



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

AKADEMISCHES JAHRBUCH

2020-2022

2020-
2022

EGU

FB Energie · Gebäude · Umwelt
Energy · Building Services ·
Environmental Engineering



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die aktuelle weltpolitische Situation rückt neben vielen ethischen Fragen, die Fragen nach einer sicheren Energieversorgung, aber auch des Umwelt- und Klimaschutzes in den Fokus.

Die Antworten und Lösungen in den ingenieurtechnischen Bereichen werden wir maßgeblich aus Effizienzsteigerungen und neuen technischen Verfahren erwarten dürfen. Beides wird aufgrund der Komplexität zu den Herausforderungen von Ingenieur*innen aus den Bereichen der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik gehören. Das sind genau die Disziplinen, in denen unser Fachbereich lehrt, forscht und weiterbildet.

Dieses Jahrbuch zeigt sowohl die Vielfalt der bearbeiteten aktuellen Themen als auch die Breite in den Ingenieurwissenschaften, die von unseren Absolvent*innen beherrscht wird. Sie tragen damit nicht nur zur Lösung der jeweils bearbeiteten Thematik bei, sondern können auch helfen unsere Umwelt- und Energieziele zu erreichen.

Die Kolleg*innen des Fachbereichs Energie · Gebäude · Umwelt vermitteln neben dem neuesten Wissen aus den jeweiligen Fachdisziplinen, grundständiges Ingenieurfachwissen und interdisziplinäre Kompetenzen. Das Studium an unserem Fachbereich befähigt die Absolvent*innen nicht nur zur Anwendung ihres erworbenen Wissens, sondern auch zur Bearbeitung komplexer Aufgabenstellungen. Dabei ist zu beachten, dass sich das wissenschaftlich-technische Wissen in weniger als zehn Jahren verdoppelt. Daher bieten wir unseren Absolvent*innen, aber auch interessierten Ingenieur*innen, ein breites Weiterbildungsprogramm, um auch die noch kommenden Technologien sicher planen und anwenden zu können.

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

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

Steinfurt, im Juni 2022

Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Dekan

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Epiphytische Flechten als Bioindikatoren zur Beurteilung des Stadtklimas am Beispiel Münster <i>Michael Abbing B.Eng.</i>	17
2	Erarbeitung von Anforderungen an die Trinkwasserhygiene und den Verbrühungsschutz beim Einsatz von Sanitärarmaturen mit hohem Berechnungsdurchfluss und hohem Mindestfließdruck <i>Lutz Albers B.Eng.</i>	19
3	Analyse des Einflusses der Bauform von Kreiselpumpen auf die hydraulischen Axialkräfte <i>Arthur Appel M.Eng.</i>	21
4	Technische Analyse über die Umstellung einer Erdgashochdruckleitung für den Transport von Druckwasserstoff <i>Maria Camila Arango Restrepo M.Eng.</i>	22
5	Wie beeinflussen Abstandsregelungen die für die Windkraft zur Verfügung stehende Fläche? <i>Mouad Arbia B.Eng.</i>	24
6	Bestimmung des stündlichen Wärmebedarfs von Wohngebäuden auf der Basis lokaler Wetterdatensätze, unter Zuhilfenahme der DIN 4108 <i>Oscar Benedict Aßmann B.Eng.</i>	25
7	Wirtschaftlichkeitsanalyse Wasserstoffherstellung aus Windenergie. Machbarkeitsstudie am Beispiel des Windparks Nordkirchen der Enertrag AG <i>Lukas Bakenecker M.Eng.</i>	27
8	Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche zur Erstellung eines FDS-Skriptes für die strömungstechnische Simulation von Torluftschleieranlagen mit Doppelstrahltechnologie <i>Philipp Baron M.Eng.</i>	29
9	Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Breitbandgeschäftes der innogy TelNet GmbH <i>Maik Bartsch M.Eng.</i>	31
10	Einführung der BIM Methode in ein ausführendes Unternehmen am Beispiel einer Industriehalle <i>Clemens Benedick B.Eng.</i>	32
11	Entwicklung eines Softwaretools zur Simulation von Quellluft- und Kühldeckensystemen <i>Henning Brinkschulte M.Eng.</i>	34

12	Genehmigungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit moderner Haltungssysteme bei Mastschweinen - Ein Vergleich traditioneller gegenüber moderner Haltungsmodelle <i>Lennart Brömmelhaus B.Eng.</i>	36
13	Ein einfaches und transparentes Modell des deutschen Strommarkts <i>Finn Julian Broksch B.Eng.</i>	37
14	Aufbau und Inbetriebnahme einer kältetechnischen Versuchsanlage <i>Marc Brosius B.Eng.</i>	38
15	Integration einer Power-to-Gas Ausbaustufe in eine Biogasaufbereitungsanlage - Einspeisevarianten und Wirtschaftlichkeit <i>Jonas Brüggemann B.Eng.</i>	39
16	Errichtung und Betrieb eines Abluftkanals zur Ermittlung der Messunsicherheiten der Abgasgeschwindigkeit in Anlehnung an die DIN EN ISO 16911-1 <i>Ann-Christin Brüning B.Eng.</i>	41
17	Betrachtung der Wärmeverteilung eines Gebäudes aus dem Gesundheitssektor - Untersuchung am Beispiel des St. Elisabeth Klinikum Ibbenbüren <i>David Buch B.Eng.</i>	42
18	Ermittlung der maßgeblichen Geräuschquellen eines produzierenden Gewerbes zur Entwicklung von Lärminderungsmaßnahmen <i>Henning Bückers B.Eng.</i>	43
19	Wärmepumpen in Stadtquartieren - Untersuchung eines Quartiers in Herne <i>Janik Budde B.Eng.</i>	45
20	Erarbeitung eines Konzeptes zur Umsetzung eines Produktkonfigurators im ERP Programm APplus für einen auftragsgebundenen Sonderanlagenbauer <i>Markus Bunge B.Eng.</i>	47
21	Anforderungen an die Raumkonditionierung von Bildungseinrichtungen <i>Lars Burmann B.Eng.</i>	49
22	Geschäftsmodelle für Carsharing im ländlichen Raum. Eine Analyse am Beispiel der Stadt Cuxhaven <i>Jana Busse B.Eng.</i>	51
23	Einrichtung einer Trübungsmessung zur Bilanzierung von Regenwasserbehandlungsanlagen <i>Denis Eduardo Castaneda Hernandez B.Eng.</i>	52
24	Energieeffizienzanalyse der Kläranlage Nordwalde <i>Jens Cramer B.Eng.</i>	54
25	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Erweiterung der Gärresttrocknung am RETERRA-Standort in Coesfeld <i>Dominik Czwick M.Eng.</i>	56

26	Messkonzept zur Bestimmung von luftgetragenen Mikroplastikpartikeln <i>Sebastian Dalhoff M.Eng.</i>	58
27	Implementierung von Maschinellen Lernverfahren zur Belegungsdetektion und -vorhersage in Bürogebäuden unter Verwendung von Monitoring-Daten <i>Anna-Lena Denker M.Eng.</i>	60
28	Untersuchung einer dezentralen Wohnungs Lüftungsanlage, unter den Aspekten der thermischen Behaglichkeit, Luftqualität und Wirtschaftlichkeit <i>Steffen Deters B.Eng.</i>	62
29	Zukunftsgerechte Steuerung von Schöpfwerken <i>Pascal Dietrich B.Eng.</i>	64
30	Über Einsparpotentiale und regenerative Energieerzeugung zum autarken Steinbruchbetrieb <i>Nadine Dirksmeyer M.Eng.</i>	66
31	Machbarkeitsprüfung eines Thermochemischen-Wärmespeichers <i>Nils Eckhoff B.Eng.</i>	67
32	Etablierung eines Prozesses zur serientauglichen Fertigung von Kupplungen für Windkraftanlagen in China <i>Celine Engels B.Eng.</i>	69
33	Handlungsoptionen für Windparkbetreiber im Umgang mit Onshore-Windkraftanlagen in Deutschland nach Ablauf der EEG-Umlage mit Beispieldarstellung für den Windpark Hohen Pritz <i>Tade Feddersen B.Eng.</i>	71
34	Thermische Beständigkeit reaktiv gesputterter Schichtsysteme für die farbige Gestaltung von PV-Modulen - Einfluss der intrinsischen mechanischen Spannungen <i>Leon Fels B.Eng.</i>	73
35	Maßnahmen zur Optimierung medizinischer Druckluftanlagen im Bestand von Krankenhäusern <i>Elena Susanna Fischer B.Eng.</i>	74
36	Variantenuntersuchung zur langfristigen Sicherstellung der Wasserversorgung im Einzugsgebiet der SVS-Versorgungsbetriebe GmbH <i>Tim Fischmann B.Eng.</i>	76
37	Kaltes Nahwärmenetz für den Betrieb von Wärmepumpen in Bestandssiedlungen <i>Andre Fleige M.Eng.</i>	78
38	Entwicklung eines Berechnungstools nach DIN EN ISO 16890 <i>Britta Füngers M.Eng.</i>	80
39	Umgang mit den Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Emissionen der Jugendbildungsstätte Saerbeck <i>Julius Geburek B.Eng.</i>	82

40	Entwicklung eines Probenehmers für Baumbewässerungssysteme <i>Daniel Gerling B.Eng.</i>	84
41	Energetische, ökologische und ökonomische Analyse und Vergleich unterschiedlicher Energiestandards beim Neubau von Wohngebäuden <i>Benjamin Gietmann B.E</i>	86
42	Vergleich von Photovoltaik- und Windstrom zur Eigenverbrauchsnutzung im industriellen Bereich <i>Leon Gonet B.Eng.</i>	88
43	Vergleich verschiedener Klimatisierungssysteme am Beispiel eines Bürogebäudes <i>Moritz Greiling B.Eng</i>	90
44	Bestandsanalyse und Entwicklung von Zukunftskonzepten für Biogasanlagen an konkreten Beispielen <i>Victoria Grüner M.Eng.</i>	92
45	Anaerobic digestion of pig slurry in expanded granular sludge bed and fixed-bed reactors <i>Jurek Johannes Häner M.Eng.</i>	94
46	Untersuchungen zur Reduzierung von Temperaturschwankungen in Trinkwasser-Installationen <i>Bernd Harker M.Eng.</i>	95
47	Übertragbarkeit von Energiespeicherkonzepten aus einer Modellregion auf andere Kommunen <i>Maximilian Hart M.Eng.</i>	96
48	Erprobungen von Ansätzen für eine mechanischen Extraktion von Asbest aus Bauschutt <i>Philipp Heckmann B.Eng.</i>	98
49	Entwicklung eines softwaregestützten Tools für die Gebäudeplanung zur Auswahl von zentralen und dezentralen Trinkwassererwärmungssystemen <i>Julia Heetpaß B.Eng.</i>	99
50	Betrachtung der Ausgangslage für Moderne Markenführung von Biomethan mit Blick auf die Positionierung im Markt der erneuerbaren Energien <i>Johannes Heidrich B.Eng.</i>	101
51	Sanierung der raumlufttechnischen Anlage einer Sporthalle <i>Linus Heidrich B.Eng.</i>	102
52	Leitfaden zum Abwägen der Post-Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Optionen für Windkraftanlagen <i>Matthias Heinrichsmeier M.Eng.</i>	103
53	Anwendung der Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie im Labor für Immissionsschutz <i>Nils-Lucas Hemmersbach B.Eng.</i>	105

54	Analyse der Wärmeabnehmer und Erarbeitung des Optimierungspotenzials im Fernwärmenetz der Stadtwerke Münster GmbH <i>Marvin Hengelsberg B.Eng.</i>	107
55	Automatisierung einer thermischen Gebäudesimulation mittels EnergyPlus <i>Carsten Hensmanns M.Eng.</i>	109
56	Optimierung der Strom- und Wärmeversorgung eines Industriegebäudes <i>Frederic Herking B.Eng.</i>	111
57	Untersuchung des Strömungsfeldes im Messbereich eines Interferometers mittels CFD <i>Alexander Heß B.Eng.</i>	113
58	Leitfaden zur Planung von raumluftechnischen Anlagen in Schulen <i>Yannick Hetkämper B.Eng.</i>	115
59	Optimierung des Eigenstromverbrauchs eines Quartiers mithilfe von Vehicle-to-Grid-fähigen Fahrzeugen <i>Janis Hilgenbrink B.Eng.</i>	117
60	Bewertung der Einflussfaktoren auf den Wärmebedarf von Fabrik-, Lager-, und Werkstattgebäuden in Bezug auf den Einsatz von Luftherhitzern und Torluftschleibern <i>Niclas Hölscher B.Eng.</i>	119
61	Rotorblattentwurf mit QBlade für Kleinwindkraftanlagen <i>Alexander Hoge M.Eng.</i>	121
62	Konzeptentwicklung für eine plattformgestützte Zusammenarbeit im Sinne der BIM-Methodik in der technischen Gebäudeausrüstung <i>Christine Hornbergs M.Eng.</i>	123
63	Untersuchung der Möglichkeiten zur modelltechnischen Abbildung einer qualitätsabhängigen Kanalnetzsteuerung <i>Hendrik Janßen M.Eng.</i>	125
64	Energetische Optimierung eines kleinen gemischt genutzten Quartiers <i>Pascal Kerkeeling B.Eng.</i>	127
65	Energy Efficiency of Wastewater Treatment Plants in Germany and the United States of America - A formal Comparison <i>Julian Klaus B.Eng.</i>	129
66	Wirtschaftlicher Vergleich zweier Wärme- und Kälteversorgungsvarianten für Hotels mit Spa-Bereich <i>Lukas Klein-Günnewick M.Eng.</i>	131
67	Leitfaden zum Betrieb, zur Ertüchtigung und Neuauslegung von raumluftechnischen Anlagen, vor dem Hintergrund, die Ausbreitung von Viren, insbesondere SARS-CoV-2 zu reduzieren <i>Jonathan Klein M.Eng.</i>	133

68	Analyse und Optimierung eines bestehenden Nahwärmenetzes an einer Fachklinik <i>Philipp Kleine-Ruse M.Eng.</i>	135
69	Modelling and Optimization of Multi-Energy Systems in Mixed- Use Districts: An Exemplary Application <i>Christian Klemm M.Eng.</i>	137
70	Wie beeinflusst das EEG 2021 die Erlöse von Wind und PV-Parks? <i>Kim Ove Knutzen B.Eng.</i>	139
71	Steigerung der Planungsqualität: Einführung einer Inhouse-Softwarelösung am Beispiel der technischen Gebäudeausrüstung <i>Marvin Kötting B.Eng.</i>	140
72	Welches Windkraftpotenzial hat der Rhein-Sieg-Kreis? - Eine Geodatenanalyse <i>Kirthian Kokilanathan B.Eng.</i>	142
73	Planung eines Versuchsstandes zur Leistungsprüfung von Trinkwassererwärmungsanlagen nach dem Speicher- und Durchflussprinzip <i>Domenik Koojers B.Eng.</i>	143
74	Auswirkung einer Warmwasser-Fußbodenheizung auf verschiedene Bodenablaufstypen im Duschbereich <i>Vincenc Kreisel B.Eng.</i>	144
75	Entwicklung eines Excel-Tools zur Berechnung der maximalen Kühllast nach der Methode des Abschätzverfahrens der VDI 2078 <i>Siegfried Krugmann M.Eng.</i>	146
76	Untersuchung der Skalierbarkeit von bestehenden Speichertechnologien im Bioenergiepark Saerbeck <i>Veit Johannes Kuhlbusch M.Eng.</i>	148
77	Dimensionierung und Konzeption eines reinen Wasserstoffverteilnetzes im Netzgebiet der Westnetz GmbH <i>Pascal Kummer M.Eng.</i>	150
78	Energetische Sanierung der Heizzentrale der Kreisverwaltung Steinfurt <i>Sule Kurtoglu B.Eng.</i>	152
79	Restrukturierung der Planungsprozesse im Holzbau <i>Jessica Landmann M.Eng.</i>	154
80	Planungsrelevante Anforderungen an die Sicherungsmaßnahmen zum Schutz des Trinkwassers in Laborbereichen am Beispiel von Schulgebäuden <i>Jonas Lange B.Eng.</i>	156
81	Wirtschaftlicher Vergleich von Wärmeerzeugungskonzepten anhand eines Bürogebäudes <i>Michael Langer B.Eng.</i>	158

82	Vergleichende Untersuchung moderner Schulform mit Lernclustern und traditionellen Flurschulen anhand agentenbasierter Personenstromsimulation im Brandfall <i>Karin Lautenschläger B.Eng.</i>	160
83	Methodische Vorgehensweise zur energiewirtschaftlichen Optimierung von BHKW-Bestandsanlagen <i>Jan-Niklas Linnenschmidt B.Eng.</i>	161
84	Entwurf eines energieeffizienten Bürogebäudes unter Berücksichtigung eines ökologisch nachhaltigen Konzepts mit Einbindung eines Eisenergiespeichers <i>Rebekka Linscheidt M.Eng.</i>	162
85	Digitale Modellierung eines Einfamilienhauses & Auslegung und Planung des Heiz- und Kühlsystems <i>Kuanyu Liu M.Eng.</i>	164
86	Analyse kryogener Verflüssigungstechniken zur Herstellung von Bio-Liquefied Natural Gas <i>Jonas Lorenz B.Eng.</i>	165
87	Energetische und wirtschaftliche Untersuchung von Wärmeerzeugungssystemen - am Beispiel eines Krankenhausneubaus <i>Slawomir Lozynski B.Eng.</i>	167
88	Entwicklung eines Prüfkatalogs zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden mit Hilfe der Gebäudeautomation <i>Tammo Lüke B.Eng.</i>	169
89	Konstruktionsanalyse mittels abstrakter Modellbeschreibung am Beispiel der Produktentwicklung eines Schmierölversorgungssystems bei Stationärmotoren von Blockheizkraftwerken <i>Tim Lütke-Wenning B.Eng.</i>	170
90	Homeoffice als regelmäßiges Arbeitsmodell - Ein Modell für die Zukunft? Umsetzungsmodalitäten, Chancen und Risiken für Mitarbeiter und Betrieb am Beispiel der STF Gruppe GmbH während und nach der Corona-Krise <i>Alexandra Malkemper B.Eng.</i>	171
91	Durchführung eines Energieaudits nach DIN EN 16247-1 sowie Bilanzierung der CO₂-Emissionen am Beispiel eines Unternehmens <i>Christoph Matschke B.Eng.</i>	173
92	Biowasserstoffproduktion in Rührkesselreaktoren mit industriellem Abwasser und separierter Schweinegülle <i>Eike Meemann B.Eng.</i>	175
93	Hybrides Projektmanagement in einem Planungsbüro - Konzeption und Integration durch die Anwendung agiler Methoden in der Termin- und Ressourcenplanung <i>Matthias Merkers M.Eng.</i>	177
94	Entwicklung eines Konzeptes zur Wärme- und Kälteversorgung für die Erweiterung eines Konferenzcenters mit Bürogebäude <i>Jonah Möller B.Eng.</i>	179

95	Entwicklung und Anwendung eines Berechnungsmodells zur ökonomischen Bestimmung des am besten geeigneten WEA- Typen am Beispiel des Standortes Uplengen <i>Jonas Nahrwold B.Eng.</i>	181
96	Nationale KWK-Potenzialanalyse für die Vertriebssteuerung der 2G Energy AG <i>Beate Niehoff M.Eng.</i>	182
97	Analyse und Optimierung der CAD-gestützten Erstellung und Prüfung der Montageplanung für Kühldeckensysteme <i>Vo Quan Nguyen B.Eng.</i>	184
98	Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz durch industrielle Abwärmenutzung am Beispiel einer Gießerei <i>Louis Övermann B.Eng.</i>	186
99	Differenzierte Betrachtung der Korngrößen-spezifischen Wirksamkeit von Sedimentationsstufe und Filtereinheit in einem technischen Regenwasserfilter <i>Niklas Olbertz B.Eng.</i>	188
100	Bestimmung des optimalen Designs von Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland (2021) <i>Max Leonhard Orlowski B.Eng.</i>	190
101	Belastung und Möglichkeiten der Bewässerung von urbanem Grün unter Berücksichtigung klimatischer Veränderungen <i>Marek Pfeil B.Eng.</i>	191
102	Innovative Geschäftsmodelle für den Vertrieb in kommunalen Energieversorgungsunternehmen <i>Malte Philipps M.Eng.</i>	193
103	Variante studie zur betriebstechnischen und energetischen Optimierung eines Trinkwasser-Speicherungspumpwerks <i>Svenja Piero B.Eng.</i>	195
104	Potenzialanalyse schwimmender Photovoltaikanlagen im Landkreis Graftschaft Bentheim <i>Gregor Plascher B.Eng.</i>	196
105	Möglichkeiten einer klimaneutralen Produktion in Anlehnung an die DIN ISO 14064-1 <i>Natascha Preuß B.Eng.</i>	197
106	Analyse von Blindleistungs-Kompensationsstrategien im Verteilnetz <i>Felix Pröbstl M.Eng.</i>	199
107	Entwicklung einer exemplarischen Vorgehensweise für die Realisierung der Sektorenkopplung in ländlichen Bestandsquartieren <i>Lukas Püttmann M.Eng.</i>	201

108	Application of Biodegradable Flocculants based on Potato Starch for Nutrient Recovery in Pig Manure <i>Juliana Rolf M.Eng.</i>	203
109	Analyse und Entwicklung des Fernwärmenetzes der Stadtwerke Hamm <i>Andreas Rosenkranz M.Eng.</i>	205
110	Analyse und Optimierung der Deckung des HT und NT Wärmebedarfs innerhalb eines Wärmenetzes auf Basis einer Untersuchung der Wärmebedarfsstruktur der zu versorgenden Liegenschaften/ Wärmesenken <i>Lennart Rüschemschmidt B.Eng.</i>	207
111	Untersuchung zur Eignung von Bio-Liquefied Natural Gas (LNG) aus Biogasanlagen als Kraftstoff <i>Justus Ruhe B.Eng.</i>	209
112	Digitalisierung für technisches Energiecontrolling am Beispiel eines Mini-BHKW <i>Tim Sander B.Eng.</i>	211
113	Nutzungsmöglichkeiten für grünen Wasserstoff im ländlichen Raum <i>Mark Scheffler M.Eng.</i>	213
114	Life Cycle Assessment für ein containerbasiertes Wohngebäude unter Berücksichtigung des Autarkiegrades <i>André Schippmann M.Eng.</i>	215
115	Erstellung eines Berechnungsmodells zur Bewertung, zum Betrieb und zur Ertüchtigung von geschlossenen Räumen vor dem Hintergrund der Infektiosität luft-getragener SARS-CoV-2-Viren <i>Christian Schlüter M.Eng.</i>	217
116	Auswirkungen der Elektromobilität auf das Niederspannungsnetz <i>Hendrik Schmeinck B.Eng.</i>	218
117	Bilanzierung der sommerlichen Kohlenstoffflüsse nach Wiedervernässung eines ehemaligen Torfabbaugesbietes in Schweden <i>Leon Schröder B.Eng.</i>	220
118	Einführung von digitalen Planungsprozessen in ein ausführendes Unternehmen in der TGA <i>Boris Schulze M.Eng.</i>	222
119	Machbarkeitsstudie für die Entwicklung eines Elektrolyseur-Standortes zur Erzeugung von grünem Wasserstoff <i>Annkatrin Senker B.Eng.</i>	224
120	Sanierung der Überleitung vom Pumpwerk Ölper zum Klärwerk Steinhof - Sicherstellung einer redundanten Abwasserableitung <i>Alexander Siemens B.Eng.</i>	226
121	Durchführbarkeit des Ames-Tests im Rahmen des Mikrobiologischen Praktikums und der Vergleich verschiedener Stoffe in weiteren Toxizitätstests <i>Nils Siering B.Eng.</i>	228

122	Fortschreibung des Energiekonzeptes für ein Quartier mit Hilfe des Open Energy Modelling Frameworks <i>Piriyanha Sivabalasingam M.Eng.</i>	230
123	Einbindung eines Organic-Rankine-Prozesses in eine BHKW-Anlage <i>Philipp Sommer B.Eng.</i>	232
124	Untersuchung und Visualisierung der Trinkwasserbedarfe in gewerblichen Betrieben der Kategorie B und C nach den technischen Regeln für Arbeitsstätten <i>Tobias Spahn B.Eng.</i>	235
125	Erstellung eines Genehmigungsleitfadens für einen Wasserstoffelektrolyseur der Megawattklasse <i>Julian Speller M.Eng.</i>	235
126	Flexibilitätssteigerung von Wasserkraftstandorten an der Mosel durch die Kombination von Wasserkraftanlage und Batteriesystem <i>Philipp Stauß M.Eng.</i>	237
127	Planung einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage für den Ersatzneubau „Physikalisches Institut“ der Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster <i>Dennis Steffens B.Eng.</i>	238
128	Indoor-Maßnahme zur Emissionsminderung in der Mastschweinehaltung. Untersuchung und Auswirkungsbetrachtung einer Bakteriensuspension <i>Silva Stienemeyer M.Eng.</i>	240
129	Wasserstoffantriebe bei Umsetzfahrzeugen am IKEA Distributionss-standort in Dortmund als Alternative zur Elektromobilität <i>Lukas Stockhausen M.Eng.</i>	242
130	Technologische Analyse und Bewertung der Energieversorgung in einem bestehenden Laborgebäude unter Beachtung der örtlichen Randbedingungen im Hinblick auf die gesamtheitliche Effizienzsteigerung <i>Sven Stockhorst M.Eng.</i>	244
131	Entwicklung eines Energieversorgungskonzeptes für einen Neubau eines Krankenhauses <i>Maik Stratmann B.Eng.</i>	246
132	Untersuchung klimatischer Entwicklungen und deren Auswirkungen auf Stadtklima und urbanes Grün im Münsterland <i>Henning Strüwe M.Eng.</i>	247
133	Berechnung der theoretischen Energieeinsparung durch den energie- optimierten Betrieb verschiedener Kälteerzeuger eines Verwaltungsgebäudes <i>Christopher Sudenfeld B.Eng.</i>	249
134	Anhydrous Ammonia - An Analysis for the Application in Germany <i>Leonhard Talanow B.Eng.</i>	251

135	Konzeption eines Leitungsboards für ein hybrides Multiprojektmanagement - dargestellt am Beispiel eines TGA-Planungsbüros <i>Tim Tecklenborg M.Eng.</i>	253
136	Untersuchung zur Auslegung von Trinkwassererwärmern aufgrund veränderter Wärmeerzeugerprofile <i>Jonas Tegeler B.Eng.</i>	255
137	Entwicklung eines Berechnungsprogramms zur Prognose und Bewertung nachhaltiger ortsspezifischen Wärmeversorgungssysteme <i>Gordon Teoh M.Eng.</i>	257
138	Wirtschaftliches Potential von Condition Monitoring Systemen an elektrischen Bauteilen in Windenergieanlagen <i>Jan Niklas Tockloth B.Eng.</i>	259
139	Technische und wirtschaftliche Betrachtung unterschiedlicher heizungstechnischer Systemkombinationen anhand eines Bauvorhabens <i>Luca Vöckel B.Eng.</i>	260
140	Energetische Betrachtungen zum Warmwasserverbrauch eines Mehrfamilienhauses in Ludwigsfelde <i>Yiwei Wang B.Eng.</i>	262
141	Analyse der Konkurrenzfähigkeit solarer Kühlung auf dem deutschen Markt <i>Alex Weber B.Eng.</i>	263
142	Theoretische Untersuchung der Lüftungseffektivität eines Belüftungsverfahrens mittels CFD <i>Marlon Wehland B.Eng.</i>	265
143	Machbarkeitsstudie für ein Wärmenetz gemäß den Vorgaben des BAFA Förderprogramms Wärmenetzsysteme 4.0 am Beispiel Rombergpark Dortmund <i>Stephan Weiß B.Eng.</i>	267
144	Entwicklung einer Schullüftung mit Zentralgerät und Einzelanlagen zur Energieeinsparung und Verbesserung der Luftversorgung <i>Patrick Weßeler B.Eng.</i>	268
145	Energiemonitoring und energetische Analyse für einen Produktionsbetrieb in der Lebensmittelbranche <i>Julian Westerhorstmann B.Eng.</i>	270
146	Investigations on protozoa and metazoa communities in an industrial activated sludge process <i>Damian Wevelsiep M.Eng.</i>	272
147	Untersuchung eines kolbenbasierten Druckhaltesystems als Alternative zu einem statischen Membran- Druckausdehnungsgefäß <i>David Wiethölter B.Eng.</i>	274

148	Kapazitätsanalysen zur Umstellung von Erdgas-Verteilnetzen auf eine Wasserstoff-Infrastruktur in der Region Ems-Vechte <i>Martin Wiggering M.Eng.</i>	276
149	Entwurf und überschlägige Bemessung einer Grundwasserbehandlungsanlage zur Behandlung kokereitypischer Schadstoffe <i>Tim Wissel M.Eng.</i>	278
150	Programmierung von alternativen Zeta-Werten in der Kanalnetzberechnung unter Revit auf der Basis von Literaturwerten <i>Justin Zeiger B.Eng.</i>	280
151	Entwicklung eines softwaregestützten BIM-AVA-Prozesses zur modelbasierten Massen- und Kostenermittlung anhand von BIM-Gebäudetechnikmodellen <i>Menhui Zhang M.Eng.</i>	282
152	Untersuchung der Auswirkungen des Ausspülens der Warmwasserleitung über den Spülkasten auf die Temperaturentwicklung in der Vorwand und dem Spülkasten <i>Yifan Zhang B.Eng.</i>	283
153	Anbindung einer kapazitiven Last an eine SPS-Steuerung <i>Yixin Zhang B.Eng.</i>	285
154	Optimierung der Schwefelwasserstoffentfernung hinsichtlich der Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität <i>Roman Zurhold B.Eng.</i>	286

Epiphytische Flechten als Bioindikatoren zur Beurteilung des Stadtklimas am Beispiel Münster

Michael Abbing B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer: Dr. rer. nat. Norbert J. Stapper

Datum des Kolloquiums: 27. Oktober 2021

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Umwelttechnik



Die Folgen des anthropogenen Klimawandels stellen viele Bereiche des öffentlichen Lebens vor neue große Herausforderungen. Besonders gravierend sind die Folgen für urbane Ballungsgebiete, in denen die steigende Durchschnittstemperatur die Problematik der städtischen Überwärmung weiter verstärkt. Dabei erhöht sich die Temperatur in der Stadt im Vergleich zum Umland auf bis zu 3 Kelvin im Tagesmittel und es kommt zur Ausbildung lokaler Überwärmungszonen, den städtischen Hitzeinseln. Grundlage für die mikroklimatischen Veränderungen ist die zunehmende Flächenversiegelung durch Siedlungs- und Verkehrsflächen, der Rückgang von grüner und blauer Infrastruktur, sowie die Abwärme durch technische Prozesse. Die zunehmende Hitzebelastung birgt besonders in den sommerlichen Monaten zusätzliches Risiko für die vulnerablen Bevölkerungsgruppen, wie Kinder, Kranke oder ältere Menschen.

Um die beschriebenen Klimaveränderungen in Zukunft quantifizieren zu können, wird in dieser Arbeit ein Biomonitoringverfahren mit epiphytischen Flechten entwickelt und praktisch im Stadtgebiet Münster angewendet. Als epiphytische Flechten bezeichnet man den farben- und formenfrohen Bewuchs der Borke heimischer Bäume. Flechten bestehen aus der Symbiose eines Pilzes (Mycobiont) und einer Alge (Photobiont). Diese Lebensform reagiert sensibel auf chemische und physikalische Veränderungen, sodass sich Flechten besonders gut als Indikatoren für Umweltverhältnisse eignen. Für die Untersuchung wurden 100 Bäume in einem Gebiet von zehn Quadratkilometern auf den Flechtenbewuchs untersucht. Dabei enthält das gewählte Transekt einen Temperaturgradienten, d.h. dass die Wärmebelastung von den Vororten bis zu der Innenstadt immer weiter zunimmt. Die Vorkommnisse der Flechtenarten werden mit den Daten des Klimaanpassungskonzeptes der Stadt Münster zu der städtischen Überwärmung sowie dem vorliegenden Versiegelungsgrades verglichen, um eine geeignete Indikatorart zu finden. Ebenfalls erfolgt ein Vergleich mit der Untersuchung zum Klimafolgenmonitoring Düsseldorf.



Abb 1: Überwärmung des städtischen Gebiets

Die statistische Auswertung der vorliegenden Flechtenflora ergab, dass sich die Blattflechte *Phaeophyscia orbicularis* als signifikante Indikatorart für städtische Überwärmung bestätigt hat. Diese Flechte ist besonders resistent gegenüber den stadtüblichen erhöhten Temperaturen und der verminderten Luftfeuchtigkeit, und ist daher besonders im Innenstadtbereich anzutreffen. *Punctelia subrudecta* eignet sich als Indikatorart für die vorstadtähnliche abgeschwächte Wärmebelastung. Die beobachteten Strauchflechten und die Krustenflechte *Lepraria incana* sind Indizien für windoffene und lockere Bebauung. Die Blattflechte *Xanthoria parietina* ist aufgrund der Ammoniakbelastung durch intensive Landwirtschaft besonders häufig in den Randgebieten der Stadt anzutreffen. Als Handlungsmöglichkeiten für eine lebenswerte Zukunft in Stadtgebieten werden weiterführend klimaresiliente städtebauliche Planungs- und Zukunftstechnologien vorgestellt.

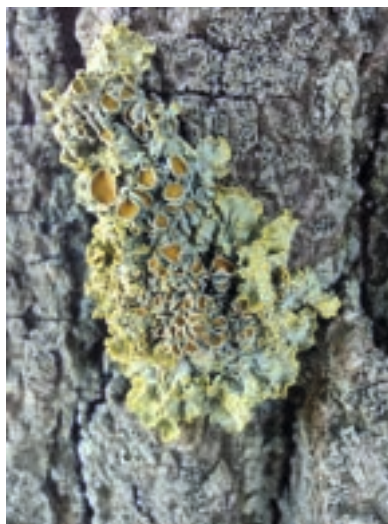


Abb 2: Flechte *Xanthoria parietina*

Erarbeitung von Anforderungen an die Trinkwasserhygiene und an den Verbrühungsschutz beim Einsatz von Sanitärarmaturen mit hohem Berechnungsdurchfluss und hohem Mindestfließdruck

Lutz Albers B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	M.Eng. Sören Möller
Datum des Kolloquiums:	12. November 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Labor Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	EVERSMANN - beratende Ingenieure



In der Sanitärtechnik wandelt sich die Gestaltung von Bädern immer mehr von einem Zweckbereich zu einem Ort für Wellness und Erholung. So hat sich beispielsweise die Dusche von einer normalen Handbrause zu einer Raindance-Armatur entwickelt, bis hin zu Erlebnisduschen mit gleich mehreren Wasserauslässen, sowie dem Einsatz von Licht, Duft und Akustik. Dabei können mit Hilfe von elektronischen Bedienelementen verschiedene Szenarien für die Wasserauslassstellen, zum Beispiel zur Hydrotherapie nach Kneipp, automatisch abgespielt werden. Durch die technologische Weiterentwicklung des Bades, auch im Bereich der Einfamilienhäuser, ergeben sich sowohl für die Planung als auch für den späteren Betrieb besondere Anforderungen, um die Trinkwasserhygiene und den Verbrühungsschutz zu gewährleisten.

Die in dieser Bachelorarbeit behandelten Luxusarmaturen mit hohem Berechnungsdurchfluss und hohem Mindestfließdruck werden im Masterbad eingebaut. Dort sind zwei gegenüberliegende „Vertical-Shower“, eine „Comfort-Shower“ und eine „Horizontal-Shower“ geplant. Für die beiden „Vertical-Shower“ sowie für die „Horizontal-Shower“ gibt die Firma Dornbracht einen Berechnungsdurchfluss von 70 l/min an. Für die „Comfort-Shower“ mit der Zusatzoption „Leg-Shower“ wird ein Berechnungsdurchfluss von 111,5 l/min angegeben. Der Bauherr stellt sich eine mögliche gleichzeitige Nutzung der beiden „Vertical-Shower“ oder eine gleichzeitige Nutzung von „Comfort-Shower“ und „Horizontal-Shower“ vor.

Um für die Dornbracht-Armaturen die empfohlene Wasserhärte zu gewährleisten, wird hier eine Enthärtungsanlage installiert, mit der das Trinkwasser von 10,08 °dH auf 6 °dH enthärtet wird.

Die empfohlenen Fließdrücke von 3 bar für die Armaturen werden durch eine Druckerhöhungsanlage erzielt.

Zur Versorgung mit Warmwasser wird ein Speicher-Ladesystem mit einer Warmwasser-Zirkulation eingesetzt. Durch das Speicher-Ladesystem ist ein gleichzeitiges Ent- und Beladen des Speichers möglich, sodass eine hohe Zapfrate an Trinkwarmwasser gewährleistet werden kann.

Das Masterbad liegt am Ende des Fließwegs und wird nicht als ganze Einheit über einen Strömungsteiler versorgt. Die Planungsanleitungen der Firma Dornbracht geben zur Installation vor, dass die 2e VALVES₂ im Kalt- und Warmwasser jeweils

in einem Ring verschaltet werden, der durch eine T-Stück-Installation ausgebildet wird. Dabei entsteht bei jeder der vier Duschen eine Rohrleitungsstrecke, in der Wasser stagnieren kann und so ein Gefahrenpotenzial für Legionellenbildung entsteht.

Aus diesem Grund sieht das Konzept für dieses Bauvorhaben vor, jede Dusche über je einen Strömungsteiler im PWC und PWH anzubinden und so die „eVALVES“ im Ring zu verschalten. So wird eine Stagnation von Wasser vermieden, auch wenn eine Dusche mehrere Tage nicht genutzt werden sollte.

Analyse des Einflusses der Bauform von Kreiselpumpen auf die hydraulischen Axialkräfte

Arthur Appel M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Thomas Müller
Datum des Kolloquiums:	19. Mai 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	WILO SE



In einer Vielzahl von technischen Prozessen dienen Kreiselpumpen zur kontinuierlichen und weitestgehend pulsationsfreien Förderung von Fluiden, wie z. B. in der Verfahrenstechnik, Ver- und Entsorgungstechnik bis hin zur Gebäudetechnik. In einer Kreiselpumpe wirkt auf das Laufrad ein Druckfeld. Resultierend aus diesem Druckfeld greifen an dem Laufrad hydraulische Kräfte und Momente an. Die hydraulische Axialkraft ist wesentlich auf die Kräfte zurückzuführen, welche aufgrund der Druckverteilungen in den Radseitenräumen auf die Radscheiben des Laufrads wirken. Die Druckverteilung wiederum wird von der Strömung im Radseitenraum beeinflusst und somit sind die Kräfte von der Bauform der Kreiselpumpe abhängig. Für die Auslegung der Welle und der Lager einer Kreiselpumpe ist eine möglichst exakte Vorhersage dieser Kräfte erforderlich, welche dementsprechend die Bauform der Kreiselpumpe berücksichtigen sollte.

Die in der einschlägigen Literatur bekannten Ansätze zur Abschätzung der hydraulischen Axialkräfte sind mit großen Toleranzbereichen versehen und berücksichtigen nicht vollständig die tatsächlichen geometrischen Verhältnisse der Kreiselpumpe. Infolgedessen ist es nicht möglich, den Ansatz zur Axialkraftberechnung mit hoher Vorhersagegenauigkeit ohne Weiteres auf sämtliche Bauformen von Kreiselpumpen anzuwenden.

Das Ziel der Arbeit ist es, mit Hilfe numerischer Strömungssimulationen die Axialkraftberechnung im Hinblick auf die geometrischen Verhältnisse zu erweitern und somit die Vorhersagegenauigkeit der Berechnung zu erhöhen. In drei Studien werden mögliche Einflussgrößen analysiert, wie z. B. die Baugröße, die Drehzahl, verschiedene Gehäuseparameter sowie die Fluidströme der Kreiselpumpe. Zur Optimierung der Axialkraftberechnung werden neue Rechenmodelle auf Grundlage der Studien entwickelt und mit dem bisherigen Ansatz zu einem neuen Formelwerk zusammengetragen.

Technische Analyse über die Umstellung einer Erdgashochdruckleitung für den Transport von Druckwasserstoff

Maria Camila Arango Restrepo M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmidt
 Zweitprüfer: Florian Adämmer M. Eng
 Datum des Kolloquiums: 30. Oktober 2020
 Master-Studiengang: Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
 Studienrichtung: Energietechnik



Die Energieherausforderungen für die Zukunft beruhen auf der Substitution endlicher und zunehmend knapper werdenden, nicht erneuerbarer Ressourcen aus Kohlenwasserstoffen wie Erdöl, Erdgas und Kohle. Die Verringerung der Luftschadstoffkonzentration spielt dabei eine wichtige Rolle und fordert klimatische Verpflichtungen der Regierungen, die Energieziele für die Reduzierung von Treibhausgasemissionen setzen. Beispielsweise wird bis 2050 erwartet, dass in Deutschland 80 % bis 95 % der CO₂- Emissionen gegenüber 1990 verringert werden und damit fast der gesamte Energiebedarf aus erneuerbaren Energien besteht. Aus diesem Grund wird derzeit intensiv nach Lösungen gesucht, um die angestrebten klimapolitischen Ziele zu erreichen.

Die Verwendung von Wasserstoff als saubere Quelle alternativer Energien kann eine der innovativsten und effektivsten Technologien werden. Wasserstoff ist das am häufigsten vorkommende und das leichteste Element im Universum und kann bei Verwendung als Energieressource zu einem Brennstoff werden, der fast endlos und frei von Kohlenstoff ist. Die Erzeugung von Wasserstoff kann durch sogenannte Power to Gas Verfahren erfolgen. Hierzu kann elektrische Energie verwendet werden, um die durch Klimaschwankungen verursachten Differenzen zwischen Verbrauch und Erzeugung abzubauen und ein stabileres Energieversorgungssystem aufzubauen.

Um ein sicheres aber gleichzeitig flexibles Energiesystem über alle Sektoren hinweg aufbauen zu können, spielt die Power-to-Wasserstoff-Technologie neben weiteren Power-to-X-Technologien eine wichtige Rolle. Dabei ist der leitungsgebundene Wasserstofftransport ein wichtiger Aspekt, um die Energieversorgung sektorenübergreifend bis zu den Verbrauchsschwerpunkten sicherzustellen. Als Beispiel kann die Initiative Get H₂ genannt werden, deren Ziel die Entwicklung einer Wasserstoffinfrastruktur zur Produktion, Abnahme, Transport und Speicherung von grünem Wasserstoff ist. Hierzu soll ein Teil der bestehenden Erdgasinfrastruktur der Nowega GmbH genutzt werden. Die Frage der Wasserstofftauglichkeit einer zuvor für den Erdgastransport genutzten Leitung ist bisher nicht abschließend zu beantworten. Aus diesem Grund wurde in dieser Arbeit analysiert, ob eine bestehende von der Nowega GmbH ausgewählte Erdgasleitung für den Transport von reinen bzw. ultrahochreinen Druckwasserstoff im Rahmen der Get H₂ Initiative genutzt werden kann und welche technischen Maßnahmen für eine erfolgreiche Leitungsumstellung erforderlich sind. Dabei liegt der Rahmen dieser Arbeit insbesondere auf der werkstofftechnischen Bewertung der Rohrleitung unter festigkeits- und bruchmechanischen Gesichtspunkten.

In der technischen Analyse wurden die wasserstoffbedingten Beeinflussungen des Grundmaterials und der Schweißnähte der Rohrleitung bewertet. Dabei beschränkt sich die Bewertung auf das Grundmaterial der Leitung. Nach einer Analyse möglicher Schädigungsmechanismen wurde ein rechnerischer festigkeits- sowie bruchmechanischer Nachweis unter Wasserstoffatmosphäre durchgeführt, um zu bestimmen, ob die Leitung für den Wasserstofftransport geeignet ist. Hierzu wurde eine Ermüdungsrisswachstumsberechnung, basierend auf den historischen sowie prognostizierten Druckschwankungen während der Lebensdauer der Leitung, durchgeführt. Es wurde ein Anfangsris mit einer definierten Geometrie angenommen, der bis zu einer kritischen Risstiefe wachsen kann. Als Ergebnis wurde eine Lebensdauerprognose auf Basis der vorangegangenen Risswachstumsberechnungen dargestellt, die zur Beurteilung der Eignung der Leitung für den Wasserstofftransport diene.

Auf Basis der vorangegangenen Analysen wurde festgestellt, dass unter Wasserstoffatmosphäre vorhandene Risse zur Wasserstoffversprödung führen können und sie unter Druckspannung schneller wachsen können. Aus diesem Grund war eine Ermüdungsrisswachstumsauswertung notwendig, um die Tauglichkeit einer Rohrleitung auf Wasserstoff zu prüfen. Dafür wurde ein Tool zur Lebensdauerberechnung der Leitung unter Wasserstoffatmosphäre entwickelt, indem der zyklische Spannungsintensitätsfaktor, das Risswachstum und die kritische Risstiefe bestimmt wurden.

Das Tool hat gezeigt, dass die Leitung für den Wasserstofftransport geeignet ist, da angenommene Risstiefen von 30 % bis 45 % der Wanddicke kein unkontrolliertes Risswachstum für die Leitung darstellen. Obwohl bereits durchgeführte Materialuntersuchungen von Standardrohrleitungsstählen verschiedene Parameter für den Festigkeits- und bruchmechanischen Nachweis liefern, wird empfohlen, zusätzliche Materialprüfungen und eine Ultraschallmohlung durchzuführen und somit die Integrität der Leitung für den Wasserstofftransport zu gewährleisten.

Wie beeinflussen Abstandsregelungen die für die Windkraft zur Verfügung stehende Fläche?

Mouad Arbia B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Datum des Kolloquiums: 27. März 2020

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik

Studienrichtung: Energietechnik



Anhand der Vielzahl an frei zugänglichen Ressourcen wie zum Beispiel freier Software und Geodaten, wurde im Rahmen dieser Arbeit der Frage nachgegangen: wie beeinflussen die Abstandsregelungen in NRW die für die Windkraft zur Verfügung stehende Fläche (Flächenkulisse).

Hierzu wurden unter Beachtung des gesetzlich geltenden Rahmens die für eine Potenzialflächenanalyse im geografischen Informationssystem QGIS erforderlichen Anwendungsschritte aufgezeigt. Die Ergebnisse der Analyse sind ausschließlich im Kontext der hier genutzten Datengrundlage, der getroffenen Annahmen und der genannten Einschränkungen hinsichtlich der Realisierbarkeit des Leistungspotenzials gültig. Die verbleibende Flächenkulisse, in Abhängigkeit der jeweiligen Siedlungsabstände, wurde in zwei Varianten durch Pufferung der Basis-DLM Objektarten „Wohnbaufläche“ und „Fläche gemischter Nutzung“ bestimmt, wobei in Variante 1 ausschließlich „Wohnbaufläche“ in Variante 2 beide Objektarten einbezogen wurden.

Flächen-, Leistungs- und Ertragspotenzial je Pufferabstand sind theoretische Werte. In der Praxis wird das tatsächlich realisierbare Potenzial vor allem aufgrund genehmigungsrechtlicher Hürden (Naturschutz, Flugsicherheit, Militär usw.) deutlich geringer ausfallen. Sehr deutlich konnte bei dieser Analyse gezeigt werden, dass bei einem Pufferabstand von 1000 m bereits das Flächen-, Leistungs- und Ertragspotenzial für die Windenergienutzung stark reduzieren.

Bestimmung des stündlichen Wärmebedarfs von Wohngebäuden auf der Basis lokaler Wetterdatensätze, unter Zuhilfenahme der DIN 4108

Oscar Benedict Aßmann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	10. Juni 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	dem Projekt R2Q „RessourcenPlan im Quartier“, gefördert durch das Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF)



Bei der Überplanung von Stadtgebieten oder Quartieren zur Erreichung der angestrebten Energiewende besitzt die energetische Betrachtung der Gebäude eine zentrale Bedeutung. Auf den Wärmebedarf der Gebäude haben sich u.a. Energieversorger, Stadtplaner und nicht zuletzt Hauseigentümer mit Sanierungsmaßnahmen einzustellen. Die Informationen zur Ermittlung des Wärmebedarfs von Gebäuden können sicherlich für jedes Gebäude einzeln erfasst werden. Steht die Ermittlung des Wärmebedarfs mehrerer Gebäude, gar eines Quartiers, an, geraten auch aufwandsbedingte Kosten und Zeitaufwand in den Fokus der Betrachtung; oftmals sind konkrete Daten z.B. aufgrund von Datenschutznormen nicht einmal verfügbar oder es sind ausschließlich statistische Werte zugänglich.

Ziel der Arbeit war es, trotz reduzierter Eingabe von gebäudescharfen Daten, belastbare Aussagen zum Wärmebedarf eines einzelnen Gebäudes, von Gebäudekomplexen oder eines Quartiers zu ermöglichen. Um die vereinfachte Ermittlung von Daten zudem übertragbar zu gestalten, war die Definierung einer eigenen Methode mit den Parametern einer Excel-Tabelle als Werkzeug unumgänglich. Hierbei lag datentechnisch ein Schwerpunkt in der Erfassung des stundengenauen Bedarfs.

Für die Bestimmung des stündlichen Wärmebedarfs zeigte sich eine hybride Vorgehensweise geeignet, die aus dem statistischen und bauphysikalischen Ansatz gebildet wurde. Die Methode musste schließlich detailliert die Berechnungsschritte enthalten, die für die Berechnung des Wärmebedarfs unter Berücksichtigung der DIN 4108 immer objektiv vorausgesetzt werden, wie z.B. die für den Transmissionswärmeverlust. In Ermangelung konkreter Daten wurden Erkenntnisse aus Statistiken verwendet, z.B. zur Beschaffenheit von Gebäuden dem Baujahr entsprechend. Auch in Abgrenzung zu Fabrikgebäuden oder zu besonderen dominierenden Gebäuden eines Quartiers wurden die maßgeblichen baulichen Eckdaten eines Gebäude-Standardmodells festgehalten. Zur gewünschten Einzelbetrachtung von Gebäuden blieb letztlich erforderlich, individuell und konkret einzelne gebäudespezifische Informationen vor Ort zu erfassen, wie Grundmaße, Höhe und dergleichen. Soweit weitere gebäudescharfe Informationen zugänglich sind (z.B. zum Renovierungsstand oder bauliche Ausrichtung) können die Wärmedaten eines Gebäudes ergänzend genauer präzisiert werden. Regional individuell ist die stundengenaue Berücksichtigung der Wetterdaten.

Durchgeführte Tests mit einem realem Gebäude und mit einer Mehrzahl von Gebäuden in einem Quartier erfüllten die Erwartungen an das erstellte Tool, belastbare Feststellungen zum stundengenauen Wärmebedarf zu treffen und Aussagen zum Sanierungsstand zu ermöglichen.

Letztlich handelt es sich bei den mit dem Tool ermittelten und ermittelbaren Ergebnissen um eine Form von Kompromiss, der aber in Richtung Feststellung eines jeden einzelnen subjektiven Gebäudes mit seinem stundengenauen Wärmebedarf auf Basis lokaler Wetterdaten verlässlich ist.

Lässt man die Erkenntnis zu, dass Stadtteile über die Häufigkeit von Gebäudearten ihren Charakter definieren, erhält man mit statistischen Werten einen Entwicklungsansatz. Begünstigt man statistische Werte gegenüber einer gebäudescharfen Einzelbetrachtung, wird eine Basisplanung mit mehr Verlass und ohne auskargende Einzelmerkmale geschaffen. Aufgrund der statistischen Werte ist das Ergebnis ein eher summarisches, das aber mit weiteren Informationen spezifiziert und übertragen werden kann. Zudem: Der Einsatz statistischer Werte bei besonderer Betrachtung spezieller Arten von Gebäuden lässt die Option zusätzlicher Binnendifferenzierung innerhalb eines größeren Quartiers zu; die Bewertung eines Quartiers kann spezifiziert werden durch eine Einzelbetrachtung quartiersdominierender Gebäude außerhalb des Tools. Die Wetterdaten des Deutschen Wetterdienstes stehen für viele Orte in der Bundesrepublik seit 1951 zur Verfügung und erfassen klimatische Veränderungen.

Die stundengenaue Betrachtung weist in Richtung Ausnutzung der Möglichkeiten, die die zunehmende Digitalisierung eröffnet. Das Spektrum der Erkenntnisse, Entwicklungen und Anwendungen reicht von der Optimierung der Gebäudeheizung und der Haustechnik bis zur Optimierung der Stromnetzwerke und der Energieversorgung. Es besteht zudem die Aussicht, einen nicht wärmeprofessionellen Verbraucher angesichts steigender Energiekosten für ein bewussteres Verhalten zu sensibilisieren.

Wirtschaftlichkeitsanalyse Wasserstoffherstellung aus Windenergie. Machbarkeitsstudie am Beispiel des Windparks Nordkirchen der Enertrag AG.

Lukas Bakenecker M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
 Zweitprüfer: M.Sc. Andreas Nelles
 Datum des Kolloquiums: 10. Dezember 2020
 Master-Studiengang: Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
 Studienrichtung: Energietechnik
 in Kooperation mit: Enertrag AG



Die Enertrag AG möchte für den geplanten Windstandort Nordkirchen herausfinden, ob der Betrieb einer Elektrolyseanlage zur Herstellung von grünem Wasserstoff aus Windstrom wirtschaftlich ist. Am Standort Nordkirchen sind für 2024 zwei Windkraftanlagen mit einer Nennleistung von jeweils 4,2 MW geplant sowie optional ein Elektrolyseur, der mit einer Leistung von 1,5 MW angenommen wird. In der Venneker-Gruppe gäbe es einen Abnehmer für den Wasserstoff, der plant, damit Brennstoffzellen-LKW zu betreiben, wenn sich dies als wirtschaftlich gegenüber Diesel-LKW erweist.

In der Arbeit werden Preise pro kg Wasserstoff aus Sicht der Enertrag AG und der Venneker-Gruppe ermittelt, die dazu führen, dass die beiden Projektvarianten (Windpark mit – und ohne Elektrolyseanlage) wirtschaftlich gleichwertig werden. Sollte der so ermittelte Grenzpreis der Enertrag AG als Anbieter hierbei unter dem der Venneker-Gruppe als Abnehmer liegen, kann das Projekt wirtschaftlich erfolgreich sein. Außerdem soll der Einfluss des Projektes auf die CO₂-Bilanz ermittelt werden.

Die Berechnung der Preise erfolgt über den Projektzeitraum des Windkraftprojektes von 20 Jahren. Sie wird mit Hilfe einer modifizierten Cashflowanalyse ermittelt, für den Grenzpreis bei Enertrag zusätzlich mit Hilfe einer Kapitalwertbetrachtung und der Ermittlung der Eigenkapitalrendite. Es ergeben sich folgende Grenzpreise, wenn man die gegenwärtigen rechtlichen Rahmenbedingungen als Parameter zugrunde legt:

	Wirtschaftlichkeitsmethode	Wasserstoffpreis [€/kg]
Enertrag AG	Cashflowanalyse	9,34
	Kapitalwertmethode	9,93
	Eigenkapitalrendite	9,96
Venneker Gruppe	Cashflowanalyse	-0,49

Des Weiteren wurde der Einfluss von folgenden Parametervariationen auf den Wasserstoffgrenzpreis für Enertrag untersucht:

- Entfall der EEG-Umlage,
- Entfall der Entschädigung für Ausfallarbeit und Redispatch-Maßnahmen,
- Änderung des § 51 EEG entsprechend dem Referentenentwurf, der eine verringerte Vergütung von Windkraftanlagen bei negativen Strompreisen vorsieht,
- Investitionsförderung in Höhe von 65 % für die Elektrolyseanlage sowie
- Kostenannahmen für Windparks und Elektrolyseanlagen aus Literaturquellen.

Je nach Parametervariation konnten Preise zwischen 5,243 € bei Investitionsförderung und 10,648 € pro kg Wasserstoff bei Entfall der Entschädigung für Ausfallarbeit und Redispatch-Maßnahmen ermittelt werden. Der Einflüsse der EEG-Umlage und der Investitionsförderung auf den Wasserstoffpreis waren hierbei mit Abstand am größten.

Für die Venneker-Gruppe wurde der Einfluss der gesetzlichen Vorgaben zur CO₂-Bepreisung von Dieselmotoren ab 2021 untersucht. Es ergaben sich Grenzpreise zwischen -0,939 € und 0,022 € pro kg Wasserstoff, die für die Erreichung der Wirtschaftlichkeitsschwelle höchstens gezahlt werden könnten. Vor allem sind hierfür die hohen Anschaffungskosten für Wasserstoff-LKW verantwortlich, die derzeit noch ca. das 7-fache eines Diesel-LKW betragen.

Somit wird deutlich, dass ohne eine massive Investitionsförderung für die Venneker-Gruppe und ohne erhebliche Verbesserung der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen für die Enertrag AG das Projekt nicht wirtschaftlich durchführbar ist.

Schließlich wurde auch die CO₂-Bilanz untersucht. Bei dem Projekt mit Wasserstoffherstellung wird genug Wasserstoff erzeugt, um 9 Diesel-LKW zu ersetzen. Hierbei würden CO₂-Emissionen von 968 t pro Jahr durch den Ersatz von Diesel-Treibstoff eingespart. Wird das Projekt hingegen ohne Wasserstoffherstellung durchgeführt, werden fossile Energieträger zur Stromerzeugung ersetzt. Hierbei ergibt sich eine Einsparung nach aktuellem Strommix (ohne Berücksichtigung der Kernkraft) von 5.790 t CO₂ pro Jahr. Auch bei der Betrachtung der CO₂-Bilanz ist somit festzustellen, dass das Wasserstoffprojekt zur Zeit noch nicht lohnend ist, wenn man es mit dem aktuellen Strommix vergleicht, sowie die Produktion von Wasserstoff der Einspeisung elektrischer Energie in das Stromnetz vorzieht. Wenn z. B. nur die Ausfallarbeit zur Erzeugung von Wasserstoff genutzt wird oder sich künftig die Stromerzeugungsstruktur ändert, sollten sich deutlich abweichende Ergebnisse einstellen.

Entwicklung einer grafischen Benutzeroberfläche zur Erstellung eines FDS-Skriptes für die strömungstechnische Simulation von Torluftschleieranlagen mit Doppelstrahltechnologie

Philipp Baron M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	20. September 2019
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Labor Raumluft- und Kältetechnik
in Kooperation mit:	Firma Kampmann



Torluftschleieranlagen gehören mittlerweile zum Ausrüstungsstandard für Industrie- und Verkehrsgebäude, um gezielt die warme Raumluft von der kalten Außenluft abzuschirmen. Die Motivation der Planer und Betreiber sind nicht nur die möglichen energetischen Einsparungen und der Komfortgewinn, sondern auch die verschärfte Anforderung des Gesetzgebers durch die Energieeinsparverordnung EnEV. Laut dem Ordnungsgeber soll die EnEV „dazu beitragen, dass die energiepolitischen Ziele der Bundesregierung, insbesondere ein nahezu klimaneutraler Gebäudebestand bis zum Jahr 2050, erreicht werden“. Die Verordnung fordert eine möglichst luftdichte Gebäudehülle zur Senkung der Wärmeverluste. Besonders bei stark frequentierten Eingangsbereichen oder Tordurchfahrten entstehen hohe Energieverluste. Dies können Torluftschleieranlagen bei optimaler Auslegung verhindern.

Je nach Anwendungsfall sind Heizleistungen von bis zu 400 kW/m erforderlich, um eine wirksame Abdichtung zu erreichen. Das birgt ein erhebliches Energieeinsparpotential, welches für den Betreiber wünschenswert ist, um die Betriebskosten zu senken. Der Hersteller ist ebenfalls interessiert, möglichst energieeffiziente Geräte zu produzieren, um gegenüber der Konkurrenz bestehen und die aktuelle Ökodesign-Richtlinie der EU einhalten zu können.

Torluftschleieranlagen sollten im Idealfall nur die benötigte Luftmenge mit der entsprechenden Lufttemperatur an der Öffnung zur Verfügung stellen. Der niederländische Auslegungsstandard „ISSO-publicatie 110“ bietet einen ersten Anhaltspunkt dazu. In ihm sind nicht nur die Auslegungsschritte beschrieben, sondern es gibt auch eine kurze Einführung in die allgemeine Thematik. Die Überprüfung der Funktionsfähigkeit einer Torluftschleieranlage erfolgt jedoch in der Regel erst bei Inbetriebnahme. Zur vorherigen Überprüfung kann die numerische Strömungsmechanik, im Allgemeinen bekannt unter dem englischen Begriff CFD, eingesetzt werden.

Diese nichtlinearen partiellen Differentialgleichungen werden mithilfe von speziellen CFD-Programmen gelöst, es gibt hier verschiedene Programme für verschiedene Zwecke. Im Rahmen dieser Arbeit wurde sich für das Programm FDS entschieden, welches dreidimensionale Strömungen auf Grundlage der Navier-Stokes-Gleichungen darstellt.

Für diese Arbeit wurde eine grafische Benutzeroberfläche für Torluftschleieranlagen mit Doppelstrahltechnologie entwickelt, welche ein FDS-Skript erstellt, dieses ermöglicht im Anschluss die eigentliche Simulation in FDS. Im Rahmen dieser Arbeit wurde die grafische Benutzeroberfläche auf Basis der Programmiersprache Python 3 mit Qt5 als Anwendungsframework entwickelt.

Im Anschluss sollte die Funktionsfähigkeit des FDS-Skriptes durch die Simulation des realen Doppelstrahl-Torluftschleiers „ProtecTor“ von der Firma Kampmann überprüft werden. Dazu wird der zu simulierende Torluftschleier nach dem Auslegungsstandard „ISSO-publicatie 110“ ausgelegt und den Simulationsergebnissen gegenübergestellt.

Im ersten Schritt wurden die nötigen Elemente des FDS-Skriptes an Hand des FDS-Handbuches ermittelt. Auf dieser Basis konnte die grafische Benutzeroberfläche und die Funktionalität des Programms entwickelt werden.

Im Rahmen des Preprocessings stellten die Erzeugung des Rechengbietes und des Rechengitters die größte Herausforderung dar. Beide sind ausschlaggebend für den Zeitbedarf und für die Genauigkeit der Simulation.

Im zweiten Schritt wurde die Funktionsfähigkeit der entwickelten Anwendung mithilfe der beiden isothermen Freistrahle simuliert und deren Parameter überprüft. Die Simulationsergebnisse lieferten plausible Messergebnisse, welche sich mit den empirischen Literaturwerten in Beziehung setzen ließen.

Anhand der technischen Spezifikationen des genannten Torluftschleiers wurde mittels der entwickelten Anwendung an Hand eines Praxisbeispiels der Torluftschleier simuliert.

Die Ergebnisse der Simulation können von FDS grafisch dargestellt und so auf ihre Plausibilität überprüft werden, somit konnte die Sperrwirkung des simulierten Torluftschleiers bestätigt werden.

Die Simulation zeigte, dass eine geringere Heizleistung im Verhältnis zu den Wärmeverlusten benötigt wurde, um die Sperrwirkung aufrecht zu erhalten.

Parallel wurde versucht, den Versuchstorluftschleier mithilfe der ISSO-publicatie 110 auszulegen. Lufttemperatur und -geschwindigkeit waren jedoch deutlich zu hoch und damit nicht in der Praxis anwendbar.

Es konnte in dieser Arbeit festgestellt werden, dass die ISSO-publicatie 110 nicht zur Auslegung von Torluftschleieranlagen mit Doppelstrahltechnologie herangezogen werden kann, da die Wechselwirkung der Strahle dort nicht berücksichtigt wird.

Die Simulationsergebnisse zeigten ein plausibles Strömungsverhalten und können somit als plausibel und die entwickelte Anwendung zur dialoggeführten Abbildung von Torluftschleieranlagen mit Doppelstrahltechnologie als funktionsfähig bewertet werden.

Entwicklung von Maßnahmen zur Verbesserung der Wirtschaftlichkeit des Breitbandgeschäftes der innogy TelNet GmbH

Maik Bartsch M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker
Zweitprüfer:	Dr. rer. nat. Reinhard Pollak
Datum des Kolloquiums:	21. Dezember 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	innogy TelNet GmbH



In Zeiten von Blockchain, Smart Grid und E-Commerce ist der sichere Austausch von Informationen über weite Strecken immer wichtiger geworden. Dafür wird eine Infrastruktur benötigt, die den wachsenden Anforderungen gerecht wird. Dies ist aktuell nur mit der zukunftssicheren optischen Übertragungstechnik möglich. Im Dezember 2019 besaßen nur 4,1 % der deutschen Haushalte einen Festnetz-Breitbandanschluss, der auf der leistungsstarken Glasfasertechnik basierte. Aufgrund der geringen Anschlussquote besitzt Deutschland ein enormes Ausbaupotential, das in den letzten Jahren von vielen Telekommunikationsunternehmen erkannt wurde. Dadurch ist unter den verschiedenen Marktteilnehmern ein Wettlauf um die ertragreichsten Gebiete entstanden.

Einer dieser Teilnehmer ist die innogy TelNet GmbH, die ebenfalls auf dem hart umkämpften Markt um lukrative Erschließungsregionen ringt. Dabei steht der innogy TelNet nur ein begrenztes finanzielles Budget zur Verfügung, wodurch die Anzahl der potentiell erschließbaren Gebäude limitiert wird. Infolgedessen ist es notwendig, dass die verfügbaren Mittel möglichst effizient eingesetzt werden. Deshalb wurde in der Arbeit das Ziel verfolgt, die Kosten des eigenwirtschaftlichen FTTH-Ausbaus zu reduzieren.

Dafür wurden qualitative und quantitative Forschungsmethoden verwendet, um Einsparungsmöglichkeiten zu identifizieren. Daraus konnten sechs konkrete Maßnahmen abgeleitet werden, die alle das Ziel der Kosteneinsparung erfüllen. Dabei wurde ein zentrales Portfoliomanagement eingeführt, womit langfristig wirtschaftliche Tiefbaukapazitäten gesichert werden können.

Des Weiteren wurde ein neuer Leistungsbereich erstellt, der speziell für die kontingenzbezogene Beschaffung konzipiert wurde. Zusätzlich wurden Regeln definiert, um alternative Verlegemethoden standardmäßig zu etablieren. Außerdem wurde eine Zuführungsoptimierung bei Hausanschlüssen vorgenommen, womit Gebäude preiswerter erschlossen werden können. Zuletzt wurden in der Arbeit neue Dimensionierungsstandards aufgestellt, um zukünftig preiswertere Materialien verwenden zu können.

Einführung der BIM Methode in ein ausführendes Unternehmen am Beispiel einer Industriehalle

Clemens Benedick B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer: Dipl. -Ing. Tobias Ausländer M.Sc.
Datum des Kolloquiums: 28. Mai 2020
Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Gebäudetechnik



Ein Baustein im digitalen Wandel, ist seit einigen Jahren die Einführung der BIM-Methode in die Bauindustrie, welche durch Planungskatastrophen wie den „Berliner Flughafen“ immer mehr in den Vordergrund rückt. Der Begriff Building Information Modeling oder Building Information Management (BIM) beschreibt dabei eine Arbeitsweise, die mithilfe von digitalen Technologien das Planen, Bauen und Betreiben von Bauwerken revolutionieren wird. Aufgrund der steigenden Anforderungen an Gebäuden ist von einer Abschwächung dieses Trends nicht abzusehen. Der technologische Fortschritt stellt dabei vor allem Handwerksunternehmen vor gewaltige Herausforderungen. Um in Zukunft eine nationale Wettbewerbsfähigkeit garantieren zu können, ist es notwendig die derzeitige Arbeitsweise umzugestalten. In diesem Zusammenhang werden sich die Kommunikationsstrukturen in Handwerksunternehmen radikal verändern.

Diese Arbeit befasst sich mit der möglichen Implementierung der BIM-Methode in ein Handwerksunternehmen. Dafür wurde im Zuge der Ausarbeitung anhand der Unterlagen einer Industriehalle zwei Forschungsfragen formuliert. Das Ziel war es, die BIM-Methode auf eine konventionelle 2D-Planung zu übertragen und den daraus resultierenden Mehrwert zu ermitteln. Zur Beantwortung der formulierten Fragen wurde die Browser Applikation von Dalux verwendet.

Das webbasierte Anwendungsprogramm kann zur Überwachung, Planung und Dokumentation genutzt werden und ermöglicht eine BIM orientierte Projektdurchführung. Der Informationsfluss wird von der Angebotserstellung bis zur letzten Abnahme besser strukturiert und dokumentiert. Projektbeteiligte erhalten schneller auf die in Planungsbesprechungen festgelegten Informationen Zugriff. Mängellisten können genauer, strukturierter und zielführender an die zu betreuenden Gewerke gesendet werden.

Das Ergebnis der Untersuchung zeigt, dass die Implementierung der BIM-Methode nicht direkt mit einem verbesserten Projektablauf verbunden ist. Die von vielen Softwareherstellern suggerierten Einsparmöglichkeiten sollten nicht ausschließlich der Grund für eine Einführung der BIM-Methode sein. Das Motiv liegt eher bei den entstehenden Mehrwertinformationen, die durch Aggregieren und Analysieren von Daten entstehen. Vor Projektbeginn muss sich deshalb die Frage gestellt werden, welche Ziele mit der projektspezifischen Implementierung der BIM-Methode verfolgt werden. Durch den Einsatz der Dalux Plattform

können Verbesserungen im Informationstransfer und der Kommunikation entstehen. Die genannten Verbesserungen stehen und fallen dabei mit der Akzeptanz der Mitarbeiter sowie den zur Verfügung stehenden Informationen über ein Objekt. Eine langfristige Etablierung der BIM-Methode kann nur über eine dynamische Personalentwicklung erfolgen. Im Vordergrund steht dabei die Sensibilisierung und Schulung der Mitarbeiter.

Entwicklung eines Softwaretools zur Simulation von Quellluft- und Kühldeckensystemen

Henning Brinkschulte M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
 Zweitprüfer: Dr.-Ing. Oliver Höfert
 Datum des Kolloquiums: 26. August 2020
 Master-Studiengang: Master Energie · Gebäude · Umwelt
 Studienrichtung: Gebäudetechnik



Die frei zur Verfügung stehende Simulationssoftware FDS (Fire Dynamics Simulator) wurde ursprünglich dazu entwickelt, um Rauch- und Feuerentwicklung mittels CFD Simulation abbilden zu können. Das Open Source Programm wurde durch die Anwender mit der Zeit weiterentwickelt, sodass nun auch andere Raumsimulationen möglich sind. Das Programm erhält seine Randbedingungen, wie zum Beispiel die Raumbeschreibung, mathematische Modelle und Materialeigenschaften, über eine „*.txt-Datei“. In dieser Datei werden diese Simulationsparameter Zeile für Zeile definiert, was für den ungeschulten Anwender zum Teil sehr aufwendig und auch unübersichtlich sein kann.

Die vorliegende Arbeit hatte zum Ziel, ein Softwaretool zu entwickeln, mit dessen Hilfe die Eingabe der Simulationsparameter vereinfacht wird und am Ende eine fertige Simulationsdatei erzeugt wird. Mit dieser Datei können anschließend Raumsimulationen durchgeführt werden, um gewisse Strömungsphänomene und Temperaturverteilungen untersuchen zu können. Dazu sollte der Nutzer sowohl die physikalischen, als auch geometrischen Raumeigenschaften festlegen können. Neben der Möglichkeit Flächenheizungen, eine sitzende Person und diverse Analysewerkzeuge auszuwählen, sollte der Nutzer mit dem entwickelten Softwaretool in die Lage versetzt werden, insbesondere Quellluft- und Kühldeckensysteme auslegen und definieren zu können.

Um dieses Ziel zu erreichen, wurden im Rahmen der vorliegenden Arbeit zunächst die Grundlagen dieser Systeme betrachtet und ihre Mechanismen der Wärmeübertragung untersucht. Im Anschluss wurde jedes System zunächst separat in einer Simulation betrachtet, um zu untersuchen, ob die vorherigen theoretischen Überlegungen in den Simulationsergebnissen wiederzufinden sind. Dieser Schritt war erforderlich, um den Nachweis zu erbringen, dass die Quellluft- und Kühldeckensysteme mit den richtigen Einstellungen an FDS übergeben werden und die vorher ermittelten theoretischen Werte erreicht werden können.

Bei der Simulation der Quelllüftung wurde dieser Nachweis zum einen dadurch erbracht, dass eine konstante Wärmelast durch die ein- und austretende Luft abgeführt werden konnte. Zum anderen zeigte sich eine für die Quelllüftung typische Temperaturschichtung.

Für den Funktionsnachweis der Kühldecken mussten zwei separate Simulationen durchgeführt werden, da die Wärmeübertragung sowohl durch Konvek-

tion (üblicherweise ~ 30% der Kühlleistung) als auch durch Strahlung (~ 70% der Kühlleistung) erfolgt. Diese beiden Mechanismen wurden separat betrachtet und in beiden Fällen konnte die Funktionalität in FDS nachgewiesen werden.

Durch diese Simulationen konnte gezeigt werden, dass die Quellung, die Strahlungskühldecke und die konvektive Kühldecke in FDS abbildbar sind. Die in diesen Simulationen angewendeten Einstellungen waren demnach korrekt und konnten für die Programmierung des Softwaretools verwendet werden.

Die anschließende Umsetzung des Softwaretools erfolgte in der VBA Umgebung von Microsoft Excel. Für den späteren Anwender wurde eine bedienungsfreundliche Oberfläche erstellt, sodass über einzelne Reiter zu den jeweiligen Systemen gewechselt und hier jeweils das System zu- oder abgeschaltet und ggf. entsprechend ausgelegt werden kann. Zusätzlich ist dem Anwender die Möglichkeit gegeben, die eingetragenen Werte sowohl geometrisch als auch inhaltlich überprüfen zu lassen. Treten hierbei keine Fehler auf, kann der Anwender die Daten per Knopfdruck in die Simulationsdatei umwandeln und speichern.

Zusammenfassend ist zu sagen, dass sowohl die Funktionalität der Quellung als auch Kühldeckensysteme im Rahmen der vorliegenden Arbeit nachgewiesen wurde, sowie auch ein entsprechendes Softwaretool zur Erstellung solcher Systemsimulationen erfolgreich entwickelt werden konnte.

Genehmigungsfähigkeit und Wirtschaftlichkeit moderner Haltungssysteme bei Mastschweinen - Ein Vergleich traditioneller gegenüber moderner Haltungsmodele

Lennart Brömmelhaus B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dr. rer. nat. Jannik Hüls
Datum des Kolloquiums:	16. April 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Richters & Hüls GbR



Die Schweinemast steht in Deutschland im öffentlichen Diskurs. Von Seiten der Gesellschaft sowie der Politik wird die Umsetzung höherer Tierwohlstandards in den Ställen gefordert. Besonders in landwirtschaftlich dicht besiedelten Gebieten sind die Anforderungen des Immissionsschutzes häufig maßgebend für die Dimensionierung und Umsetzungsfähigkeit der Bauvorhaben von Landwirten. Moderne Tierhaltungssysteme, die einen Außenklimareiz ermöglichen, werden aktuell aus diversen Gründen immer häufiger zu anvisierten Planzuständen und somit Gegenstand von Genehmigungsverfahren.

Ziel dieser Bachelorarbeit war es, durch einen Vergleich traditioneller und moderner Haltungssysteme aufzuzeigen, ob eine Umrüstung auf moderne Haltungssysteme den Anforderungen des Immissionsschutzes entspricht. Auf Basis der ermittelten Ergebnisse wurde zudem die Wirtschaftlichkeit moderner Haltungssysteme diskutiert.

Unter traditionellen Haltungsmodele wurden in dieser Arbeit zwei Haltungsmodele untersucht, die gängiger Praxis entsprechen. Bei diesen beiden Ställen wurde eine Haltung von 1.499 Mastschweinen in einem geschlossenen Stall mit kontrollierter Be- und Entlüftung betrachtet. Im ersten traditionellen Modell wurde von einer Abluftführung nach derzeitigem Stand der Technik, d. h. 10 m über Grund und 3 m über First und einer ganzjährigen Mindestaustrittsgeschwindigkeit von 7 m/s, ausgegangen. Im zweiten traditionellen Modell wurde eine Abluftführung von 8,5 m über Grund und 1,5 m über First angesetzt. Diese wurden zu modernen Haltungssystemen umgerüstet. Zu den modernen Haltungssystemen zählen sowohl Stallungen mit Auslauf als auch reine Offenställe. Dabei wurde der Bachelorarbeit die Frage zu Grunde gelegt: Welche Maßnahmen müssen hinsichtlich des Immissionsschutzes getroffen werden, um die Genehmigungsfähigkeit der modernen Haltungsmodele zu sichern? Anhand von Geruchsausbreitungsberechnungen wurden unterschiedliche Modernisierungsvarianten untersucht.

Die Untersuchungen zeigten, dass eine genehmigungsfähige Umsetzung der modernen Haltungssysteme je nach Ausgangssituation nicht notwendigerweise mit einer Reduktion der Tierplatzzahlen einhergehen muss. Dies bedeutet, dass zumindest für einige Landwirte die Umsetzung von Tierwohlmaßnahmen nicht unbedingt im Konflikt zu betriebswirtschaftlichen Zielen stehen muss.

Ein einfaches und transparentes Modell des deutschen Strommarkts

Finn Julian Broksch B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing Andreas Böker

Datum des Kolloquiums: 17. September 2020

Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Energietechnik



Der deutsche Strommarkt hat sich genau wie die gesamte Elektrizitätswirtschaft in den letzten Jahrzehnten fortlaufend verändert. Dabei wird es zunehmend schwierig aktuelle Entwicklungen und besonders politische Entscheidungen zu bewerten.

In dieser Arbeit wird ein Grundlagenmodell des deutschen Strommarkts entwickelt, mit dem wesentliche Zusammenhänge nachvollzogen werden können. In einem Jupyter Notebook umgesetzt, lassen sich mit dem Modell unter anderem die variablen Kosten der Erzeugung, tagesdurchschnittliche Strompreise des deutschen Day-Ahead-Markts und die Jahresvolllaststunden der wesentlichen Erzeugungsanlagen berechnen. Als Beispiel wird mit Hilfe des Modells der Einfluss des europäischen Emissionszertifikatspreises auf den deutschen Strommarkt untersucht. Es kann gezeigt werden, dass niedrige Emissionszertifikatspreise kaum eine Wirkung auf den deutschen Strommarkt haben, Mindestpreise von 20 bzw. 40 Euro/t CO₂ hingegen zu deutlich höheren Einsatzzeiten von emissionsarmen Erdgas-GuD-Kraftwerken führen. Bei einem Emissionszertifikatspreis von 67 Euro/t CO₂ kommt es zum Fuel-Switch von Steinkohlekraftwerken und Erdgas-GuD-Kraftwerken.

Aufbau und Inbetriebnahme einer kältetechnischen Versuchsanlage

Marc Brosius B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	3. April 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Labor Raumluft- und Kältetechnik
in Kooperation mit:	Mitsubishi Electric Europe



Aufbauend auf einer zuvor gehenden Masterarbeit mit dem Titel „Aufbau eines Versuchsstandes zur messtechnischen Untersuchung eines Splitgerätes“, wurde der Aufbau eines kältetechnischen Versuchsstandes fertiggestellt. Zusätzlich dazu wurde der Versuchsstand in Betrieb genommen und es sind einige Messungen an ihm durchgeführt worden. Zwei signifikant unterschiedliche Messungen werden in dieser Arbeit aufgeführt und ausgewertet.

Zur messtechnischen Erfassung der Versuchsanlage werden Werte erfasst, die für eine energetische Betrachtung der Anlage benötigt werden. So wurde ein Coriolis-Massendurchfluss-Messgerät zur Bestimmung des Kältemittelmassenstroms eingesetzt. Zusätzlich sind Druck- und Temperatursensoren eingesetzt worden, um diese in ein $\log(p)$, h -Diagramm für das Kältemittel R410a eintragen und somit Enthalpien der Kreiszustände bestimmen zu können. In Verbindung mit dem gemessenen Massenstrom, können diese Enthalpien zur leistungstechnischen Betrachtung der Versuchsanlage genutzt werden. Um den Volumenstrom der Luft messtechnisch zu erfassen wird ein sogenannter Staudruckverstärker verwendet. Dieser erzeugt einen Differenzdruck, welcher durch ein angeschlossenes Anzeigergerät angezeigt werden kann. Die an den Versuchsstand angeschlossene Yokogawa Steuereinheit errechnet anschließend die Strömungsgeschwindigkeit, den Volumenstrom und den Massenstrom. Die derzeitige Programmierung kann dem digitalen Anhang entnommen werden.

Bei der Auswertung der Leistungszahlen der Versuchsanlage wurde eine signifikante Differenz der errechneten und der dem $\log(p)$, h -Diagramm entnommenen Leistungszahl festgestellt. Dies lässt sich auf die, von Mitsubishi Electric patentierte, Technologie namens „Flash-Zwischeneinspritzung“, welche bei dieser Versuchsanlage zum Einsatz kommt, zurückführen. Diese Zwischeneinspritzung in den Verdichter reduziert die Verdichtungsendtemperatur, welches zu einer Verfälschung der Messpunkte, für das $\log(p)$, h -Diagramm, sorgt. Diese Verfälschung simuliert einen COP, der höher ist, als der COP, der durch die durchgeführten Messungen ermittelt werden konnte. Um den Betrieb dieser Zwischeneinspritzung messtechnisch nachweisen zu können, wurde eine Temperaturmessung an der Einspritzleitung durchgeführt und in Vergleich zur vorherrschenden Verflüssigungsendtemperatur gestellt.

Integration einer Power-to-Gas Ausbaustufe in eine Biogasaufbereitungsanlage - Einspeisevarianten und Wirtschaftlichkeit

Jonas Brüggemann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Stefan Bölte
Datum des Kolloquiums:	28. April 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Gesellschaft des Kreises Coesfeld zur Förderung regenerativer Energien mbH (GFC)



Das Ziel der Bundesregierung, im Rahmen der Energiewende den Anteil des erneuerbaren Stromes am Bruttostromverbrauch bis zum Jahr 2030 auf mindestens 65 Prozent zu erhöhen (EEG 2021), stellt eine große Herausforderung für die deutsche Stromnetzinfrastuktur dar. Durch die volatile Verfügbarkeit von Wind und Sonne wird auch die zukünftige Stromerzeugung stark schwanken. Zum Ausgleich dieser Schwankungen werden Speichersysteme benötigt, die in der Lage sind, große Mengen Energie zu bevorraten und diese bei Bedarf ins Stromnetz zurückzuführen. Gerade die saisonalen Unterschiede in der regenerativen Stromerzeugung stellen eine Hürde für potenzielle Stromspeicher dar. Ein vielversprechender Ansatz ist derzeit die Power-to-Gas Technologie, bei der Strom aus regenerativen Quellen mittels Elektrolyse zu Wasserstoff und gegebenenfalls in einem weiteren Schritt zu synthetischem Methan umgewandelt wird. Dieses regenerativ erzeugte Methan lässt sich bei entsprechender Qualität in nahezu unbegrenzter Menge in das bestehende Erdgasnetz einspeisen. Durch die Nutzung der Erdgasinfrastruktur wird die Speicherung von erneuerbaren Energien über lange Zeiträume möglich.

Auf Initiative des Kreises Coesfeld, der die Nutzung von regenerativen Energien und die Verwendung von Wasserstoff als Energieträger im Kreis voranbringen möchte, hat die kreiseigene Gesellschaft des Kreises Coesfeld zur Förderung regenerativer Energien mbH (GFC) mit verschiedenen Projektpartnern die Planung einer Power-to-Gas Anlage im Rahmen einer Machbarkeitsstudie übernommen. Die Power-to-Gas Anlage soll als Ausbaustufe in eine bestehende Biogasaufbereitungsanlage integriert werden.

In Begleitung zur Machbarkeitsstudie werden in dieser Arbeit verschiedene Varianten dargestellt, mit denen die Produktströme aus der Power-to-Gas Ausbaustufe (Produktgas der Methanisierung und Wasserstoff aus der Elektrolyse) der Biogasaufbereitungsanlage zugeführt werden können. Die Varianten zur Einspeisung des Produktgases aus der Methanisierung werden anschließend wirtschaftlich verglichen. Außerdem erfolgt aufbauend auf den Wirtschaftlichkeitsberechnungen der Machbarkeitsstudie die Auslegung der geplanten Anlage als Ersatz zur bestehenden Aufbereitungsanlage mit einer anschließenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

Es stellte sich heraus, dass die direkte Einspeisung von Wasserstoff bei entsprechender Anpassung der Wasserstoffgrenzwerte im Gasnetz technisch und wirtschaftlich ohne großen Aufwand realisierbar ist.

Der wirtschaftliche Vergleich von zwei Einspeisevarianten für das Produktgas der Methanisierung erfolgte auf Grundlage der jährlichen Kosten. Die Gegenüberstellung der Kosten zeigt, dass sich die Varianten wirtschaftlich über einen Betrachtungszeitraum von 20 Jahren kaum unterscheiden. Hierzu wurden erforderliche Investitionskosten und die Stromkosten der einzelnen Varianten ermittelt und anschließend die laufenden Kosten gegenübergestellt. Bei der Einspeisung des methanisierten Rohgases in die Biogasaufbereitungsanlage (Variante 1) werden die Kosten hauptsächlich durch den Stromverbrauch der Aufbereitungsanlage verursacht. Bei der 2. Variante, also der Einspeisung des Produktgases hinter der Aufbereitungsanlage, werden die jährlichen Kosten stärker von den Investitionskosten durch die zusätzliche Errichtung einer Trocknungsanlage beeinflusst. Allerdings ist auch hier der treibende Kostenpunkt in den Stromkosten der Aufbereitungsanlage auszumachen, zusätzlich entstehen Stromkosten durch den Betrieb der Trocknungsanlage. Festzuhalten ist, dass beide Varianten im Vergleich zum ausschließlichen Betrieb mit Rohbiogas einen positiven Effekt auf den Stromverbrauch der Biogasaufbereitungsanlage haben.

Weiterhin zeigte sich, dass eine Erweiterung der geplanten Power-to-Gas Anlagenkomponenten zur Aufbereitung des gesamten Rohbiogases am Standort bei entsprechender Vermarktung zukünftig eine Alternative zur derzeitigen Biogasaufbereitungsanlage darstellen kann. Allerdings kann die Power-to-Gas Anlage derzeit noch nicht wirtschaftlich mit der bestehenden Aufbereitungsanlage konkurrieren. Die Stromkosten wurden als größter Kostenfaktor identifiziert, weshalb sich allein durch Anpassungen an den Strombezugskosten die Wirtschaftlichkeit einer solchen Power-to-Gas Anlage bestimmend beeinflussen lassen kann.

Errichtung und Betrieb eines Abluftkanals zur Ermittlung der Messunsicherheiten der Abgasgeschwindigkeit in Anlehnung an die DIN EN ISO 16911-1

Ann-Christin Brüning B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dipl.-Phys. Ing. Frank Müller
Datum des Kolloquiums:	4. Juni 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Labor Immissionsschutz Uppenkamp + Partner Sachverständige für Immissionsschutz GmbH



Bei Geruchsemissionsmessungen an Punktquellen spielt die Ermittlung der Abluftgeschwindigkeit eine grundlegende Rolle. Anhand der Geschwindigkeit und dem Durchmesser des Abluftkamins lässt sich der Volumenstrom bestimmen. Dieser und die ermittelten Geruchseinheiten pro Kubikmeter bilden die Grundlage zur Bestimmung des Geruchstoffstromes. Daher ist die korrekte Bestimmung der Abluftgeschwindigkeit essentiell.

Damit die Messinstrumente zur Ermittlung der Abluftgeschwindigkeit als Standard-Referenzverfahren eingesetzt werden können, müssen sie die Verfahrenskenngrößen der Norm DIN EN ISO 1699-1 erfüllen. Diese sind unterteilt in Feldmessung und Labormessung. Die Verfahrenskenngrößen Feldmessung beziehen sich vor allem auf die Kalibrierung der Messgeräte und deren Positionierung im Abluftkanal. Bei der Labormessung liegt der Fokus auf der Ermittlung der Geschwindigkeit. Die Norm bezieht sich dabei auf Punktquellen, die den Vorgaben der DIN EN 15259 entsprechen.

In Zusammenarbeit mit der Firma Uppenkamp und Partner wurde ein Abluftkanal nach den Vorgaben der DIN EN 15259 errichtet. An diesem sind mit zwei Messgeräten: einem Staudruckrohr und einem Flügelrad-Anemometer, die Geschwindigkeitsmessung nach DIN EN ISO 16991-1 durchgeführt worden. Als Referenz wurde dabei parallel mit einem kalibriertem Muttergerät die Strömungsgeschwindigkeit gemessen. Ziel war es, zu überprüfen ob die eingesetzten Messinstrumente die Verfahrenskenngrößen einhalten, um als Standard-Referenzverfahren bei Emissionsmessungen weiterhin eingesetzt werden zu können.

Das Ergebnis der Messungen war, dass die Verfahrenskenngrößen Feldmessung von beiden Messverfahren nur teilweise eingehalten wurden und die Verfahrenskenngrößen Labormessung von keinem der Messverfahren eingehalten wurden. Somit sind weder das Staudruckrohr noch das Flügelradanemometer als Standard-Referenzverfahren zulässig.

Jedoch handelt es sich bei dem Abluftkanal um eine Eigenkonstruktion, wodurch die Möglichkeit einer ungleichmäßigen Strömung besteht, auch die Positionierung der Strömungssensoren birgt trotz Abstandsmarkierungen Unsicherheiten. Im nächsten Schritt sollten die getesteten Messinstrumente einer Kalibrierung unterzogen und die Messungen wiederholt werden.

Betrachtung der Wärmeverteilung eines Gebäudes aus dem Gesundheitssektor - Untersuchung am Beispiel des St. Elisabeth Klinikum Ibbenbüren

David Buch B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Martin Zimmer
Datum des Kolloquiums:	22. Dezember 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	ITB GmbH



Die Heizungstechnik befindet sich in stetigem Wandel. Es ist erwiesen, dass elektronisch geregelte Heizungssysteme wirtschaftlicher arbeiten als unregelte. In dieser Bachelorarbeit wurde die Wärmeverteilung im Bestand des St. Elisabeth Klinikum Ibbenbüren betrachtet und auf ökologische und ökonomische Optimierungsmöglichkeiten untersucht.

Die Bestandsaufnahme der Zentralen zeigte ein differenziertes Bild der vorhandenen Haustechnik. Bereits sanierte Bauteile entsprechen dem Stand der Technik und wurden nicht in Bezug auf Optimierungsmöglichkeiten untersucht. Die unsanierten Bauteile umfassen z. B. die Hauptzentrale und die Fernwärmeübergabestation. Hier besteht aufgrund des Alters und keiner vorhandenen elektronischen Regelung Handlungsbedarf. Der darauffolgende Variantenvergleich bietet verschiedene Maßnahmen zur Optimierung des Systems. Hierbei wurden die Investitions- und Betriebskosten von drei Varianten untersucht, verglichen und bewertet.

Bei Variante 1 handelt es sich um einen einfachen Austausch der Hauptpumpen, durch Pumpen mit einer geringeren Stromaufnahme, damit die Betriebskosten gesenkt werden. Variante 2 erfordert einen Umbau des hydraulischen Systems. Hierbei wurde eine Umrüstung zu einem drucklosen Hauptverteilsystem mit elektronisch geregelten Strangpumpen untersucht. In Variante 3 wurde das im Bestand vorhandene druckbehaftete Hauptverteilsystem erhalten und von einem unregulierten System zu einem elektronisch geregelten System umgebaut. Der anschließende Vergleich zeigt, dass Variante 2 absolut betrachtet den größten ökologischen und ökonomischen Vorteil hat. Unter Berücksichtigung der Investitionskosten und der damit verbundenen Amortisationszeit stellte sich heraus, dass Variante 3 die wirtschaftlichste Methode für einen Betrachtungszeitraum von 10 Betriebsjahren darstellt.

Neben den vorgestellten Varianten wurde auch die Frostfreihaltung des Helikopterlandeplatzes untersucht. Hierbei wurde festgestellt, dass eine Einbindung ins Heizungsnetz große wirtschaftliche Vorteile hat. Aufgrund von gesundheitsschädlichen Baustoffen im Bestand, ist für die Umsetzung der Varianten 2 und 3 eine Schadstoffsanierung notwendig. Die Kosten dieser wurden ermittelt und in den Variantenvergleich mit einbezogen. Es zeigt sich, dass eine Kombination der Variante 3 und der Einbindung der Frostfreihaltung ins Heizungsnetz am wirtschaftlichsten ist.

Ermittlung der maßgeblichen Geräuschquellen eines produzierenden Gewerbes zur Entwicklung von Lärminderungsmaßnahmen

Henning Bückers B.Eng.

Erstprüfer:	Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann
Datum des Kolloquiums:	12. Mai 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	WENKER & GESING Akustik und Immissionsschutz GmbH



Ziel der Bachelorarbeit war es, die maßgeblichen Geräuschquellen eines produzierenden Gewerbes zu ermitteln, um anschließend Lärminderungsmaßnahmen zu erarbeiten. Anschließend wurden die getroffenen Maßnahmen auf ihre Wirksamkeit überprüft.

Durch eine immissionsseitige Messung wurde am maßgeblichen Immissionsort eine Überschreitung von 10 dB(A) des dort für den Nachtzeitraum geltenden Immissionsrichtwertes von 45 dB(A) festgestellt.

Zur Feststellung welche Quellen des Betriebes am Immissionsort für die Überschreitung des Immissionsrichtwertes ursächlich sind, wurden die Schalldruck- bzw. Schalleistungspegel der relevanten Geräuschquellen ermittelt, um anschließend auf dieser Grundlage eine Ausbreitungsberechnung mit der Schallimmissionsprognose-Software CadnaA durchzuführen.

Als maßgebliche Quelle konnte ein, nur durch eine Kunststoffplane vor Witterung geschützter, draußen aufgestellter Dekanter ausgemacht werden. Um hier Abhilfe zu verschaffen, wurde empfohlen, den Dekanter einzuhausen oder alternativ in eine vorhandene Halle zu integrieren.

Da sowohl am Immissionsort als auch an einem Abluftrohr mit Schalldämpfer eine Tonhaltigkeit festgestellt worden war, wurde empfohlen, den Schalldämpfer durch einen auf den entsprechenden Frequenzbereich optimierten Schalldämpfer zu ersetzen.

Der Betreiber folgte dem ersten Lösungsvorschlag und verlegte den Dekanter in eine vorhandene Halle. Anstatt jedoch den Schalldämpfer wie empfohlen auszutauschen, wurde dieser vom Betreiber lediglich gereinigt. Hier konnte nun weiterhin eine Tonhaltigkeit festgestellt werden, allerdings war der Schalleistungspegel nach Reinigung des Schalldämpfers um über 20 dB(A) geringer. Nach erneuten Messungen erfolgte wieder eine Ausbreitungsberechnung zur Überprüfung der Wirksamkeit dieser Maßnahmen.

Hier konnte gezeigt werden, dass die Maßnahmen ausreichend waren, um den nächtlichen Immissionsrichtwert einzuhalten.

Für die Lärmbekämpfung allgemein lässt sich hieraus ableiten, wie wichtig die Wartung, Instandhaltung und Reinigung von Anlagenkomponenten möglich ist und mit welchen einfachen und kostengünstigen Mitteln eine Verbesserung der Lärmsituation möglich sein kann.

Wärmepumpen in Stadtquartieren - Untersuchung eines Quartiers in Herne

Janik Budde B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Christian Klemm M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	22. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Im Gebäudesektor fallen 84% des Endenergieverbrauchs für Raumwärme, Warmwasser und Prozesswärme sowie -kälte an. Wärmepumpen besitzen die Möglichkeit für alle genannten Anwendungsbereiche Wärme zur Verfügung zu stellen und können somit eine effiziente und nachhaltige Wärmeversorgung von Gebäuden ermöglichen.

In dieser Bachelorarbeit wurde das Potenzial von Wärmepumpen für die Integration in städtische Multi-Energiesysteme untersucht. In Multi-Energiesystemen werden verschiedene Energieformen wie Elektrizität, Wärme oder Kälte unterschiedlichster Sektoren betrachtet. Diese komplexen Gesamtsysteme werden mit Hilfe von Modellen vereinfacht, damit auf Grundlage eines simplen Energiesystems, interessante Erkenntnisse gewonnen werden können.

Zu Beginn der Arbeit wurde das theoretische Potenzial einer Wärmepumpe betrachtet. Dafür wurden verschiedene Wärmequellen im Stadtquartier untersucht und aufgrund von Lage, Regenerationsfähigkeit und Flächeninanspruchnahme eingeschränkt oder ausgeschlossen. Für das Stadtquartier stellen ein Schifffahrtskanal, oberflächennahe Geothermie und die Umgebungsluft Wärmequellen dar. Um das wirtschaftliche Potenzial der Wärmequellen zu bestimmen, wurde der „Spreadsheet Energy System Model Generator“ (SESMG) verwendet. Der SESMG ermöglicht die Modellierung und Optimierung von Energiesystemen. Zu Beginn dieser Arbeit bestand noch nicht die Möglichkeit Wärmepumpen zu simulieren, sodass der SESMG um die Wärmepumpen-Komponenten erweitert wurde.

In der Arbeit wurde der SESMG auf ein Testgebiet angewendet, um Auswirkungen der Wärmepumpen gegenüber des Status Quo zu untersuchen. Im Status Quo sind in allen Gebäuden des Testgebiets Erdgasheizungen für die Wärmeversorgung verantwortlich.

Die Untersuchung hat ergeben, dass die Kosten der Energieversorgung um 8% und die Kohlendioxidemissionen um 32% gesenkt werden können. In einem weiteren Schritt wurden Wärmepumpen in einem optimierten Energiesystem betrachtet. Dem Energiesystem wurden beispielsweise Technologien wie Photovoltaik-Anlagen, Batteriespeicher und Blockheizkraftwerke zugefügt. In Kombination mit dem optimierten Energiesystem konnten die Kosten der Ener-

gieversorgung gegenüber dem Status Quo um 19% und die Kohlendioxidemissionen um 47% gesenkt werden. Eine weitere Erkenntnis der Arbeit ist, dass Wärmepumpen als thermischer Energiespeicher verwendet werden können, indem der Strom in Form von Wärme im Gebäude gespeichert wird. Batteriespeicher sind im Testgebiet keine Alternative, da im Vergleich zu Wärmepumpen höhere Kosten und Emissionen verursacht werden.

Erarbeitung eines Konzeptes zur Umsetzung eines Produktkonfigurators im ERP Programm APplus für einen auftragsgebundenen Sonderanlagenbauer

Markus Bunge B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Tobias Rieke
Zweitprüfer:	Stefan Bulla B.Eng.
Datum des Kolloquiums:	32. Mai 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Georg Hagelschuer GmbH & Co. KG



Digitalisierung und Industrie 4.0 sind Begriffe, mit denen sich Unternehmen auseinandersetzen müssen, wenn sie zukünftig wettbewerbsfähig bleiben wollen. Auch die Georg Hagelschuer GmbH & Co. KG hat zum Zeitpunkt der Bachelorthesis in eine Vielzahl von Projekten zur Verbesserung der digitalen Unternehmenskompetenz investiert. Dabei lag der Schwerpunkt auf der Einführung des neuen ERP-Systems APplus. Hierbei war ein wichtiger Baustein die Entwicklung eines Produktkonfigurators für den Vertrieb.

In dieser Bachelorarbeit wurde ein konzeptionelles Datenmodell für einen Vertriebskonfigurator bei der Georg Hagelschuer GmbH & Co. KG entworfen, auf dessen Grundlage eine Umsetzung in APplus gestartet werden konnte. Des Weiteren wurde eine Aussage über die generelle Machbarkeit der Konfiguration von Dampfkesselanlagen getroffen. Ein besonderes Augenmerk wurde in diesem Zusammenhang auf die Standardisierungsparameter gerichtet. Dazu wurden zunächst die Hauptkomponenten in der Theorie betrachtet. Neben ein paar Ausnahmen fiel dabei auf, dass der Großteil der Anlagenteile auf die benötigte Dampfleistung und Druckstufe des Kunden ausgelegt werden.

Anschließend wurde die bisherige Kalkulationsstruktur zur Angebotskonfiguration untersucht. Damit waren die Ziele verbunden, Erkenntnisse über die Variantenvielfalt im Vertrieb und über den Konfigurationsmechanismus im alten ERP-System zu erlangen. Als erstes fiel auf, dass die Angebote aus Vertriebssets zusammengesetzt sind, die einer oder mehreren Kombinationen aus Anlagenleistung und Druckstufe zugeordnet sind. Diese Vertriebssets befinden sich in einer hierarchischen Struktur unter einem Set, aus dem die Anlage konfiguriert wird. Unter Anwendung der Funktionalitäten des alten ERP-Systems wird dadurch ein Konfigurationsmechanismus erzeugt, der sich mit einem geführten Auswählen aus Gruppen von Komponenten vergleichen lässt. Diese geführte Produktkonfiguration ist zeitaufwendig und fehleranfällig, da zwischen den Komponenten keine logischen Abhängigkeiten gebildet werden können.

Daher sollte der neue Produktkonfigurator mindestens eine Verkürzung der Bearbeitungszeit von Angeboten und die Vermeidung von technisch nicht logischen Kombinationen ermöglichen. Zur Entwicklung des konzeptionellen Datenmodells wurde zuerst eine tiefere Betrachtung der Datenbankstruktur von APplus vorgenommen. Dabei konnte festgestellt werden, dass APplus im Standard mit

einer Hierarchie aus Attribut, Attributgruppe und Attributklasse arbeitet. Eine Attributklasse bündelt mehrere Attributgruppen mit ihren Attributen und kann fast mit allen Business-Objekten in APplus verknüpft werden. Diese Funktionalität wurde genutzt, um Attribute an einen Artikel zu verknüpfen. Dadurch können dem Artikel im Angebot oder Auftrag Attributwerte in einem Konfigurationsdialog zugewiesen werden.

Des Weiteren kann in APplus einem Artikel eine Vertriebsstückliste hinterlegt werden. In einer Vertriebsstückliste kann jedem Artikel ein Variantencode mitgegeben werden. Dieser Variantencode ist eine Kombination aus Attributen und Attributwerten. Durch die Kombination dieser Funktionalitäten hat sich ergeben, dass APplus ein Matching anhand der eingegebenen Attributwerte mit dem Variantencode durchführen kann. Das heißt APplus durchsucht die Vertriebsstückliste nach dem Variantencode von Artikeln, der mit den Attributwerten übereinstimmt. Diese gesammelten Erkenntnisse wurden in das konzeptionelle Datenmodell überführt, welches mit dem erweiterten Entity-Relationship-Modell abgebildet wurde. Innerhalb von mehreren Testdurchläufen mit unterschiedlichen Komponenten hat sich gezeigt, dass dieser Konfigurationsmechanismus im Vergleich zur alten Angebotskonfiguration Verbesserungen in den Prozessen zur Angebotsbearbeitung bietet. Die Arbeit schließt mit einer Handlungsempfehlung für die Umsetzung und einem Ausblick ab.

Anforderungen an die Raumkonditionierung von Bildungseinrichtungen

Lars Burmann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	26. November 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Winkelmann Group



Der Sanierungsstau an deutschen Schulen hat in den letzten Jahren ein enormes Ausmaß angenommen. Kapazitätsengpässe in kommunalen Bauverwaltungen und in der Bauwirtschaft verzögern dazu noch die Umsetzung der nötigen Sanierungen. Zusätzlich müssen viele Großstädte wegen steigender Einwohnerzahlen weitere Bildungseinrichtungen zur Verfügung stellen, um den Anforderungen der sozialen Infrastruktur gerecht zu werden.

Um eine allgemeine Vorgehensweise für die Sanierung und den Neubau von Schulen zu entwickeln, wurden in dieser Bachelorarbeit die Anforderungen an Bildungseinrichtungen im Bereich der Raumkonditionierung dargestellt, die derzeit technischen Lösungsmöglichkeiten aufgezeigt und diesbezüglich Konzepte erarbeitet, mit welchen auch in Zukunft die Vorgaben zur Energieeffizienz und Raumkomfort erfüllt werden können.

Der Klimawandel stellt uns vor eine der größten Herausforderungen unserer Zeit. Erneuerbare Energien im Bereich Wärme müssen in den nächsten Jahren enorm ausgebaut werden. Zusammen mit dem Sanierungsstau besteht daher eine große Chance, als öffentlicher Auftraggeber eine Vorreiterrolle einzunehmen und die Gebäude mit großem Energieeinsparpotenzial sowie geringen CO₂-Emissionen zu projektieren. Zugleich können die Auswirkungen des Klimawandels auf den Raumkomfort mit dem sommerlichen Wärmeschutz energieeffizient vermindert werden.

Bei der Planung von Bildungseinrichtungen sind viele Anforderungen im Rahmen der aaRdT zu beachten. Diese stellen u. a. Parameter betreffend der Behaglichkeit und Raumluftqualität auf. Die Verbesserung der Raumluftqualität steht in Bildungseinrichtungen seit Jahren zur Diskussion. Viele Kommunen haben aufgrund hoher Investitionskosten Lüftungsanlagen in der Vergangenheit abgelehnt. Die ermittelten Grundlagen haben aufgezeigt, dass auf mechanische Lüftungsanlagen nicht verzichtet werden kann und diese als Stand der Technik bezeichnet werden können. Zusätzlich wurde am Beispiel des Coronavirus aufgezeigt, dass Lüftungsanlagen das Infektionsrisiko von luftübertragenen Krankheiten in Innenräumen deutlich verringern können.

Weiter wurden die Auswirkungen von neuen Raumkonzepten, der Inklusion und Digitalisierung mit den Schulbauleitlinien der Städte Dortmund und Düsseldorf

untersucht. Beide favorisieren die Organisationsform des Cluster-Modells, um mit einer flexiblen Raumnutzung die neuen pädagogischen Ansätze zu verfolgen. Zur Anpassung an die aktuellen Raumbedingungen müssen Maßnahmen in der Anlagentechnik vorgesehen werden.

Damit diese Grundlagen in Konzepten verarbeitet werden konnten, wurden die derzeit technischen Lösungsmöglichkeiten ermittelt. Anschließend sind mit diesen Erkenntnissen Konzepte zur Raumkonditionierung im Bereich der Raumtemperierung, Be- und Entlüftung sowie Gebäudeautomation aufgestellt worden. Diese wurden insbesondere unter den Aspekten der Nachhaltigkeit und Energieeffizienz entwickelt. Auch zur Umsetzung im Fall von Sanierungen und den damit verbundenen begrenzten technischen Möglichkeiten sind ausreichend Alternativen vorgestellt worden, um die ausschlaggebenden Grundsätze einzuhalten.

Geschäftsmodelle für Carsharing im ländlichen Raum. Eine Analyse am Beispiel der Stadt Cuxhaven.

Jana Busse B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Carolin Dietrich (M.Sc. Raumplanung/Dipl.-Geogr.)
Datum des Kolloquiums:	10. Juni 2020
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	energielenker Beratungs GmbH



Ziel der vorliegenden Bachelorarbeit ist es, mögliche Hemmnisse und Erfolgsfaktoren von Carsharing-Geschäftsmodellen am Beispiel der Stadt Cuxhaven zu identifizieren und zu analysieren. Dazu wurden neben einer umfangreichen Literaturanalyse, eine Umfrage mit Bürgern der Stadt Cuxhaven ausgewertet, und fünf leitfadengestützte, problemzentrierte Interviews mit Experten geführt. Die befragten Experten sind Akteure, die in der Stadtverwaltung, in Unternehmen des öffentlichen Personennahverkehrs sowie in Tourismusverbänden und Carsharing-Organisationen arbeiten. Die Interviews wurden mit der Methode der qualitativen Inhaltsanalyse ausgewertet und die Ergebnisse mit den Erkenntnissen aus der Literaturlauswertung und der Umfrage ergänzt und verglichen.

Als zentrale Hemmnisse für ein Carsharing-Geschäftsmodell wurde das geringe Nutzerpotenzial der einheimischen Bevölkerung sowie fehlende Kooperationen mit der Kommune, Tourismusverbänden und Betreibern des öffentlichen Personennahverkehrs identifiziert.

Auf diese Herausforderungen sollte mit einer gezielten Ansprache weiterer Zielgruppen, wie Touristen und gewerblichen Nutzern reagiert werden. Um die Kundengewinnung und -bindung zu verbessern, sollten Kooperationen mit Unternehmen und Verbänden der Tourismusbranche, anderen Carsharing-Anbietern und Betreibern des öffentlichen Personennahverkehrs eingegangen werden. Letztere bieten Potenziale, die Lücken des öffentlichen Verkehrs in den ländlichen Stadtteilen auszugleichen und Carsharing als Zweitwagenalternative zu etablieren. Ein weiterer wichtiger Erfolgsfaktor ist die Unterstützung der Kommune, diese kann zum einen Standorte im öffentlichen Raum ausschreiben, zum anderen kann sie beispielsweise mit einer Ankermierte den Anbieter öffentlich unterstützen.

Die Ergebnisse können nur einen Auftakt zu weiteren Untersuchungen für die weitere Etablierung des Carsharings in Cuxhaven darstellen. Um die Nutzerpotenziale und Kooperationsmöglichkeiten genauer zu ermitteln, bieten sich weitere quantitative Erhebungen an.

Einrichtung einer Trübungsmessung zur Bilanzierung von Regenwasserbehandlungsanlagen

Denis Eduardo Castaneda Hernandez B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Thorsten Schmitz M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	10. Juni 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Technikum Hydraulik und Stadthydrologie



Bei Regenfällen, vor allem in urbanen Standorten fließt Wasser auf befestigten Flächen ab. Diese Oberflächenabflüsse sind per Definition behandlungspflichtig und müssen in das Entwässerungssystem abgeleitet und möglichst nach dem Stand der Technik behandelt werden. In der Vergangenheit wurden für diesen Zweck zentrale Kläranlagen für die Reinigung der Regen- und Schmutzwasserabflüsse aus der Mischkanalisation verwendet. Obwohl diese Systeme heutzutage noch im Einsatz sind, werden für die Behandlung von Regenwasser sowie für die Planung und Neubau von Entwässerungssysteme getrennte Systeme bevorzugt. Aus diesem Grund können Regenwasserbehandlungsanlagen zentral oder dezentral je nach beispielsweise Dichte des Einzugsgebietes oder Platzverhältnissen angeordnet werden.

Die Sensibilisierung über die Schadstofffrachten in Oberflächenabflüssen hat in den letzten Jahren zugenommen. Vor allem weil die sich im Regenwasser befindenden partikulären Feststoffe als Transportmatrix für zahlreichen Schadstoffe fungieren (vor allem Schwermetalle und organische Verbindungen). In Deutschland werden diese Stoffe in dem Parameter abfiltrierbare Stoffe (AFS) erfasst. AFS sind alle Schwimm-, Schweb- und Sinkstoffe, die nach der Filtration durch einen Filter bekannter Porengröße zurückgehalten werden. Diese werden nach ihrem Korndurchmesser in AFSgrob (Partikel $> 63\mu\text{m}$) und AFSfein (Partikel $< 63\mu\text{m}$) unterteilt. Hinsichtlich der Korngröße wurden bei AFS-Feinanteile höhere Schadstoffbelastungen als bei den Grobanteilen nachgewiesen. AFS werden anhand einer Probenahme labortechnisch bestimmt.

Diese Verfahrensweise ermöglicht dennoch keine Echtzeitüberwachung der Feststofffracht. Aus diesem Grund muss die Erfassung eines kontinuierlich messbaren Parameters eingeführt werden. Die Trübung wird, durch die sich im Abwasser befindenden Partikel verursacht und kann optisch mittels Trübungssonde erfasst werden. Durch ihre Messung können Rückschlüsse auf die Konzentration von AFS gezogen werden, denn es besteht ein Zusammenhang zwischen Trübung und Konzentration. Dieser Zusammenhang ist abhängig von der spezifischen Partikelmatrix eines Standortes und kann nicht auf andere Standorte übertragen werden. Dies bedarf der Erstellung einer mathematischen Beziehung, welche diesen Zusammenhang ortsabhängig beschreibt. Im Labor für Stadthydrologie der Fachhochschule Münster werden Untersuchungen über die Behandlung von Oberflächenabflüssen durch Filteranlagen und die damit verbundenen

Zusammenhängen durchgeführt. Für den Straßenstaub eines Standortes wurde die Korrelation zwischen Trübung und AFS festgestellt. Die daraus resultierenden Korrelationskurven wurden im Rahmen dieser Abschlussarbeit in einer Versuchsanlage überprüft und untersucht. Es wurde erwartet, dass die spezifischen Funktionen der Korrelation für die kontinuierliche Überwachung der Feststoffkonzentration anhand der Trübungsmessung anwendbar sind und sich vergleichbare Ergebnisse zur AFS Bestimmung durch andere Methoden ergeben.

Durch den Einsatz von Analysefunktionen in der Trübungssonde wird indirekt die AFS Konzentration in Wasserproben ermittelt. Durch den Vergleich mit theoretischen Ergebnissen wird hierdurch die Anwendbarkeit der Funktionen ermittelt. Die kontinuierliche Trübungsmessung wurde in der Versuchsanlage mit in der Trübungssonde hinterlegte Analysefunktion für den Ablauf durchgeführt. Parallel dazu wurde die AFS Konzentration des Ablaufs mittels Partikelzählung erfasst. Bei der kontinuierlichen Trübungsmessung ist eine Tendenz zwischen der AFS-Äquivalenz aus der Trübungssonde und den Konzentrationen aus den Partikelzähler festzustellen. Das deutet darauf hin, dass die Trübungskorrelation für die untersuchte

Partikelmatrix anwendbar ist. Die Anpassung der Messintervalle, mit denen die Trübungssonde Trübungswerte aufzeichnet, könnte zu einer Verringerung der Abweichung führen, denn die Variabilität der Trübungsdaten ist dadurch begrenzt.



Abbildung 1: Vergleich von AFS-Äquivalenz der beiden Messmethoden.

Jens Cramer B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning

Datum des Kolloquiums: 10. Mai 2021

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Umwelttechnik

in Kooperation mit: Wessling GmbH



Die vorliegende Arbeit stellt die Durchführung einer Energieeffizienzanalyse gemäß Arbeitsblatt 216 der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) auf der kommunalen Abwasserreinigungsanlage (ARA) der Gemeinde Nordwalde dar. Das Arbeitsblatt dient als einheitlicher Leitfaden zur Bewertung von Kläranlagen unter energetischen Aspekten mit dem Ziel, die Betriebskosten zu senken und Ressourcen zu schonen. Dafür lässt es den Betreiber seine Anlage mit bereits untersuchten Anlagen vergleichen, um so eine Einordnung seiner Anlage in Bezug auf die Energieeffizienz zu ermitteln.

In Abbildung 1 sind die Stromverbräuche von Anlagen der Größenklassen (GK) 1-5 als Häufigkeitsverteilungen dargestellt.

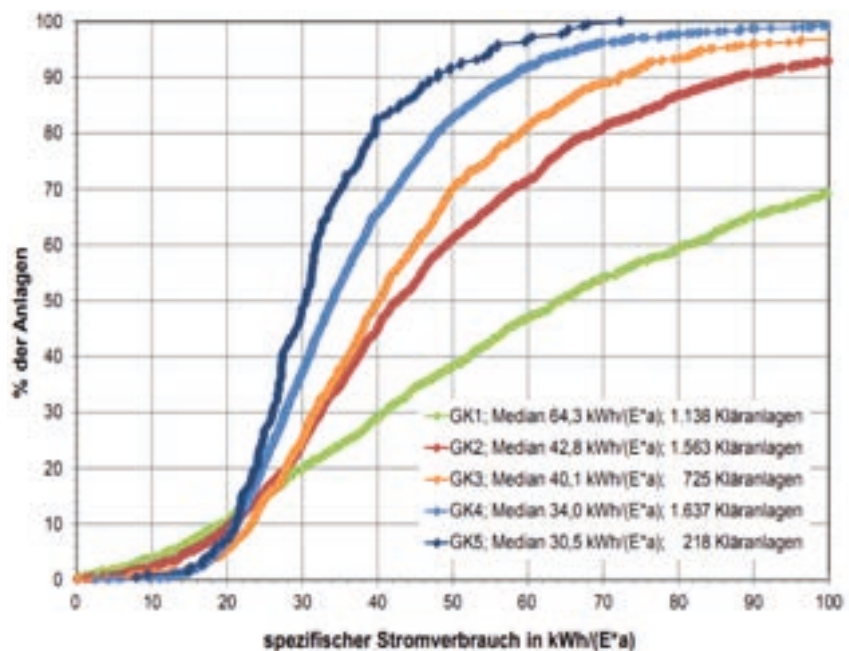


Abb 1: Unterschreitungshäufigkeit - spezifischer Stromverbrauch der Größenklassen 1 - 5 (DWA, 2015)

Die daraus resultierenden Ergebnisse zeigen, dass die ARA der Gemeinde Nordwalde mit einem spezifischen Gesamtstromverbrauch von 57,32 kWh/(E·a) ein hohes Energieeinsparpotential aufweist. Es konnte nachgewiesen werden, dass der spezifische Energiebedarf um etwa 23 kWh/(E·a) höher liegt als der Median von ARA der GK 4. Durch den Vergleich mit spezifischen Idealwerten konnten verschiedene Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz der ARA Nordwalde identifiziert werden. Mit Umsetzung der identifizierten Maßnahmen können theoretisch jährlich rund 150.000 kWh elektrische Energie eingespart werden. Das entspräche einer Kosteneinsparung in Höhe von 33.000 €/a und reduziert den Gesamtstromverbrauch der Anlage um 25 %. Der spezifische Gesamtstromverbrauch belief sich damit theoretisch auf etwa 43 kWh/(E·a).

Die ermittelten Einsparpotentiale lassen sich in sofort-, kurzfristige und abhängige Maßnahmen unterteilen. Die Einstellung des Rückführverhältnisses gehört dabei zu den Sofortmaßnahmen, die Installation von Frequenzumrichtern zur Drehzahlregelung der Aggregate ist den kurzfristigen Maßnahmen zuzuordnen. Zu den abhängigen Maßnahmen gehört die Regelung des Sauerstoffsollwertes in der biologischen Stufe sowie der Austausch der Gebläse des Belebungsbeckens. Die Wirtschaftlichkeit der Maßnahmen ließ sich durch das Kosten/Nutzen-Verhältnis bewerten. Nur 1 % der Einsparung lassen sich hierbei durch Sofortmaßnahmen realisieren. Die Erarbeitung der kurzfristigen Maßnahmen birgt in dieser Arbeit die größten Einsparungen. Durch das zukünftige Einführen eines Lastmanagementsystems ergibt sich eine weitere Möglichkeit, den Stromverbrauch der Anlage zu reduzieren. Neben einer Verringerung der Strombezugskosten wird dabei ein Beitrag zur Stabilität des Energienetzes geleistet. Vergleiche mit durchgeführten Energieanalysen anderer ARA haben gezeigt, dass die in dieser Arbeit identifizierten Maßnahmen in Bezug auf Art und Umfang identisch sind und somit als relevant angesehen werden können.

Das Werkzeug der Energieanalyse verdeutlicht, dass eine genauere Betrachtung von ARA hinsichtlich ihrer Energiebilanz zu nennenswerten Einsparungen führen kann und dabei einen wichtigen Beitrag zum Umweltschutz leistet.

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Erweiterung der Gärresttrocknung am RETERRA-Standort in Coesfeld

Dominik Czwink M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums:	30. März 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	RETERRA GmbH & Co. KG



In dieser Arbeit ist die Thematik der Gärresttrocknung einer Bioabfallverwertungsanlage betrachtet worden. Der Anlass hierfür wurde durch die Bioabfallverwertungsanlage der RETERRA West GmbH & Co. KG in Coesfeld gegeben. In dieser Anlage werden circa 56.000 t Bioabfälle pro Jahr behandelt, von denen der Großteil zur Biogasproduktion trocken vergoren wird. Die anfallenden Gärreste werden vorrangig durch einen Gärresttrockner (Rhino Agrar 10.000) getrocknet. Der überschüssige Teil wird durch eine Schneckenpresse entwässert und anschließend kompostiert. Durch die Trocknung wird mehr Flüssigkeit aus dem Gärrest entfernt als bei der Entwässerung mit anschließender Kompostierung. Außerdem fällt bei der Entwässerung flüssiges Gärprodukt als Nebenprodukt an, welches hohe Entsorgungskosten verursacht.

Daher wird seitens der RETERRA West GmbH & Co. KG überlegt, die Gärresttrocknung zu erweitern, um die Entwässerung und die Tunnelkompostierung zu entlasten und Einsparungen hinsichtlich des flüssigen Gärproduktes zu erzielen. Diese Ausarbeitung soll als Grundlage für die Investitionsentscheidung dienen. Im Rahmen dieser Arbeit wird somit das Ziel verfolgt, auf Grundlage einer detaillierten Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eine Aussage zu treffen, ob beziehungsweise in welcher Form eine Erweiterung der Gärresttrocknung wirtschaftlich sinnvoll ist.

Bevor mit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung begonnen werden kann, sind die zu ergänzende Trocknerkapazität sowie die zu ergänzende Biomasseheizung zu dimensionieren. Bei der Dimensionierung der Trocknerkapazität wurde die Bedingung aufgestellt, dass die gesamte Gärresttrocknung permanent ausgelastet sein soll. Eine Erweiterung hierüber hinaus ist in technischer Hinsicht nicht sinnvoll, da mit der Schneckenpresse und der Tunnelkompostierung alternative Aufbereitungstechniken vorhanden sind. Zur Überprüfung der genannten Bedingung ist monatspezifisch das Verhältnis von anfallender Gärrestmenge zu dem maximalen Durchsatz eines Trockners (Rhino Agrar 10.000) berechnet worden. So konnte festgestellt werden, wie viele Trockner im jeweiligen Monat ausgelastet werden können.

In den Monaten Januar und Februar können lediglich drei Trockner vollständig ausgelastet werden. Es ist somit festzuhalten, dass die Gärresttrocknung um maximal zwei Trockner erweitert werden sollte. Bei der Auslegung der zu ergän-

zenden Heizleistung wurde zwischen der Erweiterung um einen Trockner und der Erweiterung um zwei Trockner differenziert. Anhand des jeweiligen gesamten Wärmebedarfes konnte schließlich die jeweils notwendige Heizleistung ermittelt werden. Auf dieser Grundlage konnten die verschiedenen Erweiterungsvarianten festgelegt werden. Zum einen wurden Varianten festgelegt, bei denen der gesamte Wärmebedarf vollumfänglich gedeckt wird. Zum anderen sind aber auch Varianten betrachtet worden, bei denen die Heizleistung geringfügig unterdimensioniert ist. Dies ist bei den Varianten 1, 2 und 4 der Fall.

Die Wirtschaftlichkeit der Erweiterungsvarianten wurde anhand der Kapitalwertmethode untersucht. Für jede Variante werden die Investitionskosten sowie die über die komplette Projektlaufzeit anfallenden Einsparungen und Mehrkosten gegenüber dem Fall, dass keine Erweiterung erfolgt, ermittelt. Abschließend können die wirtschaftlichen Kennzahlen Kapitalwert, interner Zinsfuß und dynamische Amortisationszeit berechnet werden. Diese Kennzahlen sind zusammen mit den jeweils anfallenden Investitionskosten in Tabelle 1 dargestellt.

Anhand der dargestellten Ergebnisse kann das Fazit gezogen werden, dass alle Varianten wirtschaftlich umgesetzt werden können. Insbesondere können die Varianten 2 und 5 empfohlen werden. Wenn die Erweiterung um einen Trockner erfolgen soll, ist die Variante 2 anzuwenden, da diese den größten Kapitalwert der Varianten 1, 2 und 3 besitzt. Bei der Erweiterung um zwei Trockner, ist die Variante 5 zu wählen. Diese besitzt den größten Kapitalwert aller Varianten. Neben den wirtschaftlichen Kennzahlen sind bei der Bewertung der Varianten weitere Aspekte zu berücksichtigen. Hier ist zum einen die Verminderung der flüssigen Gärproduktmenge zu nennen. Bei den Varianten 4 und 5 wird der Anfall und somit das Vermarktungsrisiko des flüssigen Gärproduktes vollständig vermieden. Nachteilig bei der Erweiterung um zwei Trockner ist jedoch, dass ein neues Sickerwasserbecken gebaut werden muss, bevor die Erweiterung umgesetzt werden kann.

Messkonzept zur Bestimmung von luftgetragenen Mikroplastikpartikeln

Sebastian Dalhoff M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dr. rer. nat. Jens Reiber
Datum des Kolloquiums:	19. Mai 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	WESSLING GmbH



Das Thema Mikroplastik ist bei der WESSLING GmbH in der Abteilung Mikro- und Nanoanalytik angesiedelt. Zur weiteren Methodenentwicklung und damit zukünftig das Medium Luft auf Mikroplastik vollumfänglich untersucht werden kann, wurde ein Messkonzept zur Bestimmung von luftgetragendem Mikroplastik entwickelt.

Unter Mikroplastik werden Kunststoffpartikel verstanden, welche hinsichtlich ihrer längsten Abmessung die Grenze von 5 mm unterschreiten. Mikroplastik kann sich durch unterschiedliche Emissionsquellen, wie beispielsweise über Reifenabrieb, synthetische Textilien oder der Emission von 3D-Druckern, sowohl im Innenraum als auch im Außenbereich freisetzen. Das Mikroplastik macht nicht an den Emissionsorten halt, im Gegenteil, Mikroplastik kann über die Luft weitreichend transportiert werden. Hierfür spielen zum einen die Partikeleigenschaften wie Größe und Dichte, zum anderen die vorliegenden Umgebungsfaktoren wie Strömungsverhältnisse eine entscheidende Rolle. Im Allgemeinen lassen sich Partikel über den Luftpfad diffus, dynamisch, schnell und ubiquitär verbreiten. Diese Eigenschaften prädestinieren im Außenbereich eine umfassende Verbreitung in sämtliche Umweltkompartimente. Im Innenbereich betreffen die Emissionen vor allem uns Menschen, wodurch sie einen potentiellen Einfluss auf unsere Gesundheit haben können. Hinzukommend ist Mikroplastik weitestgehend chemisch inert, wodurch ein erhöhtes Potential zum Persistieren in der Ökologie vorliegt. Ob und wie weit Mikroplastik tatsächlich gesundheitsgefährdende Auswirkungen hervorruft, ist bislang nicht ausreichend bekannt.

Um zukünftig das luftgebundene Ausmaß von Mikroplastik gesamtheitlich abzubilden und der genannten Verkettung entgegenzuwirken, sind standardisierte Messkonzepte zur mikroplastischen Erfassung unausweichlich. Insbesondere ist ein harmonisierter Methodenpool für eine angemessene Interoperabilität hinsichtlich Probenahme, Probenaufbereitung und Probendetektion von luftgängigem Mikroplastik essenziell. Nur so kann eine Basis für die Quantifizierung und Vergleichbarkeit hergestellt werden.

Das Messkonzept der vorliegenden Arbeit stützt sich auf eine diskontinuierliche Probenahmemethode, welche über eine Luftfiltration die in der Luft befindlichen Partikel auf einen Filter abscheidet. In der Praxis werden ähnliche Verfahren zur Erfassung von Schwebstaub verwendet. Im Zuge dieser Arbeit wurde die Probe-

nahmemethodik umfassend auf die mikroplastische Eignung überprüft und damit zusammenhängend eine Anwendung in der Praxis erprobt. Hierfür wurden zwei Versuchsreihen initiiert.

Im ersten Versuchsteil wurde in einem eigens konzeptionierten Versuchstand, unter weitestgehend repräsentativen und reproduzierbaren Bedingungen, die Luftfiltrationsmethode unter verschiedenen eingestellten Luftkonzentrationen getestet. Hierfür wurden, unter Zugabe von definiertem Polymethylmethacrylat-Referenzmaterial, Wiederfindungsraten bestimmt. Innerhalb der Versuchsreihe zeigte sich, dass unabhängig von der jeweiligen Luftkonzentration, prozentual gleich hohe Wiederfindungsraten im Bereich von 25-30 % bestimmt werden konnten. Dies lässt auf eine gleichbleibende Sensitivität bei unterschiedlich vorliegenden Bedingungen schließen.

Im zweiten Versuchsteil wurde durch die Initiierung einer Feldstudie im Innenraum, in Anlehnung an die DIN ISO 16000-34, das Messkonzept für die Praxis implementiert und zugleich elementare Erkenntnisse über die innerräumliche Mikroplastik Situation gewonnen. Die Untersuchungsumgebungen umfassten einen Wohn-Küchenbereich, einen 3D-Drucker sowie die Beprobung von einem Waschaum. In den entnommenen Proben der Wohnküche sowie des Waschaums konnte stets Mikroplastik detektiert werden. Die Konzentrationswerte lagen zwischen 44 - 216 Mikroplastik/m³ in der Wohnküche und zwischen 32 - 96 Mikroplastik/m³ im Waschaum. Dabei konnten plausible materialspezifische Rückschlüsse auf etwaige Emissionsquellen wie synthetische Heimtextilien gezogen werden. Die Beprobung des 3D-Druckers wies zwar kein Mikroplastik oberhalb von 6 µm auf, jedoch konnten durch Folgeuntersuchungen Hinweise auf eine Emission im Nanobereich gewonnen werden.

Implementierung von Maschinellen Lernverfahren zur Belegungsdetektion und -vorhersage in Bürogebäuden unter Verwendung von Monitoring-Daten

Anna-Lena Denker M.Eng.

Erstprüfer: Dr.-Ing. Lena Altherr
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Martin Höttecke

Datum des Kolloquiums: 26. Februar 2021

Master-Studiengang: Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung: Gebäudetechnik



Der Gebäudesektor spielt eine zentrale Rolle für den Erfolg oder Misserfolg der Energiewende. Im Jahr 2017 verursachten Gebäude 35,4 % des deutschen Endenergieverbrauchs. Besonders Systeme der Heizungs-, Lüftungs-, Sanitär- und Klimatechnik zählen dabei mit bis zu 50 % zu den Hauptverursachern. Bereits jetzt ist jedoch absehbar, dass die gesteckten Klimaziele nicht erreicht werden, sodass der Fokus noch stärker auf die Umsetzung der bereits bestehenden Maßnahmen sowie auf die Entwicklung weiterer Maßnahmen gelegt werden muss.

Den stetig geforderten Energieeinsparungen steht jedoch der Komfort und die Behaglichkeit für die Gebäudenutzer gegenüber, welche meist mit einem erhöhten Energieeinsatz einhergehen. Gerade in Bürogebäuden, in denen ein Umfeld geschaffen werden soll, das für mehrere Menschen gleichzeitig auf einem begrenzten Raum ein produktives Arbeiten ermöglicht, ist der Komfort von hoher Bedeutung.

Ziel dieser Masterarbeit war es daher eine Grundlage dafür zu schaffen, den Konflikt zwischen Energie- und Komfortzielen im Gebäudebetrieb zu entschärfen. Dazu wurde ein Modell entwickelt, das mit Hilfe von Maschinellen Lernverfahren und unter der Verwendung von Monitoring-Daten die Belegung innerhalb eines Bürogebäudes vorhersagt. Dieses Modell kann dann im Weiteren in die Regelung eines Gebäudes einfließen, um diese stärker auf das Nutzerverhalten auszurichten und die Energieeffizienz zu steigern. Die akkurate Vorhersage der An- und Abwesenheit von Personen ermöglicht es im Fall der Belegung eine behagliche Raumkonditionierung für die Nutzer sicherzustellen, wohingegen im Fall der Nicht-Belegung die Ziele der Energieeinsparung im Fokus stehen. Eine alleinige Detektion der Belegung ist heutzutage nicht mehr ausreichend, da viele der modernen Gebäudesysteme eher träge sind und erst zeitverzögert auf sich ändernde Situationen reagieren.



Abb1: Schaubild Motivation

Um ein solches Modell zu entwickeln, wurde zunächst eine geeignete Datengrundlage gesucht. Dabei konnte ein Datensatz ausfindig gemacht werden, welcher verschiedene Monitoring-Daten eines Frankfurter Bürogebäudes enthält. Zum einen wurden dort Daten erfasst, die das Nutzerverhalten innerhalb des Büroraumes beschreiben wie beispielsweise die Präsenz, aber auch die Stellung der Fenster und des Sonnenschutzes oder der Stromverbrauch des Büroequipments. Zum anderen waren auch Daten enthalten, die den thermischen Raumzustand charakterisieren wie beispielsweise die Raumtemperatur und der CO₂-Gehalt.

Diese Daten wurden zunächst analysiert und aufbereitet, damit der später angewendete Algorithmus diese richtig verarbeiten kann. Zudem wurden die vorhandenen Variablen noch einmal gefiltert und zusätzliche Merkmale aus dem Zeitstempel und den Belegungsdaten der vergangenen Stunde generiert.

Erst danach konnte die tatsächliche Anwendung der Maschinellen Lernverfahren stattfinden. Maschinelles Lernen ist ein Teilgebiet der Künstlichen Intelligenz, bei dem Probleme mit Hilfe von Modellen gelöst werden, welche die Regeln zur Lösung des Problems anhand von Beispieldaten selbst erlernen. Innerhalb des Maschinellen Lernens existieren wiederum für verschiedene Aufgabentypen verschiedene Lernverfahren. Im Zuge dieser Arbeit wurden der Random Forest, welcher auf dem Prinzip eines Entscheidungsbaums basiert, und die Logistische Regression als Lernverfahren angewendet, da diese zunächst recht simple und leicht zu interpretierende Lernverfahren sind. Insgesamt konnten unter Verwendung von verschiedenen Merkmalskombinationen sechs Modelle entwickelt und untersucht werden.

Die Evaluation der Ergebnisse ergab, dass die erstellten Modelle für eine Vorhersage der Belegung in bis zu drei Stunden geeignet sind. Danach waren die erzielten Kennwerte leider nicht mehr zufriedenstellend. Dies war besonders auf die Detektion falsch-negativer Werte zurückzuführen, was im Kontext der Anwendung bedeutet, dass Räume falsch als nicht belegt klassifiziert wurden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass eine noch intensivere Vorverarbeitung der Daten oder die Anwendung komplexerer Lernverfahren zu besseren Ergebnissen führen, sodass ein weiterer Zeithorizont der Prognose erzielt werden kann, welcher für die Anwendung hinsichtlich träger Gebäudesysteme notwendig ist.

Mit Blick auf die verwendeten Variablen konnte festgestellt werden, dass je nach Zeitpunkt der Vorhersage andere Merkmale für die Vorhersage ausschlaggebend waren. Über den gesamten Zeitraum haben sich jedoch alle Merkmale als relevant erwiesen.

In einer anschließenden Forschungsarbeit muss nun analysiert werden, wie groß das aus der verbesserten Belegungsvorhersage resultierende Energieeinsparpotenzial ist. Auch sollten weitere Anwendungsfelder, besonders im Bereich des Facility Managements, untersucht werden. Dies könnte beispielsweise die Optimierung von Flächen oder Reinigungszyklen basierend auf der Belegungsvorhersage sein.

Untersuchung einer dezentralen Wohnungslüftungsanlage, unter den Aspekten der thermischen Behaglichkeit, Luftqualität und Wirtschaftlichkeit

Steffen Deters B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Björn Vellguth
Datum des Kolloquiums:	25. März 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Hansa Planung



Durch die wachsende Zahl von Möglichkeiten zur Energieeinsparung bei Gebäuden, steigen auch die Ziele. Die Gebäude werden immer dichter und ermöglichen so kaum noch natürliche Infiltration. Dazu wird der Anteil an Schadstoffen in der Außenluft immer größer. Dadurch wird es immer wichtiger, für eine ausreichende Belüftung Sorge zu tragen. Da der Mensch unter den sich ändernden Gegebenheiten nicht benachteiligt werden soll, gilt es eine zufriedenstellende Behaglichkeit zu gewährleisten.

Gerade im Bereich der Luft gibt es viele Stoffe die dem Menschen schaden.

Hierzu zählt zum Beispiel der steigende Anteil an CO₂ oder des Feinstaubes in der Außenluft. Ebenso ist die Luftfeuchtigkeit ein Thema bei der Belüftung um die Schimmelbildung zu verhindern. Das sind Faktoren die nicht nur die Behaglichkeit beeinträchtigen, sondern auch Krankheiten hervorrufen können.

Natürlich spielt auch die Temperatur im Raum eine Rolle. Ist sie zu niedrig, frieren Menschen und ihre Zufriedenheit sinkt. Aber auch andere Einflüsse wie zum Beispiel ein zu warmer Fußboden oder zu hohe Luftgeschwindigkeiten können dazu führen, dass sich Menschen nicht wohl fühlen. Hierfür wurden verschiedene Normen ins Leben gerufen, um den Menschen ein möglichst angenehmes Wohnen zu ermöglichen.

Im Rahmen dieser Arbeit werden unterschiedliche Systeme der Belüftung eines Lofts mit besonderer Raumhöhe bezüglich ihrer thermischen Behaglichkeit betrachtet. Da auch der finanzielle Aspekt ein wichtiger Faktor ist, fließt dieser, in Form einer wirtschaftlichen Analyse, ebenfalls in die Beurteilung der Systeme ein.

Um die Unterschiede der Wohneinheiten nicht zu vernachlässigen, werden zwei unterschiedlich große Wohnungen betrachtet. In der Planung werden, wenn nicht anders vereinbart, in den Normen festgelegte Kategorien ausgewählt, um die zu erreichende Behaglichkeit zu bestimmen. Da diese Kategorien aber oft nicht die maximal erreichbare Behaglichkeit beinhalten, wird genau dieses untersucht. Ziel dieser Arbeit ist deshalb, mit den gegebenen Voraussetzungen des Bauherren, eine Behaglichkeit von 94 % nach DIN EN ISO 7730 und DIN EN 16798-1 zu erreichen.

Die Arbeit ist so gegliedert, dass zunächst der Stand der Technik erläutert und in die Themengebiete eingeführt wird. In diesen Kapiteln wird auch auf die Berechnungsvorgänge und ihre entsprechenden Richtlinien eingegangen. Im Kapitel 3 erfolgt dann die Durchführung der Arbeit. Hier werden die Gegebenheiten des Gebäudes beschrieben und die Voraussetzungen dargestellt.

Außerdem werden die in Frage kommenden Varianten vorgestellt und die Berechnungen durchgeführt. Das Kapitel 4 beschreibt und diskutiert die Ergebnisse der Varianten für die untersuchten Wohnungen. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse resümiert und die optimale Variante vorgestellt. Schlussendlich folgt in Kapitel 6 ein Ausblick über die Untersuchungen hinaus.

Hauptbeweggrund zur Auswahl dieses Themas ist der Einfluss der Belüftung auf die Luftqualität und die thermische Behaglichkeit. Verunreinigte Luft zum Beispiel in Form von Feinstaub oder der aktuell im Fokus stehenden Aerosole, kann für Menschen schädlich sein. Um diese oder ähnliche Schadstoffe aus der Wohnung oder gar nicht erst hinein zu bekommen muss die richtige Belüftung gewählt werden. Da meiner Meinung nach, auch das persönliche Wohlbefinden zur Gesundheit beiträgt, sollte hier der Aspekt der thermischen Behaglichkeit mit beachtet werden. Zudem muss auch die Wirtschaftlichkeit betrachtet werden, damit die Kosten verglichen werden können.

Schlussendlich ist festzustellen, dass beide Systeme Vorteile für den Nutzer bringen. Hier muss abgewogen werden, ob der Nutzer einen höheren Komfort in Anspruch nehmen möchte oder einen geringen Kostenanteil bevorzugt. Da es sich bei dem Gebäude um gehobene Wohneinheiten handelt, empfiehlt sich die Variante des Bodenkonvektors.

Im Hinblick auf die Zukunft und die Veränderung des Klimas, verändern sich auch die Bedürfnisse der Menschen. Die extremen Wetterereignisse nehmen zu und kann zu Hitzewellen kommen, welche Einfluss auf die Zufriedenheit von Personen nehmen. Dies kann mithilfe einer Behaglichkeitsberechnung ermittelt werden. Falls die gewünschte Behaglichkeit aufgrund der hohen Temperaturen nicht erreicht werden kann, stehen am Standort des Gebäudes verschiedene Kälteerzeuger zu Verfügung. Dies macht eine Kühlung mittels eines Bodenkonvektors möglich. So kann auch bei extrem warmen Temperaturen ein hoher Prozentsatz zufriedener Personen erreicht werden.

Pascal Dietrich B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer: Prof. Dr. Carsten Fichter
Datum des Kolloquiums: 3. März 2022
Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Energietechnik
in Kooperation mit: EnergieSynergie GmbH



In Norddeutschland müssen tief liegende Gebiete künstlich entwässert werden. Ein Großteil der Schöpfwerke ist mit Technik des 20. Jahrhunderts ausgestattet. Um energieeffiziente Maßnahmen umsetzen zu können, muss die Steuerung der Schöpfwerke modernisiert werden. Der Klimawandel führt zu einer zusätzlichen Belastung des Entwässerungssystems, die es zu bewältigen gilt.

Es ist geplant, die Anlage mit einem Gesamtkonzept des Energieverbrauchsmanagement („Demand Side Management“) zu erweitern. Das Steuerungssystem wird durch den Einsatz eines Algorithmus optimiert. Die modulare, parametrisierte Umsetzung des Algorithmus bietet Flexibilität und ermöglicht die Anwendung unter den diversen Voraussetzungen der Schöpfwerke.

Diese Arbeit untersucht die Potenziale des Demand Side Management der Sielentwässerung („DSMS“). Dazu zählen Energiereduktionen durch Nutzung der passiven Entwässerung, Kostenreduktion über Zweitarifverträge und Emissionsminderung durch Windverfügbarkeit.

Diese Konzeptualisierung und Entwicklung liefert einen konkreten Plan zur zukunftsgerechten Steuerung der Schöpfwerke. Die Ergebnisse des DSMS zeigen, dass damit ein Beitrag zur Anpassung an den Klimawandel geleistet werden kann.

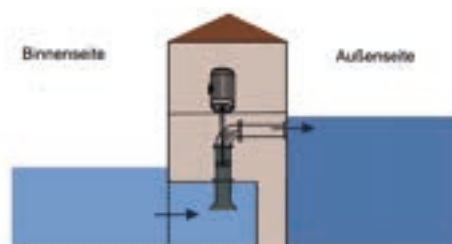


Abb. 1: Profilschnitt von Niederungsgebieten zeigt die Notwendigkeit für Entwässerung durch den Deichbau



Abb. 2: Foto eines Schöpfwerks als kleines gemauertes Haus mit Sicht auf die Binnenseite und vorgelagerten Graben



Abb. 3: Schema eines Schöpfwerks zeigt den Einbau von Motor und Pumpe zur Entwässerung der Binnenseite.

Die Wasserwirtschaft wird in den kommenden Jahren vor neue Herausforderungen gestellt sein. Es gilt die Anpassungsmaßnahmen an den Klimawandel umzusetzen. Mit dieser Konzeptualisierung und Entwicklung ist ein konkreter Plan entlang dieser Anpassungsstrategien ausgewiesen. Die Potenziale des Demand Side Management werden qualitativ und quantifiziert aufgedeckt.

Die Erweiterung der Sicherheit mit den Ebenen der Automatisierung ist ein konkurrenzloses System, da es die bestehende Sicherheit nicht verändert, sondern nur zusätzliche Möglichkeiten hinzufügt. Mit der Automatisierung des Betriebs wird eine Visualisierung eingeführt, die die Überwachung einfacher gestaltet. Zudem bedeutet der Fernzugriff ein schnelles, ortsunabhängiges Reagieren. Die damit eingesparte Arbeitszeit kann anders investiert werden.

Der modulare, parametrische Aufbau des Algorithmus gewährt Flexibilität und ermöglicht eine breite Anwendung. Für die Anwendung einer Software zur Automatisierung der Schöpfwerke ist die Modularität unabdingbar, weil die äußeren Umstände wie die Abflussmenge und anlagenspezifische Größen an jeder Station unterschiedlich sind. Der Algorithmus ist dafür ausgerichtet. Zum Beispiel mit unterschiedlichen Pegelschaltmöglichkeiten oder der Berechnung für die erforderliche Anzahl an Pumpen unabhängig von der Anzahl der Pumpen im Schöpfwerk.

Die Implementierung bringt eindeutige Ersparnisse bei den untersuchten Fällen. Energieeinsatz zu vermeiden ist immer die wirksamste aller Reduktionsmöglichkeiten. Das effizienteste Instrument, um das Pumpvolumen und damit den Energieverbrauch zu reduzieren, ist die Nutzung der maximal möglichen Sichelzeiten. Außerdem stellt die Verschiebung der Pumpzeiten einen klaren Kostenvorteil für die Betreiber der Schöpfwerke dar. Mit diesen Einsparungen kann die Implementierung des Steuerungskonzepts refinanziert werden.

Die Netzdienlichkeit ist für die zukunftsgerechte Anpassung notwendig. Dazu sind die Sperrzeiten und die Niedrigtarife implementiert. Die indirekten Emissionen zu reduzieren, muss über die Änderung des Energiebezugs erfolgen. Die Verfügbarkeit von Windenergie in Norddeutschland in unmittelbarer Nähe zu den Entwässerungsgebieten schafft eine optimale Voraussetzung für die Nutzung einer WEA zur Deckung des Energiebedarfs der Schöpfwerke. Der CO₂-Emissionsfaktor der Windenergieanlagen ist vielfach niedriger als der des deutschen Strommix, weshalb Windenergieanlagen für den zukunftsgerechten Betrieb der Schöpfwerke eingesetzt werden sollten. Ein Beispiel für eine erfolgreiche Umsetzung gibt es im EV Emden.

Die verschiedenen Möglichkeiten im Rahmen des Forschungsprojekts DSMS zeigen, dass mit Hilfe des Gesamtkonzepts und der konkreten Umsetzung einzelner Cases die Steuerung der Schöpfwerke zukunftsgerecht gestaltet werden kann. Die identifizierten Potenziale können außerdem nach der Implementierung weiterentwickelt werden.

Über Einsparpotentiale und regenerative Energieerzeugung zum autarken Steinbruchbetrieb

Nadine Dirksmeyer M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Tobias Peselmann
 Datum des Kolloquiums: 14. Mai 2020
 Master-Studiengang: Energie · Gebäude · Umwelt
 Studienrichtung: Energietechnik
 in Kooperation mit: pbr NETZenergie GmbH



Unter dem Gesichtspunkt der Klimaerwärmung und ihrer Folgen gewinnt die Einsparung von Energie und die Substitution fossiler Energieträger zunehmend an Bedeutung. Durch politische Maßnahmen, wie z.B. die Einführung der CO₂-Bepreisung sowie steigende Preise für Energieträger, wird die Erhöhung des Autarkiegrades auch wirtschaftlich relevant.

Der derzeitige niedrige Autarkiegrad bedeutet für das Unternehmen eine Abhängigkeit von externen Energielieferungen und, auf Grund des hohen Anteils des Diesels am Gesamtenergiebedarf, von den Dieselnkosten.

Diese Abschlussarbeit soll daher Möglichkeiten eruieren den Energiebedarf zu senken, den Anteil selbst erzeugter regenerativer Energien zu erhöhen und den Energieträger Diesel zu substituieren.

Hierzu wurde zunächst die derzeitige energetische Situation des Betriebes analysiert. Im nächsten Schritt wurden Einsparpotentiale ermittelt und bewertet. Um ein Konzept zum autarken Betrieb zu entwickeln, wurden vielfältige Möglichkeiten zur regenerativen Energieerzeugung und zur Substitution des Diesels in Betracht gezogen.

Auf Basis dieser Ergebnisse wurden abschließend mehrere Szenarien im Hinblick auf ihre Machbarkeit, Wirtschaftlichkeit, Umweltfreundlichkeit (CO₂-Einsparung) und den erreichbaren Autarkiegrad untersucht.

Dabei wurden drei Varianten der Stromnutzung untersucht. Erstens, zur Erreichung einer Autarkie im Bereich Strom, die Speicherung zur späteren Rückspeisung ins betriebsinterne Netz. Zweitens die Nutzung des erzeugten Stroms für den Antrieb batteriebetriebener Fahrzeuge. Drittens die Hydrolyse zur Erzeugung von Wasserstoff für den Betrieb von Brennstoffzellen-Fahrzeugen. Gleichzeitig wurde die Leistung der Energieerzeugung (PV-Freiflächenanlage) variiert vom derzeitigen Ausbaustand bis hin zum benötigten für eine vollständige Autarkie.

Nils Eckhoff B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Ing. H. Tobias Meßmann
Datum des Kolloquiums:	30. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Winkelmann Group



Die Entwicklung und Realisierung von Energiespeichern ist seit Jahrzehnten ein großes Thema in Bezug auf den Klimawandel und den Wunsch nach regenerativen Energien. Aus diesem Grund soll dem vernachlässigten Problem der Speicherung mit neuen Technologien entgegengewirkt werden.

Eine dieser neuen Technologien ist die thermochemische Wärmespeicherung. Aufgrund ihres noch frühen Entwicklungsstadiums und der Tatsache, dass sie über eine hohe potentielle Speicherdichte verfügen, bieten derartige Systeme ein großes, bislang noch ungenutztes, Potential.

Das Unternehmen Winkelmann Group zeigte dabei großes Interesse und sah eine Chance, regenerative Energien mit solchen Systemen zu erweitern und somit eine Steigerung der Effektivität bestehender Anlagen zu erzielen. Daher wurde diese Arbeit in Kooperation mit dem Unternehmen vorgenommen. Die Entwicklung und Realisierung eines solchen Systems stellt den Großteil dieser Arbeit dar und soll die These widerlegen, dass Kupfersulfat sich nicht als Energiespeicher für einen thermochemischen Wärmespeicher eignet. Zur Widerlegung dieser These wurde die experimentelle Vorgehensweise, durch die Entwicklung und Realisierung eines solchen Systems, gewählt.

Die Arbeit beinhaltet dabei den Aufbau eines Prüfstandes sowie die Entwicklung und Realisierung eines neuartigen Reaktors, der anschließend Daten und Erkenntnisse unter realen Bedingungen aus dem Prüfstand liefern soll. Ebenfalls soll aufgezeigt werden, dass es durch simple konstruktive Maßnahmen möglich ist, Salzhydrate wie Kupfersulfat als Energiespeichermedium zu nutzen. Dazu ist die Arbeit in sechs Kapitel gegliedert, in denen neben den Grundlagen und Eigenschaften von Kupfersulfat auch auf aktuell existierende Energiespeicher eingegangen wird. Auch werden die allgemeinen Grundlagen von thermischer Energie selbst erläutert, sowie die prinzipielle Funktionsweise der drei thermischen Speicherarten, wozu die sensiblen, latenten, und die thermochemischen Energiespeicher zählen. Der Hauptteil sowie der Schluss widmet sich der Bewertung der bei den Versuchen ermittelten Daten und Erkenntnissen.

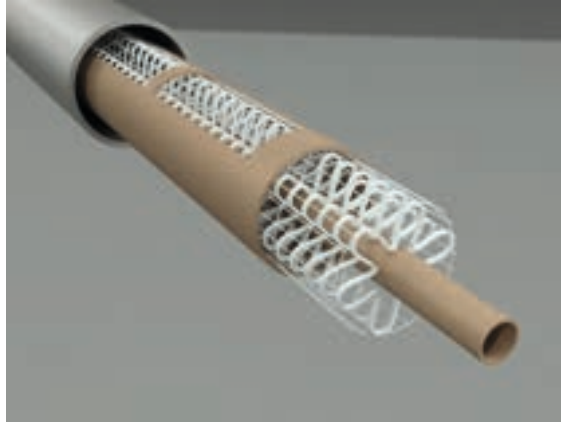


Abb1: Skizze des Prototyps

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse konnte die These, dass sich Kupfersulfat als Medium eines thermochemischen Energiespeichers nicht eignet, widerlegt werden. Dabei wird sich zum einen auf die teilweise Reversibilität des Kupfersulfats bezogen und zum anderen auf die ermittelte Leistung der Entladung.

Der ermittelte Energiegehalt des Speichers, nach dem Entladen, lässt auch darauf schließen, dass noch großes Potenzial besteht, den Vorgang der Entladung zu optimieren.

Abschließend lässt sich sagen, dass die hier erzielten Leistungen des in dieser Arbeit entwickelten Reaktors nicht den Vorstellungen zu Beginn der Arbeit entsprachen. Jedoch verspricht dieses System ein großes Verbesserungspotenzial im Bereich des Entladungsvorgangs und damit auch des Wirkungsgrades.

Etablierung eines Prozesses zur serientauglichen Fertigung von Kupplungen für Windkraftanlagen in China

Celine Engels B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. pol. Dirk Dresselhaus
 Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. pol. Klaus-Ulrich Remmerbach
 Datum des Kolloquiums: 28. Juli 2021
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Energie- und Umweltechnik
 in Kooperation mit: RENK AG, Rheine



Die erneuerbaren Energien gewinnen als Alternative zu fossilen Brennstoffen zunehmend an Bedeutung. Der Energiebedarf der Gesellschaft wächst zudem beständig. In allen Energiekonzepten für Deutschland spielt der Ausbau der erneuerbaren Energien eine herausragende Rolle. Der Anteil der erneuerbaren Energien ist in den letzten Jahren auf 50,5 % im Jahr 2020 gestiegen, dementsprechend findet die Hälfte der deutschen Nettostromerzeugung zur öffentlichen Stromversorgung mittels erneuerbarer Energien statt. Diesen Zusammenhang stellt nachstehende Abbildung dar. Außerdem ist zu erkennen, dass der Anteil der Windenergie bei den Erneuerbaren der Größte ist.



Abb 1: Öffentliche Nettostromerzeugung in Deutschland im Jahr 2020

Der Wettbewerbsdruck auf den Märkten für Windkupplungen und Getriebe ist in den letzten Jahren stetig gewachsen. Der Einstieg von chinesischen Herstellern bzw. Anbietern erschwert den deutschen Herstellern bzw. Anbietern die Lage zunehmend und es herrscht ein enormer Preisdruck. Auch die Unterschiede in der Qualität der Produkte werden immerzu geringer. Inzwischen befindet sich in etwa 35 % des Weltmarktes der Windenergie in China.

Die RENK AG ist Produzent von hochwertigen Komponenten im Bereich der Antriebstechnik. Sie beschäftigen sich mit dem Bau von Getrieben, Lagern, Kupplungen sowie dem System der Zustandsüberwachung und der Prüfstandstechnik für Windkraftanlagen. Ein wichtiger Schritt für die RENK AG war die Lokalisierung in China, um im Markt für Windkraftanlagen erfolgreich zu sein. Dafür gründeten sie eine Tochtergesellschaft in Shanghai. Diese fungiert als

Serviceort und für die Produktion von Kupplungen für Windkraftanlagen. Dadurch verringern sich die Gesamtkosten der Produktion und die Wettbewerbsfähigkeit bleibt bestehen. Im Rahmen der Bachelorarbeit passt die Renk AG ihren Serienfertigungsprozess für Windkupplungen an die Situation in China an und setzt ihn dort um. Im Vordergrund der Arbeit steht das Einführen und Umsetzen eines Konzeptes für die Qualitätssicherung bei der Tochtergesellschaft in China. Das Bestreben von RENK ist es, die Anforderungen an die ISO 9001 zu erfüllen. Diese legt die Mindestanforderungen an ein Qualitätsmanagementsystem fest.

Handlungsoptionen für Windparkbetreiber im Umgang mit Onshore-Windkraftanlagen in Deutschland nach Ablauf der EEG-Umlage mit Beispieldarstellung für den Windpark Hohen Pritz

Tade Feddersen B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. phil. Frank Striewe
Zweitprüfer:	Prof. Dr. Markus G. Schwering
Datum des Kolloquiums:	30. März 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Dirkshof/ EED GmbH & Co. KG



Die für erneuerbare Energien festgelegte Förderung zur Stromerzeugung ist für 20 Jahre nach dem Inbetriebnahmejahr gültig. 2000 wurde das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) eingeführt, sodass fortan mit den Jahreswechselln vermehrt Anlagen von dem Ende der Förderung betroffen sind. Der durch die regenerativen Anlagen erzeugte Strom erhält somit keine erhöhte Vergütung mehr, weshalb ein ökonomischer Weiterbetrieb für betroffene Fälle untersucht werden muss.

Mit dieser Arbeit sollte ein Überblick von Bewertungskriterien erstellt werden, anhand welcher die Betreiber, speziell von Onshore-Windkraftanlagen, die bestmögliche Handlungsalternative für einen profitablen Betrieb vereinfacht wählen können. In einer genaueren Betrachtung wird ersichtlich, dass keine Kriterien verallgemeinert werden können, die für sämtliche Altanlagen gilt, da es zu viele verschiedene Aspekte zu berücksichtigen gibt. Es muss also zumindest für jeden Windpark eine individuelle Einzelfallbetrachtung geben, welche die beste Option darstellt. Durch eine erneuerte Förderung wäre ein Repowering i.d.R. die Variante mit der höchsten Ausschüttung.

Weil für die modernen Anlagen jedoch eine immissionsschutzrechtliche Neugenehmigung notwendig ist, kann dies oft nicht umgesetzt werden. Eine Genehmigung nach dem BImSchG wird nach einem aufwendigen Verfahren mit diversen Nachweisen erteilt. Diese gilt es zu evaluieren, um die potenzielle Umsetzung eines Repowerings zu ermitteln. Alternativ können die Altanlagen weiterbetrieben werden. Hierbei spielt mehr die Auswahl der Vermarktungsform eine zentrale Rolle. Aufgrund des Alters ist abzuwägen, ob die Anlagen trotz erhöhtem Wartungsaufwand und geringerer Vergütung ein wirtschaftliches Geschäft erhalten können. Meist an den Börsenstrompreisen orientiert hat auch hier die Corona-Pandemie großen Einfluss, da sie die Preise stark sinken ließ. Dies wird auch an dem Anwendungsbeispiel deutlich, das für die Thesis den Bezug zur Praxis aufweisen soll.

Der vom Dirkshof betriebene Windpark in Hohen Pritz verliert eine erhöhte Vergütung durch die Förderung mit dem Jahreswechsel 2021/2022. Nach der Einzelfallbetrachtung ist klar, ein Repowering ist genehmigungsrechtlich nicht umsetzbar und der Weiterbetrieb kann nur mithilfe eines Stromlieferungsvertrages gesichert werden, in dem sich ein Stromabnehmer zu einer festen Auszahlung verpflichtet. Die dritte und letzte Option für die Betreiber ist der ersatzlose

Rückbau, der nach individueller Bewertung gewählt wird, wenn anders nur ein ruinöser Betrieb geführt werden könnte. Für die Zukunft bleibt zu beobachten, wann ein Repowering realisiert werden kann und welche anderen Mittel zur Verfügung stehen, um Rentabilität zu sichern, z.B. durch die Sektorenkopplung in Form einer verstärkt ausgebauten Wasserstoffinfrastruktur.

Thermische Beständigkeit reaktiv gesputterter Schichtsysteme für die farbige Gestaltung von PV-Modulen - Einfluss der intrinsischen mechanischen Spannungen

Leon Fels B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Senker
Zweitprüfer:	Dr. Thomas Kroyer
Datum des Kolloquiums:	21. Januar 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme



Die Bundesregierung hat 2021 mit einer Änderung des Klimaschutzgesetzes beschlossen bis zum Jahr 2045 eine Netto-Treibhausgasneutralität der Bundesrepublik Deutschland zu erreichen. Um dieses Ziel umzusetzen, ist ein Ausbau der erneuerbaren Energien, unter anderem der Photovoltaik, unabdingbar. Am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme wird eine Technologie entwickelt, die es ermöglicht durch farbliche Modulgläser die PV-Anlagen ästhetisch ansprechend zu gestalten. Bei dieser MorphoColor® Technologie werden die Modulgläser mit einem Schichtsystem beschichtet, welches einen deutlichen Farbeindruck und eine hohe verbleibende Transmission erzeugt. Modulgläser mit dieser Technologie werden erst durch eine industrielle Fertigung für Kunden auch wirtschaftlich interessant. Für eine industrielle Fertigung müssen die Modulgläser zuerst mit einem MorphoColor® Schichtsystem beschichtet werden und dann zu Einscheibensicherheitsglas weiterverarbeitet werden.

Für die Verarbeitung zu Einscheibensicherheitsglas wird das Modulglas und die Beschichtung auf über 630°C erhitzt. Dies führte in der Vergangenheit zu einer Delamination der Beschichtung. Das Ziel der Arbeit war es, diese Delamination durch eine Veränderung der Schicht zu verhindern. Es ist bekannt, dass durch den Beschichtungsprozess Schichtspannungen entstehen. Diese wurden untersucht und reduziert. Die thermische Beständigkeit von Schichtsystemen mit niedrigen Schichtspannungen wurde mit Schichtsystemen mit hohen Schichtspannungen verglichen. Dazu wurden zum einen Bilder im Lichtmikroskop aufgenommen. Diese ergaben, dass für niedrigere Schichtspannungen tendenziell eine höhere Anzahl von Defekten entsteht. Zum anderen wurde die Haftfestigkeit der Schichtsysteme durch einen Klebebandtest überprüft. Dieser ergab für ein einziges Schichtsystem mit niedrigen Schichtspannungen eine Delamination. Das Ausbleiben einer Delamination der übrigen Schichtsysteme, wird auf einen veränderten Reinigungsprozess zurückgeführt.

Die Ergebnisse der Arbeit haben gezeigt, dass die Schichtspannungen der MorphoColor® Schichtsysteme reduziert werden können. Allerdings hat dies einen negativen Effekt auf die thermische Beständigkeit der Schichtsysteme. Aus diesem Grund könnte in einem zukünftigen Versuch untersucht werden, inwiefern eine Erhöhung der Schichtspannungen einen positiven Einfluss auf die thermische Beständigkeit hat.

Maßnahmen zur Optimierung medizinischer Druckluftanlagen im Bestand von Krankenhäusern

Elena Susanna Fischer B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Alexander Beer M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	20. September 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	encadi GmbH



Medizinische Druckluft wird zum Betrieb chirurgischer und medizinischer Werkzeuge, zur Fortleitung von Anästhesiegasen, zur Trocknung von Medizinprodukten, für hyperbare Kammern und vor allem als Atemluft für Patienten eingesetzt. Die Druckluft hat dabei im Bereich der Erzeugung und Aufbereitung mit Blick auf Hygiene besondere Ansprüche zu erfüllen, denn die Gesundheit von Patienten ist von oberster Priorität in Krankenhäusern.

Am Beispiel des Krankenhauses Sankt Franziskus-Hospital Münster wird gezeigt, dass medizinische Druckluftsysteme große Energieeinsparpotentiale aufweisen. Dies konnte durch theoretische Ansätze sowie empirisches Wissen aus dem Praxisumfeld des Energieberatungsunternehmens encadi GmbH, Münster, belegt werden.

Um die Energieeinsparpotentiale erfassen zu können, wurden Maßnahmen aus der technischen Druckluft auf Umsetzbarkeit in der medizinischen Druckluft überprüft. Anhand theoretischer sowie praktischer Untersuchungen wurde festgestellt, dass die größte Aufmerksamkeit bei der Optimierung auf die Maßnahmen Drucksenkung, Druckverlust in den Leitungen, Reduzierung der Leckagen und Wärmerückgewinnung gerichtet werden sollte.

Nach Erfahrungswerten der encadi GmbH sind die meisten Druckluftanlagen in Krankenhäusern mit einem zu hohen Druckniveau ausgestattet. Pro Bar Drucksenkung kann 6 % Strom eingespart werden. In der Arbeit wurde darüber hinaus aufgezeigt, dass bei Erhöhung des Druckluftbedarfes in einer bestehenden Anlage eine Untersuchung des Leitungsnetzes wichtig ist. Mit dem erhöhten Volumenstrom steigen die Druckverluste in den Rohrleitungen, die durch das Druckniveau der Kompressoren ausgeglichen werden müssen. Gegebenenfalls ist deren Durchmesser an die neuen Anforderungen anzupassen. Ebenso erfolgt durch eingesetzte Formstücke ein Druckverlust, so dass nicht erforderliche Formstücke beseitigt werden sollten. Nach Erfahrungswerten der encadi GmbH ergeben sich Leckagen am häufigsten in der Verteilung, da dort die meisten Verbindungsstücke verbaut sind. Schwachstellen finden sich oftmals an den Drosseln oder Messgeräten. Die Leckagen können durch ein Leckageortungsgerät gefunden und klassifiziert werden. Schließlich richtet sich die Aufmerksamkeit der Arbeit auf die Nutzung der Abwärme, die beim Verdichtungsprozess entsteht. Oftmals wird diese ungenutzt an die Umwelt abgeführt. Die Abwärme kann durch ein Wärme-

rückgewinnungssystem nutzbar gemacht werden. So kann sie zum Beispiel das Heizungs- oder Warmwassersystem unterstützen. Ersetzten kann eine solche Rückgewinnung die herkömmliche Wärmequelle jedoch nicht.

Die in dieser Arbeit beschriebenen Zusammenhänge könnten die Grundlage für die Erarbeitung eines Druckluftaudits bieten. Bei einem Druckluftaudit (nach DIN EN ISO 11011) wird der Fokus auf die ganzheitliche Systemoptimierung gelegt. Ziel ist es hierbei, die Energieeffizienz des gesamten Druckluftsystems zu bewerten und Einsparungspotentiale aufzudecken, um die eingesetzte Energie nachhaltig effizienter zu nutzen sowie die Betriebskosten zu senken. Die Autorin dieser Arbeit sieht im Bereich medizinischer Druckluftanlagen ein großes Optimierungspotential. Letztlich dient dies auch als ein Beitrag zur Eindämmung des Klimawandels.

Variantenuntersuchung zur langfristigen Sicherstellung der Wasserversorgung im Einzugsgebiet der SVS-Versorgungsbetriebe GmbH

Tim Fischmann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Norman Sladeczek M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	28. Juni 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	SVS-Versorgungsbetriebe GmbH



Deutschland gilt als ein wasserreiches Land. Neben den großen Wasserreserven findet im Allgemeinen eine nachhaltige Wasserwirtschaft statt, sodass grundsätzlich auch zukünftig von einer gesicherten Versorgung ausgegangen werden kann. Jedoch können im Hinblick auf die bisherigen klimatischen Veränderungen und die zukünftig erwartete Entwicklung regionale Versorgungsempässe in Deutschland nicht ausgeschlossen werden. Mit dem Anstieg der Temperaturen und dem Wandel der Niederschlagsereignisse geht ein Wandel des Konsumverhaltens der Menschen mit der Ressource Wasser einher. Demzufolge ist eine höhere Nachfrage nach Trinkwasser zukünftig sehr realistisch. Aufgrund dessen sind viele Wasserversorgungsunternehmen gezwungen, Anpassungsstrategien zu entwickeln, um die Versorgungssicherheit auch zukünftig gewährleisten zu können. Angesichts regionaler Unterschiede können die Anpassungsstrategien zwischen den Wasserversorgungsunternehmen variieren. Dabei bestehen im Allgemeinen die Möglichkeiten aus einer Erhöhung der Eigenförderung, einer Ausweitung des Fremdbezuges oder aus einer Erschließung einer neuen Wassergewinnungsfläche.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde die Situation der SVS-Versorgungsbetriebe GmbH genauer betrachtet. Die letzten Jahre haben bereits gezeigt, dass die Eigenförderung schon jetzt ausgelastet betrieben wird und die Abhängigkeit von umliegenden Wasserversorgungsunternehmen für die Gewährleistung einer gesicherten Versorgung jährlich steigt. Damit die zukünftige Sicherheit der Versorgung beurteilt werden kann, wurde eine Wasserbedarfsprognose aufgestellt.



Abb 1: Wasserbedarfsentwicklung der SVS-Versorgungsbetriebe GmbH bis zum Jahr 2040

Es wurde deutlich, dass der gegenwärtige Zustand in den nächsten Jahren nicht mehr ausreicht, um den Wasserbedarf abzudecken und die SVS gezwungen ist Anpassungsstrategien durchzuführen. Deswegen wurden bereits unter anderem in einer vorab durchgeführten Machbarkeitsstudie nach Möglichkeiten zur Erhöhung der Wassermenge gesucht. In dieser Arbeit werden die Möglichkeiten der Erschließung eines neuen Wassergewinnungsgebietes und der Anschluss eines weiteren Fremdversorgers weiter untersucht.

Dazu wurden die Anpassungsvarianten auf deren Wirtschaftlichkeit, deren Auswirkungen auf den Wasserpreis sowie deren Abdeckungsvermögen des zukünftig erwartenden Wasserbedarfes bewertet. Bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit der einzelnen Projekte wurde deutlich, dass alle Varianten Investitionen in vergleichbaren Größenordnungen erfordern. Die erforderliche Wasserpreisanpassung bei der Umsetzung der Varianten fällt in etwa ähnlich aus. Jedoch hat die Gewährleistung der Versorgungssicherheit eine höhere Priorität als die Wirtschaftlichkeit. Mit Blick auf die Wasserbedarfsprognose wird deutlich, dass die SVS schnellstmöglich handeln muss, um zukünftig das Risiko von Versorgungsengpässen auf ein Minimum zu reduzieren. Demnach wird der schnelle Anschluss von einem weiteren Fremdversorger mit absoluter Priorität empfohlen.

Kaltes Nahwärmenetz für den Betrieb von Wärmepumpen in Bestandssiedlungen

Andre Fleige M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Hendrik Fedtke M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	4. Juni 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Laborbereich Strom- und Wärmeerzeugung



In meiner Masterthesis habe ich untersucht inwieweit sich das öffentliche Abwassernetz als Wärmequelle für den Betrieb von Wärmepumpen in Bestandssiedlungen eignet. Der Wärmeübertrager soll die thermische Energie über ein kaltes Nahwärmenetz den Wärmepumpen bereitstellen.

Dafür habe ich zunächst Recherche zu den einzelnen Systemkomponenten betrieben und die Schnittstellen erarbeitet. Das Ziel ist gewesen, das Zusammenwirken der Systeme zu beschreiben, Grundlagen und Voraussetzungen zu ermitteln sowie eine näherungsweise Berechnung des Gesamtsystems aufzustellen und diese zur Potenzialermittlung in einem Python-Programm umzusetzen. Schließlich ist ein Programm entstanden, das aus drei Masken besteht und die Berechnung technischer und wirtschaftlicher Parameter der einzelnen Systemkomponenten ermöglicht.

So kann beispielsweise eine Abschätzung der benötigten Heizlast einer Bestands-siedlung anhand von spezifischen Raumwärmebedarfswerten für verschiedene Gebäudetypen und -altersklassen vorgenommen werden. Dafür gibt der Programmanwender die Wohnraumflächen sowie eine Volllaststundenanzahl und einen Gleichzeitigkeitsfaktor über Eingabefelder vor. Die Maske zur Berechnung der Wärmepumpe liefert nach Eingabe der Betriebsparameter den Leistungsfaktor bei Heiz- und Kühlzwecken sowie wirtschaftliche Kennwerte. Neben der Beschreibung und Herleitung der vorgenommenen Berechnung, habe ich verschiedene Arbeitsprinzipien und Betriebsweisen von Wärmepumpen erläutert.

Dem Wärmeübertrager ist besondere Bedeutung zugekommen. Ich habe die erforderlichen Grundlagen zur Berechnung der Wärmeübertragung erarbeitet, verschiedene Bauformen von Abwasserwärmeübertragern beschrieben und Voraussetzungen für den Einsatz in der Kanalisation ermittelt. Das Programm ermöglicht die Berechnung der notwendigen Austauschfläche und damit der erforderlichen Länge eines Kanalabschnitts, um eine bestimmte, vom Anwender vorgegebene, Heizlast abdecken zu können. Zudem wird der zum Wärmetransport erforderliche Massenstrom innerhalb des kalten Nahwärmenetzes ausgegeben.

Insgesamt kann mit den drei separaten Berechnungsmasken ein Wärmeversorgungsproblem vom Wärmebedarf über die Wärmepumpe bis zum Abwasserwär-

meübertrager im Kanal näherungsweise berechnet werden. Beispielhafte Berechnungen verschiedener Szenarien sind in der Arbeit vorgenommen und interpretiert worden.

Britta Füngers M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	9. März 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik



Nach dem Klimawandel stellt die Luftverschmutzung durch feine Partikel, dem sogenannten Feinstaub, in der Atmosphäre eine weltweite ernsthafte Gefährdung der menschlichen Gesundheit dar. Unter anderem können Feinstäube Atemwegs-Erkrankungen und Herz-Kreislauf-Erkrankungen auslösen, sowie Reizungen und Entzündungen der Schleimhäute.

Aus diesem Grund konzentriert sich die Masterarbeit auf die Entwicklung eines Berechnungstools nach DIN EN ISO 16890 zur Filterauslegung. Das Ziel dieser Arbeit ist mithilfe des Berechnungstools die Reduzierung von Feinstaub unter Verwendung verschiedener Luftfilter und mehrerer Filterstufen aufzuzeigen, sowie die Auswahl geeigneter Filter zu erleichtern.

Um das Ziel zu erreichen, wurde die Arbeit in drei Teile gegliedert. Im ersten Teil werden die Grundlagen der Filtertechnik erläutert, darunter die Quellen der Feinstaubbelastung, die Partikelgrößen, die Bewegung der Partikel, die Partikeldeposition und deren Auswirkung, sowie das Prüfverfahren, die standardisierte Partikelgrößenverteilung der Umgebungsluft, der Feinstaubabscheidegrad und die Klassifizierung der Filter. Im zweiten Teil wird auf die Grundlagen für die Berechnung der Feinstaubreduzierung eingegangen. Dazu zählen die Daten zur Umgebungsluft, die Daten zu den Filtern und die Luftqualität. Im dritten Teil werden die Ergebnisse des entwickelten Berechnungstools vorgestellt.

Bei der Vorstellung der Ergebnisse wird zwischen drei Beispielauslegungen unterschieden. Bei der ersten Beispielberechnung wird anhand einer ländlichen Umgebung mit einer geringeren Partikelbelastung der Umgebungsluft die mögliche Reduzierung der Partikelkonzentration mittels Luftfilter demonstriert. Bei der zweiten Beispielberechnung wird anschließend bei einer urbanen Umgebung die mögliche Reduzierung der Partikelkonzentration mittels Luftfilter demonstriert. Bei der dritten Beispielberechnung sollen zusätzlich zum Feinstaub auch Aerosole mit angehafteten Corona Viren mit einer möglichst hohen Effizienz abgeschieden werden. Je nach Partikelbelastung wird bei den einzelnen Beispielauslegungen keine Filterung, eine einstufige Filterung oder eine zweistufige Filterung benötigt.

Es wurde bei allen Beispielberechnungen ein Außenluftvolumenstrom von 3.400 m³/h und eine Betriebszeit von 8.760 h/a angenommen, sowie die Zuluftkate-

gorie SUP 1, für Anwendungen mit hohen hygienischen Anforderungen, zum Beispiel Zuluft in Krankenhäusern oder Reinräumen, angestrebt. Bei der ersten Beispielberechnung wurde eine ländliche Umgebung mit einer geringeren Partikelbelastung der Umgebungsluft im Schwarzwald Süd in Baden Württemberg betrachtet. Eine einstufige Filterung mit dem Luftfilter ISO ePM_{2,5} 65 % ist in dieser Beispielberechnung schon ausreichend, um die PM Konzentration der Außenluft von 8,0 Mikrogramm pro Kubikmeter auf 0,9 Mikrogramm pro Kubikmeter zu reduzieren und somit unter dem oberen Grenzwert von 5 Mikrogramm pro Kubikmeter der Zuluftkategorie SUP 1 zu liegen. Die Staubmenge pro Jahr reduziert sich von 238 Gramm auf 26 Gramm.

Bei der zweiten Beispielberechnung wurde eine urbane Umgebung mit einer höher belasteten Umgebungsluft in Stuttgart, Am Neckartor in Baden Württemberg betrachtet. Eine einstufige Filterung mit dem Luftfilter ISO ePM_{2,5} 65 % reicht in dieser Beispielberechnung nicht aus um die Zuluftkategorie SUP 1 zu erreichen. Durch eine zweistufige Filterung unter Nutzung des Luftfilter ISO ePM_{2,5} 65 % für beide Filterstufen kann die PM Konzentration der Außenluft von 30,7 Mikrogramm pro Kubikmeter zuerst auf 5,2 Mikrogramm pro Kubikmeter und dann auf 2,3 Mikrogramm pro Kubikmeter reduziert werden. Ebenso wird die Staubmenge pro Jahr von 913 Gramm durch die zwei Filterstufen auf 68 Gramm reduziert. Somit wurde durch die zweistufige Filterung die mehr als vier Kategorien zu hohe Zuluftkategorie auf die gewünschte Zuluftkategorie SUP 1 angepasst.

Bei der dritten Beispielberechnung wurde die mögliche Abscheidung von Aerosolen mit angehafteten Corona Viren betrachtet. Es konnte lediglich eine grobe Abschätzung mithilfe des Berechnungstools für den ländlichen und den urbanen Standort erfolgen. Durch eine zweistufige Filterung unter Nutzung des Luftfilter ISO ePM₁ 85 % für beide Filterstufen kann für den ländlichen Standort, Schwarzwald Süd in Baden Württemberg etwa 99,6 % der Partikel und für den urbanen Standort, Stuttgart, Am Neckartor in Baden Württemberg etwa 99,2 % der Partikel abgeschieden werden.

Vereinfacht wurde bei den Beispielberechnungen davon ausgegangen, dass am Einlass jeder Filterstufe die gleiche Partikelverteilung vorliegt. Ebenfalls wurden lediglich ausgewählte Luftfilter der Firma Delbag bei der Entwicklung des Berechnungstools verwendet.

In einer weiteren Ausarbeitung könnte das Berechnungstool erweitert werden, indem auch Sekundärluftgeräte, sowie der Umluftbetrieb und weitere Filter mit berücksichtigt werden. Ebenso könnte das Verfahren zur Mehrstufenfiltration nach der DIN EN ISO 16890 1 Anhang C aufgeschlüsselt werden.

Umgang mit den Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Emissionen der Jugendbildungsstätte Saerbeck

Julius Geburek B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Datum des Kolloquiums:	16. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Jugendbildungsstätte Saerbeck



Das vorgestellte Projekt „Umgang mit den Kohlenstoffdioxid (CO₂)-Emissionen der Jugendbildungsstätte Saerbeck“, für die Jugendbildungsstätte Saerbeck, konnte das Ziel der Erstellung eines Konzeptes zur Vermeidung, Verminderung und Kompensation von CO₂-Emissionen erreichen. In einem ersten Schritt wurde eine gründliche theoretische Auseinandersetzung als Basis für die darauffolgende Projektentwicklung erstellt. Dabei wurde über die Definition grundlegender Begriffe hin zur Funktion und Problemstellung ein Gesamtverständnis von Energien, ihren Einsatzbereichen und dem daraus resultierenden Klimaeffekt entwickelt. Außerdem wurden Methoden zur Vermeidung und Reduktion von anthropogenen CO₂-Emissionen erläutert sowie vertiefend die Entwicklung der CO₂-Kompensation dargestellt. Im zweiten Schritt wurde die ausgearbeitete Theorie auf den Praxisfall der Jugendbildungsstätte Saerbeck angewendet.

Dazu wurde zunächst die Ausgangslage der Jugendbildungsstätte beschrieben. In den Bereichen Strom, Wärme, Mobilität, Verpflegung und Büromaterial wurden die aktuellen Gegebenheiten kurz zusammengefasst. Als nächstes folgte die Berechnung der CO₂-Emissionen in diesen Bereichen und die Bilanzierung der Gesamtemissionen. Die CO₂-Bilanz zeigte, dass die Jugendbildungsstätte etwa 124 t CO₂/a verursacht. Hauptsächlich verantwortlich sind die Bereich Wärme mit 34 Prozent, Mobilität mit 26 Prozent und Verpflegung mit 44 Prozent Anteil an den Gesamtemissionen. Der Bereich Strom hat durch den Strombezug aus erneuerbarer Energie und der Stromeinspeisung aus PV-Anlagen ins Versorgungsnetz einen negativen Anteil von -2 Prozent an den Gesamtemissionen. Im Weiteren wurden fünf im Vorfeld umgesetzte Maßnahmen festgestellt, die zu einer CO₂-Reduktion von 9 Prozent der Gesamtemissionen geführt haben. Hierbei handelte es sich vor allem um gebäudetechnische Maßnahmen und einer Maßnahme im Bereich Verpflegung. Damit wurde der Ist-Zustand der Jugendbildungsstätte ermittelt.

Fortführend wurden CO₂-Vermeidungs und -Reduktionsmaßnahmen definiert, um weitere CO₂-Reduktionen im Bereich der Gesamtemissionen zu erzeugen. Die Berechnungen ergaben, dass jeweils eine Maßnahme im Bereich Mobilität und Verpflegung innerhalb der Rahmenbedingungen umsetzbar ist. Die CO₂-Einsparung beläuft sich auf 3 Prozent der Gesamtemissionen. Die CO₂-Emissionen betragen, durch die Umsetzung der Maßnahmen ca. 120 t CO₂/a. In den Bereichen Strom und Büromaterial konnten keine einsparenden Maßnahmen definiert

werden. In dem Bereich Wärme entfielen die definierten Maßnahmen auf Grund der zu hohen Amortisationszeiten. Das größte Einsparpotential wurden in den Bereichen Wärme und Verpflegung identifiziert. Diese sind, durch einen geplanten Standortwechsel in drei Jahren und der Bedürfnisse der Gäste, an Bedingungen geknüpft. Nachdem die zu erwartende CO₂-Bilanz gebildet wurde, belief sich der nächste Schritt darauf, eine geeignete CO₂-Kompensation zu finden.

Die Kosten der Kompensation sollen durch einen freiwilligen Aufschlag auf den Übernachtungspreis der Gäste finanziert werden. Dabei wurden vier Kompensationsanbieter miteinander verglichen. Der Vergleich der Anbieter führte zu keiner Prävalenz eines Konzeptes. Die Kosten der Kompensation liegen zwischen 13 und 20 Cent pro Übernachtung. Jeder Anbieter bietet CO₂-Zertifikate aus qualitativ hochwertigen Klimaschutzprojekten an. Die Auswahl eines geeigneten Kompensationsanbieters wird deshalb durch eine subjektive Entscheidung der Jugendbildungsstätte Saerbeck getroffen.

Daniel Gerling B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Thorsten Schmitz M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	19. August 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Labor Umwelttechnik
in Kooperation mit:	



In Folge des Klimawandels sind unsere Städte vermehrt von Hitzeperioden und Starkregenereignissen betroffen. Deshalb leiden Bäume in urbanen Gebieten unter Hitzestress. Dieser kann durch ein Baumbewässerungssystem, das mit Niederschlagswasser befüllt wird, reduziert werden. Im Niederschlag und dem daraus folgenden Oberflächenabfluss befinden sich Schadstoffe, die nicht in den Untergrund eingeleitet werden dürfen. Problematisch sind die durch die Emission von Verbrennungsabgasen entstehenden PAK, oder Schadstoffe von Gebäudedächern, Fassaden und verdichteten Oberflächen, wie Biozide, Pestizide, Schwermetalle sowie Rückstände aus Straßenverkehr und Industrie. Einige dieser Spurenstoffe binden sich an feinstpartikuläre Stoffe (AFS), weshalb AFS auch ein Verschmutzungspotenzial darstellen. Um den von Baumbewässerungssystemen zufließenden Oberflächenabfluss auf Schadstoffe genauer untersuchen zu können, wurde ein Probennehmer entwickelt.

Der Probennehmer soll an einem schon vorhandenen Wasserreservoir eines Baumbewässerungssystems installiert werden, dieses wird im Rahmen des Projektes „BeGrünKlim“ auf Funktionalität untersucht. Gespeist wird das Reservoir durch Niederschlagswasser, welches von einem in der Nähe liegendem Hausdach zufließt.

Niederschlagsereignisse weisen eine hohe Dynamik auf, weswegen es schwierig ist sie zu beproben. Um den Oberflächenabfluss repräsentativ beproben zu können, wurde die durchflusskontinuierliche Probenahme ausgewählt. Im Vergleich zu anderen Probenahmetechniken wird hier nicht nur eine Momentaufnahme des Mediums beprobt, sondern es wird kontinuierlich und abhängig von dem sich ändernden Volumenstrom des Oberflächenabflusses beprobt.

Der zufließende Oberflächenvolumenstrom wird durch ein Ultraschall-Kreuzkorrelations Messverfahren erfasst. Das Messsignal wird anschließend via Modbus TCP über ein Ethernet Kabel an eine SPS weitergeleitet. Die Daten werden dort durch ein extra geschriebenes Programm erfasst und verarbeitet. Teil des Programmes ist es, eine lineare Pumpenkennlinie zu berechnen und anschließend die errechneten Ausgangswerte an eine Ausgangsklemme weiterzugeben. Von dort aus wird ein Pumpendrehzahlregler durch ein 0-10 V Signal angesteuert, welcher wiederum die Leistung der Probenahmepumpe regelt.



Abb 1: Wasserdichtes Leergehäuse mit dem Durchflussmessgerät NivoFlow 750 und der Steuerungstechnik unten im Bild

Im Labor wurde der Aufbau auf Funktion getestet und auf Proportionalität kontrolliert. Die Proportionalität von Oberflächenvolumenstrom zum Pumpenvolumenstrom ist weitestgehend gegeben. Der Probennehmer ist für Niederschlagsereignisse von 2 mm Niederschlagsmenge und einer Niederschlagsspende von 3,2 l/s*ha bis zu Ereignissen von 6 mm Niederschlagsmenge und einer Niederschlagsspende von 15 l/s*ha ausgelegt. Durch das begrenzte Probenahmenvolumen von 30 Litern, aufgrund beengter Platzverhältnisse, ist es nicht möglich größere Niederschlagsmengen zu beproben. Im Vergleich zu anderen Probenahmesystemen, zum Beispiel einem Feststoffsammler, ist der Probennehmer sehr genau und kann komplette Niederschlagsereignisse in dem ausgelegten Bereich repräsentativ beproben.

Energetische, ökologische und ökonomische Analyse und Vergleich unterschiedlicher Energiestandards beim Neubau von Wohngebäuden

Benjamin Gietmann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	M. Eng. Felix Kunert
Datum des Kolloquiums:	4. Juni 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.



In dieser Arbeit wurden Wohngebäude verschiedener Größen mit einer Vielzahl verschiedener Varianten für den baulichen Wärmeschutz und die Anlagentechnik ausgestattet. Mit diesen Varianten sollten Tendenzen und Zusammenhänge zwischen dem genutzten Anlagenkonzept, dem erfüllten Energieeffizienzstandard und der Gebäudegröße festgestellt werden. Zu diesem Zweck wurden energetische, ökologische und ökonomische Aspekte separat betrachtet und ausgewertet.

Die energetische Betrachtung zeigte auf, dass bei größer werdenden Gebäuden die Grenzwerte der Energieeffizienzstandards sinken. Viele der Konzepte haben aus diesem Grund Schwierigkeiten den strengeren Anforderungen von höheren Energieeffizienzstandards bei größeren Gebäuden zu erfüllen. Andere Konzepte jedoch erfüllen mit verschiedenen Begründungen diese Anforderung besonders leicht. So hat sich herausgestellt, dass Konzepte mit Pelletkesseln und Blockheizkraftwerken sich besonders für das Erfüllen von Energieeffizienzstandards eignen. Darüber hinaus zeigte sich, dass die Sole/Wasser-Wärmepumpe im kleineren Gebäudebereich eine besonders geeignete Alternative ist.

Während der ökologischen Analyse wurden die spezifischen Schadstoff-Emissionen der Konzepte erfasst und verglichen. Auch hier stellten sich Konzepte mit Pelletkesseln, mit Blockheizkraftwerken und mit Sole/Wasser-Wärmepumpen als die besten Varianten dar. Während Konzepte mit Pelletkesseln das mit Abstand niedrigste Treibhauspotential aufweisen, bedeutet die Verwendung dieser jedoch höhere Schwefeldioxid- und Stickoxid-Emissionen als das Referenzgebäude. Blockheizkraftwerke haben bedingt durch die vermiedene Umweltbelastung des Verdrängungsstroms konstant niedrige Schadstoff-Emissionen. Sole/Wasser-Wärmepumpen können wiederum besonders im kleinen Gebäudebereich mit niedrigen Schadstoff-Emissionen punkten.

In der wirtschaftlichen Betrachtung wurde die Anlagentechnik der Konzepte, die einen bestimmten Energieeffizienzstandard erfüllen miteinander verglichen. Zu diesem Zweck wurden die verschiedenen anfallenden Kosten und gegebenenfalls Erlöse mittels der Annuitätsmethode nach VDI Richtlinie 2067 zusammengefasst. Beim Vergleich von Konzepten mit Pelletkesseln und Blockheizkraftwerken stellten sich die Pelletkessel als Variante mit niedrigeren Investitionskosten und Gesamt-Annuitäten heraus. Jedoch ist die Wirtschaftlichkeit von Konzepten mit

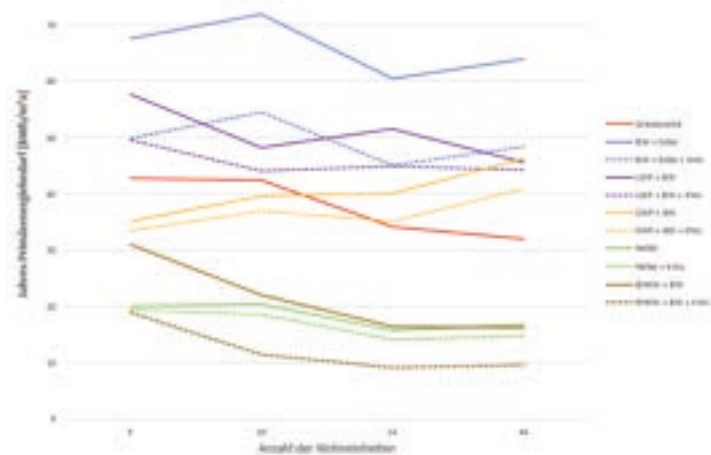


Abb. 1: Jahres-Primärenergiebedarf Q_p der Konzepte bei einer Gebäudehülle nach den Anforderungen des KfW 55 Energieeffizienz-Standards

Blockheizkraftwerken noch zu verbessern. Mit einer Mieterstromnutzung können die Erlöse dieser Konzepte maximiert werden. Darüber hinaus hat sich in dieser Arbeit herausgestellt, dass die genutzten Blockheizkraftwerke niedrige Vollnutzungsstunden aufweisen. Eine Nutzung von kleiner dimensionierten Blockheizkraftwerken würde die Investitionskosten und damit die Instandhaltungskosten reduzieren. Die kontrollierte Wohnraumlüftung, sowie eine stromerzeugende und stromspeichernde Anlage sind dagegen mit besonders hohen Investitions- und Instandhaltungskosten verbunden. Diese sind jedoch vorausgesetzt, um den höchsten der behandelten Energieeffizienzstandards zu erfüllen.

Die staatliche Förderung von Effizienzhäusern deckt in den meisten Fällen die kompletten Investitionskosten für die verwendete Anlagentechnik. Darüber hinaus bedeutet ein höherer Effizienzstandard in den meisten Fällen niedrigere bedarfsgebundene Kosten durch weniger Heizwärmeverluste.

Während es sich herausstellt, dass es energetisch schwieriger wird bei wachsender Gebäudegröße den Anforderungen von Energieeffizienzstandards gerecht zu werden, sinken die Gesamt-Annuitäten je Wohneinheit jedoch deutlich.

Vergleich von Photovoltaik- und Windstrom zur Eigenverbrauchsnutzung im industriellen Bereich

Leon Gonet B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Prof. Dr. -Ing. Franz-Peter Schmickler
Datum des Kolloquiums:	13. Dezember 2021
Bachelor-Studiengang: Studienrichtung:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	IngenieurNetzwerk Energie eG



Die Wissenschaft ist sich einig, dass mit dem nicht Erreichen des 1,5 °C Ziels, Probleme auf die Menschheit zukommen können, die rückwirkend nicht bewältigt werden können. Katastrophen wie Überflutungen oder Hitzeperioden und Dürren wären lediglich die Extremereignisse, die für uns unmittelbar spürbar sind. Zusätzlich können indirekte Folgeerscheinungen wie Allergien und Infektionskrankheiten weiter ansteigen und das Gesundheitssystem belasten. Demnach ist es von essenzieller Bedeutung, den Fokus auf eine Energieerzeugung zu legen, die CO₂-emissionsneutral ist.

Vor allem industrielle Betriebe wie zum Beispiel Unternehmen in der Produktion sind auf große Strommengen angewiesen, die bislang aus dem zentralen Stromnetz bezogen werden. Daher ist die Industrie prädestiniert dafür, ihren Strombedarf durch emissionsfreie Stromproduktionsanlagen bestmöglich und eigenständig zu decken.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde ein Vergleich zwischen einer Photovoltaik- und einer Windkraftanlage zur Eigenverbrauchsnutzung im industriellen Bereich durchgeführt. Ziel war es zu vergleichen, welche der beiden Anlagentypen für ein konkretes Industrieunternehmen am sinnvollsten ist. Der Nutzen wurde in den Bereichen der rechtlichen Umsetzbarkeit, der technischen Komplexität sowie der Ertragsmöglichkeiten und der wirtschaftlichen Erfolgchancen untersucht.

Um beide Anlagentypen miteinander am Beispiel des betrachteten Industrieunternehmens vergleichen zu können, wurden alle grundlegenden Daten zusammengefasst. Vor allem die Lastgänge und Stromkosten, aber auch die räumliche Positionierung der Anlagen standen im Vordergrund.

Unter Einbezug des rechtlichen und technischen Wissens, das im ersten Teil der Arbeit erarbeitet wurde, konnten beide Anlagentypen somit auf (PV-Dachanlage) beziehungsweise am (Windkraftanlage) Hauptgebäude des Unternehmens platziert werden. Anschließend wurden mithilfe der Simulationsprogramme PV*SOL und WindPro und der zur Verfügung gestellten Daten Erträge simuliert und ausgewertet. Es wurde festgestellt, dass die Windkraftanlage aufgrund von schlechten Windverhältnissen und hohen Abschlägen nicht die vom Hersteller angegebenen Erträge generiert. Ungeachtet dessen, wurde von der Windkraftanlage mehr Arbeit generiert als von der Photovoltaikanlage.

Mit den errechneten Erträgen beider Anlagen konnte ein Wirtschaftsplan über 20 Jahre aufgestellt werden, um nachvollziehen zu können, welche der beiden Anlagen über diesen Zeitraum wirtschaftlicher betrieben werden kann. Es fällt auf, dass die Photovoltaikanlage mehr Rendite pro generierter Arbeit erwirtschaftet, obwohl die Windkraftanlage einen höheren Ertrag pro installierter Leistung erbringt.

Dies liegt vor allem an den hohen Investitionskosten bei der Windkraftanlage in Verbindung mit den schlechten Erträgen, die die Windkraftanlage am zu untersuchenden Standort erbringt.

Auf Basis der Erkenntnisse wurde daraufhin mithilfe einer Nutzwertanalyse aufgeschlüsselt, welche der beiden Anlagentypen für das betrachtete Industrieunternehmen am sinnvollsten ist. Hierzu lässt sich abschließend festhalten, dass aus rechtlicher und ökonomischer Sicht eine Photovoltaikanlage die sinnvollere Variante darstellt. Sollte das Unternehmen mehr Wert auf CO₂-Einsparung und Versorgungssicherheit legen, ist die Installation einer Windkraftanlage aufgrund des höheren Ertrags zu bevorzugen. Nachfolgend kann das Unternehmen prüfen, ob die Installation beider Anlagentypen sinnvoll sein kann.

Vergleich verschiedener Klimatisierungssysteme am Beispiel eines Bürogebäudes

Moritz Greiling B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Ansgar Wilken
Datum des Kolloquiums:	7. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Nordhorn, Münster



Der Mensch aus den Industrienationen verbringt seine heutige Zeit zu ca. 80 % bis 90 % in Gebäuden. Davon geht der Mensch ungefähr ein Viertel seiner Zeit der beruflichen Tätigkeit in Bürogebäuden nach. Dabei fällt zunehmend als Motivationsaspekt für Mitarbeiter im Unternehmen der Fokus auf die Gestaltung von Arbeitsplätzen durch hochwertige und häufig klimatisierte Flächen. Angesichts der Vielfalt an Klimatisierungssystemen für Bürogebäude, insbesondere für Büro-, Besprechungs- und Konferenzräume, sind in der derzeitigen Ausgabe der VDI 3804 - Raumluftechnik für Bürogebäude einige der grundlegenden Konzepte dargestellt. Gegenstand dieser Arbeit war es daher, verschiedene Klimatisierungssysteme an dem konkreten Bürogebäude Ovum mit dem Standort Köln-Braunsfeld zu vergleichen, um eine Bewertung hinsichtlich der Eignung ausgewählter Systeme für das Bauvorhaben einzuschätzen.

Nach den objektspezifischen Grundlagen in Kapitel 3 wurden anschließend im Kapitel 4 die grundlegenden Systeme A bis F der VDI 3804 vorgestellt. Zum bereits in der Ausführungsplanung vorhandenen System E am Bauvorhaben wurde ein alternatives System, hier System B, ausgewählt und untersucht.

Für den beabsichtigten Vergleich mussten zunächst wirtschaftliche und technische Kriterien entwickelt werden. Die Anwendung der wirtschaftlichen und technischen Kriterien für das Bauvorhaben Ovum am Standort Köln stellten im Kapitel 5 den Schwerpunkt dieser wissenschaftlichen Arbeit dar. Es haben sich bei den Ergebnissen des Vergleichs der wirtschaftlichen Kriterien ein deutlicher Vorteil des Systems E bei den Investitionskosten herauskristallisiert, welcher sich durch die nicht vorhandene maschinelle Lüftung im System E erklären lässt. Bei den Gebäudetechnischen Kosten nach der VDI 2067-1 ist ebenfalls ein Vorteil des Systems E nachgewiesen worden. Nur bei den betriebsgebundenen Kosten ist durch die Dezentralität der Geräte im System E ein Vorteil des Systems B zu erkennen.

Hinsichtlich der sieben erarbeiteten technischen Kriterien konnten insbesondere zwei Kriterien, die Behaglichkeit und die Wärmerückgewinnung, aussagekräftige Ergebnisse liefern.

Bei der Betrachtung der Behaglichkeit hat insbesondere der Faktor Raumlufqualität deutliche Vergleichswerte gezeigt. Die durchgeführte Berechnung zur CO₂-Belastung hat in einem Referenzraum für das System E bereits vorliegende

Forschungsergebnisse bestätigt, dass in den durch Personen belegten Räumen sich bereits nach kurzer Zeit (im betrachteten Fall nach 35 Minuten) CO₂-Konzentrationen über den empfohlenen Grenzwert von 1000 ppm einstellen.

Hinsichtlich der Akustik als weiteren Faktor für die Behaglichkeit wurde mit einer Beispielrechnung bestätigt, dass der empfohlene Schalldruckpegel nach DIN EN 15251 von 35 dB(A) am Arbeitsplatz nicht eingehalten wird. Da es sich bei den zur Rechnung herangezogenen Werten um ingenieurtechnische Abschätzungen handelt, sind die daraus gewonnenen Ergebnisse kritisch zu betrachten. Unter dem Aspekt der thermischen Behaglichkeit wurde das Empfinden der Raumtemperatur im System B aufgrund der Strahlungswärme im Kühlfall als niedriger eingestuft.

Die Ergebnisse zur Analyse der Wärmerückgewinnung zeigten einen eindeutigen Vorteil des Systems B gegenüber System E mit einer Energieeinsparungsmöglichkeit von 17 kWh/(m²·a). Der Energieaufwand zur Temperierung der Luft beim System E mit 20 kWh/(m²·a) liegt bei dem ca. siebenfachen Wert des Systems B.

Zur anschaulichen Darstellung des Vergleichs der Systeme B und E auf das Bauvorhaben Ovum wurden die gewonnenen Erkenntnisse in einer Matrix im Kapitel 6 präsentiert. Die Aussagekraft der Matrix hinsichtlich der Eignung beider Systeme für das Bauvorhaben konnte nur in einer differenzierten Betrachtung erfolgen. Es wurde zwar die Eignung beider Systeme am Bauvorhaben bestätigt, letztendlich aber ließ sich eine Entscheidungsfindung zur Auswahl des passenden Systems nur unter geeigneter Gewichtung der ökonomischen und ökologischen Aspekte aus Perspektive des Investors festlegen.

Bestandsanalyse und Entwicklung von Zukunftskonzepten für Biogasanlagen an konkreten Beispielen

Victoria Grüner M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums:	18. März 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik



Mit einer installierten elektrischen Leistung von etwa 5.000 MW bieten rund 9.400 Biogasanlagen in Deutschland eine vielseitige und systemdienliche Energiequelle (Fachverband Biogas 2019). In der Anwendung ergeben sich viele Möglichkeiten in verschiedenen Sektoren wie Strom, Wärme und Verkehr. Somit ist die Biogastechnologie in hohem Maße geeignet, den Ausgleich von Angebot und Nachfrage zu unterstützen und entsprechende Sektoren zu koppeln.

Der rechtliche Rahmen für den Ausbau der erneuerbaren Energien im Stromsektor wird vor allem durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) gestellt, das im Jahr 2000 in Kraft getreten ist und in den Jahren 2004, 2009, 2012, 2014 sowie 2017 novelliert wurde. So wurde für Biogasanlagen mit dem EEG eine Stromeinspeisevergütung für 20 Jahre festgelegt (EEG 2000). Das bedeutet, die Biogasanlagen, die ab dem Jahr 2000 ans Netz gegangen sind, befinden sich bald in der Post-EEG-Phase. Jedoch beruht das Konzept vieler Anlagen auf der festgeschriebenen Stromvergütung nach EEG. Mit Wegfall dieser Vergütung ist für viele Anlagen oftmals kein wirtschaftlicher Betrieb möglich. Das Konzept der Bestandsanlage muss angepasst werden, um die Stilllegung und damit den sukzessiven Rückgang der Biogasanlagenzahl zu verhindern. An diesem Punkt setzt das Forschungsprojekt „Repoweringmaßnahmen hinsichtlich zukünftiger Aufgaben von Biogasanlagen“ (REzAB) an, gefördert von der Fachagentur für Nachwachsende Rohstoffe (FNR) und dem Bundesministerium für Ernährung und Landwirtschaft (BMEL), in dessen Rahmen diese Masterarbeit entstanden ist.

Ziel der Arbeit ist die Durchführung einer Zustandsanalyse mit darauf aufbauender Konzeptentwicklung und -bewertung anhand von zwei bestehenden Beispielanlagen in Nordrhein-Westfalen. Dabei liegt der Fokus auf der mit dem EEG 2017 politisch priorisierten Teilnahme an Ausschreibungen, womit Bestandsanlagen eine Anschlussvergütung an die erste Vergütungsphase erlangen können. Weitere Handlungsfelder, die sich in den Sektoren Strom, Wärme und Verkehr finden, werden in der Masterarbeit beleuchtet und ihre Anwendung diskutiert. Aktuelle Gesetze und Regelwerke geben dafür einen rechtlichen Rahmen. Die Ist-Stand-Analyse wird im Detail als Grundlage verwendet, um die ausgewählten Handlungsfelder in konkrete Zukunftskonzepte zu überführen.

Für die Beispielanlage kamen folgende Handlungsfelder infrage:

- Teilnahme an Ausschreibungen nach dem EEG 2017
- Neuinbetriebnahme als Gülle-Kleinanlage mit Vergütung nach dem EEG 2017.

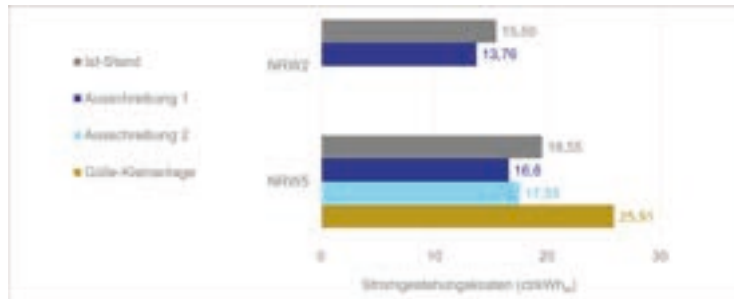


Abb. 1: Vergleich der Stromgestehungskosten vor und nach den Generalüberholungs- und Repoweringmaßnahmen

Die Abbildung 1 stellt einen Vergleich der Stromgestehungskosten vor und nach den Generalüberholungs- und Repoweringmaßnahmen an den Anlagen vor. Die Gestehungskosten im Bestand der Anlage 1 sind geringer als die der Anlage 2. Diese Tatsache spiegelt sich auch in den betrachteten Zukunftskonzepten wieder. Die Biogasanlage 1 verfügt bereits jetzt über eine höhere Ausnutzung der gesamten Energieerzeugung. Somit werden vorhandene Kosten möglicherweise besser ausgeglichen. Vorzüge für eine Teilnahme an Ausschreibungen auf Seiten der Einnahmen kann das Vorhandensein eines Satelliten-BHKW als eigenständige Anlage haben. Je höher die Ausnutzung des Satelliten-BHKW mit der weiterhin erhaltenen Vergütung aus der Förderperiode 1, desto besser wird das wirtschaftliche Gesamtergebnis.

Zusammengefasst bieten aktuellen Rahmenbedingungen viele Möglichkeiten, die an viele Bedingungen geknüpft sind, die Zukunft einer Bestandsanlage in Hinblick auf die Post-EEG-Phase zu gestalten. Dennoch schaffen die aktuellen Rahmenbedingungen keine allgemeingültige Aussage zur Wirtschaftlichkeit einer Bestandsanlage. Deshalb sollte für jede Anlage, die ihre eigenen technischen, konzeptbedingten und standortabhängigen Besonderheiten vorweist, eine Prüfung im Einzelfall durchgeführt werden.

Anaerobic digestion of pig slurry in expanded granular sludge bed and fixed-bed reactors

Jurek Johannes Häner M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Tobias Weide, M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	10. März 2022
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Labor Umwelttechnik (Wasserversorgung - Abwasser - Abfall - Immissionsschutz)



Preventing climate change is one of the greatest challenges of our century. In order to reduce greenhouse gas emissions in agriculture and to substitute fossil fuels in the energy sector, the anaerobic digestion of animal manure is a promising technology. However, the conventional approach here is to use continuously stirred tank reactors (CSTRs) with hydraulic retention times (HRTs) of > 30 d. Though, with a view on increasing the efficiency of the digestion process, reactors with biomass retention have been examined in the thesis presented.

Filtered pig slurry has been used as the substrate in an expanded granular sludge bed (EGSB) reactor and a fixed-bed (FB) reactor. The highest degradation efficiency (COD) and methane yield (MY) in relation to the chemical oxygen demand (COD) have been observed at the minimum loading rates with MY 1 L/kgCOD and COD $v\%$ for the FB reactor and MY 38 L/kgCOD and COD $x\%$ for the EGSB reactor. The highest daily methane production rate (MPR) has been observed at the maximum loading rates with MPR $=03$ $m^3/m^3/d$ at HRT - for the FB reactor and MPR $=31$ $m^3/m^3/d$ at HRT = for the EGSB reactor. With both reactors, a reduction in HRT compared to conventional driven CSTRs, is possible, where the EGSB reactor offered a more efficient methane production with shorter HRT.

The assessment of the economic efficiency shows that economic plant operation is possible. If the solid and liquid phase components, resulting from the pretreatment, are energetically utilized on-site, every operational condition regarding the EGSB investigated in this study (HRT = 15 d) allows economic plant operation. Even if only the liquid phase is used, economic operation is given at HRT <7 d.

Thus, the anaerobic high-rate digestion is considered a suitable, economic technology for exploiting the hitherto unused biogas potential of liquid residues like pig slurry. It is recommended that future research activities be directed towards the goal of a full-scale implementation, especially with regard to the anaerobic co-digestion and its scale-up process.

Untersuchungen zur Reduzierung von Temperaturschwankungen in Trinkwasser-Installationen

Bernd Harker M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Prof. Dipl.-Ing. Bernd Rickmann
Datum des Kolloquiums:	12. Oktober 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik



Nach DIN EN 806-2 ist die Trinkwasser-Installation so zu gestalten, dass die Gefahr von Verbrühungen reduziert wird. In der Praxis werden trotz Einhaltung der a. a. R. d. T. verstärkt unzulässige Temperaturschwankungen von bis zu 21 K an Einhebelmischern durch Nutzung anderer Verbraucher gemessen. Resultierend kann der Verbrühungsschutz und die in der VDI 6003 definierten Komfortkriterien nicht gewährleistet werden. Die Nichteinhaltung des Verbrühungsschutzes ist ein Mangel in der Trinkwasser-Installation. Das stellt den Fachplaner und die ausführenden Unternehmen vor eine Herausforderung, die unter Einhaltung der a. a. R. d. T. nicht erfüllt werden kann. Daher sind die Aspekte, die zur Gewährleistung eines mangelfreien Gewerks erforderlich sind, nicht vollständig definiert. Infolgedessen ist die Gewährleistung des mangelfreien Gewerks in der Planungsphase schwer möglich.

Das Ziel der Arbeit ist, die Parameter von Temperaturschwankungen zu untersuchen, um Handlungsempfehlungen zu erarbeiten. Dazu werden Trinkwasser-Installationsarten anhand eines fiktiven Gebäudes rechnerisch analysiert. Außerdem wird ein Versuchsstand entwickelt, der die Simulation einer beliebigen Trinkwasser-Installation mit spezifischen Installations- und Armaturentechniken ermöglicht. Resultierend aus den rechnerischen und messtechnischen Erkenntnissen soll ein Berechnungstool die Temperaturschwankungen an einer Entnahmestelle simulieren. Dadurch wird die Gewährleistung eines mangelfreien Gewerks in der Planungsphase erleichtert.

Grundlegend konnten alle relevanten Aspekte auf zwei Parameter zusammengefasst werden. Zum einen die Ausprägung der Druckschwankung in den Armaturenanschlüssen, die möglichst klein sein sollten. Maßgeblich ist dabei die Druckverluständerung des gemeinsamen Fließwegs der betrachteten Armatur und des zusätzlichen Verbrauchers. Je größer die Fließgeschwindigkeitsänderung in dem gemeinsamen Fließweg, desto größer ist die Druckverluständerung. Daher sollten Armaturen nicht übertensorgt werden. Zum anderen konnte ein möglichst großer Druckverlust durch das Regelorgan der Armatur als relevanter Parameter festgestellt werden. Durch Wasserspareinsätze im Mischkanal der Armatur wird dieser Parameter reduziert, wodurch Temperaturschwankungen verstärkt werden. Daher sollten Strahlregler und Brausen mit geringem Druckverlust (hohe Durchflussklasse) verwendet werden. Die iterative Berechnung von Temperaturschwankungen konnte in der Arbeit durch Validierungen an dem Versuchsstand bestätigt werden.

Übertragbarkeit von Energiespeicherkonzepten aus einer Modellregion auf andere Kommunen

Maximilian Hart M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Matthias Bogenstahl M.Eng
Datum des Kolloquiums:	12. August 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik



Auf Grund des steigenden Anteils der volatilen, schwer zu prognostizierenden Erneuerbaren-Energien (EE) an der Stromproduktion in der Bundesrepublik Deutschland (BRD), kommt es zukünftig häufiger zu Stromüberproduktionen und Zeiten der Unterversorgung mit EE-Strom. Auf Grund dieser Problematik wurden im Projekt Energiespeicher in der Praxis (EnerPrax) in der Gemeinde Saerbeck (Nordrhein-Westfalen (NRW)) von der FH Münster und Projektpartnern verschiedene Energiespeicher zum Speichern des überschüssig produzierten Stroms für verschiedene Bedarfe und Erzeugungsmengen getestet. Von besonderem Interesse war für die GELSENWASSER AG, als einem der beteiligten Projektpartner, ob aus den gewonnen Erkenntnissen ein zukünftiges Geschäftsmodell entstehen kann, das von der Referenzgemeinde Saerbeck in andere Kommunen in NRW übertragen werden kann. Im Mittelpunkt der Speicherauswahl dieser Arbeit standen die im Projekt EnerPrax erprobten Batterietypen, die Lead-Crystal-, die Lithium-Ionen- sowie die Redox-Flow-Batterie.

Grundlage der Untersuchung waren die Stromerzeugungs- sowie Lastdaten der Referenzgemeinde Saerbeck aus dem Jahr 2018. Auffällig war, dass die Gemeinde Saerbeck eine für NRW absolut atypische Gemeinde ist, da hier der Anteil der Stromerzeugung durch Erneuerbare Energie (EE) den Stromverbrauch um ein Vielfaches übersteigt. Die in Saerbeck vorzufindende hohe Erzeugung an EE wird maßgeblich auf Grund der installierten EE im Bioenergiepark in Saerbeck geprägt. Diese Grundvoraussetzung ist in anderen Kommunen in NRW (insbesondere in Ballungszentren wie dem Ruhrgebiet oder Köln) in dieser Form nicht gegeben. Ziel dieser Arbeit war somit, losgelöst vom Bioenergiepark, die Untersuchung der Wirtschaftlichkeit von Speicherlösungen auf Grundlage der Datenbasis der Gemeinde Saerbeck ohne Berücksichtigung der Erzeugungswerte des zugehörigen Bioenergieparks. Nachfolgend sind die Modelle aufgelistet, die zukünftig ein Geschäftsmodell für die GELSENWASSER AG darstellen bzw. die beim Eintreten gewisser Einflussfaktoren wirtschaftlich werden könnten und daher in dieser Arbeit untersucht wurden:

- **Modell 1:** Kauf des lokalen Überschussstroms der Gemeinde Saerbeck und Verkauf an der Börse in Zeiten geringer EE-Einspeisung im Saerbecker Gemeindegebiet.
- **Modell 2:** Ein Batteriespeicher als zentraler Batteriespeicher für PV-Anlagen-Betreiber (z. B. im Rahmen eines Zusammenschlusses zur Energiegenos-

senschaft auf dem Gebiet der Gemeinde Saerbeck).

- **Modell 3:** Vermarktung der ausgespeicherten Energiemengen als zusätzliche Flexibilitätsoption im Rahmen des Bilanzkreismanagements.

Mit Hilfe eines MATLAB-Tools der FH Münster wurden die vorliegenden Erzeugungs- und Verbrauchsdaten des Jahres 2018 zunächst hinsichtlich einer optimalen Speicherbeladung sowie -entladung untersucht. Auf Grundlage der Ergebnisse der MATLAB-Simulation wurden anschließend verschiedene für die GELSENWASSER AG relevante Wirtschaftlichkeitsanalysen durchgeführt. Aus den Ergebnissen der Wirtschaftlichkeitsberechnung ergab sich eine derzeit fehlende Wirtschaftlichkeit aller untersuchten Modelle. Als wesentliche Einflussfaktoren bzgl. der Wirtschaftlichkeit von Speicherlösungen konnten die regulatorischen Abgaben identifiziert werden, die auf Grund der aktuellen Gesetzeslage in allen betrachteten Modellen doppelt anfallen und somit ca. 60 % bis 70 % der jährlichen Kosten ausmachen.

Die Befreiung eines Energiespeichers von einzelnen Abgaben führt allerdings nicht zum wirtschaftlichen Betrieb des jeweiligen Batteriespeichers. Nach derzeitigem Stand muss für ein wirtschaftliches Geschäftsmodell eine vollständige Befreiung von den regulatorischen Abgaben erfolgen oder nur noch einmal anfallende Abgaben mit sinkenden Investitionskosten einhergehen. Aus finanzwirtschaftlicher Sicht wäre in diesem Fall eine Investition in eine Redox-Flow-Batterie den Investitionen in Lead-Crystal- bzw. Lithium-Ionen-Batterien vorzuziehen. Darüber hinaus wurde auf Grundlage des Modells 2 ein Konzept für einen Quartierspeicher untersucht, der die regulatorischen Abgaben außerhalb öffentlicher Netze einspart. Die hier ermittelten Endkundenpreise für Quartiersbewohner, die der GELSENWASSER AG einen Betrieb unter der Prämisse eines Kapitalwerts in Höhe von null ermöglichen, können schon im aktuellen regulatorischen Rahmen eine energetische und wirtschaftliche Optimierung in einem mit Mieterstrom versorgten Quartier darstellen. Abschließend wurden die Regionen und Kommunen in NRW identifiziert, die sich die Ergebnisse übertragen lassen.

Erprobungen von Ansätzen für eine mechanischen Extraktion von Asbest aus Bauschutt

Philipp Heckmann B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Bernd Kortüm
 Datum des Kolloquiums: 1. März 2021
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Umwelttechnik
 in Kooperation mit: WESSLING GmbH



Der Abfallstrom des mit Asbest kontaminiertem Bauschutt wird ohne vorherige Reduzierung auf gesonderte Bereiche der Deponien abgelagert, was somit auch einen Verlust an Ressourcen und an Deponiekapazitäten bedeutet. Das kommt daher, dass asbesthaltiger Bauschutt keiner Recyclinganlage zugeführt werden darf. Dabei gelten Ausnahmen für „innovative Techniken“.

Ziel dieser Arbeit ist es, die Grundlagen für solche Techniken zu ermitteln. Dafür werden zwei verschiedene Ansätze verfolgt: eine Abscheidung von Asbest durch Coulomb-Kräfte und Asbestanreicherung durch Sedimentation.

Dabei hat sich gezeigt, dass sich auf elektrostatisch geladenen Folien weniger Asbest anhaftet als an nicht geladenen Folien, und Asbest in destilliertem Wasser sehr langsam absinkt und sich im Feinsediment ablagert bzw. dünne Fasern in der Schwebe bleiben. Diese Ergebnisse der Versuche zeigen, dass die Ansätze zwar so noch nicht eine Trennung erreichen, aber Ansätze bilden, die eine gewisse Wirkung zeigen und weiterentwickelt werden sollten. Auf Grundlage von bereits in der Mineralogie bekannte Trennverfahren werden Vorschläge zu einer weiteren Verfolgung der Ansätze gemacht.

Entwicklung eines softwaregestützten Tools für die Gebäudeplanung zur Auswahl von zentralen und dezentralen Trinkwassererwärmungssystemen

Julia Heetpaß B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Felix Kunert M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	3. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.



Die Sanitärtechnik, als ein Teilbereich der Gebäudetechnik, befasst sich mit der Installation von wassführenden und gasführenden Systemen und Einrichtungsgegenständen, sowie der Entsorgung von Abwasser. Insbesondere die Trinkwasserversorgung und -erwärmung sind, wegen der hohen Anforderungen an die Hygiene, eine zentrale Aufgabe bei der Planung der Gebäudetechnik. Einerseits wird dieser Bereich von einer Vielzahl an Regelwerken begleitet. Andererseits stellt der Nutzer hohe Ansprüche an die Verfügbarkeit und Qualität des Trinkwassers. Neben der Funktionalität und den Komfortansprüchen an das Trinkwassersystem, sollte eine möglichst hohe Effizienz und Wirtschaftlichkeit bei der Entwicklung eines Trinkwasserkonzeptes nicht aus den Augen verloren werden.

Zu Beginn eines Planungsvorhabens sind eine Vielzahl grundlegender Fragen zu klären, die die weitere Planung sowie den Betrieb des Gebäudes wesentlich beeinflussen. Eine maßgebliche Festlegung in der Vorplanung, ist die Art der Trinkwassererwärmung. Es ist zu entscheiden, ob ein zentrales oder ein dezentrales Trinkwassererwärmungssystem eingesetzt wird. Diese Entscheidung hat Einfluss auf viele Faktoren, wie die Trinkwasserhygiene, Investitions- und Betriebskosten, Materialaufwand und Komfortansprüche.

Durch die am Markt verfügbare große Anzahl an technischen Varianten, lässt sich nicht die eine, richtige Lösung finden. Daher ist es die Herausforderung des Fachplaners, dem Kunden die möglichen Szenarien zu erläutern und insoweit aufzuarbeiten, dass ihm eine Entscheidungsgrundlage zur Verfügung steht.

Viele Bereiche müssen aufeinander abgestimmt werden und eine Vielzahl an Normen und Richtlinien sind zu berücksichtigen. In der Praxis ist es oftmals eine zeitliche Herausforderung, die Alternativen adäquat aufzuarbeiten.

Wie kann ein aus technischer und wirtschaftlicher Sicht optimales Trinkwassererwärmungskonzept entwickelt werden, wenn die Zeit selten für eine ganzheitliche Betrachtung aller möglicher Alternativen ausreicht?

Eine Antwort auf diese Frage zu finden, war das Ziel der Bachelorarbeit. Im Zuge der Arbeit ist ein Kalkulationsprogramm für die Gebäudeplanung zur Auswahl von zentralen und dezentralen Trinkwassererwärmungssystemen entwickelt worden.

Auf der Basis von wenigen Eingabedaten wird eine Rohrnetzberechnung, nach den Vorgaben der geltenden DIN- Normen, VDI-Richtlinien und DVGW-Arbeitsblättern, durchgeführt. Die benötigten Materialien und Bauteile werden in einer Massenaufstellung zusammengefasst. Mit Hilfe der hinterlegten Preislisten aus der Industrie wird eine Kostenschätzung erstellt. Bei der Kalkulation der Kosten werden die Material- und Installationskosten für das Rohrleitungsnetz, die erforderlichen Pufferspeicher und zentralen sowie dezentralen Durchflusserhitzer berücksichtigt.

Der Bediener erhält als Ergebnis eine Kostenaufstellung, die den Anforderungen des Detaillierungsgrades der Vorplanungsphase genügt. Diese dient hinsichtlich des Vergleichs zwischen den Investitionskosten einer zentralen bzw. dezentralen Trinkwassererwärmungsanlage als Grundlage zur Entscheidungsfindung.

Betrachtung der Ausgangslage für Moderne Markenführung von Biomethan mit Blick auf die Positionierung im Markt der erneuerbaren Energien

Johannes Heidrich B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. pol. Dirk Dresselhaus
Zweitprüfer:	Prof. Dr. Klaus-Ulrich Remmerbach
Datum des Kolloquiums:	28. April 2022
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	energielenker projects GmbH



Der Energiemarkt befindet sich derzeit im größten Umbruch seit dem Zeitalter der Industrialisierung. Um den Energiebedarf moderner Gesellschaften zu decken, setzt sich zunehmend die Erkenntnis durch, dass fossile Energieträger in Zukunft nahezu vollständig durch erneuerbare Energien ersetzt werden müssen.

Um erneuerbare Energien im Markt zu etablieren, wurde in Deutschland unter anderem mit dem EEG (Erneuerbare-Energien-Gesetz) ein Instrument zur staatlichen Förderung geschaffen. Es ist jedoch erklärtes Ziel der politisch Verantwortlichen, dass sich langfristig ein marktwirtschaftlicher Wettbewerb entwickeln soll, der weitgehend ohne Subventionen auskommt. Wie und ob sich der Energieträger Biomethan in diesem Wettbewerb positionieren kann, soll in dieser Arbeit dargelegt werden. Dabei soll weniger die Abgrenzung gegenüber dem fossilen Erdgas im Mittelpunkt stehen, als vielmehr der Wettbewerb der erneuerbaren Energien untereinander. Hier gilt es, aus betriebswirtschaftlicher Perspektive möglichst früh eine starke Marktposition zu besetzen. Als erster Ansatz wird dabei in dieser Arbeit das gesamte Einsatzspektrum von Biomethan als möglicher Positionierungsraum betrachtet.

Um eine klare Positionierung zu ermöglichen, wird zunächst die derzeitige Situation der Biomethanbranche im Rahmen einer SWOT-Analyse dargestellt. Anschließend wird entsprechend der Konzeption von moderner Markenführung eine Branchenidentität definiert. Als Konkurrenzprodukte für den Positionierungsprozess wurden der direkte Einsatz von Strom im Rahmen einer Elektrifizierung, der Einsatz grünen Wasserstoffs sowie die Nutzung von fester Biomasse ausgewählt.

Diese Energieträger wurden mit Hilfe von Scoring-Prozessen bezüglich der gewählten Positionierungsdimensionen des technischen Aufwandes und der Energiekosten quantifiziert. Aus der Bewertung des Scoring-Prozesses und der Markenidentität wird schließlich eine mögliche Positionierung für Biomethan abgeleitet, die als Fundament für präzisere Positionierungen in konkreten Teilmärkten dient.

Linus Heidrich B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Helmut Heidrich
Datum des Kolloquiums:	20. September 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Heidrich Ingenieurbüro GmbH



Im Zuge der Energiewende rückt nicht nur die Frage nach nachhaltiger Energieerzeugung in den Vordergrund, sondern auch nach dem Energieverbrauch. In Deutschland wird rund 40 % der Endenergie in Gebäuden verbraucht. Vor allem für Klima- und Lüftungsanlagen mit einem Anteil von bis zu 50 % der Energiekosten in Büros, öffentlichen Gebäuden und Unternehmen besteht Handlungsbedarf. Das daraus resultierende Energieeinsparpotenzial kann durch effizientere Anlagentechnik genutzt werden.

Diese Arbeit beschäftigt sich mit einer solchen Sanierung der raumlufttechnischen Anlage eines öffentlichen Gebäudes, welches im Zuge dieser Arbeit eine Sporthalle umfasste.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit war es, eine konkrete Planungsvariante zur Umsetzung einer Sanierungsmaßnahme der raumlufttechnischen Anlage einer Sporthalle zu erarbeiten. Darüber hinaus sollten Problemstellungen und Lösungsansätze, die sich im Verlauf der Planung ergeben haben, aufgezeigt werden. Zunächst wurde der aktuelle Stand der Technik der einzelnen Planungsbereiche und Anlagenkomponenten dargestellt. Der darauffolgende Planungsteil beinhaltete neben einer Grundlagenermittlung mit der Heizlast- und Luftmengenberechnung die Auslegung der Anlagenkomponenten. Im letzten Teil wurde eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der geplanten Anlage durchgeführt.

Als Ergebnis der Arbeit konnte sowohl eine umsetzbare Planung als auch eine konkrete Wirtschaftlichkeitsbetrachtung in Form einer Amortisationsrechnung unter Berücksichtigung des Jahresgangs der Außentemperatur am Projektstandort erarbeitet werden. Durch Fördergelder durch das Land NRW stellt sich eine Amortisation aus Sicht des städtischen Betriebes bereits nach 4,31 Jahren ein.

Die zeichnungstechnische Darstellung der Planung wurde im Rahmen des Projektes ebenfalls umgesetzt.

Leitfaden zum Abwägen der Post-Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG)-Optionen für Windkraftanlagen

Matthias Heinrichsmeier M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. (FH) Andreas von Bobart, EMBA
Datum des Kolloquiums: 18. Dezember 2020
Master-Studiengang: Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung: Energietechnik



Vor dem Hintergrund, dass mit Auslaufen der Förderung von Windenergieanlagen (WEA) durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) zum Ende des Jahres 2020 knapp 4 GW und bis 2025 jährlich ca. 2,4 GW Leistungskapazität vor ihrem wirtschaftlichen Ende stehen (s. Abb. 1), beschäftigt sich diese Arbeit mit möglichen Post-EEG-Optionen für WEA-Betreiber und der Aufstellung eines Entscheidungsbaums, um die Entscheidungsfindung zu unterstützen. Als Optionen wurden Repowering, Weiterbetrieb und Rückbau untersucht. Weiterhin wurde auch die Möglichkeit des Weiterbetriebs in Kombination mit Wasserstoffherzeugung als alternative Vermarktungsform aufgegriffen. Jede der Optionen wurde im Einzelnen im Hinblick auf ihre jeweiligen Rahmenbedingungen und ihre wirtschaftlichen Aspekte näher betrachtet, um dem Leser eine ausführliche Übersicht zu bieten.

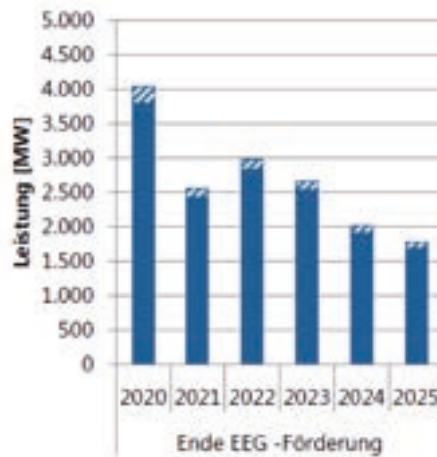


Abb. 1: Jährlich aus der Erneuerbare-Energien-Gesetz- (EEG) Vergütung ausscheidende Leistung bis zum Jahr 2025 und eventuell bis dahin noch zurückgebaute Windenergieanlagen (schraffiert) (Deutsche Windguard).

Es konnte herausgestellt werden, dass die möglichst effizienteste und wirtschaftlichste Weiternutzung der Bestandsfläche die oberste Priorität hat. Es kann somit davon ausgegangen werden, dass ein Betreiber von künftigen Post-EEG-WEA in der Regel zunächst die Möglichkeit eines Repowerings prüfen wird. Während

die Wirtschaftlichkeit aufgrund der Marktprämie des EEGs kein Problem darstellen sollte, sind es vor allem regionalplanerische Restriktionen und eine angespannte Genehmigungssituation, die dazu führen, dass der Ersatz alter WEA gegen leistungsstärkere WEA häufig scheitert. Dies führt dazu, dass oftmals auf einen Weiterbetrieb ausgewichen werden muss. Aus technischer und rechtlicher Sicht bestehen gemeinhin keine unüberwindbaren Hindernisse, um die Anlagen weiter betreiben zu können. Die größte Schwierigkeit besteht hier darin, einen wirtschaftlichen Rahmen zu ermöglichen. Als größter Einfluss auf die Weiterbetriebskosten konnten die Service- und Wartungskosten ausgemacht werden. Je nachdem welches Risiko eingegangen werden soll, können Kostensenkungspotentiale ausgenutzt werden. Das Risiko spielt grundsätzlich eine große Rolle, da der Ausfall einer Großkomponente in der Regel zu einem wirtschaftlichen Totalschaden führt. Darüber hinaus sind auch das Windrisiko und die Tendenz zu vermehrt auftretenden negativen Strompreisen zu beachten. Um neben der sonstigen Direktvermarktung über die Börse eine weitere Vermarktungsgrundlage zu untersuchen, wurden langfristige Stromlieferverträge, sogenannte Power Purchase Agreements (PPA) angeführt, mit denen die Risiken zum Teil eingegrenzt werden können. Die spezifischen Weiterbetriebskosten können ca. 2 bis 3,2 ct/kWh betragen. Sie hängen jedoch stark von der Individualität der Projekte ab.

Reichen auch weitere Kostensenkungen z.B. durch Kündigung bestimmter Versicherungen nicht aus, um einen wirtschaftlichen Weiterbetrieb zu ermöglichen, so kann die Erzeugung von Wasserstoff untersucht werden, um durch dessen Vermarktung den Weiterbetrieb zu finanzieren. Dabei muss dem Betreiber allerdings klar sein, dass hier Pionierarbeit geleistet wird. Aufgrund der Tatsache, dass Wasserstoff fast ausschließlich bedarfsgerecht und vor Ort erstellt wird, existiert kein großer Markt. Mit dem Beschluss der Nationalen Wasserstoffstrategie soll der Markthochlauf für Wasserstoff zwar beginnen, jedoch wird es dauern, bis es Standards gibt, mit denen derartige Kombinations-Projekte umsetzbar sind. Es sind einige Konzepte zum Betreiben von Elektrolyseuren mittels Windstrom denkbar, deren Realisierung erfordert allerdings viel Zeit, Forschung und die entsprechenden Rahmenbedingungen vor Ort, so dass über die Wirtschaftlichkeit und die Chance damit einen Weiterbetrieb zu finanzieren, keine allgemein gültige Aussage getroffen werden kann.

Die kompakte Darstellung des Erarbeiteten erfolgt in einem Kriterienkatalog, der zusammen mit den anschließenden Entscheidungsbäumen eine Hilfestellung bei der Entscheidung für oder gegen eine der Optionen bietet. Die Anwendung ist so ausgerichtet, dass zunächst mit dem Entscheidungsbaum ‚Überprüfung auf Repowering‘ begonnen und anhand der folgenden Entscheidungen und Kriterien der weitere Verlauf bestimmt wird. Kann ein Repowering nicht umgesetzt werden, folgt der zweite Entscheidungsbaum, die ‚Überprüfung auf Weiterbetrieb‘. Kann auch dieser nicht realisiert werden bestehen die Möglichkeiten der Überprüfung auf ‚Weiterbetrieb mit Wasserstoffherzeugung‘ und zuletzt ‚Demontage und Verkauf‘. Der Leitfaden kann als Unterstützung für die Entscheidungsfindung und als Grundlage für die Detailplanung dienen, stößt bei einer weiterreichenden Planung jedoch an seine Grenzen.

Anwendung der Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie im Labor für Immissionsschutz

Nils-Lucas Hemmersbach B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann

Datum des Kolloquiums: 30. Juni 2021

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Umwelttechnik

Laborbereich: Labor Immissionsschutz
in Kooperation mit: Liutec Ing.-GmbH



Um die in Gasen enthaltenen Konzentrationen verschiedener Stoffe untersuchen zu können werden vor allem in Bereichen, in denen geringe Konzentrationen herrschen sehr spezielle Geräte benötigt. Eines dieser Analysegeräte ist ein Fourier-Transform-Infrarot-Spektrometer (FT-IR-Spektrometer).

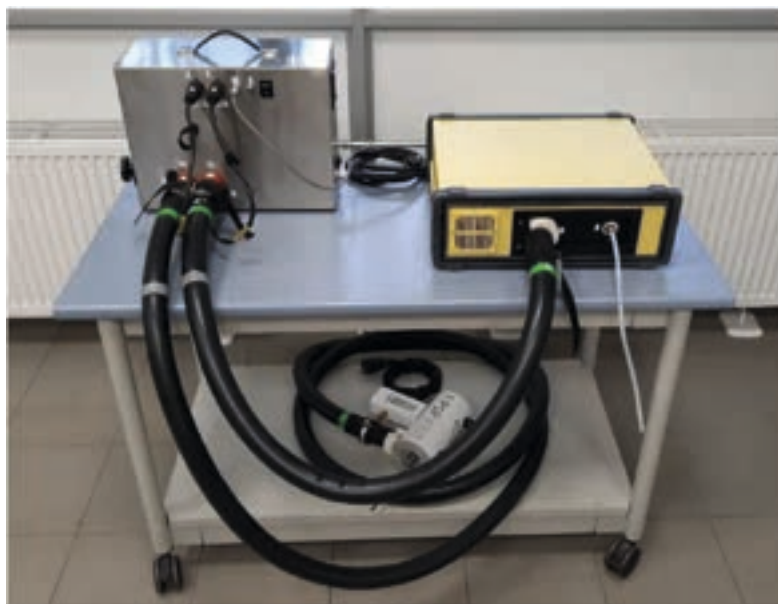


Abb 1: Gaset DX 4000 Gasanalysator

In dieser Abschlussarbeit wurden die Grundlagen der IR-Spektroskopie, sowie der FT-IR-Spektroskopie behandelt, um im Folgenden neben einer Betriebsanweisung für den Gaset DX 4000 Gasanalysator auch eine Vorlage für ein mögliches Praktikum für die Studierenden des Fachbereichs Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik zeigen zu können.

Eine ausführliche Darstellung der Grundlagen in diesem Bereich ist wichtig, um den gewünschten Lernerfolg der Studierenden erreichen zu können. Vorab wurde hier eine Grundlage der Infrarot-Spektroskopie geschaffen, um weiterführend mit dieser, Bezug auf die Fourier-Transform-Infrarot-Spektroskopie zu

nehmen. Dabei wurde vor allem die Theorie hinter der Analyse auf molekularer Ebene beschrieben.

Der erstellte Praktikumsversuch wurde in zwei Versuche unterteilt. Der erste Versuch dient dazu, den Studierenden den Umgang mit dem Analysegerät und dem dazugehörigen Computerprogramm ?Calmet? näherzubringen. Im zweiten Versuch des Praktikums wurde der Praxisbezug in den Vordergrund gestellt. Hier wurde anhand eines leicht flüchtigen Stoffes (Aceton) darauf aufmerksam gemacht, welche Auswirkungen es auf die Ergebnisse hat, wenn die vorgegebenen Probenahmestellen nicht eingehalten werden. Ziel war es dabei den Studierenden zu zeigen, inwiefern auch unscheinbare Fehlerquellen detektiert werden können.

Im zweiten Hauptteil wurde eine Betriebsanweisung für den einfachen Gebrauch des Gasmeter DX 4000 Gasanalysators erstellt. Die Betriebsanweisung zeigt den Verwendern schrittweise den einfachen Umgang mit dem Gasanalysator. Es wurde Wert darauf gelegt wenig Spielraum für potenzielle Fehler zu lassen, damit auch theoretisch ungeschultes Personal in der Lage ist den Gasanalysator, in Bezug auf einfache Messungen, fehlerfrei bedienen zu können. Durch eine umfangreiche Bebilderung der Betriebsanweisung wurde zusätzlich das Risiko einer Fehlbedienung reduziert.

Ein Begleitziel dieser Abschlussarbeit war die Erörterung der Notwendigkeit dieses Analysegerätes für das Labor für Immissionsschutz. Durch das Zeigen vieler Vorteile gegenüber alternativen Analyseverfahren ist erkenntlich geworden in welchem Umfang ein solches Analysegerät nicht nur das Labor für Immissionsschutz in Bezug auf wirtschaftliche Aspekte unterstützt. Auch die Studierenden bekommen die seltene Möglichkeit ein nicht sehr weit verbreitetes Analyseverfahren aktiv anzuwenden.

Analyse der Wärmeabnehmer und Erarbeitung des Optimierungspotenzials im Fernwärmenetz der Stadtwerke Münster GmbH

Marvin Hengelsberg B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Sören Möller M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	3. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	Stadtwerke Münster GmbH



Für Betreiber eines Fernwärmenetzes steht der sichere und effiziente Betrieb des Netzes im Fokus. Dabei verkörpert die Netzurücklauf­temperatur einen wichtigen Parameter zur Beurteilung der Effizienz eines Wärmenetzes. Durch die Unterschreitung der vertraglich vereinbarten Temperaturdifferenz zwischen Fernwärmever- und Fernwärmerücklauf in Hausstationen der Kunden, erhöht sich die Rücklauf­temperatur des Wärmenetzes gegenüber ihres Auslegungswertes. Aus einer erhöhten Netzurücklauf­temperatur resultieren erhöhte Wärmeverluste, ein erhöhter elektrischer Energiebedarf der Umwälzpumpen und eine verringerte Wärmeübertragungskapazität des vorhandenen Rohrleitungsnetzes. Eine erhöhte Netzurücklauf­temperatur hat außerdem einen negativen Einfluss auf den Kraftwerksprozess in Heizkraftwerken. Darüber hinaus sind für eine wirtschaftliche und energetisch sinnvolle Einbindung regenerativer Energiequellen in ein Wärmenetz, niedrige Systemtemperaturen von zentraler Bedeutung.

Im Fernwärmenetz der Stadtwerke Münster ist ein generell hohes Rücklauf­temperaturniveau zu beobachten. Der Jahresmittelwert der Netzurücklauf­temperatur des Jahres 2019 beträgt ca. 65 °C. Der Wert liegt damit weit über den heutigen Vorgaben für neue Hausanschlüsse von maximal 50 °C. Die Stadtwerke Münster haben es sich zum Ziel gesetzt, den Betrieb des Netzes zu optimieren und die Netzurücklauf­temperatur langfristig zu senken.

Ziel dieser Arbeit war es, das Optimierungspotenzial in Bezug auf verringerte Wärmeverluste des Netzes und dem verringerten Energiebedarf der Umwälzpumpen, bei Senkung der Netzurücklauf­temperaturen, zu quantifizieren. Darüber hinaus sollten die Wärmeabnehmer identifiziert werden, welche durch ihr Betriebsverhalten einen maßgeblichen Einfluss auf die erhöhte Netzurücklauf­temperatur haben.

Für das Fernwärmenetz und deren Anschlussnehmer konnte zunächst gezeigt werden, dass eine Vielzahl von Kundenanlagen existiert, für welche nicht die heute vorgeschriebene maximale Rücklauf­temperatur von 50 °C gilt. Nach Auswertung verschiedener älterer Fassungen der TAB und Kundenanlagen wurde ermittelt, dass für ca. ein Fünftel der angeschlossenen Wärmeleistung eine Rücklauf­temperatur von 70 °C in den Hausstationen der Anschlussnehmer zulässig ist.

Die Berechnungen des Optimierungspotenzials wurden in Microsoft Excel durchgeführt. Mit Hilfe von Messwerten des Jahres 2019 wurde die Ist-Situation rechnerisch angenähert. In einem zweiten Schritt wurde der Berechnungsansatz auf verschiedene Soll-Situationen, bei niedrigeren Netzrücklauftemperaturen, angewandt. Durch den Vergleich der beiden ermittelten Werte konnte das energetische Einsparpotenzial dargestellt werden. Die Berechnungen ergaben für eine maximale Netzrücklauftemperatur von 50 °C eine Verringerung der jährlichen Wärmeverluste um ca. 4,3 GWhth, Für die Verringerung des elektrischen Energiebedarfs der Umwälzpumpen wurde, bei einer maximalen Netzrücklauftemperatur von 50 °C, ein jährliches Energieeinsparpotenzial von ca. 0,7 GWhel ermittelt. Für die Betrachtungen ergeben sich jährliche Kosten- und Emissionsreduzierungen von insgesamt 145.000 € und 1.130 t CO₂.

Die Analyse der Wärmeabnehmer wurde mit Hilfe der Wärmemengenzählerdaten der Kunden für verschiedene Betrachtungszeiträume des Jahres 2019 durchgeführt. Durch die Berechnung eines Vergleichswertes (Mehrverbrauch) für Wärmeabnehmer mit unterschiedlich hohen Wärmeverbräuchen, konnten die Wärmeabnehmer mit dem größten Einfluss auf die erhöhte Netzrücklauftemperatur identifiziert werden. Darüber hinaus konnte dargestellt werden, dass viele Anlagen eine geringe Temperaturdifferenz zwischen Vor- und Rücklauf des Hausanschlusses aufweisen und dementsprechend ein schlechtes Betriebsverhalten zeigen. Die Auswertung zeigt allerdings auch, wie gering der Einfluss einzelner Kundenanlagen auf die Netzrücklauftemperatur ist und welcher Arbeits- und Kostenaufwand mit der Senkung der Netzrücklauftemperatur verbunden ist.

Name des Kunden	Anschlussleistung		Wärmemenge im betrachteten Zeitraum		Volumen im betrachteten Zeitraum		Mittlere Temperaturerhöhung $\Delta\theta_{\text{Mittel}}$		$\Delta\theta_{\text{Mittel}} / \Delta\theta_{\text{Nenn}}$		Mittlere Rücklauftemperatur		Mehrverbrauch im betrachteten Zeitraum		Einfluss auf Netzrücklauftemperatur		Rang nach Mehrverbrauch	
	kW	kWh	m³	m³	K	K	°C	m³	K	m³	K	m³	K	m³	K	m³	K	
XXX	4.200	3.242.410	94.496	30.122	35	57%	80	47.244	0,54	1								
XXX	1.870	1.177.160	30.122	35	57%	76	12.967	0,15	2									
XXX	600	574.600	17.373	29	48%	81	8.999	0,10	3									
XXX	2.500	1.787.530	34.684	46	75%	85	8.034	0,10	4									
XXX	873	353.770	12.912	24	40%	87	7.790	0,09	5									
XXX	400	344.980	12.581	24	40%	88	7.553	0,09	6									
XXX	1.500	819.800	19.131	38	62%	73	7.198	0,08	7									
XXX	900	470.960	12.286	34	56%	77	5.403	0,06	8									
XXX	1.200	1.256.510	23.572	47	78%	64	5.261	0,06	9									
XXX	165	191.953	8.012	21	35%	90	5.215	0,06	10									

Abb1: Ausschnitt aus Excel Tabelle zur Auswertung der Kunden

Carsten Hensmanns M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dr. Oliver Höfert
Datum des Kolloquiums:	12. Juni 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik



Gebäude unterliegen in der Praxis sich ständig ändernden Einflüssen. Um eine angestrebte Energieeffizienz auch tatsächlich in der Anwendung zu erreichen, ist es von Vorteil die dynamische Wechselwirkung von Klima, Nutzung und Bauweise schon in der Planung mit einzubeziehen. Ebendiese dynamischen Wechselwirkungen zu realen Wetterdaten und Raumparametern lassen sich in einer thermischen Gebäudesimulation berücksichtigen. Dies ermöglicht unter anderem die Berechnung des Energiebedarfs für Heizen und Kühlen. EnergyPlus ist ein Beispiel für eine Software, die zu diesen Berechnungen in der Lage ist.

Diese Arbeit verfolgte zwei Ziele. Zum einen sollte mithilfe einer Programmierung in Excel der Eingabeprozess für die zu simulierenden Daten in Energy-Plus automatisiert werden und zum anderen sollte die Programmierung dann verwendet werden, um verschiedene Sonnenschutztypen hinsichtlich der möglichen Einsparung von Kühlenergie zu vergleichen. Dabei wurde auch die Rolle der Positionierung in Bezug auf die Himmelsrichtungen untersucht.

Hinsichtlich des ersten Ziels lässt sich festhalten, dass mit der programmierten Eingabemaske die Erstellung einer komplexen IDF-Datei für EnergyPlus deutlich erleichtert wurde. Wenn zum Beispiel die Verwendung eines Sonnenschutzes ursprünglich in mehreren Modulen der IDF-Datei eingegeben werden musste, wird dies nun durch ein einfaches Auswahlfeld erledigt und die Programmierung übernimmt die Erstellung der gesamten Datei. Mit übernommenen Anforderungen aus der EnEV an die Bauteile eine realitätsnahe Simulation gewährleistet werden, die den Heiz- und Kühlbedarf eines Raumes oder eines Gebäudeteils über ein Jahr abbildet. Grundsätzlich wurde demonstriert, dass eine Erleichterung der Eingabe durch ein Interface möglich ist und sich beispielsweise mit Visual Basic for Applications in Excel programmieren lässt.

Die Ergebnisse zum zweiten Teil dieser Arbeit zeigen das man den Kälteenergiebedarf mit geeigneten Sonnenschutzmaßnahmen deutlich reduzieren kann. Lässt es die Gebäudekonstruktion zu, sollte ein außenliegender Sonnenschutz in Kombination mit einem innenliegenden Blendschutz gewählt werden. So kann der Raum im Sommer vor einem Großteil der Sonnenstrahlung geschützt und eine Aufheizung der Räumlichkeit reduziert werden. Wenn der außenliegende Sonnenschutz im Winter nicht heruntergefahren wird, kann der Raum die Strahlungsenergie nutzen. Ein Blendschutz im Inneren sorgt dann für ungestörtes Arbeiten.

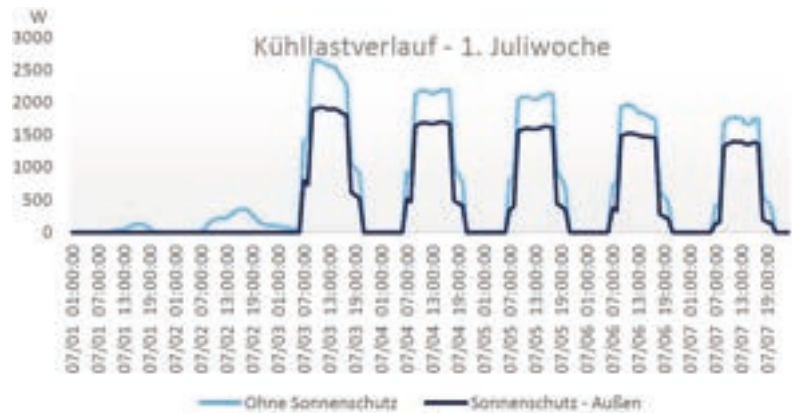


Abb1: Kühllastverlauf - 1. Juliwoche

Bei der Positionierung ist darauf zu achten die Süd-, West- und Süd-West-Richtungen abzudecken, da aus der Südrichtung über den Großteil des Jahres hinweg die eintreffende Strahlung konstant hohe Werte erreicht und Spitzenwerte im Sommer besonders westlich entstehen.

Die erstellte Eingabemaske zur Nutzung von EnergyPlus sowie die Software EnergyPlus selbst bieten darüber hinaus weitreichendes Potenzial, welches in dieser Arbeit nicht umfassend behandelt werden konnte.

Optimierung der Strom- und Wärmeversorgung eines Industriegebäudes

Frederic Herking B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Michael Weber
Datum des Kolloquiums:	11. Dezember 2020
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Urenco Deutschland GmbH



Die Urenco Deutschland GmbH betreibt am Standort Gronau die einzige Urananreicherungsanlage Deutschlands. Die Gebäude auf dem Gelände erfüllen unterschiedliche Funktionen. Eines der Gebäude dient zur Abwicklung von ein- und ausgehenden UF_6 -Behältern, Schutzverpackungen und radioaktiven Abfällen und sonstigen Transporten. Das Gebäude besteht aus zwei Gebäudeteilen und wird über eigene Transformatoren mit Strom versorgt. Die Wärmeversorgung erfolgt über eine Heizungsanlage für jeden Gebäudeteil. Diese sind mit Niedertemperaturkesseln ausgestattet.

Auf Basis der Hypothese von ungenutzten Potenzialen der Heizungsanlagen galt es eine mögliche Optimierung der Strom- und Wärmeversorgung zu prüfen. Diese Überprüfung erfolgte auf Basis von zwei zentralen Fragestellungen:

- Welche Technologien bieten nach bestimmten Kriterien die bestmögliche Energieversorgung?
- Ist eine Verbindung der beiden einzelnen Wärmenetze ökologisch und wirtschaftlich sinnvoll?

Diese sollten durch Modellierung des Energiesystems mit dem Programm „Spreadsheet Energy System Model Generator“ beantwortet werden.

Nachdem die möglichen Technologien zur Optimierung der Energieversorgung erläutert wurden, wurden mögliche Investitionskosten und Wartungskosten ermittelt. Da es bei der Optimierung solcher Systeme oftmals möglich ist, staatliche Förderungen in Anspruch zu nehmen, sind diese für die entsprechenden Technologien näher betrachtet worden.

Mit der Einführung in das Programm und dem Erläutern der Rahmenbedingungen wurden verschiedene Szenarien unter Einbindung der betrachteten Technologien und nach unterschiedlichen Kriterien modelliert. Das wirtschaftliche Kriterium heißt „Kosten“. Das ökologische Kriterium lautet „ CO_2 -Ausstoß“. Beide Kriterien sollten gesenkt werden.

Im Laufe der Arbeit ließen sich Technologien ausschließen, die keine wirtschaftliche und ökologische Lösung bieten. Die Nutzung einer Wärmepumpe beispielsweise ist bei den gegebenen Vor- und Rücklauftemperaturen unwirtschaftlich und

nicht zu empfehlen. Aus wirtschaftlicher Sichtweise ist der Betrieb einer PV-Anlage und eines Batteriespeichers sowohl mit als auch ohne Verkauf von elektrischer Energie nicht empfehlenswert. Dies liegt vor allem an den hohen Investitionskosten dieser Technologien sowie den geringen Stromkosten, die im Falle der Urenco als Grundlage dienen. Betrachtet man das Energiesystem nach ökologischen Kriterien wie dem CO₂-Ausstoß, sind die PV-Anlage und der Batteriespeicher allerdings Technologien, die zu empfehlen sind.

Die Ergebnisse zeigen, dass sich zur Beantwortung der ersten Frage drei Varianten zur Optimierung als sinnvoll erweisen. Für die Wahl der Varianten gaben die unterschiedlichen Kriterien sowie ein Kompromiss den Ausschlag.

Variante 1 ist die wirtschaftlichste der drei Varianten. Diese besteht aus Brennwertanlagen, BHKWs und Pufferspeichern. Die Kosten, die durch das Energiesystem entstehen, werden um ca. 4,5 % gesenkt und auch der CO₂-Ausstoß sinkt. Variante 2 ist die ökologischste Variante, um das bestehende Energiesystem zu optimieren. Diese beinhaltet die Optimierung durch eine Kombination von PV-Anlage, Brennwertanlage, BHKW und Batteriespeicher. Der CO₂-Ausstoß wird um ca. 15 % reduziert. Allerdings ist diese Variante mit hohen Kosten verbunden.

Als wirtschaftlich und ökologisch sinnvoll erweist sich Variante 3. Durch einen 1:1-Austausch ist es möglich die Kosten, die durch das Energiesystems verursacht werden auf einem gleichen Niveau wie derzeit zu halten. Die Erneuerung und Leistungsoptimierung der Heizungsanlagen macht dies möglich und mindert gleichzeitig den CO₂-Ausstoß.

Die zweite Frage lässt sich klarer beantworten:

Nein, nach den genannten Kriterien ist es nicht sinnvoll die Wärmenetze der Übergabestation zusammenzulegen. Dieses Ergebnis zeigten die vorgenommenen Modellierungen des Energiesystems.

Untersuchung des Strömungsfeldes im Messbereich eines Interferometers mittels CFD

Alexander Heß B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Christoph Zeller
Datum des Kolloquiums:	9. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	rauschenberg ingenieure gmbh



Das Thema der Abschlussarbeit beschäftigt sich mit dem Klimatisierungskonzept des Neubaus eines Messzentrums für hochpräzise Messungen mit Interferometern. Innerhalb dieses Messzentrums gibt es einen Raum mit der Bezeichnung Messzelle, indem zur Gewährleistung der Messgenauigkeit eine extrem geringe Schwankungsbreite der Raumlufttemperatur erforderlich ist.

Eine solche Messzelle existiert bereits in einem Bestandsmesszentrum und soll im Hinblick auf die Klimatisierung für den Neubau energetisch und funktions-technisch an den aktuellen Stand der Technik angepasst werden. Ursprünglich war für die Lüftungstechnik der Messzelle im Bestand das Prinzip der turbulenzarmen Verdrängungsströmung vorgesehen, welches eine von der Decke in Richtung des Bodens gerichtete Strömungsform der Be- und Entlüftung vorsah.

Dieses Konzept wird häufig für besondere Hygieneanforderungen, wie beispielsweise in OP-Bereichen, vorgesehen, bedingt jedoch immer einen hohen lufttechnischen Aufwand, um gegen die Thermik einen Wärmeeintrag abzuführen. Für die Optimierung der neuen Messzelle wurde ein neues Konzept für die Lüftungs- bzw. die Klimatisierungstechnik geplant und ausgearbeitet. Das neue Konzept ist nicht mehr auf die Gesamtsumme der Störquellen bezogen, da dieser Ansatz als überholt bezeichnet werden kann. Für das weitere Vorgehen wurde eine störquellenbasierte Planung entworfen. Diese Planung sieht vor, den thermischen Auftrieb der Wärmequellen zu nutzen und die Strömungsrichtung im Raum umzukehren. Erzielt werden soll dieser Effekt mit dem Prinzip der Quelllüftung.

Diese Arbeit verfolgte das Ziel, das Funktionsprinzip der Quelllüftung mithilfe einer thermischen und strömungstechnischen Simulation mittels CFD, in Bezug auf die Einhaltung der Temperaturgrenzwerte, nachzuweisen und zu untersuchen. Für diese Simulation wurde das Programm Pyrosim FDS genutzt. Dabei stellte nicht die gesamte Raumtemperatur in der Messzelle, sondern die Absaugung des Messbereichs des Interferometers das Hauptproblem dar, um die Einhaltung der extrem geringen Schwankungsbreite zu realisieren.

Die Analyse der erstellten thermischen und strömungstechnischen Simulation kam zu dem Ergebnis, dass das störquellenbasierte Prinzip der Quelllüftung umgesetzt wird. Die isotherme Einbringung der Zuluft im Bodenbereich

in Kombination mit der thermischen Auftriebskraft der Wärmequellen und dem Abluftdurchlass in dem gelochten Zwischendeckenbereich realisieren eine Abfuhr der Wärmeeinträge. Die Ausbreitungen der aufsteigenden Wärmeströmungen sind im Vergleich zu den Abmessungen der Wärmequellen lediglich geringfügig größer und die Strömungsrichtung der erwärmten Luft von Boden in Richtung der Zwischendecke verläuft nahezu auf direktem Weg. Die Schwankungsbreite der Temperatur im Messbereich des Interferometers wurde somit durch die Wärmequellen nur wenig beeinflusst. Mit Blick auf die Raumlufttemperatur in der Messzelle während eines Messvorgangs, zeichnete sich durch den Abluftdurchlass und den damit entstehenden Unterdruck eine geringfügig abgekühlte Temperatur ab. Ausnahme hierbei bildeten die Wärmeabgaben und die Strömungen der Wärmequellen, sowie die Beleuchtung im Falle einer Wartung. Abschließend lässt sich festhalten, dass die Raumlufttemperatur die Grenzwerte nach Ablauf der Messdauer nicht unterschreitet.

Yannick Hetkämper B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Ansgar Wilken
Datum des Kolloquiums:	1. April 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Nordhorn, Münster



Eine gesunde Raumlufqualität in Schulen muss sichergestellt werden. In Bezug auf die Corona-Pandemie ist die Notwendigkeit von ausreichender Frischluftzufuhr in Klassenräumen deutlich geworden. Der Bedarf hingegen besteht grundsätzlich, das bedeutet auch im normalen Schulbetrieb. Die derzeitige Lüftungssituation in mehr als 90 Prozent der Schulen in Deutschland stellt die Lüftung über Fenster dar. Mit dieser Art der Lüftung ist ein ausreichender Luftaustausch und somit eine gesunde Raumlufqualität in den wenigsten Fällen realisierbar. Außerdem sind weitere Nachteile wie zum Beispiel allgemeine Befindlichkeitsstörungen und Leistungsdefizite bei den Schülern festzustellen und erhebliche Energieverluste durch die Fensterlüftung zu vermerken.

Der dafür benötigte Außenluftvolumenstrom ist oft nur mit einer raumluftechnischen Anlage zu gewährleisten. Aus diesem Grund wurde in dieser Bachelorarbeit ein Leitfaden zur Planung von raumluftechnischen Anlagen in Schulen erstellt.

Im ersten Teil der Arbeit wurde ein grundlegendes Verständnis geschaffen. Dazu wurde die Definition der Raumlufqualität erläutert, sowie auf den aktuellen Stand der Technik eingegangen, welcher sich an Normen und Richtlinien orientierte. Zudem wurden in diesem Zusammenhang Ursachen und Folgen einer schlechten Raumlufqualität repräsentiert.

Nachfolgend wurden im nächsten Kapitel die Unterschiede und Möglichkeiten von zentralen und dezentralen raumluftechnischen Systemen erläutert. Anhand eines Vergleichs von verschiedenen auf dem Markt befindlichen dezentralen Lüftungsgeräten und Luftreinigern wurden die Unterschiede der wichtigsten technischen Daten und Größen noch einmal verdeutlicht und bewertet.

Der zweite Teil dieser Arbeit beschäftigte sich mit Planungsbeispielen für die Auslegung von raumluftechnischen Anlagen. Hierbei wurden die Verfahren zur Bestimmung der Außenluftvolumenströme nach DIN EN 16798-1 beispielhaft an zwei Klassenräumen eines Gymnasiums angewandt. Des Weiteren wurden Planungshinweise zur Auslegung der Außenluftvolumenströme im Pandemiefall anhand aktueller Erkenntnisse gegeben.

Das Ergebnis dieser Arbeit soll die Planung von raumluftechnischen Anlagen in Schulen erleichtern und die Sensibilisierung der Notwendigkeit solcher Anlagen in Schulen belegen. Ziel dieses Leitfadens für die Planung ist die Lüftungssituation und Raumlufqualität in Schulen langfristig zu verbessern und somit eine gesunde Lernumgebung auch in Zukunft zu gewährleisten.

Optimierung des Eigenstromverbrauchs eines Quartiers mithilfe von Vehicle-to-Grid-fähigen Fahrzeugen

Janis Hilgenbrink B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Carolin Daam, M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	15. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Reiner Lemoine Institut gGmbH



Aufgrund der angestrebten Klimaschutzziele bedarf es einer Umstellung auf eine umweltschonende Energieversorgung und Vermeidung von Emissionen aus fossilen Energieträgern. Um eine sektorübergreifende Reduzierung zu erreichen, wird ein höherer Strombedarf aus Erneuerbaren Energien erwartet. Im Verkehrssektor ist dieser durch die Umstellung auf Elektroautos bedingt.

In dieser Arbeit wird am Beispiel eines Quartiers untersucht, welche Auswirkung ein Hochlauf von Erneuerbaren Energien und Elektroautos auf ein Energiesystem hat. So wird überprüft welche Synergieeffekte zwischen den Elektroautos und Photovoltaikanlagen vorliegen und wie diese im Bilanzraum genutzt werden können.

Ziel der Untersuchung ist es festzustellen, ob Elektroautos als Speicher für den fluktuierenden Strom aus Photovoltaikanlagen dienen können, ohne dabei die eigentliche Funktion der Fahrzeuge, Personen von A nach B zu bringen, zu vernachlässigen. Es wird außerdem untersucht, welche Auswirkungen Vehicle-to-Grid-fähige Fahrzeuge auf das System haben. Das bedeutet, die Fahrzeuge können sowohl elektrische Energie aufnehmen als auch bei Bedarf in das Energiesystem zurückspeisen können. Durch Speicherung von überschüssigem Strom aus Erneuerbaren Energien können neue Geschäftsfelder entstehen, die die Energie- und Verkehrswende vorantreiben.

Zur Beantwortung der Forschungsfragen wurde ein energetisches Modell eines Beispielquartiers aufgebaut. Alle bisher anfallenden Lasten innerhalb des Quartiers wurden in das Modell implementiert. Zur energetischen Darstellung der Elektroautos wurde eine Komponente entwickelt und anschließend in das Modell integriert. Die Simulationsergebnisse des Modells geben Aufschluss darüber, welche Mengen an überschüssigem PV-Strom sich durch die Elektroautos aufnehmen lassen und wie sich im Hinblick auf einen möglichen Netzausbau die Jahreshöchstlast verändert. In unterschiedlichen Szenarien wird der Status Quo des Energiesystems mit den Zukunftsszenarien verglichen, in denen jeweils ein Markthochlauf von Elektroauto und Photovoltaikanlagen stattfindet. Dabei findet in den Szenarien eine Variation der Fähigkeit der Fahrzeuge von Vehicle-to-Grid statt.

Aus den Ergebnissen folgt, dass im Bilanzraum des Quartiers zum jetzigen Zeitpunkt keine Stromüberschüsse aus Photovoltaikanlagen verfügbar sind. Erst mit einem Ausbau der Photovoltaikanlagen können Stromüberschüsse von den Elektroautos aufgenommen werden und somit der Autarkiegrad erhöht werden. Durch eine optionale Vehicle-to-Grid-Fähigkeit der Elektroautos lässt sich dieser weiter steigern.

Technisch lässt sich das Vorhaben bereits umsetzen, jedoch bestehen noch Fragen bezüglich Lade- und Entladeregulierung, sowie Hürden in der rechtlichen Umsetzung und der Bildung eines Marktes.

Bewertung der Einflussfaktoren auf den Wärmebedarf von Fabrik-, Lager-, und Werkstattgebäuden in Bezug auf den Einsatz von Luftherzern und Torluftschleiern

Niclas Hölscher B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dr. Daniel Bruns
Datum des Kolloquiums:	21. Dezember 2020
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Kampmann Gruppe



Steigende Energiekosten und das immer stärker werdende Bewusstsein der Gesellschaft Ressourcen zu schonen, führen dazu, dass auch die technische Gebäudeausrüstung weiter optimiert wird. Bei der Planung der technischen Gebäudeausrüstung sind Planer bestrebt optimale Systemlösungen zu finden, um die Anforderungen an das Raumklima zu erfüllen und dabei die Systeme auf einen optimalen Betriebspunkt auszulegen. Dabei wird in den meisten Gebäuden eine Heizung eingebaut, um die vor allem im Winter auftretenden Wärmeverluste auszugleichen.

Im Bereich der Hallenbauten werden pro Jahr ca. 7200 beheizte Hallen errichtet (Oschatz, 2012, p.43). Bei diesen Gebäudetypen werden im Gegensatz zu anderen Nicht-Wohngebäuden und Wohngebäuden andere Systeme zum Beheizen eingesetzt. Um die großen Raumhöhen zu überwinden, werden die Hallen in vielen Fällen mit Luftherzern ausgelegt. Diese sollen dem thermischen Auftrieb der Luft entgegenwirken und konditionierte Luft in den Aufenthaltsraum blasen. Ein weiteres System, welches bei Hallenbauten vermehrt eingesetzt wird, sind Luftschleieranlagen, da durch große Toröffnungen große Luftvolumenströme fließen können, wodurch die Halle stark auskühlt. Die Luftschleieranlagen sollen diesem Effekt entgegenwirken.

Eine bedarfsgerechte Auslegung der Hallen durch die richtige Dimensionierung der Systeme wird in jedem Projekt gefordert. Daher ist es für jeden Planer wichtig die Wärmeverluste des Gebäudes optimal zu erfassen.

In dieser Abschlussarbeit wurde ermittelt, wie stark sich der vertikale Temperaturanstieg über die Hallenhöhe, sowie der Luftwechsel durch geöffnete Tore auf die Wärmeverluste von Hallenbauten auswirken. Weiterhin wurde untersucht, wie stark diese Verluste durch den Einsatz technischer Gebäudeausrüstung in Form von Luftherzern und Torluftschleiern verringert werden können. Anschließend sind diese Erkenntnisse in die Anforderungen an ein zu erstellendes Berechnungs-Tool, für die Berechnung der Wärmeverluste von Hallenbauten, eingeflossen.

Für die Umsetzung wurden in einem ersten Schritt drei charakteristische Hallenmodelle aufgestellt. Anhand dieser wurden mit Hilfe eines thermischen Gebäudesimulationsprogramms die verschiedenen Einflüsse abgebildet und simuliert. Es konnte herausgestellt werden, dass die Verluste durch den vertikalen Tempe-

raturanstieg und die geöffneten Hallentore, die Wärmeverluste der Halle stark erhöhen. Sie wurden daher in den Grundlagen des Berechnungs-Tools berücksichtigt.

Das Berechnungs-Tool bietet dem Anwender die Möglichkeit bei der Berechnung der Wärmeverluste einer Halle die Einflüsse verschiedener Temperaturgradienten zu berücksichtigen. Die Verluste, welche durch offenen Hallentore entstehen, werden automatisch berechnet und es besteht weiterhin die Möglichkeit den Einfluss von Torluftschleiern zu erfassen.

Alexander Hoge M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
 Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Datum des Kolloquiums: 8. Dezember 2021
 Master-Studiengang: Master Energie · Gebäude · Umwelt
 Studienrichtung: Energietechnik



Kleinwindkraftanlagen haben das Potenzial zur Deckung des lokalen Strombedarfs von Privatpersonen und kleinerer Unternehmen beizutragen. Im Gegensatz zu Solaranlagen können Windkraftanlagen auch Nachts oder gerade zu Jahreszeiten mit geringer Sonneneinstrahlung Strom für den steigenden Bedarf bereitstellen. Kleinwindkraftanlagen können auch von Privatpersonen errichtet werden. Damit diese Anlagen einen tatsächlichen Nutzen haben ist es wichtig für die Rotorblätter die richtigen Profile zu verwenden. Das Ziel dieser Arbeit ist es, für verschiedene Größen von Kleinwindkraftanlagen die effektivsten Profile aus einer vordefinierten Auswahl von vierstelligen NACA Profilen zu bestimmen, um möglichst hohe Leistungsbeiwerte zu erreichen.

Dafür ist das Programm QBlade verwendet worden. QBlade ist ein Open-Source Programm, dass die Erstellung und Simulation von Rotoren für Windkraftanlagen ermöglicht. Mit den Funktionen in QBlade und einem Ausschlussverfahren sind 297 verschiedene Profile der 4-stelligen NACA-Familie miteinander verglichen worden. Im Anschluss sind mit den ermittelten, effektivsten Profilen Rotorblätter erstellt worden und für niedrige Windgeschwindigkeiten optimiert worden.

Für eine Auslegungswindgeschwindigkeit von 6 m/s sind folgende Profile für verschiedene Rotordurchmesser ausgewählt worden:

Blattwurzel	Blattspitze	Rotordurchmesser (m)
5603	4402	0,2 - 0,4
4402	4302	0,6 - 0,8
5302	5206	1,0 - 2,0
5202	4411	3,0 - 4,0
3411	6308	5,0 - 8,0
5411	6511	9,0 - 12,0
6411	7511	13,0 - 16,0

Tabella 1: Rotordurchmesser der Profile

Mit diesen Profilen sind in QBlade Rotorblätter erstellt worden, die bei dreiblättrigen Rotoren die folgenden Leistungsbeiwerte erreichen:

Schnelllaufzahl λ	Rotorleistungsbeiwert C_p	Rotordurchmesser (m)
7,5	0,2803	0,2 - 0,4
7,5	0,1420	0,6 - 0,8
7,5	0,4024	1,0 - 2,0
7,5	0,4440	3,0 - 4,0
7,5	0,4542	5,0 - 8,0
7,5	0,4700	9,0 - 12,0
7,5	0,4738	13,0 - 16,0

Tabelle 2: Leistungsbeiwerte der Profile

Insgesamt sind die erreichten Leistungsbeiwerte, ab einem Rotordurchmesser von $D = 1$ m, akzeptabel. Auftriebsnutzende Windkraftanlagen erreichen realistische Leistungsbeiwerte bis $C_p = 0,5$.

Um zu prüfen, ob die Auswahl eines bestimmten Profils, sowie die Optimierung der erstellten Rotorblätter nach Profiltiefe und Verwindung überhaupt einen signifikanten Einfluss auf den Rotorleistungsbeiwert hat, sind unterschiedlich optimierte Versionen des gleichen Rotors erstellt worden:

1. Verwendung von Standard-Profil, Gleichbleibende Profiltiefe, keine Verwindung
2. Optimiert nach Profiltiefe
3. Optimiert nach Profiltiefe und Verwindung
4. Optimierung bei Verwendung von NACA 5206 als Profil

Jede Version beinhaltet die Optimierungen der vorherigen Versionen. So können die Wirkung der einzelnen Schritte miteinander verglichen werden:

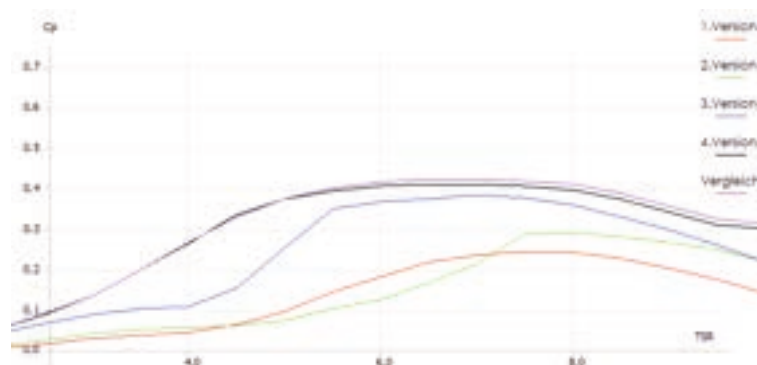


Abb 1: Vergleichbarkeit der unterschiedlichen Versionen

Der Graph „Vergleich“ zeigt die Leistungsbeiwerte für den Rotor, mit einem Durchmesser von einem Meter, wie er in dieser Arbeit entwickelt worden ist.

Insgesamt zeigt der Vergleich der verschiedenen Versionen, dass das, in dieser Arbeit, verwendete Verfahren dafür geeignet ist die Leistungsbeiwerte für die erstellten Rotorblätter zu maximieren.

Konzeptentwicklung für eine plattformgestützte Zusammenarbeit im Sinne der BIM-Methodik in der technischen Gebäudeausrüstung

Christine Hornbergs M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Tobias Ausländer M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	10. Dezember 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Labor Haus- und Energietechnik



Building Information Modeling (BIM) ist eine digitale Methode zur agilen und kooperativen Zusammenarbeit aller Akteure der Baubranche. Die BIM-Methodik ist in den planenden Unternehmen der Baubranche angekommen. Jedoch ist ein heterogenes Bild der BIM-Anwendung bezüglich des Wissensstands und des Anwenderstatus zu erkennen. Außerdem findet innerhalb der planenden Unternehmen vor allem der technische Aspekt der BIM-Methodik Anwendung. Der organisatorische Aspekt, der weitaus relevanter für die BIM-Methodik ist, bleibt dabei oft noch unberücksichtigt. Somit wird die BIM-Methodik noch nicht vollumfänglich umgesetzt. Gründe dafür sind die fehlenden Standards, die Voraussetzung für eine effektive Implementierung und Umsetzung der BIM-Methodik in einem planenden Unternehmen sind.

Das Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit war es, ein offenes Konzept und ein erstes Werkzeug für eine plattformgestützte Zusammenarbeit im Sinne der BIM-Methodik in der technischen Gebäudeausrüstung zu entwickeln, umso die Lücke bezüglich der Standardisierung in der Praxis zu schließen.

Um detaillierte Informationen über den Stand der BIM-Methodik in planenden Unternehmen zu gewinnen, wurde eine Umfrage in einem in der Branche seit vielen Jahren etablierten mittelständischem Planungsbüro durchgeführt. Für einen effektiven Wandel von der klassischen Planung hin zur plattformgestützten Zusammenarbeit im Sinne der BIM-Methodik wurde ein beispielhafter standardisierter strategischer Implementierungsprozess anhand einer BIM-Implementierungsmatrix (Leitfaden) auf Basis der Erkenntnisse der Umfrage erstellt.

Darauf aufbauend wurde ein Konzept für eine plattformgestützte Zusammenarbeit im Sinne der BIM-Methodik in der technischen Gebäudeausrüstung durch die Integration der einzelnen Aspekte der strategischen Implementierung wie Transparenz, Nachvollziehbarkeit, Kooperation oder Kollaboration entwickelt. Das Konzept kann letztlich als Bestandteil der ganzheitlichen strategischen Implementierung und Umsetzung der BIM-Methodik gesehen werden.

Am Beispiel der BIM-Management-Plattform Plannerly wurde eine direkt nutzbare Vorlage zur Umsetzung des Konzeptes entwickelt. Plannerly ist eine agile und transparente Plattform zur Koordination und Verfolgung der Projektplanung auf Basis des open BIM-Standards. Mithilfe der Plattform lassen sich die

einzelnen Stufen der strategischen Implementierung und der BIM-Zusammenarbeit visuell und transparent darstellen.

Die universelle Vorlage „DIN 276 (KG400 only) Folders & Elements (German)“ mit den Kostengruppen 411 „Abwasseranlagen“ und 412 „Wasseranlagen“ unterstützt die Zusammenarbeit im Sinne der BIM-Methodik in der technischen Gebäudeausrüstung, sodass diese vollständig realisiert werden kann.

Mithilfe der Vorlage kann der Fachplaner die Lieferleistungen in Bezug auf die Leistungsphasen der Projektabwicklung und die Abhängigkeit zu anderen Projektbeteiligten durch den modularen Aufbau verständlich und transparent nachvollziehen. Außerdem wird die Umsetzung der BIM-Methodik u. a. durch die visuelle Darstellung der LOD-Elemente und der hinterlegten Definitionen in den Informationscontainern der visuellen Elemente gefördert.

Somit unterstützt das entwickelte Konzept und das realisierte Werkzeug die Umsetzung der BIM-Methodik auf Basis der plattformgestützten Zusammenarbeit in vollem Umfang, indem es die Lücke der fehlenden Standardisierung in der Praxis schließt.

Untersuchung der Möglichkeiten zur modelltechnischen Abbildung einer qualitätsabhängigen Kanalnetzsteuerung

Hendrik Janßen M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Holger Hoppe
Datum des Kolloquiums:	6. März 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Dr. Pecher AG, Erkrath



Kanalnetzsteuerungen geben Betreibern die Möglichkeit im Bestand auf aktuelle Entwicklungen zu reagieren oder eine Optimierung des Betriebs zu erreichen. Dabei können die positiven Effekte durch eine qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung besser sichergestellt werden. Für hydraulische Nachweise, als Teil der Genehmigungen der Kanalnetzsteuerungen, werden hydrodynamische Kanalnetzmodelle verwendet, in denen derartige Steuerungskonzepte abgebildet werden können. Zusätzlich werden meist hydrologische Modelle zum Nachweis der entlasteten Schmutzfracht verwendet. Ziel dieser Arbeit war es, auf Basis der in Wuppertal bestehenden Modelle, schrittweise ein neues hydrodynamisches Kernmodell zur Abbildung der dynamischen Schmutzfrachtprozesse und der qualitätsabhängigen Steuerung zu entwickeln sowie den weiteren Prozess der zukünftigen Modellentwicklung zu beschreiben. Die Entwicklung erfolgte in der Softwareumgebung PCSWMM von CHI Water.

Als Untersuchungsgebiet wurde das Stadtgebiet Wuppertal ausgewählt. Auf Grund besonderer entwässerungstechnischer Randbedingung, betreiben die Wuppertaler Stadtwerke Energie & Wasser AG seit rund 15 Jahre eine qualitätsabhängige Kanalnetzsteuerung. In den sogenannten Verzweigungsbauwerken (VZW) erfolgt eine qualitätsabhängige Aufteilung des Zulaufs in behandlungsbedürftige und nicht behandlungsbedürftige Abflüsse. Behandlungsbedürftige Abflüsse werden in das kaskadierte Speichersystem des Entlastungssammlers (ESW) eingeleitet. Zukünftiges Ziel ist eine übergreifende Verbundsteuerung der Zuflüsse in den ESW, wobei die Konzeption der Steuerung modellunterstützt mit einem hydrodynamischen Gesamtmodell erfolgen soll. Für diese Modellentwicklungen standen ein hydrologisches Grundmodell (MOMENT), hydrodynamische Kanalnetzmodelle (++Systems/DYNA), aufgezeichnete Messdaten (aquaZIS) sowie Plan- und Genehmigungsunterlagen des Entwässerungssystems zur Verfügung.

In einem ersten Schritt wurden der Kern des Modells (ESW und RÜB) und sieben qualitätsabhängige Verzweigungsbauwerke detailliert abgebildet. Die Abbildung der Bauwerke umfasste vorhergehende Untersuchungen zur bestmöglichen modelltechnischen Abbildung der Steuerungsorgane. Die Zuflüsse in diesen Bauwerken wurden im neuen Modell durch Messdaten des hydrologischen Jahres 2015 abgebildet. Die Abflussaufteilung wurde anhand von Steuerungsregeln berücksichtigt.

Die Zuflüsse in den anderen Bauwerken, die in den Entlastungssammler einleiten, wurden aus dem hydrologischen Grundmodell (MOMENT) als Ganglinien in das neue Modell übernommen. Durch das Anbinden von Ersatzsystemen konnten fast alle realen Steuerungsregeln in den VZW vollständig abgebildet werden und Untersuchungen mit dem fertigen Core-Modell durchgeführt werden. Dabei erfolgten ein Vergleich mit dem hydrologischen Grundmodell und eine messdatenbasierte Plausibilisierung. Es konnte gezeigt werden, dass die Belastung des ESW im hydrologischen Grundmodell überschätzt wird. Durch die Abbildung des hydrodynamischen Kerns und der Steuerungsregeln in PCSWMM wird die Auslastung des ESW bereits realitätsnäher modelliert. Einzelne Überlaufereignisse im RÜB und auch eine Verbundsteuerung konnten im Modell bereits gut abgebildet werden (vgl. Abb. 1). Für die weitere Bearbeitung im Core-Modell 1 ergibt sich Verbesserungspotenzial in Bezug auf die Steuerung und die Eingangslinien aus dem hydrologischen Grundmodell.

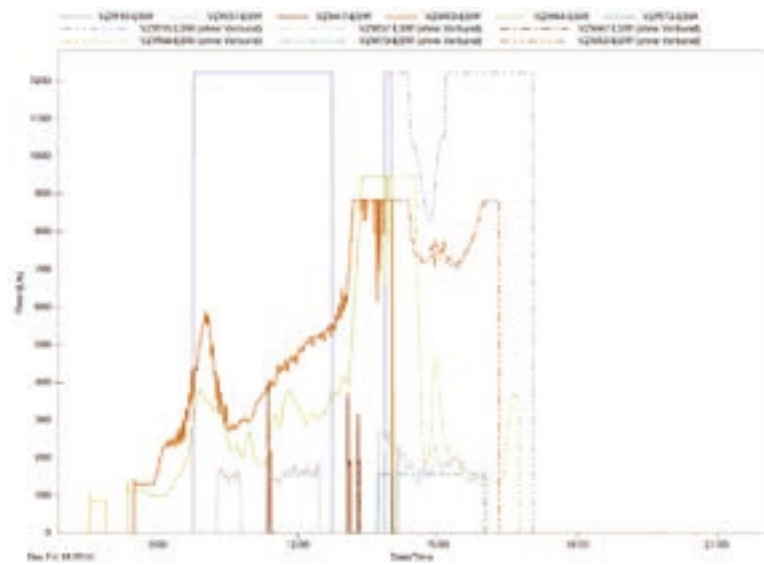


Abbildung 1: Betrachtung der Zuflüsse aus den gesteuerten Verzweigungsbauwerken in den Entlastungssammler Wupper mit (durchgängige Linien) und ohne (gestrichelte Linien) die Berücksichtigung einer qualitätsabhängigen Verbundsteuerung

Um vollständig auf die Daten des hydrologischen Grundmodells verzichten zu können, müssen die Eingangsdaten durch Niederschlags-Abfluss-Prozesse in PCSWMM selbst abgebildet werden. Deshalb erfolgte im zweiten Schritt eine stark aggregierte Abbildung der Einzugsgebiete der sieben qualitätsabhängigen Einzugsgebiete. Nach Abbildung der Einzugsgebiete erfolgten eine hydraulische Kalibrierung und anschließend eine Kalibrierung der Akkumulations- und Abtragsprozesse. Durch die stark aggregierte Abbildung der Einzugsgebiete werden die hydraulischen Prozesse noch nicht ausreichend gut abgebildet, so dass die Grundlagen zur Abbildung der Konzentrationsganglinien nicht vorhanden sind. Die Grundlagen für die Abbildung der Prozesse und für die Weiterentwicklung des Modells wurden jedoch geschaffen werden, sodass der weitere Prozess initiiert werden kann.

Für diesen Prozess sollten die vorhandenen Schnittstellen und Möglichkeiten in PCSWMM genutzt werden. Damit können eine softwareunterstützte hydraulische Kalibrierung und eine verteilungsbasierte Kalibrierung der Stofffrachten erfolgen. Nach der Weiterentwicklung zu einem vollständigen hydrodynamische Modell, können weitergehende Untersuchungen und, nach Abstimmung mit den Aufsichtsbehörden, eine Langzeitsimulation durchgeführt werden.

Energetische Optimierung eines kleinen gemischt genutzten Quartiers

Pascal Kerkeing B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M.Eng. Dennis Schafmeister
Datum des Kolloquiums:	20. Dezember 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Trendelkamp Technologie GmbH und PS+ Planung



In den Städten findet 75 % des weltweiten Energieverbrauchs statt, dies verursacht wiederum rund 70 % der weltweiten CO₂-Emissionen. Das Ziel der Bundesregierung ist es, bis zum Jahr 2045 klimaneutral zu sein. Um dieses Ziel zu erreichen, ist es notwendig Gebäude mit einem niedrigeren Energieverbrauch zu errichten und in Städten eine Minderung der Emissionen aus bestehenden Infrastrukturen zu erzielen.

Daher wurde in dieser Bachelorarbeit ein emissionsminimiertes energetisches Konzept für die Firmengebäude des Sondermaschinenbau-Unternehmens Trendelkamp in Nordwalde und einer eventuell entstehenden Klimaschutzsiedlung erstellt. Die mögliche Klimaschutzsiedlung umfasst insgesamt 15 Doppelhäuser und drei Mehrfamilienhäuser. Diese sollen in unmittelbarer Nähe zu den Firmengebäude errichtet werden.

Bei den Firmengebäuden handelt es sich um zwei Bestandsgebäude, einer Heizzentrale und ein Gebäude, das demnächst gebaut wird. Das emissionsminimierte energetische Konzept für dieses Energiesystem wurde mit Hilfe des „Spreadsheet Energy System Model Generator“ (SESMG) erstellt. Der SESMG ermöglicht die Modellierung und Optimierung von Energiesystemen.

Im ersten Schritt der Arbeit wurde der Status quo für die beiden Bestandsgebäude und für die Heizzentrale erstellt. Damit wurde der Energiebedarf, die CO₂-Emissionen und die monetären Energiekosten ermittelt. Die Energieversorgung im Status quo besteht aus einem Blockheizkraftwerk, einem Heizölkessel und dem Stromimport aus dem öffentlichen Netz. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde der Status quo mit den neuen Gebäuden und Optimierungsmaßnahmen erweitert.

Als Optimierungsmaßnahmen wurde die Implementierung von Photovoltaikanlagen, Batteriespeicher, einem neuen Erdgaskessel, Wärmespeicher, Wärmepumpen, ein Blockheizkraftwerk, ein Wärmenetz sowie der Austausch von Elektrizität untersucht. Als Optimierungskriterien wurden die monetären Kosten und die CO₂-Emissionen ausgewählt. Durch die neuen Gebäude ist der Energiebedarf zum Status quo um 32 % angestiegen. Je nach Dimensionierung und Kombination der Maßnahmen wurden unterschiedliche Ergebnisse erzielt. In der monetären Optimierung sind die Kosten um 0,5 % gesunken und in der Emis-

onsoptimierung wurde eine Verringerung der CO₂-Emissionen von 54 % erzielt (Abbildung 1). Daher wurde eine Kombination von den monetären Maßnahmen und den Emissionsmaßnahmen als energetisches Konzept vorgeschlagen. Dieses Konzept besteht aus Photovoltaikanlagen, Batteriespeicher, Wärmepumpen, einem Wärmenetz, einem Wärmespeicher und einem lokalen Energiemarkt.

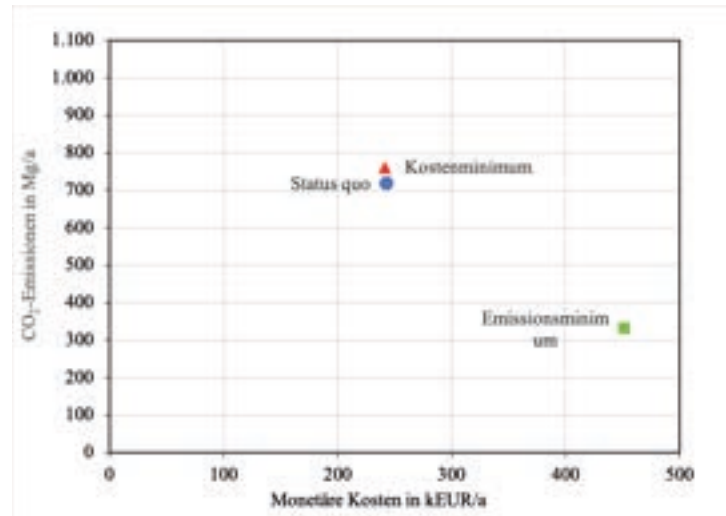


Abb 1: Vergleich der unterschiedlichen Modellierungsszenarien, anhand ihrer jährlichen monetären Kosten und CO₂-Emissionen.

Julian Klaus B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning

Datum des Kolloquiums: 15. April 2020

Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Umwelttechnik

Laborbereich: Labor Umwelttechnik



„On the one hand, the cause of this work is to clarify possible saving measures and on the other hand, it is to compare and contrast the two systems and taking into account the regulations and requirements of wastewater treatment systems in both countries.“

With these words this work was initiated. The motivation behind this was that a wastewater treatment plant is usually a city's largest energy consumer and because of that there is an immense potential for saving energy. Special attention was paid to the differences and similarities between German and American wastewater treatment plants. After the general process of wastewater treatment was explained, energy consuming systems and possible saving measures of these systems were described. Special attention was paid to the biological treatment stage and the oxygen intake taking place there. Depending on air bubble size and tank depth the oxygen outgassing was displayed. It was then possible to determine the electricity requirement for various oxygen inputs. This is shown in figure 1.

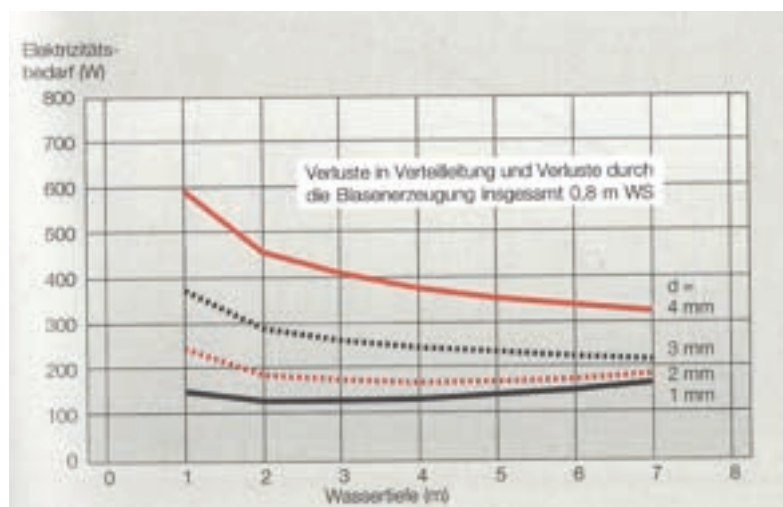


Fig. 1: Electricity requirements for various oxygen inputs

The two plants were then compared and contrasted in terms of their process stages. Differences and similarities were identified. The following figure shows the energy consumptions as well as the proportions of the respective stages seen on the wastewater treatment plant in Münster.

Process stage	Energy demand	Proportion
[-]	[kWh/a]	[%]
Mechanical treatment	322,710	4.5 %
Pumping stations	1,019,504	14.2 %
Biological treatment	4,869,928	67.2 %
Sludge treatment	802,209	11.1 %
Infrastructure/Administration	182,628	2.5 %
Total	7,196,979	100 %

Fig. 2: Energy consumptions and proportions on the wastewater treatment plant in Münster

Due to a lack of information, a profitability calculation could only be carried out for the Münster sewage treatment plant. This was demonstrated by means of a benefit-cost analysis. A total of four concrete saving measures were identified and weighted on the basis of their benefit-cost ratio. These are the regulation of the intermediate pumping station (1), replacement of the agitators in the old (2) and new aeration (3) and a parallel loading of the two digesters (4). The figure 3 presents an overview of all measures including their profitability.

Measure	Investment costs	Useful life	Annual costs	Annual benefit	Benefit-cost ratio
[-]	[€ netto]	[a]	[€ netto/a]	[€ netto/a]	[-]
(1)	5,000	12	502	28,092	0.20
(2)	200,000	20	13,444	23,789	0.57
(3)	180,000	20	12,100	29,302	0.41
(4)	-	-	18,511	38,487	0.48

Fig. 3: All measures including profitability.

Wirtschaftlicher Vergleich zweier Wärme- und Kälteversorgungsvarianten für Hotels mit Spa-Bereich

Lukas Klein-Günnewick M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
 Zweitprüfer: Dr. Thomas Waning

Datum des Kolloquiums: 16. Juni 2020

Master-Studiengang: Master Energie · Gebäude · Umwelt
 Studienrichtung: Gebäudetechnik



Durch Aufrufe bedeutender Wissenschaftler als auch durch öffentliche Bewegungen wie Fridays for Future gewinnen die Themen Klimaschutz und Reduzierung des Ausstoßes von Treibhausgasen auch in der Öffentlichkeit und in der Politik immer mehr an Relevanz. Im vergangenen Jahr 2020 ist der globale CO₂-Ausstoß zwar stark gesunken, hierfür ist jedoch primär der Lockdown durch das neue Corona-Virus und der damit einhergehende Einbruch der Wirtschaft verantwortlich. Trotz des Rückgangs des Ausstoßes steigt „der CO₂-Gehalt in der Atmosphäre auf einen neuen Rekord“ (Wille 2020). Dies zeigt mehr denn je, dass die Verringerung des Anstiegs des Ausstoßes kurzzeitig nicht ausreicht, sondern auch nach dem Lockdown fortgeführt werden muss, um den Schaden durch den Klimawandel und die damit einhergehenden Kosten möglichst gering zu halten. Auch hier in Deutschland werden die zu erwartenden Schäden allmählich deutlich: „Die Bundesregierung wappnet sich gegen Hitze- und Dürreperioden“ (Kersting; Neuerer 2020), wie sie bereits 2018 und 2019 aufgetreten sind und auch für 2020 erwartet werden.

Eine Möglichkeit zur CO₂-Einsparung stellt die Sanierung alter Gebäude beispielsweise durch die Verbesserung der Fassadendämmung oder durch den Austausch alter ineffizienter Wärmeezeuger dar. Aber auch im Bereich der Neubauten gibt es große Einsparpotentiale. Hierfür wurden bereits in der Vergangenheit Gesetze wie das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) oder das Erneuerbare-Energien-Wärme-gesetz (EEWärmeG) erlassen, die einen bestimmten regenerativen Anteil an der Erzeugung der Heiz- und Kühlenergie für Neubauten vorschreiben und für effiziente umweltschonende Anlagen Vergütungen festlegen, die die Wirtschaftlichkeit und damit den Anreiz zum Kauf fortschrittlicher Technologien erhöhen sollen. Ob die umweltschonende Maßnahme mit Vergütung tatsächlich die wirtschaftlichere Variante ist, lässt sich vor allem bei komplexen Bauvorhaben für Bauherren und Anlagenplaner meist nur schwer abschätzen. Hierfür ist eine genaue Betrachtung und bestenfalls eine Energiebedarfssimulation nötig, um die tatsächlich benötigten Endenergiemengen und Erlöse bestimmen zu können.

In dieser Arbeit werden für ein Hotel mit großem Spa-Bereich ein konventionelles und ein innovatives Anlagenkonzept erstellt und auf Grundlage einer solchen Jahressimulation des Energiebedarfes mit Hinblick auf den wirtschaftlichen und ökologischen Vorteil untersucht. Das Ziel der Arbeit ist sowohl die Ausarbeitung eines wirtschaftlichen Anlagenkonzepts für dieses Bauvorhaben als auch für weitere Bauvorhaben mit ähnlichen Anforderungsprofilen, wie zum Beispiel Schwimmbäder, Hotels oder große Bürogebäude mit Kühlung.

Die Berechnungen dieser Arbeit haben gezeigt, dass die zweite Wärmeversorgungsvariante durch Gasmotorwärmepumpen, Blockheizkraftwerk und Spit-

zenlastkessel aus wirtschaftlicher Sicht der ersten Wärmeversorgungsvariante durch Gaskessel und Kompressionskältemaschinen deutlich überlegen ist. Dabei ist zu berücksichtigen, dass der Investor zwar zunächst mit einer deutlich höheren Investitionssumme und deutlich höheren betriebsgebundenen Kosten zu rechnen hat, diese Kosten allerdings durch die große Einsparung bei den bedarfsgebundenen Kosten und den Erlösen durch den Stromverkauf sowie der staatlichen Vergütung mehr als kompensiert werden. Da das Gesamtgebäude aufgrund seiner Bauart mit dem großen Spa-Bereich und dem integrierten Hotel ganzjährig mit Wärme versorgt werden muss, können sehr lange Laufzeiten für die BHKW erreicht und eine große Menge an elektrischer Energie erzeugt werden. Der zweite Vorteil ergibt sich ebenfalls aus der Bauart: Für Hotel- und Spa-Bereich wird täglich viel Strom benötigt, um beispielsweise Speisen zuzubereiten, die Gebäudetechnik zu betreiben oder die Räume zu beleuchten. Dies hat zur Folge, dass der im BHKW produzierte Strom größtenteils im Gebäude selbst verbraucht wird. Auf diese Weise muss deutlich weniger Strom aus dem öffentlichen Netz bezogen werden. Auch der Einsatz der GMWP rentiert sich durch die bedarfsgebundene Kosteneinsparung. So können die GMWP sowohl heizen als auch kühlen. Darüber hinaus fällt bei der Kälteerzeugung Abwärme an, die über einen Wärmeübertrager nutzbar gemacht werden kann, sofern diese benötigt wird. Da die großen Außen- und Innenpools auch im Sommer beheizt werden müssen, kann die zurückgewonnene Wärme jederzeit abgenommen werden, sodass sich die Jahresarbeitszahl und damit die Effizienz der Gesamtanlage erhöhen. Obwohl die Geräte deutlich geringere Jahresarbeitszahlen als die elektrischen Wärmepumpen beziehungsweise die elektrischen Kompressionskältemaschinen erreichen, werden diese mit dem deutlich günstigeren Gas betrieben, sodass dieser Nachteil kompensiert werden kann.

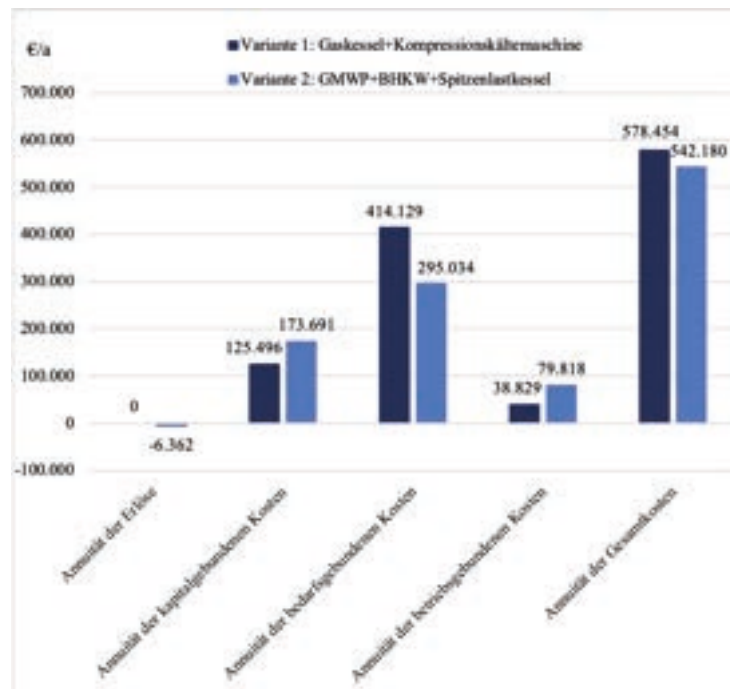


Abb1: Vergleich der Varianten

Auch aus ökologischer Sicht ist die zweite Wärmeversorgungsvariante zu empfehlen. Der Endenergiebedarf ist zwar annähernd gleich, aufgrund der unterschiedlichen eingesetzten Energieträger zur Wärme- und Kälteversorgung ergibt sich jedoch ein klarer Vorteil für die zweite Variante. Durch Multiplikation der angegebenen Primärenergie- und CO₂-Faktoren mit dem ermittelten Endenergiebedarf des jeweiligen Energieträgers, ergeben sich die dargestellten Verhältnisse.

Leitfaden zum Betrieb, zur Ertüchtigung und Neuauslegung von raumluftechnischen Anlagen, vor dem Hintergrund, die Ausbreitung von Viren, insbesondere SARS-CoV-2 zu reduzieren

Jonathan Klein M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	30. April 2021
Master-Studiengang:	Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Gebäudetechnik



Im Verlauf der Corona Pandemie stellte sich die Frage, inwieweit RLT-Anlagen einen Beitrag zur Infektionsprophylaxe leisten können. Vor diesem Hintergrund versucht die Arbeit Möglichkeiten aufzuzeigen, um Neu- und Altanlagen bestmöglich auf die Reduktion der Virenlast auszulegen.

Die Raumströmung hat auch einen Einfluss auf die Virenlast im Raum, sodass diese auch berücksichtigt werden muss, dabei kann i.d.R. zwischen der Mischlüftung und der Quelllüftung unterschieden werden. Ziel der Mischlüftung ist es die luftgetragenen Schadstoffe gleichmäßig im Raum zu verteilen, um somit eine Verdünnung von lokalen Belastungen zu erreichen. Die Quelllüftung wirkt nach dem Auftriebsprinzip, dadurch werden in der Luft befindliche Schadstoffe nach oben abgeführt, sodass sich im Aufenthaltsbereich der Raumnutzer eine nur sehr gering belastete Luft einstellt.

In Bezug auf die Virenreduktion bzw. auf die Erhaltung der menschlichen Immunabwehr sind den folgenden Bauteilen in einem Zentralgerät besondere Beachtung zu schenken.

Die Abscheidung von mit Viren beladenen Partikeln lässt sich entweder durch mechanische Filter oder elektronische Abscheider erreichen. Die mechanischen Filter scheiden die Partikel mit Hilfe eines Gewebes ab, wodurch ein nicht zu verachtender Druckverlust entsteht, der eine höhere Leistung der Ventilatoren erfordert. Des Weiteren ist ein regelmäßiger Austausch der Filter notwendig. Elektronische Abscheider entfernen die Partikel durch elektrostatische Aufladung, dadurch wird kein Gewebe eingesetzt, was zu einem nur marginalen Druckverlust der Einheit führt. Allerdings ist beim Einsatz von elektronischen Abscheidern zu beachten, dass die Möglichkeit der Ozon Emittierung besteht, die überwacht werden muss.

UV-Bestrahlung mit UV-C Strahlung führt zu einem radikalen Abtöten aller Mikroorganismen in der Luft, auch die für den Menschen nützlichen. Aus diesem Grund sollte UV-C Bestrahlung nur in Ausnahmefällen eingesetzt werden, da es sonst zu nicht kalkulierbaren Nebenwirkungen kommen kann.

Die Befeuchtung der Zuluft trägt auf der einen Seite zur Selbstinaktivierung der Viren und zum anderen zur Erhaltung einer aktiven Immunabwehr der Raumnutzer bei. Somit sollte diese auch bei der Planung eines Zentralgerätes berücksichtig

sichtigt werden. Die Regeln der VDI 6022 sind anzuwenden, um eine Gesundheitsgefährdung durch die Befeuchtung ausschließen zu können. Ist es nicht möglich eine Befeuchtung zentral zu realisieren, sollte auch eine dezentrale Befeuchtung in Betracht gezogen werden.

Die Ertüchtigung von Bestandsanlagen ist nicht immer ohne weiteres möglich. Zuerst ist zu prüfen, ob eine Lüftungsfunktion mit Außenluft, oder reiner Umluftbetrieb eingesetzt wird. Anschließend sollte regelungstechnisch das Maximum an möglicher Luftwechselzahl realisiert werden. Ein weiterer Schritt ist der Tausch der Filter unter Berücksichtigung der maximalen Leistung der Ventilatoren. Der Einsatz einer Befeuchtung sollte, wenn nicht bereits vorhanden, geprüft werden. Reichen die genannten Schritte nicht aus, bzw. reicht die Leistung der Ventilatoren nicht aus, um die Schritte durchzuführen, muss auf weitere/andere Luftbehandlungsschritte wie z.B. die UV-Desinfektion, zurückgegriffen werden.

Bei der Neuauslegung von raumlufttechnischen Anlagen sollten stets Leistungsreserven über den hygienischen Luftwechsel hinaus eingeplant werden, um im Pandemiefall für große Luftwechsel und einen hohen Außenluftvolumenstrom sorgen zu können. Die energetischen Verluste sind mittels geeigneter WRG-Systeme zu minimieren. Für den Pandemiefall, oder aber auch für die jährliche Grippewelle, sollten bei Verwendung von mechanischen Filtern Leerkassetten vorgesehen werden, in die notwendige Zusatzfilter eingesetzt werden können. Die Verwendung von elektronischen Abscheidern anstelle der mechanischen Filter sollte auch in Erwägung gezogen werden, um den Druckverlust bei gleicher Abscheideleistung während des Betriebs zu minimieren. Diese lassen sich mittels der vorgeschalteten Hochspannungsquelle auf jede Grenzkorngröße konfigurieren.

Kurzfristig lässt sich die Partikelkonzentration im Raum auch mit mobilen Luftreinigern reduzieren. Wichtig dabei ist die richtig zirkulierende Raumwalze, die die Schadstoffe dem Filter zuführt. Die zum Teil hohen Luftgeschwindigkeiten und Geräusche der Geräte können sich negativ auf die Akzeptanz der Geräte auswirken. Zudem ist auf ausreichend große Volumenströme zu achten.

Ein Schwerpunkt der zukünftigen wissenschaftlichen Arbeit sollte in jedem Fall auf der Entwicklung von selektiv germizid wirkenden UV-B Strahlern liegen. Um das unkontrollierte und radikale Abtöten aller Mikroorganismen durch UV-C Strahlung und die damit einhergehenden Auswirkungen auf den menschlichen Körper minimieren zu können.

Analyse und Optimierung eines bestehenden Nahwärmenetzes an einer Fachklinik

Philipp Kleine-Ruse M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Michael Wellkamp
Datum des Kolloquiums:	16. März 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	agn Niederberghaus & Partner GmbH



In meiner Masterarbeit habe ich das Potential eines bestehenden Nahwärmenetzes an der Fachklinik Bad Bentheim analysiert und hinsichtlich der Energieverbräuche auf Optimierungsmöglichkeiten untersucht. Im Vordergrund stand dabei die Energieeffizienz zu verbessern, denn Energie, die nicht genutzt wird, muss letztlich nicht unnötig erzeugt werden und spart Kosten für den Bauherrn. Schwerpunktmäßig behandelte diese Arbeit den Einfluss von hydraulischen Schaltungen. Anhand von Verbrauchswerten konnte zudem das Regelverhalten der vorhandenen Wärmeerzeuger berücksichtigt und verbessert werden, sodass zusätzlich die Versorgungssicherheit mit den vorhandene Energieerzeugern sichergestellt werden konnte. Außerdem konnte die Arbeit eine Antwort darauf geben, wie Energieverluste durch den Wärmetransport reduziert werden, da der Energieverlust eines Nahwärmenetzes nicht unerheblich ist.

Für die Analyse und Bearbeitung dieser Liegenschaft war zunächst eine ausführliche Grundlagenermittlung notwendig, um einen möglichst genauen Überblick über den aktuellen Ist Zustand von dem Energiebedarf der Liegenschaft zu bekommen und so gegebenenfalls Schwachstellen festzustellen, die sich in der Energieversorgung verbergen.

Die Fachklinik Bad Bentheim umfasst auf 16 Hektar etwa 21 Gebäude, wobei sich die Nutzung der Gebäude stark unterscheidet. Neben Behandlungs- und Therapiehäusern verfügt sie außerdem über Bettenhäuser, Verwaltungs- und Büroflächen, sowie ein öffentliches Schwimmbad. Es handelt sich überwiegend um Bestandsgebäude, die bereits teilweise saniert wurden, bzw. in den kommenden Jahren saniert werden.

Anhand des hohen Gebäudebestandes, sowie des hohen Patientenaufkommens, wurde ersichtlich, welch hoher Energiebedarf damit täglich einhergehen muss. Mithilfe der Verbrauchswerte konnte zunächst eine Witterungsbereinigung durchgeführt werden, um festzustellen, wie hoch der tatsächliche Wärmebedarf der Liegenschaft ist, der durch die Wärmeerzeuger abgedeckt werden muss.

Daraus konnte festgestellt werden, dass die bestehenden Wärmeerzeuger, die notwendige Nennleistung überdeckt und sich somit keine Leistungsdefizite aufgrund fehlender Kesselleistung einstellen dürften.

Da die Fachlinik dennoch in der Vergangenheit Leistungsdefizite feststellen musste, untersuchte ich im zweiten Schritt, die Wärmeverteilung und das Regelverhalten der Wärmeerzeuger. Durch die Analyse verschiedener Tageslastprofile konnten gebäudeübergreifende zyklische Wärmespitzen erkannt werden, die aufgrund des Kurbetriebes zeitgleich auftreten. Als ersten Optimierungsvorschlag wurde daraufhin ein zentraler Wärmespeicher ausgelegt, der die kurzfristigen Spitzenlastanforderungen abdeckt. Als weiteren Lösungsansatz wurde ein Schichtenverteiler ausgelegt, der die Vorteile eines Wärmespeichers, Heizungsverteilers und die hydraulische Entkopplung in einer Bauform integriert. Hierdurch könnte ein Einsparpotential von über 70% der Versorgungspumpe erzielt werden, da eine höhere Temperaturspreizung und eine hydraulische Entkopplung der Versorgungsseite erreicht wurde.

Außerdem wurde das Netz hinsichtlich der Systemtemperaturen auf der Primär und Sekundärseite optimiert, was unter anderem durch einen hydraulischen Abgleich erzielt werden könnte.

Durch die Optimierungsvorschläge kann ein einwandfreierer Betrieb mit den aktuellen Wärmeerzeugern sichergestellt und die Laufzeiten der Blockheizkraftwerke erhöht werden.

Das Ergebnis dieser Arbeit zeigte, dass es sowohl aus ökonomischer wie ökologischer Sicht für den Nutzer interessant sein kann, das Thema Hydraulik und Regelkonzept auf die Verbrauchswerte zu untersuchen und durch geringe Optimierungsvorschläge eine ressourcenschonendere Energieversorgung erreicht werden kann.

Christian Klemm M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Bökerr
Datum des Kolloquiums:	16. April 2020
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Modelle zur Optimierung von MES gemischt genutzter Quartiere arbeiten in der Regel mit einer mindestens stündlichen zeitlichen Auflösung, dem analytischen Bottom-Up oder Hybrid-Ansatz sowie mit Einsatz einer linearen oder dynamischen Mixed-Integer Programmierung. Herausforderungen im Bereich des Energiesystemmodellierung sind die eingeschränkte Zugänglichkeit und Qualität von Daten, sowie die Notwendigkeit, Kompromisse zwischen der berücksichtigten Systemkomplexität und dem damit verbundenen Eingabe- und Rechenaufwand zu finden.

Im Rahmen eines Vergleichs von insgesamt 153 Modellierungstools haben sich 13 als geeignet für die Optimierung von MES in gemischt genutzten Quartieren herausgestellt. Zwei Tools sind dabei aufgrund ihrer Open-Source-Lizenz sowie der Möglichkeit, verschiedene Optimierungskriterien einzubinden, besonders geeignet. Für die weiteren Untersuchungen wurde das „Open Energy Modelling Framework“ (oemof) als am besten geeignet ausgewählt.

Häufig liegt ein Hindernis, die Methoden der Energiesystemmodellierung anzuwenden, darin, dass Programmierkenntnisse erforderlich sind ? so auch beim oemof-Framework. Um dem entgegenzuwirken, wurde im Rahmen der Masterarbeit der „Spreadsheet Energy System Model Generator“ entwickelt. Dieser bietet Anwendern eine Schnittstelle zu oemof, welche es ermöglicht, Energiesysteme ohne Programmierkenntnisse durch die einfache Eingabe von Parametern in eine Spreadsheet-Tabelle zu modellieren, auszuwerten und zu optimieren. Die eingegebenen Werte werden an eine Python-Umgebung weitergegeben, in der das oemof-Framework angewendet wird.

In einem weiteren Teil der Arbeit wurde der Spreadsheet Energie System Model Generator auf ein 14 000 m² großes Testgebiet in der Gemeinde Herne angewendet. Ziel war es, das aktuelle Energiesystem zu simulieren und mithilfe verschiedener Verbesserungsmaßnahmen zu optimieren. Als Optimierungskriterien wurden dabei die Senkung der monetären Kosten sowie die Reduktion der CO₂-Emissionen herangezogen. Als Verbesserungsmaßnahmen wurde die Implementierung von Photovoltaikanlagen, Batteriespeichern, Austausch von Elektrizität zwischen einzelnen Gebäuden, ein Wärmenetz sowie ein Blockheizkraftwerk untersucht.

Je nach Kombination und Dimensionierung dieser Maßnahmen können die Kosten der Energieversorgung des Testgebiets um 11 % oder die CO₂-Emissionen um 38 % reduziert werden.

Insgesamt ist die in dieser Arbeit untersuchte Methode der Energiesystemmodellierung - und insbesondere das oemof-Framework - ein gut geeignetes Instrument zur Optimierung der Energiesysteme von Stadtquartieren. Durch die Anwendung des Spreadsheet Energy System Model Generator kann oemof ohne Programmierkenntnisse angewendet werden, was die Methodik einer breiteren Nutzergemeinschaft zugänglich macht.

Kim Ove Knutzen B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dipl. Ing. Jan Stadermann
Datum des Kolloquiums:	30. September 2021
Bachelor-Studiengang: Studienrichtung:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	GP Joule Projects



Der Klimawandel ist eines der größten Probleme der Menschheit. Das ?Erneuerbare-Energien-Gesetz? ist ein Werkzeug, was in Deutschland dazu beitragen soll die Treibhausgasemissionen zu reduzieren und dem Klimawandel entgegenzuwirken. Die Novelle des EEG 2021 bringt einige Herausforderungen für Betreiber von Wind- und PV- Parks mit sich. Paragraf 51 besagt: „Wenn der Spotmarktpreis für die Dauer von mindestens vier aufeinanderfolgenden Stunden negativ ist, verringert sich der anzulegende Wert für den gesamten Zeitraum, in dem der Spotmarktpreis ohne Unterbrechung negativ ist, auf null.“

In dieser Bachelorarbeit wurde untersucht, welche Auswirkungen diese „vier-Stunden-Regel“ für Betreiber mit sich bringt. Hierzu wurden verschiedene Einflussfaktoren auf den Börsenstrompreis analysiert und bewertet.

Mit Hilfe einer multiplen linearen Regression wurde eine Modellierung der Anzahl an negativen Strompreisen erstellt. Aus dieser Analyse geht hervor, dass die Anzahl an negativen Strompreisen bis 2030 erheblich steigen könnten, wenn keine Speichertechnologien ausgebaut werden. Der Ausbau erneuerbarer Energien kann zu einer Zunahme der negativen Strompreise führen. Das stellt ein erhebliches Kostenrisiko für Betreiber dar. Durch den Einsatz von Speichertechnologien könnte dieses Risiko minimiert werden. Die aktuellen Bestrebungen der Bundesregierung zeigen, dass es einen politischen Willen gibt, Speichertechnologien auszubauen.

Die Auswertung dieser Bachelorarbeit hat ergeben, dass Anlagenbetreiber das Risiko der negativen Strompreise im Hinblick auf die ?vier-Stunden-Regel? beachten müssen. Es kann nicht abschließend gesagt werden, wie sich die negativen Strompreise entwickeln werden. Diese Bachelorarbeit gibt nur eine Tendenz, welche Einflüsse zu negativen Strompreisen führen können. In den nächsten Jahren wird sich entwickeln, welche Geschäftsmodelle sich durchsetzen und wie stark diese auf den Strommarkt einwirken werden.

Steigerung der Planungsqualität: Einführung einer Inhouse-Softwarelösung am Beispiel der technischen Gebäudeausrüstung

Marvin Kötting B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler
Zweitprüfer:	Matthias Mencke B.Eng
Datum des Kolloquiums:	31. März 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	BASF Coatings GmbH



Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde für die Werktechnik der BASF-Coatings die Steigerung der Planungsqualität mittels Einführung einer Inhouse-Softwarelösung am Beispiel der technischen Gebäudeausrüstung untersucht. Die Planung wurde anhand einer Umbau- und Sanierungsmaßnahme eines Büro- und Verwaltungsgebäudes durchgeführt. Die Planung erfolgte mit der Software Plancal Nova, mit der es möglich ist, die ganzheitliche Abwicklung der Planung der Gewerke Heizung, Sanitär und Lüftung in einem 3D-Modell durchzuführen. Bisher werden alle Neu- und Umbaumaßnahmen an externe Ingenieurbüros vergeben, da die Werktechnik keine eigene Abteilung zur Durchführung einer internen Planungsabwicklung besitzt. Des Weiteren fehlte bislang eine geeignete Softwarelösung.

Zu Beginn der Arbeit wurde der Stand der aktuellen Planung von Neu- und Umbaumaßnahmen bei der BASF erläutert. Dazu wurde die Software Plancal Nova, sowie der Planungsablauf nach der HOAI 2013 und der VDI 6026 Blatt 1 beschrieben. Des Weiteren wurde das Projekt der Umbaumaßnahme des Büro- und Verwaltungsgebäudes näher erläutert. Im weiteren Verlauf der Arbeit wurde die erstmalig durchgeführte interne Planung mit allen nötigen Informations- und Kommunikationswegen dargestellt. Dazu gehört das Erfassen der Gebäudestruktur und das damit verbundene Erstellen eines 3D-Modells in Plancal Nova. Anschließend wurde die Planung der Gewerke Heizung, Lüftung und Sanitär für das Projekt beschrieben. Bei der Planung der Heizungstechnik wurde zunächst die Heizlast ausgelegt, mit der anschließend die Heizkörper-, sowie Fußbodenheizungsauslegung durchgeführt wurde. Abschließend wird die Rohrnetzberechnung erläutert und die Berechnungsergebnisse an das 3D-Modell übertragen.

Die Planung der Lüftungstechnik erfolgte auf Grundlage der Luftmengenberechnung, gefolgt von der Auslegung der Lüftungsgeräte, sowie des Rohr- und Kanalnetzes. Für die Sanitärtechnik wurde ein Trinkwassererwärmer ausgelegt, sowie die Trink- und Abwasserberechnung durchgeführt. Abschließend wurde die Dachentwässerung behandelt. Nachdem die Auslegung der Gewerke abgeschlossen wurde, wird anhand des 3D-Gesamtmodells das Planungsergebnis ersichtlich. Darin verdeutlicht wird die Besonderheit der Einführung einer 3D-Softwarelösung in das BASF-Werk. Abschließend wurde der Mehrwert für die Werktechnik der BASF definiert.

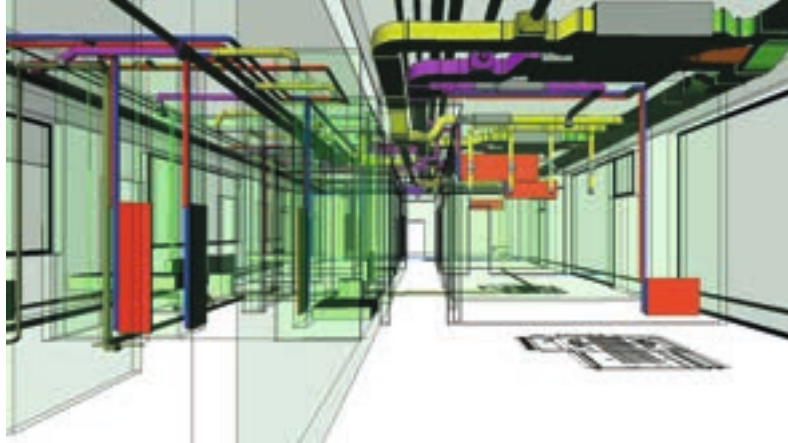


Abb. 1: Planungsergebnis 3D-Modell - Ansicht EG

Welches Windkraftpotenzial hat der Rhein-Sieg-Kreis? - Eine Geodatenanalyse.

Kirthian Kokilanathan B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Datum des Kolloquiums:	16. Februar 2022
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik



Im Rahmen des Klimawandels in Deutschland ist das Ziel 65 Prozent klimaneutraler Strom bis 2030 zu erzeugen. Dementsprechend werden Steinkohlen- und Braunkohlekraftwerken abgeschaltet. Eine Leistung von 2,8 Gigawatt wird bis Mitte 2021 in Nordrhein-Westfalen stillgelegt. Um diese Stilllegung ausbalancieren zu können, müssen weitere regenerativen Anlagen installiert werden. Nach der Suche nach potenziellen Standorten von Windkraftanlagen in dem Energieatlas NRW, stößt man auf den Kreis Rhein-Sieg-Kreis. Der Kreis besitzt eine Fläche von 1153 Quadratkilometer, jedoch sind nur vier Windkraftanlagen im Betrieb.

Daraus schließt sich die Fragestellung, welches Windkraftpotenzial der Rhein-Sieg-Kreis hat. Die Untersuchung basiert auf eine Geodatenflächenanalyse, die man mithilfe der Geoinformationssoftware QGIS durchgeführt hat. Anhand der Metadaten von den öffentlichen Instituten ermittelt man die potenzielle Fläche in Rhein-Sieg-Kreis. Dabei müssen die Metadaten an den gesetzlichen Maßnahmen angepasst werden. Die potenziellen Flächen werden herausgefiltert. Nach der Einschränkung kann in diesen Flächen eine Platzierung von Windkraftanlagen folgen und schließlich dessen Ertragspotenzial ermittelt werden.

Auf Grundlage der Analyse führt man eine Sensitivitätsanalyse durch. Bei der Sensitivitätsanalyse ändert man die Referenzanlage, den Rotordurchmesser und die Abstände zwischen Windkraftanlagen und dem allgemeinen Siedlungsbereich, um das größtmögliche Potenzial im Ertrag rauszuholen. Hierbei wird auf den oben genannten Aspekten ein Fokus gesetzt, denn es sind keine gezielten gesetzliche Vorgaben vorhanden. Außerdem legt man ebenfalls ein Augenmerk auf die Wirtschaftlichkeit des potenziellen Projekts.

Mit der Sensitivitätsanalyse stellt man einerseits fest, dass in Rhein-Sieg-Kreis ein Potenzial von bis zu 3500 Gigawattstunden existiert. Andererseits zeigt sich ein Wendepunkt im Bereich des möglichen Energieertrages durch die Nennleistungserhöhung bei den Windkraftanlagen. Bei einem Rotordurchmesser von 126 m fällt der stetige Verlauf des möglichen Energieertrags und bei einem Rotordurchmesser von 160 m überwindet er den Tiefpunkt des möglichen Energieertrags. Auf Basis der Annahmen der Bachelorarbeit könnte elf Prozent des potenziellen Stroms die Stilllegung der Kraftwerke in Nordrhein-Westfalen kompensiert werden. Die Investition würde in 12 Jahren rentieren.

Planung eines Versuchsstandes zur Leistungsprüfung von Trinkwassererwärmungsanlagen nach dem Speicher- und Durchflussprinzip

Domenik Koojers B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing Tobias Ausländer, M.Sc
Datum des Kolloquiums:	21. Dezember 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik



Die Art der Trinkwassererwärmung wird schon in der frühen Planungsphase eines Gebäudes festgelegt. Abhängig von den baulichen Gegebenheiten, der Personenanzahl, dem Nutzungsprofil, den technischen Anforderungen, dem Wärmebedarf und den Wünschen der Bauherren, wird entschieden, welche Form der Trinkwarmwasserversorgung und -erzeugung eingesetzt wird. Die Trinkwassererwärmung kann im Speicher- oder Durchflussprinzip erfolgen.

Zur Berechnung der Speichergrößen wurde jahrelang die DIN 4708 verwendet. Bei der Auslegung von Speicher- bzw. Durchflusssystemen wird anhand des Wärmebedarfs ein Trinkwarmwassererwärmer mit einer Leistungskennzahl NL ausgewählt. Die DIN 4708 wurde seit 1994 nicht mehr überarbeitet und soll langfristig von der DIN EN 12831-3 abgelöst werden. Die DIN EN 12831-3 errechnet die Speichergrößen mit einem neuen Berechnungsverfahren, dem Summenlinienverfahren.

Ziel dieser wissenschaftlichen Arbeit ist die Planung eines Versuchsstandes, der eine Leistungsprüfung der beiden unterschiedlichen Systeme von Trinkwassererwärmungsanlagen anhand der vom Hersteller angegebenden Leistungskennzahlen ermöglicht. Es wird detailliert auf Planung, Berechnung, Aufbau und Funktion des Prüfstandes sowie die unterschiedlichen Versuchsabläufe und Auswertungen eingegangen. Mit dem Prüfstand ist eine Möglichkeit geschaffen, auftretende Differenzen der DIN 4708 und der neuen DIN EN 12831-3 versuchstechnisch zu ermitteln.

Auswirkung einer Warmwasser-Fußbodenheizung auf verschiedene Bodenablauftypen im Duschbereich

Vincenc Kreisel B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Tobias Ausländer M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	2. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	TECE GmbH



Bodengleich geflieste Duschen erfreuen sich in der Praxis immer größerer Beliebtheit. Dies hat aber zu mehreren neuen Fragestellungen geführt:

- Kann eine Fußbodenheizung auch im Duschbereich mitverlegt werden?
- Welche Auswirkung hat diese auf den Ablauf der Dusche und den Boden?
- Wie ist diese Kombination technisch umsetzbar, ohne die gesetzlichen Vorgaben zu verletzen?
- Was bedeutet dies in Zukunft für die technische Planung und Auslegung von Gebäuden?

Diese Fragen stellen sich nicht nur die Hersteller, Planungsbüros, Gutachter und Heizungsbaumeister, sondern auch die Fliesen- und Estrichlegerbranchen.

In der Praxis wird die Kombination einer Fußbodenheizung in bodengleich gefliesten Duschen auf Kundenwunsch hin schon sehr häufig ausgeführt. Die planerische und technisch richtige Ausführung bleibt dabei aber unberücksichtigt. Das Unternehmen TECE GmbH ist Hersteller für verschiedene Entwässerungstechniken im Duschbereich und für mehrere Fußbodenheizsysteme. In Kooperation mit der TECE GmbH sind mehrere Musteraufbauten mit verschiedenen Bodenablauftypen und einem Fußbodenheizsystem gebaut worden, um die Auswirkung einer Warmwasserfußbodenheizung auf verschiedene Ablauftypen im Duschbereich untersuchen zu können.

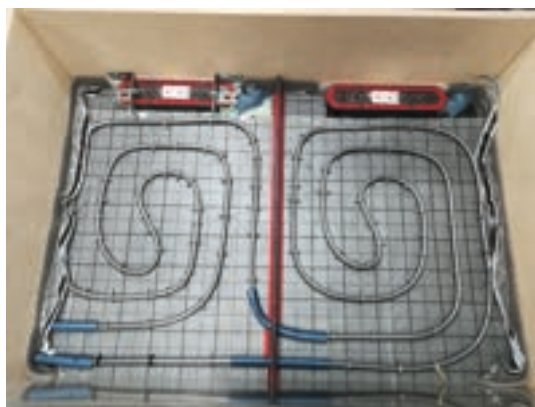


Abb1: Rohbau Musteraufbau TECEdrainprofil Duschprofil

Als Planungsgrundlage für die Musteraufbauten werden aufgrund fehlender Normen für die Kombination einer Fußbodenheizung in gefliesten Duschen die vorgeschriebenen normativen Anforderungen an die Fußbodenheizung und an die bodengleich gefliesten Duschen sowie die in der Praxis gewonnenen Erfahrungswerte angenommen.

In mehreren Versuchsreihen sind die Auswirkungen der Fußbodenheizung auf die verschiedenen Bodenablauftypen untersucht worden.

In der ersten Versuchsreihe ist die Ausdunstung des Geruchverschlusses mit und ohne Fußbodenheizung sowie mit Fußbodenheizung und einem Membrangeruchverschluss geprüft worden.

Bei der zweiten Versuchsreihe wird die Auswirkung der Fußbodenheizung auf die Oberfläche sowie auf die Gefälleschicht im Duschbereich untersucht.

Es soll geprüft werden ob Ausblühungen oder Schüsselungen, bedingt durch die Fußbodenheizung, auf der Oberfläche und innerhalb der Gefälleschicht entstehen.

Ziel dieser Bachelorarbeit ist es die Auswirkungen einer Fußbodenheizung in bodengleich gefliesten Duschen zu untersuchen und zu kennen, um einen Einbauvorschlag für die Kombination dieser beiden Systeme geben zu können.

Dies ist gelungen!

Entwicklung eines Excel-Tools zur Berechnung der maximalen Kühllast nach der Methode des Abschätzverfahrens der VDI 2078

Siegfried Krugmann M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Christian kleine Holthaus
Datum des Kolloquiums:	20. Oktober 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	MG Plan, Cuxhaven



100 W, diese Antwort könnte man bekommen, wenn man einen Kältetechniker danach fragt, wie hoch er die Kühllast in einem Raum ansetzen würde. Doch ist dieser Schätzwert überhaupt noch zeitgemäß? Und was ist überhaupt eine Kühllast? Zur Beantwortung dieser und weiterer Fragen analysiert und bewertet der Autor das Abschätzverfahren zur Bestimmung der maximalen Kühllast der VDI 2078 und transferiert dessen Berechnungsablauf in ein übersichtliches Excel-Tool. Mit diesem Tool soll es dem Fachplaner zum Start einer Planungsphase möglich sein, eine schnelle und möglichst genaue Abschätzung der Kühllast durchzuführen.

Die Grafik „Kühle Luft - Energieverbrauch für Klimaanlage in Wohn- und Bürogebäuden“ zeigt, dass sich der Energieverbrauch für Klimaanlage von 1990 bis 2016 um 232 % gesteigert hat und auch in Zukunft weiter steigen wird. Doch nicht nur der Energieverbrauch, sondern auch der Absatz von Klimaanlage ist in den vergangenen Jahren stark angestiegen.

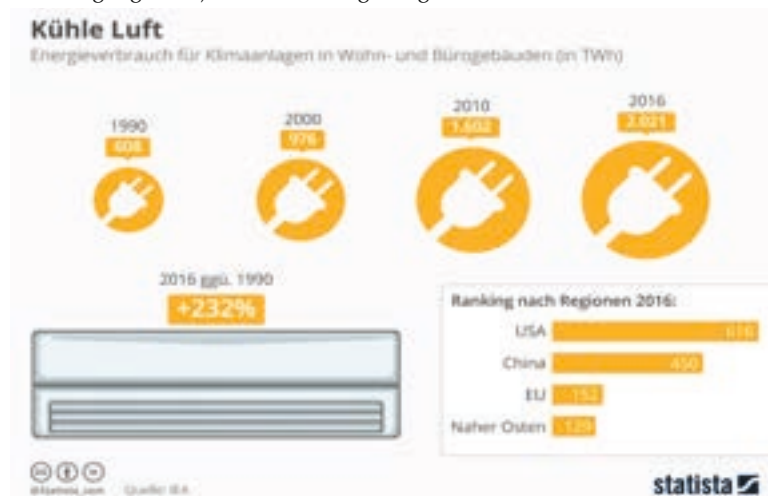


Abb1: Infografik: Kühle Luft (Quelle: Statista.com, 2020)

Neben der Planung von Heizungs-, Lüftungs- und Sanitärtechnik werden sich Fachplaner in Zukunft ebenso vermehrt mit der Abführung von Wärme beschäftigen. Die Grundlage dafür stellt die Berechnung der Kühllast dar, welche sich

aus den inneren und den äußeren Kühllasten zusammensetzt. Werden in der Praxis softwaregestützte Lösungen verwendet, stellt die VDI 2078 zusätzlich ein Abschätzverfahren zur Berechnung der maximalen Kühllast bereit. Obwohl es sich nur um ein Abschätzverfahren handelt, fordert die schriftliche Berechnung, gemäß der Vorgaben, ein hohes Maß an Konzentration und vor allem Zeit. Das entwickelte Excel-Tool reduziert diese beiden Parameter auf ein Minimum und ermöglicht eine schnelle, einfache, aber zu gleich genaue überschlägige Berechnung der maximalen Kühllast.

Untersuchung der Skalierbarkeit von bestehenden Speichertechnologien im Bioenergiepark Saerbeck

Veit Johannes Kuhlbusch M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Zweitprüfer: Simon Nießen M.Eng.
 Datum des Kolloquiums: 4. September 2020
 Master-Studiengang: Master Energie · Gebäude · Umwelt
 Studienrichtung: Energietechnik



Mit zunehmendem Anteil an fluktuierenden erneuerbaren Energien im Stromnetz steigt der Bedarf an Flexibilitätsoptionen. Diese sollen die Erzeugung durch erneuerbare Energien dem Bedarf zu jedem Zeitpunkt anpassen, um einer Unterversorgung vorzubeugen. Im Rahmen dieser Arbeit wurde der Frage nachgegangen, welche Energiemengen in ein Energiespeichersystem einfließen müssen, um die Kommune Saerbeck aus rein erneuerbaren Energien aus dem Bioenergiepark Saerbeck zu versorgen. Diese Arbeit zeigt auf, dass der Einsatz von Energiespeichern dazu beitragen kann, die fluktuierenden erneuerbaren Energien zeitlich vom Verbrauch der Kommune zu entkoppeln. Es wurde sich auf die Skalierung von elektrochemischen Energiespeichern und chemischen Energiespeichern konzentriert, welche sich bereits im kleinen Maßstab im Bioenergiepark Saerbeck befinden. Die analysierten elektrochemischen Speicher sind die Lithium-Ionen-Batterie, insbesondere die Lithium-Eisenphosphat-Batterie (LiFePo₄), eine Blei-Batterie und eine Vanadium-Redox-Flow-Batterie (VRFB). Neben diesen elektrochemischen Speichern wurde die Skalierbarkeit des bestehenden Biogasspeichers inklusive der Blockheizkraftwerke untersucht. Weiterhin wurde die Nutzung der Stromüberschüsse aus dem Bioenergiepark in Form von Wasserstoffherzeugung zur Sektorenkopplung analysiert.

Die Analyse der rechtlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen ergab, dass ein Handlungsbedarf seitens des Gesetzgebers besteht. Der Einsatz von Speichern als netzdienliches Betriebsmittel durch Verteilnetzbetreiber ist vor dem aktuellen Rechtsrahmen nur schwer möglich.

Die in dieser Arbeit skalierten Speicher wurden mit energiespezifischen Kosten bewertet, anhand derer sich - vor dem Kontext der vollen Residuallastdeckung aus erneuerbaren Energien - für ein optimales Speichersystem entschieden wurde. Hierfür wurden fünf Szenarien untersucht:

- **Vollversorgung durch Energiespeicher:** Untersuchung der Energiespeicherkapazität und Leistung ohne Berücksichtigung des bestehenden Biogasspeichers.
- **Biogas:** Skalierung zusätzlicher externer Biogasspeicher und Blockheizkraftwerke unter Berücksichtigung des bestehenden Biogasspeichers.
- **Batteriespeicher:** Untersuchung von elektrochemischen Speichern unter Berücksichtigung des bestehenden Biogasspeichers.

- **Hybridenergiespeicher:** Kombination aus Biogasspeicher als Energiespeicher und Batteriepeicher als Leistungsspeicher.
- **Wasserstoffherzeugung:** Ausblick über die Wasserstoffherzeugung durch die Nutzung des überschüssigen Stromes.

Mit Hilfe des zur Verfügung gestellten Lastgangs der Kommune im Jahr 2018, inklusive den Erzeugungswerten aus dem Bioenergiepark konnten die Speicher in den einzelnen Szenarien simuliert werden. Dabei wurden die Speicher je nach Residuallast beladen oder entladen. Unter Berücksichtigung der Bedingung, dass die Speicher zu keinem Zeitpunkt negative Füllstände haben dürfen, wurden die optimalen Speicherkapazitäten für jedes Szenario iterativ ermittelt.



Abb 1: Ergebnisse der Szenarienanalyse

Durch die Simulation der technologiespezifischen Speicherkapazitäten wurden vor allem der Wirkungsgrad und die beschränkende Entladetiefe der elektrochemischen Speicher als kapazitätsbestimmende und damit kostentreibende Faktoren identifiziert. Die Auswertung der Ergebnisse zeigt, dass der bestehende Biogasspeicher bei optimaler Betriebsweise, Potenzial zur Verringerung der benötigten Energiespeicherkapazität hat. Im vorliegenden Fall entspricht dieses Potenzial einer Verringerung der Kapazität um 39 %. Weiterhin kommt diese Arbeit zu dem Ergebnis, dass die Speicherung von Energie durch Biogas die günstigste Variante in Bezug auf die Investitionskosten darstellt. Der Vergleich zwischen dem Szenario Biogas und dem Szenario Batterie offenbart, dass die Vanadium-Redox-Flow Batterie um den Faktor 19 teurer ist, bei gleicher benötigter Kapazität. Für die Lithium-Eisenphosphat-Batterie ergibt sich eine Kostensteigerung um den Faktor 46 gegenüber der Skalierung des Biogasspeichers. Aufgrund dieser Kostenstruktur wurde ein hybrides Energiespeichersystem entwickelt.

Hierin stellen externe Biogasspeicher die Energiespeicher dar, eine Batterie soll als Leistungsspeicher schnell auf Laständerungen reagieren können. Für diesen Fall sind die Leistungsspeicher kleiner zu dimensionieren, was sich in deutlich geringeren Kosten und besserer CO₂-Bilanz niederschlägt. Mit Investitionskosten von rund 3,2 Mio. € für die Erweiterung der Biogasanlage, der weiteren Überbauung durch Blockheizkraftwerke und einer Vanadium-Redox-Flow-Batterie, kann die Kommune aus rein erneuerbaren Energien aus dem Bioenergiepark vollversorgt werden. Im Szenario Wasserstoffherzeugung wird verdeutlicht, dass über die Vollversorgung der Kommune hinaus, auch die Sektorkopplung über den Energieträger Wasserstoff möglich ist. Bei voller Nutzung der überschüssigen Energie können im Referenzjahr 5,53 Mio. Normkubikmeter Wasserstoff erzeugt werden.

Dimensionierung und Konzeption eines reinen Wasserstoffverteilnetzes im Netzgebiet der Westnetz GmbH

Pascal Kummer M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmidt
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Carsten Stabenau
Datum des Kolloquiums:	13. November 2020
Master-Studiengang: Studienrichtung:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	Westnetz GmbH



Die Bundesregierung hat sich das Ziel gesetzt, die Treibhausgasemissionen bis 2050 um 90% gegenüber dem Referenzjahr 1990 zu reduzieren. Um dieses Ziel zu erreichen genügt es nicht, wie bisher allein den Stromsektor zu dekarbonisieren. Auch die Emissionen in der Wärmeversorgung privater Haushalte, welche mehr als 20 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland ausmacht, gilt es zu reduzieren. Wasserstoff verfügt aufgrund der stofflichen Nähe zu dem in der Wärmeversorgung weit verbreiteten Erdgas und der Möglichkeit zur regenerativen Herstellung über großes Potenzial, die Dekarbonisierung dieses Bereichs zu ermöglichen. Da die Zumischung von Wasserstoff zu Erdgas nur begrenzt möglich und die Methanisierung von Wasserstoff durch geringe Wirkungsgrade mit Verlusten behaftet ist, wird der Aufbau reiner Wasserstoffnetze auf Verteilnetzebene in Erwägung gezogen. Um die Kosten eines Aufbaus solcher Netze gering zu halten, sollen „sofern möglich“ die seit Jahren in der Erdgasversorgung etablierten Komponenten eingesetzt werden.

Ziel dieser Arbeit ist die Dimensionierung und Konzeption eines reinen Wasserstoffnetzes in einem konkreten Wohngebiet in Wettringen-Haddorf.

Hierzu wird zunächst untersucht, ob Bau und Betrieb reiner Wasserstoffnetze in der öffentlichen Energieversorgung rechtlich möglich sind. Weiterhin wird basierend auf der Literatur und bereits durchgeführten und laufenden praktischen Untersuchungen die Eignung von Komponenten der Erdgasversorgung im Hinblick auf Funktionsfähigkeit, Dichtheit und Materialbeständigkeit für einen Betrieb mit reinem Wasserstoff erarbeitet. Falls vorhanden, werden komponentenspezifische Anpassungs- und Validierungsbedarfe herausgestellt. Das Netz in Wettringen-Haddorf wird ausgelegt und die Dimensionierung mithilfe einer Netzberechnung überprüft. Zudem wird die Dimensionierung der Versorgung des Netzes mit Wasserstoff auf Grundlage eines auf Wetterdaten basierenden, prognostizierten Wasserstoffbedarfs vorgenommen und unterschiedliche Optionen miteinander verglichen.

Die Recherche hat ergeben, dass ein Netzaufbau mit Komponenten aus der Erdgasversorgung grundsätzlich möglich und technisch umsetzbar ist. Die derzeit noch bestehenden Anpassungs- und Validierungsbedarfe sind mit geringem Aufwand zu bewältigen. Auch die Anerkennung eines Wasserstoffnetzes als Gasnetz der öffentlichen Energieversorgung im Sinne des EnWG ist gegeben.

Bedingung dafür ist die Herstellung des Wasserstoffs durch Elektrolyse mit regenerativ erzeugtem Strom. Die größte Herausforderung besteht in der zuverlässigen Bereitstellung von regenerativ erzeugtem Wasserstoff. Da Wasserstoff ein niedrigkalorischer Brennstoff ist, sind große Mengen zur Deckung des Wärmebedarfs erforderlich. Die sicherste und günstigste Option ist eine Anbindung an eine auf Wasserstoff umgestellte Transportleitung eines Fernleitungsnetzbetreibers. Dies ist jedoch frühestens 2026 möglich. Alternativ kann der Wasserstoff vor Ort durch eine mit Netzstrom betriebene Power-to-Gas-Anlage bereitgestellt werden.

Durch die Integration eines kleinen Zwischenspeichers können Wartungs- und Instandhaltungsphasen der Power-to-Gas-Anlage überbrückt werden.

Wasserstoffnetze sind zwar beliebig skalierbar, jedoch ist das Potenzial derzeit noch sehr eingeschränkt. Aufgrund der hohen Gestehungskosten ist Wasserstoff im Vergleich zu anderen, meist fossilen Energieträgern nicht konkurrenzfähig. Die dem Aufbau einer Wasserstoffwirtschaft durch die nationale Wasserstoffstrategie der Bundesregierung zu Teil gewordene Aufmerksamkeit gibt Hoffnung auf eine positive Entwicklung der Rahmenbedingungen und neuen Investitionsanreizen.

Energetische Sanierung der Heizzentrale der Kreisverwaltung Steinfurt

Sule Kurtoglu B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Thomas Schmidt
Zweitprüfer:	Dip.-Ing. Bernward Büscher
Datum des Kolloquiums:	12. April 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Kreis Steinfurt



Der Klimawandel und seine Folgen bilden schon seit einigen Jahren den Kern vieler aktueller politischer Diskussionen. Mittlerweile beeinflussen die politisch beschlossenen Maßnahmen wie das Klimaschutzgesetz von 2021, Verordnungen und Regelwerke in allen technischen Bereichen. Diese Maßnahmen verändern auch das Arbeitsbild der heutigen Ingenieure, welche neben der reinen Funktion, der Kosten und der Sicherheit auch die Klimaverträglichkeit ihrer Anlagen, Bauten und Geräte garantieren müssen. Dabei können sowohl die Bewertung der Energieeffizienz, der Schädlichkeit des Arbeitsmediums, der Schallemissionen, als auch die Recyclebarkeit der Materialien eine entscheidende Rolle spielen.

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Untersuchung mehrerer Varianten zur Wärme- und Energieversorgung im Heizwerk am Standort Steinfurt der Beteiligungsgesellschaft des Kreises Steinfurt.

Der Kreis Steinfurt beabsichtigt die Modernisierung der Heizzentrale. In dieser befinden sich ein Kohlekessel und zwei Ölkessel. Aufgrund des Alters und der Klimaziele, sollen die Anlagen in den nächsten drei bis fünf Jahren ausgetauscht werden. Um die weitere Energieversorgung für den Kreis Steinfurt und für das anliegende Nahwärmenetz sicherzustellen, werden verschiedene Energiekonzepte erarbeitet.

Zur Erstellung verschiedener Wärme- und Stromversorgungskonzepte, die auch den Ansprüchen des Kreis Steinfurt entsprechen, werden Energiebezugswerte, Wärme- und Stromverbräuche der letzten Jahre analysiert. Darauf aufbauend werden zukünftige Versorgungsbedarfe ermittelt und entsprechend eine neue Wärmeerzeugungsanlage mit den erforderlichen Anforderungswerten vorgeschlagen. Die unterschiedlichen Konzepte sollen in den Punkten Nachhaltigkeit, CO₂-Neutralität und Wirtschaftlichkeit verglichen und bewertet werden.

Ziel der Arbeit ist es, ein nachhaltiges und sinnvolles Wärme- und Stromerzeugungskonzept für den Kreis Steinfurt und für das anliegende Nahwärmenetz zu erstellen. Neben einer wirtschaftlichen Ersatzbeschaffung sollen die Klimaschutzziele des Kreises Steinfurt berücksichtigt und die Anforderung an die Verfügbarkeit umgesetzt werden.

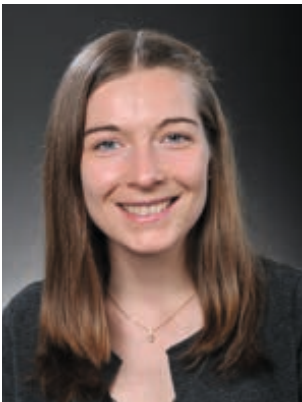
Zu Beginn wurden die Wärmeverbräuche, Stromverbräuche, Heiz- und Kühllasten des Kreishauses ermittelt. Nach der Auswertung wurden drei Anlagenmodelle für das Kreishaus und das anliegende Nahwärmenetz erstellt.

Das erste Anlagenmodell ist die Kombination eines stromgeführten Blockheizkraftwerkes, zwei Pelletkesseln und einem Brennwertkessel. Das zweite Anlagenmodell ist der Einsatz eines Blockheizkraftwerkes und zwei Brennwertkesseln und das dritte Modell die Kombination eines Blockheizkraftwerkes mit zwei Brennwertkesseln und einem Pelletkessel.

Die Anlagenmodelle wurden hinsichtlich Wirtschaftlichkeit, Nachhaltig, CO₂-Neutralität und Ausfallsicherheit verglichen und bewertet. Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass die erste und die dritte Modellvarianten die Anforderungen des Kreishauses am besten erfüllen.

Jessica Landmann M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Stefan Herde
Datum des Kolloquiums:	4. Juni 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik



In Zeiten des Klimawandels und der Verknappung der natürlichen Ressourcen ist ein Umdenken in allen Lebensbereichen notwendig, hierzu gehört auch die Baubranche.

Die Debatte um die Reduzierung der endlichen Ressourcen nimmt enorm zu. Auf der ganzen Welt wird nach umweltfreundlichen Alternativen gesucht. Der nachwachsende Rohstoff Holz eignet sich auf Grundlage seiner Eigenschaften hervorragend als Baustoff. Holz bindet CO₂ (Kohlenstoffdioxid) anstatt CO₂ freizusetzen. In 1 m³ Holz wird eine Tonne CO₂ aus der Atmosphäre gespeichert. Der Einsatz von Holz in der Baubranche stellt somit einen aktiven Beitrag zum Klimaschutz dar. Bei nachhaltiger Forstwirtschaft steht die natürliche Ressource dauerhaft zur Verfügung.

In der Masterthesis wird die natürliche Ressource Holz als Baustoffe im Bereich der Holzmodulbauweise aufgeführt. Holzmodulgebäude zeichnen sich durch die Vorfertigung von Bauteilen wie Wänden, Decken und Fußbodenaufbau aus. In der Werkstatt des Holzbauunternehmens werden die Bauteile vorgefertigt und auf der Baustelle zusammengesetzt. Die Gebäude können für wenige Monate bis hin zu 80 Jahren oder länger stehen. Der Standort kann über die Nutzungsdauer variieren, sie sind demontierbar und an einem anderen Standort neu aufstellbar. Sie bieten gegenüber der konventionellen Bauweise eine Reihe von Vorteilen hierzu gehören Schnelligkeit und Sauberkeit beim Bauen, Energieeffizienz durch den Rohstoff Holz und die Transportfähigkeit. Neben der Planung von Architektur, Tragwerksplanung, technischen Ausrüstung und weiteren Fachplaner ist das Holzbauunternehmen in den Planungsprozess zu integrieren.

Durch die Vorfertigung der Holzmodule ist ein veränderter Planungsprozess notwendig. Planungsrelevante Anforderungen sind in einer frühen Planungsphasen abzustimmen, um eine störungsfreie Vorfertigung zu gewährleisten. Die Honorarordnung der Architekten und Ingenieure erschwert den Planungsprozess durch die Untergliederung in die einzelnen Leistungsphasen, die aufeinander aufbauen. Eine Restrukturierung der Planungsprozesse ist notwendig, um den holzbauspezifischen Anforderungen gerecht zu werden. Die Holzbaukompetenz ist frühzeitig in den Planungsprozess zu integrieren. Eine Möglichkeit stellt die Beauftragung eines Holzbauunternehmens durch die funktionale Ausschreibung dar. Das Fachwissen fließt ab der Ausführungsplanung in die Planung ein.



Abb. 1: Beispiel eines Holzmodulgebäudes

Im gesamten Planungsteam muss ein Umdenken in der Planung erfolgen, da sonst Herausforderungen bei der Planung und der Realisierbarkeit des Gebäudes entstehen. Auf Grund der Vorfertigung der Holzmodule sind Teilleistungen einzelner Leistungsphasen zu einem früheren Zeitpunkt zu erbringen. Hierzu gehört besonders die Schlitz- und Durchbruchplanung. Die Vorfertigung der Bauteile beim Holzbauunternehmen erfolgt nach Fertigungsprozessen, die der Werkstattplanung geschuldet sind. Eine Veränderung der Fertigungsprozesse ist nur selten möglich. Die dadurch planungsrelevanten Vorgaben sind vom Planungsteam zu berücksichtigen. Bereits vor Beginn der Bauphase werden die Holzmodule vorgefertigt, daher muss die ausführungsfähige Planung fristgerecht erfolgen. auf der Baustelle erfolgt das fachgerechte zusammensetzen der Holzmodule zum Gebäude.

Das Holzmodulgebäude stellt aufgrund seiner Eigenschaften eine ökologische Alternative zum konventionellen Gebäude dar, die sich in der Zukunft weiterentwickeln wird.

Planungsrelevante Anforderungen an die Sicherungsmaßnahmen zum Schutz des Trinkwassers in Laborbereichen am Beispiel von Schulgebäuden

Jonas Lange B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Stefan Cloppenburg M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	4. August 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik



Trinkwasser ist im Alltag unabdingbar, ob zum Waschen oder für die Zubereitung von Lebensmitteln. Täglich nutzen wir mit Selbstverständlichkeit Trinkwasser, ohne uns Gedanken über dessen Qualität zu machen. Verstärkt wird zudem in den letzten Jahren, besonders in Schulen, das Trinkwasser rund um seinen Verzehr in den Vordergrund gestellt. Nicht nur die Umweltbelastung durch Plastikflaschen soll reduziert werden, sondern ebenfalls der Mehrwert gegenüber zuckerhaltigen Getränken herausgearbeitet werden. Um die Qualität stets aufrecht zu erhalten, muss das Trinkwasser gegen äußere Einflüsse geschützt werden. Insbesondere gegen solche, die sowohl in biologischen als auch chemischen Laboren, auch in geringer Konzentration, aufgrund chemischer, bakterieller oder viraler Brisanz den Menschen erheblich schädigen können.

Hauptziel der Thesis war es, planungsrelevante Anforderungen an die Sicherungsmaßnahmen zum Schutz des Trinkwassers in Laborbereichen am Beispiel von Schulgebäuden herauszuarbeiten. Dazu war es notwendig die Flüssigkeitskategorien den entsprechenden Schul- und Unterrichtsformen zuzuordnen und entsprechende Sicherheitseinrichtungen zum Schutz der Trinkwasser-Installation auszuwählen. So wurden verschiedenste Gefahrenquellen dargestellt und analysiert.

Die Risiken einer möglichen Kontamination in der Trinkwasser-Installation lassen sich unter Zuhilfenahme der DIN EN 1717 im Wesentlichen konkretisieren und geeignete Sicherheitseinrichtungen bzw. Maßnahmen wählen.

Bei der Auswahl möglicher Sicherheitseinrichtungen wurde nicht nur die Stagnation, sondern ebenfalls die Möglichkeit von Einzel- und Sammelsicherungen in Hinblick einer Kontamination unter den Entnahmestellen betrachtet. Dazu wurden Anhand eines beispielhaften Chemieunterrichts- und Vorbereitungsraumes die Investitionskosten einer Trinkwasser-Installation mit Einzel- und Sammelsicherungen betrachtet.

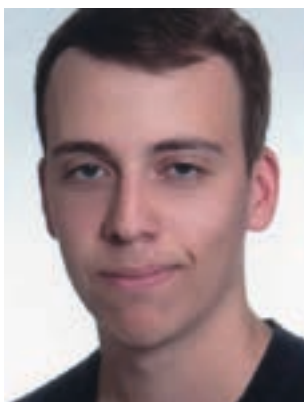
Eine normkonforme Trinkwasser-Installation steht jedoch der gängigen Praxis gegenüber. Nicht nur im Planungsprozess, sondern ebenfalls im Betrieb muss die fehlende Fachkunde der Nutzer angenommen werden. Demzufolge muss die Trinkwasser-Installation so beschaffen sein, dass sie ohne Beachtung von Sicherungsmaßnahmen genutzt werden kann.

Mit dem definierten nicht-häuslichen Gebrauch aus der DIN EN 1717 wurde ein besonderes Augenmerk auf die anstehende Gefahrenanalyse gelegt. So bestand eine Schwierigkeit darin, mögliche Risiken zu klassifizieren und diese im Planungsprozess berücksichtigen zu können. Durch umfangreiche Normen, Richtlinien und Verordnungen fällt es den Planungsbeteiligten schwer, geeignete Maßnahmen im Zusammenhang mit den benötigten Wässern zu treffen.

Wirtschaftlicher Vergleich von Wärmeerzeugungskonzepten anhand eines Bürogebäudes

Michael Langer B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	B.Sc. Mario Sand
Datum des Kolloquiums:	20. November 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Labor Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	Löw Ingenieure GmbH & Co.KG



Die Bachelorarbeit befasst sich mit dem wirtschaftlichen und ökologischen Vergleich dreier Konzepte zur Wärmeerzeugung in einem Büroneubau. Das Bürogebäude umfasst drei Stockwerke mit einer beheizten Fläche von etwa 1600 m². Behandelt wird die Beheizung über ein Blockheizkraftwerk in Verbindung mit einem Gas-Brennwertkessel, ein Pelletkessel sowie eine Sole-Wärmepumpe in Kombination mit einem Gas-Brennwertkessel. Ziel ist es die Vor- und Nachteile des jeweiligen Konzeptes aus wirtschaftlicher und ökologischer Sicht herauszuarbeiten.

Die Wärmeerzeuger werden entsprechend einer nach DIN EN 12831 durchgeführten Heizlastberechnungen ausgelegt. Der Jahresheizenergiebedarf des Gebäudes wird über die Vollbenutzungsstunden der Heizungsanlage ermittelt und dient als Grundlage für die Energiekosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung sowie für die ökologische Betrachtung der Wärmeerzeugungskonzepte.

Der ökologische Vergleich der Konzepte wird über die Betrachtung der jährlichen Treibhausgas-Emissionen durchgeführt. Das Ergebnis zeigt eine Zunahme der Emissionen mit steigendem Anteil an verwendeten fossilen Brennstoffen. Der verhältnismäßig hohe Strombedarf zum Betrieb einer Wärmepumpe sorgt für eine starke Abhängigkeit der berechneten Emissionen von der Art der Stromerzeugung. Unter den betrachteten Varianten ist der Pelletkessel aus ökologischer Sicht am günstigsten. Aufgrund der bilanziellen Betrachtung der Emissionen werden die CO₂-Emissionen bei der Verbrennung von Holzbrennstoffen nicht beachtet.

Der wirtschaftliche Vergleich basiert auf einem dynamischen Verfahren zur Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätenmethode. Die Berechnung zeigt, dass das Blockheizkraftwerk in Kombination mit dem Brennwertkessel die kostengünstigste Variante zur Wärmeerzeugung ist. Ausschlaggebend sind die verhältnismäßig geringen Investitionskosten und über die Stromerzeugung generierte Erlöse. Zum Betrieb der Sole-Wärmepumpe wird die Wärmequelle über Tiefenbohrungen erschlossen. In Zusammenhang mit dem Pelletkessel werden Anlagen zur Brennstofflagerung und -förderung sowie zur Abgasnachbehandlung benötigt. Aus den genannten Maßnahmen resultieren hohe Investitionskosten für beide Varianten.

Zwar ist die Wärmeerzeugung mit konventionellen Energieträgern zum jetzigen Zeitpunkt aus ökonomischer Sicht vorteilhaft. Doch ist davon auszugehen, dass durch die zunehmenden gesetzlichen Anforderungen und die steigenden Förderungen erneuerbarer Energien, vermehrt alternative Konzepte zur Wärmeerzeugung eingesetzt werden.

Vergleichende Untersuchung moderner Schulform mit Lernclustern und traditionellen Flurschulen anhand agentenbasierter Personenstromsimulation im Brandfall

Karin Lautenschläger B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Volker Nees
 Datum des Kolloquiums: 21. April 2020
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Gebäudetechnik
 in Kooperation mit: nees Ingenieure GmbH



Traditionelle Flurschulen mit Frontalunterricht entsprechen nicht dem heutigen pädagogischen Fortschritt. Um der modernen Unterrichts- und Schulform gerecht zu werden, werden neue Raumkonzepte mit Lernclustern, welche flexibel gestaltet werden können, konzipiert. Diese flexiblen Raumstrukturen bringen für den vorbeugenden Brandschutz neue Herausforderungen mit sich.



Abb. 1: Traditionelle Flurschule

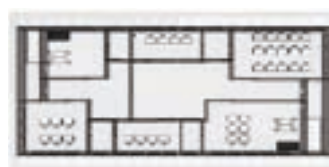


Abb. 2: Moderne Lerncluster-Schule

Ziel dieser Arbeit ist es einen Vergleich zwischen einer nach Baurecht genehmigten Flurschule und einer nach Düsseldorfer Schulbauleitlinie konzipierten Lerncluster-Schule zu ermöglichen, um die moderne Clusterbauweise aus brandschutztechnischer Sicht einordnen zu können. Sodass die Realisierung der modernen Schulbauweise im Hinblick auf die brandschutztechnischen Maßnahmen zur Erfüllung der Schutzziele überprüft werden kann.

Das oberste Schutzziel des Brandschutzes ist der Schutz des Menschen. Mithilfe von rechnergestützten Simulationsprogrammen kann die Personensicherheit während einer Räumung im Brandfall überprüft werden. Hierfür wird in einer Brandsimulation die Rauchdichte, die Sichtweite und die Temperatur untersucht. Die Räumungssimulation dient der Überprüfung der Räumungsdauer und signifikanter Staubbildung.

Anhand des Vergleiches ergeben sich zwei Merkmale, die die Bauweise der Flurschule und die der Lerncluster-Schule unterscheiden. Zum einen verzichtet die Düsseldorfer Schulbauleitlinie auf die Verwendung eines notwendigen Flurs als Bestandteil des Rettungswegs und zum anderen wird als brandschutztechnische Maßnahme eine flächendeckende Brandmeldeanlage nach DIN 14675 gefordert. Die Simulationsergebnisse bestätigen die Einhaltung des Schutzzieles der Personensicherheit. Eine sichere Entfluchtung unter Einhaltung der Sicherheitskriterien und der Grenzwerte ist für die traditionelle Flurschule und die moderne Lerncluster-Schule nachgewiesen.

Methodische Vorgehensweise zur energiewirtschaftlichen Optimierung von BHKW-Bestandsanlagen

Jan-Niklas Linnenschmidt B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Jörg Müller
Datum des Kolloquiums:	6. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Müller Beckmann GmbH



Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung einer methodischen Vorgehensweise zur energiewirtschaftlichen Optimierung von BHKW-Bestandsanlagen. Mit der Entwicklung dieser Vorgehensweise ging eine direkte Anwendung auf zwei BHKWs einer Universität einher.

Anfangs wurden die Grundlagen der BHKW-Technologie erklärt und die vorhandene Anlagentechnik der Universität beschreiben. Bei der sich daran anschließenden Betrachtung der wärmeseitigen Ist-Situation konnte festgestellt werden, dass der Grund für die geringen Vollbenutzungsstunden ein saisonal schwankender Wärmebedarf ist.

Zur Bestimmung eines Abwärmekonzeptes wurden die Eckdaten verschiedener Technologien zur Nachverstromung und Kälteerzeugung herangezogen. Hierbei stellte sich heraus, dass aufgrund des geringen Abwärmemeterniveaus nur der Einsatz einer Absorptionskältemaschine (AKM) infrage kommt. Daher wurden die Vorteile einer AKM gegenüber einer herkömmlichen Kompressionskältemaschine erläutert.

Da für die Auslegung einer AKM der Kältebedarf bekannt sein muss, schloss sich eine Darstellung der kälteseitigen Ist-Situation in den Laborbereichen der Universität an. Eine Auswertung der vorhandenen GLT-Daten blieb jedoch ergebnislos, sodass eine Kältemengenmessung durchgeführt wurde. Diese wurde ausgewertet, auf Plausibilität überprüft und anschließend durch die Entwicklung eines Berechnungsmodells auf das Betrachtungsjahr hochgerechnet.

Unter Berücksichtigung der zur Verfügung stehenden Abwärmemenge sowie dem erforderlichen Kältebedarf wurde eine passende AKM dimensioniert und deren Auswirkung - bei einer sekundärseitigen Einbindung in das bestehende Kältenetz - auf den BHKW-Betrieb simuliert. Es konnte festgestellt werden, dass sich hierdurch für beide BHKWs eine Erhöhung der Vollbenutzungsstunden ergibt. Die damit verbundene Änderung der Bezugsmengen vom Energieversorgungsunternehmen führte im Rahmen einer Wirtschaftlichkeitsberechnung zu einem ROI von 6,6 Jahren.

Entwurf eines energieeffizienten Bürogebäudes unter Berücksichtigung eines ökologisch nachhaltigen Konzepts mit Einbindung eines Eisenergiespeichers

Rebekka Linscheidt M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	31. August 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Linscheidt Ingenieure GmbH



Ökologische Nachhaltigkeit bekommt in der Gesellschaft einen immer höheren Stellenwert. Besonders Firmen nutzen umweltfreundliche Technologien, um als verantwortungsbewusst und zukunftsorientiert angesehen zu werden. So wird von ihnen nun verstärkt auch bei der Wärme- und Kälteerzeugung über die gesetzlichen Vorgaben hinaus auf eine möglichst nachhaltige Anlagentechnik im Gebäude geachtet. Eine Möglichkeit zur ökologisch nachhaltigen Wärme- und Kälteerzeugung bietet ein Eispeichersystem: Mithilfe des Eispeichers wird Wärmeenergie gespeichert, wenn sie entsteht, und abgegeben, wenn Bedarf herrscht. Daher wird in dieser Masterarbeit ein Bürogebäude auf die Einsatzfähigkeit und Sinnhaftigkeit eines Eispeichersystems untersucht.

Das Eispeichersystem besteht aus dem Eispeicher, Solarluftkollektoren und einer Sole/Wasser-Wärmepumpe. Die Solarluftkollektoren dienen neben dem Eispeicher als Wärmequelle für die Wärmepumpe. Welche Wärmequelle genutzt wird, ist abhängig von der Soleaustrittstemperatur aus den Solarluftkollektoren, sodass ein möglichst effizienter Betrieb gewährleistet ist.

Bei der Kühlung des Gebäudes werden ebenfalls mehrere Betriebsarten unterschieden: Beim Natural Cooling kann mithilfe des Eispeichers das Gebäude direkt gekühlt werden. Ein Betrieb der Wärmepumpe ist nicht notwendig, sodass diese Art zu kühlen sehr effizient ist. Ist der Eispeicher wärmetechnisch entladen, wird mithilfe von Active Cooling über die Wärmepumpe gekühlt.

Das Eispeichersystem wird von der Firma Viessmann ausgelegt und durch eine eigene Berechnung überprüft und untersucht. Hierzu wird mithilfe der Software DesignBuilder eine thermische Gebäudesimulation durchgeführt. Die Daten werden in das Programm EnergyPlus importiert, durch das der stündliche Wärme- und Kältebedarf ermittelt wird. Anschließend werden die Daten in Excel übertragen. Mithilfe des jeweiligen Wärme- und Kältebedarfs und der Außentemperaturen wird der Ladezustand des Eispeichers für jede Stunde eines Jahres ermittelt. Des Weiteren werden die Stunden berechnet, in denen die jeweiligen Heiz- und Kühlbetriebe stattfinden. Durch diese Stundenzahl können die bedarfsgebundenen Kosten in der Wirtschaftlichkeitsberechnung ermittelt werden.

Die Wirtschaftlichkeitsberechnung wird mithilfe der Annuitätsmethode nach VDI 2067 durchgeführt. Um die Wirtschaftlichkeit beurteilen zu können, wird

das Eisspeichersystem mit einem alternativen System, bei dem die Wärme- und Kälteerzeugung über Luft-Wasser-Wärmepumpen, einen Brennwertkessel und eine Kompressionskältemaschine erfolgt, verglichen.

Die Investitionskosten sind für das Eisspeichersystem sehr hoch. Die bedarfsgebundenen Kosten hingegen sind im Vergleich zum alternativen System gering: Durch die hohe Jahresarbeitszahl des Eisspeichersystems ist der Energiebedarf im Vergleich zum alternativen System niedrig. Auch die betriebsgebundenen Kosten sind verhältnismäßig gering, da das Eisspeichersystem wartungsarm ist.

Daher ist die Gesamtannuität des Eisspeichersystems beim betrachteten Bürogebäude nach einem Betrachtungszeitraum von 20 Jahren um 14,5 % geringer als die des alternativen Systems. Aufgrund der hohen Investitionskosten ist das Eisspeichersystem erst nach einem Betrachtungszeitraum von 16 Jahren wirtschaftlicher.

Daher hängt die Entscheidung von der Gewichtung der Kriterien des Bauherrn ab: Steht die Wirtschaftlichkeit im Vordergrund, ist das Eisspeichersystem nicht zu empfehlen. Ist hingegen die ökologische Nachhaltigkeit das wichtigere Kriterium, kann durch die Fachplanung eine Empfehlung für das Eisspeichersystem ausgesprochen werden.

Kuanyu Liu M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
 Zweitprüfer: M. Eng. Dennis Schafmeister

Datum des Kolloquiums: 10. November 2021

Master-Studiengang: Master Energie · Gebäude · Umwelt
 Studienrichtung: Gebäudetechnik

in Kooperation mit: Ingenieurbüro PS+ Planung GbR



Ein Blockheizkraftwerk oder BHKW erzeugt neben Wärme auch Strom. Wenn ein Einfamilienhaus ein BHKW als Heizungsanlage nutzt, lohnt sich das BHKW immer dann, wenn die Einsparungen durch den selbst erzeugten Strom die Anschaffungskosten über einen Zeitraum von Jahren übersteigen. Aber um dies in der Realität zu tun, muss es über einen langen Zeitraum im Jahr mit voller Leistung laufen. Es ist jedoch nicht möglich, pauschal zu urteilen, da die Bedingungen variieren je nach Gebäudestruktur, Baujahr, Gewohnheiten der Bewohner usw., zu unterschiedlich können die Gegebenheiten sein.

Um die Durchführbarkeit zu klären, ist eine Betriebssimulation auf Grundlage eines Gebäudemodell erforderlich. Genau darum geht es in dieser Arbeit, in der ein konkreter Fall untersucht werden sollte, um die wirtschaftliche und energetische Tragfähigkeit eines BHKW-Systems in einem Wohngebäude mit relativem geringem Energiebedarf zu prüfen. Das Ingenieurbüro PS+Planung wird Informationen eines Neubauprojekts von einem Einfamilienhaus in Greven zur Verfügung stellen. Diese Arbeit wird dafür das Gebäude mit zwei Software, Trimble Nova und BIM HVACTool, modellieren und die Lasten berechnen. Basierend auf den Ergebnissen der Berechnungen wird ein BHKW-Heizsystem sowie das Kühlsystem für das Gebäude ausgelegt.

Analyse kryogener Verflüssigungstechniken zur Herstellung von Bio-Liquefied Natural Gas

Jonas Lorenz B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Martin Hoffschroer B.Eng.
Datum des Kolloquiums:	18. November 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Q1 Energie AG



Schutzmaske auf, Jacke und Handschuhe an und Start! Die tiefkalten Pumpen fangen an zu rasseln, der isolierte Edelstahlschlauch färbt sich nach und nach weiß und kalter weißer Dampf erfüllt die Umgebungsluft. - So sieht es aus, wenn ein Lkw mit Liquefied Natural Gas (LNG) betankt wird.

Bis zum Jahr 2045 soll Deutschland klimaneutral sein. Das bedeutet, dass ab dem 01.01.2045 kein weiteres Molekül Kohlenstoffdioxid, auch als CO₂ bekannt, in die Umgebungsluft ausgestoßen werden darf, wenn es sich nicht zu einem anderen Zeitpunkt schon einmal dort vorgefunden hat. Im Klartext heißt dies, dass wir keine fossilen Energieträger mehr aus den Tiefen des Erdreichs holen und verbrennen dürfen. Bis 2045 haben wir Deutschen, wir Europäer und eigentlich auch wir Menschen weniger als 25 Jahre Zeit, um das gesamte konventionelle Energiesystem, das wir über viele Jahrzehnte hinweg aufgebaut haben, komplett umzukrempeln.

Seit dem 14. Juli 2021 heißt es seitens der europäischen Kommission: „Fit for 55!“. Dieses Konzept beschreibt somit das erforderliche Ziel der gesamten Europäischen Union, bis 2030 über alle Sektoren hinweg die Treibhausgasemissionen, zu denen auch das allseits bekannte CO₂ gehört, um 55 Prozent gegenüber denen im Jahr 1990 zu verringern.

Zu einem dieser Sektoren gehört der Schwerlastverkehr, der für knapp die Hälfte der gesamten CO₂-Emissionen im Verkehrssektor verantwortlich ist. Dabei machen die schweren 40-Tonner nicht einmal 10 % des Gesamtbestands an Fahrzeugen aus.

Es wird also Zeit, bereits heute eine schnelle und umsetzbare Lösung für diese 10 % auf deutschen Straßen zu finden. Ein Weg diesen Wandel zu gestalten ist BioLNG, der als alternativer Kraftstoff mit dem Lkw getankt werden kann und um den es in der vorliegenden Arbeit gehen wird.

Hierzu wird der gesamte Herstellungsprozess von den Inputstoffen in die Biogasanlage, über die Gasaufbereitung hin zur kryogenen Verflüssigung aufgezeigt. Besonders der letzte Schritt wird nach technischen und wirtschaftlichen Parametern detailliert untersucht, um eine Entscheidungsgrundlage zum Kauf einer Verflüssigungsanlage im dezentralen Maßstab geben zu können.

Es wird sich besonders auf die Prozesse des „LIN-Verfahrens“, „Stirling-Verfahrens“ und des „Kaskadenverfahrens“ konzentriert. Für die Wirtschaftlichkeit spielen sogenannte Treibhausgasquoten eine entscheidende Rolle, die wesentlich die Rentabilität der einzelnen Anlage bestimmen. Es wird aufgezeigt wie sich diese mit und ohne Einbeziehung der THG-Quoten verändert.

Energetische und wirtschaftliche Untersuchung von Wärmeerzeugungssystemen - am Beispiel eines Krankenhausneubaus

Slawomir Lozynski B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Sascha Stepling B.Eng.
Datum des Kolloquiums:	17. Februar 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	ITB GmbH



Das zentrale energiepolitische Konzept des Landschaftsverbandes Westfalen Lippe ist die nachhaltige Reduzierung von Verbrauchskosten und CO₂-Emissionen bei der Bewirtschaftung ihrer Gebäude und Liegenschaften. Die Wärmebedarfsabdeckung aus Fernwärme wird wegen seines erfahrungsgemäß niedrigen Primärenergiefaktors (PEF) als eine der effizienteren Versorgungsarten angesehen. Dieses energiepolitische Konzept soll für den Ersatzneubau des LWL-Universitätsklinikum Bochum zum Tragen kommen und durch den Einsatz der vorhandenen Fernwärme erreicht werden. Die Neubewertung der vorhandenen Fernwärme ergab jedoch eine Verschlechterung des PEF, sodass der geplante Ersatzneubau die ursprünglichen Vorgaben zur Gebäudeenergieeffizienz nicht mehr einhalten kann.

Das Ziel dieser Bachelorarbeit ist, auf Basis einer energetischen und wirtschaftlichen Untersuchung der Wärmeerzeugungssysteme eine Aussage zur Verbesserung des PEF durch den Einsatz einer geeigneten Grundlast-Wärmeerzeugungsanlage (WEA) zu erhalten. Die Auswahl an WEA wird zu Beginn durch die vor Ort verfügbare Energieversorgung bestimmt. Neben der konventionellen Energieversorgung wird Wasserstoff (H₂), als möglicher Baustein der zukünftigen Energieversorgung sowie -sicherheit in die Betrachtung aufgenommen und in seinem Nutzen für das vorliegende Projekt untersucht. Hierzu wird der Stand der Technik für den Einsatz von H₂ im Bereich der Gebäudetechnik sowie die Verfügbarkeit vor Ort beleuchtet. Die Auswahl an WEA wird unter Berücksichtigung der gesetzlichen, normativen und technischen Rahmenbedingungen weiter eingegrenzt. Die DIN V 18599 dient als Grundlage zur Bilanzierung und energetische Beurteilung der Anlagentechnik über den Primärenergiefaktor. Hier ergaben sich die Grundlast-Varianten Wärmepumpe, Heizkessel, gasmotorische KWK sowie Brennstoffzellen-BHKW. Die wirtschaftliche Untersuchung der WEA-Varianten, die eine Verbesserung des PEF herbeiführen, soll unter Anlehnung an die VDI 2067 erfolgen.

Zusammenfassend hat die Untersuchung zwei mögliche Varianten ergeben, die eine Verbesserung des Gesamt-PEF erzielen. Diese Varianten unterteilen sich in die Anlagentypen der Wärmepumpe und die mit grünem H₂ betriebene Brennstoffzelle.

Die Variante Brennstoffzelle erreicht bei der energetischen Untersuchung durch den Einsatz von grünem H₂ die besten Ergebnisse, wobei diese WEA von allen untersuchten gastechnischen WEA den höchsten H₂-Bedarf aufweist. Besonders die Versorgung der Variante Brennstoffzelle mit grünem H₂ aus Elektrolyse aus PV-Strom ist durch die eingeschränkte Größe der PV-Anlage begrenzt möglich und lässt diese Variante als ungeeignet erscheinen. Die Versorgung über LKW-Transport von H₂ kann aus den verschiedensten Erzeugungsprozessen stammen, sodass die Angaben zur Wasserstofffarbe nicht fest bestimmt werden können. So hätte eine Versorgung mit grauem H₂ eine Verschlechterung des PEF zur Folge. Als Lösungsansatz zur Nutzung der Variante Brennstoffzelle wäre eine kombinierte Versorgung aus einer Grund-Erzeugung von H₂ vor Ort aus Elektrolyse und einer Nachspeisung durch LKW-Trailer. Trotzdem benötigt diese Art der Versorgung Platz für Speicher, Druckstufen, Wasseraufbereitungen und weitere Sicherheitstechnik.

Die energetische Untersuchung für die Variante Wärmepumpe zeigt, dass diese den Gesamt-PEF ausreichend verbessert, um die ursprünglichen Vorgaben zur Gebäudeenergieeffizienz einzuhalten. Diese werden gerade wegen der vorhandenen elektrischen Versorgung durch die PV-Anlage sowie durch die Nutzung der Umweltwärme erreicht. Der besonders niedrige Jahresenergiebedarf der Wärmepumpe und die Nutzung der erzeugten Kälte machen den Betrieb besonders energieeffizient. Die Einsparungen aus der Kälteerzeugung gegenüber der Spitzenlast-Kälte der H₂O-Kältemaschine wirken sich zusätzlich positiv auf die Gesamtannuität der Variante Wärmepumpe.

Die Ergebnisse der wirtschaftlichen Untersuchung zeigen für die Variante Brennstoffzelle, dass die kapitalgebundenen Kosten durch die Erlöse gedeckt werden und somit die Gesamtkosten für diese Variante von den bedarfsgebundenen Kosten abhängig vom H₂-Beschaffungspfad sind. Als wirtschaftlichste Variante zeigt sich die Wärmepumpe, die trotz fehlender Erlöse eine positivere Gesamt-Annuität aufweist.

Die Ergebnisse dieser Arbeit zeigen, dass eine Verbesserung des Gesamt-PEF für den geplanten Ersatzneubau möglich ist und die ursprünglichen Vorgaben zur Gebäudeenergieeffizienz eingehalten werden können. Der Einsatz der Variante Wärmepumpe ist hierfür ausreichend. Die Variante Brennstoffzelle hat mit der Verbesserung des Gesamt-PEF gezeigt, dass diese Variante viel Potenzial besitzt zukünftige Verschärfungen der gesetzlichen Vorgaben einhalten zu können. Jedoch bestehen immer noch viele technische und energiepolitische Hürden zur Nutzung von H₂ als Energieträger für Projekte in dieser Größenordnung.

Entwicklung eines Prüfkatalogs zur Bewertung der Energieeffizienz von Gebäuden mit Hilfe der Gebäudeautomation

Tammo Lüke B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Martin Höttecke
Zweitprüfer:	M.Sc. Florian Segger
Datum des Kolloquiums:	16. September 2020
Master-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Labor MSR-Technik und Gebäudeautomation
in Kooperation mit:	TÜV SÜD Advimo GmbH



Im Rahmen der Arbeit wurde die Gebäudeautomation als Instrument zur Einsparung von Energie thematisiert. In der heutigen Zeit spielt die Energieeffizienz von Gebäuden eine immer größer werdende Rolle. Dabei nimmt die Gebäudeautomation einen immer höheren Stellenwert ein. Besonders bei Nicht-Wohngebäuden, die meist sehr hohe Energieverbräuche durch Anlagen der technischen Gebäudeausrüstung haben. Der Fortschritt des Energiebewusstseins bringt für Gebäude Veränderungen mit sich, die zu einem nachhaltigen Bau oder Sanierung führen sollen. An diesen Wandel muss die Bauindustrie anknüpfen, um langfristig Energie einsparen zu können. Um Gebäudeautomation effektiv umsetzen zu können, ist es notwendig neben dem Aufzeigen von Anforderungen von Regelungen, die Auswirkungen in Form von Energieeffizienzklassen festzuhalten und darzustellen.

Aus Normen und Richtlinien wurden Kriterien herausgearbeitet, die dabei vertiefend auf die Anforderungen einer Regelung eingehen. Der Schwerpunkt lag darin, dass mit Hilfe der Funktionsliste aus der DIN EN 15232-1 geschaut wurde, ob die Kriterien, die dort aufgeführt werden, ausreichend sind, um daraus einen Prüfkatalog zu entwickeln. Das Ziel des Prüfkatalogs ist es die Effizienz von Gebäuden in die Energieeffizienzklassen, an der DIN EN 15232-1 orientiert, nach A, B, C und D bewerten zu können. Die Effizienzklasse A entspricht dabei einer guten Regelung der Gebäudeautomation, die die Energieeffizienz eines Gebäudes verbessert und die Effizienzklasse D einer schlechten, die nicht effizient arbeitet. Auf Basis der theoretischen und der Entwicklungsarbeiten, kann ein funktionsfähiger Prüfkatalog als Ergebnis vorgezeigt werden. Dieser kann die Energieeffizienz von Gebäuden bewerten.

Konstruktionsanalyse mittels abstrakter Modellbeschreibung am Beispiel der Produktentwicklung eines Schmierölversorgungssystems bei Stationärmotoren von Blockheizkraftwerken

Tim Lütke-Wenning B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Olaf Hagemeier

Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Datum des Kolloquiums: 15. September 2021

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik

Studienrichtung: Energietechnik

in Kooperation mit: 2G Energy AG



Die vorliegende Bachelorarbeit dokumentiert eine Konstruktionsanalyse durch abstrakte Modellbeschreibung innerhalb einer Entwicklung eines Schmierölversorgungssystems bei stationären Motoren von Blockheizkraftwerken.

Hierzu wurde zu den vorhandenen Schmierölversorgungen, bestehend aus Ölvolumenerweiterung und Ölnachspeisung, ein weiteres System zur Versorgung des Stationärmotors mit Schmieröl entwickelt. Die Methoden der Produktentwicklung zielen auf eine problemorientierte und schrittweise Lösungsfindung ab. Die Grundlagen dieser Technik sind die Literaturrecherche, das Herausstellen der wesentlichen Probleme, die Anforderungen an das System und in Hinblick auf eine lösungsneutrale Entwicklung, die Abstraktion der Baugruppe mit den einzelnen Komponenten der neu entwickelten Schmierölversorgung.

Das Ziel der Arbeit ist es nun die Abstraktion als Teil einer Konstruktionsanalyse der neu entwickelten Schmierölversorgung einzusetzen. Durch die abstrakte Darstellung der Testanlage und der Anforderungen an das System sollen alternative Teillösungen aufgezeigt und bewertet werden. Dazu werden Anforderungen formuliert, die das System bereitstellen sollte. Es erfolgt eine klare Differenzierung von Wünschen und Forderungen, welche die Vorgehensweise des Entwicklungsprozesses eindeutig definieren. Bei der Formulierung von Forderungen an das System handelt es sich um Ausstattungsmerkmale, die das System bereitstellen muss, anders als bei den Wünschen, bei denen es eine Option bleibt. Hierbei wird die Problemlösung durch Abstraktion mittels der Systemtheorie realisiert. Die Abstraktion dient zum Auflösen von konventionellen Lösungsansätzen und zielt auf die Veränderung der inneren Struktur eines Systems. Vom Individuellen und vom Zufälligen abgesehen, wird versucht das Allgemeingültige und Wesentliche zu erkennen, was auf den Kern der Aufgabe führt.

Am Ende der Entwicklungsphasen entstand eine Variante der Schmierölversorgung für Blockheizkraftwerke mit Kraft-Wärme-Kopplung. Diese führt in Zyklen kontinuierlich einen Ölaustausch durch, hierbei wird Altöl entnommen und im Anschluss Frischöl dem Motor wieder zugeführt. Die ausgetauschte Ölmenge wird auf die jeweiligen Motorentypen angepasst.

Homeoffice als regelmäßiges Arbeitsmodell - Ein Modell für die Zukunft? Umsetzungsmodalitäten, Chancen und Risiken für Mitarbeiter und Betrieb am Beispiel der STF Gruppe GmbH während und nach der Corona-Krise

Alexandra Malkemper B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. phil. Frank Striewe
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Michael Püttmann
Datum des Kolloquiums:	21. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	STF Gruppe GmbH



Anfang 2020 wurde auch Deutschland durch die Corona-Krise überrascht. Zu Beginn der Corona-Krise konnten viele Arbeitnehmerinnen und Arbeitnehmer ihrer regulären beruflichen Tätigkeit nicht mehr nachgehen. Viele Unternehmen waren gezwungen, alternative Arbeitsformen anzubieten. Hierbei geriet das Homeoffice in den Fokus der Überlegungen.

Auch die STF Gruppe GmbH machte sich auf den Weg und entwickelte schnellstmöglich Konzepte für die Umsetzung des Homeoffice. Im Rahmen der Bachelorarbeit sollte herausgestellt werden, welche Merkmale die Arbeit im Homeoffice beschreiben, welche Formen des Homeoffice es gibt und welche Vor- und Nachteile das Homeoffice mit sich bringt. Des Weiteren wurde die aktuelle Situation des Homeoffices in Deutschland beschrieben und wie es in der STF Gruppe GmbH genutzt wird und möglicherweise in Zukunft optimaler eingesetzt werden kann.

Dazu wurden die drei folgenden Forschungsfragen entwickelt:

1. Wie wird die Arbeit im Homeoffice bei der STF Gruppe umgesetzt und wie haben sich die Bedingungen seit der Corona-Krise verändert?
2. Welche Chancen und Risiken entstehen durch das Homeoffice und wie schätzen die Mitarbeiter diese ein?
3. Unter welchen Voraussetzungen ist die Arbeit im Homeoffice nach der Corona-Krise eine sinnvolle Option für die Mitarbeiter der STF Gruppe?

Zur Datenerhebung wurde eine Umfrage mittels Fragebogen ausgewählt. Durch diesen sollte die aktuelle Situation, die Zufriedenheit der Mitarbeiter, deren Änderungsvorschläge und Wünsche für die zukünftige Arbeit im Homeoffice erfasst werden, um mögliche Schwachpunkte zu erkennen.

Ebenso sollte ermittelt werden, welche Verbesserungen für die Umsetzung des Homeoffice in der STF Gruppe GmbH denkbar wären und welche Wünsche die Mitarbeiter für die Zukunft äußern.

Der Fragebogen war an eine Umfrage des Fraunhofer-Instituts für Angewandte Informationstechnik FIT angelehnt, damit eine gewisse Vergleichbarkeit der Ergebnisse des Unternehmens mit dem deutschen Durchschnitt der Befragung erreicht wird.

Des Weiteren gibt die Bachelorarbeit einen Ausblick, wie die allgemeinen Prognosen für die Arbeitswelt und die digitale Arbeitsweise aussehen könnten. Ebenso wurde ein Ausblick für die Zukunft des Homeoffice in der STF Gruppe gegeben. Die gewonnenen Erkenntnisse werden im Anschluss an die Bachelorarbeit firmenintern für die Entwicklung eines New-Work-Konzeptes weiterverarbeitet.

Im Großen und Ganzen kann man sagen, dass das Homeoffice eine gute Ergänzung zur herkömmlichen Arbeit ist und, richtig umgesetzt, viele Vorteile mit sich bringen kann. Jedoch sollte man auch die möglichen Nachteile berücksichtigen, damit die Work-Life-Balance nicht leidet und die Leistungskurve für jeden Mitarbeiter individuell angepasst werden kann, um die Produktivität und Zufriedenheit der Mitarbeiter zu steigern.

Durchführung eines Energieaudits nach DIN EN 16247-1 sowie Bilanzierung der CO₂-Emissionen am Beispiel eines Unternehmens

Christoph Matschke B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Datum des Kolloquiums:	30. Juli 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	uppenkamp und partner - Umweltgutachter und Zertifizierungsgesellschaft mbH



Gemäß der Energieeffizienzrichtlinie 2012/27/EU müssen alle Mitgliedsstaaten sicherstellen, dass Unternehmen, die kein kleines und mittleres Unternehmen sind, ein Energieaudit durchführen. Ein Energieaudit ist nach DIN EN 16247-1 eine „systematische Inspektion und Analyse des Energieeinsatzes und des Energieverbrauchs einer Anlage, eines Gebäudes, eines Systems oder einer Organisation mit dem Ziel, Energieflüsse und das Potential für Energieeffizienzverbesserung zu identifizieren und über diese zu berichten.“

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurde für das Unternehmen uppenkamp und partner ein Energieaudit nach der DIN EN 16247-1 durchgeführt sowie eine Bilanzierung der CO₂-Emissionen erstellt. Dabei wurden Energieeinsätze und Energieverbräuche des Unternehmens aufgenommen und analysiert. Auf Grundlage der energetischen Analyse wurden Schwachstellen identifiziert und Maßnahmen eruiert, die zu einer Steigerung der Energieeffizienz beitragen sollen. Die Ermittlung des CO₂-Fußabdruckes soll zeigen, in welchen Bereichen das Unternehmen die meisten Treibhausgase freisetzt und welchen Einfluss die Effizienzsteigerungsmaßnahmen auf eine mögliche Verringerung der Emissionen haben.

Das betrachtete Unternehmen verfügt über vier Standorte und beschäftigt 45 Mitarbeiter. Die Ermittlung des Gesamtenergieverbrauchs erfolgte anhand der Abrechnungen der Energieversorgungsunternehmen, der Heiz- und Hausnebenkostenrechnungen sowie der monatlichen Abrechnungen der Tankkarten. Mittels Vor-Ort-Begehungen der jeweiligen Standorte wurden die standortspezifischen Energieverbräuche evaluiert und plausibilisiert. Auf Grundlage von Anschlusswerten und Abschätzungen der Betriebszeiten konnten die Energieverbräuche ihren Verbrauchern zugeordnet werden. Darauf basierend konnten Maßnahmen zur Einsparung von Energie und zur Steigerung der Energieeffizienz abgeleitet werden. Im Zuge des Energieaudits wurden acht Einsparmaßnahmen konzipiert. Für die Ermittlung der Umweltwirkung des Unternehmens wurden die CO₂-Emissionen in Anlehnung an das Greenhouse Gas Protocol erfasst und berechnet. Den größten Emissionsausstoß verursacht die Fahrzeugflotte mit 83,71 t CO₂e. Die CO₂-Emissionen durch den Verbrauch von Strom (25,90 t CO₂e) und Erdgas (29,94 t CO₂e) liegen auf einem ähnlichen Niveau. Weiterhin wurden die acht Energieeinsparmaßnahmen auf ihren Einfluss zur Verbesserung der Umweltwirkung bewertet.

Auf Grundlage der Erkenntnisse der energetischen Betrachtung aus dem Energieaudit sowie der Ermittlung der CO₂-Bilanz mit abschließender Bewertung der Energieeinsparmaßnahmen hinsichtlich der möglichen Emissionseinsparungen, wurde für das Unternehmen eine Handlungsempfehlung abgeleitet. Die Handlungsempfehlung soll zu einer langfristigen Effizienzsteigerung und einer Minderung der Emissionen führen. Zur konzipierten Handlungsempfehlung gehören folgende fünf Maßnahmen:

- Schulungen der Mitarbeiter zu einer energiesparenden Fahrweise
- Installation von programmierbaren Heizkörperthermostaten
- Installation von Master-Slave-Steckdosen
- Installation von programmierbaren Zeitschaltuhren
- Austausch von Leuchtmitteln

Gesamtheitlich betrachtet können diese fünf Maßnahmen dazu führen, dass das Unternehmen Energiekosten in Höhe von 7.523,13 € pro Jahr einspart. Die jährlichen Einsparungen von 75.214,56 kWh würden den Gesamtenergieverbrauch um 20,4 % senken. Zusätzlich reduzieren die Maßnahmen die CO₂-Emissionen um 21,56 t CO₂e. Die Investitionskosten für alle Maßnahmen betragen 9.015 €. Auf die Energiekosteneinsparung bezogen ergibt sich eine Gesamtamortisationszeit von 1,2 Jahren.

Biowasserstoffproduktion in Rührkesselreaktoren mit industriellem Abwasser und separierter Schweinegülle

Eike Meemann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Tobias Weide M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	27. April 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Umwelttechnik (Wasserversorgung - Abwasser - Abfall - Immissionsschutz)



Die umweltfreundliche Herstellung von Wasserstoff durch die dunkle Fermentation war das zentrale Thema dieser Arbeit. Ziel war es, Wasserstoff aus einem kohlenhydrathaltigen Abwasser zu gewinnen und in unterschiedlichen Mischungsverhältnissen mit Schweinegülle Natronlauge bzw. Schwefelsäure einzusparen.

Zu Beginn wurde die Bedeutung von Wasserstoff als Energieträger herausgestellt und die biogene Wasserstoffproduktion erklärt. Der Fokus lag dabei auf der dunklen Fermentation. Zur Erläuterung wurden die vier Phasen der Vergärung beschrieben. Das Endprodukt der vier Phasen ist Biogas, das größtenteils aus Methan und Kohlenstoffdioxid besteht. Damit Wasserstoff gewonnen werden konnte, musste der Prozess nach der dritten Phase unterbrochen werden. Der Wasserstoff durfte also nicht weiter zu Methan umgesetzt werden. Dafür mussten die methanproduzierenden Mikroorganismen gehemmt werden und der Prozess bei Bedingungen stattfinden, die die wasserstoffproduzierenden Mikroorganismen begünstigen. Diese Bedingungen wurden durch eine erhöhte Temperatur (55 °C) und einen sauren pH-Wert (5,0) gewährleistet.

Anschließend wurde der aktuelle Stand der Forschung und Technik aufgezeigt. Hierbei wurden wichtige Einflussfaktoren auf die dunkle Fermentation erläutert. Im Einzelnen wurden die Einflüsse der Mikroorganismen und der Temperatur, des Substrates, des Inokulums und der Vorbehandlung, des pH-Werts, der hydraulischen Verweilzeit und des Reaktortyps erklärt.

Weitergehend wurden die Materialien und Methoden beschrieben. Zu Beginn wurde auf das Impfmateriale sowie das Abwasser und die Schweinegülle eingegangen. Als Impfmateriale wurde Klärschlamm aus dem Faulturm der Kläranlage Burgsteinfurt verwendet. Dieser wurde bei 80 °C thermisch vorbehandelt, um die methanogenen Mikroorganismen zu inaktivieren. Das kohlenhydrathaltige Abwasser stammte aus einem Unternehmen, das Zuckerwaren und Schokoladen-Spezialitäten herstellt. Die verwendete Schweinegülle war Mastschweinegülle. Reaktor 1 wurde ausschließlich mit Abwasser betrieben, Reaktor 2 mit 80 % Abwasseranteil und 20 % Schweinegülleanteil, Reaktor 3 mit 60 % Abwasseranteil und 40 % Schweinegülleanteil und Reaktor 4 mit 40 % Abwasseranteil und 60 % Schweinegülleanteil. Des Weiteren wurde der Versuchsaufbau erklärt (Abbildung 1). Die Versuche wurden in vier Rührkesselreaktoren mit jeweils 10

Litern Volumen durchgeführt. Die gesamte Versuchsdauer betrug 53 Tage. Die hydraulische Verweilzeit wurde von 48 bis auf 12 Stunden verringert. Außerdem wurde in einem Zusatzversuch die hydraulische Verweilzeit von Reaktor 1 und 2 bis auf 6 Stunden verringert. Beim Zusatzversuch wurde das Abwasser und die Schweinegülle bei Reaktor 2 getrennt voneinander zugegeben. Die getrennte Zugabe sollte zeigen, dass die Mikroorganismen in der Schweinegülle die leicht vergärbaren Substanzen im Abwasser abbauten, bevor das Gemisch in den Reaktor gepumpt wurde. Während der Versuche wurden der Chemische Sauerstoffbedarf, der Biochemische Sauerstoffbedarf, der Ethanolgehalt, der Zuckergehalt, die organischen Säuren und der Trockenrückstand sowie der organische Trockenrückstand bestimmt.



Abbi: Versuchsaufbau der Rührkesselreaktoren

Die Ergebnisse der sich anschließenden Auswertung zeigten, dass sich Wasserstoff aus dem ausgewählten Abwasser gewinnen ließ. Durch Verringerung der hydraulischen Verweilzeit stieg die Wasserstoffproduktionsrate an. Mit Erhöhung des Schweinegülleanteils sank die Wasserstoffproduktionsrate allerdings ab. Die höchsten Wasserstoffproduktionsraten wurden beim Zusatzversuch mit einer hydraulischen Verweilzeit von 6 Stunden erzielt. Reaktor 1 kam auf $0,95 \text{ l H}_2/(\text{l Reaktor}\cdot\text{d})$ und Reaktor 2 auf $1,99 \text{ l H}_2/(\text{l Reaktor}\cdot\text{d})$. Außerdem zeigten die Ergebnisse, dass durch den Einsatz von Schweinegülle auf Natronlauge bzw. Schwefelsäure verzichtet werden konnte. Entscheidend war das richtige Mischungsverhältnis von Abwasser und Schweinegülle. Außerdem zeigten die Ergebnisse, dass das Abwasser und die Schweinegülle getrennt voneinander gelagert und zugegeben werden müssen.

Hybrides Projektmanagement in einem Planungsbüro - Konzeption und Integration durch die Anwendung agiler Methoden in der Termin- und Ressourcenplanung

Matthias Merkers M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Johannes Schwanitz
Zweitprüfer:	Marius Brinkmann M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	30. Juni 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	pbr Planungsbüro Rohling AG



Das hybride Projektmanagement wurde durch die Anreicherung der traditionellen Prozesse mit agilen Methoden entwickelt, das vor allem die Transparenz, Motivation und Effektivität des Projektteams steigern sollte. Die Anwendung wurde in einem Bauvorhaben umgesetzt. Hierbei sollten während einer Planungsphase die Termin- und Ressourcenplanung weiter ausgebaut und das Sprint Planning, Daily Sprint, Sprint Review und die Retrospektive aus dem Scrum und das Kanban-Board verwendet werden. Somit konnten die Strukturen und die Übersichtlichkeit des Projektes für die beteiligten verbessert werden.

Beginnend mit dem Sprint Planning konnten durch das Projektteam gemeinsam die Ziele und die zu bewältigen Aufgaben festgelegt werden. Den Beteiligten wurde zunächst das Bauvorhaben vorgestellt und Anforderungen sowie Eigenheiten des Bauvorhabens mitgeteilt. Dies führte zu einem ersten Wissensaustausch und ersten Diskussionen und Anregungen unter den Planungsbeteiligten. Es hat sich gezeigt, dass, anders als in der traditionellen Planung, bereits zum Beginn des Prozesses das Interesse der Beteiligten angesprochen wurde und deren Wissen und Erfahrungen für die Aufstellung des Terminplans verwendet werden konnte.

Die aufbauende Terminplanung brachte Struktur und eine erste Übersichtlichkeit in den Projektverlauf. Dem Projektteam konnte so ein gesamter Überblick über den Prozess verschafft und die Auswirkungen durch Änderungen und Verzug aufgezeigt werden. Vor allem die Festlegung der Dauer einzelner Vorgänge und die damit verbundenen Anfangs- und Endtermine der Arbeitspakete aber auch der Leistungsphase brachten für die Planung Sicherheit. Mit der Verknüpfung einzelner Vorgänge wurde der Terminplan weiter abgerundet und allen Beteiligten aufgezeigt, welchen Einfluss ihr Handeln auf die Belange der anderen Teammitgliederinnen und -mitglieder hat. Auch die Tätigkeiten in anderen Projekten konnten somit ohne Einfluss auf dieses Bauvorhaben durchgeführt werden, da durch diese Transparenz den Projektbeteiligten verdeutlicht wurde, wann welche Aufgaben starten und enden.

Die darauf angesetzte Ressourcenplanung diente der Projektleitung in erste Linie zur Überprüfung, ob die anstehenden Aufgaben durch das vorhandene Team bearbeitet werden kann. Zum einen hatte die Projektleitung somit die Möglichkeit, Überlastungen durch die Zuweisungen von Ressourcen zu erkennen und

dem entgegen zu wirken. Zum anderen konnte der Abteilungsleitung aufgezeigt werden, wann welche Projektbeteiligten mit welchen Aufgaben ausgelastet sind oder für anderen Projekte zur Verfügung stehen.

Da mit den agilen Methoden auch die Kommunikation in dem Projektteam gefördert werden sollte, wurde mit der Methode des Daily Sprints eine tägliche kurze Besprechung etabliert. Mit der Einführung des Kanban-Boards in diesem Projekt wurden die aus dem Sprint Planning erarbeiteten und in der Terminplanung eingesetzten Aufgaben auf ein virtuelles Whiteboard übertragen. Dem Projektteam wurde hierüber die Möglichkeit gegeben, sich die anstehenden Aufgaben selbst zuzuweisen, um so neben der Visualisierung der Aufgaben auch das Pflichtbewusstsein zu stärken. Durch die Begrenzung der gleichzeitig begonnenen Arbeiten wurde zudem verhindert, dass neue Aufgaben begonnen werden konnten, ohne die vorherigen zu beenden.

Aus Sicht der Projektleitung ist durch die Übertragung der Vorgänge aus dem Terminplan eine weitere Methode hinzugekommen, welche einen hohen Aufwand mit sich bringt. Zum einen müssen die Vorgänge aus dem Terminplan händisch auf das Kanban-Board übertragen werden und zum anderen erfordern Projektverzögerungen oder Änderungen stetig die Aktualisierung des Boards. Das Ergebnis dieser Methode zeigte jedoch, dass sich dieser Aufwand lohnt, denn es bringt nicht nur mehr Transparenz, sondern stärkt auch das Pflichtbewusstsein und die Effektivität der Projektbeteiligten.

Für ein besseres Fehlermanagement wurden das Sprint Review und die Retrospektive am Ende einer jeden Leistungsphase integriert. Hierbei soll das Team nicht nur über die erreichten Ergebnisse diskutieren, sondern auch den Prozess reflektieren. Das Ziel ist es, aus den gemachten Fehlern zu lernen und Prozesse zu optimieren, damit diese in nachfolgenden Leistungsphasen und Projekten effizienter ablaufen können. Sie sind somit die wichtigsten Ansätze der agilen Methoden, da sich hierdurch die Prozesse stetig verbessern können.

Das hybride Projektmanagement hat gezeigt, dass durch die Integration agiler Ansätze in die traditionelle Planung sowohl das Arbeiten als auch der Prozess für die Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter, der Projekt- bis hin zu der Abteilungsleitung positiv beeinflusst wurde.

Entwicklung eines Konzeptes zur Wärme- und Kälteversorgung für die Erweiterung eines Konferenzcenters mit Bürogebäude

Jonah Möller B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Jens Lenger
Datum des Kolloquiums:	9. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	Ingenieurbüro Temmen VDI GbR



Nichtwohngebäude tragen entscheidend zum deutschen Gesamtgebäudeenergieverbrauch bei. Außerdem können beim Errichten und Betreiben hohe Kosten entstehen. Deswegen ist es bei Bauvorhaben von Nichtwohngebäuden wichtig, die Technik, die Wirtschaftlichkeit und die ökologische Wirkung der Anlagen im Bereich Wärme- und Kälteversorgung genauer zu untersuchen.

Deshalb wurde für die geplante Erweiterung eines Konferenzcenters mit Bürogebäude ein passendes Konzept zur Wärme- und Kälteversorgung ausgearbeitet. Bei dem Bestandsgebäude handelt es sich um ein im Jahr 2012 eingeweihtes Bürogebäude. Die Erweiterung beinhaltet im ersten Abschnitt ein Konferenzcenter mit einem hohen Glasflächenanteil. Im zweiten Bauabschnitt soll der Gebäudekomplex um ein weiteres Bürogebäude erweitert werden, welches nahezu baugleich wie das Bestandsgebäude angedacht ist. Für die geplanten Erweiterungen wurde die Heizlast (864 kW) und die Kühllast (1069 kW) berechnet.

Die normativen und gesetzlichen Anforderungen der später zu untersuchenden Konzepte wurden betrachtet. Das EEWärmeG und die F-Gas-Verordnung sind in diesem Zuge näher erklärt worden.

Darauf basierend wurden vier verschiedene Anlagenkonzepte vorgestellt. Hierzu gehörten zum einen Gas-Brennwertkessel und Kaltwassererzeuger mit Rückkühlern, da dieses System zur Wärme- und Kälteerzeugung im Bestandsgebäude eingesetzt wird. Zum anderen wurden zwei Geothermie-Wärmepumpen untersucht. Die erste nutzt als Wärmequelle das Erdreich. Die zweite verwendet über Rückkühlwerke die Luft als Wärmequelle. Bei der Geothermie-Wärmepumpe mit Rückkühlern ist zusätzlich Gas-Brennwerttechnik nötig. Die vierte betrachtete Anlagenvariante war eine Luft-Wasser-Wärmepumpenkaskadenanlage.

Die benannten Konzepte sind daraufhin technisch, wirtschaftlich und ökologisch verglichen worden.

Beim technischen Vergleich wurden Bereiche wie Platzbedarf und Geräuschemission betrachtet. Die Energieeffizienz ist ebenfalls untersucht worden. Es wurde deutlich, dass die Wärmepumpenanlage mit Erdsondenfeld den niedrigsten Energieverbrauch hat. Beim benötigten Platzbedarf fiel auf, dass die Luft-Wasser-Wärmepumpenkaskade sehr viel Platz einnimmt. Die gesetzliche Umsetzbarkeit war ein weiterer wichtiger Faktor, da die erste Anlagenvariante das EEWärmeG nicht einhält, sodass bei einer Umsetzung beispielsweise bauliche Ersatzmaßnahmen nötig wären.

Die Wirtschaftlichkeitsanalyse ist auf Basis der VDI-Richtlinie 2067-1 durchgeführt worden. Die Kosten teilen sich in kapital-, bedarfs- und betriebsgebundene Kosten auf. Ein Kostenverlauf über 20 Jahre wurde aufgestellt und mögliche staatliche Förderungsmöglichkeiten durch das BAFA und die KfW-Bankengruppe sind thematisiert worden. Bei der Betrachtung des Kostenverlaufs fiel auf, dass die Wärmepumpenanlage mit Rückkühlwerken und zusätzlicher Brennwertkesselkaskade in den ersten sieben Betriebsjahren am kostengünstigsten ist. Nach Ablauf der sieben Jahre wird trotz ihrer hohen Investitionskosten die Geothermie-Wärmepumpe mit Erdsondenfeld die günstigste Variante. Hauptgrund hierfür sind die staatlichen Förderungsmaßnahmen. Ohne die Förderungen wäre dies nach 10,5 Jahren der Fall.

Beim ökologischen Vergleich wurden der CO₂-Ausstoß und die Umweltverträglichkeit der genutzten Kältemittel thematisiert. Die Menge an CO₂-Äquivalent durch den Einsatz von Kältemitteln ist bei der Luft-Wasser-Wärmepumpe am größten. Der größte CO₂-Ausstoß tritt bei der dritten Anlagenvariante auf.

Zuletzt wurde im Fazit nach Auswertung der Vergleichspunkte die Wärmepumpenanlage mit Erdsondenfeld als Konzept zur Wärme- und Kälteerzeugung für die Erweiterung des Konferenzcenters mit Bürogebäude empfohlen. Neben der guten Energieeffizienz und der niedrigen CO₂-Emission ist vor allem die finanzielle Unterstützung durch die staatlichen Förderungen ein Vorteil dieses Anlagenkonzeptes. Die geringen bedarfs- und betriebsgebundenen Kosten lassen das Konzept zukunftsfähig erscheinen, obwohl die Investitionskosten sehr hoch sind.

Die vorgestellten Ergebnisse müssten bei Ausführung des Projektes durch weitere Untersuchungen erweitert werden. Die genaue Umsetzung des Erdsondenfeldes hängt von der tatsächlichen Entzugsleistung des Erdbodens ab. Diese ist durch einen Geothermal-Response-Test zu ermitteln. Die Prüfung der passenden Bohrtiefe muss zudem im weiteren Verlauf der Planung des Erdsondenfeldes durchgeführt werden.

Entwicklung und Anwendung eines Berechnungsmodells zur ökonomischen Bestimmung des am besten geeigneten WEA-Typen am Beispiel des Standortes Uplengen

Jonas Nahrwold B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Tobias Rieke
Zweitprüfer:	Dipl. -Kfm. Vitali Eck
Datum des Kolloquiums:	8. Juli 2021
Bachelor-Studiengang: Studienrichtung:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	ENOVA Energieanlagen GmbH



Diese Arbeit ist in Zusammenarbeit mit der Firma ENOVA Energieanlagen aus Bunderhee entstanden. Das Kerngeschäft der über 30-jährigen Firma ENOVA dreht sich um die Erzeugung elektrischer Energie aus der Kraft des Windes und teilt sich in die Bereiche Onshore Projektentwicklung, Technische Betriebsführung, Service und Investment & Assetmanagement auf.

In Deutschland steht eine Vielzahl von Projektentwicklern für Onshore-Windenergie regelmäßig vor der Herausforderung den wirtschaftlichsten Windenergieanlagentyp für verschiedene Standorte zu ermitteln. In dieser Betrachtung müssen sowohl rechtliche Einschränkungen, z.B. Abstände zu Wohnbebauung oder Höhenbegrenzungen, wie auch technische Randbedingungen, z.B. durch die vorherrschenden Windverhältnisse, berücksichtigt werden.

Für die nach einer ersten Vorauswahl in Frage kommenden Windenergieanlagen kann nun mit Hilfe eines Exceltools eine Wirtschaftlichkeitsberechnung durchgeführt werden. Das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung ist neben anderen Kennzahlen vor allem die Eigenkapitalrentabilität. Sie gibt die Verzinsung des eingesetzten Eigenkapitals über die Projektlaufzeit von in der Regel 20 Jahren wieder. Bei einer kritischen Betrachtung der Eigenkapitalrentabilität stellte sich heraus, dass die alleinige Betrachtung unzureichend ist. Als zusätzliche Kennzahl wurde der Kapitalwert eingeführt. Als nicht entscheidendes Kriterium für oder gegen eine Investition dient die Amortisationsdauer. Sie gibt lediglich Auskunft darüber bis wann das eingesetzte Kapital wiedererwirtschaftet wird und damit über das mit der Investition verbundene Risiko.

Das entwickelte Berechnungsmodell wurde am Beispiel des geplanten Windparks in Uplengen im Landkreis Leer in Niedersachsen erprobt. Hier wurde eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für drei Windenergieanlagen von drei verschiedenen Herstellern durchgeführt. Als Ergebnis stellte sich heraus, dass ein wirtschaftlicher Betrieb aller drei Windenergieanlagentypen gegeben ist. Die Windenergieanlage eines Herstellers überzeugte jedoch in allen Bereichen. Sie besaß die höchste Eigenkapitalrentabilität und hatte die niedrigsten Stromgestehungskosten.

Die Entwicklung dieses Berechnungsmodells hat eine Zeitersparnis für die Firma ENOVA gebracht. Außerdem profitieren die Projektentwicklung und das Investment und Assetmanagement von positiven Synergieeffekten.

Nationale KWK-Potenzialanalyse für die Vertriebssteuerung der 2G Energy AG

Beate Niehoff M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M. Eng. Philip Denne
Datum des Kolloquiums:	9. Juni 2021
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	2G Energy AG



Deutschland hat sich ambitionierte Ziele bis 2050 gesetzt. Der Anteil der erneuerbaren Energien am Bruttostromverbrauch soll auf 80 % steigen und der Treibhausgasausstoß um 80 bis 95 % gegenüber 1990 verringert werden. Das Energiesystem steht vor einem großen Wandel. Der Kernenergie- und Kohleausstieg sind beschlossen. All das bringt viele Herausforderungen mit sich.

Die Kraft-Wärme-Kopplung (KWK) könnte durch ihre effiziente Erzeugung von Strom und Wärme einen wichtigen Beitrag leisten. In dieser Arbeit soll daraufhin herausgestellt werden, wie sich das zukünftige Energiesystem unter Erreichung der Klimaschutzziele entwickelt und welche Entwicklungen sich dabei positiv auf den KWK-Ausbau auswirken. Unter der Berücksichtigung der Interessen des BHKW-Herstellers 2G Energy AG soll herausgestellt werden, welche Produkte zukünftig besonders gefragt sind und ob das KWK-Potenzial regional unterschiedlich ist. Darüber hinaus soll untersucht werden, wie der Vertrieb von 2G dahingehend durch eine leistungsgerechte Vergütung motiviert werden kann.

Die KWK-Erzeugung ist in den letzten Jahren überwiegend kontinuierlich gestiegen, was vor allem an der Förderung durch KWKG und EEG liegt. Die weitere Entwicklung bis 2050 wird anhand einer Potenzialanalyse untersucht. Hierzu wird ein Literatur-Review durchgeführt, indem zehn verschiedene Studien untersucht werden, die die Entwicklung des Energiesystems bis 2050 anhand von Szenarien darstellt. Diese Szenarien zeigen, wie sich unter anderem die Strom-, Wärme- und KWK-Erzeugung unter den gesetzten Rahmenbedingungen entwickeln.

Ausgehend davon, dass Deutschland seine Klimaziele erreicht, muss sich das Energiesystem dementsprechend anpassen. Bei der Untersuchung konnten einige Wirkungsmechanismen erkannt werden. Um 80 % der Treibhausgase (THG) seit 1990 zu verringern erfordert es einen Mindestanteil der erneuerbaren Energien an der Stromerzeugung im Jahr 2050 von knapp 80 %. Bei 95 % THG-Minderung liegt der Anteil im Schnitt bei 95 %. Der Anteil von Wind und PV an der gesamten Stromproduktion steigt signifikant. Um die THG zu mindern werden dabei vor allem der Wärme- und Verkehrssektor elektrifiziert. Je höher das gesetzte Klimaschutzziel ist, desto höher wird dadurch die jährliche Stromerzeugung sein. Bei einer 95 % THG-Minderung nehmen erdgasbetriebene Anlagen im Zeitraum von 2030 bis 2035 eine entscheidende Rolle ein und erleben einen Anstieg, da sie

die bereits abgeschalteten Kohlekraftwerke ersetzen. Bei 80 % THG-Minderung bleibt der Kohleeinsatz länger bestehen, sodass der Erdgaseinsatz nicht ansteigt.

Die Untersuchung hat gezeigt, dass vor allem die Entwicklung des CO₂-Preises und der Anteil der erneuerbaren Energien am Stromverbrauch ein Indiz für die Entwicklung der KWK ist. Ein moderater CO₂-Preis, der zwischen 20 und 65 €/t liegt, hat sich als vorteilhaft für die KWK dargestellt. Dieser sorgt dafür, dass z. B. Kohle reduziert wird und schafft den Anreiz fossile Ressourcen wie Erdgas effizient zu nutzen. KWK bleibt dann konkurrenzfähig und wird ausgebaut. Bei höheren CO₂-Preisen reduziert sich die Vorteilhaftigkeit der KWK, da die Erzeugung von Wärme in Elektroheizkesseln oder Wärmepumpen zunehmend ökonomisch attraktiv wird. In diesem Zusammenhang ist auch der Anteil der erneuerbaren Energien entscheidend. Bis zu einem Anteil von 60 bis 70 % erneuerbare Energien an der Stromerzeugung wird KWK verstärkt eingesetzt. Bei höheren Anteilen ist es teilweise günstiger, Strom in Elektroheizkesseln zur Wärmeerzeugung zu nutzen, sodass die KWK-Anteile wieder sinken. Je nachdem wie ambitioniert die Klimaschutzziele verfolgt werden, wird die KWK also früher oder später ihren Höhepunkt erreichen.

Darüber hinaus ist für zG besonders interessant, dass die Nachfrage nach kleineren Anlagen immer weiter steigt. Hierbei sind vor allem Anlagen bis 50 kW elektrischer Leistung bei der Objektversorgung gefragt, aber auch etwas größere BHKWs für die Versorgung von Wärmenetzen. Denn auch die Fernwärme wird durch die Möglichkeit verschiedene Techniken einzusetzen voraussichtlich ausgebaut.

Regionale Unterschiede hinsichtlich der Nachfrage konnten dabei nicht genau quantifiziert werden, da sehr viele Faktoren berücksichtigt werden müssen. Es zeigt sich zwar der Trend, dass sich besonders der südwestliche Teil Deutschlands für KWK eignet, es konnten aber keine belastbaren Werte für die Vertriebssteuerung der zG herausgestellt werden. Um dennoch die Vergütung für die Mitarbeiter im Vertrieb leistungsgerechter zu gestalten, wurde eine Lösung erarbeitet, bei welcher ein Teil der Vergütung über eine Zielprämie bestimmt wird. Diese umfasst verschiedene Ziele, die unterschiedlich gewichtet werden und je nach Erreichungsgrad bekommt der Mitarbeiter einen prozentualen Anteil der Zielprämie. Dabei wird auch eine Übererfüllung mit bis zu 120 % der Zielprämie entlohnt, sodass sich Mehrleistung lohnt. Damit wird der Mitarbeiter zusätzlich motiviert, die Ziele zu erfüllen.

Analyse und Optimierung der CAD-gestützten Erstellung und Prüfung der Montageplanung für Kühldeckensysteme

Vo Quan Nguyen B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Matthias Winkelhaus M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	24. August 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
In Kooperation mit:	emco Klima GmbH



Die Kühlung mit thermisch aktiven Flächen wird aufgrund des Anstieges der inneren Lasten in Büroräumen und der Einhaltung der Grenzwerte zur thermischen Behaglichkeit immer populärer. Die Kühldecke ist eine Ausführungsmöglichkeit der thermisch aktiven Flächen. Kombiniert mit einem hygienisch notwendigen Außenluftvolumenstrom ist der Einsatz eines Kühldeckensystems eine günstige Variante, um die thermische Behaglichkeit in Räumen zu wahren.

Kühldeckensysteme gehören zum Produktportfolio der emco Klima GmbH. Die emco Klima GmbH vertreibt und liefert nicht nur die Komponenten einer vollständigen Kühldecke, sondern montiert diese auch. Es werden dafür verschiedene Zeichnungen erstellt, in denen der Installateur die nötigen Informationen erhält, um eine technisch einwandfreie Kühldecke zu errichten.

Bevor die Zeichnungserstellung beginnen kann, erfolgt eine detaillierte Auslegung, die Auskünfte zu der Hydraulik in den einzelnen Räumen ausgibt. Auf Basis dieser können die Kühldeckensysteme in die verschiedenen Raumgeometrien gezeichnet werden. Dazu werden die Bauteile aus Bestandszeichnungen zusammengesetzt und angepasst.

Ziel der Abschlussarbeit war es die bestehenden Prozesse zu analysieren, Optimierungspotentiale aufzuzeigen und die Umsetzung der Maßnahmen einzuleiten. Eine Optimierung soll die Prozesse in der Zeichnungserstellung zusammenfassen, sortieren und beschleunigen. Realisiert wird die Optimierung mittels verschiedener Bauteilbibliotheken innerhalb von Zeichnungsvorlagen. Die Bibliotheken beinhalten die jeweils benötigten Bauteilkomponenten in Form von Blöcken, um eine vollständige Zeichnung zu erstellen. Blöcke sind vorgefertigte Zeichnungsobjekte, die sich durch einfache Griffe und Voreinstellungen ändern lassen. Durch die Zeichnungsvorlagen sind die Grundeinstellungen schon vorgenommen worden, sodass sie nicht in jeder Zeichnung erneut hergestellt werden müssen. Die Zeichnungserstellung beruht nur noch darauf, Blöcke aus der Bibliothek einzusetzen und anschließend mit geringem Aufwand anzupassen.

Mithilfe des CAD-Programms können anschließend die Daten einzelner Bauteile erfasst werden. Die Datenextraktion verschafft mit einer tabellarischen Zusammenstellung die Eingangsparameter der Datenanalyse. Aufgrund des maßstabgetreuen Konstruierens der Kühldeckenzeichnungen werden so zuverlässige Parameter ausgegeben, die anschließend umgewandelt werden können.

Die Erstellung technischer Zeichnungen mithilfe der Bauteilbibliothek steigert die Effizienz der Zeichnungserstellung und erfüllt somit die Zielsetzung. Mit den Blöcken, der Bibliothek und den Zeichnungsvorlagen wird eine übersichtliche Struktur errichtet, die oft wiederholende Prozesse zusammenfasst.

Dennoch ist die Optimierung der Zeichnungserstellung im Rahmen dieser Abschlussarbeit nicht abgeschlossen. Es gilt nun die weiteren Kühltanksysteme der emco Klima GmbH zu erfassen und die bestehenden Zeichnungsvorlagen an die Anwendung auszubauen. Weiterhin wird mit der Datenextraktion eine Grundlage für die Datenanalyse geschaffen. Im nächsten Schritt soll softwareseitig in einem Tabellenkalkulationsprogramm eine Anwendung entwickelt werden, mit dieser Aussagen zu Materialmengen und zur Hydraulikberechnung getätigt werden können.

Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz durch industrielle Abwärmenutzung am Beispiel einer Gießerei

Louis Övermann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dipl. Ing. (FH) Philipp Grunewald
Datum des Kolloquiums:	8. April 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik



Im Rahmen dieser Arbeit sollte geklärt werden, ob industrielle Abwärme zu der Verbesserung der betrieblichen Energieeffizienz einer Gießerei genutzt werden kann.

Dafür wurden verschiedene Technologien vorgestellt, die die entstehende Abwärme nutzbar machen. Unterteilt werden diese in drei verschiedene Anwendungsbereiche:

- Anlagen- bzw. prozessinterne Nutzung
- Betriebsinterne Nutzung
- Externe Nutzung

Anschließend werden die betrachteten Anlagen vorgestellt und ihre Funktionsweise erläutert. Dabei werden sie auf ihre Energieverbräuche, ihre Laufzeiten und ihr Abwärmepotenzial überprüft.

Im nächsten Schritt wurden die ermittelten Technologien mit den betrachteten Anlagen zusammengeführt, um zu ermitteln, wo eine Nutzung der entstehenden Abwärme sinnvoll ist. Dabei sind verschiedene Probleme aufgetreten, die eine Nutzung der vorhandenen Abwärme verhindern oder unmöglich machen. Bei einigen Anlagen ist die Nutzung der Abwärme nicht möglich, da diese nur diffus an die Umgebung abgegeben wird, anstatt an ein Trägermedium gebunden zu werden. Bei anderen Anlagen ist keine hinreichend genaue Datenlage gegeben, um daraus ein Nutzungskonzept zu entwickeln. Bei einem zu geringen Temperaturniveau der Abwärme, ist diese ebenfalls nicht verwertbar. Gleiches gilt für potenziell nutzbare Abwärme, dessen thermische Leistung für eine Nutzung zu gering ausfällt. Es gibt auch Anlagen wo keine neuen Nutzungskonzepte erstellt wurden, da diese Anlagen ihre anfallende Abwärme bereits sinnvoll nutzen.

Dafür wird das Prinzip der Wärmerückgewinnung genutzt. Diese substituiert einen Teil des benötigten Primärenergiebedarfes oder dient zum Heizen der Werkshalle. Prozessinterne Nutzung von Abwärme ist die einfachste und meist günstigste Art der Abwärmenutzung. Sie sollte aus diesem Grund bevorzugt verwendet werden.

In dieser Arbeit konnte keine energetische Optimierung der Gießerei durch die Nutzung von Abwärme erreicht werden. Da es sich bei der betrachteten Gießerei

um eine Prototypen-Gießerei handelt, die nicht auf Massenfertigung ausgelegt ist, fällt deutlich weniger Abwärme an als bei Großgießereien.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass es durchaus möglich ist die betriebliche Energieeffizienz einer Gießerei durch die Verwendung von Abwärme zu verbessern, auch wenn dies bei der hier betrachteten Gießerei nicht der Fall ist.

Differenzierte Betrachtung der Korngrößen-spezifischen Wirksamkeit von Sedimentationsstufe und Filtereinheit in einem technischen Regenwasserfilter

Niklas Olbertz B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Thorsten Schmitz M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	28. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Technikum Hydraulik und Stadthydrologie



Zur Behandlung von Oberflächenabflüssen stehen unterschiedliche Möglichkeiten zur Verfügung. Eine der am häufigsten Behandlungsarten im urbanen Raum im Trennsystem sind Regenklärbecken. Mit dem neu eingeführten Parameter AFS63 kann nunmehr der Schadstoffeintrag an Feinstoffen durch Oberflächenabflüsse quantifiziert werden. Untersuchungen zeigen, dass Regenklärbecken eine eingeschränkte Reinigungsleistung in Bezug auf AFS63 aufweisen. Um die Fracht an AFS63 zuverlässig reduzieren zu können, müssen weitere Reinigungsmöglichkeiten gefunden werden.

Eine dieser Möglichkeiten ist die Behandlung mit technischen Regenwasserfiltern. Diese sind im dezentralen Maßstab bereits auf dem Markt verfügbar. Inzwischen gibt es neue Ansätze diese dezentralen Systeme auf ein zentrales System auszuweiten, um die Anschlussfläche zu erhöhen. Einige Ansätze zur Bemessung von technischen Regenwasserfiltern sehen in der Behandlungsanlage, neben der Filtereinheit, auch eine Sedimentationsstufe vor.

Das Ziel dieser Arbeit war es, die Wirksamkeiten von Sedimentationsstufe und Filtereinheit, und deren Kombination, in Abhängigkeit der Regenspende in einem technischen Regenwasserfilter eingehender zu betrachten. Ein weiteres Ziel war es, die hieraus resultierende Beladung des Filters zu ermitteln, um eine Einschätzung der Betriebszeit der Filterschüttung geben zu können. Zunächst wurden dafür die Niederschlagsdaten der Städte Münster und Steinfurt ausgewertet. Es sollte betrachtet werden, welchen Anteil eine bestimmte Regenspende im Verhältnis zur Gesamtniederschlagsmenge ausmacht. Ein nächster Schritt war die Ermittlung der Wirksamkeiten der Sedimentation und des Filters. Die verschiedenen Partikelgrößen wurden in Intervalle unterteilt und ausgewertet.

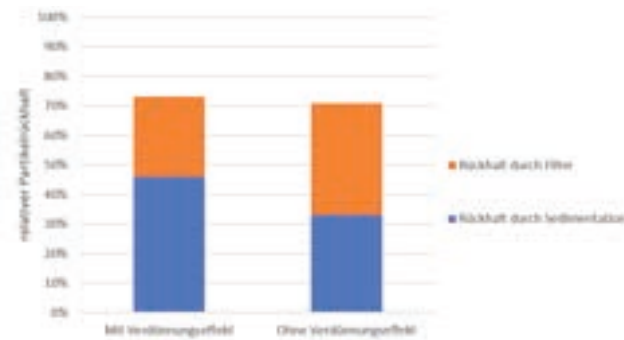


Abb. 1: Relativer Partikelrückhalt für einen technischen Regenwasserfilter unterteilt in Filtereinheit und Sedimentationsstufe mit Standort Steinfurt bei einer Gesamtzulaufmasse von 66 g/(m²a)

Aus den Wirksamkeiten, der mittleren Feststoffkonzentration, der Korngrößenverteilung und den Regenspenden konnten die jährlichen Partikelrückhalte pro Quadratmeter Anschlussfläche ermittelt werden. Mittels Schüttdichte konnte anschließend das Volumen der Schmutzfracht ermittelt und über das Porenvolumen der Filterschüttung die Betriebszeit der jeweiligen Filterschüttung errechnet werden. Mit Verdünnungseffekt ergab sich eine rechnerische Laufzeit von 193 Tagen und ohne Verdünnungseffekt von 139 Tagen. Neben der Betrachtung der beiden Fälle, kann der Verdünnungseffekt auch über das Sedimentationsraumvolumen herausgerechnet werden. Hierbei ergibt sich eine Laufzeit der Filterschüttung von 150 Tagen.

Die Grenzen von „mit“ und „ohne Verdünnungseffekt“ zeigen die beiden Extremfälle. Bei einem Filter ohne Verdünnungseffekt wäre eine kontinuierliche Beladung des Filters der Fall. Da Regenereignisse, zumindest in Deutschland, nicht diesen Charakter aufweisen, ist bei einer im Dauerstau befindlichen Sedimentationsstufe immer mit einem Verdünnungseffekt zu rechnen. Der andere Extremfall ist ein vollkommener wiederkehrender Verdünnungseffekt bei jedem Regenereignis, erläutert für die Daten „mit Verdünnungseffekt“. Da das Ausmaß des hier gemessenen Verdünnungseffektes vor allem auf langen Trockenphase beruht, ist auch diese Annahme nicht vollkommen realistisch. Regenereignisse können durchaus kurz hintereinander folgen, so dass die vollständige Sedimentation nicht stattfinden konnte. Aus diesen Gründen wird der reale Wert zwischen den Laufzeiten mit und ohne Verdünnungseffekt liegen. Die Methode, den Verdünnungseffekt herauszurechnen, zeigt, dass die resultierende Laufzeit zwischen diesen Werten liegt, und eine realistische Einordnung ergibt.

Sowohl die Versuche als auch die Berechnungen zeigen, dass ein Rückhalt von AFS63 mit technischen Regenwasserfiltern möglich ist und Reinigungsleistungen von Regenklärbecken weit übersteigen. Die Sedimentationsleistung der Regenwasserfilter ist jedoch nur begrenzt möglich und dient vor allem einer ersten Grobstoffabscheidung. Die Laufzeiten des Filters zeigen allerdings auch, dass der Bemessungsansatz von 1 ha Anschlussfläche pro 2,5 qm Filterfläche oder einer Schütthöhe von 15 cm zu klein gewählt ist. Bei dieser Bemessung wäre eine halbjährliche oder sogar dritteljährliche Spülung der Filterschüttung notwendig. Ob eine Verdopplung der Filterfläche oder der Filterschüttung auch zu einer Verdopplung der Betriebszeit führen würde, müsste mit Hinblick auf diese Problematik noch mit Versuchen geprüft werden.

Technische Regenwasserfilter bieten ein großes Potential für die Niederschlagsbehandlung im urbanen Raum. Sie haben ein gutes Verhältnis zwischen Raumbedarf und Reinigungsleistung und können mit weiterer Entwicklung noch weiter optimiert werden. Die Abschlussarbeit leistet einen Beitrag sowohl für die Analyse der Partikelrückhalte der verschiedenen Stufen eines Regenwasserfilters als auch für die Abschätzung der Filterschüttung und der Filtergröße.

Bestimmung des optimalen Designs von Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland (2021)

Max Leonhard Orlowski B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Nikolas Specht (M.Sc.)
Datum des Kolloquiums:	28. Oktober 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energie- und Umwelttechnik
in Kooperation mit:	SK Solar Energy GmbH



Die massive Senkung der Photovoltaik-Komponentenkosten innerhalb der letzten 10 Jahre, bei gleichzeitig stark steigenden Pachtkosten für Freiflächen, hat die Frage aufgeworfen, welches Anlagendesign die Rahmenbedingungen im Jahr 2021 am besten widerspiegelt und für die Betreiber die wirtschaftlichste Lösung darstellt. Die Bestimmung des wirtschaftlich besten Anlagendesigns hängt dabei vor allem von Einflussfaktoren im wirtschaftlichen, technischen und gesetzlichen Bereich ab. Der Titel dieser Arbeit lautet daher: „Bestimmung des optimalen Designs von Photovoltaik-Freiflächenanlagen in Deutschland (2021)“.

Um die Forschungsfrage zu beantworten, wurde simulationsbasiert gearbeitet. Es wurde eine Referenzanlage definiert, die dem Standard einer Freiflächenanlage entspricht. Mit festen gesetzlichen und verschiedenen technischen und wirtschaftlichen Parametern, wurde ein Simulationsraster erstellt, welches ein breites Spektrum eines möglichen Anlagendesigns abbildet. Über eine Plausibilitätsrechnung wurden die Ergebnisse der Simulationen validiert. Ziel war es, eine wirtschaftlichere Anlage, als die Referenzanlage zu simulieren.

Die Simulationen haben gezeigt, dass die Referenzanlage, nach wie vor, eine wirtschaftliche Anlage darstellt. Am wirtschaftlichsten war eine Anlage mit großem Reihenabstand und großer Modulneigung Richtung Süden.

Dies zeigt, dass eine Photovoltaik-Freiflächenanlagen als Volleinspeiseanlage, entgegen der Tendenz in der freien Wirtschaft, mit großem Reihenabstand und großer Modulneigung, am wirtschaftlichsten ist. Daher ist die Empfehlung Anlagen mit diesem Zweck, mit den eben genannten Parametern, zu realisieren.

Marek Pfeil B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer: M. Eng. Dominik Czwick
Datum des Kolloquiums: 2. Juni 2021
Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Energie- und Umwelttechnik



Durch die immer weiter steigende Nachfrage nach Wohnraum im urbanen Raum verringern sich die Bestände von unbebauten Flächen, natürlichen Wiesen oder Grünanlagen, obwohl aufgrund des voranschreitenden Klimawandels diese Flächen und Anlagen für die Lebensqualität in dicht besiedelten Räumen von großer Bedeutung sind. Bäume an Straßenrändern oder in Parkanlagen haben neben ästhetischen auch viele wichtige ökologische Funktionen. Inmitten zahlreicher Häuser sorgen Bäume in Städten durch ihre imposanten Erscheinungsbilder nicht nur für eine Steigerung der Attraktivität und ein Naturerlebnis, sondern auch zur Milderung des Wärmeinseleffekts, zur Filterung von Schadstoffen aus der Luft, zur Speicherung von Kohlenstoff sowie zur Abkühlung der Umgebung durch Transpiration und Beschattung. Aus diesen Beispielen wird deutlich, dass Bäume unabdingbar sind für die Lebensqualität in den Städten. Diese Ökosystemleistungen können aber nur von den Bäumen erbracht werden, wenn eine ausreichende Versorgung mit Wasser, Luft und Nährstoffen vorhanden ist. Im Rahmen dieser Arbeit wurden die Einflüsse, die die allgemeine Versorgung der Bäume beeinflussen, dargestellt und geben Aufschluss, wie eine Versorgung im urbanen Raum weitestgehend garantiert werden kann.

Durch die Strukturen im städtischen Raum sind die Standorte der Bäume im urbanen Raum stark beeinflusst. Hohe und dichte Bebauungen sowie Versiegelungen und Verdichtungen der Böden sind keine optimalen Voraussetzungen für eine ausreichende Versorgung und eine einhergehende hohe Vitalität der Bäume. Vor allem die Versiegelungen der Böden verursachen, dass kein Wasser in die Böden versickern und von den Wurzeln aufgenommen werden kann. Die negativen Einflüsse des Standortes werden durch die klimatischen Bedingungen im urbanen Raum deutlich verstärkt. Die geringe Windzirkulation durch Gebäude, die Schadstoffbelastung der Luft sowie die Hitzebelastung sind nur einige Aspekte, die zu dem Wärmeinseleffekt in Städten beitragen und die Gesundheit der Bäume sowie der Menschen stark beeinträchtigt.

Diese Effekte des städtischen Klimas werden durch den voranschreitenden Klimawandel über die nächsten Jahrzehnte drastisch verstärkt. Vor allem lange Perioden von Hitze und Trockenheit sowie geringer Niederschlag im Sommer sind ein großes Problem für Stadtbäume. Die klimatischen Veränderungen und die sowieso eingeschränkte Versorgung im urbanen Raum machen ein Überleben von Bäumen sehr schwer.

Aufgrund dieser Tatsache ist es von großer Bedeutung an Systemen zu arbeiten und zu forschen, die dafür geeignet sind eine Versorgung der Bäume im urbanen Raum zu garantieren. Die in der Arbeit vorgestellten Systeme zeigen, dass verschiedene Prinzipien oder Techniken eine direkte und wassersparende Versorgung sicherstellen können.

Neben der Forschung nach geeigneten Systemen ist die Forschung nach geeigneten Baumarten ebenfalls sehr wichtig. Die zahlreichen Listen von geeigneten Stadtbäumen müssen ständig durch weiterführende Erkenntnisse erweitert werden, um auf Veränderung im Klima gefasst zu sein.

Aufgrund der zunehmenden Anforderungen an die Bäume durch ihren Standort und das Klima ist es sehr wichtig eine permanente Versorgung der Bäume durch Systeme zu ermöglichen. Durch die Auswahl von geeigneten Baumarten für den urbanen Raum, die mit geeigneten Systemen gepflanzt werden, kann ein langes Überleben der so wichtigen Stadtbäume und ihrer Funktionen gesichert werden.

Malte Philipps M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dipl.-Ing. Andreas Grübel

Datum des Kolloquiums: 17. Dezember 2021

Master-Studiengang: Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung: Energietechnik



Das bestehende Geschäftsmodell kommunaler Energieversorgungsunternehmen steht durch eine hohe Anzahl an Wettbewerbern sowie sinkenden Vertriebsmengen von Strom und Erdgas unter Druck. Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein kundenorientierter Ansatz verfolgt, um dieses bestehende Geschäftsmodell zu innovieren und neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. In der Literaturrecherche wurde der Megatrend der Nachhaltigkeit als besonders vielversprechend identifiziert, an welchem sich künftige Geschäftsmodelle orientieren sollen. Außerdem wurde das Business Model Canvas als ideale Grundlage zur Entwicklung neuer Geschäftsmodelle in dieser Untersuchung ausgewählt.

Um den Kunden in den Mittelpunkt dieser Geschäftsmodelle zu stellen, wurden die Bedürfnisse von Kunden kommunaler Energieversorgungsunternehmen ermittelt. Dazu wurde als Erhebungsinstrument die quantitative Umfrage, genauer gesagt der standardisierte Online-Fragebogen gewählt. An der Befragung nahmen insgesamt 364 Personen teil. Aufgrund der ungleichen Altersverteilung wurde ein Quotaverfahren nach Altersklassen genutzt, um die Stichprobe zu ermitteln. Die Größe der Stichprobe betrug demnach 95 Personen. Um die Befragten auf Grundlage Ihrer Präferenzen und ihrer Einstellungen in Gruppen aufzuteilen, wurde die Clusteranalyse gewählt. Auf Grundlage dieser Clusteranalyse nach dem Ward-Verfahren wurden insgesamt fünf verschiedene Gruppen identifiziert und als zielgruppenspezifische Prototypen, die sogenannten Personas definiert.

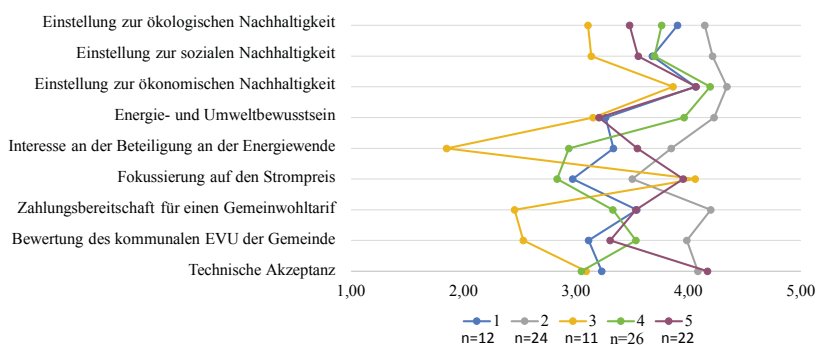


Abb. 1: Auswertung der Clusteranalys

Es entstanden somit insgesamt fünf Cluster, die als „Indifferente“, „nachhaltige Unterstützer“, „preisfokussierte Ablehner“, „umweltbewusste Uninteressierte“ und „preisfokussierte Interessierte“ unterteilt und als beispielhafte Persona definiert wurden. Auf Grundlage der Werteeinstellung und Produktpräferenzen der Cluster der nachhaltigen Unterstützer sowie der preisfokussierten Interessierten wurde, mit Hilfe des Value Proposition Canvas, ein Werteangebot erstellt, welche sich in den zu entwickelnden Business Model Canvas wiederfinden sollten.

Im Anschluss wurde das ursprüngliche Business Model Canvas durch Anregungen aus der Literatur zum „Sustainable Business Model Canvas für die Weiterentwicklung kommunaler Energieversorgungsunternehmen“ weiterentwickelt. Mit diesem weiterentwickelten Business Model Canvas wurden drei innovative Geschäftsmodelle für den Vertrieb in kommunalen Energieversorgungsunternehmen entwickelt: „Sustainable E-Commerce“, „Orchestrator kommunaler Mobility-Dienstleistungen“ sowie das Modell „Experience based Subscription für den Commodity-Vertrieb“. Für das Modell „Sustainable E-Commerce“ wurde eine beispielhafte Wirtschaftlichkeitsbetrachtung mit Hilfe der Kapitalwertmethode berechnet, welche aufgrund der hohen, zu erzielenden Absatzzahlen als eher unwirtschaftlich eingestuft wurde. Es wurden jedoch Argumente gefunden, das Geschäftsmodell trotzdem zu verfolgen. Abschließend wurde für das im E-Commerce vertriebene Produkt, die steckerfertige PV-Anlage, eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung aus Kundensicht durchgeführt.

Zur besseren Einordnung der Ergebnisse muss jedoch erwähnt werden, dass die Arbeit keinen repräsentativen Charakter vorweisen kann. Die Stichprobe in der Untersuchung ist mit 95 Teilnehmern recht niedrig und einige der im Online-Fragebogen genutzten Multi-Item Skalen weisen geringe Reliabilitätswerte auf. Außerdem basiert die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung überwiegend auf Annahmen. Zukünftige Untersuchungen sollten vor allem die Ergebnisse aus der Online-Umfrage durch Kundeninterviews validieren. Die in dieser Arbeit entwickelten Geschäftsmodelle lassen sich außerdem in ihrem Kern bereits im Markt finden. Weitere Untersuchungen sollten sich mit der Frage beschäftigen, welches einzigartige Angebot in einer Kommune entstehen kann, eventuell fernab vom Energiegeschäft.

Variantenstudie zur betriebstechnischen und energetischen Optimierung eines Trinkwasser-Speicherpumpwerks

Svenja Piero B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	B.Ing. Kristofer Root
Datum des Kolloquiums:	8. April 2022
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Stadtwerke Delmenhorst GmbH



Die Stadtwerke Delmenhorst GmbH versorgen das Stadtgebiet Delmenhorst über ihr Wasserwerk Annenheide und eine Zulieferung durch einen benachbarten Versorger mit rund 4.300.000 m³ Trinkwasser pro Jahr. Zusätzlich gehören zum Wasserversorgungssystem zwei Druckerhöhungsanlagen und ein Speicherpumpwerk nahe der Stadtmitte.

Das Pumpwerk soll Schwankungen des Wasserbedarfs ausgleichen und die Versorgungssicherheit im Netzgebiet erhöhen. Bei geringer Wasserabnahme in der Nacht wird die Speicherkammer aus dem Versorgungsnetz befüllt. Bei höherer Wasserabnahme tagsüber wird das gespeicherte Wasser ins Netz zurückgespeist. Dafür stehen drei baugleiche, mehrstufige Kreiselpumpen zur Verfügung.

Diese sind allerdings für den alltäglichen Betrieb überdimensioniert, was die Förderung kleinerer Volumenströme behindert und beim Anlaufen zu Druckstößen im Versorgungsnetz führt.

Um die Anlage betriebstechnisch und gleichzeitig energetisch zu optimieren, sollte eine Neuauslegung der Pumpentechnik vorgenommen werden.

Entscheidende Voraussetzung für die Neuauslegung war die Untersuchung der Abgabeganglinie der vergangenen Jahre auf häufig auftretende Volumenströme. Auch der Leistungsbedarf der Pumpen und die Förderhöhen der Anlage waren genau zu prüfen, um aus den Förderströmen und -höhen relevante Betriebspunkte für die neuen Pumpen festlegen zu können. Darauf basierend wurden geeignete Pumpen von zwei vorgegebenen Herstellern ausgewählt und zu verschiedenen Varianten kombiniert. Diese wurden anschließend hinsichtlich ihrer Eignung für die relevantesten Förderströme, ihrer Wirkungsgrade bzw. ihres Energiebedarfs und der Ausfallredundanz überprüft und verglichen.

Aus der Untersuchung ergibt sich als betriebstechnisch und energetisch vorteilhafteste Variante eine Kombination aus drei einstufigen Norm-Kreiselpumpen verschiedener Baugröße, die alle über Frequenzumrichter drehzahlregelt werden.

Potenzialanalyse schwimmender Photovoltaikanlagen im Landkreis Grafschaft Bentheim

Gregor Plascher B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Guido Terwey
Datum des Kolloquiums:	17. Dezember 2020
Bachelor-Studiengang: Studienrichtung:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	Prowind Solar GmbH, Bad Bentheim



Mit dem Ausbau der erneuerbaren Energien werden die potenziellen Flächen für die Installation von Erneuerbare-Energie-Anlagen knapper. Aus diesem und weiteren Gründen wird versucht, die Erneuerbare-Energie-Anlagen auf bisher weitestgehend ungenutzten Flächen zu installieren. Für die Photovoltaik bieten Seen, in Form von z. B. Abtragungsgewässern, eine attraktive Möglichkeit, den Ausbau von Photovoltaikanlagen weiter fortzuführen und zu beschleunigen.

Einer der Vorteile, die Gewässer bieten, ist der gegenseitige Kühleffekt des Wassers und der PV-Module. Das Wasser sorgt für eine Kühlung der Module, wodurch diese besonders im Sommer in einen besseren Betriebszustand gelangen und so der Ertrag der gesamten PV-Anlage erhöht wird. Ebenso sorgen die PV-Module für eine Verschattung des Wassers. Dieses bleibt im Sommer kühler und hat einen höheren Sauerstoffanteil, was der Tier- und Pflanzenwelt zu Gute kommt.

In dieser Bachelorarbeit geht es um eine Potenzialanalyse schwimmender Photovoltaikanlagen im Landkreis Grafschaft Bentheim im westlichen Niedersachsen. Dabei wurden alle Seen ab einer festgelegten Größe erfasst, bewertet und hinsichtlich der Eignung für eine schwimmende PV-Anlage hin untersucht. Das Besondere liegt in der Neuheit dieser Anwendung der Photovoltaik. Bisher wurden in Deutschland nur vier solcher Anlagen in Betrieb genommen, drei davon im Sommer 2020. Um die spezifischen Anforderungen an einen See aufzustellen dienten Interviews mit Experten, die bereits Erfahrungen in der Errichtung schwimmender PV-Anlagen haben.

Die Ergebnisse dieser Bachelorarbeiten lassen sich in der Praxis anwenden, um gezielt die Planung und Realisierung solcher schwimmenden Photovoltaikanlagen voranzutreiben. Ebenso können Gespräche mit Eigentümern, Gemeinden oder Behörden zielführender und auf wissenschaftlich belegter Basis geführt werden. Zudem lässt sich die angewendete Potenzialanalyse in anderen Regionen in ganz Deutschland beliebig wiederholen.

Natascha Preuß B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums: 15. März 2022
Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Energietechnik



Diese Arbeit beschäftigt sich mit Möglichkeiten einer klimaneutralen Produktion. Diese Möglichkeiten sollen in Anlehnung an die DIN EN ISO 14064-1 und am Beispiel eines Pulverbeschichtungsprozesses eines Möbelherstellers, erarbeitet werden. Das Hauptaugenmerk liegt auf der nachhaltigen Erzeugung der benötigten Prozesswärme, da diese hier den wesentlichen Energieeinsatz darstellt.

Prozesswärme kann mit Hilfe von Wärmepumpen, Geothermie, Solarthermie, alternativen Brennstoffe oder direkter elektrischer Energie bereitgestellt werden. Für die Herstellung von Niedertemperatur-Prozesswärme kommen Wärmepumpen, Solarthermie und Geothermie in Frage. Bei hohen Prozesstemperaturen werden alternative Brennstoffe oder die Umstellung der Prozessaggregate auf elektrischen Strom benötigt.

Für den zu bilanzierenden Pulverbeschichtungsprozess wird Prozesswärme durch die Verbrennung von Erdgas bereitgestellt. Mit Hilfe des berechneten Wärmebedarfs werden die CO₂-Emissionen bestimmt. Im Weiteren werden Maßnahmen vorgestellt, welche den Prozess effizienter machen, welche mit einem geringen Aufwand für die Firma verbunden sind und welche durch einen Energieträgerwechsel geringere Emissionen verursachen. Für die Maßnahmen Wärmerückgewinnung, Elektrifizierung, Kompensation, Pyrolyse, Wasserstoff und bilanzielles Biogas wird ebenfalls der Energiebedarf berechnet und die Emissionen bilanziert.

Durch die Wärmerückgewinnung können, auch ohne einen Brennstoffwechsel, Emissionen reduziert werden. Da diese Maßnahme mit jeder anderen Maßnahme kombinierbar ist, ist diese in jedem Fall zu empfehlen. Die restlichen Maßnahmen werden anhand der Kriterien Nachhaltigkeit, Kosten, Versorgungssicherheit und Übertragbarkeit miteinander verglichen. Bei der Elektrifizierung entstehen, wenn der Strom durch eigene Photovoltaik-Anlagen oder andere Erneuerbare-Energien-Anlagen produziert wird, keine Emissionen vor Ort und die Produktionskosten sind stabil. Um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten, werden zusätzlich Stromspeicher benötigt.

Um die Maßnahme auf den gesamten Standort zu übertragen, steht nicht genügend Fläche für PV-Anlagen zur Verfügung. Wird der Strom aus dem Netz bezogen, ergeben sich höhere CO₂-Emissionen. Eine Kompensation der kompletten Emissionen ist nicht nachhaltig, da zuerst versucht werden sollte

Emissionen zu reduzieren oder zu eliminieren. Die Pyrolyse hat im Vergleich geringere CO₂-Emissionen. Alt- und Restholze können günstig aus der Umgebung gekauft werden. Der Rohstoff kann vor Ort gelagert werden und das Synthesegas aus der Pyrolyse kann zentral für den Standort produziert werden. Der Wasserstoff kann ebenso vor Ort gespeichert und zentral für den Standort produziert werden. Für eine nachhaltige Produktion mit selbst erzeugtem Strom für das gesamte Unternehmen aus Photovoltaik-Anlagen, steht allerdings nicht genügend Fläche zur Verfügung. Bilanzelles Biogas hat eine bessere CO₂-Bilanz als Erdgas, aber eine deutlich schlechtere als Pyrolyse. Der Aufwand ist gering, es muss hierfür lediglich der Tarif gewechselt werden.

Um den Prozess klimaneutral zu gestalten, hat die Auswertung der Maßnahmen gezeigt, dass sich die Maßnahme Pyrolyse am besten für das Unternehmen eignet. Die CO₂-Emissionen sind im Vergleich am geringsten. Unter Umständen können die restlichen Emissionen durch Kompensation gedeckt werden. Somit wäre der Prozess bilanziell gesehen klimaneutral. Die zur Verfügung stehenden Flächen sollten in jedem Fall für PV-Anlagen genutzt werden. Außerdem empfiehlt es sich für die gesamte Organisation eine zertifizierte Bilanzierung nach DIN EN ISO 14064-1 durchzuführen. Damit weitere Stellen im Unternehmen, an denen viel CO₂ emittiert wird, identifiziert werden und diese Emissionen eliminiert oder reduziert werden können und so das gesamte Unternehmen klimaneutral werden kann.

Felix Pröbstl M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker
Zweitprüfer:	Jakob Jaeger M. Sc.
Datum des Kolloquiums:	18. September 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	EWE NETZ GmbH, Oldenburg



Die Energiewende führt in großen Teilen Deutschlands zum Netzausbau. Im Verteilnetz der EWE NETZ GmbH aus Oldenburg betrug 2019 der Anteil durchgeleiteter erneuerbarer Energie 92 % und lag damit bereits über dem Ausbauziel der Bundesregierung für das Jahr 2050. Das über 82.500 km lange Mittelspannungs- und Niederspannungsnetz zwischen Ems, Weser und Elbe ist verkabelt und gilt als eines der sichersten Netze Europas. Es verzeichnet jedoch einen mit dem Netzausbau steigenden, fast ausschließlich übererregten und lokal unkompenzierten Blindleistungsbedarf. Die durch die Blindleistungskommission aktuell verstärkte Diskussion über die Vergütung von Blindleistung und -energie führte zu der Frage, wie sich derzeitige Q-Transite technisch auf vorgelagerte Netze auswirken und welcher Wert hiermit einhergeht.

Das Ziel der Masterarbeit war daher die Identifikation einer technisch sinnvollen und wirtschaftlich optimalen Strategie zur Verbesserung des Netzebenen-übergreifenden Blindleistungshaushalts. In einer vorangegangenen Analyse wurde das EWE-Stromnetz in Abhängigkeit der individuellen Q-Transite in Teilnetze unterteilt. Darin gelten definierte Betriebsgrenzen und Blindleistungen dürfen saldiert werden. Ein einem Teilnetz vorgelagertes Hochspannungsnetz mit MS-Netzersatzlasten wurde modelliert, um Auswirkungen der Blindleistungstransite identifizieren, visualisieren und dessen Kompensation mithilfe unterschiedlicher Lösungen simulieren zu können.

Blindleistungsbedarf resultiert als Folge des Aufbaus magnetischer oder elektrischer Felder. Befinden sich übererregte und untererregte Bedarfe lokal im Gleichgewicht, entsteht kein Blindleistungsbedarf. Während sich elektrische Felder bei Kondensatoren oder Kabeln bereits im Leerlauf aufbauen, steigen magnetische mit der Auslastung der Betriebsmittel an. Dies führt bei Kabelnetzen zu einer hohen übererregten Blindleistungsaufnahme im Leerlauf, wogegen Freileitungen, Transformatoren und Spulen untererregte Blindleistung bei hoher Auslastung (Bezug oder Rückspeisung) beziehen. Diese unterschiedlichen, vom Betriebszustand abhängigen Bedarfe erfordern unter Optimierungsgesichtspunkten eine gezielte Kompensation mithilfe geeigneter Techniken.

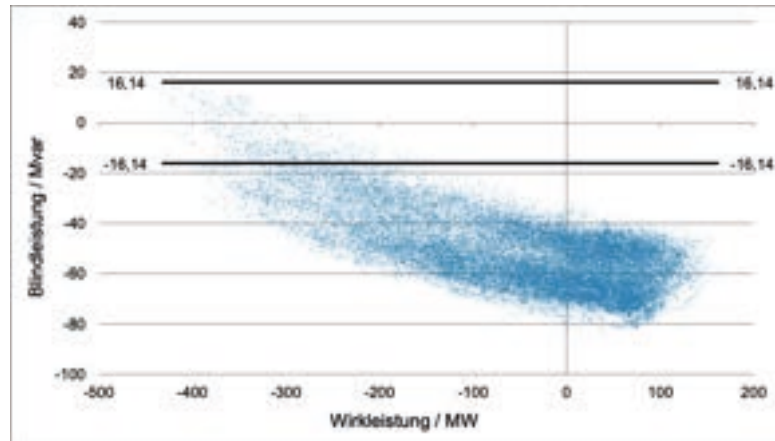


Abb. 1: P-Q-Histogramm eines modellierten HS-Netzbereichs inklusive MS-Netzersatzlasten

Das Bild stellt eine Übersicht viertelstündlicher Betriebspunkte des dem gewählten Teilnetzgebiet vorgelagerten HS-Netzes im Jahr 2018 und theoretische Betriebsgrenzen dar. Das Ziel, die „blauen Punkte“ gegen Null zu verschieben und eine ökonomische Betrachtung, führten zu folgender Empfehlung.

Unter Berücksichtigung der aktuellen vergütungstechnischen Situation ist die entgeltfreie Nutzung Umspannwerk-naher, Q-stellfähiger Windparks im Rahmen der VDE-AR-N 4110 in Kombination mit einer zentralen 63 Mvar Hochspannungsspule optimal und reduziert die Q-Transite in diesem Teilnetz fast vollständig. Zudem senkt sich die Spannung lokal um bis zu ein Kilovolt ab. Sollten politisch dezentrale Kompensationstechniken forciert werden, gilt es, die Möglichkeiten neu zu bewerten, um weiterhin die Anerkennung der Kosten zu gewährleisten. Je nach Bewertungshöhe der Blindenergie bzw. Betrachtungsweise amortisiert sich eine HS-Spule hier nach 8,5 oder unter einem Jahr.

Ein weiteres Resultat des Einsatzes von Blindleistungskompensationstechniken war laut Simulationsergebnissen die Verringerung der Ströme am Bilanzknoten um rund ein Fünftel. Dieser Rückgang trifft auf alle untersuchten, vollständigen Kompensationslösungen zu und kann aus drei Perspektiven bewertet werden. Gemäß der allgemeinen Verlustformel resultiert ein quadratischer Rückgang der Leitungsverluste. Aus betriebswirtschaftlicher Sicht bedeutet das eine niedrigere Auslastung der Netzinfrastruktur, einen geringeren Verschleiß der Betriebsmittel und reduzierten Netzausbau. Aus gesellschaftlicher Sicht schont ein geringerer Netzausbau die Umwelt und vermeidet die Beeinträchtigung von Anwohner*innen. Gleichzeitig können mehr Erneuerbare angeschlossen werden. Volkswirtschaftlich betrachtet sinkt die finanzielle Belastung der Endverbraucher*innen, da Verluste Teil des Strompreises sind. Diese Win-Win-Situation könnte der Gesetzgeber durch gezielte Anreize unterstützen.

Entwicklung einer exemplarischen Vorgehensweise für die Realisierung der Sektorenkopplung in ländlichen Bestandsquartieren

Lukas Püttmann M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling

Datum des Kolloquiums: 13. Januar 2021

Master-Studiengang: Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung: Energietechnik

in Kooperation mit: SWTE Netz GmbH & Co. KG



Diese Masterarbeit wurde mit dem Ziel verfasst, die Sektorenkopplung für ländliche Bestandsquartiere exemplarisch auszuarbeiten. Mit der Eingangsthese wurde behauptet, dass es mittels Kopplung der Wärme-, Mobilitäts- und Elektrizitätssektoren möglich ist, ein CO₂-neutrales, energetisch selbstversorgendes Quartier in wirtschaftlicher Form zu gestalten. Die Ausarbeitung erfolgte anhand des realen Bestandsquartiers „Holunderweg“ in Recke im Tecklenburger Land (NRW). Die Masterarbeit dient der Bewertung der ausgewählten Konversionstechnologien für die 22 Haushalte in Verbindung mit einem hohen Photovoltaikanteil und der vollständigen Elektrifizierung der PKW.

Zunächst wurden Technologien zur Umsetzung der Sektorenkopplung auf literarischer und statistischer Basis bewertet und ausgewählt. Dazu gehören die Konversionstechnologien Wärmepumpen und Wasserstoffelektrolyseure mit Methanisierungsstufe. Diese verwenden ungenutzten regenerativen Strom zur klimafreundlichen Beheizung der Wohnhäuser. Als Kurzzeitspeichermedium wurden Lithium-Ionen-Akkumulatoren ausgewählt.

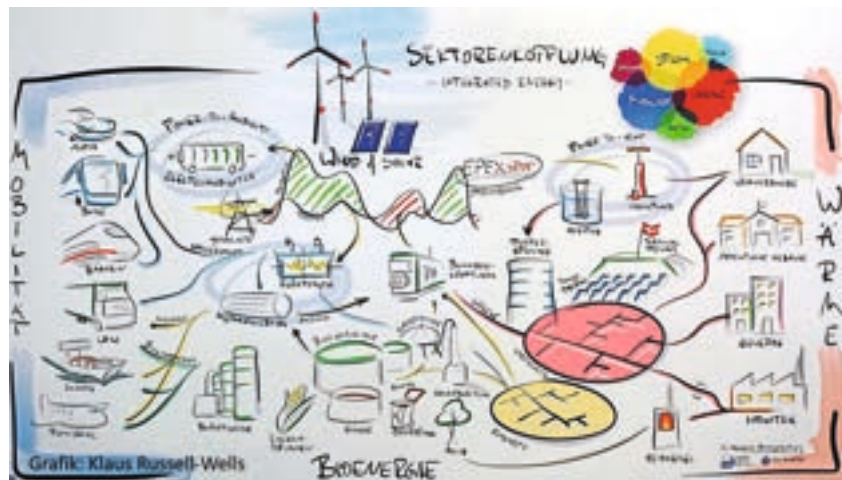


Abb1.: Schaubild Sektorenkopplung

Mit der anschließenden energetischen Bestandsaufnahme des Musterquartiers wurde festgestellt, dass die gegenwärtig erzeugte regenerative Energiemenge nicht zur vollständigen Versorgung des Quartiers ausreicht. Auf Basis des Photo-

voltaikpotenzials des Quartiers sind daraufhin die benötigten Konversions- und Speichertechnologien dimensioniert und bezüglich Klimaneutralität und Wirtschaftlichkeit bewertet und verglichen worden. Dieser Vergleich führt zu folgendem Ergebnis: Weder die Sektorenkopplung mittels regenerativ betriebener Wärmepumpen noch mittels regenerativer synthetischer Gaserzeugung können die oben genannte Behauptung belegen. Die Verwendung beider Konversionstechnologien stellt sich durch die getroffenen Annahmen gleichermaßen unwirtschaftlich dar. Bezüglich der Ökobilanz und des Selbstversorgungsgrads kann die Sektorenkopplung mittels Wärmepumpen gegenwärtig deutlich bessere Ergebnisse verzeichnen. Die Szenarienanalyse des BMWi und die Ergebnisse dieser Arbeit spiegeln diesbezüglich ein analoges Resultat wider.

Photovoltaik als Technologie zur erneuerbaren Energieerzeugung ist aufgrund der niedrigen Volllaststundenzahl für die Erstellung der wirtschaftlichen Klimagasneutralität allein nicht ausreichend. Die Sektorenkopplung mittels regenerativer Wasserstoffherzeugung ist noch nicht ausgereift und birgt somit das größere zukünftige Potenzial. Firmen, wie die Enapter AG, arbeiten an Elektrolyseverfahren, die die Herstellung von grünem Wasserstoff kostengünstiger und in größeren Mengen möglich machen soll. Technologischer Fortschritt und die Erhöhung des erneuerbaren Stromanteils aus verschiedenen Quellen können dazu führen, dass die Ziele der Bundesrepublik bezüglich Klimagasreduktion im Gebäudebestand eingehalten werden.

Zur Abwendung des Klimawandels und zur Einhaltung der Pariser Klimaziele ist jedoch nicht allein die Ökobilanz ländlicher Bestandsquartiere entscheidend. Es gibt weitere Sektoren, wie z. B. die Industrie, deren Dekarbonisierung einen weiteren wichtigen Meilenstein darstellt. Die klimafreundlichere Energieversorgung des Gebäudebestands ist jedoch ein wichtiger Beitrag, der von Netzgesellschaften und Stadtwerken in die Realität umgesetzt werden kann. Eine Blaupause zur Übertragbarkeit einer sowohl für die Netzgesellschaft als auch für die Anwohner wirtschaftlichen Musterlösung konnte nicht erstellt werden. Eine detaillierte Musterlösung kann erst nach der erfolgreichen Umsetzung des Pilotprojektes angefertigt werden. Durch diese Masterarbeit wurden Probleme zur Erstellung einer Blaupause und richtungsweisende Merkmale und Methoden aufgezeichnet, die zur Analyse und Beurteilung weiterer ländlicher Bestandsquartiere bezüglich des Potenzials zur Sektorenkopplung dienen können. Neben den umsetzbaren technischen Lösungen scheint vor allem die Aufklärung der Anwohner bzgl. der klimatischen Vorteile durch den infrastrukturellen Wandel eine entscheidende Rolle zu spielen. Es müssen finanzielle Anreize von Seiten der Netzgesellschaft geschaffen werden, um Motivation gegenüber dem technischen Fortschritt zu erzeugen.

Application of Biodegradable Flocculants based on Potato Starch for Nutrient Recovery in Pig Manure

Juliana Rolf M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums:	23. Juni 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Winkelmann Group



The treatment of manure and the associated recovery of phosphorus is becoming increasingly important. Due to the intensification of agriculture and increased livestock numbers, nutrient surpluses occur in many areas. The handling and recovery of phosphorus is increasingly coming to the forefront of discussions and research activities.

Phosphorus is an elementary component of all life and is mainly found in rocks such as apatite or phosphorus-containing wastes such as faeces. Since phosphorus deposits are limited, processes are needed to recover phosphorus from phosphorus-containing wastes. Moreover, the extensive use of nitrogen- and phosphorus-containing fertilisers leads to the impairment of water bodies.

Flocculation can remove nutrients from pig manure in a targeted manner. This is especially true for solids and phosphorus-bound components. The nutrients are concentrated in the flocculated sludge and a solid phase with less volume but higher nutrient concentrations is formed. The aim of this work was to confirm the suitability of starch-based flocculants for flocculation of pig manure.

By using flocculants, colloidal particles that are difficult to sediment can be flocculated and then separated. Nutrients that are bound to particles can also be removed in this way. In practice, chemical substances such as iron and aluminium salts as well as synthetic polymers based on polyacrylamide have become established. Over the years, however, these have been found to have toxic and carcinogenic properties, so an alternative is needed.

In order to investigate the suitability of starch-based flocculants, laboratory-scale tests were carried out. The pig manure was first mechanically separated and then flocculated in a jar tester, as indicated in the figure.

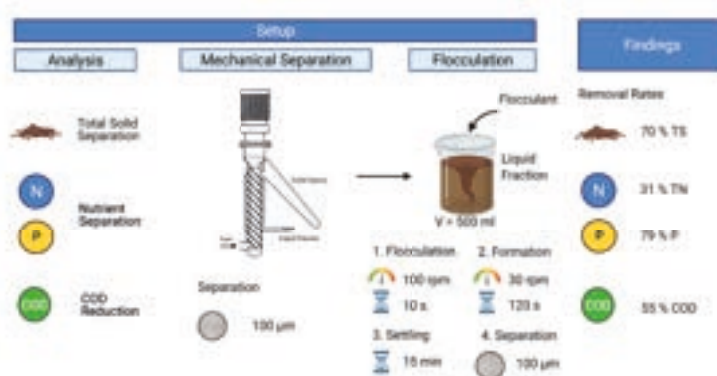


Fig 1: Graphical Abstract flocculants

Starch-based flocculants showed comparable P removal efficiencies (70-80%) in various test series. In combination with upstream mechanical separation, P removal efficiencies of 80-90% were achieved. In summary, removal rates of 70% for TS, 31% for TN, 14% for NH₄-N, 79% for P, and 14% for K in the solid fraction were achieved. The solid phase after flocculation amounted to 13% from the original phase. With the help of a second anionic flocculant, the removal rates increased to 75% for TS, 34% for TN, and 90% for P. In comparison, the chemical oxygen demand was reduced by 55% (monoflocculation) and 82% (dual flocculation). In the case of K and NH₄-N, no differences were observed.

The economic efficiency analysis leads to the exclusion of dualflocculation due to increased operating material costs. The operating material costs for monoflocculation amount to 2.9 €/m³. The use of conventional flocculants amounts to 0.4-0.8 €/m³.

The conclusion of this work is that starch-based flocculants are an interesting alternative to the conventionally used flocculants. The comparison with the literature showed similar separation efficiencies for solids and phosphorus. The economic efficiency and the use on a larger scale should be the subject of further research activities.

Andreas Rosenkranz M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M. Eng. Michael Greger
Datum des Kolloquiums:	18. September 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Stadtwerke Hamm GmbH



Die vorliegende wissenschaftliche Arbeit verfolgt das Ziel, eine Prognose des zukünftigen Wärmeabsatzes über einen Zeitraum von 30 Jahren unter Einfluss verschiedener Faktoren in Form von möglichen Szenarien zu erstellen, um ferner die These prüfen zu können, ob eine Koexistenz zwischen wirtschaftlichem Betrieb des Fernwärmenetzes und der Energiewende im Wärmesektor herrschen kann. Im Zuge der Netzdarstellung kristallisieren sich die aktuelle Versorgungsdichte von 86%, bezogen auf alle Einwohner innerhalb des Netzgebiets „Heessen“, sowie die vergleichbar deutlich zu hohen Wärmeverluste des Netzes aufgrund der Altersstruktur der Haubenkanäle heraus. Die abgeschlossene Netzdarstellung liefert alle notwendigen Datenquellen zu dem technischen Parametern, um mittels der Netzberechnungssoftware STANET ein hinreichend genaues rechenfähiges Basisnetzmodell des Fernwärmenetzes in Hamm zu erzeugen.

Im Zuge der Potenzialflächenbetrachtung zur Netzerweiterung als möglicher Einflussfaktor wird für das Netzgebiet Heessen eine Fläche von 552.180 m² identifiziert, dessen Wärmeabsatzpotenzial in etwa 20% des aktuellen Wärmeabsatzes des Haushaltskundensegments entspricht. Um die Plausibilität einer Potenzialflächenerschließung zu verdeutlichen, wird die Beispielfläche „Heimshof Ost“ untersucht und eine Erschließung der Fläche als wirtschaftlich bewertet. Fernwärme stellt sich im Zuge dessen bei einem Heizkostenvergleich als kostengünstigster Energieträger für einen Bauherren heraus. Aus der Auswertung der energetischen Ausgangsbasis ergibt sich ein spezifischer Wärmeenergiebedarf von 138,15 kWh/m²*a, der als Bezugsparameter für die Auswirkungen der Einflussfaktoren in den Szenarien dient. Aus der Auswertung der Ergebnisse des Prognosemodells unter Annahme des Eintretens folgender Szenarien ergeben sich folgende Ergebnisse für das Jahr 2050, bezogen auf das Basisjahr 2017:

- „Worst-Case“ - Wärmeabsatz sinkt um 42%
- „Best-Case“ - Wärmeabsatz steigt um 11%
- „Basis-Case“ - Wärmeabsatz sinkt um 15%
- „Perspektiv-Case“ - Wärmeabsatz sinkt um 9%

Das „Basis-Case“, oder auch das sogenannte „weiter wie bisher“, Szenario ist hierbei als wahrscheinlichstes Szenario zu bewerten. Die Senkung des Wärmeabsatzes ist in diesem Szenario durch den politisch abhängigen Einflussfaktor „Sanierungsquote“ unter der Annahme von 1% pro Jahr begründet. Die, vom

Deutschen Wetterdienst für das Netzgebiet Hamm prognostizierte, klimatische Entwicklung in Form von globaler Erwärmung (Klimawandel) trägt ebenfalls als äußerer Faktor zur Reduzierung des Wärmeabsatzes im Jahr 2050 bei. Innere Faktoren, auf die das Unternehmen direkten Einfluss nehmen kann, sind in diesem Fall die Steigerung der Versorgungsquote in Form einer Verdichtungsquote sowie die Potenzialflächenerschließung in Form einer Netzerweiterungsquote. Das Eintreten des „Perspektiv-Case“-Szenarios ist von dem Unternehmen Stadtwerke Hamm GmbH eigenständig steuerbar. Dieses Szenario simuliert die direkte aktive Beeinflussung der inneren Faktoren durch das Unternehmen als Abgrenzung zu dem „Basis-Case“-Szenario. Die direkte Beeinflussung führt zu folgenden Steigerungen, bezogen auf das Haushaltskundensegment des Netzgebiets Heessen:

- Netzerweiterungsquote = +5,5%
- Verdichtungsquote Neubau = +0,2%
- Verdichtungsquote FW-Umstellung = +2,8%

Unter Einbezug von Veränderung in den Kundensegmenten „Gewerbe, Handel, Dienstleistung“ und „Soziales“ lässt sich letztendlich die Aussage treffen, dass das Unternehmen Stadtwerke Hamm GmbH unter Voraussetzung einer aktiven Beeinflussung der inneren Faktoren in Form der Netzerweiterungsquote und der Verdichtungsquote die prognostizierte Senkung des Wärmeabsatzes im Jahr 2050 von 15%, bezogen auf das Basisjahr 2017, um 6 % auf eine Senkung des Wärmeabsatzes von 9% reduzieren kann.

Analyse und Optimierung der Deckung des HT und NT Wärmebedarfs innerhalb eines Wärmenetzes auf Basis einer Untersuchung der Wärmebedarfsstruktur der zu versorgenden Liegenschaften/Wärmesenken

Lennart Rüschemschmidt B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Jens Willmes M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	4. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Ingenieur GmbH Schmidt und Willmes



Der Klimaschutz hat in den vergangenen Jahren sehr an Bedeutung gewonnen. Die Bundesregierung und 196 andere Staaten haben 2015 das Pariser Klimaabkommen unterzeichnet, um die Treibhausgasneutralität zu erreichen. Dies kann nur ermöglicht werden, wenn die Verbrennung von fossilen Energieträgern, wie zum Beispiel Gas oder Öl, auf ein Minimum reduziert bzw. ganz gestoppt wird. Diese Energieträger tragen zur Umweltbelastung bei und sind noch immer sehr verbreitet. Eine meist effizientere Methode, im Vergleich zu Zentralheizungen bei der Beheizung von Gebäuden, ist ein Wärmenetz.

Für verschiedene Gebäude im Dortmunder Stadtteil Hacheney, darunter der Dortmunder Zoo, die Pflanzenschauhäuser, das Berufsförderungswerk und ein eventueller Neubau eines Rehasentrums, soll ein Nahwärmenetz geplant werden. Dieses Nahwärmenetz muss bestimmte Anforderungen erfüllen. Dazu hat das Bundesamt für Wirtschaft und Ausfuhrkontrolle (BAFA) ein Förderprogramm namens „Wärmenetzsystem 4.0“ entwickelt, worin es hauptsächlich darum geht, die Wärme überwiegend auf Basis von erneuerbaren Energien, Umwelt- und Abwärme, auf niedrigem Temperaturniveau und perspektivisch kostengünstig bereitstellen zu können.

In Kombination mit einer Machbarkeitsstudie, die dafür erstellt wird, geht es in dieser Bachelorarbeit um die Analyse und Optimierung der vorhandenen Vorlauftemperaturen für das geplante Nahwärmenetz. Dadurch kann eine effizientere Einbindung erneuerbarer Energien im Wärmenetz realisiert werden.

Zu Beginn war es notwendig, den Bestand der verschiedenen Gebäude aufzunehmen. Es wurde überprüft, welche Wärmeerzeuger und Energieträger die Gebäude derzeit beheizen. Die Art der Wärmeübergabe wurde untersucht, um im Verlauf der Bachelorarbeit feststellen zu können, welche Vorlauftemperaturen für die Wärmeübertrager notwendig sind. Bei einer Analyse des derzeitigen, aber auch des zukünftigen Wärmebedarfs wurde festgestellt, welche Liegenschaft bereits Reduzierungen an der Heizleistung durchgeführt hat. Es fiel vor allem das Berufsförderungswerk auf, welches mit neuen Fenstern eine wesentliche Einsparung in der Wärmeleistung erreichen konnte. Es musste ermittelt werden, welche Heizleistungen mit welchen Jahresverbräuchen die Gebäude in allen Liegenschaften benötigen.

Durch fehlende Dokumentationen für die Heizungstechnik, mussten Abschätzungen und Annahmen getroffen werden. Für die Optimierung musste untersucht werden, welche Leiterform am besten geeignet für das geplante Wärmenetz ist. Zur besseren Übersicht wurde ein Cluster erstellt, in dem die unterschiedlich benötigten Vor- und Rücklauftemperaturen, den verschiedenen Gebäuden zugeordnet wurden. Es wurden mehrere Leitervarianten miteinander verglichen. Dabei wurde anhand einer tabellarischen Übersicht festgestellt, dass durch eine Kombination aus drei Vorlaufleitern und drei Rücklaufleitern ein Optimum erreicht werden kann, um jede Liegenschaft mit wenig Veränderungen an der Gebäudestruktur, versorgen zu können. Des Weiteren können mit diesem Sechseleitersystem, Wärmeerzeuger passend eingesetzt werden.

Für die weiteren Planungsschritte wurden Optimierungsmöglichkeiten in den Liegenschaften vorgestellt. Nicht alle Gebäude konnten in das Wärmenetz integriert werden, zum Beispiel die mit elektrischer Energie beheizten Gebäude des Dortmunder Zoos. Bei diesen müsste die gesamte Gebäudestruktur geändert werden, da zum Beispiel mehrere Flächenheizungen über elektrischer Energie versorgt werden und kein Rohrsystem verbaut wurde. In bestimmten Bereichen konnten die Vorlauftemperaturen nicht verändert werden. Bei den Pflanzenschauhäusern können durch den Denkmalschutz keine Dämmmaßnahmen getroffen werden. Allerdings kann durch den geplanten Anbau eine Umverteilung der Pflanzen für eine Senkung der Vorlauftemperatur sorgen. Für das Berufsförderungswerk wurden Berechnungen zur Reduzierung der Vorlauftemperatur gemacht. Dabei ist festgestellt worden, dass der bisherige Austausch der Fenster noch nicht ausreicht, um die Temperatur absenken zu können. Für die Lüftungsanlage des Regenwaldhauses im Dortmunder Zoo könnte ein Heizregister für eine Senkung der Vorlauftemperatur von 90 °C auf 70 °C sorgen.

Untersuchung zur Eignung von Bio-Liquefied Natural Gas (LNG) aus Biogasanlagen als Kraftstoff

Justus Ruhe B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums:	23. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Ruhe Agrar GmbH



Die Ruhe Agrar ist ein modernes landwirtschaftliches Familienunternehmen mit Hauptsitz im niedersächsischen Lüsche. Als Betreiber von vier Biogasanlagen, jeweils mit einer Leistung von 2,74 MWel., befasst sich das Familienunternehmen stetig mit dem Gedanken, wie die bestehenden Biogasanlagen, von hoher volkswirtschaftlicher Bedeutung, auch nach dem Ende des EEGs ökonomisch weiter betrieben werden können.

Eine vielversprechende Option sieht Kunibert Ruhe, Gründer der Ruhe Unternehmensgruppe, in der dezentralen Produktion von flüssigem Biomethan, das auch als Bio-LNG bezeichnet wird und die nachhaltige Alternative zum fossilen LNG ist. Dazu wird Biogas aufbereitet und durch Abkühlen auf extrem tiefe Temperaturen (ca. -162°C) verflüssigt. Als Produkt entsteht ein umweltfreundlicher Kraftstoff, der sich durch seine hohe Energiedichte als Alternative zum Diesel herausgestellt hat. Im Gegensatz zum komprimierten Biomethan hat Bio-LNG eine ca. 2,5-fach höhere Energiedichte. Dadurch können LNG-Lkw Strecken mit einer Reichweite von bis zu 1.500 Kilometern zurücklegen. Um dieses Potenzial nachhaltig zu erzeugen, möchte die Ruhe Agrar an ihrem Standort in Darchau Bio-LNG produzieren. Die Produktion ist zusätzlich zum aktuellen Betrieb geplant. Vorgesehen ist, dass ca. 250 m^3 Biogas pro Stunde für die Bio-LNG Herstellung genutzt werden. Potentieller Abnehmer ist die Alternoil GmbH, ein Tankstellenbetreiber und Pionier in der Vermarktung von LNG mit Sitz in Steinfeld, Landkreis Oldenburg, der bereits im September 2019 Europas größte LNG Tankstelle in Bakum (Vechta) eröffnete.

Ziel der vorliegenden Arbeit ist die Untersuchung der gesamten Wertschöpfungskette Bio-LNG aus Biogas. Dabei liegt der Fokus auf den rechtlichen Rahmenbedingungen, der technischen Umsetzung sowie der Wirtschaftlichkeit der Bio-LNG Produktion. Mit der Umsetzung der europäischen Richtlinie „Renewable Energy Directive II“ (RED II) in nationales Recht könnte sich eine vielversprechende Chance für die Biogasbranche ergeben. In der RED II wird Biomethan aus Gülle mit einem Treibhausgas-Minderungspotenzial von bis zu 202 % als Standardwert angegeben. Zusätzlich gibt es auch Misch-Standardwerte für die Biomethanproduktion aus Gülle und Mais. Der Misch-Standardwert für Biomethan aus 70 % Gülle und 30 % Mais wird als Ziel für die Bio-LNG Produktion in Darchau gesetzt. Die technische Analyse bestätigt, dass die Biogasanlage ohne technische Änderungen die zusätzliche Biogasmenge produzieren kann. Wesentlich kritischer

gestaltete sich die Suche nach einem geeigneten Hersteller für die Biogas-aufbereitung und den Verflüssiger für das Biomethan. Das Feedback war in den meisten Fällen identisch. Für diese geringe Biogasmenge müsse ein Prototyp angefertigt werden. Alleine die Kosten für einen Verdichter lägen im sechsstelligen Bereich und die Gesamtkosten hätten jeglichen Rahmen gesprengt. Letztendlich wurde ein Hersteller gefunden, der Aufbereitungs- und Verflüssigungsanlagen für Biogas im „Mikrobereich“ anbietet. Die Anlage für die Bio-LNG Produktion stammt von dem italienischen Anlagenbauer Ecospray Technologies.

Die Investitionsausgaben und zu erwartenden Betriebskosten für das Projekt wurden anhand der Betriebsdaten der Ruhe Agrar sowie den Angaben des italienischen Anlagenbauers ermittelt. Anschließend konnte unter Berücksichtigung der jährlichen Produktionsmenge von rund 860 Tonnen Bio-LNG und einer festgelegten Gewinnmarge der Marktpreis für ein Kilogramm Bio-LNG kalkuliert werden. Festzustellen ist, dass der Preis um ein Vielfaches höher liegt als der fossile LNG Marktpreis. Es wird angenommen, dass das Bio-LNG zukünftig eine Treibhausgas-Minderung von 94 %, Misch-Standardwert aus der RED II, gegenüber fossilen Kraftstoffen aufweist.

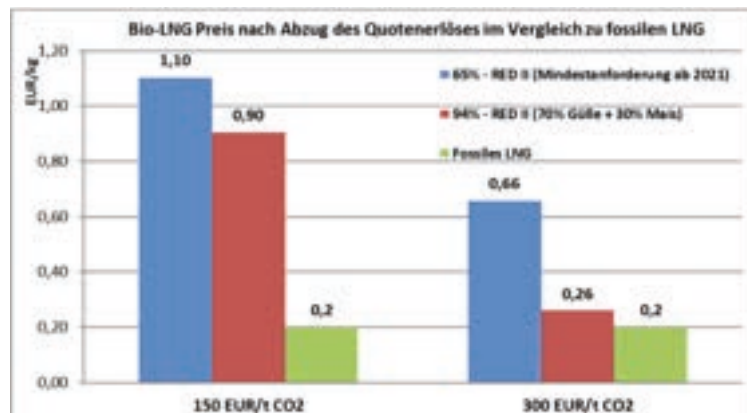


Abb 1: Zukünftige Herausforderungen für die Bio-LNG Produktion im Vergleich zu fossilen LNG

Um die Preisdifferenz zum fossilen LNG zu decken, muss das Bio-LNG einerseits eine hohe Treibhausgas-Minderung aufweisen, andererseits sollte der Preis pro Tonne CO₂ wenigstens bei 300 € liegen. Da die Biokraftstoffquote schwankt und keine Kalkulationsgrundlage darstellt, gibt es keine 100 % ige Planungssicherheit für zukünftige Investitionen.

Fazit der Untersuchung ist, dass die dezentrale Produktion von Bio-LNG in Darchau in dem geplanten Rahmen technisch möglich ist. Um Bio-LNG zukünftig wirtschaftlich darzustellen, wird die konsequente und zeitnahe Umsetzung der RED II in nationales Recht empfohlen. Außerdem braucht die Biogasbranche langfristige und zuverlässige Rahmenbedingungen seitens der Politik, die eine ausreichende Biokraftstoffquote von ca. 300 € pro Tonne CO₂ umsetzt.

Tim Sander B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Michael Schmidt
Datum des Kolloquiums:	2. März 2021
Bachelor-Studiengang:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	encadi GmbH



Die Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Planung und Umsetzung einer digitalisierten Anlagenüberwachung für ein Blockheizkraftwerk (BHKW). Im Planungsprozess sind Grundlagen der BHKW-Technologie, des Energierechts und des Kommunikationsdesigns zusammengeführt worden. Das Ziel ist eine interaktive Business Intelligence (BI) Anwendung, welche auf einer tagesaktuellen und automatisierten Messdatenaufbereitung basiert.

Dafür wird zunächst der Begriff des technischen Energiecontrollings (TEC) erklärt und die Ausgangssituation der Anlagenüberwachung dargestellt. Das Energiecontrolling für BHKW geschieht üblicherweise durch einen monatlichen Bericht, der keine detaillierten Einblicke in die BHKW-Messdaten zulässt und nur mittelbare Bezug von technischen Größen zum wirtschaftlichen Erfolg des Anlagenbetriebs herstellt. Es ergibt sich die Überlegung, das TEC durch automatisierte Datenübertragung und eine grafische Aufbereitung in hoher zeitlicher Auflösung zu erweitern.

Zur Vorbereitung werden für das TEC relevante technische und wirtschaftliche Größen festgestellt und kurz erläutert. Außerdem werden die rechtlichen Rahmenbedingungen dargelegt sowie Grundlagen der visuellen Informationsverarbeitung erklärt. Außerdem werden geeignete Programme aus dem Bereich Data Science und BI für die Implementierung ausgewählt und kurz vorgestellt. Im Rahmen der Umsetzung wird der tagesaktuelle Zugriff auf Anlagendaten und Größen zur Ermittlung des wirtschaftlichen Erfolges des BHKW ermöglicht. Aussagekräftige Visualisierungen führen ermittelte und berechnete Größen zusammen und erlauben detaillierte Einblicke für eine Betriebsanalyse.

Die Umsetzung wird an einem konkreten Beispiel gezeigt. Dazu werden BHKW-Messdaten über einen Datenlogger automatisiert übermittelt und in einer Datenbank gespeichert. Nachfolgend wird eine mögliche Datenaufbereitung erstellt und die verarbeiteten Daten werden in der BI-Software mit externen Daten aus der Projektumgebung zusammengeführt. Auf dieser Basis kann die zweiteilige Anwendung schrittweise implementiert werden.

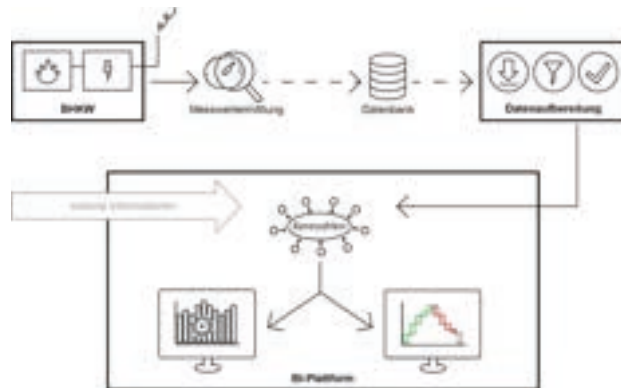


Abb1: Datenaufbereitung der BHKW-Messdaten

Die erstellte Anwendung ermöglicht eine tagesaktuelle Auswertung des Anlagenbetriebs und erfüllt wesentliche Aufgaben als Werkzeug des TEC. Es werden einerseits die Auslastung, der elektrische und thermische Wirkungsgrad sowie der Verlauf der erzeugten Energie dargestellt. Andererseits wird der wirtschaftliche Erfolg mit allen relevanten Einflussgrößen visualisiert. Alle Darstellungen können zeitlich gefiltert und so Abweichungen von Erwartungswerten erkannt werden.

Ein Auszug aus dem technischen Teil der Anwendung ist der zeitliche Verlauf der Wirkungsgrade des BHKW.

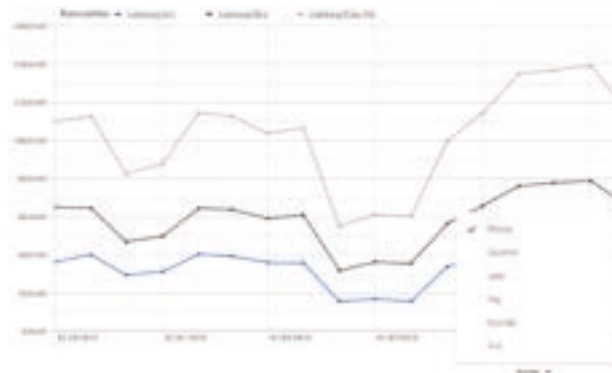


Abb2: Verlauf der Leistung des BHKW

Der wirtschaftliche Teil besteht im Wesentlichen aus einem Wasserfalldiagramm, in welchem Erlöse und Kosten aufgeführt sind, die während des BHKW-Betriebs entstehen.

Das Ergebnis wird kritisch hinterfragt sowie Stärken und Schwächen der praktischen Umsetzung diskutiert. Die im Rahmen der Untersuchung entwickelte Anwendung bietet zahlreiche Möglichkeiten zur Erweiterung oder Einbindung in andere Plattformen. Einige Bestandteile können außerdem auf vergleichbare BHKW übertragen werden. Im Vergleich zum herkömmlichen TEC stellt die hier vorgestellte Lösung eine informative Ergänzung dar, kann es aber nicht gänzlich ersetzen. Außerdem ergibt sich ein Verbesserungspotenzial bei der Beseitigung von Mängeln im Rahmen der Datenaufbereitung. Abschließend werden einige Möglichkeiten zur Erweiterung der Anwendung genannt. Hier ist besonders der Einbezug von Machine Learning in den Prozess der Datenaufbereitung sowie die Einbindung der Anwendung in ein Energiemanagementsystem zu nennen.

Mark Scheffler M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums:	12. Oktober 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude- Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Winkelmann Group



Das langfristige Ziel der Klimaneutralität kann in Industrieländern wie Deutschland nur mit innovativen und intelligenten Alternativen zu fossilen Ressourcen erreicht werden. Dies gilt insbesondere für gasförmige und flüssige Energieträger. Wasserstoff (H₂) wird als ein wichtiges Element angesehen, um in Zukunft eine saubere, sichere und bezahlbare Energieversorgung gewährleisten zu können.

Im Rahmen des Forschungsprojekts HY-Core Upscaling AEM Electrolysis - Research and Application (HY-Core) wird ein 1-MW-Elektrolyseur mit Anionenaustauschmembran (AEM Multicore) entwickelt, design und gebaut. Der AEM Multicore wird voraussichtlich ab Mitte 2022 in der ländlichen Region Saerbeck errichtet und zu Testzwecken betrieben. Während der zweijährigen Testphase war keine Nutzung, sondern lediglich die Verbrennung des dabei erzeugten H₂ vorgesehen. In dieser Masterarbeit wurden daher einerseits die Nutzungsmöglichkeiten für H₂ im ländlichen Kreis Steinfurt analysiert und andererseits die Nutzung des aus dem Projekt HY-Core erzeugten H₂ technisch sowie wirtschaftlich überprüft.

H₂ kann im Industrie-, Mobilitäts- und Energiesektor genutzt werden. In der Industrie wird H₂ beispielsweise in Raffinerien, zur Ammoniak- und Methanolverzeugung sowie zur Stahlherstellung verwendet. Im Mobilitätssektor gewinnen alternative Antriebe auf der Straße, Schiene, in der Luft und auf dem Wasser zunehmend an Bedeutung. Es gibt bereits Brennstoffzellenantriebe in PKWs, LKWs, Flurförderzeugen, Bussen und Zügen. Im Energiesektor kann H₂ in der Strom-, Gas- und Wärmeversorgung eingesetzt werden.

Um den im Projekt HY-Core erzeugten H₂ technisch nutzen zu können, sind ein Verdichter und ein Hochdruckspeicher (CGH₂) erforderlich. Durch CGH₂-Speicher kann H₂ nach Bedarf im Projekt erzeugt, anschließend in Transporter gefüllt und zu einem Nutzungsort im Kreis Steinfurt transportiert werden. Als potenzieller Wasserstoffabnehmer wurde die H&R ChemPham GmbH in Salzbergen identifiziert. Ein marktüblicher Abnehmerpreis liegt bei etwa 3 € / kg H₂. In Form einer Bedarfsanalyse wurde ermittelt, dass der prognostizierte Wasserstoffbedarf im Jahr 2022 und 2023 unter den Mindestanforderungen zur Errichtung einer Wasserstofftankstelle liegt und der Mobilitätssektor daher ausscheidet. Alternativ könnte der H₂ über eine Gasdruck- und Messanlage dem Ibbenbürener Gasnetz zugeführt werden. Eine Vergütung von 6 Cent / kWh würde umgerechnet etwa 2 € / kg H₂ erwirtschaften.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist die Nutzung des durch den AEM Multicore erzeugten H₂ in der Testphase problematisch, da die Betriebskosten zu 100 % vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) getragen werden und Verkaufserlöse faktisch zu Rückzahlung der Betriebskosten in gleicher Höhe führen. Da unter diesen Konditionen eine Verbrennung aus wirtschaftlicher Sicht sinnvoller wäre, wurden zwei Szenarien mit veränderten Rahmenbedingungen betrachtet.

Im ersten Szenario wurde angenommen, dass der AEM Multicore ausschließlich für zwei Jahre betrieben wird, die Aggregate nach den zwei Jahren mit einem Restwert veräußert und die Erlöse aus dem Wasserstoffabsatz nicht an das BMBF zurückgezahlt werden müssen. Unter diesen Konditionen könnte eine Wasserstofftankstelle ab 3.100 Betriebsstunden pro Jahr des AEM Multicore betrieben werden. Aufgrund fehlender Abnahmemengen im Mobilitätssektor gibt es keine wirtschaftliche Nutzungsmöglichkeit für H₂ aus dem Projekt HY-Core im ersten Szenario.

Das zweite Szenario basiert auf der Annahme, dass die Betriebskosten in der Projektphase zurückerstattet werden müssen, aber der AEM Multicore über die Testphase hinaus für insgesamt 20 Jahre betrieben wird. In diesem Szenario wurden mehrere Betriebsfälle und verschiedene Strompreise betrachtet. Um Wasserstoff unter 3 € / kg H₂ herzustellen, müsste der Preis für elektrische Energie beispielsweise unter 3 Cent / kWh liegen und die Anlage über 5.500 h / a produzieren. Unter diesen Bedingungen könnte der H₂ wirtschaftlich an Industrieunternehmen, wie beispielsweise die H&R ChemPham GmbH, veräußert werden.

Life Cycle Assessment für ein containerbasiertes Wohngebäude unter Berücksichtigung des Autarkiegrades

André Schippmann M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Johannes Koke
Datum des Kolloquiums:	13. Juli 2020
Bachelor-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Hochschule Osnabrück



Das Life Cycle Assessment findet immer häufiger Anwendung im Bauwesen. In einigen Zertifizierungen, wie denen von DGNB oder BNB, spielt dies bereits eine große Rolle. Die Umwelteinwirkungen der Gebäude werden anhand von Faktoren wie Treibhaus-, Versauerungs- oder Ozonbildungspotenzial und der eingesetzten Primärenergie bewertet.

Im Rahmen dieser Arbeit sollen diese Indikatoren für containerbasierte Gebäude untersucht werden. Hierbei steht der Einfluss der Maßnahmen, die für die Erhöhung des energetischen Autarkiegrades getroffen werden, im Vordergrund. Es wird eine „Cradle-to-Grave“ (Von der Wiege bis zu Bahre) Betrachtung über den gesamten Lebenszyklus durchgeführt, die sich an den Vorgaben des DGNB orientiert. Dementsprechend ist es das Ziel dieser Arbeit eine ökologisch optimale Lösung zu finden, das heißt einen Autarkiegrad zu ermitteln, bei dem die Umweltbelastungen am geringsten sind.

Als Grundlage in dieser Arbeit dient ein Einfamilienhaus auf Containerbasis, welches innerhalb des internationalen Forschungsprojektes ENSECO entwickelt wurde. Für das Gebäude wird der Raumwärmebedarf in der Gebäudesimulationssoftware IDA ICE® berechnet. Die Strom- und Warmwasserbedarfe werden mit Hilfe von Lastprofilen dargestellt. Der Autarkiegrad sowie das gesamte Energieversorgungskonzept werden mit der Software Polysun® simuliert. Die Maßnahmen zur Erhöhung der Autarkie werden in passiv und aktiv unterteilt. Zu den passiven Maßnahmen zählen die Verbesserung des Standardcontainergebäudes mit einer Hochleistungswärmedämmung aus Vakuum-Isolations-Paneelen (VIP) sowie der Einsatz von Phase Change Materialien (PCM). Die aktiven Maßnahmen umfassen den Einsatz einer Photovoltaikanlage sowie eines Batteriespeichers, die jeweils in der Größe variiert werden, um verschiedene Autarkiegrade darzustellen.

Die Ergebnisse zeigen, dass die optimale Lösung sich dabei je nach Umweltindikator deutlich unterscheidet. Bei einigen (GWP, EP, PEne, ADPf) ist ein Autarkiegrad von 75 % von Vorteil. Für zwei Indikatoren (ODP, ADPe) gilt dagegen, dass ein Autarkiegrad von 0 % von Vorteil ist. Die Werte für AP und POCP liegen dazwischen. Abbildung 1 zeigt für jeden Umweltindikator den Autarkiegrad bei dem die geringste Umweltbelastung vorliegt. Der ökologische Vorteil von VIP und PCM ist bei fast allen Umweltindikatoren gegeben, sodass der Einsatz für dieses Projekt empfohlen wird.



Abb. 1: Optimaler Autarkiegrad des jeweiligen Umweltindicators bei dem die geringste Umweltbelastung vorliegt

Bei hohem Autarkiegrad werden zum Teil über 90 % der Umweltbelastungen in der Herstellungsphase emittiert. Da teilweise weit über 50 % der Umweltbelastungen häufig durch die Herstellung von nur zwei bis drei Komponenten oder Materialien verursacht werden, gilt es diese zu identifizieren und die benötigten Mengen zu reduzieren oder Materialien mit geringeren Umweltauswirkungen zu wählen.

Bei dem Großteil der Umweltindikatoren dominiert bei niedrigen Autarkiegraden derzeit die durch die Nutzungsphase erzeugten Umweltbelastungen. Hier ist es sinnvoll die Energiebedarfe während der Nutzungszeit weiter zu reduzieren. Dies kann durch den Einsatz von besseren Dämmungen, aber auch durch ein geändertes Nutzerverhalten, erreicht werden.

Die Ergebnisse zeigen die Relevanz von Life Cycle Assessment Anwendungen im ökologisch orientiertem Bauen auf, besonders für den Einsatz der erneuerbaren Energie. So können die Ergebnisse als Vergleich für kommende Projekte oder Optimierung in der Planung genutzt werden. Es gilt nun die erreichten Ergebnisse auch wirtschaftlich zu überprüfen und ein gemeinsames Optimum sowohl wirtschaftlich als auch ökologisch für das Gesamtkonzept zu finden.

Erstellung eines Berechnungsmodells zur Bewertung, zum Betrieb und zur Ertüchtigung von geschlossenen Räumen vor dem Hintergrund der Infektiosität luft-getragener SARS-CoV-2-Viren

Christian Schlüter M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Klaus Mindrup
Datum des Kolloquiums:	10. März 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik



Diese wissenschaftliche Arbeit sah ein Berechnungsmodell vor, mit dem Personen mit technischem Hintergrund Räume und deren Betrieb in Bezug auf Aerosolinfektionen berechnen, bewerten und optimieren können. Dazu wurden zuerst die Grundlagen zu Viren und deren Übertragungswege zwischen Menschen erläutert. Im Anschluss daran wurden die Auswirkungen von Raumklimaparametern auf die Infektiosität sowie die qualitativen Auswirkungen von ausgewählten Infektionspräventionsmaßnahmen untersucht.

Anhand dieser Grundlageninformationen wurde mit der Erstellung des Berechnungsmodells begonnen. Nachdem die zu erreichenden Ziele deklariert wurden, wurden die notwendigen Annahmen beschrieben. Darauffolgend konnten die Berechnungen zur Luftfeuchtigkeit, den Lüftungsintervallen, der Kohlenstoffdioxidkonzentration sowie der Virionkonzentration durchgeführt werden. Die Ergebnisse sowie die benötigten Eingabeparameter und Annahmen wurden daraufhin in einer Benutzeroberfläche dargestellt. Zur Validierung der Ergebnisse des Berechnungsmodells wurden die Informationen des Grundlagenkapitels sowie andere Berechnungsmodelle verwendet. Die Plausibilität der Ergebnisse konnte bestätigt werden.

Im Anschluss daran wurden die Auswirkungen von Präventionsmaßnahmen auf die maximale Aufenthaltszeit untersucht und diskutiert. Als letzter Schritt dieser Arbeit wurde die Ertüchtigung zur risikominimierten Nutzung eines Klassenraumes und eines 2 Personen Büros behandelt und Lösungsvorschläge ausgearbeitet. Die effektivsten Maßnahmen bestanden in dem Tragen von FFP2 Masken, dem Befeuchten von Raumluft sowie ausreichendem Lüften mit Außenluft. Die Kombination dieser drei Maßnahmen ergab den höchsten Schutz vor einer Aerosolinfektion mit SARS CoV 2 Viren.

Folgende Abbildung beschreibt die Ergebnisse des Berechnungsmodells eines Klassenraumes, der auf 45 % relative Luftfeuchtigkeit befeuchtet und mit 1000 m/h Außenluft versorgt wird.

Auswirkungen der Elektromobilität auf das Niederspannungsnetz

Hendrik Schmeinck B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Datum des Kolloquiums:	12. August 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Labor Elektrotechnik und Elektrizitätsversorgung



Der Verkehrssektor ist der zweitgrößte Verursacher von energiebedingten Treibhausgasemissionen in Deutschland. Dabei ist der Straßenverkehr mit PKW der größte Emittent dieses Sektors. Im Hinblick auf die deutschen Klimaschutzziele setzt die Politik in Deutschland daher auf eine verstärkte Nutzung von batterieelektrisch betriebenen Fahrzeugen. Diese ermöglicht zusammen mit regenerativ erzeugtem Strom eine weitgehend von Treibhausgasemissionen befreite Mobilität. Hieraus ergeben sich jedoch zahlreiche weitere Herausforderungen. Diese betreffen unter anderem auch die Verteilung der zum Laden der Batterien benötigten elektrischen Energie in bestehenden Netzen.

Ziel dieser Arbeit war es zu untersuchen, welche Lastflüsse sich durch einen zunehmenden Einsatz von batterieelektrischen Fahrzeugen im Niederspannungsnetz ergeben und wie sich diese auf ein bestehendes Netz im ländlichen Raum auswirken. Die Untersuchung erfolgte am Beispiel eines existierenden Quartiers in der Gemeinde Recke, im Netzgebiet der Stadtwerke Tecklenburger Land. Da es sich bei dem betrachteten Quartier um ein reines Wohngebiet handelt, lag der Fokus dieser Arbeit auf der privaten Mobilität.

Zunächst wurde auf Basis aktueller Mobilitäts- und Zulassungsstatistiken sowie auf Basis des aktuellen Stands der Technik heutiger Elektroautomodelle und deren Ladeeinrichtungen auf ein wahrscheinliches Mobilitäts- und Ladeverhalten von zukünftigen Elektroautonutzern geschlossen. Aus den Längen der Wege, die derzeit mit dem PKW gefahren werden, dem Energiebedarf moderner Elektroautos, den Standzeiten der Fahrzeuge sowie den Ladeleistungen, wurde ein realitätsnahes Ladelastprofil erstellt. Zusammen mit hochaufgelösten repräsentativen Lastprofilen für die Anzahl der Haushalte des Quartiers, ergab sich die zukünftige Belastung des Niederspannungsnetzes. Die Berechnungen wurden für verschiedene Szenarien und Durchdringungsgrade der Elektromobilität durchgeführt. Diese orientierten sich an den Zielen und Absichten der deutschen Bundesregierung. So ergab sich ein Verlauf der Belastungen und Auswirkungen auf das Niederspannungsnetz. Des Weiteren wurde in der Arbeit untersucht, wie sich unterschiedliche Mischungen hoher und niedriger Ladeleistungen sowie Ladekurven, bei denen die Ladeleistung bei dem Erreichen eines bestimmten Ladezustands abfällt, auf das Ladelastprofil auswirken.

Die im Zuge dieser Arbeit erstellten Berechnungen beziehen sich auf die Einhaltung des zulässigen Spannungsbandes sowie auf die Einhaltung des maximal zulässigen Stroms, welcher sich aus der thermischen Belastbarkeit der verwendeten Kabel ergibt. Anhand der Ergebnisse der Berechnungen lässt sich feststellen, dass in keinem der gewählten realitätsnahen Szenarien Grenzwerte überschritten werden. Ein Ausbau der Netzinfrastruktur ist demnach nicht erforderlich. Dennoch ist der Einbau von Schnittstellen zur Lastregelung bei dem Aufbau der Ladeinfrastruktur sinnvoll, da so die für den Ladevorgang zur Verfügung stehenden Zeiträume für eine Optimierung des Lastflusses genutzt werden können.

Bilanzierung der sommerlichen Kohlenstoffflüsse nach Wiedervernässung eines ehemaligen Torfabbaugebietes in Schweden

Leon Schröder B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dr. agr. Sabine Jordan
Datum des Kolloquiums:	28. Oktober 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Schwedische Universität für Agrarwissenschaften



Durch die Trockenlegung und anschließende Torfextraktion von ehemaligen Mooren, werden Ökosystemleistungen wie zum Beispiel die Sequestrierung von Kohlenstoff im Torf eliminiert. Darüber hinaus werden große Mengen Kohlenstoffdioxid (CO₂) durch die Exposition an die oxidierenden Bedingungen der Atmosphäre emittiert. Die Wiederherstellung von anaeroben Bedingungen durch Wiedervernässung stellt eine bewährte Methode dar, um CO₂ Emissionen direkt zu minimieren und langfristig Bedingungen zur Wiederherstellung einer Kohlenstoffsенke zu schaffen.

Dabei ist es entscheidend, ein besseres Verständnis über die dynamischen Prozesse des Kohlenstoffkreislaufes nach der Wiedervernässung zu gewinnen. Daher wird in einem langangelegtem Forschungsprojekt der Schwedischen Universität für Agrarwissenschaften (SLU) ein wiedervernässtes Torfabbaugebiet (59°10'20.3"N 15°08'28.1"E) in der Region Örebro län begleitet. Im Rahmen dieses Projektes, wurde eine Bilanzierung der Kohlenstoffflüsse drei Jahre nach Wiedervernässung im Juli 2021 durchgeführt. Kohlenstoffflüsse (Methan und Kohlenstoffdioxid) wurden stündlich mit transparenten automatischen Messhauben und einem Infrarot-Absorption-Gas-Analysator auf unterschiedlichen Ökotope erfasst und mittels einer drohnengestützten Ökotoptkartierung (Abbildung 1) in Bezug zu der gesamten Fläche gesetzt.

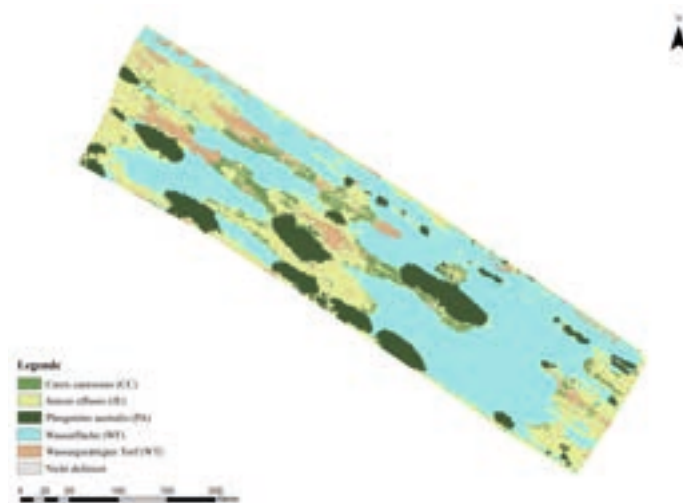


Abb1: Drohnengestützte Ökotoptkartierung (Verändert nach Eva Weber und Örjan Berglund)

Zusätzlich wurde durch das Aufstellen der Wasserbilanz und der Analyse des organischen Kohlenstoffgehaltes (TOC) die aquatischen Kohlenstoffflüsse bilanziert. Dabei ergab die Gesamtbilanz eine leichte Kohlenstoffsenke mit nur geringen Methanemissionen. Zusätzlich konnte eine deutliche Reduzierung der CO₂ Emissionen im Vergleich zu trockenem Torf festgestellt werden. Die Wiederherstellung einer Kohlenstoffsenke in den Sommermonaten stellt einen Erfolg der Renaturierungsmaßnahme dar und lässt vermuten, dass durch den fortschreitenden Prozess der Verlandung (Abbildung 2) eine Transformation zu einem natürlichen Moor eingesetzt hat.



Abb 2: *Carex canescens*, *Juncus effusus* und *Phragmites australis* (von links) auf der Untersuchungsfläche

Übertragen auf andere Torfabbaugelände, würden durch die Wiedervernässung hohe CO₂ Emissionen direkt gestoppt werden und zukünftig zusätzlich der Atmosphäre dauerhaft entzogen werden. Dadurch könnten renaturierte Torfabbaugelände zu wichtigen Ökosystemleistern bei der Verhinderung und Reduzierung der Klimakrise werden. Daher ist es zu empfehlen, dass die Wiedervernässung in Zukunft auch in Schweden nach der Torfextraktion häufiger in Betrachtung gezogen werden sollte.

Boris Schulze M.Eng.

Erstprüfer:	Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Reinhold Döring
Datum des Kolloquiums:	31. August 2020
Master-Studiengang: Studienrichtung:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Fa. Gebr. Willers GmbH & Co. KG



Die Branche der technischen Gebäudeausrüstung (TGA) unterliegt derzeit einem Wandel in ihren Arbeitsweisen. So hält auch hier wie in vielen andern Bereichen eine Digitalisierung in die Planungsprozesse Einzug. Einer der Kernpunkte des derzeitigen Wandels stellt das Building Information Modeling dar.

Der Thematik Building Information Modeling (BIM) kommt aufgrund der Forderung auf Umsetzung/Anwendung durch das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) eine immer weiter steigende Bedeutung zu. Demnach sind seit Beginn 2020 neu zu planende Projekte der öffentlichen Hand im Bereich Hochbau und Infrastruktur gemäß BIM zu planen. Auch das Bauministerium setzt ab einem geschätzten Baukostenvolumen ab fünf Millionen Euro auf BIM. Entsprechend werden künftig immer weitergehende Anforderungen bzgl. der Umsetzung der BIM-Methodik an ausführende Unternehmen in allen Branchen bestehen. Unabhängig vom Willen eines ausführenden Unternehmens auf den Einsatz der Planungsmethode BIM aus eigenem Anstreben, wird dies künftig bereits durch externe Faktoren unumgänglich sein.

BIM ist generell nichts Neues. Während der letzten Jahre ist BIM weltweit in tausenden Projekten erfolgreich eingesetzt worden, und nun hält es auch in Deutschland Einzug.

Building Information Modeling (BIM), oder auf Deutsch Gebäudedatenmodellierung, ist eine modellbasierte Planungsmethode. Die Basis bildet ein 3D-Modell aus attribuierten Bauteilen - also die Kombination von 3D-Geometrie mit alphanumerischer Information. Hierbei ist sicherlich das 3D-Modell von großem Wert, der wahre Wert des Modells liegt allerdings in den Daten/Informationen welche im Modell enthalten sind. Es geht also über die derzeit noch vorherrschende Methodik der 2-D Modelle, ggf. bei größeren Projekten 3-D Modelle, hinaus und ist dabei mehr als ein reines Softwaremodell. Vielmehr ist es eine kooperative Arbeitsmethodik oder gar Philosophie. Über ein solches Building Information Modeling (BIM) können die verschiedenen räumlichen Strukturen, Bauteile und Komponenten eines Gebäudes mit ihren unterschiedlichen Aspekten und Fachinformationen über den gesamten Lebenszyklus abgebildet, vernetzt und verwaltet werden. Ebenfalls erfolgen der Austausch und die Übergabe der Daten und Informationen zur weiteren Bearbeitung in einer transparenten Kommunikation.

Viele Firmen und Entscheidungsträger stehen derzeit vor der Fragestellung: Was für Anforderungen kommen da auf uns zu und wie können wir uns hierauf vorbereiten. Mit dieser Problematik, die sich auch für ausführende Unternehmen stellt, soll sich diese Arbeit befassen. Doch wo noch große Herausforderungen auf die Unternehmen zukommen, stellen sich auch etliche Chancen für die Unternehmen dar. Vor allem vor dem Hintergrund des deutlichen Wachstumspotentials. In dieser Arbeit werden die einzelnen Bereiche von BIM erklärt sowie Anforderungen von und an Auftraggeber und Auftragsnehmer jeglicher Art aufgezeigt. Im weiteren Verlauf werden die Anforderungen an ein ausführendes Unternehmen dargestellt und ein Leitfaden zur Einführung von BIM in ein solches entwickelt.

BIM weist in die richtige Richtung, ist aber nicht die Lösung aller Probleme am Bau. Die BIM-Methode kann weder Zeitdruck, mangelndes Nachdenken, eine fehlende Detailplanung und erst recht nicht ständige, „baubegleitende“ Planungsänderungen auffangen. Reibungslos funktioniert BIM allerdings derzeit nur mit den Produkten eines Softwareherstellers. In der Realität sind aber immer mehrere Büros und mehrere, teilweise auch nicht BIM-konforme Programme an der Planung beteiligt, was zu Dateninkonsistenzen führt. Sobald Daten zwischen Bau- bzw. TGA-CAD-, Berechnungs-, Simulations- oder CFD-Programmen unterschiedlicher Hersteller ausgetauscht werden müssen, knirscht es. Zudem können ausführende Bauunternehmer und Handwerker, aber auch Bauherren oder Facility Manager mit BIM-Daten derzeit wenig anfangen. Hier liegen BIM-Theorie und -Praxis noch weit auseinander. Trotz aller Einschränkungen und Herausforderungen: technische Entwicklungen haben die Eigenschaft, dass sie nicht aufzuhalten sind.

BIM ist in einigen Ländern Europas, im Nahen Osten, in Asien oder in den USA bei Großprojekten Standard. Auch das Europäische Parlament oder die deutsche Reformkommission für Großprojekte empfehlen BIM. Aktuelle VDI-, DIN- bzw. CEN- und ISO-Standardisierungsvorhaben, Forschungsprojekte und Referenzobjekte sorgen dafür, dass BIM auch hierzulande für öffentliche, langfristig auch für private Bauvorhaben zum Standard wird. Wer da nicht mitmacht oder zumindest sein BIM-Wissen auf dem Laufenden hält, gerät in Gefahr, technologisch abgehängt zu werden. Wer von der neuen Planungsmethode profitieren will, muss aber bereit sein, bisherige Arbeitsweisen zu ändern, Zeit und Geld in die BIM-Einarbeitung, teilweise auch in neue Planungswerkzeuge und entsprechende Schulungen zu investieren.

Machbarkeitsstudie für die Entwicklung eines Elektrolyseur-Standortes zur Erzeugung von grünem Wasserstoff

Annkatrien Senker B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Zweitprüfer: Jan-Hendrik Wolke, B.Sc.
 Datum des Kolloquiums: 9. März 2022
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Energietechnik
 in Kooperation mit: Enwelo GmbH & Co.KG



Seit einigen Jahren gilt Wasserstoff als ein Hoffnungsträger für die Energiewende. Durch synthetische Kraftstoffe, sogenannte Synfuels, und molekulare „stoffliche“ Energieträger kann Energie gespeichert und den verschiedenen Sektoren zur Verfügung gestellt werden. Das Element Wasserstoff bekommt in diesen Zusammenhang einen hohen Stellenwert.

Im Rahmen des Wettbewerbs „Modellregion Wasserstoff-Mobilität“ in Nordrhein-Westfalen wurde im Jahr 2020 ein Konzept entwickelt, in welchem fünf potenzielle Wasserstoffherstellungsstandorte im Kreis Steinfurt identifiziert wurden. In dieser Arbeit wurde der Potenzialstandort Metelen auf Basis der Erkenntnisse des Konzeptes eingehender betrachtet und die Machbarkeit für die Umsetzung einer Wasserstoffherstellungsanlage an dem Standort Metelen untersucht.

Mit der Nationalen Wasserstoffstrategie (NWS) hat die Bundesregierung im Jahr 2020 einen Handlungsrahmen geschaffen, der die Erzeugung, den Transport, die Nutzung und die Weiterverwendung von Wasserstoff beinhaltet. Ziele der NWS sind, neben der Etablierung von Wasserstofftechnologien, die Festlegung von regulatorischen Rahmenbedingungen für einen erfolgreichen Markthochlauf. Zukünftig sollen vor allem erneuerbare Energien zur Wasserstoffherzeugung genutzt und ein „Heimatmarkt“ für Wasserstoff entwickelt werden.

Neben den politischen Rahmenbedingungen wurde der Aufbau einer Elektrolyse-Anlage betrachtet. Derzeit stehen vier Elektrolyse-Verfahren für die Gewinnung von grünem Wasserstoff zur Verfügung. Die Verfahren befinden sich in verschiedenen Entwicklungsstadien und unterscheiden sich hinsichtlich der eingesetzten Elektrodenmaterialien und Katalysatoren.

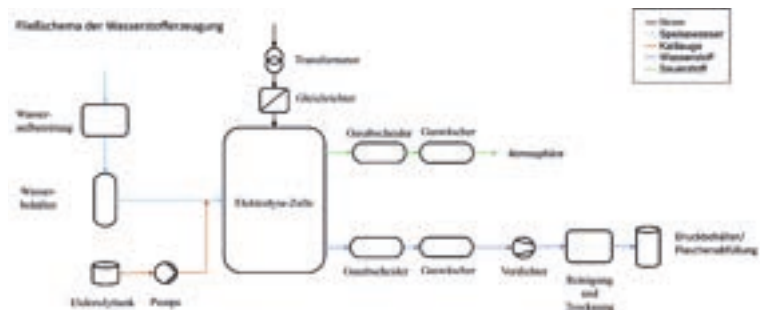


Abb. 1: Schematischer Aufbau einer Elektrolyse-Anlage

Die volatile Stromerzeugung der Windenergieanlagen sorgt für eine schwankende und schlecht planbare Stromerzeugung. Die Protonenaustauschmembran-Elektrolyse (PEMEL) verfügt über einen großen Lastbereich und kann auch bei geringer Stromzufuhr die Wasserstofferzeugung aufrechterhalten. Diese Eigenschaft macht den PEMEL besonders für den Betrieb mit Windenergie interessant. Bei schwankender Stromerzeugung der Windenergieanlagen kann der Elektrolyseur den Betrieb aufrechterhalten und so ein großes Leistungsspektrum abdecken.

Die Untersuchung der Machbarkeit hat gezeigt, dass eine Elektrolyse-Anlage mit einer Leistung von 10 MW den im Konzept zur Wasserstoff-Mobilität prognostizierten Wasserstoffbedarf für das Jahr 2025 bereitstellen kann. Der Bedarf an elektrischer Energie wird von den umliegenden Windparks gedeckt. Da bis zum Jahr 2025 voraussichtlich kein flächendeckendes Wasserstoffnetz zur Verfügung stehen wird, wird der Wasserstoff bei einem Betriebsdruck von 500 bar gasförmig mit Wasserstoff-Trailern zu den Abnehmern transportiert. Ein stationärer Pufferspeicher nimmt überschüssige Wasserstoffmengen auf und kann bei Ausfall des Elektrolyseurs oder der Windenergieanlagen die Versorgung der Abnehmer für zwei Tage gewährleisten. Die Elektrolyse-Leistung von 10 MW lässt darauf schließen, dass es sich um eine Anlage mit industriellem Umfang nach Anlage 1 Nr. 4.1.12 der 4. Bundes-Immissionsschutzverordnung (BImSchV) handelt. Für die Realisierung des Vorhabens ist demnach ein förmliches Genehmigungsverfahren nach §4 BImSchG notwendig.

Bei der Planung des Elektrolyseur-Standortes Metelen sollte eine skalierbare Bauweise angestrebt werden. In dem Konzept für die Wasserstoff-Mobilität wird ein Anstieg der Abnahme um den Faktor fünf bis zum Jahr 2030 prognostiziert. Um die Wasserstoffnachfrage zu decken, sollte die Erweiterung der Anlage in Anlehnung an die steigende Nachfrage frühzeitig bedacht werden. Ergänzend dazu bietet die Anbindung an die für das Jahr 2030 geplante Wasserstoffleitung der Fernleitungsnetzbetreiber Gas e. V. die Möglichkeit überschüssige Wasserstoffmengen einzuspeisen. Im Bedarfsfall kann Wasserstoff aus der Leitung entnommen werden, um Versorgungssicherheit zu erhöhen und den Speicherbedarf am Standort der Erzeugungsanlage zu reduzieren.

Sanierung der Überleitung vom Pumpwerk Ölper zum Klärwerk Steinhof - Sicherstellung einer redundanten Abwasserableitung

Alexander Siemens B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing Helmut Grüning

Datum des Kolloquiums: 30. September 2021

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Umwelttechnik

in Kooperation mit: PFI Planungsgemeinschaft GmbH & Co. KG



Im Rahmen der vorliegenden Bachelorarbeit wurde ein Sanierungskonzept erstellt, dass in Zukunft eine redundante Abwasserableitung des vorhandenen Systems sicherstellen soll. Das Pumpwerk Ölper fördert in etwa 90 % des dem Klärwerk Steinhof zugeführten Abwassers, hauptsächlich über eine Freigefälleleitung aus Stahlbeton und des Durchmessers DN 1500. Neben dieser Leitung führen noch zwei weitere Leitungen vom Pumpwerk zum Klärwerk. Eine weitere Freigefälleleitung aus Stahlbeton und des Durchmessers DN 1000 sowie eine Druckleitung aus Guss mit einem Durchmesser von DN 800. Diese beiden Leitungen weisen nicht genügend Abflusskapazität auf, um eine Redundanz zur Hauptleitung zu erreichen. Daher sieht das Sanierungskonzept vor, diese beiden Leitungen zu sanieren, damit durch sie in Zukunft eine Redundanz zur DN 1500 Leitung besteht.

Zu Beginn wurden einige in der Praxis üblichen Sanierungsverfahren erläutert und eine Bestandsaufnahme des vorhandenen Systems durchgeführt. Hierbei wurde der Fokus auf die Höhenverläufe sowie die Lage der Leitungen gelegt. Des Weiteren wurde die Trasse der jeweiligen Leitungen näher betrachtet, sowie deren Abflussleistungen ermittelt. Der Soll-Zustand des Systems ist bezüglich der Abflussleistung bei $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$. Um eine Grundlage zur späteren Handlungsempfehlung zu bilden, wurden fünf Sanierungsvarianten erstellt. Die erste Variante beschreibt die Sanierung beider Leitungen (DN 1000 und DN 800) mit dem zukünftigen Betrieb als Druckleitungen, während die zweite Variante nach der Sanierung die ursprüngliche Funktion vorsieht (DN 1000 Leitung als Gefälleleitung). Die dritte Variante umfasst die Sanierung wie in Variante 1 oder 2 beschrieben sowie einem zusätzlichen Bau einer neuen Leitung, um die Leitungen nach der Sanierung um die eventuell fehlende Abflusskapazität zu ergänzen. Die Variante 4 sieht den Neubau einer Leitung vor, ohne die vorhandenen Leitungen zu sanieren, während die Variante 5 den Neubau von Leitungen mithilfe des Berst- oder Pipe-Eating-Verfahrens beschreibt. Letzteres hat den Grund in der Beibehaltung der schon vorhandenen Trasse.

Anschließend wurden die Sanierungsmaßnahmen auf ihre Umsetzbarkeit in dem vorliegenden Fall geprüft, die damit zu erwartenden verbundenen Kosten sowie die Einflüsse der Maßnahmen auf die Abflusskapazität der beiden Leitungen ermittelt. Des Weiteren wurde geprüft, welche Druckstoßsicherungsmaßnahmen erforderlich wären. Nach Berechnungen und Überlegungen der Firma 3S Consult

GmbH wurde beschlossen, vier Be- und Entlüftungsventile entlang der jeweiligen Leitungen zu installieren. Um die zuvor aufgestellten Sanierungsvarianten bewerten zu können, wurde geprüft, welche Sanierungsmaßnahmen sich für die jeweiligen Varianten eignen würde. Dabei war auch zu beachten, dass die Abflusskapazität nach Anwendung der jeweiligen Variante nicht zu stark von dem Soll-Wert der Abflusskapazität von $2,0 \text{ m}^3/\text{s}$ abweicht. Basierend auf den Ermittlungen der Kosten der jeweiligen Sanierungsmaßnahmen wurden Kostenspannen für die Varianten aufgestellt. Diese Kostenspannen, sowie die Betrachtung der Trasse und zu erwartenden Betriebskosten nach der Sanierung, waren Grundlage zur Handlungsempfehlung. Nach entsprechender Bewertung der Varianten, war die Sanierungsvariante 1 zu empfehlen. Die DN 1000 Leitung soll durch das Rohrstrangling zu einer DN 800 Leitung reduziert werden, die als Druckleitung zu betreiben ist und die vorhandene DN 800 Leitung soll durch das Reduktionsverfahren einen Close-fit-Liner eingezogen bekommen und weiterhin als Druckleitung betrieben werden.

Aufgrund der vorliegenden Ergebnisse konnte die These, dass sich Kupfersulfat als Medium eines thermochemischen Energiespeichers nicht eignet, widerlegt werden. Dabei wird sich zum einen auf die teilweise Reversibilität des Kupfersulfats bezogen und zum anderen auf die ermittelte Leistung der Entladung.

Der ermittelte Energiegehalt des Speichers, nach dem Entladen, lässt auch darauf schließen, dass noch großes Potenzial besteht, den Vorgang der Entladung zu optimieren.

Abschließend lässt sich sagen, dass die hier erzielten Leistungen des in dieser Arbeit entwickelten Reaktors nicht den Vorstellungen zu Beginn der Arbeit entsprachen. Jedoch verspricht dieses System ein großes Verbesserungspotenzial im Bereich des Entladungsvorgangs und damit auch des Wirkungsgrades.

Durchführbarkeit des Ames-Tests im Rahmen des Mikrobiologischen Praktikums und der Vergleich verschiedener Stoffe in weiteren Toxizitätstests

Nils Siering B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann
Zweitprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums:	21. September 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Labor Umwelttechnik



Aufgabe dieser Bachelorarbeit war es, den nach seinem Entwickler benannten Ames-Test, einen Genotoxizitätstest, auf seine Durchführbarkeit im Praktikum des Wahlpflichtmoduls Mikrobiologie im Labor für Umwelttechnik an der FH-Münster zu prüfen. Hierfür wurde der Test in den Räumen des Labors durchgeführt und aus den gewonnenen Erfahrungen ein angepasstes Praktikumsskript erstellt. Dabei wurde das zu Grunde liegende Skript aus dem Mikrobiologischen Praktikum von Steinbüchel et al. in den Punkten der Arbeitsteilung mit den Laborbetreuern, den eingesetzten Testsubstanzen und dem generellen Umfang des Tests angepasst.

Der Ames-Test hat sich auf Grund seines geringen experimentellen Aufwandes, seiner reproduzierbaren Ergebnisse und seiner hohen Sensitivität in der Industrie und bei Behörden zu einem Standardverfahren für die Mutagenitätsprüfung entwickelt. Mittlerweile ist er ein wichtiges Entscheidungskriterium für die Zulassung einer Substanz. Da Ames mit einer umfangreichen Studie belegte, dass eine hohe Korrelation zwischen Mutagenität und Karzinogenität einer chemischen Verbindung besteht, ist dieser Test auch Beurteilungsgrundlage des karzinogenen Potentials einer Substanz. Die für den Test verwendeten Bakterien sind Histidin-auxotrophe Mutanten von *Salmonella enterica* subsp. *enterica*. Bei ihnen ist auf Grund einer Mutation ein Gen für den Biosyntheseweg der Aminosäure Histidin defekt, daher können sie ohne den Zusatz von Histidin nicht in Mineralsalzmedien wachsen. Diese Punktmutation kann durch eine von der Testsubstanz ausgelösten Punktmutation rückgängig gemacht werden (Sekundärmutation).

Da sie die Aminosäure Histidin also wieder selbst synthetisieren können, kann eine positive Selektion angewandt werden. Auf einem Nährboden ohne bzw. mit nur sehr wenig vorhandenem Histidin werden nur die Mutanten mit Sekundärmutation, auch Revertanten genannt, größere Kolonien bilden. Somit sind selbst wenige Revertanten unter einer großen Anzahl an Bakterienzellen, die der zu testenden Substanz ausgesetzt waren, leicht zu erkennen. Neben der von der Substanz ausgelösten Mutationen können auch spontan Rückmutationen auftreten. Im Test wird daher das Verhältnis von der durch die Testsubstanz ausgelöste Rückmutationsrate zu der spontanen Rückmutationsrate als Maß für die Mutagenität der Substanz verwendet.

Im zweiten Teil der Arbeit wurden vier weitere Toxizitätstests mit gleichen Testsubstanzen durchgeführt, um die Tests, zusammen mit dem Ames-Test, untereinander in den Punkten Wirkungsbereich, Durchführbarkeit und Aussagekraft zu vergleichen. Bei den weiteren Toxizitätstests handelt es sich um zwei bakterielle Tests, einen Leuchtbakterientest und einen Atmungs-Hemmtest, sowie um zwei enzymatische Tests, einen Urease-Hemmtest und einen Invertase-Hemmtest. Bei dem Ames-, Leuchtbakterien-, Atmungshemm- und Urease-Hemmtest wurden bestehende Versuchsdurchführungen aus wissenschaftlichen Arbeiten, Normen oder Praktikumsunterlagen mit leichten Abänderungen in Bezug auf Durchführbarkeit (unter gegebenen Laborbedingungen) verwendet. Beim Invertase-Hemmtest hingegen wurde auf Basis einer Praktikumschrift eigens ein Test entwickelt.

Fortschreibung des Energiekonzeptes für ein Quartier mit Hilfe des Open Energy Modelling Frameworks

Piriyanha Sivabalasingam M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Maximillian Thomas Hart
Datum des Kolloquiums:	6. August 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
Laborbereich:	Labor Energieversorgung und Energiewirtschaft



Die vollständige Dekarbonisierung der Sektoren Strom, Wärme und Mobilität in ländlichen Regionen bedarf besonderen Herausforderungen. Die geringe Anwohner- und Industriedichte bei einer hohen Flächenverfügbarkeit, die hohe Pendlerdichte bei geringen ÖPNV-Möglichkeiten sowie die geringe Netzstabilität stellen besondere Anforderungen an zukünftige sektorenggekoppelte Energiesysteme (Küpper 2016; Möller et al. 2019; Kirnats et al. 2018b). In dem durch den Europäischen Fonds für regionale Entwicklung (EFRE.NRW) geförderten Forschungs- und Entwicklungsprojekt (F&E-Projekt) EnerRegio Modellhafte und netzstabilisierende Energiesysteme in ländlichen Regionen werden Energiesysteme der Zukunft in ländlichen Regionen untersucht (MWIDE NRW 2014).

In dieser Masterarbeit wurden als Teilaufgabe des Projektes mögliche Energiesysteme simuliert. Mit Hilfe des Open Energy Modelling Framework wurden Energiekonzepte für den sektorenggekoppelten Betrieb innerhalb des Musterquartieres für die Ausbaustufen Power-to-Power und Power-to-X in den Szenarien 2030 und 2050 modelliert. Ziel der Arbeit ist es optimierte Energiekonzepte hinsichtlich der Kriterien Energieautarkiegrad, Energiesystemkosten und emittierte Treibhausgasemissionen zu ermitteln. Als Grundlage dafür dient die Kalkulationstabelle The Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG), welche als Schnittstelle zwischen der Programmierumgebung und der Excel Tabellen-Benutzeroberfläche dient.

Dabei stellt sich heraus, dass Power-to-Power-Ansätze mit dem Ausbau von PV-Anlagen, Wärmepumpen sowie der Elektromobilität bereits heute aus wirtschaftlichen und ökologischen Gesichtspunkten sinnvoll sind. Mit geeigneten Speicheroptionen wie Batteriespeicher und Wärmespeichern können diese Technologien effizient eingesetzt werden und die Sektorenkopplung der elektrischen Energie in die Sektoren Strom, Wärme und Mobilität ermöglichen. Der vollständige PV-Ausbau im Quartier verursacht hohe Mengen an negativen Residuallasten, die mit den eingesetzten Technologien im Quartier nicht ausgeglichen werden können. Auch die Kapazitäten der häuslichen Speicheroptionen genügen nicht, um die PV-Stromerzeugung vollständig im Quartier zu verwerten.

Zur Untersuchung des Autarkiegrades wurde ein Quartierstromnetz simuliert, welches die Residuallasten der PV-Anlagen speist und an die alle Haushalte verteilt. Während der Strombezug aus dem Quartierstromnetz für Stromgeste-

hungskosten von PV-Anlagen in Höhe von 4,7 ct/kWh erfolgt, liegen die Strombezugspreise aus dem allgemeinen Stromnetz bei einem marktüblichen Wert von 27,29 ct/kWh. Aufgrund der Preisdifferenz überwiegt der Strombezug aus dem Quartiersnetz. Dennoch wurde in der wirtschaftlichen als auch ökologischen Betrachtung des Energiekonzeptes für das Musterquartier etwa 50 % des erzeugten PV-Stroms ins allgemeine Stromnetz eingespeist.

Mit dem Ziel, die negativen Residuallasten zu reduzieren, wurde eine zweite Ausbaustufe mit Power-to-X-Technologien aufbauend auf den Power-to-Power-Lösungsansätzen untersucht. Hier wurde ein zentraler Elektrolyseur und eine zentrale biologische Wasserstoffherzeugung simuliert, welche vorrangig die negativen Residuallasten nutzen. Des Weiteren wurde die Brennstoffzelle als mögliches Substitut für die Gasheizung in den Haushalten des Musterquartiers modelliert. In der Untersuchung hinsichtlich der Wirtschaftlichkeit zeigt sich, dass diese Technologien nach aktuellem Stand der Technik für einen vollständigen Ausbau in einem ländlichen Quartier sehr kostenintensiv sind und sich nicht rentieren. Aus ökologischer Sicht zeigt sich Wasserstoff als effizienter Energieträger zur Sektorenkopplung in den Sparten Strom und Wärme. Die Wasserstoffmobilität wurde im Rahmen dieser Arbeit nicht untersucht.

Im Resultat zeigt sich, dass die Optimierung der Energiekonzepte in ländlichen Regionen wirtschaftlich als auch ökologisch sinnvoll ist. Insbesondere Power-to-Power-Ansätze lassen sich bereits heute wirtschaftlich rentabel realisieren und bewirken eine Reduktion der THG-Emission sowie die Steigerung des Energieautarkiegrades. Allerdings kann im Jahr 2050 mit diesen Technologien keine Treibhausgasneutralität erzielt werden. Das Ziel der Bundesregierung ist es, bereits im Jahr 2045 eine Treibhausgasneutralität zu erreichen. Die Power-to-X-Lösungen bieten die Möglichkeiten die Sektoren intensiver zu koppeln und große Mengen an Treibhausgasen einzusparen. Zukünftige Technologiepreisentwicklungen und gesetzliche Marktanzreizsysteme können dies fördern. Des Weiteren stellt sich oemof mit Hilfe des SESMG als sinnvolle Simulationssoftware dar, um Energiesystemen in Quartieren zu modellieren und optimieren. Die Software ist benutzerfreundlich und durch die Bausteinfunktion flexible nutzbar für die unterschiedlichsten Energiesysteme und Konstellationen.

Einbindung eines Organic-Rankine-Prozesses in eine BHKW-Anlage

Philipp Sommer B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Stefan Knepper M.Sc. und Klaus Heijnk
Datum des Kolloquiums:	23. Februar 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	2G Energietechnik GmbH



Ein Organic-Rankine-Cycle (ORC) dient der Potentialschöpfung von nicht genutzten Wärmequellen. Vorrangig kommt diese Technologie zum Einsatz, wenn das zur Verfügung stehende Temperaturgefälle zwischen Wärmequelle und -senke zu niedrig für einen Wasserdampfkraftprozess ist. Im Bereich der Kraft-Wärme-Kopplung, kann die Abgaswärme eines bestehenden Blockheizkraftwerks (BHKW) zur Nachverstromung genutzt und der Gesamtwirkungsgrad erhöht werden.

Zielsetzung ist die projektbezogene Integrierung von zwei Hochtemperatur-Organic-Rankine-Prozessen (HT-ORC) als Parallelschaltung in eine BHKW-Anlage. Aus der Einbindung resultiert ein ORC-BHKW und wird als eine Anlage betrachtet. Zweck der Einbindung ist die zusätzliche Stromerzeugung der Rauchgasenergie vom BHKW. Die Kondensationswärme wird ausgekoppelt und zur Rücklaufanhebung des Heizkreises verwendet. Kernpunkt ist die Betrachtung der Rauchgasstrecke. Die Verteilung der Abgasmassenströme erfolgt durch eine Parallelschaltung von Drosselklappen zu den einzelnen Dampferzeugern. Im Regelbetrieb ist der Abgasbypass kurzgeschlossen. Daraus resultiert eine Verschiebung der Abgasmassenströme und Leistungsreduzierung im Nennbetrieb. Im Fokus steht die Auslegung eines variablen Widerstandes zur Reduzierung dieser Verschiebung und optimalen Beaufschlagung der Verdampfer im Teillastbetrieb. Für die richtige Auslegung werden anlagenspezifische Betriebsdaten herangezogen um eine Massenstromanalyse mit verschiedenen Widerständen zu simulieren.

Das Ergebnis zeigt, dass der Einbau der Lochscheibe mit kleiner werdendem Querschnitt, eine Reduzierung der Massenstromverschiebung zum Bypass hin bewirkt. Durch eine Messung konnte der Druckverlust der Lochscheibe validiert werden. Durch die Einbindung des ORC-Prozesses, kann der Gesamtwirkungsgrad signifikant gesteigert sowie die Flexibilisierung bezüglich der Strom- und Wärmeproduktion erhöht werden. Die wissenschaftliche Arbeit beschreibt dabei die Vorgehensweise mit abschließender Beurteilung über die Primärenergieeinsparung.

Untersuchung und Visualisierung der Trinkwasserbedarfe in gewerblichen Betrieben der Kategorie B und C nach den technischen Regeln für Arbeitsstätten

Tobias Spahn B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Alexander Liebig
Datum des Kolloquiums:	13. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	Goldbeck Nord GmbH Niederlassung Münster



Vor dem Hintergrund der heutigen Technologiestandards und der Erkenntnisse über die Trinkwasserbedarfe in unterschiedlichen Gebäudetypen, bietet die auf den Nutzen angepasste Rohrnetzplanung ein erhebliches Potenzial zur Verschlankung und somit zur hydraulischen sowie hygienischen Verbesserung des Trinkwassernetzes.

Für Wohngebäude und ähnlich vergleichbare Gebäudetypen stehen nach der DIN 1988-300 Parameter zur Rohrnetzplanung zur Verfügung, die das gleichzeitige Nutzen von Trinkwasserverbrauchern innerhalb dieser Gebäude widerspiegeln. Für Sonderbauten wie Industriebetriebe, in denen stark bis sehr stark schmutzende Tätigkeiten ausgeübt werden, dort also nach der Arbeitsstättenrichtlinie besondere Anforderungen an das Aufkommen von Wasch- und Duschplätzen gelten, stehen solche Parameter nicht zur Verfügung. Dort sind die Spitzenanforderungen an das Trinkwassernetz in Abstimmung mit dem Anlagenbetreiber zu bestimmen. Im Rahmen dieser Abschlussarbeit wurden vier solcher Industriebetriebe auf ihre Trinkwasserverbräuche untersucht.

Dabei wurde bei zwei zentralen Trinkwassererwärmungssystemen die Warm- und Kaltwasserentnahmemenge und bei zwei dezentralen Systemen die Kaltwassermenge sowie der Stromverbrauch von ausgewählten Einzel-Trinkwassererwärmern gemessen.

Anhand der gemessenen Spitzendurchflüsse wurden in Anlehnung an die DIN 1988-300 alternative Gleichzeitigkeitskonstanten ermittelt. Deutliche Bedarfsunterschiede wurden in Abhängigkeit des Verschmutzungs- und Schweregrads der Arbeit verzeichnet. Laut einer Mitarbeiterbefragung werden die Duschanlagen in dem Unternehmen, in dem sehr stark schmutzende Tätigkeiten ausgeübt werden, von allen Produktionsangestellten genutzt. In den übrigen drei Industriebetrieben, in denen weniger schmutzende Tätigkeiten ausgeübt werden, werden die Duschmöglichkeiten dagegen gar nicht bis wenig in Anspruch genommen. Die Messungen konnten dies bestätigen.

Ergänzend zu den Gesamt-Durchflussmessungen wurden Durchflussmengen- und Temperaturen von Waschtisch-, Dusch- und Spülarmaturen erfasst. Deutliche Wassersparpotenziale wurden dadurch ersichtlich. Anhand der Strommessungen wurden Nutzungsprofile geschaffen, es wurden Netto-Energiebedarfe zur Trinkwassererwärmung in Anlehnung an die DIN EN 12831-3 ermittelt und energieträgerabhängige Anlagenkosten miteinander verglichen.

Darüber hinaus wurden alternative Rohrnetzrechnungen auf Basis der Messergebnisse und der Berücksichtigung von Herstellerangaben durchgeführt. Potenziale zur Verschlankeung des Rohrnetzes und somit zur hygienischen Verbesserung sowie zur Kostenersparnis wurden dadurch ersichtlich.

Da die Messungen in einem Zeitraum stattfanden, in dem ein Regelbetrieb aufgrund der Corona-Pandemie teils nicht möglich war, werden für verlässliche Aussagen jedoch weitaus mehr Untersuchungen benötigt, insbesondere wenn der Regelbetrieb wieder sichergestellt ist.

Erstellung eines Genehmigungsleitfadens für einen Wasserstoffelektrolyseur der Megawattklasse

Julian Speller M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums:	20. April 2022
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Enapter AG



Mit der Ratifizierung des Pariser Klimaabkommens hat sich Deutschland das Ziel gesetzt, den menschengemachten Klimawandel einzudämmen. Ein wesentlicher Baustein für die Erreichung dieser Ziele ist der Ausstieg aus fossilen Energieträgern wie Kohle und Öl. Wasserstoff aus erneuerbaren Energien kann dabei als Einsatz- oder Brennstoff, aber auch als Energieträger zur Speicherung von erneuerbaren Energien fungieren.

Im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projektes „HY-Core“ entwickelt die Enapter AG einen Elektrolyseur der Megawattklasse, den AEM-Multicore. Für die Errichtung und Inbetriebnahme solcher Elektrolyseure ist eine Behördengenehmigung einzuholen.

Es erfolgt die Darstellung des allgemeinen Rechtsrahmens für Genehmigungsverfahren für Elektrolyseure. Auf Basis der Anlagenparameter des AEM-Multicore wird die Genehmigung nach Bundesimmissionsschutzgesetz als das nach aktueller Rechtslage durchzuführende Verfahren identifiziert. Es ist das förmliche Verfahren nach § 10 Bundesimmissionsschutzgesetz durchzuführen. Der Elektrolyseur ist als besonders umweltrelevante Industrieanlage nach Industrieemissionsrichtlinie gekennzeichnet.

Nach der Darstellung des Ablaufs des Genehmigungsverfahrens werden die Anforderungen an die Genehmigungsunterlagen aufgezeigt. Es erfolgt die Übertragung der Anforderungen auf den AEM-Multicore. Als Beispielstandort für die Betrachtungen wird der geplante Anlagenstandort im Bioenergiepark Saerbeck gewählt.

Aus der nach aktueller Behördenpraxis üblichen Einstufung in die Nr. 4.1.12 nach Anhang 1 der 4. BImSchV resultiert ein umfangreiches Genehmigungsverfahren mit Öffentlichkeitsbeteiligung, erweiterte Betreiberpflichten und ein erhöhter Verwaltungsaufwand in Form regelmäßiger Vor-Ort-Besichtigungen durch die Behörde. Die Mitgliedsstaaten der europäischen Union verpflichten sich, „sicherzustellen, dass für dezentrale Anlagen und für die Produktion und Speicherung von Energie aus erneuerbaren Quellen vereinfachte und weniger aufwändige Genehmigungsverfahren, unter anderem ein Verfahren der einfachen Mitteilung, eingeführt werden“ (Art. 15 Abs. 1 Buchstabe d (EU) 2018/2001). Dieser Hintergrund und die aktuelle Diskussion um die Einstufung machen es absehbar, dass

die Zulassungsverfahren für kleinere Anlagen in den nächsten Jahren vereinfacht werden. Um diesen Entscheidungsprozess zu unterstützen, sollten die Umweltauswirkungen verschiedener Elektrolyseurtypen und -größen untersucht und gegenübergestellt werden. Dies ist Voraussetzung dafür, dass die Genehmigungspraxis für Elektrolyseure zukünftig auf einer wissenschaftlich fundierten Risikoabwägung basieren kann.

Durch die Struktur und die Ausführungen im Rahmen der vorliegenden Arbeit können die Anforderungen, die aus einer Änderung der Anlagenkonzeption oder angepassten gesetzlichen Regelungen resultieren, antizipiert werden.

Flexibilitätssteigerung von Wasserkraftstandorten an der Mosel durch die Kombination von Wasserkraftanlage und Batteriesystem

Philipp Stauß M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Kevin Erdelkamp, M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	10. Februar 2021
Master-Studiengang: Studienrichtung:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	RWE



Ziel dieser Arbeit ist es, für die Moselkraftwerke der RWE Generation SE zu untersuchen, ob das aktuelle Flexibilitätskonzept wirtschaftlich durch den Einsatz von großen Batterieanlagen an ausgewählten Standorten ergänzt werden kann. In den Grundlagen dieser Arbeit werden Laufwasserkraftwerke und Energiemärkte in ihren Grundzügen vorgestellt.

Über die Grundlagen der Stromspeicher-Technologie werden als Kernpunkt dieser Arbeit die für Stromspeicher relevanten Regulatorien betrachtet. Dabei wird besonders der regulatorische und energiewirtschaftliche Rahmen erfasst und ausgewertet (Umlagen und Netzentgelte für den Ladestrom, Fördermöglichkeiten, vermiedene Netznutzungsentgelte, Präqualifikationsanforderungen der Netzbetreiber etc.). In einem nächsten Schritt wird dazu das bestehende Konzept zur Flexibilitätserbringung vorgestellt und analysiert.

Betrachtet und bewertet werden hierzu sowohl technische als auch organisatorische Gegebenheiten. Anschließend folgt eine Untersuchung der Optimierungsmöglichkeiten der Anlagenflexibilität durch den Einsatz von Batterieanlagen. Darüber hinaus wird ein grobes technisches Konzept zur möglichen Einbindung von Batterieanlagen an einem beispielhaften Moselstandort erarbeitet. Die Berechnung und Analyse des Nettobarwertes stellt die aktuell fehlende Wirtschaftlichkeit heraus und legt Herausforderung und Potentiale für zukünftige Entwicklungen dar. Abschließend wird eine Handlungsempfehlung abgegeben.

Planung einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage für den Ersatzneubau „Physikalisches Institut“ der Westfälischen-Wilhelms-Universität Münster

Dennis Steffens B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Tobias Ausländer M.Sc.
Datum des Kolloquiums:	15. Oktober 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	pbr Planungsbüro Rohling AG



Die Untersuchung zur Planung einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplungsanlage für den Ersatzneubau IG1 der WWU zeigt, dass die technischen und infrastrukturellen Voraussetzungen für die Errichtung und den Betrieb einer solchen Anlage gegeben sind.

Im Rahmen dieser Arbeit wird festgestellt, dass die Erschließung des Gebäudes mit den Medien Erdgas, Strom, Wärme und Kälte verhältnismäßig einfach realisiert werden kann. Dies liegt besonders daran, dass der Standort des Neubaus nur unwesentlich von dem bisherigen Standort abweicht und die betreffenden Medien ohnehin im Bereich des Naturwissenschaftlichen Zentrums vorhanden sind.

Die prognostizierten Lastgänge des Neubaus weisen ein hohes Potenzial für die Ausnutzung der KWKK-Anlage auf. Zum einen lässt der Bedarf an Kälteenergie problemlos den Einsatz einer Absorptionskältemaschine zu. Diese kann, ohne Berücksichtigung von plan- und außerplanmäßigen Unterbrechungen, ganzjährig betrieben werden und damit einen Anteil von 67% des gesamten Kälteenergiebedarfes von 4.505 MWh/a decken. Zeitgleich reduziert dies den zu erwartenden Strombedarf des Gebäudes, denn der thermisch angetriebene Verdichter der AKM benötigt, im Vergleich zur Kompressionskältemaschine nur vernachlässigbar geringe Mengen an elektrischer Energie. Ebenfalls wichtig ist die Auswirkung des Betriebes der AKM auf den Wärmebedarf des Gebäudes. Durch die Anhebung und die Anpassung des Wärmeleistungsbedarfes, vorrangig in den Sommermonaten, ist es möglich die wärmegeführten BHKW mit 6.252 Volllaststunden im Jahr zu betreiben. Mit einem Anteil von 57% des Spitzenwärmeleistungsbedarfes decken die BHKW einen Anteil von 87% des Gesamtwärmeenergiebedarfes von 7.092 MWh/a. Der verbleibende Wärmebedarf wird aus dem Fernwärmenetz gedeckt.

Der hohe Bedarf an elektrischer Energie wird in diesem Fall zu 81% gedeckt und der Spitzenleistungsbedarf, der aus dem öffentlichen Netz bezogen werden muss, kann um 44% gesenkt werden.

Die technische Auslegung der Komponenten erfüllt in Hinblick auf die Wirkungsgrade im Wesentlichen die Erwartungen. Der Gesamtwirkungsgrad der beiden Blockheizkraftwerke liegt mit 90,3% genau in dem zu erwartenden Bereich zwischen 80 und 95%. Die Kältemaschinen übertreffen mit einer Leistungszahl

von 5,2 für die Kompressionskältemaschinen und mit einem Wärmeverhältnis von 0,74 für die Absorptionskältemaschine sogar leicht die Erwartungen.

Es ist davon auszugehen, dass im Rahmen der Entwurfsplanung die Energiebedarfe mit Hilfe von Computer gestützten Berechnungen weiter konkretisiert werden können und es an dieser Stelle noch zu Abweichungen zu den hier prognostizierten Lastgängen kommt. Aufgrund dieser Tatsache und der noch ausstehenden Wirtschaftlichkeitsbetrachtung ist es durchaus möglich und wahrscheinlich, dass eine Anpassung der Komponenten an die neuen Erkenntnisse notwendig und empfehlenswert ist.

Es ist jedoch in jedem Fall davon auszugehen, dass die KWKK-Anlage der gewählten Größenordnung in Kombination mit dem Anschluss an das Fernwärme- und Kältenetz zu einer wirtschaftlichen, effizienten und zuverlässigen Energieversorgung des Ersatzneubaus führt.

Indoor-Maßnahme zur Emissionsminderung in der Mastschweinehaltung. Untersuchung und Auswirkungsbetrachtung einer Bakteriensuspension

Silva Stienemeyer M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dr. rer. nat. Lutz Boberg
Datum des Kolloquiums:	29. September 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
Laborbereich:	Labor Umwelttechnik
in Kooperation mit:	BEFAS GmbH



Emissionen aus Mastschweinebetrieben sollen durch Minderungsmaßnahmen vermieden oder reduziert werden. Die Maßnahmen schützen jedoch oftmals nur Teilbereiche wie beispielsweise Wohngebiete und Umwelt oder Tier und Stallbetreiber vor der Immissionseinwirkung. In dieser Arbeit wird daher die Fragestellung behandelt, welche Auswirkung eine im Stall angewendete Emissionsminderungsmaßnahme hat. Diese soll die dort freigesetzten Emissionen reduzieren und hierdurch einen Gesamtschutz für alle Bereiche bieten. Ziel ist es, durch einen Vergleich von zwei unterschiedlich behandelten Stallabteilen eine Minderung der Stickstoffverbindungen, Gerüche und Bioaerosole zu beobachten. Zur Beantwortung der Forschungsfrage erfolgte eine Untersuchung mit einhergehender Behandlung einer Bakteriensuspension im Mastschweinebetrieb.



Abbi: Mastschweinebetrieb

Es wurde Ammoniak mit der FTIR-Technologie gemessen und Geruchsproben olfaktometrisch ausgewertet. Die Bioaerosolproben wurden nach dem Impingementverfahren und die Gülleproben nach dem gesetzlich vorgeschriebenen Verfahren gezogen und anschließend durch akkreditierte Prüflaboratorien ausgewertet.



Abb2: Olfaktorische Geruchsprobenentnahme

Durch die Aufbereitung und Analyse der Messergebnisse konnte die Erkenntnis gewonnen werden, dass die Bakteriensuspension kein erwünschtes Minderungspotenzial auf den in dieser Arbeit angewandten Schweinestall zeigte. Außerdem wurde festgestellt, dass durch die Unterflurabsaugung im Mastschweinebetrieb erhebliche Mengen an Ammoniak aus der Gülle freigesetzt wurden.

Zukünftig sollte daher weitere Forschung betrieben werden, um die Auswirkung der Bakteriensuspension auf weitere Anwendungsfälle zu untersuchen. Schlussfolgerung aus der gewonnenen Erkenntnis ist, dass die Bakteriensuspension in Mastschweinebetrieben mit Unterflurabsaugungssystemen unter bestimmten Bedingungen keine Wirkung erzielt, jedoch ein Minderungspotenzial bei veränderten Bedingungen nicht auszuschließen ist. Entsprechende Empfehlungen für weitergehende Untersuchungen wurden im Rahmen der Masterarbeit abgeleitet.

Wasserstoffantriebe bei Umsetzfahrzeugen am IKEA Distributionsstandort in Dortmund als Alternative zur Elektromobilität

Lukas Stockhausen M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Datum des Kolloquiums:	18. September 2020
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	IKEA Distribution Services GmbH & Co. KG



Die Arbeit mit dem Titel „Wasserstoffantriebe bei Umsetzfahrzeugen am IKEA Distributionsstandort in Dortmund als Alternative zur Elektromobilität,“ soll einen Vergleich zwischen Elektromobilität und Wasserstoffantrieben hinsichtlich Eignung und Einsatzmöglichkeiten am IKEA Distributionsstandort in Dortmund ermöglichen und eine Handlungsempfehlung geben, wie das Ziel des Konzerns, komplett CO₂ neutral zu fahren, am Logistikstandort in Dortmund am besten umgesetzt werden kann.



Abb. 1: IKEA Distributionsstandort in Dortmund

In einer generellen, thematischen Einführung werden zunächst die beiden Antriebsformen genauer vorgestellt. Bei der Elektromobilität wird dabei nicht nur auf das Funktionsprinzip, sondern auch vor allem auf die Entwicklung in Deutschland in Bezug auf Zulassungszahlen sowie rechtliche und politische Gegebenheiten eingegangen. Bei den Wasserstoffantrieben werden zunächst die Grundlagen sowie einige Verfahren zur Herstellung von Wasserstoff erklärt. Darauf folgend wird sowohl die Funktionsweise solcher Antriebe erläutert sowie auch auf aktuelle Entwicklungen und Projekte im Bereich Wasserstoffantriebe Bezug genommen.

Nach dieser Einführung wird das Unternehmen IKEA, dessen nachhaltige Konzernziele und auch der Distributionsstandort in Dortmund mit seinen Energieverbräuchen, dem Tagesgeschäft und den Umsetzfahrzeugen genauer

vorgelegt. Anschließend wird die elektrische Infrastruktur des Logistikstandortes auf seine Eignung zur Umstellung auf elektrisch betriebene Rangierfahrzeuge untersucht. Das Ergebnis daraus ist, dass die bestehende, elektrische Infrastruktur in Dortmund zwar eine Nutzung von Elektromobilität zulässt, jedoch die energetischen Kapazitätsreserven des Standortes dabei an ihre Grenzen kommen. Ein weiterer Ausbau des Standortes ist somit nur bei einem Ausbau des Netzanschlusses möglich.



Abb. 2: Wasserstoff-Rangierfahrzeug

Im Vergleich dazu werden Wasserstoffmotoren und Brennstoffzellen als Alternative zur Elektromobilität vorgestellt und verglichen. Dabei wird unter anderem untersucht, inwiefern es möglich ist, den Wasserstoffbedarf durch eine eigene, nachhaltige Wasserstoffproduktion zu decken und welche anderen Konzepte möglich wären, um den Standort ausreichend mit Wasserstoff zu versorgen. Aus dieser Untersuchung resultiert die Erkenntnis, dass lediglich Brennstoffzellenantriebe dem Konzernziel als auch dem Anforderungsprofil an die Umsetzfahrzeuge am ehesten gerecht werden können. Die energetischen Ressourcen des Logistikstandortes werden geschont und für weitere, energieintensive Projekte bietet sich mehr Handlungsfreiheit. Um die für die Wasserstoff-Umsetzfahrzeuge benötigten Mengen an Wasserstoff bereitzustellen, bieten sich mehrere Möglichkeiten, die es dem Logistikstandort teilweise ermöglichen, bis zu 55 % des Wasserstoffbedarfs selbst zu produzieren.

Zum Abschluss der Arbeit wird eine wirtschaftliche Gegenüberstellung zwischen Elektromobilität und Wasserstoffantrieben durchgeführt. Bei diesem Vergleich werden die wesentlichen Kostenpunkte wie die Anschaffungskosten, die Kosten für Änderungen in der Infrastruktur als auch die Kosten für die Energiebereitstellung und Unterbrechungen im Tagesgeschäft untersucht. Daraus resultiert das Ergebnis, dass der Wasserstoffantrieb zwar sowohl in den Anschaffungskosten, den Infrastrukturkosten als auch den Bereitstellungskosten zunächst vermeintlich teurer ist als die Elektromobilität, jedoch auf lange Sicht gesehen von der Anwendung her einfacher als auch von den Kosten her günstiger sein wird und somit langfristig eine wirkliche Alternative zur Elektromobilität darstellt.

Insgesamt ist die Untersuchung eines möglichen Einsatzes von Wasserstoff-Rangierfahrzeugen am IKEA Distributionsstandort als positiv abzuschließen. Auch wenn Wasserstoff-Rangierfahrzeuge noch nicht auf dem Markt verfügbar sind und abschließend nicht alle einflussnehmenden Faktoren vollständig geklärt werden konnten, so zeigt sich doch, dass das Antriebskonzept der Brennstoffzelle für den Betrieb am Logistikstandort viele Vorteile mit sich bringen würde und grundsätzlich für eine Nutzung ohne sonderliche Einschränkungen geeignet ist.

Technologische Analyse und Bewertung der Energieversorgung in einem bestehenden Laborgebäude unter Beachtung der örtlichen Randbedingungen im Hinblick auf die gesamtheitliche Effizienzsteigerung

Sven Stockhorst M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Thomas Christ
Datum des Kolloquiums:	10. Februar 2022
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	AGROLAB GmbH



Die Masterarbeit beschäftigt sich mit einer realen Problemstellung in einem Laborgebäude des Umweltanalytikbetriebs Agrolab am Standort in Bruckberg. Das Labor weist in den Wintermonaten ein Wärmedefizit auf. Dieses Defizit wird momentan durch die Anmietung eines mobilen Öl-Kessels ausgeglichen. Darüber hinaus besitzt der Standort eine Kältemaschine, die aufgrund der geringen Laufzeiten eine hohe Störanfälligkeit aufweist.

Ziel der Arbeit ist, nach Analyse der Wärme- und Kälteversorgung und unter Beachtung der örtlichen Randbedingungen, mögliche Varianten aufzuzeigen, die das Defizit im Winter ausgleichen können. Dabei soll vor allem die Nutzung der vorhandenen Prozessabwärme des Labors betrachtet werden. Mit dieser soll die fehlende Wärmemenge, mittels der vorhandenen Kältemaschine, dem Gebäude zur Verfügung gestellt werden.

Die Arbeit beschäftigt sich mit der Frage, wie die Prozesswärme des Labors besser genutzt werden kann, um dem von der Bundesregierung gewünschten klimaneutralen Gebäudebestand ein Stück näherzukommen, sowie die Emissionen nachhaltig zu reduzieren.

Wie sich bei der Bestandsaufnahme herausstellte, wurden bei dem Energiekonzept aus dem Jahr 2015 diverse fehlerbehaftete Annahmen getroffen. In Summe ergibt sich daraus, sowohl die Unterversorgung an Heizenergie, als auch die Problematik der kurzen Laufzeiten der Kältemaschine.

Die in der Ausarbeitung betrachteten Varianten gleichen alle das Energiedefizit im Winter aus.

So ist durch alle Varianten die Hauptproblematik der zu geringen Wärmeversorgung des Standorts gelöst. Zusätzlich beheben die Variante 1 und 2 durch die Anpassung des Kältenetzes und der Erweiterung des Puffervolumens das Laufzeitproblem der Kältemaschine. Die Variante 3, mit Betrachtung eines BHKW, stellt eine gute Alternative dar, sofern das Gelände durch den Versorger gastech-nisch erschlossen wird. Die Investitionskosten eines Blockheizkraftwerks würden sich nach jetzigem Stand nach rund neun Jahren amortisieren.

Variante 2, mit der Hochtemperatur-Wärmepumpe, stellt mit einer Vorlauftemperatur von 80 °C eine Alternative zur Wärmeversorgung des kompletten

Gebäudes dar. Wie sich bei der Betrachtung herausstellte, ist eine zusätzliche Anhebung der Abwärmtemperatur für das Gesamtsystem jedoch nicht wirtschaftlich. Um einen wirtschaftlichen Betrieb zu erreichen, ist ein COP größer drei erforderlich. Dies kann durch eine leistungsstarke Wärmepumpe erreicht werden, wie in Variante 2 aufgezeigt wird. Jedoch liegen allein die Kosten der Wärmepumpe über den Kosten der gesamten Anpassungen aus Variante 1. Die betrachtete Wärmepumpe in Variante 2 ist in der Lage, bei einer Abwärmtemperatur von 20°C, rund 100 kW Wärmeleistung mit einer Vorlauftemperatur von 80 °C zu erzeugen.

Variante 1, die sich rein auf die Anpassung der gegebenen Anlagentechnik bezieht, bietet nach der Betrachtung aller Alternativen den größten Mehrwert. Sie kann mithilfe des Change-Over-Registers in der RLT 01 dem Gebäude genauso viel Energie zur Verfügung stellen, wie die alternative Hochtemperatur-Wärmepumpe aus Variante 2. Darüber hinaus werden hierdurch die aufgezeigten Fehler in der Kälteversorgung behoben. Mit Investitionskosten von ca. 45.000 € ist sie zudem die günstigste, betrachtete Variante.

Zusammenfassend zeigt sich, dass bei der klimaneutralen Bestandssanierung die Systemtemperaturen der Wärmeübertrager eines der größten Probleme sein wird. Um Umweltwärme oder Abwärme effizient nutzen zu können, sind geringe Vorlauftemperaturen essenziell. Jedoch sind Bestandsgebäude meist mit Wärmeübertragern ausgestattet, die Vorlauftemperaturen jenseits der 60 °C benötigen. Eine Anpassung der Wärmeübertrager in Gebäuden ist immer mit großem Aufwand und Kosten verbunden. Ähnliche Problematik stellte sich ebenso bei der betrachteten Anlage dar. Die hohe Vorlauftemperatur mit 80 °C bietet keine Möglichkeit am Standort, eine Kältemaschine direkt an das Wärmenetz anzubinden. Jedoch wäre bei einer geringeren Systemtemperatur der Wärmeübertrager, über den größten Teil des Jahres eine Wärmeversorgung nur durch die Abwärme der Kältemaschine am Standort möglich.

Die empfohlene Maßnahme, die die angestrebte Effizienzsteigerung und Wiederherstellung einer ausreichenden Energieversorgung erzielt, ist Variante 1. Durch die Anpassung des Kältenetzes werden im Objekt anfallende Wärmelasten stärker genutzt und nicht an die Außenluft abgegeben. Durch die Anpassung der Hydraulik in der Kältezentrale ist es möglich die Abwärme der Mess- und Analysegeräte, auf ein für das Gebäude nutzbares Temperaturniveau, ohne eine hohe elektrische Zusatzleistung, anzuheben. Es zeigt sich, dass bei einer ausführlichen Bestandsaufnahme eines Gebäudes diverse Möglichkeiten für eine effiziente Energieversorgung aufgezeigt werden können, die zusätzlich noch die Energiekosten eines Gebäudes senken. Durch die Nutzung der Abwärme wird sowohl eine effizientere Energieversorgung, als auch eine leichte Senkung der CO₂-Emissionen erreicht.

Entwicklung eines Energieversorgungskonzeptes für einen Neubau eines Krankenhauses

Maik Stratmann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Christoph Kaufhold M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	11. Januar 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Gödde Ingenieure GmbH



Im Rahmen dieser Bachelorarbeit werden verschiedene Varianten für die Wärmeerzeugung mit optionaler Stromerzeugung für einen Neubau des Klinikums Lippe GmbH am Standort Detmold miteinander verglichen.

Im ersten Abschnitt dieser Arbeit wird etwas über das Unternehmen Klinikum Lippe GmbH und die Liegenschaftserweiterung am Standort Detmold gesagt. Weiterhin wird die aktuelle Situation am Energiemarkt kurz erläutert. In diesem Zusammenhang werden die Vorteile von energieeffizienten Anlagen zur Wärme- und Stromproduktion diskutiert.

In Abschnitt 2 soll dem Leser ein Überblick der technischen Grundlagen, insbesondere für die in dieser Arbeit betrachtete Anlagentechnik, verschafft werden. Zusätzlich soll dem Leser verständlich gezeigt werden, wie sich die Eingangsgrößen der Berechnung ergeben haben.

Der dritte Abschnitt befasst sich mit dem energetischen Bedarf des Gebäudes. Es wird eine kurze Analyse der Trinkwassererwärmung, der Gebäudeheizlast und der benötigten Lüftungswärme durchgeführt. Anschließend folgt eine Erläuterung der entwickelten Energieversorgungskonzepte und deren Dimensionierung. Es werden zwei Varianten von Blockheizkraftwerken mit Spitzenlastkesseln, zwei Varianten von Wärmepumpen mit Spitzenlastkesseln sowie die Variante eines Gasbrennwertkessels gegenübergestellt.

Anschließend werden diese Varianten im Abschnitt 4 nach der Annuitätenmethode, gemäß der VDI 2067, analysiert. Im fünften Abschnitt werden die CO₂-Emissionen der Varianten gegenübergestellt. Zusätzlich wird die ab dem Jahre 2021 aufkommende CO₂-Bepreisung berücksichtigt und die jährlichen Gesamtkosten der Varianten zusammengefasst.

Abschließend werden die Varianten im sechsten Abschnitt noch aus monetärer, energetischer und ökologischer Sicht miteinander verglichen und bewertet. Es findet sich eine Auflistung der Vor- und Nachteile der Varianten in diesem Abschnitt. Nach der Analyse der verschiedenen Varianten wäre die Installation eines Blockheizkraftwerks mit einem Spitzenlastkessel zu favorisieren.

Untersuchung klimatischer Entwicklungen und deren Auswirkungen auf Stadtklima und urbanes Grün im Münsterland

Henning Strüwe M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums:	10. Juli 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik



Der Klimawandel entwickelt sich zu einer der größten Herausforderungen der Menschheit im 21. Jahrhundert – wenn nicht gar zur größten Herausforderung selbst. Kaum ein anderes Thema ist in den Medien derzeit so anhaltend präsent wie der Klimawandel und seine Folgen.

Für urbane Räume stellt insbesondere die mögliche Zunahme von Starkregeneignissen auf der einen sowie von Hitze- und Trockenperioden auf der anderen Seite eine große Herausforderung dar. Die dichte Bebauung und der hohe Versiegelungsgrad im innerstädtischen Bereich bergen die Gefahr urbaner Sturzfluten bei Starkregen sowie einer Überhitzung der Städte während sommerlicher Hitzewellen. Urbanes Grün, das hierbei aufgrund seiner wasserbindenden und kühlenden Wirkung Abhilfe verspricht, ist aufgrund der meist unnatürlichen Lebensbedingungen häufiger Trockenstress ausgesetzt, der sich im Zuge einer klimawandelbedingten Zunahme von Trockenperioden zusätzlich verschärfen könnte.

Vor diesem Hintergrund begleitet die Masterarbeit ein Forschungsprojekt unter Leitung von Herrn Prof. Grüning zur Entwicklung eines innovativen Bewässerungssystems für Stadtbäume und positioniert sich dazu als Studie zum Klimawandel im Münsterland und dessen Wirkungen auf Stadtklima und urbanes Grün. Hierzu werden die Jahresmitteltemperatur, Niederschlagssummen sowie die Wetterextreme Starkregen, Hitze und Trockenperioden untersucht.

Als Grundlage der Auswertung dienen Temperatur- und Niederschlagsdaten unterschiedlicher zeitlicher Auflösung (Stunden- bis Jahreswerte) von bis zu 13 offiziellen Stationen des Deutschen Wetterdienstes (DWD) innerhalb des Münsterlands. Die Daten werden mithilfe des Tabellenkalkulationsprogramms Excel bearbeitet und auf mögliches Trendverhalten hin untersucht. Erkenntnisse zu Jahresmitteltemperatur und Niederschlagssummen können dabei direkt aus den aufbereiteten Daten gewonnen werden. Für Starkregen, Hitze und Trockenperioden werden Schwellenwertverfahren genutzt, wobei die Wetterdaten auf Über- bzw. Unterschreitung bestimmter Grenzwerte untersucht werden.

Im Ergebnis zeigt sich im Wesentlichen eine Zweiteilung des Trendverhaltens: Während die temperaturbezogenen Parameter Jahresmitteltemperatur und Hitze im Münsterland durchweg eine signifikante Zunahme aufweisen, lassen sich aus den Niederschlagsdaten zumeist weniger oder gar keine eindeutigen Trends ermitteln.

So zeigt etwa die Jahresmitteltemperatur an der Station am Flughafen Münster-Osnabrück seit den 1990er-Jahren eine beschleunigte Zunahme, wie sie auch global und deutschlandweit zu beobachten ist. Zwischen 1990 und 2019 lag sie mit 10,3 °C rund 1,3 K über dem aus Vergleichsdaten vom Ende des 19. Jahrhunderts ermittelten Durchschnitt. Zugleich hat sich seit 1960 die Zahl der Sommer- und Hitzetage z. T. mehr als verdoppelt.

In den Niederschlagssummen dagegen zeigt sich im Münsterland seit 1893 nur in den Wintermonaten eine signifikante Zunahme, während die übrigen Jahreszeiten in etwa auf gleichem Niveau verbleiben. Insgesamt resultiert daraus eine Zunahme der Jahressumme um etwa 50 mm zwischen 1893 und 2019. Für Starkregen, der auf Basis der Grenzwerte 20 bzw. 30 mm/d sowie 10 mm/h zwischen 1960 und 2019 untersucht wird, kann kein statistisch gesicherter Trend ermittelt werden.

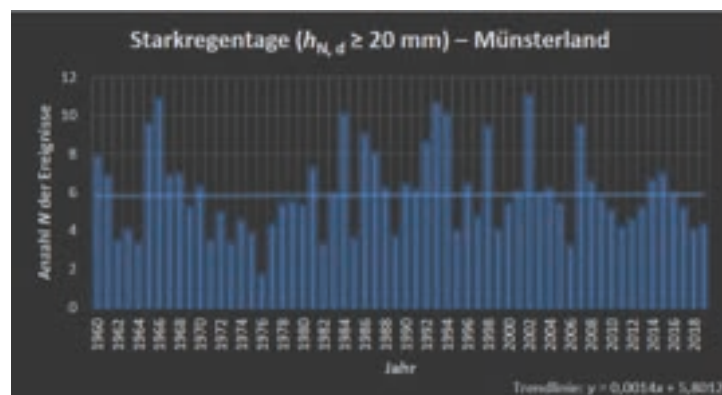


Abb1: Starkregenereignisse mit mindestens 20 mm/d im Münsterland von 1960 bis 2019

Unter Zuhilfenahme externer Studien für den Bereich NRW ist hier abschließend nur von einer Tendenz in Richtung einer Zunahme zu sprechen. Die für vier verschiedene Dauern und Niederschlagsgrenzwerte untersuchten Trockenperioden zeigen seit 1960 eine statistisch signifikante Zunahme im Sommerhalbjahr mit Schwerpunkt im Frühling. Das Frühjahr offenbart sich hierbei auch absolut gesehen als Jahreszeit mit den meisten Trockenphasen und dem geringsten Niederschlag im Münsterland.

Auf Basis dieser Ergebnisse kommt die Arbeit zu dem Schluss, dass sich aus stadtklimatologischer Sicht insbesondere die sommerliche Wärmebelastung in den urbanen Räumen des Münsterlands weiter verschärfen wird. Die hohe Signifikanz der Trends lässt dabei auf eine Fortsetzung der bisherigen Entwicklung und somit eine weitere Zunahme der Sommer- und Hitzetage schließen. Die urbane Bevölkerung wird dabei besonders durch hohe Temperaturen während der nächtlichen Erholungsphase beeinträchtigt. Ebenso wird die Gefahr urbaner Sturzfluten im Münsterland eher zu- als abnehmen, auch wenn hier bisher keine statistisch signifikante Entwicklung auszumachen ist und weiterer Forschungsbedarf besteht.

Aus Sicht des urbanen Grüns ist die Zunahme der Trockenheit im Frühling als kritisch zu bewerten, da sie zeitlich mit der Hauptwachstumszeit der Vegetation zusammenfällt. Vor allem junge Stadtbäume mit gering ausgebildetem Wurzelwerk wären demnach künftig im Frühling vermehrt von Trockenstress, der ihr Wachstum stark einschränkt, bedroht.

Der Klimawandel ist somit auch im Münsterland längst nachweisbar, und Maßnahmen zur Nutzung der Synergieeffekte von Hitze- und Überflutungsvorsorge im urbanen Raum wird künftig eine immer größere Bedeutung zukommen.

Berechnung der theoretischen Energieeinsparung durch den energie- optimierten Betrieb verschiedener Kälteerzeuger eines Verwaltungsgebäudes

Christopher Sudenfeld B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. (FH) Michael Kellinghaus
Datum des Kolloquiums:	11. Dezember 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	MBN GmbH



Der Endenergieverbrauch von Gebäuden, der sich aus dem Verbrauch von Raumwärme, Warmwasser, Raumkühlung und bei Nicht-Wohngebäuden zusätzlich aus fest installierter Beleuchtung zusammensetzt entspricht ca. 33 % des gesamten Endenergieverbrauchs in Deutschland. Von dieser Endenergie werden ca. 70 % aus fossilen Rohstoffen gewonnen. Hier wird deutlich, welches Einsparpotential bezüglich der CO₂-Emissionen und der Betriebskosten besteht.

Während der Endenergieverbrauch seit 2010 bei der Raumwärme und der Warmwasserbereitung mit den jährlichen Temperaturbedingungen variiert und der Verbrauch für Beleuchtung kontinuierlich sinkt, steigt hingegen der Verbrauch bei der Raumkühlung stetig an. Dies ist bedingt durch die moderne Bauweise und steigende Ansprüche, wie z. B. den Einsatz von IT-Technik in Gebäuden, die zu einem höheren Raumkühlungsbedarf führen. Aus diesem Grund besteht ein großes Interesse an kostengünstigen und umwelttechnisch sinnvollen Einsparungsmöglichkeiten in der Kälteerzeugung.

Ziel der Arbeit war es, anhand der gegebenen Planung eines Verwaltungsgebäudes, diese auf eine sinnvolle Auswahl der Kälteerzeuger für den späteren Betrieb zu überprüfen. Außerdem wurden Einsparmöglichkeiten in Abhängigkeit von den Energiepreisen aufgezeigt.

Zu Beginn der Arbeit wurde der Stand der Technik der entscheidenden Komponenten der Kälteerzeugung beschrieben, bestehend aus einer Absorptionskältemaschine, einer Kompressionskältemaschine und Rückkühlanlagen. Außerdem wurde das Verwaltungsgebäude mit dem Schwerpunkt auf die geplante Kälte-technik beschrieben. Anschließend wurde ein Berechnungstool angelegt, welches den Gesamtenergiebedarf der Kälteerzeuger zur Deckung der Kühllast einmal mit und einmal ohne den Einsatz einer freien Kühlung und die damit verbundene theoretische Energieeinsparung darstellt. Hierzu wurde geprüft, ob der Einsatz einer freien Kühlung, die in der Planung vorgesehen ist, sinnvoll ist. Zusätzlich wurde die Amortisierung der freien Kühlung betrachtet. Zur Optimierung des späteren Betriebes wird verglichen, ob der Betrieb der Absorptions- oder Kompressionskältemaschine energetischen Vorrang besitzen soll und bei welchen Energiekosten für thermische und elektrische Energie welche Anlage kostentechnisch günstiger betrieben werden kann.

Die Auswertung der Ergebnisse zeigte, dass die Planung der Kälteerzeuger des Verwaltungsgebäudes, die Kompressions- und die Absorptionskältemaschine durch eine freie Kühlung zu ergänzen, empfehlenswert ist. Durch die Einsparung von ca. 10 % an elektrischer Energie und ca. 40 % an thermischer Energie werden die jährlichen Betriebskosten um 5.230 € reduziert, wenn die Kosten für thermische Energie 1 Cent pro kWh und für die elektrische Energie 15 Cent pro kWh betragen. Bei geschätzten Investitionskosten von ungefähr 5.000 € amortisiert sich der Einbau der freien Kühlung nach weniger als einem Jahr und sollte somit energetisch und wirtschaftlich umgesetzt werden. Bei variierenden Energiepreisen verändert sich der Zeitraum der Amortisierung, jedoch bleibt die Investition bei marktüblichen Energiepreisen sinnvoll.

Während des Betriebs, wenn die Absorptionskältemaschine Vorrang vor der Kompressionskältemaschine hat, wird ca. 30 % weniger elektrische und ca. 72 % mehr thermische Energie benötigt als beim Vorrang der Kompressionskältemaschine vor der Absorptionskältemaschine zur Deckung der Kühllast. Die jährlichen Betriebskosten bei den oben genannten Energiepreisen belaufen sich beim Vorrang der Absorptionskältemaschine auf rund 23.000 € und unter Vorrang der Kompressionskältemaschine auf etwa 27.000 €. Aus der Differenz dieser Betriebskosten ergibt sich eine Kosteneinsparung von jährlich etwa 4.000 € beim Betrieb der Anlage unter Vorrang der Absorptionskältemaschine. Dieses Ersparnis ist allerdings von den thermischen und elektrischen Energiekosten abhängig. Hierzu wurden Energiepreise für thermische Energie von 1 bis 7 Cent pro kWh und für elektrische Energie von 15 bis 30 Cent pro kWh betrachtet. Aus den Kombinationen der verschiedenen Preise folgt, dass sich ein Vorrang der Absorptionskältemaschine finanziell lohnt, wenn die thermische Energie extrem günstig (1-3 Cent pro kWh) abgenommen werden kann und die Preise für elektrische Energie tendenziell hoch sind. Da so niedrige Preise für thermische Energie marktunüblich sind, rechnet sich der Einsatz einer Absorptionskältemaschine aufgrund des schlechten Wirkungsgrades in den meisten Fällen nicht. Dann, wenn die thermische Energie von einem eigenen Blockheizkraftwerk oder anderweitig überschüssige Abwärme zu extrem niedrigen Preisen abgenommen werden kann, ist der Einsatz einer Absorptionskältemaschine kostentechnisch lohnenswert. Umwelttechnisch betrachtet ist der Einsatz einer Absorptionskältemaschine ohnehin vorteilhaft, wenn die benötigte thermische Energie, Abwärme anderer Prozesse ist, die im Sommer nicht sinnvoll genutzt werden kann.

Leonhard Talanow B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums: 7. Januar 2021
Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Umwelttechnik



The aim of this work is to answer the question whether and how it is possible to close the nitrogen cycle between agricultural residues and fertilizers.

Worldwide ammonia production in 2018, is 144 million tons (based on N). For this amount, 1.4 % of the world's fossil fuel consumption is used annually. Between 3-5 % of the world's produced natural gas is consumed for the steam reformation that takes place in the process. Of the ammonia produced worldwide, 80 % is used for fertilizer and 20 % is used in industry.

The natural nitrogen cycle is significantly affected by such large nitrogenous fertilizer inputs. The most important consequences include the pollution of groundwater (e.g. through nitrate enrichment), acidification of soils, emission of greenhouse gases (e.g. N₂O) and direct foliar damage.

One of the main sources of emissions of nitrogenous compounds is agriculture. The largest N inputs to agriculture are from mineral fertilizers and manure. The differences between fertilization with mineral fertilizers and organic manures are mainly the nutrient utilization of the plants, which is on average 90 % for mineral fertilizers and 65 % for organic fertilizers (e.g. manure). In addition, the nutrient concentration is much higher with mineral fertilizers. Nutrient availability is inconstant for organic fertilizers, in contrast to mineral fertilizers.

In order to recover ammonia or generally nitrogen-containing compounds from manure, membrane and physico-chemical processes are considered. It is shown that in membrane processes the pretreatment of the manure plays an important role with regard to the effectiveness and economy of the process. Various pretreatment options are available, with the following order of effectiveness: Centrifugation > Sedimentation > Filtration without pressure > Filtration with pressure.

A good possibility for pretreatment is the press screw, which achieves a separation of 10/90 (solid/liquid), with specific costs of 0.50-2.50 €/m³.

When considering the different membrane processes, it can be seen that the membrane distillation achieved an ammonia removal of 98.5 % despite the missing pretreatment. The lack of pretreatment represents a major advantage over other membrane processes, as these usually require extensive pretreatment (e.g. ultrafiltration).

Among the physico-chemical processes, air stripping shows a high ammonia removal rate. It should be noted that higher ammonia removal by air stripping is possible for feedstocks with low organic content. A combination with previous digestion would have the advantage that energy is gained in the form of biogas and the subsequent air stripping achieves higher ammonia removal rates.

Konzeption eines Leitungsboards für ein hybrides Multiprojektmanagement - dargestellt am Beispiel eines TGA-Planungsbüros

Tim Tecklenborg M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. oec. Johannes Schwanitz
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Michael Kröger
Datum des Kolloquiums:	22. Juli 2020
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Köster Planung GmbH



Das TGA-Planungsbüro befindet sich im aktiven Change-Management und setzt ein hybrides Projekt- und Multiprojektmanagement unter dem Lean Management und dem Shopfloor-Management auf. Dadurch sollen schlanke standardisierte Prozesse und das sichtbare Führen am Ort der Wertschöpfung für die Abwicklung, Überwachung und Steuerung von Projekten etabliert, sowie jegliche Verschwendung eliminiert werden. Mit dem Leitungsboard und einer dazugehörigen Leitungsstehung wurde eine ganzheitliche Methode in das Unternehmen eingeführt, die den übergreifenden Rahmen zur Überwachung und Steuerung der Projekte im hybriden Multiprojektmanagement bildet.

Auf den theoretischen Grundlagen des hybriden Multiprojektmanagements, des Shopfloor-Managements, des Informationsmanagements und des visuellen Managements aufbauend, wurde als Erstes die Leitungsstehung aufgesetzt. Dazu ist das notwendige Berichtswesen beschrieben und ein Berichtsplan definiert worden. Die Leitungsstehung besteht aus 15-minütigen Statusberichten über die laufenden Projekte auf Basis der Informationen am Leitungsboard. Das Leitungsboard wurde in einem inkrementellen Prozess empirisch entwickelt und besteht aus drei inhaltlichen Themenschwerpunkten: den allgemeinen Projektinformationen, einem Key Performance Indicator-System (KPI-System) und den projektspezifischen Eskalationen und KVP-Themen.

Die allgemeinen Projektinformationen sind eine Art Projektsteckbrief und enthalten alle notwendigen Informationen für die Überwachung und Steuerung der Projekte. Das KPI-System besteht aus zwei Managementebenen. Für die Entwicklung der Instrumente im KPI-System wurde das magische Dreieck des Projektmanagements mit den Erfolgsparametern Kosten, Zeit und Qualität verwendet und daraus fünf Instrumente mit KPIs abgeleitet. Diese geben einen ganzheitlichen Überblick über den Status der laufenden Projekte und sind grafisch als Diagramme auf dem Leitungsboard dargestellt. Für eine Statusbewertung wird zusätzlich ein Ampel-Bewertungssystem mit spezifischen Kriterien je Instrument verwendet. Die projektspezifischen Eskalationen und KVP-Themen behandeln auftretende Abweichungen in den Projekten. Dazu ist ein standardisierter Eskalationsprozess mit drei Eskalationsstufen aufgesetzt worden, der über ein Ticketsystem am Leitungsboard praktisch umgesetzt wird.

Für jede Abweichung wird ein Ticket aufgesetzt und nach dem PDCA-Zyklus bearbeitet. Wirken Maßnahmen aus dem PDCA-Zyklus in einem Projekt nicht, kommt es zu Problemsituationen, die häufig in Eskalationen münden. Um eine Eskalation in eine höhere Eskalationsstufe zu heben, wurden messbare Kriterien definiert, sodass ein stabiler Eskalationsprozess mit standardisierten Vorlagen entstanden ist.

Basierend auf der inhaltlichen Entwicklung wurde das Layout des Leitungsboards erstellt. Dieses ist auf einem Whiteboard mit Fahrgestell angebracht und besitzt einen tabellenartigen Aufbau in Anlehnung an eine Projektliste. Das Layout ist gemäß den Kriterien des visuellen Managements gestaltet und nach den drei inhaltlichen Themenschwerpunkten sachlogisch aufgebaut. In den Leitungsstehungen dient das Leitungsboard als Informationsmarkt und leitet als roter Pfaden durch die Leitungsstehung.

Mit dem Leitungsboard und der Leitungsstehung wurde eine schlanke und standardisierte Methode für das hybride Multiprojektmanagement in das TGA-Planungsbüro eingeführt. Erste positive Erfahrungen in der praktischen Anwendung konnten bereits gesammelt werden.

Untersuchung zur Auslegung von Trinkwassererwärmern aufgrund veränderter Wärmeerzeugerprofile

Jonas Tegeler B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dr.-Ing. Klaus Mindrup
Datum des Kolloquiums:	18. Februar 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	bauart TGA GmbH & Co. KG



Durch den vermehrten Einbau von Wärmeerzeugern, die erneuerbare Energien nutzen, haben sich die Erzeugerprofile der Wärmeerzeuger in den letzten Jahren geändert und werden sich in den nächsten Jahren weiterentwickeln. Die Erwärmung des Trinkwassers ist in den letzten Jahren in Bezug auf die Gesamtleistung der Heizung immer wichtiger geworden. Im Jahr 2000 wurden 11,5 % der Energie der Heizung für die Erwärmung von Trinkwasser benötigt, im Jahr 2019 lag der Wert bei 17,2 %. Dieses hängt zum einen damit zusammen, dass die Leistung, die für die Raumwärme benötigt wird, geringer wird und zum anderen damit, dass die Leistung, die für die Warmwasserbereitung benötigt wird, leicht steigt. Aus diesem Grund wird die richtige Auslegung von Trinkwassererwärmern stetig bedeutender. Deshalb ist es notwendig zu überprüfen, ob die Auslegungsverfahren für die Trinkwassererwärmung noch dem aktuellen Bedarf und den aktuellen Wärmeerzeugerprofilen entsprechen.

In der Arbeit wurden die aktuellen Techniken der Wärmeerzeuger beschrieben und sich mit den verschiedenen Möglichkeiten der Warmwasserbereitung befasst. Es wurden die Auslegungsverfahren die für die Trinkwassererwärmung anhand der DIN 4708 und DIN EN 12831-3 beschrieben, verglichen und überprüft, ob sie die veränderten Wärmeerzeugerprofile berücksichtigen. Neben den Auslegungsverfahren wurden verschiedene Warmwasserbedarfsprofile dargestellt, und deren Unterschiede beschrieben. Anhand eines Wohnbauprojekts von 39 Wohneinheiten in München Aubing, bestehend aus drei Häusern, mit jeweils drei oberirdischen Geschossen und einer gemeinsamen Tiefgarage wurden Berechnungen nach der DIN 4708 und DIN EN 12831-3 durchgeführt und die Ergebnisse miteinander verglichen. Die Berechnungen erfolgten mit dem KTS-Berechnungsmodul in Dendrit Studio.

Ein Vergleich der beiden Berechnungsergebnisse ergab, dass die Bedarfsspitze mit 208 kW und einem erforderlichen Volumenstrom von 6223 l/h bei der Berechnung nach DIN 4708 um ein Vielfaches höher ist als die Bedarfsspitze nach der DIN EN 12831-3. Diese beträgt nur 35 kW und hat einen erforderlichen Volumenstrom von 1670 l/h. Der Grund für diesen Unterschied in der Bedarfsspitze liegt in den Bedarfsprofilen. Das Profil der DIN 4708 hat 5 Entnahmephasen über sechseinhalb Stunden verteilt wovon die Bedarfsspitze von 208 kW lediglich zehn Minuten lang ist. Das Bedarfsprofil der DIN EN 12831-3 sieht mit einer Ausnahme, von 3-5 Uhr, zu jeder Stunde eine Entnahme vor. Da das Profil

auf stundenbasierten Werten beruht, dauern alle Entnahmephasen eine Stunde. Auf Grund der geringen Gleichzeitigkeit ist die Bedarfsspitze nicht so groß. Trotz der geringeren Bedarfsspitzen ergibt die Summenlinie der DIN EN 12831-3 mit 572,5 kWh eine höhere Wärmemenge für einen Tag als die DIN 4708 mit 495 kWh.

Das bedeutet, dass die Berechnung nach der DIN 4708 zu einem größeren Spitzenbedarf kommt. Werden alle Entnahmen über den Tag addiert, kommt die Berechnung nach der DIN EN 12831-3 zu einem größeren Wärmebedarf. Für die Anlagenplanung bedeutet es, dass die Anlage, die nach der DIN 4708 ausgelegt wird, die dreifache Speicherkapazität von der Anlage braucht, die nach der DIN EN 12831-3 ausgelegt wird, damit genügend Wärmemenge gespeichert ist, um die kurze und hohe Bedarfsspitze zu decken.

Es zeigte sich, dass sich hinsichtlich der installierten Wärmeerzeuger seit der letzten Aktualisierung der DIN 4708 im Jahr 1994 viel verändert hat. Es werden immer mehr Wärmeerzeuger wie z.B. Wärmepumpen installiert, die erneuerbare Energien nutzen und neue Anforderungen an die Auslegung stellen. Hinzu kommt, dass immer mehr Durchfluss-Trinkwassererwärmer installiert werden, welche mit einem anderen Lastprofil in der Speicherauslegung berücksichtigt werden müssen. Zu der Änderung der Anlagentechnik kommt eine Veränderung im Nutzungsverhalten beim Verbrauch von Trinkwasser.

Die DIN EN 12831-3 als neue Norm für die Auslegung von Trinkwassererwärmern beinhaltet bereits einige dieser Punkte z.B. Berechnungsgrundlagen für Durchfluss-Trinkwassererwärmer und ein verändertes Nutzerverhalten in Form von Lastprofilen. Einige Punkte mit Blick auf veränderte Wärmeerzeugerprofile bleiben bei der DIN EN 12831-3 trotzdem offen z.B. saisonale Effekte bei Wärmepumpen oder Solarthermie.

Entwicklung eines Berechnungsprogramms zur Prognose und Bewertung nachhaltiger ortsspezifischer Wärmeversorgungssysteme

Gordon Teoh M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Simon Nießen M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	4. November 2020
Master-Studiengang:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Taskforce Wärmewende



Die vorliegende Arbeit steht in Verbindung mit dem vierten Arbeitspaket Technikcheck – Nachhaltige, zirkuläre Energiesysteme für die EUREGIO des Projekts Taskforce Wärmewende. Im Rahmen dieses Projekts wurden bereits folgende Wärmequellen als besonders nachhaltig identifiziert: Solarthermie, oberflächennahe Geothermie, Bioenergie und industrielle Abwärme. Das Ziel dieser Arbeit war die Entwicklung eines Berechnungsprogramms, welches den Einsatz dieser Energiequellen in Nahwärmenetzsystemen für Neubaugebiete ermittelt und bewertet. Das Berechnungsprogramm sollte die örtlichen Gegebenheiten des Neubaugebiets berücksichtigen und dem Programmnutzer ermöglichen, Systemkomponenten zu ändern und anzupassen.

Um das Berechnungsprogramm zu erstellen, wurden vor allem Machbarkeitsstudien, Leitfäden und durchgeführte Interviews mit Ingenieuren, die im Bereich nachhaltige Wärmeversorgungssysteme beruflich tätig sind, herangezogen. Zunächst wurden die Bewertungskriterien identifiziert, die bei der Auswahl eines Wärmeversorgungssystems entscheidend sind.

Folgende Werte wurden identifiziert und als Programmausgaben festgelegt: Der kostendeckende Wärmepreis, der Primärenergiefaktor und der Emissionsfaktor. Anschließend wurde die allgemeine Vorgehensweise zur Planung eines Nahwärmenetzes recherchiert, insbesondere die Einschätzung des zukünftigen Wärmebedarfs, die Auslegung der Heizanlagen und die Bestimmung der Deckung des Wärmebedarfs. Um den Umfang des Berechnungsprogramms in Grenzen zu halten, wurden spezifische Wärmeversorgungssysteme betrachtet: Ein klassisches Nahwärmenetz mit einem zentralen Holzpelletkessel (Nahwärmenetz Biomasse), ein klassisches Solarnahwärmenetz mit einem Kurzzeitspeicher und einem zentralen Holzpelletkessel (Solarnahwärmenetz) und ein kaltes Nahwärmenetz mit 100 m-Erdwärmesonden und dezentralen Wärmepumpen (Kaltes Nahwärmenetz) (vgl. Abb. 1). In allen ausgewählten Wärmeversorgungssystemen wird ein Brennwert-Gaskessel zur Deckung der Spitzenlast benötigt.

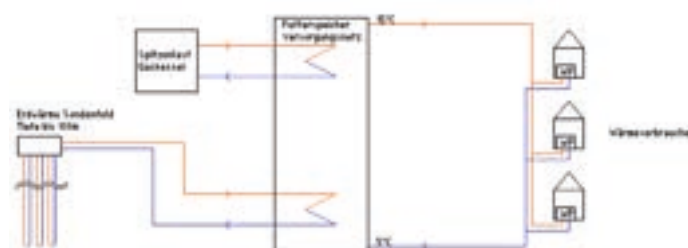


Abb. 1:
Grundprinzip
des Kalten
Nahwärme-
netzes.

Mit dem Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft Excel[®] wurde ein Berechnungsprogramm erarbeitet, das die Anzahl und Art der Häuser und die Länge des Wärmenetzes verwendet, um für alle ausgewählten Wärmeversorgungssysteme die festgelegten Programmausgaben zu berechnen. Um die geographische Lage des Neubaugebiets zu berücksichtigen, wurde ein GIS-Tool erstellt, mit dem die geothermische Ergiebigkeit und die Möglichkeiten zur Nutzung der Abwärme einer Biogasanlage oder eines wärmeproduzierenden Unternehmens bestimmt werden können (vgl. Abb. 2). Um den kostendeckenden Wärmepreis der ausgewählten Wärmeversorgungssysteme zu ermitteln, werden die damit verbundenen Kosten in eine Wirtschaftlichkeitsberechnung nach der Annuitätenmethode eingesetzt und die Excel-Funktion Zielwertsuche angewandt. Die Primärenergiefaktoren und Emissionsfaktoren werden anhand des zu erwartenden Energieverbrauchs der jeweiligen Wärmeerzeuger und der entsprechenden vorgegebenen Faktoren berechnet. Es stellte sich heraus, dass je nach Datenquelle unterschiedliche Werte im Berechnungsprogramm angesetzt werden können. Da es sich bei diesen Werten teilweise um signifikante Abweichungen handelt, sind diese Werte im Berechnungsprogramm als Default-Werte eingestellt. Dies ermöglicht dem Programmnutzer, diese Werte manuell zu ändern.



Abb 1: GIS-Tool zur Ermittlung nachhaltiger Wärmequellen.

Nach Fertigstellung des Berechnungsprogramms wurden Analysen mit unterschiedlichen Szenarien durchgeführt. Die Ergebnisse deuten stark daraufhin, dass sich beim Solarnahwärmenetz die zusätzlichen Investitionskosten für die Solaranlage sich nicht rentieren. Hauptursache dafür ist die Unfähigkeit des Systems, die überschüssige Wärme in den Sommermonaten zu speichern. Aus energetischer Sicht hätte ein Solarnahwärmenetz mit Langzeitspeicher großes Potenzial. Der kostendeckende Wärmepreis des Nahwärmenetzes Biomasse fiel am niedrigsten aus und lag im Bereich zwischen 3 bis 7 Ct/kWh. In den meisten Fällen war der kostendeckende Wärmepreis des Kalten Nahwärmenetzes circa 1 Ct/kWh höher. Allerdings weist das Kalte Nahwärmenetz gegenüber dem Nahwärmenetz Biomasse mehrere Vorteile auf, die diese Preisdifferenz ausgleichen. Diese Vorteile sind vor allem die niedrigeren CO₂-Emissionen, die Möglichkeit der Kühlung im Sommer und die minimalen Netzverluste, die zu einer höheren Energieeffizienz führen. Daher sollte das Kalte Nahwärmenetz bevorzugt werden.

Die Analyse zur Anschlussquote bestätigte die Bedeutsamkeit der Anschlussquote. Es wurde festgestellt, dass zur erfolgreichen Umsetzung eines Nahwärmeprojekts eine Mindestanschlussquote von 70 % zu gewährleisten ist.

Wirtschaftliches Potential von Condition Monitoring Systemen an elektrischen Bauteilen in Windenergieanlagen

Jan Niklas Tockloth B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Dipl.-Wi.-Ing Hendrik Stalljann
Datum des Kolloquiums:	20. März 2020
Bachelor-Studiengang: Studienrichtung:	Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik Energietechnik
in Kooperation mit:	ENOVA Energieanlagen GmbH



Die technische Betriebsführung sichert den wirtschaftlichen Betrieb von Windenergieanlagen. Ein wirtschaftliches Optimierungspotential stellt hierbei die Reduktion von Ertragsverlusten dar. Dies kann durch die Nutzung eines Condition Monitoring Systems zur Fehlerfrüherkennung erzielt werden.

Der unerwartete Ausfall einer Anlagenkomponente führt zu einem reaktiven Wartungseinsatz des Serviceunternehmens. Ein störungsbedingter Anlagenstillstand endet nach der Reparatur des ausgefallenen Bauteils. Mit Hilfe einer Fehlerfrüherkennung kann ein bevorstehender Bauteilausfall erkannt werden. Dies ermöglicht eine zustandsorientierte Wartung vor einem störungsbedingten Anlagenstillstand. Die mögliche Reduktion der Stillstandzeit und die Planbarkeit des Wartungseinsatzes stellen ein Ertragsoptimierungspotential dar.

Condition Monitoring Systeme werden in Windenergieanlagen aktuell hauptsächlich zur Zustandsüberwachung von Großkomponenten eingesetzt. Ziel dieser Untersuchung ist die Bestimmung des wirtschaftlichen Potentials einer solchen Zustandsüberwachung an elektrischen Bauteilen.

Auf Basis der verfügbaren Informationen über ausgetauschte Bauteile an den Windenergieanlagen einer Stichprobe wurde eine Methodik zur Berechnung der Ausfallraten einzelner Bauteilgruppen entwickelt. Durch das aus einer zustandsorientierten Wartung hervorgehende Optimierungspotential wurden die vermeidbaren Ertragsverluste bestimmt. Sie stellen das wirtschaftliche Potential eines Condition Monitoring Systems dar.

Auf Basis der vorliegenden Daten wird die Installation eines Condition Monitoring Systems mit zusätzlicher Sensorik an elektrischen Bauteilen in den Windenergieanlagen der Stichprobe nicht empfohlen. Die Ergebnisse zeigen jedoch einen Optimierungsbedarf bei der Bauteilkennzeichnung auf.

Weiterführende Untersuchungen können die entwickelte Methodik auf andere Anlagentypen anwenden. Zudem deuten die Ergebnisse auf mögliche Optimierungspotentiale einzelner Bauteilgruppen hin, welche nachfolgend untersucht werden sollten.

Technische und wirtschaftliche Betrachtung unterschiedlicher heizungstechnischer Systemkombinationen anhand eines Bauvorhabens

Luca Vöckel B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Claas Falker

Datum des Kolloquiums: 28. September 2020

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Gebäudetechnik

in Kooperation mit: GEBRO HERWIG Haustechnik GmbH



Die Ansprüche an die Energieeffizienz, Umweltverträglichkeit und Wirtschaftlichkeit in der Gebäudeindustrie wachsen stetig. Durch die steigenden Ansprüche gewinnen Systemkombinationen mit mehreren Wärmeerzeugern und die Einbindung regenerativer Energien immer mehr an Bedeutung.

In der vorliegenden Bachelorarbeit werden drei heizungstechnische Systemkombinationen technisch und wirtschaftlich betrachtet.

- Systemkombination 1: Wärmepumpe und Gas-Brennwertgerät
- Systemkombination 2: Wärmepumpe und Photovoltaik-Anlage
- Systemkombination 3: Gas-Brennwertgerät und thermische Solaranlage

Um die Systemkombinationen genauer zu betrachten, war es notwendig, diese in Bezug zu einem realen Bauprojekt zu setzen. Bei dem Bauprojekt handelt es sich um den Umbau und die Modernisierung eines ca. 1000 m² großen Gebäudes. Das Erdgeschoss wird als Bürofläche von einem Unternehmen genutzt. Die restlichen Stockwerke des Gebäudes sind in sieben Wohneinheiten aufgeteilt. Für die Auslegung der unterschiedlichen Wärmeerzeuger wurde die Heizlast nach der DIN EN 12831 bestimmt. Die Anlagentechnik für die Trinkwassererwärmung und die Heizung der unterschiedlichen Systemkombinationen wurde mit der DIN 4701 Teil 10 über die Anlagenaufwandszahl bewertet. Zusätzlich werden die CO₂-Emissionen pro Jahr für die technische Betrachtung berechnet. Die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der Systeme wird für einen Betriebszeitraum von 20 Jahren durchgeführt. Hierfür werden

System	η	CO ₂ -Emissionen in t pro Jahr	Betriebskosten in € pro Jahr	Investitionskosten	Kosten in 20 Jahren mit CO ₂ -Steuern
WP+BW	0,82	12,34 t	5.097,00 €	55.692€	173.962,5
WP+Photo	0,58	11,62 t	4.578,76 €	71.757€	178.726,7€
BW+Solar	1,07	15,02 t	4.486,31 €	51.646€	161.273,7€

Tabelle 1: Gegenüberstellung der unterschiedlichen Systemkombinationen.

Die Entscheidung für ein Wärmeerzeugersystem ist abhängig von den jeweiligen Prioritäten. Wenn die Umweltverträglichkeit oberste Priorität hat, sollte ein Wärmepumpensystem gewählt werden. Für möglichst geringe Investitions- und Betriebskosten ist das Gas-Brennwertgerät in Kombination mit der thermischen Solaranlage die vorteilhafteste Variante.

Die Entwicklung der Energieträger spielt jedoch eine wichtige Rolle. Die regenerative Produktion von Strom steigt in der letzten Zeit stetig an und wird auch in Zukunft weiter steigen, wodurch der CO₂-Faktor und der Primärenergiefaktor für Strom voraussichtlich immer besser werden. Für die Dekarbonisierung des Gebäudesektors ist ein Wärmepumpensystem die zukunftsorientiertere Lösung. Im Gegensatz dazu ist das weltweite Vorkommen fossiler Energieträger, wie beispielsweise Erdgas, stark rückläufig, wodurch der Marktpreis dieser Energieträger voraussichtlich weiter steigen wird.

Die Planung eines Heizsystems wird durch die verschiedenen Rahmenbedingungen des Bauvorhabens maßgeblich beeinflusst, sodass es keine alleinige Systemkombination gibt, die für jedes Bauvorhaben das optimale Heizsystem darstellt. Um energetisch als auch wirtschaftlich das bestmögliche System zu finden, muss das Gebäude und das System ganzheitlich betrachtet werden.

Energetische Betrachtungen zum Warmwasserverbrauch eines Mehrfamilienhauses in Ludwigsfelde

Yiwei Wang B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler
Zweitprüfer:	Ralf-Reiner Nolte
Datum des Kolloquiums:	30. August 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Stiebel Eltron GmbH & Co. KG



Die Bachelorarbeit untersucht den Warmwasserverbrauch des Objektes „Ludwigsfelde“. Dabei handelt es sich um ein Mehrfamilienhaus mit 66 Wohnungen in der Ortschaft Ludwigsfelde. Eine Simulation des Warmwasserverbrauches erfolgt mittels Excel unter Nutzung von Makros. Um die Simulation einfach bedienen zu können, geschieht die Eingabe der veränderbaren Parameter durch ein Eingabefeld.

Die Wohnungen sind zur Warmwasserversorgung in der Küche mit einem Kleinspeicher und im Bad mit einem Durchlauferhitzer ausgestattet. Die Simulation der Warmwasserentnahme erfolgt bei dem Kleinspeicher nach Lastprofil XXS und die des Durchlauferhitzers mit dem Profil S nach ErP.

Es erfolgt eine Simulation mit hydraulischen bzw. elektronischen Durchlauferhitzern in der das Last/Zeitdiagramm angezeigt wird. Damit kann man die unterschiedlichen Stromverbräuche von hydraulischen und elektronischen Durchlauferhitzern aufzeigen.

Neben diesem Vergleich erfolgt auch die Simulation eines Lastmanagements, bei dem die Durchlauferhitzer in ihrer Leistung begrenzt werden und Kleinspeicher ausgeschaltet werden können. Ebenfalls wird eine Simulation bei Nutzung von Wärmerückgewinnung durch DWHR (Drain Water Heat Recovery) im Duschbereich durchgeführt. Dabei wird der energetische Gewinn der Geräte unter Berücksichtigung ihres Anlaufverhaltens ausgewiesen.

Eine Bewertung und Vergleich zentraler und dezentraler Warmwasserbereitung im Einfamilienhaus und in dem Objekt „Ludwigsfelde“ wird unter Nutzung der Programme „DENDRIT“ und „DiWa“ durchgeführt.

Zu Schluss der Arbeit erfolgt eine Bewertung des Energieverbrauchs in einem Niedrigtemperaturnetz in Verbindung mit Wohnungsstationen mit Durchlauferhitzern.

Analyse der Konkurrenzfähigkeit solarer Kühlung auf dem deutschen Markt

Alex Weber B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Markus Wißmann
 Datum des Kolloquiums: 9. März 2020
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Gebäudetechnik



Der Anstoß für diese Ausarbeitung war der stetig zunehmende Bedarf an Klimakälte in Deutschland und die damit einhergehende Problematik der umweltfreundlichen und wirtschaftlichen Deckung dieses Bedarfs. Gegenwärtig wird Klimakälte vorwiegend mithilfe von elektrischen Kompressionskältemaschinen produziert, welche mit einem Anteil von 0,474 Kg CO² / kWh Strom für einen hohen CO² Ausstoß sorgen. Die daraus resultierende Umweltbelastung wird sich durch den weiterhin anwachsenden Bedarf stetig zuspitzen. Eine Möglichkeit, diesem wachsenden Bedarf an Klimakälte entgegenzutreten, sind solarthermische Kühlsysteme.

Ziel dieser Arbeit war es, die Randbedingungen für ein möglichst effizientes und wirtschaftliches solarthermisches Kühlsystem zu erarbeiten und auf dessen Grundlage eine wirtschaftliche Konkurrenzfähigkeitsanalyse gegenüber herkömmlichen Kompressionskältemaschinen durchzuführen.

Aus der Untersuchung der optimalen Randbedingungen für einen möglichst effizienten und wirtschaftlichen Nutzen ging als Ergebnis hervor, dass der effizienteste und wirtschaftlichste Arbeitsbereich von solarthermischen Kühlsystemen in der Grundlastdeckung liegt. Ursache dafür sind die meist begrenzten Dachflächen, welche eine komplette Deckung der Kühllast nicht zulassen. Die Komponente der mangelnden Fläche außer Acht lassend, erscheint der Einsatz solarer Kühlsysteme für eine Gesamtdeckung nicht als sinnvoll, da eine Auslegung auf den Kühlbedarf mit enormen Steigerungen der Investitionskosten einhergeht. Das Ziel sollte sein, einen möglichst hohen solaren Deckungsanteil zu generieren und dabei eine Überproduktion zu vermeiden.

Bei dem direkten Wirtschaftlichkeitsvergleich zu einer herkömmlichen Kompressionskältemaschine hat sich herausgestellt, dass ein solares Kühlsystem, in der momentanen Betrachtung, aus wirtschaftlicher Sicht keine realistische Alternative darstellt. Dies liegt an den zu hohen Investitionskosten, welche bislang durch die Betriebseinsparungen nicht kompensiert werden können.

Zum jetzigen Zeitpunkt sind die solarthermischen Kühlsysteme auf dem deutschen Markt aus wirtschaftlicher Sicht nicht konkurrenzfähig. Zieht man jedoch in Betracht, dass die Kosten für Sorptionskältemaschinen voraussichtlich in der Zukunft weiter sinken werden und sich in Hinblick auf die vergangenen Jahre steigende Energiepreise prognostizieren lassen, stellt sich die solare

Kühlung als eine zukunftsfähige Technologie dar, die es sich im Blick zu behalten lohnt.

Aus einer ökologischen Betrachtung heraus, bietet die solare Kühlung bereits jetzt enorme Vorteile, da sie gegenüber den verbreiteten Kühlsystemen große Mengen an CO_2 einspart. Diese Eigenschaft kann ebenfalls zukünftig in Hinblick auf eine CO_2 -Steuer und deren Entwicklung in den kommenden Jahren zu einem entscheidenden ökonomischen Vorteil werden, der der solaren Kühlung zur Konkurrenzfähigkeit auf dem deutschen Markt verhelfen wird.

Marlon Wehland B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Lars Eversmann
 Datum des Kolloquiums: 21. März 2022
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
 Studienrichtung: Gebäudetechnik



Für die effiziente Belüftung von Räumen ist es zwingend notwendig ein funktionierendes und durchdachtes Lüftungskonzept zu entwickeln. Dadurch lässt sich vermeiden, dass ein Teil eines Raumes stark belüftet wird, jedoch im anderen Teil die Luft „steht“ und nicht zirkuliert. Das Ziel sollte somit eine Zirkulation der Luft im gesamten Raum sein. Dies gelingt durch eine vernünftige Betrachtung der Raumgeometrie und einer passenden Positionierung der Luftein- und -auslässe.

Um anschließend messen zu können, ob das geplante Lüftungskonzept tatsächlich für eine gute Raumbelüftung sorgt, eignen sich unterschiedliche Messverfahren, die in verschiedenen Normen, wie zum Beispiel der VDI 4300 Blatt 7 oder der DIN EN ISO 12569, bereits beschrieben werden. Besonders zuverlässig und präzise ist eine Lüftungseffektivitätsmessung mithilfe des Spurengasmessverfahrens, auch Tracer- oder Indikatorgasverfahren genannt. Hierbei wird ein Spurengas (auch Indikator- oder Tracergas genannt) kontrolliert im Raum freigesetzt. Durch das Aufstellen von Messsensoren im Raum, kann die Konzentration des Spurengases über eine Zeitspanne gemessen und festgehalten werden. Wenn das Lüftungskonzept gut durchdacht ist und die Lüftungsanlage reibungslos funktioniert, sollte die daraus ermittelte Luftwechselzahl n in etwa der im Vorhinein angenommenen Luftwechselzahl entsprechen. Anhand der Messergebnisse kann man somit Rückschlüsse auf die Lüftungseffektivität ziehen und Bereiche im Raum erkennen, die eventuell nicht gut belüftet werden. Gleichzeitig können entsprechende Gegenmaßnahmen zunächst simuliert und geprüft werden, bevor das Objekt in der Realität gebaut oder umgebaut wird.

Diese Arbeit befasst sich mit dem Ablauf einer simulierten Messung der Lüftungseffektivität anhand des Spurengasmessverfahrens, beginnend mit der Beschreibung und den Vorbereitungen der Simulationssoftware CFD bis hin zur Auswertung der Simulationsergebnisse und Berechnung der Luftwechselzahl. Dabei wird genauer auf den zu messenden Raum, das dort vorgesehene Lüftungskonzept und das üblicherweise in der Praxis verwendete Spurengas eingegangen.

Nachdem eine Basis an Informationen zur Durchführung der Lüftungseffektivitätsmessung gelegt worden ist, wurde der Versuch durchgeführt. Insgesamt sind zwei Durchführungen vorgenommen worden. Zunächst anhand der Konzentrations-Abkling-Methode und anschließend mit der Konstant-Injektionsmethode. Es stellte sich heraus, dass die Konzentrations-Abkling-Methode nicht

für die Bestimmung der Luftwechselzahl im untersuchten Raum (Bürgerkommunikationszentrum) geeignet ist, da es die Voraussetzungen für eine Messung mit dieser Methode nicht erfüllt, wie beispielsweise eine maximale Raumhöhe oder Luftwechselzahl. Die Konstant-Injektions-Methode hingegen ergab eine realistische Luftwechselzahl, die annähernd gleich ist, mit der vorher angenommenen Luftwechselzahl. Dieses Messverfahren ist somit zur Messung der Lüftungseffektivität im Bürgerkommunikationszentrum geeignet. Als Anknüpfungspunkt für zukünftige Messungen mit der Konstant-Injektions-Methode, kann die SF₆-Konzentration nicht nur am Abluftstutzen, sondern zudem an verschiedenen Stellen im Raum gemessen werden. Anschließend kann überprüft werden, ob sich die SF₆-Konzentrationen voneinander unterscheiden.

Weiterhin wurde geprüft, wieviel SF₆ bei der Durchführung dieser Messung in der Realität freigesetzt worden wäre. Hierbei ergab sich ein Wert von 77,4 Tonnen CO₂, der im Vergleich zum Ertrag einer solchen Messung nicht zu rechtfertigen ist.

Das Fazit dieser Arbeit lautet somit, dass eine Lüftungseffektivitätsmessung eines Lüftungsverfahrens zur Bestimmung von Luftwechselraten in Räumen sehr gute Messergebnisse bringen, die nach VDI 4300 Blatt 7 unkompliziert zu berechnen sind, jedoch mittels CFD simuliert werden und nicht in der Realität durchgeführt werden sollten. Die Vorteile überwiegen den Nachteilen, die eine Simulation, im Vergleich zu einer realen Messung, besitzt. Als großen Pluspunkt einer Simulation der Lüftungseffektivitätsmessung kann man die einfache Änderung von Komponenten im Raum sehen, die bei einer realen Messung erst installiert werden müssten. So können überlegte Gegenmaßnahmen vor dem Einbau geprüft werden. Eine weitere Alternative wäre eine reale Durchführung der Lüftungseffektivitätsmessung mit einem anderen Spurengas, welches deutlich weniger umweltbelastend ist. Hierbei muss das Messgerät für dieses Spurengas zugelassen sein und dann würden Aufwand und Ertrag in einem annehmbaren Verhältnis stehen.

Machbarkeitsstudie für ein Wärmenetz gemäß den Vorgaben des BAFA Förderprogramms Wärmenetzsysteme 4.0 am Beispiel Rombergpark Dortmund

Stephan Weiß B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Jens Willmes M. Eng.
Datum des Kolloquiums:	30. August 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	ISW Ingenieur GmbH



Die deutsche Bundesregierung hat mit der Unterzeichnung des Pariser Klimaabkommens sich dazu verpflichtet den eigenen Ausstoß klimaschädlicher Gase erheblich zu reduzieren. Dementsprechend werden finanzielle Anregungen in Form von Fördermitteln ausgegeben. Eines dieser Förderprogramme ist das Modellvorhaben 'Wärmenetzsysteme 4.0', auf dessen Basis, die in der Bachelorarbeit durchgeführte Machbarkeitsstudie zustande gekommen ist.

Das Zielvorhaben des Dortmunder Zoos bis 2030 klimaneutral zu werden, war dabei der Anstoß des Projektes. Anknüpfend daran befasst sich diese Bachelorarbeit mit der Untersuchung der technischen, wie auch wirtschaftlichen Realisierung eines großteilig regenerativ gespeisten Wärmenetzes der vierten Generation, im Bereich des Dortmunder Rombergparks.

Zunächst wurden alle Vorgaben für ein förderfähiges Wärmenetz in Erfahrung gebracht, ehe ein Planungskonzept erfolgte. Zu diesen Randbedingungen kamen im Laufe der anschließenden Planung noch die Miteinbeziehung der örtlichen Gegebenheiten durch Infrastruktur und Wärmebedarf hinzu. In enger Zusammenarbeit mit dem Auftraggeber und den Behörden ist ein Konzept entstanden, welches ein sogenanntes 'kaltes Wärmenetz' für das geplante Gebiet vorsieht.

Dabei handelt es sich um eine zentrale Heizwasserversorgung mit einem niedrigem Temperaturniveau. Im Gegensatz zu den hoch temperierten Nah- oder Fernwärmenetzen der vorangegangenen Generationen resultieren aus den geringen Temperaturen des hier betrachteten Netzes deutlich geringere Wärmeverluste.

Das geplante Wärmenetz wird mit Hilfe einer Solarthermieanlage, die durch die niedrigen Temperaturen des Netzes sehr effizient betrieben werden kann, und zwei großen oberflächlichen Geothermiefeldern gespeist. Die vom Netz aus den Quellen aufgenommene Energie wird mittels hocheffizienter Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau gebracht und so den Wärmekunden zur Verfügung gestellt. Dafür wird Strom als Antriebsenergie für die Wärmepumpen genutzt.

Entwicklung einer Schullüftung mit Zentralgerät und Einzelanlagen zur Energieeinsparung und Verbesserung der Luftversorgung

Patrick Weßler B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting

Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Hans Wiesner

Datum des Kolloquiums: 30. Oktober 2020

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik

Studienrichtung: Gebäudetechnik

in Kooperation mit: agn Niederberghaus & Partner GmbH



Die Be- und Entlüftung in Schulen ist ein häufig diskutiertes Thema beim Planen neuer Bauvorhaben. Trotz hoher Standards in der technischen Gebäudeausrüstung wird meist auf eine raumlufttechnische Anlage aus energetischen Gründen und Kostengründen verzichtet. Spätestens seit der Corona-Krise stellt sich die Frage nach der Wirtschaftlichkeit neu. Die Lüftung von Klassenräumen muss zum Standard werden. Die kontrollierte Lüftung kann Energieeinsparung, Lernerfolg und Virenschutz miteinander verbinden.

In der Bachelorarbeit wird ein Wettbewerbsbeitrag von Herrn Wiesner, agn, für eine neue Art der Lüftung mit zentraler Frischluftzone untersucht. Eine zentrale Lüftungsanlage führt die Luft über ein sehr kurzes Kanalnetz in die zentralen Flure und Mehrzweckbereiche. Das hat den Grund, dass diese häufig nicht ausreichend be- und entlüftet werden und die Anlage so einen hygienisch positiven Effekt auf diese Räumlichkeiten ausübt. Aus der Frischluftzone wird die Luft dezentral durch Zuluftelemente abgesaugt. Dies geschieht mithilfe von volumstromkonstanten Einzelventilatoren. Der Einsatz von zusätzlichen Ventilatoren hat den Hintergrund, dass damit gleichzeitig geheizt und Energie zur Luftförderung gespart werden soll. Zusätzlich ermöglicht diese Bauweise eine flexible Umgestaltung der Räume, da die Zuluftelemente nicht fest mit einem zentralen Kanalnetz verbunden sind.

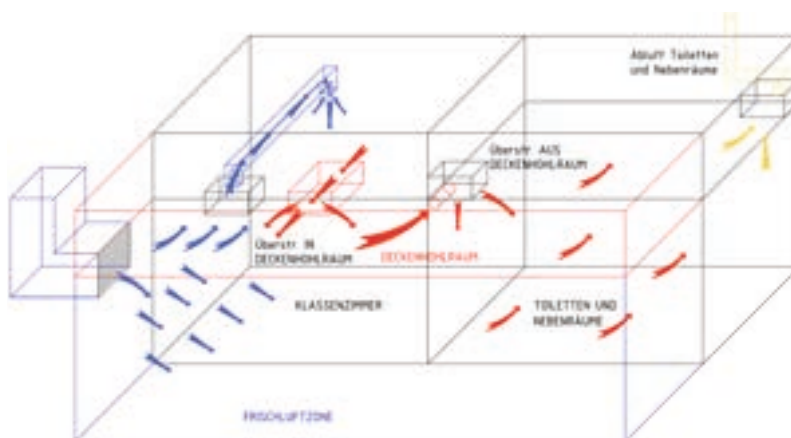


Abb. 1: schematische 3D-Darstellung der untersuchten Anlage

Die Abluft wird in dieser Anlage mittelbar ausgeführt. Das heißt, dass die Klassenluft mittels eines leichten Überdrucks durch Überströmelemente in den Deckenhohlraum der Zwischendecke transportiert wird. Von da aus wird die Luft mithilfe von geringen Unterdrücken herausgezogen und dient der Belüftung von Toiletten- und Nebenräumen, welche keinen Standards für die CO₂ - Konzentration unterliegen. Der Unterdruck wird durch weitere dezentrale Ventilatoren erzeugt, welche die Raumluft absaugen. Für die WC-Anlagen und Nebenräume steht sehr viel Luft zur Verfügung, die nicht zusätzlich aufbereitet, geheizt werden muss. Daher kann der Luftwechsel hier ohne Aufwand deutlich über das normale Maß hinaus erhöht werden, verbunden mit einer sehr guten Aufenthaltsqualität. Durch diese Art der Weiterverwendung der Klassenluft spart man die Luftmengen ein, welche für die Toiletten- und Nebenräume zusätzlich zur Verfügung gestellt werden müssten.

Es kamen zu Anfang Bedenken auf, wie sich die Raumdrücke im Flurbereich verhalten, wenn Zuluftelemente abschalten und die zentrale Anlage ihre Luftmenge daraufhin anpasst. Es ist wichtig, dass sich die Anlage druckphysikalisch abgleicht und in den Fluren keine unerlaubten Über- oder Unterdrücke von $> +50$ Pa oder < -50 Pa entstehen. In dieser Arbeit wird nachgewiesen, dass die Anlage in allen Betriebszuständen unbedenklich arbeitet. Die Überprüfung wurde mit einem eigens erstellten Excel-Tool unternommen. Dabei wird der Übergang der Anlage in einen neuen Betriebszustand berechnet.

Die energetischen Ersparnisse im Vergleich zu einer zentralen raumlufttechnischen Anlage mit variablen Volumenstromreglern wurden auf die Wellenleistung der Ventilatoren bezogen, berechnet. Damit wird ein theoretischer Beweis für die energetische Effizienz der Anlage erbracht. Hier liegen die energetischen Einsparpotenziale mit der untersuchten Anlage bei bis zu 50 %.

Da die Fensterlüftung aus Kosten- und Platzgründen bisher noch Standard war, wurde sie der untersuchten Anlage gegenübergestellt. Neben energetischen Aspekten spielen Komfort und Behaglichkeit im Vergleich eine maßgebliche Rolle. Eine Fensterlüftung funktioniert mithilfe des Dichtegradienten zwischen Innen- und Außenluft und des Winddrucks. Diese Faktoren garantieren keine zuverlässige Be- und Entlüftung der Klassenräume. Es kann davon ausgegangen werden, dass die Fensterlüftung den Anforderungen an ein gesundes Klassenklima nicht gerecht wird. Das schlägt sich nieder an Konzentrationsmangel und Geruchsbelästigungen für Schüler und Lehrer. Im Winter kühlen die kalten Außenlufttemperaturen zudem die zu lüftenden Klassenräume stark ab.

Die Untersuchungen haben ergeben, dass die betrachtete Anlage energetisch vorteilhaft und unbedenklich in der Verwendung ist. Der nächste Schritt ist der Bau der Anlage, um ihre Funktion in der Praxis zu sehen.

Energiemonitoring und energetische Analyse für einen Produktionsbetrieb in der Lebensmittelbranche

Julian Westerhorstmann B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Martin Höttecke
Zweitprüfer:	M. Eng. Lisa Efke
Datum des Kolloquiums:	11. August 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Energetische Technik
in Kooperation mit:	Bode Planungsgesellschaft für Energieeffizienz m.b.H.



The European bakery group Continental Bakeries sets the goals to reduce the annual CO₂-emissions and to use more energy from renewable sources in the future. To demonstrate the fulfilment of these goals the group started to integrate a measuring system. Due to constantly changing product types and the conversion of plant components, the current energy performance indicators of the Continental Bakeries group are limited for the verification purposes.

The identification of potential for increasing efficiency is also difficult to quantify at the present time and is mostly based on assumptions. At the Solingen site, the implementation of the measuring system is nearing completion. Production line C and compressed air generation have been measured for over a year. This is the reason why it is used as the basis for a detailed consideration in this work. The measured electricity and gas load curves of line C are checked for statistical correlations with the production data. The different types of products produced on the line have an influence on the energy consumption.

Based on this finding, energy performance indicators of the production are formed using the method of least squares. The results show that an increase in efficiency can be demonstrated even with changing product types. For compressed air production a key figure is formed for electricity consumption as a function of the volume of compressed air produced. The models are verified with statistical tests and the significance is given by the coefficient of determination. The procedure for the creation of key figures can be applied to the future metrologically recorded areas. The production ratios offer the advantage that they can be used for a more accurate calculation of production costs. In addition, the CO₂-emissions of the individual product types resulting from the energy consumption of the manufacturing process can be calculated. The methods of key figure formation can be used in the organization's energy monitoring software. This provides a useful tool for analysis and visualization as data volumes increase in the future. In addition, the software offers the possibility to form and control daily updated key figures.

This allows deviations to be identified and corrective and preventive measures to be derived from them. The collected data and the formed key figures provide the possibility to check the effect of energy efficiency measures that have been implemented. These measures can be the optimization or renovation of compressed air systems or a change in production processes. The implementation of a measuring

system in each plant and the analysis of the recorded data will make it possible to provide detailed evidence of an increase in energy efficiency and the reduction of CO₂-emissions in the future.

Damian Wevelsiep M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
 Datum des Kolloquiums: 7. April 2021
 Master-Studiengang: Technisches Management der Energie-, Gebäude, Umwelttechnik
 Studienrichtung: Umwelttechnik
 Laborbereich: Umwelttechnik (Wasserversorgung - Abwasser - Abfall - Immissionsschutz)



In an activated sludge process (ASP) of an industrial wastewater treatment plant (WWTP) from paper production and paper finishing, the communities of protozoa and metazoa were systematically investigated over three months by means of microscopic analyses. Thereby, the present thesis aimed to evaluate the removal ratio and effluent quality as well as operating parameters of the ASP based on the abundance of protozoa and metazoa and biological parameters such as the sludge biotic index (SBI) or species diversity.

A total of 35 microscopic analyses were performed during the three months and 30 taxa of protozoa and metazoa were found. Among them, Epistylis spp., Aspidisca cicada, Litonotus spp., Arcella spp. and small flagellates were the dominant protozoa. Furthermore, rotifers and Chaetonotus spp. were the dominant metazoa. Figure 1 shows the distribution of the groups protozoa and metazoa in terms of abundance during the study period.

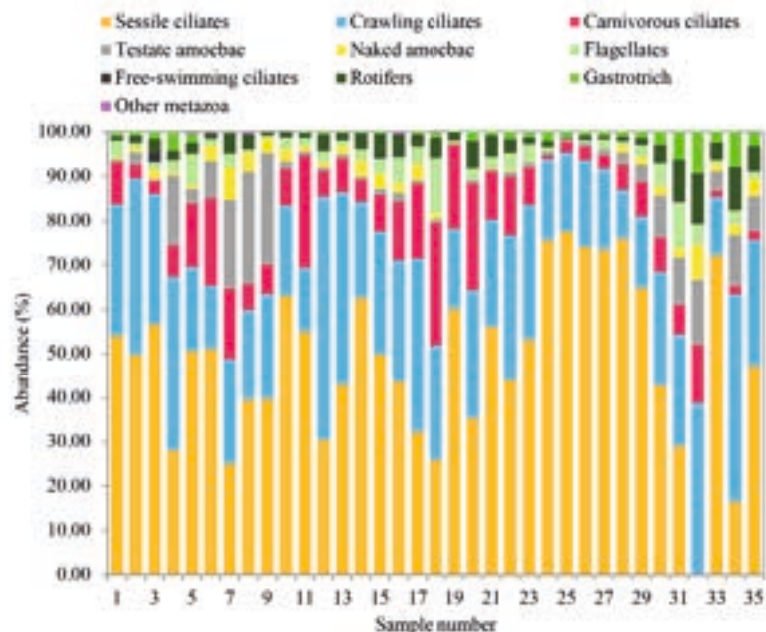


Figure 1: Distribution of the groups of protozoa and metazoa during the study period

The results indicate that the overall structure of protozoa and metazoa can be applied as a possible bio-indicator for a good biochemical oxygen demand over five days (BOD₅) removal rate. In this regard, species diversity can potentially be used to control phosphoric acid dosage into the biological treatment stage of the investigated ASP.

Based on the magnitude of the values for the Spearman correlation coefficients determined, possible bio-indicators were identified. Small flagellates and *Lecane* spp. are likely useful bio-indicators of reduced BOD₅ removal rate and BOD₅ effluent quality. In addition, *Litonotus* spp. indicates a decreased removal ratio and effluent quality with respect to chemical oxygen demand (COD). *Chaetonotus* spp. is a potential bio-indicator of decreased total organic carbon (TOC) and dissolved organic carbon (DOC) removal ratio. In contrast, *Arcella* spp. is a possible bio-indicator of good COD removal ratio and COD effluent quality. In addition, naked amoebae and *Vahlkampfia* spp. are potentially a good bio-indicator of high removal ratio and effluent quality in terms of COD, TOC and DOC. *Trithigmostoma cucullulus* is probably a useful bio-indicator for low sludge volume index. Moreover, the sludge biotic index did not reliably reflect the purification performance and effluent quality over the entire study period. A possible limitation was discussed.

A possible source of error of the present study is a trickling filter upstream of the ASP without intermediate clarification, so that protozoa and metazoa may be continuously flushed into the ASP. Moreover, processes in the paper mill were not taken into account, which can lead to a considerable change in the wastewater composition.

In summary, the results and experiences of the present thesis show that protozoa and metazoa as bio-indicators can be a useful tool for evaluating the functioning of an ASP. In addition to monitoring physico-chemical and operational parameters, they can be used for process control and optimization and enhance the understanding of WWTP management about the functioning and interrelationships within an ASP. In order to demonstrate relationships and confidently interpret bio-indicators, a study such as that conducted in this thesis is recommended before implementing microscopic analyses into the management of a WWTP.

Untersuchung eines kolbenbasierten Druckhaltesystems als Alternative zu einem statischen Membran-Druckausdehnungsgefäß

David Wiethölter B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Magnus Braam B.Eng.
Datum des Kolloquiums:	12. Januar 2021
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Reflex Winkelmann GmbH



Die Aufgabenstellung dieser Arbeit sah die Untersuchung eines kolbenbasierten Druckhaltesystems als Alternative zu einem statischen Membran-Druckausdehnungsgefäß vor. Da keine Forschungsvorhaben zum Thema der kolbenbasierten Druckhaltung bekannt sind, war es aus zeitlichen Gründen nicht das Ziel, ein Produkt zu entwickeln, das für den Einbau in Flüssigkeitskreisläufen bereits Anwendung finden kann. Es sollten durch die Entwicklung eines Prüflings lediglich Vor- und Nachteile gegenüber der statischen Druckhaltung ausgearbeitet und die Machbarkeit einer neuen Technologie abgewogen werden. Der Prüfling sollte die Anforderungen der DIN EN 12828 und der VDI 4708 Blatt 1 erfüllen. Dazu wurde ein Prüfstand entwickelt und gebaut, der die erforderlichen Ausdehnungsvolumenströme simuliert.

Für den Prüfling wurde ein Zylinder mit einem Kolben, ein Linearmotor, ein Drucksensor und eine Speicherprogrammierbare Steuerung besorgt und montiert. Anschließend folgte der Prüfaufbau ohne automatisierten Ablauf mit allen erforderlichen Bauteilen. Nach der Programmierung folgten erste Erkenntnisse, sodass der grundsätzliche Aufbau der kolbenbasierten Druckhaltung funktionierte.

Der zweite Prüfaufbau sah eine Änderung durch einen automatisierten Ablauf vor. Der Prüfstand sollte geprüft werden können, ohne dass mechanisch die Kugelhähne betätigt werden mussten. Auch die Funktion dieses Prüfaufbaus war gegeben.

Beim dritten Prüfaufbau konnten durch den Einbau von Kleinstmengen - Schwebekörper - Durchflussmesser Volumenströme simuliert werden, die auch den Bedingungen in Heizungsanlagen entsprachen. Zusätzlich wurde die Funktion der Druckhaltung durch eine Änderung im Schaltplan der SPS verbessert.

Darauf folgten in einem letzten Prüfaufbau Messungen, die dem Erfassen der Regelgüte dienten. Dazu wurden acht Messungen beim Einfahren und acht Messungen beim Ausfahren des Zylinders durchgeführt und ausgewertet. Sie zeigten, dass der Zylinder den Druck in Heizungsanlagen in engen Grenzen halten kann.

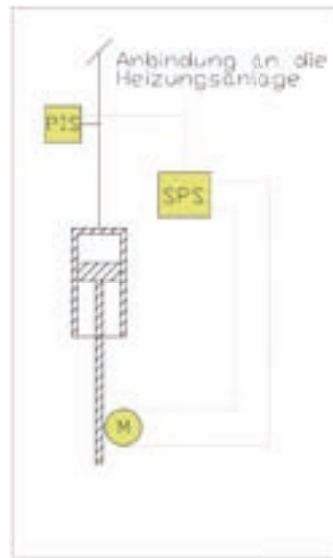


Abb1: Technische Zeichnung der kolbenbasierten Druckhaltung mit dem Linearmotor, dem Kolben mit beweglichem Zylinder, der SPS und dem Drucksensor.

Beim Vergleich der Druckhaltetechnologien sollte untersucht werden, ob die kolbenbasierte Druckhaltung im Vergleich mit Membran-Druckausdehnungsgefäßen die Funktionalität aufrechterhalten kann und in welchen Grenzen sich die Druckverläufe während der Expansion und der Kontraktion des Wärmeträgers befinden.

Der Vergleich der Druckverläufe entsprach in etwa denen einer statischen Druckhaltung mit einem Nennvolumen von $V_N=8l$, obwohl der Nutzungsgrad lediglich 20% betrug. Bei anderen Anlagenvolumina sind höhere Nutzungsgrade vorgesehen. Ein passendes Beispiel lieferte der Druckverlauf der statischen Druckhaltung mit einem Nennvolumen von $V_N=2l$ und einem Nutzungsgrad von 40%. Bei der Betrachtung des Druckverlaufes war die Stärke der dynamischen und kolbenbasierten Druckhaltung gegenüber der statischen Druckhaltung erkennbar. Die zulässigen Grenzen wurden zwar auch von der statischen Druckhaltung nicht überschritten, jedoch unterschieden sich die Druckhaltetechnologien im Arbeitsbereich der Druckhaltung. Der Arbeitsbereich der kolbenbasierte Druckhaltung ist durch das Regelverhalten der Steuerung begrenzt, wohingegen der Arbeitsbereich der statischen Druckhaltung vom Nutzungsgrad der Druckhaltung abhängig ist.

Der Wartungsaufwand sinkt durch die kolbenbasierte Druckhaltung, da die Überwachung des Zylinders durch die Verknüpfung mit der Gebäudeautomation jederzeit gewährleistet ist. Sollte eine zentrale Gebäudesteuerung eingebaut sein, führt es dazu, dass bei einem Störfall eine Meldung an diese erfolgen kann. Alternativ ist eine Fehlermeldung auf das Smartphone, ein optisches oder ein akustisches Signal.

Das Nennvolumen der Druckhaltung ist veränderbar, wodurch die Druckhaltung größerer Anlagen ermöglicht wird. In weiteren Entwicklungsprozessen sollte es gelingen, das Ausdehnungsvolumen durch andere oder mehrere Zylinder zu erweitern. Die Möglichkeit, an die Kontrollbox mehrere Linearmotoren anzuschließen, ermöglicht eine Parallelschaltung von baugleichen Zylindern. Zusätzlich können der Zylinderdurchmesser und die Zylinderlänge mit Berücksichtigung der Grenzen des Linearmotors verändert werden. Durch die Anordnung des Prüflings oder einen alternativen Linearmotor können weitere Entwicklungsstufen so optimiert werden, dass der Platzbedarf der Druckhaltetechnologie sinkt.

Kapazitätsanalysen zur Umstellung von Erdgas-Verteilnetzen auf eine Wasserstoff-Infrastruktur in der Region Ems-Vechte

Martin Wiggering M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Florian Altendorfner
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Ulrich Bohn
Datum des Kolloquiums:	17. August 2020
Master-Studiengang: Studienrichtung:	Technisches Management der Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik Netzingenieur Gas
in Kooperation mit:	Westnetz GmbH



Zur Zielerreichung einer weitestgehenden Klimaneutralität durch die Dekarbonisierung der Energiewirtschaft, welche zunehmend auf regenerativen Energien beruht, werden Speichertechnologien im großen Maßstab benötigt, um eine zeitliche Entkopplung der volatilen Energiebereitstellung und des Energiebedarfs zu ermöglichen. Sowohl die chemische Langzeitspeicherung von grün erzeugtem Wasserstoff als auch dessen Transport und Verteilung über die bestehende Gasinfrastruktur bieten hierbei ein enormes Potenzial, welches über die Nationale Wasserstoffstrategie weiterentwickelt werden soll.

Ziel dieser Masterarbeit ist eine Untersuchung, inwiefern die Gasverteilnetze der Westnetz GmbH unter dem Aspekt der Netzkapazität auf eine Wasserstoffinfrastruktur umgestellt werden können. Die zentrale Fragestellung besteht darin, ob mit Wasserstoff als Energieträger nach wie vor die Bereitstellung derselben thermischen Leistungen über die bestehende Infrastruktur möglich ist bzw. an welchen Stellen es zu Engpässen kommt.

Hierzu wird ein theoretischer Vergleich stationärer, kompressibler Fluidströmungen einer zuvor definierten Erdgas-H-Beschaffenheit und Wasserstoff für die beiden Szenarien konstanter Netzdrücke sowie konstanter Leistungen vorgenommen. Druckverluste bei laminaren und turbulenten Strömungen werden gemäß den hydraulischen Berechnungsgleichungen nach Hagen-Poiseuille, Blasius, Prandtl-Kármán, Prandtl-Colebrook sowie Nikuradse ermittelt.

Zusätzlich werden einzelne Betriebsmittel in der Verteilnetzebene hinsichtlich einer Wasserstoffeinspeisung bewertet. Hierunter fallen Rohrleitungen, Armaturen, Filter und Abscheider, Gasvorwärmer, Gasdruckregelgeräte und Sicherheitsabsperrventile, Gaszähler und Odorierungen.

Weiterhin werden praktische Untersuchungen in neun ausgewählten Gasverteilnetzen im Regionalzentrum Ems-Vechte der Westnetz GmbH über Netzsimulationen auf Basis realer Netzkenndaten durchgeführt. Hintergrund ist die Vielzahl an Wasserstoffforschungsprojekten verschiedenster Unternehmen in der Region, welche als Nukleus einer bundesweiten Wasserstoffinfrastruktur derzeit stark im Fokus ist.

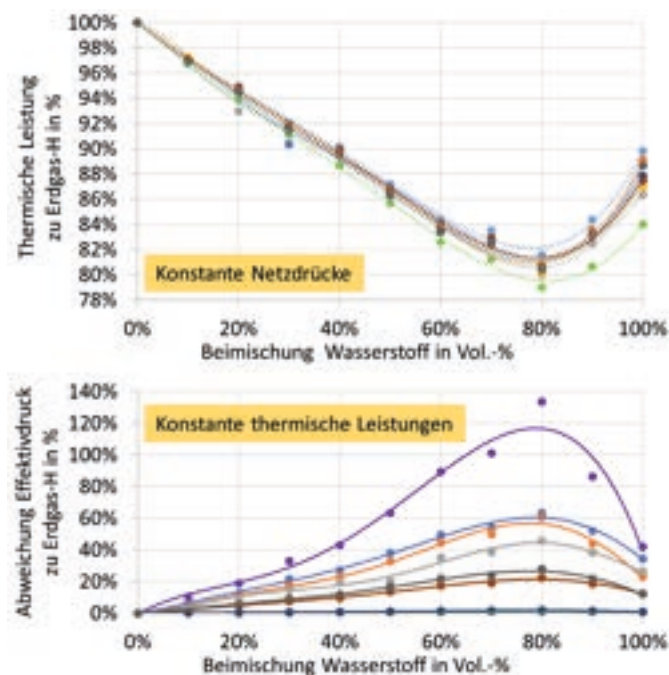
Da Wasserstoff nur ca. ein Drittel des Brennwertes von Erdgas aufweist, ist zur Übertragung gleicher thermischer Leistungen ein ca. dreimal größerer Volumenstrom erforderlich. Je höher der Brennwert des zu substituierenden Gases ist, desto größer wird dieses Verhältnis. Gleichzeitig beträgt die Dichte von Wasserstoff nur ca. ein Achtel der Dichte von Erdgas. Auch die dynamische Viskosität von Wasserstoff ist niedriger als die von Erdgas. Die Untersuchungen ergeben, dass die potenziell übertragbare Leistung mit Wasserstoff in einem Netz abhängig von der zu substituierenden Gasbeschaffenheit im Ausgangszustand ist und mit zunehmender Wasserstoffbeimischung ein Minimum durchläuft.

Für das Szenario der Druckkonstanz ergeben sich verschiedene thermische Leistungspotenziale in Abhängigkeit des Strömungsverhaltens und des jeweiligen Ausgangszustands.

Für das Szenario der Leistungskonstanz ergeben sich große, netzspezifische Unterschiede hinsichtlich der Veränderung der Druckverluste in Abhängigkeit der Netztopologien und Netzbelastungen.

In allen praktisch betrachteten Netze kann über zulässige Druckanhebungen eine reine Wasserstoffversorgung mit gleichen Leistungen bei gleichem Druckniveau gewährleistet werden. Zusätzlich werden restriktive Betriebsmittel in GDRM-Anlagen identifiziert.

Neben der strömungsmechanischen Betrachtung werden außerdem weitere Aspekte zur Netzverträglichkeit von Wasserstoff in Erdgasnetzen behandelt. Hierzu gehören Untersuchungen zur Materialverträglichkeit, Gesetzes- und Regelwerkskonformität, Strömungakustik, Mobilisation von Fremdpartikeln sowie Identifikation empfindlicher Anschlussnehmer.



Abbi: H₂-Szenarien konstanter Netzdrücke und konstanter thermischer Leistungen

Entwurf und überschlägige Bemessung einer Grundwasserbehandlungsanlage zur Behandlung kokereitypischer Schadstoffe

Tim Wissel M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Dr. rer. nat. Alexander Bietmann
Datum des Kolloquiums:	8. Januar 2021
Master-Studiengang:	Technisches Management in Energie-, Gebäude-, Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	WESSLING GmbH



Das Ziel der Arbeit war die Entwicklung und Bemessung einer Grundwasserbehandlungsanlage, die in der Lage ist, die durch Altlasten verursachte Kontamination bis unter die Konzentrationen ihrer jeweiligen Gewässerzielwerte zu reduzieren.

Die Renaturierung der Emscher stellt eines der größten Infrastrukturprojekte Europas dar. Zusätzlich zu diesem Vorhaben ergibt sich parallel die Notwendigkeit, die ihr zufließenden Gewässer entsprechend zu behandeln. Neben der Entkoppelung der Gewässer von Abwässern steht die Entfernung der Belastung durch Altlasten im Fokus. Somit besteht der Bedarf, dass auf dem Projektgelände gefasste Grundwasser vor der Einleitung soweit zu behandeln, dass die Gewässerzielwerte eingehalten werden.

Neben der Entfernung von Polyzyklischen Aromatischen Kohlenwasserstoffen lag der Schwerpunkt der Arbeit auf der Entfernung von Cyaniden. Die Besonderheit bei der Ermittlung einer geeigneten Verfahrenskombination lag darin, dass ein vergleichsweise hoher Volumenstrom von 52 m³/h mit einer geringen Cyanidbelastung von 0,68 mg/l zu reinigen ist, sodass auf keine bestehenden Konzepte zurückgegriffen werden konnte.

Dazu wurden 15 Verfahren betrachtet, die für eine Cyanidentfernung in Frage kommen. Anhand der Reinigungsleistung und der Selektivität der Verfahren wurde schlussendlich die Kombination aus der Photolyse bei gleichzeitigem Einsatz von Wasserstoffperoxid ausgewählt. Aufgrund des hohen Strom- und Chemikalienverbrauchs des Verfahrens bei großen Volumenströmen wurden Ionenaustauscher ausgewählt, um die komplexen Cyanide aufzunehmen und nur noch das wesentlich geringere Regenerationsvolumen zu behandeln. Anschließend wurden vier Verfahrenskombinationen, die auf dem Einsatz von Ionenaustauschern beruhen, betrachtet und deren Wirtschaftlichkeit verglichen. Dabei lag aufgrund der Ewigkeitslast der Fokus auf den Betriebskosten. Auf diese Weise wurde die in Abb. 1 dargestellte Verfahrenskombination als die Kombination ermittelt, welche die geringsten Betriebskosten aufweist.

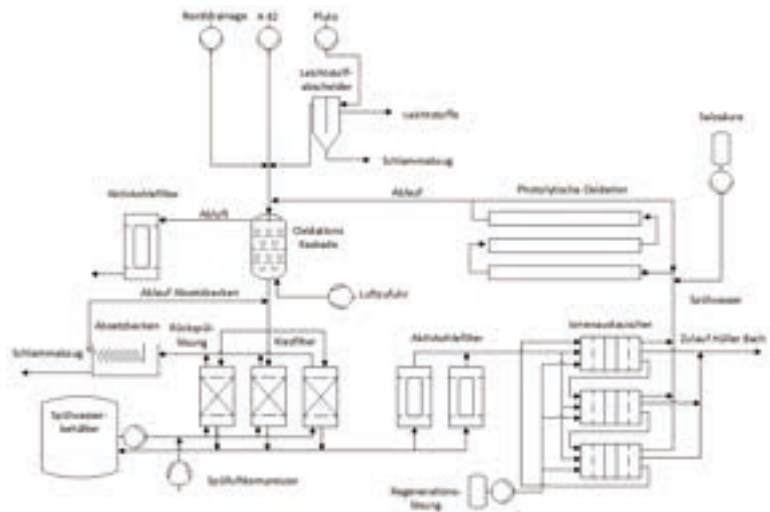


Abb 1: Verfahrensschema der Grundwasserbehandlungsanlage

Während der Dimensionierung der Grundwasserbehandlungsanlage zeigte sich, dass aufgrund einer Vielzahl an offenen Fragen eine abschließende Dimensionierung nicht möglich war. Daher wurde vor der Errichtung der eigentlichen Grundwasserbehandlungsanlage der Bau einer Pilotanlage vorgeschlagen und die zu untersuchenden Fragestellungen herausgearbeitet.

Es zeigt sich, dass die Reinigung des kontaminierten Grundwassers möglich ist, aber bis zu einem autonomen und optimierten Betrieb der Anlage noch eine Vielzahl an Voruntersuchungen durchgeführt werden müssen.

Programmierung von alternativen Zeta-Werten in der Kanalnetzberechnung unter Revit auf der Basis von Literaturwerten

Justin Zeiger B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer:	Dipl. Ing. Christof Hewing
Datum des Kolloquiums:	29. April 2020
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	agn Niederberghaus & Partner GmbH



Während der letzten Jahre war innerhalb der Bau- und Immobilienbranche, insbesondere bei der Planung von Bauwerken, ein großer Wandel zu beobachten: Es wird vermehrt versucht, den Prozess des Building Information Modeling (BIM) in die Projekte zu integrieren. Die Firma agn Niederberghaus & Partner GmbH vollzieht auch einen solchen Wandel hin zu BIM und setzt bereits Planungsprojekte auf BIM-Basis in vollem Umfang um. Dabei werden die Gebäude mithilfe von Computerprogrammen als 3D-Modelle erfasst. Anschließend lassen sich daran je nach Gewerk Berechnungen durchführen, wie z.B. im Bereich der Lüftungstechnik die Druckverlustberechnung. Im Umgang mit dem Computerprogramm Revit stellte sich bei der Planung und Berechnung raumluftechnischer Anlagen heraus, dass der dabei anzufertigende Druckverlustbericht auf ASHRAE-Daten beruht.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit sollten Aussagen darüber getroffen werden, ob die Erstellung des Druckverlustberichtes nach Revit zu Abweichungen gegenüber dem Druckverlustbericht mittels Zeta-Werten nach dem Handbuch der Klimatechnik führt. Hierzu wurde zunächst das 3D-Modell eines exemplarischen Luftkanalnetzes in Revit konstruiert, anhand welcher die unterschiedlichen Berechnungsmethoden durchzuführen waren. Darauf aufbauend folgte die Erstellung des Druckverlustberichtes auf Grundlage von ASHRAE-Daten. Anschließend wurde mithilfe der grafischen Programmieroberfläche Dynamo, welche fester Bestandteil von Revit ist, eine Programmierung eigens für diese Arbeit entwickelt. Damit war es möglich, allen modellierten Luftkanalformteilen alternative Zeta-Werte zuzuordnen. Die Wahl des entsprechenden Widerstandsbeiwertes erfolgte dabei auf Basis von Tabellen und Formeln aus der Literatur und passte sich automatisch an die Veränderungen von Parametern eines Formteils an. Auf Basis dieser neuen Widerstandsbeiwerte wurde ein weiterer Druckverlustbericht für das Luftkanalnetz berechnet.

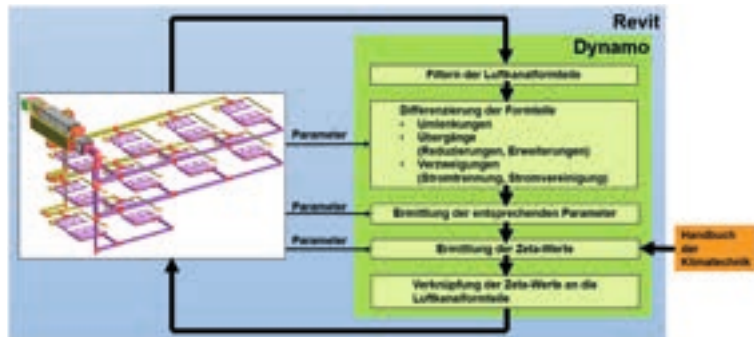


Abb. 1: Umprogrammierung der Widerstandsbeiwerte auf Basis von Daten aus dem Handbuch der Klimatechnik

Bei der Gegenüberstellung der Ergebnisse der verschiedenen Druckverlustberichte zeigte sich, dass es durch Anpassung der Widerstandsbeiwerte zu geringen Abweichungen im Hinblick auf den Gesamtdruckverlust kommt. Des Weiteren führten die Vergleiche der Druckverlustberichte bei Variation der Luftgeschwindigkeiten zu der Erkenntnis, dass die Abweichungen bei steigender Luftgeschwindigkeit ebenfalls größer wurden. Dadurch konnte die Annahme getroffen werden, dass bei der Berechnung auf Grundlage von ASHRAE-Tabellen geschwindigkeitsabhängige Parameter verwendet werden. Da in Zukunft im Bereich der Lüftungstechnik weiterhin mit geringen Luftgeschwindigkeiten zu planen ist, bleiben die Abweichungen der Druckverlustberichte gering und eine Anpassung der Widerstandsbeiwerte für die Erstellung des Druckverlustberichtes ist nicht zwingend erforderlich.

Entwicklung eines softwaregestützten BIM-AVA-Prozesses zur modelbasierten Massen- und Kostenermittlung anhand von BIM-Gebäudetechnikmodellen

Menhui Zhang M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Dipl.-Ing. Arne Feldmeier M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	14. Januar 2022
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt
Studienrichtung:	Gebäudetechnik
Laborbereich:	Haus- und Energietechnik
in Kooperation mit:	IGF Ingenieure GmbH



Building Information Modelling (BIM) wird heute immer häufiger bei der Planung von Bauprojekten eingesetzt. Auch die Zusammenarbeit und Kommunikation zwischen den Projektbeteiligten wird immer wichtiger, um komplexe Bauprojekte erfolgreich abzuschließen. In diesem Zusammenhang ist auch der Austausch digitaler Daten zwischen den Teilnehmern eine immer wichtiger.

Die erfolgreiche Durchführung von Bauprojekten erfordert eine Beschreibung des Bauprojektes und seines Leistungsumfangs (AVA) während des Ausschreibungs-, Vergabe- und Abrechnungsprozesses. Dieser Ansatz ist während des gesamten Projektes für die Beschreibung der zu erbringenden Leistungen von großer Bedeutung und erfordert eine große Menge an Informationen.

Heutzutage wird die Datenübertragung vom BIM-Modell zur AVA häufig manuell durchgeführt. Dabei muss eine Vielzahl an Informationen, welche in dem Entwurf bereits enthalten sind, nochmals erarbeitet werden, was sehr zeitaufwändig ist und möglicherweise zur Eingabefehlern führen kann.

Das Ziel dieser Arbeit ist es, dass ein Leistungsverzeichnis (LV) eines BIM-Modells automatisch generiert wird, um dadurch den AVA-Prozess zu erleichtern.

In dieser Arbeit wird ein Revit-Plugin entwickelt. Damit werden die Bauteile aus einem BIM-Gebäudetechnikmodell nach zugehörigem Systemtyp und Bauteiltyp zu einzelnen Leistungen zugeordnet. Dabei werden die Mengen und Kosten der Leistungsposition ermittelt und die zugeordneten Bauteile in einer entsprechenden Leistungsposition zusammengefasst.

Durch dieses Prinzip kann die Ausarbeitung eines Leistungsverzeichnisses erleichtert werden, wodurch die Erstellung der Ausschreibung erheblich vereinfacht wird. Auf diese Weise kann der Bauprozess in Zukunft optimiert und zeitsparender und fehlerfreier durchgeführt werden.

Untersuchung der Auswirkungen des Ausspülens der Warmwasserleitung über den Spülkasten auf die Temperaturentwicklung in der Vorwand und dem Spülkasten

Yifan Zhang B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmickler
Zweitprüfer: Marius Leusing M. Eng

Datum des Kolloquiums: 19. August 2020

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Gebäudetechnik



Stagniert Trinkwasser in der Leitung, drohen Hygieneprobleme. Eine automatisierte Spüleinheit kann das verhindern. TECE geht hier neue Wege und verbaut die Hygienespülung im Universalspülkasten. Damit werden Rohrschleifen, Revisionsöffnungen und Apparate gespart. Programmiert wird sie kontaktlos per Smartphone-App. Es wird untersucht wie sich das Wegspülen des Warmwassers über den Spülkasten auf die Temperatur im Spülkasten und in der Vorwand auswirkt.



Abb1: Smartphone-App zur Programmierung des TECE.

In den ersten beiden Kapiteln wurde in dieser Arbeit das Designkonzept des TECEprofils mit WC-Model mit integrierter Hygienespülung vorgestellt: rechtzeitiger Austausch von Wasser, wenn das Trinkwasserinstallation nicht mehr verwendet wird, um die Trinkwasserqualität aufrechtzuerhalten, und anschließend die Vorteile des neuen Spülkastens vorzustellen. Anschließend werden die Grundlagen über Trinkwasserhygiene und Thermografie beschrieben. Ersteres erklärt die Bedeutung der Trinkwasserhygiene und letzteres wird in den nächsten Experimenten angewendet.

Im dritten Kapitel werden das Prinzip und die Gestaltungsideen des Experiments vorgestellt: Da das Spülen von warmem Wasser zu einem Anstieg der Temperatur an der Innen- und Vorderwand des Spülkastens führen kann, soll die Auswirkung des Spülens von warmem Wasser durch Experimente analysiert werden. Das vierte Kapitel beschreibt den Inhalt und den Ablauf des Experiments. Zuerst sollte der Montagerahmen installiert werden, um den Spülkasten zu befestigen, sollte die Wasserleitung installiert und auf Undichtigkeiten überprüft werden, danach sollte die schwarze Polyethylenfolie abgedeckt werden und schließlich

sollte die Dämmung aufgebaut werden. In diesem Kapitel werden auch die Schwierigkeiten des Experiments und die Ziele des Experiments erwähnt.

Im fünften Kapitel wurden die von der Wärmebildkamera und einer entsprechenden Bildanalyse-Software aufgenommenen Fotos sowie zwei Beispiele erläutert, wie sich das Spülen von warmem Wasser auf den Spülkasten und die Vorderwand auswirkt, z. B. wie sich die Temperatur ändert und wie lange diese Temperaturänderung anhält. Bei der Datenanalyse wird eine Bildanalyse-Software FLIR QuickReport verwendet, mit der der Bereich auf dem Foto ausgewählt und Punkte zur Messung der Temperatur erfasst werden können.

Yixin Zhang B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker
Zweitprüfer: Daria Kardinahl B.Eng.
Datum des Kolloquiums: 25. August 2021
Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung: Gebäudetechnik
Laborbereich: Labor MSR-Technik und Gebäudeautomation



Mit der Entwicklung der modernen Industrie ist die SPS-Steuerung zu einem wichtigen Verfahren der Regelung und Steuerung geworden. Um zu untersuchen, wie kapazitive Lasten mit SPS gesteuert werden können, wurde in diesem Artikel ein SPS-Steuerungsgerät für kapazitive Lasten entwickelt. Durch den Entwurf des Schaltplans, das Schweißen und Verbinden der Komponenten, die Gesamtmontage, das Programmieren und Importieren des Programms vervollständigt dieses kapazitive Lastgerät, das durch SPS-Steuerung und manuelle Steuerung justierbar ist. Schließlich ist dieses Gerät simuliert und getestet, und die Ergebnisse stimmen mit der Theorie überein. Dieses Gerät kann als Beispiel für die SPS-Steuerung größerer kapazitiver Lasten verwendet werden.

Optimierung der Schwefelwasserstoffentfernung hinsichtlich der Aufbereitung von Biogas auf Erdgasqualität

Roman Zurhold B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann
Zweitprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Datum des Kolloquiums:	9. März 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Energie-, Gebäude- und Umwelttechnik
Studienrichtung:	Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Entsorgungsgesellschaft Steinfurt mbH



Das am Kompostwerk der Entsorgungsgesellschaft Steinfurt erzeugte Biogas wird momentan zur Strom- und Wärmeerzeugung im Blockheizkraftwerk verwertet und soll in Zukunft auch in das Erdgasnetz eingespeist werden. Das Biogas enthält neben Methan und Kohlenstoffdioxid einen gewissen Anteil Schwefelwasserstoff. Durch die korrosiven Eigenschaften von Schwefelwasserstoff ist es enorm wichtig, das Biogas zu entschwefeln. Die Entschwefelung erfolgt biologisch durch Luftzufuhr in den Vergärungsboxen und durch eine Aktivkohle vor dem Blockheizkraftwerk. Neben Sauerstoff wird durch die Luft auch Stickstoff in das Biogas eingetragen. Die hohen Stickstoffgehalte sind hinsichtlich der Aufbereitung auf Erdgasqualität problematisch, da die vorgeschriebenen Methangehalte so nicht mehr eingehalten werden können.

Die Arbeit zielt darauf ab, ein alternatives Entschwefelungsverfahren zu finden, welches wirtschaftlich sinnvoll ist und den Anforderungen der Erdgasqualität nicht im Wege steht.

Dazu wurde zunächst die biologische Entschwefelung untersucht. Die Schwefelwasserstoffkonzentration im Gas wurde dabei in verschiedenen Messungen mit veränderter Luftzufuhr beobachtet. In einzelnen Vergärungsboxen der Anlage wurde untersucht, ob die Entschwefelung überhaupt funktioniert. Um zu ermitteln, welchen Beitrag das biologische Verfahren in der gesamten Entschwefelung leistet, wurden verschiedene Messungen des Mischgases aller Vergärungsboxen angestellt. Entgegen den Erwartungen haben die Untersuchungen ergeben, dass die biologische Entschwefelung gut funktioniert und hohe Leistungen erzielt. Mit den Ergebnissen der Versuche wurden verschiedene biologische sowie chemisch-physikalische Entschwefelungsverfahren als Alternativen betrachtet.

Um die biologische Entschwefelung beizubehalten, bietet es sich an, statt der Belüftung einen Sauerstofftank oder einen Sauerstoffgenerator einzusetzen. Hierzu wurde in einer weiteren Messung festgestellt, dass die ursprünglich eingestellte Luftmenge zu hoch ist. So können Sauerstofftank und -Generator insgesamt sogar kleiner dimensioniert werden. Weiterhin ist es möglich, die biologische Entschwefelung in einem externen Reaktor zu vollziehen. Die Investitionskosten für ein solches Vorhaben sind zwar deutlich höher, die Anlage leistet jedoch bei einem geringeren Sauerstoffbedarf mehr als die bestehende biologische Entschwefelung. Dadurch wird die Aktivkohle geschont und muss seltener gewechselt werden.

Zu den chemisch-physikalischen Verfahren zählen absorptive und adsorptive Verfahren sowie die Entschwefelung durch den Einsatz von Fällmitteln. Ein absorptives Verfahren ist die Entschwefelung durch eine Laugenwäsche in einem Reaktor. Die Investitionskosten sind wie bei der biologischen Entschwefelung im Reaktor hoch. Zudem erfordert dieses Verfahren den Einsatz von verschiedenen Betriebsmitteln wie zum Beispiel einer Lauge. Dennoch bietet die Laugenwäsche eine hohe Leistung, was wiederum die Aktivkohlewechsel verringert. Ein adsorptives Entschwefelungsverfahren ist bereits durch die Aktivkohle an der Anlage gegeben. Es wäre möglich auf die biologische Entschwefelung zu verzichten und nur noch mit der Aktivkohle zu entschwefeln. Die Entschwefelung mit Hilfe von Fällmitteln ist durch den Einsatz von Eisenverbindungen in den Vergärungsboxen möglich.

Jedes der vorgestellten Verfahren muss in Kombination mit einem kleineren Sauerstofftank oder -Generator betrieben werden, da die bestehende Aktivkohle in jedem Fall beibehalten wird und diese einen gewissen Sauerstoffbedarf aufweist.

Die externe biologische Entschwefelung ist trotz der Investitionskosten auf Grund der hohen Leistung am wirtschaftlichsten. Zudem bietet der Bedarf von Sauerstoff als einziges Betriebsmittel Vorteile, da die Aktivkohle mit Sauerstoff versorgt werden muss. Der Einsatz eines großen Sauerstofftanks ist dennoch erwähnenswert. Dadurch würde die bestehende biologische Entschwefelung in den Vergärungsboxen beibehalten werden. Dies vereinfacht die Installation im Vergleich zu der externen Entschwefelung deutlich. Im Vergleich zum Einsatz eines neuen Verfahrens ist das Risiko von Betriebsproblemen außerdem geringer. Darüber hinaus ist der Wartungsaufwand der bestehenden Entschwefelung minimal. Letztendlich muss durch die Entsorgungsgesellschaft Steinfurt abgewogen werden, ob die Vorteile des Sauerstofftanks trotz der geringeren Wirtschaftlichkeit überwiegen.



Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Tel: +49 2551 - 962097
Fax: +49 2551 - 962706
www.fh-muenster.de/egu

