



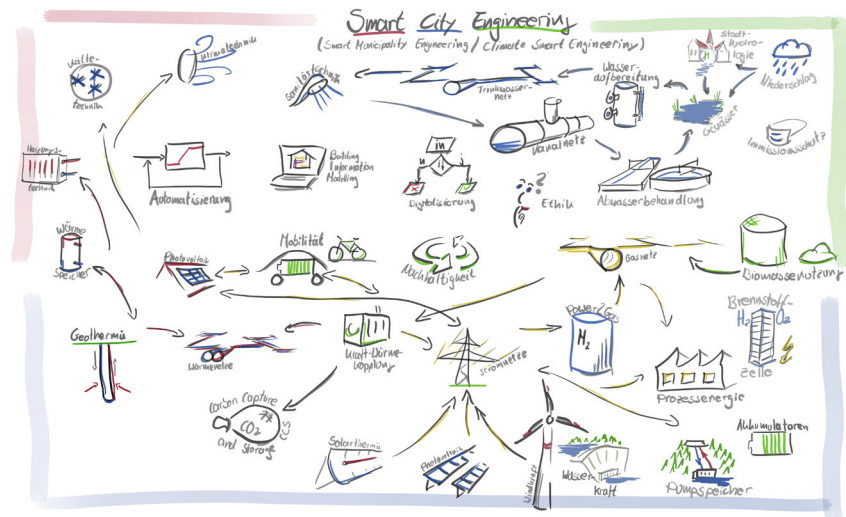




## Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

der Fachbereich Energie-, Gebäude- und Umweltechnik lehrt und forscht in relevanten Bereichen, die das technische Zusammenspiel zwischen unserer Gesellschaft und der Umwelt spiegeln. Die Ingenieurwissenschaften, die unser Wohnen, Leben und Arbeiten, unter einer möglichst nachhaltigen Nutzung unserer Umweltressourcen ermöglichen, sind dabei unsere Lehrinhalte und Forschungsziele. Die Verdeutlichung der komplexen und zusätzlich sehr interdisziplinären Zusammenhänge, gelingt am besten in einer bildlichen Darstellung:



Die große Vielfalt der in diesem Jahrbuch zusammengefassten Abschlussarbeiten zeigt beeindruckend, wie unsere Studierenden auch an aktuellen und disruptiven Entwicklungen in diesem Umfeld arbeiten und forschen.

Der Fachbereich EGU hat im vergangenen Jahr nicht nur wichtige zukunftsorientierte Lehrgebiete wie der Nachhaltigkeit, Digitalisierung und Wasserstofftechnologie besetzt, sondern auch seine Studiengänge zukunftsorientiert reformiert und dual sowie berufsbegleitend studierbar gemacht, um weiterhin führend in diesem weiten Feld lehren und forschen zu können.

Neben der Übersicht erinnert dieses Jahrbuch an eine wichtige Zeit der ingenieurtechnischen Aus- und Weiterbildung und an die vielen Kommilitoninnen und Kommilitonen, die gemeinsam erfolgreich einen akademischen Abschluss erlangt haben.

Mein Dank gilt allen, die zur Erstellung des Akademischen Jahrbuches beigetragen haben, besonders aber den Absolventinnen und Absolventen, denen ich auf diesem Wege die besten Wünsche für ihre berufliche und private Zukunft aussprechen möchte.

Steinfurt, im Februar 2024

Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
Dekan

## Inhaltsverzeichnis

### Vorwort

1	<b>Prüfung eines Fernwärmenetzes auf Nutzung in einem Bestandsquartier</b> <i>Paul Arenbeck B.Eng.</i>	10
2	<b>Entwicklung eines Versuchsstandes zur Untersuchung der Betriebsparameter in der Kaltwasser-Zirkulation</b> <i>Kevin Bensch B.Eng.</i>	11
3	<b>Energiesystemmodellierung von Kasernen)</b> <i>Benjamin Blankenstein B.Eng.</i>	13
4	<b>Energetischer Vergleich verschiedener Umluft-Hallenheizungssysteme am Beispiel einer typischen IndustriehallembH</b> <i>Max Bohmann B.Eng.</i>	15
5	<b>Untersuchung von Trinkwasser-Installationsarten unter Berücksichtigung der Nutzung</b> <i>Jonas Brinkmann B.Eng.</i>	17
6	<b>Untersuchungen zur Verfahrenstechnik der Kläranlage Rheine Nord aufgrund veränderter Abwasserzuflüsse</b> <i>Antje Derks B.Eng.</i>	19
7	<b>Potenziale der digitalisierten Datenerfassung im Deponiebetrieb</b> <i>Thilo Frederik Dobschall B.Eng.</i>	21
8	<b>Untersuchung der Betriebsbedingungen von Kaltwasserzirkulationsanlagen</b> <i>Oliver Dresemann M.Eng.</i>	23
9	<b>Untersuchung von Softwaretools für die Bestands- und Potentialanalyse der kommunalen Wärmeplanung einer Gemeinde</b> <i>Luis Eising B.Eng.</i>	25
10	<b>Entwicklung eines Berechnungsprogramms zur Berechnung von überschlägiger Heizlast und Kühllast von Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden</b> <i>Christopher Elfring B.Eng.</i>	27
11	<b>Aufbau eine Prüfstandes zur Bewertung von Pufferspeichern</b> <i>Philipp Elkmann B.Eng.</i>	28
12	<b>Dimensionierung von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung und -speicherung für den Betrieb von Umkehrosmose-Meerwasserentsalzungsanlagen mit Hilfe der Energiesystemmodellierungen</b> <i>Dominik Florian Everding M.Eng.</i>	30
13	<b>Entwurf eines Eisspeicher-Dimensionierungstools für die Beheizung und Kühlung eines Wohngebäudess</b> <i>Simon Eversmann M.Eng.</i>	32

14	<b>Beispielhafte Untersuchung der Anwendbarkeit von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Bestandsgebäuden anhand eines über 100-jährigen Wohngebäudes</b> <i>Christine Gautsch B.Eng.</i>	33
15	<b>Entwicklung eines Software Frameworks zur Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse von Geruchsausbreitungsberechnungen gemäß Technischer Anleitung zur Reinhaltung der Luft</b> <i>Lars Goray M.Eng.</i>	35
16	<b>Die hydraulische Auslegung eines Kälte- und Heizungsnetzes unter Berücksichtigung der energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher Regelventile und Schaltungen</b> <i>Marco Graf B.Eng.</i>	37
17	<b>Auslegung eines Planungskonzeptes einer PV-Anlage für eine schulische Einrichtung in Kenia</b> <i>Simon Halfkann B.Eng.</i>	38
18	<b>Vergleich statistischer Methoden und künstlicher Intelligenz zur Prognose von Stromnetzbilanzen</b> <i>Thomas Harder M.Eng.</i>	40
19	<b>Optimierung des Wärmekonzeptes der Kläranlage Schüttorf</b> <i>Tim Harms-Ensink M.Eng.</i>	42
20	<b>Entwicklung CO<sub>2</sub>-neutraler, dezentraler Kläranlagen für Vietnam</b> <i>Teresa Lange B.Eng.</i>	43
21	<b>Energiesystemdimensionierung in Bestandsgebäuden für Bürger</b> <i>Lukas Herweg B.Eng.</i>	44
22	<b>Flexibler Betrieb von Kühlhäusern bei Versorgung mit Strom aus Erneuerbaren Energien</b> <i>Janis Hilgenbrink M.Eng.</i>	48
23	<b>Lastanalyse zum wirtschaftlicheren Anschluss von Großabnehmern im Niederspannungsnetz</b> <i>Pauline Holla B.Eng.</i>	50
24	<b>Effiziente Sonnenenergienutzung: Bewertung von vollausgebauten Photovoltaik-Anlagen auf Einfamilienhäuser</b> <i>Tom Holtmann B.Eng.</i>	52
25	<b>Entwicklung eines Konzepts zur Wärme- und Energieversorgung für urbane und nachhaltige Wohnquartiere mit unterschiedlichen Wohnformen</b> <i>Matthias Horsthemke B.Eng.</i>	54
26	<b>Energetische Optimierung und nachhaltige Entwicklung einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage</b> <i>Nils Hoselmann B.Eng.</i>	56
27	<b>Finalisierung, Inbetriebnahme und Verifikation eines Prüfstandes für Wasserschlagtests an hydraulischen Einheiten</b> <i>Simon Jöken B.Eng.</i>	58

28	<b>Kohlenstoffbilanzierung bei der Behandlung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm</b> <i>Alexander Kirchof B.Eng</i>	60
29	<b>Konzepte für zukünftige Fault-Ride-Through-Tests an Windenergieanlagen</b> <i>Dana Amrie Klokkers M.Eng.</i>	61
30	<b>Trinkwasser Installationsmethoden im Vergleich am Beispiel eines Bürogebäudes</b> <i>Sebastian Kotschate B.Eng.</i>	63
31	<b>Coupling Energy System Modeling with Life Cycle Assessment</b> <i>Franziska Koert B.Eng.</i>	65
32	<b>Analyse von Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge im Neubaugebiet in Soest-Nord</b> <i>Alexander Kozyrev B.Eng.</i>	67
33	<b>Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchsstandes zur dynamischen Leistungsmessung an PCM-Objekten</b> <i>Jannik Kühlkamp B.Eng</i>	69
34	<b>Wirtschaftlicher Vergleich zweier Wärmeerzeuger anhand des Bauvorhabes Campus TESTA in Schönefeld</b> <i>Christian Kuhfs B.Eng.</i>	71
35	<b>Vergleichende Untersuchungen von Kälteerzeugungsverfahren: Abwärmenutzung einer Rückstandsverbrennungsanlage durch Absorptionskältemaschinen im wirtschaftlichen Vergleich zur Kompressionskälteerzeugung</b> <i>Karin Lautenschläger M.Eng.</i>	73
36	<b>Numerische Simulation eines Regenbeckens im halbtechnischen Maßstab mit dem Programm FLOW-3D HYDRO</b> <i>Mara Theresa Lenk M.Eng.</i>	75
37	<b>Technische und wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten von Parabolrinnenkollektoren für eine regenerative Energieversorgung im Industriesektor</b> <i>Jan-Niklas Linnenschmidt M.Eng.</i>	77
38	<b>Energetischer, ökologischer und wirtschaftlicher Vergleich der Wärmeversorgung einer landwirtschaftlichen Liegenschaft mit mehreren Wohneinheiten basierend auf dem Energieträger Hackschnitzel</b> <i>Philip Löseke B.Eng.</i>	79
39	<b>Konzeptentwicklung für Photovoltaik und Wärmepumpen für ein nachhaltiges Schulgebäude</b> <i>Karam Marzouk B.Eng.</i>	81
40	<b>Thermisches Energiekonzept zur Bereitstellung von Wärme und Kälte für ein Hotel- und Gaststättengewerbe im Bestand mittels Wärmepumpe und Eisspeichern</b> <i>Felix Merschmann B.Eng.</i>	83

41	<b>Einfluss niedriger Wasser-Vorlauftemperaturen auf Strahlungsheizsysteme bei der Beheizung von Industriehallen</b> <i>Maurice Meyer B.Eng.</i>	85
42	<b>Entwicklung eines Maßnahmenplans für die Implementierung der BIM-Methode in die Prozesse eines Gebäudetechnikunternehmens</b> <i>Lucas Moritz M.Eng.</i>	87
43	<b>Bewirtschaftete Be- und Entwässerungssysteme im Bereich der Parkstraße in Lüdenscheiden</b> <i>Ruben Neumann B.Eng.</i>	89
44	<b>Optimierung von Energiesystemmodellen mittels Monte-Carlo-Simulation</b> <i>Daniel Niederhöfer M.Eng.</i>	90
45	<b>Installation von Photovoltaikanlagen mit integrierten Speichern auf Umspannwerken zur Deckung des Eigenbedarfs von Windenergieanlagen</b> <i>Luca Elias Nottenkämper B.Eng.</i>	92
46	<b>Building Electrification Strategies in Rochester, Minnesotan</b> <i>Özümden Oguz B.Eng.</i>	93
47	<b>Potenzialanalyse eines bestehenden Nahwärmenetzes</b> <i>Sarah Ottensmeier B.Eng.</i>	94
48	<b>Technische und kommerzielle Optimierung einer Kleinwasserkraftanlage im Kraftwerkscluster Bernkastel</b> <i>Kai Philip Potthoff B.Eng.</i>	96
49	<b>Optimierung eines BIM-orientierten Planungsprozesses bei Trinkwasser- und Abwassersystemen unter Nutzung von Autodesk Revit</b> <i>Niklas Prause B.Eng.</i>	98
50	<b>Bilanzierung der relevanten Energieströme einer Dampfkesselanlage unter festgelegten Prozessbedingungen zur Abschätzung des Nutzens einer Hochtemperaturwärmepumpeneinbindung in den Abgasstrom des Dampfkessels</b> <i>Luis Paul Recker B.Eng.</i>	100
51	<b>Konzeptionierung der Energieversorgung von Gebäuden mittels Geothermie am Beispiel einer Stadt im Bundesland Niedersachsen</b> <i>Nele Richter B.Eng.</i>	101
52	<b>Entwicklung eines Tools zur praxisnahen Umsetzung realer Ausstoßzeiten bei Trinkwasser-Installationen</b> <i>Raphael Schmidt M.Eng.</i>	103
53	<b>Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Krankenhäusern unter Berücksichtigung der QNG-Anforderungen</b> <i>Erwin Frederico Schneider Walsh B.Eng.</i>	105
54	<b>Optimierung der Energieversorgung eines mittelständischen Industrieunternehmens mittels Energiesystemmodellierung</b> <i>Timo Schüring B.Eng.</i>	107

55	<b>Untersuchung wirtschaftlicher Aspekte von Baumrigolen in urbanen Räumen</b> <i>Andr�e Schulte M.Eng.</i>	108
56	<b>Untersuchung ausgewahler Warmenubergabesysteme für GOLDBECK-Logistikhallen mittels thermisch energetischer Gebäudesimulation</b> <i>Tobias Spahn M.Eng.</i>	110
57	<b>Optimierung von Microgrids durch Energiesystemmodellierung</b> <i>Laurin Erik Stax M.Eng.</i>	112
58	<b>Workflow Optimization in Project-Based Companies: Identifying Key Challenges and Implementing Effective Solutions</b> <i>Leonhard Talanow M.Eng.</i>	114
59	<b>Implementation of a Monte Carlo-based Real Options Approach for the Evaluation of Residential Energy Technologies</b> <i>Enno Tchorz M.Eng.</i>	115
60	<b>Konzeptentwicklung zur Sicherstellung des bestimmungsgemäßen Betriebes in der Trinkwasser-Installation in Sportstätten</b> <i>Andre Thörner B.Eng.</i>	117
61	<b>Vergleich von Tankinnenreinigungsverfahren und Beschreibung des Ablaufes einer immissionsschutzrechtlichen anderungsgenehmigung am Beispiel eines Speditionsunternehmens</b> <i>Anna Thomas B.Eng.</i>	118
62	<b>Gestaltungsmöglichkeiten zukunftiger lokaler Energiemärkte</b> <i>Jan Tockloth M.Eng.</i>	120
63	<b>Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Regelungskonzepte auf den Energiebedarf und die Kühllast eines Verwaltungsgebäudes mittels thermisch-energetischer Gebäudesimulation</b> <i>Behic Unal M.Eng.</i>	121
64	<b>Entwicklung von Handlungsempfehlungen für die Planung von zukunftsfähigen Wärmenetzen</b> <i>Florian Ufermann B.Eng.</i>	123
65	<b>Energieeffizienzbewertung von freier Kühlung in GOLDBECK-Gebäuden mittels energetischer Gebäudesimulation</b> <i>Maximilian Verführt M.Eng.</i>	124
66	<b>Entwicklung eines Parametersatzes für die numerische und empirische Simulation von PCM-Objekten in hybriden Latentwärmespeichern</b> <i>Philipp Volkmer B.Eng.</i>	126
67	<b>Entwicklung einer Monitoringsoftware zur energetischen Analyse, Visualisierung und Optimierung eines Buroneubaus</b> <i>Julian Westerhorstmann M.Eng.</i>	128





## Prüfung eines Fernwärmenetzes auf Nutzung in einem Bestandsquartier

**Paul Arenbeck B.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner

**Zweitprüfer:** Constantin Krass M.Sc.

**Datum des Kolloquiums:** 6. März 2024

**Bachelor-Studiengang:** Wirtschaftsingenieur der Energietechnik

**in Kooperation mit:** Stadtwerke Ostmünsterland GmbH & Co. KG



Das Thema der vorliegenden Arbeit war die Auslegung und energetische und ökonomische Betrachtung eines Fernwärmenetzes in einem Bestandsquartier. Anhand realer Verbrauchsdaten der Stadtwerke Ostmünsterland soll eine kostengünstige und nachhaltige Wärmeversorgung für einen Altstadtbereich erstellt werden.

Im ersten Teil der Arbeit wurden Grundlagen zur Wärmewende in Deutschland und Fernwärmetechnik thematisiert. Im Hinblick auf die Energiewende hat sich im Stromsektor in den letzten Jahren viel getan. Der Wärmesektor hängt allerdings deutlich hinterher und hat hohes Potenzial um die Energiewende voranzutreiben. Hierbei können Wärmenetze eine große Rolle spielen, da sie in der Wärmeerzeugung erneuerbare Energien nutzen können und bei einer hohen Anschlussquote günstige Wärmegestehungskosten möglich sind.

Im zweiten Teil wurde das vorliegende Quartier nach Art der Wärmeversorgung untersucht. Ein Großteil der Gebäude wird mit Erdgas versorgt. Lediglich 25% werden mit Heizöl, Biomasse und Solarthermie versorgt. Auch die Gebäudetypologie wurde im Quartier untersucht. Da es sich um ein Altstadtbereich handelt, stammen die meisten Gebäude aus der 60er - 70er Jahren und wurden somit überwiegend vor der ersten Wärmeschutzverordnung von 1977 errichtet. Der Wärmebedarf wurde anschließend witterungsbereinigt ermittelt und auf grundlegende Kennzahlen wie die Wärmelinienichte untersucht.

Bei der Auslegung des Wärmenetzes wurden 3 Szenarien für verschiedene Anschlussquoten aufgestellt. Diese wurden jeweils auf den Wärmebedarf, die Rohrnetzdimensionen und die notwendige Leistung des Wärmeerzeugers untersucht.

Als Ergebnis dieser Arbeit diente die energetische und wirtschaftliche Bilanzierung. Hierbei ergab sich, dass je nach Anschlussquote, mindestens 24% der Primärenergie eingespart werden kann und die CO<sub>2</sub>-Emissionen sogar bis zu 90% reduziert werden können. Auch im Hinblick auf die Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes von dem 1. Januar 2024 werden alle Rahmenbedingungen erfüllt. Der Wärmemischpreis diente in der wirtschaftlichen Bilanzierung als Vergleichskriterium zum Erdgastarif der Stadtwerke Ostmünsterland. Auch hier wurde für 2 der 3 Szenarien bereits ein geringerer Wärmemischpreis ermittelt, sodass die Anwohner eine umweltverträgliche und kostengünstige Alternative zur aktuellen Wärmeversorgung haben.

## Entwicklung eines Versuchsstandes zur Untersuchung der Betriebsparameter in der Kaltwasser-Zirkulation

Kevin Bensch B.Eng.

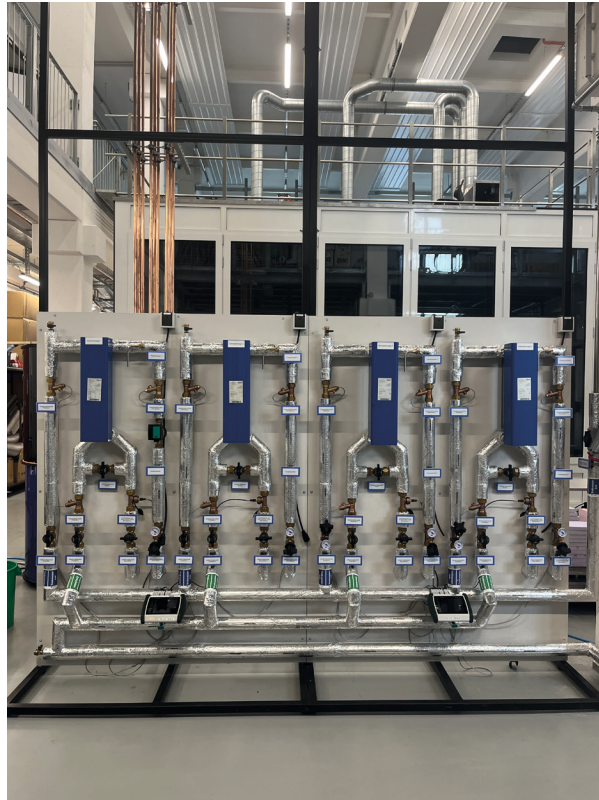
Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
 Zweitprüfer: Stefan Cloppenburg M.Eng.  
 Datum des Kolloquiums: 23. Mai 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik



Ziel der Trinkwasserverordnung ist es, „die menschliche Gesundheit vor den nachteiligen Einflüssen, die sich aus der Verunreinigung von Wasser ergeben, zu schützen.“[1] Dies wird nach §4 Absatz 1 der TrinkwV erreicht, sofern mindestens die a.a.R.d.T. eingehalten werden. Die Temperaturhaltung in Kaltwasser-Installationen erfolgt in der Praxis für gewöhnlich durch das temperaturgeführte Spülen. Bei dieser Variante gehen, hygienisch bedingt, große Wassermengen ungenutzt verloren. Dieses steht im Widerspruch zum Nachhaltigkeitsgedanken und verursacht zusätzlich hohe Betriebskosten. Durch das Nachrüsten einer Kaltwasser-Zirkulation, können geringe Temperaturen von  $< 20^{\circ}\text{C}$  in der Kaltwasser-Installation eingehalten werden, sowie auf das temperaturgeführte Spülen der Installation verzichtet werden. Gleichzeitig können die Betriebskosten im Vergleich zum Spülen so weit gesenkt werden, dass sich die Montage- und Installationskosten nach wenigen Jahren amortisieren.

Die geringen Temperaturen wirken dem mikrobiellen Wachstum stark entgegen, sodass auf ein temperaturgeführtes Spülen verzichtet werden kann. Je länger sich das Trinkwasser in den Rohrleitungen aufhält, umso höher können die Konzentrationen der eingesetzten Materialien in der Trinkwasser-Installation ausfallen und die Konzentrationen der chemischen Parameter in der Trinkwasser-Installation dürfen laut TrinkwV bestimmte Grenzwerte nicht überschreiten. Dieses Verhalten muss jedoch noch untersucht werden. Um die Metallionen-Migration in Bezug auf die Stagnationszeit innerhalb einer Kaltwasser-Zirkulation zu bestimmen, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Versuchsstand entwickelt.

Es geht darum herauszufinden, inwiefern sich die Parameter Kupfer, Nickel und Blei innerhalb einer Kaltwasser-Zirkulation erhöhen und nach welcher Stagnationszeit die in der TrinkwV geforderten Grenzwerte überschritten werden, sofern sie denn überschritten werden. Zusätzlich müssen neben den chemischen Parametern auch die mikrobiologischen Grenzwerte eingehalten werden. Werden alle Anforderungen erfüllt, können genauere Aussagen bezüglich der Stagnationszeit getroffen werden. Kann diese verlängert werden, kann wertvolles Trinkwasser eingespart werden und die Betriebskosten einer Kaltwasser-Zirkulation können noch weiter gesenkt werden. Dafür müssen jedoch Langzeituntersuchungen an diesem Versuchsstand vorgenommen werden.



*Abbi: Versuchsstand*

**Benjamin Blankenstein B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann

Zweitprüfer: Jan Niklas Tockloth M.Eng.

Datum des Kolloquiums: 28. Februar 2024

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

Laborbereich: Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Die Planung urbaner Energiesysteme wird durch die zunehmende Verbreitung sektorgekoppelter Technologien und neuer Verbrauchssektoren immer komplexer. Klassische Planungsmethoden kommen an ihre Grenzen. Die Energiesystemmodellierung (ESM) bietet eine Möglichkeit, ein Energiesystem hinsichtlich der Kosten und der Treibhausgas (THG)-Emissionen zu optimieren. Gleichzeitig ergibt sich aus der Energiewende und angestrebten THG-Neutralität ein akuter Handlungsbedarf. Dies gilt auch für die 1 500 Kasernen in Deutschland. Im Rahmen dieser Arbeit werden der bestehende Modellierungsprozess des Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) erweitert, indem Herausforderungen der Modellierung und Optimierung von Kasernen identifiziert und Lösungsansätze hierzu entwickelt werden.

Diese Arbeit basiert auf der ESM einer realen Kaserne. Es kann das Urban District Upscaling Tool zur Erstellung der für den SESMG benötigten Modelldefinition verwendet werden. Die Open-Source Datenbank SESMG-Data, kann automatisch die benötigte Standard Parameter Tabelle mit zugehörigem Bericht generieren. Weiterhin wurde ein Energieaustauschmodell vorgestellt, das den Energieaustausch zwischen Kasernen eines Bilanzkreises ermöglicht. Ein Fokus liegt auf der Abbildung zukünftiger Ausbaupläne. Dazu wurden kasernenspezifische Gebäudeprofile entwickelt, die gemittelte spezifische Energiebedarfe und weitere Parameter zur Berechnung der Wand-, Fenster-, und Dachfläche enthalten. Der spezifische Wärmebedarf kann durch einen Faktor an die Baualterklasse angepasst werden. Mit Hilfe statistischer Kennwerte lässt sich ein geeignetes Standardlastprofil für verschiedene Gebäudeprofile auswählen. Zur Reduktion der Komponenten im Energiesystemoptimierungsmodell (ESOM) können die Dachflächenpotenziale von Photovoltaikanlagen zusammengefasst werden. Da Kasernen nur eine Bilanzgrenze besitzen, können zudem auch die Strombedarfe der einzelnen Gebäude zusammengefasst werden. Damit lassen sich gleichzeitig dezentrale Batteriespeicher als Komponente des ESOMs ausschließen. Die Potenzialflächen von Erdwärmepumpen können zusammengefasst werden, wobei Abstands- und Belastbarkeitsgrenzen eingehalten werden müssen. Kasernen verfügen häufig über Bestandwärmenetze, die im ESOM gesondert berücksichtigt werden müssen. Um dieses Bestandwärmenetz abzubilden, können die Verteilleitungen manuell nachgezeichnet werden und in einer Vormodellierung mit dem SESMG mit geringeren Kosten angesetzt werden.

Die in dieser Arbeit entwickelten Methoden sind allgemeingültig für Kasernen. Die Übertragbarkeit der kasernenspezifischen Gebäudeprofile ist aufgrund der unterschiedlichen Nutzung von Kasernen nur eingeschränkt möglich. Der bestehende Modellierungsprozess wurde um kasernenspezifische Prozessschritte erweitert und visualisiert. Zukünftige Modellierungen von Kasernen können zur Validierung der Ergebnisse und für weitere Anpassungen, wie z. B. die Erstellung einer kasernenspezifischen Datenbank, genutzt werden.

## Energetischer Vergleich verschiedener Umluft-Hallenheizungssysteme am Beispiel einer typischen Industriehalle

**Max Bohmann B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
Zweitprüfer: Christian Kampers M.Sc.

Datum des Kolloquiums: 17. Juli 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: nordluft Wärme- und Lüftungstechnik GmbH & Co. KG



„Ohne ein schnelles Umsteuern im Bereich der Gebäudewärme kann Deutschland weder die Klimaziele erreichen noch die Abhängigkeit von fossilen Rohstoffen rasch reduzieren.“ So heißt es in der Schilderung des Problems im Gesetzentwurf der Bundesregierung zur Änderung des Gebäudeenergiegesetzes vom 18.04.2023. Angetrieben von einer viel diskutierten Frage der letzten Monate: „Wie werden Industriehallen in der Zukunft beheizt“, werden in dieser Arbeit verschiedene Berechnungen zum Vergleich von fünf unterschiedlichen Heizungssystemen durchgeführt. Die verschiedenen Umluft-Hallenheizungssysteme werden am Beispiel einer typischen Industriehalle verglichen. Die Industriehalle soll als ein möglicher Anbau einer Halle auf dem Gelände der Firma nordluft in Lohne geplant werden. Die unterschiedlichen Systeme werden für die Industriehalle auf Grundlage der Heizlastberechnung nach DIN EN 12831 ausgelegt. Die Systeme werden verglichen in Bezug auf:

- den Energiebedarf,
- die CO<sub>2</sub> Emissionen,
- die Nachrüstbarkeit,
- die zur Montage benötigte Qualifikationen,
- und die Wirtschaftlichkeit.

Als Grundlage für die Berechnungen dient der in DIN V 18599 beschriebene Rechenweg, auf welchen sich auch das aktuelle GEG bezieht. Für den Hallenheizungsbereich ist es an der Zeit, sich neu zu orientieren. Das Ziel muss sein, Lösungen bereitzustellen, welche sowohl Bestandsgebäude als auch Neubauten klimaneutral beheizen können. Diese Arbeit soll einen Teil dazu beitragen, Lösungen für diese große Aufgabe zu finden.

Jedoch kann auf die Frage: „Wie werden Industriehallen in Zukunft beheizt“, keine eindeutige Antwort gegeben werden. Es gibt mehrere Systeme, welche in Zukunft eingesetzt werden können. Dabei hängt die Entscheidung für oder gegen ein System stark von der auszustattenden Halle ab. Nicht zuletzt wegen der noch andauernden Debatte über die Novellierung des Gebäudeenergiegesetzes kann keine genaue Antwort auf diese Frage gegeben werden. Ebenfalls haben die Novellierungen an der F-Gase Verordnung der EU einen großen Einfluss auf zukünftige Entscheidungen. Voraussichtlich wird es in Zukunft darauf hinauslaufen, dass hauptsächlich Wärmepumpen verbaut werden oder auf eines der hier

betrachteten wasserführenden Systemen mit der Wärmequelle durch einen Fernwärmeanschluss zurückgegriffen wird. Die Verwendung von fossilen Energieträgern wie zum Beispiel Erdgas wird bis 2045 verboten und auch vorher für neu zu errichtende Anlagen nur noch als Kombination mit einer Wärmepumpe oder als kurzzeitige Überbrückungslösung erlaubt sein.

Abschließend bleibt festzuhalten, dass je nach Anwendungsfall unterschiedliche Systeme eingesetzt werden. Neu zu bauenden Hallen sollten mit einem EcoWP oder mit einer Fußbodenheizung, welche die Wärme von einer Luft-Wasser-Wärmepumpe bezieht und im besten Fall mit einer PV-Anlage und einem elektrischen Speicher ausgestattet werden. Für Bestandsgebäude empfiehlt sich der Einsatz eines EcoWP, da dieser einfach nachzurüsten und wirtschaftlich attraktiv ist. Im Falle der Novellierung der F-Gase Verordnung oder einem Verbot von synthetischen Kältemitteln durch das GEG wird der Einsatz des EcoWP in der heutigen Form nicht mehr möglich sein. Für diesen Fall wird es, nach dem aktuellen Entwicklungsstand, nötig sein auf Monoblock Wärmepumpen mit einem natürlichen Kältemittel zurückzugreifen. In dem Abgebildeten Diagramm wird die Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Untersuchten Systeme in der geplanten Halle dargestellt. Für die Wirtschaftlichkeit sind die Energieverbräuche und die damit verbundenen Kosten entscheidend. Somit entscheidet über die Wirtschaftlichkeit der am Markt erhältlichen Systeme in großem Maße die Effizienz, bei Wärmepumpen der COP, und die Energiekosten.

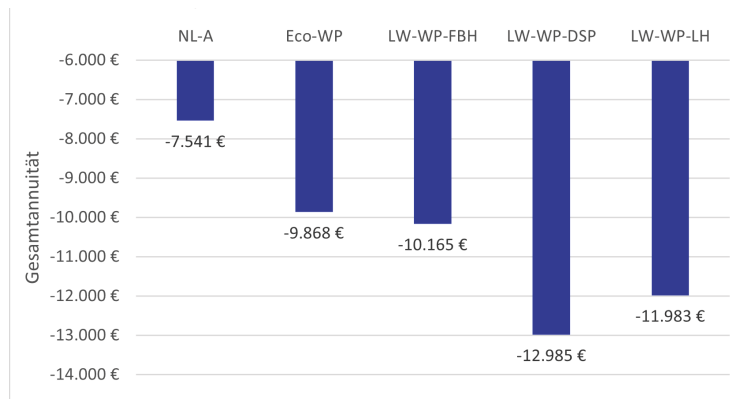


Abb1: Vergleich der Annuitäten nach VDI 2067



## Untersuchung von Trinkwasser-Installationsarten unter Berücksichtigung der Nutzung

**Jonas Brinkmann B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
 Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Bernhard Rickmann  
 Datum des Kolloquiums: 6. November 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik  
 Studienrichtung:  
 in Kooperation mit: Gebr. Kemper GmbH + Co. KG



Die Qualität des Trinkwassers ist von entscheidender Bedeutung für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Gesellschaft. Sie wird übergeordnet durch die Trinkwasserverordnung (TrinkwV) sichergestellt. Diese legt unter anderem chemische und mikrobiologische Grenzwerte für die Beschaffenheit des Trinkwassers fest.

Angesichts der wachsenden Anzahl immunschwacher Menschen in der Gesellschaft steigt die Gefahr trinkwasserbedingter Infektionen. Insbesondere im Trinkwasser kalt, auf das sich diese Bachelorarbeit fokussiert, treten vermehrt Legionellen-Kontaminationen auf. Dies verstärkt die Notwendigkeit gezielter Maßnahmen zur Eindämmung des mikrobiellen Wachstums in Trinkwasser-Installationen. Insbesondere Temperatur, Stagnation und Nahrung müssen in der Trinkwasser-Installation innerhalb von Gebäuden berücksichtigt werden und gelten daher als planungsrelevante Faktoren.

Der sich einstellende Betrieb in Verbindung mit der Trinkwasser-Installationsart entscheidet maßgeblich über die Einhaltung dieser Faktoren. Die Wahl der Trinkwasser-Installationsart stellt Fachplaner derzeit vor Herausforderungen, denn die real eintretende Nutzung im Gebäude hängt von dem Bedarf der Nutzer ab und ist schwer vorhersehbar. Die Auswahl der Trinkwasser-Installationsart erfolgt in der Planung deswegen hauptsächlich stagnationsbasiert und nicht unter Berücksichtigung der Nutzung.

Das Ziel der Bachelorarbeit besteht darin, mittels einer nutzungsbasierten Untersuchung, einen repräsentativen Vergleich zwischen Reihen- und Strömungsteiler-Installationen innerhalb von Nasszellen durchzuführen. Die Untersuchung umfasst fünf Nasszellen in drei Objekten. Die Nutzung wurde in Strömungsteiler-Installationen über einen Messzeitraum von bis zu zwei Wochen messtechnisch über den Volumenstrom und die Temperatur des Trinkwassers ermittelt.

Im Verlauf dieser Bachelorarbeit wird die Nutzung in automatisierte und menschliche Nutzung unterteilt. Die Messdaten wurden bereinigt, sodass ausschließlich die natürliche Nutzung in die Untersuchung einbezogen wird. Damit werden die Ergebnisse ausschließlich durch die Eigenschaften und Betriebsparameter der jeweiligen Trinkwasser-Installationsart beeinflusst. Nach der Bereinigung der automatisierten Nutzung wird die Durchströmung in Reihen-Installationen anhand

der Messdaten nachgebildet. Dafür werden die messtechnisch erfassten Induktionsvolumenströme bereinigt und die absoluten Volumenströme in den Ringleitungs-Abgängen addiert.

Die Messungen erfassen die Nutzungen in dem jeweiligen Verteilungsstrang ab der betrachteten Nasszelle. Ebenso werden Parameter von WC-Spülungen definiert, um diese anhand der vorliegenden Messdaten in der Nasszelle zu erfassen.

Für den Vergleich der Trinkwasser-Installationsarten wurden Reihen-Installationen für die betrachteten Nasszellen modelliert. Somit kann in den Reihen-Installationen die WC-Einzelzuleitung betrachtet werden, welche die ungünstigste Teilstrecke ist. Dieses Verfahren ermöglicht die Ermittlung des Temperaturbereichs, der sich in den Reihen-Installationen eingestellt hätte. Der Temperaturbereich der Strömungsteiler-Installationen wird über die Temperaturen der Ringleitungs-Abgänge messtechnisch ermittelt. Der Vergleich wird über die Bewertung der Trinkwasser-Installationen anhand von definierten Hygienekriterien ermöglicht. Diese beziehen sich ausschließlich auf den Betrieb und die planungsrelevanten Faktoren. Der Betrieb sollte frühzeitig in der Planung durch Abstimmung mit dem Betreiber über ein Raumbuch ermittelt werden, sodass langfristig das Betreiberrisiko minimiert wird.

In Objekten wird nicht nur eine Trinkwasser-Installationsart präferiert. Neben den hygienischen Aspekten, entscheidet ebenso die Wirtschaftlichkeit der Anlage über die Auswahl der Trinkwasser-Installationsart.

## Untersuchungen zur Verfahrenstechnik der Kläranlage Rheine Nord aufgrund veränderter Abwasserzuflüsse

**Antje Derks B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Raoul Farwig

Datum des Kolloquiums: 23. März 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieurin Umwelttechnik

in Kooperation mit: Technische Betriebe Rheine



Die Kläranlage Rheine Nord reinigt das Abwasser der Einwohner der Stadt Rheine und der ansässigen Industrie. Sie ist auf 253.000 Einwohnerwerte ausgelegt und fällt damit in die Größenklasse fünf. Betrieben wird die Anlage von den TBR (Technische Betriebe Rheine). Das gereinigte Abwasser wird anschließend in die Ems geleitet.

In den letzten Jahren kam es zu Veränderungen in den Zuflüssen zur Kläranlage. Zum einen sind an der Kläranlage nur zwischen 80.000 und 140.000 Einwohnerwerte angeschlossen, dadurch ist die Anlage unterbelastet. Zum anderen bereiten die häufiger auftretenden Stoßbelastungen durch stärkere Regenereignisse der Anlage Probleme.

Es sollte untersucht werden, welche Optimierungen auf der Kläranlage vorgenommen werden können, um besser auf die unterschiedlichen Belastungen reagieren zu können. Dafür wurden die Verfahrensschritte der Vorklärung, der Dephosphatierung und der Belebung betrachtet. In einer Nebenbetrachtung ging es zusätzlich um die im Herbst 2022 aufgetretenen Lieferengpässe von chemischen Fällmitteln zur Phosphorelimination.

Einige Prozesse auf der Kläranlage sollen in Zukunft deutlich flexibler gestaltet werden. Dazu gehört die Anpassung der Flotation durch den Umbau der Steuerungs- und der Maschinentechnik. Dadurch wird ein stufenloser Teillastbetrieb ermöglicht. Mit einem Teillastbetrieb, kann besser auf Stoßbelastungen und auf Schwachlastphasen reagiert werden.

Außerdem kann das Dephosphatierungsbecken anders genutzt werden als bisher. Solange genügend chemisches Fällmittel zur Verfügung steht, kann die Phosphorelimination ausschließlich über den chemischen Weg erfolgen. Das Dephosphatierungsbecken steht dann für andere Zwecke zur Verfügung. Es kann bei Starkregen und dem darauf folgenden Spülstoß als Pufferbecken zwischen mechanischer und biologischer Stufe der Kläranlage dienen. Es wird zusätzlich Energie eingespart, da das Becken nicht dauerhaft beschickt und betrieben werden muss.

Die Belebungsbecken bieten aktuell keine Möglichkeit den Betrieb zu verändern, um besser auf Stoßbelastung oder Unterbelastung zu reagieren. Der Grund dafür

ist, dass die aktuellen Pumpwerke und Verteilerbauwerke sowie die Zuleitungen zu den einzelnen Becken nicht darauf ausgelegt sind größere Wassermengen zu verarbeiten. Wenn bei einer Stoßbelastung nur vier der sechs Becken in Betrieb wären, würde es zu hydraulischen Problemen kommen.

Durch die Fällmittelknappheit hat sich gezeigt, dass es auch in diesem Bereich notwendig ist, die Kläranlage flexibler zu gestalten. Sowohl im Hinblick auf die Lagerungsmöglichkeiten und Reserven, als auch auf den Wechsel des Fällmittels.

**Thilo Frederik Dobschall B.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Sören Weinrich
Zweitprüfer:	Dipl.-Forsting. Oliver Nußbaumern
Datum des Kolloquiums:	14. September 2023
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Geiger Umweltsanierung GmbH und Co. KG



Der Alltag im Deponiebetrieb - von der Materialannahme bis zum Materialeinbau ist - mit einer Vielzahl von Dokumentationsprozessen verbunden. Daten über Art, Menge und Einbauort müssen aufgrund von gesetzlichen Vorschriften für jedes angenommene Material erfasst werden und auch für das Management und die Kostenkalkulation sind viele Daten relevant, um die Deponie wirtschaftlich betreiben zu können.

Das Unternehmen Geiger Umweltsanierung GmbH und Co. KG (GUS) betreut insgesamt sieben Deponiestandorte in Bayern und Baden-Württemberg. Die Erfassung von Daten erfolgt an diesen Standorten uneinheitlich, sowohl digitalisiert und analog. Während Prozesse wie die Erstellung von Deponietagesberichten zum Beispiel noch komplett händisch erfolgt, wird im Bereich der Materialannahme mit einer Software zur Datenaufnahme gearbeitet.

Im Rahmen der Abschlussarbeit werden Potenziale der digitalisierten Erfassung wichtiger Datenaus dem Deponiebetrieb geprüft und dargelegt. Dazu werden die Vorteile, die sich daraus für unterschiedliche Beteiligte ergeben dargestellt und erste Ansätze für eine Umsetzung ausgearbeitet. Anhand eines Beispielstandortes der GUS werden nicht nur die derzeit bereits erfassten Daten betrachtet und auf Umsetzung einer digitalisierten Erfassung geprüft, sondern auch Potenziale der Mehrerfassung von Daten zur Erreichung von planerischen und wirtschaftlichen Vorteilen untersucht. Auf Basis einer Befragung der Akteure im Deponiebetrieb werden dazu die Prozesse der Datenerfassung im Deponiebetrieb dargestellt und deren derzeitiger Digitalisierungsgrad bewertet.

So kann die Erfassung von Daten im Deponietagebuch durch die Nutzung entsprechender Software digitalisiert und vereinfacht werden. Dadurch können einige Vorteile erreicht werden, wie beispielsweise ortsungebundener Zugriff, entfallender Platzbedarf für die Lagerung der Berichte im Papierformat oder die Nutzbarmachung der enthaltenen Daten für statistische Auswertungen. Hierzu sind jedoch zusätzliche Kosten für die Nutzung der Software zu erwarten.

In der Eigenüberwachung werden an den Deponiestandorten der Sickerwasseranfall und Strom- und Wasserverbrauch kontrolliert. Hier gibt es die Möglichkeit eine detailliertere Datenlage zu erhalten und den Prozess der Datenerfassung zu vereinfachen, indem intelligente Messzähler verwendet werden, die in regelmäßi-

gen Abständen automatisiert die Datenerfassung durchführen. Neben der geringeren Fehleranfälligkeit, welche die intelligenten Zähler mitbringen, können Einsparpotenziale im Strom- und Wasserverbrauch analysiert werden.

Deponiebetreiber sind darüber hinaus verpflichtet den genauen Einbauort der Abfälle zu dokumentieren. Da dies derzeit nur nach subjektiver Abschätzung der Mitarbeitenden auf der Deponie erfolgt, gibt es auch hier Digitalisierungspotenziale. Mithilfe von GPS an den Baumaschinen, kann der Einbauort automatisiert erfasst werden und auch die Höhenlage des Einbaus ermittelt werden. Hierzu sind jedoch mitunter hohe Investitionskosten zur Nachrüstung der Technologie erforderlich.

Die Erfassung der Arbeitszeit der Mitarbeitenden auf der Deponie erfolgt derzeit mithilfe einer Software. Jedoch werden die Zeiten noch manuell durch den Wiegemeister oder die Deponieleitung in das Programm eingetragen. Durch Zeiterfassungsterminals oder mobile Zeiterfassung mithilfe einer App kann der Prozess automatisiert und der entsprechende Arbeitsaufwand verringert werden.

Auch die Erfassung der Materialqualität und Zulässigkeit der Materialaufnahme kann durch die Nutzung einer App digitalisiert werden. Darüber hinaus lässt sich eine selbsterstellte App auch mit den anderen bereits erläuterten Prozessen der Datenerfassung verbinden, wenn die App als zentraler Datenerfassungsort genutzt wird. Dadurch wird die Erfassung der Daten flexibler und mobiler.

Insgesamt sind also eindeutige Potenziale in der Digitalisierung der Datenerfassung im Deponiebetrieb zu erkennen und können Vorteile, wie eine flexiblere, genauere Datenerfassung und bessere Nutzbarkeit der Daten ermöglichen. Als nächster Schritt soll eine Umsetzung der verschiedenen Maßnahmen im Unternehmen GUS geprüft werden.

## Untersuchung der Betriebsbedingungen von Kaltwasserzirkulationsanlagen

**Oliver Dresemann M.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
 Zweitprüfer: Stefan Cloppenburg M.Eng.  
 Datum des Kolloquiums: 14. Februar 2024  
 Master-Studiengang: Technisches Management in der Energietechnik  
 Studienrichtung:



Die Abschlussarbeit befasste sich mit der Fragestellung, inwiefern eine installierte Kaltwasser-Zirkulation mit aktiver Kühlung die Trinkwasserqualität beeinflusst. Für die Beantwortung wurden mikrobiologische und chemische Trinkwasserparameter durch Probenahmen ermittelt und anhand gesetzlicher sowie normativer Vorgaben bewertet.

Zusammenfassend zeigen die vorliegenden Ergebnisse, dass die chemischen Parameter Blei, Nickel und Kupfer keinen nachweisbaren negativen Einfluss auf die Trinkwasserqualität haben. Die Analyse der Probenahmen ergab keinen signifikanten Unterschied in der Trinkwasserqualität zwischen dem Hauswasseranschluss und den Proben aus der Peripherie sowie der Kaltwasserzirkulationsleitung.

Ein Vergleich zwischen der Warm- und Kaltwasserzirkulation deutet darauf hin, dass die Blei- und Nickelionenkonzentration in einer Warmwasser-Zirkulation höher ist als in Kaltwasser-Zirkulationen, während die Kupferkonzentration in beiden Zirkulationssystemen nahezu gleich ist. Diese Unterschiede lassen sich auf die Temperatur des Trinkwassers zurückführen. Die generell niedrigen Schwermetallkonzentrationen lassen auf den Einfluss des pH-Wertes schließen. Die gemessenen pH-Werte liegen zwischen 7,4 und 8,5, was darauf hinweist, dass die Löslichkeit von Schwermetallen in einem alkalischen Milieu eingeschränkt ist.

Der gesamte gelöste Kohlenstoff spielte nur eine geringe Rolle bei der Beantwortung der Forschungsfrage, da er nur im pH-Bereich zwischen 7,0 und 7,4 für die Beurteilung der Kupfermigration relevant ist.

Die elektrische Leitfähigkeit kann nicht als Indikator für die Metallmigration von Blei, Nickel und Kupfer verwendet werden. Diese ist vielmehr vom Calcium- und Magnesiumgehalt abhängig.

Des Weiteren sind in dieser Abschlussarbeit die Koloniezahlen bei 22°C und 36°C an der UV-Desinfektionsanlage und dem Zirkulationskühler gemessen und interpretiert worden. Hier wurde untersucht, ob die Kombination einer Kaltwasser-Zirkulation mit einer UV-Desinfektion einen negativen Einfluss auf die Trinkwasserqualität haben. Insbesondere wurde betrachtet, ob das leicht erwärmte Trinkwasser nach dem UV-Desinfektionsgerät eine Vermehrung von mikro-

biologischen Organismen begünstigt. Die Auswertung der Ergebnisse hat gezeigt, dass keine negativen Einflüsse festgestellt werden konnten und die UV-Desinfektionsanlage funktioniert.

Abschließend ist somit zu sagen, dass die Temperaturhaltung des Kaltwassers durch eine Zirkulation wirtschaftlicher ist als bei der Verwendung temperaturgesteuerter Spüleinrichtungen. Außerdem wird das mikrobiologische Wachstum durch die Temperaturhaltung eingeschränkt. Weiterhin weist Trinkwasser mit einer geringeren Temperatur eine geringere chemische Belastung möglicher Schwermetallmigration auf. Für die Betrachtung aller Parameter muss die vorherige Probennahme fehlerfrei ablaufen. Hierbei ist einerseits darauf zu achten, dass der Probennehmer die Probennehmeröhrchen fachgerecht desinfiziert und die Proben korrekt genommen werden.



## Untersuchung von Softwaretools für die Bestands- und Potentialanalyse der kommunalen Wärmeplanung einer Gemeinde

Luis Eising B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Felix Kunert

Datum des Kolloquiums: 12. Oktober 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.



Um die Fähigkeiten eines Softwaretools für die Unterstützung der Arbeit an der kommunalen Wärmeplanung zu bewerten, wurden die ausgegebenen Daten von diesem Tool mit denen des Wärmekatasters des Landesamtes für Umwelt- Natur- und Verbraucherschutz verglichen. Dazu wurde, am Beispiel einer Gemeinde, mit beiden Quellen jeweils eine verkürzte Bestands- und Potentialanalyse durchgeführt. Anschließend wurden die Ergebnisse miteinander verglichen.

Auf der Grundlage dieses vorangegangenen Vergleichs lässt sich nun ein Fazit ziehen. Es zeigt sich, dass das Softwaretool im Abschnitt über die Gemeindestruktur mit den Zahlen zu Fläche, Einwohnerzahl und Bevölkerungsdichte sehr nah an denen der Gemeinde liegt. Die Darstellungen über die Baujahre der Gebäude und deren BSKO Klassifizierung können eine gute Hilfe für die erste Phase der Wärmeplanung sein. Diese Angaben bietet das Wärmekataster des LANUV nicht.

Die erste größere Abweichung der Daten vom Tool von denen des Wärmekatasters zeigt sich bei der Infrastruktur zur Wärmeversorgung. Laut der Software ist die Gemeinde nahezu vollständig mit Erdgas versorgt. Das Wärmekataster zeichnet ein anderes Bild, laut ihm gibt es auch eine signifikante Nutzung von Erdöl für die Bereitstellung von Wärme. Diese Aussage wird gestützt durch die Angabe der Gemeinde, dass zu der Menge des verbrauchten Erdgases von rund 160.000 MWh/a noch 40.000 MWh/a an Heizölverbrauch dazu kommen und so einen gesamten Endenergieverbrauch von rund 200.000 MWh/a darstellen. Dies ist signifikant mehr als der Endenergieverbrauch, den das Softwaretool angibt. Dieser beträgt rund 150.000 MWh/a und soll vollständig durch den Verbrauch von Erdgas zustande kommen. Das Softwaretool gibt nur den Endenergieverbrauch und Wärmebedarf für die Bereitstellung von Heizwärme an, nicht für die von Prozesswärme. Dies ist ein signifikanter Unterschied und muss in einer Wärmeplanung beachtet werden.

Der ermittelte Wärmebedarf liegt hingegen sehr nah an dem, den das Raumwärmebedarfsmodell des LANUV ermittelt hat, dieses umfasst ebenfalls nur den Bedarf an Heizwärme, nicht an Prozesswärme. Die graphische Darstellung der Wärmebedarfsdichten gelingt mit dem Wärmekataster besser, die Auflösung der Abbildung aus der Software ist zu gering, um genaue Aussage zu treffen.

Im Abschnitt zu den Potentialen zur Senkung des Wärmebedarfs gibt das Tool

eine deutlich größere mögliche Reduktion an als der Leitfaden kommunale Wärmeplanung des Landes Baden-Württemberg. Der Wert von 70,3 Prozent, den die Software angibt, ist plausibel da der größte Teil des Gebäudebestandes noch auf einem alten Sanierungsstand ist, und sich durch neue Wärmedämmung und Heizungen mit geringem Primärenergiebedarf wie Wärmepumpen der Wärmebedarf massiv reduzieren lässt. Das Reduktionspotenzial, welches das Tool angibt, ist also realistisch.

Die größten Defizite hat das Softwaretool bei der Angabe zu den Potentialen der erneuerbaren Energien zur Wärmeversorgung. Es gibt keinerlei Angabe über den Bestand an regenerativen Energien in der Gemeinde, und auch zu den möglichen Potentialen gibt es nur sehr oberflächliche Angaben über das Potential an Biomasse. Damit ist dieser Teil der Potentialanalyse durch das Tool kaum in der realen Wärmeplanung zu verwenden. Es sei allerdings darauf hingewiesen, dass das Softwaretool aktiv daran arbeitet, diese Lücken zu schließen.

Zusammenfassend lässt sich ein gemischtes Fazit ziehen. Das Softwaretool bietet gute Daten über den Gebäudebestand, wie Baujahr, BSKO Klassifizierung und eine der wichtigsten Kenngrößen, den Wärmebedarf, wenn auch dort nur die Heizwärme einfließt. Auch das Sanierungspotential ist realistisch. Auf Grundlage dieser Zahlen lässt sich eine momentane und zukünftige Wärmebedarfsdichte ermitteln, diese ist elementar für die Planung eines Wärmenetzes. Jedoch hat das Softwaretool Defizite, besonders im Bereich der Potentiale erneuerbarer Energien fehlen viele wichtige Informationen.

Deshalb kann nur mithilfe dieses Tools kein kommunaler Wärmeplan erstellt werden, es müssen auch weiterhin die herkömmlichen Informationsquellen wie das Wärmekataster, das Raumwärmebedarfsmodell und die jeweilige Gemeinde oder die Stadtwerke hinzugezogen werden. In Kombination mit diesen kann dieses Tool jedoch eine gute Hilfe sein.

Der Ansatz dieses Softwaretools, nämlich zentral die notwendigen Daten einer Wärmeplanung für jede Gemeinde in Deutschland zusammenzuführen, mit Algorithmen auszuwerten und graphisch darzustellen, hat jedoch sehr großes Potential, da der Bedarf an Wärmeplanung sehr groß und die dazu notwendige Arbeit umfangreich ist. Es bleibt abzuwarten, ob dieses Potential ausgeschöpft wird. Bis dahin stellt das Tool jedoch wenigstens eine gute Hilfe für die kommunale Wärmeplanung dar.

## Entwicklung eines Berechnungsprogramms zur Berechnung von überschlägiger Heizlast und Kühllast von Wohngebäuden und Nicht-Wohngebäuden

**Christopher Elfring B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
Zweitprüfer: M.Eng. Eva Mesenhöller  
Datum des Kolloquiums: 28. Februar 2024  
Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik



Mit Hilfe eines Excel-Tools, wurden die 8760 Jahresstunden aus einem veränderbaren Wetterdatensatz eingelesen und entsprechend der jeweilige Nutzung mit Szenarien belegt. Auf der Grundlage wärmetechnischer Bilanzen und vorgegebener U-Werte des Gebäudes, werden überschlägige, stündliche Energiebilanzen gebildet und über das Jahr kumuliert.

Um die Berechnungsabläufe im Tool so transparent wie möglich zu halten, werden nur Transmissions-, Lüftungs- sowie Energiegewinne aus inneren Lasten bilanziert. Die ermittelten Ergebnisse stimmen dennoch hinreichend mit den Energievorbräuchen von Standardszenarien überein. Das Tool ist als Grundlagenarbeit angelegt, um die Machbarkeit, auch komplexerer Tools zur überschlägigen Bestimmung der Jahresenergiebilanz von Wohn- und Nichtwohngebäuden, abschätzen zu können.

Dies geschieht mit den Wetterdaten vom deutschen Wetterdienst. Sie können für sämtliche Regionen in Deutschland ersetzt werden. Zudem kann das Programm mehrere Nutzungsarten abdecken. Hierfür wird das Gebäude in Nutzungszonen aufgeteilt. Dann werden die Lasten für alle Nutzungszonen einzeln berechnet. Um das Gebäude dann gesamtheitlich zu betrachten werden am Ende alle Werte aufaddiert.

Philipp Elkmann B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler  
Zweitprüfer: Ralf-Rainer Nolte

Datum des Kolloquiums: 20. November 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: Stiebel Eltron



Im Rahmen der Energiewende ändern sich die Anforderungen an Heizungssysteme. Dabei wird der klassische, mit fossilen Energien betriebene Wärmeerzeuger immer mehr durch die Wärmepumpe abgelöst. Im Zuge dieser Entwicklung erhalten Pufferspeicher für die Heizungsanlage eine immer größere Bedeutung. Für die Effizienz eines Pufferspeichers spielt die thermische Schichtung bei Be- und Entladevorgängen eine wichtige Rolle. Da die bisherige Bewertung der Pufferspeicher nur anhand des Wärmeverlustes daher nicht ausreichend ist, wurde in der Fachabteilung Speicher des Bundes der deutschen Heizungsindustrie (BDH) ein weiterer Bewertungsansatz entwickelt. Dieser Ansatz bewertet den Be- und Entladevorgang eines Pufferspeichers mit Verlustfaktoren. In dieser Bachelorarbeit wurde ein Prüfstand nach diesem Ansatz entwickelt

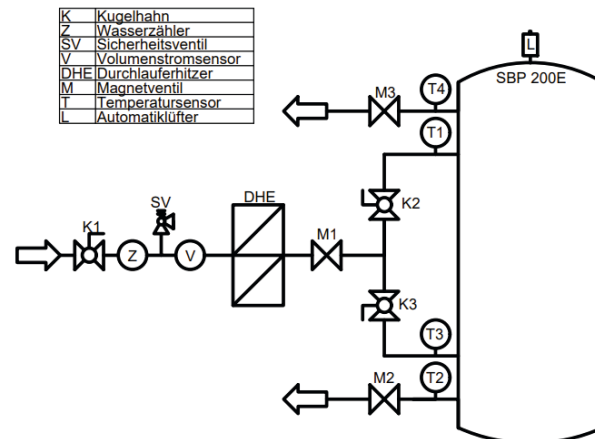


Abb1: Skizze der Prüfstandhydraulik

Ein Mikroprozessor wurde so programmiert, dass die Be- und Entladevorgänge automatisch ablaufen und die vom Prozessor ausgelesenen Sensorwerte auf einer SD-Karte abgespeichert wurden. Zur vereinfachten Bedienung des Prüfstandes wurde ein Touch-Display programmiert. Außerdem musste für die Steuerungs- und messtechnischen Komponenten ein Gehäuse konstruiert werden.



*Abb2: fertiger Prüfstand*

Mit dem in Abbildung 2 gezeigten Prüfstand wurden einige Messungen durchgeführt. Mittels der Messergebnisse wurde die Eignung des BDH-Ansatzes bewertet. Außerdem ermöglichte die grafische Auswertung der Messdaten über Excel eine neue Möglichkeit die Mischungsschicht in einem Pufferspeicher zu berechnen. Auf dieser Grundlage wurde eine eigene Kennzahl für die Bewertung der Mischungsschicht in Pufferspeichern entwickelt. Thermografische Aufnahmen des Speichers während der Versuche lieferten weitere wertvolle Erkenntnisse.

## Dimensionierung von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung und -speicherung für den Betrieb von Umkehrosmose-Meerwasserentsalzungsanlagen mit Hilfe der Energiesystemmodellierung

Dominik Florian Everding M. Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Markus Becker
Datum des Kolloquiums:	10. Mai 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit:	windwise GmbH



Viele Menschen in Küstenregionen sind von Trinkwasserknappheit betroffen, vor allem in ariden Regionen, so dass dort die Entsalzung von Meerwasser ein naheliegender Lösungsansatz ist. Im Hinblick auf den Klimawandel besteht die Notwendigkeit, den energieintensiven Betrieb der Meerwasserentsalzungsanlagen mit Erneuerbaren Energien (EE) zu gestalten, um die (indirekten) Treibhausgasemissionen (THG-E) zu reduzieren. Vor diesem Hintergrund ist das Ziel der vorliegenden Arbeit, die technisch, ökonomisch und ökologisch optimale Dimensionierung von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung und -speicherung für den Betrieb von Umkehrosmose-Meerwasserentsalzungsanlagen (MWRo-Anlagen) mit Hilfe der Energiesystemmodellierung zu bestimmen.

Um diese multikriterielle Optimierungsaufgabe zu lösen, wurde der „Spreadsheet Energy System Model Generator“ (SESMG) als Schnittstelle zum „Open Energy Modeling Framework“ (oemof) gewählt, mit welchem in verschiedenen Szenarien Energiesystemmodelle erstellt und mittels dem „ε-constraint Verfahren“ hinsichtlich der Minimierung von Kosten und THG-E optimiert wurden. Im Wesentlichen werden dabei Szenarien mit Netzanschluss als auch autarke Versorgungsszenarien betrachtet, wobei zur regenerativen Stromerzeugung Photovoltaik- (PV) und Windenergieanlagen (WEA), zur Energiespeicherung Batteriespeicher und Wasserstoffsysteme eingesetzt wurden.

Für den konventionellen Betrieb einer MWRo-Anlage am nationalen Stromnetz Australiens (Referenzszenario), ergeben sich mit 22 ct/kWh spezifischen Strombezugskosten und 588 g CO<sub>2e</sub>/kWh spezifischen THG-E des Netzbezugs, Gesamtkosten i. H. v. etwa 54,09 M€/a, bei ca. 84,14 kt CO<sub>2e</sub>/a emittierten THG. Die Ergebnisse der Arbeit zeigen, dass die Integration von Anlagen zur regenerativen Stromerzeugung und -speicherung eine effektive Möglichkeit darstellt, sowohl die Emissionen als auch die Kosten des Referenzszenarios zu reduzieren. Erst ab einer Reduktion der THG-E um mehr als 90 % im Vergleich zum Referenzszenario, entstehen auch mit EE und Speichermöglichkeiten höhere spezifische und gesamte Kosten. Am Punkt des modellierbaren Emissionsminimums (E-min) können im Vergleich zum Referenzszenario 92 % der THG-E eingespart werden, bei im Mittel 18 % höheren Kosten und 19 % höherem Strombedarf zur Versorgung der MWRo-Anlage und Kompensation der Speicherverluste. Am Punkt des Kostenminimums (K-min) des Szenarios mit Netzanschluss, können, im Vergleich zum Referenzszenario, 66 % der THG-E und 27 % der Kosten eingespart werden,

bei nur geringfügig erhöhtem Strombedarf (0,16 %). Ohne Netzanschluss liegt das K-min nur 3 % unter dem Referenzszenario, bei 87 % geringeren THG-E und um 33 % erhöhtem Strombedarf.

Die Betriebsweise im E-min kann nur mit Mehrkosten gegenüber dem K-min erreicht werden (+ 61 % im Szenario mit Netzanschluss und + 23 % im autarken Szenario). Werden im Vergleich zum E-min nur geringfügig höhere Emissionen toleriert, so können die Kosten deutlich gesenkt werden, ohne die Emissionsreduktion zu sehr zu vernachlässigen.

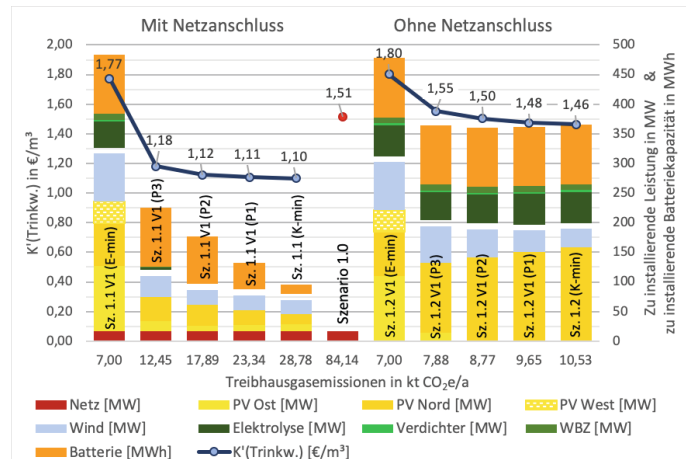


Abb1: Ergebnisse der Dimensionierungen in Form der zu installierenden Leistung und Batteriespeicherkapazität.

Abbildung 1 zeigt die wesentlichen Ergebnisse der Dimensionierungen aus den relevantesten Szenarien. Darüber hinaus hat die Variation des Strompreises für den Netzbezug gezeigt, dass dieser Parameter großen Einfluss auf die Dimensionierung der Anlagen hat.

Der Vergleich des Szenarios 1.1 V1 (P3) zu einer realen, konventionell betriebenen MWsRO-Anlage zeigt, dass etwa 88-mal mehr Fläche für den Betrieb mit EE benötigt wird. Außerdem liegt der für die Modellierung gewählte, spezifische Energiebedarf ca. 12 % über dem Wert der realen Anlage, wodurch die absoluten Ergebnisse in der Realität insgesamt in allen Bereichen etwas geringer ausfallen könnten.

Das berechnete, maximale Reduktionspotenzial der THG-E i. H. v. 92 % im Vergleich zum Referenzszenario, kann durch die Ergebnisse Dritter bestätigt werden, wobei auch Werte bis 98 % in der Literatur genannt werden.

Die vielversprechenden Ergebnisse dieser Arbeit sollten sorgfältig mit realen Projekten verglichen werden, um Gründe für Abweichungen zwischen der Theorie und dem in der Praxis sehr geringen Anteil EE in der Wassertersalzung zu identifizieren und weiteres Verbesserungspotenzial für die Modellierung solcher Szenarien abzuleiten.

Schließlich sollten die Modellparameter auch einer umfangreichen Sensitivitätsanalyse unterzogen werden, um kritische Parameter zu identifizieren und die Genauigkeit in der Modellierung dieser Parameter anschließend zu erhöhen.

## Entwurf eines Eisspeicher-Dimensionierungstools für die Beheizung und Kühlung eines Wohngebäudes

Simon Eversmann M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
Zweitprüfer: Dipl. Ing. (FH) Boris Sarkoski M.Eng.

Datum des Kolloquiums: 21. April 2023

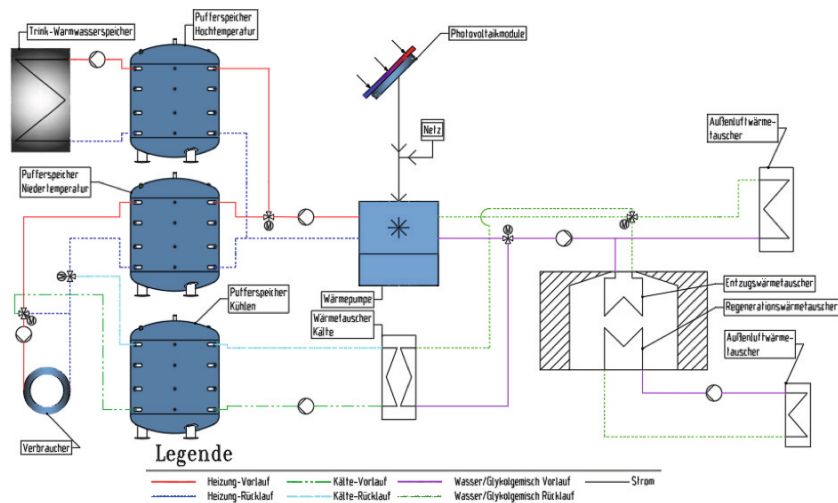
Master-Studiengang: Technisches Management in der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: KaTplan GmbH



Im Rahmen dieser Masterarbeit wurde ein Excel-Dimensionierungstool für ein Eisspeichersystem erstellt.

Das untersuchte Eisspeichersystem besteht aus mehreren Komponenten, die in der Abbildung 1 dargestellt sind. Es ist möglich die Wärmepumpe über die Quellenmedien Außenluft oder über den Eisspeicher zu betreiben. Insgesamt wurde von 2 verschiedenen Zyklen ausgegangen. Während der Heizperiode entzieht die Wärmepumpe dem Eisspeicher Wärmeenergie, sodass der Eisspeicher am Ende des Winters bei der Minimaltemperatur angelangt ist. Während der Kühlperiode wird die in dem Eisspeicher befindliche Kälteenergie für die Kühlung des Gebäudes verwendet.



Abbi: vereinfachtes Anlagenschema des Eisspeichersystems

Mithilfe des Excel-Tools wurde zuerst der Energiebedarf für ein Einfamilienhaus bestimmt. Auf dem Energiebedarf aufbauend wurden 3 verschiedene Eisspeichergößen (thermisch passend, thermisch zu klein und thermisch zu groß) mit jeweils 3 verschiedenen Regelungseinstellungen untersucht und die Besonderheiten herausgearbeitet. Beispielsweise der Wärmehalt eines Eisspeichers Typ M (lichte Höhe: 3m und lichter Durchmesser: 3,25m) über das Jahr 2015 gesehen der in der Abbildung 2 dargestellt wird.



Anschließend wurde ein ökologischer und wirtschaftlicher Vergleich des Eisspeichersystems mit einer Luft/Wasser-Wärmepumpe, einem Gas-Brennwertkessel und der Kombination aus einem Gas-Brennwertkessel und einer Kältemaschine durchgeführt. Der ökologische Vergleich des Eisspeichersystems zeigte, dass das Eisspeichersystem mit allen untersuchten Eisspeichergößen energiesparender als die untersuchten Vergleichssysteme sind.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung zeigte allerdings, dass sich das Eisspeichersystem nicht gegenüber einer Luft/Wasser-Wärmepumpe behaupten kann. Jedoch amortisierten sich die kleineren untersuchten Eisspeichergößen gegenüber den anderen beiden Vergleichssystemen.

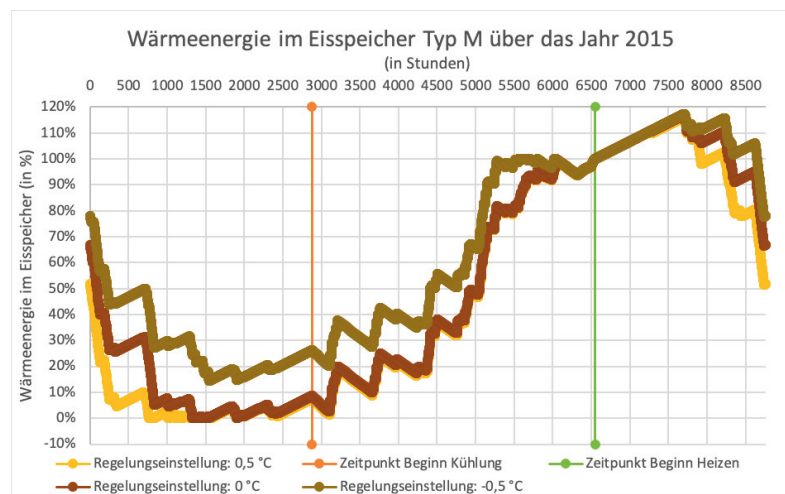


Abb2: Wärmeenergie im Eisspeicher Typ M über das Jahr 2015

## Beispielhafte Untersuchung der Anwendbarkeit von Luft-Wasser-Wärmepumpen in Bestandsgebäuden anhand eines über 100-jährigen Wohngebäudes

Christine Gautsch B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner  
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Stefan Jöken  
 Datum des Kolloquiums: 21. Dezember 2023  
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieurin der Gebäudetechnik  
 in Kooperation mit: Ingenieurbüro Jöken und Gautsch Haustechnik



Deutschland stimmte auf der UN-Klimakonferenz im Jahr 2015 in Paris einem globalen Klimaschutzabkommen zu. Hiermit einigte sich die Staatengemeinschaft erstmals völkerrechtlich verbindlich darauf, die Erderwärmung auf deutlich unter 2°C gegenüber dem vorindustriellen Niveau zu begrenzen. Darüber hinaus sollen sich die Staaten bemühen, den Temperaturanstieg unter 1,5°C zu halten, um die bereits spürbaren Folgen des Klimawandels zu verhindern.

Auf nationaler Ebene hat die Bundesregierung die Klimaschutzvorgaben mit Änderung des Klimaschutzgesetzes (KSG) verschärft. Somit wurde das Ziel der Treibhausgasneutralität (TGN) bis 2045 verankert. Bereits bis 2030 sollen die Emissionen um 65 Prozent gegenüber 1990 sinken. Um die energie- und umweltpolitischen Ziele der Bundesregierung (Verminderung des Primärenergieverbrauchs und der CO<sub>2</sub>-Emissionen sowie ein vermehrter Einsatz von regenerierter Energie) zu erreichen, sind Anstrengungen in allen Verbrauchssektoren nötig. Bei der Raumheizung, mit ihrem sehr großen Anteil am Energieverbrauch, bietet neben der Verminderung des Bedarfs durch Wärmeschutz eine effiziente Heiztechnik erhebliches Potenzial zur Erreichung der Ziele. Insbesondere das „thermodynamische“ Heizen mit Wärmepumpen kann für neue und vor allem für Millionen bestehende Gebäude beträchtliche Primärenergie- und CO<sub>2</sub>-Einsparungen bringen, indem die von der Sonne eingestrahlte Umweltwärme genutzt wird (bodennahe Atmosphärenschichten, Gewässer und oberflächennahe Erdwärme).

Angetrieben von der viel diskutierten Frage, ob Wärmepumpen in Bestandsgebäuden überhaupt möglich und sinnvoll sind, wird in dieser Arbeit die Effizienz und Einsatzmöglichkeit von Luft-Wasser-Wärmepumpen im Bestandssektor untersucht. Insbesondere ein über 100-jähriges Wohngebäude wird im Hinblick auf die Anwendbarkeit einer Luft-Wasser-Wärmepumpe untersucht.

## Entwicklung eines Software Frameworks zur Plausibilitätsprüfung der Ergebnisse von Geruchsausbreitungsberechnungen gemäß Technischer Anleitung zur Reinhaltung der Luft

Lars Goray M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dr. rer. nat. Jannik Hüls
Datum des Kolloquiums:	30. März 2023
Master-Studiengang:	Energie · Gebäude · Umwelt in der Energietechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Richters & Hüls, Ahaus



Zum Schutz von Mensch und Umwelt, ist es nötig, Umwelteinflüsse zu untersuchen und sicherzustellen, dass Immissionsgrenzwerte eingehalten werden. Dazu werden im Rahmen von Genehmigungsverfahren Immissionen gemäß geltender Gesetze, Verordnungen, technischer Anleitungen und Richtlinien berechnet und beurteilt. Die Immissionen in Form von Geruch standen in dieser Arbeit im Fokus. Immissionsprognosen werden gemäß Technischer Anleitung zur Reinhaltung der Luft TA Luft und mit Hilfe des Partikelmodells der VDI-Richtlinie 3945 Blatt 3 angefertigt. Das Umweltbundesamt stellt mit dem Programm AUSTAL eine Referenzimplementierung dieser Richtlinie zur Verfügung. Die Prognose von Geruchsmissionen durch numerische Ausbreitungsmodelle ist stark rechenintensiv. Die Genauigkeit wird zudem durch Diskretisierungsfehler und Stichprobenfehler begrenzt.

Zur Plausibilitätsprüfung von Ergebnissen wurde in dieser Arbeit ein Software Framework entwickelt, das die Immissionsberechnung in zweierlei Hinsicht überprüft. Einerseits kann überprüft werden, ob eine übertragbare und repräsentative Wetterdatei zur Berechnung verwendet wird und andererseits kann untersucht werden, wie plausibel die eigentliche Ausbreitungsberechnung ist.

Die Übertragbarkeitsprüfung meteorologischer Daten zur Anwendung im Rahmen der TA Luft ist in VDI 3783 Blatt 20 beschrieben. Das entwickelte Software Framework zeigt für einen beliebigen Standort die nächsten Wetterstationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) an und bestimmt wie gut diese auf den Standort übertragbar sind. Wenn bei der Ausbreitungsberechnung eine meteorologische Zeitreihe verwendet wird, ist ein repräsentatives Jahr der Wetterstation zu ermitteln. Das verwendete Auswahlverfahren wird ebenfalls in der VDI-Richtlinie 3783 Blatt 20 aufgeführt. Damit wurde eine Datei erzeugt, die für alle Wetterstationen das repräsentative Jahr auflistet. Die Berechnung kann schnell und einfach jedes Jahr wiederholt werden, damit die Daten immer aktuell bleiben. Die Rechendauer des Programms zur Bestimmung der repräsentativen Jahre aller DWD-Wetterstationen beträgt ca. drei Stunden.

Für die Überprüfung der Ausbreitungsberechnung wurden zwei Verfahren vorgestellt und miteinander verglichen, um die bessere Variante festzustellen. Das erste Verfahren ist die Methode zur Abstandsbestimmung Geruch nach VDI 3894 Blatt 2. Diese stellt eine stark vereinfachte Betrachtung der Ausbreitungssituation dar

und wurde entworfen um eine konservative Einschätzung zu geben, um so eine hinreichende Sicherheit der Abstände zu garantieren. Als zweites Verfahren wurde untersucht, ob ein Deep Learning-Algorithmus in der Lage ist, schnelle und korrekte Immissionsprognosen zu liefern. Dazu wurden Ausbreitungsparameter und Ergebnisse aus alten AUSTAL-Simulationen als Bilder dargestellt und damit ein semantisches Segmentierungsmodell trainiert. Verwendet wurde die Netzwerkarchitektur U-Net. Die Parameter Quellstärke, Position der Quelle(n), die Windrichtungsverteilung, die Windgeschwindigkeitsverteilung und das Gelände wurden encodiert und grafisch dargestellt. Das Modell erhält ein Bild als Eingabe, auf dem es die verschiedenen Features erkennt. Mit diesen Parametern prognostiziert das Modell einen Bereich im Untersuchungsgebiet, in dem die Geruchsstundenhäufigkeit einen bestimmten Wert überschreitet. Ein trainiertes Modell liefert innerhalb von wenigen Sekunden ein Prognoseergebnis.

Vorhandene approximative Verfahren, wie die Abstandsbestimmung nach VDI 3894 Blatt 2, weisen nicht die Aussagekraft auf, als dass diese zur Argumentation der Plausibilität von Ausbreitungsberechnungen zielführend herangezogen werden können. Es konnte gezeigt werden, dass semantische Segmentierungsmodelle in der Lage sind, aus abstrakten Eingabebildern Informationen herauszufiltern, mit denen sie Ergebnisse liefern, die den Ergebnissen von aktuellen Simulationsprogrammen wie AUSTAL sehr nahe kommen

## Die hydraulische Auslegung eines Kälte- und Heizungsnetzes unter Berücksichtigung der energetischen und wirtschaftlichen Auswirkungen unterschiedlicher Regelventile und Schaltungen

**Marco Graf B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner

Zweitprüfer: Paul Klempt

Datum des Kolloquiums: 23. November 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: Ingenieurgemeinschaft Sandhaus & Hummelt



Eine ausreichende und sichere Energie- und Wärmeversorgung von Krankenhäusern ist wichtig, um den Aufenthalt für verletzte und kranke Menschen angemessen zu gestalten. So muss auch die Heizungs- und Kältetechnik in der Form geplant und realisiert werden, dass stets für eine optimale Raumtemperatur gesorgt werden kann. In diesem Zusammenhang muss die Hydraulik als Teil dieser Systeme betrachtet werden. Es muss also entschieden werden, welche Schaltungen und Armaturen für einen einwandfreien Gebrauch sinnvoll sind. Dabei spielen Faktoren wie die Wirtschaftlichkeit, die Umweltverträglichkeit und die Fehleranfälligkeit neben der eigentlichen Funktion der Systeme eine Rolle.

Das Bestreben dieser Arbeit war es nun, anhand eines Vergleichs von einigen traditionellen und modernen Schaltungen und Regelventilen, zu erarbeiten, inwieweit altbekannte hydraulische Lösungen durch neue Erkenntnisse sinnvoller realisiert werden können. So soll es anhand dieser Arbeit für die FachplanerInnen und IngenieurInnen möglich sein, ihre hydraulischen Lösungswege und Schaltungen zu überdenken und gegebenenfalls für jeweilige KundInnen anzupassen.

Die Betrachtung der hydraulischen Auslegung der Heizungs- und Kälteleitungen wurde dabei exemplarisch für die raumlufttechnischen Anlagen eines Krankenhauses durchgeführt. Der Schwerpunkt lag auf zwei Aspekten. So sollte zum einen der Vergleich der Beimischschaltung mit konventionellem Mischventil zur Einspritzschaltung mit differenzdruckunabhängigem Regelventil im Heizungsnetz berücksichtigt werden und zum anderen der Vergleich vom Bypass TacoSetter zu Rücklauf temperaturarmaturen. Letzterer beruhte dabei auf den Anforderungen der Erhitzer beziehungsweise Kühler, bei denen warmes beziehungsweise kaltes Wasser auch beim Nicht-Betrieb jederzeit anstehen muss. Beim Einbau der Rücklauf temperaturventile sind im Heizungs- und Kältenetz nach 20 Jahren Einsparungen von 83495,25 € gegenüber der Bypass TacoSetter zu erwarten, was auf die günstigeren Anschaffungskosten und auf die günstigeren laufenden Kosten zurückzuführen ist. In diesem Zusammenhang sind die Rücklauf temperaturarmaturen mit Verlusten von 6672,58 kWh/a als energieeffizienter im Betrieb als die Bypass TacoSetter mit Verlusten von 27415,91 kWh/a zu benennen.

Nach den Ergebnissen der Berechnung wird die Einspritzschaltung gegenüber der Beimischschaltung, trotz höherer Energiebedarfe ersterer, nach 20 Jahren um 3588,32 € günstiger sein. Dem wäre durch eine sinnvollere Leitungsverlegung

und eine bessere Nutzung der Hauptpumpe, jeweils abgestimmt auf die Beimischschaltung, entgegenzuwirken. Nach Betrachtung der Fachliteratur ist jedoch auch im Betriebsfall davon auszugehen, dass die Einspritzschaltung mit differenzdruckunabhängigem Regelventil energieeffizienter als die Beimischschaltung mit konventionellem Mischventil arbeitet, sodass dem Auslegungsfall als Rechengrundlage nicht zu viel Vertrauen geschenkt werden darf und die moderne Lösung im Betriebsfall wirtschaftlicher sein wird.

## Auslegung eines Planungskonzeptes einer PV-Anlage für eine schulische Einrichtung in Kenia

**Simon Halfkann B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler

Zweitprüfer: M.Eng. Sören Möller

Datum des Kolloquiums: 6. Februar 2024

Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energietechnik



Im Rahmen meiner Bachelorarbeit habe ich ein Konzept zur Planung und Installation von Solaranlagen für Bildungseinrichtungen in Kenia entwickelt. Das Potenzial für Solarenergie ist dort besonders hoch und Solaranlagen helfen vor Ort zum einen, sich unabhängiger von dem unzuverlässigen öffentlichen Stromnetz zu machen und zum anderen, Gemeinden, die noch nicht an das öffentliche Stromnetz angeschlossen sind, Zugang zu Elektrizität zu ermöglichen. Nicht zuletzt werden dadurch auch Emissionen eingespart. Im Rahmen meiner Bachelorarbeit habe ich somit eine Solaranlage mit ca. 8 kWp mit einem zusätzlichen 24 kWh Batteriesystem geplant und installiert. Dieses System versorgt in Zukunft das gesamte Administrationsgebäude, sowie die Unterrichtsräume eines Ausbildungszentrums in der Nähe von Nairobi mit nachhaltigem Strom. Meine Bachelorarbeit entstand in Zusammenarbeit mit der deutschen Stiftung SOFIs World, die mich für sechs Monate in die wunderschönen Taita-Hills in Kenia geschickt hat. Dort habe ich zusammen mit einheimischen Ingenieuren und Handwerkern für private Haushalte aber auch für öffentliche Einrichtungen, wie Kinderheime oder Schulen, erneuerbare Energieprojekte realisiert. Von Biogasanlagen hin zu solarbetriebenen Wasserpumpen und Solaranlagen habe ich mir viel neues Wissen aneignen können und durfte viele inspirierende Menschen kennenlernen. An dieser Stelle möchte ich mich auch ganz herzlich bei dem gesamten Team von SOFIs World bedanken, das mir so eine einzigartige Erfahrung und einen so authentischen und tiefen Einblick in die kenianische Kultur und Lebensweise erst ermöglicht hat.



Abb1: Aufbau Solarplatten auf Gebäuden in Kenia.

## Vergleich statistischer Methoden und künstlicher Intelligenz zur Prognose von Stromnetzbilanzen

**Thomas Harder M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr. Peter Vennemann  
**Zweitprüfer:** M. Eng. Thomas Siebert

**Datum des Kolloquiums:** 11. Mai 2023

**Master-Studiengang:** Technisches Management in der Energietechnik

**in Kooperation mit:** cronos Unternehmensberatung GmbH



Eine präzise Prognose der Netzbilanz von elektrischen Versorgungsnetzen ist essenziell für eine effiziente, verlässliche und nachhaltige Versorgung der Öffentlichkeit mit Energie. Auch Akteure der Energiewirtschaft, wie beispielsweise Energieversorgungsunternehmen, profitieren technisch und wirtschaftlich von exakten Prognosen. Zu diesem Zweck untersucht und vergleicht die vorliegende Thesis auf empirischer Basis drei Methoden, mit Hilfe derer der elektrische Energiebedarf eines repräsentativ gebildeten Haushalts und die aufsummierte elektrische Energiebereitstellung von vier Photovoltaikanlage prognostiziert wird. Die Entwicklung des repräsentativen Haushaltes basiert auf der Berechnung des Medians von sechs Messreihen. Dadurch werden zufällige Lastschwankungen, welche durch unvorhersehbares menschliches Verhalten verursacht werden, minimiert.

Bei den Methoden handelt es sich zunächst um eine in der Praxis häufig angewandten Methode, der multiplen linearen Regressionsanalyse, und zwei Anwendungen aus dem Bereich der künstlichen Intelligenz: dem Random Forest und dem künstlichen neuronalen Netz. Als Prognosezeiträume werden die folgende Viertelstunde, der Folgetag und der Folgemonat gewählt. Diese basieren auf energiewirtschaftlichen und technischen Rahmenparametern, wie der Aufrechterhaltung der Versorgungssicherheit in Bilanzkreisen, dem Datenübertragungsintervall von Smart-Metern und der Optimierung der Wirtschaftlichkeit von Energieversorgungsunternehmen. Anschließend werden die mit der Netzbilanz mindestens mittelstark korrelierten Wettervariablen des Deutschen Wetterdienstes als Datenbasis für die Prognosen verwendet. Umgesetzt werden alle Methoden mithilfe der Programmiersprache Python. Ein abschließender quantitativer und qualitativer Vergleich der Prognoseergebnisse liefert die Grundlage für eine praxisorientierte Bewertung der Methoden.

Quantitative Metriken, die im Zuge dieser Ausarbeitung verwendet wurden, umfassen das korrigierte Bestimmtheitsmaß, den mittleren absoluten Fehler, den mittleren quadratischen Fehler und die Quadratwurzel dessen. Anhand dieser konnte konkret gezeigt werden, dass die multiple lineare Regressionsanalyse und der Random Forest genauere Ergebnisse produzierten als das verwendete neuronale Netz. Der darauffolgende qualitative Vergleich der Methoden zeigte, dass hinsichtlich der Datenpräparation, der Durchführung der Methode und der Nachbereitung derer der Random Forest die Vorteile der statistischen Regression und



des neuronalen Netzes verknüpfte. Das neuronale Netz zeigte in diesem Vergleich den größten Gesamtaufwand.

Eine direkte Handlungsempfehlung für Energieversorgungsunternehmen ergibt sich aus der Kombination des quantitativen und qualitativen Vergleichs. Sind somit die Kapazitäten, das notwendige Fachwissen und die Ressourcen für den Einsatz des Random Forests vorhanden, so können in Übereinstimmung mit geltenden Gesetzen Daten von Smart-Metern genutzt sowie effizient und effektiv verarbeitet werden. Daraus resultieren ebenfalls positive Effekte für die Wirtschaftlichkeit von Energieversorgungsunternehmen, für die Versorgungssicherheit der Öffentlichkeit mit elektrischem Strom und die Netzstabilität.

**Tim Harms-Ensink B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling

Datum des Kolloquiums: 24. April 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: Trink- und Abwasserverband Bad Bentheim, Schüttorf,  
Salzbergen und Emsbüren

Die Kläranlage Schüttorf verzichtet seit Anfang 2022 auf die Nutzung von Erdgas. Um den Wärmebedarf decken zu können muss das Klärgas teilweise in der Heizung verbrannt werden und steht damit nicht komplett für die Verstromung durch das Blockheizkraftwerk (BHKW) zur Verfügung. Im Rahmen dieser Arbeit soll das Wärmekonzept optimiert werden, mit dem Ziel, das gesamte Klärgas, ohne die Gefährdung der nötigen Wärmebereitstellung, im BHKW verbrennen zu können.

Als Grundlage zur Anlagenoptimierung wurde das DWA-A 216 vorgestellt. Es enthält Hinweise und Anleitungen wie eine Anlagenoptimierung mit energetischem Fokus erarbeitet werden kann. Daran anschließend wurde die Kläranlage Schüttorf mit ihren Kenndaten vorgestellt. Der Fokus der Arbeit liegt in Bezug auf den Wärmebedarf auf dem Faulturm, da der Energiebedarf zur Rohschlammaufheizung maßgeblich ist. Dies bezüglich wurden die biologischen Prozesse im Faulturm erklärt und der hohe Wärmebedarf damit begründet.

Kern der Arbeit ist die Erhebung des Ist-Zustandes der Wärmebilanz, also die Benennung und Bezifferung der Wärmesenken und -quellen. Hierfür wurde der Bedarf an Wärmeenergie zur Rohschlammaufheizung, Betriebsgebäudebeheizung und der Bedarf zum Ausgleich der Transmissionsverluste hauptsächlich durch Auswertung des Betriebstagebuches ermittelt. Der Versuch zur Bestimmung der Transmissionsverluste des Faulturms durch Abkopplung der Heizung erzielte keine für die Bilanz nutzbaren Ergebnisse. Ergänzend wurde die Dämmung des Faulturms betrachtet. Diese hat großen Einfluss auf die Transmissionsverluste und wurde mit Erstellung von Wärmebildern untersucht. Diese liefern keine Hinweise auf schwerwiegende Wärmeleckagen und lassen auf eine intakte Dämmung schließen. Der Bedarf an Wärme zur Beheizung der Betriebsgebäude wurde mit Hilfe theoretischer Ansätze ermittelt und berücksichtigt.

Der Schlammeindicker, der dem Faulturm vorgeschaltet ist läuft nicht kontinuierlich. Die Betriebsdaten, die sich während des Betriebes des Schlammeindickers seit 2019 ergeben haben wurden erfasst und ausgewertet. Die Daten weisen auf ein Energieeinsparpotential hin, da sich das Rohschlammvolumen durch den Betrieb um bis zu 70 % reduzieren lässt. Dem Wärmeenergiebedarf wurde die Wärmeenergiebereitstellung gegenübergestellt. Dafür wurden die Betriebsdaten der Heizungsanlage und des BHKW ausgewertet und zusammengefasst. Aus den

ermittelten Werten wurde eine Bilanz gebildet, um den Ist-Zustand zu beziffern. Da die nutzbare thermische Leistung des BHKW geringer als die der Heizung ist, war es nicht möglich das gesamte Faulgas im BHKW zu verbrennen, ohne eine ausreichende Wärmebereitstellung zu gefährden.

Darauf beziehend wurden Lösungsansätze erörtert, deren Umsetzung einen Betrieb voraussichtlich ermöglichen, in dem das gesamte Faulgas im BHKW verstromt werden kann und die dabei entstehende Wärme zur Deckung des Wärmebedarfs ausreicht. Diese Lösungsansätze beschreiben die kontinuierliche Nutzung der Voreindickung zur Reduzierung der Rohschlammmenge. Hinzu kommt die Umrüstung des BHKW durch einen neuen Wärmetauscher, um die entstehende Wärme effizienter nutzen zu können. Ergänzend wurde auf den Einsatz von Wärmemengenzählern verwiesen, um zukünftige Betrachtungen der Wärme auf der Kläranlage zu vereinfachen und zu konkretisieren. Abschließend wurde die Bilanz des Ist-Zustandes einer Bilanz gegenübergestellt, in der die Daten zur Wärmebereitstellung und des -bedarfs der Monate November 2022- Februar 2023 in Hinblick auf die Maßnahmenumsetzungen angepasst wurden. Dabei wurde angenommen, dass der TS-Gehalt des Rohschlammes von 2 auf 6 % erhöht und dass das BHKW mit dem empfohlenen Wärmetauscher ausgerüstet wird. Durch diese Anpassungen lässt sich die Bilanzierungssumme um mind. 120.000 kWh/Monat erhöhen.

Durch die Umsetzung der empfohlenen Maßnahmen lässt sich der Betrieb der Heizung voraussichtlich einstellen. Damit wäre der Zielsetzung dieser Arbeit nachgekommen. Darüber hinaus gibt die Menge an übrigbleibender Wärmeenergie Anlass, sich über Wärmeüberschussnutzung Gedanken zu machen. In diesem Rahmen könnte die Trübwasserbehandlungsanlage öfter in den Betrieb gehen. Inwieweit die Maßnahmen umgesetzt werden und welche Betriebsweise anzustreben ist obliegt dem Trink- und Abwasserverband und ist von diesem umzusetzen.

## Entwicklung CO<sub>2</sub>-neutraler, dezentraler Kläranlagen für Vietnam

**Phillip Heckmann M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

**Zweitprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Sören Weinrich

**Datum des Kolloquiums:** 12. Juli 2023

**Master-Studiengang:** Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Umwelttechnik

**in Kooperation mit:** ATB WATER GmbH



In dieser Arbeit wird die „water to carbon factory“, die gleichzeitig Abwasser reinigen und CO<sub>2</sub> aus der Atmosphäre speichern soll, der ATB WATER GmbH vorgestellt. Diese Anlage besteht aus vier Kernkomponenten, und zwar einer SBR-Kleinkläranlage, einer Klärschlammvererdung, einer Plantage und einer Pyrolyseanlage. Dabei soll das gereinigte Abwasser zur Bewässerung und Düngung der Plantagen genutzt werden. Der Klärschlamm wird in der Klärschlammvererdung mit Schilfbewuchs stabilisiert und entwässert, wodurch sich die Kosten für die Schlamm Entsorgung reduzieren. Die Pflanzen von den Plantagen und die Schilfpflanzen werden nach der Ernte mit der Pyrolyseanlage zu Biokohle verarbeitet.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Anlage näher zu beschreiben und sowohl einmal für Deutschland und für Vietnam auszulegen, um sie anschließend wirtschaftlich zu bewerten. Dafür wird zuerst auf die einzelnen Verfahren, den Stand der Technik und gewisse Vorgaben eingegangen. Dabei wird mit der SBR-Technik angefangen. Hier wird der Prozess und die verschiedenen Verfahrensweisen erklärt. Danach wird auf die wichtigen Kennwerte im Zulauf, während des Prozesses und im Ablauf eingegangen. Darauf folgend wird die Klärschlammvererdung erläutert, indem das Funktionsprinzip, Aufbau sowie Vor- und Nachteile aufgezeigt werden. Im nächsten Kapitel wird dann die Plantage behandelt. Zuerst wird erläutert, wie es dabei zum Biomassewachstum und somit zur Aufnahme von CO<sub>2</sub> kommt und welche Wachstumsbedingungen existieren. Daran anknüpfend werden dann die klimatischen Bedingungen von Deutschland und Vietnam aufgezeigt. Anschließend werden anhand von unterschiedlichen Wachstumsbedingungen und Erträgen von verschiedenen Pflanzen die optimalen Pflanzen für diese Anlage, für beide Standorte ausgewählt. Dabei fiel die Wahl auf Miscanthus für Deutschland und Bambus für Vietnam. Diese beiden Pflanzen werden dann weiter erläutert. Darauf folgend werden verschiedene Bewässerungssysteme erklärt. Die Anlagenerläuterung wird mit der Pyrolyse abgeschlossen. Hierbei wird zuerst auf den Prozess eingegangen und es werden verschiedene Verfahrensvarianten vorgestellt. Dabei werden dann die langsamen und mittelschnellen Anlagen als optimal bewertet und es werden zwei Verfahren von zwei Anlagenherstellern vorgestellt, die für dieses Vorhaben in Frage kommen. Danach wird auf mögliche Ausbeuten und auf Immissionsrechtliche Bestimmungen eingegangen. Im nächsten Abschnitt wird die „water to carbon factory“ geplant. Anhand von Erfahrungswerten wird die Kläranlage und die Klärschlammvererdung für die

Standorte für die Anlagengrößen 50 EW, 250 EW und 500 EW ausgelegt. Aufgrund des zur Verfügung stehenden Wassers und der Nährstoffe wird der Bedarf der Pflanzen, die optimale Plantagenfläche und die erwartbaren Erträge berechnet. Darauf aufbauend werden die möglichen Mengen an Kohle und das damit gebundene CO<sub>2</sub> ermittelt.

Danach wird die Nutzung der verschiedenen Produkte erläutert. Dabei wird auch eine Nutzung der Pflanzen aufgezeigt, ohne sie zu pyrolysieren. Da die Biokohle auch als Filtermaterial genutzt werden kann, wird in einem Versuch ermittelt, ob diese auch in der Abwassertechnik verwendet werden kann. Dafür werden zwei Kornfraktionen mit einem Filterschaum verglichen. Die Ergebnisse zeigen, dass im Versuchszeitraum die Biokohle bessere Ergebnisse hat als der Filterschaum, wobei die kleinere Kornfraktion die besten Ergebnisse hat.

Abschließend folgt die wirtschaftliche Bewertung. Dabei werden verschiedene Methoden der Bewertung erläutert und anschließend werden die Methoden Kosten-, Gewinnvergleich, Amortisation und Rentabilität durchgeführt. Dabei werden für jede ausgelegte Anlage drei Varianten verglichen. Variante 1 hat eine zentrale Pyrolyseanlage, Variante 2 hat eine dezentrale Pyrolyseanlage und Variante 3 hat keine Pyrolyseanlage. Die Ergebnisse zeigen, dass optimale Anlagen groß sein sollten. Zudem zeigt sich, dass die Variante 3 aus wirtschaftlicher Sicht die beste und die Variante 2 die schlechteste ist.

Für Vietnam ist kein wirtschaftlicher Betrieb zu erwarten, solange die Grundstücke erworben werden müssen, anstatt sie günstig zu mieten.

## Lukas Herweg B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann  
 Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter  
 Datum des Kolloquiums: 28. April 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik



Diese Abschlussarbeit beschäftigt sich mit dem Thema „Energiesystemdimensionierung in Bestandsgebäuden für Bürger“. Dabei wird das Energiekonzept eines Wohnhauses betrachtet und verschiedene Kombinationen der Energiebereitstellung gegenübergestellt. Steigende Energiepreise, der Wunsch nach einer höheren Unabhängigkeit, so wie ein steigendes Klimabewusstsein führen zu Sanierungen der Wohngebäude.

Dabei spielt auch immer mehr die Bereitstellung der im Haus benötigten Energie eine Rolle. Diese beinhaltet sowohl die Heizsysteme als auch die elektrische Energiebereitstellung. Durch eine effiziente Planung von Wärme und elektrischer Energie soll ein energieeffizientes Gesamtkonzept entwickelt werden. Für eine nachhaltige Umsetzung stehen mehrere Möglichkeiten zur Wahl. Nach Betrachtung der Möglichkeiten scheint besonders die Kombination von Wärmepumpe und PV-Anlage sinnvoll und wird in dieser Arbeit genauer betrachtet.

Die Schwierigkeiten stellen die dabei unterschiedlich auftretenden Last- und Erzeugerprofile dar. Durch die gegenläufigen Profile des Energieertrages der PV-Anlage und des Energiebedarfs der Wärmepumpe stellt sich die Frage, ob und zu welchem Anteil die PV-Anlage den benötigten Energiebedarf der Wärmepumpe decken kann. Der Vergleich der Varianten wird anhand von Durchschnittswerten durchgeführt. Als Vereinfachung wird die Wärmepumpe nicht genauer ausgelegt, sondern mit überschlägig errechneten Werten als elektrischer Verbraucher des Gesamtsystems angesehen.

Die gesamte Auswertung ist aus Sicht des Elektrischen Netztes und sieht die WP somit als Verbraucher an. Dabei stellt sich die Frage wie viel des elektrischen Energiebedarfs der WP die PV-Anlage decken kann. Als Vergleichsgröße werden dafür der Autarkiegrad und der Eigenverbrauchsanteil herangezogen. Durch Variation der einzelnen Systeme werden verschiedene Varianten mit der Software PV\*SOL simuliert und verglichen. Dabei wird unter anderem auch die Kombination mit einem elektrischen Speicher einbezogen. Im letzten Schritt wird eine überschlägige Wirtschaftsbetrachtung durchgeführt und mehrere Varianten verglichen.

Durch die Simulation zeigt sich, dass bei den angenommenen Durchschnittswerten eines Zweipersonenhaushaltes die PV-Anlage einen erheblichen Anteil der für die WP benötigten elektrischen Energie bereitstellen kann. So erreicht in

der Simulation eine PV-Anlage in Kombination einer WP mit Warmwasserbereitstellung, elektrischem Speicher und dem Haushaltsstrombedarf einen Autarkiegrad von 51 %. Die Ergebnisse zeigen, dass die Kombination zwar eine hohe Autarkie mit sich bringt, ein wirtschaftlicher Betrieb durch schwankende Preise aber nicht garantiert werden kann.

## Flexibler Betrieb von Kühlhäusern bei Versorgung mit Strom aus Erneuerbaren Energien

**Janis Hilgenbrink M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr. Peter Vennemann

**Zweitprüfer:** Thomas Voß, M.Eng.

**Datum des Kolloquiums:** 29. Januar 2024

**Master-Studiengang:** Energie · Gebäude · Umwelt in der Energietechnik

**in Kooperation mit:** Enwelo GmbH & Co. KG und der Conditorei Coppenrath & Wiese



Durch die steigenden Energiepreise sind Unternehmen darauf angewiesen, ihre Energiekosten zu senken. Erneuerbare Energien bieten den Vorteil, dass sie sehr geringe Stromgestehungskosten haben. Sie weisen jedoch auch den klaren Nachteil auf, dass ihre Stromerzeugung wetterabhängig ist.

Durch den Ausbau der Erneuerbaren Energien entstehen immer häufiger Zeiten, in denen mehr Strom zur Verfügung steht als benötigt wird. Nach dem Merit-Order-Prinzip ist die elektrische Energie zu diesen Zeiten preiswert. Umgekehrt entstehen auch immer häufiger Zeiten, in denen weniger Strom zur Verfügung steht als eigentlich benötigt wird. In diesen Zeiten ist die elektrische Energie teuer.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde untersucht, ob Energiekosten durch eine Anpassung an die Erzeugung aus Erneuerbaren Energien eingespart werden können. Das Potenzial einer solchen Lastverschiebung soll für die Conditorei Coppenrath & Wiese KG erfasst werden. Das Unternehmen besitzt eine Vielzahl an Kühllagern, die aufgrund ihrer thermischen Speicherwirkung ihre Last verschieben können. Die Kühllager können in günstigen Stunden ihre Kühllast erhöhen, um ihre Temperatur zu reduzieren. Die tieferen Temperaturen können daraufhin über mehrere Stunden gehalten werden.

Um das Potential zu erfassen, wurde das Energiesystem des Logistikstandorts Atter in der Energiemodellierungssoftware Oemof nachgebildet. Die Energiebeschaffung soll flexibel über den Spotmarkt erfolgen. In weiteren Szenarien wurde außerdem die Strombeschaffung über eine Photovoltaikanlage und einer Windenergieanlage miteinbezogen. Oemof optimiert daraufhin die Energieströme des Modells nach der gewählten Optimierungsgröße. Als Optimierungsgröße wurden die Energiekosten gewählt.

Aus den Ergebnissen ergab sich das Potential einer Energiekosteneinsparung im niedrigen zweistelligen Prozentbereich. Durch die tieferen Temperaturen der Tiefkühllager entstehen höhere, thermische Verluste, sodass sich der elektrische Energiebedarf erhöht. Durch die Anpassung der Last an den Spotmarktpreis konnten die spezifischen CO<sub>2</sub>-Emissionen zwar gesenkt werden, allerdings haben sich die absoluten Emissionen aufgrund des höheren elektrischen Energiebedarfs erhöht. Der höhere Bedarf an elektrischer Energie wird von den Kältekompressionsanlage benötigt, die durch das angepasste Lastmanagement stärker beansprucht werden.



Innerhalb der Arbeit wurde aufgrund der geringen Datenlage mit einigen Annahmen gerechnet. Da die Untersuchung ein hohes Potential an Energiekosteneinsparungen aufdeckt, ist eine Weiterverfolgung der Umsetzung sinnvoll. Bei einer Weiterverfolgung sollte dementsprechend die Datenlage erhöht werden und die Wirtschaftlichkeit erneut überprüft werden.

## Lastanalyse zum wirtschaftlicheren Anschluss von Großabnehmern im Niederspannungsnetz

**Pauline Holla B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker  
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing (FH) Thomas Oennigmann M.Eng.  
 Datum des Kolloquiums: 13. April 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieurin der Energietechnik  
 in Kooperation mit: Stadtnetze Münster GmbH



Ein Bürogebäude wird errichtet, eine neue Ortsnetzstation mit zwei Transformatoren daneben platziert und wenige Jahre später wird einer der Transformatoren wieder demontiert. Der Grund: Das neue Gebäude benötigt lediglich ein Fünftel der damals angemeldeten Leistung. Dieses Beispiel steht für ein grundsätzliches Problem, welches im Verteilnetz der Stadtnetze Münster GmbH, und vermutlich vieler anderer Netzbetreiber, häufig auftritt und im Rahmen dieser Bachelorarbeit näher untersucht wurde.

Meist melden Kunden bei der Beantragung des Niederspannungshausanschlusses von Wohn-, Gewerbe- und Bürogebäuden eine um ein Vielfaches höhere Vorhalteleistung an als sie wirklich benötigen. Dies führt dazu, dass die Stadtnetze Münster GmbH Netzausbau betreiben müssen, also Ortsnetzstationen bauen und Kabel installieren, obwohl die beantragte Leistung von den Verbrauchern nie abgerufen wird. Betrachtet man eine ONS mit vielen angeschlossenen Gebäuden, sinkt die Gleichzeitigkeit und somit die Gesamtlast zusätzlich.

Um die beschriebene Beobachtung näher zu untersuchen, wurde eine Lastanalyse für große Wohngebäude, Wohngebiete und Bürohäuser durchgeführt. Auch die Nutzung von Wärmepumpen oder Ladestationen für Elektrofahrzeuge wurde betrachtet. Insgesamt ist der elektrische Lastverlauf von dreizehn Gebäuden mit Messgeräten erfasst worden. In den meisten Fällen war die Anmeldeleistung über viermal so hoch wie die tatsächlich benötigte elektrische Last, nur bei wenigen Gebäuden stimmten die Werte ungefähr überein.

Außerdem wurden gängige Verfahren zur Berechnung der Anschlussleistung, zum Beispiel aus DIN-Normen, auf Tauglichkeit überprüft. Mit ihnen errechneten sich in den meisten Fällen deutlich zu hohen Leistungen, eine Methode erzielte sogar zu geringe Leistungsbedarfe. Allgemein schwankte die Genauigkeit der Berechnungen aber stark zwischen den untersuchten Abnehmern. Keine Methode konnte zuverlässige Ergebnisse erzielen. Als Konsequenz wurde eine neue Auslegungsgrundlage entwickelt, um den Leistungsbedarf für Wohneinheiten präziser vorherzusagen. Wie zu erwarten sinkt die Last pro Wohneinheit aufgrund der Gleichzeitigkeit mit steigender Anzahl der Wohneinheiten. Die Auslegungsgrundlage lieferte bessere, aber keine perfekten, Ergebnisse als die übrigen Berechnungsmethoden. Die Auslegungsgrundlage soll als Anhaltswert gelten und kann keine detaillierte Berechnung durch ein Planungsbüro ersetzen.

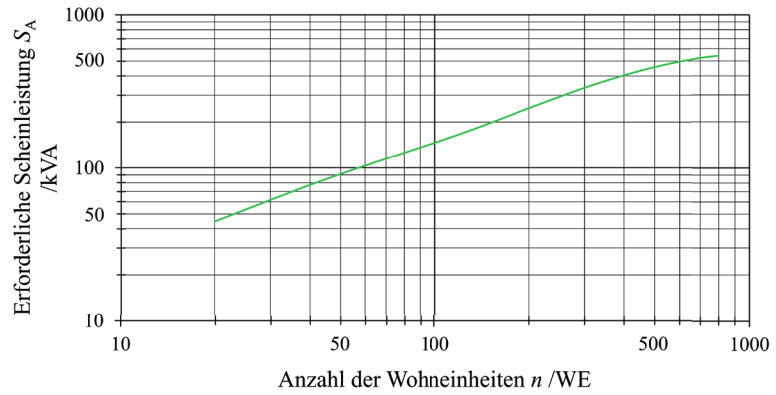


Abb. 1: Richtwerte zur Ermittlung der notwendigen Anschlussleistung von Wohngebäuden

Durch zusätzliche Kabel und Trafostationen ergeben sich nicht nur für den Netzbetreiber hohe Kosten, auch der Bauherr wird neben den zu tragenden Posten für den Hausanschluss über den Baukostenzuschuss finanziell stärker belastet. Im Vergleich zur tatsächlich gezahlten Summe hätten die Bauherrn der untersuchten Gebäude im Durchschnitt etwa 30 % weniger gezahlt, wenn sie ihren Leistungsbedarf passender eingeschätzt hätten. Dazu kommen Einsparungen für die Städtetze Münster von über 100.000 Euro. Die Ergebnisse dieser Bachelorarbeit sollen den planenden Ingenieuren der Städtetze Münster als Orientierungshilfe dienen und zur präziseren Projektierung der Netze beitragen. Darüber hinaus könnte der ein oder andere Bauherr die Ergebnisse zum Anlass nehmen, die Höhe seiner angemeldeten Leistung kritisch zu hinterfragen.

**Tom Holtmann B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler  
 Zweitprüfer: M. Eng. Sören Möller  
 Datum des Kolloquiums: 14. November 2023  
 Master-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik



Aufgrund der zunehmenden Verbreitung von Wärmepumpen und E-Autos wird der Bruttostromverbrauch in Deutschland voraussichtlich drastisch ansteigen. Für eine in Zukunft klimaneutrale Stromerzeugung muss der Ausbau von PV-Anlagen erhöht werden. Durch die Aktualisierungen des EEGs und steigender Energiepreise erweist sich eine PV-Anlage für Hauseigentümer als wirtschaftlich attraktiv. In der Regel wird lediglich die ertragreichste Fläche eines Daches für den Ausbau einer PV-Anlage genutzt, während das übrige Potenzial ungenutzt bleibt.

Das Ziel dieser Abschlussarbeit bestand darin, die wirtschaftliche Machbarkeit eines vollständigen Ausbaus einer PV-Anlage auf einem Einfamilienhaus zu untersuchen. Die Grundannahme war, dass groß dimensionierte PV-Anlagen durch die günstigeren spezifischen Anschaffungskosten wirtschaftlicher betrieben werden können. Als praktisches Beispiel diente ein bereits bestehendes Einfamilienhaus, welches ursprünglich mit einer 15 kWp PV-Anlage auf der südlichen Dachhälfte ausgestattet war. Der nördliche Teil der Dachhälfte wurde nachträglich mit derselben Anlagenleistung erweitert. Für die Wirtschaftlichkeitsberechnung wurden die unterschiedlichen Kostenfaktoren einer PV-Anlage, einschließlich der spezifischen Preise von PV-Modulen und Batteriespeichern mit verschiedenen Größen identifiziert. Auf Grundlage dieser Daten erfolgte die Simulation von PV-Anlagen mit variierenden Größen und Ausrichtungen mithilfe des Simulationsprogramms PV\*SOL.

Die ersten Ergebnisse dieser Abschlussarbeit zeigten auf, dass die Erweiterung der PV-Anlage des Praxisbeispiels bei einem Jahresverbrauch von 3.400 kWh zu einem wirtschaftlichen Verlust führt und eine 15 kWp Anlage für diesen Verbrauch bereits überdimensioniert ist. Aufgrund dieser Erkenntnisse wurde der Fokus im weiteren Verlauf auf die höheren Jahresverbräuche gelegt. Zudem wurde auch die Möglichkeit geprüft, eine Dachhälfte als Volleinspeiser zu nutzen, um die Einspeisevergütung zu steigern. Es wurde herausgefunden, dass trotz höherer Einspeisevergütung die Definition beider Dachhälften als Teileinspeiser aufgrund des gesteigerten Autarkiegrades ökonomischer ist. Des Weiteren erfolgten verschiedene fiktive Simulationen mit unterschiedlichen Jahresstromverbräuchen, Anlagenleistungen und Himmelsausrichtungen.

Die verschiedenen Berechnungen der Varianten wurden verglichen. Es wurde festgestellt, dass ein Vollausbau einer PV-Anlage auf einem Einfamilienhaus unter den angenommenen Rahmenparametern wirtschaftlich nicht lukrativ ist. Die geringen Steigerungen des Autarkiegrades waren Hauptursache, wodurch sich auch die günstigeren spezifischen Anschaffungskosten nicht rentierten. Für das konkrete Fallbeispiel hat sich ergeben, dass die Erweiterung der PV-Anlage in einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren eine wirtschaftliche Fehlentscheidung war.

## Entwicklung eines Konzepts zur Wärme- und Energieversorgung für urbane und nachhaltige Wohnquartiere mit unterschiedlichen Wohnformen

**Matthias Horsthemke B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing Carsten Plummer  
 Datum des Kolloquiums: 17. November 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik  
 in Kooperation mit: IGP Ingenieure



Die Wohnungswirtschaft in Deutschland sieht sich in den letzten Jahren mit zunehmenden Herausforderungen konfrontiert, insbesondere aufgrund eines akuten Mangels an bezahlbarem Wohnraum trotz der Einführung der Mietpreisbremse. Dieser Mangel resultiert aus Spekulationsgewinnen der vergangenen Jahre, verstärkt durch technische Anforderungen des Gebäudeenergiegesetzes (GEG).

Das Gebäudeenergiegesetz (GEG) fordert bereits die anteilige Nutzung erneuerbarer Energien zur Deckung des Wärme- und Kälteenergiebedarfs. Luft, Wind, Wasser, Sonne, Geothermie und nachwachsende Rohstoffe kommen dabei als verschiedene Quellen zum Einsatz. Im Bereich Wohnungsbau erfolgt eine deutliche Verschiebung von fossilbasierten Brennstoffen zu stromabhängigen Systemen, wobei Wärmepumpensysteme immer mehr im Fokus stehen. Hier bestehen aber weiterhin Herausforderungen im Hochtemperaturbereich, etwa bei der Warmwasserbereitung, vor allem bei Luft-Wasser-Wärmepumpensystemen.

Die Arbeit befasst sich im Kontext dieser Anforderungen mit der umfassenden Untersuchung und Bewertung von verschiedenen Wärmeversorgungskonzepten für ein geplantes Wohnquartier. Dabei stehen ökonomische, ökologische und technische Gesichtspunkte im Vordergrund.

Das Konzept wurde für ein neues Wohnquartier in Darmstadt, bestehend aus einem Hochhaus und einer mäanderförmigen Wohnanlage mit rund 300 Wohneinheiten, entwickelt. Die Zielsetzung dieses Projekts ist die Schaffung eines nachhaltigen Wohnbeispiels, das möglichst nicht auf fossile Brennstoffe angewiesen ist. Daher werden verschiedene Wärmepumpensysteme sowie die Möglichkeit eines Fernwärmeanschlusses untersucht. Für die Untersuchung wurden das Hochhaus und die angrenzende Wohnanlage getrennt betrachtet.

Es wurden insgesamt fünf verschiedene Systeme hinsichtlich ihrer energetischen und wirtschaftlichen Leistungsfähigkeit entwickelt und analysiert. Dabei wurden Nutzflächen und die Anzahl der Wohneinheiten berücksichtigt, um den Wärme- und Nutzenergiebedarf zu ermitteln. Die Dimensionierung der Systeme erfolgt anhand der Heizlast und der benötigten Leistung für die Warmwasserbereitung. Die Analyse zeigt, dass insbesondere Luft-Wärmepumpen die hohen Vorlauftemperaturen, wie sie für die Warmwasserbereitung erforderlich sind,

nicht oder nur mit großen Effizienzeinbußen erreichen. Jedoch können sie dennoch in Kombination mit einem zusätzlichen Wärmeerzeuger für die zentrale Trinkwassererwärmung, wie einer Booster-Wärmepumpe oder einer Gas-Brennwertanlage, effizient eingesetzt werden. Zudem wurde in diesem Fall die Möglichkeit der dezentralen Warmwasseraufbereitung über Wohnungsstationen mit elektrischer Nacherhitzung über eine monovalent betriebene Luft-Wärmepumpe untersucht.

Die energetischen Vergleiche basieren auf zuvor berechneten Jahresarbeitszahlen für die Wärmepumpen und berücksichtigen zusätzlich zu dem Wärme- und Nutzenergiebedarf die auftretenden Speicher- und Netzverluste. Dabei zeigt sich ein deutlicher Vorteil der Wärmepumpensysteme gegenüber dem Fernwärmeanschluss im Hinblick auf den Endenergiebedarf. Allerdings führt der Primärenergiebedarf zu einem differenzierteren Bild, da die Fernwärme aus einer KWK-Anlage stammt und der vorgegebene Primärenergiefaktor bei 0,22 liegt. Dadurch hat die Versorgung über Fernwärme den niedrigsten Primärenergiebedarf unter den betrachteten Systemen.

Der wirtschaftliche Vergleich wurde nach der VDI 2067 durchgeführt. Die Ermittlung der Kosten zeigen zu Beginn hohe Investitionskosten für die dezentrale Warmwasserbereitung und die Sole-Wärmepumpe auf. Die hohen Kosten der Sole-Wärmepumpe resultieren aus den benötigten Bohrungen, die wirtschaftlich auch über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren nicht ausgeglichen werden können. Die Fernwärme hingegen weist zwar geringere Investitionskosten auf, hat jedoch auch die höchsten laufenden Energiekosten. Basierend auf diesen Ergebnissen wird die Verwendung einer Luft-Wärmepumpe in Kombination mit einer zusätzlichen Booster-Wärmepumpe für die zentrale Trinkwassererwärmung als effizienteste und wirtschaftlichste Lösung für die Wohnanlage und auch das Hochhaus empfohlen, um die gesteckten Ziele in Bezug auf Wirtschaftlichkeit und Nachhaltigkeit zu erreichen.

## Energetische Optimierung und nachhaltige Entwicklung einer kommunalen Abwasserreinigungsanlage

**Nils Hoselmann B.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

**Zweitprüfer:** Dr.-Ing. Elmar Brüggling

**Datum des Kolloquiums:** 22. März 2023

**Bachelor-Studiengang:** Ingenieur der Umwelttechnik

**in Kooperation mit:** Gemeinde Saerbeck



Die Arbeit hat sich mit der Energieoptimierung und nachhaltigen Entwicklung der Abwasserreinigungsanlage Saerbeck befasst. Als erstes wurde der Stromverbrauch der letzten Jahre analysiert, um Einsparpotentiale zu erkennen. Auffällig war hierbei, dass durch den Einsatz der neuen Belüfterplatten etwa 14 % Strom eingespart werden konnte. Die durchgeführten Energiechecks nach DWA-A 216 an der Abwasserreinigungsanlage Saerbeck ergaben eine mittlere Unterschreitungswahrscheinlichkeit von 52,94 % zwischen 2013 und 2021. Diese wird durch die neuen Belüfterplatten zwar sinken, deutet aber auf weiteres Energieoptimierungspotential hin.

Um in Zukunft weniger Strom zu verbrauchen, wurden mehrere Wege diskutiert Strom einzusparen, zusätzlich wurden Wege diskutiert erneuerbare Energien auf der Abwasserreinigungsanlage Saerbeck zu implementieren.

Für die Energieoptimierung zur Einsparung von Strom wurde insbesondere die biologischen Reinigungsstufe untersucht, da diese den größten Anteil am elektrischen Energiebedarf der Abwasserreinigungsanlage Saerbeck hat. Eine Analyse der Rührwerke ergab, dass das Rührwerk im kleineren Belebungsbecken überdimensioniert ist. Ein Austausch dieses Rührwerks käme einer Stromeinsparung von über 15.000 kWh/a gleich. Außerdem wurde der Austausch der Gebläse durch Turboverdichter überprüft. Die Untersuchung ergab, dass sich dieser Austausch auch rechnet und über 15.500 kWh/a eingespart werden können. Alternativ zu den Energieeinsparmaßnahmen gäbe es die Möglichkeit das Abwasser über eine neuzubauende Rohrleitung zur nächstgrößeren Abwasserreinigungsanlage nach Emsdetten zu pumpen. Die Investitionskosten sind hierbei jedoch im Verhältnis zur eingesparten Menge an Strom zu hoch und es würde eine Abhängigkeit nach Emsdetten entstehen. Die Reduktion der Leistungsspitzen müsste in Zukunft noch weiter untersucht werden.

Bei der Implementierung erneuerbarer Energien auf der Kläranlage wurde die Errichtung einer PV-Anlage und eines Windrades untersucht, sowie die Nutzung des Klärschlamm zur Biogasgewinnung mit anschließender Verstromung im BHKW. Der Bau einer PV-Anlage mit einer Stromspeichervorrichtung sowohl auf der Kläranlage als auch auf dem Nachbargrundstück hat sich als am sinnvollsten erwiesen. Hierbei ist jedoch zu beachten, dass der Strombedarf trotz Batterie nicht voll gedeckt werden kann, da im Sommer zu viel und im Winter zu wenig



Strom produziert wird. Der überschüssige Strom müsste in das örtliche Netz eingespeist werden. Alternativ zu einer PV-Anlage könnte ein Windrad errichtet werden. Jedoch könnten beispielsweise Schallimmissionen zum benachbarten Landhaus hin zu einem Problem werden. Um ein unkontrolliertes Ausgasen von Methan bei der kalten Faulung zu vermeiden, ist es sinnvoll, dieses aufzufangen und zu verwerten. Allgemein sollte sich in Zukunft auch mit der Klärschlammnutzung und der anschließenden Verstromung im BHKW intensiver beschäftigt werden. Wahrscheinlich wäre eine Kombination aus PV-Anlage und Kleinwindkraftanlage oder Biogasnutzung die beste Lösung.

Die Kläranlage Saerbeck hat ein großes Potential Energie einsparen und gewinnen zu können. Durch die Kombination aus Energieoptimierungsmaßnahmen und der Gewinnung von Strom aus erneuerbaren Quellen kann in Zukunft bei relativ geringen Investitionskosten und kurzen Amortisationszeiträumen eine große Menge an Strom und Geld eingespart werden.

## Finalisierung, Inbetriebnahme und Verifikation eines Prüfstandes für Wasserschlagtests an hydraulischen Einheiten

Simon Jöken B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing (FH) Stefan Niethus

Datum des Kolloquiums: 11. Juli 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

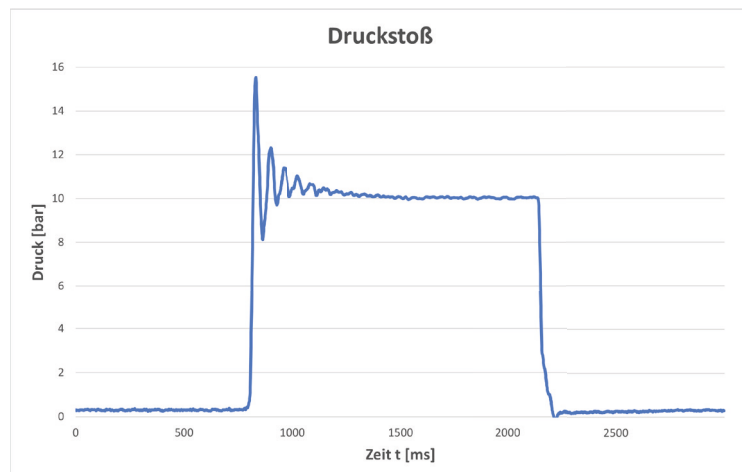
in Kooperation mit: Bosch Solarthermie GmbH



Meine Abschlussarbeit und die vorangegangene Praxisphase durfte ich bei der Bosch Solarthermie GmbH in Wettringen absolvieren.

Das Ziel meiner Abschlussarbeit war es, einen während der Praxisphase errichteten Prüfstand für Wasserschlagtests zu finalisieren und in Betrieb zu nehmen. Erkenntnisse, die während der Inbetriebnahme entstanden sind, wurden erläutert und gegebenenfalls zur Optimierung genutzt. Um die genaue Funktionsweise und den Einfluss von Variablen auf den Zielwert der Druckerhöhung zu bestimmen, wurden im Anschluss durchgeführte Versuchsreihen beschrieben, ausgewertet und mit den erstellten Thesen und Berechnungsgrundlagen verglichen.

In den Grundlagen wurde die Entstehung, Berechnung und Ausbreitung eines Druckstoßes sowie der Unterschied zu einer Druckwechselbelastung erläutert. Im Anschluss wurde die grundsätzliche Funktion, der hydraulische Aufbau sowie Ablauf und Vorgaben einer LH01 Lebensdauerprüfung beschrieben.



Abbi: Grafik Druckstoß



Abb2: Grafik Druckwechsellasttyps

Im Kapitel der Inbetriebnahme und Optimierung wurden die Arbeitsschritte und Erkenntnisse der Erstinbetriebnahme erläutert. Optimierungen, die während der Bearbeitungszeit dieser Arbeit umgesetzt wurden, sind dargestellt und erklärt worden. Des Weiteren wurde die grundsätzliche Funktion der Steuerlogik thematisiert. Besonderes Augenmerk lag hier auf den Aktoren und Sensoren, den Schaltwerken der pneumatischen Ansteuerung und der Benutzeroberfläche zur Bedienung und Überwachung des Prüfstands.

Für die Einflussuntersuchung von Variablen auf den Zielwert wurde im jeweils ersten Schritt eine These und Berechnungsgrundlage erstellt. Im Anschluss folgte die Beschreibung des Versuchsaufbaus. Die Versuchsergebnisse sind mit der Berechnungsgrundlage verglichen und diskutiert worden.

Als Funktionsnachweis wurde ein vollständiger LHO1 Prüfdurchlauf (siehe Kapitel 2.1) durchgeführt. Die Prüflinge, welche auch als EUT („Equipment(s) under test“) bezeichnet werden, waren PWÜs welche in der aktuellen Generation von Hydraulikstationen verbaut werden.

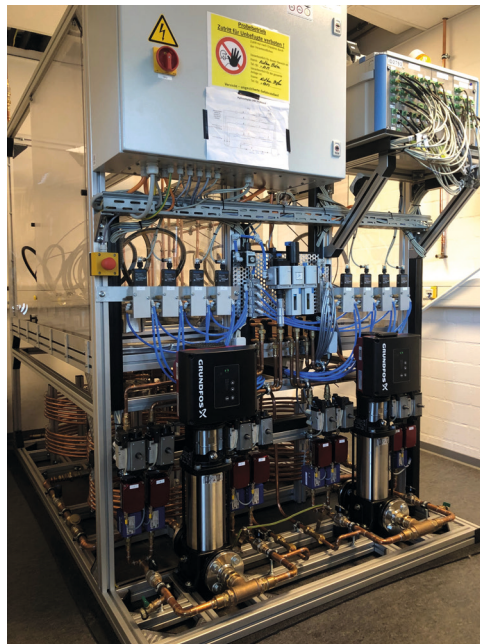


Abb3: fertiggestellten LHO1 Prüfstandes

## Kohlenstoffbilanzierung bei der Behandlung von kommunalem Abwasser und Klärschlamm

Alexander Kirchof B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter  
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Günter Fehr

Datum des Kolloquiums: 12. Dezember 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: BioSolid GmbH



Während des Prozesses der Abwasser- und Klärschlammbehandlung sowie der thermischen Verwertung von Klärschlamm wird Kohlenstoff in Form von CO<sub>2</sub> und CH<sub>4</sub> emittiert. Dabei wird CO<sub>2</sub> oftmals bewusst ausgestoßen, um bspw. durch die Verbrennung von Faulgas oder getrocknetem Klärschlamm einen energetischen Nutzen zu gewinnen. CH<sub>4</sub> dagegen wird unbeabsichtigt an die Atmosphäre abgegeben, stellt jedoch ein weitaus größeres Risiko für die Umwelt und das Klima dar.

Derzeit wird in wenigen Studien auf die Emission von Kohlenstoffverbindungen während der gesamten Prozesskette eingegangen. Da die C-Emissionen abhängig von der Art der Abwasser- bzw. Schlammbehandlung sowie dem Verwertungsverfahren sind, wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Excel-gestütztes Berechnungsmodell aufgebaut. Mithilfe des Berechnungsmodells soll das C-Emissionspotential der einzelnen Behandlungsschritte bei Abwasserbehandlungsanlagen mit anaerober und aerober Schlammstabilisierung berechnet und unterschieden werden. Das Berechnungsmodell beinhaltet ebenfalls die Berechnung der aus den Behandlungsschritten emittierten Menge an Treibhausgasen (angegeben in kg CO<sub>2</sub>,eq/d). Für die Berechnung des C-Emissionspotentials, sowie die Menge an Treibhausgasen wurden für sämtliche Behandlungsschritte einwohnerspezifische Emissions- und Umrechnungsfaktoren festgelegt.

Die Zusammenfassung der C-Emissionen in die Behandlungssektoren „Abwasserbehandlung“, „Schlammbehandlung“ und „Klärschlammverwertung“ zeigt, dass sich die Emissionen bei aerober Stabilisierung maßgeblich auf die Abwasserbehandlung und Klärschlammverwertung aufteilen. Bei anaerober Stabilisierung teilen sich die C-Emissionen mehr auf alle drei Sektoren auf. Dasselbe gilt auch für die Treibhausgasemissionen.

Hintergrund für die Erstellung der Kohlenstoffbilanzierung ist eine seit 2019 in Betrieb befindliche Klärschlamm-trocknungsanlage, für die gemäß TA-Luft ein Emissionsgrenzwert von 20 mg C/m<sup>3</sup> gilt. Messungen in der Abluft der Anlage ergaben, dass ein Großteil der C-Emissionen durch CH<sub>4</sub> verursacht werden. Vermutet wird, dass die CH<sub>4</sub>-Emissionen mit dem Stabilisierungsprozess auf den Kläranlagen zusammenhängen. Um diese Annahme zu bestätigen, wurden im Rahmen dieser Arbeit Schlammproben des entwässerten und nicht entwässerten Klärschlammes von je zwei anaerob und aerob stabilisierenden Abwasserbehand-

lungsanlagen entnommen und auf ihr Restgaspotential untersucht. Zusätzlich erfolgte die Bestimmung von CSB, TOC, TR und oTR um mögliche Zusammenhänge zum Restgaspotential feststellen zu können. Die Untersuchungen im Labor ergaben, dass sich die Schlämme aus anaerober und aerober Stabilisierung hinsichtlich all dieser Werte unterscheiden lassen. Durch die Bewertung der Stabilisierung nach Restgaspotential, Methanbildungspotential und leicht abbaubaren CSB am Gesamt-CSB konnten einige der aerob stabilisierten Schlämme als nicht ausreichend stabilisiert eingeordnet werden. Nicht ausreichend stabilisierte Schlämme haben ein hohes Restgaspotential und können dadurch auf dem Weg der Schlammbehandlung und -verwertung vermehrt klimaschädliches CH<sub>4</sub> emittieren.

Zu Verringerung der Emissionen werden folgende Verbesserungsvorschläge unterbreitet:

- Einsparung bei der Belüftung im Belebungsbecken vermeiden
- Gute Stabilisierungsqualität bei aerober und anaerober Stabilisierung sicherstellen
- Trocknung von schlecht stabilisierten Schlämmen vermeiden
- Regelmäßige Überprüfung der Stabilisierungsqualität durch Kläranlagenbetreiber
- Vermeidung langer Verweilzeiten von Schlamm in Eindickern, Schlammstapelbehältern und Vorlagebehältern
- Belüftung von Schlammstapelbehältern und Vorlagebehältern

## Konzepte für zukünftige Fault-Ride-Through-Tests an Windenergieanlagen

**Dana Marie Klokkers M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Karsten Ohde
Datum des Kolloquiums:	27. November 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit:	DNV Energy Systems Germany GmbH



Im Zuge der Energiewende und der Umstellung von fossilen auf regenerative Energieträger bietet die Windenergie eine erneuerbare Energietechnik. Das akkreditierte Messinstitut DNV vermisst und prüft Energieerzeugungsanlagen wie auch Windenergieanlagen und trägt somit positiv zur zukünftigen Energiebereitstellung bei.

Für die Zertifizierung der elektrischen Eigenschaften eines Prototyps einer Windenergieanlage werden Fault-Ride-Through (FRT)-Tests durchgeführt. Dabei werden Netzfehler durch Unter- oder Überspannungsereignisse simuliert. Die Fähigkeit, einen solchen Fehler zu durchfahren, trägt zur Netzstabilität bei. Möglichkeiten, FRT-Tests durchzuführen, bestehen in den mobilen Feldtests, bei denen die Anlage aufgebaut ist, oder in Labortests, in denen entweder der Maschinenkopf einschließlich der elektrischen Hauptkomponenten getestet wird, oder lediglich einzelne Komponenten validiert werden. In dieser Masterarbeit wird die Zukunft von FRT-Tests an Windenergieanlagen untersucht. Dabei geht es vor allem um die Fragestellung, ob derzeitige Messkonzepte für Feldtests mit den steigenden Anforderungen wie Leistungen > 20 MW oder Anschlussspannungen von 66 kV brauchbar sind. Nach einer theoretischen Einführung in die Grundlagen der FRT-Tests wird mithilfe einer Expertenumfrage und Experteninterviews der allgemeine Markttrend analysiert.

Die Ergebnisse dieser Umfrage beeinflussen den weiteren Verlauf der Arbeit. Konzepte, die im Allgemeinen favorisiert werden, werden technisch näher erläutert. In einer anschließenden Nutzwertanalyse werden diese Verfahren bewertet. Die verwendeten Bewertungskriterien basieren sowohl auf technischen als auch wirtschaftlichen Kategorien und resultieren aus dem Markttrend und der Recherche. Mithilfe der Expertenmeinungen können die Kriterien im Gesamtzusammenhang gewichtet und bewertet werden, um die geforderten Anforderungen an zukünftige FRT-Tests zu erfüllen. Für die Untersuchung von Ansätzen zur Realisierung werden Interviews mit potenziellen Kunden und Herstellern geführt und Kooperationsmöglichkeiten diskutiert.

Die Recherchearbeit und die Analysen zeigen, wie sich die FRT-Tests an Windenergieanlagen verändern werden. Das Unternehmen DNV kann die Ergebnisse und vorgeschlagene Alternativen nutzen, um sich strategisch im Wettbewerb zu positionieren.

**Sebastian Kotschate B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler  
 Zweitprüfer: B.Eng. Linus Heidrich  
 Datum des Kolloquiums: 22. Juni 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik



Im Verlauf der letzten Jahrzehnte haben sich aus verschiedenen Gründen die Installationsmethoden und Verlegearten von Trinkwasserleitungen wiederholt gewandelt. Ausschlaggebend war insbesondere die stetige Weiterentwicklung von Hygienevorschriften. Diese wurden aufgrund neuer Erkenntnisse in der Grundlagenforschung zu Bakterien, sowie verbesserten Analysemöglichkeiten von Rohrnetzen entwickelt.

Darüber hinaus hat die Pandemie durch weitreichende Lockdowns und der daraus resultierenden Arbeit aus dem Home-Office zu einem veränderten Nutzungsverhalten in bestimmten Einrichtungen geführt. Da in älteren Installationen ein hygienisch einwandfreier Betrieb nur mit erhöhtem Aufwand sichergestellt werden konnte, wurde auch hierdurch das Bewusstsein für eine optimierte Rohrführung noch einmal gestärkt.

Ziel der Bachelorarbeit war es, die Installationsmethoden der Stichleitung, Reiheninstallation, der Stockwerksringleitung mit T-Stück Abgang und der Ringleitung mit einem Strömungsteiler gegenüberzustellen. Als Vergleichsaspekte wurde die Hygiene, der Planungs- und Montageaufwand sowie die entstehenden Kosten untersucht.

Die Berechnungen wurden an einem Referenzobjekt, welches dem Typ „Bürogebäude“ zuzuordnen ist, durchgeführt. Eine konkrete Einordnung ist wichtig, um die für die Berechnung getroffenen Annahmen begründen zu können.

Das Erstellen der Leitungsführung und berechnen des Rohrnetzes erfolgte mit der Software Dendrit Studio N. Die umfassenden Möglichkeiten, die Parameter für eine Berechnung zu wählen und das Konstruieren in 3D ermöglichen es, realitätsnahe Ergebnisse zu erhalten.

Das Fazit der Bachelorarbeit war, dass jede Installation sowohl Vorteile als auch Nachteile besitzt. Die T-Stück Installation profitierte von einem geringen Materialeinsatz und den geringen Kosten des Systems. Nachteilig sind die hohen Volumina an stagnierendem Wasser, sobald einzelne Zapfstellen längere Zeit nicht genutzt werden.

Im Gegensatz dazu steht die Installation mit Strömungsteilern, bei der die Stagnation auf ein Minimum reduziert werden konnte. Jedoch sind hierbei insbeson-

dere die erhöhten Kosten durch Bauteile und Rohrmaterialien negativ ins Gewicht gefallen.

Die Reiheninstallation und Ringleitung mit T-Stück unterscheiden sich in vielen Analysepunkten nur geringfügig. In beiden Installationen konnte die Trinkwasserhygiene vergleichsweise einfach sichergestellt werden und auch der Materialaufwand war vertretbar.

Unter den zugrunde gelegten Voraussetzungen hat sich die Reiheninstallation aufgrund der geringeren Kosten durchgesetzt und sollte präferiert zur Anwendung kommen.



**Franziska Koert B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann  
 Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Elmar Brüggling  
 Datum des Kolloquiums: 19. März 2024  
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieurin der Energietechnik  
 in Kooperation mit: GOLDBECK GmbH



When simulating and optimizing urban energy systems, the focus is usually on minimizing financial costs or greenhouse gas (GHG) emissions. As energy systems transition towards a growing share of renewable energy sources and technological complexity, environmental impacts that affect more than just GHG emissions, such as resource extractions, water and land use impacts or impacts on human health, are becoming increasingly relevant.

To address this gap, this thesis introduces an automated coupling procedure for energy system modeling (ESM) and life cycle assessment (LCA). The implementation includes general recommendations and a practical coupling of the Open Energy Modelling Framework (oemof) based Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) with a suitable LCA software.

The LCA procedure involves goal and scope definition, inventory analysis, impact assessment, and interpretation. To adapt these steps to different energy system models, the LCA should be attributional, process-based and territorial. Further, the openLCA software by GreenDelta serves as a suitable soft-linking tool. The main challenge of the coupling procedure is the inventory analysis. Data collection faces limitations, reasoned by the commercialization and high maintenance efforts in open-source databases. After evaluating free databases, the Umweltbundesamts Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas) database emerged as the most suitable choice for the coupling. However, also this database lacks traceability of datasets or compatibility with a comprehensive impact assessment.

A generalized framework for the LCA application of energy systems was developed. The framework is based on an ex-post LCA assessment that considers the combination of the two approaches within every step of the procedure. Main considerations of this framework include automatic calculations of the inventory analysis and the impact assessment for different energy technologies, as well as calculations summed up for all technologies of energy system scenarios. Further, technology mapping and data harmonization are essential considerations for the automatic coupling and double counting of impacts needs to be avoided.

Subsequently, the framework is realized with the adaption of the SESMG. Its database-independent realization allows compatibility with different databases in openLCA. For the selected ProBas database, the tool can be used with different

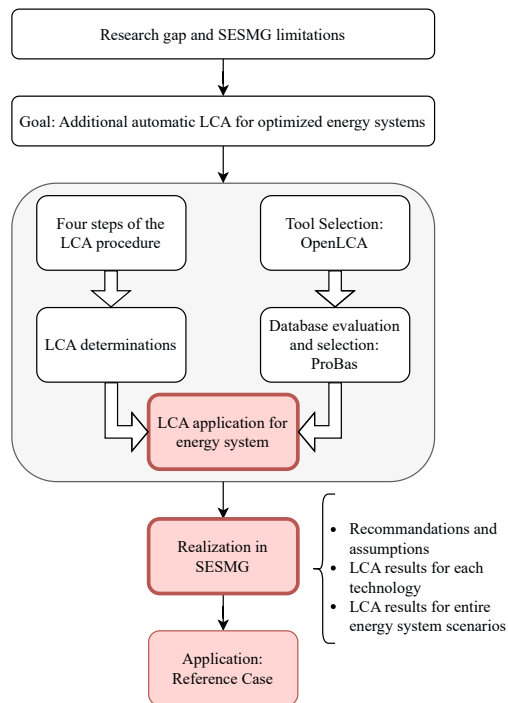


Abb1: Graphical Summary

available energy technologies. The use of unit processes is encouraged for data harmonization. Result interpretation of the LCA (in general or with the SESMG) should not solely focus on the absolute values of the impact categories, but rather on the comparative strengths among scenarios and technologies.

The successful application to a reference single-family building using the ProBas database revealed varied environmental impacts, in relation with a higher reduction in GHG emissions, with an increase of 11 % in terrestrial acidification impacts in the emission-optimized scenario. These findings emphasize a more comprehensive perspective on environmental impacts and provide a valuable validation of the developed methodology.

Future research should include the improvement of data harmonization, the inclusion of more datasets for a more customized analysis of energy systems and more applications. The coupled approach offers a promising avenue for gaining deeper insights into optimizing urban energy systems.

## Analyse von Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge im Neubaugebiet in Soest-Nord

Alexander Kozyrev B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Frank Baumgarten

Datum des Kolloquiums: 6. November 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: INGPLAN GmbH



Auf einer landwirtschaftlich genutzten Fläche in einem Gebiet in Soest-Nord wurde festgestellt, dass es bei Starkregen des Öfteren zu einer Überflutung kommt. Die Ursache für das Problem liegt an einem überlasteten Durchlass, wo das Wasser bei einem Starkregen nicht mehr durchfließen kann. Das führt dazu, dass sich ein Überstau im Gewässer bildet und das Wasser über das Ufer austritt. Mit dieser Bachelorarbeit sollen mögliche Maßnahmen zur Überflutungsvorsorge vorgestellt und miteinander verglichen werden, um daraus geeignete Lösungen für die Beispielsituation zu entwickeln.

Um die Frage zu beantworten, werden als Entscheidungsgrundlage die Überflutungssituation dargestellt und verschiedene Abflussmodelle präsentiert. Mit ihnen ist es möglich, die Überstauenge im Gewässer zu simulieren. Darauffolgend werden mehrere bautechnische Maßnahmen vorgestellt, die zum Überflutungsschutz dienen. Auf Grundlage dieser Informationen wird dann die geeignete Maßnahme zur Überflutungsvorsorge gewählt. Die Bachelorarbeit zeigt, dass sich zur Analyse des Einzugsgebietes das 1D-Kanal netzmodell sowie das gekoppelte 1D/2D-Kanalnetz- und Oberflächenabflussmodell eignen. Denn durch diese lassen sich die Überstauungen abbilden.

Das D8- und das 2D-Oberflächenabflussmodell bilden nur die Abflussvorgänge auf der Oberfläche ab und machen damit keine Aussage über die Überstauenge. Mit Hilfe der Daten, die die Modelle liefern, kann festgestellt werden, dass eine Überstauenge von ungefähr 2.000 m<sup>3</sup> entsteht. Regenrückhalteräume können dieses Volumen aufnehmen und sind für die Überflutungssituation am ehesten geeignet. Auch wäre der Einsatz von ortsfesten Hochwasserschutzwänden möglich, um die Gefahr einer Überflutung zu minimieren. Allerdings haben diese mehr Nachteile als Regenrückhalteräume.

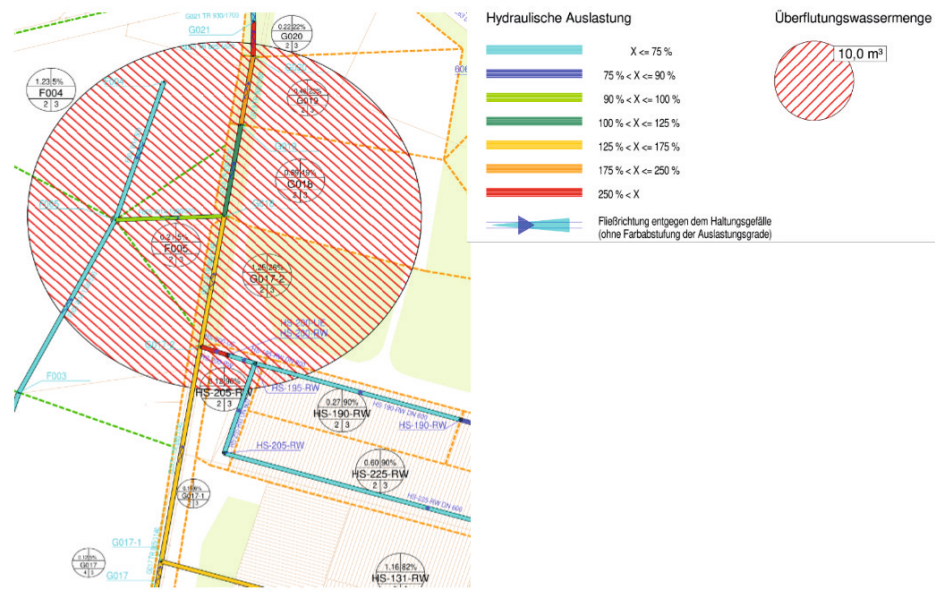


Abb1: 1D-Kanalnetzsimulation mit dem Programm Hystem Extran

## Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchsstandes zur dynamischen Leistungsmessung an PCM-Objekten

**Jannik Kühlkamp B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
 Zweitprüfer: Dr. Oliver Höfert  
 Datum des Kolloquiums: 19. Januar 2024  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik  
 Studienrichtung:  
 in Kooperation mit: Labor Raumluft- und Kältetechnik



Die Speicherung von thermischer Energie ist einer der zentralen Punkte in der Gebäudetechnik und spielt eine wichtige Rolle zwischen der Wärmeerzeugung und Wärmeversorgung von Gebäuden. Eine Möglichkeit zur Speicherung von thermischer Energie besteht in der Verwendung von Hybridspeichern, also Speichern mit sensiblen und latenten Wärmespeicheranteilen. Die latente Wärmespeicherung erfolgt in sogenannten Phasenwechselmaterialien, kurz PCM (Englisch: Phase-Change-Materials). Dadurch ist es möglich die Wärmespeicherkapazität im Vergleich zu rein sensiblen thermischen Speicher deutlich zu erhöhen. Hybride thermische Speicher und die darin eingebrachten PCM-Objekte sind bereits Teil vieler technischer Anwendungen, müssen aber noch weiter untersucht werden, um den Betrieb effizienter und kostengünstiger zu gestalten.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit dem zuvor beschriebenen Thema und trägt den Titel „Aufbau und Inbetriebnahme eines Versuchsstandes zur dynamischen Leistungsmessung an PCM-Objekten“. In der Arbeit wurden zunächst die notwendigen Grundlagen der thermischen Energiespeicherung und die Anforderungen an Phasenwechselmaterialien aufgeführt und erläutert. Nach dem konstruktiven Aufbau und der Inbetriebnahme des Versuchsstandes wurden zunächst rein sensible Messungen mit Wasser durchgeführt, um die sensible Speicherkapazität des Speichers zu bestimmen. Auf dieser Grundlage sollen in Zukunft verschiedenste dynamische Messungen an PCM-Objekten als Teil des hybriden thermischen Speichers erfolgen.

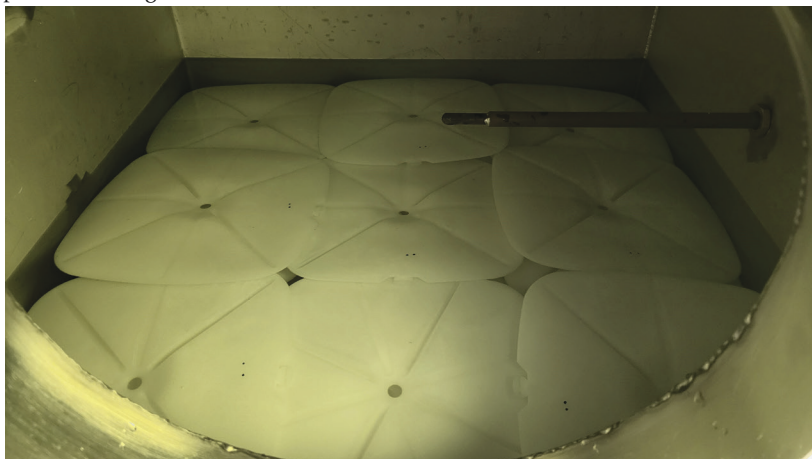


Abb1: PCM-Objekte im hybriden thermischen Speicher

Erste durchgeführte Probemessungen an PCM-Objekten lieferten bereits spannende Erkenntnisse, welche im Rahmen dieser Arbeit diskutiert worden sind und in Zukunft weiter untersucht werden sollen. Eine Erkenntnis ist, dass es mit PCM-Objekten möglich ist, konstante Leistungen für mögliche praktische Wärmeanwendungen bereitzustellen. Dies kann nun am Versuchsstand simuliert und erprobt werden, womit auch das Ziel Arbeit erreicht worden ist. Ebenfalls sichtbar geworden ist, dass das Abrufen konstanter Leistungen nur in einem begrenzten Zeitraum möglich und abhängig von den einzustellenden Regelparametern ist. Dies beweist ebenfalls, dass der Einsatz von PCM-Objekten in hybriden thermischen Speichern einen erhöhten planerischen Aufwand mit sich bringt, um im Vergleich zu anderen thermischen Speichern konkurrenzfähig zu sein. Diese Arbeit soll somit auch einen Beitrag dazu leisten, dass hybride thermische Speicher in Zukunft öfter als ernsthafte alternative für praktische Wärmeanwendungen in Erwägung gezogen werden.

## Wirtschaftlicher Vergleich zweier Wärmeerzeuger anhand des Bauvorhabes Campus TESTA in Schönefeld

**Christian Kuhfs B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
 Zweitprüfer: Michael Steinkamp  
 Datum des Kolloquiums: 26. Januar 2024  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik  
 in Kooperation mit: IB Nordhorn



Diese Bachelorarbeit soll anhand einer ausführlichen wirtschaftlichen Berechnung zeigen, ob sich in der Wärmeerzeugung neue Technologien gegenüber älteren Planungsansätzen finanziell rentieren. Hierbei liegt der Fokus auf einem direkten wirtschaftlichen Vergleich der Investitionskosten und jährlichen Kosten.

Verglichen wird eine Planung von 2020 mit einem Blockheizkraftwerk (BHKW) für die Grundlast und Gasbrennwertthermen für die Spitzenlasten als Wärmeerzeuger, mit einer neuen Planung von 2022 mit einer Wasser-Wasser-Wärmepumpe (WWP) als Wärmeerzeuger. Das Besondere an der Planung mit der WWP ist, dass hierfür die Abwasserleitung eines gesamten Dorfes in einer zusätzlichen Schleife geführt werden soll. Innerhalb dieser Schleife sollen mittels Wärmetauscher dem Abwasser Wärme entzogen werden. Dass die Investitionskosten dafür höher ausfallen, ist nicht verwunderlich, aber lohnt sich eine solche Investition langfristig?

Als Grundlage für den wirtschaftlichen Vergleich beider Wärmeerzeuger wurde ein interaktives Berechnungstool mit Excel erstellt. Es wurden mithilfe einer Berechnung nach der DIN TS 12831 eine Normheizlast ermittelt für einen Normraum des Bauvorhabens. Aus dem Nationalen Anhang wurden dann die anzunehmenden Außentemperaturen am Standort mit deren zu erwartenden Stunden pro Jahr ermittelt.

Mittels dieses Tools wurde dann für die jeweilige Außentemperatur eine spezifische Heizlast ermittelt. Mithilfe dieser Berechnungsgrundlage wurde ein Jahresdauerlinie-Diagramm erstellt, welches allgemein zeigt welche Anzunehmende Wärmeleistung in einem Jahr benötigt wird. Für den Planungsansatz des BHKW wurde die genauen Laufzeiten der BHKW und der Gasbrennwertthermen ermittelt. Daraus wurden die anzunehmenden Kosten pro Jahr berechnet. Ebenfalls enthalten sind Diagramme, die den direkten Vergleich beider Planungsansätze über einen Verlauf von 30 Jahren zeigen.

Nach Betrachtung aller Faktoren und Berechnungen, und unter der Annahme, dass alle Bauteile der WWP-Planung eine Lebenszeit von mindestens 20 Jahren erreichen, lässt sich aussagen, dass aus wirtschaftlicher Sicht der Planungsansatz 2 mit der Wasser-Wasser-Wärmepumpe die bessere Wahl für dieses Bauvorhaben ist.

Unsere Zukunft und unsere Umwelt wird es uns danken, dass wir Menschen uns immer mehr mit Alternativen zu unseren herkömmlichen Heizungssystemen auseinandersetzen, und diese voranbringen für eine schadstofffreie Atmosphäre.



## Vergleichende Untersuchungen von Kälteerzeugungsverfahren: Abwärmenutzung einer Rückstandsverbrennungsanlage durch Absorptionskältemaschinen im wirtschaftlichen Vergleich zur Kompressionskälteerzeugung

Karin Lautenschläger M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting

Zweitprüfer: Tobias Bußmann M.Eng.

Datum des Kolloquiums: 3. Juli 2023

Master-Studiengang: Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: BASF Coatings GmbH



In Deutschland sind 33 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen auf den Energiebedarf im Gebäudesektor zurückzuführen. Ein Grund dafür die Klimatisierung von Gebäuden. Meist werden Kompressionskältemaschinen eingesetzt, die zudem klimaschädliche Kältemittel für ihren Betrieb benötigen. Zukünftig ist mit steigenden Anforderungen an die Nachhaltigkeit von Kältemaschinen zu rechnen, so dass klimafreundliche Kältemittel an Bedeutung gewinnen werden. Abhilfe kann eine Absorptionskältemaschine mit Wasser als Kältemittel schaffen. Eine Absorptionskältemaschine beruht auf dem Prinzip der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung, wobei die Abwärme einer Rückstandsverbrennungsanlage als Antriebsenergie genutzt wird.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, die Kälteerzeugungsverfahren Absorptionskälte und Kompressionskälte für den BASF Standort Münster hinsichtlich ihrer Wirtschaftlichkeit zu vergleichen, um Potenziale für zukünftige Projekte identifizieren zu können. Zu diesem Zweck wird eine Nachhaltigkeitsbewertung zur Ermittlung des wirtschaftlich günstigeren Kälteerzeugungsverfahrens und der geringeren CO<sub>2</sub>-Emissionen durchgeführt.

Für die Durchführung der Nachhaltigkeitsbewertung werden die beiden Kälteerzeugungsverfahren anhand eines realen Projekts untersucht. Als Grundlage dient die projektspezifische Auslegung der Absorptions- und Kompressionskältemaschine. Die Gesamtkosten der Maschinen werden nach dem Prinzip der Total Cost of Ownership (TCO-Analyse) und die CO<sub>2</sub>-Emissionen mit einem Berechnungsprogramm (CO<sub>2</sub>-Tool) der BASF ermittelt.

Das Ergebnis der TCO-Analyse zeigt, dass über einen Betrachtungszeitraum von sieben Jahren die Kompressionskältemaschine das wirtschaftlich günstigere Kälteerzeugungsverfahren darstellt. Die Ermittlung der CO<sub>2</sub>-Emissionen ergab hingegen, dass die jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen und die daraus resultierenden Kosten der Absorptionskältemaschine geringer sind.

Der wirtschaftliche Vergleich der Kälteerzeugungsverfahren verdeutlicht, dass die Investmentkosten der Absorptionskältemaschine zwar höher sind als die der Kompressionskältemaschine, die jährlichen Betriebskosten bedingt durch den geringeren Strombedarf und der kostenlos zur Verfügung stehenden Abwärme der Rückstandsverbrennungsanlage jedoch geringer. Die geringe Gesamtkostendiffe-

renz zwischen Absorptions- und Kompressionskältemaschine führt daher dazu, dass die Absorptionskältemaschine im darauffolgenden Jahr, sprich über einen Betrachtungszeitraum von acht Jahren, wirtschaftlich günstiger wird als die Kompressionskältemaschine.

Zusammenfassend: Eine Absorptionskältemaschine bietet für den BASF Standort Münster Potenzial für zukünftige Projekte, sofern die Abwärme der Rückstandsverbrennungsanlage kostenlos zur Verfügung steht und eine zentrale Kühlwasserversorgung über die vorhandenen Kühltürme am Standort erfolgt.

**Mara Theresa Lenk B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning  
Zweitprüfer: Eske Hilbrands M.Sc.  
Datum des Kolloquiums: 4. Oktober 2023  
Bachelor-Studiengang: Ingenieurin der Umwelttechnik



Für die Erstellung von Optimierungskonzepten kommen in Forschungsvorhaben physikalische Modellierungen und numerische Strömungssimulationen zum Einsatz. Bei der physikalischen Modellierung werden die Ergebnisse experimentell ermittelt. Diese Methode bildet die Realität am besten ab. Die numerische Strömungssimulation wird rein rechnerisch durchgeführt, mithilfe von Softwareprogrammen, die komplexe Szenarien modellhaft berechnen und bildet eine Alternative zur physikalischen Modellierung.

Im Rahmen der Arbeit wurden die Einsatzmöglichkeiten des Simulationsprogramms FLOW-3D HYDRO am Beispiel eines Regenbeckens im Technikum der Stadthydrologie und der Wasserversorgung der FH Münster untersucht. Mit einer Erläuterung der Regenbecken in ihrer wasserwirtschaftlichen Anwendung, einer Literaturstudie zu den Grundlagen der numerischen Strömungssimulation und einer Darstellung der Einsatzzwecke der Software FLOW-3D HYDRO wurden die Grundlagen erarbeitet. Darauf aufbauend wurden im halbtechnischen physikalischen Modell des Regenbeckens anhand eines Tracerversuchs mittels eines fluoreszierenden Markierungsfarbstoffes konkrete Strömungsszenarien untersucht.

Dafür wurde das Becken in Abschnitte unterteilt, in denen bei stationären Bedingungen experimentell Daten zum Strömungsverhalten des Beckens fotografisch erfasst wurden. Im nächsten Schritt wurden die im physikalischen Modell untersuchten Szenarien mittels der Software FLOW-3D HYDRO unter denselben Rahmenbedingungen (Zufluss, Maßstab, ...) simuliert. Dabei wurde die Herangehensweise beim Einsatz der Software FLOW-3D HYDRO dokumentiert und anschließend die Ergebnisse der numerischen Simulation mit den Ergebnissen der physikalischen Simulation verglichen und plausibilisiert. Die folgende Abbildung 1 zeigt die mit FLOW-3D HYDRO simulierten Stromlinien und Fließgeschwindigkeit im Regenbecken im halbtechnischen Maßstab.

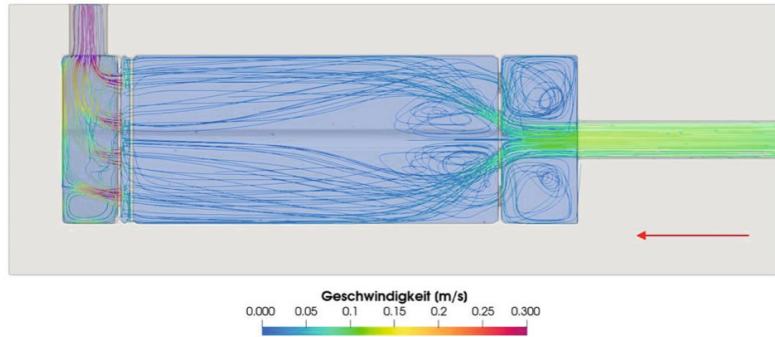


Abb1: Stromlinien und Fließgeschwindigkeiten im Becken, simuliert mit FLOW-3D HYDRO

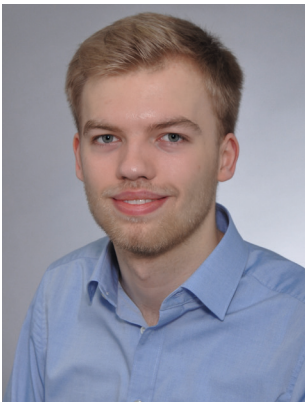
Anhand der Stromlinien sind Rezirkulationszonen vor und nach dem Strömungsgleichrichter und das Fließen des Hauptstroms am Beckenrand erkennbar. Beim Tracerversuch im Regenbecken wurden ähnliche Strömungsvorgänge beobachtet, jedoch gab es an einigen Stellen Abweichungen in den Ergebnissen von Tracerversuch und Simulation. Diese sind auf Ungenauigkeiten beider Methoden zurückzuführen.

Das Fazit dieser Arbeit ist, dass die numerische Simulation, bei entsprechender Erfahrung im Umgang mit der Software FLOW-3D HYDRO, eine Alternative zu physikalischen Modellierungen sein kann. Sie stellt eine Option dar, um auch bei Fragestellungen, die sich durch ein physikalisches Modell schwierig umsetzen lassen (Kosten, Aufwand) oder bei denen die notwendigen Messmethoden fehlen, erste Erkenntnisse zu gewinnen. Darüber hinaus kann die numerische Simulation den praktischen Versuch sehr gut ergänzen. Es können die Auswirkungen von Variationen schnell und ohne Umbaumaßnahmen untersucht oder Analysen mit einem höheren Detaillierungsgrad durchgeführt werden.

## Technische und wirtschaftliche Einsatzmöglichkeiten von Parabolrinnenkollektoren für eine regenerative Energieversorgung im Industriesektor

Jan-Niklas Linnenschmidt M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M.Eng. Franz Beckmann
Datum des Kolloquiums:	21. Juni 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit:	Müller Beckmann GmbH



Das Ziel der Masterarbeit war die Bestimmung der technischen und wirtschaftlichen Einsatzmöglichkeiten von Parabolrinnenkollektoren für eine regenerative Energieversorgung im Industriesektor.

Zu Beginn wurde festgestellt, dass die Prozesswärmebereitstellung im Industriesektor zu rund 72 % auf fossilen Energieträgern beruht (Jahr 2020). Da dieser Umstand nicht mehr zeitgemäß ist, wurden die verfügbaren Technologien zur Erschließung regenerativer Wärmequellen - samt des jeweils realisierbaren Temperaturniveaus - betrachtet. Hierbei stellte sich die konzentrierende Solarthermie als geeignete Technologie heraus.

Daraufhin wurden die theoretischen Grundlagen, verschiedenen Bauarten und Fördermöglichkeiten der konzentrierenden Solarthermie behandelt und somit das für eine Betrachtung von Parabolrinnenkollektoren notwendige Hintergrundwissen erlangt. Im Rahmen einer Marktanalyse wurde dann ein geeigneter Hersteller identifiziert. Mit Hilfe von dessen Produktportfolio konnten wesentliche Erkenntnisse über die Temperaturreichweite, Wärmeträgermedien, Aufstellung und Ausrichtung von Parabolrinnenkollektoren gewonnen sowie ein mathematisches Modell für deren Berechnung entwickelt werden.

Im Anschluss wurde ein Wärmenutzungskonzept erstellt. Mit diesem konnten die direkte Wärmeerzeugung, die indirekte Kälteerzeugung mit zweistufigen Absorptionskältemaschinen und die indirekte Stromerzeugung mit ORC-Anlagen (Organic Rankine Cycle) als Einsatzmöglichkeiten für Parabolrinnenkollektoren identifiziert und durch einen energetischen und wirtschaftlichen Vergleich mit PV-Anlagen (Flächenkonkurrenz) bewertet werden. Anschließend wurde die zeitlich schwankende Verfügbarkeit der Solarstrahlung analysiert und hierbei festgestellt, dass sowohl eine Ersatz- als auch eine Speichertechnologie sowie eine kombinierte Versorgung verschiedener Verbraucherarten notwendig ist, um Parabolrinnenkollektoren in die Nutzung übertragen zu können.

Den theoretischen Betrachtungen schloss sich dann die Simulation des Praxisbeispiels an. Hierzu wurden eingangs die Grundlagen der Energiesystemmodellierung erläutert und anschließend der Simulationsaufbau des Praxisbeispiels samt der getroffenen Annahmen dargestellt. Die Simulationsergebnisse wurden mehreren Sensitivitätsanalysen unterzogen, sodass bei der anschließenden Diskussi-

on mehrere Stellschrauben für einen aus technischer und wirtschaftlicher Sicht optimalen Anlagenbetrieb identifiziert werden konnten. Durch die Justierung dieser Stellschrauben konnte, für ein aus 68 Parabolrinnenkollektoren bestehendes und zur direkten Wärmenutzung konzipiertes Kollektorfeld, ein dynamischer ROI von rund 5 Jahren nachgewiesen werden.

Abschließend wurden konkrete Handlungsempfehlungen für die beteiligten Unternehmen sowie Verbesserungsvorschläge zur Beseitigung von Mängeln und Lücken formuliert, um einen richtigen Umgang mit den Ergebnissen der Masterarbeit zu gewährleisten.

## Energetischer, ökologischer und wirtschaftlicher Vergleich der Wärmeversorgung einer landwirtschaftlichen Liegenschaft mit mehreren Wohneinheiten basierend auf dem Energieträger Hackschnitzel

**Philip Löseke B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
Zweitprüfer: Dipl.Ing. Jens Willmes, M.Eng.

Datum des Kolloquiums: 28. Juli 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: Ingenieur GmbH Schmidt und Willmes



Lösungsorientierte Maßnahmen gegen den fortschreitenden Klimawandel stellen in vielen wissenschaftlichen Ausarbeitungen ein Kernthema dar. Deutschland hat feste gesetzliche Grundlagen im Bauwesen verankert. Dadurch gehört eine nachhaltige Planung auch in der technischen Gebäudeausrüstung mittlerweile zu planerischen Kernkompetenz. Ein Beitrag zum Klimaschutz soll eben verbrauchssenkenden Maßnahmen, wie der regelungstechnischen Optimierung der Anlagentechnik, auch durch die Brennstoffsubstitution geleistet werden. Dieser Austausch soll die Gesamtkonzentration an Gasen in der Atmosphäre verringern, die den natürlichen Treibhauseffekt erhöhen und dadurch zur globalen Erwärmung führen. Sinnvolle Substitutionsmöglichkeiten für bestehende Wärmeerzeugungen mit fossilen Energieträgern sind das Entziehen von Wärme aus der Luft, aus Gewässern oder dem Erdreich, das Ausnutzen von solarer Energie oder die Verbrennung von nachwachsenden Energieträgern wie Holz oder Biogas.

Die Ausarbeitung dieser Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Verbrennung von Holz in der Verarbeitungsform von Hackschnitzeln, auch Hackgut genannt. Sie dokumentiert die Planung eines Wärmeerzeugungssystems auf Hackgutbasis in einem realen Bauvorhaben und untersucht darüber hinaus die Nachhaltigkeit nach wissenschaftlicher Methodik. Es wurde ermittelt inwieweit der Aufwand eines Systems auf Hackgutbasis energetisch sinnvoll, ökologisch nachhaltig und wirtschaftlich attraktiv für Nutzer der Anlagentechnik sein kann. Hierzu wurden verschiedene Wärmeerzeugungssysteme untersucht, welche auf einer grundsätzlichen Versorgung mit Hackgut basieren. Hierzu wurde ein System aus Wärmeerzeugern mit notwendiger Anlagentechnik entwickelt. Die einzelnen Systementwürfe wurden anschließend auf ihre ökologische Nachhaltigkeit untersucht. Wichtige Untersuchungsparameter tellen hierbei der Stromverbrauch der Gesamtanlagen, sowie der Brennstoffverbrauch dar, weil diese Größen Anhaltswerte für die ökologische Bilanz des Systems sind.

Die erforderlichen Brennstoffmengen werden maßgeblich durch die energetische Effizienz der Anlage beeinflusst. Diese hängt vom Regelungsgrad der Anlagentechnik, sowie von thermodynamischen Eigenschaften der wärmeerzeugenden, wärmebefördernden, sowie wärmespeichernden Medien ab. In einem zweiten Schritt wurden Kosten für die Einzelkomponenten der Systeme, die eingesetzten Brennstoffe und die Kosten für Wartung und Instandhaltung der Anlagentechnik ermittelt. Die allgemeinen Kosten der Anlage entscheiden primär über die Kau-

fentscheidung des Endverbrauchers und somit über seine Entscheidung einen Beitrag zur Nachhaltigkeit zu leisten.

Über Verfahren der dynamischen Investitionsrechnung konnten so Aussagen über die Rentabilität der Gesamtanlage über eine gewählte Laufzeit von 20 Jahren getroffen werden. Einbezogen wurde auch die Förderung der einmaligen Investitionskosten in die Anlagentechnik durch Förderprogramme, welche einen Beitrag zur Nachhaltigkeit durch Anlagentechnik fördern.

Im Rahmen der Untersuchungen ergaben sich verschiedene Stellschrauben und Potenziale, die die Anlagentechnik nachhaltiger und wirtschaftlicher machen können. Die Untersuchungen zeigen vor allem einen positiven Nutzen von Heizungspufferspeichern. Hackgutkessel sollen aufgrund von Auf- und Abglühphasen lange Laufzeitphasen aufweisen, da diese Phasen eine unsaubere Verbrennung, sowie Wärmeverluste des Hackgutkessels fördern. Daher ist es sinnvoll die produzierte Energie eines Hackgutkessels in einem Heizungswasserspeicher zwischenzuspeichern, um auch bei kleineren Wärmeanforderungen möglichst effizient ihre Wärme nutzen zu können und eine saubere Verbrennung zu gewährleisten.

Außerdem kann der Heizwert von Hackgut durch Trocknung erheblich gesteigert werden, da das enthaltene Wasser zum Verdampfen viel Energie aus dem Verbrennungsvorgang fordert, seine Enthalpie jedoch nach der Verdampfung nicht mehr nutzbar ist. Möglichkeiten der Trocknung können ungenutzte Abwärme großer Biosgasanlagen darstellen. Hier können ohne aufwendige Transportwege die feuchten Hackschnitzel direkt am Kraftwerk getrocknet werden. Dies ist für Betreiber des Kraftwerkes, sowie Bezieher der Hackschnitzel von Vorteil.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass ein System auf reiner Hackgutbasis oder im bivalenten Betrieb mit anderen Wärmeerzeugern mit hoher Grundlastabdeckung über Hackgut, bei ausreichenden Trocknungsgrad des Hackgutes und einer Förderung der Investitionskosten, als sowohl energetisch und ökologisch nachhaltig als auch wirtschaftlich attraktiv für Nutzer der Anlagentechnik sein kann.



## Konzeptentwicklung für Photovoltaik und Wärmepumpen für ein nachhaltiges Schulgebäude

**Karam Marzouk B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Martin Höttecke  
Zweitprüfer: Florian Segger M.Sc

Datum des Kolloquiums: 24. Oktober 2023

Master-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: IBB IngenieurBüro Buss



Bei dem Projekt handelt es sich um den Neubau einer Gesamtschule in Essen, bestehend aus zwei Schulgebäuden und einer Sporthalle. Die Stadt Essen stellt hohe Anforderungen an die Nachhaltigkeit des Gebäudes, was sich unter anderem in den geforderten Standards widerspiegelt. So sollen alle Gebäude den Passivhausstandard erfüllen, CO<sub>2</sub>-neutral beheizt werden und die zur Verfügung stehenden Dachflächen mit Photovoltaik belegt werden. Dabei werden die Dächer der Schulgebäude in Kombination mit der Photovoltaikanlage extensiv begrünt.

Ziel der Arbeit ist es, den Stromverbrauch für den normalen Stromverbrauch und für den Betrieb der Wärmepumpen durch den Strom aus der Photovoltaikanlage abzudecken. Dazu wurden verschiedene Installationsvarianten der Solarmodule (Südausrichtung, Ost-West-Ausrichtung) mit und ohne Kombination mit einem Gründach betrachtet und in der folgenden Tabelle miteinander verglichen:

Eckdaten	Süd	Satteldach		Schmetterling	
	Gründach Prüfen (10°)	Mit Gründach (10°)	Ohne Gründach (10°)	Mit Gründach (10°)	Ohne Gründach (25°)
Leistung [kWp]	677,73	758,64	880,01	748,20	955,70
Jahresertrag [kWh/kWp]	964,57	918,98	920,74	899,08	893,97
Belegte Fläche [m <sup>2</sup> ]	5289	5289	5289	5289	5289
Fläche pro kWp [m <sup>2</sup> /kWp]	7,8	6,97	6,01	7,07	5,53
Flächennutzungsgrad [kWp/m <sup>2</sup> ]	0,128	0,143	0,166	0,141	0,181
Ertrag [MWh/a]	653,72	697,17	810,26	672,69	854,37

Nach dem Vergleich aller Varianten kann die beste Variante mit der höchsten Stromerzeugung ausgewählt werden.

Als nächster Schritt wurde untersucht, ob der Einsatz eines Speichers (mehrere Kapazitätsgrößen) für eine Photovoltaikanlage dieser Größe das Projekt wirtschaftlich macht.

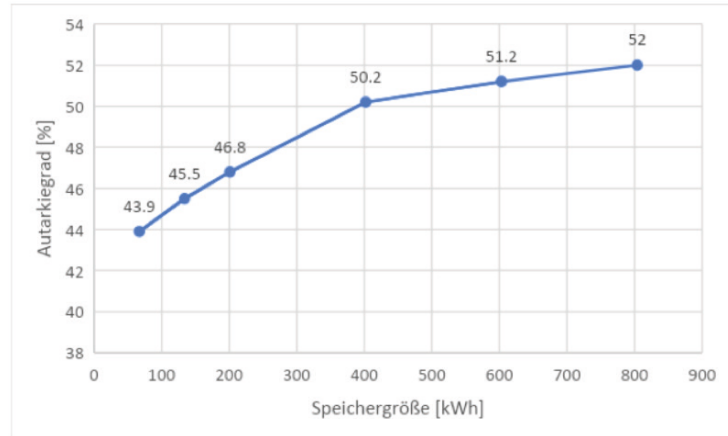


Abb1: Autarkiegrade bei Verwendung mehrerer Batteriegrößen

Am Ende der Arbeit wurde für jede Variante eine Amortisationsberechnung durchgeführt.

Zusammenfassend und abschließend wurde die Variante der Ost-West-Ausrichtung mit einem Aufstellwinkel von  $25^\circ$  gewählt. Die Verwendung eines Gründaches wird für dieses Projekt nicht empfohlen, da die Verwendung eines Gründaches einen größeren Abstand zwischen den Reihen erfordert, was zu einer Verringerung der Anzahl der Solarmodule führt.

In Anbetracht aller vorliegenden Informationen kann festgehalten werden, dass die Schmetterling-Anordnung mit einem Aufstellwinkel von  $25^\circ$  die beste Variante für eine nachhaltige Einrichtung einer Schule ist. Die Kombination eines Wärmepumpensystems und einer Photovoltaikanlage ist für ein öffentliches Gebäude dieser Größe eine optimale und nachhaltige Alternative zur Deckung des Strom- und Wärmebedarfs durch erneuerbare Energie. Mit dem durch Photovoltaikanlage erzeugten Strom wird nicht nur der Stromverbrauch der Schule gedeckt, sondern die Schule auch CO<sub>2</sub>-neutral beheizt. Allerdings ist eine größere Fläche für die Photovoltaikanlage Voraussetzung, damit die Stromdeckung gesichert werden kann.

## Thermisches Energiekonzept zur Bereitstellung von Wärme und Kälte für ein Hotel- und Gaststättengewerbe im Bestand mittels Wärmepumpe und Eisspeicher

**Felix Merschmann B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Jörg Brechtezende  
 Datum des Kolloquiums: 28. März 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur Gebäudetechnik  
 in Kooperation mit: TIGEV Engineering GmbH



Durch die Verbrennung fossiler Rohstoffe, wie Öl oder Gas, werden große Mengen an Treibhausgasen in die Luft freigesetzt. Die Folge ist eine globale Erwärmung und der daraus resultierende Klimawandel, welcher massive Auswirkungen auf das weltweite Klima mit sich bringt. Des Weiteren ist eine Abhängigkeit von anderen Staaten aufgrund fossiler Brennstoffimporte gegeben. Rohstoffengpässe können dann auftreten, wenn es zu Ressourcenknappheit oder politischen Konflikten kommt. Um diese Folgen zu vermeiden, sind die Baufirmen und Planungsbüros dazu aufgefordert, zukunftsorientiert zu planen. Der Weg vom Verzicht auf eine Wärmeerzeugung mit fossilen Brennstoffen in Richtung regenerativer Erzeugung ist dabei ausschlaggebend.

Diese Abschlussarbeit setzt sich mit der Planung einer neuen Wärme- und Kälteerzeugung zweier kernsanierter Bestandsgebäude auseinander. Das Ziel der Planung besteht darin, ein zentrales System zu schaffen, welches mittels regenerativer Erzeugung den Wärme- und Kältebedarf der Gebäude deckt. Aus diesem Grund wurde ein Erzeugungssystem mit einer Wärmepumpe in Kombination eines Eisspeichers als Energiequelle untersucht. Da ein Eisspeicher nicht als alleinige Energiequelle eingesetzt wird, soll ein Energiezaun als zweite Energiequelle dienen.

Für die Untersuchung wurde zunächst das Bauvorhaben näher erläutert. Der jeweilige Bedarf wurde mithilfe einer dynamischen Lastsimulation berechnet und ausgegeben. Darauf aufbauend wurden die Grundlagen einzelner Komponenten dargelegt und ein Anlagenkonzept erarbeitet. Anschließend wurde der Betrieb der Anlage erläutert, sodass die Auslegung der Komponenten erfolgen konnte. Dies wurde mittels einer Simulation durchgeführt, die unterschiedliche Eisspeichergößen miteinander vergleicht. Mithilfe der ermittelten Energiebilanzen des Wärmepumpensystems mit Eisspeicher und Energiezaun, wurde die Einbindung eines Eisspeichers als Energiequelle bewertet.

Die Untersuchung hat ergeben, dass sich der Einsatz eines Eisspeichers in der Wärme- und Kälteerzeugung für Bestandsgebäude im mittleren europäischen Raum nicht unbedingt als lohnenswert erweist. In jedem Fall sollte das Bauvorhaben einen Wärme- sowie einen Kältebedarf aufweisen. Die bei warmen Außentemperaturen genutzte Kühlenergie wird im Eisspeicher als Regeneration genutzt. Für die Wärmeerzeugung wird die Energie allerdings durch moderate

Außentemperaturen im Verlaufe des gesamten Jahres zum größten Teil über den Energiezaun aus der Umwelt entzogen. Weiterführend werden Anforderungen an den Einbau eines Eisspeichers wie den Platzbedarf und eingesetzten Flächenwärmeübertragern im Gebäude gestellt. Außerdem ist ein Eisspeicher mit einem erhöhten Investitionsaufwand in Form von baulichem und monetärem Einsatz aufgrund von Erdaushebungen und einer weiteren Wärmequelle verbunden.

## Einfluss niedriger Wasser-Vorlauftemperaturen auf Strahlungsheizsysteme bei der Beheizung von Industriehallen

**Maurice Meyer B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
 Zweitprüfer: Dr. Oliver Höfert  
 Datum des Kolloquiums: 7. November 2023  
 Master-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Gebäudetechnik



In deutschen Eigenheimen finden sich vorwiegend Gasheizungen; auf Rang zwei folgt mit ca. 24 % eine Beheizung mit Öl. Vergleichbare Werte bilden sich im Bereich der Industriehallen ab. Die Verwendung erneuerbarer Energien ist bisher eher eine Randnotiz, doch steigende Brennstoffpreise, der fortschreitende Klimawandel und der Wunsch nach nachhaltigeren Heizlösungen lassen Eigentümer und Unternehmen umdenken.

Die Einbindung von Wärmepumpen in die Energieversorgung stellt dabei eine zunehmend angewandte Technik dar, die vornehmlich zur Wärmebereitstellung in Wohngebäuden aber auch zur Wärme- und Kältebereitstellung in Nichtwohngebäuden, etwa Bürogebäuden oder Industriehallen eingesetzt wird. Hier wird mithilfe des elektrischen Kompressors die Umweltenergie auf das für das Gebäude notwendige Temperaturniveau angehoben. Die Wahl der an die Wärmepumpe angeschlossenen Wärmeübergabesysteme ist ausschlaggebend für den Energiebedarf und die damit einhergehenden Vorlauftemperaturen.

Im Lichte dieser Erkenntnisse hat meine Bachelorarbeit den Einfluss niedriger Wasser-Vorlauftemperaturen auf Strahlungsheizsysteme in Industriehallen untersucht. Der Kern dieser Arbeit ist sodann in zwei Abschnitte unterteilt. Dabei wird im ersten Schritt das Simulationsprogramm „Dynamisches Raummodell“ von Herrn Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Glück vorgestellt, und im Folgenden dessen Anwendbarkeit bei der Planung der Heizlösung über einen Validierungsversuch untersucht. Anschließend wird in dieser Arbeit die Anwendung des Raummodells in einer Industriehalle untersucht. In diesem Kontext werden stationär eine Fußbodenheizung, ein Umluftheizsystem und mehrere Strahlungsheizsysteme in Bezug auf Heizlast und ausgewählte Behaglichkeitsparameter verglichen.

Damit die Wärmepumpe zukünftig einen Beitrag zur Einsparung fossiler Brennstoffe leisten kann, sind verstärkte Forschungsaktivitäten auf dem Gebiet der optimalen Einbindung in ein (bestehendes) Heizsystem notwendig. Die vorliegende Arbeit konnte hierbei die zunehmende Relevanz und Bedeutsamkeit der Wahl der Heizlösung bzw. der Systemtemperaturen aufzeigen. Das Simulationsprogramm „Dynamisches Raummodell“ bedient sich einer komplexen Datenerfassung und setzt TGA-spezifisches und wärmetechnisches Fachwissen voraus. Ungeachtet der komplizierten Bedienung zeigt der Validierungsversuch jedoch eine hohe Genauigkeit der berechneten Ergebnisse. Auch lassen sich komplexe Randbedingungen und Geometrien hinreichend genau abbilden.

Aus den Berechnungen zu der geplanten Industriehalle geht hervor, dass die Fußbodenheizung aufgrund ihrer geringen erforderlichen Vorlauftemperatur stationär das effizienteste Heizsystem für eine Wärmepumpe präsentiert. Im Programm unberücksichtigt bleiben hingegen zahlreiche Aspekte wie etwa die Speichereffizienz der Wände, die Beschaffenheit des Fußbodens und der Einfluss der thermischen Trägheit des Erdbodens. Darüber hinaus beziehen sich die Ergebnisse jeweils auf eine leerstehende Industriehalle; eingesetzte Maschinen und dort tätige Menschen bleiben unberücksichtigt.

Ein nicht betrachteter Punkt stellt obendrein der Kühlbetrieb der Industriehalle in den Sommermonaten dar. Eine instationäre Untersuchung der Hallenheizsysteme könnte hier den erforderlichen Aufschluss geben. Aufgrund der wegen Kondensationsproblemen im Kühlbetrieb eingeschränkten minimalen Vorlauftemperaturen der Fußboden- und Strahlungsheizung ist anzunehmen, dass ein Umluftsystem einige vielversprechende Potentiale zur Steigerung der Energieeffizienz bietet, während die Luft zusätzlich entfeuchtet werden kann. Die Dimensionierung eines Wärmeübertragers ist von zentraler Bedeutung und sollte so gewählt werden, dass die erforderliche Medientemperatur zur Gewährleistung eines behaglichen Raumklimas im Winter und im Sommer nur geringfügig von der geforderten operativen Temperatur abweicht.

## Entwicklung eines Maßnahmenplans für die Implementierung der BIM-Methode in die Prozesse eines Gebäudetechnikunternehmens

**Lucas Moritz M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Prof. Dipl.-Ing. Andreas Grübel
Datum des Kolloquiums:	17. Februar 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Otto Schatte GmbH



Die Digitalisierung als globaler Megatrend verspricht durch die Einführung neuer Lösungen auf Basis digitaler Technologien Verbesserungen in allen Bereichen der Wirtschaft, z.B. in Bezug auf die Effizienz von Geschäftsprozessen, die Individualisierbarkeit von Produkten und Dienstleistungen oder die Art und Weise der Kommunikation und Interaktion. Der durch diese digitalen Innovationen hervorgerufene Wandel hat grundlegende Auswirkungen auf alle Teile der Gesellschaft und wird als Digitale Transformation bezeichnet. Im Kontext der Baubranche nimmt die Methode Building Information Modeling (BIM) eine grundlegende Rolle bei der Digitalen Transformation ein. Dabei bezeichnet BIM eine kooperative Arbeitsmethode, die auf der Nutzung von digitalen Bauwerksmodellen über den gesamten Lebenszyklus eines Gebäudes basiert.

Die Implementierung der BIM-Methode in die Prozesse eines Unternehmens erfordert eine effektive Implementierungsstrategie, die an den Kontext des Unternehmens angepasst werden muss und hierbei eine Vielzahl von allgemeinen und unternehmensspezifischen Faktoren zu berücksichtigen hat. Das Ziel der Arbeit war es daher, einen Maßnahmenplan für die Implementierung der BIM-Methode in die Prozesse eines konkreten Gebäudetechnikunternehmens zu erstellen.

Hierzu wurden Vorgehensweisen zur Implementierung der BIM-Methode in Unternehmen aus der Literatur untersucht. Die Erkenntnisse aus den verschiedenen Vorgehensweisen wurden im Rahmen des Maßnahmenplans auf den Kontext des betrachteten Unternehmens angewendet. Zur Erfassung des Kontextes wurde eine umfassende Bestandsanalyse durchgeführt und ein möglicher Zielzustand in Form einer BIM-Vision formuliert. Die aufgestellte BIM-Vision zeigt einen abstrakten Aufbau des technischen Systems für einen durchgängigen Informationsfluss innerhalb des Kernprozesses unter Berücksichtigung des Lebenszyklus der Daten. Auf Basis der Bestandsaufnahme und dem abstrakten Zielzustand der BIM-Vision konnten konkrete Maßnahmen abgeleitet werden. Gleichzeitig dient die BIM-Vision als Ausgangspunkt für die fortlaufende strategische Ausrichtung des Unternehmens.

Bei der Implementierung der BIM-Methode besteht neben der Frage, welche Ziele mit der Implementierung von BIM innerhalb eines Unternehmens bzw. Projektes verfolgt werden und was dafür benötigt wird, die Frage wie eine Struktur geschaffen werden kann, in der die BIM-Methode effektiv und effizient angewendet werden kann.

Die Maßnahmen ermöglichen einen strukturierten Wissensaustausch, der die hohe Praxiserfahrung der Mitarbeiter in Bezug zu regulatorischen Richtlinien und theoretischen Grundlagen setzt. Hierbei wird das implizite Wissen der Mitarbeiter kommunizierbar und somit nutzbar gemacht. Einerseits werden im Zuge der Maßnahmen die Prozesse zum strukturierten Wissensaustausch und zur Wissensdokumentation etabliert. Gleichzeitig erfolgt die Erstellung von u.a. Leistungsdefinitionen und Prozessmodellen. Diese Artefakte ermöglichen eine explizite Beschreibung der fachlichen Anforderungen, die an zu gestaltende Informationssysteme und Prozesse des Unternehmens gerichtet sind. Hierbei ist die Etablierung eines Prozesses von höherer Relevanz als die Definition der Artefakte, da die Anpassungsfähigkeit eine entscheidende Fähigkeit in einer Zeit ist, die von sich ändernden Randbedingungen und schnell fortschreitender Technologieentwicklung geprägt ist. Die aufgestellten Maßnahmen schaffen die Grundlage für die Anwendung der BIM-Methode und setzen den Rahmen für zukünftige Prozessoptimierungen.



Ruben Neumann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Michael Deppe
Datum des Kolloquiums:	15. Januar 2024
Master-Studiengang:	Ingenieur der Umwelttechnik
Studienrichtung:	
Laborbereich:	Labor Umwelttechnik (Wasserversorgung - Abwasser - Abfall - Immissionsschutz)



Der Stadtentwässerungsbetrieb Lüdenscheid Herscheid AöR (SELH) plant langfristig die Umsetzung eines Schwammstadtkonzepts, um sich gegen extreme Wetterereignisse im urbanen Raum zu wappnen. In der Bachelorarbeit wurden Untersuchungen zur Integration eines Be- und Entwässerungssystems im Rahmen des Pilotprojekts in der Parkstraße in Lüdenscheid vorgestellt, um die SELH bei den ersten Schritten zur Implementierung des Konzeptes zu unterstützen. Dabei wurden verschiedene Aspekte der Funktionsweise, der Standortanalyse, der Bewirtschaftung und der Umsetzung des Systems mithilfe der LoRaWAN Technologie betrachtet. Die bevorstehenden Herausforderungen wurden hierbei ebenfalls berücksichtigt und erläutert.

In der Arbeit wurde gezeigt, dass die Umsetzung von LoRaWAN zur Bewirtschaftung des Be- und Entwässerungssystems zwar möglich ist, dies allerdings einen Experten für die Planung der Steuer- und Regelungstechnik erfordert. Außerdem müssen vor Ort ein Schaltkasten sowie eine Antenne zur Steuerung und Stromversorgung implementiert werden.

Als Be- und Entwässerungssystem soll ein dezentraler Speicher in Form eines Regenrückhalteraumes in Kombination mit einer Baumrigole in den Parkbuchten der Parkstraße implementiert werden. Dieses System ist in der nachfolgenden Zeichnung dargestellt. Vor Beginn der finalen Planung sollte entschieden werden, ob das System zur Überflutungsvorsorge oder zur Baumversorgung genutzt werden soll, um den Nutzungskonflikt zu lösen.

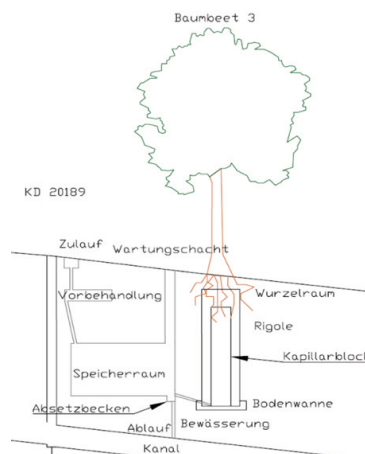


Abb1: dezentraler Speicher in Form eines Regenrückhalteraumes in Kombination mit einer Baumrigole

Der Hauptbeitrag dieser Arbeit zur Realisierung des Projektes liegt in der Standortanalyse des Abschnitts der Parkstraße, der als Pilotgebiet für die Implementierung des Be- und Entwässerungssystems von der SELH ausgewählt wurde. Hierfür wurden die Abstände und Höhen der Parkstraße mit einem GPS-Stab vermessen und anschließend in AutoCAD digitalisiert. Ergebnis der Analyse ist, dass das System an sechs der leerstehenden Baumbeete unterhalb der Parkbuchten realisiert werden kann. Die restlichen acht Beete sind aufgrund bestehender Leitungen oder Bestandsbäumen nicht für den Bau des Systems geeignet. Das Speichervolumen wurde in verschiedenen Bauformen berechnet. Dabei bietet die Quaderbauweise ein größeres Speichervolumen als die Zylinderbauweise. Der hydraulische Nachweis hat gezeigt, dass eine Entlastung des Kanalnetzes über das Be- und Entwässerungssystem erreicht werden kann.

Des Weiteren wurde anhand der Höhendaten, das Gefälle der Parkstraße untersucht. Hierbei ergab sich, dass das Wasser unter Nutzung der von Ost nach West sowie von Gehweg und Straße zu den Beeten verlaufenden Gefälle optimal zu den Einläufen des Speichers und zu den Baumbeeten geleitet werden kann. Zudem kann durch das natürliche Gefälle die Bewässerung des Baumes vor Ort ohne Pumpen auskommen.

Überdies hinaus wurden in dieser Arbeit Herausforderungen im Zusammenhang mit der Schaffung und Nutzung blau-grüner Infrastruktur und mögliche Maßnahmen zu ihrer Bewältigung vorgestellt und erläutert. Das zu nutzende Oberflächenwasser der Parkstraße muss vorbehandelt werden. Dieses Problem lässt sich durch den Einbau einer dezentralen Behandlungsanlage lösen. Der Bau an Bestandsbäumen ist zwar möglich, aber mit hohem Aufwand und Kosten verbunden. Zudem wird von Experten abgeraten das hydrologische Regime eines Bestandbaumes zu verändern. Die Bestandsbäume könnten aber oberflächlich hydrologisch optimiert werden.

Grüne Infrastruktur kann im Herbst durch Laubfall Einläufe verstopfen und durch Wurzel ausbreitung Gehwege und Straßen beschädigen. Diese Herausforderungen können aber durch Maßnahmen wie regelmäßiger Reinigung und Wartung sowie ausreichend Platzplanung gelöst werden. Darüber hinaus können Schutzmaßnahmen gegen Wurzeleinwuchs getroffen werden.

Diese Arbeit hat also gezeigt, dass und wie die Umsetzung des Pilotprojekts im ausgewählten Abschnitt der Parkstraße grundsätzlich möglich ist, welche Potenziale die Umsetzung birgt, aber auch welche Grenzen sie hat.

## Optimierung von Energiesystemmodellen mittels Monte-Carlo-Simulation

**Daniel Niederhöfer M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Datum des Kolloquiums:	30. Januar 2024
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Energietechnik
Laborbereich:	Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Die Masterarbeit beschäftigt sich mit der Optimierung von Energiesystemmodellen unter der Zuhilfenahme von stochastischen Lösungsmethoden. Im konkreten Fall wurde dabei die Monte-Carlo-Simulation angewandt, deren Grundsatz darin besteht, durch zufällig gewählte Eingangsparameter entsprechende Ergebnisse zu generieren, statt einen vorbestimmten Lösungsraum deterministisch zu bestimmen. Bei ausreichend häufiger Wiederholung dieses Konzepts ergibt sich eine fortschreitende Annäherung an die tatsächliche Lösung.

Im Sachzusammenhang steigt bei einer Optimierung mit zunehmender Komplexität sowohl die Rechenzeit, als auch der eingesetzte Arbeitsspeicher des Computers. Wesentliche Schwachstellen sind dabei binär zu treffende Entscheidungen, welche den Rechenaufwand deutlich steigern. Im Hinblick auf die eingangs erwähnte Methodik führt die Monte-Carlo-Simulation zu einer potentiellen Alternative. Ziel der Arbeit ist es dabei, zu bewerten, in wie weit der Einsatz lohnenswert ist und ob sich eine Verbesserung der Berechnungskapazitäten einstellt.

Die Studie hat gezeigt, dass der Einsatz von Monte-Carlo-Simulationen zur Auswertung von Energiesystemmodellen durchaus praktikabel ist. Somit werden in der Realität teils nicht umsetzbare Ergebnisse, wie etwa reelle Lösungen aus der linearen Optimierung, umgangen und eine Vielzahl von Möglichkeiten kann schrittweise verglichen werden. Die generelle Fragestellung hinsichtlich zeitlichem und Arbeitsspeicher bezogenem Aufwand kann abschließend nicht mit Sicherheit geklärt werden, da die in der Arbeit betrachteten Beispiele zwar keine nennenswerte Verbesserung aufweisen, es sich jedoch um sehr vereinfachte Referenzfälle handelt. Um Klarheit zu schaffen, werden weitere Testläufe mit komplexeren Modellen empfohlen, welche umfangreicher und durch binäre Investitionsentscheidungen geprägt sind.

## Installation von Photovoltaikanlagen mit integrierten Speichern auf Umspannwerken zur Deckung des Eigenbedarfs von Windenergieanlagen

Luca Elias Nottenkämper B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann  
Zweitprüfer: M. Eng. Tom Pichelmann

Datum des Kolloquiums: 4. April 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: wpd windmanager technik GmbH



Windenergieanlagen spielen in Deutschland eine entscheidende Rolle bei der Bereitstellung elektrischer Energie aus erneuerbaren Quellen. Die über 28.000 installierten On-shore Anlagen mit einer kumulierten Leistung von mehr als 55.000 MW sind wichtiger Bestandteil der Energieerzeugung in Deutschland. Dazu sind innerhalb der WEA verschiedene Nebenaggregate notwendig. Dazu zählen die Steuerung, die Azimut- und Pitchsysteme, Hydraulikmotoren und Pumpen, Heizungen und Kühlungen, sowie Lüfter. Die von diesen Bauteilen bezogene Leistung wird Eigenbedarf genannt. Während dieser, in Zeiten der Produktion von der Anlage selbst gedeckt wird, erfolgt in produktionslosen Zeiten ein Bezug aus dem Stromnetz.

Für den Stillstand einer Anlage gibt es verschiedene Gründe. Durch beispielsweise zu niedrige oder zu hohe Windgeschwindigkeiten, einen Defekt der Anlage, behördliche Vorgaben oder eine Regulierung des Netzbetreibers, findet keine Erzeugung elektrischer Energie statt. Um die entstehenden Kosten des Strombezuges zu senken, wird in dieser Arbeit geprüft, inwieweit der Eigenbedarf einer WEA durch die Installation einer Photovoltaikanlage auf einem Umspannwerk kompensiert werden kann.

Untersuchungsgegenstand der Arbeit ist ein Umspannwerk in Schleswig-Holstein. Mit Hilfe von Bauplänen werden die Gegebenheiten vor Ort untersucht und potenzielle Flächen, die für die Installation einer Photovoltaikanlage geeignet sind, auffindig gemacht. Anschließend wird ermittelt, welche Konstellationen denkbar sind und wie groß die Anlage dimensioniert werden kann. Mit den ausgewählten Anordnungen werden die zu erwartenden Erträge der einzelnen Fälle abgeschätzt. Dazu wird eine Simulationstool genutzt, bei dem der Standort, die Ausrichtung und die Anlagengröße angegeben wird. Basierend auf den Erträgen wird die für diesen Standort die beste Möglichkeit der Installation ausgewählt.

Um die Wirtschaftlichkeit des Projektes zu beurteilen, werden die Kosten der Anlage, bestehend aus den PV-Modulen, Unterkonstruktion, Wechselrichter, Arbeitsaufwand und Speicher, ermittelt. Die zu erwartenden Erträge der Photovoltaikanlage werden dann dem Eigenbedarf der WEA gegenübergestellt und geprüft, welche Kostendeckung erreicht werden kann. An dieser Stelle zeigt sich, dass vor allem durch die eingeschränkte Größe der Photovoltaikanlage keine ausreichende Deckung des Eigenbedarfes stattfinden kann. Aus diesem Grund wurden weitere,

ortunabhängige Anlagenanordnungen theoretisch betrachtet. Dort ist zu erkennen, dass neben der Anlagengröße auch die zeitliche Verfügbarkeit des produzierten Solarstromes gegenüber dem Verbrauch der WEA einen stark limitierenden Faktor darstellt.

## Özümden Oguz B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dipl.-Geograph Hinnerk Willenbrink
Datum des Kolloquiums:	27. Februar 2023
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieurin der Energietechnik
in Kooperation mit:	The City of Rochester



Climate Change is one of the most imminent issues endangering the environment, economy, and humanity, if humanity does not take action against it. The best solution for environmental protection is Greenhouse Gas Emissions (GHG) Reduction. In response to this concern, the City of Rochester council members voted at the council meeting on September 7th, 2022, to adopt new greenhouse gas emissions reduction goals for the city. The new greenhouse gas emissions goal of decreasing greenhouse gas emissions to 50 % by 2030 and carbon neutral by 2050 will help to create a climate and visitor friendly city, as well as a more sustainable future for the citizens. The City of Rochester has been working with the Centre for Energy and Environment (CEE) on greenhouse gas emission reduction strategies. The city of Rochester and the Centre for Energy and Environment organized these top strategies. After analyzing the impact of the top strategies, building electrification has the highest impact on GHG emissions reduction. Each of the categories underlines the importance of greenhouse gas emission reduction.

This thesis supports building electrification policies and thus contributes to achieving climate goals. Within the scope of this paper, aligned greenhouse gas emissions strategies, building electrification technologies, its benefits and challenges, the current situation in the city of Rochester, and suitable strategies for the implementation process were investigated. Building electrification has the most impact on greenhouse gas emissions reduction. With rising natural gas prices, it is likely to have energy savings in addition to the CO<sub>2</sub> savings.

Building electrification requires two different kinds of policy adoptions, these policies are concerned with new construction and existing buildings. In the city of Rochester there are around 48,000 housing units. It underlines the importance for building electrification strategies to include both the new construction and existing buildings. It is certainly hard to electrify all the existing buildings without a policy adaptation. Therefore, the suitable policies for existing buildings electrification were with the phases described. To virtualize the cost impact of existing buildings electrification a case study was developed. Building electrification doesn't only help to save money in the long-term, additionally the electrification policies support the city's sustainability and resiliency plan.

The implementation process will always be challenging. Therefore, there are supporting areas involved with having a successful implementation.

## Sarah Ottensmeier B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Stefan Jöken
Datum des Kolloquiums:	5. Juli 2023
Master-Studiengang:	Ingenieurin der Gebäudetechnik
Studienrichtung:	
Laborbereich:	Labor Heizungstechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Jöken



Die Bachelorarbeit befasst sich mit der Analyse eines Nahwärmenetzes. Die Stiftung Haus Hall betreibt das Netz bereits seit einigen Jahrzehnten. Um Klimakonzepte für die Zukunft entwickeln zu können, wurde der Ist-Zustand des Netzes ermittelt und eventuelle Potenziale zur Energieeinsparung aufgedeckt.

Haus Hall ist eine Stiftung für Menschen mit Behinderung und Senioren. Die Stiftung hat an dem Standort in Gescher neben Werkstätten und Wohnhäusern eine Förderschule, einen Kindergarten, eine Kantine, eine Wäscherei und eine Schneiderei. Auf dem Gelände leben etwa 220 Menschen im betreuten Wohnen, 450 Menschen arbeiten in den Werkstätten und etwa 1.000 Personen arbeiten in der Pflege, Betreuung und Verwaltung.

Das Nahwärmenetz wird zu 50 % mit der Energie aus einem mit Biogas betriebenen Blockheizkraftwerk versorgt. Die andere Hälfte der Wärmeenergie wird mit zwei Erdgaskesseln abgedeckt. Die Kessel sind aus Redundanzgründen auf die Gesamtlast der Stiftung ausgelegt, um die Wärmeversorgung unabhängig vom Biogas-Landwirt sicherzustellen.

Als kurzfristig umzusetzende Optimierungsmaßnahme wurde der hydraulische Abgleich der Gebäude und die hydraulische Optimierung der Unterverteilungen analysiert. Der Einbau eines kleineren Spitzenlastkessels und eines Pufferspeichers anstatt einer hydraulischen Weiche wurde als mittelfristige Maßnahme in Betrachtet.

Zuletzt wurde die Auslastung der BHKWs und der Verbindungsleitung zum Landwirt beurteilt. Es zeigte sich, dass die kurz- und mittelfristigen Maßnahmen zu einer erheblichen Energieeinsparung führen. Der Betrieb der BHKWs wird durch eine begrenzte Verfügbarkeit von Biogas eingeschränkt, daher kann der Anteil an Wärme aus Biogas so nicht ausgebaut werden. Außerdem stellte sich heraus, dass die Verbindungsleitung für hohe Verluste sorgt, im Verhältnis zum Nutzen.

Im Anschluss an diese Arbeit wurde ein Maßnahmenfahrplan entwickelt, welcher in den kommenden Jahren umgesetzt werden soll.

## Technische und kommerzielle Optimierung einer Kleinwasserkraftanlage im Kraftwerkscluster Bernkastel

**Kai Philip Potthoff B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann  
 Zweitprüfer: Kevin Erdelkamp M. Eng.  
 Datum des Kolloquiums: 6. Dezember 2023  
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energietechnik  
 in Kooperation mit: RWE Generation SE



Da das Neubaupotential von Wasserkraftanlagen in Deutschland aufgrund der wachsenden ökologischen Anforderungen im Gewässerhaushalt weiterhin sinkt, richtet sich der Fokus in der Wasserkraft stärker auf die Optimierung der bestehenden Anlagen. In der Arbeit wurden die Vergütungsvoraussetzungen durch das EEG 2023, welches unter anderem den Ausbau und die Optimierung der Wasserkraft fördert, sowie das technische Potential des Kraftwerks Obermaubach analysiert und daraus resultierende Optimierungsansätze ermittelt.

Das Speicherkraftwerk Obermaubach an der Rur wird von der RWE Generation SE betrieben. Mit 650 kW an installierter Leistung zählt es zu den Kleinwasserkraftanlagen. 2007 erhielt das Kraftwerk einen Vergütungsanspruch nach EEG 2004, dessen Laufzeit 20 Jahre beträgt und somit im Jahr 2027 ausläuft. Allerdings besteht die Möglichkeit, den Vergütungsanspruch über eine Leistungsvermögenserhöhung des Kraftwerks zu erneuern.

Der Fokus der Untersuchung lag auf nicht zulassungspflichtigen Maßnahmen mit einer Mindestleistungsvermögenserhöhung von 10 %. Für die Analyse des Ist-Zustandes wurde ein Erzeugungsmodell der Anlage erstellt. Dieses berücksichtigt die charakteristische Betriebslinie sowie die Anlagenkennlinie des Kraftwerks, welche beide in Rahmen einer Messreihe ermittelt worden sind.

Über das Erzeugungsmodell wurde das größte Optimierungspotential in der Turbinenregelung ermittelt. Die in Obermaubach verbaute Kaplan-Turbine wird bisher einfach über verstellbare Laufradschaufeln geregelt. Über den Austausch der festen Leitrad-schaufeln durch einen beweglichen Leitapparat, ist eine Doppelregulierung der Anlage realisierbar. Um den Erzeugungszuwachs durch solch eine Maßnahme zu bestimmen, wurde das Erzeugungsmodell um die Kennlinie einer Doppelregulierung erweitert. Der dadurch prognostizierte Erzeugungszuwachs beträgt 10,1 %. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Optimierungsmaßnahme ergab einen Nettobarwert von ca. 447.000 €. Der wesentliche Anteil der diskontierten Kapitalflüsse (643.000 €) ist auf die EEG-Vergütung zurückzuführen. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahme ist somit abhängig von dem EEG-Vergütungsanspruch.

In einer darauffolgenden Risikobewertung wurde das Erzeugungsmodell und der berechnete Erzeugungszuwachs kritisch bewertet. Das Modell weist besonders aufgrund von ungenauen Messinstrumenten Unsicherheiten auf, die aufgrund



des geringen Abstandes des Erzeugungszuwachses zu der 10 %-Mindestgrenze nicht vernachlässigbar sind. Um den Vergütungsanspruch abzusichern, wurde daher eine weitere geringfügige Optimierungsmaßnahme in Form der Stern-Dreieck-Umschaltung mit betrachtet. Durch diese wird die Spannung in den Stator-Strängen des Asynchrongenerators bei geringer mechanischer Eingangsleistung abgesenkt, wodurch die Eisenverluste im Generator verringert werden.

Das Maßnahmenpaket aus Doppelregulierung und Stern-Dreieck-Umschaltung weist einen prognostizierten Erzeugungszuwachs von 10,9 % auf. Der kumulierte Nettobarwert der Maßnahmen beträgt 461.000 €. Damit ist die Weiterverfolgung der beiden Optimierungsmaßnahmen in Form tiefergehender Messungen und Simulationen des Anlagenwirkungsgrades in Kooperation mit potentiellen Herstellern empfehlenswert. Entsprechen die Optimierungsmaßnahmen daraus folgend gesichert den EEG-Vergütungsvoraussetzungen, wird die Umsetzung der Maßnahmen im Jahr 2027 empfohlen.

## Optimierung eines BIM-orientierten Planungsprozesses bei Trinkwasser- und Abwassersystemen unter Nutzung von Autodesk Revit

**Niklas Prause B.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
**Zweitprüfer:** Dipl.-Ing. Jörg Brechtezende

**Datum des Kolloquiums:** 5. Oktober 2022

**Bachelor-Studiengang:** Ingenieur Gebäudetechnik

**in Kooperation mit:** TIGEV Engineering GmbH



Durch den digitalen Wandel in Deutschlands Baubranche sind tausende Ingenieurbüros aufgefordert, sich neue Arbeitsmethoden für ein zukunftsorientiertes Planen und Bauen anzueignen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Viele Unternehmen befinden sich derzeit durch den zunehmenden Einsatz von Building Information Modeling (BIM) an dem Standpunkt, dass dafür neue Softwareprodukte angeschafft und die Umgangsweisen damit erlernt werden müssen. Dabei stellt ein Umstieg, zum Beispiel auf die BIM-Software Autodesk Revit, eine große Hürde für die Planer dar. Weg von zweidimensionalen Einstrich-Zeichnungen und hin zu dreidimensionalen Informationsmodellen bedeutet ein Umdenken in jeglicher Hinsicht. Da es sich bei Revit 22 nicht um ein vollwertiges TGA-Werkzeug handelt, kann die Software um spezifische Programmaufsätze erweitert werden.

Diese Abschlussarbeit setzt an diesem Punkt an und behandelt die Fragestellung, ob und inwieweit marktführende Revit-Aufsatzprogramme eine normgerechte und BIM-orientierte Planung von Trinkwasser- und Abwassersystemen ermöglichen. Die Aufgabe der Untersuchung liegt darin, die Softwarelösungen im Kontext einer fachgerechten Sanitärplanung zu analysieren und Erkenntnisse über die Stärken und Schwächen zu sammeln. Schließlich zielt diese Arbeit darauf ab, herauszufinden, welches der Programme im Verbund mit Revit 2022 zum derzeitigen Stand am besten für die Konstruktion und Berechnung von sanitärtechnischen Anlagen geeignet ist.

Aufbauend auf dem aktuellen Stand der Technik, den Erläuterungen von BIM-Anforderungen an die Planung und einem idealen Planungsprozess mit Revit diente ein praxisnahes Beispielprojekt als Grundlage für die Untersuchung. Um an vergleichbare Ergebnisse zu gelangen, wurde dasselbe Projekt mit jeder der marktführenden Softwarelösungen einzeln umgesetzt. Hauptsächlich wurde dabei untersucht, ob sich die Konstruktion und Berechnung der Modelle anhand gesetzlicher und normativer Vorgaben umsetzen ließen. Die daraus resultierenden Erkenntnisse wurden in einer Nutzwertanalyse (NWA) festgehalten, mit einem Idealzustand verglichen und evaluiert. Diese Methode wurde verwendet, um die Unterschiede zwischen den Softwareprogrammen durch ein Bewertungsverfahren greifbar zu machen. Für die Software mit dem höchsten Nutzwert wurde anschließend ein konkreter Workflow für die Projektierung von Trinkwasser- und Abwassersystemen erarbeitet. Dieser stellte auf Grundlage der NWA die Umgangsweise mit der aktuell erfolversprechendsten Revit-Zusatzsoftware für die

Sanitärtechnik dar.

Anhand der Ergebnisse aus der NWA ließ sich festhalten, dass es nur mit einer Softwarelösung nahezu vollständig möglich war, alle gestellten Anforderungen an die Konstruktion und Berechnung des Beispielprojektes umzusetzen und das Modell mit berechnungsrelevanten Informationen zu füllen. Bei einem weiteren Programm waren Defizite bei der Dimensionierung von Fallleitungsverzweigungen festzustellen, wodurch ein fehlerhaftes Berechnungsergebnis im Bereich Abwasser auftrat. Mit der dritten Software konnte das Beispielmodell weder zielführend konstruiert noch berechnet werden. Durch das Fehlen der Anwendung normativer Berechnungsmethoden und notwendiger Bauteilfamilien, vor allem für den Abwasserbereich, konnte das Projekt nicht umgesetzt werden.

Aus den Erfahrungen der Beispielprojektierung lässt sich sagen, dass nur die erstgenannte Software sowohl von der Konstruktionsgenauigkeit und -geschwindigkeit, der Erfüllung normativer Berechnungsanforderungen, der Datenausgabe sowie vom Umfang der generischen und herstellereigenen Bauteilbibliotheken das beste Gesamtpaket für die Sanitärplanung beinhaltet. Aus Sicht des Planers stellt diese Software ein nahezu optimales Werkzeug für die Ergänzung von Revit dar. Zwar konnten monetäre Aspekte wie die Anschaffungskosten in dieser Arbeit nicht berücksichtigt werden, jedoch ergab sich ein deutlicher Produktivitätsvorteil durch die in Revit integrierte Berechnungsschnittstelle und die automatisierten Konstruktionsfunktionen des Programms. Der Zeitaufwand für die Durchführung des Beispielmodells mit dieser fiel dadurch deutlich geringer aus als mit den anderen Softwareprogrammen, welche teilweise auf den Export des Datenmodells in externe Programme setzten.

Aufgrund der durch die Digitalisierung entstehenden Dynamik, die das Thema Building Information Modeling in der Baubranche und damit auch bei der Softwareentwicklung mit sich bringt, spiegelt dieses Ergebnis einen augenblicklichen Stand der Technik wider. Damit einher geht der Gedanke, dass die Planungsqualität von Ingenieurbüros durch zunehmend verbesserte Technologien weiter steigen wird. Nach anfänglichen Schwierigkeiten bei der Implementierung neuer Programme und der Umstellung auf neue Arbeitsmethoden wird das modellbasierte Planen und Bauen zukünftig für mehr Planungsengenauigkeit, Kostensicherheit und Transparenz durch das Kollaborieren aller Projektbeteiligten an einem ganzheitlichen digitalen Modell sorgen.

## **Bilanzierung der relevanten Energieströme einer Dampfkesselanlage unter festgelegten Prozessbedingungen zur Abschätzung des Nutzens einer Hochtemperaturwärmepumpeneinbindung in den Abgasstrom des Dampfkessels**

**Luis Paul Recker B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner  
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Hubertus Jasper

Datum des Kolloquiums: 30. August 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: Hagelschuer GmbH & Co. KG



Energieknappheit und steigenden Rohstoffkosten stellen für Industrieunternehmen eine besondere Herausforderung hinsichtlich energieeffizienter Produktion dar. Dampfkesselanlagen sind wesentlicher Bestandteil vieler Industrieunternehmen und können einen erheblichen Anteil am Energieverbrauch und den damit einhergehenden Kosten und Emissionen ausmachen. Daher ist es für Unternehmen von großer Bedeutung, dass diese Anlage möglichst energieeffizient betrieben wird.

Die Bachelorarbeit befasst sich mit der Idee, eine Dampfkesselanlage durch die Einbindung einer Hochtemperaturwärmepumpe in den Abgasstrom energieeffizienter zu gestalten und somit Emissions- und Betriebskosteneinsparungen zu erzielen. Sie behandelt die Kombination herkömmlicher, standardisierter Dampfkesseltechnik mit der neueren Technik von Hochtemperaturwärmepumpen zur Effizienzsteigerung der Gesamtanlage.

Konkret soll die Möglichkeit der Wärmepumpeneinbindung anhand einer energetischen Bilanzierung der relevanten Energieströme geprüft werden. Es wird zum einen geprüft, ob die Einbindung der Wärmepumpe technisch realisierbar ist, zum anderen aber auch, ob dadurch Einsparungen von Betriebskosten und Emissionen möglich sind. Dafür wurde zuvor eine beispielhafte Anlage mit festgelegten Prozessbedingungen ausgewählt, um eine Bilanzierung praxisnah durchführen zu können.

Unter Berücksichtigung der Prozessbedingungen werden ausgehend von einer durchgeführten energetischen Bilanzierung dieser beispielhaften Standardanlage (Anlage ohne Wärmepumpe) detailliert energetischen Veränderungen durch Ergänzung einer Wärmepumpe betrachtet. Um die Einbindung einer Wärmepumpe mit gängigen, am Markt verfügbaren Bauteilen realisieren zu können, erfolgen weitere Eingrenzungen durch Produktauslegungen und -auswahlen. Auf dieser Basis folgt eine energetische Bilanzierung der Anlage mit Wärmepumpe und schließlich der Vergleich mit der Standardanlage ohne Wärmepumpe.

Die Einbindung der Wärmepumpe ist an eine Reihe von technischen Bedingungen geknüpft, um generell zu funktionieren, aber auch um möglichst konstant mit einer hohen Effizienz und Betriebsstundenzahl betrieben werden zu können. Es gilt die geforderten Temperaturen, aber auch die Leistungen an Verdampfer

und Kondensator der Wärmepumpe dauerhaft sicher zu stellen. Abweichungen können dazu führen, dass sich der Betriebspunkt der Wärmepumpe aus dem Kennfeld dieser hinausbewegt und es zu einer Abschaltung der Wärmepumpe kommt, bis die geforderten Parameter wieder eingehalten werden. Dieses führt zu unerwünschtem, ineffizientem Verhalten und einem erhöhten Verschleiß der Wärmepumpe. Es stellen sich in der Dampfkesselanlage zwei maßgebende Parameter heraus, welche den möglichen Betrieb der Wärmepumpe beeinflussen: die Feuerungsauslastung des Dampfkessels und die anteilige Kondensatmenge am nachzuspeisenden Wasser.

Das Ergebnis der Ausarbeitung zeigt, dass mit der Einbindung einer Wärmepumpe die Abwärme aus dem Abgas im erheblichen Maße genutzt werden kann. Durch die vorgesehene Anlagenkonstellation lässt sich das Abgas der Anlage bis auf eine Temperatur von 36,2 °C (zuvor ca. 130 °C) herunterkühlen; vor allem lässt sich die latente Wärme des Abgases nahezu vollständig nutzbar machen. Eine Abgasverlustleistung von 35,8 kW entweicht dennoch aufgrund der Wahl von Standardwärmeübertragern. Verglichen mit dem ursprünglichen Abgasverlust von 256,1 kW bedeutet das jedoch eine erweiterte Abgasnutzung von ca. 86 % der ursprünglichen Verluste.

Bei der Berechnung der Betriebskosteneinsparung lässt sich unter Berücksichtigung aktueller Energiepreise (Strom 0,13 €/kWh, Gas 0,06 €/kWh) und einer jährlichen Betriebsstundenzahl von 6.000 h/a bereits bei dem ausgewählten Anlagentyp einer „kleinen“ Kesselanlage mit einer jährlichen Betriebskosteneinsparung von 52.920 € rechnen. Verändern sich die Kosten für Strom und Gas nach den betrachteten Energiepreisszenarien, kann es ab dem Jahr 2033 sogar zu jährlichen Betriebskosteneinsparungen von über 200.000 € kommen.

Es kommt mit der betrachteten Betriebsstundenzahl durch die Einbindung der Wärmepumpe zu einer absoluten CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparung von 177,51 t/a, was einer prozentualen Einsparung von 8,87 % im Vergleich zur Standardanlage ohne Wärmepumpe entspricht. Bei perspektivischer Erhöhung des Anteils von grünem Strom am deutschen Strommix erhöhen sich die Einsparungen von CO<sub>2</sub>-Emissionen nochmals.

Die Amortisationszeit der Investition beträgt je nach betrachtetem Energiepreisszenario zwischen 4,7 und 6,6 Jahren und liegt damit deutlich unter der zu erwartenden Lebensdauer einer Wärmepumpe von 20 Jahren.

Die energetische Bilanzierung der Anlage des gewählten Anlagentyps mit gegebenen Prozessbedingungen hat gezeigt, dass die Einbindung einer Hochtemperaturwärmepumpe in den Abgasstrom des Dampfkessels technisch realisierbar sowie mit CO<sub>2</sub>-Emissionseinsparungen verbunden ist und sich zudem äußerst lohnenswert hinsichtlich Betriebskosteneinsparungen erweisen kann.

## Konzeptionierung der Energieversorgung von Gebäuden mittels Geothermie am Beispiel einer Stadt im Bundesland Niedersachsen

**Nele Richter B.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	B.Eng. Viktor Gering
Datum des Kolloquiums:	13. März 2024
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	energielenker projects GmbH



Die Bachelorarbeit widmete sich der Konzeptionierung einer geothermischen Wärmeversorgung von Nichtwohngebäuden einer Stadtverwaltung mit insgesamt sechs Bestandsgebäuden. Diese strebt das Ziel einer klimaneutralen Stadtverwaltung bis zum Jahr 2050 an.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden mehrere Varianten entwickelt, welche die bisher konventionelle Wärmeversorgung ablösen sollen. Zuerst erfolgte eine Bedarfsanalyse, in der die Energiebedarfe der Gebäude ermittelt wurden. Darauf folgte eine Potenzialanalyse, in der besonders das geothermische Potenzial des Standortes untersucht wurde. Auf diesen Grundlagen wurden dann die einzelnen Varianten entwickelt. Bei der ersten Variante handelt es sich um eine dezentrale Versorgung mittels Luft-Wasser-Wärmepumpe. Diese steht nicht in Verbindung mit Geothermie soll aber einen Vergleich zu den Netzvarianten darstellen. Bei der zweiten Variante handelt es sich um ein kaltes Netz mit einem Erdsondenfeld und dezentralen Sole-Wasser-Wärmepumpen. Die dritte Variante stellt ein mittelwarmes Netz mit tiefer Geothermie dar. Da dort ein sehr großes Potenzial vorliegt würde ein nahegelegenes Hallenbad mit an das Wärmenetz angeschlossen werden.

Anschließend wurden die Wärmenetze für das kalte und das mittelwarme Netz ausgelegt. Zur besseren Bewertung der einzelnen Varianten wurde eine Energie- und Treibhausgasbilanz und anschließend eine Wirtschaftlichkeitsberechnung erstellt.

Zuletzt stellte sich heraus, dass das mittelwarme Netz in ökologischer und ökonomischer Sicht am sinnvollsten ist. Bislang ist jedoch noch keine Variante klimaneutral aufgrund der Emissionen die durch den Strommix entstehen. Dies kann in Zukunft durch den Einsatz von erneuerbaren Energien, wie zum Beispiel PV-Strom, geändert werden.

## Entwicklung eines Tools zur praxisnahen Umsetzung realer Ausstoßzeiten bei Trinkwasser-Installationen

**Raphael Schmidt M.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Tobias Ausländer M.Sc.  
 Datum des Kolloquiums: 6. April 2023  
 Master-Studiengang: Technisches Management in der Gebäudetechnik

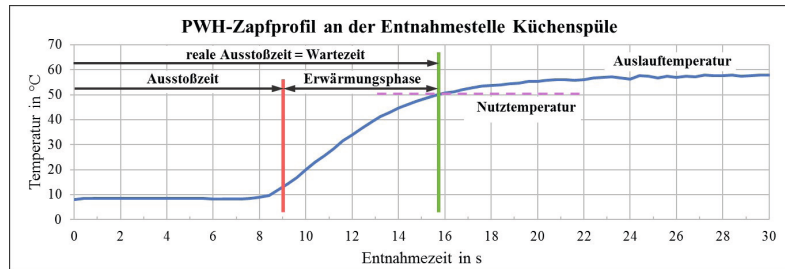


Die Trinkwasserqualität muss durch die Anwendung der a.a.R.d.T. vom TGA Fachplaner und den ausführenden Unternehmen sowie durch den bestimmungsgemäßen Betrieb des Betreibers bewahrt werden. Die Temperatur ist ein wichtiges Merkmal in der Beschaffenheit des Trinkwassers, welches durch Normen und Richtlinien auf bestimmte Temperaturbereiche aus hygienischen, energieeffizienten und komfortablen Gründen begrenzt ist.

An den Entnahmestellen muss nach kurzer Zeit das Trinkwasser mit einer definierten Temperatur zur Verfügung stehen. Die technische Aufgabe ist die Komfortbereitstellung bei ressourcenschonendem Umgang mit dem Lebensmittel Trinkwasser. Die Dauer bis das temperierte Warmwasser an der Entnahmestelle vorliegt, wird allgemein durch die Ausstoßzeit beschrieben.

Die normativen Bedingungen werden in der DIN 1988-200 formuliert. Neben verschiedenen PWH-Solltemperaturen der Trinkwassererwärmungssysteme gilt die 30 Sekunden Regel. Diese beinhaltet, dass nach maximal 30 Sekunden Warmwasser zapfen bei zentralen Trinkwassererwärmern das PWH mit mind. 55 °C an der Entnahmestelle ausfließen muss. Die VDI 6003 definiert für die PWH-Verbraucher drei Komfort- bzw. Anforderungsstufen, die die Bedingungen sowie maximale Zeit bis zum Erreichen der jeweiligen Nutztemperatur vorgeben.

Die wichtigste Erkenntnis, aus den herausgearbeiteten zahlreichen Einflussfaktoren auf die Ausstoßzeiten des PWH, ist der Wärmeverlust während des Ausfließens. Wodurch die Temperatur des Wassers sinkt und das Erreichen der Nutztemperatur signifikant verzögert wird. Zwischen dem Erreichen des einmaligen Wasseraustausches und dem Erreichen der normativen Nutztemperatur an der Entnahmestelle muss zeitlich unterschieden werden. Die Dauer bis zur anliegenden Nutztemperatur muss als reale Ausstoßzeit bzw. im Rahmen dieser Arbeit als Wartezeit bezeichnet werden. Das bisherige Verständnis der Ausstoßzeit berücksichtigt nur das Ausströmen des stagnierenden Wasservolumens.



Abbi: PWH-Zapfprofil an der Entnahmestelle Küchenspüle

In der Planungsphase muss ein Nachweis über das Erreichen einer vereinbarten Komfortstufe geführt und dokumentiert werden. Deshalb wurde als erster Analyseschritt die Planungssoftware herangezogen. Die Software berücksichtigt jedoch keine Wärmeverluste des Warmwassers im stagnierenden Fließweg, deshalb ist eine Aussage über die Wartezeit nicht möglich. Die berechnete Ausstoßzeit sowie die ausgegebene Komfortstufe gemäß VDI 6003 beziehen sich auf die Ausströmdauer des nicht zirkulierenden Rohrinhalts bis zum Anschluss der Entnahmestelle und nicht bis zum tatsächlichen Auslauf der Entnahmearmatur.

Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit ein Berechnungs-Tool entwickelt, um einen Nachweis über die Einhaltung der realen Ausstoßzeit zu ermöglichen. Zur Untersuchung des nicht zirkulierenden PWH Fließweges müssen die Teilstreckendaten und einige zentrale Parameter eingegeben werden. Die Berechnung der instationären Wärmeverluste während des Ausströmens erfolgt über eine Vereinfachung mittels Diskretisierung. Das bedeutet, dass die Rohrleitung durch viele Teilstücke abgebildet wird, die nun stationär berechnet werden. Das praxisorientierte und einfach zu bedienende Tool wird in Microsoft Excel und mit der integrierten Programmiersprache Visual Basic for Applications realisiert. Als Ergebnis wird das PWH-Zapfprofil unter Berücksichtigung der Wärmeübertragung berechnet und dargestellt sowie die berechnete Ausstoß- und Wartezeit gegenüber den normativen Bedingungen bewertet.

Zur praxisnahen Umsetzung der berechneten Wartezeiten wurde eine Validierung des Tools anhand eines Versuchsaufbaus mit zwei Test-Fließwegen aus einem Objektbeispiel durchgeführt. Mit einem Sekunden-Thermometer wurden mehrere Messungen der Wasserauslauftemperatur zur Erstellung von PWH-Zapfprofilen aufgezeichnet und ausgewertet. Im Vergleich mit den im Tool berechneten Zapfprofilen kann eine praxisnahe Ergebnisgenauigkeit im Rahmen der Annäherung festgehalten werden.

Des Weiteren wurden mit dem entwickelten Berechnungs-Tool die Auswirkungen der Einflussfaktoren auf die Ausstoß- und Wartezeit durch die einfache Varianz der Eingaben untersucht. Dabei wurde festgestellt, dass einige Faktoren nur geringe und andere wiederum deutliche Auswirkungen auf die Wartezeit zeigen. Der am meisten beeinflussende und selbst beeinflusste Faktor ist der Entnahmedurchfluss, welcher die Wartezeit auf das PWH erheblich verändern kann.

Insgesamt wurde herausgearbeitet, dass der TGA Fachplaner bei der Planung von Trinkwasser-Installationen umfangreiche Einflussfaktoren berücksichtigen muss, um die normativ geforderten bzw. mit dem Bauherrn vereinbarten Komfortstufen und Wartezeiten zu erreichen. Das entwickelte Tool bietet in diesem Rahmen Unterstützung bei der praxisnahen Umsetzung.



## Maßnahmen zur Reduzierung der Treibhausgasemissionen in Krankenhäusern unter Berücksichtigung der QNG-Anforderungen

Erwin Frederico Schneider Walsh B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter

Zweitprüfer:

Datum des Kolloquiums: 23. November 2023

Master-Studiengang: Wirtschaftsingenieurwesen Energietechnik

in Kooperation mit: Potthoff GmbH, Ingenieurbüro für Krankenhaustechnik



Der Gesundheitssektor ist laut neuesten Studien für 4,4 % der weltweiten Treibhausgasemissionen verantwortlich. Aufgrund des energieintensiven Betriebes einer Gesundheitseinrichtung, stellt sich die Frage, ob eine befriedigende Versorgung der Patienten mit geringeren CO<sub>2</sub>-Äquivalent-Emissionen erfolgen kann. Diese Frage wurde am konkreten Beispiel der Asklepios-Klinik in Parchim herausgearbeitet.

Der gewählte Ansatz zur Senkung der von der Klinik verursachten Emissionen war eine Reduktion des Energiebedarfs durch einen Ersatz der vorhandenen Wärmeerzeugungsanlagen mit Anlagen, die auf Basis erneuerbarer Energiequellen funktionieren. Eine ergänzende Zielsetzung war die Feststellung von Investitionen in eine Anlagentechnik, die nicht nur ökologisch, sondern auch als wirtschaftlich vorteilhaft bewertet werden konnte. Die vorgeschlagene Anlagentechnik bestand aus einer Großwärmepumpe mit Wasser eines benachbarten Sees als Wärmequelle, einer Solarthermischen Anlage und einer PV-Anlage.

Die ökologische Auswirkung der empfohlenen Maßnahmen wurden unter Berücksichtigung der Kriterien des Qualitätssiegels Nachhaltiges Gebäude (QNG) ermittelt. Hierbei wurden zuerst die CO<sub>2e</sub>-Emissionen der Bestandsanlagen berechnet, um den errechneten Wert mit dem Treibhauspotenzial der später vorgeschlagenen Anlagen zu vergleichen. Die Berechnungen wurden mit verschiedenen Softwares der Firma „Solar-Computer GmbH“ und Microsoft-Excel durchgeführt.

Die Bestimmung der CO<sub>2</sub>-Äquivalent Emissionen (auch als Treibhauspotenzial bezeichnet) nach dem QNG-Verfahren bestand im Allgemeinen aus einer Berechnung des Endenergiebedarfes nach den im GEG (Gebäudeenergiegesetz) und DIN V 18599:2018-09 beschriebenen Verfahren und aus einer anschließenden Umrechnung in die QNG-Bilanzgröße „Treibhauspotenzial“ mittels vom QNG vorgegebener Emissionsfaktoren der entsprechenden Endenergieträger.

Das gewählte Gebäude und die Versorgungsanlagen wurden erfasst. Die Räume wurden in Anlehnung an DIN V 18599:2018-09 in sogenannte „Zonen“ unterteilt. Nach der Erfassung des Gebäudes wurde die energetische Berechnung durchgeführt. Die Software erzeugte einen Energieausweis nach GEG, auf dem der jährliche Endenergiebedarf für die Gewerke Heizung, Trinkwarmwasser, Beleuchtung,

Lüftung und Kühlung zu finden war. Ein weiteres Ergebnis dieses Energieausweises waren die flächenbezogenen jährlichen CO<sub>2</sub>e- Emissionen. Dieser Wert wurde nach dem oben beschriebenen Verfahren berechnet, aber mit im GEG enthaltenen Emissionsfaktoren berechnet. Dieser Berechnungsablauf wurde für die vorgeschlagene Anlagentechnik wiederholt. Im Fall der Bestandsanlagen, wurden die im GEG-Energieausweis angegebenen CO<sub>2</sub>e- Emissionen als gültiger Vergleichswert angenommen. Die berechneten Emissionen der Bestandsanlagen betragen 94,50 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>a. Das Treibhauspotenzial der modernisierten Anlagentechnik wurde sowohl mit den QNG- als auch mit den GEG-Emissionsfaktoren bestimmt. Für diese Anlagen wurden CO<sub>2</sub>e- Emissionen von 58,86 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>a (QNG) und 62,43 kg CO<sub>2</sub>e/m<sup>2</sup>a (GEG) berechnet.

Die Wirtschaftlichkeit der theoretischen Investitionen wurde anhand zwei praxisnaher finanzmathematischer Methoden betrachtet: die statische Amortisationsrechnung und die Annuitätenmethode nach VDI 2067-1:2012-09. Bei der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurde von der Tatsache ausgegangen, dass die vorhandene Wärmeerzeugungsanlage wegen ihrer normgerechten Nutzungsdauer in zwei Jahren ersetzt werden musste. In diesem Sinne, wurden zwei Investitionsvarianten gegenübergestellt:

1. Ein Ersatz der Bestandsanlage mit neuen baugleichen Komponente
2. Ein Ersatz der Bestandsanlage mit einer Großwärmepumpe, einer solarthermischen Anlage und Photovoltaik.

Als erstes wurde das statische Verfahren angewendet. Nach einer Auflistung der Beschaffungskosten beider Varianten, wurde eine Investitionskostendifferenz ermittelt. Die Investitionskosten von Variante II waren um 375.847,96 € höher als die Investitionskosten von Variante I. Anschließend wurde die mit Variante II erzielte Energiekostensparnis berechnet. Die errechnete Energiekostensparnis betrug 58.325,44 €. Diese Ersparnis wurde praxisgemäß als fiktiver Gewinn eingesetzt, durch den die Investitionskostendifferenz innerhalb des Betrachtungszeitraums von 15 Jahren amortisiert werden sollte. Es wurde eine Amortisationsdauer von 6,44 Jahren berechnet.

Nach der Annuitätenmethode wurde eine sogenannte „Annuität der Jahresgesamtauszahlung“ berechnet. In diese wurden die kapital-, bedarfs- und betriebsgebundenen Kosten beider Investitionsvarianten in jährlich wiederkehrende Zahlungsgrößen zusammengefasst. Dabei war die Variante mit der höheren Annuität zu bevorzugen. Für Variante I wurde eine Annuität von -152.133,00 € berechnet, für Variante II betrug die ermittelte Annuität -106.134,00 €, die letzte erwies sich somit als wirtschaftlich vorteilhafter.

**Timo Schüring B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Ansgar Böker

Datum des Kolloquiums: 16. Februar 2024

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: Assmann Büromöbel GmbH und Ingenieurbüro Böker GmbH

Die Arbeit legt den Fokus auf die Optimierung der Energieversorgung durch die Energiesystemmodellierung, um die Energiekosten für mittelständische Industrieunternehmen zu senken. Am Beispiel der Assmann Büromöbel GmbH wurden Möglichkeiten zur Energieoptimierung vorgestellt, um nachhaltige und effiziente Energieversorgungskonzepte zu entwickeln.

Die Energiekosten sollen in einem ausgewogenen Verhältnis zu die Investitionskosten zu senken. Dabei wurde ein Modell zur Analyse verschiedener Energieversorgungsoptionen entwickelt, darunter erneuerbare Energiequellen in Kombination mit alternative Antrieben für die Lkw-Flotte. Speziell konzentriert sich die Arbeit auf den Elektrizitäts- und Transportsektor, während der Wärmesektor aufgrund der umfassenden Abdeckung durch Holzspäne aus der Möbelproduktion ausgeklammert wird.

Zur Modellierung ist der Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) verwendet worden. Der SESMG optimiert das Energiesystem in Hinblick auf 2 Kriterien. Für die Bachelor-Thesis sind die Investitionskosten als primär Kriterium und laufenden Energiekosten als sekundär Kriterium festgelegt worden, da der wirtschaftliche Erfolg des Projekts im Vordergrund steht.

Mit Hilfe des SESMG ist ein Modell erstellt worden, das folgende Möglichkeiten miteinander vergleicht bzw. kombiniert:

- Stromimport
- Dieselimport
- Photovoltaik inklusive verschiedener Ausrichtung- und Aufständerungsvarianten
- Windkraft
- Batteriespeicher
- Elektrolyse
- Wasserstoff-Brennstoffzelle
- Wasserstoffspeicher
- Diesel-Lkw
- Wasserstoß-Lkw
- Elektro-Lkw
- sowie die zugehörige Tank- und Ladeinfrastruktur

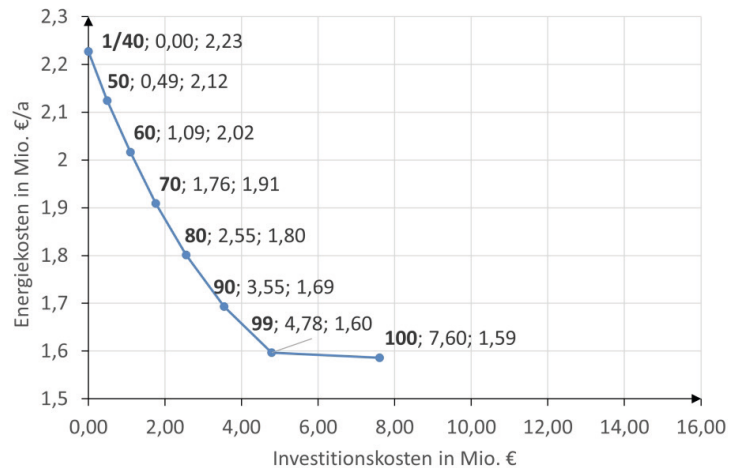


Abb1: Pareto-Diagramm

Auf Grundlage der Modellierungsergebnisse wurden Kennzahlen zur Bewertung der Lösungsmöglichkeiten berechnet, wie zum Beispiel die Rentabilität und der Autarkiegrad. Unter gegebenen Rahmenbedingungen zeigt sich ein Energiekosteneinsparpotential von 0,73 Mio. €/a bei erforderlichen Investitionen von 10,16 Mio. €. Es ist allerdings nicht sinnvoll das gesamte Potential zu realisieren. Bereits mit 5,17 Mio.€ lassen sich 0,70 Mio.€/a einsparen. Die Windkraftanlage wird trotz höherer Kosten im Vergleich zur PV-Anlage bevorzugt berücksichtigt, aufgrund eines höheren Ertrags und einem Eigenverbrauch von 81-92%, was zu höheren Energiekosteneinsparungen führt. Allerdings ist bleibt die Errichtung der PV-Anlage rentabel, da sich die Erzeugungprofile ergänzen.

Der Einsatz von Batteriespeicher und Brennstoffzelle ermöglicht eine Senkung des maximalen Netzbezugs, was zu einer Einsparung an Leistungsentgelten führt. Die hohen Investitionskosten machen die Integration der Brennstoffzelle ohne Kraft-Wärme-Kopplung derzeit nicht rentabel, daher setzt die Modellierung vermehrt auf den Batteriespeicher. Die hohen Investitionskosten und der Gesamtwirkungsgrad machen Wasserstoff-Lkw unter gegebenen Bedingungen auch mit Förderung unwirtschaftlich, weshalb Elektro-Lkw bevorzugt werden sollten. Elektro-Lkw in Verbindung mit eigenen Energieerzeugungsanlagen können dazu beitragen, die Energiekosten im Transportsektor zu senken. Die geringe Reichweite und Ladeleistung beschränken den aktuell noch die Elektro-Lkw. Die Errichtung von Windkraft- und PV-Anlagen führt zu einer Eigenversorgung von 55%, wodurch der Einfluss von Strompreisschwankungen reduziert wird. In Kombination mit Elektro-Lkw kann insgesamt die Abhängigkeit von Energiepreisen gesenkt werden. Erneuerbare Energien, Batteriespeicher und Elektro-Lkw können bereits dazu beitragen die Energiekosten eines Unternehmens zu senken.

## Untersuchung wirtschaftlicher Aspekte von Baumrigolen in urbanen Räumen

**Andrée Schulte M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Dr. Katharina Weltecke
Datum des Kolloquiums:	24. November 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Umwelttechnik



Im Rahmen meiner Masterarbeit wurde eine wirtschaftliche Analyse von Baumrigolensystemen durchgeführt und sowohl untereinander als auch mit herkömmlichen Baumstandorten verglichen. Baumrigolen sind Teil der grünen Infrastruktur und gelten als Anpassungsmaßnahme an den Klimawandel. Einerseits entkoppeln sie Flächen vom Kanalnetz, was einen Beitrag zur Überflutungsvorsorge bei Starkregenereignissen leistet. Andererseits ermöglichen sie die Bewässerung von Bäumen im städtischen Umfeld durch die Speicherung von Niederschlagswasser.

Baumrigolen sind also Speicherräume, die im oder um dem Wurzelraum von Stadtbäumen angeordnet sind, in die Niederschlagswasser geleitet wird. Dieses Wasser wird so dem natürlichen Wasserkreislauf zugeführt, indem es im Wurzelraum vom Baum aufgenommen und verdunstet wird oder in den Untergrund versickert und so das Grundwasser anreichert. Von diesen Baumrigolen wurden vier verschiedene Baumrigolenausführungen ausgewählt und detailliert beschrieben. Aufgrund der frühen Phase in der sich Baumrigolensysteme befinden ist die Datenlage eher als gering zu bezeichnen und kaum Werte der Literatur zu entnehmen. Daher wurden die Investitions- und Unterhaltungskosten durch Befragungen von Vertreter:innen aus kommunalen Grünflächenämtern, Architekt:innen, Garten- und Landschaftsbauer:innen, Vertreter:innen von Landesbehörden sowie Hersteller:innen ermittelt, die an Umsetzungen und Betrieb von Baumrigolen bereits beteiligt waren.

Die so erfassten Kosten wurden nicht nur tabellarisch gegenübergestellt, sondern auch im Rahmen einer dynamischen Kostenvergleichsrechnung analysiert. Dieser Ansatz ermöglichte es, die langfristigen Auswirkungen der Kosten über einen bestimmten Zeitraum zu berücksichtigen und die verschiedenen Baumrigolensysteme in Bezug auf ihre ökonomische Leistungsfähigkeit zu bewerten.

Ein weiterer Aspekt war die Berücksichtigung der Ökosystemleistungen von Bäumen und Baumrigolen. Dieser Aspekt konnte leider nicht vertiefend berücksichtigt werden, da Ökosystemleistungen von Bäumen zwar in Teilen untersucht wurden, aber die Umrechnung in monetäre Werte sehr komplex ist. Dadurch zeigte sich hier eine Möglichkeit für zukünftige Forschungen auf. Dennoch bietet meine Arbeit einen ersten Einstieg und als Orientierung für Personen, die Baumrigolen umsetzen möchten.

## Untersuchung ausgewählter Wärmeübergabesysteme für GOLDBECK-Logistikhallen mittels thermisch energetischer Gebäudesimulation

**Tobias Spahn M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting

**Zweitprüfer:** Christian Pohlandt

**Datum des Kolloquiums:** 8. November 2023

**Master-Studiengang:** Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Gebäudetechnik

**in Kooperation mit:** GOLDBECK GmbH



In der vorliegenden Arbeit wurde der Heizenergiebedarf einer Logistikhalle mit Büroeinbauten mittels thermisch energetischer Gebäudesimulation untersucht. Zum Zeitpunkt der Bearbeitung befand sich das Projekt noch in der Planungsphase. Die dreiteilige Logistikhalle hat eine Bruttogrundfläche von ca. 30.000 m<sup>2</sup> mit einer Geschosshöhe von 12,5 m. Als Heizsystem dient die Kombination von Luft-Wasser-Wärmepumpen als Wärmeerzeuger zusammen mit einer Industriefußbodenheizung als Wärmeübergabesystem.

Untersucht wurde der Heizenergiebedarf des Gebäudes in Abhängigkeit von der Untersohlendämmung, dem Grundwasserspiegel und der Heizungsregelstrategie. Anhand der Simulationen wurden die betrachteten Dämmmaßnahmen und Regelstrategien energetisch, finanziell und hinsichtlich der CO<sub>2</sub>-Emissionen bewertet. Die Simulationen wurden mit der Software DesignBuilder durchgeführt. Hinsichtlich der Untersohlendämmung wurde zwischen vier Dämmvarianten unterschieden. Betrachtet wurde die Halle mit lediglich gedämmtem Sockel (vertikale Randdämmung bis 0,28 m unter OKFF), der vertikalen Randdämmung bis zur Fundamentunterkante (0,8 m unter OKFF), der horizontalen Randdämmung (5 m) sowie der horizontal vollgedämmten Bodenplatte. Über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren zeigte sich der Einsatz der horizontal vollgedämmten Hallensole bis zu einer Grundwassertiefe von 2 m als energetisch sinnvollste und wirtschaftlichste Dämmvariante. Die horizontale Randdämmung (5 m) führte bei Grundwassertiefen von 3 bis 5 m zu den besten Ergebnissen. Bei tieferen Grundwasserspiegeln wurden die besten Ergebnisse aus energetischer, finanzieller und ökologischer Sicht mit der vertikalen Randdämmung (0,8 m unter OKFF) erzielt. Bei der vollflächigen horizontalen Dämmung wurde in den Simulationen der negative Effekt beobachtet, dass die betrachtete Halle in der Sommerzeit aufgrund des schlechteren Wärmetransports an das Erdreich stärker aufheizt als bei den alternativen Dämmvarianten.

In der Untersuchung wurden zwei Regelstrategien betrachtet. Im ersten Schritt wurde die Raumtemperatur konstant gehalten. Danach wurde die Temperatur in Abhängigkeit der Betriebszeiten geregelt. Bei der letzteren so genannten Absenkttemperaturregelung wurde ein wesentlich geringerer Heizenergiebedarf festgestellt. Diese Regelstrategie wurde somit für sinnvoll erachtet.

Zudem wurde untersucht, ob es einen positiven Effekt hat, die Halle in Abhängigkeit von überschüssigem PV-Strom zusätzlich aufzuheizen, um langfristig Energie zu sparen. Dazu wurde eine Woche im Monat März mit günstigen Sonnenverhältnissen als Referenz betrachtet. Am Ende des Betrachtungszeitraums blieb die Beheizung der Halle einerseits aus und andererseits wurde die Halle auf ihre ursprüngliche Komforttemperatur geregelt.

Ein positiver Nutzen einer solchen Regelstrategie konnte nicht identifiziert werden. Empfohlen wurde, den überschüssigen Strom durch die PV-Anlage in das öffentliche Netz einzuspeisen.

**Laurin Erik Stax M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M.Sc. Marc Böhning
Datum des Kolloquiums:	21. September 2023
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Energietechnik
in Kooperation mit:	Zeppelin Power Systems



Der internationale Anspruch, Emissionen im Energiesektor zu minimieren, verlangt den fortlaufenden Ausbau an effizienten und hybriden Energiesystemen. Emittierte Treibhausgase, welche bei der Verbrennung von fossilen Energieträgern entstehen, müssen dafür verringert werden. Die Kombination aus diversen Energieerzeugungsanlagen und Speichersystemen ist seit Jahren ein sukzessiver Ansatz, um diese Reduktion zu erzielen. Diese hybriden Energiesysteme zeichnen sich durch eine gesteigerte Komplexität im Planungsprozess aus. Standort- und Ressourcenabhängigkeit, technische Charakteristiken und Investitionskapazitäten müssen effizient geplant werden.

An diesem Punkt greift die Masterarbeit an, um zu evaluieren, wie ein Planungsprozess auf spezifische Konzepte der hybriden Energiesysteme anzuwenden ist, um eine Optimierung zu erzielen. Als Anwendungsform wird sich genauer mit den Microgrids beschäftigt, welche als isoliert zu betrachtende Systeme mit dezentralen Energiequellen zu den hybriden Energiesystemen gehören. Der anzuwendende Planungsprozess wird dabei maßgeblich durch die softwaregestützte Energiesystemmodellierung unterstützt.

Die Energiesystemmodellierung assistiert in der Entscheidungsfindung für eine richtige Dimensionierung des Systems. Durch die Modellierung wird ein reales Problem durch Programmcode und mathematische Optimierung in eine mathematische Lösung gebracht. Eine nachfolgende, begründete Interpretation kann eine reale Lösung generieren. Bei der Softwareanwendung wird aus einer Vielzahl von Möglichkeiten selektiert und sich für das kommerzielle Modellierungsprogramm HOMER Pro entschieden. Die Softwareanwendung bietet eine große Variation an Funktionen, um Microgrids zielführend zu modellieren.

Mit dieser Grundlage können nachfolgend spezifische Anwendungsbeispiele der Firma Zeppelin Power Systems angegangen werden, um diese auf Effizienzsteigerung oder Kosteneinsparungen zu untersuchen. Im ersten Konzept wird durch den Planungsprozess die Machbarkeit und die optimale Betriebsweise für einen emissionsfreien Baustromversorger simuliert. Die Kombination aus einer Brennstoffzelle und eines Batteriespeichers stellt mit einer Betriebsweise, in der eine zyklische Aufladung der Batterie erfolgt, die Lösung des Problems da. Im zweiten Konzept wird anhand eines Lastprofils und einer gegebenen Motorenkonfiguration eines Flusskreuzfahrtschiffes das Optimierungspotenzial vergleichbarer



Systeme untersucht. Durch die Energiesystemmodellierung kann eine immense Überdimensionierung extrahiert werden, welche durch abgeänderte Motorenkonfiguration, Einbringung eines Batteriespeichers und Anbindung von Landstromanschluss bei längeren Liegezeiten, behoben werden könnte.

Der Planungsprozess in Verbindung mit der Energiesystemmodellierung kann in beiden Fällen zu einer vereinfachten Entscheidungsfindung führen und unterstützt die Optimierung der Microgrids signifikant.

## Workflow Optimization in Project-Based Companies: Identifying Key Challenges and Implementing Effective Solutions

Leonhard Talanow M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter  
 Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Andreas Grübel  
 Datum des Kolloquiums: 15. Januar 2024  
 Master-Studiengang: Technisches Management in der Umwelttechnik  
 in Kooperation mit: Klimatorium



This study addresses the need to improve efficiency in project-based organizations, where managing multiple projects simultaneously is a common yet challenging practice. This results in increased stress levels and reduced work quality of the employees and impacts the overall effectiveness of projects (see Fig1).

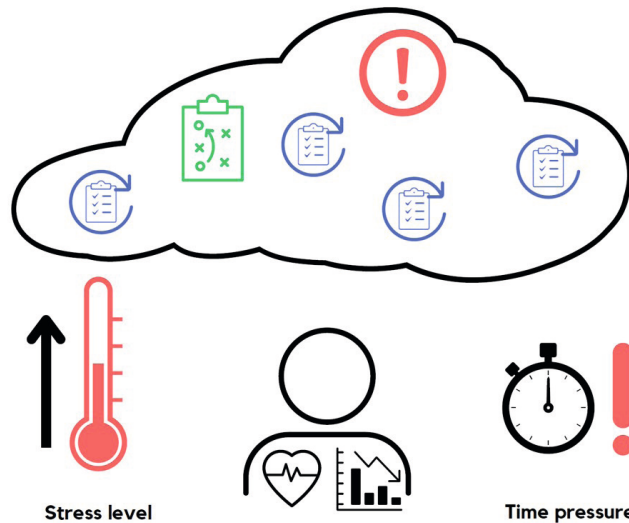


Fig1: Increasing stress levels and reduced work quality of the employees impacts the overall effectiveness of projects.

Therefore this thesis aims to establish a proactive approach to process optimization in project-based organizations, specifically analyzing improvement potentials among project managers and identifying key challenges. It focuses on evaluating and implementing effective solutions, including management techniques and artificial intelligence (AI)-based tools, to enhance process efficiency and employee engagement.

The Klimatorium in Denmark, a non-profit organization addressing environmental and climate issues, is used as a case study to reflect these challenges in a real-world setting. This organization's dynamic, multi-project environment exemplifies the complexities and stresses typical in such settings.

To investigate these issues, qualitative methods, including employee interviews and literature review were employed. The Business Process Maturity Model (BPMM) was applied to assess and enhance organizational processes. Insights and experiences from these tools were analyzed and discussed. Additionally, the research incorporates the use of AI-based tools such as GPT-4 and similar for text analysis and other related applications. Experiences and insights gained from using these AI tools were collected and discussed.

The insights reveal key challenges in project management, including inefficient processes and tight deadlines. The BPMM provided valuable suggestions for improvements in „Task Management and Prioritization“ and „AI Implementation“. However, a limited participant pool restricts this study's broader applicability. For future research, involving a larger group of participants would be beneficial for broader applicability. Additionally, expanding the process spectrum and employing a more diverse methodological approach, integrating both qualitative and quantitative analyses, would offer a more comprehensive understanding of the organizational workflows and efficiencies.

## Implementation of a Monte Carlo-based Real Options Approach for the Evaluation of Residential Energy Technologies

**Enno Tchorz M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr. Peter Vennemann

**Zweitprüfer:** M. Sc. Sebastian Glombik

**Datum des Kolloquiums:** 31. August 2023

**Master-Studiengang:** Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Energietechnik

**in Kooperation mit:** Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT



Investments in the energy sector face significant uncertainties due to changing political conditions and volatile energy prices. The traditionally used method for the evaluation of investment in the energy sector, the Discounted Cash Flow method, can not take these uncertainties into account appropriately. Real Options theory provides the tools to take these uncertainties into account. Often, decision-makers do not use this approach because they are not familiar with it and are deterred by the complexity.

The goal of this work is to use a simple to implement Monte Carlo-based Real Options approach to evaluate investment in residential energy technologies. The used algorithm, applies „exercise thresholds“ to decide whether to invest now, wait for the investment or to abandon the project. Using this approach, the decision-maker can influence the profitability and the corresponding risk of the investment. This algorithm will be examined to determine if it is applicable for the assessment of residential energy technologies, showing the limitations and crucial parameters, and pointing out the advantages and disadvantages of the commonly used Discounted Cash Flow method. Additionally, the influence of waiting options on the evaluation of residential energy technologies will be examined, to find out whether this approach can improve the Net Present Value of the technologies. For the evaluation of this a prototype will be developed. In the underlying use case, the technologies photovoltaic, heat pump and battery storage and their respective combinations will be considered. The uncertainties in this work are the electricity and the gas price. The uncertainties were modeled using a Geometric Brownian Motion.

The results show that for every residential energy technology, except for the photovoltaic as a stand-alone system, an improvement of the mean Net Present Value can be obtained. Remarkably, all other options are, when evaluated with the Discounted Cash Flow method, not worth investing in. Applying this method and delaying this investment time returns positive mean Net Present Values for all technologies. This shows that this method can enhance the evaluation process of residential energy technologies and can be used as a powerful tool for evaluation for investors and also policy makers.

## Konzeptentwicklung zur Sicherstellung des bestimmungsgemäßen Betriebes in der Trinkwasser-Installation in Sportstätten

**Andre Thörner B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker  
 Zweitprüfer: Marius Nienaber M.Eng.  
 Datum des Kolloquiums: 9. März 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik  
 in Kooperation mit: GOLDBECK Nord GmbH



In Deutschland gelten für das Trinkwasser hohe hygienische Anforderungen, die für jede trinkwassertechnische Installation gelten und in Normen sowie Verordnungen festgelegt sind. Diese sind ein wichtiger Bestandteil bei der Planung von Trinkwasser-Installationen in Gebäuden.

In der Baubranche werden Gebäudearten in ihrem Nutzungsverhalten unterschieden. Das in dieser Arbeit besprochene Referenzprojekt ist eine Sporthalle, die ein unregelmäßiges Entnahmeverhalten vorweist. Das Trinkwasser in den Rohrleitungen neigt daher stark zu Stagnation. Diese Problematik erfordert dadurch Trinkwasser-Installationskonzepte, die mit hohen Anforderungen an die Trinkwasserhygiene entwickelt werden müssen.

Ziel dieser Arbeit war es, ein Konzept zu definieren, das unter Einhaltung des bestimmungsgemäßen Betriebes die Spülwassermenge reduziert und so eine umweltfreundlichere und nachhaltigere Lösung für die Trinkwasser-Installation darstellt.

Es wurden zunächst normative, gesetzliche und technische Anforderungen dargelegt. Mittels eines Vergleichs wurde anschließend die Trinkwasser-Installation des Referenzprojektes, die mit einer Ringleitungsinstallation geplant wurde, mit zwei alternativen Lösungsansätzen verglichen. Bei einer Ringleitungsinstallation wird der bestimmungsgemäße Betrieb durch Spülstationen in jedem Ring eingehalten.

Die alternativen Lösungsvorschläge behandeln zum einen die Kaltwasserzirkulation und zum anderen den Einsatz einer Zisterne. Der bestimmungsgemäße Betrieb wird bei dem Zirkulationssystem durch eine zentrale Spülstation, einem Kaltwasserkühler und einer Zirkulationspumpe gewährleistet. Die Zisternentechnik basiert auch auf einer Ringleitungsinstallation, jedoch kann durch den Einsatz einer Zisterne und einer weiteren Installation das Spülwasser gesammelt und zur Bewässerung von Grünanlage weiterverwendet werden.

Aus dem Vergleich der Installationskonzepte ging hervor, dass die Entscheidung für ein Installationskonzept besonders von zwei Faktoren abhängig ist: den Kosten und der Nachhaltigkeit hinsichtlich des Einsparens von Trinkwasserressourcen. Das Zirkulationssystem kann durch seine Bestandteile, die mit der Installation zusammenhängen, die Menge des Spülwassers um etwa 90 Prozent senken.

Diese Trinkwasser-Installation erfordert zwar einen Mehraufwand im Bereich der Rohrleitungsführung und einen Bedarf an weiteren Einbauteilen, jedoch sind die daraus folgenden Mehrkosten gegenüber des Referenzprojektes, besonders im Hinblick auf die Nachhaltigkeit, vertretbar.

## Vergleich von Tankinnenreinigungsverfahren und Beschreibung des Ablaufes einer immissionsschutzrechtlichen Änderungsgenehmigung am Beispiel eines Speditionsunternehmens

Anna Thomas B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter  
Zweitprüfer: Arne Bergendahl, M.Eng.

Datum des Kolloquiums: 2. November 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieurin der Umwelttechnik

in Kooperation mit: Kreis Wesel



Diese Arbeit verfolgte das Ziel, Tankinnenreinigungsvorgänge zu beschreiben und mit den von einem Speditionsunternehmen in deren hauseigenen Reinigungsanlage verwendeten Verfahren zu vergleichen. Das Unternehmen, welches die Anlage betreibt und welches wesentliche Änderungen an dieser vornehmen will, wurde vorgestellt.

Die von dem Unternehmen betriebene Anlage stellt eine nach Nummer 10.21 der im Anhang eins der Verordnung über genehmigungsbedürftige Anlagen „4. BImSchV“ aufgelistete immissionsschutzrechtlich genehmigungsbedürftige Anlage dar. Für die geplante wesentliche Änderung an der Anlage hat das Unternehmen eine Änderungsgenehmigung bei der zuständigen Behörde, der Unteren Immissionsschutzbehörde des Kreises Wesel, eingereicht.

Es wurden die Verfahren der Wasseraufbereitung, der Abluftbehandlung (beispielhaft das Adsorptionsverfahren im kontinuierlichen Betrieb und der betrieblichen Abwasserbehandlung, welche bei den Tankreinigungsanlagen verwendet werden, nach dem Stand der Technik dargestellt und mit der Anlage des Unternehmens verglichen und bewertet.

Der zeitliche Verfahrensablauf der immissionsschutzrechtlichen Änderungsgenehmigung des Unternehmens wurde ab der ersten Antragsstellung beschrieben. Zudem wurden die geplanten Änderungen an der Anlage erläutert, durch die eine Änderungsgenehmigung erforderlich wurde.

Die rechtlichen Aspekte einer Änderungsgenehmigung wurden aufgezählt und es wurde die Genehmigungsfähigkeit der Anlage mit Blick auf die Konzentrationswirkung von immissionsschutzrechtlichen Genehmigungen beurteilt.

Durch die ausstehende abschließende Stellungnahme der in der Konzentrationswirkung eingeschlossenen Bereiche und fehlende Informationen in den Antragsunterlagen, ist zum Abschluss dieser Arbeit noch keine Genehmigung erfolgt.

**Jan Niklas Tockloth M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr. Peter Vennemann  
**Zweitprüfer:** Prof. Dipl.-Ing. Andreas Grübel  
**Datum des Kolloquiums:** 12. Mai 2023  
**Master-Studiengang:** Technisches Management in der Energietechnik  
**in Kooperation mit:** Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Die Umsetzung der Energiewende erfordert eine hohe Akzeptanz der Bevölkerung gegenüber den damit verbundenen Maßnahmen zur Transformation der Energiesysteme. Lokale Energiemärkte können die Akzeptanz steigern und die Transformation beschleunigen, sind bisher jedoch kaum verbreitet. Umsetzungshürden sind unzureichende Definitionen in der Literatur, fehlende rechtliche und regulatorische Festlegungen sowie eine große Anzahl alleinstehender Konzepte.

Diese Arbeit verfolgt zwei Forschungsziele, um die bestehenden Hürden abzubauen. Zunächst werden verschiedenen Arten von lokalen Energiemärkten definiert und von bestehenden Energiemärkten sowie Energiemarktkonzepten abgegrenzt. Die Entwicklung eines Frameworks und die Bereitstellung von Gestaltungsmöglichkeiten zur Konzeptionierung lokaler Energiemärkte ist das zweite Forschungsziel.

Nach Abschluss einer Literaturrecherche wurde das Energiemarkt Reengineering Framework entwickelt, welches die Konzeptionierung von lokalen Energiemärkten strukturiert. Anhand dessen werden Energiemarktkonzepten analysiert, um Gestaltungsmöglichkeiten zu identifizieren.

Lokale Energiemärkte können zwischen Peer-to-Peer, Community Self Consumption und lokalen Systemdienstleistungsmärkten unterschieden werden. Peer-to-Peer Märkte ermöglichen einen wettbewerbs- und gewinnorientierter Handel innerhalb und außerhalb des Energiemarktes. In Community Self Consumption Märkten schließen sich Letztverbraucher zu einer Energiegemeinschaft zusammen und betreiben gemeinsam Anlagen zur Energieerzeugung. Teilnehmer lokaler Systemdienstleistungsmärkte können verschiedene Systemdienstleistungen an Großmärkten anbieten, welche dezentral eingesetzt werden. Zellulare Energiesysteme und Mieterstrommodelle sind keine lokalen Energiemärkte.

Im Energiemarkt Reengineering Framework werden die Ziele des lokalen Energiemarktes festgelegt, worauf die Auswahl und Gestaltung der einzelnen Prozesskomponenten erfolgt. Dabei wird zwischen erweiterten und zentralen Gestaltungsmöglichkeiten unterschieden. Im Anschluss werden bestehende rechtliche, regulatorische und technische Umsetzungshürden identifiziert. Ein ergänzendes Bewertungsschema wurde entwickelt, um die Gestaltungsmöglichkeiten hinsichtlich der Zielvereinbarkeit zwischen den Marktkonzepten und nachhaltigen Ener-



giesystemen sicherzustellen. Das Vorgehen wurde durch die Entwicklung eines Beispielmarktes überprüft, bevor Handlungsschritte zur Anwendung der Ergebnisse formuliert wurden.

Weiterführende Untersuchungen müssen die Ergebnisse in Konzeptstudien validieren und ein Schema zur Formulierung rechtlicher und regulatorischer Handlungsempfehlungen erstellen. Ebenfalls müssen volkswirtschaftliche Nachteile für Teilnehmer anderer Märkte ausgeschlossen sowie betriebswirtschaftliche Vorteile für Marktteilnehmer quantifiziert werden.

## Untersuchung des Einflusses unterschiedlicher Regelungskonzepte auf den Energiebedarf und die Kühllast eines Verwaltungsgebäudes mittels thermisch-energetischer Gebäudesimulation

**Behic Ünal M.Eng.**

**Erstprüfer:** Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
**Zweitprüfer:** M. Eng. Christian Schlüter

**Datum des Kolloquiums:** 4. Oktober 2023

**Master-Studiengang:** Technisches Management in der Gebäudetechnik

:



Der Kühlenergiebedarf in Nichtwohngebäuden wird in den kommenden Jahren aufgrund von steigenden inneren Wärmeeinträgen infolge einer zunehmende Technologisierung, größer werdenden Glasflächen und immer besser gedämmten Gebäuden steigen. Daher gewinnen intelligente Regelungen an Bedeutung. Generell sind intelligente Schallt- und Regelsysteme inzwischen eine unverzichtbare Maßnahme für eine nachhaltige und Energieeffiziente Nutzung eines Gebäudes.

Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich daher mit der Ermittlung und Untersuchung unterschiedlicher Regelkonzept hinsichtlich ihrer maximale Kühlleistung sowie ihres jährlichen Energiebedarfs eines Büro- und Verwaltungsgebäudes. Grundlage ist eine thermisch-energetische Gebäudesimulation eines Referenzgebäudes, sowie vorgeschlagene Regelkonzepte in der VDI 2078.

Die Ergebnisse der Arbeit unterstreichen die Auswirkungen der hohen innere Lasten eines Bürogebäudes, sowie den Einfluss der thermischen Speichermasse auf die verschiedenen Regelkonzepte. Die Regelkonzepte der VDI 2078 zeitigten erwartungsgemäß deutliche Unterschiede im Energiebedarf, allerdings müssen deren Bezugsregelgrößen, vor dem Hintergrund z.B. üblicher, sommerlicher Raumtemperaturen, durchaus kritisch diskutiert werden. Eine Verallgemeinerung der Ergebnisse auf andere Gebäudetypen oder Nutzungseinheiten sollte jedoch nicht erfolgen, gibt aber erste Ansätze wieder.

## Entwicklung von Handlungsempfehlungen für die Planung von zukunftsfähigen Wärmenetzen

**Florian Ufermann B.Eng.**

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker

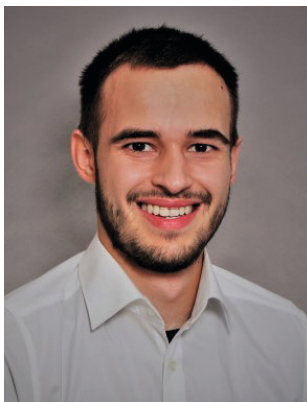
Zweitprüfer: Oliver Dresemann M.Eng.

Datum des Kolloquiums: 16. Februar 2024

Master-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

Studienrichtung:

in Kooperation mit: energieland2050 e.V.



Deutschland hat sich im Klimaschutzgesetz das Ziel gesetzt, bis 2045 Netto-Treibhausgasneutralität zu erreichen. Momentan wird der überwiegende Teil Primärenergie in Deutschland für Wärmeanwendungen verwendet, deshalb ist die Wärmewende von größter Bedeutung um die Klimaschutzziele zu erreichen. Wärmenetze beliefern etwa 15 % des deutschen Wohnungsbestands mit Wärme und bieten noch ein großes Ausbaupotential sowie Einsparpotential von Treibhausgasemissionen gegenüber fossilen Einzelheizungen.

In Dänemark sind nach einer langjährigen Unterstützung der Wärmenetztechnologie durch die Politik heute über 60 % der Haushalte an ein Wärmenetz angeschlossen. Bis 2035 soll in Dänemark die Wärmeerzeugung der Wärmenetzversorgung treibhausgasneutral geschehen. Im Vergleich mit Deutschland zeigt sich, dass die äußeren Voraussetzungen für Wärmenetze in Dänemark nicht besser sind, aber die regulatorischen und politischen Voraussetzungen Wärmenetze besser unterstützen.

Die Systemkomponenten zukunftsfähiger Wärmenetze sind erneuerbare und sehr effiziente Wärmeerzeuger, (saisonale) Wärmespeicher und Komponenten für die Wärmeverteilung. Als Wärmeerzeuger kommen in zukunftsfähigen Wärmenetzen erneuerbare Wärmeerzeuger, Wärmepumpen und KWK-Anlagen zum Einsatz. Fossile Verbrennungsanlagen ohne Kraft-Wärme-Kopplung kommen in den zukunftsfähigen Wärmenetzen von heute nicht mehr oder nur vereinzelt noch zum Einsatz.

Die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze bietet mit ihren drei Modulen eine umfassende Förderungsmöglichkeit für größtenteils erneuerbar betriebene Neubaunetze und die Transformation von bestehenden Wärmenetzen hin zu zukunftsfähigen Wärmenetzen mit klimaschonender Wärmeerzeugung.

Nach dem KWKG werden für den in KWK-Anlagen und iKWK-Systemen produzierten Strom Zuschläge gezahlt. Zusätzlich können für einige Wärmenetzkomponenten in Wärmenetzen mit größtenteils KWK-Wärme und/oder erneuerbarer Wärme Zuschüsse vom Stromnetzbetreiber beantragt werden.

Das Praxisbeispiel des saisonalen Solarnetz in Crailsheim zeigt, dass eine saisonale Speicherung der solaren Wärme schon länger auch in Deutschland möglich ist. So können Solarthermie-Anlagen 50 % und mehr des Wärmebedarfs im Projekt

erzeugen. In Dollnstein konnte ein Wärmenetz mit einer starken Temperaturabsenkung im Sommer umgesetzt werden. Im Sommerbetrieb wird das Wärmenetz mit Temperaturen von etwa 30°C gefahren, die benötigte Temperatur zur Warmwasseraufbereitung erfolgt dann durch zusätzliche dezentrale Wärmepumpen.

## Energieeffizienzbewertung von freier Kühlung in GOLDBECK-Gebäuden mittels energetischer Gebäudesimulation

**Maximilian Verführt M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	M. Eng. Marius Nienaber
Datum des Kolloquiums:	4. August 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	GOLDBECK GmbH



Der Kühlenergiebedarf in Nichtwohngebäuden wird in den kommenden Jahren aufgrund von steigenden inneren Wärmeeinträgen infolge einer zunehmenden Technologisierung, steigenden äußeren Wärmeeinträgen aufgrund des Klimawandels, größer werdenden Glasflächen und immer besser gedämmten Gebäuden steigen. Daher gewinnen passive Kühlmaßnahmen an Bedeutung. Eine der gebäudetechnischen Umsetzungen dieser Möglichkeit zur Minimierung des Energieaufwands zur Gebäudekühlung besteht in der indirekten freien Kühlung. Dabei wird bei geeigneten Witterungsbedingungen über ein Energieträgermedium und Rückkühler systematisch die überschüssige Wärmeenergie aus dem Gebäude abgeführt, sodass die Betriebszeiten von Kälteerzeugern minimiert und damit Energiekosten reduziert werden können. Während diese Technologie in Gebäuden mit ganzjährig hohem Kühlbedarf bereits erfolgreich eingesetzt wird, gestaltet sich die Ermittlung des energetischen Nutzens für spezifische Anwendungsfälle aufgrund zahlreicher instationärer Randbedingungen schwieriger.

Die Masterarbeit beschäftigt sich daher mit der Ermittlung des möglichen energetischen Einsparpotenzials der indirekten freien Kühlung für Büro- und Verwaltungsgebäuden eines Generalbauunternehmens mit charakteristischem Bausystem. Untersucht werden unterschiedliche Betriebsweisen und Rückkühlerbauarten. Grundlage ist eine thermisch-energetische Gebäudesimulation eines Referenzgebäudes.

Die Ergebnisse der Arbeit unterstreichen die zukünftige Rolle der Technologie, indem auch für Gebäude mit Büronutzung ein teils enormes energetisches Einsparpotenzial ermittelt werden konnte. Allerdings wurden deutliche Unterschiede zwischen möglichen Konfigurationen der indirekten freien Kühlung festgestellt. Ein Mischbetrieb von freier Kühlung und aktiver Kältemaschine sowie befeuchtete Rückkühler sind vorzu-ziehen. Außerdem hängt das energetische Einsparpotenzial erheblich vom gewählten Kühlkonzept des Gebäudes ab. Die Möglichkeit einer ganzjährigen Kühlung wirkt sich positiv aus, da sich tiefe Außentemperaturen in den Übergangsperioden und im Winter förderlich auf die Betriebsstunden der indirekten freien Kühlung auswirken. Eine zukünftige projektspezifische Betrachtung bleibt dennoch nicht aus, um neben ökonomischen Faktoren auch die herstellereinspezifischen Kühlleistungen insbesondere der freien Rückkühler zu berücksichtigen.

## Entwicklung eines Parametersatzes für die numerische und empirische Simulation von PCM-Objekten in hybriden Latentwärmespeichern

Philipp Volkmer B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting  
 Zweitprüfer: Matthias Winkelhaus M.Eng.  
 Datum des Kolloquiums: 24. August 2023  
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik



In der Energietechnik ist es von zentraler Bedeutung, Energie in gespeicherter Form zur Verfügung zu haben, da sie ansonsten nur zur gleichen Zeit genutzt werden könnte, in der sie auch erzeugt wird. Die fossilen Energieträger stellen zwar aus technischer Sicht hervorragende Energiespeicher dar, scheiden aber für die weitere Nutzung aus, da sonst die Klimaziele verfehlt werden. Es müssen erneuerbare Energien genutzt werden. Von den erneuerbaren Energien stehen die Wasserkraft, die Erdwärme und die Biomasse bereits in gespeicherter Form zur Verfügung. Die Sonnen- und Windenergie jedoch, welche den größten Teil der erneuerbaren Energien ausmachen, könnten ohne Speichertechnologien nur just-in-time genutzt werden. Für die Energiewende sind Speicher deshalb zwingend erforderlich.

Eine Möglichkeit der Energiespeicherung stellen hybride Latentwärmespeicher dar, in denen sich mit Phase Change Materials (PCM) gefüllte PCM-Objekte befinden. Der Vorteil daran ist, dass aufgrund variabel anpassbarer Schmelztemperaturen der PCM latente Wärme gespeichert und so eine hohe volumetrische Energiedichte erzielt werden kann. Diese Latentwärmespeicher sind Gegenstand der Forschung an der FH Münster. Hierfür wurden in der Vergangenheit Messreihen durchgeführt und ein Simulationsprogramm für die Be- und Entladevorgänge entwickelt. Im Rahmen dieser Arbeit wurden im Vorfeld die Messwerte in das Simulationsprogramm integriert, um die Kurvenverläufe direkt übereinander legen zu können.

In dieser Arbeit wird zunächst auf die Grundlagen und den Stand der Technik eingegangen und der Speicheraufbau und das Simulationsprogramm beschrieben. Dabei wird auch die angesprochene Integration in das Simulationsprogramm erklärt. Ziel dieser Arbeit ist es, die in dem Programm simulierten Kurven bei physikalisch plausiblen Werten in verbesserte Übereinstimmung mit den gemessenen Kurven zu bringen. Dazu müssen die Simulationsparameter der in dem Programm modellierten PCM-Objekte geändert werden. Zum einen wird hierzu die Geometrie der PCM-Objekte genauer abgebildet, die dann berechnete Werte für die Schichtdicken, Oberflächen und Volumina liefert. Zum anderen werden auf Basis der Wärmeübertragungsvorgänge in dem diskretisierten Modell Überlegungen angestellt, wie sich die veränderten Parameter auf die Kurven auswirken, um daraufhin die Kurvenverläufe zu approximieren.

Herausgekommen sind dabei 1 berechneter Parametersatz und 4 approximierte Parametersätze für die PCM-Objekte „HeatSel rund 180“ sowie 1 approximierter Parametersatz für die PCM-Objekte „HeatStixx“. Die Kurvenverläufe weisen alle eine bessere Übereinstimmung mit den gemessenen Kurvenverläufen auf, wobei der berechnete Parametersatz die genauesten Ergebnisse liefert. Die Annahmen stellten sich als plausibel heraus. Des Weiteren stellte sich heraus, dass die in Kapitel 8.1.1 angesprochenen Punkte verursachen, dass die Werte der Parameter für die Außenoberfläche kleiner als die reale Außenoberfläche gewählt werden müssen, damit die Simulation mit den Messungen übereinstimmt.

## Entwicklung einer Monitoringsoftware zur energetischen Analyse, Visualisierung und Optimierung eines Büroneubaus

**Julian Westerhorstmann M.Eng.**

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M. Eng. Jan Ortmann
Datum des Kolloquiums:	14. November 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit:	Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H



Diese Arbeit beschäftigt sich mit der Entwicklung einer Software zur Überwachung und Analyse von Energiesystemen. Sie bietet eine Lösung, Energie effizient und transparent zu managen. Im Fokus steht dabei die energetische Analyse, Visualisierung und Optimierung von Gebäudesystemen. Die Arbeit vergleicht kommerzielle und Open-Source-Lösungen und stellt die Eigenentwicklung einer Software als flexible und anpassbare Alternative vor.

Die Entwicklung der Software findet am Beispiel eines Büroneubaus statt, der zukünftig messtechnisch überwacht wird. Zum Zeitpunkt der Entwicklung liegen keine Messdaten vor. Aus diesem Grund werden anhand des Messkonzepts Testdaten für die Software simuliert. Die Software ist so konzipiert, dass sie leicht auf andere Energiesysteme übertragen werden kann und bietet grafische Ausgaben sowie detaillierte Analysemöglichkeiten für verschiedene Benutzergruppen. Eine grafische Oberfläche bietet verschiedene Ein- und Ausgabemöglichkeiten, sodass für die Nutzung keine Programmierkenntnisse nötig sind. Der aktuelle energetische Zustand des Gebäudes kann anhand eines Flussdiagramms dargestellt und mit Kennzahlen überwacht werden. Diese Darstellung kann dazu beitragen das Bewusstsein für Energiethemen bei den Besuchenden und Mitarbeitenden zu schärfen. Für die Analyse der historischen Daten sind Umrechnungsverfahren und verschiedene Arten von grafischen Ausgaben implementiert. Der modulare Aufbau erleichtert zukünftige Erweiterungen und Anpassungen.

Die Energiemonitoringsoftware ist bereit im Beispielgebäude genutzt zu werden. Darüber hinaus sind weitere Verbesserungen und Tests erforderlich, um die Modularität und die Benutzerfreundlichkeit zu optimieren. Diese Verbesserungen ergeben sich aus der kritischen Bewertung, mit der die Arbeit abschließt. In dieser werden auch zukünftige Erweiterungen, einschließlich der Implementierung eines Warnsystems und Prognoseverfahren, beschrieben.

Das Ziel der Software besteht darin, ein umfassendes Werkzeug bereitzustellen, welches nicht nur den gegenwärtigen Zustand des Energiesystems darstellt, sondern auch Optimierungschancen und weiterführende Analysemöglichkeiten bietet.









