B	-11.5%	7.0%
D	B	-3.7%	
D	C	7.0%	10.0%

Da während der Messperiode einige Änderungen in den Einstellungen vorgenommen wurden, sind die Werte nicht aussagekräftig und daher nicht mit Benchmarks zu vergleichen.

In der kurzen Betrachtungszeit dieser Arbeit von acht Wochen haben Fehler und Unregel-
mässigkeiten eine grosse Auswirkung auf die Messwerte. Durch Änderung von Einstellun-
gen während den Messungen, wie im Diagramm ersichtlich, und suboptimalen Parametern
haben die Messwerte ihre Aus-
sagekraft verloren. Rechnerisch
wurde durch den Median trotz-
dem einen typischen Werktag,
Samstag und Sonntag pro Klasse
erstellt, damit Feiertage und
Ausreisser nicht ins Gewicht
fallen. Es empfiehlt sich aber
einen Messzeitraum von min-
destens einem Jahr um einen
Trend zu erkennen und eine kor-
rekte Aussage über das Energie-
einsparpotenzial zu machen.



Änderung der Maximalleistung der Lüftung von Klasse D (rot)
nach Klasse A (blau)



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_23
an der Abteilung Gebäudetechnik

Solarenergie als Effizienzmassnahme im Mehrfamilienhaus

Studenten	Patrick Kürner
Dozenten	Werner Betschart Reto von Euw Urs Rieder
Experte	Roger Neukom
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Ernst Schweizer AG, Metallbau, 8908 Hedingen
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Solarenergie als Effizienzmassnahme im Mehrfamilienhaus

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 will der Bund Energie einsparen aber auch die erneuerbaren Energien fördern. Nun kommt die Frage auf, ob bei bestehenden Gebäuden Investitionen in eine Erneuerung der Gebäudehülle oder in eine thermische Solaranlage, mehr an der Strategie „weg von fossilen Rohstoffnutzung“ beisteuert.

Energieverbrauch Gebäude

Der Energiebedarf von Neubauten ist erheblich tiefer als bei älteren Gebäuden. Das Potential der thermischen Solaranlage ist somit bei älteren Gebäuden wesentlich höher als bei Neubauten.

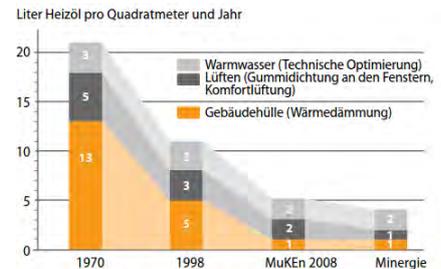


Abbildung 1 Rückgang des Heizölverbrauches (BFE, 2010)

Energieträger bei Mehrfamilienhäusern in der Schweiz

Das Heizöl ist mit Abstand der weitverbreitetste Energieträger für die Heizungsanlage und der Warmwasseraufbereitung bei Mehrfamilienhäusern. Der am zweitmeisten eingesetzte Energieträger ist das Gas und bei der Warmwasseraufbereitung ist es die Elektrizität. Der fossile Anteil hingegen fällt mit knapp 16% gering aus. Schon bei diesen Zahlen kann man das hohe Poten-

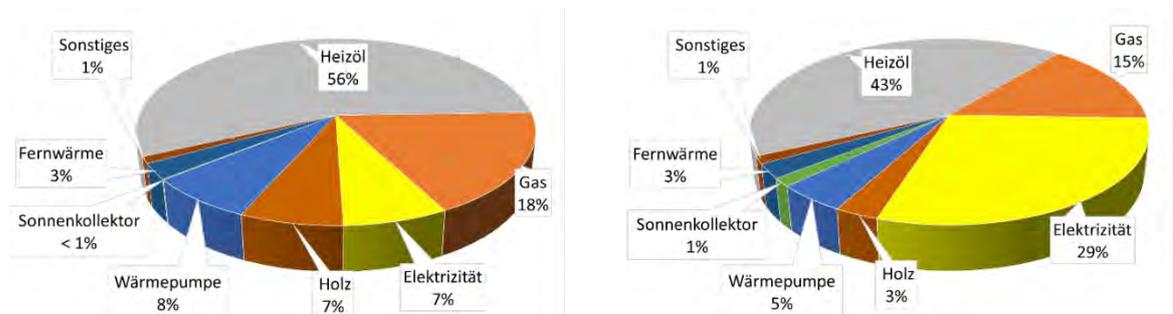


Abbildung 3 Energieträger für die Warmwassererzeugung 2013 (BFS, 2014)

tial
der
erneuerbaren Energien bei Mehrfamilienhäusern sehen.

Kantonaler Unterschied

Der Unterschied der fossilen Energienutzung ist zwischen den Kantonen sehr unterschiedlich. In der West-, Nordwest- und Nordschweiz ist der Anteil der fossilen Energienutzung für die Heizungsanlage zwischen 80-91%. Einzig im Kanton Obwalden ist der Anteil unter 50%. Bei der Warmwassererzeugung ist der fossile Verbrauch jeweils tiefer, da vielerorts das Warmwasser elektrisch auf-

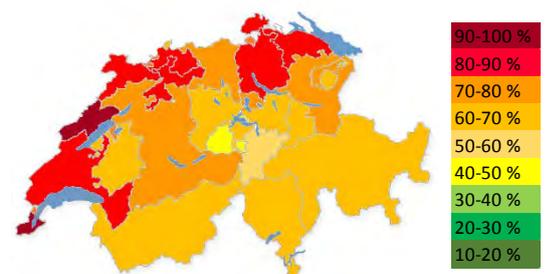


Abbildung 4 Anteil fossiler Energienutzung der Heizungsanlage

bereitet wird und in der Schweiz als nicht fossil gilt.

Thermische Solaranlage oder eine Sanierung der Gebäudehülle?

Gerade bei älteren Bauten aus den 60-70er Jahren mit einer schlechten Gebäudehülle ist ein hohes Potential bei der fossilen Energieeinsparung vorhanden. Einerseits kann der Brennstoff mittels einer Renovation der Gebäudehülle reduziert werden. Zum Beispiel können die Fassade, die Kellerdecke oder der Estrich etc. besser gedämmt werden. Andererseits kann mit einer thermischen Solaranlage der fossile Energieverbrauch ebenso reduziert werden. Dafür bietet sich der Warmwasserverbrauch gut an, da während des gesamten Jahres Warmwasser verbraucht wird. Genauso interessant ist eine thermische Solaranlage für die Raumheizung bei entsprechenden Rahmenbedingungen. In diesem Zusammenhang (oder als Beispiel) wurden verschiedenen Massnahmen bei einem 3-stöckigen Gebäudemodell in Zürich (6 Wohneinheiten, resp. 12 Personen) aus den 60er Jahren geprüft. Sie zeigen auf, wie sich die Investitionen und Einsparungen verhalten:

Table 1 Massnahmenvergleich, Standort Zürich, Ölheizung Wirkungsgrad 90%, Heizölpreis 85 CHF/ 100 l

Massnahme	Investition in CHF	Einsparung in MWh pro Jahr	Nutzungsdauer in Jahre	spezifische Kosten pro eingespartes kWh in CHF	Payback in Jahre
Fensterersatz 3-fach Wärmedämmglas	150'000	7.6	30	0.76	200
Dämmung Kellerdecke Mineraldämmplatte 12cm	29'900	20.8	50	0.04	15
Dämmung Fassade Mineralwolldämmplatte 18cm	149'900	49.6	70	0.07	37
Dämmung Estrich Zwischensparrendämmung	69'000	36.8	40	0.06	20
Warmwasservorwärmung 6 Kollektoren und 500 Liter Vorwärmespeicher	25'470	8.4	30	0.10	26
Warmwasservorwärmung 6 Kollektoren und 1'250 Liter Brauchwarmwasserspeicher	33'150	7.9	30	0.14	38
Warmwasservorwärmung 6 Kollektoren und 1'250 Liter Wärmepumpenboiler	39'250	8	30	0.16	45
Heizungsunterstützung 40 Kollektoren und 5'000/ 250 Liter Kombispeicher	87'170	16.7	30	0.20	55

In obenstehender Tabelle kann man erkennen, dass die Sanierungen der Gebäudehülle wesentlich mehr fossile Energie als eine thermische Solaranlage einspart. Die thermische Solaranlage ist vor allem bei der Warmwasservorwärmung sinnvoll und kann bis zu 70% des Warmwasserverbrauchs abdecken. Empfohlen sind die grau hinterlegten Massnahmen.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor-Diplomarbeit
in Gebäudetechnik 2014
Solarenergie als Effizienz-
massnahme im Mehrfamilien-
haus

Autor: Patrick Kürner



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_24
an der Abteilung Gebäudetechnik

Mittelspannung-Netzersatzanlage

Studenten	Marcel Hänseler Michael Pfister
Dozenten	Dominique Salathé Volker Wouters
Experte	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Herr Jean-Pierre Felder, Schmidiger+Rosasco AG, Leutschenbachstrasse 55, 8050 Zürich
Abgabedatum	5. Juni 2015

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

Mittelspannung Netzersatzanlage

Die Stromversorgung in der Schweiz und in Europa wird problematischer. Die Ausfälle nahmen in den letzten Jahren stetig zu. Deshalb werden immer häufiger ganze Areale durch Netzersatzanlagen bei einem Netzausfall mit Elektrizität versorgt. Für die Universität Zürich Irchel wird ein solches Konzept für eine Mittelspannung-Netzersatzanlage aufgezeigt.

An der Universität Zürich Irchel sind an fünf Standorten Notstromdieselanlagen im Einsatz. Diese bilden bei Netzausfall fünf Inselbetriebe auf dem Areal. Die Anlagen sind untereinander nicht verbunden und deshalb kann kein Last-Sharing erfolgen. Weiter muss die Steuerung aus Alterungsgründen ersetzt werden, um die Zuverlässigkeit zu gewährleisten. Zudem ist unklar, was alles für Verbraucher am Notnetz angeschlossen sind. Deshalb wurde in einem Gremium entschieden, die Alten durch eine neue Mittelspannungsanlage zu ersetzen und damit die Defizite der Bestehenden aufzuheben. In Zukunft muss nur noch eine Anlage gewartet werden und die Umschaltung in den Netzersatzbetrieb vereinfacht sich.

Netzersatzanlage

Die Leistungsabgabe der Netzersatzanlage wurde mittels Rangreihverfahren und Nutzwertanalyse ermittelt. Für das Areal sind 8 MW Wirkleistung nötig und die Bereitstellung erfolgt mit vier Generatoren. Bei Wartungsarbeiten oder Ausfall einer Maschine kann nicht das gesamte Areal versorgt werden und es erfolgen Lastabwürfe. Die bestehenden acht Transformatorenstationen sind bis zum heutigen Zeitpunkt in einem geschlossenen Ring betrieben. Für das neue Konzept sind diese in drei kleinere unterteilt, um die Selektivität und Übersichtlichkeit zu erhöhen. Zum Schutz der Mittelspannungskabel und Einhaltung der Selektivität wird der Distanzschutz eingesetzt. Um die Lastverteilung auf dem Areal zu ermitteln, erfolgte die Auswertung der Messdaten für die einzelnen Bauten. Anhand dieser Daten sind die Gebäude in drei Lastgruppen aufgeteilt worden, um bei einem Netzausfall die Zuschaltung an die Netzersatzanlage zu bewerkstelligen. Um die Kurzschlussfestigkeit der Schaltanlagen auf der Mittelspannungsebene zu bestimmen, wurden Simulationen für den Netz-, Netzersatz und Parallelbetrieb durchgeführt. Die höchsten Kurzschlüsse zwischen den Aussenleitern treten im Parallelbetrieb vom Stromnetz der Netzbetreiberin und der Dieselgeneratoren auf und bilden für die Schaltanlagen keine Gefahr. Die Erklärung des Startvorgangs der vier Dieselgeneratoren geschah mit einem Zeitstrahl. Dieser zeigt detailliert auf, wie die Synchronisation der Generatoren und die Zuschaltung der Lastgruppen erfolgen. Bei Netzurückkehr wird der Inselbetrieb mit dem öffentlichen Stromnetz synchronisiert und danach die Generatorenleistung reduziert. Damit kann das Areal wieder ans öffentliche Stromnetz übergeben werden.

Funktionskontrolle

Die Netzersatzanlage muss periodisch getestet werden, damit diese zuverlässig funktioniert. Diese Funktionskontrollen sind in zwei Arten unterteilt. Bei der periodischen Kontrolle werden die Dieselgeneratoren parallel zum öffentlichen Netz betrieben. Dabei übernehmen sie rund 70% der Areallast. Einmal jährlich erfolgt der sogenannte Life-Test (siehe Abbildung 1). Dieser simuliert einen Netzausfall, in dem der Netzschalter zur Netzbetreiberin geöffnet wird. Diese Kontrolle stellt die Funktionstüchtigkeit der Netzersatzanlage und der Steuerung sicher. Der Ablauf der Funktionskontrollen wurde mittels Zeitstrahlen dargestellt.

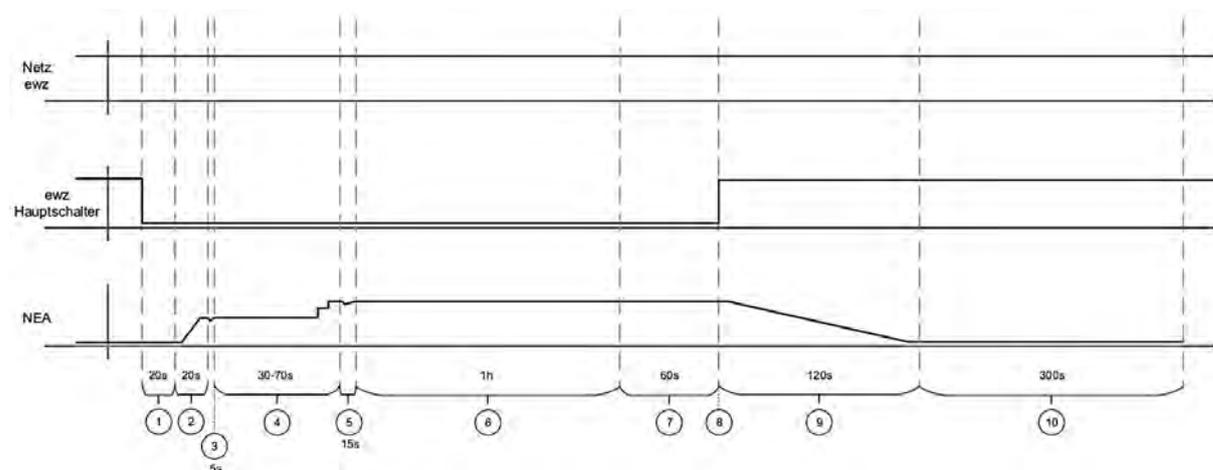


Abbildung 1: Zeitstrahl für den Ablauf des Life-Tests

Legende

①	Wartezeit
②	Start der Netzersatzanlagen
③	Zuschaltung der Start – Lastgruppe
④	Individuelle Synchronisation und dazu schalten der Netzersatzanlagen 3+4 (Y19)
⑤	Gestaffelte Zuschaltung der Lastgruppen 1 - 3
⑥	Netzersatzbetrieb
⑦	Netzsynchroisation
⑧	Netzschalter ewz EIN
⑨	Leistungsreduktion aller Netzersatzanlagen und trennen vom Netz
⑩	Leerlauf, Auskühlung und Abschaltung der Netzersatzanlagen

Benutzeroberfläche

In der Benutzeroberfläche erfolgte die Visualisierung der Transformatorenstationen und der Netzersatzanlage. Anhand dieser Darstellung werden Störungen oder Fehler bis zu den einzelnen Leistungsschaltern erkannt.

Die Anlageoberfläche stellt die Transformatorenstationen in den Mittelspannungsringen dar. Die Farbe grün symbolisiert den einwandfreien Betrieb der Anlagen. Wird eine Station orange eingefärbt liegt in dieser ein Fehler an mindestens einem Leistungsschalter vor. Wird das Feld jedoch rot, dann befindet sich eine Störung in der Station. In der nebenstehenden Abbildung 2 ist die Oberfläche dargestellt.

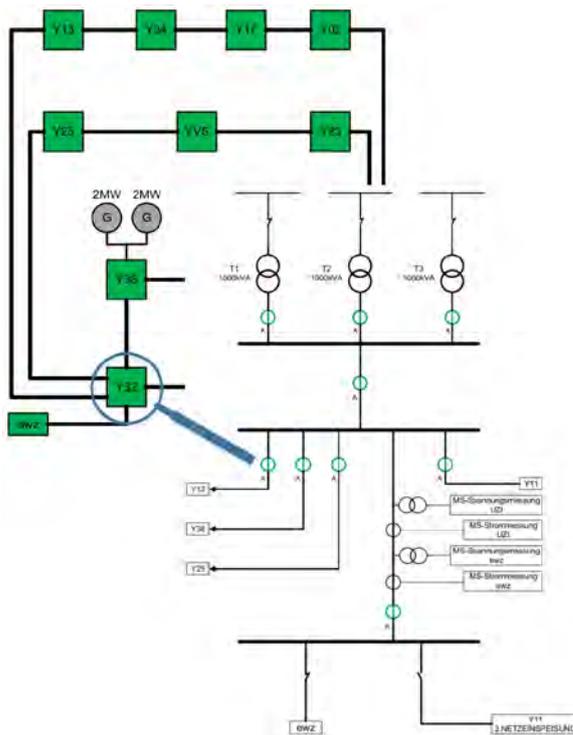


Abbildung 3: Öffnen der Anlagendarstellung in der Transformatorenstation Y32

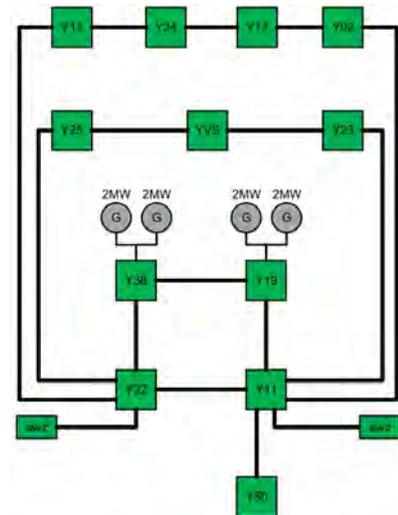


Abbildung 2: Anlageoberfläche im Normalbetrieb

Um Details über den Schaltzustand der einzelnen Leistungsschalter in einer Transformatorenstation zu erhalten, öffnet sich durch das anwählen der gewünschten Station das Singelline in einem Fenster. Die Abbildung 3 zeigt, wie dies aussieht. In der Anlagendarstellung wird ausserdem aufgezeigt, ob ein Schalter automatisch oder manuell gesteuert wird.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_25
an der Abteilung Gebäudetechnik

Netzverhalten und Netzurückwirkungen Büromatika

Studenten	Michael Bättig Pascal Hutter
Dozenten	Volker Wouters Markus Loser
Experte	Stefan Jaques
Auftraggeber	Eidg. Finanzdepartement EFD BBL Projektmanagement Herr Siegfried Burkhalter Fellerstrasse 21 3003 Bern
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

Entstehung von Oberschwingungen und Einschaltströmen

Oberschwingungen und Einschaltströme entstehen durch Betriebsmittel mit nicht linearer Kennlinie. Das sind zum Beispiel Transformatoren, Leuchtstofflampen und leistungselektronische Betriebsmittel mit Gleichrichterschaltung und Glättungskondensator, wie Schaltnetzteile von Computern, Druckern oder Bildschirmen, sowie Vorschaltgeräte von Beleuchtungseinrichtungen. Oberschwingungen fließen vom Endgerät hin zur speisenden Energiequelle, das heisst, entgegen der Energie- richtung vom Grosskraftwerk zum Kleingerät.

Oberschwingungsströme von Bürobetriebsgeräten

Die Norm EN 61000-3-2 definiert die Grenzwerte der Oberschwingungsanteile des Eingangsstromes von elektronischen Geräten. Diese Norm gilt aber erst ab einer gewissen Leistung der Betriebsgeräte. Für Beleuchtungseinrichtungen unter 25 Watt muss die Norm nicht eingehalten werden. Daher können diese Schaltungen sehr einfach ausgeführt sein und es werden keine Massnahmen zur Verminderung der Oberschwingungen getroffen. Dies hat zur Folge, dass verhältnismässig hohe Netzurückwirkungen entstehen, wie in Abbildung 1 ersichtlich ist.

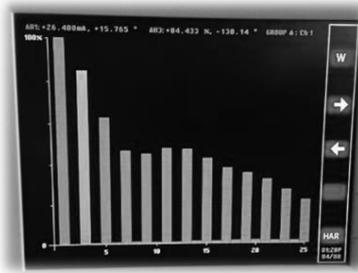


Abbildung 1: Oberschwingungsspektrum einer 7W Retrofit Lampe. THDi = 169%

Teurere Produkte von namhaften Herstellern weisen im Gegensatz zu Billigprodukten relativ tiefe Werte für Oberschwingungsströme auf, auch wenn sie die Norm nicht einhalten müssen, wie folgendes Beispiel zeigt.

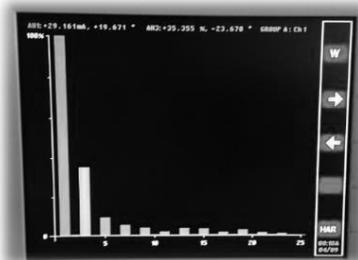


Abbildung 2: Oberschwingungsspektrum einer 6W Retrofit-Lampe. Optisch identisch mit der 7W. THDi = 35%.

Im Vergleich dazu, produzieren heutige Fluoreszenzleuchten mit elektronischen Vorschaltgeräten (EVG) praktisch keine Oberschwingungen mehr, dank der Leistungsfaktorkorrektur (PFC). Dies ist in der nachfolgenden Abbildung ersichtlich.

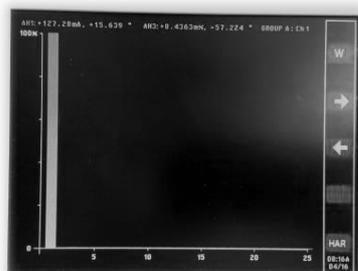


Abbildung 3: Oberschwingungsspektrum einer FL Leuchte mit EVG.

Ein gemessener LED-Strahler mit einer Leistung von über 25 W muss die Norm einhalten. Die Oberschwingungsströme sind daher sehr gering, wie folgende Abbildung zeigt.

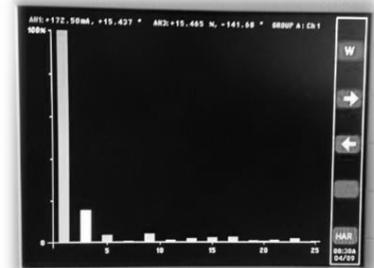


Abbildung 4: Oberschwingungsspektrum eines LED Strahlers 36W. THDi = 16%.

Werden verschiedene Lampen parallel zusammengeschaltet, addieren sich die Oberschwingungsströme der einzelnen Lampen nicht, sondern nehmen in den meisten Fällen sogar ab. Zusätzlich ist der Gesamtverzerrungsgehalt THD lastabhängig. Das heisst, dass die auftretenden Oberschwingungen sich mit der Belastung des Netzgerätes verändern. So weist ein Netzteil bei voller Last einen niedrigeren relativen Oberschwingungsgehalt auf als im Teillast-Betrieb.

Einschaltströme

Die Einschaltströme von kapazitiven Verbrauchern, wie Schaltnetzteile, können ein Vielfaches des Nennstromes betragen. Die folgende Abbildung zeigt den Einschaltstrom eines Computers. Dieser beträgt rund 28A und ist ungefähr 60-mal höher als der Betriebsstrom.

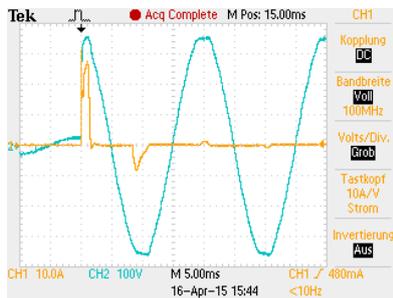


Abbildung 5: Einschaltstrom (gelb) eines Computers

Mit den Einschaltströmen ist es ähnlich, wie bei den Oberschwingungen. Der Einschaltstrom einzelner Verbraucher addiert sich nicht im Parallelbetrieb, sondern nimmt nur um einen bestimmten Faktor zu. Dies ist darauf zurückzuführen, dass die Kondensatoren in den einzelnen Schaltungen unterschiedlich geladen sind und somit unterschiedliche Stromstärken benötigen. Für Einschaltströme gibt es keine Norm, obwohl die Auswirkungen enorm sein können.

Auswirkungen

Oberschwingungs- und Einschaltströme führen sowohl im Versorgungsnetz als auch innerhalb der Anlage zu zusätzlichen Belastungen. Verbraucher mit nicht linearer Kennlinie produzieren Oberschwingungen selber und verschmutzen so das Verbrauchernetz. Es ist daher möglich, dass andere Geräte gestört werden, die keine Oberschwingungen erzeugen.

Unterbrechungsfreie Stromversorgung:

Eine USV entspricht einer nicht linearen Last und bildet

somit auch Oberschwingungen. Die modernen USV-Anlagen mit IGBT-Gleichrichtern haben nur noch eine sehr geringe Eingangsstromverzerrung von ungefähr $\text{THDi} = 5\%$ bei voller Belastung. Somit sind die Auswirkungen nur noch sehr gering.

Neutralleiterüberlastung:

In einem dreiphasigen System ist bei gleicher Belastung jedes Aussenleiters der Summenstrom im Neutralleiter gleich Null. Dies gilt aber nur für die Grundschwingungsströme. Die Oberschwingungsströme durch drei teilbarer Ordnung (3, 6, 9, usw.) addieren sich im Neutralleiter. Der Neutralleiterstrom kann höher sein als die Aussenleiterströme. Dies hat zur Folge, dass sich der Neutralleiter erheblich erhitzen und eine Überhitzungs- und Brandgefahr bestehen kann.

Kontaktverschmelzung:

Bei den meisten Relaisarten bestehen die Kontaktwerkstoffe aus Silberlegierungen. Die Hitze, die bei den hohen Einschaltströmen entsteht, kann bewirken, dass sich das Kontaktmaterial verflüssigt. Je nach Höhe des Stromes kann es zu einer Verschweissung der beiden Kontakte kommen.

Auslösung von Schutzelementen:

Die Summe mehrerer Einschaltströme von elektronischen Geräten kann dazu führen, dass der Leitungs- oder

Fehlerstromschutzschalter, wegen zu hohem Strom auslöst.

Fehlauslösung von Schutzelementen:

Bei Leitungsschutzschaltern kann es zu Fehlauslösungen kommen, weil die Ströme der Oberschwingungen im Stromkreis grösser sind als gemessen oder berechnet. Aber auch bei Fehlerstromschutzschaltern kann es zu irrtümlichen Auslösungen kommen, weil die eingesetzten Filter gegen Oberschwingungen Ableitströme haben.

Spannungsverzerrung:

Der verzerrte Laststrom, der von nicht linearen Verbrauchern verursacht wird, führt zu Spannungsverzerrungen (THDu). Diese werden von den Oberschwingungsströmen verursacht, die von den Quellen durch die verschiedenen Impedanzen fließen. Diese verzerrte Spannung liegt an allen anderen Lasten, die am selben Stromkreis betrieben werden und verursacht Oberschwingungsströme, auch wenn es sich um lineare Lasten handelt.

Massnahmen

Die einfachste und effektivste Massnahme gegen Oberschwingungen ist, dass das Niederspannungsnetz im TN-S-System ausgeführt wird. So können schon viele EMV-Phänomene verhindert werden.

Unterbrechungsfreie Stromversorgung:

Die heute am meisten eingesetzten USV-Anlagen besitzen IGBT-Gleichrichter, welche praktisch keine Oberschwingungen mehr produzieren. Wichtig ist, dass man für die Installation der USV verdrehte, abgeschirmte Kabel verwendet.

Keine Querschnittsreduktion des Neutralleiters:

Bei der Neutralleiterdimensionierung dürfen keine Reduktionen vorgenommen werden. Der Neutralleiter muss dabei den gleichen Querschnitt, wie die Aussenleiter aufweisen.

Gegen Kontaktverschmelzung:

Gegen die Verschmelzung von Kontakten in Relais, Schützen und Bewegungsmeldern gibt es verschiedene Möglichkeiten. Ein Nulldurchgangsschalter schaltet zum Zeitpunkt des Nulldurchgangs, wenn der Strom am geringsten ist. Oder Kontakte aus Wolfram halten den höheren Temperaturen stand und verschmelzen nicht. Es gibt aber auch Einschaltstrombegrenzer, die den Einschaltstrom auf einen definierten Wert begrenzen.

Richtige Auslegung der Schutzelemente:

Damit Leitungs- oder Fehlerstromschutzschalter nicht auslösen, beachtet man am besten die Datenblätter der Hersteller. Diese geben meist an wie viele Leuchten oder

Netzteile hinter einen LS geschaltet werden können. Oder man führt eine Berechnung anhand des Impulsauflösedigramms des LS durch. Leider verfügt zurzeit nur die Firma ABB über solche Diagramme. Weiter können kurzzeitverzögerte RCD eingesetzt werden, die den hohen Einschaltströmen standhalten.

Einsatz von Filtern:

Oberschwingungen können durch kostengünstige, einfache passive Filter oder durch teurere, komplexe aktive Filter verringert werden.

Ein passives Filter verringert die Oberschwingungsströme durch einen niederimpedanten Pfad. Dieses Filter besteht aus Widerständen, Kondensatoren und Spulen. Je nach Zusammenschaltung dieser Komponenten können bestimmte Frequenzen verringert werden.

Das aktive Filter wird vielfach parallel ins Versorgungsnetz geschaltet. Es misst die Oberschwingungen im Netz und speist die jeweiligen Oberschwingungsströme ein, die vom Verbraucher aufgenommen werden. Dadurch wird der Netzstrom sinusförmig gehalten.

Power Factor Correction (PFC):

Die globalen Anbieter von IT-Technologien führten die Leistungsfaktorkorrektur (PFC) ein. Der Zweck der PFC ist es, den Leistungsfaktor möglichst

auf den Wert 1 zu bringen. Bei diesem Wert befindet sich die Wellenform der Stromstärke und Spannung in einem ausgeglichenen Verhältnis zueinander und es treten keine Verzerrungen und somit keine Oberschwingungen auf.

Gegen Spannungsverzerrung:

Da die Oberschwingungsspannungsverzerrungen mit zunehmender Netzimpedanz steigen, ist die Einspeisung von nichtlinearen Lasten so nahe wie möglich an der Einspeisung zu bevorzugen. Eine weitere Möglichkeit besteht darin, Stromkreise, die empfindlich auf Oberschwingungen reagieren, separat zu führen. Weiter können zwei getrennte Stromversorgungen für empfindliche und nichtempfindliche Lasten über getrennte Transformatoren geplant werden.

Was erwartet uns in der Zukunft?

In Zukunft werden immer häufiger Leuchtmittel mit LED-Technologie eingesetzt, welche deutlich energieeffizienter sind, aber auch höhere Oberschwingungen und Einschaltströme produzieren. Daher müssen die Grenzwerte der Oberschwingungen in den Normen an die neuen Leistungen angepasst werden. Es ist wichtig, dass die Netzurückwirkungen bereits bei der Planung von neuen Anlagen beachtet werden.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_26
an der Abteilung Gebäudetechnik

Leistungsbewirtschaftung

Rechenzenter haben eine immer wichtigere Bedeutung in der Gesellschaft. Mobile Daten sollen zu jeder Zeit zur Verfügung stehen und sollen überall speicherbar sein, nehmen aber jährlich an Menge zu. Ausfälle haben dadurch immer verheerendere Auswirkungen für Betreiber von Rechenzentren. Doch immer mehr Rechenzentren sehen sich Leistungs- und Kapazitätsengpässen gegenüber, welche zu spät oder gar nicht erkannt werden. Die Struktur, der Aufbau sowie die Einsicht in Lastverläufe werden immer wichtiger.

Erzeugte Datenmengen

Die weltweit erzeugten Datenmengen steigen jährlich an. Die im Jahr 2015 erwarteten Datenmengen werden auf rund 8.5 Zettabyte geschätzt. Ein Zettabyte entspricht 10^{21} Byte, oder um es deutlicher zu machen, rund 60 Milliarden vollgeladener Apple I pads mit je 16GB Speicherplatz.

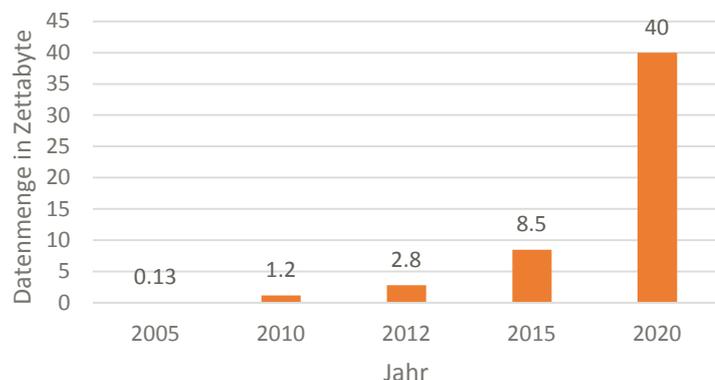


Abbildung 1: Prognose der weltweit erzeugten Datenmengen

Dies ist problematisch, da die weltweit vorhandenen Speichermöglichkeiten in RZ nur 65% der produzierten Daten speichern können, bis 2020 sogar nur noch 40%.

Planung von Rechenzentren

Planungsabläufe von Rechenzentren sind nicht zu vergleichen mit Planungsabläufen anderer Bauten. Entscheidende Details müssen bereits in frühen Planungsphasen abgeklärt werden. Planungsabläufe nach SIA 112 sowie Honoraranteile nach SIA 108 können nur selten angewandt werden. Eine gute Absprache sowie Koordination unter den Fachplanern ist in der Planung eines Rechenzentrums enorm wichtig. Anschlussleistungen verschiedener Gewerke müssen präzise ausgearbeitet werden, um einerseits eine gewisse Flexibilität zu gewährleisten und andererseits nicht unnötig überdimensioniert zu sein. Die Schwierigkeit dabei besteht in Leistungsangaben von IT-Geräten. Nennleistungen gelten meist nur bei 100% Auslastung, was aber selten erreicht wird. Absprachen mit Herstellern sind unumgänglich.

Modularität

Ein modularer Aufbau eines Rechenzentrums hilft, Engpässen entgegenzuwirken. Anlagen werden skalierbar geplant und je nach Bedarf ausgebaut. Verschiedene Leistungsstufen werden in der Planung ausgearbeitet und je nach Bedarf erweitert. Ein modularer Aufbau besitzt nicht nur Vorteile in Sachen Flexibilität, sondern auch in finanzieller Hinsicht. Bei Betriebsstart von Rechenzentren wird meist noch keine volle Auslastung erreicht. Somit ist es von Vorteil, zu Beginn mit einer geringeren Leistung zu starten und bei Erreichen eines festgelegten Grenzwertes Ausbauten durchzuführen. Dies verhindert nicht nur Anlagen, welche schlecht ausgelastet sind, auch Investitionskosten werden über mehrere Jahre verteilt und nicht von Beginn weg getätigt. Dies ist ersichtlich in Abbildung 2, in welcher Jahresgesamtkosten von Netzersatzanlagen, Transformatoren, USV-Anlagen, Kühlmaschinen sowie Umluftkühlgeräten bei Teil- sowie Vollausbauten aufgelistet sind.



Abbildung 2: Jahresgesamtkosten wichtiger Anlagen mit Teil- oder Vollausbau

Energie- und Leistungsflüsse

Ein Indikator für die Ausführung einer Ausbauphase kann das Erreichen eines Schwellenwertes sein. Wichtig hierfür ist ein Messkonzept, welches auf die Beschaffenheit des Rechenzentrums angepasst ist. Die Messung relevanter Anlagen und Komponenten hilft einerseits, die Effizienz des Betriebs im Auge zu behalten und andererseits kann mit einer geeigneten Art vorausgeschaut werden, um Engpässe vorzusehen. Es kristallisieren sich hier zwei Methoden heraus. Eine Methode kann der Einsatz einer Data Center Infrastructure Management (DCIM) Software sein, wie dies in

Abbildung 3 gezeigt wird. Diese Methode birgt jedoch einen hohen finanziellen Aufwand. Eine andere Methode kann die Aufarbeitung von Messdaten in einem Excel Tool sein, wo mit einer Extrapolation der



Abbildung 4: Lastvorhersagen einer DCIM Software

Lastverläufe Vorhersagen getroffen werden können, wie dies in Abbildung 4 ersichtlich ist.

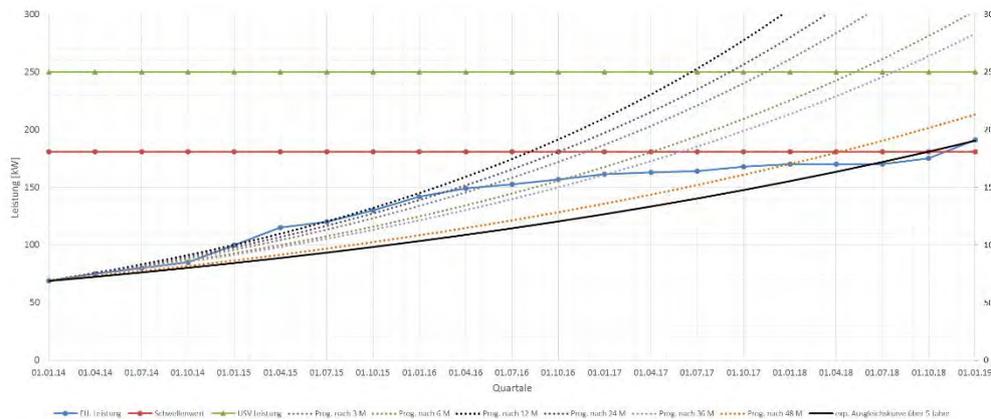


Abbildung 3: Vorhersage Lastverläufe Excel Tool

Ausblick

Das Wachstum an Daten macht Rechenzenter immer wichtiger. Da Flächen begrenzt sind, werden effizientere Geräte entwickelt, welche weniger Platz benötigen, jedoch grössere Anschlussleistungen haben. Dadurch haben Ausfälle immer verheerendere Auswirkungen. Die Bewirtschaftung von Leistungen und Kapazitäten in Rechenzentren werden dadurch immer wichtiger. Planung von Ausbauphasen und Messkonzept sowie die Methode des Lastrendings sind Punkte, welche einen enormen Einfluss auf die Verfügbarkeit eines Rechenzentrums haben.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_15_27
an der Abteilung Gebäudetechnik

Modellierung und wirtschaftliche Optimierung von Photovoltaikanlagen

Studenten	Yves Frey Josua Rügger
Dozenten	Gerhard Zweifel Volker Wouters Peter Bosshart
Experte	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	05. Juni 2015

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

MODELLIERUNG UND WIRTSCHAFTLICHE OPTIMIERUNG VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN

DIE ZAHL VON PHOTOVOLTAIKANLAGEN, WELCHE AKTIV ZUR ELEKTRISCHEN VERSORGUNG IN DER SCHWEIZ BEITRAGEN, WÄCHST STETIG. UM DIESEM BOOM AUCH IN DER PLANUNG GERECHT ZU WERDEN, IST ES WICHTIG, DASS MIT GEEIGNETEN SIMULATIONSPROGRAMMEN EIN GESAMTES GEBÄUDE MODELLIERT UND AUSGEWERTET WERDEN KANN. DABEI SPIELT DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT BEIM INVESTITIONSENTSCHEID EINE ZENTRALE ROLLE. IST ES ÜBERHAUPT MÖGLICH, EINE PHOTOVOLTAIKANLAGE WIRTSCHAFTLICH ZU BETREIBEN? ODER KANN EINE FASSADE WIRTSCHAFTLICH DURCH EINE PHOTOVOLTAIKANLAGE ERSETZT WERDEN? DIES SIND DABEI WICHTIGE FRAGESTELLUNGEN.

Im Rahmen der Bachelor-Diplomarbeit wurde eine gesamte Photovoltaikanlage mit verschiedenen Modellen in das Simulationsprogramm IDA ICE implementiert. Mit der validierten Photovoltaikanlage untersuchte man die Wirtschaftlichkeit in Bezug auf verschiedene Gebäudenutzungen. Ein besonderes Augenmerk lag dabei auf der Fassadenaktivierung.

MODELLIERUNG EINER PHOTOVOLTAIKANLAGE

Mit dem Gesamtmodell (Abbildung 1: Gesamtmodell) wurde ein Wunschscenario definiert, um den Funktionsumfang des fertigen Modells zu veranschaulichen. Mit verschiedenen Bausteinen könnte somit eine wirtschaftlich optimierte Photovoltaikanlage berechnet werden.

In der Bachelor-Diplomarbeit wurde der Grundstein für dieses Gesamtmodell gelegt. Die wichtigen Bausteine für die Simulation einer Photovoltaikanlage wurden programmiert und in das

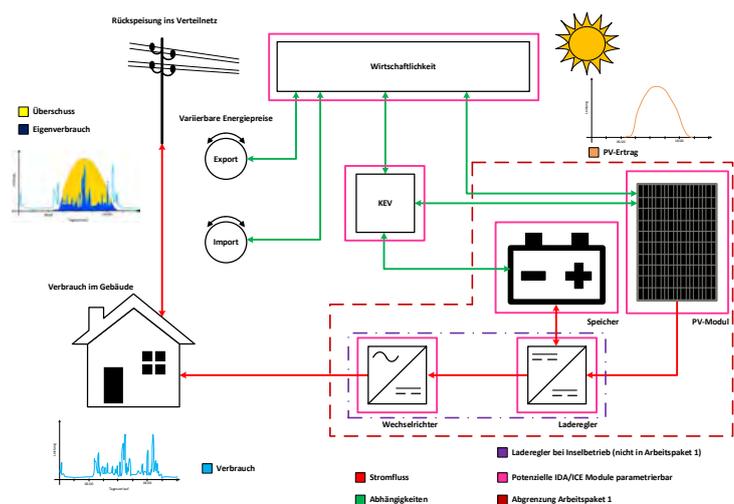


Abbildung 1: Gesamtmodell

Simulationsprogramm eingelesen. Um die Genauigkeit der Modelle zu validieren, wurden Vergleiche mit zwei anderen Programmen und einer realen Anlage gezogen. Dabei hat sich gezeigt, dass alle verglichenen Programme schlechtere Energieerträge als die reale Anlage liefern. Dabei befinden sich die Ungenauigkeiten in einem ähnlichen Rahmen. Das implementierte IDA ICE-Modell positioniert sich zwischen den beiden anderen Programmen.

WIRTSCHAFTLICHE OPTIMIERUNG EINER PHOTOVOLTAIKANLAGE

Bei der Betrachtung der Wirtschaftlichkeit der Photovoltaikanlagen wurden vier verschiedene Gebäudenutzungen untersucht. Mit dem Einfamilienhaus, Mehrfamilienhaus, Schul- und Bürogebäude wurden die gängigsten Gebäudetypen betrachtet.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurde aufgrund der SIA 480 ausgewertet. Bei der Investition flossen die Informationen von Vergütungstyp (KEV, EIV oder keine Vergütung), Ausrichtung, Modultyp und Montagetyt in die Berechnung mit ein. Die jährlichen Einnahmen stellen sich aus den Erträgen der exportierten Energie und dem Eigenverbrauch zusammen. Die Ausgaben werden gemäss Wartungssätzen einer Studie der ZHAW und Basler & Hofmann anhand der jährlichen Gesamtproduktion berechnet. Für die Untersuchung der Fassadenaktivierung mit Photovoltaikanlagen wurde die zu ersetzende Fassade mitberücksichtigt. Im Diagramm 1 (Vergleich Fassadenpreise) sind die eruierten Fassadenpreise ersichtlich.

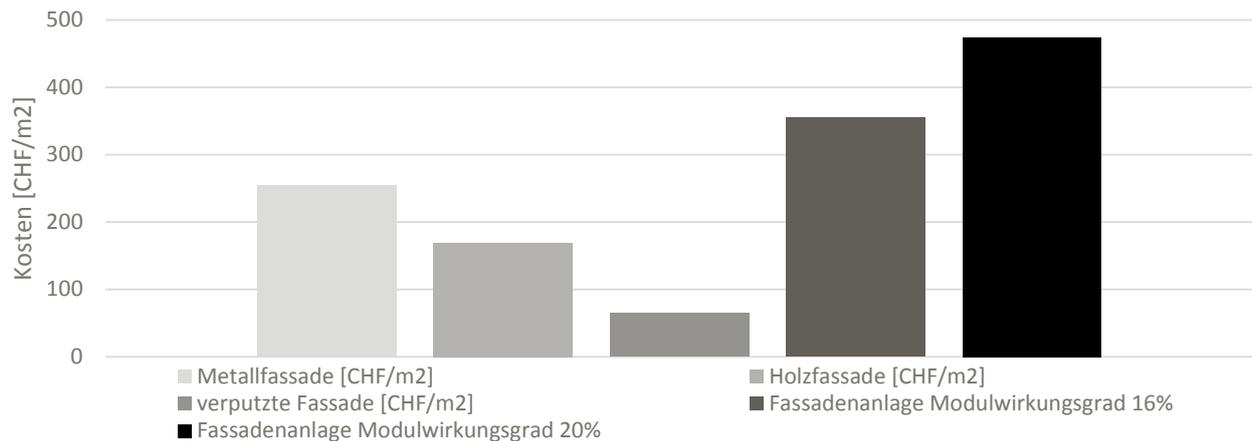


Diagramm 1: Vergleich Fassadenpreise

Aufgrund der Daten, welche in der Bachelor-Diplomarbeit zusammengetragen wurden, konnte die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung durchgeführt werden. Dazu wurde ein Excel-Berechnungstool erarbeitet. In diesem Tool sind verschiedene wählbare Parameter vorhanden, die so angepasst werden können, dass die gewünschte Anlage abgebildet werden kann.

ERGEBNISSE – BÜROGEBÄUDE ERSATZ METALLFASSADE

Die nachfolgenden Diagramme illustrieren den Zusammenhang zwischen den Flächenverhältnissen sowie den Anlagespitzenwerte.

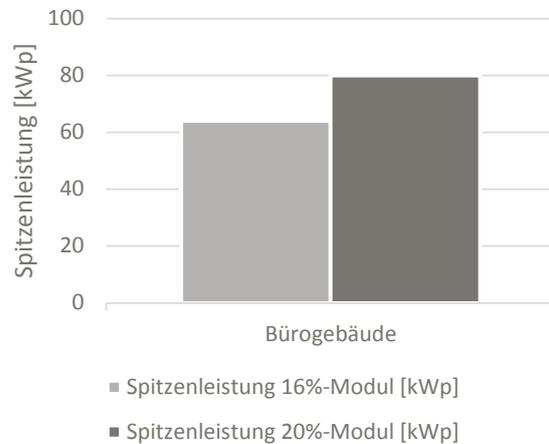
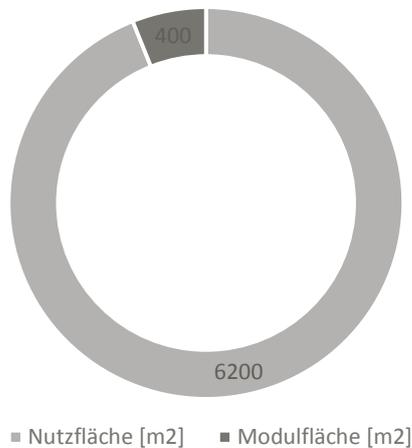


Diagramm 3: Nutz-, Modulfläche Bürogebäude

Diagramm 2: Spitzenleistung Bürogebäude

In der Abbildung 2 ist das Bürogebäude beim Ersatz einer kostenintensiven Metallfassade betrachtet worden.

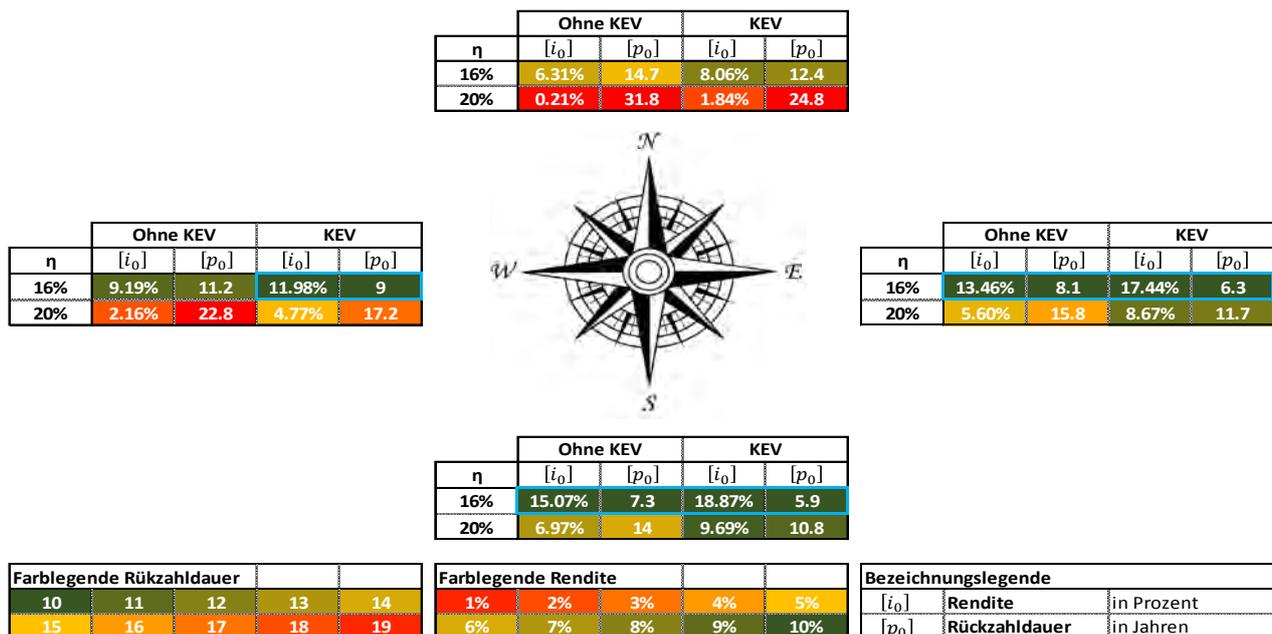


Abbildung 2: Wirtschaftlichkeit Metallfassade Bürogebäude

Durch die hohen Einsparungen (ca. 70%) beim Ersatz einer Metallfassade durch Photovoltaikmodule sind die Investitionen sehr tief. Dies wirkt sich in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung äusserst positiv aus.

Wie exemplarisch an dieser Auswertung ersichtlich ist, sind die Süd- und Ostausrichtung die jeweils ertragreichsten Fassadenausrichtungen.

In den blau markierten Varianten ist die Rückzahldauer klar unter 10 Jahren. Somit kann eine Fassadenaktivierung in diesen Fällen empfohlen werden.

MAS

TER

Fachartikel zur
Masterthesis MSE
an der Abteilung Gebäudetechnik

Optimale Dämmstärken bei Wohngebäuden

Studentin	Daniela Wohlgemuth
Dozenten	Prof. Dr. Heinrich Manz
Experte	Dr. Christian Zeyer
Auftraggeber	Bundesamt für Energie
Abgabedatum	30. Januar 2015

Hinweis Dieser Fachartikel ist Teil der Masterthesis und wurde von keinem Dozenten nachbearbeitet. Veröffentlichungen (auch auszugsweise) sind ohne das Einverständnis der Abteilung Gebäudetechnik der Hochschule Luzern – Technik & Architektur nicht erlaubt.

Optimale Dämmstärken bei Wohngebäuden – Ökologische und ökonomische Optimierung

Bei Erstellung, Betrieb, Renovation und Entsorgung von Gebäuden entsteht ein gewaltiger Energie- und Ressourcenaufwand und es werden grosse Mengen an Emissionen verursacht. In Bezug auf politisch festgelegte Energieeffizienz- und Umweltschutz-Ziele stellt sich im Wohnbau vor allem die Frage, welcher Wärmeschutz und welche Art der Beheizung optimale Ergebnisse erzielen. Welches Optimierungskriterium soll angewendet werden? Ist es aus ökologischer Sicht sinnvoller die Gebäudehülle zu sanieren oder in moderne Heizungstechnik-Lösungen zu investieren?

In dieser Masterthesis wurden die ökologisch optimalen Dämmstärken bei Wohngebäuden in der Schweiz ermittelt. Es wurde ein Modell entwickelt, mit dessen Hilfe der Einfluss verschiedener Parameter auf die ökologisch optimale Dämmstärke quantifiziert werden kann. Das Ziel ist es, die thermische Behaglichkeit in Wohngebäuden zu gewährleisten und gleichzeitig die Umweltbelastungen bei Erstellung, Betrieb und Entsorgung von Gebäuden zu minimieren. Um Aussagen über die optimalen Dämmstärken treffen zu können, wurde eine Formel zur analytischen Berechnung des Optimums entwickelt. Folgende Komponenten erzeugen einen ökologischen Aufwand:

- **Wärmedämmung:** ökologischer Aufwand infolge Herstellung und Entsorgung steigt mit zunehmender Dämmstärke
- **Heizungsanlage:** ökologischer Aufwand infolge Herstellung und Entsorgung sinkt mit zunehmender Dämmstärke
- **Energieträger:** ökologischer Aufwand im Betrieb zur Deckung des Heizwärmebedarfs sinkt mit zunehmender Dämmstärke

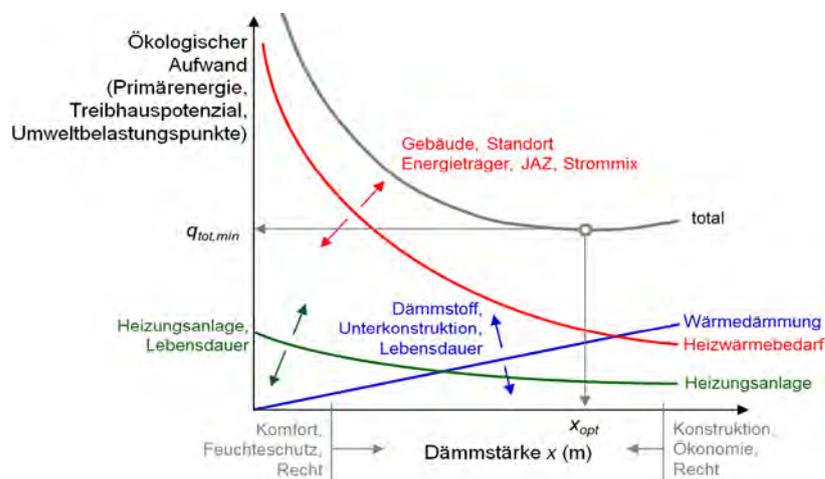


Bild 1. Grundidee zur Bestimmung der ökologisch optimalen Dämmstärke bzw. des minimalen totalen ökologischen Aufwands

Je nachdem, welche Grösse vorrangig reduziert werden soll, können die Indikatoren Primärenergie, Treibhauspotential oder Umweltbelastungspunkte als Optimierungsgrössen verwendet werden.

- Für die Grösse **Primärenergie** wird ausschliesslich der nicht erneuerbare Anteil (fossil, nuklear, Biomasse aus Primärwald-Rodung) betrachtet.
- Die Grösse **Treibhauspotential** gibt an, welchen Beitrag die entstehenden Emissionen zum Treibhauseffekt leisten. Als Referenz-Substanz wird CO₂ verwendet.
- Die Methode der ökologischen Knappheit ist ein für die Schweiz entwickeltes Bewertungsverfahren, um die Auswirkungen von emittierten Stoffen (z.B. CO₂, NO_x) sowie den Einsatz von Ressourcen (z.B. Erdöl, Wasser) zu einer einzigen Kenngrösse, den **Umweltbelastungspunkten**, zusammenzufassen. Die Methode basiert auf politisch festgelegten Zielen oder Grenzwerten sowie auf der Differenz zwischen der effektiven Situation und diesen Zielen. Deshalb wird sie auch als "Distance-to-Target"-Methode bezeichnet.

Der Einfluss verschiedener Parameter, wie zum Beispiel des Dämmstoffes, des Standortes oder des eingesetzten Energieträgers, wurde aufgezeigt.

Bild 2 zeigt den Einfluss des eingesetzten Strommixes auf die ökologisch optimale Dämmstärke hinsichtlich des Optimierungskriteriums Primärenergieaufwand bei einem Mehrfamilienhaus in Zürich mit einer Wärmepumpe (JAZ=3.9) und dem Dämmstoff EPS. Mit dem derzeitigen schweizer Strommix liegt die optimale Dämmstärke in diesem Beispiel bei 0.28 m ($U=0.10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$). Die aktuellen Zielwerte (SIA, MuKEN) streben U-Werte von $0.10 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$ an. Diese Vorgaben sind beim Einsatz des derzeitigen Strommixes oder fossilen Energieträgern zur Beheizung aus ökologischer Sicht sinnvoll.

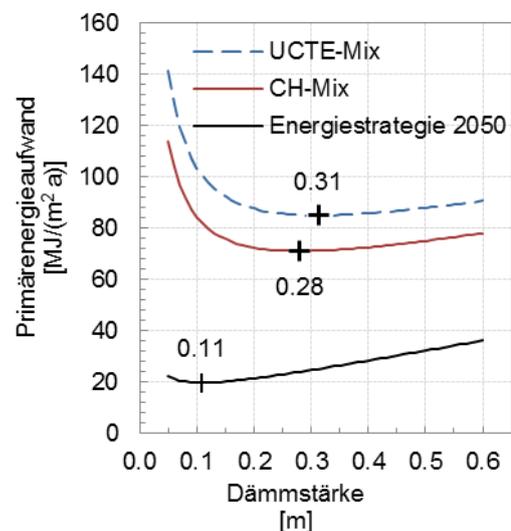


Bild 2. Einfluss des Strommixes

Wird umweltfreundlich produzierter Strom als Energieträger eingesetzt, liegt das ökologische Optimum in diesem Beispiel bei 0.11 m Dämmstärke ($U=0.25 \text{ W}/(\text{m}^2\text{K})$).

Die Resultate der Studie sind grundsätzlich sowohl auf Sanierungen als auch auf Neubauten anwendbar.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur
Masterthesis in Gebäudetechnik 2015
Optimale Dämmstärken bei Wohngebäuden
Betreuer: Heinrich Manz
Studentin: Daniela Wohlgemuth

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