

Lucerne University of
Applied Sciences and Arts

**HOCHSCHULE
LUZERN**

Technik & Architektur
FH Zentralschweiz

Gebäudetechnik

Fachberichte Diplomarbeiten

Bachelor 2016

WOR

WORD

Acht Diplomandinnen und 44 Diplomanden des Studiengangs Gebäudetechnik haben im Frühlingssemester 2016 ihre Bachelor-Diplomarbeit verfasst. Gegen 23'000 Stunden haben sie gemeinsam in ihre Arbeiten investiert. Die Arbeiten bilden das breite Spektrum der Tätigkeitsfelder des Studiengangs ab. 24 Diplomandinnen und Diplomanden schliessen mit ihren Arbeiten die Studienrichtung Gebäude-Elektroengineering, 28 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, Energieeffizienz oder Erneuerbare Energien.

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

Adrian Altenburger

Studiengangleiter Bachelor Gebäudetechnik

INN

NAIT

BDA G_16_01	Marjana Nikic und Olivia Süess
BDA G_16_02	Michael Christen und Adrian Gasser
BDA G_16_03	Kevin Maurer und Samuel Brun
BDA G_16_04	Patrick Fischli und Felix Keller
BDA G_16_05	Manuel Hebler
BDA G_16_06	Nicole Weideli und Aleksandar Jugovic
BDA G_16_07	Urs Matter und Claude Winterberger
BDA G_16_08	Kevin Suter , Adrian Ruoss und Alexander Arians
BDA G_16_09	Sandra Kost und Timo Weiss
BDA G_16_10	Fabian Steiner und Luc Olivier Iseli
BDA G_16_11	Sandro Tehlar und Patricia Stutz
BDA G_16_12	Samuel Stettler und Philipp Senn
BDA G_16_13	Vanessa Frei und Marcel Signer
BDA G_16_14	Martijn Visser und Philipp Reust
BDA G_16_15	Pascal Schöbi und Moritz Blaser
BDA G_16_16	Michel Oberer
BDA G_16_17	Patrik Vogel und Andreas Vogel
BDA G_16_18	Yannick Sonntag und Silvan Stürmlin
BDA G_16_19	Matthias Vogelsang und Manuel Wohler
BDA G_16_20	Petra Bachofer und Luca Musumeci
BDA G_16_21	Patrik Caluori und Remo Gerber
BDA G_16_22	Marco Schindler , Renato Stalder und Reto Gurtner
BDA G_16_23	Ivan Biuk und Nicolas Ruf
BDA G_16_24	Flavio Süess und Marcel Wagner
BDA G_16_25	Oliver Beyeler
BDA G_16_26	Pascal Bochud und Kevin Meier
BDA G_16_27	Rafael Breitschmid

BACH

WELOR

Gastgewerbe in Schweizer Voralpen und nachhaltige Gebäudetechnik

Das Hotel/Restaurant Simmenfälle in Lenk ist ein beliebtes Ausflugsziel für Jung und Alt und befindet sich am Fusse der Schweizer Voralpen. Das 1979 erstellte Gebäude ist im typischen Schweizer Chalet-Stil erbaut worden und wird bis heute mit fossilem Brennstoff (Heizöl) beheizt. In der Zukunft soll das Gebäude saniert werden und diesbezüglich auch die bestehende Gebäudetechnik. Zu diesem Zweck wurden für das Hotel/Restaurant Simmenfälle im Rahmen einer Bachelor-Diplomarbeit mögliche Energiekonzepte entwickelt.

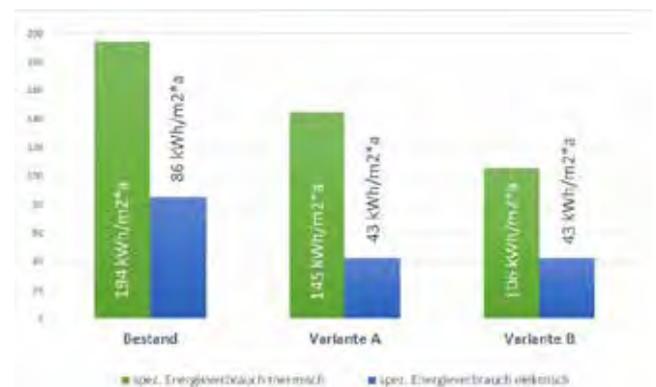
Ein 37-jähriges Gebäude zu sanieren und dabei sämtlichen Vorgaben von Seiten Gemeinde und Kanton gerecht zu werden, stellt eine grosse Herausforderung dar. Das Gebäude steht nicht unter Denkmalschutz, jedoch ist ein achtsames Vorgehen bei der Entwicklung der möglichen Energiekonzepte erforderlich. Der Inhaber des Hotels/Restaurant Simmenfälle stellte zudem weitere Anforderungen an das Konzept und bestimmte auch «Tabu-Zonen», welche bei einer Optimierung nicht verändert werden dürfen.



Abb. 1: Ansicht Hotel / Restaurant Simmenfälle Lenk

Das Restaurant befindet sich im Erdgeschoss und bietet für 135 Personen Platz. Das Hotel hat 14 Doppel-Zimmer und befindet sich im Ober- und Dachgeschoss. In Obergeschoss der kleineren Gebäudehälfte befindet sich die Ferienwohnung des Gebäudeinhabers. Das Hotel/Restaurant Simmenfälle ist ganzjährig offen und ist gut besucht.

Vor Beginn der Energiekonzeptentwicklung wurde eine Objektbesichtigung durchgeführt, um sich einen Überblick über die bestehende Gebäudetechnik zu verschaffen. Installationspläne oder Schemata waren nicht vorhanden. Nach anschliessender Bestandsaufnahme und -analyse wurde der bestehende Leistungs- und Energiebedarf für das Gebäude abgeschätzt:



Diagr. 1: spez. Energieverbrauch thermisch & elektrisch

Der thermische Energieverbrauch des bestehenden Gebäudes beträgt 194 kWh/m²*a. Durch das Ersetzen der alten Fenster und Einfügen einer neuen Dämmung des Daches kann dieser Verbrauch um bis zu 25 % reduziert werden (Optimierungsvariante A). Wenn das Gebäude nach den kantonalen Vorgaben saniert würde, kann bis zu 45 % des aktuellen Energieverbrauchs eingespart werden (Optimierungsvariante B).

Der momentane elektrische Energiebedarf liegt bei 86 kWh/m²*a. Dieser kann bis zu 1/2 reduziert werden, wenn z.B. das bestehende Leuchtmittel durch LED und die bestehenden Kühlmöbel mit Neuen der Energieetikette A ersetzt werden.

Für die entsprechenden Optimierungsvarianten A und B wurden verschiedene Ressourcenquellen der Umgebung, welche sich für eine allfällige Energiegewinnung eignen, untersucht. Aufgrund dieser Energiequellenuntersuchung und deren Umsetzbarkeit entstanden vier mögliche Wärmeerzeugungsvarianten:

- Flüssiggas-Wärmeerzeugung (mit Option BHKW)
- Ersatz der bestehenden Ölheizung
- Holzschnitzelheizung
- Grundwasser-Wärmepumpenheizung

Zusätzlich zu den Wärmeerzeugungsquellen wurde eine mögliche Nutzung des Flusses Simme für ein Wasserkraftwerk untersucht. Durch ein Klein-Wasserkraftwerk könnten bis zu 63 kW erzeugt werden, jedoch wird eine Bewilligung von Seiten des Kantons nicht in Aussicht gestellt. Dies aufgrund der Erhaltung des Landschaftsbildes sowie der Wahrung der Kultur (Wassernutzungsstrategie 2010 des Kanton Bern).

Ein weiterer Teil des Energiekonzeptes bestand darin, die bestehenden Lüftungsanlagen zu ersetzen und ein Wärmerückgewinnungssystem zu integrieren. Im Gebäude werden insgesamt zwei Lüftungsanlagen betrieben: Zuluftanlage für das Restaurant mit separatem Dach-Abluftventilator und die Abluftanlage der Restaurantküche. Das neue Energiekonzept sieht vor,

die beiden Anlagen und durch ein gemeinsames Lüftungsgerät für Restaurant und Küche zu ersetzen. Zudem ist ein Kreislauf-Verbundsystem für die Abwärmenutzung des Restaurants und der Küche vorgesehen, wodurch die Zuluft des Restaurants vorgewärmt werden kann. Als mögliche Option besteht den Erhalt des Abluftventilators des Restaurants, damit eine bessere Luftzirkulation erzielt werden kann. Jedoch geht dadurch nutzbare Abwärme des Restaurants über Dach verloren, weil diese nicht über die KVS-WRG geführt werden kann.

Für die vier Wärmeerzeugungsmöglichkeiten sowie für die zwei Raumluftkonzepte ist zum Schluss eine Investitions- und Betriebskostenschätzung vorgenommen worden, woraus folgende Wirtschaftlichkeitsbetrachtung entstanden ist:



Diagr. 2: Wirtschaftlichkeit Wärmeerzeugungsvarianten

Aufgrund der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Wärmeerzeugung ist zu erkennen, dass eine Wärmeerzeugung mit Holzschnitzel am kostengünstigsten und wirtschaftlichsten ist. Zudem kann diese Wärmeerzeugung als CO₂-neutral bezeichnet werden und ist ein erneuerbarer Energieträger.



Diagr. 3: Wirtschaftlichkeit Luftaufbereitungsvarianten

Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Luftaufbereitungsanlagen ist zu erkennen, dass sich die beiden Varianten aus wirtschaftlicher Sicht nur minimal unterscheiden. Weil jedoch bei Variante L1 die gesamte Abwärme des Restaurants und dessen Küche genutzt werden kann, wird die Variante L1 für die Umsetzung empfohlen.

Weiteres Vorgehen

Die erarbeitete Bachelor-Diplomarbeit zum Hotel/Restaurant Simmenfälle soll für den Inhaber als Entscheidungsgrundlage dienen. Als nächster Schritt müsste sich der Inhaber für ein Konzept der Wärmeerzeugung und Luftaufbereitung entscheiden, worauf die Detailplanung der entsprechenden Varianten vorgenommen werden kann.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_02
an der Abteilung Gebäudetechnik

Machbarkeitsstudie: Alkalische Wasserstoffsysteme für die Energiespeicherung in Gebäuden

Studenten	Michael Christen Adrian Gasser
Dozenten	Prof. Volker Wouters Prof. Dr. Axel Seerig
Experte	Stefan Jaques
Auftraggeber	Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt (Empa) Projektpartner: Benjamin Fumey
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Machbarkeitsstudie: Alkalische Wasserstoffsysteme für die Energiespeicherung in Gebäuden

Um die in der Energiewende formulierten Ziele des Bundesrats zu erreichen, kann der Bau energieautarker Gebäude interessant sein. Durch Anwendung der alkalischen Wasserstofftechnik lässt sich eine saisonale Energiespeicherung realisieren. Die überschüssige Photovoltaikenergie des Sommers kann somit im Winter genutzt werden. Die Unabhängigkeit von Energiepreisen dürfte ein weiterer Anreiz für eine energieautarke Bauweise bieten.

Ungewisse Energiezukunft

Es ist lediglich eine Frage der Zeit, wann die Vorräte der endlichen Energieträger ausgeschöpft sind. Grund dafür ist, dass diese deutlich schneller verbraucht werden, als sie entstanden sind. Durch die Verwendung erneuerbarer Energieträger wie zum Beispiel Sonnenlicht kann diese Entwicklung gebremst werden. Um die überschüssige Photovoltaikenergie des Tagesverlaufs nachts nutzen zu können, bedarf es deren Speicherung. Diese wird nach dem Stand der Technik mit Akkumulatoren realisiert. Um diese Überschüsse jedoch saisonal zu speichern, eignet sich dieses Verfahren schlecht. Mit alkalischer Wasserstofftechnik könnten saisonale Speicher realisiert werden. Dadurch wird der Bau energieautarker Gebäude ermöglicht.

Wirtschaftlichkeit

Die Investitionskosten eines energieautarken Einfamilienhauses im Vergleich zur konventionellen Bauweise sind ca. 1.5-mal höher. Die Unterhaltskosten des energieautarken Wohngebäudes betragen trotz Einsparung der elektrischen Energiekosten rund 2.8-mal mehr als jene eines ans öffentliche Netz angeschlossenen Gebäudes.

Begründet durch diese beiden Faktoren müsste der Energiepreis auf ca. 5 Fr./kWh ansteigen, damit die Jahresgesamtkosten des energieautarken und des konventionellen Einfamilienhauses dieselbe Höhe aufwiesen.

Die jährliche Energiepreissteigerung, die in den vergangenen 32 Jahren gemäss Landesindex der Konsumentenpreise (LIK) ca. 1.34% betrug, müsste auf 13.1% ansteigen, damit die Jahresgesamtkosten identisch wären. Dies würde zur Folge haben, dass der aktuelle gemittelte Energiepreis des Produkts „SonnenKraft“ der CKW von 34 Rappen pro Kilowattstunde in 25 Jahren auf 7.38 Fr/kWh anstiege.

Verfahren zur Langzeitspeicherung

Durch Spaltung des Wassers (*chem. H₂O*) in dessen molekulare Bausteine Wasserstoff H₂ und Sauerstoff O₂ lässt sich Energie langfristig speichern. Die Spaltung des Wassers erfolgt in einem Elektrolyseur. In einer Brennstoffzelle reagieren die beiden Moleküle wieder in deren Ausgangsmedium – Wasser. Bei dieser Reaktion entsteht als „Abfallprodukt“ elektrische Energie, welche genutzt werden kann. Unter Verwendung der alkalischen Technologie muss der Sauerstoff separat gespeichert werden, da der Elektrolyt des Elektrolyseurs (AEL) und der Brennstoffzelle (BSZ) mit CO₂ der Luft reagieren würde.

Durch diese Reaktion entsteht ein Salz, welches den Wirkungsgrad der Anlage drastisch reduziert. Aufgrund der eher langsam ablaufenden chemischen Reaktionen in der BSZ ist es nicht möglich, die Energieversorgung bei Lastsprüngen der Verbraucher mit der Brennstoffzelle unterbrechungsfrei sicherzustellen. Es wird folglich ein weiterer Speicher benötigt, der die Energieversorgung stets sicherstellt. Die Abbildung 1 zeigt das Zusammenwirken der beiden Speicher auf.

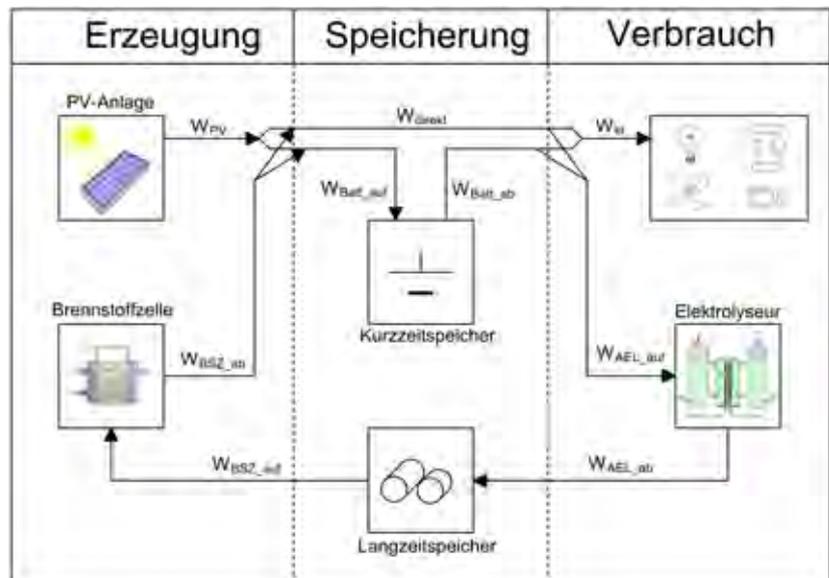


Abbildung 1, Verfahren zur Langzeitspeicherung. Durch ein geschicktes Energiemanagement kann die von der PV-Anlage benötigte Energie reduziert werden. Der Leistungsbereich des in Wohnbauten benötigten Elektrolyseurs beträgt zwischen 2.5 kW (EFH) und 8.5 kW (5 Whg-MFH).

Speicherverhalten

Im Rahmen einer Bachelor-Diplomarbeit wurden sowohl für ein Ein- als auch für ein Mehrfamilienhaus jeweils mit einer ost-west- beziehungsweise einer nord-süd-Ausrichtung sämtliche Komponenten ausgelegt. Im Folgenden wird ausschliesslich auf das Einfamilienhaus mit einer ost-west-Ausrichtung eingegangen. Auf dem 40° geneigten Giebedach werden total 66 PV-Module mit einer gesamten Fläche von 107 m², einem Modulwirkungsgrad von 16.3% und einer Anlagenleistung von 17.5 kW_p installiert. Der Akkumulatoren-Speicher des Wohngebäudes benötigt eine Kapazität von 80 kWh. Zum Vergleich: Die Kapazität des Akkumulators eines Tesla Model S P90D beträgt 90 kWh, was eine Reichweite von 509 km ermöglicht.

Sowohl der Wasser- als auch der Sauerstoff werden in einem Druckspeicher bei 30 bar unterirdisch gespeichert. Für das Einfamilienhaus werden für den H₂-Speicher 38 m³ und für den O₂-Speicher 19 m³ Speichervolumen benötigt. Die Spaltung und Zusammenführung des Wassers ist ein geschlossener Kreislauf. Für diesen werden beim Einfamilienhaus ca. 480 Liter Wasser benötigt. Dieses Volumen entspricht ca. 3.5 Badewannen.

Durch die Simulation mit einem eigens entwickelten Tool konnten die Speicherverhalten analysiert werden. Es wird der direkte Zusammenhang des Speicherstandes der Akkumulatoren zur Energiegewinnung durch die Photovoltaikanlage deutlich. Dazu zyklisch

verschoben ist hingegen der Speicherstand des Wasserstoffspeichers. Dies lässt sich dadurch begründen, dass dieser erst geladen wird, wenn die Kapazität der Akkumulatoren einen definierten Speicherstand überschreitet. Die folgende Abbildung zeigt dieses Verhalten auf:

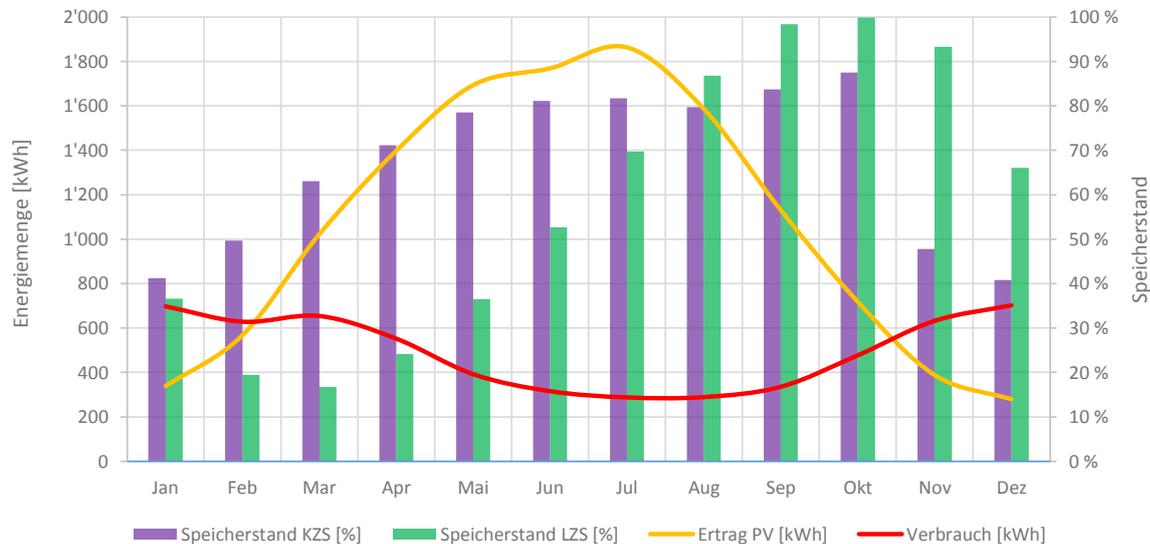


Abbildung 2. Speicherverläufe im Einfamilienhaus während eines Jahres. Direkte Abhängigkeit des Speicherstandes des Kurzzeitspeichers (KZS) zur Energieerzeugung der PV-Anlage. Zyklisch verschobener Speicherstand des Langzeitspeichers (LZS), bedingt dadurch, dass dieser erst geladen wird, wenn die Kapazität des KZS einen definierten Wert überschreitet.

Fazit

Es ist theoretisch durchaus möglich, mit Wasserstofftechnik basierend auf alkalischen Komponenten eine Langzeitspeicherung der solaren Energieüberschüsse der Photovoltaikanlage umzusetzen. Da die alkalische Brennstoffzelle im für diese Studie erforderlichen Leistungsbereich in der Praxis jedoch noch nicht existiert, ist die Umsetzung solcher Lösungsansätze lediglich theoretisch möglich. Aufgrund des wirtschaftlichen Defizits der alkalischen Technologie werden energieautarke Bauten zurzeit noch als Pionier-Projekte betrachtet. Hinzu kommt ein weiteres Hindernis: Der Sauerstoff muss separat gespeichert werden. Gemäss Spezialisten bewilligt die Gebäudeversicherung einiger Kantone dies jedoch nicht. Es gilt also frühzeitig Abklärungen bei den Behörden vorzunehmen.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_3
an der Abteilung Gebäudetechnik

Auslegung von einem neuen Energiespeicher basierend auf Batterien und Wasserstoff für das energieautarke Gebäude SELF

Studenten	Samuel Brun Kevin Maurer
Dozenten	Volker Wouters Axel Seerig
Experte	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Empa Material Science and Technology Überlandstrasse 129 8600 Dübendorf)
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Auslegung von einem neuen Energiespeicher basierend auf Batterien und Wasserstoff für das energieautarke Gebäude SELF



Abbildung 1 SELF im Winter

Die energie- und wasserautarke Wohneinheit für zwei Personen «SELF» ist ein Forschungsprojekt der Eidgenössische Materialprüfungs- und Forschungsanstalt Empa. In erster Linie dient das SELF als Test- und Demonstrationsplattform von Spitzentechnologie für die Optimierung der Energieeffizienz, die Reduktion des Wasserverbrauchs und der Nutzung von Solarenergie. Für eine Autarkie werden jedoch Speicher benötigt, welche die Energie in die Nacht und in den Winter überführen können. Im SELF ist ein Konzept mit Batterie- und Wasserstoffspeicher umgesetzt und soll nun neu ausgelegt werden.

Im Sommer produziert die Photovoltaik-Anlage mehr elektrische Energie, als verbraucht wird. Dieser Überschuss an Energie wird im Kurzzeitspeicher gespeichert um die Versorgung während der Nacht sicherzustellen. Weiter wird auch der Langzeitspeicher geladen um die Wintermonate zu überbrücken.

Ermittlung Energiebedarf

Die exakte Ermittlung der Energieproduktion und des Verbrauchs ist von zentraler Bedeutung für die Auslegung der Energiespeicher.



Abbildung 2 Bilanz elektrische Energie April 2015 – März 2016

Die Photovoltaik-Anlage liefert die gesamte Energie für den elektrischen und thermischen Bedarf. Auf der thermischen Seite versorgt eine Luft-Luft-Wärmepumpe den Raum und die Warmwasseraufbereitung mit Wärme. Gekühlt wird mit einem hocheffizienten Kühlgerät. Neben Dauerverbrauchern wie der Automation und dem Kühlschrank ist der elektrische Verbrauch stark nutzerabhängig. Licht, Haushaltsgeräte und Multimediaanwendungen haben zudem einen hohen Leistungsbedarf. So ergibt sich ein jährlicher Energiebedarf von 2'200 kWh.

Auf Grund des Nutzerprofils treten schnelle Änderungen von Leistungsüberschüssen zu Leistungsdefiziten auf. Der Kurzzeitspeicher muss diese Schwankungen kompensieren und die Netzspannung und Frequenz stabilisieren. Weiter muss der tägliche Energieüberschuss der Photovoltaikanlage gespeichert werden, wenn dieser nicht direkt in Wasserstoff umgewandelt werden kann.

Der Langzeitspeicher ist für das Energiedefizit von 530 kWh im Winter ausgelegt und wird mit dem Energieüberschuss im Sommer geladen.

Auslegung der Speicher

Mit einem Excel-Tool wird der stündliche Energieertrag und Bedarf ermittelt. Die Kapazität des Kurzzeitspeichers wird auf den maximalen täglichen Energieüberschuss der Photovoltaik-Anlage ausgelegt. Dies garantiert, dass der gesamte Überschuss gespeichert werden kann.

Der Langzeitspeicher besteht aus drei Komponenten, nämlich dem Elektrolyseur für die Erzeugung von Wasserstoff, dem Wasserstoffspeicher selbst und der Brennstoffzelle für die Energieproduktion. Ausgehend vom Energiedefizit kann mit dem Wirkungsgrad der Brennstoffzelle die effektive Speichergrosse bestimmt werden. Die Leistungen des Elektrolyseurs und der Brennstoffzelle müssen so gewählt werden, dass im Zeitraum von März bis Oktober der Wasserstoffspeicher komplett geladen wird, sodass von November bis Februar der Energiebedarf gedeckt werden kann.

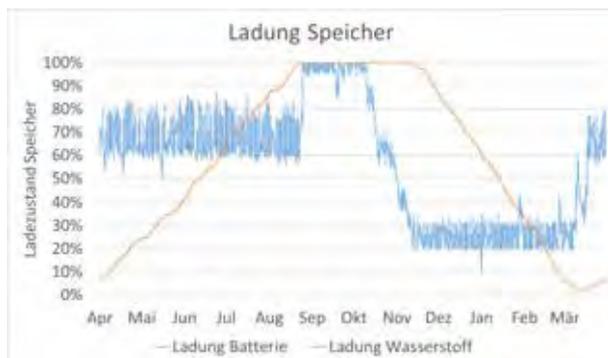


Abbildung 3 Ladung Speicher April 2015 – März 2016

Es hat sich gezeigt, dass dies im SELF bei Komponenten mit kleinen Leistungen bereits möglich ist. Es empfiehlt sich jedoch hier mit grösseren Leistungen zu arbeiten. So kann der Kurzzeitspeicher kleiner dimensioniert werden und die Betriebsstunden pro Jahr werden reduziert.

Eine sinnvolle Energiekapazität für den Kurzzeitspeicher ist 25 kWh. Es gibt diverse Hersteller, welche Batteriespeicher in dieser Grösse für On-Grid und Off-Grid-Anwendungen anbieten. Für den Langzeitspeicher empfiehlt sich ein Elektrolyseur mit einer Leistung von 1'800 W. So kann ein Überschuss, ohne Zwischenspeicherung in der Batterie, direkt umgewandelt werden. Für die Wasserstofflagerung ist ein Druckspeicher bei 300 bar trotz dem höheren Platzbedarf und dem zusätzlichen Energieaufwand für die Komprimierung besser geeignet als ein kostenintensiver Metallhydridspeicher. Die Brennstoffzelle sollte

eine Leistung von 1'000 W aufweisen, um neben der Sicherstellung der Bedarfsdeckung auch die Batterie zu laden.

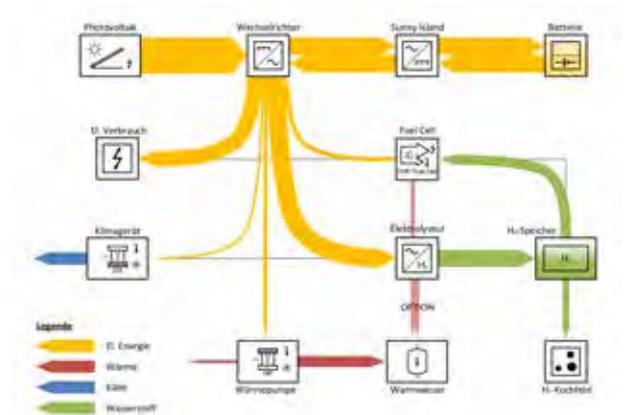


Abbildung 4 Simulation Jahresenergiefluss «SELF»

Mit dieser Konfiguration ist ein energieautarker Betrieb möglich.

Chancen und Herausforderungen

Mit innovativen Lösungen wie dem verwendeten Wasserstoff-Kochfeld wird im «SELF» der solare Energieertrag effizienter genutzt als mit einem Induktionskochfeld mit derselben Leistungsabgabe. Weiter besteht die Möglichkeit mit einer Abwärmenutzung von Elektrolyseur und Brennstoffzelle die Wärmepumpe zu entlasten, um den Energiebedarf weiter zu reduzieren. Auch das Klimagerät könnte im Sommer die Warmwasseraufbereitung unterstützen.

Ein grosses Optimierungspotential ist beim Wirkungsgrad der Brennstoffzelle vorhanden. Wird dieser erhöht, werden die Investitionskosten stark reduziert, da Elektrolyseur, Batteriespeicher und Photovoltaik-Anlage kleiner ausgelegt werden können. Die Reduktion von Bandlasten ist ein weiterer zentraler Punkt für den Erfolg eines energieautarken Gebäudes.

Mit den heutigen technischen Möglichkeiten ist es möglich ein energieautarkes Gebäude zu erstellen, wie auch das Mehrfamilienhaus in Brütten aufzeigt.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit in Gebäudetechnik 2016
Auslegung von einem neuen Energiespeicher basierend auf Batterien und Wasserstoff für das energieautarke Gebäude SELF

Betreuer: Volker Wouters
Student: Samuel Brun
Student: Kevin Maurer



Ventilatoren statt Volumenstromregler im Kanalnetz

In heutigen Lüftungs- und Klimaanlage werden zur Bedarfsregulierung Volumenstromregler verwendet. Diese gleichen das Kanalnetz durch Drosselung in der letzten Teilstrecke ab, wodurch Druck vernichtet wird. In Zukunft könnte auf diese Drosselung verzichtet und somit weniger Energie verbraucht werden.

In mechanischen Lüftungs- und Klimaanlage wird heutzutage zur Deckung der Nutzungsbedürfnisse viel Energie verbraucht. Dies kann einen wesentlichen Anteil am Gesamtenergieverbrauch eines Gebäudes ausmachen.

Ein bewährtes System zur Reduktion des Energieverbrauchs ist die Kanaldruck-Regelung. Durch Drehzahlregelung des Ventilators wird am Standort des Druckfühlers ein konstanter Kanaldruck gehalten. Im Teillastfall sinkt die notwendige Antriebsleistung des Ventilators. Zusätzliche Energieeinsparungen sind durch variieren des Kanaldrucks möglich. Dies wird beispielsweise mit einer Klappenstellungs-Regelung erzielt. Als Regelgrösse für die Drehzahlregelung des Ventilators wird die maximale Klappenstellung der Volumenstromregler verwendet. Gegenüber der Kanaldruck-Regelung wird 15 – 50 % elektrische Energie eingespart.

Um den Energieverbrauch in der Lüftungstechnik möglichst gering zu halten, verfolgt ein neuer Ansatz die bedarfsgeführte Volumenstromregelung mittels Raumventilatoren. Hierbei wird nur so viel Druck erzeugt wie tatsächlich benötigt wird, um unnötige Drosselungen zu vermeiden.

Bedarfsgeführte Ventilatorregelung dcF

Damit auf den hydraulischen Abgleich verzichtet werden kann, muss die Druckerhöhung in der letzten Teilstrecke vor dem Raum stattfinden. Nur so kann gewährleistet werden, dass zu keiner Zeit eine Unter- oder Überversorgung im Raum entsteht. Auf dieser Teilstrecke werden statt Volumenstromreglern Raumventilatoren eingesetzt, die bedarfsgeführt, beispielsweise nach CO₂-Konzentration oder Raumtemperatur, geregelt werden.

Da ein grosser Teil der Druckverluste im Monoblock auftreten und somit von jedem Raumventilator parallel gedeckt werden müssten, bleibt der Primärventilator im System erhalten. Die Drehzahl des Primärventilators wird mittels Differenzdruck-Regelung auf 0 Pa gegenüber der Umgebung geregelt. Der Druckfühler soll am Ende des Hauptstranges platziert werden, also dort, wo noch der gesamte Volumenstrom gefördert wird.

Die Raumventilatoren decken jeweils nur den Druckbedarf zwischen dem Druckfühler des Primärventilators und dem Raum. Da jeder Raumventilator die benötigte Luftmenge vom Druckfühler bis zum Raum fördert und dabei nur den Druck erzeugt, der effektiv benötigt wird, ist das Netz hydraulisch abgeglichen.

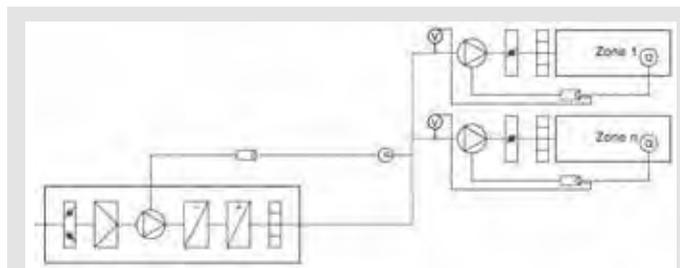


Abbildung 1: bedarfsgeführte Ventilatorregelung

Um den Strang absperren zu können, ist neben dem Raumventilator eine luftdichte Absperrklappe notwendig. Diese ist bei Bedarf stets voll geöffnet. Für die Funktionalität der Regelung ist zusätzlich eine Volumenstrommessung zwingend.

Berechnung des Energiebedarfs

Als Grundlage für die Berechnung wurde ein Modell-Gebäude bestehend aus vier verschiedenen Nutzungen (Fitness, Verkauf, Büro, Labor) definiert. Auf dieser Basis wurden Berechnungen in Microsoft Excel durchgeführt. Die so ermittelte Einsparung an elektrischer Energie der bedarfsgeführten Ventilatorregelung beträgt 23 % im Vergleich zur Kanaldruck-Regelung. Die Klappenstellungs-Regelung erzielt die gleiche Einsparung.

Nimmt man die hydraulische statt der elektrischen Energieaufnahme des Systems als Basis für den Vergleich, so erzielt das dcF-System eine Einsparung von 44 % gegenüber der Kanaldruck-Regelung. Die Einsparung der Klappenstellungs-Regelung bleibt bei 23 %.

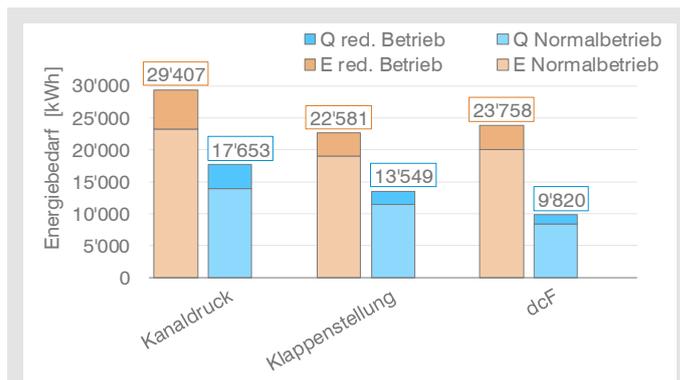


Abbildung 2: Vergleich Energiebedarf der Systeme

Nachweis im Labor

Um weitere Aussagen über das effektive Energieeinsparpotential machen zu können, wurde ein bestehender Versuch der Hochschule Luzern - Technik & Architektur umgerüstet.

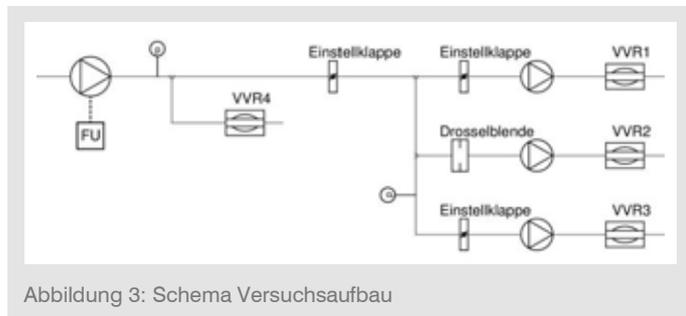


Abbildung 3: Schema Versuchsaufbau

Statt Absperrklappen und Volumenstrommessungen einzubauen, blieben die bestehenden Volumenstromregler erhalten. Sie wurden so in die SPS integriert, dass sie beide Funktionen erfüllen können. Als Raumventilatoren wurden DC-Axiallüfter des Herstellers EBM-Papst eingesetzt. Die Ventilatoren wurden mittels Pulsweitenmodulation angesteuert, um die Drehzahl bedarfsabhängig regeln zu können.

Es wurden drei Systeme gemessen:

- Kanaldruck-Regelung mit Volumenstromreglern
- Klappenstellungs-Regelung mit Volumenstromreglern
- Bedarfsgeführte Ventilatorregelung dcF

Für die Messungen waren Lastprofile notwendig, die zur Sollwertvorgabe an die Ventilatoren bzw. Volumenstromregler dienen. Alle drei Systeme wurden jeweils mit demselben Profil gemessen.

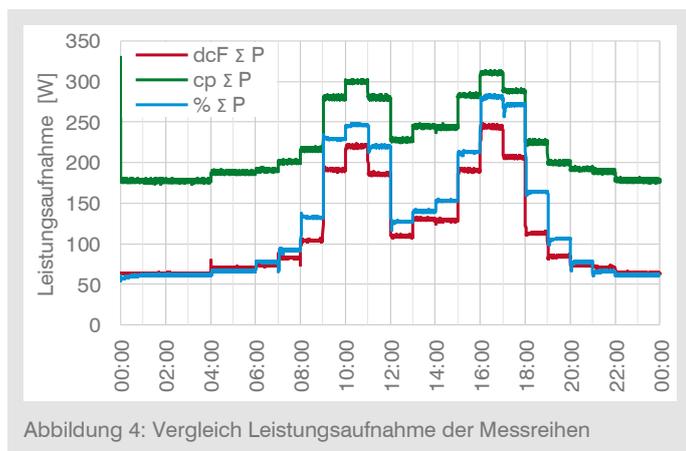


Abbildung 4: Vergleich Leistungsaufnahme der Messreihen

Die Einsparung an elektrischer Energie beträgt für die Klappenstellungs-Regelung 41 % und für die bedarfsgeführte Ventilatorregelung sogar 49 %. Die grössten Einsparungen des dcF-Systems gegenüber der Klappenstellungs-Regelung konnten in den Messfenstern mit sehr unterschiedlichem Teillastverhalten (17 - 19 Uhr) erzielt werden.

Machbarkeit und Umsetzung heute

Aufgrund der gemachten Erfahrungen mit der bedarfsgeführten Ventilatorregelung während den Labormessungen, darf gesagt werden, dass die Umsetzung in der Praxis bereits heute möglich ist. Bezüglich Wirtschaftlichkeit steht das dcF-System den anderen beiden Systemen in keiner Weise nach. Die Energieeinsparung beträgt zum Zeitpunkt der Untersuchungen 10 - 40 % gegenüber der Kanaldruck-Regelung.

Die notwendigen Komponenten erfahren bei der Auslegung teilweise abweichende Anforderungen, als dies bei Systemen mit Volumenstromreglern der Fall ist. Zu beachten sind insbesondere die Ventilatorenwahl und deren Ansteuerung. Die Raumventilatoren müssen über die Möglichkeit einer Drehzahlregelung verfügen. Weiter muss bei der Auslegung auf niedrige Schallemissionen geachtet werden. Zudem sind Ventilatoren mit einem möglichst hohem Systemwirkungsgrad zu wählen.

Schwierig bei der Umsetzung ist heute, dass noch keine Regler verfügbar sind, die den Anforderungen des dcF-Systems entsprechen. Heute muss der Regelkreis des Raumventilators auf einer SPS oder einem dezentralen Raumregler selber programmiert und mit den notwendigen Schnittstellen ausgestattet werden.

Optimierung und künftige Entwicklungen

Heute verfügbare Kleinventilatoren für Rohr- und Kanaleinbau weisen sehr geringe Wirkungsgrade im Bereich von 20 - 35 % auf. Deshalb wäre die wohl wichtigste Optimierung, diese Wirkungsgrade zu verbessern um das volle Potential des dcF-Systems zu nutzen.

Eine Lösung für das bereits angesprochene Regler-Problem könnte die Entwicklung eines Standardreglers für dcF-Systeme sein. Dies würde die Projektierungsarbeit deutlich vereinfachen und viele Schnittstellenprobleme lösen.

Ebenfalls interessant könnte die Entwicklung einer «dcF-Box» sein, in der alle benötigten Komponenten integriert sind. Also Ventilator, Volumenstrommessung, Absperrklappe und der genannte Standardregler. Der Platzbedarf könnte sich verringern, zudem wären Wartung und Montage vereinfacht und es könnte bei serienmässiger Produktion eine Senkung der Kosten erzielt werden.



Fachartikel

Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_05
an der Abteilung Gebäudetechnik

zur

EMV und Wohnen an der Bahnlinie

Student	Manuel Hebler
Dozenten	Anthony Bellwald Volker Wouters
Experte	Stefan Jaques
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Ernst Basler + Partner AG, 8032 Zürich
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

EMV und Wohnen an der Bahnlinie

Das Funktionsprinzip der mit Wechselspannung betriebenen Eisenbahnen basiert auf einer Energieversorgung über einen als Oberleitung ausgeführten Fahrdrabt. Nach der Nutzung der elektrischen Energie in den Triebfahrzeugen fließen die Rückströme je nach Impedanzverhältnissen in den dafür vorgesehenen Installationsteilen und dem Erdreich zum Unterwerk des Streckenabschnitts zurück. In der Praxis geht man etwa von einem Drittel des Fahrstromes aus¹, sofern die Schienenanlage nicht isoliert aufgebaut ist. Gerade die im Erdreich fließenden Ströme sind nur schwer zu kontrollieren: Aufgrund des elektrotechnischen Bestrebens fließen diese Ströme auch über andere leitfähigere Strukturen wie öffentliche Versorgungsnetze. Die niedrige Frequenz von 16.7 Hertz sorgt zusätzlich für grosse Erdeindringtiefen und so zur grossflächigen Verteilung dieser Ströme. Die galvanische Kopplung und somit Verschleppung von Rückstromanteilen ist generell nicht erwünscht und kann in Anlagen zu Störungen führen. Betroffen davon sind vorwiegend Anwendungen der Regelungs- und Steuertechnik sowie Kommunikationssysteme. Von den energieführenden Leitungsteilen gehen ebenfalls Emissionen

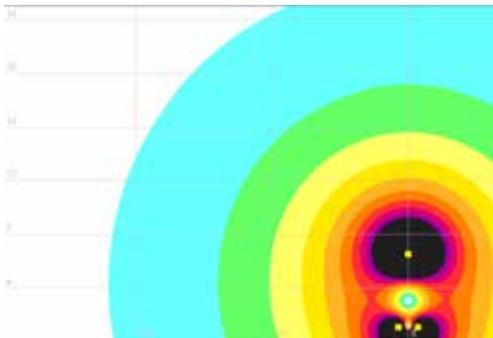


Abb. 1: Der Ausbreitungsradius magnetischer Felder entlang von Bahnlinien ist direkt abhängig vom fließenden Strom und somit von der Belastung eines Streckenabschnitts (Simulationsbild).

in Form von elektrischen und magnetischen Feldern aus. Je nach Stärke dieser Felder können diese schädliche Wirkungen auf Organismen haben. In der Schweiz ist der Umgang mit den betreffenden Feldgrößen in der Verordnung über den Schutz vor nichtionisierender Strahlung NISV geregelt. Für Bahnanlagen gilt ein zeitlicher Mittelwert. Die Schweiz besitzt im Vergleich zum anliegenden Ausland strengere Vorschriften. Aktuell wurde eine Revision der entsprechenden Verordnung abgeschlossen und die Änderungen in Kraft gesetzt.

Aufbau und Vorgehen

Im Rahmen einer Bachelor-Diplomarbeit der Studienrichtung Gebäudetechnik EE galt es herauszufinden, inwiefern die Revision der NISV Auswirkungen auf Anlagen an Bahnlinien zur Folge hat und wie Massnahmen die Einwirkungen von Störgrößen eindämmen können. Zu diesem Zweck wurden die gleichzeitig relevanten Punkte aus den verschiedenen regulativen Dokumenten zusammengetragen und die nötigen theoretischen Grundlagen aufgearbeitet. In einem abschliessenden Schritt wurden mögliche Massnahmen ausgearbeitet und deren direkte Wirkung anhand eines elektrotechnischen Ersatzmodells getestet. Die ausgearbeiteten Erkenntnisse aus den theoretischen Untersuchungen und den Simulationen flossen direkt in vorgeschlagenen Massnahmen ein.

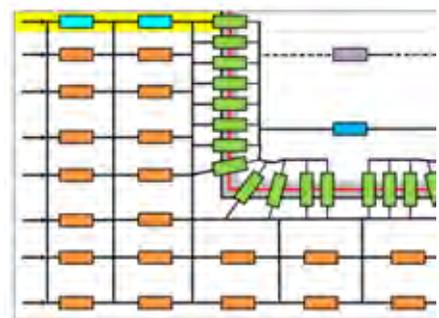


Abb. 2: Ausschnitt Modelerstellung für als Grundlage für Berechnungen.

¹ nach Mathys, R.. Zusammenschluss der Bahn- und Netzerdung. *Bulletin SEV/AES*, Ausgabe 24/25 (7. Dezember 2006). S. 11-17.

Gewonnene Erkenntnisse

Heutzutage werden grossflächige Erder in Form von Fundamenterdern aufgrund ihrer Vorteile bevorzugt eingesetzt. In Bezug auf sich im Erdreich ausbreitenden Störströme von Bahnanlagen wirken sich diese Tatsachen aber teilweise kontraproduktiv aus; der niedrige Übergangswiderstand begünstigt die galvanische Kopplung vom Erdreich in das Gebäude. Das Verhältnis des Gesamtwiderstands der leitfähigen Bewehrung (Stahlarmierungen) zu den resultierenden Widerständen der leitfähigen vermaschten Strukturen in Gebäuden (Potentialausgleichsanlage) ist entsprechend den Eigenschaften einer Parallelschaltung entscheidend für die Stromaufteilung der beiden Pfade. Aufgrund der erstellten Berechnungen zu induktiven der kapazitiven Kopplung wurden deren direkten Einflüsse als praktisch vernachlässigbar klassifiziert. Bei Problemen mit zu starken Feldgrössen wird aufgrund der durch die Frequenz hervorgerufenen Eigenschaften von abschirmenden Massnahmen abgeraten. Bei solchen Problemen sollten die vorgesehenen Mittel eher für die nachhaltige Emissionsbegrenzung eingesetzt werden.

Die abgeleiteten Massnahmen bilden als Ganzes ein Gesamtkonzept, welches neben den branchenüblichen Massnahmen zur Minderung der anlageninternen Störaussendungen zusätzlich erarbeitete Möglichkeiten beinhaltet. Alle Massnahmen beruhen auf zwei Grundsätzen, wonach entweder ein kontrollierter Umgang mit dem störenden Rückleiterstrom oder die Blockade desselben angestrebt wird.

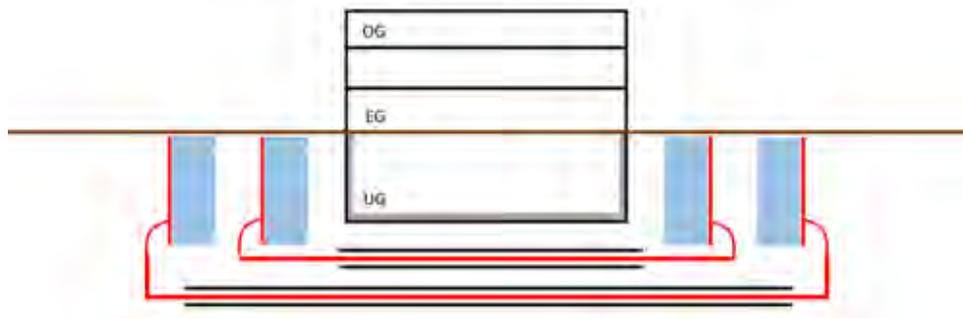


Abb. 3: Eine der vorgeschlagenen Massnahmen beinhaltet die gezielte Anpassung der Leitfähigkeit des dem Gebäude umgebenden Erdvolumens mittels eingefügter Parallelstrukturen (rot) und hinterfüllten Pufferzonen (blau). Die Elemente werden verbunden. Eine nachträgliche Installation ist ebenfalls möglich; dank horizontalen Bohr und Pressverfahren.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_06
an der Abteilung Gebäudetechnik

Analyse und Vergleich verschiedener druckabhängigen und druckunabhängigen Zonen- und Verbraucherventile

Studenten	Nicole Weideli Aleksandar Jugovic
Dozenten	Prof. Werner Betschart Prof. Gerhard Zweifel
Experte	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Belimo Automation AG, Rene Kleiner
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Im Rahmen der Energiestrategie 2050 steht auch die Energieeffizienz von hydraulischen Systemen im Fokus. Dabei gilt es die Massenströme zu minimieren und der Förderdruck auf den effektiven Bedarf anzupassen. Dazu gibt es auf dem Markt verschiedene technische Lösungen von Regelarmaturen, welche alle ihre Vorzüge haben. Dies ist aber stark vom Einsatzgebiet und den Anforderungen abhängig. Wie effizient die unterschiedlichen Zonen- und Raumventile bezüglich dem Raumkomfort und dem Transport-, Nutz- und Endenergiebedarf sind, ist der Kern der Arbeit.

Durch die vielen verschiedenen Regelarmaturen auf dem Markt, verliert man schnell den Überblick. Dazu wurde eine Ventilauswahl getroffen, welche speziell für die Raum- und Zonenanwendungen deklariert sind. Diese gilt es zu analysieren und entsprechend auszuwerten. Jeder hat seine Vorzüge, wie unten dargestellt.

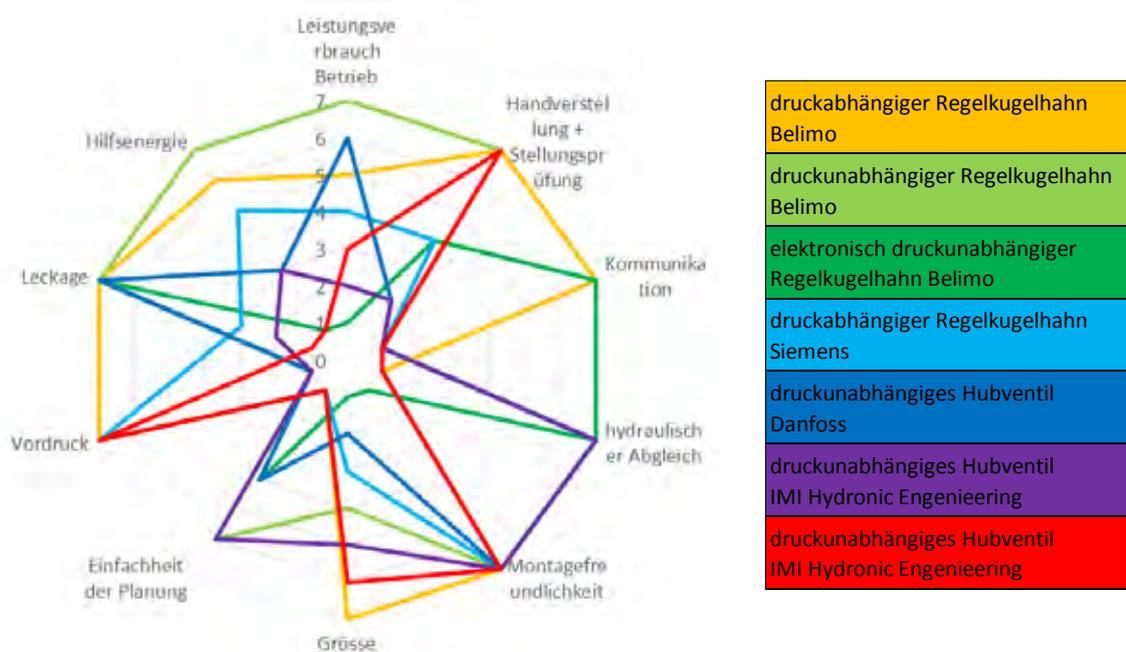


Abb. 1: Bewertung der Ventil-Antriebskombinationen

Es wurde eine Simulation mit drei verschiedenen Räumen, welche mittels Kühldecken gekühlt werden, aufgebaut und dient als Grundlage für die weiteren Berechnungen. Die verschiedenen Ventil-Antriebskombinationen wurden auf einem Prüfstand auf ihr Regelverhalten hin untersucht. Die Ergebnisse fliessen in eine quasidynamische Berechnung, aus welcher sich die effektiven Volumenströme der einzelnen Kühldecken ergeben. Daraus können Rückschlüsse auf alle wichtigen Kriterien gezogen werden.

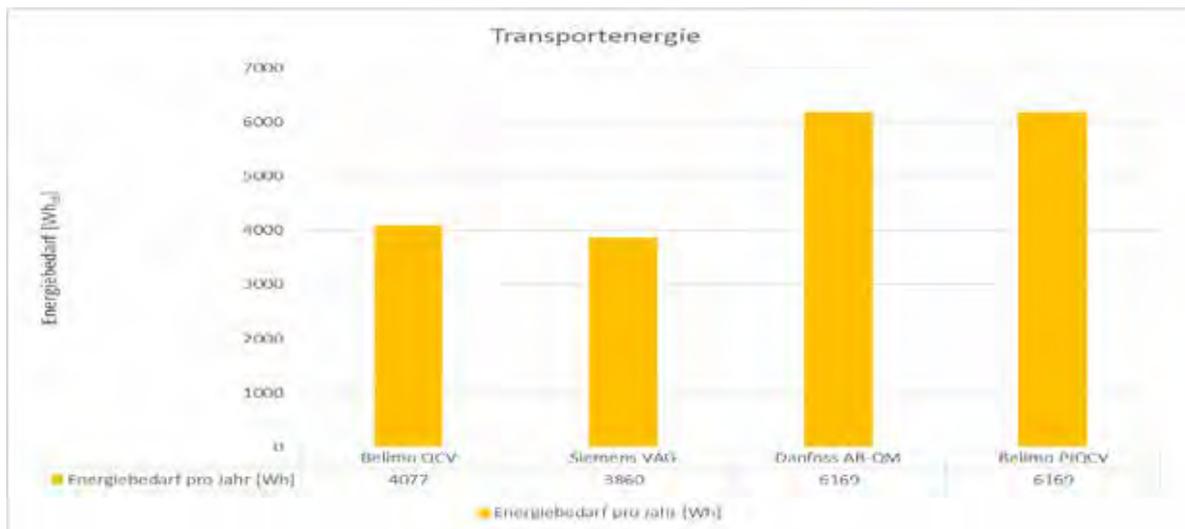


Abb. 2: Vergleich der Transportenergie

In Bezug auf den Energieverbrauch, sind druckabhängige den druckunabhängigen Ventil-Antriebskombinationen vorzuziehen. Da aber die Auswirkungen auf den Raumkomfort auch mit Betriebskosten verbunden ist, kann keine konkrete Aussage gemacht werden. Da dies stark von den Bedürfnissen abhängt. Liegt der Fokus auf der Nutzerseite, so sind druckunabhängige Regelarmaturen vorzuziehen.

Ist das Ziel jedoch möglichst wenig Energie aufzuwenden, sind die klassischen druckabhängigen Regelarmaturen besser geeignet. Bei den druckunabhängigen Ventilen sind vor allem die planerischen sowie montage-technischen Faktoren ein Entscheidungsgrund. Wobei die druckabhängigen im Transportenergiebereich ihre Stärken finden. Könnten druckunabhängige Ventil-Antriebskombinationen entwickelt werden, welche mit einem bedeutend kleineren Vordruck als 16 kPa auskommen, würden diese den Markt erobern.

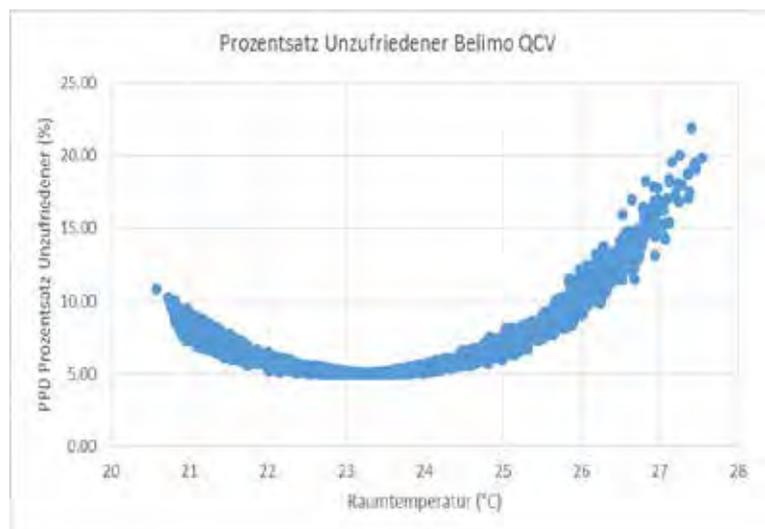


Abb. 3: PPD Prozentsatz der Unzufriedenen



LASTMANAGEMENT FÜR DIE ELEKTROMOBILITÄT

Die Elektromobilität erlebt zurzeit einen immensen Aufschwung und die Zunahme von Elektrofahrzeugen auf Schweizer Strassen ist deutlich erkennbar. Der weitere Verlauf dieser Entwicklung ist unter anderem von der Verbreitung der Lademöglichkeiten abhängig. Sollten Elektrofahrzeuge das Fortbewegungsmittel der Zukunft werden, ist das Angebot von Ladestationen flächendeckend zu vergrössern. Die Hausanschlussleitung eines Energieversorgungsunternehmens zu einem bestehenden Gebäude ist oft nicht für die zusätzlich benötigte Leistung von Ladestationen ausgelegt. Ein Lastmanagement schafft Abhilfe und ermöglicht den nachträglichen Einbau von Ladestationen. Verschiedene Lastmanagementkonzepte, beispielsweise der Einsatz von Energiespeichertechnologien, werden in der vorliegenden Bachelor-Diplomarbeit geprüft und auf deren Wirtschaftlichkeit untersucht.

TREND DER ELEKTROMOBILITÄT

Der Trend für die Zunahme von Elektrofahrzeugen zeigt in der Schweiz deutlich nach oben. Dies widerspiegeln die Zahlen der verkauften Elektrofahrzeuge in der Schweiz. Ihre Zahl stieg in den Jahren 2010 bis 2015 von 130 auf 3300 an. Total waren in der Schweiz Ende 2015 ca. 7500 Elektrofahrzeuge immatrikuliert. Geht dieser Trend nun in den nächsten 20 Jahren im gleichen Stile weiter, könnte 2035 jedes zweite verkaufte Fahrzeug elektrisch betrieben sein (vgl. Trend 1 \ Abbildung 1). Aufgrund des gegenwärtig günstigen Ölpreises und der fehlenden billigen Massenproduktion von Elektrofahrzeugen scheint dieser Wert jedoch ziemlich optimistisch. Diese beiden Hauptaspekte führten dazu, die weiteren Trends für die zukünftige Verbreitung von Elektrofahrzeugen deutlich tiefer anzulegen (vgl. Trend 2 & 3 \ Abbildung 1).

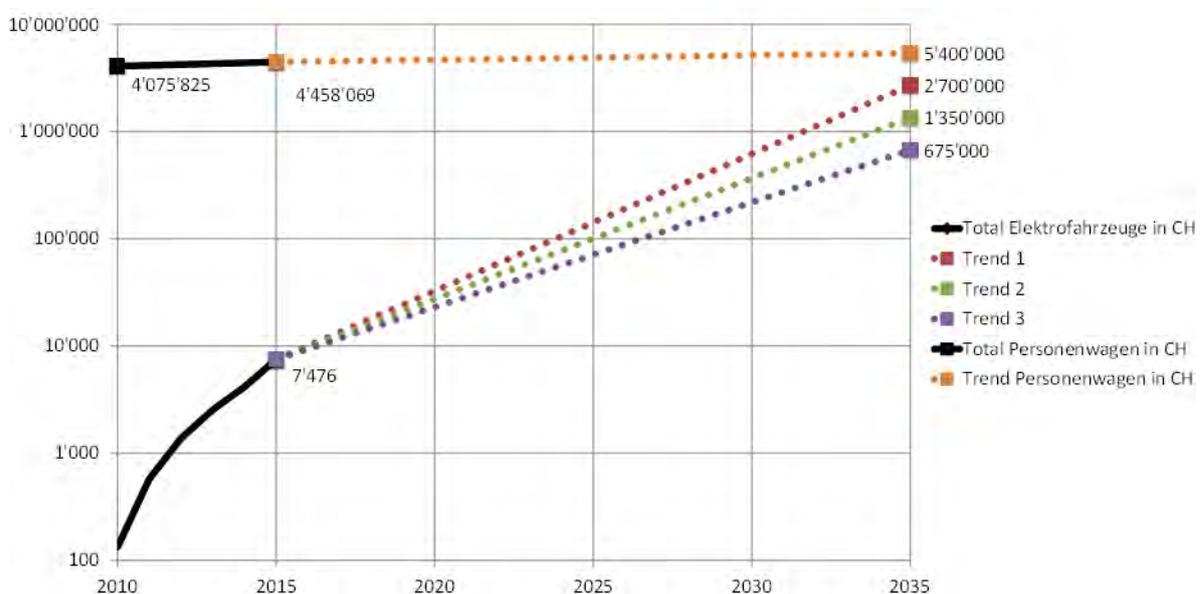


Abbildung 1: Trend für die Zunahme von Elektrofahrzeugen

LASTMANAGEMENT

Die Zunahme von Elektrofahrzeugen setzt eine flächendeckende Vergrößerung des Angebots an Ladestationen voraus. Eine Nachrüstung von Ladestationen in einem bestehenden Gebäude kann zur Überlastung der Hausanschlussleitung führen. Damit diese Situation nicht eintritt, müssen Massnahmen wie beispielsweise die Regulierung des Ladestroms zum Fahrzeug oder eine Prioritätenschaltung durch das Ausschalten von Grossverbrauchern im Gebäude ergriffen werden. Dies setzt die Installation eines intelligenten Lastmanagementsystems im Gebäude voraus.

ENTWICKLUNG VON SZENARIEN

Ob ein Lastmanagement eingesetzt werden muss, hängt von unterschiedlichen Faktoren, wie beispielsweise der Nutzungsart des Gebäudes ab. Mithilfe von zwei Szenarien liessen sich jene Gebäudetypen bestimmen, die bei einem nachträglichen Einbau von Ladestationen den Hausanschluss überlasten könnten. Dabei deckt das kurzfristige Szenario die Entwicklung der nächsten drei Jahre ab. Mit der Zunahme von Elektrofahrzeugen verschärft sich die Belastung des Hausanschlusses durch den Nachbau weiterer Ladestationen zusätzlich. Um diesen Aspekt zu berücksichtigen, wurde ein mittel- bis langfristiges Szenario erarbeitet (Betrachtungszeitraum 5-10 Jahre) (vgl. Abbildung 2), das den Technologiefortschritt der Fahrzeuge einbezieht. Über ein hinterlegtes Bewertungssystem werden die kritischen Gebäudetypen ermittelt.

Nummer	12
Gebäudetyp	Dienstleistungsgebäude
Bild	
Beschrieb	- Kinos - Einkaufszentrum - Sportstadion - Schwimmbäder - Konzerte - Spital - Museen
Anzahl Parkplätze	250
Anzahl Elektrofahrzeuge	15
Ladeart (Mode)	Mode 3
Anzahl Ladestationen	15
mindest Ladedauer	1-4h
Ladezeitraum	unterschiedlich
Gleichzeitige Ladungen	15
Bestehende Ladung des Fahrzeug	80% von 65kWh
Lastkurve Energiebezug Gebäude (grün) Empfohlener Ladungszeitraum (orange)	<p>Dienstleistungsgebäude</p> 
Beschrieb Arbeitsweg/Aufenthalt	kurzer Aufenthalt <2h
Nutzerverhalten	Schnellladungen während Betriebszeiten gewünscht
Ladungsbeschreibung	Ladung während der Arbeitszeit, viele gleichzeitige Schnellladungen bei Lastspitzen vermeiden, Lastmanagement nötig
Erreichte Punktezahl Fazit Bewertung	<p>16 von 50 problematisch</p> 

Abbildung 2: Szenario 5-10 Jahre Dienstleistungsgebäude

KONZEPTFINDUNG

Die Szenarien zeigen die kritischen Gebäudetypen auf, bei denen eine Nachrüstung von Ladestationen nicht ohne weitere Massnahmen möglich ist. Basierend auf diesen Erkenntnissen lässt sich mithilfe eines entwickelten Flussdiagramms ein passender Lösungsansatz für das Lastmanagementkonzept ermitteln. Diese Konzepte führen von einer Reduzierung des Ladestroms zu den Fahrzeugen bis hin zu einem Einsatz von Energiespeichertechnologien, durch die eine kurzzeitige Leistungserhöhung im Gebäude erreicht werden kann. Des Weiteren wurden diese Lösungsansätze auf deren Vor- und Nachteile sowie die Wirtschaftlichkeit untersucht.

ANWENDUNG AUF PRAXISOBJEKT

In Zukunft könnten Einkaufszentren an ihre Leistungsgrenzen stossen, falls viele Ladestationen für die Besucher nachträglich eingerichtet werden. Zur Überprüfung der Szenarien und der Konzepte dient der Länderpark Stans als Praxisobjekt (vgl. Abbildung 3).



Abbildung 3: Länderpark Stans

Das mittel- bis langfristige Szenario dient als Grundlage der Analyse beim Länderpark. Dazu wurden in einem ersten Schritt die Gebäudetypen Dienstleistungsgebäude und Bürogebäude auf das Praxisobjekt adaptiert. Durch diese Angleichung wird erkennbar, dass in 5-10 Jahren für die Besucherinnen und Besucher und die Mitarbeitenden insgesamt 60 Ladestationen zur Verfügung stehen sollten. Zur Analyse der Hausanschlussleitung wurde jener Tag im Jahr 2015 herangezogen, an welchem der grösste Leistungsbezug auftrat. Die Abbildung 4 zeigt den Leistungsverlauf dieses Tages. Daraus liessen sich die Leistungsreserven ermitteln, welche jedoch nicht für die 60 Ladestationen ausreichen.

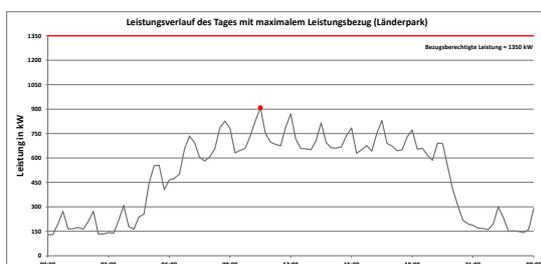


Abbildung 4: Leistungsverlauf Länderpark

KONZEPTE FÜR DEN LÄNDERPARK

Für die Nachrüstung auf 60 Ladestationen werden drei Lastmanagementkonzepte verglichen. Im Mittelpunkt der Untersuchung standen die Wirtschaftlichkeit sowie die Vor- und Nachteile der verglichenen Varianten. Bei diesen Konzepten handelt es sich um die Erweiterung des Hausanschlusses, den Einbau eines Lastmanagementsystems und den Einsatz von Akkuspeichern für eine kurzzeitige Leistungserhöhung. Da die Hausanschlussleitung des Länderparks ohne grossen Aufwand erweitert werden kann, ist dies wirtschaftlich betrachtet die einfachste und günstigste Lösungsvariante. Nur marginal teurer ist das Konzept des Lastmanagementsystems. Diese beiden Systeme lassen sich innerhalb von 15 Jahren amortisieren. Einzig der Akkuspeicher ist nicht amortisierbar. Diese Technologie ist nach heutigem Stand zu teuer. Die Anschaffungskosten der Akkuspeicher liegen ungefähr beim Dreifachen im Vergleich zu den beiden anderen Varianten.

EMPFEHLUNG

Unter Berücksichtigung der Vor- und Nachteile und der Wirtschaftlichkeit bietet das Lastmanagementsystem für den Länderpark die umfassendste Lösung, da sich auch die Photovoltaikanlage integrieren lässt und andere Grossverbraucher in das Lastmanagement eingebunden werden können.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit
in Gebäudetechnik 2016
Lastmanagement für die Elektromobilität

Dozenten: Markus Loser und Olivier Steiger
Studenten: Urs Matter und Claude Winterberger



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_08
an der Abteilung Gebäudetechnik

Dezentrales Energiemodul für den Wohnungsbau

Studenten	Herr Alexander Arians Herr Adrian Ruoss Herr Kevin Suter
Dozenten	Herr Matthias Balmer Prof. Werner Betschart Prof. Reto von Euw
Experte	Herr Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Dezentrales Energiemodul für den Wohnungsbau

Der Energieverbrauch, egal ob von Autos, Elektrogeräten oder von Gebäuden gewinnt immer mehr an Bedeutung. Auch für die Energiestrategie 2050 muss dieser noch deutlich verringert werden. Aus gebäudetechnischer Sicht ist eine maximale Energieeffizienz in Erzeugung, Verteilung und Verbrauch anzustreben. Die Aufbereitung von Wärme, Luft und Warmwasser ist im klassischen Wohnungsbau zentral und vielfach unabhängig voneinander gelöst. Auf der Verbraucherseite entsteht, vor allem in Küche und Bad, Abwärme durch Haushaltsapparate und die Gebäudetechnik, welche ungenutzt der Umgebung zurückgeführt wird. Zwischen Erzeugung und Verbraucher entstehen grosse Verteilverluste, welche auf lange Leitungsnetze zurückzuführen sind.

Um diese Verluste zu minimieren und die Synergien zwischen Erzeugung und Verbrauch zu nutzen, ist es sinnvoll, die Aufbereitung dezentral in der Wohnung vorzunehmen. Die Küche, reich an Apparatetechnik, bietet sich für eine Integration eines sogenannten dezentralen Energiemoduls an. In dieser Bachelorarbeit wird an einem exemplarischen Beispiel ein Aufbereitungsgerät entwickelt, welches die Heizung, die Lüftung, die Brauchwarmwassererwärmung, eine sommerliche Kühlung und eine Abwärmenutzung erlauben.

Grundlagen

Als exemplarisches Beispiel wurde das dezentrale Energiemodul auf der Grundlage einer Musterwohnung entwickelt. Die Wohnung ist in einem Mehrfamilienhaus angegliedert, welches im Minergie Standard gebaut wird. Die Wohnung ist 3 ½ Zimmer gross und hat eine Wohnfläche von rund 120 m². Zwei Nasszellen, zwei Schlafzimmer, ein grosses Wohn- und Esszimmer mit Küche, ein Reduit und ein Eingangsbereich bilden den Grundriss. Um möglichst kurze Transportwege zu gewährleisten sind die Nasszellen neben der Küche angeordnet.

Verbraucheranalyse

Mittels Verbraucheranalyse wurde die Möglichkeit einer Einbindung von Elektrogeräten, Wasserentnahmestellen, Raumheizung und Wohnungslüftung in das dezentrale Energiemodul geprüft. Hierfür wurden zuerst alle Verbraucher auf ihren thermischen Energiebedarf in einem dafür definierten Prozess

analysiert. Unter Einbezug von Verlusten konnte dann berechnet werden, wie viel der aufgenommenen Energie als Abwärme wieder nutzbar anfällt. Aufgrund dieser Analyse und der technischen Machbarkeit konnten Aussagen über die Zweckmässigkeit einer Einbindung der Verbraucher in das Energiemodul gemacht werden. Neben der Integration von Heizung, Lüftung und Brauchwarmwassererwärmung in das Energiemodul ist auch eine Einbindung von Abwärme gewisser Verbraucher sinnvoll. Dabei handelt es sich um Abwärme aus Abwasser und Abluft. Das gesamte Abwasser, mit Ausnahme des WC-Schmutzwassers, wird in einem dezentralen Tank gesammelt und zwischengespeichert. Dieses kann so zeitlich versetzt als Wärmequelle genutzt werden. Ein Teil der Abwärme der in der Küche installierten Geräte wird über die Lüftungsanlage zurückgewonnen. Dies geschieht durch gezielte Platzierung der Abluftdurchlässe.

Nebst dem Einsatz einer passiven Wärmerückgewinnung in der Lüftungsanlage dient die trotzdem noch vorhandene Abwärmemenge in der Fortluft als Energiequelle. Nach Abschluss der Verbraucheranalyse sind Energiebedarf und Abwärmeeinfall an der Systemgrenze des Moduls gegeben.

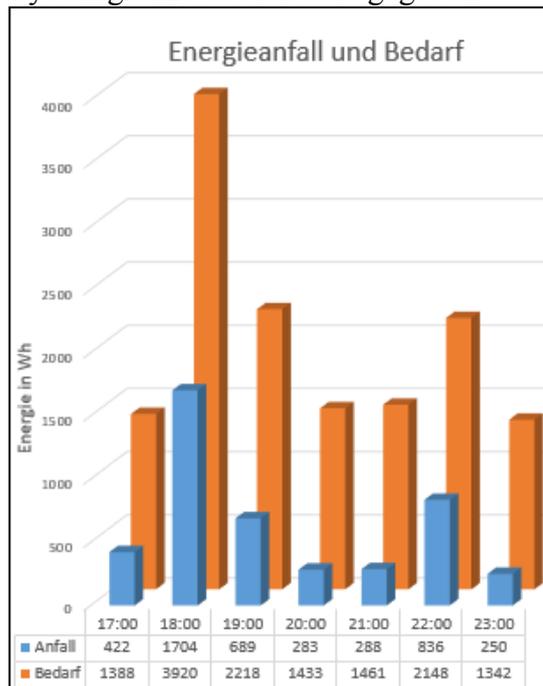


Abbildung 1 Vergleich Energieanfall und Bedarf

Energiemodul

Da die Abwärme auf einem zu tiefen Temperaturniveau für die direkte Nutzung anfällt, bietet sich der Einsatz einer Wärmepumpe an. Diese erreicht mit dem Temperaturniveau der Abwärme einen viel besseren COP, als wenn eine konventionelle Luft-Wasser Wärmepumpe eingesetzt wird. Dadurch kann die Effizienz enorm gesteigert und der elektrischen Energiebedarf minimiert werden.

Die Wärmepumpe ist mit zwei Verdampfern und mit zwei Kondensatoren ausgestattet. Mit dem ersten Verdampfer wird die benötigte Energie aus dem Abwasser zurückgeholt um damit Brauchwarmwasser zu erzeugen. Dank

einer thermischen Ringleitung, welche den Abwassertank mit dem Energiemodul verbindet, ist es jederzeit möglich weitere Wärmequellen, wie zum Beispiel Sonnenenergie, einzubinden. Als zweite Energiequelle wird ein Direktverdampfer eingesetzt, welcher die Abwärme der Fortluft und der Küchengeräte zurückgewinnt.

Auf der Verbraucherseite wird ein Brauchwarmwasserspeicher mit einem internen Kondensator eingebaut. Da mit der direkten Kondensation weniger Verluste anfallen, wird die benötigte Heissgastemperatur gesenkt und somit der COP weiter gesteigert. Die Raumheizung kann, je nach Wärmebedarf und Nutzerwunsch, mit einer Luft-, Fussboden- oder Heizkörperheizung umgesetzt werden. In der Musterwohnung wird eine Bodenheizung eingesetzt. Die Umwälzpumpe und der Verteiler werden direkt im Modul platziert.

Dank der optimalen hydraulischen Einbindung der Verdampfer und Kondensatoren kann wahlweise ein alternativer oder paralleler Betrieb ermöglicht werden. Zwei thermische Expansionsventile sorgen zusammen mit Verdampferdruckreglern dafür, dass je nach Wärmebedarf die Verdampferleistung angepasst wird. Da demzufolge die Leistung des Verdichters ebenfalls variabel ist, wird ein Scrollverdichter mit Invertertechnologie eingesetzt. Das heisst, dass die Drehzahl des Verdichters bedarfsabhängig reguliert wird. Da der Verdichter so im Teillastbetrieb weniger elektrische Energie aufnimmt, wird die Effizienz des Wärmepumpenprozesses nochmals gesteigert.

Damit die Fortluft nicht auf eine zu tiefe Temperatur abgekühlt wird, kann je nach Wärmebedarf über einen Bypass im Lüftungsgerät direkt Aussenluft beigemischt werden. Sofern die Aussentemperatur höher ist als diejenige im Abwassertank wird mit dieser Schaltung auch Brauchwarmwasser aufbereitet. Dieses Zusammenspiel von verschiedenen Energiequellen und damit verbunden die Nutzung der jeweils wertvollsten Energie, sorgt für eine vollendete Effizienzsteigerung.

Fazit

Die Bachelorarbeit hat das enorme Potential, welches in einem dezentralen Energiemodul steckt, aufgezeigt. Durch das effiziente Zusammenspiel zwischen Wärmebedarf und Abwärmeanfall und die um einiges höheren Verdampfer-temperaturen, kann gegenüber einem konventionellen System sehr viel Primärenergie eingespart werden. Weiter werden mit kurzen Anschlussleitungen die Verteilverluste minimiert und die sanitärseitigen Warmhalteverluste entfallen komplett. Die Speicherverluste, welche im konventionellen System im unbeheizten Keller anfallen, gehen im Winter nicht verloren, sondern bleiben in der Wohnung. Durch die Nutzung der anfallenden Abwärme lässt sich der COP der Wärmepumpe verbessern, wodurch der Elektrizitätsbedarf des Verdichters sinkt. Insgesamt wird somit eine Stromersparnis von bis zu 38 % im Vergleich zu einer zentral aufgestellten Luft-Wasser Wärme-pumpe erreicht.

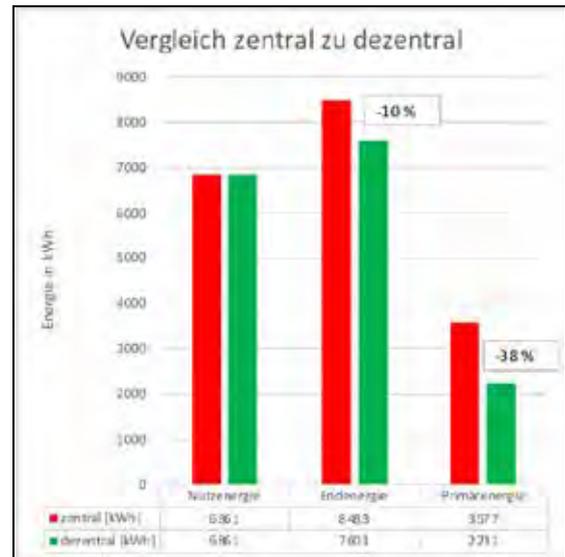
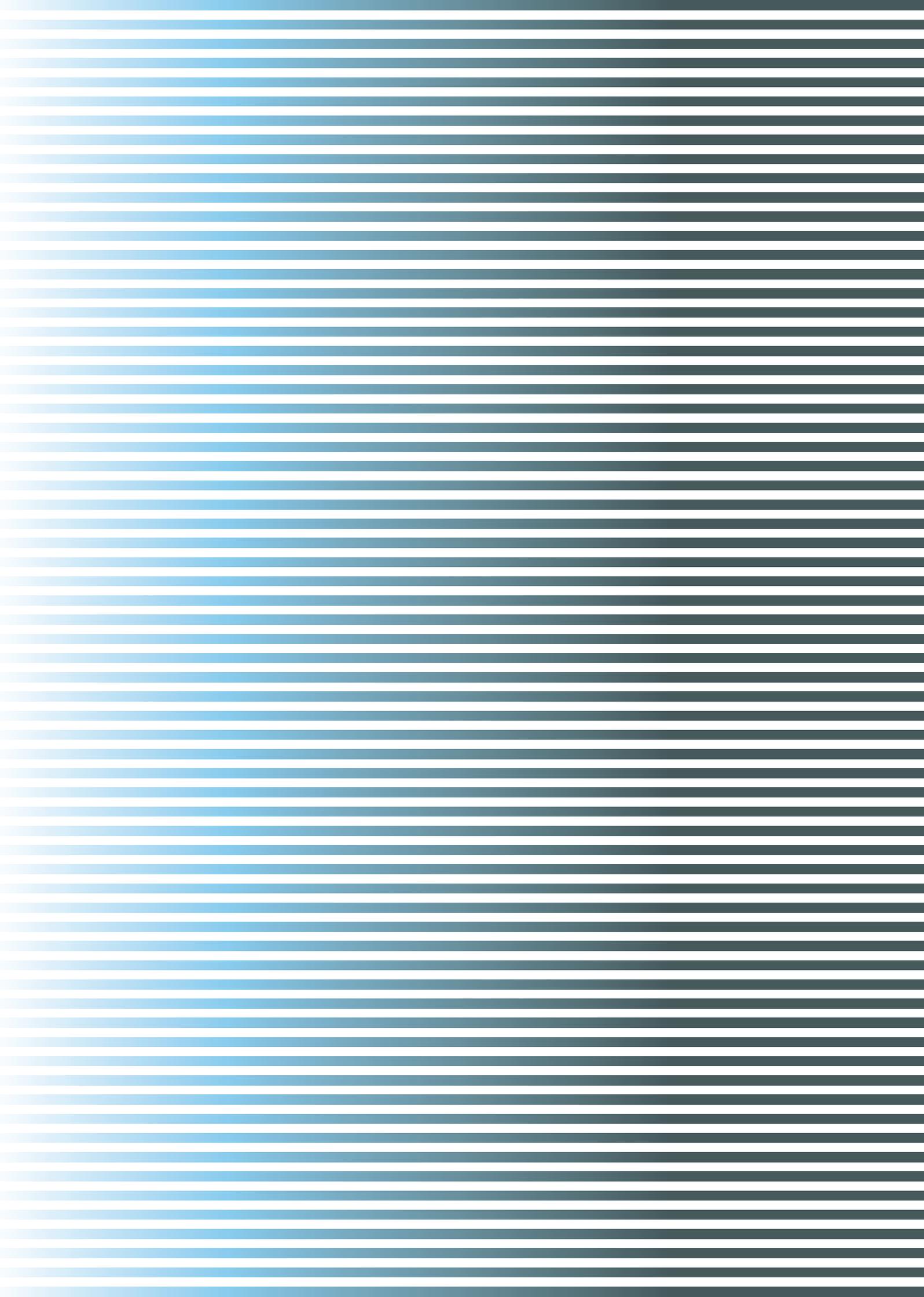


Abbildung 2 Vergleich Energiebedarf

Bei der Entwicklung des Energiemoduls wurde darauf geachtet, dass es flexiblen Anforderungen standhält. So ist die Einbindung weiterer Abwärmequellen bereits berücksichtigt und kann mit der thermischen Ringleitung hydraulisch einfach gelöst werden. Weitere Zusatzfunktionen wie die Einbindung einer Solaranlage, einer aktiven Kühlung über die Raumlüftung oder die Wahl eines anderen Wärmeabgabesystems können mit geringem Zusatzaufwand realisiert werden. Eine sinnvolle Erweiterung zum Energiemodul ist eine PV-Anlage. Für die Musterwohnung würde mit einer Fläche von 20 m² bereits genügend elektrische Energie produziert werden, um das Energiemodul komplett zu versorgen.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_09
an der Abteilung Gebäudetechnik

Solarthermie im Verbund mit einer Energiezentrale und Geothermie

Studenten	Sandra Kost Timo Weiss
Dozenten	Matthias Balmer Joachim Ködel
Experte	Bruno Soder
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

SOLARTHERMIE IM VERBUND MIT EINER ENERGIEZENTRALE UND GEOTHERMIE

Ein Gebäudepark mit unterschiedlichen Nutzungen, wird aus einer gemeinsamen Energiezentrale mit Wärme- und Kälteenergie versorgt. Zentral in der Energieerzeugung sind zwei Wärme-Kältemaschinen, die einen Geothermiespeicher als Quelle und Senke benutzen. Die Wärme-Kältemaschinen besitzen keinen Rückkühler. Die im Sommer anfallende, überschüssige Wärme muss in die Geothermie geladen werden. Eine erweiterte Einbindung der bestehenden Solaranlage in die Wärmeerzeugung ermöglicht die ausgleichende Bewirtschaftung des Geothermiespeichers. Zusätzlich wird der Solarertrag aus den Kollektoren massiv gesteigert. Durch konzeptionelle Anpassungen in der Hydraulik und im Wärmeerzeugermanagement wird der Verbrauch an nicht erneuerbaren Energien stark reduziert.

ENERGIEZENTRALE

Die Energiezentrale verfügt über zwei Wärme- Kältemaschinen mit einer Wärmeleistung von 1'110 [kW] und einer Kälteleistung von 890 [kW]. Diese werden mit der Priorisierung auf der Kälteseite betrieben.

Im Winter werden sie genutzt, um einen grossen Teil der anfallenden Heizlast im Niedertemperaturbereich zu decken. Als Quelle und Senke dieser Maschinen dient ausschliesslich ein Geothermiefeld mit 49 Erdwärmesonden à 160 [m] Tiefe. Eine Niedertemperatursolaranlage mit 660 [m²] Fläche ist über vier Speicher mit der Wärmeerzeugung verbunden. Die Fläche der Solarregister in den Speichern ist jedoch zu klein, um den solaren Ertrag vollständig nutzen zu können.

Zusätzlich sind noch ein Holz-schnitzelkessel mit 850 [kW] und ein Ölheizkessel mit 850 [kW] installiert. Die beiden Erzeuger übernehmen die Hochtemperaturerzeugung (85°C) des Heizsystems.

Die Energiezentrale hat eine maximale Wärmeleistung von 2'810 [kW], ohne den Anteil der Solarenergie. Der maximale Leistungsbedarf von 2'100 [kW],

kann somit ausreichend abgedeckt werden. Der Kälteleistungsbedarf des Areals beläuft sich auf maximal 600 [kW]. Auch diese Leistung kann von den beiden Kältemaschinen ohne Probleme gedeckt werden.

Alle 3 Temperaturnetze verfügen über grosszügig dimensionierte Speicher, welche als Puffer dienen.

ENERGIEBEDARF

Anhand umfangreicher Energieaufzeichnungen wurde ein Bedarfsprofil des Areals über das letzte Jahr erstellt. Über die Methode der akkumulierten Temperaturdifferenzen (gem. SIA 380: *Grundlagen für energetische Berechnungen von Gebäuden*), wurde dieses Bedarfsprofil für ein Regeljahr standardisiert.

Mit Hilfe des Energiecontrollings konnte zudem eruiert werden, wie gross der Anteil der einzelnen Erzeuger an der Wärmeproduktion ist und welches Temperaturniveau benötigt wird.

POTENTIAL SOLARTHERMIE

Ein Vergleich zwischen dem bisherigen Ertrag der Solartthermie und dem theoretisch möglichen zeigt, dass momentan weniger als 1/3 der Energie genutzt wird.

Für diesen Vergleich dienen einerseits die Messungen des Solarertrags, durch das zentrale Energiecontrolling. Andererseits wurde das mögliche Potenzial der Solaranlage, mit dem Simulationsprogramm *Polysun* der Firma *Vela Solaris*, berechnet. Hierbei wurden die Globalstrahlungswerte des Standortes mit der gesamten Kollektorfläche und unter Berücksichtigung des Wirkungsgrades hochgerechnet.

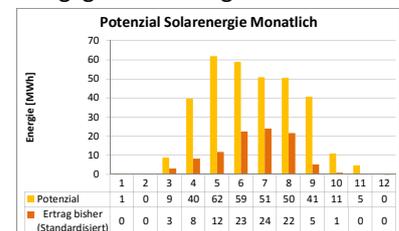


Abbildung 1: Potenzial Solarenergie monatlich

MASSNAHMENPAKET

Anhand der Analyse des Bedarfs, des Anlagebestands und des möglichen Potenzials, wird ein Massnahmenpaket empfohlen. Die Umsetzung dieser Massnahmen führt dazu, dass die formulierten Ziele, der erweiterten Solareinbindung und Geothermiespeicherbewirtschaftung, schrittweise umgesetzt werden. Ausserdem führen sie zu einer Verschiebung/Reduktion unter den Primärenergieträgern.

1. Massnahme:

Eine Veränderung der Ladefenster für die dezentrale Brauchwarmwassererzeugung führt zu abgeschwächten Lastspitzen und einer Reduktion des Strombedarfs der Elektroheizregister.

2. Massnahme

Der Holzsplitzelkessel soll mit einer festen Schaltung über die Heizperiode effizienter betrieben werden.

3. Massnahme

Für die beiden Wärme- Kältemaschinen wird auf der Wärmeseite eine Kaskadierung vorgesehen. Dadurch wird effizienter eine höhere Vorlauftemperatur erreicht. Im Sommer und in der Übergangszeit kann mit dieser Massnahme das Warmwasser ohne den Einsatz von Öl, Holz oder Direktstrom erzeugt werden.

4. Massnahme

Der Solarkreislauf wird über einen zusätzlichen Wärmetauscher so in das Heizsystem eingebunden, dass Solarwärmeenergie auf einem niederen Temperaturniveau in den Rück-

lauf des Heizsystems geliefert werden kann. Da die Niedertemperaturkollektoren bei einer Vorlauftemperatur von ca. 40°C den besten Wirkungsgrad haben, dienen sie als Vorwärmung für die anderen Erzeuger der Energiezentrale. Das Solarpotential kann damit zu einem Grossen teil ausgeschöpft werden.

5. Massnahme

Als letztes wird mit der Einbindung des Solarwärmetauschers eine Verbindung der Solaranlage mit dem Geothermiefeld erstellt. Diese Verbindung erlaubt es, das Geothermiefeld mit Hilfe der Niedertemperaturkollektoren im Gleichgewicht von ca. 17 [°C] zu halten. Es ist möglich, den Geothermiespeicher, bei einem zu grossen Wärmeentzug, auf sehr niederm Temperaturniveau wieder zu laden. Bei zu grossem Wärmeeintrag kann im Extremfall der Geothermiespeicher, durch einen nächtlichen Auskühlbetrieb, über die Kollektoren wieder entladen werden.

OPTIMIERTER PRIMÄRENERGIE-BEDARF

Diese Massnahmen erzeugen eine Verschiebung der Primärenergien und führen zu einer markanten Reduktion des nicht erneuerbaren Anteils.

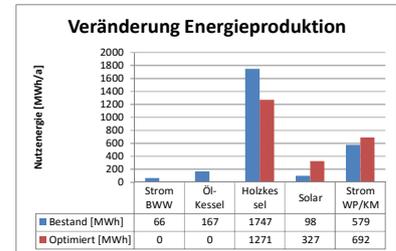


Abbildung 2: Veränderung Energieproduktion
Zudem reduziert sich der Ausstoss an CO₂ um ca. 58'000 [kg/a]

Hochschule Luzern
Technik und Architektur

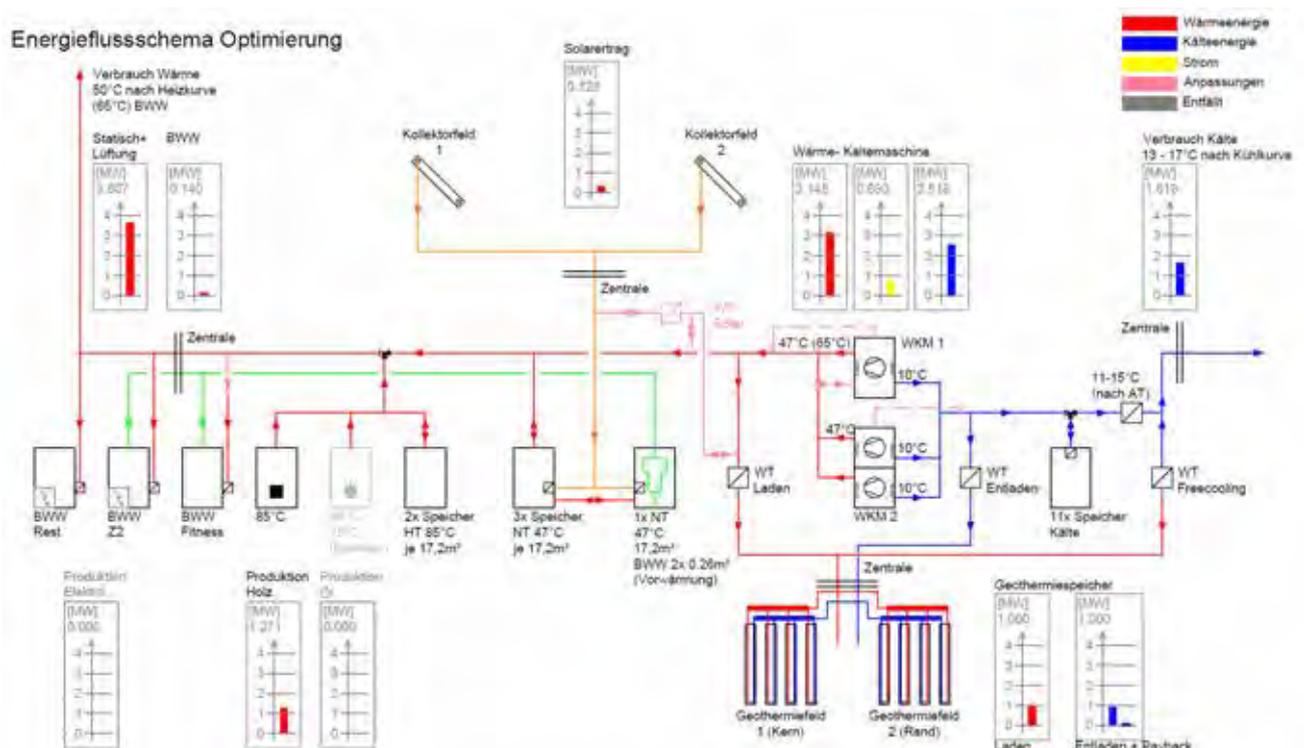
Bachelor Diplomarbeit in Gebäudetechnik 2016

Solarthermie im Verbund mit
einer Energiezentrale und
Geothermie

Betreuer: Matthias Balmer

Autoren: Sandra Kost

Timo Weiss





Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_10
an der Abteilung Gebäudetechnik

Smarter Einsatz einer Luft- / Wasserwärmepumpe

Studenten	Fabian Steiner Luc Olivier Iseli
Dozenten	Prof. Werner Betschart Prof. Reto von Euw
Experte	Prof. Dr. Frank Tillenkamp
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur
Abgabedatum	16. Juni 2016

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.

Smarter Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

Schweizweit werden pro Jahr ca. 11'700 Luft/Wasser-Wärmepumpen verkauft. Diese kostengünstige Bauart einer Wärmepumpe hat die Problematik, dass sie im Winter bei tiefen Aussentemperaturen mit tiefem COP betrieben wird, was sich negativ auf die Jahresarbeitszahl auswirkt. Das Ziel ist es, mittels Aussenluftvorwärmung die Quelltemperatur zu erhöhen und den COP anzuheben. Dies wirkt sich positiv auf die Jahresarbeitszahl aus. An den drei Standorten Davos, Lugano und Luzern wird der Einbau einer Vorwärmung auf ihren Nutzen untersucht und wirtschaftlich überprüft.

Hintergrund

Luft/Wasser-Wärmepumpen werden heute in kleineren Gebäuden, hauptsächlich im Wohnungsbau, monovalent und damit relativ kostengünstig, mit tiefem Coefficient of Performance (COP) und tiefer Jahresarbeitszahl (JAZ) über die Wintermonate eingesetzt und betrieben.

Eine typische Luft/Wasser-Wärmepumpe arbeitet bis ca. -20°C Aussenlufttemperatur problemlos, jedoch je tiefer die Temperatur, desto höher wird die eingesetzte hochwertige elektrische Energie um ein Gebäude zu heizen.

Zusammenfassend sind Luft/Wasser-Wärmepumpen günstig in der Investition, arbeiten an kalten Wintertagen jedoch unwirtschaftlicher als ihre Konkurrenz.

Projektziel

Das Ziel ist es die Effizienz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe zu steigern. Dies erfolgt über eine Quelltemperaturerwärmung. Die Vorwärmung erfolgt über einen Luftherhitzer, eingebaut im Ansaugkanal der Luft. Versorgt wird der Luftherhitzer mit Pumpen-Warmwasser, welches von einer thermischen Solaranlage bereitgestellt wird. Eine höhere Quelltemperatur verringert die Verdichter-Leistungsaufnahme der Wärmepumpe.

Variantenstudien

Der zusätzliche Aufwand und der Nutzen einer Vorwärmung soll mittels geeignetem Simulationsprogramm und einer Wirtschaftlichkeitsberechnung beurteilt werden. Um verschiedene Möglichkeiten miteinander zu vergleichen, werden Varianten benötigt. Nachfolgend in der Tabelle 1 ein Überblick über die gewählten Varianten. Es werden folgende Komponenten und Nutzungen unterschieden:

Nutzung: Einfamilienhaus oder Mehrfamilienhaus
Wärmepumpe: Luft/Wasser-WP oder Sole/Wasser-WP
Vorwärmung: Luftherhitzer oder Luftherhitzer mit Energiespeicher
Warmwasser: Warmwasserspeicher oder Frischwasserstation
Solaranlage: Flachkollektor
Kursiv: Basisvarianten ohne Vorwärmung

Tabelle 1: Gewählte Varianten

Var.	WP	Vorwärmung	Warmwasser	Solaranlage
<i>EFH01</i>	<i>LW-WP</i>	-	<i>WW-Speicher</i>	-
<i>EFH03</i>	<i>LW-WP</i>	-	<i>WW-Speicher</i>	<i>Flachkollektor</i>
<i>EFH08</i>	<i>S/W-WP</i>	-	<i>FWS</i>	-
EFH11	LW-WP	Luftherhitzer	WW-Speicher	Flachkollektor
EFH13	LW-WP	Luftherhitzer	FWS	Flachkollektor
EFH15	LW-WP	mit E-Speicher	WW-Speicher	Flachkollektor
<i>MFH01</i>	<i>LW-WP</i>	-	<i>WW-Speicher</i>	-
<i>MFH03</i>	<i>LW-WP</i>	-	<i>WW-Speicher</i>	<i>Flachkollektor</i>
<i>MFH07</i>	<i>S/W-WP</i>	-	<i>WW-Speicher</i>	-
MFH21	LW-WP	Luftherhitzer	WW-Speicher	Flachkollektor
MFH25	LW-WP	mit E-Speicher	WW-Speicher	Flachkollektor

Eine mögliche hydraulische Umsetzung der Variante EFH11/MFH21 ist in der Abbildung 1 ersichtlich.

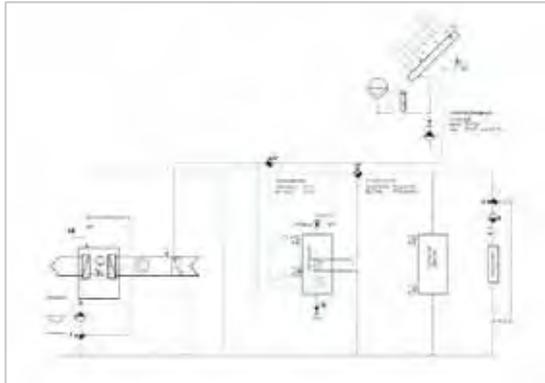


Abbildung 1: Hydraulische Einbindung der Komponenten

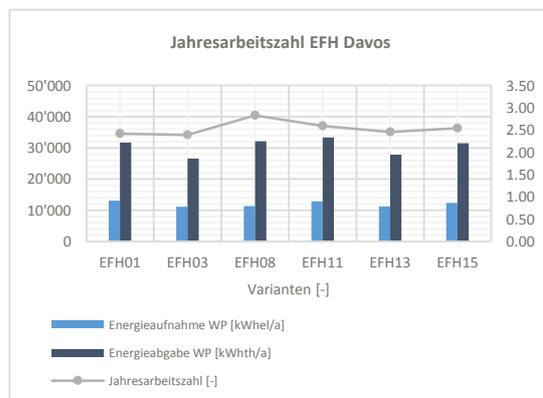
Simulation

Als Simulationsgrundlage dient das Programm IDA-Indoor Climate and Energy, kurz IDA-ICE. Dieses Programm aus dem Hause EQUA erlaubt es eine Gebäudesimulation über ein oder auch mehrere Jahre in kurzer Zeit zu bewerkstelligen.

Die gewählten Varianten werden für alle Standorte und Nutzungen modelliert und anschliessen simuliert. Für die drei Standorte sind die Klimadaten des SIA MB 2028 hinterlegt.

Anbei die grafische Auswertung (Diagramm 1) der Resultate für den Standort Davos, Nutzung EFH.

Diagramm 1: Auswertung Jahresarbeitszahl EFH Davos



Die graue Linie ist die Jahresarbeitszahl. Klar ersichtlich, dass die Sole/Wasser-Wärmepumpe

(EFH08) besser abschliesst als sämtliche Luft/Wasser-Wärmepumpen.

Die blauen Balken sind Energieaufnahme (elektrisch, hellblau) und Energieabgabe (thermisch, dunkelblau) der Wärmepumpe in kWh/a.

Die Varianten EFH03 (L/W-WP mit Solarnutzung), EFH08 (S/W-WP) und EFH13 (L/W-WP mit Solarnutzung und Vorwärmung) benötigen hierbei in etwa gleichviel elektrische Energie und rund 15% weniger um das Gebäude zu beheizen als, die Anlage des EFH01 (L/W-WP ohne Solarnutzung). Die Jahresarbeitszahl kann von 2.4 auf 2.6 erhöht werden.

Dieselben Resultate gelten für alle weiteren Standorte und Nutzungen, wobei Lugano knapp die Hälfte der Energie von Davos benötigt, und in Luzern der Solarertrag 1/3 geringer ist.

Wirtschaftlichkeit

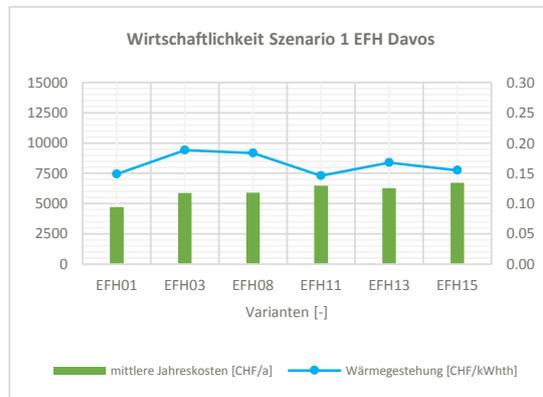
Eine Verbesserung einer Anlage im energietechnischen Bereich mit Kosten verbunden. Die Mehrkosten sollten den Mehrwert nicht übersteigen. Über eine wirtschaftliche Betrachtung kann der ökonomische Sinn einer Investition bestimmt werden. Dies erfolgt über ein dynamisches Verfahren der Investitionsrechnung nach der Annuitätenmethode. Als Vorlage dient das Skript «Ravel zahlt sich aus» des Bundesamtes für Konjunkturfagen [1]. Eine Berechnung nach dieser Art bringt hauptsächlich den Vorteil, dass über die ganze Nutzungsdauer auftretende Zahlungen berücksichtigt werden.

Im Diagramm 2 ist die Auswertung der Wirtschaftlichkeitsberechnung für den Standort Davos mit der Nutzung EFH ersichtlich.

Blau ist die Linie der Wärmegestehungskosten in CHF/kWh_{th}. Die grünen Balken entsprechend den

mittleren Jahreskosten in CHF/a, dem primär zu beurteilenden Parameter.

Diagramm 2: Auswertung Wirtschaftlichkeit EFH Davos



Im Vergleich zu der Analyse der Jahresarbeitszahl, verhält sich die Wirtschaftlichkeit entgegengesetzt. Die wirtschaftlich sinnvollste Variante ist eine Luft/Wasser-Wärmepumpe ohne jegliche Solarnutzung (EFH01). Die beiden Varianten EFH03 und EFH08 sind in etwa gleichwertig. Sämtliche drei Kombination mit einer Quellentemperatur Vorwärmung haben rund 10% höhere mittlere Jahreskosten (EFH11, 13 und 15), können aber mit den Wärmegestehungskosten in etwa mithalten. (Anmerkung: Subventionen für Solaranlagen wurden in der Berechnung nicht berücksichtigt).

Erkenntnisse

- Eine nach den beschriebenen Varianten umgesetzte Vorwärmung des Quellenmediums einer Luft/Wasser-Wärmepumpe ist derzeit nicht wirtschaftlich.
- Energietechnisch betrachtet sind die Anlagen mit einer Vorwärmung in etwa gleichwertig mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe mit Solarnutzung oder einer Sole/Wasser-Wärmepumpe.

- Die Jahresarbeitszahl kann um 2-4% gesteigert werden. Die Energieeinsparung durch die Vorwärmung liegt bei ca. 15%.
- Im Luft/Wasser-Wärmepumpenmodell der Simulation ist kein Abtaubetrieb integriert. (Allfällige Einflüsse des Abtauens sind nicht berücksichtigt).

Empfehlungen

- Eine Solaranlage in Kombination mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe macht durchaus Sinn. Energietechnisch sinnvoll und Wirtschaftlich vertretbar.
- Prüfung einer direkten Solarnutzung als Quelle.
- Abtaubetrieb genauer überprüfen, allenfalls besteht ein Mehrwert durch weniger Energieaufwand im Abtaubetrieb

Quellen

[1] Müller, A. & Walter, F. (August / 1992). *RAVEL zahlt sich aus: Praktischer Leitfaden für Wirtschaftlichkeitsberechnungen*. Materialien zu RAVEL. Bern.

Hochschule Luzern Technik & Architektur

Bachelordiplomarbeit Gebäudetechnik 2016
Smarter Einsatz einer Luft/Wasser-Wärmepumpe

Betreuer

Prof. Werner Betschart

Prof. Gerhard Zweifel (für die Simulation)

Studierende

Fabian Steiner, Luc Olivier Iseli



Bauteilkühlung

In dieser Bachelorarbeit sollen die Möglichkeiten und Grenzen einer Bauteilkühlung untersucht werden. Schwerpunkt der Arbeit soll das Vergleichen des noch neuen Luftsystems mit einer thermoaktiven Bauteilaktivierung mit Wasser und einem Hybridsystem mit Kühldeckensegel sein. Meist wird sowieso schon eine Lüftungsanlage geplant und deshalb soll untersucht werden, ob dieses Zuluft-System mit einbetonierten Rippenrohren eine gute Alternative zu anderen Kühlsystemen wäre und bis zu welchen Grenzen es Sinn macht ein solches Luftsystem überhaupt einzusetzen. Zusätzlich darf die wirtschaftliche Betrachtung nicht fehlen und wird deshalb ebenfalls in dieser Arbeit bearbeitet.

Modellraum

Als Grundlage für die Bearbeitung dient ein Normbürogebäude mit einem Fensteranteil von 50% und Parametern, sowie Nutzungsprofilen gemäss SIA Merkblattes 2024.

Aus diesem Gebäude werden jeweils ein Süd-Ost-, sowie ein Nord-West-Grossraumbüro mit der Simulation untersucht. Aufgrund der starken Abhängigkeit des Sommerbetriebs von der Art der Sonnenschutzregelung werden bei den technischen Betrachtungen verschiedene

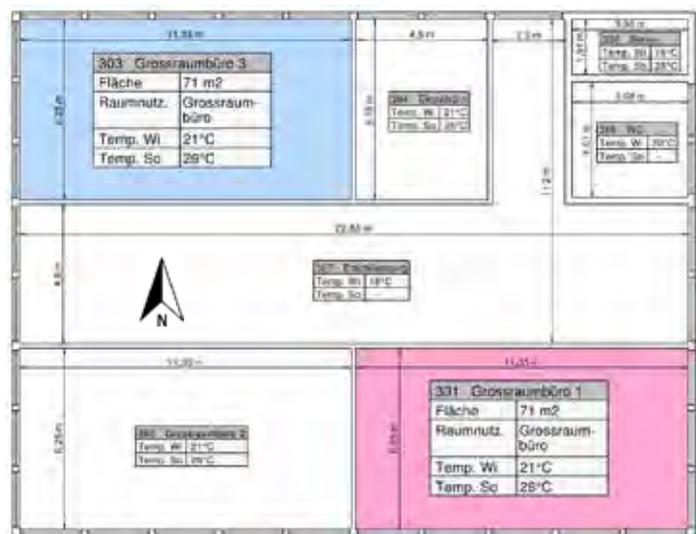


Abb. 1: Normgeschoss Bürogebäude

Regelstrategien (ohne, manuell, automatisch) vorausgesetzt. Die Kriterien für die Beurteilung der thermischen Behaglichkeit und der Wirtschaftlichkeit sind einerseits Investitions- und Betriebskosten pro Raumfläche und andererseits die Anzahl Überhitzungsstunden, während welchen die Raumtemperatur über dem Wert gemäss SIA Merkblatt 2024 liegt.

Varianten im Vergleich

In der Variantenstudie sollen möglichst alle verfügbaren Kälteabgabesysteme abgedeckt werden. Zu diesem Zweck werden vier Varianten auf ihre Vor- und Nachteile untersucht.

- **Variante A** (Luftsystem): Zuluft-Bauteilaktivierung mit Rippenrohren (ohne Luftkühler)
- **Variante A+** (Luftsystem): Zuluft-Bauteilaktivierung mit Rippenrohren (mit Luftkühler)
- **Variante B** (Wassersystem): Wasserführende Bauteilaktivierung
- **Variante C** (Hybridsystem): Heruntergehängte Deckensegel

Da insbesondere bei der Bauteilkühlung mit Zuluft ein grosses Einsparpotential bei den Investitionskosten aufgrund der Mehrfachnutzung (Heizen, Lüften, Kühlen) vermutet wird soll in erster Priorität dieses Konzept mit den herkömmlichen Systemen verglichen werden.

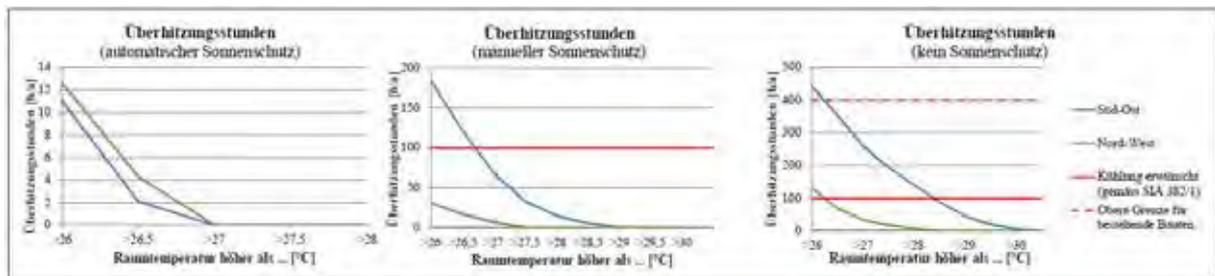


Abb. 2: Überhitzungsstunden bei verschiedenen Sonnenschutzregulierungen

Zur Beurteilung der Einsatzgrenzen der freien Kühlung, sind im folgenden Diagramm die Überhitzungsstunden mit einer Zuluft-Bauteilaktivierung und den verschiedenen Sonnenschutzregulierungen ersichtlich. Es ist erkennbar, dass die thermische Behaglichkeit bei einem manuellen Sonnenschutz knapp nicht erreicht wird (Süd-Ost-Büro etwa 130 Stunden über 26,5°C).

Damit die gewünschten Raumtemperaturen garantiert werden können, muss entweder ein zentraler Luftkühler oder ein automatischer Sonnenschutz eingesetzt werden.

Ein wichtiger Punkt für die Bestimmung der Wirtschaftlichkeit sind die unterschiedlichen Energieverbräuche der verschiedenen Systeme. Während beim Zuluft-System ein hoher Grad an freier Kühlung erreicht wird, muss gleichzeitig mehr elektrische Energie für den Betrieb der Ventilatoren aufgewendet werden. Der gesamte Endenergiebedarf setzt sich aus Raumkühlung, -heizung, Luft- und Wasserförderung zusammen. Obwohl beim Zuluft-System mehr Energie für den Ventilator benötigt wird, ist der Endenergiebedarf beim Wasser- und Hybridsystem grösser.

Tab. 1: Zusammenfassung Endenergiebedarf

	Luftsystem ohne Luftkühler	Luftsystem mit Luftkühler	Wassersystem	Hybridsystem
Elektrisch	10,2 kWh/(m ² a)	10,7 kWh/(m ² a)	11,2 kWh/(m ² a)	11,2 kWh/(m ² a)

Wirtschaftlichkeit

Für die Bewertung der Wirtschaftlichkeit werden die Investitionskosten, sowie die Betriebskosten, welche über 35 Jahre Lebensdauer der gebäudetechnischen Anlage anfallen berechnet.

Die Resultate der Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigen, dass eine Bauteilaktivierung über die Zuluft (ohne Luftkühler) in Bezug auf die Investitions- und Betriebskosten die preiswerteste Lösung ist.

Allerdings hat die Variantenstudie gezeigt, dass nicht in allen Fällen ein behagliches Raumklima gewährleistet werden kann. Die anderen zwei Systeme sind zwar mit höheren Kosten verbunden, garantieren aber über die gesamte Nutzungszeit Raumtemperaturen im Bereich der geforderten Werte. In der Abbildung 3 sind die Investitions- und Betriebskosten der verschiedenen Systeme ersichtlich. Somit sind die Betriebskosten über die Lebensdauer unter den verschiedenen Systemen nicht weit auseinander. Jedoch die Investitionskosten unterscheiden sich viel mehr und zeigen sehr deutlich, dass das Luftsystem das günstigste von allen ist.

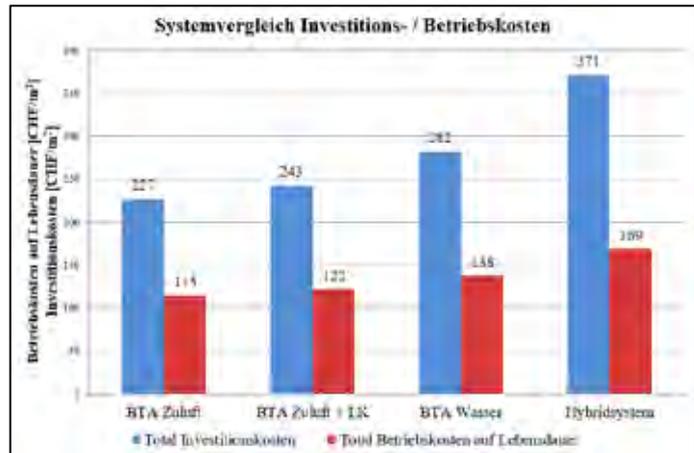


Abb. 3: Systemvergleich Investitions- / Betriebskosten

Erkenntnis

Das lässt den Schluss zu, dass das Luftsystem eine sehr gute Alternative zum Wassersystem ist, jedoch nur bis zu einer gewissen Grenze. Mit Luft lässt sich nie so viel Wärme aus dem Raum abtransportieren wie mit Wasser. Dennoch darf dieses System nicht einfach abgeschrieben werden nur weil Luft die schlechtere Wärmekapazität hat als Wasser.

Wenn in einem Gebäude nicht zwingend eine Kühlung vorgesehen werden muss und die Kühllast im Bereich des Möglichen der Zuluft-Bauteilkühlung liegt, ist das Luftsystem das perfekte System. Eine raumluftechnische Anlage ist in den heutigen Bauten sowieso nicht mehr wegzudenken, deshalb kann diese auch gleich zusätzlich genutzt werden. Es kann somit ein Mehrnutzen aus der Lüftungsanlage gezogen werden, so dass der Nutzer sich im Sommer bei warmen Tagen wohler fühlt und die Behaglichkeit im Raum gesteigert wird.

Ausblick

Insbesondere die Bestimmung der Einsatzgrenze der freien Kühlung (Nachtauskühlung und Nutzung der Speichermasse, adiabatische Kühlung, etc.) für unterschiedliche Nutzungen und Gebäude mit verschiedenen Parametern vor allem im Bereich der Gebäudehülle, wäre schon als eigenes Thema zu bearbeiten. Denn diese Arbeit hat gezeigt, dass zumindest Bürogebäude mit kleinem Fensteranteil und einer Kombination aus Zuluft-Bauteilkühlung (nur Nachtauskühlung) und einem automatischen Sonnenschutz ohne aktive Kühlung auskommen können.

Des Weiteren kann untersucht werden, in welchen zusätzlichen Nutzungen (z.B. Wohnungsbau, Patientenzimmer etc.) ein System mit Luftkühlung und Rippenrohren denkbar wäre, da mit diesem System Montagehöhe und Flächen für Technikzentralen eingespart werden können.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_12
an der Abteilung Gebäudetechnik

Klima als Konzeptfaktor

Studenten	Samuel Stettler Philipp Senn
Dozenten	Prof. Dr. Axel Seerig Prof. Kurt Hildebrand
Experte	Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: GIZ – Deutsche Gesellschaft für Internationale Zusammenarbeit)
Abgabedatum	10. Juni 2016
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.

Klima als Konzeptfaktor

Bekannterweise besteht unsere Erde aus verschiedenen Klimazonen. In jeder Klimazone wird ein dafür passendes Gebäudekonzept gebaut, doch wie verhält sich dieses Konzept, wenn es unter anderen klimatischen Bedingungen gebaut wird?

Diese Diplomarbeit widmet sich einem Vergleich zweier Standorte, die auf den ersten Blick ein ähnliches Klima aufweisen. Bei genauerer Betrachtung stellt sich jedoch heraus, dass sie unterschiedlicher nicht sein könnten. Es handelt sich dabei um die Standorte Bishkek in Kirgistan, Zentralasien und Zürich, in der Schweiz. Diese zwei Standorte stehen im Mittelpunkt der Untersuchungen zu den klimatischen Auswirkungen auf die Gebäudetechnik und auf die Gebäudehülle. So ist zum Beispiel ein Standortwechsel einer Photovoltaikanlage oder eines Verdunstungsrückkühlers simuliert worden, um daraus mögliche Erkenntnisse zur Effizienzsteigerung zu gewinnen.

Vergleich Klimazonen

Der Vergleich der verschiedenen Standorte ist anhand von verschiedenen klimatischen Parametern erfolgt. Die untersuchten Standorte sind Abuja, Bishkek, Stockholm und Zürich. Alle diese Standorte, mit Ausnahme von Abuja, liegen in der kühltemperierten Klimazone. Dies soll beweisen, dass Unterschiede schon in der gleichen Klimazone auftreten. Der Jahrestemperaturverlauf in der Abbildung 1 soll dies verdeutlichen. Es ist daraus ersichtlich, wie die mittlere Monatstemperatur verläuft. Bemerkenswert ist, dass im Sommer in Bishkek die gleiche mittlere Monatstemperatur herrscht wie in Abuja.

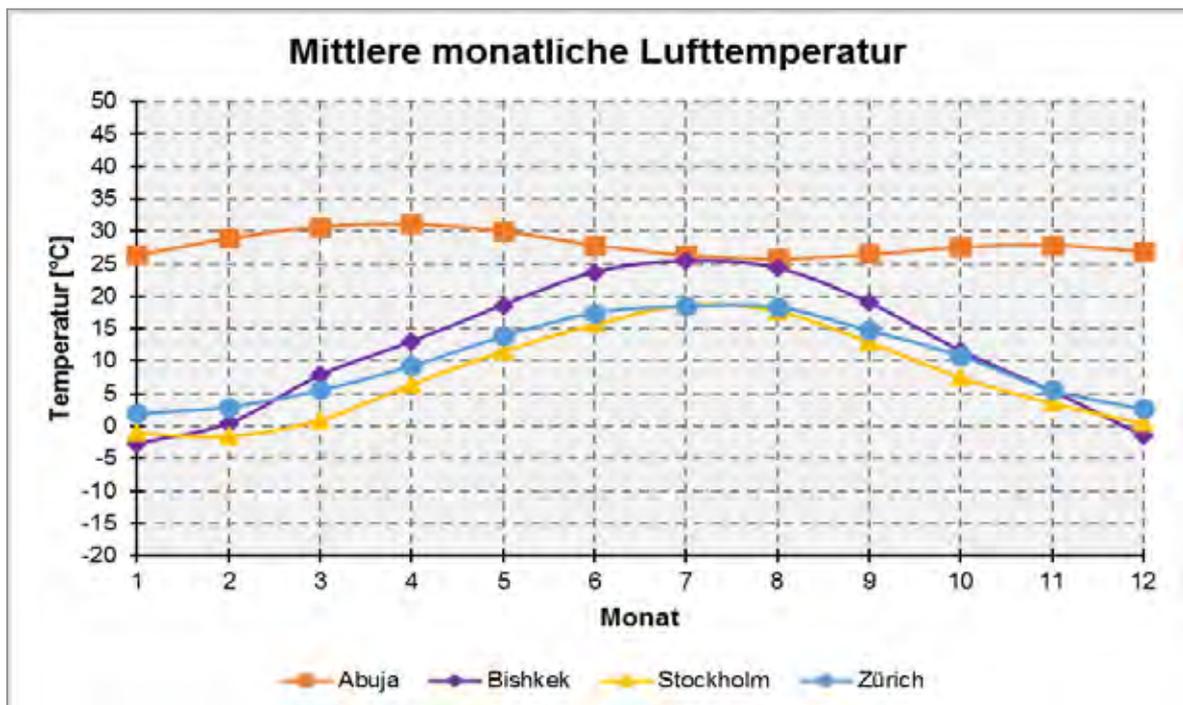


Abbildung 1: Verlauf mittlere monatliche Lufttemperatur für die vier Standorte Abuja, Bishkek, Stockholm und Zürich

Die klimatischen Auswirkungen auf die Gebäudetechnik

Der Vergleich der beiden Standorte hat ergeben, dass in Bishkek eine höhere Globalstrahlung zu erwarten ist als in Zürich. Somit kann erwartet werden, dass eine Photovoltaikanlage in Bishkek tendenziell besser funktioniert als in Zürich. Die Simulationsergebnisse haben diese Vermutung bestätigt. Die untenstehende Abbildung soll dies verdeutlichen, sie zeigt eine Photovoltaikanlage welche zur Unterstützung der Heizung und Kühlung eingesetzt wird. Die Heizung sowie die Kühlung erfolgt dabei über Split-Klimageräte. Das Gebäude ist mit zwei verschiedenen Gebäudehüllen ausgestattet worden. Der Bestand repräsentiert die in Bishkek ortsübliche Bauweise, während die Optimierung das Resultat einer Gebäudehüllen Optimierung darstellt. Es zeigt sich klar, dass in Zürich mehr Photovoltaikmodule benötigt werden um den elektrischen Energiebedarf der Klimageräte zu decken. Ebenso zeigt sich, dass der Kühlerenergiebedarf in Zürich um einiges kleiner ist.

Erkenntnisse

Das Klima setzt sehr enge Grenzen oder lässt sehr viel Potenzial offen zur effizienten Klimatisierung von Gebäuden. Das Klima der Standorte hat einen sehr grossen Einfluss auf die Funktion der Gebäudehülle.

Vorgehensweise

Zuerst sind die verschiedenen Standorte auf ihr individuelles Klima analysiert worden, anhand dieser Erkenntnisse sind dann verschiedene Konzept aufgestellt worden, welche am Standort Bishkek auf ihre Tauglichkeit überprüft wurden. Die Massnahme welche am Standort Bishkek am besten funktioniert hat wurde anschliessend mit dem Standort Zürich verglichen um zu erkennen, was das vorhandene Klima für einen Einfluss auf das Konzept hat.

Schlusswort

Diese Arbeit ist in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Institut für Internationale Zusammenarbeit (GIZ), Eschbon durchgeführt worden.

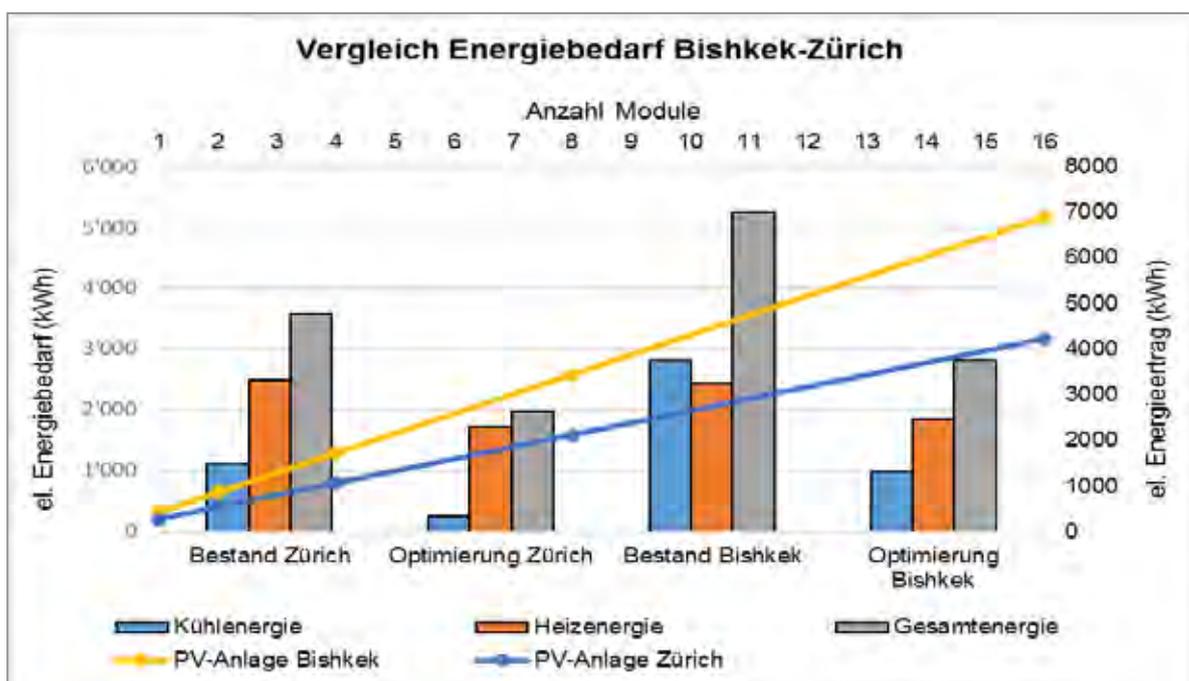


Abbildung 2: Vergleich elektrischer Energiebedarf für ein Klimagerät zum Heizen und Kühlen in Bishkek und Zürich



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_13
an der Abteilung Gebäudetechnik

Natürliche Lüftung in Wohnbauten

Studenten	Vanessa Frei Marcel Signer
Dozenten	Prof. Kurt Hildebrand Prof. Arnold Brunner
Experte	Bruno Soder
Auftraggeber	Beat Frei Aicher, De Martin, Zweng AG, Würzenbachstrasse 56, 6006 Luzern
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Natürliche Lüftung in Wohnbauten

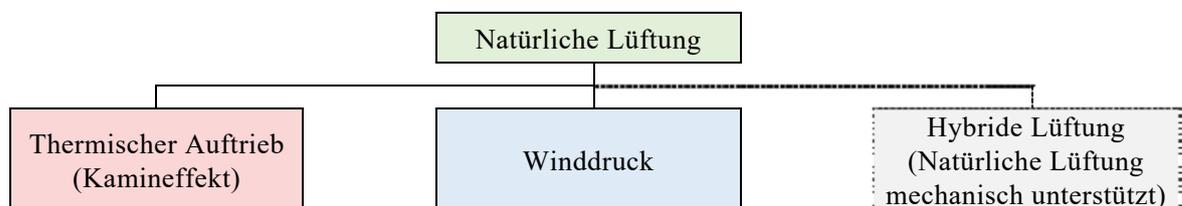
Aus Schallschutz-, Behaglichkeits- und Energiegründen werden heutzutage die Gebäudehüllen möglichst luftdicht geplant und ausgeführt, wodurch der natürliche Luftaustausch durch Undichtheiten in der Gebäudehülle minimiert wird. Um Schäden an der Bausubstanz (wie zum Beispiel Schimmel) zu vermeiden und ein behagliches Raumklima zu gewährleisten, ist ein regelmässiger Luftaustausch zwingend notwendig. Nach der «SIA 180 Wärmeschutz, Feuchteschutz und Raumklima in Gebäuden» ist bereits im Vorprojekt ein Lüftungskonzept zu erstellen. Ein Planungsleitfaden für Schweizer Wohnbauten soll die Planung einer natürlichen Lüftung erleichtern. Dabei sind die Aspekte der Behaglichkeit, des Brandschutzes, der Typologie und der Topografie miteinbezogen.

Was ist natürliche Lüftung?

Eine natürliche (oder auch freie) Lüftung zeichnet sich durch den Luftaustausch in einem Gebäude, welcher nur durch thermisch- und windinduzierte Kräfte erreicht wird, aus.

Prinzip der natürlichen Lüftung

Es gibt verschiedene Arten, wie Gebäude natürlich gelüftet werden können. Je nach Wetterlage und Anordnung der Luftdurchlässe wird ein anderer differenzdruckerzeugender Effekt überwiegend genutzt. Reichen die natürlichen Kräfte nicht aus, kann mittels mechanischer Unterstützung der benötigte Luftvolumenstrom sichergestellt werden. Bei einer solchen Lösung spricht man von einem hybriden System. Eine natürliche Lüftung muss ohne den Windeinfluss funktionieren, da dieser je nach Lage und Ausführung des Gebäudes differenziert zu betrachten ist. Zu den Grundvarianten einer natürlichen Lüftung gehören die Fugenlüftung, die einseitige Lüftung, die Querlüftung oder auch die Schachtlüftung.



Evaluation im Vorprojekt

Es hat sich gezeigt, dass die Planung einer natürlichen Lüftung eine intensive Einbringung des Lüftungsplaners im architektonischen Konzept erfordert. In Abbildung 1 ist das Vorgehen der Beurteilung einer Gebäudetypologie aufgeführt. Es ist ersichtlich, dass bis zur Erarbeitung eines Sanierungs- / Lüftungskonzeptes bereits die Umgebung des Gebäudes, die Eigenschaften des Bauwerks und der Gebäudehülle und das Gebäudeinnere analysiert werden müssen.

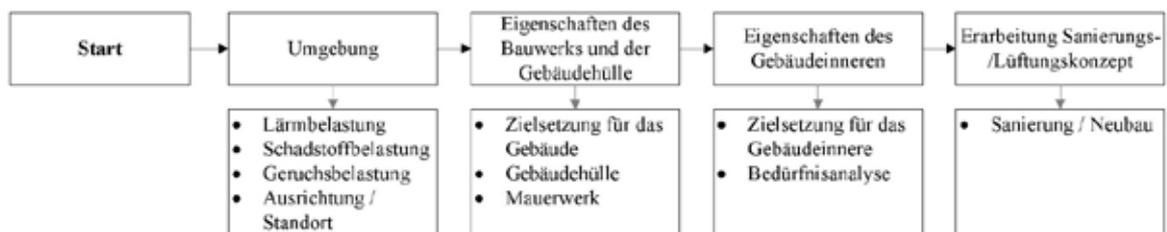


Abbildung 1: Vorgehen Beurteilung der Gebäudetypologie

Windrose

Die lokalen Gegebenheiten und Einsatzgrenzen (wie z. B. Standort, Umgebung usw.) müssen analysiert und bewertet werden. Während die Aussenlufttemperatur grossflächig ähnliche Werte aufweist, ist dies beim Wind nicht der Fall. Ein markanter Teil der Schweiz ist durch Berge und Hügel definiert. In diesen Regionen kann mit Hilfe der bei den Wetterstationen gemessenen Daten keine Aussage zur Windgeschwindigkeit am Standort gemacht werden, ohne Anwohner oder lokale Messungen zu Hilfe zu ziehen. Mit Hilfe von Windrosen (z. B. Windrose Zürich-Kloten siehe Abbildung 2), welche auf den Winddaten der SIA 2028:2010 basieren, kann für jedes System die Ausrichtung eines Gebäudes oder der Öffnungen einer natürlichen Lüftung vorteilhaft gewählt werden. Bei der Windrose von Zürich-Kloten (Abbildung 2) weist der Wind aus Westen die höchsten Geschwindigkeiten auf. Wie in der Abbildung 3 ersichtlich, entstehen bei Wind Über- und Unterdruckzonen. Bei beidseitigen Öffnungen kann dieser Effekt für die Querlüftung genutzt werden. Sind die Öffnungen jedoch nur auf einer Seite angeordnet, kann dies auf der Unterdruckseite dazu führen, dass der Ventilator oder der Schacht den Differenzdruck nicht überwinden kann und so der Aussenluftvolumenstrom nicht gewährleistet wird. Aus diesem Grund darf die Ausrichtung je nach System nicht vernachlässigt werden.

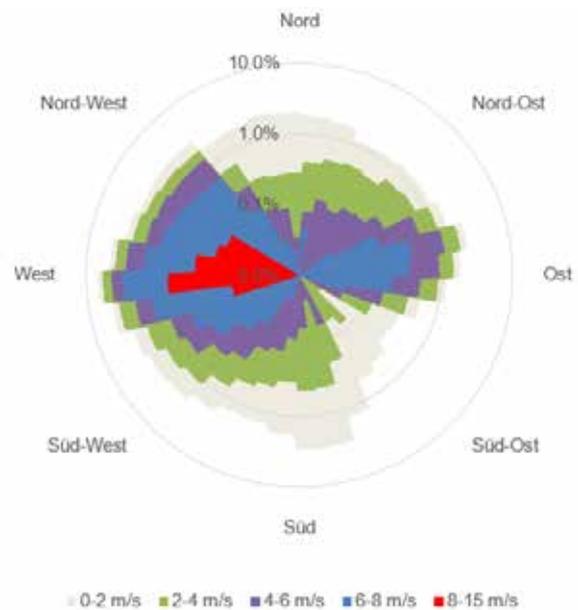


Abbildung 2: Windrose Zürich-Kloten

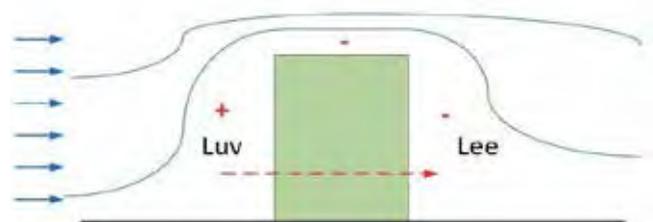
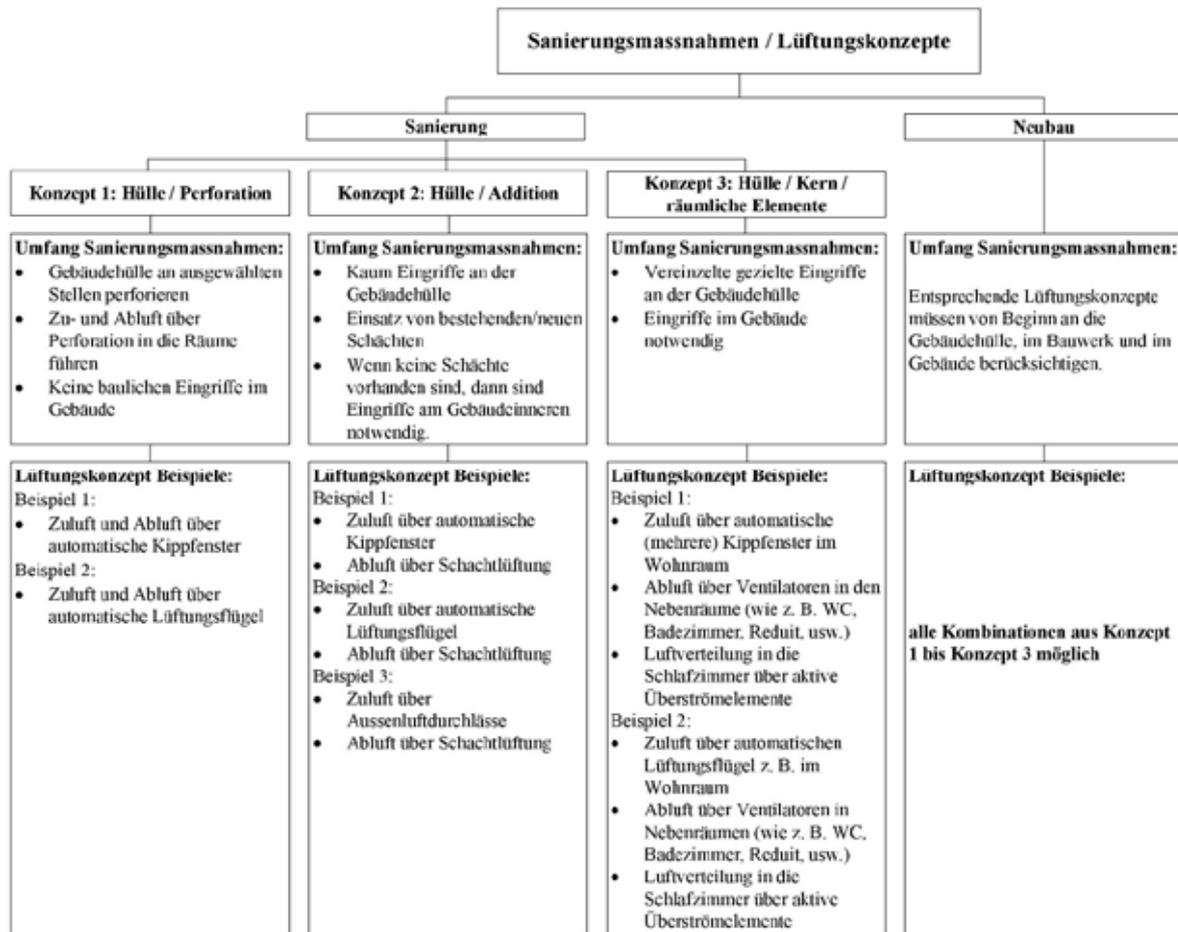


Abbildung 3: Druckverhältnisse an der Fassade (Trogisch 2015)

Zusammenfassung der Lüftungs- und Sanierungskonzepte

Anhand der Evaluation im Vorprojekt, den erstellten Windrosen und einem Referenzgebäude sind verschiedene Lüftungs- und Sanierungskonzepte entwickelt worden (siehe Abbildung 4). Je nach Eindringungstiefe in die Gebäudestruktur ist ein Konzept mehr oder weniger geeignet.

Abbildung 4: Sanierungsmassnahmen und Lüftungskonzepte



Fazit

Der erarbeitete Leitfaden zeigt auf, welche Aspekte bei einer natürlichen Lüftung in Wohnbauten beachtet werden müssen und wie mögliche Lüftungs- und Sanierungskonzepte aussehen könnten. Zusätzlich werden Empfehlungen für das Vorgehen während den SIA-Phasen 2-6 dargelegt und die Verantwortung der einzelnen Komponenten den jeweiligen Gewerken zugeordnet.

Zur Überprüfung des Leitfadens sind anhand eines Referenzgrundrisses diverse Systeme simuliert und miteinander verglichen worden. Es hat sich gezeigt, dass der Feuchteschutz bei passender Ausrichtung und Auslegung mit jedem System erreicht werden kann. Die CO₂-Konzentration in den Räumen kann bei automatisierten Kippfenstern mit einer einfachen Lüftungsanlage mithalten, benötigt dafür jedoch den dreifachen Primärenergieaufwand.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die simulierten Varianten, im Gegensatz zur einfachen Lüftungsanlage, einen ca. 2.5- bis 4-fach höheren Primärenergieaufwand aufweisen. Das Potenzial einer natürlichen Lüftung kann bei höheren internen Lasten als bei Wohnbauten, höher eingestuft werden.

Quellenverzeichnis

Trogisch, Achim (2015): Planungshilfen Lüftungstechnik. 5., überarb. und erw. Aufl. Berlin: VDE Verlag.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_14
an der Abteilung Gebäudetechnik

Gesamtheitliches Energiekonzept Bildungszentrum Wallierhof

Studenten	Martijn Visser Philipp Reust
Dozenten	Prof. Joachim Ködel Prof. Arnold Brunner
Experte	Roger Neukomm
Auftraggeber	Hochbauamt Kanton Solothurn Immobilienentwicklung Rötihof Herr Christian Bürgisser
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Gesamtheitliches Energiekonzept Bildungszentrum Wallierhof

Das Thema Nachhaltigkeit ist heutzutage in aller Munde. Auch beim Bildungszentrum Wallierhof in der Gemeinde Riedholz. Der Kanton Solothurn strebt die 2000 Watt Gesellschaft an, wobei dem Gebäudepark eine entscheidende Rolle zukommt. Um die Energieeffizienz auf dem Areal Wallierhof zu verbessern, ist bei der Hochschule Luzern ein umfassendes Energiekonzept in Auftrag gegeben worden. Die Bestandesanalyse hat gezeigt, dass der Energieverbrauch zu hoch ist und die Wärmeerzeugung ineffizient betrieben wird. Weiter wird ein Grossteil des Warmwassers elektrisch erzeugt und Abwärmequellen sind nicht erschlossen. Im Rahmen einer Bachelor Diplomarbeit wurden verschiedene Energiekonzepte erarbeitet und ein Vorschlag für einen zukünftig effizienteren Betrieb gemacht. So sollen die bestehenden technischen Anlagen optimiert, der Verbrauch gesenkt und erneuerbare Energien gefördert werden.

Die Energiewende ist heute aktueller denn je, so auch auf dem Areal des Bildungszentrums Wallierhof, welches in Riedholz, Kanton Solothurn, situiert ist. Als kantonales Bauobjekt genießt das Areal Wallierhof besondere Aufmerksamkeit. Der Kanton möchte hier seine Vorbilds Funktion wahrnehmen und den selbst ausgewiesenen Energieziele entgegenschreiten. So sollen bis zum Jahr 2050 in sämtlichen staatlichen Gebäuden die Zielwerte des Heizwärmebedarfs nach MuKEn (Mustervorschriften der Kantone im Energiebereich) erreicht werden. Zudem werden die Zielwerte des «SIA Effizienzpfades Energie» angestrebt, die im Rahmen der 2000 Watt Gesellschaft definiert wurden und eine nachhaltige Energieerzeugung zum Ziel haben.

Um diesen hohen Anforderungen auch bei bestehenden Bauten wie im Gebäudepark Wallierhof gerecht zu werden, ist ein gesamtheitliches Energiekonzept für das Areal in Auftrag gegeben worden. Das Konzept soll als Grundlage für eine Machbarkeitsstudie dienen. Ziel ist es, die Energieeffizienz des Areals zu steigern, den Bestand zu optimieren und erneuerbare Energien zu fördern.

Um sicherzustellen, dass bei der Entwicklung des Energiekonzepts keine Einflüsse unbeachtet bleiben, wurde die Konzipierung an eine in drei Schritten strukturierte Vorgehensweise gebunden. In einem ersten Schritt wird eine Analyse durchgeführt, in der einerseits der Bestand und andererseits alle am Standort verfügbaren Energieträger umfassend untersucht werden. In einem zweiten Schritt werden erkannte Potenziale aus der vorangegangenen Analyse zu Varianten entwickelt. Abschliessend werden die verschiedenen Varianten einer Nutzwertanalyse unterzogen wobei ökonomische, ökologische und gesellschaftliche Aspekte gewertet werden.

Optimierung Energieverbrauch

Die Analyse der Energieflüsse hat gezeigt, dass die Zielwerte für den Heizwärmebedarf und die Warmwasser Erzeugung deutlich überschritten werden. Ausser bei dem 2008 erstellten Schulgebäude, sollte bei sämtlichen Gebäudehüllen eine Sanierung angestrebt werden, wobei das Nebengebäude, wie auf der nachfolgenden Grafik ersichtlich ist, das grösste Einsparpotenzial aufweist:

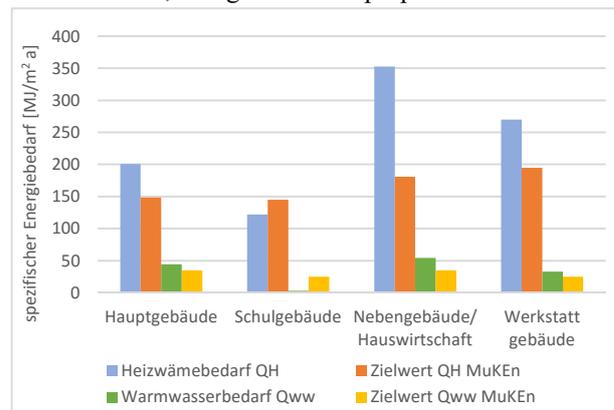


Abbildung 1 Jahresenergieverbrauch Heizung und Warmwasser im Vergleich mit den MuKEn Zielwerten

Der Warmwasserverbrauch wird durch den Nutzer bestimmt und die Technik kann nur die Erzeugung beeinflussen. Das Brauchwarmwasser (BWW) wird heute im Sommer elektrisch erzeugt, was zukünftig vermieden werden soll. Zudem kann die anfallende Abwärme in der Heizzentrale mit einer Wärmepumpe auf ein nutzbares Niveau angehoben und unterstützend für die BWW Erwärmung eingesetzt werden. Auch der Stromverbrauch ist nutzerabhängig. Künftig sollen effiziente Endverbraucher wie z.B. LED Leuchten eingesetzt werden, um die Zielwerte der 2000 Watt Gesellschaft zu erreichen.

Für eine nachhaltigere Gestaltung der Stromversorgung, soll ein Strommix mit Herkunftsnachweis aus erneuerbaren Quellen bezogen werden. Weiter ist die Eigenstromverbrauchsdeckung durch die Photovoltaikanlage auf dem Areal zu prüfen, indem eine elektrische Tagesspeicherung angestrebt wird.

Optimierung der Wärmeerzeugung

Die bestehende Wärmeerzeugung mit einer Pelletsfeuerung als Grundlast- und einer Ölf Feuerung als Spitzenlastheizung wird nicht optimal betrieben. Der energetische Deckungsgrad der Grundlastheizung beträgt 53% bei theoretisch möglichen 85%. Um die Laufzeiten der Grundlastheizung zu erhöhen und somit den Ölverbrauch zu minimieren, sind diverse Optimierungsmassnahmen vorgesehen:

Der Spitzenlastkessel ist heute parallel eingebunden, womit dem Grundlastkessel Arbeit abgenommen wird. Um dies zu verhindern, arbeitet der Spitzenlastkessel neu seriell, also ergänzend zum Grundlastkessel. Weiter soll die Wärmeerzeugung mit einem Energiespeicher ergänzt werden. Dadurch können die Laufzeiten in den Übergangsphasen erhöht und die Schaltzyklen reduziert werden. So steigen Wirkungsgrad und Lebensdauer des Wärmeerzeugers. Der bestehende Pelletskessel hat einen schlechten Wirkungsgrad, ist überdimensioniert und störungsanfällig. Ein Ersatz ist aus ökologischer sowie aus ökonomischer Sicht notwendig. Es wird vorgeschlagen, den Brennstoff Pellets durch Hackschnitzel zu ersetzen. Hackschnitzel schaffen einen lokalen Mehrwert, sind günstiger als Pellets und haben eine bessere Umweltbilanz. Durch den zusätzlichen Platzbedarf für die gleiche Energiemenge muss das Brennstofflager vergrössert werden. In einem letzten Schritt soll die fossile Spitzenlastdeckung, ebenfalls durch einen Hackschnitzelkessel ersetzt werden.

Diese Massnahme wird jedoch erst durchgeführt, wenn der Ölkessel am Ende seiner Lebensdauer angelangt ist. Somit kann die Wärmeerzeugung künftig 100 % erneuerbar erfolgen.

Daten und Fakten zum Areal:

Energiebezugsfläche	7'700	[m ²]
Energiebedarf Heizung	560	[MWh/a]
Energiebedarf WW	110	[MWh/a]

Auswirkungen der Optimierungen:

Öl Einsparung	25'000	[l/a]
CO ₂ Einsparung	97'000	[kg/a]

Zusätzliche Massnahmen

Optional kann die Wärmeerzeugung künftig durch eine Biogasanlage unterstützt werden. Ein finanzieller Mehrwert ist zwar nicht gegeben, jedoch kann die Anlage zu Ausbildungszwecken genutzt werden. Eine Stromspeicherung auf dem Areal ist wirtschaftlich ebenfalls nicht sinnvoll, dies kann sich jedoch in Zukunft ändern, weshalb diese Option nicht ausgeschlossen werden soll.

Als letztes optionales Paket soll das Wohnhaus ebenfalls in den Nahwärmeverbund eingebunden werden den dezentralen Ölkessel ersetzen.

Fazit

Welchen ökologischen Mehrwert die verschiedenen Massnahmen generieren, ist in folgender Grafik dargestellt. Es ist erstaunlich, dass die Zielwerte «nicht erneuerbare Primärenergie» bereits mit dem Wechsel von Grau- auf Blaustrom erreicht werden.

Der Zielwert zum CO₂ Ausstoss wird jedoch erst mit Ersatz der Spitzenlastfeuerung unterschritten. Mit der Umsetzung vorgesehener Massnahmen kann am Bildungszentrum Wallierhof ein Referenzobjekt für kantonales Energie- und Umweltbewusstsein geschaffen werden.

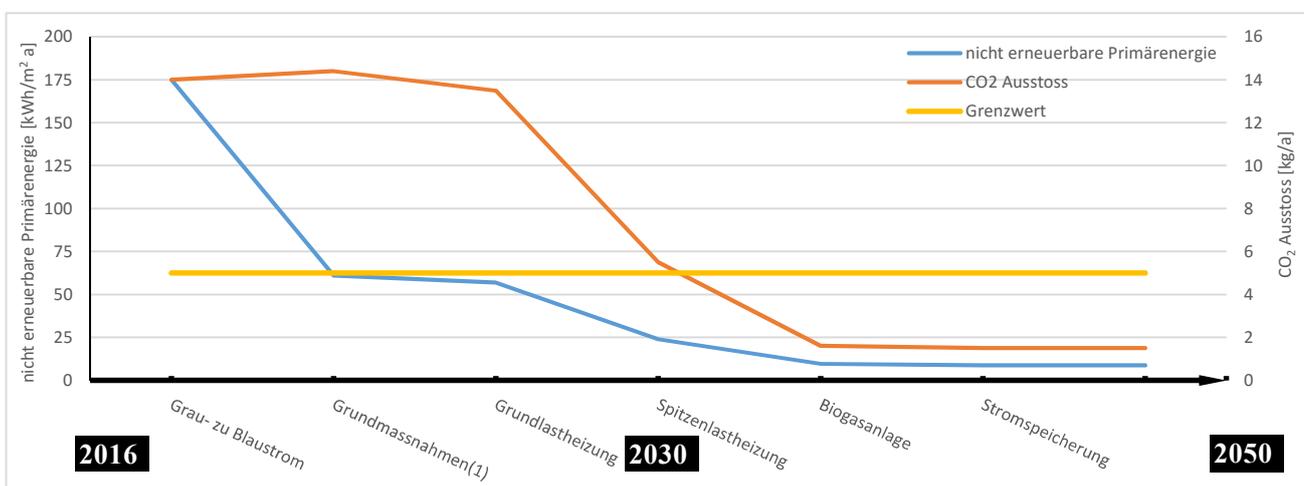


Abbildung 2 Ökologische Auswirkungen der Optimierungsmassnahmen & Zeithorizont der Umsetzung (¹Gebäudehüllensanierung Nebengebäude und Abwärmenutzung)



ICT-Konzept für die HKG Engineering AG

Ein Unternehmen durchläuft während seines Bestehens einen stetigen technologischen Wandel. Indem neue Standorte eröffnet werden und sich die Mitarbeiteranzahl erhöht, ändern sich ebenfalls die Anforderungen an die Kommunikationstechnik. Neue technische Errungenschaften erobern den Markt und lösen überholte Übermittlungsverfahren ab. Ende 2017 plant die Swisscom in der Schweiz den Betrieb von analogen sowie ISDN-basierten Teilnehmeranschlüssen einzustellen und künftig die Kommunikation gänzlich über das Internet zu führen. Die Unternehmen sind folglich gefordert, sich mit IP-basierten Kommunikationslösungen auseinander zu setzen und die Möglichkeiten der heutigen Kommunikationstechnologien zu untersuchen.

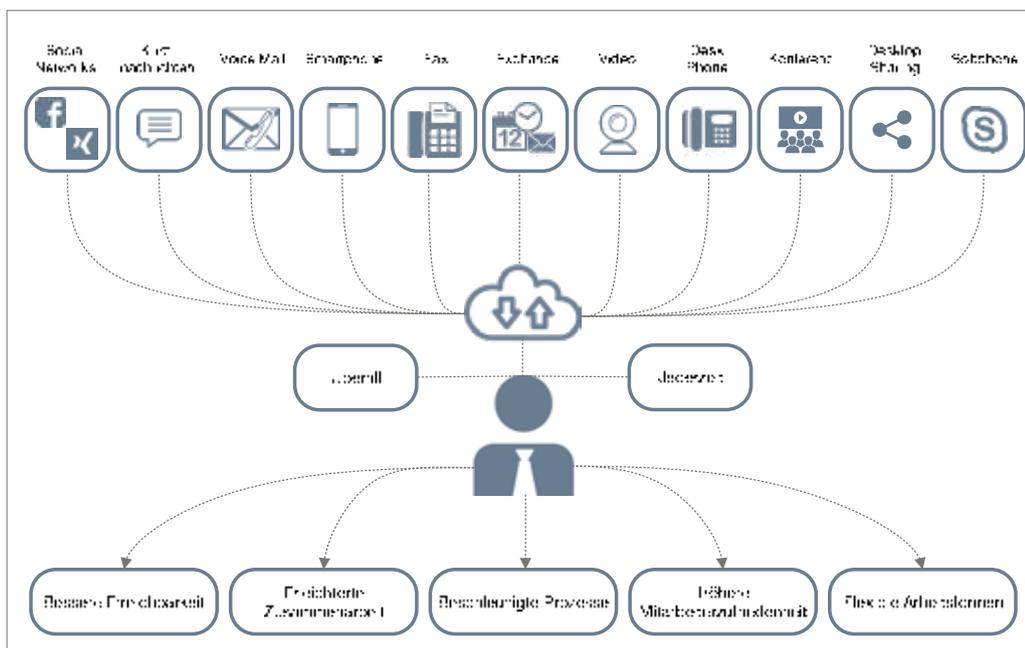


Abbildung 1

Übersicht einer UCC-Lösung in einem typischen Unternehmen mit den integrierten Funktionen und zusätzlichen Nutzen für alle Anwender.

Der heutige Stand der Kommunikationstechnik sind Unified Communications and Collaboration (UCC)-Lösungen, welche alle Kommunikationsdienste zusammenführen und mit der Informationstechnik eines Unternehmens verbinden. Die Folgen daraus sind, dass die Zusammenarbeit zwischen zwei oder mehreren Teilnehmern vereinfacht und geschäftliche Prozesse effizienter gestaltet werden können (siehe dazu Abbildung 1). Der Anwender kann geräteunabhängig mit einer einzelnen Applikation von jedem Ort aus und zu jeder Zeit auf geschäftliche Informationen zugreifen, was den Arbeitsplatz flexibler strukturieren lässt. Durch diese allumfassende Vereinheitlichung der Dienstleistungen und Bedienung wird die interdisziplinäre Kommunikation vereinfacht, was in einer erhöhten Mitarbeiterzufriedenheit und Produktivität resultiert. Folgender Zusatznutzen generiert eine UCC-Lösung in einem Unternehmen:

- **Standortunabhängige Erreichbarkeit über dieselbe Nummer:** Das Gespräch wird auf das Desktop Phone, Smartphone oder Softphone geroutet, ohne dass der Anrufer dies bemerkt.
- **Statusdienste:** Personen im selben Netzwerk können sich über den aktuellen Status informieren und somit Fehlanrufe vermeiden.
- **Kurznachrichten:** Informationen können in Echtzeit an den Empfänger übermittelt werden.
- **Webkonferenzen:** Kommunikationsfunktionen wie Sprach-, Video- und Webkonferenzen werden einheitlich angeboten.
- **Desktop Sharing:** Desktopoberflächen können zwischen verschiedenen Kommunikationsteilnehmern gegenseitig freigegeben werden.
- **Interdisziplinäre Anwendungen:** Drittanbieterprogramme (Bsp. Outlook) können integriert werden.

Planung und Umsetzung einer Kommunikationslösung

Im Rahmen einer Bachelor Diplomarbeit wurde die aktuell vorhandene Kommunikationsinfrastruktur des Industriepartners HKG Engineering AG hinterfragt. Untersucht wurde, ob die aktuell vorhandene Infrastruktur den Bedürfnissen des Unternehmens und der Mitarbeiter entspricht. Zudem wurde überprüft, wie zukünftig mit Standorterweiterungen umgegangen werden soll, damit diese einfach in das Kommunikationsnetzwerk aufgenommen werden können. Mit einem bedürfnisorientierten Evaluationsverfahren und einer Wirtschaftlichkeitsbeurteilung wurde ein konkreter unternehmensbezogener Vorschlag einer Neukonzeptionierung erarbeitet. Da mit einem neuen Kommunikationssystem in den Gewohnheitsbereich von Menschen eingegriffen wird, wurde stets versucht, die Bedürfnisse des Nutzers und nicht die alleinigen Möglichkeiten der Technik in den Mittelpunkt zu stellen. Diese Fokussierung ist nötig, um die Akzeptanz bei den Mitarbeitern zu steigern, Geschäftsprozesse optimal zu unterstützen, den Bestand zu wahren und Fehlinvestitionen zu vermeiden. Gestützt ist der gesamte Prozess auf einer vierphasenbasierten Vorgehensweise, welche universell zur Planung und Umsetzung einer Kommunikationslösung einsetzbar ist (siehe dazu Abbildung 2). In der Analysephase wurde dafür eine Umfrage mit n=92 Mitarbeitenden durchgeführt und die Firmenstrategie der HKG untersucht. Trends in der heutigen Mediengesellschaft wurden berücksichtigt und mit Vertretern des Marktes aktuelle

Kommunikationsmöglichkeiten miteinbezogen. Es zeigte sich, dass prinzipiell eine moderne Infrastruktur vorhanden ist, die aber aufgrund der inselförmigen Vernetzungsstruktur Erweiterungen eher kostenintensiv und wartungsaufwändig gestalten lässt. Die Bedürfnisanalyse ergab, dass sowohl die Strategie, als auch die Mehrheit der Mitarbeiter, einem innovativen und zukunftsorientierten Informations- und Kommunikationskonzept positiv gestimmt sind. Der Kosten/Nutzen-Vergleich erbrachte, dass eine zentralisierte Umsetzung einer virtuellen Teilnehmervermittlungsanlage mit einer ergänzenden UCC-Lösung am besten geeignet ist. Dazu wird eine Zusammenlegung der Informations- und Kommunikationsinfrastruktur empfohlen, um Prozesse hinsichtlich Erweiterungen zu vereinfachen und Wartungs- sowie Kostenaufwände zu reduzieren. Neue Standorte können durch die Zentralisierung der Knotenpunkte und dem vereinheitlichten Netzwerk mit geringem Aufwand eingebunden werden. Um diesen Ablauf zu standardisieren eignet sich ein Clusterkonzept für verschiedene Standortgrößen, welches die grundlegenden Massnahmen zur Anbindung neuer Geschäftsstellen aufzeigt. Mit einem Integrationskonzept kann der Bestand schrittweise migriert werden, womit der Arbeitsbetrieb minimal beeinträchtigt wird. Dieses beinhaltet von der Vorbereitung und Umrüstung der Infrastruktur bis hin zum Einsatz der Neukonzeption ebenfalls die Mitarbeiterinformierung, Mitarbeiterschulung und die Datenaufbereitung für die Bewirtschaftungsphase.

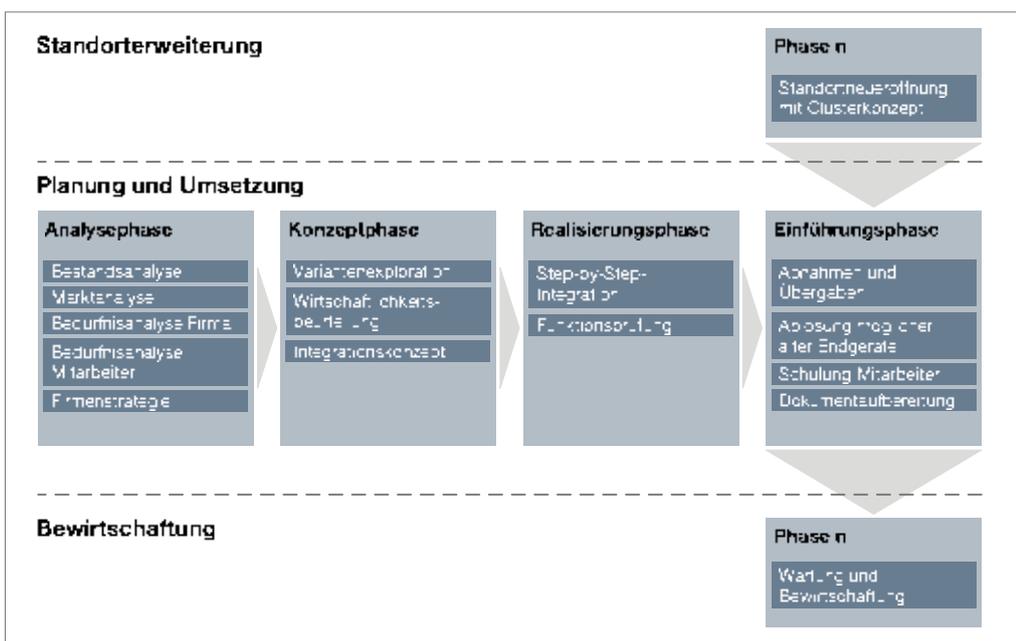


Abbildung 2

Allgemeine und universell einsetzbare Vorgehensweise bei der Planung und Umsetzung einer Kommunikationslösung.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit
in Gebäudetechnik 2016
IC* Konzept für die HKG
Engineering AG

Betreiber: Volker Weuters
Student: Moritz Blasur
Student: Pasca Schöb



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_16
an der Abteilung Gebäudetechnik

Beleuchtungslösungen mit Schwarmintelligenz Steigerung der Energieeffizienz und Nutzerzufriedenheit

Studenten	Michael Oberer
Dozenten	Björn Schrader Olivier Steiger
Experte	Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: Amt für Hochbauten Stadt Zürich, Lindenhofstrasse 21, 8021 Zürich)
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Beleuchtungslösungen mit Schwarmintelligenz

Steigerung der Energieeffizienz und Nutzerzufriedenheit

Der Begriff Schwarmintelligenz setzt sich aus den Begriffen Schwarm und Intelligenz zusammen. Gemäß Duden versteht man unter Schwarm eine größere Anzahl durcheinanderwimmelnde und zusammen fortbewegende, gleichartige Tiere oder Menschenmengen. Unter Intelligenz wird die Fähigkeit, abstraktes, vernünftiges Denken, das zweckvolles Handeln zur Folge hat, verstanden. Von einem intelligenten Wesen wird erwartet, dass es aus eigenem Antrieb die richtige Entscheidung treffen kann.

Im technischen Bereich versucht man eine Kommunikation unter elektronischen Betriebsgeräten zu erschaffen, die sich ähnlich wie ein Insekten-, Bienen- oder Vogelschwarm verhält. Im Gegensatz zu bestehenden Systemen soll die Schwarmintelligenz eine einzige Managementebene erzeugen, in der alle die gleiche Autorität besitzen.

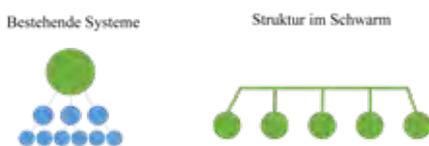


Abb. 1: Unterscheidung herkömmlicher- & Schwarmstruktur

Prinzipiell ist eine Kommunikationsebene nötig, in der alle Betriebsmittel gleich autorisiert sind. Damit sollen gemeinsame Entscheidungen gefällt werden. Ein wesentlicher

Vorteil ist die Unabhängigkeit Einzelner. Falls ein Organ ausfällt funktionieren die Restlichen tadellos weiter. Zurzeit ist die Schwarmtechnologie in etlichen Branchen der Technik ein aktuelles Thema. Es wird versucht, über Signale das Verhalten im Schwarm künstlich nachzubilden. Hierbei wird von künstlicher Intelligenz gesprochen. Ab welcher Stufe bei einem System tatsächlich von Schwarmintelligenz gesprochen werden darf, ist jedoch nicht definiert. Es kann davon ausgegangen werden, dass sich ein Produkt mit angeblicher Schwarmtechnologie besser verkauft als eines ohne dieselbe Bezeichnung.

Funktion

Die Grundfunktion der Schwarmintelligenz im Bereich Beleuchtung funktioniert sehr simpel. Die Beleuchtungsinstallation wird in Teilsysteme unterteilt, die miteinander kommunizieren. Grundlegend ist, dass alle Teilsysteme eine eigene intelligente Steuerelektronik, einen Präsenzmelder sowie eine Leuchte besitzen.

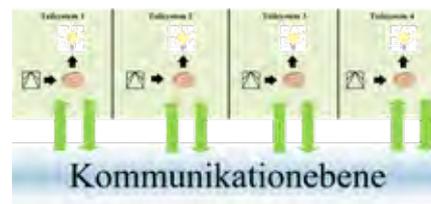


Abb.3: Gleichautorisierte Teilsysteme die über eine Kommunikationsebene kommunizieren

Dies schafft den Vorteil, dass jedes der jeweiligen Systeme über die erfassten Detektionen aller Präsenzmelder und das Handeln anderer Systeme Bescheid weiß.

Für die Umsetzung der Schwarmintelligenz im Bereich Beleuchtung werden die Leuchten in einer Matrix dargestellt. Die Ausleuchtung soll nur im Bereich des Nutzers stattfinden. Daraus entstehen sogenannte Lichtinseln (siehe untenstehende Abbildung).

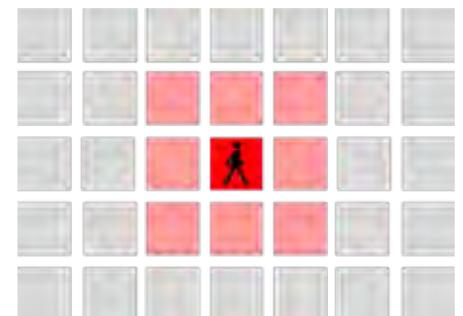


Abb. 2: Veranschaulichung einer Lichtinsel in einer zweidimensionalen Matrix

Des Weiteren soll nur im genutzten Bereich die volle Beleuchtungsstärke erreicht werden. Angrenzende Leuchten werden auf ein Minimum gedimmt. Beim Verlassen einer Zone sollen die darin enthaltenen Leuchten nach voreingestellter Ablaufzeit auf den Modus Orientierungslicht schalten. Nach einer zweiten Ablaufzeit soll das Orientierungslicht ausgeschaltet werden und die Leuchten auf Stand-By-Modus wechseln.

Dadurch, dass nur eine Teilausleuchtung gewährleistet wird, kann von einer Energieoptimierung ausgegangen werden. Zudem soll mittels sanftem Dimmen ein komfortables Schalten realisiert werden.

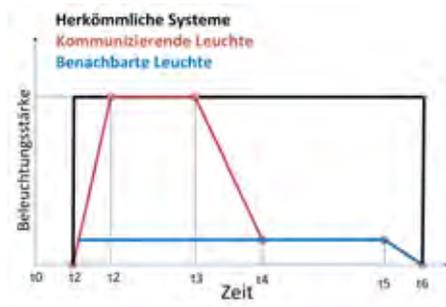


Abb.4: Unterscheidung des Schaltverhaltens; schwarz mit Präsenzmelder, farbig mit Schwarmintelligenz

Nebst erhöhter Energieeffizienz und Komfort sind die Leuchten als Datenerfassung zu gebrauchen. Es besteht die Möglichkeit die Auslastung aller beinhalteten Zonen auszuwerten und zu optimieren.

Anwendungsmöglichkeiten

Damit die Anwendungsbereiche abgesteckt werden können, müssen zuerst in Frage kommende Raumnutzungen definiert werden. Hierfür bietet die SIA 380/4 eine Grundplattform standardisierter Raumnutzungen. In Anbetracht der Energieoptimierung wurden alle Nutzungen auf eine mögliche Umsetzung einer Beleuchtungslösung mittels Schwarmintelligenz untersucht. Dabei ergaben sich folgende sechs Raumnutzungen, die potentiell mit Schwarmintelligenz ausgerüstet werden könnten: Grossraumbüro, Bibliothek, Lagerhalle, Verkehrszone, Treppenhaus und Parkhaus.

Grundsätzlich kann bei den ausge-

wählten Raumnutzungen jedoch nicht immer der gewünschte Effekt erzielt werden. Entscheidend ist, dass Bereiche bestehen, die eine Teilausleuchtung erlauben. In manchen Situationen macht eine Lichtinsel keinen Sinn, beispielsweise, wenn im Raum eine zu hohe Aktivität herrscht oder wenn dieser zu klein ist. In anderen Räumen wiederum wird eine volle Beleuchtungsstärke angestrebt. Somit sind mögliche Teilausleuchtungen die Voraussetzung um eine Energieoptimierung zu erreichen.

Intelligente Leuchte im Test

Um einen Anhaltspunkt bezüglich Energieeffizienz zu finden, wurden Leuchten mit Schwarmintelligenz der Firma Swislux an einem Testobjekt geprüft und im Labor auf den Strombedarf ausgemessen. Während zehn Tagen wurden in einer Verkehrszone an der Hochschule Luzern die Volllaststunden zwischen der bestehenden konventionellen Schaltung mit Präsenzmelder und einer parallel aufgebauten Schwarmintelligenzbeleuchtung verglichen. Daraus ergab sich, dass mit einer Beleuchtungslösung mit Schwarmintelligenz im Vergleich zur aktuellen Installation rund 50% an Energie eingespart werden können. Weiter wurde geprüft, wie hoch eine allfällige Energieersparnis wäre, falls die aktuell montierten Leuchten mit effizienteren Leuchten ausgetauscht würden. Die Energieersparnis mit Schwarmintelligenz würde in dem Fall noch bei 30% liegen.

Im Labor wurden die Leuchten mit Schwarmintelligenz auf deren vorlaufenden (Der Strom läuft der Spannung voraus.) Blindstrom hin untersucht. Der anzustrebende Kosinus Phi von 0.9 konnte nur bei Volllast gewährleistet werden. Im gedimmten Zustand betrug dieser 0.35 und im Stand-by-Modus lediglich 0.13. Die Blindleistung im Stand-by-Modus einer Leuchte betrug gesamthaft 8.5Var. Somit kann davon ausgegangen werden, dass bei grossen Beleuchtungsanlagen mit Schwarmintelligenz, wie beispielsweise im Parkhaus, das Netz stärker belastet wird als angenommen.

Erweiterung des Berechnungsverfahrens der SIA 380/4

Das aktuelle Berechnungsverfahren für den Energiebezug der SIA 380/4 beinhaltet keine Annäherung im Sinne der Schwarmintelligenz, sondern nur für Beleuchtungslösungen mit Präsenzmelder. Damit eine Annäherung gemacht werden kann, wurde ein neues Abrechnungsverfahren erstellt. Im Gegensatz zur gegenwärtigen Berechnung wurden die normierten Volllaststunden verwendet. Da die Schwarmintelligenz hinsichtlich der verschiedenen Zustände ungleich Leistung bezieht, mussten neu drei Volllaststunden eruiert werden. Mit diesen konnten wiederum die durchschnittlichen Volllaststunden ermittelt werden. Es stellte sich heraus, dass die Leuchten ein Minimum an Detektionen der Präsenzmelder benötigen, damit eine Energiereduktion erreicht wird.

In Anbetracht aller Recherchen sind Beleuchtungslösungen mit Schwarmintelligenz eine innovative Lösung mit hohem Potential. Die Entwicklung ist jedoch noch nicht voll ausge-reift. Jede einzelne Leuchte bezieht während des Stand-by-Modus Leistung. Je mehr Leuchten installiert sind desto erheblicher ist der Energieverbrauch im Ruhezustand. Dar-aus lässt sich schliessen, dass die intelligente Leuchte den Energiever-bruch während des Ruhezustands kompensieren muss.

Umsetzung Installation

Der Installationsaufwand der Elekt-roinstallateure kann durch den Ein-satz Intelligenter Leuchten reduziert werden. Die Montage von Tastern und Präsenzmeldern fällt weg. Der Aufwand der Inbetriebnahme vari-iert je nach Produkt der Hersteller jedoch stark. Während sich einige automatisch kalibrieren oder durch Kodier-Schalter zuweisen lassen, müssen andere aufwändig durch einen instruierten Fachmann in Be-trieb genommen werden, vor allem wenn die Leuchten mit einem Com-puter-Netzwerk verbunden werden müssen.

Energieeffizienz und Nutzerzufrie-denheit

Ob ein Nutzer eine Beleuchtungslö-sung mit Schwarmintelligenz reali-sieren will, ist ihm alleine überlas-sen. Je nach Nutzer unterscheiden sich dessen Bedürfnisse.

Während bei manchen die Energie-optimierung im Vordergrund steht, streben andere Komfort und Daten-

erfassung an. Mit schwarmintelli-genzfähigen Leuchten muss nicht in jedem Fall eine Lichtinsel erzeugt werden. In Branchen, bei denen die Raumaufteilungen zyklisch wech-seln, schafft die Schwarmintelligenz einen wesentlichen Vorteil. Die Leuchten können ohne Abänderung der Elektroinstallationen einfach in neue Gruppen unterteilt werden, beispielsweise in einem Büro, in dem die Arbeitsplätze neu struktu-riert werden.

Zusammenfassend kann gesagt wer-den, dass Lösungen mit Schwarmin-telligenz im Bereich Beleuchtung sowohl Vor-, als auch Nachteile mit sich bringen. Es gilt in jedem Szena-rio neu zu prüfen inwiefern eine Realisierung einen Mehrwert bringt. Solche Beleuchtungssysteme sind aber noch nicht sehr weit erforscht und zurzeit können nicht-vorhersehbare Probleme noch auf-tauchen. Trotz anfänglicher Kinder-krankheiten besteht in der Schwarm-intelligenz jedoch ein grosses Po-tential. Zurzeit lässt sich der Begriff Schwarmtechnologie sicherlich gut verkaufen. Eine Garantie, dass die Schwarmintelligenz energieeffizien-ter ist, kann jedoch, obwohl häufig so kommuniziert, nicht gegeben werden. Ein unabhängiges Organ, das die Schwarmintelligenz tief-gründig analysiert und bewertet gibt es bis heute nicht.

Für eine vernünftige Auswertung müssten die jeweiligen Systeme über längere Zeit in differenzialen Raumzonen unzähligen Tests unter-zogen werden. Die Testphase an der

Hochschule Luzern ergab lediglich eine Annäherung und kann nicht übergreifend ausgedehnt werden. Ob, und in welchem Ausmasse sich Beleuchtungslösungen mit Schwarm-intelligenz durchsetzen werden, wird sich zeigen.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_17
an der Abteilung Gebäudetechnik

Optimierung der Energieeffizienz bei der Zentralbahn

Studenten	Patrik Vogel Andreas Vogel
Dozenten	Herr Prof. Urs-Peter Menti (Erstbetreuer) Herr Robert Bayard (Zweitbetreuer)
Experte	Herr Matthias Tuchschnid
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Industriepartner: zb Zentralbahn AG Herr Gerhard Züger Leiter Produktion und Rollmaterial Bahnhofstrasse 23 6362 Stansstad
Abgabedatum	10. Juni 2016
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 der Energieeffizienz bei der Zentralbahn

Der Sektor Verkehr verbraucht rund ein Drittel des gesamten Energieverbrauchs der Schweiz. Es ist zu erwarten, dass dieser Anteil angesichts der steigenden Nachfrage weiter zunimmt. In der Energiestrategie 2050 des Bundesrates, spielen öffentliche Verkehrsunternehmen eine wichtige Rolle. Das Bundesamt für Verkehr will diese Unternehmen zu wichtigen Akteuren beim Umbau des Energiesystems machen. Die Zentralbahn hat mit der Ausarbeitung eines Energieeffizienzkonzepts, bereits einen ersten Schritt zu einem energieeffizienterem Unternehmen getätigt.

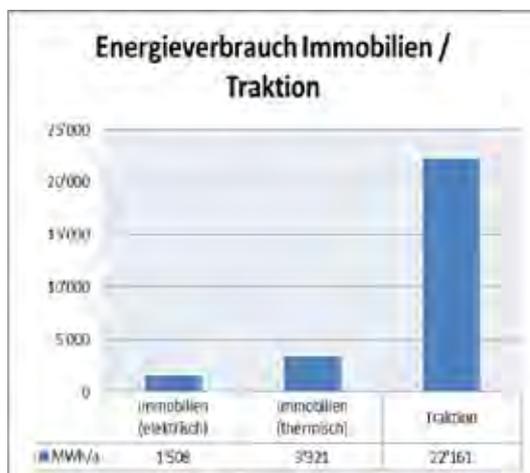


Abb. 1: Das Diagramm zeigt den Energievergleich der Traktion und des Gebäudeparks der Zentralbahn. Die Traktion hat rund einen 14-mal höheren jährlichen Energieverbrauch als die Immobilien.

Trotz einem rund 14-mal kleineren Energieverbrauch des Gebäudeparks der Zentralbahn gegenüber dem jährlichen Verbrauch der Traktion, darf das Einsparpotenzial der Immobilien und der Werkstätten nicht vernachlässigt werden. Die Analyse verschiedener Messdaten des Gebäudeparks der Zentralbahn zeigte ein hohes Potenzial an Energieeinsparung auf. Bei einem Energieverbrauch (elektrisch und thermisch) von rund 4800 MWh/a, können rund 3400 MWh/a eingespart werden. Das Einsparpotenzial entspricht 2/3 des gesamten elektrischen und thermischen Energieverbrauchs des Gebäudeparks. Das grosse Potential liegt dabei bei der thermischen Energie. Veraltete Gebäude mit schlechter Dämmung sind massgeblich an dem schlechten Ergebnis der Effizienzanalyse verantwortlich.

Benchmark

Der komplette Gebäudepark elektrisch und thermisch zusammengefasst, hat ein annähernd gleiches Kosteneinsparpotenzial wie das geschätzte Kosteneinsparpotenzial der Traktion. Es ist erstaunlich, wie nah das Einsparpotenzial der Immobilien von 560'000 CHF an das Einsparpotenzial der Traktion von 678'000 CHF heran kommt. Das thermische Kosteneinsparpotenzial der Immobilien ist rund 3-mal grösser als das elektrische Kosteneinsparpotenzial. Der tiefe Tarif des Bahnstroms erlaubt dieses Verhältnis.

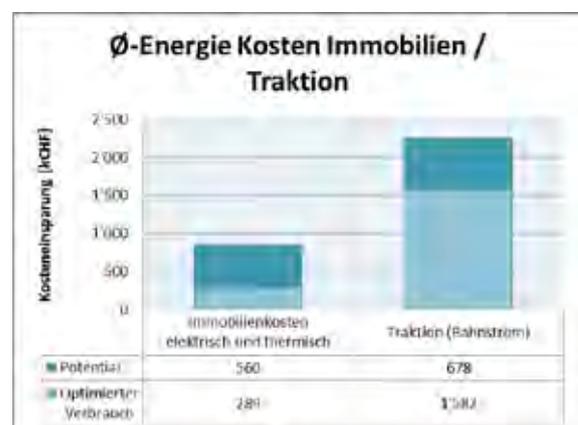


Abb. 2: Das Diagramm zeigt die Energiekosten (elektrisch und thermisch) des optimierten Gebäudeparks und der Traktion der Zentralbahn. Weiter ist das Einsparpotenzial in CHF zu der heutigen Energiesituation ersichtlich.

Energiepotentiometer

Die Zentralbahn verfügt heute über kein Energiemanagementsystem wie beispielsweise ein computer aided facility management System (CAFM). Bis anhin wurden nur wenige Energiemessungen periodisch aufgezeichnet. Die fehlende Aufzeichnung verhindert einen kontinuierlichen Soll/Ist-Vergleich. Die Energieeinsparungen von stetigen Verbesserungen können nur theoretisch nicht aber praktisch kontrolliert werden. Auch sind Vergleiche mit Referenzobjekten nicht möglich. Die Entwicklung des Excel basierten Energiemanagementsystems (Energiepotentiometer) schliesst die Lücke zwischen der heutigen Managementsituation der Zentralbahn und einer CAFM-Software Lösung. Das Energiepotentiometer vergleicht die aufbereiteten Messdaten mit den Kennwerten der SIA 2024 für Neubauten. Die Differenz des Vergleichs, stellt das Energieeinsparpotential dar. Um das Einsparpotential eindrücklicher darzustellen, werden die Gebäude den geläufigen Energieklassen A bis G zugeteilt.

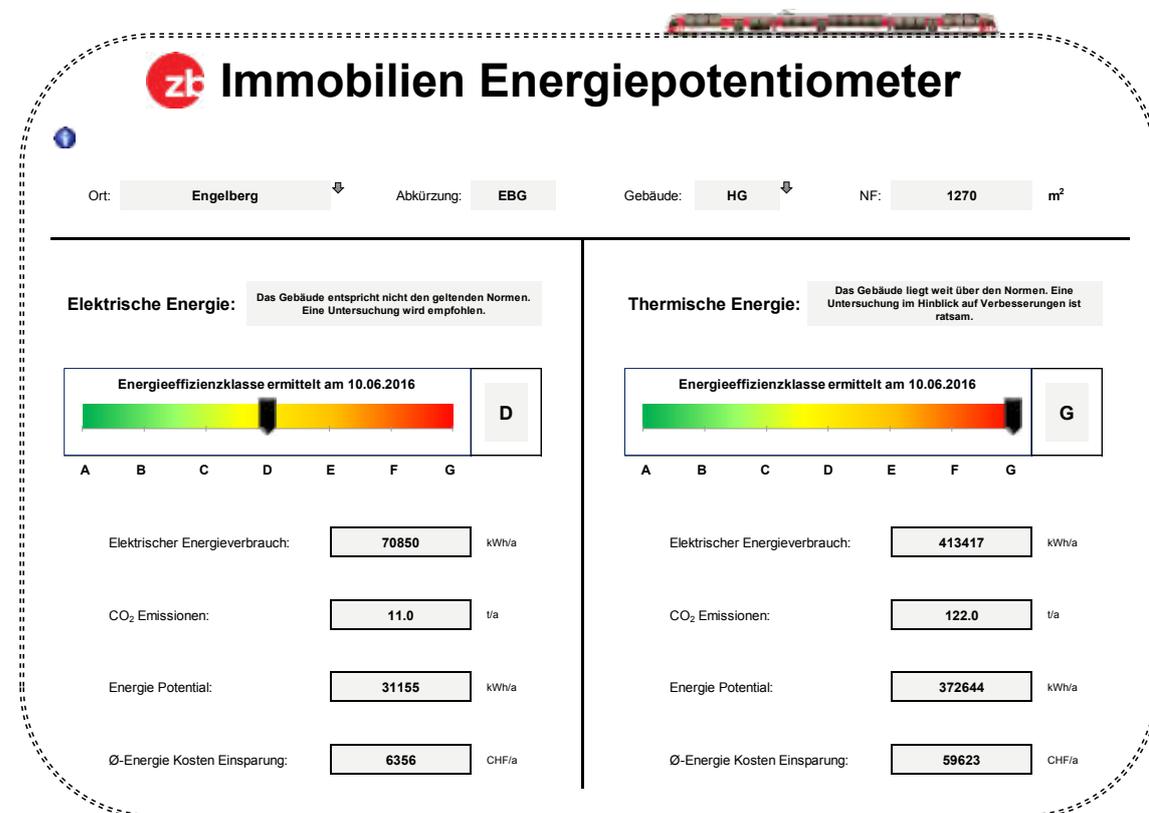


Abb. 3: Das Energiepotentiometer zeigt die Energieeffizienzklasse (elektrisch und thermisch) des Hauptgebäudes in Engelberg auf.

Die systematische Aufbereitung mit dem Energiepotentiometer ermöglicht neue Einblicke in die Energiesituation der Zentralbahn. Es gilt nun eine Energiestrategie mit genau definierten Energiesparzielen zu erarbeiten und unter ständigem Controlling fortlaufend umzusetzen. Motivierte Mitarbeiter der Zentralbahn sind bereit die nächsten Schritte zu gehen und die Optimierungsmassnahmen für eine energieeffizientere Zentralbahn zu realisieren. Das zukünftige Energiemanagement der Zentralbahn darf sich auf attraktive und herausfordernde Aufgaben freuen.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_18
an der Abteilung Gebäudetechnik

Low Power Building

Studenten	Silvan Stürmlin Yannick Sonntag
Dozenten	Gerhard Zweifel Robert Bayard
Experte	Ruedi Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur brenet Geschäftsstelle, c/o Oekozentrum Langenbruck
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Low Power Building

Eine Begrenzung der Anschlussleistung für Einfamilienhäuser würde für die Energieversorgungsunternehmen eine deutliche Reduktion der Netzbelastung bedeuten, da Last- und Einspeisespitzen über 16 A pro Phase ausgeschlossen würden. Als Folge der begrenzten Einspeiseleistung können Gebäudeeigentümer mit Hilfe einer Photovoltaik-Anlage und einem Batteriespeicher einen höheren Stromverbrauch abdecken. Wie und unter welchen Bedingungen ist eine Begrenzung der Anschlussüberstromunterbrecher auf 16 A möglich?

Nicht jeder Haushalt verbraucht gleich viel Strom. Dies ist stark abhängig von der Personenbelegung, der Grösse und ob ein Ein- oder Mehrfamilienhaus vorliegt. Deshalb schwankt der Energieverbrauch für Elektrizität sehr stark, von wenigen hundert kWh bis über 50'000 kWh pro Jahr. Im Rahmen der Bachelor-Diplomarbeit wurde evaluiert, inwiefern ein Standard-Einfamilienhaus mit einem Anschlussüberstromunterbrecher von lediglich 16 A funktionieren kann.

Stromverbrauch

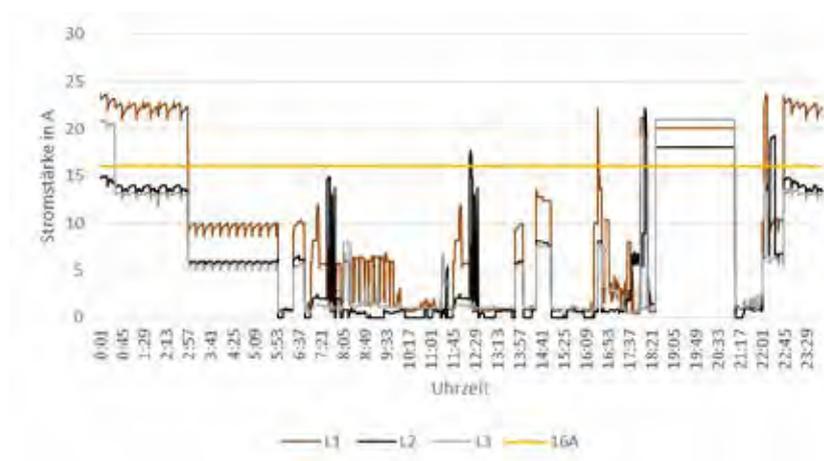


Abbildung 1: Referenzstromprofil eines Einfamilienhauses (2 Erwachsene und 2 Kinder)

Sämtliche Betrachtungen gelten für ein 16 A-Einfamilienhaus nach MuKEN-Standard, welches von zwei Erwachsenen und zwei Kindern bewohnt wird. Die vorliegende Studie bezieht sich auf ein Referenzeinfamilienhaus mit 236 m². Die Wärmeerzeugung erfolgt über eine Sole-Wasser-Wärmepumpe. Zudem werden die Lasten der Elektromobilität berücksichtigt, da in Zukunft mit einer weiteren Zunahme von Elektrofahrzeugen zu rechnen ist. Für die definierte Konstellation wurden die Stromverbräuche aufgezeichnet und analysiert. Daraus entstand das Diagramm in der Abbildung 1. Es zeigt auf, wann die Spitzenwerte die 16 A überschreiten. Das Ziel ist diese Spitzen zu reduzieren und dadurch eine Realisierung des Low Power Buildings zu plausibilisieren.

Massnahmen

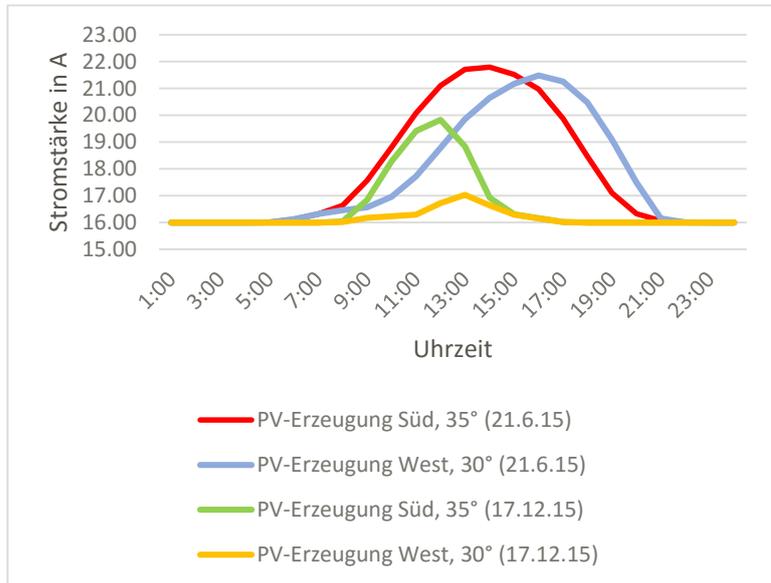


Abbildung 2: Zur Verfügung stehende Stromstärke in Abhängigkeit des Photovoltaik-Ertrags bei sonnigem Wetter.

Um die Stromspitzen des Referenzstromprofils zu verringern, wurden verschiedene Massnahmen untersucht und auf deren Nutzen überprüft. Grundsätzlich existiert nicht die eine Lösung, sondern eine Kombination verschiedener Massnahmen. Einerseits wird mit einer Photovoltaikanlage selbst Strom produziert. Andererseits wird mittels Stromspeicher und einer intelligenten

Steuerungen einen hohen Eigenverbrauchsanteil angestrebt. Bei ertragsreichen Tagen stehen dem 16 A-Gebäude zwischen einem bis sechs zusätzliche Ampere pro Aussenleiter zur Verfügung (Abbildung 2). Dadurch können die Mittagsspitzen und im Sommer die Abendspitzen, die in der Abbildung 1 ersichtlich sind, gedämpft werden. An ertragsarmen Tagen sind die Nutzer eines 16 A-Gebäudes auf die Energie des Stromspeichers angewiesen, da von der Photovoltaikanlage nur bis zu zwei Ampere bereitgestellt werden (Abbildung 3). Zusätzlich besteht die Möglichkeit mit einem Lastmanagement die Verbraucher zeitlich auf den Tag zu verteilen oder je nach Priorität zu blockieren, damit der Strombezug nicht über 16 A ansteigt.

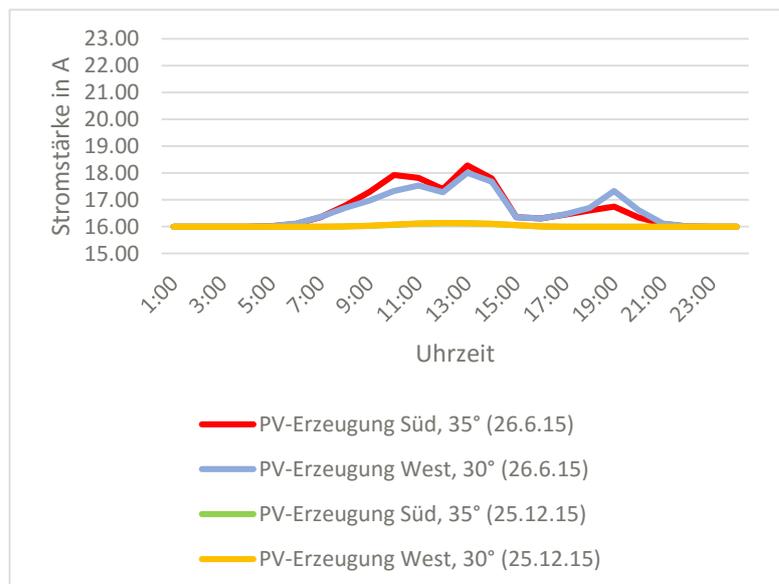


Abbildung 3: Zur Verfügung stehende Stromstärke in Abhängigkeit des Photovoltaik-Ertrags bei bewölktem oder regnerischem Wetter.

Machbarkeit

Die Machbarkeit eines Low Power Buildings lässt sich nicht eindeutig bestimmen. Sämtliche Betrachtungen sind theoretisch und in der Praxis in dieser Weise noch nicht erprobt. Jedoch ist festzuhalten, dass ein Low Power Building ohne Massnahmen nicht realisierbar ist. So sind für die Machbarkeit eines 16 A-Gebäudes eine Photovoltaik-Anlage und ein Batteriespeicher sowie einer Steuerung mit einem Lastmanagement und einer Eigenverbrauchsoptimierung erforderlich. Des Weiteren benötigt das 16 A-Gebäude ein Monitoring, um den ständigen Verbrauch im Gebäude aufzuzeigen. Das Monitoring dient auch zur Sensibilisierung der Bewohner bezüglich Sparsamkeit und Energieeffizienz.

Eine grosse Herausforderung für die Machbarkeit des 16 A-Gebäudes sind die Wintermonate. Dies aus dem Grund, da der solare Ertrag zu dieser Zeit am niedrigsten ist und die Wärmepumpe die grösste Leistung erbringen muss. Während in den Sommermonaten einer Umsetzung nur normative Hürden im Wege stehen. Zum einen verbieten die Werkvorschriften kleineren Anschlussüberstromunterbrecher als 40 A und zum anderen werden selektive Leitungsschutzschalter, welche für die Selektivität der Sicherungen im 16 A-Gebäude notwendig sind, vor dem Zähler nicht von jedem Energieversorgungsunternehmen toleriert.

Möglicherweise wäre es sinnvoll den Fokus von einem einzelnen Einfamilienhaus auf ein ganzes Quartier zu legen. Anstatt jedes Einfamilienhaus mit einer eigenen Wärmeproduktion auszurüsten, könnte eine Wärmeproduktion für ein gesamtes Quartier realisiert werden, was in den einzelnen Gebäuden zu einer Reduktion des Strombezugs führen würde. Auch bezüglich der Netzstabilität würde es möglicherweise mehr Sinn ergeben, wenn das lokale Lastmanagement mit Photovoltaik-Anlagen und Stromspeichern von einzelnen Einfamilienhäusern auf ein gesamtes Quartier ausgeweitet würde.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_19
an der Abteilung Gebäudetechnik

Gesamtanalyse Energieversorgung und Netzqualität

Studenten	Matthias Vogelsang Manuel Wohler
Dozenten	Markus Loser Prof. Dr. Dominique Salathé
Experte	Ralf Wagner
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Industriepartner: energie wasser luzern ewl
Abgabedatum	16. Juni 2016

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.

Das Verteilnetz der Stadt Luzern basiert auf einem klassischen Strahlennetz mit wenigen zentralen Einspeisepunkten. Die starke Förderung der Photovoltaikanlagen und die Zunahme grosser dezentraler Lasten, beispielsweise im Bereich der Elektromobilität, stellen neue Anforderungen an die heutige Netzinfrastruktur. Die altbewährte Tarifsteuerung zur Regelung der Spitzenlasten im Netz hat zuverlässig viele Jahre funktioniert, doch dieses statische Regelmodell stösst mit der aktuellen Entwicklung in der Energiepolitik und dem Wandel in der Gesellschaft an seine Grenzen. Um die Netzqualität mit der bestehenden Infrastruktur langfristig zu garantieren sind neue Ansätze zur Regulierung der Netze notwendig. Das heutige Konsumverhalten der Endkunden zwingt die Netzbetreiber, ihr Geschäftsmodell zu überdenken und neue Dienstleistungen anzubieten, um auch künftig in diesem dynamischen Markt mithalten zu können.

Netzanalyse

Die Netzlastkurven in Abbildung 1 zeigen das durchschnittliche Lastprofil für das erste bis vierte Quartal 2015 im Versorgungsnetz der Stadt Luzern. Die verschiedenen Quartale haben dabei qualitativ einen grösstenteils identischen Kurvenverlauf, lediglich die Skalierung im ersten Quartal ist rund zehn Prozent höher als im übrigen Jahr. Im typischen Tagesverlauf lassen sich zwei Lastspitzen identifizieren. Zum klassischen Höchstverbrauch am Mittag ist ein lokaler Höchstverbrauch in den Abendstunden um 19:00 dazugekommen. Am Wochenende bildet dieser abendliche Höchstverbrauch gar das Tagesmaximum, was darauf schliessen lässt, dass diese Netzasymmetrie auf die Wohnnutzung zurückzuführen ist. Weiter lassen sich die Rundsteuerkommandos des Netzbetreibers anhand des nächtlichen Lastanstiegs im Diagramm identifizieren.

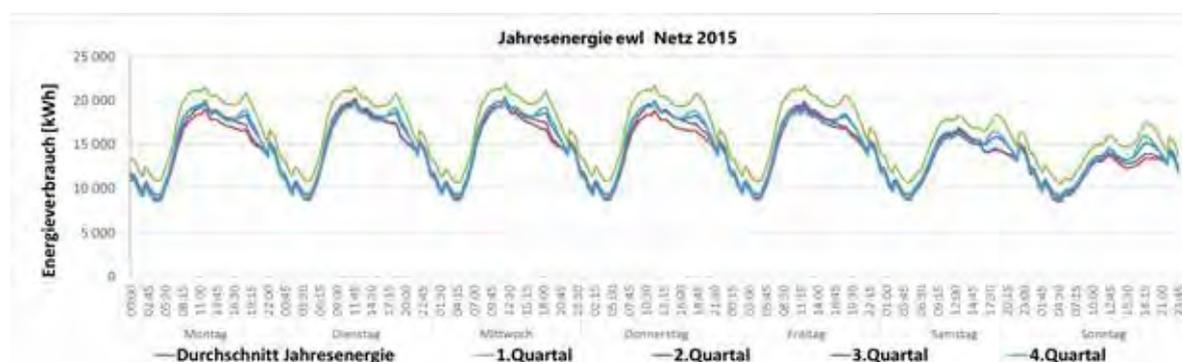


Abbildung 1: Lastprofile der verschiedenen Quartale im Versorgungsnetz der ewl für das Jahr 2015

Für die Auswertung der verschiedenen Lastspitzen im Versorgungsnetz wurden Quartiere mit typischer Wohn- und Gewerbenutzung ausgewählt und Messungen vor Ort installiert. Ein Vergleich der Lastkurven hat gezeigt, dass die Wohnnutzung nicht für den Lastanstieg in der Mittagszeit verantwortlich ist, denn die Wohnquartiere weisen in dieser Zeit gar einen Tagestiefstverbrauch auf, was wiederum hauptsächlich auf die Sperrung der Wärmepumpen zurückzuführen ist. Überraschenderweise haben die zehn grössten Energiebezüger im Netz der ewl (energie wasser luzern) dabei keinen Einfluss auf die Charakteristiken des gesamten Lastprofils.

Dezentrale Einspeisung

Obwohl der Anteil an Solarstrom in Luzern zurzeit sehr gering ausfällt, ist in den nächsten Jahren mit einer deutlichen Zunahme dieser Photovoltaikanlagen zu rechnen. Selbst bei einem optimistischen Ausbauszenario solcher Anlagen, kann der dadurch eingespeiste Strom vollumfänglich in Luzern verbraucht werden und trägt allenfalls zur Reduzierung der Netzspitzenlast während der Mittagszeit bei. Auf Grundlage der von Swissolar publizierte Prognose zur weiteren Entwicklung dieser Technologie in der Schweiz, wurden potenzielle Netzlastkurven für die ausgewählten Quartiere modelliert. Dabei fällt auf, dass die installierte Netzinfrastruktur selbst bei der Realisierung sämtlicher möglichen Anlagen noch genügend Kapazitätsreserven aufweist. So kann in den untersuchten Gewerbequartieren nahezu die gesamte potentiell umgewandelte Energie lokal verbraucht werden. In den Wohnquartieren während der Mittagszeit ist dagegen mit einer Rückspeisung ins Mittelspannungsnetz, wie in Abbildung 2 dargestellt, zu rechnen.

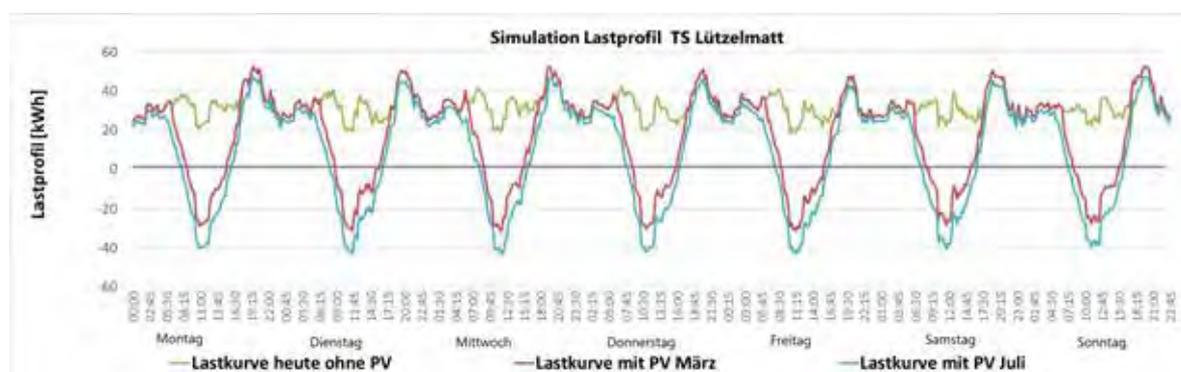


Abbildung 2: Lastprofil für Wohnquartier Lützel matt am rechten Seeufer. Kurve unter x-Achse bedeutet Rückspeisung der PV Anlagen ins Mittelspannungsnetz

Durch die Rückspeisung des Stromes der Photovoltaik Anlagen in das Niederspannungsverteilsnetz, ist auf Grund der Umkehrung des Lastflusses in den Netzkabeln mit einer Spannungserhöhung zu rechnen. Die Spannungserhöhung steigt dabei linear mit der Kabellänge sowie der Höhe des Laststromes. Bei längeren Versorgungskabeln, wie beispielsweise bei abgelegenen landwirtschaftlichen Betrieben, kann dies zur Verletzung der nach DACHCZ² maximal zulässigen Spannungserhöhung von 3% führen. Mögliche Gegenmassnahmen zur Reduktion dieser Auswirkungen können die Anpassung des Leistungsfaktors beim Wechselrichter oder der Einsatz von regelbaren Ortsnetztransformatoren sein.

Regulierung der Netzlastprofile

Das statische Tarifmodell kommt mit der Zunahme grosser lokalen Produktions- und Lastspitzen im Netz an seine Grenzen. Dennoch macht die Optimierung dieser bewährten Lastregulierung kurzfristig Sinn, da hier durch die Aufteilung und Kaskadierung der verschiedenen Sperrzeiten eine kostengünstige Reduktion der Spitzenlast möglich ist. Längerfristig sollte die Tarifsteuerung jedoch durch eine dynamische Regelung mit Zwei-Weg-Kommunikation ersetzt werden. Diese ermöglicht es, Anforderungen grosser Netzverbraucher durch individuelle Freigaben innerhalb eines gewissen Zeitfensters optimal

¹ Schweizerischer Fachverband für Sonnenenergie

² Technische Regeln für die Beurteilung von Netzrückwirkungen DACHCZ

im Netz platzieren zu können, um so die bestehende Netzinfrastruktur symmetrisch zu belasten. Entsprechende Tarifapparate auf dem Markt ermöglichen die geregelte Verbreitung dieser Technologie innerhalb des Versorgungsgebiet der Netzbetreiber, da diese ebenso als klassische Tarifregelapparate betrieben und zum gegebenen Zeitpunkt per Fernwartung umgeschaltet werden können.

Ausbau von Dienstleistungen

Die Konkurrenz durch subventionierte Solar- und Windenergie sowie die prognostizierte Marktöffnung für Kleinverbraucher zwingen die Netzbetreiber zu einem Umdenken. Mit dem Verkauf von elektrischer Energie lässt sich langfristig kein Geld mehr verdienen. Durch neue Dienstleistungen kann das Geschäftsfeld erweitert und ein Mehrwert für den Kunden geschaffen werden. Weiter ermöglichen Beratungen im Bereich Lastmanagement und Investitionen in PV-Anlagen die gezielte Einflussnahme auf künftige Installationen beim Endkunden und somit eine Lenkung dieser Installationen im Sinne des Netzbetreibers. Es ist dabei essentiell, die technologische Entwicklung in der Energiepolitik aktiv zu verfolgen und die Angebote, Regulierungen und Dienstleistungen dementsprechend laufend anzupassen.

Bachelor Diplomarbeit in Gebäudetechnik 2016
Gesamtanalyse Energieversorgung und Netzqualität

Studenten

Matthias Vogelsang

Manuel Wohler

Dozent

Markus Loser



Vergleich einer statischen USV- Anlage (Batterie) und einer dynamischen USV-Anlage (Flywheel) in Ergänzung zu einer neuen Netzersatzanlage

Da die USV-Anlagen im Spitalbau erhöhten Anforderungen unterliegen und die Betreiber keine Risiken eingehen können, werden höchste Ansprüche an ihre Verfügbarkeit gestellt. In einer Diplomarbeit der Hochschule Luzern, mit diesem Arbeitstitel, wurde anhand eines bestehenden Spitalbaus aufgezeigt, wie der Vergleich einer statischen zu einer dynamischen USV-Anlage in Ergänzung zu einer neuen Netzersatzanlage (NEA) in punkto Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit aussieht.

Bereits seit mehreren Jahrzehnten werden statische USV- Anlagen zur unterbrechungsfreien Spannungs- und Stromversorgung eingesetzt. In den letzten Jahren hat sich die dynamische USV- Anlage vermehrt bei Anwendungen durchgesetzt, bei denen ein hoher Leistungsbedarf an die Stromversorgung für Sicherheitszwecke gestellt wird, wie zum Beispiel in Rechenzentren.

Normative Vorgaben

Entscheidend bezüglich der Art der USV-Anlage ist vor allem die Autonomiezeit und somit das Sicherheitskonzept des Betreibers. Die kritischen Verbraucher in medizinisch genutzten Bereichen müssen in der Raumgruppe 2 und gemäss Klasse 0,5 nach einem Unterbruch von 0.5 Sekunden mit einer Stromversorgung für Sicherheitszwecke versorgt werden, dies

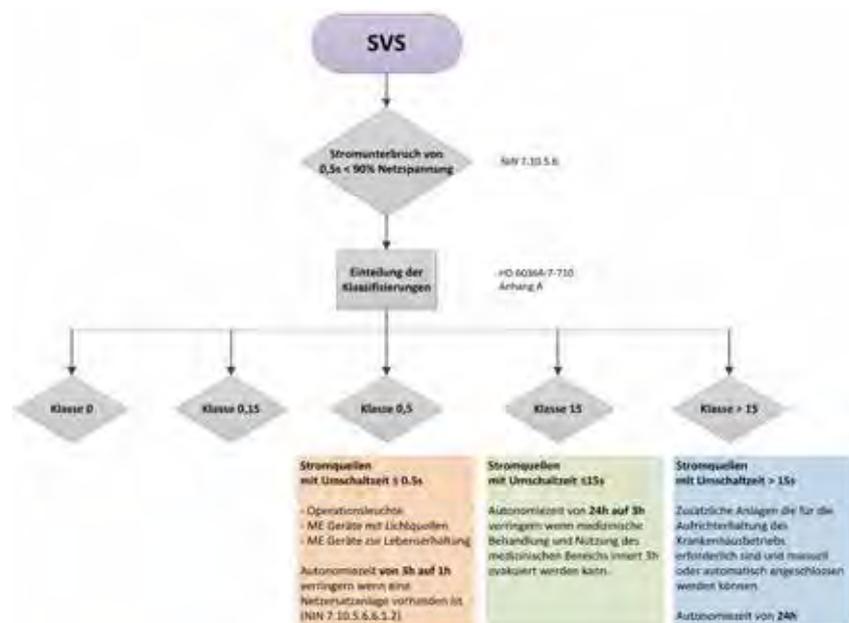


Abb. 1: Übersicht Klasseneinteilung gemäss HD60364-7-710

über mindestens drei Stunden. Diese Autonomiezeit kann auf eine Stunde verringert werden, wenn eine Netzersatzanlage vorhanden ist. Daraus resultiert, dass eine dynamische USV-Anlage zur Versorgung von kritischen Verbrauchern in medizinisch genutzten Bereichen, nur in Kombination mit einer NEA eingesetzt werden kann. Aus diesem Grund wurden bei den aufgezeigten Vergleichen sämtliche Anlagen mit dieser Kombination betrachtet.

Betrachtung der Wirtschaftlichkeit und Verfügbarkeit

Bei der Betrachtung der Lebenszykluskosten dieser beiden Anlagen wird deutlich, dass sich eine dynamische USV-Anlage im direkten Vergleich die Nase vorn hat. Die höheren Investitionskosten gegenüber der statischen USV-Anlage, heben sich bei der Betrachtung über die Lebensdauer von 30 Jahren, bereits nach 10 Jahren auf. Dies hauptsächlich, da für die Klimatisierung der Räume massiv weniger Energiekosten anfallen.

Bei einer Modulredundanz der dynamischen USV-Anlage von N+1, ist die Nutzenschwelle jedoch erst nach dem zweiten Batterieersatz der statischen USV-Anlage, nach 21.5 Jahren erreicht.

Kombiniertes System aus statischer und dynamischer USV-Anlage für ein Höchstmass an Verfügbarkeit

Um die Anforderungen an die Verfügbarkeit der USV-Anlage im Spitalbau einzuhalten, wird der Einsatz eines kombinierten USV-Systems vorgeschlagen. Die Kombination einer statischen und dynamischen USV-Anlage ermöglicht die Vorteile der einzelnen Systeme zu vereinen und die Nachteile zu verringern. Eine mögliche Variante ist, es die kritischen Verbraucher für medizinisch genutzte Räume über eine statische USV-Anlage zu stützen und die restlichen kritischen Verbraucher, wie die Lüftung, IT-Infrastrukturen und Alarmsysteme über die dynamische USV-Anlage. So kann die Anlagengrösse der statischen USV-Anlage für die kritischen Verbraucher in den medizinisch genutzten Räumen möglichst gering gehalten werden, was sich wiederum positiv auf die Wirtschaftlichkeit auswirkt.

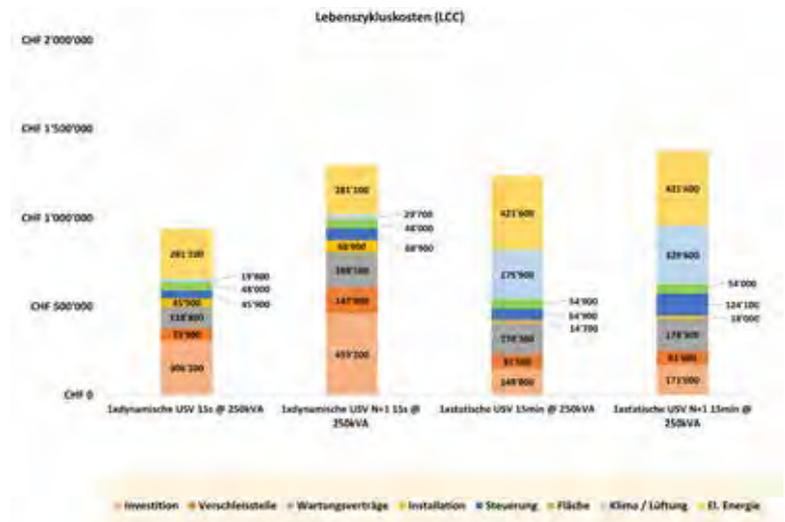


Abb. 2: Übersicht Jahresgesamtkosten statische und dynamische USV-Anlagen

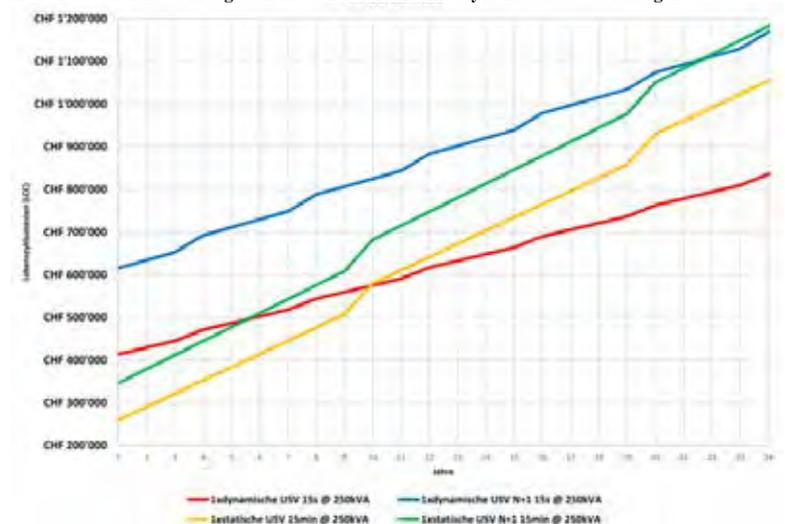


Abb. 3: Nutzenschwelle statische und dynamische USV-Anlage



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_21
an der Abteilung Gebäudetechnik

Optimierte Netzersatzanlage in Kombination mit Photo- voltaik und Stromspeicherung

Studenten	Caluori Patrik Gerber Remo
Dozenten	Oliver Vogel Gerhard Zweifel
Experte	Rudolf Geissler
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: Schweizer Paraplegiker Zentrum)
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Optimierte Netzersatzanlage in Kombination mit Photovoltaik und Stromspeicherung

In Zeit der Energiewende wird vermehrt auf erneuerbare Energie gesetzt. Dies oft in Form einer Photovoltaikanlage. Gegenwärtig ist es so, dass im Notbetrieb auf die Ressource Sonnenenergie vollständig verzichtet wird. Es wäre jedoch bereits heute möglich, dass eine Photovoltaikanlage in ein Notstromkonzept integriert und somit der Verbrauch von fossilen Brennstoffen reduziert wird. Die vorliegende Bachelor-Diplomarbeit untersucht eine Kombination einer Netzersatzanlage mit Photovoltaikanlage und Energiespeicher.

Aus sicherheitstechnischem Aspekt wird davon abgeraten eine Photovoltaikanlage mit einer Netzersatzanlage zu kombinieren. Die Photovoltaikanlage ist vom Wetter abhängig und produziert somit keine konstante Leistung. Diese Leistungsschwankungen haben Auswirkungen auf das gesamte Netz und damit auch auf die Netzersatzanlage. Die technischen Rahmenbedingungen sind daher zu überprüfen. Ein Netzausfall in der Schweiz ist eher selten. Im Folgenden wird eine Systemlösung gezeigt, die für maximal 50 Stunden im Jahr ausgelegt ist. Die Wirtschaftlichkeit darf dabei nicht vernachlässigt werden.

Synergien mit Lastmanagement

Als Grundlage für ein sinnvolles Lastmanagement dient ein schlüssiges und transparentes Messkonzept. Nur damit lässt sich der Energiefluss ermitteln und ein korrektes Lastprofil erstellen. Nicht nur für die Abrechnung, sondern vor allem für ein nachhaltiges Energie-Management ist dies unumgänglich. Der Verbrauch der Anlage muss ständig mit aktuellen Wetterdaten und den Messwerten aus der Vergangenheit abgeglichen werden. Durch diese Auswertung wird eine Prognose des Lastprofils möglich. Dadurch lässt sich der Energiespeicher entlasten und effizient betreiben.

An Hand des Lastprofils kann die Leistung eines Gebäudes analysiert werden. Auf diese Weise lassen sich eventuelle Synergien oder Gegenläufe festgestellt.

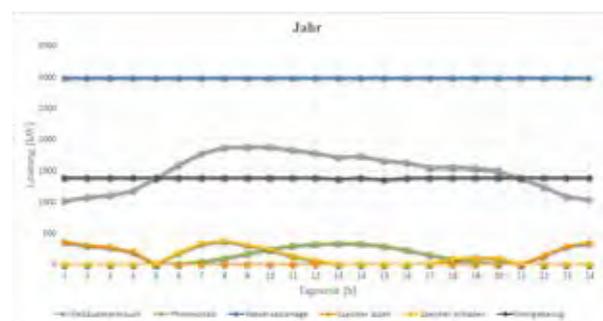


Abbildung 1: Lastprofil des Areals mit NEA, PVA und ES über das gesamte Jahr betrachtet

Durch das Lastmanagement mit einem Elektro-speicher werden die Lastspitzen gebrochen. Wird das System zusätzlich mit einer Photovoltaikanlage kombiniert, kann die Lastspitze noch weiter reduziert werden [s. Abb. 1]. Schliesslich wird eine Bandlast angestrebt. Durch dies wird das öffentliche Netz nicht mit starken Schwankungen belastet und die Lastspitze ist definiert. Die Dieselaggregate sind im Notbetrieb nicht komplett ausgelastet. Dies hat den Vorteil, dass sich die Lebensdauer der Anlage erhöht und zudem der Treibstoffverbrauch sowie die Schadstoffemissionen reduziert werden.

Zentrale Systemlösung

Eine Systemlösung ist derzeit noch mit erhöhtem Aufwand zu realisieren. Eine Netzersatzanlage und eine Photovoltaikanlage lassen sich ohne den Einsatz eines Elektrospeichers nicht kombinieren. Zudem müssen die einzelnen Anlagen mithilfe einer Steuerung überwacht und geregelt werden. Dafür werden die einzelnen Spannungen und Ströme der Anlagen gemessen. Diese geben Auskunft über den Zustand, Verbrauch oder Produktion der Anlagenteile. Auf diese Weise lässt sich ein optimaler Betrieb der Anlagen garantieren.

Die Photovoltaikanlage wird auf eine zentrale Verteilung geführt und parallel zur Netzersatzanlage eingespeist. Ein zentraler Elektrospeicher wird ebenfalls parallel zu den Generatoren geschaltet [s. Abb. 2]. Durch das Parallelschalten der einzelnen Anlagen minimiert sich der Steuerungsaufwand und die Fehleranfälligkeit verringert sich. Für diesen Lösungsansatz sind alle Anlagen von Anfang auf die letztendliche Systemlösung auszurichten. Wird dies in der Planungsphase nicht bereits berücksichtigt, ist ein funktionierendes System im Notbetrieb nur noch schwer zu realisieren.

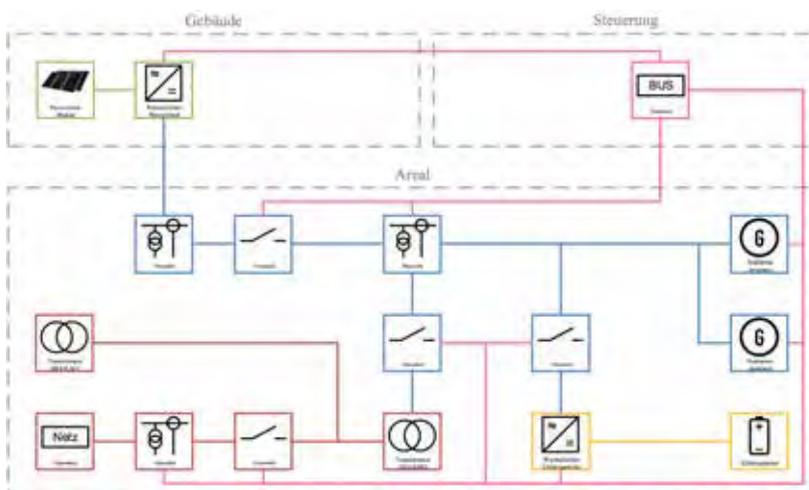


Abbildung 2: Funktionsprinzip der Systemlösung

Spezifisches Berechnungstool

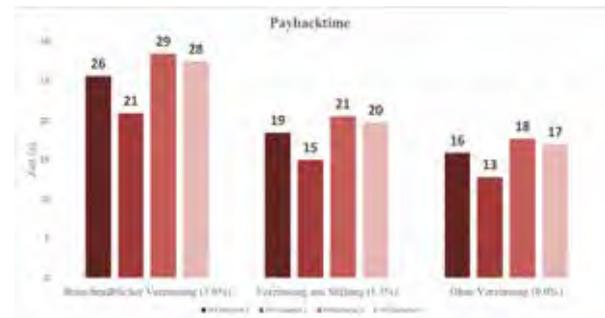


Abbildung 3: Amortisationsberechnung der Paybacktime

Um die Energie des Gebäudes und der Photovoltaik zu ermitteln, ist ein einfaches auf Excel basierendes Berechnungstool realisiert worden. Zusätzlich werden Lastprofile erstellt und die Wirtschaftlichkeit der einzelnen Systeme berechnet. Mit dem Tool lassen sich verschiedene Varianten miteinander vergleichen. Diese werden auf ihre technische Realisierbarkeit sowie Wirtschaftlichkeit hin analysiert und mit Hilfe von anschaulichen Diagrammen verglichen.

Für die einzelnen Anlagenteile steht eine Produkteauswahl zur Verfügung, die sich automatisch dem Lastprofil der jeweiligen Gebäude anpasst. Letztlich lassen sich mithilfe der Wirtschaftlichkeitsberechnung die Baukosten, die Amortisation und die Paybacktime [s. Abb. 3] für die Systemvarianten berechnen.

Hochschule Luzern
Technik & Architektur

Bachelor Diplomarbeit
in Gebäudetechnik 2016

Optimierte Netzersatzanlage in
Kombination mit Photovoltaik
und Stromspeicherung

Betreuer: Oliver Vogel
Student: Patrik Caluori
Student: Remo Gerber



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_22
an der Abteilung Gebäudetechnik

Sichere Quartiersversorgung mit erneuerbarer Energie und Wasserstoffspeicher

Studenten	Gurtner Reto Schindler Marco Stalder Renato
Dozenten	Alimpic Zoran Salathé Dominique
Experte	Tillenkamp Frank
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur Hefti.Hess.Martignoni. Bern AG
Abgabedatum	10. Juni 2016

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.

Sichere Quartiersversorgung mit erneuerbarer Energie und Wasserstoffspeicher

Die Energiestrategie 2050 und der damit verbundene Atomausstieg fordern einen verstärkten Ausbau der erneuerbaren Energien. Der heutige Kraftwerkspark besteht aus wenigen grossen Anlagen über die ganze Schweiz verteilt. Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien, vor allem im Bereich Photovoltaik (PV), werden die heutigen Kraftwerke mit vielen kleinen dezentralen ergänzt. Die völlig neue Ausrichtung birgt für die Verteilnetze grosse Herausforderungen. Im Fokus einer Bachelordiplomarbeit der Hochschule Luzern steht die Erhöhung des Eigennutzungsgrades, um die Netzinfrastruktur zu entlasten.

Eine der praktikabelsten Lösungen, um den Eigennutzungsgrad zu erhöhen, ist der Einsatz von Speichern. Langzeitspeicher können Energie über mehrere Monate, z.B. vom Sommer in den Winter, einlagern. Dafür kommen verschiedene Speichermedien in Frage, Gas ist eines davon. Es wird schon länger für verschiedene Anwendungen, auch ausserhalb der Energieversorgung, in Behältern über Zeitperioden gelagert. Unter dem Begriff „Power to Gas“ ist ein Verfahren zusammengefasst, das Energie in Gas speichert. Das Gas ist in diesem Fall meist Wasserstoff, der sich dank eines Elektrolyse-Prozesses relativ einfach aus reinem Wasser gewinnen lässt. Wasserstoff hat auf seine Masse bezogen eine dreimal höhere Energiedichte als Benzin. Zudem lässt sich das Gas verdichten und in geeigneten Druckbehältern einlagern.

Der Prozess zur Gewinnung von Wasserstoff benötigt elektrische Energie. Damit ist man am Ausgangspunkt des hier vorgestellten Konzepts angelangt.

PV-Anlagen erzeugen, vor allem an sonnigen Tagen, viel Energie, die nicht direkt genutzt werden kann. Diese Energie wird heute oft in das Stromnetz des Energieversorgungsunternehmens (EVU) zurückgespeist. Die PV-Anlage in Kombination mit Speichermedien ermöglicht eine Reduktion des Energieflusses ins Versorgungsnetz. Insbesondere an ertragsreichen Tagen wird das Netz dadurch entlastet. Für die Kurzzeitspeicherung werden Batteriespeicher eingebaut. Bei einer gross dimensionierten PV-Anlage wird mehr elektrische Energie erzeugt als die Batteriespeicher aufnehmen können. Diese Energie kann mit Elektrolyseuren in Wasserstoff umgewandelt und in einem Langzeitspeicher eingelagert werden. Mit dem Wasserstoff aus dem Speicher kann in weniger sonnigen Zeiten, wenn der PV-Ertrag gering ist, über eine Wärme-Kraft-Kopplungsanlage (WKK) elektrische und thermische Energie erzeugt werden. Das beschriebene System wird mit folgender Abbildung visualisiert.

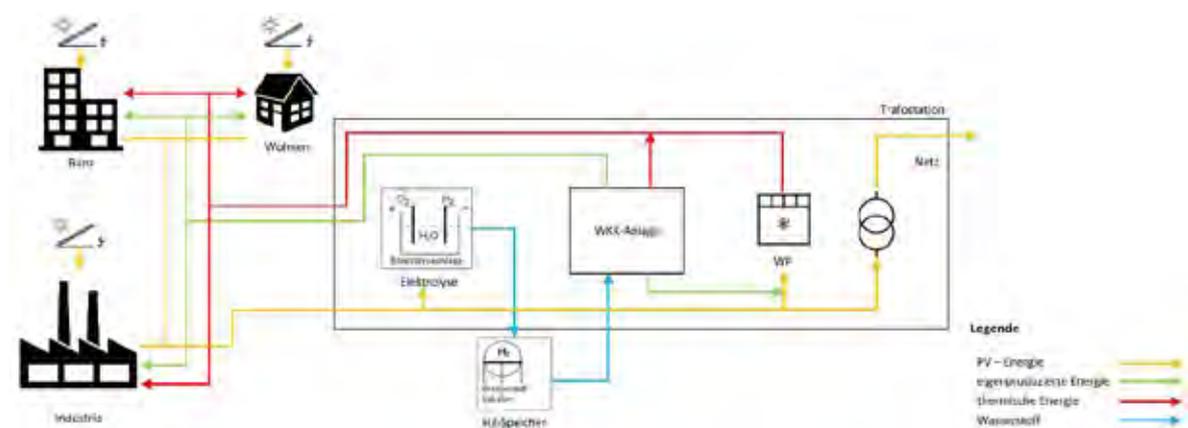


Abbildung: Funktionsschema, Quartiersversorgung mit erneuerbarer Energie und Wasserstoffspeicher

Um das Potential eines solchen Nutzer- und Verbraucherverbundes zu untersuchen, ist im Rahmen einer Bachelorarbeit ein Arbeitstool erstellt worden. Das Arbeitstool kann mit der Eingabe verschiedener Parameter, wie z.B. Wetterdaten des Objektstandorts, Bedarfszahlen, Dachflächen usw., eine Auswertung zu Energien und Wirtschaftlichkeit angeben. Dabei sind viele Berechnungen beeinflussbar, um auch in Zukunft auf sich ändernde Werte einzugehen.

Das Arbeitstool vergleicht für das zur Untersuchung eingegebene Areal vier Szenarien (SZ). In SZ 1 wird der erzeugte Wasserstoff in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verbrannt, welches auch einen Erdgasanschluss hat. Dies ermöglicht eine längere Laufzeit des BHKW. In SZ 2 wird das BHKW nur mit dem eigens produzierten Wasserstoff betrieben. SZ 3 ist ein Vergleichsszenario, in dem die überschüssige PV-Energie konventionell ins Stromnetz zurückgespeist wird. SZ 4 hat anstelle eines BHKW eine Brennstoffzelle, entspricht ansonsten aber SZ 2.

Damit weiterführende Aussagen zum Konzept der Wasserstoffspeicherung gemacht und das Arbeitstool angewandt werden konnte, wurde ein Quartier definiert. Das Quartier bestand in einer ersten Phase aus reinen Wohngebäuden. In der zweiten Phase wurde es mit einer Büronutzung erweitert und zum Schluss, in Phase drei, mit Industrieanlagen versehen. Durch die Umgestaltung des Quartiers konnte das Verhalten bei steigendem Bedarf und unterschiedlichen Lastverläufen studiert werden.

Die Auswertungen haben ergeben, dass für das definierte Quartier ein hoher Deckungsgrad der PV-Anlage erreicht wird. Der Nutzungsgrad kann dabei, je nach Auslegung der Wasserstoffspeicherung und Elektrolyseur-Anlage, erhöht oder verkleinert werden. Im Falle der untersuchten Quartiere konnte die Anlage so gross ausgelegt werden, dass eine Autarkie vom EVU realistisch ist. Ebenfalls Teil der Auswertung ist die Wirtschaftlichkeit. Dabei wurden die Szenarien mit Wasserstoffspeicherung untereinander, aber auch mit SZ 3, verglichen. Es zeigte sich, dass SZ 3, die konventionelle Lösung mit Rückspeisung, weit billiger ist als alle anderen untersuchten Szenarien. Teil der Wirtschaftlichkeitsrechnung waren die Ermittlung der jährlichen Gesamtkosten auf einen Zeithorizont von 30 Jahren und eine statische Amortisationsrechnung. Bei der Verfolgung des Zieles Autarkie schnitt die Wirtschaftlichkeit am schlechtesten ab. Mit den eingesetzten Energiepreisen war das SZ 1, mit zusätzlichem Erdgaseinkauf, minimal rentabler als die SZ 2 und 4. Dies kommt davon, dass die Wärmepumpe als Hauptwärmeerzeuger aufgrund des Erdgasanschlusses kleiner dimensioniert werden konnte. In den SZ 2 und 4 ist eventuell nicht immer Wasserstoff vorhanden, weshalb die Wärmepumpe den gesamten Wärmebedarf abdecken können muss.

Zusammenfassend kann gesagt werden, dass das Konzept der Wasserstoffspeicherung, rein technisch gesehen, interessant und machbar ist, aber aus wirtschaftlichen Gründen noch Entwicklungszeit benötigt. Aus vermarktungstechnischer Sicht oder als Vorreiter in einer Pionierrolle, sollten kleinere Anlagen als Studien- und Prestigeobjekte aber nicht ausgeschlossen werden. Je höher der Anteil an erneuerbaren Energien ausfällt, desto interessanter wird auch deren Speicherung. Wenn der Punkt der Wirtschaftlichkeit in kommenden Jahren überschritten wird, sind Fach- und Praxiswissen in Zusammenhang mit solchen Anlagen viel Wert.



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_23
an der Abteilung Gebäudetechnik

Energieautarke Bed & Breakfast-Anlage, Luzern

Studenten	Ivan Tomislav Biuk Nicolas Ruf
Dozenten	Herr Prof. Dr. Axel Seerig Herr Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Experte	Herr Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: Von Aesch Katja, Hungerberg 35, 2565 Jens, Vertreter vor Ort: Eduard Schmidlin, Stutzstrasse 25, 6005 Luzern)
Abgabedatum	16. Juni 2016

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.

Energieautarke Bed & Breakfast-Anlage, Luzern

Für eine im Jahre 1942 fertiggestellte 10-Zimmer-Villa in St.Niklausen (LU), mussten drei aufeinander aufbauende Sanierungskonzepte entwickelt werden. Ziel war es, den Endenergiebedarf der Anlage zu senken, die Treibhausgasemissionen der gebäudetechnischen Einrichtungen zu reduzieren und das Gebäude mittelfristig zu einem energieautarken Betrieb zu führen. Die dafür zum Einsatz kommenden Massnahmen mussten nicht zwingend rentabel sein, sich aber in einem wirtschaftlich vertretbaren Rahmen bewegen.

Der dafür angedachte Massnahmenplan sah vor, mit einfachen Optimierungsarbeiten am vorhandenen System anzufangen (Konzept 1), anschliessend die bestehende Infrastruktur zu erweitern (Konzept 2) und abschliessend zwei Varianten auszuarbeiten, welche mittels der Neuanschaffung der vorhandenen Technik (Konzept 3) die eingangs definierten Ziele erreichen.

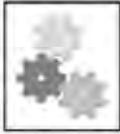
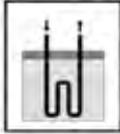
Bestand Analysieren	Konzept 1 Optimieren	Konzept 2 Sanieren	Konzept 3 Energieautark	
		  	   	Variante 1 Variante 2
Bis 2016	Ab 2017	Ab 2020	Ab 2035	

Abbildung 1: Gesamtübersicht der einzelnen Konzeptphasen

Bestandsanalyse

nach eingehendem Studium des Bestandes (basierend auf einem betreiberseitig zur Verfügung gestellten jahresenergiebedarf in Höhe von 8'000 Litern Heizöl leicht), wurde ein Endenergiebedarf von $794 \text{ MJ/m}^2_{\text{EBF}}$ eruiert. Die Treibhausgasemissionen liegen bei 33'867 kg_{CO_2} und der Autarkiegrad beträgt dank minimalen solaren Energiegewinnen über die Fensterflächen bei 13.7%

Im Weiteren ergab die Analyse des standortspezifischen Energiepotenzials, dass einzig eine auf Geothermie basierende WP und/oder eine Holzfeuerung mit nachwachsenden Rohstoffen den Anforderungen der Aufgabenstellung genügen.

Konzept 1 - Betriebsoptimierung:

Im Zuge der Betriebsoptimierung zeigte sich, dass dieser Konzeptstufe das grösste Kosten/Nutzen-Potenzial zugrunde liegt. Es wurden die folgenden Massnahmen untersucht, welche eine jeweilige Amortisationszeit von weniger als drei Jahren ausweisen:

- Einsatz von selbstregulierenden Thermostatheizventilen in Kombination mit Funkthermostatköpfen.
- Fugenabdichtung der Fensterrahmen.
- Temperatursenkung bei nicht Gebrauch einzelner Räume über Touch-Panel.

Damit wurde in der Konzeptphase 1 eine Erhöhung des Autarkiegrades auf 17.3% möglich. Der Endenergiebedarf konnte auf $576 \text{ MJ/m}^2_{\text{EBF}}$ und die Treibhausgasemissionen auf $24'557 \text{ kg}_{\text{CO}_2}$ gesenkt werden. Die resultierende Heizöleinsparung mittels obiger Massnahmen betrug schlussendlich 1'791 Liter. Das entspricht gegenüber der bestehenden Anlage einer Einsparung von 22.5% und beim heutigen Heizölpreis von 0.75 SFr./l (Stand 07.06.2016) einer jährlichen Einsparung von 1'343 SFr.

Konzept 2 - Sanierung:

Die Konzeptphase 2 befasste sich hauptsächlich mit der Optimierung der bestehenden Gebäudesubstanz. Dabei wurde die Gebäudehüllendämmung einmal hinsichtlich des von der SIA definierten Grenzwertes untersucht und einmal gemäss des Zielwerts. Zusätzlich wurde aufgrund der nach der Dämmung erhöhten Luftdichtigkeit der Fassade, eine kontrollierte Wohnlüftungsanlage konzipiert. Zur Erhöhung des Energieautarkiegrades wurde abschliessend noch eine Solarthermieanlage zur Erzeugung des Brauchwarmwassers vorgesehen. Die jeweiligen Wirtschaftlichkeitsprüfungen ergaben, dass eine Variante mit Dämmung nach Grenzwert deutlich rentabler ist, als eine Variante mit Dämmung nach Zielwert. Die nachfolgende Tabelle fasst die oben vorgestellten 2 Varianten zusammen und vergleicht diese abschliessend.

Tabelle 1: Vergleich Konzept 2 - Grenzwert und Zielwert

Variante	Autarkiegrad	Endenergiebedarf	CO ₂ -Emissionen	Investitionskosten
Grenzwert	39.8 %	315 MJ/m ²	11'031 kg _{CO2}	154'370 sFr.
Zielwert	45.1 %	254 MJ/m ²	8'551 kg _{CO2}	352'568 sFr.
Differenz	5.3 %	61 MJ/m ²	2'480 kg _{CO2}	198'198 sFr.

Konzept 3 – Variante Holz:

Durch das bewirtschaften einer Liegenschaftseigenen Pappeln-Plantage und dem Ersatz des bestehenden Heizölkessels durch eine Stückholzfeuerung, wird bei dieser Variante ein Gesamtautarkiegrad von 96.9% erreicht. Die resultierenden Treibhausgasemissionen liegen dank dem Einsatz von CO₂-Neutralem Brennholz als Energieträger bei 693 kg_{CO2}. Um den elektroseitigen Energiebedarf zu decken, wurde eine PV-Anlage in der Grössenordnung des jährlichen Strombedarfs vorgesehen.

Konzept 3 – Variante WP:

Bei dieser Variante garantiert der Wechsel vom Heizölkessel, hin zu einer Wärmepumpe weiterhin einen vollautomatisierten Betrieb. Die Wahl der Geothermie als Wärmequelle gewährt hohe Jahresarbeitszahlen und lässt die Möglichkeit einer Sommerkühlung offen. Auch bei dieser Variante wurde eine Photovoltaikanlage in der Grössenordnung des jährlich anfallenden Strombedarfs ausgelegt. Der erreichte Gesamtautarkiegrad liegt bei dieser Variante bei 84.5%. Die Treibhausgasemissionen betragen 2'909kg_{CO2}.

Bei beiden Varianten gelang es, die Bed & Breakfastanlage zu einem Null-Energiehaus zu formen. Sprich die Liegenschaft produziert über das ganze Jahr gesehen gleichviel Energie (thermisch wie auch elektrisch) wie sie selber während 365 Tagen benötigt. Den Anspruch einer von allen öffentlichen Netzen unabhängigen, sich ganzjährig selbst mit Energie versorgenden Anlage, konnten die Konzepte aber nicht gerecht werden. Dafür sind die elektroseitig anfallenden Leistungsspitzen in den Wintermonaten schlichtweg zu hoch. Um diese auch noch decken zu können, müsste man mit einem Langzeitspeicher (z.B.: Wasserstoffspeicher) arbeiten.

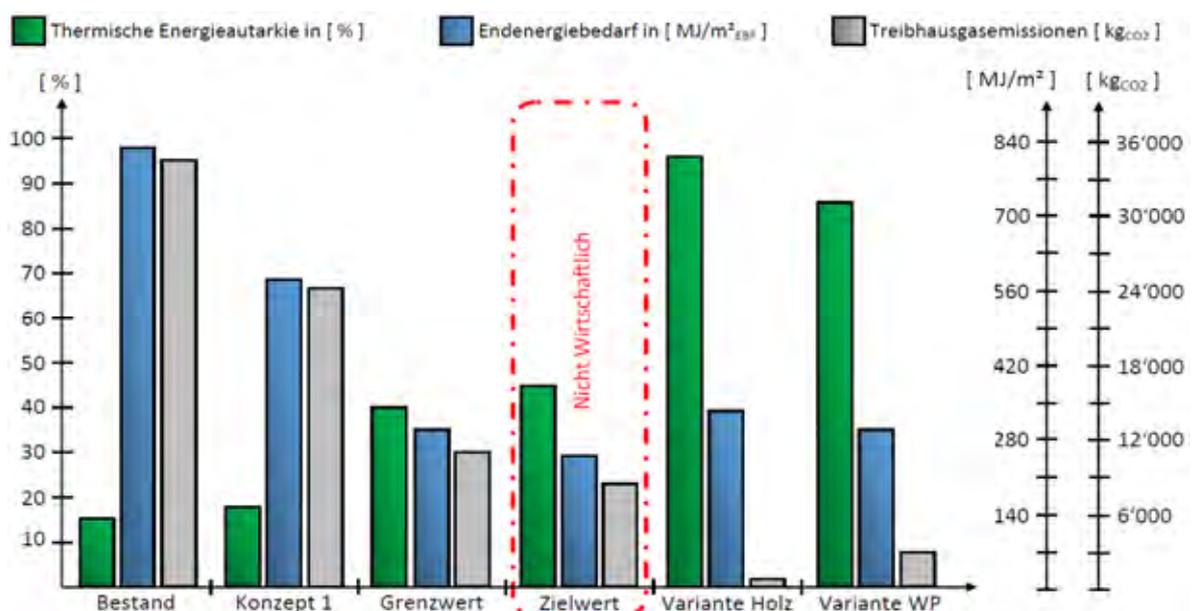


Abbildung 2: Abschliessende Übersicht über die einzelnen Konzeptstufen



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_24
an der Abteilung Gebäudetechnik

Hygienisch und energetisch optimale Wärmespeicherung und Warmwasserverteilung

Studenten Flavio Süess
 Marcel Wagner

Dozenten Prof. Reto von Euw
 Prof. Gerhard Zweifel
 Andreas Odermatt

Experte Roger Neukom

Auftraggeber Hochschule Luzern – Technik & Architektur
 (Geberit Vertriebs AG, Schachenstrasse 77, 8645 Jona)

Abgabedatum 10. Juni 2016

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.

Hygienisch und energetisch optimale Wärmespeicherung und Warmwasserverteilung

Im Rahmen der Bachelordiplomarbeit an der Hochschule Luzern wurde die Hygiene im Trinkwasserbereich im Zusammenhang mit den Hygienespülungen untersucht. Stagnierendes Wasser in Installationen ist zu vermeiden und der Erstbefüllung inklusive der Druckprüfung ist eine grössere Betrachtung zu schenken. Die Simulationen haben aufgezeigt, dass in Wohnungsbauten mit Erschliessung der Apparate im Reihenleitungssystem grundsätzlich keine Hygienespülungen erforderlich sind. Als weiterer Punkt wurde die Zirkulationsrückführung in einem durchsichtigen Speicher untersucht. Die Laboruntersuchungen haben ergeben, dass die Zirkulationsrückführung in den Speicher möglichst impulsarm erfolgen soll. Im weiteren ist der Standort der Rückführung in den Speicher objektspezifisch zu betrachten und auf das Gesamtsystem abzustimmen.

Hygiene im Trinkwasserbereich

Wasser muss fließen

Stagnierendes Wasser ist in der Trinkwasserversorgung zwingend zu vermeiden. In stehendem Wasser finden Mikroorganismen optimale Fortpflanzungsbedingungen vor. Ebenfalls können in diesen Leitungsteilen die geforderten Wassertemperaturen nicht gewährleistet werden. Dies fördert die Vermehrung der Mikroorganismen. Es ist darauf zu achten, dass die Kaltwassertemperatur in den Leitungen immer $\leq 25^{\circ}\text{C}$ beträgt. Um die Legionellenvermehrung im Warmwasserbereich einzuschränken, sind am Speicheraustritt 60°C zu gewährleisten. Die Zirkulationsrückführung in den Speicher muss $\geq 55^{\circ}\text{C}$ und an der Armatur $\geq 50^{\circ}\text{C}$ betragen.

Einsatz von Hygienespülsystemen

Mit einer überdachten Anordnung der Sanitärapparate in einem Gebäude und der Wahl einer geeigneten Verlegeart der Leitungen kann im Wohnungsbau auf den Einsatz einer Hygienespülung verzichtet werden. Die Simulationen (mit IDA ICE) der Warmwasserverteilung eines acht Familienhauses hat aufgezeigt, dass bei einer Erschliessung der Apparate im Reihenleitungssystem die Stagnationszeiten weniger als 72 Stunden betragen. In Installationen mit Verbrauchsunterbrüchen länger als 48 - 72h, wie Ferienwohnungen, Sportanlagen oder öffentlichen Gebäuden ist der Einsatz von Hygienespülsystemen durchaus sinnvoll. Dabei ist es aus der energetischen wie wirtschaftlichen Sichtweise wichtig, die Einstellung der Hygienespülung objektspezifisch vorzunehmen. Bei der Wahl des Hygienespülsystems muss sich der Fachplaner im klaren sein, ob die Leitung bis zur Ausflussarmatur gespült werden muss oder der "letzte Meter" (bei einer Dusche von der Armatur bis zum Brausenkopf) vernachlässigt werden kann. Im "letzten Meter" kann es zu grossem Biofilmwachstum kommen¹ (siehe Abbildung 1). Dadurch können sich Bakterien im Biofilm einnisten; welche die Wasserqualität auf dem letzten Meter wesentlich verschlechtern können und somit die hohen finanziellen und arbeitsintensiven Massnahmen für eine saubere Trinkwasserqualität zunichtemachen.

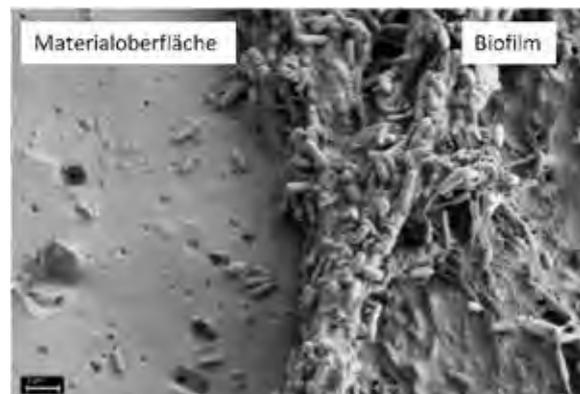


Abb. 1: Aufnahme Biofilmwachstum in einem mehrere Jahre alten Duschschlauch mittels Elektronenmikroskopie (Kötzsch (2015))

¹ Kötzsch, S. (2015). Biologische Stabilität im Trinkwasser. 3. Schweizer Hygienetagung 2015, Seite 58–62. <http://www.swki.ch/hygienetagung2015/>. Zugegriffen 26.03.2016.

Erstbefüllung und Druckprüfung

Der Erstbefüllung und der Druckprüfung von Wasserinstallationen werden in der Praxis oft zu wenig Betrachtung geschenkt. In der Rohbauphase werden die Installationen für die Druckprüfung über einen Gartenschlauch befüllt und dadurch werden unerwünschte Mikroorganismen in das Leitungssystem eingebracht. Mit der anschliessend langen Stagnationszeit kann dies bereits zu einer Kontamination des Leitungssystems führen. Durch Dichtheitsprüfungen mit inerten Gasen, der Erstbefüllung mit einem Hygienefilter und der anschliessenden gründlichen Spülung der gesamten Installation 48 - 72 Stunden vor der Übergabe an die Bauherrschaft, kann mit einfachen Vorkehrungen eine deutliche Verbesserung der Hygiene im Installationssystem erreicht werden.

Fazit zur Hygiene im Trinkwasser:

- stagnierendes Wasser ist zu verhindern
- Kaltwassertemperatur $\leq 25^{\circ}\text{C}$; Warmwassertemperatur Speicherausstritt 60°C , Zirkulationsrückführung $\geq 55^{\circ}\text{C}$, Ausflussarmatur 50°C
- Druckprüfung in der Rohbauphase mit inerten Gasen, Erstbefüllung mit Hygienefilter und erst 48 - 72 Stunden vor der Übergabe an die Bauherrschaft
- Einzelleitungssystem verursacht stagnierendes Wasser, Reihenleitungssystem bevorzugen
- beim Einsatz von Hygienespülssystem Spülparametereinstellung (Spülzeit, Spülintervall und Spülvolumenstrom) objektspezifisch einstellen, um Energie und Wasser zu sparen
- die Auswirkung des „letzten Meters“ auf die Trinkwasserqualität ist weiter zu untersuchen

Zirkulationsrückführung in einen Schichtspeicher

Einleitung in den Laborversuchstand

Beim Labvorversuchstand Zirkulationsrückführung gibt es beim Wassererwärmer drei Anschlüsse für die Rückführung der Zirkulation. Diese Anschlussstutzen befinden sich im unteren, mittleren und oberen Bereich des Wassererwärmers. Insgesamt sind vier Messreihen durchgeführt worden. In den ersten drei Messserien wurde untersucht, wo und mit welcher Eintrittsgeschwindigkeit die Zirkulation zurück in den Wassererwärmer eingebacht werden soll. Die Eintrittsgeschwindigkeiten bei den drei minütigen Messserien 1 bis 3 betragen zwischen 0.1 - 0.24 m/s. In der Messserie 4 wurde die Zirkulationsrückführung über eine Stunde betrachtet.

Strömungsversuche zwischen 0.1 – 0.24 m/s

Durch die Rückführung der Zirkulation in den Wassererwärmer wird die Schichtung im Speicher beeinträchtigt. In der Abbildung 2 wird die Zirkulation im oberen Bereich des Speichers eingeführt. Im linken Bild beträgt die Eintrittsgeschwindigkeit 0.1 m/s. Im rechten Bild beträgt die Eintrittsgeschwindigkeit 0.24 m/s. Vor dem Eintritt in den Speicher wurde eine Beruhigungsstrecke von 3 - 6 Mal dem hydraulischen Durchmesser berücksichtigt. Bei einer Eintrittsgeschwindigkeit von 0.1m/s besitzt der Eintrittsstrahl einen geringen Impuls. Der Zirkulationsvolumenstrom schichtet sich auf der entsprechenden Höhe gleicher Temperatur ein, sowie werden die umliegenden Sichten kaum beeinflusst. Somit kann der Exergieverlust auf ein Minimum reduziert werden. Bei einer Eintrittsgeschwindigkeit von 0.1 m/s ist mit einer Eindringtiefe von 30 - 40 cm zu rechnen, wenn

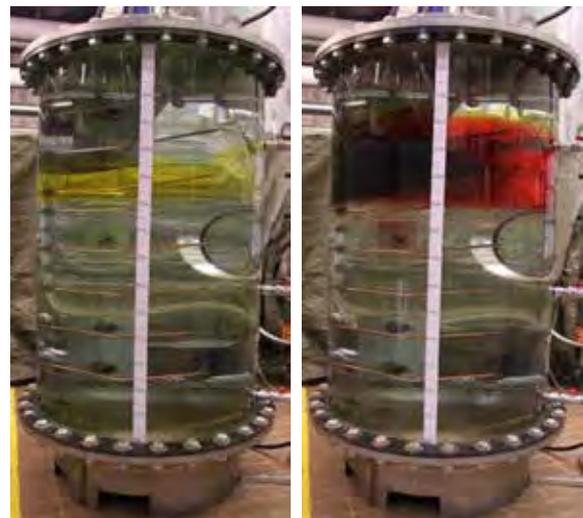


Abb. 2: Eintritt des Zirkulationsmassenstrom mit 0.1m/s (links) und Eintritt des Zirkulationsmassenstrom mit 0.24m/s (rechts) in den Spei-

die Zirkulation ins 60°C warme Wasser eingebracht wird. Bei einer Geschwindigkeit von 0.24 m/s entsteht durch den höheren Impuls eine Rückzirkulation, wovon mehrere Temperaturschichten betroffen und negativ beeinflusst werden. Bei einer Eintrittsgeschwindigkeit von 0.24 m/s ist mit einer Eindringtiefe von 60 - 70 cm zu rechnen. Wird die Zirkulation in unteren Teil des Wassererwärmers und somit in die Kaltzone eingebracht, wird der ganze untere Teil des Wassererwärmers in kurzer Zeit zu einer Mischzone. Die Mischzone im unteren Bereich wirkt sich negativ bei allfälliger Nutzung von Abwärme oder der Einbindung einer thermischen Solaranlage aus. Weiter kann sich dies auch negativ auf den Wärmeerzeuger auswirken, wenn dieser möglichst tiefe Rücklaufemperaturen bevorzugt.

Exergetische Betrachtung der Zirkulationsrückführung

Bei einer Betrachtung der Zirkulationsrückführung über eine Stunde konnte festgestellt werden, dass beim "Zirkulationseintritt Oben" bei der Messserie 4 nach rund 3 - 4 Stunden eine Zwangsladung erfolgen würde, auch wenn kein Warmwasser gezapft wurde. Wird die Zirkulation im unteren Teil des Speichers eingeführt, dauert es deutlich länger bis eine Zwangsladung durchgeführt werden muss. Für die Betrachtung der Exergieänderung wurde der Speicher in dreissig Schichten unterteilt. In der Abbildung 3 ist die Änderung der Exergie in den einzelnen Schichten des Speichers während der Messserie 4 ersichtlich. Die Exergieänderung beträgt in einer Stunde beim "Zirkulationseintritt Oben" 876 kJ und beim "Zirkulationseintritt Unten" 2300 kJ. Aus reiner exergetischen Betrachtung sollte die Zirkulation somit in diesem Beispiel ins 60°C warme Wasser zurückgeführt werden. Um die Temperatursichtung im Wassererwärmer durch die Zirkulationsrückführung nicht zu beeinflussen, ist eine externe Erwärmung der Zirkulationsverluste anzustreben. Dies könnte beispielsweise mit einer kleinen Luft-Wasser-Wärmepumpe erfolgen.

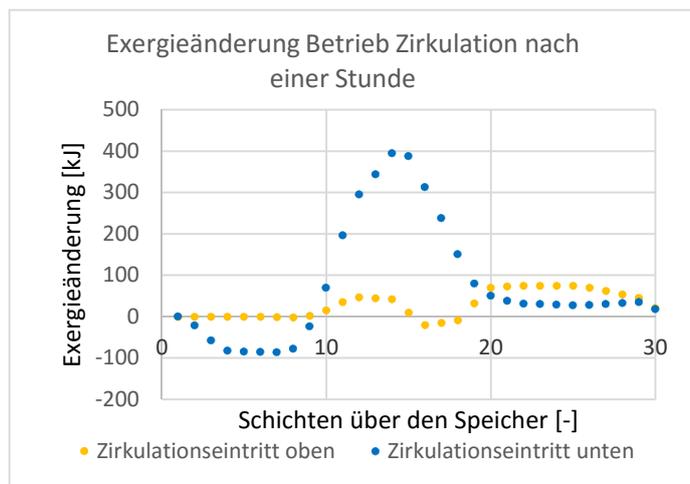


Abb 3: Exergieänderung Betrieb Zirkulation nach einer Stunde

Fazit zur Zirkulationsrückführung:

- die Eintrittsgeschwindigkeit sollte ≤ 0.1 m/s betragen (vor allem bei kleinen Speicherdurchmessern)
- eine Beruhigungsstrecke von 3 – 6 Mal dem hydraulischen Durchmesser sollte eingehalten werden
- beim Eintritt der Zirkulation in die Kaltzone des Speichers ist der Exergieverlust mehr als doppelt so gross, als wenn die Zirkulation ins 60°C warme Wasser eingebracht wird
- durch die Einführung der Zirkulation im oberen Bereich des Wassererwärmers kommt es schneller zu einer Zwangsladung, als wenn die Zirkulation unten eingebracht wird
- die Zirkulationsrückführung muss objektspezifisch betrachtet werden
- die Auswirkung der Zirkulationsrückführung in die Kaltwasseranschlussleitung ist zu untersuchen
- das Potenzial einer externen Erwärmung der Zirkulationsrückführung mittels einer kleinen Wärmepumpe ist zu bestimmen



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_25
an der Abteilung Gebäudetechnik

Optimierte Klimatisierung von neuen und bestehenden Patientenzimmern in der Klinik

Student Oliver Beyeler

Dozenten Prof. Dr. Rüdiger Külpmann
Prof. Zoran Alimpic

Experte Bruno Soder

Auftraggeber Hochschule Luzern – Technik & Architektur
(Industriepartner: Schweizer Paraplegiker-Zentrum)

Abgabedatum 10. Juni 2016

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

Optimierte Klimatisierung von neuen und bestehenden Patientenzimmern in der Klinik

Für die Klimatisierung und Belüftung der Patientenzimmer in der Intensiv- und Normalpflegestation können verschiedene Systeme verwendet werden. Je nach Spezialisierung der Einrichtung, Abteilung und je nach Patientengruppe sind unterschiedliche Belastungen in den Räumen zu erwarten. Das Paraplegiker Zentrum in Nottwil ist spezialisiert auf querschnittsgelähmte Patienten. Diese Patientengruppe hat besondere Bedürfnisse und stellt auch besondere Anforderungen an die Gebäudetechnik. Es werden verschiedene Heiz-, Kühl- und Belüftungssysteme für die Intensiv- und Bettenzimmer im Neubau sowie in der Sanierung untersucht und verglichen. Dies in Bezug auf Behaglichkeitskriterien, Verträglichkeit bei Patienten, Energieeffizienz und Kosten. Schlussendlich wird im Umsetzungsvorschlag eine Empfehlung für das optimale Klimatisierungs- und Belüftungssystem abgegeben.

Als erstes wurden Pläne, Gebäudedaten und Grundlagen analysiert. Fehlende Grundlagen wurden wo nötig bei den zuständigen Fachspezialisten organisiert. Die Raumdatenblätter des Paraplegiker Zentrums definieren in jeder Nutzung den Ausbaustandard. Weiter sind in den Normen, Richtlinien und in der Literatur Vorgaben und Empfehlungen zur Planung von Intensiv- und Bettenzimmern vorhanden. In diesen sind in der Regel Minimalanforderungen ohne objektspezifische Einflüsse definiert. Zum besseren Verständnis der Betriebsabläufe wurden deshalb Interviews mit dem Betriebspersonal der verschiedenen Abteilungen und einem Mediziner durchgeführt.

Interviews mit Betriebspersonal

Die Interviewpartner waren der leitende Arzt Paraplegiologie, der Leiter Intensivmedizin und die Leiterin Pflegestation D. Aus den Interviews ergaben sich sehr wichtige Kenntnisse für die weitere Konzeptentwicklung welche nachfolgend aufgeführt werden. Para- und Tetraplegiker können die Körpertemperatur nicht gut regulieren und überhitzen resp. unterkühlen deshalb schneller. Bei einigen ist zudem das Schwitzen dereguliert. Bei tiefen Raumluftfeuchten erfolgt eine erhöhte Schleimbildung in den Atemwegen, was vor allem bei Tetraplegikern zu schwerwiegenden Problemen führen kann, weil sie den Schleim nicht richtig aushusten können. Das Behaglichkeitsfeld ist deshalb angepasst zu definieren und einzuhalten. Die Grenzen sollen bei minimal 22°C und 30% r.F. sowie maximal 24°C und 60% r.F. liegen. Das Temperaturgefälle im Sommer von aussen zu innen soll nicht mehr als 6°C betragen. Der Darm muss bei den meisten Patienten in den Intensiv- und Bettenzimmern manuell geleert werden. Dies erfolgt liegend im Bett und somit im Zimmer. Die Geruchsbelastungen sind dem entsprechend gross und müssen mit der Lüftungsanlage in vernünftiger Zeit (< 30min.) abgeführt werden. Zusätzlich können offene Wunden auch sehr starke Geruchsemissionen verursachen. Das Deckenbild soll möglichst homogen gestaltet werden, weil die Patienten sehr viel liegen und der Blick auf die Decke gerichtet ist. Akustikdeckenelemente mit Lochung sollen auf keinen Fall zum Einsatz kommen, weil diese zu Desorientierung bei Patienten führen können. Weiter wurden die objektspezifischen Belegungsprofile und Arbeitsprofile der Geräte mit dem Betriebspersonal erstellt, damit die Berechnungen der Lasten möglichst exakt erfolgen können.

Raumklima Patientenzimmer

Die Raumlufttemperaturen werden nach der geltenden SWKI Richtlinie VA 105-01 (2015) garantiert. Bei der Raumluftfeuchte sieht diese im Gegensatz zu den Empfehlungen des Mediziners keine oberen und unteren Grenzen vor. Deshalb wurden mit einer Literaturrecherche weitere Fakten gesammelt damit eine allfällige Be- und / oder Entfeuchtung besser begründet ist. Die Recherchen ergaben, dass bei gesundheitlich gefährdeten Personen wie in Spitälern und Altersheimen eine längere Unterschreitung von 30% r.F. zu gesundheitlichen Problemen führen kann. Dies weil die Schleimhaut austrocknet und der Transport erlahmt. Sehr hohe Luftfeuchtigkeit von mehr als 60% r.F. können in Kombination mit hohen Raumlufttemperaturen zu vermehrtem Schwitzen und somit bei vielem Liegen zu Liegewunden (Dekubitus) führen. Weiter wird das Wachstum von Mikroorganismen (Bakterien, Viren, Pilz ect.) bei über 60% r.F. begünstigt. Die Simulationen mit dem SIA Tec Toll ergaben, dass die untere Grenze von 30% r.F. an rund 2700h pro Jahr unterschritten wird, die obere Grenzen an nur rund 100h. Eine Befeuchtung wird daher notwendig und auf eine Entfeuchtung kann verzichtet werden.

Luftqualität Patientenzimmer

Heute halten sich die Menschen in Europa durchschnittlich 90% der Zeit in Innenräumen auf. Dabei atmet der Mensch je nach Alter und Aktivität 10 bis 20 m³ Luft pro Tag ein, was einer Masse von 12 bis 24 kg Luft entspricht (Umweltbundesamt Deutschland). Dies ist viel mehr als eine Person in Form von Nahrung und Flüssigkeit zu sich nimmt. Deshalb sollte der Luftqualität in Innenräumen grosse Beachtung geschenkt werden. Die Luftqualität in den Intensiv- und Bettzimmer wird massgeblich von den internen Parametern CO₂-Gehalt und den Geruchsbelastungen bestimmt. Hinzu kommen die externen Lasten durch Partikel, Mikroorganismen und Gase in der Aussenluft.

Die Ermittlung der Luftvolumenströme nach CO₂-Gehalt ist massgebend für den Tag- und Nachtbetrieb im Normalfall. Dazu wird der CO₂-Verbrauch pro Person unter Berücksichtigung der Aktivität eingesetzt. Treten Geruchsbelastungen wie Darmentleerungen oder offene Wunden auf, sind weitere Betrachtungen nötig. Eine Eingrenzung der Belastung auf einen kleinen Raum ist gegeben und eine lokale Absaugung nicht möglich. Die Berechnung der notwendigen Luftvolumenströme erfolgt über Verdünnungsbetrachtungen nach SIA 382/1 und nach der Olfaktometrie. Für eine Verdünnung der Luftverunreinigung in 30 Minuten sind bei idealer Mischlüftung Luftwechselraten von 14 h⁻¹ notwendig, bei Quelläftung mit höherer Lüftungseffektivität 10 h⁻¹. Zum Abführen oder Neutralisieren der Geruchsbelastungen können verschiedene Verfahren wie Verdünnung mit Frischluft, Umluft-Reinigung oder Ionisation der Raumluft eingesetzt werden.

Ionisationsverfahren ermöglichen die Neutralisation von Gerüchen ohne hohe Frischluftvolumenströme was aus energetischen Gründen sinnvoll ist. Bei der künstlichen Erzeugung der notwendigen Gross-Ionen entstehen zusätzlich Ozon und der sehr reaktive atomare Sauerstoff. Diese oxidieren anwesende organische Stoffe und können so Gerüche abbauen. Die anfallenden Stofflasten und das Ozon sollen aber die Luftqualität im Raum nicht beeinträchtigen, sondern besser nach der Luftreinigung wieder abgeschieden werden. So kann eine optimale Luftqualität bei gleichzeitig tiefen Frischluftvolumenströmen gewährleistet werden. Das Wiederherstellen des natürlichen Ionengehalts (≥ 1500 Ionen/cm³) in der Raumluft mittels Klein-Ionengeneratoren kompensiert den Stoffmangel der durch die Klimatisierung entsteht. Die Wirkung des Ionengehalts auf den Sauerstoffgehalt im Blut und somit erhöhte Leistungsfähigkeit konnten mehrere Forschungsarbeiten nachweisen. Weitere interdisziplinäre Untersuchungen unter Einbezug der Medizin und Fachspezialisten aus der Lüftungstechnik sollten angestrebt werden.

Variantenvergleich und Umsetzungsvorschlag

Für die Klimatisierung der Intensiv- und Bettzimmer sind hauptsächlich die hohen internen Wärmelasten der Betriebseinrichtungen massgebend. Eine Kühlung ist zwingend notwendig, damit die Raumtemperaturen im definierten Bereich gehalten werden können. In den Intensivpflegezimmern ist aufgrund der hohen Wärmelasten gar kein Heizenergiebedarf vorhanden, in den Bettzimmern nur ein minimaler. Massgebend ist also die Raumkühlung und diese soll möglichst effizient erfolgen. Mit der Quelle Seewasser und der ganzjährigen direkten Kühlung ohne Kältemaschine ist die Klimakälteerzeugung sehr energieeffizient. Gesteigert wird dies zusätzlich durch das Einbinden des Wärmeübertragers vor der Wärmepumpe. So kann die ganzjährige Abwärme der Zimmer für Heizzwecke und Lufterwärmung genutzt werden. Eine grosse Trägheit der Abgabesysteme für die zeitversetzte Klimakälteproduktion ist infolge der Quelle nicht erforderlich. Der grösste Teil des Heizenergiebedarfs wird für die Erwärmung der Frischluft benötigt. Es ist also von Vorteil, wenn der Frischluftanteil möglichst gering gehalten werden kann oder nur punktuell erhöht wird.

Der Variantenvergleich zeigt auf, dass ein Einzelvergleich der Systeme nur zur Vorevaluation Sinn macht. Die Heizungs-, Lüftungs- und Klimakältesysteme sollten dann in der Kombination verglichen werden. Wird zum Beispiel eine Luftreinigung mit Umluft betrieben, kann es durchaus Sinn machen, die Raumheizung und -kühlung trotz schlechter Einzelbewertung auch mit dieser zu bewerkstelligen.

Untersucht wurden die nachfolgenden fünf Kombinationen:

- Kombination 1: Umluftgerät mit Luftreinigung Ionisation und Heiz- / Kühlfunktion
- Kombination 2: Heiz- / Kühldecke geschlossen mit Spüllüftung bei Geruchsbelastungen
- Kombination 3: Heiz- / Kühldecke geschlossen mit Zuluft-Ionisation
- Kombination 4: TABS mit Spitze Heiz- / Kühldeckensegel mit Zuluft-Ionisation
- Kombination 5: Fussbodenheizung / -kühlung mit Spitze Kühldeckensegel mit Zuluft-Ionisation

Bewertet wurden die Kombinationen nach den Kriterien Luftqualität, Energieeffizienz, Raumklima, Standort, Hygiene, Kosten und Optik. Daraus resultierte der nachfolgende Umsetzungsvorschlag pro Nutzung.

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

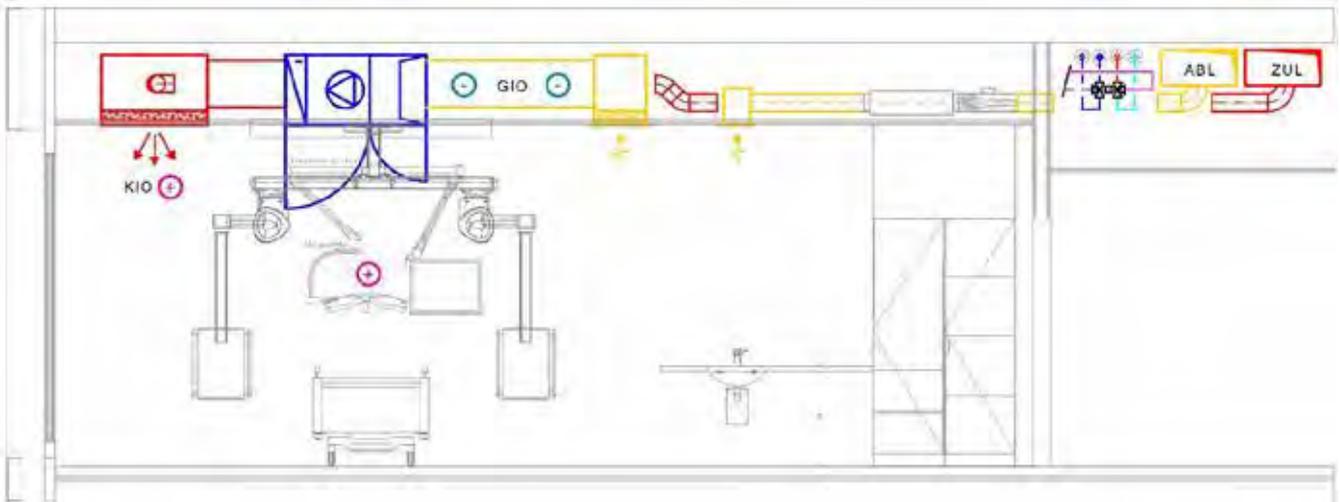


Abbildung 1: Funktionsschnitt Intensivpflege mit Umluft-Reinigungsgerät mit Ionisation

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

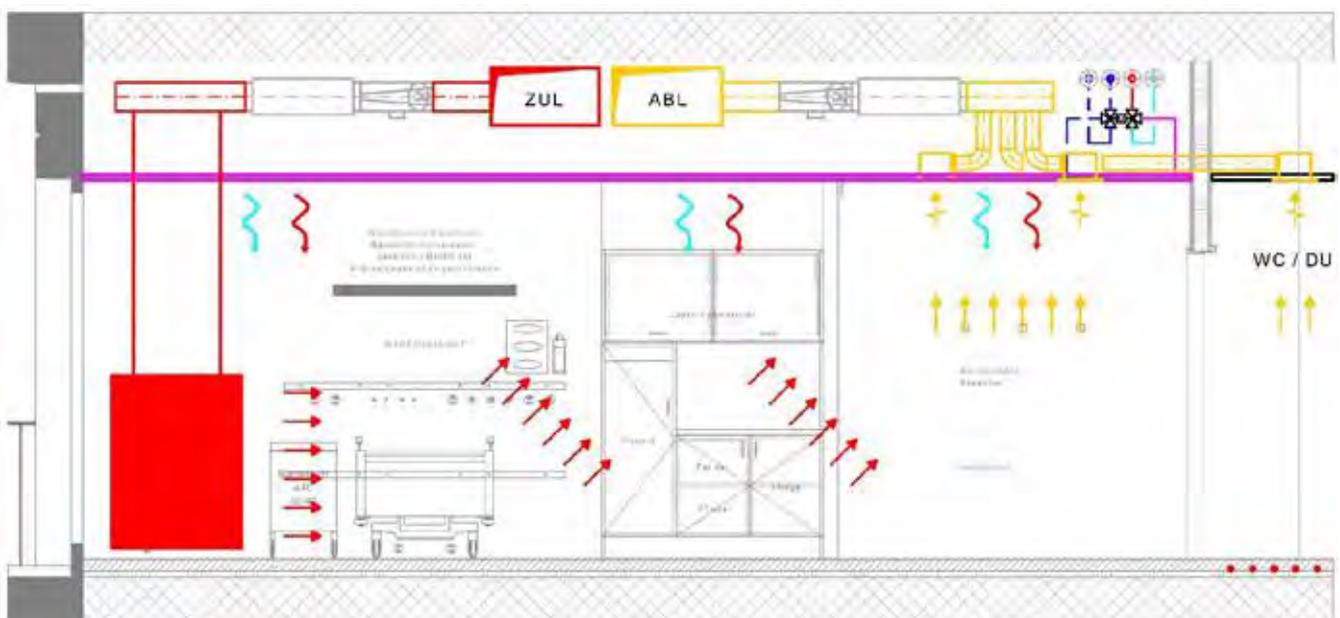


Abbildung 2: Funktionsschnitt Bettzimmer mit Heiz- / Kühldecke und Quelllüftung mit Spüllüftung



Fachartikel zur
Bachelor-Diplomarbeit BDA_G_16_26
an der Abteilung Gebäudetechnik

Energetechnische Aussagen über Einsatz von integrier- ten Anwendungen mit Licht- und Jalousieapplikations- funktionen mit Desigo TRA (Desigo Raumautomation)

Studenten	Pascal Bochud Kevin Meier
Dozenten	Björn Schrader Olivier Steiger
Experte	Charlie Schönenberger
Auftraggeber	Hochschule Luzern – Technik & Architektur (Industriepartner: Siemens Switzerland Ltd, Building Technologies Division, International Headquarters, Gubelstrasse 22, 6301 Zug)
Abgabedatum	10. Juni 2016

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

Verringert steigende Raumautomation den Energieverbrauch?

Aufgrund der Energiestrategie 2050 des Bundes ist Energieeffizienz ein zentrales Thema in der Gebäudetechnik. Mit steigendem Automationsgrad wird eine energieeffiziente Regelung ohne Komforteinbussen angestrebt. Dabei hängt eine energieeffiziente Raumautomationslösung vom integralen Zusammenspiel der verschiedenen Gewerke ab.

Die Nutzung von Tageslicht für Beleuchtungsanlagen ist zur Energieeffizienzsteigerung besonders gut geeignet. Die Nutzung steht jedoch im Zielkonflikt mit dem thermischen Sonnenschutz. Durch geeignete Fahrstrategien des Sonnenschutzes kann dieser Widerspruch minimiert werden, sodass weniger Energie für Heizung, Kühlung und Beleuchtung benötigt wird.

Fahrstrategien

In der Norm prSIA 387/4 sind Fahrstrategien für den aussenliegenden Sonnenschutz definiert. Im Rahmen der Bachelor-Diplomarbeit wurde untersucht, ob die Fahrstrategien der Norm mit dem Desigo TRA-System der Firma Siemens Schweiz AG umzusetzen sind und welche Anpassungen nötig wären. Des Weiteren wurde die Reduktion der Energieverbräuche von Beleuchtung, Heizung und Kühlung anhand dreier Betriebsstrategien mit steigendem Automationsgrad analysiert.

In den Betriebsstrategien (Setup 1 – 3) wird die Beleuchtung mit einer Konstantlichtregelung und die Raumtemperatur auf einen Sollwert reguliert. Bei der Fahrstrategie des Sonnenschutzes werden die Applikationsfunktionen *Blendschutz Beschattung* und *Energieeffizienz Beschattung* der Siemens Schweiz AG betrachtet. Die Fahrstrategien werden in den Betriebsstrategien gemäss Tabelle 1 eingesetzt.

Tabelle 1: Überblick Fahrstrategie von Setup 1 - 3

Setup	Fahrstrategie (07:00 – 18:00)	Fahrstrategie (18:00 – 07:00 / Wochenende)
1	Blendschutz Beschattung	Blendschutz Beschattung
2	Blendschutz Beschattung	Energieeffizienz Beschattung
3	Energieeffizienz Beschattung	Energieeffizienz Beschattung

In der Funktion *Blendschutz Beschattung* wird eine Sonnenschutzstellung betrieben. Der Lamellenwinkel wird nach dem aktuellen Sonnenstand ausgerichtet, sodass keine direkten Sonnenstrahlen in den Raum gelangen. Die Regelgrösse bei dieser Funktion ist die horizontale Aussenbeleuchtungsstärke. In der Funktion *Energieeffizienz Beschattung* werden die Aussen-, die Innentemperatur und die vertikale Globalstrahlung erfasst und für das Herunterfahren des Sonnenschutzes berücksichtigt.

Messungen verifizieren Fahrstrategien

Für die Messungen der drei Setups wurde der Lichtmesscontainer der Hochschule Luzern Technik und Architektur verwendet. Es wurde dabei überprüft, ob sich die Fahrstrategien des Sonnenschutzes mit dem Desigo TRA-System umsetzen lassen.



Abbildung 1: Messraum

Die Funktion *Blendschutz Beschattung* lässt sich nicht mit den Fahrstrategien aus der Norm vergleichen, da die Funktion die horizontale Aussenbe-

leuchtungsstärke als Regelgrösse betrachtet, während die Norm auf die vertikale Globalstrahlung achtet. Mit einer zusätzlichen Einbindung der vertikalen Globalstrahlung in die Funktion *Blendschutz Beschattung* könnten die Vorgaben der Norm ohne grossen Aufwand eingehalten werden.

Die Funktion *Energieeffizienz Beschattung* hingegen lässt sich mit der Norm vergleichen. Mit einer entsprechenden Konfiguration der Parameter für die vertikale Globalstrahlung wird die Norm eingehalten.

Simulation eruiert Energieeffizienz

Aufgrund unterschiedlicher Wetterbedingungen während der Messungen lassen sich die Energieverbräuche der drei Setups nicht miteinander vergleichen. Mit Hilfe einer Simulation wird dieses Problem umgangen. Um realistische Aussagen tätigen zu können, wird der Messraum des Lichtmesscontainers als Bürosegment eines Bürobaus simuliert.

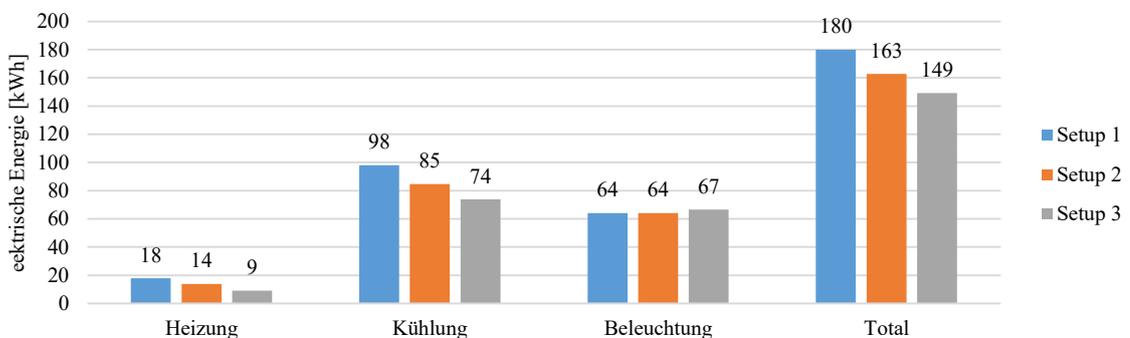


Abbildung 2: Jährlicher Energieverbrauch der drei Setups

Im Abbildung 2 ist ersichtlich, dass von Setup 1 zu Setup 3 stetig weniger Energie im Bereich Heizung (50%) und Kühlung (25%) verbraucht wird. Die Beleuchtungsenergie bleibt bei allen Setups ungefähr gleich. Die totalen Energieverbräuche der Setups zeigen, dass bei steigendem Automationsgrad in der Raumautomation Energie eingespart werden kann. Dies setzt jedoch eine korrekte Parametrierung bei der Inbetriebnahme voraus.

Die Auswertung zeigt, dass Setup 3 am wenigsten Energie benötigt. In diesem Setup wird der aussenliegende Sonnenschutz gegen thermische Überhitzung verwendet und der Blendschutz wird innenliegend gelöst. Gebäudetechnik-Planer könnten in einer frühen Projektphase der Bauherrschaft den Einsatz eines innenliegenden Blendschutzes empfehlen.



Mobile Interventionsentrauchung Projektierung und Realisierung

Die Entrauchung mit Lüftern der Feuerwehr (LRWA), auch genannt mobile Interventionsentrauchung, wird immer öfters, als Alternative zu einer maschinellen oder natürlichen Entrauchung, eingesetzt. Die Voraussetzungen für das System LRWA sind in der Brandschutzrichtlinie VKF 21- 15 «Rauch- und Wärmeabzugsanlagen» definiert. Die Planung und Realisierung dieser Anlagen wirft in der Praxis immer wieder Fragen auf, weshalb in dieser Bachelordiplomarbeit die Richtlinie der VKF untersucht und mit der Fachliteratur sowie Messversuchen hinterfragt wurde.

Die Wegleitung zeigt auf, dass das System LRWA bereits in einer sehr frühen Phase der Bauplanung miteinbezogen werden muss. Bei der zuständigen Feuerwehr sollte abgeklärt werden, welche Einsatzmittel (mobile Brandlüfter) vorhanden sind und wie lange die Ausrückzeit zum Objekt ist. Dadurch kann vermieden werden, dass in einem späteren Zeitpunkt auf eine alternative Entrauchung gewechselt werden muss und somit keine zusätzlichen Kosten oder bauliche Änderungen anfallen. Durch die Einführung der Qualitätssicherung wird seit 2015 verlangt, dass der Fachplaner wie auch der «Errichter» eine Übereinstimmungserklärung unterzeichnen. Bei dem System LRWA ist es jedoch oft nicht möglich, einen Errichter für die gesamte Entrauchung mit Lüftern der Feuerwehr zu definieren. Das LRWA Konzept besteht im besten Fall aus wenigen Komponenten und der Baumeister übernimmt die Errichterfunktion. Handelt es sich jedoch um ein komplexeres Konzept, besteht der «Errichter» aus vielen verschiedenen Funktionsträgern.

Bei der Planung einer LRWA muss beachtet werden, dass das Verhältnis der Einblas- zur Abströmöffnung nicht nur auf die geometrische Fläche bezogen wird. Damit ein zu hoher Druckverlust vermieden werden kann, sollte mit der aerodynamischen Fläche gerechnet werden. Bei der aerodynamischen Fläche wird auch der Durchflussbeiwert der Einblas- oder Abströmöffnung betrachtet. Die aerodynamische Fläche kann mit der folgenden Formel berechnet werden.

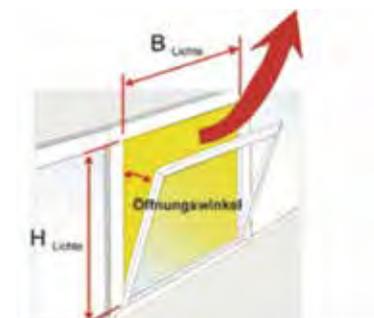


Abbildung 1 aerodynamische Fläche

$$A_a = B_{Lichte} \times H_{Lichte} \times C_{vo}$$

C_{vo} = Experimentell nachgewiesener Durchflussbeiwert

Bei einer Entrauchung mit Lüftern der Feuerwehr ist darauf zu achten, dass die Platzierung der Abströmöffnungen so gewählt wird, dass möglichst keine «toten Zonen» entstehen. Bei den Abklingversuchen mit Tracergas, im Treppenhaus des Trakt 3 der Hochschule Luzern, hat sich gezeigt, dass die «toten Zonen» einen direkten Einfluss auf den zeitlichen Verlauf der Entrauchung haben.

Für die Dimensionierung der LRWA und das Einhalten des geforderten Luftwechsels, ist es notwendig, von den Herstellern der Brandlüfter eine Luftleistung zu erhalten. Aktuell wird von den Herstellern meist nur eine freie Luftleistung oder im besten Fall eine Luftleistung nach

AMCA angegeben. Jedoch wird keine Aussage über die Prüfbedingungen gemacht. Erstmessungen mit einem vereinfachten Prüfstand, welcher den Aufstellabstand, Aufstellwinkel und den Überdruck im Raum berücksichtigt, konnte die folgenden Punkte aufzeigen:

- Die gemessenen Lüfter der Feuerwehr Luzern erbrachten bei einem Abstand von 2 m 40 % mehr Luftleistung, wie bei einem Abstand von 4m.
- Der erreichte Druckaufbau im Prüfcontainer verdoppelt sich bei einem Wechsel von 0° auf 30° Aufstellwinkel.
- Mit den mobilen Brandlüftern kann nur ein sehr tiefer Überdruck erreicht werden.
- Die Herstellerangaben der freien Luftleistung können bis zu 3 x so gross sein, wie die effektiven im Einsatz gemessenen Werte.

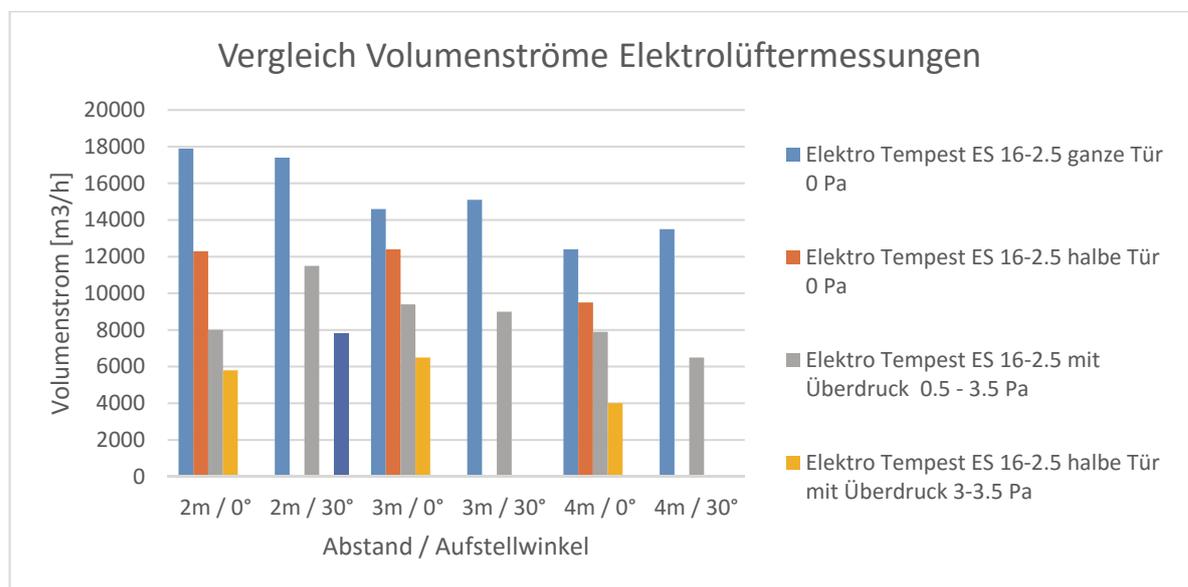


Abbildung 2 Diagramm Vergleich Volumenströme Elektrolüftermessungen

Das Diagramm zeigt einen Vergleich von gemessenen Luftleistungen bei verschiedenen Bedingungen auf. Der gemessene Lüfter der Firma Tempest wird auf dem Datenblatt mit einer Luftleistung von 19'625 m³/h ausgewiesen. Die Vergleichsmessungen zeigen, dass dies ungefähr dem Wert bei 2 m Abstand und 0 Pa Überdruck im Raum entspricht. Dies ist der bestmögliche Wert, der erreicht werden kann. Das zweite Prüfobjekt war ein Benzinlüfter der Firma Rosenbauer, der laut Datenblatt eine Luftleistung effektiv hat von > 50'000 m³/h. Gemessen wurde jedoch eine Luftleistung unter Berücksichtigung des Verlustes über die Abdeckung der Tür und ein Überdruck im Raum von 0 Pa, von 15'800 m³/h. Damit beim Kauf eines Lüfters ein Vergleich gemacht werden kann und der Fachplaner die Entrauchung korrekt berechnen kann, ist ein nationaler Prüfstand für Feuerwehrlüfter notwendig.

Im Treppenhaus des Trakt 3 der Hochschule Luzern für Technik und Architektur wurde die Tracergasmethode für den Einsatz bei realen Entrauchungssystemen geprüft. Es wurden drei Abklingversuche durchgeführt. Diese Methode bringt einen Aufschluss über den Volumenstrom im Treppenhaus, den Volumenstrom effektiv beim Lüfter, den Luftwechsel und die «toten Zonen» im Treppenhaus.

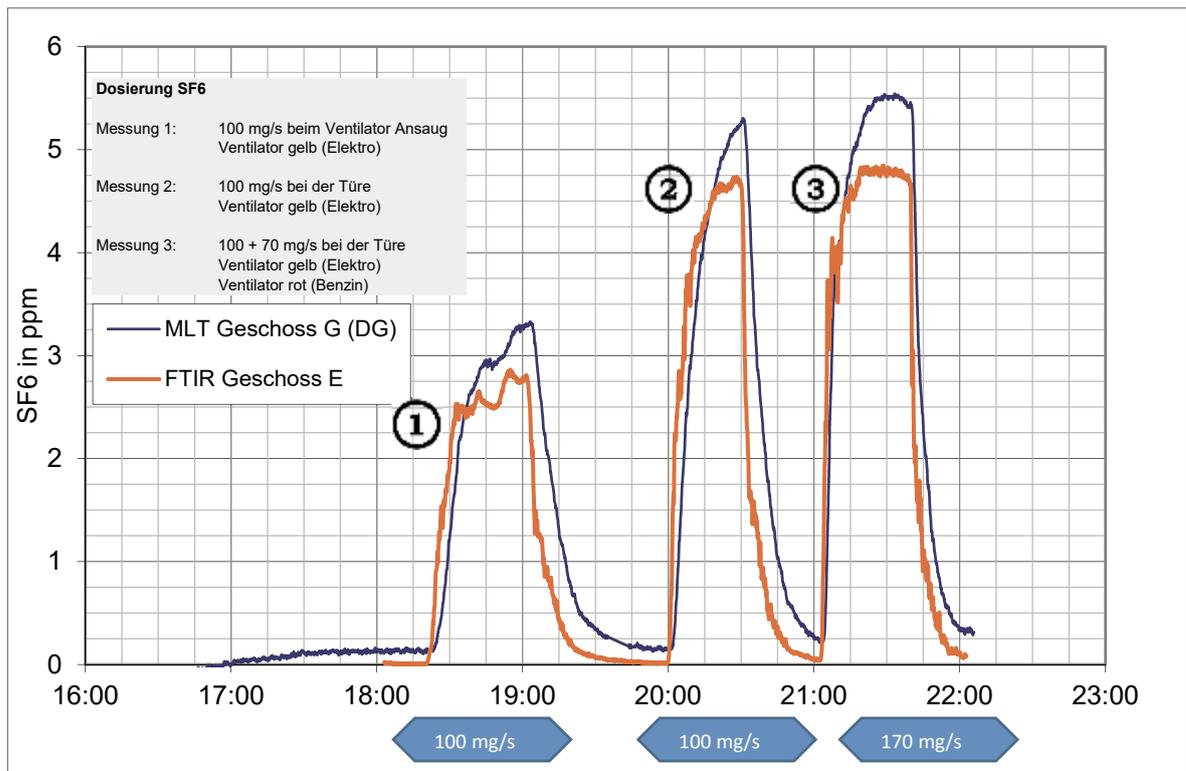


Abbildung 3 Diagramm Abklingversuch

Die Messungen haben ergeben, dass der Abklingvorgang (zeitlicher Ablauf der Entrauchung) länger dauerte, als der Luftwechsel und der Volumenstrom über die Abströmöffnung vorgaben. Aus dieser Erkenntnis kann aufgezeigt werden, dass die Platzierung der Abströmöffnungen einen direkten Einfluss auf die Effektivität der Entrauchung hat. Bei den ersten beiden Messungen wurde jeweils nur mit einem Elektrolüfter entrauchet. Bei dem dritten Versuch wurde mit zwei Lüftern (Elektro und Benzin) entrauchet. Durch den Vergleich der Abklingkurven und die Bestimmung der Volumenströme konnte festgestellt werden, dass der Entrauchungsvorgang durch die Parallelschaltung der Lüfter beschleunigt und die Luftleistung sich beinahe verdoppelt hat.



Abbildung 4 Prüfstand Feuerwehlüfter



Abbildung 5 Rauchversuch während Tracergasmessungen

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