



FH MÜNSTER
University of Applied Sciences

AKADEMISCHES JAHRBUCH

2022/
2023

EGU

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



Vorwort

Liebe Leserinnen und Leser,

die disruptive Entwicklung in unseren Energiewandlungssystemen, weg von fossilen Energieträgern hin zu regenerativen Energiequellen, stellt hohe Innovationsanforderungen an unsere Industrie. Dabei baut die Industrie auf Ingenieurinnen und Ingenieure, die über das dafür benötigte, sich stetig erweiternde Fachwissen verfügen. Der Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt thematisiert in seinen Studiengängen dazu benötigte Technologien ebenso, wie die zukünftig benötigten Fähigkeiten unserer Ingenieure und Ingenieurinnen. Nachhaltigkeit und Digitalisierung sind neue Ausbildungsinhalte, die konsequent Einzug in unsere Studiengänge gehalten haben.

Dieses Jahrbuch zeigt sowohl die Vielfalt der bearbeiteten aktuellen Themen als auch die Breite in den Ingenieurwissenschaften, die von unseren Absolventen beherrscht wird. Unsere Absolventen werden damit nicht nur zur Lösung der jeweils bearbeiteten Thematik beitragen, sondern auch helfen können unsere Umwelt- und Energieziele zu erreichen.

Die Kolleginnen und Kollegen 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 Absolventinnen und Absolventen 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 Absolventen, aber auch interessierten Ingenieurinnen und Ingenieuren, 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 Kommilitoninnen und Kommilitonen, die gemeinsam erfolgreich einen akademischen Abschluss erlangt haben.

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

Steinfurt, im April 2023

Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Dekan

Inhaltsverzeichnis

Vorwort

1	Risikominimierung bei der marktorientierten Energiebeschaffung für energieintensive Prozesse <i>Viktor Bachler B.Eng.</i>	8
2	Bereitstellung von Open Source Software in der Energiewirtschaft - Ein Leitfaden <i>Gregor Becker B.Eng.</i>	10
3	Anfall und Verwertung von Klärschlamm aus Abwasserreinigungsanlagen in der Lebensmittelindustrie in Nordrhein-Westfalen (NRW) <i>Nina Borgert M.Eng.</i>	12
4	Steigerung der Energieeffizienz und Erhöhung des Eigenstromanteils der Kläranlage Metelen <i>Rika Brinkjans B.Eng.g.</i>	14
5	Technische Verfahren zur Vermeidung einer Eutrophierung von künstlichen Seen in urbanen Räumen am Beispiel der Klimaschutzsiedlung Seestadt mg+ <i>Florian Brinkschmidt B.Eng.</i>	15
6	Konzeptentwicklung eines kalten Nahwärmenetzes für ein Neubaugebiet mit dem Fokus auf den technischen und ökonomischen Vergleich verschiedener Wärmequellen <i>Leon Brömmelhaus B.Eng.</i>	17
7	Leitfaden zur Modellierung von Energiesystemen <i>Janik Budde M.Eng.</i>	19
8	Machbarkeitsprüfung einer Vakuumdestillationsanlage zur Aufbereitung von industriellem Abwasser <i>Daniel Fink B.Eng.</i>	21
9	Planung von Baumrigolen als Teil des Entwässerungskonzeptes für den Campusbereich der Universität Bielefeld <i>Tessa Finke B.Eng.</i>	23
10	Bestimmung der Störstoffgehalte von Bioabfällen vor und nach mechanischer Aufbereitung nach der in der kleinen Novelle der Bioabfallverordnung geforderten Chargenanalyse <i>Lukas Funk B.Eng.</i>	24
11	Vergleich von Wärmeversorgungskonzepten einer Energiezentrale zur Versorgung eines Industriestandortes <i>Michael Isaak Rene Gaupp B.Eng.</i>	26

12	Bilanzierung von Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten (CO₂e) auf kommunalen Kläranlagen <i>Samira Görbing B.Eng.</i>	27
13	Konzeptentwicklung zur regenerativen Wärmeversorgung im Bestandsquartier <i>Leon Jasper B.Eng.</i>	29
14	Wirtschaftliche und Rechtliche Planung einer Photovoltaikanlage auf der Kranstellfläche einer Windenergieanlage - Beispiel Ekeler Wind <i>Nils Karschuck B.Eng.</i>	31
15	Korrekte Planung, Einbau und Wartung von Brandschutzklappen in Lüftungstechnischen Anlagen <i>Franc Bouquet Kenfack Tetsalo B.Eng.</i>	32
16	Kann die Messgenauigkeit von Low-Cost Feinstaubsensoren mit Hilfe einer Aerosoltrocknung verbessert werden? <i>Sven Köhn B.Eng.</i>	34
17	Energiekonzept für ein Wohnquartier - Auslegung einer regenerativen Energiebereitstellungsanlage mit dem Ziel der Minimierung des fossilen Energiebedarfs <i>Abizek Kulasekaram B.Eng.</i>	36
18	Möglichkeiten und Voraussetzungen der Beschleunigung des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens, bezogen auf die Umweltverträglichkeitsprüfung <i>Teresa Lange B.Eng.</i>	37
19	Analytische Betrachtung der Lithiumkreislaufwirtschaft mit besonderem Fokus auf Batteriesysteme <i>Malte Meiners M.Eng.</i>	39
20	Auslegung und Dimensionierung einer risikogerechten Sprinkleranlage am Beispiel eines Lebensmittelnahversorgers <i>Andreas Metzger B.Eng.</i>	40
21	Entwicklung eines integrierten Managementsystems am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers <i>Jan Corentin Mennes M.Eng.</i>	42
22	Potentialanalyse zur technischen Umsetzung der Fernwärmeversorgung der Liegenschaft des Bonifatius Hospitals in Lingen <i>Jonah Möller M.Eng.</i>	44
23	Technische Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Photovoltaikanlage an einem Wasserhochbehälter <i>Jan Mühlenbrock B.Eng.</i>	46
24	Arbeitsschutztechnische Anforderungen am Beispiel eines Wasserstoffelektrolyseurs <i>Hendrik Müller B.Eng.</i>	48
25	Herstellung und Verwendung von Ammoniak aus klimaneutralen Quellen <i>Niklas Olbertz M.Eng.</i>	50

26	Nachhaltige Prozessoptimierung der Lösungsmittelaufarbeitung am Beispiel von Ethylacetat <i>Eggo Thiark Ortmann B.Eng</i>	52
27	Technische und wirtschaftliche Analyse der Wasserstoffwertschöpfungskette im Mobilitätssektor <i>Jens Peitzmeier M.Eng.</i>	54
28	Wirtschaftlichkeitsanalyse der Wasserstoffnutzung in Quartieren <i>Vincent Petereit B.Eng.</i>	56
29	Energetische Analyse einer kommunalen Kläranlage zur Steigerung der Energieeffizienz <i>Jorge Plöhn B.Eng.</i>	58
30	Mikroskopische Untersuchung von Biofiltermaterial an Schweinemastanlagen <i>Gianina Edilia Ramos Pazce B.Eng.</i>	60
31	Untersuchung der Sedimentation von Partikeln zur Behandlung von Niederschlagswasserzuflüssen in Baumrigolen <i>Pascal Rensing B.Eng</i>	61
32	Untersuchung verschiedener Einsatzmöglichkeiten von bifazialen Solarmodulen <i>Lennart Rüschemschmidt M.Eng.</i>	63
33	Vehicle-2-X - Potenzialanalyse bidirektionaler Ladekonzepte am Beispiel eines Unternehmens <i>Hendrik Schmeinck M.Eng.</i>	65
34	Herstellung von grünem Wasserstoff auf Kläranlagen am Beispiel der Kläranlage Bremen Seehausen <i>Michelle Schwenker M.Eng.</i>	67
35	Erarbeitung einer Verfahrenskombination zur wirtschaftlichen Behandlung von Gärresten aus der Lebensmittelindustrie <i>Joshua Steinigeweg M.Eng.</i>	69
36	Technische Planung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage auf der Kranstellfläche einer Windenergieanlage - Beispiel Ekeler Wind <i>Corinna Ströthoff B.Eng.</i>	71
37	Zustandsorientierte Instandhaltung von Blockheizkraftwerken <i>Dennis Tillenburg M.Eng.</i>	73
38	Technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit eines mobilen Blockheizkraftwerkes für die Optimierung der Wärmeversorgung öffentlicher Schwimmbäder mit angrenzenden Liegenschaften <i>Jens Vahl M.Eng.</i>	75
39	Skalierbare Kartierung von Verkehrsgeräuschen auf Basis öffentlich zugänglicher Daten mit dem Open-Source-Tool NoiseModelling <i>Fiona Wagenknecht M.Eng.</i>	77
40	Bewertung des Regenklärbeckens Hessenbusch durch systematische Analyse von Betriebsdaten und Bemessungsgrößen <i>Sophia Wenning B.Eng.</i>	79

41	Batterierecycling - der Entsorgungsweg von Batterien - insbesondere Lithium-Ionen-Batterien - unter Umwelt- und Sicherheitsaspekten <i>Torsten Wiche B.Eng.</i>	81
42	Ansatz zur Bestimmung der Energieeffizienz bei Durchlauf- Trinkwasser-Erwärmern (DTW) <i>Zhipeng Zhang B.Eng.</i>	83

Risikominimierung bei der marktorientierten Energiebeschaffung für energieintensive Prozesse

Viktor Bachler B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer: Prof. Andreas Grübel

Datum des Kolloquiums: 9. Dezember 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: energielenker solutions GmbH



Die Untersuchung der Arbeit hat ergeben, dass die Risikoreduzierung bei der marktorientierten Energiebeschaffung von vielen Aspekten abhängt. Zum einen ergab die Literaturrecherche, dass die Energiebeschaffung aufgrund der volatilen Marktentwicklungen zu einem existentiellen Thema für viele Unternehmen herangewachsen ist. Deswegen ist die Steuerung dieser Risiken ein wichtiger Bestandteil der Unternehmenssicherung. Im Zuge der Digitalisierung und der Industrie 4.0 wird die Erfassung und Steuerung von Risiken komplexer, birgt aber auch gleichzeitig Chance. Diese komplexe Strukturen ähneln denen der Versicherungs- und Finanzbranche, weshalb für die Risikobewertung finanzmathematische Modelle herangezogen worden sind.

Unterschieden nach ihrem Aufwand und Nutzen können Simulationen und Berechnungen Kennzahlen für das Risikomanagement erzeugen, das damit die Risiken bewerten kann. Neben dem Verhindern, Vermindern, Abwälzen und Selbsttragen von Risiken können Unternehmen sich über Finanzgeschäfte an Börsen absichern. Verschiedene Finanzderivate ermöglichen neben dem reinen Kauf und Verkauf von Energie auch das spekulative Handeln an den Energiemärkten. So kann etwa ein Energieeinkäufer seine Beschaffung absichern indem dieser Hedging am Energiemarkt betreibt. Dabei werden seine offenen Positionen abgesichert und somit das Marktpreisrisiko reduziert. Weiter können sich Energieeinkäufer über außerbörsliche Geschäfte wie Swaps absichern.

Auch Spekulationen am Energiemarkt sind möglich. Beim sogenannte Gaming nutzt ein Marktteilnehmer seine Flexibilität aus, um ein Engpass im Stromnetz zu erzeugen, nur um dann wenig später den Engpass selber wieder aufzulösen, und damit die Vergütung zum Beseitigen dieses Engpasses einbehält.

Neben den Risiken, die bei der Energiebeschaffung auftreten können, können Unternehmen im volatilen Stromnetz Flexibilitätspotenziale heben. Dafür bedarf es einer genauen Prognose, die auf repräsentative Daten fußt. Um diese Daten zu erfassen, ist ein Energiedatenmanagement bedeutsam. Unternehmen sollten zunächst einen Plan haben, welche Anlagen energie- und produktionsflexibel sind. Dann können sie ihre Anlagen so steuern, dass sie beispielsweise bei günstigen Strompreisen produzieren. Eine weitere Ergänzung wäre die Inte-

gration von Energiespeichern in der Produktionslinie. Mittels intelligenten Messstellen können so im Energiedatenmanagement Flexibilitätpotenziale identifiziert werden und über eine automatisierte Steuerung gehoben werden. Somit sind Unternehmen gut für den zukünftigen volatilen Strommarkt gewappnet.

Bereitstellung von Open Source Software in der Energiewirtschaft - Ein Leitfaden

Gregor Becker B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer: Dr. Jannik Hüls

Datum des Kolloquiums: 31. August 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

Laborbereich: Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Programmierung von Open Source Software in der Energiewirtschaft nimmt seit Beginn der 2000er stetig zu. Dies gilt sowohl für den Bereich der Forschung und Entwicklung, als auch für die Industrie und Wirtschaft. So werden beispielsweise Modelle zur Planung und Optimierung von Energiesystemen umgesetzt. Eine Open Source Veröffentlichung ist in diesem Forschungsfeld besonders wichtig, um die Überprüfbarkeit von Modellannahmen sowie der Vergleichbarkeit verschiedener Modellansätze zu garantieren. Einer Open Source Veröffentlichung stehen jedoch häufig die Hürden von hohem Fristendruck, fehlender Finanzierung und fehlendem Detailwissen der Publizierenden entgegen. Deshalb bleiben diese Softwareprodukte meist im Entwurfsstadium und sind daher schwierig wieder zu verwenden.

Mithilfe des neu erarbeiteten Schritt-für-Schritt Leitfadens zur standardisierten Implementierung einer Open Source Software, wird die Hürde und der zeitliche Aufwand zur Standardisierung von Open Source Repositories weitestgehend reduziert. Hierbei wird für jeden Bestandteil des zu standardisierenden Repositories eine umfassende Erklärung der üblichen Standards sowie eine Empfehlung für unterstützende Softwarelösungen ausgesprochen.

Der Leitfaden orientiert sich an den aus der ISO 12207 resultierenden Phasen des Softwarelebenszyklus und ermöglicht einen Einstieg zu jedem Entwicklungsstand der Software. Seine grafische Aufbereitung in Form eines Prozessablaufplans erleichtert die Einschätzung des individuellen Status der Standardisierung eines vorliegenden Open Source Projektes. Als Treiber der Standardisierung eines Open Source Projektes sind insbesondere die bessere Lesbarkeit, Wartbarkeit und Testbarkeit der standardisierten Open Source Software wichtig.

Bei der Anwendung auf das bereits bestehende Open Source Projekt des Spreadsheet Energy System Model Generators fiel auf, dass ein verspäteter Einstieg in ein systematisches Vorgehen (wie er mit dem Leitfaden dieser Arbeit gegeben wird) zu erheblichen Mehraufwand bei der Standardisierung führen kann. Dennoch konnten im Zuge der Umsetzung des erarbeiteten Leitfadens weitreichende Verbesserungen des Projektes vor dem Hintergrund der Standardisierung erreicht werden (z. B. Versionierung & Wartbarkeit).

Insgesamt lässt sich festhalten, dass eine frühestmögliche Standardisierung der Open Source Repositories durchgeführt werden sollte, um spätere Mehrarbeit zu vermeiden und die frühestmögliche Wiederverwendbarkeit für Dritte zu gewährleisten.

Anfall und Verwertung von Klärschlamm aus Abwasserreinigungsanlagen in der Lebensmittelindustrie in Nordrhein-Westfalen (NRW)

Nina Borgert M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dr. Daniel Baumkötter

Datum des Kolloquiums: 20. Januar 2022

Master-Studiengang: Technisches Management in der Umwelttechnik



Im Jahr 2018 wurde nach Angaben des Statistischen Bundesamtes 1,74 Mio. Tonnen Trockenmasse (TM) Klärschlamm pro Jahr in Deutschland entsorgt, wovon mehr als 20 % des Klärschlammanfalls aus NRW stammte. Die Verwertungswege für Klärschlamm erstrecken sich von der stofflichen Verwertung über die thermische Entsorgung bis hin zur Deponierung. Vor allem die landwirtschaftliche Verwertung hat in NRW in den letzten 13 Jahren um ca. 66 % abgenommen, daher wurden über 90 % des Klärschlammes 2018 aus NRW thermisch verwertet. Das liegt vor allem an den steigenden Anforderungen durch die Novellierung der Klärschlammverordnung (2017) und des Düngerechts, wodurch die stofflichen Verwertungsformen zunehmend erschwert werden. Dies ist auch den steigenden Mengen unerwünschter Abwasserinhaltsstoffe aus diversen industriellen Branchen geschuldet. Deswegen wurde in dieser Arbeit die Lebensmittelindustrie betrachtet, da in diesem Branchenzweig vermeidlich schadstoffarme Abwasserströme anfallen und die Klärschlämme einfacher verwertet werden könnten. Hierzu wurden neben den wasserrechtlichen auch die Anforderungen des Abfall- und Düngerechts näher betrachtet.

Eine Ausbringung von Klärschlamm aus der Lebensmittelindustrie auf landwirtschaftlich genutzte Flächen ist rein rechtlich gesehen möglich, da die Schlämme aus den entsprechenden Abwasserbehandlungsanlagen der betrachteten Industriezweige in der Bioabfallverordnung gelistet sind. Voraussetzung dafür ist, dass die branchenspezifischen Abwässer nicht mit anderen Abwässern zusammengeführt und in einer Abwasserbehandlungsanlage behandelt werden.

Die anfallenden Klärschlammmengen variieren je nach Einleitungsart. Es wird zwischen direkten und indirekten Einleitern unterschieden. Letztere unterliegen i.d.R. den Entwässerungssatzungen der Kommunen, wohingegen die direkten Einleiter mindestens die Anforderungen des entsprechenden Anhangs der Abwasserverordnung (AbwV) erfüllen müssen. Durch die höheren Anforderungen an Direkteinleiter müssen diese aufwändigere Vorbehandlungsanlagen vorhalten, um die vorgegebenen Parameter einhalten zu können. Da die Vorgaben der Entwässerungssatzungen je nach Kommune variieren, wurde in dieser Arbeit die vereinfachte Annahme getroffen, dass es sich bei den betrachteten Betrieben ausschließlich um Betriebe handelt, welche der AbwV unterliegen. Die Branchen wurden entsprechend der AbwV eingeteilt und detailliert betrachtet.

In NRW existierten im Jahr 2019 ca. 405 Betriebe mit mehr als 20 Mitarbeitenden, welche in den betrachteten Branchen angesiedelt waren. Der größte Anteil war in der Fleischwirtschaft vertreten, an zweiter Stelle folgte die Obst- und Gemüseverarbeitung, an dritter Stelle war die Erfrischungsgetränkherstellung vorzufinden.

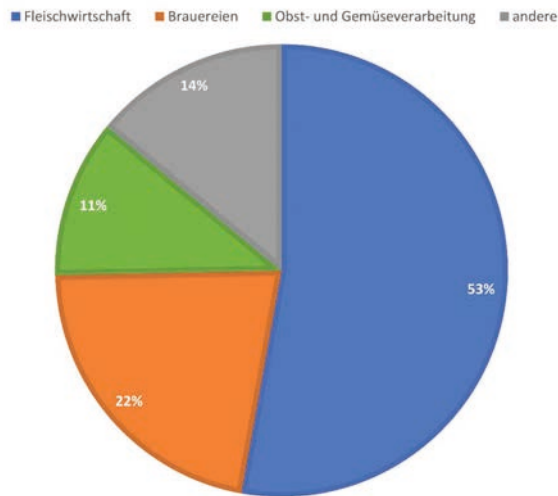


Abb 1: Potentieller Klärschlammanfall in NRW

Bei den berechneten Klärschlammmengen konnte die Fleischindustrie ebenfalls an erster Stelle mit ca. 33.000 t/a angesiedelt werden. Das ist 32 % mehr verwertbarer Klärschlamm, als in NRW im Jahr 2018 insgesamt landwirtschaftlich verwertet wurde. Das Potential in diesem Industriezweig ist relativ groß.

An zweiter Stelle konnten die Brauereien ermittelt werden. Dort fallen ca. 14.000 t/a an. Aufgrund der eingesetzten Edukte beim Bierbrauen ist davon auszugehen, dass der anfallende Klärschlamm kaum mit Störstoffen belastet ist und gut für eine landwirtschaftliche Nutzung geeignet wäre. Auf Platz drei konnte die Obst- und Gemüseverarbeitung mit ca. 7.000 t/a eingeordnet werden.

Anhand dieser Arbeit konnten erste Erkenntnisse über den theoretisch möglichen Klärschlammanfall in der Lebensmittelindustrie in NRW gewonnen werden. Es wird empfohlen, eine nähere Betrachtung der anfallenden Klärschlämme durchzuführen, da durch den Einsatz von Klärschlämmen energetisch aufwändig hergestellter Phosphatdünger substituiert werden kann. Um Schadstoffeinträge zu vermeiden, sollte die Qualität des Klärschlammes im Detail betrachtet werden. Die Parameter der entsprechenden Verordnungen decken viele kritisch zu betrachtende Stoffe ab. Es gilt im Weiteren zu prüfen, inwiefern diese Stoffe bei den betrachteten Branchenzweigen anfallen könnten, um einen Ausschluss dieser Stoffe und damit eine höhere Akzeptanz für diese Klärschlämme zu erzeugen. Der Fokus sollte dabei vorerst auf der Fleischverarbeitung, den Brauereien und der Obst- und Gemüseverarbeitung liegen. Aufgrund der Datenlage kann es bei der Generierung neuer Daten mit Hilfe des Umweltinformationsgesetzes zu neuen Erkenntnissen kommen, sodass andere Branchenzweige ebenfalls näher zu betrachten wären. Daher sind für eine detailliertere Betrachtung weitere Daten zum Klärschlammanfall in der Lebensmittelindustrie zu erheben, um zu belegen, dass es sich bei diesem, um einen unbedenklich zu verwerten Bioabfall handelt. Darüber hinaus könnten im Anschluss die eingesparten Ressourcen durch die Substitution des Düngers durch Klärschlamm ermittelt werden.

Steigerung der Energieeffizienz und Erhöhung des Eigenstromanteils der Kläranlage Metelen

Rika Brinkjans B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums: 13. September 2022
Bachelor-Studiengang: Ingenieurin der Umwelttechnik
in Kooperation mit: Gemeinde Metelen



Es wird weltweit gefordert, Energie einzusparen, um den Klimawandel zu verlangsamen. In Zeiten, in denen die Strom- und Energieträgerpreise stetig steigen, wird auch die Unterhaltung einer Kläranlage kostspieliger. Neben der Verteuerung von Energie ist auch der demografische Wandel eine große Herausforderung in der Abwasserwirtschaft. Durch eine geringere Bevölkerungsdichte wachsen die Kosten pro Einwohner bei der Abwasserbeseitigung. Die Kosten entstehen durch die Instandhaltung eines stetig wachsenden Kanalnetzsystems und die Instandhaltung der Kläranlage. Dadurch, dass die Ansprüche im Gewässerschutz steigen, werden neue Technologien benötigt, um zum Beispiel weitere Spurenstoffe aus dem Abwasser entfernen zu können. Das wiederum bedeutet einen höheren Energiebedarf und steigende Kosten. Durch auf Dauer überdimensionierte Kläranlagen sinkt außerdem die Effizienz der Kläranlage, beziehungsweise muss sie einer geringeren Auslastung angepasst werden, um die Reinigungsstandards erfüllen zu können. Der demografische Wandel, Klima- und Gewässerschutz, Klimawandelfolgenanpassungen sowie die Wirtschaftlichkeit sind zentrale Faktoren, die den Betrieb einer Kläranlage maßgeblich beeinflussen.

Das Ziel einer solchen energieintensiven Anlage muss es sein, möglichst energieeffizient zu arbeiten, um allen Faktoren gerecht zu werden. Die Kläranlage stellt durch den hohen Jahresstrombedarf einen großen Kostenpunkt dar. Der Energiebedarf der Kläranlage wird an Anlehnung an das DWA-A 216 ermittelt. Es erfolgt eine Analyse in Form eines Energiechecks und eine Energieanalyse, die genauere Informationen zu den einzelnen Aggregaten der Kläranlage bereitstellt. Durch die Aufstellung aller Aggregate der Kläranlage wird eine Übersicht von Laufzeiten und Energiebedarfe hergestellt. Hierdurch wird die Betriebsweise näher betrachtet und energieineffiziente Betriebsweisen aufgedeckt. Neben der Identifikation der Verbraucher werden weitere Potenziale analysiert, um den Eigenstromanteil zu erhöhen. Dabei werden sowohl erneuerbare Energien als auch die Faulgasproduktion und -nutzung betrachtet.

In der Arbeit werden Maßnahmen ermittelt, die zur Steigerung der Energieeffizienz oder zu der Erhöhung des Eigenstromanteils der Kläranlage Metelen beitragen. Die Maßnahmen setzen sowohl in der Betriebsführung als auch in der Installation neuer Energieträger und Anlagenkomponenten an.

Technische Verfahren zur Vermeidung einer Eutrophierung von künstlichen Seen in urbanen Räumen am Beispiel der Klimaschutzsiedlung Seestadt mg+

Florian Brinkschmidt B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Steffen Wagner
Datum des Kolloquiums: 20. September 2022
Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Umwelttechnik
in Kooperation mit: Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH



In unmittelbarer Nähe zum Hauptbahnhof Mönchengladbach entsteht die Klimaschutzsiedlung Seestadt mg+. Inmitten dieses Quartiers soll sich nach abgeschlossenen Baumaßnahmen ein etwa 2 ha großer, künstlich angelegter See befinden, der unter anderem dem Zweck der Naherholung dient. Wasserflächen sind heutzutage immer öfter Bestandteil des urbanen Stadtbildes und leisten einen wichtigen Beitrag zur klimaresilienten Stadtentwicklung. Die Lindschulte Ingenieurgesellschaft mbH ist im Rahmen des Projekts mit der Planung der wasserwirtschaftlichen Belange sowie der späteren Bewirtschaftung des Sees beauftragt worden.

Zum Erhalt einer guten Wasserqualität soll eine Aufbereitung des Seewassers erfolgen. Diese Arbeit verfolgt das Ziel, ein stationäres Verfahren zur Verbesserung der Seewasserqualität im Quartier Seestadt mg+ zu ermitteln. Des Weiteren sollen die Anforderungen und Auswirkungen einer Seewasserwärmenutzung auf die Seebewirtschaftung untersucht werden. Diese dient der Regeneration von Erdwärmesonden und der direkten Versorgung des Quartiers mit Wärme.

Zur Ermittlung eines optimalen Aufbereitungsverfahrens sind zunächst die Eigenschaften des Gewässers untersucht worden. Dazu wurde der künstlich angelegte See als Flachsee kategorisiert und die damit verbundenen Eigenschaften analysiert. Im Anschluss daran erfolgte ein Nachweis der Notwendigkeit der Seewasseraufbereitung mittels Berechnung der prognostizierten Phosphorkonzentration im See. Entsprechend des errechneten Phosphoreintrags von ca. 6.840.000 mg/a und einer Phosphorkonzentration von 217 mg/m³ wurde das Gewässer als hypertroph charakterisiert. Zielvorgabe war allerdings das Erreichen eines mesotrophen Zustands, sodass eine Aufbereitung notwendig ist.

Zur Verbesserung der Wasserqualität sind sowohl Maßnahmen untersucht worden, die sich positiv auf den Sauerstoffhaushalt auswirken, als auch Maßnahmen, die den Phosphorhaushalt beeinflussen. Um die voranschreitende Eutrophierung zu mindern wurde eine zweistufige Verfahrenskombination, bestehend aus einer Fällungsstufe mit nachgeschalteter Mehrschichtfiltration und einer Adsorptionsstufe, empfohlen. Die Adsorptionsstufe wird bereits erfolgreich am PHOENIX See in Dortmund eingesetzt. Maßnahmen zur Verbesserung der Sauerstoffsituation des Gewässers sind nicht vorgesehen.

Ergebnisse aus den Untersuchungen über die Auswirkungen und Folgen der

thermischen Seewassernutzung zeigen, dass die Erwärmung des Seewassers, als Folge des voranschreitenden Klimawandels, die Auswirkungen der Wärmenutzung übertrifft. Aus diesem Grund wirkt die Abkühlung des Seewassers durch eine Wärmenutzung den Folgen des Klimawandels zumindest teilweise entgegen. Zur Vermeidung ökologischer Folgen infolge der Temperaturveränderung hat sich in Schweizer Seen eine maximale Abkühlung des Seewassers um maximal 0,5 °C herausgestellt. Für eine Wärmeentnahme, die eine größere Temperaturveränderung hervorruft, sind die standortspezifischen Auswirkungen zu überwachen. Durch eine gezielte Anpassung der Wärmeentnahmemenge können die ökologischen Folgen minimiert werden. Folglich hat sich gezeigt, dass eine Nutzung des Seewassers zur Wärmeentnahme im Sommer im Vergleich zur Kühlnutzung als unbedenklich zu beurteilen ist.

Konzeptentwicklung eines kalten Nahwärmenetzes für ein Neubaugebiet mit dem Fokus auf den technischen und ökonomischen Vergleich verschiedener Wärmequellen

Leon Brömmelhaus B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
 Zweitprüfer: M. Eng. Sören Möller
 Datum des Kolloquiums: 13. Juni 2022
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik



Kalte Nahwärmenetze sind eine neue Technologie, die sich durch niedrige Netztemperaturen und eine hohe Flexibilität für Heizung und Kühlung auszeichnet. Durch die niedrigen Temperaturen ermöglichen kalte Nahwärmenetze die Einbindung regenerativer Wärmequellen. Sie unterscheiden sich durch ihren Aufbau und die Betriebsweise wesentlich von bestehenden Wärmenetzen mit höherer Temperatur.

Ziel der Arbeit ist es ein Konzept für ein kaltes Nahwärmenetz eines Neubaugebietes zu erstellen, um anschließend verschiedene Wärmequellen anhand des Fallbeispiels Oelde technisch und ökonomisch miteinander zu vergleichen.

Das Referenzgebiet Oelde ist ein Neubaugebiet mit 87 Ein- und 12 Mehrfamilienhäusern im Osten der Stadt. Das neu erschlossene Gebiet soll dabei über ein kaltes Nahwärmenetz mit regenerativer Wärmequelle beheizt werden. Für den Vergleich wurden die im Umfeld befindlichen möglichen Wärmequellen - Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren und Abwasserwärmenutzung - herangezogen.

Durch die Analyse bestehender Wärmenetze ergaben sich Erkenntnisse für das Konzept. So eignet sich ein ungerichtetes bidirektionales Ringnetz mit freischwimbender Temperatur und Zweileitersystem aus Warm- und Kaltleiter am besten, um den gleichzeitigen Heiz- und Kühlbetrieb verschiedener Abnehmer eines Neubaugebietes zu gewährleisten. Als Wärmeerzeuger bietet sich eine reversible Sole-Wasser-Wärmepumpe an. Die Druckhaltung im Netz wird aufgrund des ungerichteten Netzes mithilfe von dezentralen Umwälzpumpen gewährleistet. Außerdem sind für ein Neubaugebiet mit ausschließlich Wohngebäuden saisonale Wärmespeicher meist sinnvoll um die Versorgungssicherheit zu gewährleisten.

Die beiden Hauptkenntnisse aus der Konzepterstellung für die Güte einer Wärmequelle sind zum einen, dass hohe Vorlauftemperaturen zu hohen COP-Werten der Sole-Wasser-Wärmepumpen führt und zum anderen, dass eine gute Wärmequelle im kalten Nahwärmenetz auch eine gute Wärmesenke darstellt. In den darauffolgenden Kapiteln werden die Wärmequellen Erdwärmesonden, Erdwärmekollektoren und Abwasserwärmenutzung deshalb technisch im Hinblick auf die Vorlauftemperatur, den SCOP-Wert („seasonal coefficient of performance“), das Kühlpotential und den Flächenbedarf verglichen. Außerdem werden die Arbeitspreise und Investitionskosten verglichen.

Die Ergebnisse zeigen, dass alle Wärmequellen mit SCOP-Werten von 6,0 - 6,8 für Beheizung und 3,7 - 4,1 für Warmwasserbereitung in der Lage sind den Wärmebedarf für das Wärmenetz mit hoher Effizienz zu decken. Die größten Unterschiede zeigen sich beim Kühlpotential, dem Flächenbedarf und den Investitionskosten. Das Kühlpotential, welches perspektivisch immer wichtiger wird, ist bei der Erdwärmesondenanlage am größten.

Auch die Erdwärmekollektoren haben ein gutes Kühlpotential. Die Abwasserwärmenutzung ist hingegen aus ökologischen Gründen stark eingeschränkt, sodass sich die Abwasserwärmenutzung nicht für große Kühlleistungen eignet. Der Flächenbedarf und Installationsaufwand ist hingegen für die Erdwärmesonden mit 31.200 m² und 276 Bohrungen über 50 % größer als für die Erdwärmekollektoren mit einer Fläche von 20.830 m². Allerdings haben Erdwärmesonden den Vorteil, dass Sie im Gegensatz zu Erdwärmekollektoren überbaut werden dürfen. Letztere müssen aus energetischen Gründen unter freier Fläche verlegt werden. Die Abwasserwärmenutzungsanlage wird in das Kanalsystem integriert und beansprucht deshalb keine weitere Fläche. Allerdings ist die Wärmetauscherfläche auf die Kanallänge von 240 m begrenzt und weist mit 1,3 km die größte Entfernung zum Wärmenetz auf.

Aus ökonomischer Perspektive sind die Wärmequellen Erdwärmekollektoren und Abwasserwärmenutzung attraktiver als die Erdwärmesondenanlage. Grund dafür ist, dass die Investitionskosten mit 2.012.000 € ca. 80 % größer sind als die Investitionskosten für die anderen beiden Wärmequellen. Das führt im Vergleich zu einem bis zu 4 ct/kWh höheren Wärmepreis. Die Arbeitspreise variieren hingegen zwischen 6,4 ct/kWh - 7,1 ct/kWh und sind daher vergleichbar.

Janik Budde M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Christian Klemm M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	16. Dezember 2022
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit:	Labor Strom- und Wärmeerzeugung



Energiesysteme können als kombinierte Prozesse der Energiebereitstellung und -nutzung in einer bestimmten Gesellschaft oder Wirtschaft definiert werden. Im Zuge der Energiewende müssen traditionelle Energiesysteme zu modernen Energiesystemen transformiert werden. In modernen Energiesystemen nimmt die Komplexität aufgrund von neuen Technologien und Sektoren zu, sodass neue Planungsverfahren wie die Energiesystemmodellierung notwendig sind. Für ein Energiesystemoptimierungsmodell (ESOM) ist es erforderlich, qualitativ hochwertige Eingabedaten zu erheben.

Im Rahmen dieser Arbeit wurde eine Erweiterung zum bestehenden Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) entwickelt. Mit dem Tool wird eine Modelldefinition automatisiert erstellt, die anschließend vom SESMG verwendet wird, um ein ESOM zu erstellen. Aufbauend auf dem Tool wurde ein Leitfaden entwickelt, der mithilfe von zwei Anwendungsbeispielen entworfen und getestet wurde. Es wird detailliert beschrieben, wie und welche Eingabedaten erhoben werden müssen, um die Energiesysteme von Quartieren zu modellieren. Alle verwendeten Parameter wurden in zwei Dokumentationen veröffentlicht, sodass sowohl die Reproduzierbarkeit der Ergebnisse als auch die Transformation auf andere Energiesysteme ermöglicht wird.

Im ersten Anwendungsbeispiel wurde eine multikriterielle Optimierung für zwei Stadtquartiere (Pantringshof und Baukau) mit jeweils circa 1 300 Gebäuden durchgeführt. Die Ergebnisse zeigen, dass die jährlichen Emissionen gegenüber dem Status Quo um 69,0 % (Pantringshof) beziehungsweise um 55,0 % (Baukau) durch eine optimierte Technologien- und Betriebsweisenkombination der Energieversorgung reduziert werden können. Hierbei würden für Pantringshof jährliche Mehrkosten in Höhe von 0,8 % entstehen und für Baukau könnten die jährlichen Kosten um 9,9 % reduziert werden. Im zweiten Anwendungsbeispiel wurde ein Schlossquartier mit 17 Gebäuden modelliert. Im Gegensatz zu den Stadtquartieren wurde beim Schlossquartier ein Wärmenetz im ESOM berücksichtigt, wodurch die zur Verfügung stehenden Rechenressourcen nicht ausreichten, um das Modell mit zufriedenstellender Genauigkeit zu lösen. Aus diesem Grund wurde das Modell vereinfacht, um eine multikriterielle Optimierung (fünf Modellierungsläufe) in fünf bis sieben Tagen zu ermöglichen.

Die Anwendung des weiterentwickelten SESMG hat gezeigt, dass die Modellierung komplexer Energiesysteme zwar für Anwender:innen zugänglicher geworden ist, aber ausgeprägte energiewirtschaftliche und -technische Kenntnisse sowie Kenntnisse über Geoinformationssysteme erforderlich sind. Außerdem müssen die ESOM durch Anwender:innen so vereinfacht werden, dass sie mit den vorhandenen Rechenressourcen gelöst werden können. Sowohl die Modellvereinfachungen wie auch die -eingabedaten können Modellfehler verursachen. Im Rahmen der Anwendungsbeispiele werden acht unterschiedliche Modellfehler diskutiert, die zu Ungenauigkeiten der Modellierung führen und bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden müssen.

Durch die automatisierte Erstellung der Modelldefinition wird die größte Fehlerquelle von Anwender:innen des SESMG (Tippfehler) deutlich reduziert. Bei der Erstellung der Modelldefinition wurde darauf geachtet, dass modellspezifische Parameter von technologiespezifischen Parametern getrennt betrachtet werden. Hierdurch beschränkt sich der Recherche- und Eingabeaufwand für Anwender:innen nur auf die modellspezifischen Parameter. Die technologiespezifischen Parameter sind in einer Tabelle hinterlegt und müssen nur optional angepasst werden. Darüber hinaus kann der praxisnahe Leitfaden auch von Modellierer:innen anderer Tools verwendet werden, um Eingabedaten für ESOM zu erheben.

Machbarkeitsprüfung einer Vakuumdestillationsanlage zur Aufbereitung von industriellem Abwasser

Daniel Fink B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums: 1. Februar 2023
Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Umwelttechnik
in Kooperation mit: Martinrea Honsel Germany GmbH



Jedes Unternehmen, das Abwasser produziert, muss sich aus Gründen der Frischwasserschonung und des Umweltschutzes mit dem Thema Abwasserentsorgung auseinandersetzen. Aktuell werden bei der Martinrea Honsel Germany GmbH die anfallenden Abwässer an mehreren Standorten im Werk gesammelt, von einem externen Entsorgungsbetrieb mit einem Saugwagen abgepumpt und zu dessen Aufbereitungsanlage transportiert. Um hohe Kosten für eine externe Abwasserbehandlung zu vermeiden, sollte im Rahmen dieser Bachelorarbeit die Machbarkeit einer Vakuumdestillationsanlage zur Aufbereitung der Abwässer bei der Martinrea Honsel Germany GmbH am Standort in Meschede geprüft werden. Die Anschaffung einer Vakuumdestillationsanlage bietet die Möglichkeit, das von Schadstoffen befreite Wasser zu destillieren und vom schadstoffbehafteten Abwasser zu trennen. Dieses schadstoffbehaftete Abwasser bleibt als Verdampfungsrückstand zurück und kann kostensparend in einer Rückstandsverbrennungsanlage entsorgt werden. Das saubere Destillat kann dem Produktionsprozess zugeführt werden oder in ein öffentliches Kanalnetz eingeleitet werden.

Um eine aussagekräftige Prüfung der Machbarkeit erstellen zu können, wird zunächst die Ausgangssituation aufgenommen. Dazu werden die behandlungsbedürftigen Abwasserströme identifiziert und Informationen über diese gesammelt. Wichtige Informationen liefern die Abfallschlüsselnummern der Abwässer, eine detaillierte Beschreibung der Abwasserstellen und die Entstehung des Abwassers im Produktionsprozess. Zusätzlich wird der Inhalt der Abwässer beschrieben. Neben den Informationen zu den Inhaltsstoffen des Abwassers, bilden Daten über die jährlichen Abwassermengen (inklusive dessen Entwicklung), sowie eine Ermittlung der Kosten der aktuellen Abwasserentsorgung die Basis für eine aussagekräftige Machbarkeitsprüfung.

Vor der Machbarkeitsprüfung wird das Thema Abwasseraufbereitung in den Gesamtkontext der Abfallhierarchie eingeordnet. Demnach sollen Abwässer vermieden werden oder eine Vorbereitung zur Wiederverwendung erfolgen, bevor diese recycelt werden. Betrachtet man die Problemstellung in diesem Gesamtkontext, liegt es nahe, dass durch eine Optimierung der Prozess- und Betriebsführung versucht werden sollte, Abwasser zu vermeiden. Durch Pflegemaßnahmen oder durch eine Umstellung auf Minimalmengenschmierung im Bearbeitungsprozess der Aluminiumgussteile können insbesondere Bearbeitungsemulsionen, die mengenmäßig den größten Anteil der Abwässer ausmachen, vermieden werden.

Sollten dennoch Abwässer anfallen, kann durch geeignete Verfahren eine Wiederverwendung des Kühlschmiermittels erzielt werden. Einige Verfahren werden im Rahmen dieser Arbeit vorgeschlagen, die auf eine Machbarkeit zu prüfen sind.

Eine Anschaffung der Vakuumdestillationsanlage wird sowohl auf technische, organisatorische, ressourcenbezogene, als auch auf die genehmigungsrechtliche und wirtschaftliche Umsetzung geprüft. Die technische Machbarkeitsprüfung führt zu der Erkenntnis, dass die Abwasserströme nach einer Ersteinschätzung der Anlagenhersteller größtenteils gut aufzubereiten sind. Die Performance der Anlage, bei einer Mischung aller drei Abwasserströme, muss in einer Laboranalyse bei der weiteren Projektplanung begutachtet werden.

Eine weitere Erkenntnis dieser Arbeit ist es, dass die organisatorische Umsetzung großen Einfluss auf das Projekt hat. Hier wird aufgezeigt, dass die Kosten für zusätzliches Personal zu den höchsten laufenden Kosten des Projektes werden können. Dementsprechend ist die organisatorische Umsetzung ein wichtiger Bestandteil in der weiteren Projektplanung.

Das Ergebnis nach der Prüfung auf eine wirtschaftliche Machbarkeit zeigt auf, dass sich eine Anschaffung einer Vakuumdestillationsanlage als rentabel erweisen würde. Sowohl in den beiden Berechnungen der Anlagenhersteller als auch in der Betrachtung eines Worst-Case-Szenarios wird eine positive Rentabilität festgestellt. In welchem Zeitraum sich die Anlage amortisieren wird, hängt allerdings von den Stromkosten, den Konzentrat-Entsorgungskosten, möglichen Vor- und Nachbehandlungen und der organisatorischen Umsetzung ab. Die Anlage kann im günstigsten Fall in unter zwei Jahren amortisiert sein. Sollte ein Worst-Case-Szenario eintreffen, würde sich die Amortisationszeit auf bis zu sieben Jahren verlängern.

Insgesamt lässt sich sagen, dass das Projekt aufgrund der Ergebnisse aus der technischen und wirtschaftlichen Machbarkeitsprüfung in die nächste Planungsphase übergehen sollte und eine Umsetzung des Projekts angestrebt werden sollte.

In der nächsten Planungsphase müssen mithilfe einer Abwasseranalyse die technischen und wirtschaftlichen Ergebnisse der vorliegenden Arbeit genauer eingegrenzt werden. Anschließend kann ein detailliertes Angebot der Anlagenhersteller erstellt werden und die genauen genehmigungsrechtlichen Anforderungen mit der Behörde abgestimmt werden.

Planung von Baumrigolen als Teil des Entwässerungskonzeptes für den Campusbereich der Universität Bielefeld

Tessa Finke B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Phillip Rolke
Datum des Kolloquiums: 24. Oktober 2022
Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Umwelttechnik
in Kooperation mit: Planungsbüro Hahm



Die Klimakrise bringt maßgebliche Folgen mit sich. So steigen die Zahlen der Starkregenereignisse und der Sommertage an. Damit verbunden sind langanhaltende Hitze und Dürreperioden, die zur Aufheizung von befestigten Flächen beitragen und Hitzestress für die Bewohner/-innen der Städte verursachen. Im städtischen Bereich zählen die befestigten Flächen außerdem zu den Standortproblemen von Bäumen. Durch die Befestigung entsteht beispielsweise ein Mangel an Wasser und Wurzelraum.

Diese Bachelorarbeit beschäftigt sich mit der Planung und Dimensionierung von Baumrigolen als Teil des Entwässerungskonzeptes für einen Campusbereich der Universität Bielefeld. Baumrigolen bilden ein Element der wasserbewussten Stadtentwicklung. Durch die Multifunktionalität begünstigen die Baumrigolen durch eine gezielte Entwässerung der Oberfläche die Bewässerung des Baumes, eine Versickerung in den Untergrund, erzeugen eine Kühlungswirkung über den Schattenwurf und den Transpirationsprozess des Baumes und bieten die Möglichkeit eines Rückhalteraaumes für Niederschläge. Durch die Berücksichtigung der Standortanforderungen der Bäume wird diesen durch die Baumrigole ein ausreichender Wurzelraum, eine ausreichende Bewässerung sowie eine ausreichende Belüftung des Wurzelraumes mit ausreichendem organischem Material zur Verfügung gestellt.

Baumrigolen leisten demnach einen hohen Beitrag für die wasserbewusste Stadtentwicklung. Jedoch entstehen durch die Multifunktionalität auch divergierende Ziele bei der Planung und Dimensionierung von Baumrigolen. Des Weiteren liegen noch keine Arbeitshilfen für die Planung und Dimensionierung von Baumrigolen vor. Für den Campusbereich der Universität Bielefeld wurden das Ziel der Bewässerung der Bäume sowie der Regenrückhaltung für den Überflutungsschutz gleichermaßen verfolgt. Diese Arbeit stellt die Planung und Dimensionierung für die genannten Ziele der Baumrigolen auf dem Campusbereich der Universität Bielefeld für einen Einzelbaumstandort in der Tiefe einer Vorplanung und für einen Baumgruppenstandort in der Tiefe einer Entwurfsplanung dar.

Bestimmung der Störstoffgehalte von Bioabfällen vor und nach mechanischer Aufbereitung nach der in der kleinen Novelle der Bioabfallverordnung geforderten Chargenanalyse

Lukas Funk B.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann
Zweitprüfer:	Dr. -Ing. Martin Idelmann
Datum des Kolloquiums:	13. Juni 2022
Bachelor-Studiengang:	Ingenieur der Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Entsorgungsgesellschaft Westmünsterland (EGW)



Die Zunahme der Umweltverschmutzung durch Plastik ist ein zunehmendes Problem. Die Verunreinigung der Schlei im März 2018 hat in diesem Zusammenhang die Verarbeitung und Ausbringung von Abfallprodukten als Düngemittel in der Landwirtschaft, wie etwa Kompost oder Klärschlamm in die Diskussion gebracht. Zum Beispiel wird mit einem Anteil von 2.250 Mg/a die Eintragsmenge an Kunststoffen durch Klärschlamm vom das UBA beziffert, aufgrund der zentralen Relevanz des Umweltmediums Boden und der vergleichsweise hohen Belastung durch Plastik haben somit Bioabfallverwerter eine zentrale Rolle innig. So hat auch die Bundesregierung dieses Problem erkannt und will mit der sogenannten ?kleinen? Novelle der Bioabfallverordnung diesem Problem aktiv entgegenwirken. Durch die ?kleine? Novelle der Bioabfallverordnung wird, neben anderen Neuerungen, ein Kontrollwert vor der ersten biologischen Behandlung von Bioabfall für Kunststoffe eingeführt. Zur Einhaltung dieses Kontrollwerts ist der Anlagenbetreiber zuständig. Dieser soll mittels visueller Kontrolle des angelieferten Bioabfalls die Fremdstoffbelastung festlegen.

Im Rahmen dieser Bachelorarbeit wurden kommunale angelieferte Bioabfälle einer visuellen Bonitur und einer Sortieranalyse unterzogen. Hierdurch sollte überprüft werden, ob ein schon bestehendes Bonitursystem als visuelle Prüfung geeignet ist, um die Forderungen der Bioabfallverordnung von weniger als 1 % Kunststoff mit einer Partikelgröße von unter 20 mm in der Rotte zu erfüllen. Weiterhin sollte geprüft werden, ob es eine Korrelation zwischen vorherigem Boniturergebnis, also der Anzahl Störstoffe, und der Sortieranalyse im Sinn des Kunststoffgehalts, also dem Analysewert, gibt. Sollte eine solche Korrelation gegeben sein, könnte schlussendlich eine Aussage getroffen werden, ob die einzelnen Bioabfallchargen geeignet sind, mit der vorhandenen Aufbereitungstechnik den Kontrollwert der Bioabfallverordnung einzuhalten oder um weitere Handlungsempfehlung zu erarbeiten.

In dieser wissenschaftlichen Arbeit wurde im Sinne der visuellen Bonitur der getrennt gesammelte angelieferte Bioabfall in die Noten A bis Note E, aufsteigend nach ausgezählten Fremdstoffen, eingeteilt. Anschließend wurden die Kunststoffgehalte > 20 mm der aufbereiteten Abfälle mit Hilfe eines Lochsiebes ermittelt. Zur Bewertung der Bioabfallqualität nach Aufbereitung (vor Rotteinput) im Bezug zum Grenzwert der neuen BioAbfV von 1% wurden in dieser Arbeit die nach Noten eingeteilten Bioabfälle zum Zeitpunkt der Anlieferung mit den Ergebnissen der Sortieranalyse korreliert.

Als Resultat dieser Untersuchung wurde aufgezeigt, dass es eine starke Korrelation zwischen der Anzahl der Störstoffe (Boniturnote) und dem Kunststoffanteil des aufbereiteten Bioabfalls gibt. Das verwendete Bonitursystem zur Einteilung des Bioabfalls war allerdings zu unpräzise, um die Einhaltung vom eingeführten Kontrollwert hinreichend genau zu prognostizieren. Optimiert wurde das Bonitursystems mit einer Erweiterung der Boniturskala. Es wird die Einführung einer Boniturnote D+ als Lösung vorgeschlagen. Abschließend ließe sich aus den ausgewerteten Daten festhalten, dass der Anlagenbetreiber, aufgrund der schon vorhandenen Trenntechnik, keine signifikant erhöhten Kosten aufgrund der Novelle der Bioabfallverordnung zu erwarten hat. Die vorhandene Aufbereitungstechnik wird i.d.R. ausreichen den zukünftigen Kontrollwert einzuhalten. Zudem wurde festgestellt das mit dem um die Note D+ erweiterten Bonitursystem mit hoher Sicherheit Chargen erkannt werden, die aufgrund ihres Störstoffgehaltes von der Aufbereitung ausgeschlossen werden müssen.

Vergleich von Wärmeversorgungskonzepten einer Energiezentrale zur Versorgung eines Industriestandortes

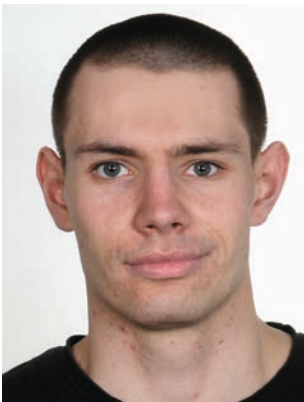
Michael Isak Rene Gaupp B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Tobias Ausländer

Datum des Kolloquiums: 24. Januar 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: Krebs Ingenieure GmbH



Im Rahmen eines industriellen Großprojektes wird eine Energiezentrale im Großraum Stuttgart geplant, um angrenzende Betriebsgebäude mit Wärme und Kälte zu versorgen. Hierin eingebettet soll für die erste Ausbaustufe eine für den Standort geeignete, effiziente und umweltfreundliche Wärmequelle gefunden werden, welche ein Verwaltungsgebäude mit Werkstatt beheizt und kühlt.

Nach sorgfältiger Abwägung kommt entweder eine Geothermie-Wärmepumpe oder eine Luft-Wasser-Wärmepumpe in Betracht. Beide Wärmepumpen werden energetisch und wirtschaftlich detailliert untersucht. Es werden die Investitions- und Betriebskosten berechnet und ein Kostenvergleich beider Wärmepumpen auf Basis der Außentemperaturen über einen Zeitraum von 10 Jahren durchgeführt.

Die projektspezifische Betrachtung ergibt für die Geothermie-Wärmepumpe eine Jahresarbeitszahl (JAZ) von 5,08 und für die Luft-Wasser-Wärmepumpe eine JAZ von 4,16. Beide Wärmepumpensysteme sind mit ihren JAZ um ca. 0,5 über den derzeit üblichen Werten. Die Geothermie-Wärmepumpe arbeitet aufgrund ihrer um 0,92 höheren JAZ um ca. 18 % effizienter als die Luft-Wasser-Wärmepumpe. Dadurch werden die akkumulierten Gesamtkosten bereits nach etwa 28 Jahren für die Geothermie-Wärmepumpe günstiger. Aus diesem Grund wird eine Empfehlung für den Bau der Geothermie-Wärmepumpe mit Geothermiefeld abgegeben.

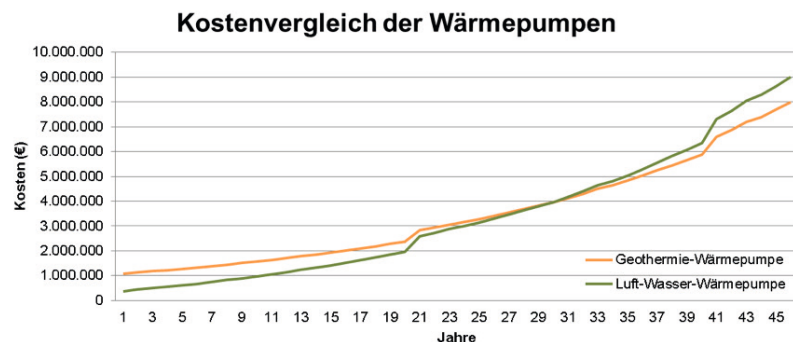


Abb. 1: Kostenvergleich der Wärmepumpen

Bilanzierung von Kohlenstoffdioxid-Äquivalenten (CO₂e) auf kommunalen Kläranlagen

Samira Görbing B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Datum des Kolloquiums: 23.02.2023
Bachelor-Studiengang: Ingenieurin der Umwelttechnik
in Kooperation mit: Dr. Born - Dr. Ermel GmbH



Ein weiterer Anstieg der CO₂e-Emissionen schädigt irreversibel die Umwelt, weshalb Deutschland sich u. a. das Ziel gesetzt hat, bis 2045 CO₂-neutral zu werden. Da kommunale Kläranlagen neben vielen anderen Verursachern auch CO₂e-Emissionen verursachen, haben auch sie ihren Beitrag zu leisten, Emissionen zu vermeiden und zu verringern.

Diese Arbeit untersucht, ob ein Verfahrenswechsel von gemeinsamer aeroben Schlammstabilisierung (Modellkläranlage 2) zur anaeroben Schlammstabilisierung (Modellkläranlage 1) bei einer Größenklasse 4 mit 15.000 EW die CO₂e-Emissionen minimiert. Ermittelt wird auch, welche CO₂e-Emissionsmengen beide Modellkläranlagen aufgrund ihres Stromverbrauchs ausstoßen und wo mögliche Einsparpotenziale liegen.

Nachdem zu Beginn in einer Literaturrecherche über mögliche Emissionsorte der klimaschädlichen Treibhausgase auf Kläranlagen und über die fehlenden rechtlichen Rahmenbedingungen informiert wird, werden die CO₂e-Emissionen anhand der Energieverbräuche der Modellkläranlagen berechnet. Es werden nur die Energieverbräuche ermittelt, da anhand der Merkblätter DWA M 230 die Emissionsmengen nicht bestimmt werden können. Zur Ermittlung der CO₂e-Emissionen wird der CO₂e-Ausstoß des deutschen Strommixes herangezogen.

Diese gewonnenen Ergebnisse zeigen, dass die Modellkläranlage 1 eine Gesamtemission von 5,84 kg CO₂e/(E·a) und die Modellkläranlage 2 von 13,1 kg CO₂e/(E·a) aufweisen, was verdeutlicht, dass ein Verfahrenswechsel von der gemeinsamen aeroben Schlammstabilisierung zur Faulung die CO₂e-Emissionen deutlich reduzieren würde. Die Modellkläranlage 1 emittiert ca. 55 % weniger CO₂e-Emissionen als die Modellkläranlage 2 (siehe Abbildung 1). Dies ist u. a. möglich, da der Strombedarf der Modellkläranlage 1 über 50 % durch die energetische Nutzung des Faulgases im BHKW gedeckt werden kann.

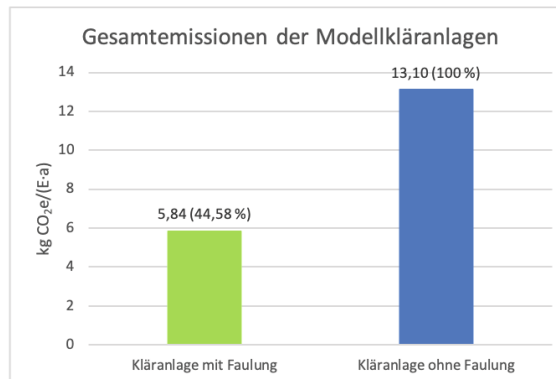


Abb 1: Gesamtemission beider Modellkläranlagen im Vergleich

Weitere Einsparpotenziale der Modellkläranlage 1 befinden sich bei der Belüftung der Belebung, den Pumpen, der Durchmischung des Fallturms und der Umwälzung des Belebungsbeckens. Die Modellkläranlage 2 besitzt bei der Belüftung und der Umwälzung des Belebungsbeckens sowie bei dem Pumpen Einsparpotenziale. An allen diesen Verfahrensschritten könnten sich die Emissionen durch passende Optimierungen effektiv begrenzen lassen.

So erforderlich es heute schon ist, wird es in Zukunft immer dringlicher werden, CO₂e-Emissionen auf Kläranlagen zu minimieren. Daher ergibt sich die zwingende Notwendigkeit, weitere Emissionseinsparmöglichkeiten auf Kläranlagen zu finden. Um dieser Frage nachzugehen, sollten in zukünftigen Forschungsprojekten zusätzliche Aspekte untersucht werden, wie z. B. welche Emissionsmenge durch direkte Emissionen oder durch einen Umbau der Verfahrenstechnik auf kommunalen Kläranlagen verursacht werden, und wie sich diese Emissionen reduzieren lassen.

Konzeptentwicklung zur regenerativen Wärmeversorgung im Bestandsquartier

Leon Jasper B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dipl.-Wirt.-Ing. Andreas Bennemann
Datum des Kolloquiums: 19. September 2022
Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik
in Kooperation mit: NRW Klimakommune Saerbeck



Ziel der Arbeit war es, eine Nahwärmelösung auf Nachbarschaftsebene zu entwickeln und als Grobkonzept abzubilden. Als mögliche Lösungsansätze wurden Nahwärmenetze auf Basis von Biomasse betrachtet, die hohe Vorlauftemperaturen gewährleisten. Eine Alternative bieten kalte Nahwärmenetze. Durch die geringen Vorlauftemperaturen auf Höhe der Umgebungstemperatur ist der Einsatz von dezentralen Wärmepumpenanlagen notwendig. Der Vorteil liegt in den geringen Wärmeverlusten sowie einer höheren Versorgungssicherheit aufgrund von Umweltwärme. Die Bestandsaufnahme des Quartiers zeigt, dass der energetische Zustand der großen Abnehmer noch Ausbaupotenziale bietet. Eine zentrale Rolle dabei spielt das Seniorenzentrum, da es etwa 69 % des gesamten Energieverbrauchs ausmacht und einen großen Teil der installierten thermischen Leistung des Quartiers beansprucht. Die klassische Nahwärme auf Basis von fester Biomasse bietet für das betrachtete Quartier eine kostengünstige Lösung auf Nachbarschaftsebene, sodass die Anlieger ebenfalls von einer solchen Lösung profitieren. Ihr Nachteil liegt jedoch in der Abhängigkeit von Dritten sowie den Preisentwicklungen am Brennstoffmarkt. Das Konzept auf Basis von Biomethan stellt als „mobile Pipeline“ eine alternative zur festen Biomasse dar, jedoch besteht eine mehrfache Abhängigkeit von Zulieferern. Ein weiterer Nachteil der klassischen Nahwärme liegt in den Verbrennungsemissionen vor Ort und einer Verminderung der Luftqualität am Standort selbst.

Die Konzepte auf Basis von Umweltwärme stellen eine sichere Alternative im Vergleich zur klassischen Nahwärme dar. Mit der Erschließung von Umweltwärme als ausschließliche Wärmequelle gehen Investitionen einher, die ein Vielfaches zur herkömmlichen Nahwärme betragen. Ihr Vorteil liegt jedoch in der Unabhängigkeit von Zulieferern, der Verfügbarkeit am Markt und der Preisentwicklung von Brennstoffen. Durch Nutzung von Wärmepumpen entsteht eine 100 % Abhängigkeit vom elektrischen Versorgungsnetz und der Preisentwicklung des Strommarkts. Wird auf die Gewässer als einzige Wärmequelle zurückgegriffen, sind mehrere Probleme und Einschränkungen festzustellen, sodass sich einige offene Fragestellungen ergeben, die als Ansatz für weitere Abschlussarbeiten verstanden werden können. Durch die Kombination von Seethermie und Geothermie können die Schwächen beider Technologien genutzt werden und als gemeinsames Konzept eine sichere Lösung für die Wärmeversorgung des Quartiers darstellen (siehe Abb. 1 und Abb. 2). Aufgrund der Nutzung von redundanten Pumpensystemen zum Wärmetransport wird die stromseitige

Abhängigkeit verstärkt. Durch die Installation einer Floating-PV-Anlage wird der Abhängigkeit vom Stromnetz entgegengewirkt und eine Verdunstung von Wasser während Hitzeperioden verringert. Weiterhin ermöglicht die Kombination eine Nutzung des thermischen Potenzials der Gewässer mit der möglichen Folge, die Temperatur zu senken, sodass die durch den Klimawandel herbeigeführte Erwärmung der Gewässer eingedämmt wird.



Abb1: Lage der einzelnen Systeme am Quartier

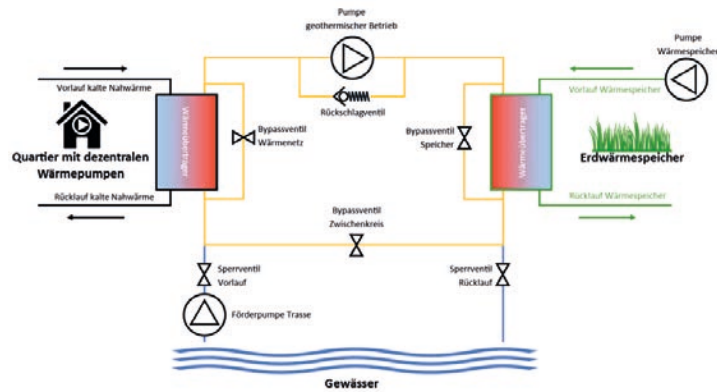


Abb1: Anlagenschema

Wirtschaftliche und Rechtliche Planung einer Photovoltaikanlage auf der Kranstellfläche einer Windenergieanlage - Beispiel Ekeler Wind

Nils Karschuck B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
 Zweitprüfer: Greta Sextro M.Sc.
 Datum des Kolloquiums: 7. September 2022
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Umwelttechnik
 in Kooperation mit: BBWind Projektberatungsgesellschaft mBH



In dieser Bachelorarbeit wird die Wirtschaftlichkeit einer Photovoltaikanlage auf der Kranstellfläche einer Windenergieanlage untersucht. Hierzu wurde eine Windenergieanlage des Windparks Ekeler Wind als Beispielanlage ausgewählt, anhand derer eine Standortspezifische Wirtschaftlichkeitsanalyse durchgeführt werden kann. Außerdem wird geprüft, welche rechtlichen Gegebenheiten es bei einer Umsetzung des Projektes zu beachten gibt.

Diese Arbeit wurde in Kooperation mit der BBWind Projektberatungsgesellschaft mBH aus Münster und Corinna Ströthoff erstellt. In Ihrer Bachelorarbeit wird die technische Planung des Projektes betrachtet.

In Windenergieanlagen befinden sich elektrische Komponenten, die mit Strom versorgt werden müssen. Die meiste Zeit produziert sich die Windenergieanlage den benötigten Strom selbst, doch wenn kein Wind weht, muss die Anlage Strom aus dem Versorgungsnetz beziehen. Neben jeder Windenergieanlage befindet sich eine Fläche für das Aufstellen eines Kranes. Diese wird bei der Errichtung der Windenergieanlage benötigt und gegebenenfalls bei Reparaturen. Die meiste Zeit wird diese Fläche nicht genutzt, so entstand die Idee dort eine Photovoltaikanlage zu installieren. Die Photovoltaikanlage könnte die vorhandene Infrastruktur der Windenergieanlage nutzen und einen Teil des benötigten Betriebsstroms für die Windenergieanlage liefern. Zusätzlich produzierter Strom der Photovoltaikanlage kann in das Versorgungsnetz eingespeist werden.

Ziel der Arbeit ist es, einen wirtschaftlichen Ausblick für das Projekt Ekeler Wind zu geben und als Orientierungshilfe für weitere Projekte zu dienen. Hierzu wurden Experteninterviews durchgeführt, um Fachliche Erkenntnisse zu gewinnen und die Realisierbarkeit des Projektes zu prüfen. In dieser Arbeit werden die Lastgangdaten des Stromlieferanten analysiert, um den zeitlichen Strombedarf der Windenergieanlage zu ermitteln. Aus dem zeitlichen Strombedarf der Windenergieanlage wird abgeleitet, wieviel Betriebsstrom von der Photovoltaikanlage bereitgestellt werden kann und wieviel Geld durch den Eigenverbrauch eingespart werden kann.

Um eine die Wirtschaftlichkeit des Projektes zu ermitteln, werden aktuelle Strommarktdaten ausgewertet und die Vergütungsformen und Vergütungssätze des Erneuerbare-Energien-Gesetz verglichen. Anhand von verschiedenen Fallbetrachtungen wird abgeschätzt, wie hoch die möglichen Einnahmen des Projektes, über verschiedene Zeiträume ausfallen können.

Korrekte Planung, Einbau und Wartung von Brandschutzklappen in Lüftungstechnischen Anlagen

Franc Bouquet Kenfack Tetsalo B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer: Stefan Gehder M.Sc.

Datum des Kolloquiums: 26. März 2021

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: Goldbeck GmbH



Raumlufttechnische Anlagen müssen laut VDI 6022 in allen Luft führenden Bereichen so gestaltet, betrieben und instand gehalten werden, dass eine zusätzliche Belastung durch Schadgase sowie anorganische und organische Verunreinigungen sicher vermieden werden und die Luft als geruchsneutral empfunden wird. Noch dazu gehören Raumlufttechnische Anlagen (RLT) in öffentlich genutzten Gebäuden praktisch zum Standard. Daher ist es für TGA-Planer Routine, Brandschutzklappen vorzusehen, damit sich bei einem Feuer kein Rauch über die Lüftungskanäle verbreitet.

Die meisten öffentlichen Gebäude, wie zum Beispiel Flughäfen, Schulen, Kindergärten, Krankenhäuser, Vereine sowie Hotels sind häufig mit Lüftungsanlagen ausgestattet, die für die entsprechende Luftreinhaltung sorgen. Als sicherheitstechnisches Bauteil werden Brandschutzklappen oder auch Feuerschutzklappen in Lüftungsanlagen in Wände oder Decken eingebaut.

Diese Bachelorarbeit vermittelt die Fachkenntnisse zur sachgemäßen Wartung, Instandhaltung und wiederkehrenden Prüfung von Brandschutzklappen (BSK) in raumlufttechnischen Anlagen von Gebäuden. Ziel ist es die verschiedenen Bauformen, Bestandteile und Funktionen von Brandschutzklappen kennenzulernen und erfahren, diese ordnungsgemäß nach aktuellen Einbau- und Prüfvorschriften zu warten und zu überprüfen.

Schlecht installierte oder schlecht gewartete Lüftungs- und Klimaanlage sind eine potenzielle Brandgefahr in Gebäuden. Der Schwerpunkt liegt nicht auf der Brandgefahr in diesen Systemen, sondern auf dem Brand oder der Übertragung von Rauch durch das Luftkanalsystem durch das angeschlossene Gebäude.

Leider stellt aber auch die Wartung der eingesetzten Brandschutzbauteile heute ein erhebliches Problem in der Brandsicherheit von RLT-Anlagen dar. Dabei kommt es in den meisten Fällen zu dem Fehler, die Anlagenwartung als mögliches Potential zu betrachten, welches man reduzieren oder gar ganz einsparen kann.

Es werden immer ständig vergessen, dass Brandschutzklappen auch gewartet werden müssen. Ein großes Problem ist, dass der freie Zugang oft nicht angeboten wird. Neben der Tatsache, dass viele Techniker nicht einmal wissen, wo sich die Brandschutzklappen in ihrem Haus befinden, werden sie in vielen Unternehmen einfach ignoriert und jahrelang nicht inspiziert. Dies sollte alle sechs Monate erfolgen.

Festsitzenden Klappen müssen verwendbar gemacht und Schmutz oder Rost entfernt werden. Die Inspektion der BSK vor Ort kann dann in vom Bediener festgelegten Intervallen durchgeführt werden („zustandsabhängige Inspektion“).

Bei der Gebäudeplanung dreht sich alles um funktionale Beziehungen, die Gestaltung von Räumen und deren Nutzung. Technische oder physikalische Aspekte konzentrieren sich oft nur auf den weiteren Prozess. Dabei spielen brandschutztechnische Belange bereits in der Grundrissgestaltung eine wesentliche Rolle, denn Brandabschnitte, Fluchtwege oder Treppenträume haben einen starken Einfluss auf Zonierungen und die Bildung von Nutzungseinheiten. Korrekte Planung, Einbau und Wartung von BSK in RLT-Anlagen ist daher ein integraler Bestandteil der Gebäudeplanung jedes TGA-Planers.

Nicht zuletzt aufgrund von Bränden wie dem am Flughafen Düsseldorf wurde auf die Probleme hingewiesen, die sich aus falsch ausgeführten Arbeiten und Bauarbeiten ergeben können. Als sicherheitstechnisches Bauteil werden Brandschutzklappen oder auch Feuerschutzklappen in Lüftungsanlagen in Wände oder Decken eingebaut. Dank der Schmelzverbindung schließt die Klappe im Brandfall automatisch.

Beim Schließen der Brandschutzklappe können Flucht- und Rettungswege in anderen Gebäudeteilen länger in Rauch und Feuer gehalten werden. Die Feuerwiderstandsdauer erhöht sich, was den persönlichen Schutz erhöht.

Die baubegleitende Überwachung in Zusammenhang mit Brandschutzklappen in RLT-Anlagen sollte deutlich verstärkt werden.

Kann die Messgenauigkeit von Low-Cost Feinstaubsensoren mit Hilfe einer Aerosoltrocknung verbessert werden?

Sven Köhn B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer: Dr. Malte Julian Deventer

Datum des Kolloquiums: 28. Juli 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co.



Aufgrund der zahlreichen negativen Auswirkungen von Feinstaub (PM_{2.5} und PM₁₀) auf den Menschen, ist es von besonderer Bedeutung, Feinstaubkonzentrationen bestimmen zu können. Das Referenzverfahren nach DIN EN 12341 misst bei der Bestimmung von Feinstaub allerdings lediglich Tagesmittelwerte. Daher werden zusätzlich automatische Messeinrichtungen zur Bestimmung der Staubkonzentration genutzt (DIN EN 16450). Durch diese können minütliche Zeitaufösungen ausgegeben werden, sie gehen jedoch mit hohen Kosten einher. Alternativ können Low-Cost Feinstaubsensoren genutzt werden, die jedoch - insbesondere bei hohen Luftfeuchten - eine große Streuung der Messwerte aufweisen. Das deutet darauf hin, dass die Messgenauigkeit durch Trocknungen des Aerosols verbessert werden kann.

Im Rahmen der Abschlussarbeit wurde daher geprüft, ob die Messgenauigkeit von Low-Cost Feinstaubsensoren mit Hilfe von Aerosoltrocknungen verbessert werden kann. Mit einer adsorptiven Trocknung durch Silicagel und einer thermischen Trocknung mit einer Heizung wurden zwei verschiedene Varianten zur Trocknung des Aerosols realisiert. Diese wurden anschließend in einem experimentellen Design hinsichtlich ihrer Messgenauigkeit im Vergleich zu einem Verfahren nach DIN EN 16450 geprüft, wobei dieses von zwei Referenzgeräten nach DIN EN 12341 validiert wurde.

Die Ergebnisse von linearen Regressionsanalysen weisen auf Unterschiede zugunsten der Sensoren mit Trocknung hin: sowohl die adsorptive Trocknung ($R^2 = 0,68$) als auch die thermische Trocknung ($R^2 = 0,72$) erzielen ein höheres Bestimmtheitsmaß gegenüber den Sensoren ohne Trocknung ($R^2 = 0,54$ und $R^2 = 0,57$) und reduzieren zudem die Streuung der Messwerte. Die Messgenauigkeit von Low-Cost Feinstaubsensoren kann daher durch eine Aerosoltrocknung verbessert werden.

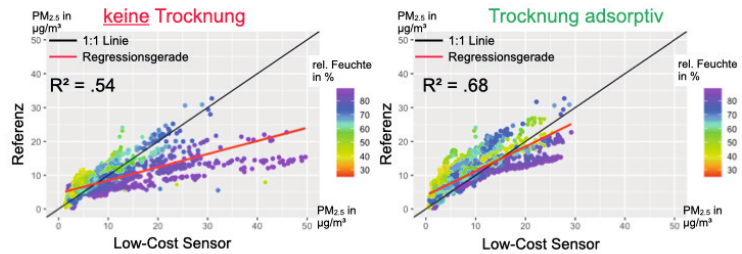


Abb. 1 Grafische Auswertung der adsorptiven Trocknung. Links Trocknung deaktiviert. Rechts Trocknung aktiv.

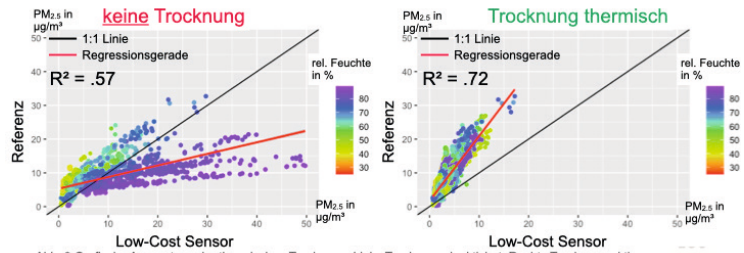


Abb. 2 Grafische Auswertung der thermischen Trocknung. Links Trocknung deaktiviert. Rechts Trocknung aktiv.

Abb1+2: Lineare Regressionsanalysen

Da die thermische Trocknung im Vergleich zu der adsorptiven Trocknung (wöchentlicher Wechsel der Silicagels) erheblich wartungsarmer ist, sollten zukünftige Untersuchungen den Einsatz der thermischen Trocknung fokussieren.

Resultierend aus den Ergebnissen der Abschlussarbeit ergeben sich verschiedene Potenziale für die Nutzung der Low-Cost Sensoren. So kann bspw. auch von Bürger*innen ein genaueres Monitoring der Umgebungsluft mit einer größeren Aussagekraft durchgeführt werden. Außerdem können Firmen, Dienstleister*innen und Kommunen durch die Verwendung von Low-Cost Feinstaubsensoren mit Trocknung ihr Qualitätsmanagement oder ihren Umweltschutz erweitern und so bspw. auch kurzfristige, mobile Messungen mit einem niedrigen finanziellen Aufwand ermöglichen. Dadurch könnten Staubquellen frühzeitig identifiziert und abgeschaltet sowie Lüftungsanlagen optimiert gesteuert werden.

Die Messungen durch Low-Cost Feinstaubsensoren mit Trocknung könnten außerdem dazu beitragen, flächendeckende Sensornetze zu verbessern. Dies könnte längerfristig dazu führen, kurzfristig auf Konzentrationsveränderungen des Feinstaubes reagieren zu können, bspw. durch eine gezielte Lenkung des Verkehrs bei besonderen Verkehrseignissen. Auf diese Weise könnte zukünftig die örtliche Feinstaubkonzentration gesteuert und reduziert werden, wodurch „Immissions-Hotspots“ vermieden würden. Gesundheitsbeeinträchtigungen durch hohe Feinstaubexpositionen könnten reduziert werden.

Energiekonzept für ein Wohnquartier - Auslegung einer regenerativen Energiebereitstellungsanlage mit dem Ziel der Minimierung des fossilen Energiebedarfs

Abizek Kulasekaram B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
 Zweitprüfer: Dr.-Ing. Klaus Mindrup
 Datum des Kolloquiums: 2. September 2022
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik



Die Ingenieure heutiger Zeit stehen vor einer Herausforderung wie nie zuvor. Das Pariser Klimaabkommen, welches im Jahr 2015 stattfand, besagt dass die Erderwärmung bis 2050 auf möglichst 1,5 °C zu begrenzen sei.

Jahrzehntelang wurde von der Stromproduktion bis hin zu der Haushaltsversorgung die bereitgestellte Energie durch fossile Energieträger gedeckt. Im Rahmen der Klimawende fand ein Umdenken in allen Sektoren statt.

Im Rahmen der wissenschaftlichen Arbeit wird eine regenerative Energieerzeugungsanlage für ein Wohnquartier geplant und ausgelegt und ein geeignetes Energiekonzept vorgestellt, mit dem Ziel die erzeugte Energie möglichst selbst zu verbrauchen. Die primären Ziele sollen die Erhöhung des Eigenverbrauchs und Autarkiegrades sein, sodass als sekundäre Ziele die Reduktion des klimaschädlichen Kohlenstoffdioxidgases und die Minimierung der fossilen Brennstoffe im Fokus stehen können.

Der erzeugte Energieertrag durch eine Photovoltaikanlage ist in der Mittagszeit am höchsten, wobei der Verbrauch am geringsten ist. Der Durchschnittsbürger ist tagsüber auswärts, in der Schule oder auf der Arbeitsstätte. Somit geht die elektrisch erzeugte Energie in der Mittagszeit verloren, da sie ungenutzt bleibt. Diese unverbrauchte Energie wird für einen Bruchteil des Bezugspreises in das öffentliche Netz eingespeist. Gegen diese vermeintliche Energieverschwendung wird in der Arbeit für ein Wohnquartier ein geeignetes Energiekonzept vorgestellt, die den Anforderungen der Zukunft hinsichtlich der Klimaziele gewachsen ist. Es werden verschiedene Möglichkeiten in Betracht gezogen, den Eigenbedarf zu erhöhen. Dabei werden klassische Möglichkeiten wie dem Batteriespeicher bis hin zu experimentelle Möglichkeiten wie dem Power-to-Heat-Verfahren betrachtet.

Für die Simulation wurde die Software Polysun von Vela Solaris verwendet.

Letztendlich wurde ein geeignetes Energiekonzept vorgestellt, das den primären und sekundären Zielen entsprach.

Abgerundet wird die Arbeit durch eine wirtschaftliche Betrachtung der Amortisationszeit der regenerativen Energieerzeugungsanlage und einer Ausarbeitung einer möglichen Vorgehensweise die Warmwassergewinnung des Wohnquartiers zu elektrifizieren.

Möglichkeiten und Voraussetzungen der Beschleunigung des immissionsschutzrechtlichen Genehmigungsverfahrens, bezogen auf die Umweltverträglichkeitsprüfung

Teresa Lange B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer: Tobias Dankert M. Eng.

Datum des Kolloquiums: 2. Dezember 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energie Umwelttechnik

in Kooperation mit: ARU Ingenieurgesellschaft mbH



Immissionsschutzrechtliche Genehmigungen nach dem Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) sind in Deutschland mit langwierigen Verfahrensdauern verbunden. Windenergieanlagen an Land benötigen durchschnittlich 22,8 Monate vom Antrag bis zur Genehmigung (Stand Oktober 2022). Für Planung und Genehmigung einer Bahnstrecke müssen bereits bis zu 20 Jahre eingeplant werden.

Diese langwierigen Verfahren stehen im Kontrast zu politischen Zielen, wie der Energiewende oder der Klimaneutralität bis 2045, denn diese benötigen den zügigen Ausbau von Infrastruktur und klimafreundlicher Technologie. Auch im aktuellen Koalitionsvertrag wird dieses Problem erkannt und das Ziel formuliert, die Genehmigungszeit zu halbieren. Die Beschleunigung von Genehmigungsverfahren wird als zentrale Voraussetzung für die Modernisierung Deutschlands ausgewiesen.

Ein Verfahrensbestandteil, der häufig in der Diskussion steht, ist dabei die Umweltverträglichkeitsprüfung, kurz UVP. Diese ist ein unselbstständiges Verfahren, dessen Ziel es ist, die Umwelteinflüsse des Vorhabens auf die Schutzgüter zu ermitteln, zu beschreiben und zu bewerten. Das Ergebnis der UVP fließt in die Gesamtentscheidung der BImSchG-Genehmigung ein.

Die bisherigen Untersuchungen zur Beschleunigung behandeln diesen Verfahrensschritt jedoch nur oberflächlich. Ziel dieser Arbeit war es daher, die Beschleunigungsmöglichkeiten und -voraussetzungen des UVP-Verfahrens zu erarbeiten und für die beteiligten Akteure Handlungsempfehlungen abzuleiten. Diese sollten rechtssicher und ohne Qualitätsverlust umsetzbar sein.

Dazu wurden teilstandardisierte Experteninterviews mit Vertretern der Akteure des Verfahrens geführt. Für jede Akteursgruppe wurde ein angepasster Leitfaden auf Grundlage einheitlicher Themenkomplexe erstellt. Mittels dieser Methode konnte Betriebs- und Kontextwissen der Befragten akquiriert werden.

Anhand von qualitativer Analyse der Expertenaussagen ergaben sich neun Themenbereiche, in denen Beschleunigungspotentiale nutzbar sind. Beispielsweise können hier die Vorprüfung, die Digitalisierung, Rechtsverfahren und die Erstellung des UVP-Berichts genannt werden. In diesen Kategorien wurden Verfahrensverzögerer und Lösungsansätze untersucht.

Die Ergebnisse zeigen, dass eine Vielzahl von Faktoren Einfluss auf die Verfahrensdauer haben. Durch den Gesetzgeber müssen einige Voraussetzungen geschaffen werden. Exemplarisch ist die Vereinheitlichung von Bewertungsstandards. Darüber hinaus kann von den Akteuren aktiv auf die Dauer der UVP eingewirkt und das Beschleunigungspotential ausgeschöpft werden. Beispielsweise ergab sich die dringende Empfehlung an den Antragsteller für die Unterlagenerstellung ein Fachbüro zu beauftragen, da qualitativ hochwertige Unterlagen Nachforderungen vermindern und die Bearbeitung durch die Behörde beschleunigen.

Analytische Betrachtung der Lithiumkreislaufwirtschaft mit besonderem Fokus auf Batteriesysteme

Malte Meiners M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Prof. Prof. h.c.mult. Dr. Martin Winter
Datum des Kolloquiums: 18. November 2022
Master-Studiengang: Energie · Gebäude · Umwelt in der Umwelttechnik
in Kooperation mit: Münster Electrochemical Energy Technology (MEET)



Das Ziel dieser Masterarbeit war es, den Lebenszyklus von Lithium einschließlich der Gewinnung, der Verarbeitung und des Recyclings zu betrachten. Das Leichtmetall, welches aufgrund seines geringen Vorkommens und seiner hohen wirtschaftlichen Bedeutung von der Europäischen Union als kritischer Rohstoff betrachtet wird, ist vor allem durch seine Verwendung in Batterien bekannt. Aufgrund der Energiewende und der zunehmenden Anzahl an Elektrofahrzeugen wird in den kommenden Jahren ein starker Anstieg des Bedarfs an Batteriesystemen und somit auch eine steigende Lithium-Nachfrage und damit einhergehend eine weitere Preissteigerung erwartet. Die Betrachtung des gesamten Lebenszyklus von Lithium inklusiver einer möglichen Wiederverwendung ist daher insbesondere in Hinblick auf Umwelt- und Kostenaspekte von hoher Bedeutung.

Innerhalb dieser Arbeit wurden zunächst die wichtigsten Eigenschaften des Metalls, sein Vorkommen sowie sein aktueller und zukünftiger Bedarf analysiert. Danach wurden verschiedene Arten der Lithiumgewinnung in Hinblick auf die resultierenden Umweltauswirkungen sowie Kosten betrachtet. Im Anschluss wurden verschiedene Nutzungsbereiche von Lithium vorgestellt. Da in etwa drei Viertel des gewonnenen Lithiums im Rahmen der Batterietechnik verwendet werden, lag der Fokus dieser Arbeit besonders auf der Betrachtung von lithiumbasierten Batteriesystemen sowie der Analyse von „potenziellen“ lithiumfreien Alternativen, z. B. magnesium- oder natriumbasierte Systeme.

Schließlich wurde das Lebensende von lithiumbasierten Batterien, deren Recyclingmöglichkeiten und eine mögliche Wiederverwendung des Leichtmetalls im Hinblick auf Nachhaltigkeit und finanzielle Aspekte beleuchtet. Im Rahmen dieser Arbeit wurden somit ein aktueller Stand und ein Blick auf zukünftige Aspekte der Lithiumkreislaufwirtschaft dargestellt.

Auslegung und Dimensionierung einer risikogerechten Sprinkleranlage am Beispiel eines Lebensmittelnahversorgers

Andreas Metzger B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Roland Küsters

Datum des Kolloquiums: 30. September 2021

Bachelor-Studiengang: Bachelor-Ingenieur der Gebäudetechnik



Das Thema der vorliegenden Abschlussarbeit war die Auslegung und Dimensionierung einer risikogerechten Sprinkleranlage. Zwei Fragen standen dabei im Fokus: Welchen Schritten folgen die Auslegung und Dimensionierung einer Sprinkleranlage und durch welche Parameter wird die Planung maßgebend bestimmt? Um diese Fragen zu beantworten, wurde als Praxisbeispiel die Auslegung und Dimensionierung einer Sprinkleranlage an der Verkaufsfläche eines Lebensmittelnahversorgers durchgeführt.

Im ersten Teil der Arbeit, in dem die Grundlagen der Brandschutztechnik dargelegt werden, wurden zwei elementare Punkte deutlich: Ein Brand kommt nur dann zustande, wenn ausreichend Brennstoff, Oxidationsmittel und Wärme vorhanden sind und es mindestens eine Zündquelle gibt (Verbrennungsdreieck). Dieser Brand kann ausschließlich durch die Störung des Mengenverhältnisses bekämpft werden. Die drei Brandgefahrenklassen kleine, mittlere und hohe Brandgefahr beeinflussen maßgebend die Planungsgrundlagen, da sie das Risiko der Nutzungsbereiche definieren.

Die Relevanz der Brandgefahrenklassen wurde auch im Verlauf der beispielhaften Auslegung und Dimensionierung der Sprinkleranlage eines Lebensmittelnahversorgers immer deutlicher. Der Schwerpunkt lag dabei auf der Verkaufsfläche. Die Vorgehensweise lässt sich grob anhand der folgenden fünf Oberpunkte gruppieren. Zunächst wird festgelegt nach welcher Norm oder Richtlinie die Planung durchgeführt wird. Im Bauvorhaben des Lebensmittelnahversorgers wurde die Planung nach der VdS CEA-Richtlinie 4001 vereinbart.

Anschließend werden die Planungsgrundlagen ermittelt, konkret die Brandgefahrenklasse, Wirkfläche, Wasserbeaufschlagung und Betriebszeit. Diese Planungsgrundlagen lassen sich mit Hilfe der Brandgefahrenklasse des Nutzungsbereiches und der VdS CEA-Richtlinie 4001 ermitteln. Mit Hilfe des Anhangs A der VdS CEA-Richtlinie 4001 konnte die Verkaufsfläche der Brandgefahrenklasse OH₃ (mittlere Brandgefahr, Gruppe 3) eingeordnet werden. Durch diese Einordnung konnte eine Wirkfläche von 216 m² und eine Wasserbeaufschlagung von 8,0 mm/min ermittelt werden. Mit der Vorgabe der Betriebszeit von 60 Minuten bei Anlagen der mittleren Brandgefahrenklasse, waren alle Planungsgrundlagen ermittelt.

Insgesamt zeigt die vorliegende Abschlussarbeit, dass die etablierte Technik der Sprinkleranlagen bereits sehr weit vorangeschritten ist und es für ein breites Feld von Nutzungen verschiedenste Möglichkeiten in den Wasserversorgungen, der Alarmventilstationen und der Sprinklerköpfen gibt. So können die Sprinkleranlagen optimal auf das Bauvorhaben abgestimmt werden. Die optimale Abstimmung der Sprinklerköpfe trägt auch zur Wirksamkeit der Anlage bei: je flächendeckender die Sprinklerköpfe im Bauvorhaben vorgesehen werden können, desto höher ist die Wirksamkeit im Brandfall.

Außerdem zeigt sich, dass sich die Auslegung und Dimensionierung einer risikogerechten Sprinkleranlage sehr nah an der Richtlinie orientiert. Ein mögliches Problem in der Praxis ergibt sich aus der umfassenden Richtlinie. Hier muss bereits zu Beginn der Planung eine detaillierte Einordnung der Nutzungsbereiche in die Brandgefahrenklassen erfolgen, um eine fachgerechte Planung sicherzustellen. Vor allem vor dem Hintergrund, dass der Brandschutz eng mit der Sicherung von Menschen- und Tierleben zusammenhängt, ist dies unumgänglich.

Entwicklung eines integrierten Managementsystems am Beispiel eines Nutzfahrzeugherstellers

Jan Corentin Mennes M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer:	Benjamin Heckers M. Sc.
Datum des Kolloquiums:	25. November 2022
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Umwelttechnik
in Kooperation mit:	Schmitz Cargobull AG



In den vergangenen Jahren ist sowohl der wirtschaftliche als auch der gesellschaftliche und der politische Druck auf Unternehmen in Deutschland gestiegen. Dabei waren die Ansprüche der verschiedenen für die Firma relevanten Gruppen auch früher schon sehr komplex: Kunden kaufen Produkte mit dem bestmöglichen Preis-Leistungs-Verhältnis, Eigentümer und Vorstände wollen einen hohen Marktanteil und große Gewinne, den Staat interessieren hohe Steuereinnahmen und die Einhaltung von Gesetzen und die Gesellschaft fordert sichere Arbeitsplätze und den Schutz der Umwelt. Seitdem die Folgen des Klimawandels immer stärker spürbar werden, gewinnt das Thema Umweltbewusstsein immer mehr an Bedeutung. Dadurch kamen einige neue Ansprüche in den für ein Unternehmen relevanten Kreisen auf. Kunden achten nicht mehr nur auf den Preis, sondern auch auf die Art und Weise, wie ein Produkt hergestellt worden ist. Auch der Gesetzgeber hat neue Regelungen aufgestellt, die Unternehmen dazu bewegen sollen, umweltfreundlicher zu handeln und effizientere Produkte zu entwickeln. Ein Beispiel hierfür ist die Einführung einer CO₂-Bepreisung.

Um mit den alten und mit den neuen Anforderungen und Zielen der verschiedenen Gruppen besser und strukturierter umgehen zu können, stehen Unternehmen diverse Managementsysteme zur Verfügung. Die bekanntesten und am weitesten verbreiteten Regelwerke werden dabei von der International Organization for Standardization, kurz ISO, veröffentlicht.

Auch in dem für diese Masterarbeit zentralen Unternehmen, der Schmitz Cargobull AG, wird bereits mit mehreren Managementsystemen gearbeitet. Die genaue Anzahl hängt dabei von dem betrachteten Produktionsstandort ab. Im Werk in Vreden wurden in der Vergangenheit bereits ein Qualitätsmanagementsystem nach DIN EN ISO 9001 und ein Energiemanagementsystem nach DIN EN ISO 50001 eingeführt, Managementsysteme für die Bereiche Umwelt (DIN EN ISO 14001) und Sicherheit und Gesundheit bei der Arbeit (DIN EN ISO 45001) folgen demnächst. Sowohl die bestehenden als auch die geplanten Managementsysteme sollen zukünftig jedoch nicht getrennt voneinander, sondern in einem gemeinsamen System eingeführt und aufrechterhalten werden.

Ziel dieser Masterarbeit war eine Analyse und Bewertung der in diesem Werk vorhandenen Umsetzungen der Normen, um daraus Handlungsempfehlungen für den Aufbau eines solchen integrierten Managementsystems abzuleiten.

Dafür wurden zuerst die vier relevanten Regelwerke miteinander verglichen, um die Stellen zu ermitteln, an denen eine gemeinsame Umsetzung der Normen möglich ist. Anschließend wurden die bestehenden Prozesse innerhalb des Werks analysiert und mithilfe einer Umfrage bewertet. Auf diese Weise konnten die Ansätze identifiziert werden, die sich am besten für den Aufbau eines integrierten Systems eignen. Darauf aufbauend wurden im nächsten Schritt Handlungsempfehlungen erarbeitet, mit denen die vier Normen inklusive der themenspezifischen Sonderanforderungen in Zukunft möglichst effizient gemeinsam umgesetzt werden können.

Insgesamt zeigen die Ergebnisse dieser Arbeit deutlich, dass bei Schmitz Cargobull bereits eine Reihe verschiedener Prozesse vorhanden sind, die sich sehr gut für den Aufbau eines integrierten Managementsystems und eine effiziente Erfüllung der Normanforderungen eignen.

Potentialanalyse zur technischen Umsetzung der Fernwärmeversorgung der Liegenschaft des Bonifatius Hospitals in Lingen

Jonah Möller M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr.-Ing. Carsten Bäcker
Zweitprüfer:	Sören Möller M.Eng
Datum des Kolloquiums:	26. September 2022
Bachelor-Studiengang:	Technisches Management in der Gebäudetechnik
in Kooperation mit:	Temmen & Partner mbB Beratende Ingenieure VDI



Vor dem Hintergrund des Klimawandels hat die Bundesregierung die Klimaschutzvorgaben verschärft. Ein Baustein zur Umsetzung der Klimaschutzziele ist die Dekarbonisierung der Wärmeversorgung. Deshalb wurde im Rahmen dieser Masterarbeit die Umsetzbarkeit einer Fernwärmeversorgung der Liegenschaft des Bonifatius Hospitals in Lingen untersucht. Folglich war es das Ziel, zu erarbeiten, ob und unter welchen Rahmenbedingungen eine regenerative Fernwärmeversorgung für den Campus des Bonifatius Hospitals umgesetzt werden kann.

Die technischen, gesetzlichen sowie normativen Anforderungen und Grundlagen einer Fernwärmeversorgung für das Bonifatius Hospital wurden erläutert. Im Rahmen dieser Arbeit waren zwei Bestandteile näher zu untersuchen. Dabei handelt es sich zum einen um den Aufbau der Fernwärmeerzeugung und zum anderen um die Hausanlage. Diese umfasst in diesem Fall den gesamten Campus. Als Grundlage ist eine Bestandsaufnahme durchgeführt worden, um die Struktur der Liegenschaft und den Zustand der bestehenden Anlagen zu untersuchen sowie den jährlichen Wärmebedarf zu ermitteln. Hierzu wurden die einzelnen Gebäude differenziert betrachtet und ein Wärmeenergiebedarf für die Liegenschaft ermittelt. Auf dem Gelände befinden sich 22 eigenständige Heizzentralen unterschiedlichen Zustandes. Um diese in das Fernwärmenetz zu integrieren, wurde auf Basis der technischen, gesetzlichen sowie normativen Anforderungen und Grundlagen ein Versorgungskonzept für den Campus ausgearbeitet. Dieses besteht aus zwei redundant ausgeführten Fernwärmeeinspeisepunkten. Auf dem Gelände der Liegenschaft wird ein eigenständiges Ringleitungsnetz installiert. Hierdurch ist ein großes Maß an Versorgungssicherheit gegeben. Die Fernwärmeerzeugung soll von der 700 m entfernten Kläranlage erfolgen. Die Wärmeverluste des Leitungsnetzes, welche sowohl im campusinternen Netz als auch auf dem Leitungsweg zur Kläranlage auftreten, wurden in die Wärmebedarfsberechnung integriert. Zur weiteren Bedarfsanalyse wurde die geordnete Jahresdauerlinie der Liegenschaft modelliert. Auf dieser Basis konnten die Rahmenbedingungen für eine Fernwärmeversorgung festgelegt werden.

Anschließend erfolgte eine Betrachtung der bestehenden Wärmeerzeugungsprozesse auf der Kläranlage Lingen, um zu prüfen, ob mit den dort bestehenden Anlagen, die Klärgas als Brennstoff verwenden, die Wärmeversorgung des Bonifatius Hospitals gewährleistet werden kann. Die Anlagen versorgen bereits ein weiteres Wärmenetz. Zudem wird die Eigenversorgung der Kläranlage über-

nommen. Aus der Prüfung ging hervor, dass die bestehenden Anlagen nicht ausreichen, um weitere Gebäude zu versorgen. Zudem sind die Klärgaskapazitäten bereits ausgeschöpft, sodass auch eine Erweiterung der klärgasbetriebenen Wärmeerzeugungsanlagen nicht möglich ist.

Deswegen wurden drei Konzepte zur Erweiterung der Wärmeerzeugungsanlagen auf der Kläranlage entwickelt. Hierzu gehörte zum einen ein Hackschnitzel-Heizwerk. Zum anderen wurde die Umsetzung eines Biogas-Heizkraftwerks näher betrachtet. Diese ist jedoch aufgrund mangelnder Umsetzbarkeit nicht weiterverfolgt worden. Das dritte Konzept beinhaltet die Installation einer Wärmepumpenanlage zur Abwasserwärmenutzung. Diese nutzt den gereinigten Abwasserstrom an der Kläranlage als Wärmequelle.

Im Anschluss sind die Konzepte technisch, wirtschaftlich und ökologisch verglichen worden. Als technischer Aspekt wurde unter anderem die Übereinstimmung der verschiedenen Konzepte mit den erarbeiteten Rahmenbedingungen der Fernwärmeerzeugung erörtert. Zur Wirtschaftlichkeitsanalyse ist die VDI-Richtlinie 2067-1 herangezogen worden. Zum ökologischen Vergleich wurden die CO₂-Emissionen der Anlagenkonzepte berechnet. Abschließend wird im Fazit nach der Auswertung der Vergleichsaspekte das Hackschnitzel-Heizwerk als Konzept zur Fernwärmeerzeugung für das Bonifatius Hospitals empfohlen. Neben der vollständigen Erfüllung der Rahmenbedingungen und den niedrigen CO₂-Emissionen ist vor allem der wirtschaftliche Aspekt ein Vorteil dieses Konzeptes. Die geringen kapital- und bedarfsgebundenen Kosten erzeugen eine wirtschaftliche Überlegenheit.

Im Ausblick werden zuletzt weiterführende interessante Untersuchungsmöglichkeiten aufgezeigt, die aus den durchgeführten Betrachtungen hervorgegangen sind. Hierzu zählt zum Beispiel die Optimierung der Hackschnitzelbevorratung.

Technische Auslegung und Wirtschaftlichkeitsberechnung einer Photovoltaikanlage an einem Wasserhochbehälter

Jan Mühlenbrock B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Ralph Schottke

Datum des Kolloquiums: 4. Oktober 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Energietechnik

in Kooperation mit: GELSENWASSER AG



Die Bachelorarbeit befasst sich mit der Planung einer Photovoltaikanlage auf geplanten Wasserbehältern der GELSENWASSER AG in Recklinghausen. Dabei wurden zwei Varianten einer Photovoltaikanlage in Form einer Dach- und einer Fassadenanlage geplant und auf ihre Wirtschaftlichkeit hin untersucht. Weiterhin wurde der Einsatz eines Batteriespeichers als dritte Variante betrachtet. Ziel der Errichtung einer PV-Anlage ist die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien sowie Nutzung dieser für den Eigenstrombedarf.

Die erste Variante wurde als Flachdachanlage mit Ost-/Westaufständerung auf dem Dach der Wasserbehälter geplant. Dabei wurden alle Kriterien einer fachgerechten Auslegung einer PV-Anlage berücksichtigt, wozu auch die Überprüfung und Auslegung des Blitzschutzes miteinbezogen wurde.

Um die Fläche des Hochbehälters effizient zu nutzen, wurde in Variante 2 die Planung um eine PV Anlage an der Fassade des Bauwerks erweitert. Die Ertragsanalyse ergab einen geringeren Ertrag der fassadenseitig angebrachten Module gegenüber der PV-Anlage auf dem Flachdach.

In der wirtschaftlichen Betrachtung wurden die beiden Varianten für die Vollein-speisung des Stromertrages untersucht. Im Ergebnis stellte sich hierbei heraus, dass sich die PV-Anlage in der Flachdachausführung nach ca. 20 Jahren amortisieren kann und in den darauffolgenden Jahren Gewinn generiert. Die Amortisierung in diesem Zeitraum ist abhängig von den Sonnenstunden und der tatsächlichen Degradation der Module. Die Variante 2, bei der die Flachdachanlage um einer Fassadenanlage erweitert wurde, erwies sich in der Betrachtung als nicht wirtschaftlich. Hierbei ist nach über 20 Jahren mit einem wirtschaftlichen Verlust zu rechnen.

Da die Vorplanung zum Behälterbau derzeit noch nicht endgültig abgeschlossen ist, steht die Bauweise der Bauwerke noch nicht fest. Neben einer aufgeständerten Version besteht die Alternative in der Ausführung als Tiefbehälter, wodurch eine Druckerhöhungsanlage erforderlich wird. Dort sollen drei Pumpen das Wasser aus den Behältern ins Rohrnetz einspeisen. Der Strombedarf der Pumpen soll in den ertragsschwachen Stunden der PV-Anlage durch ein Batteriespeichersystem zusätzlich gedeckt werden. Die Betrachtung eines Speichersystems wurde in Variante 3 durchgeführt. Da die mögliche Fahrweise und der dadurch benötigte

Energiebedarf nicht bekannt sind, wurde das Lastprofil überschlägig vom Füllstand des vorhandenen Hochbehälters in Herten abgeleitet. Die Untersuchung zeigte, dass der Ladezyklus des Batteriespeichers nur von 14:00 Uhr bis 17:00 Uhr stattfinden kann, da in den übrigen Stunden der Ertrag der Photovoltaik zur Deckung des Strombedarfs der Pumpen benötigt wird. Die Analyse der Investitionskosten und Ersparnisse zeigt, dass die Installation eines Batteriespeichers wirtschaftlich nicht sinnvoll ist.

In dieser Arbeit wurde die Wirtschaftlichkeit der PV-Anlagen mit 100 % Fremdfinanzierung untersucht. Das Ziel war die Selbstfinanzierung der Anlage. Aus Unternehmenssicht könnte es trotz des scheinbar wenig lukrativen Ergebnisses Sinn machen, in eine PV-Anlage zu investieren. Hierbei ist z.B. die Abschreibung für AfA (Absetzung für Abnutzung) zu nennen, welche eventuell steuerlich von Vorteil sein könnte. Dazu wird eine gesonderte Betrachtung empfohlen, welche nicht Gegenstand dieser Arbeit ist. Ein weiterer Aspekt ist die Erzeugung von Ökostrom, mit welchem ein wichtiger Beitrag zur Umwelt geleistet werden kann.

Die Betrachtung der Photovoltaikanlagen in dieser Arbeit fand auf Grundlage der ersten Planungen des neuen Wasserbehälters der GELSENWASSER AG statt. Da noch weiterführende Planungen und statische Berechnungen durchgeführt werden müssen, kann eine realistische Einschätzung zum Bau einer PV Anlage erst in den kommenden Jahren gegeben werden. Auf Grund anzunehmender weiter steigender Strompreise und Kosten für die verschiedenen Komponenten der PV-Anlage, ist eine weitere Betrachtung im Zuge des Behälterbaus notwendig.

Arbeitsschutztechnische Anforderungen am Beispiel eines Wasserstoffelektrolyseurs

Hendrik Müller B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann
Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Benedikt Beckmann M. Eng.

Datum des Kolloquiums: 26. September 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: ARU Prüffingenieur & Umweltgutachter GmbH



Die Industrialisierung und insbesondere die Verbrennung fossiler Energieträger wie zum Beispiel Erdgas, Erdöl oder Kohle, haben den Klimawandel in der Vergangenheit stark vorangetrieben. Da unsere Zivilisation und die Ökosysteme der Umwelt an die gegebenen Bedingungen angepasst sind, hat die rasche Klimaveränderung bedrohliche Folgen. Deutschland hat sich das Ziel gesetzt, den menschengemachten Klimawandel einzudämmen. Zur Erreichung der Klimaziele und der Treibhausgasneutralität ist der Einsatz von erneuerbaren Energien wie z. B. Wind- und Solarkraft, unerlässlich. Vorteil der erneuerbaren Energiewandlern ist es, Wasserstoff Elektrolytisch durch Wasser-Elektrolyse zu erzeugen. Das Gas mit der enthaltenen Energie kann anschließend gespeichert werden. Um einen sicheren Umgang mit Wasserstoff zu gewährleisten, werden spezielle sicherheitstechnische Maßnahmen zur Begegnung der Gefahren vorausgesetzt. Wasserstoff ist das heute am häufigsten vorkommende chemische Element und besitzt eine sehr reaktionsfreudige und leicht entzündbare Eigenschaft. Außerdem neigt das Gas dazu, eine explosionsfähige Atmosphäre zu bilden, wenn er als Gemisch mit Luft oder Sauerstoff vorkommt. Die Erzeugung und die Speicherung in Druckgasbehältern erfordern eine hohe Sicherheit an Ausrüstungen, Prüfungen und Personal, damit das Austreten von Wasserstoff und die damit verbundenen Gefahren verhindert werden können.

Ziel der Arbeit war es, dem Anlagenbetreiber einen Leitfaden zur sicheren und sachgerechten Ausführung der Anlage zu bieten, um Personen vor möglichen Gefahren des Gases und dem Betrieb der Anlage aus arbeitsschutztechnischer Sicht zu schützen. Dabei wurde insbesondere die stationäre Druckgasspeicherung im Freien betrachtet. Hierzu wurden zunächst die gesetzlichen Grundlagen und die Charakteristik, sowie die Gefahren von Wasserstoff ermittelt und ausgearbeitet. Zudem wurde eine beispielhafte Polymerelektrolytmembran Elektrolyseanlage (PEM-Elektrolyseanlage) mit anschließender Speicherung in einem Druckgasbehälter ausgewählt und beschrieben.

Zur Ermittlung der arbeitsschutztechnischen Anforderungen der beispielhaften Anlage ist eine Gefährdungsbeurteilung erstellt und ein technischer Regelwerkabgleich der TRGS 746 erarbeitet worden. Die Gefährdungsbeurteilung bezog sich auf ein noch nicht errichtetes Elektrolysesystem. Das Ergebnis zeigte auf, dass unterschiedliche Gefahren, unter anderem durch Brand- und Explosionsgefahren, unbemerkte Freisetzungen von Wasserstoff, sowie Gefahren

durch hohe Drücke an der Anlage bestehen. Zudem wurden Maßnahmen zur Risikominimierung der jeweiligen Gefährdungen definiert. Auf Grund der an der Anlage bestehenden Gefahren, hat der Betreiber einer Anlage für die Errichtung, sowie für den sicheren Betrieb und zum Schutz der Beschäftigten, Regeln einzuhalten. Die Regeln sind ebenfalls in der Gefährdungsbeurteilung aufgezeigt worden. Nach der Erstellung der Gefährdungsbeurteilung und dem Ergebnis zufolge, ist ein technischer Regelwerkabgleich der TRGS 746 vorgenommen worden. Der Regelwerkabgleich stellt die an den im Freien stationär gelagerten beispielhaften Druckgasbehälter relevanten und umzusetzenden Anforderungen dar. Dieser wurde kapitelweise als Fließtext zusammengefasst und mit Hilfe weiterer nicht gesetzlicher Regelwerke und Vorschriften konkretisiert. Gemäß des technischen Regelwerkabgleichs wurden Anforderungen an die Aufstellung, an die allgemeine Ausrüstung und an den Betrieb gestellt, sowie durchzuführende Prüfungen und Kontrollen zusammengefasst. Des Weiteren sind sowohl Sicherheits- und Bereichskennzeichnungen als auch weitere zu beachtende nicht gesetzliche Regelwerke tabellarisch aufgezeigt worden. Die in der Arbeit dargestellte Gefährdungsbeurteilung und der technische Regelwerkabgleich der TRGS 746 für den ortsfesten Druckgasbehälter, soll dem Anlagenbetreiber als Vorgabe bei der Errichtung und während des Betriebes eines gleichartigen Druckgasbehälters dienen, damit der Sicherheit von Personen nichts im Wege steht.

Die Sicherheit von Beschäftigten hat höchste Priorität und muss so umgesetzt werden, dass bauliche Ausführungen und allgemeine sicherheitstechnische Maßnahmen eine Gefährdung von Personen ausschließen. Die Einhaltung der unterschiedlichen Anforderungen stellen den Betreiber vor großen Herausforderungen. Die in dieser Arbeit aufgezeigten notwendigen Schritte und Vorgehensweisen, dienen dem Betreiber eines Wasserstoffelektrolyseurs seiner betrieblichen Verantwortung gerecht zu werden und seine Organisation entsprechend zu gestalten.

Niklas Olbertz M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling
 Datum des Kolloquiums: 23. September 2022
 Master-Studiengang: Technisches Management in der Umwelttechnik



Ammoniak ist eine Grundlage zur Herstellung von Düngemitteln. Der im Ammoniak enthaltene Stickstoff wird in der Pflanze zu essenziellen Stoffen umgesetzt, welche das Wachstum verbessern. Dieser Dünger ermöglicht eine intensive Landwirtschaft und sichert die Lebensmittelversorgung für eine wachsende Bevölkerung. Derzeit wird Ammoniak über das Haber-Bosch-Verfahren hergestellt, welches reinen Wasserstoff und Stickstoff benötigt. Die Herstellung von Wasserstoff wird über die Dampfreformierung und die partielle Oxidation von Erdgas und Kohle durchgeführt, was zu hohen Treibhausgasemissionen führt. Aktuell verbraucht die Ammoniak-Synthese zwischen ein und drei Prozent des weltweiten Energieverbrauchs. Pro Tonne Ammoniak werden ca. zwei Tonnen Kohlenstoffdioxid emittiert und es werden zwischen acht und 13,5 Megawattstunden Energie benötigt.

Um dies zu minimieren sind bereits viele Verfahren mit Wasserstoff aus erneuerbaren Energien in Erprobung. Die Wasserstoffproduktion wird über Elektrolyseure realisiert, die bereits in unterschiedlichen Ausführungen zur Verfügung stehen.

Neben der Herstellung ist die Rückgewinnung von Ammoniak aus Wirtschaftsdüngern denkbar, jedoch noch nicht umgesetzt. Die Rückgewinnung von ausgewählten Ammoniumverbindungen aus Wirtschaftsdüngern konnte bereits großtechnisch realisiert werden. In dieser Arbeit wird die bereits vorhandene Rückgewinnung von Ammonium aus Wirtschaftsdüngern genauer betrachtet und versucht, eine Aufreinigung zu reinem Ammoniak zu ermöglichen.

Für die Rückgewinnung wurden die Verfahren Stripplung, Membrantechnik, Fällung und Kristallisation sowie Ionenaustauscher vorgestellt. Bei der Auswahl der Verfahren standen die Weiterverarbeitungsmöglichkeiten der jeweiligen Produkte im Vordergrund.

Dabei hat sich herausgestellt, dass eine Rückgewinnung mittels Dampfstrippung und eine anschließende Rektifikation, zum jetzigen Zeitpunkt, als beste Verfahrenskombination technisch umsetzbar ist. Die Dampfstrippung ist, neben der Membrandestillation, eine Möglichkeit, um Ammoniak in Form von Ammoniakstarkwasser zurückzugewinnen. Ammoniakwasser wird bereits im geschlossenen Kreislauf in Absorptionskältemaschinen zu reinem Ammoniak aufgereinigt. Diese Art der Technik kann zur Aufreinigung von Ammoniak genutzt

werden. Die Betriebskosten für das gesamte Verfahren wurden auf mehr als 4.800 € pro Tonne Ammoniak kalkuliert. Der aktuelle Preis pro Tonne Ammoniak aus dem Haber-Bosch-Verfahren liegt derzeit bei ca. 1.500 € pro Tonne Ammoniak. Da bei dem Prozess sehr viel Energie in Form von Wärme benötigt wird, ist ein Betrieb vor allem bei lokaler Zugänglichkeit von Abwärme sinnvoll. Auch hat sich ein alternatives Verfahren, bei dem das Salz Magnesiumammoniumphosphat ausgefällt wird, als sinnvoll herausgestellt. Bei dem alternativen Verfahren wird unter Regelung des pH-Wertes und Zugabe von Magnesium das im Substrat befindliche Phosphat und Ammonium ausgefällt. Da die Phosphat-Konzentration im Wirtschaftsdünger nicht ausreichend ist, muss dieses zusätzlich in Form von Phosphorsäure hinzugegeben werden. Das ausgefällte Produkt wird aufgefangen und gereinigt. Anschließend wird durch Erhöhung der Temperatur auf über 50 °C gasförmiges Ammoniak abgeschieden und im Anschluss wieder kondensiert. Das zurückbleibende Magnesiumphosphat-Salz kann zurück in den Fällungsreaktor geführt werden. Durch Kreislaufführung wird die Phosphat- und Magnesium-Nachdosierung auf ein Minimum reduziert.

Die Ammoniumverbindungen, die bereits jetzt zurückgewonnen werden können, sind Produkte die als Dünger eingesetzt werden können. Für die anschließende Aufreinigung sind die Herstellungskosten noch zu hoch und die Alternativen, die Herstellung mittels Haber-Bosch-Verfahren mit Wasserstoff aus erneuerbaren Quellen, wirtschaftlicher.

Neben der Verwendung von Ammoniak als Dünger wurden noch weitere zukünftige Anwendungen betrachtet. Dabei zeigt sich, dass Ammoniak als Transport- und Speichermedium für Energie sinnvoll eingesetzt werden kann. Aufgrund der Herausforderungen in der Speicherung von Wasserstoff kann (s. Abb.) Ammoniak als Wasserstofflieferant dienen, da dieser mithilfe von Katalysatoren wieder in Wasserstoff und Stickstoff getrennt werden kann. Ammoniak wird in flüssiger Form bereits im großen Maßstab gespeichert und transportiert. Durch Verflüssigung bei Raumtemperatur und einem Druck von acht bar sind die Kosten für die Speicherung deutlich niedriger als bei Wasserstoff. Abb. 1 zeigt die Kosten verschiedener Speichermedien für Energie bezogen auf die Speicherzeit.

Bei der anschließenden Nutzung kann Ammoniak direkt als Treibstoff genutzt werden oder in getrennter Form als Wasserstoff und Stickstoff in Brennstoffzellen zu Strom umgewandelt werden. In Kombination mit Überschussstrom aus erneuerbaren Energien bietet Ammoniak eine günstige Alternative zur Energiespeicherung.

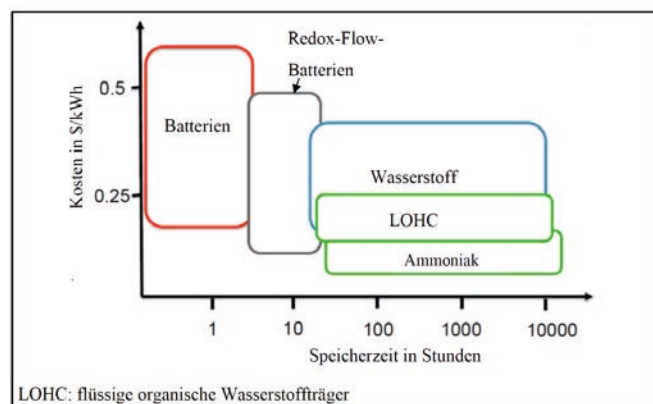


Abb 1: Vergleich verschiedener Energiespeichermedien in Bezug auf spezifische Kosten pro kWh und Speicherzeit in Stunden

Nachhaltige Prozessoptimierung der Lösungsmittelaufarbeitung am Beispiel von Ethylacetat

Eggo Thiark Ortmann B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning
 Zweitprüfer: Dipl.-Ing. Denis Panknin
 Datum des Kolloquiums: 19. August 2022
 Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Umwelttechnik
 in Kooperation mit: Bayer AG



Bei der Bayer AG wird vermehrt auf Optimierungsprozesse für eine Verbesserung der Nachhaltigkeit geachtet. Die Solvent Management & Recovery Plant im Supply Center Bergkamen ist als Aufarbeitungsbetrieb der Inbegriff von „Nachhaltigkeit“. Durch die Aufarbeitung von genutzten Lösungsmitteln und Prozesswässern in den Production Units können der Kauf und die Produktion neuer Lösungsmittel und damit auch der Einsatz von Energien und Transportaufwände reduziert werden. In der SMRP folgt die kontinuierliche Verbesserung zum Stand der Technik Optimierungspotenzialen für effizientere Prozessabläufe. Aufgrund dessen befasst sich die Thesis mit dem Thema „Nachhaltige Prozessoptimierung der Lösungsmittelaufarbeitung am Beispiel von Ethylacetat“ in der SMRP am Standort Bergkamen. Dem Thema folgend ist das Ziel entwickelt worden, einen möglichen Optimierungsvorschlag für den Aufarbeitungsprozess von Ethylacetat auszuarbeiten und vorzustellen. Dieser Optimierungsvorschlag soll einer Minderung der energetischen Bedarfe dienen, die Kosten für die Aufarbeitung des Lösungsmittels Ethylacetat reduzieren und die Nachhaltigkeitsziele sowohl der Bayer AG als auch des SC Bergkamen mit der SMRP realisieren.

Die Nachhaltigkeitsziele der Bayer AG, des SC Bergkamen und der SMRP und die dafür zu verfolgenden Maßnahmen lassen sich in vier verschiedene Gruppen unterteilen: A. Reduzierung der CO₂-Emissionen, B. Kreislaufwirtschaft, C. Wasser und Substanzen und D. Nachhaltigkeitsbewusstsein und Partizipation der Mitarbeiter stärken. Diese Maßnahmen sind mit Zielen versehen, die die Richtung des notwendigen Handelns vorgeben, Klarheit verschaffen und Soll-Ist-Vergleiche aufstellen. So inkludieren die Ziele in dem Zeitraum von 2020 bis 2030 beispielsweise eine Reduzierung der CO₂-Emissionen um 10 %, eine Steigerung der Energieeinsparungen um 10 %, 10 % mehr Lösungsmittelrecycling und die Verringerung des Wasserbrauchs um 10 %. Im Hinblick auf diese Zielvorgabe wurde der Aufarbeitungsprozess des Lösungsmittels Ethylacetat betrachtet und mit den energetischen Bedarfen der SMRP und des Standortes in Verbindung gebracht. Nach der Darlegung und Überprüfung der einzelnen Prozessschritte der Ethylacetataufarbeitung konnte der Prozessschritt der Entwässerung als möglicher zu optimierender Vorgang ausfindig gemacht werden. Die Entwässerung dient dazu das unreine Ethylacetat vom Wasser zu trennen, die Konzentration und damit die Reinheit von Ethylacetat zu erhöhen. Mit 480 Minuten Laufzeit nimmt die Entwässerung derzeit einen Anteil von 23,5 % der Gesamtdurchlaufzeit eines Ansatzes ein. Der Vorgang wird in der Teilanlage o25 mit Hilfe eines Phasentrenngefäßes durchgeführt. Die Trennung beruht hierbei auf dem

Dichteunterschied des Ethylacetats und des Wassers. Mit diesem Verfahren ist lediglich eine 10 %-ige Abtrennung des Wassers möglich. Aufgrund dessen muss das unreine Ethylacetat in einem zweiten Schritt in der Rektifikationskolonne nochmal entwässert werden, welcher den genannten zeitlichen Anteil von 23,5 % einnimmt. Mit einer Erhöhung des Anteils des abgetrennten Wassers durch beispielsweise eine andere Technologie, steigt die Konzentration des Ethylacetats in dem aufzuarbeitenden Gemisch an. Hierdurch kann die Laufzeit der Entwässerung und die der zwei Vorläufe, als weitere Aufarbeitungsschritte verringert werden. Dies inkludiert, dass das aufzuarbeitende Ethylacetat zeitlich eher den geforderten Spezifikationen entspricht und in den Vorläufen eine geringere Menge des Ethylacetats entsorgt werden muss. Infolge der Verringerung der Vorlaufzeit kann der zeitliche Anteil des Hauptlaufs und damit sowohl der wertschöpfende Anteil als auch die Ausbeute und damit die Wiedergewinnung des reinen, der Spezifikation entsprechenden Ethylacetats, erhöht werden. Mit der Reduzierung der Durchlaufzeit verringert sich zudem die Anzahl der nötigen Ansätze und damit der Bedarf an Energien und Betriebskosten.

Als mögliche Ersatztechnologie für eine optimierte Entwässerung, hat sich die sogenannte Pervaporation als die effizienteste erwiesen. Die Pervaporation ist ein Membranverfahren, welches für die Zerlegung engsiedender oder azeotroper Gemische und für die Entwässerung von Lösungsmittelgemischen geeignet ist. Mit dieser Methode ist es möglich, eine Stofftrennung ohne den Einsatz eines Hilfsstoffes durchzuführen. Beim Prozess wird das Ethylacetat als sogenanntes Retentat zurückgehalten, wohingegen das Wasser als Permeat die selektiv wirkende Membran passieren und als Dampf abgeführt werden kann. Die Pervaporation bringt durch die Membrantechnologie eine deutlich stärkere Trennleistung mit sich, als das derzeit genutzte Phasentrenngefäß. Somit ist es möglich ein Trennungsverhältnis von 1 Gew.-% Wasser und 99 Gew.-% Ethylacetat zu erreichen, bevor das unreine Ethylacetat zur weiteren Aufarbeitung in die Rektifikationskolonne geleitet wird. Mit dem Einsatz der Pervaporation kann eine Reduzierung der energetischen Bedarfe und eine Reduzierung der Betriebskosten erreicht werden. Die benötigten Energien können um circa 35 % verringert werden. Finanziell umgerechnet ergibt dies eine Einsparsumme von circa 18.075 €/a. Allein durch diese Einsparsumme können die Energiekosten der Pervaporationsanlage von 18.870 €/a nahezu gedeckt werden. Im Hinblick auf die Maßnahmen zur Erreichung der Nachhaltigkeitsziele, werden die CO₂-Emissionen für die Bereitstellung von Strom und Dampf und damit der Wasserbedarfe gleichermaßen, wie der Energieeinsatz um 35 % reduziert. Hinzu kommt, dass eine Erhöhung der Lösungsmittelrückgewinnung durch die höhere Ausbeute um 14 % möglich ist. Mit den energetischen Anteilen von 0,54 % Dampf, 0,32 % KTW und 0,04 % Strom macht sich eine Verringerung der Energien vorerst nicht stark bemerkbar. Dennoch ist es ein weitreichender Schritt, welcher trotz weniger Prozentanteile dazu beiträgt, die angesetzten Ziele zu erreichen, die Nachhaltigkeit und damit den ökologischen Fußabdruck zu verbessern. Sofern sich die Pervaporation als effizienter Optimierungsschritt in der Realität bewährt hat, könnte es sein, diesen auf weitere Lösungsmittelaufarbeitungen anzuwenden. Dadurch machen sich die Bedarfsanteile der SMRP am gesamten SC Bergkamen mit 16 % Dampf, 11 % KTW und 2% Strom schon deutlich bemerkbarer. Im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit dieser Optimierung lässt sich festhalten, dass die Pervaporation auch in diesem Aspekt deutliche Vorteile mit sich zieht. So kann durch die höhere Ausbeute, 14 % mehr an reinem Ethylacetat wiedergewonnen werden. Umgerechnet im monetären Wert entspricht das einem Gewinn von circa 529.200 €/a. Hierdurch kann die Pervaporationsanlage mit einer Investitionssumme von 1.200.000 € bereits nach circa 2,27 Jahren amortisiert werden. Die Vorgabe von der Bayer AG, dass eine Investition nach drei Jahren amortisiert sein muss, wird damit eingehalten.

Technische und wirtschaftliche Analyse der Wasserstoffwertschöpfungskette im Mobilitätssektor

Jens Peitzmeier M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
 Zweitprüfer: Laura Langenbucher M.Eng.
 Datum des Kolloquiums: 1. Juni 2022
 Master-Studiengang: Technisches Management in der Energietechnik
 in Kooperation mit: GP JOULE



Im Rahmen dieser Ausarbeitung wurden technische und wirtschaftliche Analysen an vier verschiedenen Szenarien von Wasserstoffwertschöpfungsketten im Mobilitätssektor zu durchgeführt. Ziel war es, das technische und wirtschaftliche Optimum zu ermitteln. Dafür wurde ein evolutionärer Algorithmus (SPEA2) verwendet. Des Weiteren wurden die Ergebnisse der Szenarien mit Hilfe unterschiedlicher wirtschaftlicher Bewertungsindikatoren beurteilt und verglichen.

Im ersten Abschnitt der Arbeit wurden zunächst der Stand der Technik und anschließend die Eigenschaften von Wasserstoff beschrieben. Unter anderem befasste sich dieser Abschnitt mit verschiedenen Wasserstoffherstellungsverfahren, beginnend mit der konventionellen Erzeugung mittels Dampfreformierung und der partiellen Oxidation über die Erzeugung von Wasserstoff auf Basis der erneuerbaren Energien. Hierbei wurde das Hauptaugenmerk auf die Spaltung von Wasser in Wasserstoff und Sauerstoff durch die Elektrolyse gelegt. Im Anschluss an die Beschreibung der Herstellungsverfahren wurden die drei gängigsten Verfahren der Elektrolyse miteinander verglichen. Des Weiteren beschäftigte sich der Abschnitt mit der Speicherung und dem Transport von Wasserstoff. Dabei wurde die stoffliche Speicherung mittels komprimiertem Wasserstoff in Druckspeichern und die flüssige Speicherung beschrieben. Der Wasserstofftransport erfolgt über die Nutzung von Trailern oder Gaspipelines. Neben der Erzeugung, der Speicherung und dem Transport von Wasserstoff spielt die Energiewirtschaft in Deutschland eine entscheidende Rolle in dieser Arbeit. Dafür wurden der aktuelle Stand der erneuerbaren Energien in Deutschland und Baden Württemberg sowie die Entwicklung des Großhandelspreises und die Umlagen und Abgaben beschrieben. Hierbei zeigte sich, dass ein Großteil der Umlagen und Steuern bei der Erzeugung von grünem Wasserstoff entfallen. Im zweiten Abschnitt wurde die verwendete Software zur Optimierung der Szenarien vorgestellt. Dabei handelte es sich um ODYSSEY von SEED Energy. Diese Software ermöglicht eine technische und wirtschaftliche Optimierung und die Simulation von Wasserstoffwertschöpfungsketten. Die Optimierung erfolgte mittels einem evolutionären Algorithmus (SPEA2), welcher zufallsgenerierte Populationen zur Optimierung verwendet.

Die Fallstudie in dieser Arbeit handelte von einer Wasserstoffproduktionsstätte bei Stuttgart inklusive Tankstelle sowie eine Offsite Tankstelle in Süddeutschland. Der Aufbau beinhaltete stromseitig die Erzeugung von Strom mittels einer Photovoltaikanlage und einem Windpark sowie die Speicherung in einem Batteriespei-

cher. Auf der Wasserstoffseite wurden verschiedene Speicher beurteilt. Dazu gehört ein Niederdruckspeicher, mehrere Mitteldruckspeicher sowie Hochdruckspeicher. Zur Untersuchung der technischen Optimierung der Komponenten wurde ein vorher bestimmtes Wasserstoffabnahmeprofil ermittelt. Diese beruht auf dem Wechsel von Dieseln und LKWs auf Brennstoffzellenfahrzeuge. Bei den untersuchten Bussen handelt es sich um ein Linienbündel eines Kreises bei Stuttgart. Die Wasserstoffabnahme der LKWs beruht auf den Informationen eines Logistikunternehmens in Süddeutschland. Die Anordnung der Komponenten ist in der Abbildung nachfolgend dargestellt.

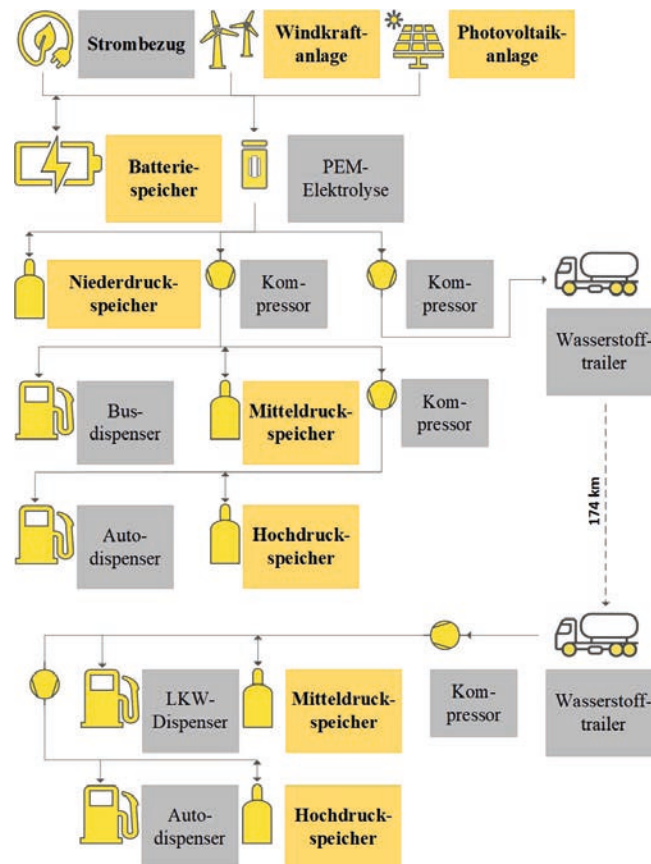


Abb1: Komponentenaufbau der Szenarien

Bei den Szenarien handelt es sich einmal um einen vollständigen Strombezug übers Netz, während in den anderen Szenarien erneuerbaren Energien sowie Batteriespeicher untersucht worden sind. Diese Szenarien wurden anschließend wirtschaftlich miteinander verglichen und bewertet. Zu den Bewertungsindikatoren zählten die Wasserstoffgestehungskosten, der Kapitalwert und die Rentabilität der Szenarien über einen Betrachtungszeitraum von zehn Jahre.

Die Ergebnisse zeigten, dass die geringsten Wasserstoffgestehungskosten in dem Szenario mittels Netzbezug erreicht werden konnte. Die Ergebnisse stellten dar, dass unter den aktuellen Szenarien und der ökonomischen Betrachtung über zehn Jahre nicht die aktuell marktüblichen Wasserstoffgestehungskosten von maximal 10 €/kg H₂ erzielt werden können. Abschließend lässt sich sagen, dass die Komponentenauslegung mit der derzeitigen Auslastung der Elektrolyse und Wasserstoffpreisen nur unter erschwerten Bedingungen wirtschaftlich betrieben werden kann. Dennoch gibt es eine Vielzahl an Ansätzen, wodurch die Wasserstoffgestehungskosten verringert oder die Einnahmen erhöht werden können.

Vincent Peterreit B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Datum des Kolloquiums: 14. Oktober 2022

Bachelor-Studiengang: Wirtschaftsingenieur der Energietechnik



Das Fortschreiten des weltweiten Klimawandels erzwingt energiepolitische Entscheidungen hin zur Entwicklung eines regenerativen Energieversorgungssystems und deren rasche wirtschaftliche Umsetzung. Die intermittierende Energieerzeugung und zeitweise Überproduktion von Strom erfordert eine Lösung im Bereich der Energiespeicherung und Energieversorgungssicherheit.

Die Langzeitspeicherung der erzeugten elektrischen Energie stellt eine große Herausforderung dar. Die emissionsfreie Herstellung, Speicherung und Nutzung von Wasserstoff (H₂) wird dabei als Schlüssellösung betrachtet. In dieser Arbeit wird die Wasserstoffnutzung in einem generischen Quartier auf deren Wirtschaftlichkeit hin untersucht.

Mithilfe der Energiesystemmodellierung mit dem Tool Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) werden Bedingungen für einen wirtschaftlichen Betrieb der Wasserstofftechnologie untersucht. Für die Wasserstoffherzeugung eignet sich der Polymer-Elektrolyt-Membran-Elektrolyseur (PEMEL) aufgrund seines dynamischen Betriebsbereichs für die Nutzung von überschüssigen Strom am besten. Die dezentrale Wasserstoffspeicherung im Quartier wurde infolge von hohen Kosten und Verlusten ausgelagert. Salzkavernen als Teil des Gasnetzes erweisen sich sowohl aus technischer als auch wirtschaftlicher Sicht als sinnvoll. Infolgedessen werden der Elektrolyseur und die Brennstoffzelle entkoppelt und an das Gasversorgungsnetz angeschlossen. Vorteile der ausgewählten Festoxidkeramischen Brennstoffzelle (engl. solid oxid fuel cell) (SOFC) liegen in ihrem hohen Wirkungsgrad, ihren vergleichsweise niedrigen Kosten und der Fähigkeit mit Erdgas als auch H₂ betrieben werden zu können. Die Simulationen zeigen, dass die ausgewählten Wasserstofftechnologien nicht rentabel sind.

Als Referenz wird ein regeneratives Energiesystem bestehend aus Photovoltaik-Anlage, Batteriespeichersystem und Wärmepumpe genutzt. In derselben Systemkonfiguration mit den gewählten Wasserstoffkomponenten wird von SESMG nur die Brennstoffzelle berücksichtigt. Diese nutzt jedoch Erdgas als Arbeitsmedium. In diesem Szenario führen die Annahmen zu einer Kostenreduktion von 4,2 % gegenüber dem regenerativen Energiesystem. Der Elektrolyseur rentiert sich aktuell nur unter der Annahme einer Wasserstoffeinspeisevergütung von mindestens 19,75 ct/kWh. Um ein Szenario zu erreichen in dem sowohl der

Elektrolyseur als auch die Brennstoffzelle wirtschaftlich mit H₂ betrieben werden können, müssen die Kosten beider Technologien erheblich sinken. Es wird davon ausgegangen, dass die wirtschaftliche Produktion von grünem H₂ nicht vor 2030 zu realisieren ist. Politische Entscheidungen zur Einführung einer Einspeisevergütung für H₂ in Abstimmung mit der Strom-Einspeisevergütung könnten zum Durchbruch der Wasserstoffnutzung führen und das Problem der langfristigen Energiespeicherung für sonnenarme kalte Monate lösen.

Energetische Analyse einer kommunalen Kläranlage zur Steigerung der Energieeffizienz

Jorge Plöhn B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling

Datum des Kolloquiums: 23. September 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: Gemeinde Altenberge



Die Analysemethode wurde auf das Beispiel der Kläranlage Altenberge angewandt, wobei sich elektrische sowie thermische Einsparpotenziale ergaben. Ein Überblick der Fließwege der Kläranlage ist in Abbildung 1 dargestellt. Dabei weist vor allem der Altbestand der Systemelemente Energieeinsparpotenziale auf. Hierunter fallen die Belüfter der Belebung, das Rührwerk der Belebung sowie das Betriebsgebäude. Das Zulaufpumpwerk sowie das Rücklaufschlamm-pumpwerk sind trotz der Erneuerung 2017 ineffizient, da bei der Auslegung Annahmen getroffen worden sind, welche nicht mehr vorliegen. Zudem werden sie nicht optimal betrieben. Aus den Einsparpotenzialen sind Handlungsempfehlungen abgeleitet worden.

Diese bestehen aus dem Austausch des Rührwerkmotors, der Belebung sowie der Erneuerung der Fahrtriebssteuerung des NKB I. Weiterhin ist eine gestaffelte Anordnung von Pumpen beim Zulaufbauwerk sowie die regelmäßige Entsandung hinter dem Bauwerk empfehlenswert. Um das Rücklaufschlamm-pumpwerk effizienter zu betreiben, wäre eine weitere Pumpe erforderlich, um das gewünschte Rücklaufschlammverhältnis zu erreichen. Das größte elektrische Einsparpotenzial liegt bei den Belüftern vor. Zur Optimierung wird eine Verdopplung der Belegungsdichte vorgeschlagen. Mit diesen Maßnahmen lässt sich, bei Erreichen der Idealwerte, ein Einsparpotenzial von 33 % erreichen. Dies bedeutet eine Stromeinsparung von ca. 168 MWh/a sowie eine Reduzierung des CO₂-Ausstoßes um ca. 80,5 Tonnen/a. Ein weiteres Einsparpotenzial liegt bei dem Betriebsgebäude vor.

Dabei könnte durch eine Sanierung ca. 50 % der thermischen Energie eingespart werden. Bis zu einer Außentemperatur von -18 °C könnte der Wärmebedarf durch das BHKW vollständig bereitgestellt werden. Durch die Umsetzung der Maßnahmen kann die Kläranlage Altenberge einen Beitrag zum Klimaschutz sowie der eigenen Betriebssicherheit leisten. Zudem ist eine Kostenreduktion von ca. 100.000 €/a möglich, wodurch die Wirtschaftlichkeit der Anlage gesteigert wird.

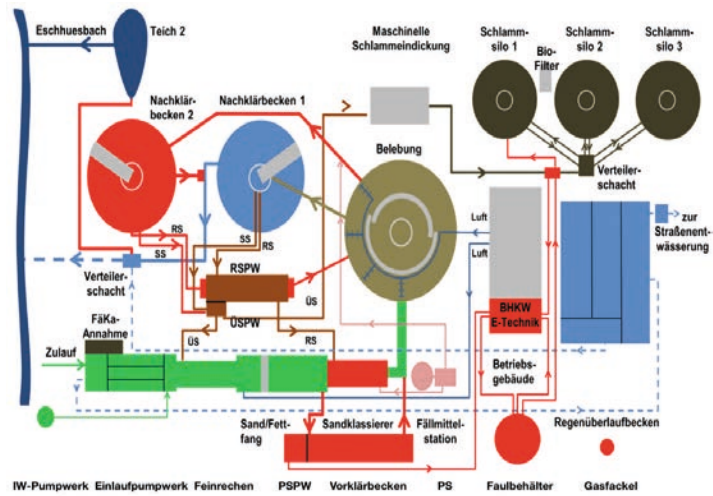


Abb1: Fließbild der Kläranlage Altenberge (in Anlehnung an Tuttahs & Meyer Ingenieurgesellschaft mbH 2013)

- PS = Primärschlamm
- RSPW = Rücklaufschlamm-pumpwerk
- PSPW = Primärschlamm-pumpwerk
- RS = Rücklaufschlamm
- IW-Pumpwerk = Industrierwasserpumpwerk
- SS = Sekundärschlamm
- ÜS = Überschussschlamm
- FäKa-Annahme = Fäkalien-Annahme
- ÜSPW = Überschussschlamm-pumpwerk

Abschließend lässt sich sagen, dass die Analyse eine Vielzahl an Einsparpotenzialen aufgedeckt hat. Die Ergebnisse zeigen an zahlreichen Stellen Optimierungsmöglichkeiten, die sich teilweise auf andere Kläranlagen übertragen lassen. Es empfiehlt sich eine regelmäßige Analyse der Energieverbräuche, da ein energieeffizienter Betrieb immer mehr an Bedeutung gewinnt. Nicht nur aus wirtschaftlichen, sondern vor allem aus klima- und geopolitischen Gründen.

Mikroskopische Untersuchung von Biofiltermaterial an Schweinemastanlagen

Gianina Edilia Ramos Pazce B.Eng.

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

Datum des Kolloquiums: 19. Mai 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: LIUTECH ING.-GmbH



Bei dieser Abschlussarbeit handelt es sich um die mikroskopische Untersuchung von Biofiltermaterial von Abluftreinigungsverfahren. Das Verfahren wird in der Landwirtschaft an Mastschweineanlagen betrieben, um störende Gerüche zu mindern. Es wurde das Biofiltermaterial von sechs Mastschweineanlagen untersucht, indem die Mikroorganismen qualitativ auf Gattungsebene bestimmt und quantitativ die Zellzahlen ermittelt wurden. Nach der Probenahme wurden die Mikroorganismen (insbesondere Protozoen) unter dem Lichtmikroskop anhand der Größe, der Form und der Bewegung bestimmt. Nach der Probenahme wurden die Mikroorganismen (insbesondere Protozoen) unter dem Lichtmikroskop. Aus der Untersuchung konnte man feststellen, dass die gefundene Mikrobiologie ähnlich wie in anderen Reinigungsverfahren, wie der Abwasserbehandlung waren. Die gewonnenen Erkenntnisse können ggf. auf andere biologische Abluftreinigungssysteme übertragen werden.

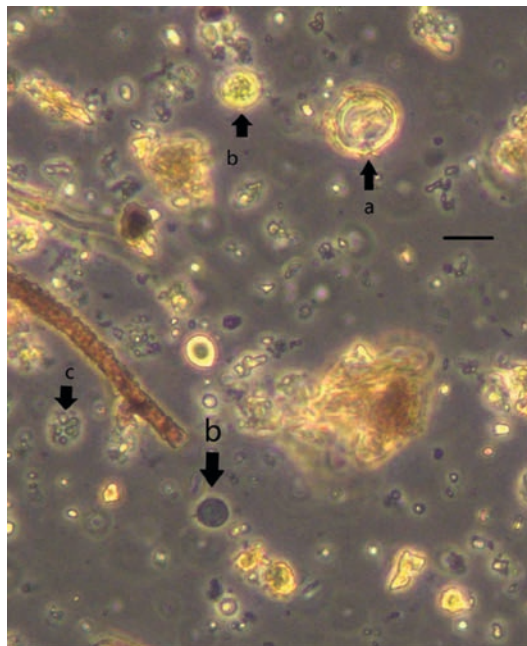


Abb1: Mikroskopisches Bild Schalenamöbe (a,b) Nacktamöbe (c)

Untersuchung der Sedimentation von Partikeln zur Behandlung von Niederschlagswasserzuflüssen in Baumrigolen

Pascal Rensing B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning

Zweitprüfer: Nils Siering B.Eng.

Datum des Kolloquiums: 22. August 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

Laborbereich: Technikum für Stadthydrologie und Wasserversorgung



Durch die klimatischen Veränderungen der Erde kommt es besonders in urbanen Räumen zu Problemen. Die Winter werden kürzer und Wetterextreme nehmen zu. Gerade anhaltende Hitzewellen treffen Städte stark. Deshalb benötigt es unter anderem ein Konzept zur Reduzierung von der Hitzeansammlungen im urbanen Raum. Die Idee ist ein Bewässerungsspeicher für Bäume, welcher von Niederschlagszuflüssen gespeist werden soll.

Niederschlagszuflüsse beinhalten eine Ansammlung von verschiedenen Schadstoffen, die vom Ursprungsort der Abflussfläche variabel sein können. Besonders Verkehrs- und Dachflächen sind stark belastete Herkunftsflächen von Stoffen, wie zum Beispiel Staub, Schwermetalle, Straßen- und Fahrzeugabrieb. Einige dieser Spurenstoffe binden sich an die AFS-Partikel, weshalb die AFS-Partikel als Referenzparameter bewertet werden.

Die Abtrennung der AFS-Partikel, soll in dem Bewässerungsspeicher des Baumrigolentyps „ALVEUS“ der Firma Humbert GmbH untersucht werden. Dafür wurde Straßenkehrriecht zur Untersuchung herangezogen. Die Untersuchung wurde in Anlehnung an die Zulassungsgrundsätze des DIBts für Niederschlagswasserbehandlungsanlagen durchgeführt.

Die Sedimentationsleistung des Bewässerungsspeichers weist bei einem Volumenstrom in der Zuflussleitung von 0,05 l/s sowie 0,12 l/s einen Partikelrückhalt von etwa 68% nach. Der Volumenstrom in der Zuflussleitung von 0,5 l/s weist lediglich ein Partikelrückhalt von etwa 43 % nach. Das Merkblatt DWA-M 179 fordert einen Partikelrückhalt von mindestens 63 % je nach Flächenkategorie. Demnach müsste eine Nachbehandlung des Überfallwassers für den letzten Volumenstrom von 0,5 l/s erfolgen. Außerdem ist der Partikelaustrag bei einer Remobilisierung nicht außer Acht zu lassen. Die Untersuchung dafür zeigte, dass größtenteils die Feinfraktionierung der Korngrößen zwischen 15 µm und 45 µm remobilisiert wurden. Die Konzentration des Stoffaustrages lag hier in Bezug auf die Zulaufkonzentration von Leitungswasser bei etwa 13,55 mg/l.

Vereinfacht kann gesagt werden, dass der Partikelrückhalt bei höherem Volumenstrom deutlich sinkt, sodass eine Behandlung mittels Filtereinsatz sekundär geschaltet werden müsste. Zudem müssen nachfolgend weitere Untersuchungen

von anderen Stoffen, beispielsweise Schwermetallen, erfolgen. Im Hinblick auf den Gewässerschutz ist die Inbetriebnahme der Baumrigole wahrscheinlich ohne die genannten weiteren Untersuchungen nicht zulässig.

Des Weiteren war ein exaktes Austarieren des Bewässerungsspeichers kaum möglich, sodass die Ablaufkanten der Ablauffläche C und D am meisten aktiv waren. Da außerdem eine große Oberflächenspannung an den Überfallkanten zu beobachten war, wäre eine Umgestaltung der Überfallkante denkbar.

Lennart Rüschemschmidt M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Franz-Peter Schmicke
 Zweitprüfer: Prof. Dr.-Ing. Andreas Böker

Datum des Kolloquiums: 11. Oktober 2022

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



Ziel dieser Arbeit war es verschiedene Einsatzgebiete und Einsatzmöglichkeiten von bifazialen Photovoltaikmodulen zu untersuchen und vorzustellen. Es wurde gezeigt, dass der Einsatz von bifazialen Modulen im Laufe der Jahre wirtschaftlicher geworden ist. Dies liegt an der immer günstiger werdenden Produktion der Module. So dass die Kosten für bifaziale Module an die Kosten der monofazialen Module immer näher heranrücken. Nach Prognosen werden bifaziale Module den Markt der Photovoltaik im Laufe der Jahre übernehmen.

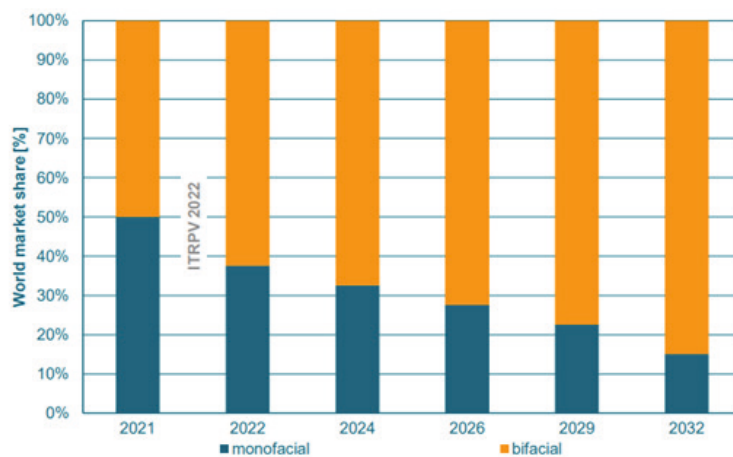


Abb1: Verteilung mono- und bifacialer Solarmodule

Schon seit 1974 sind bifaziale Module in der Weltraumforschung auf der Internationalen Raumstation, aufgrund verschiedener Vorteile, im Einsatz. Aus diesem Grund werden diese weiterhin auf der ISS betrieben. Selbst bifaziale Schallschutzwände sind in mehreren Pilotprojekten im Einsatz und es wird dabei positive Resonanz gezogen, da bestehende Infrastruktur genutzt werden kann und keine zusätzlichen Flächen benötigt werden.

Ein Flachdachgebäude wurde mittels Software mit verschiedenen Szenarien durchgerechnet. Aufgrund des Flachdachgebäudes konnten Neigungswinkel besser in die Berechnung einfließen und zugleich eine Optimierung für weitere Verbesserungen der Wirtschaftlichkeit angegeben werden.

Da die Albedo entscheidend für höhere Erträge bei bifazialen Modulen ist, wurde die Berechnungen jeweils mit einer Albedo von 0,15 und 0,6 durchgeführt und diese miteinander verglichen. Dabei konnte vor allem die senkrechte Aufstellung auf dem Flachdach überzeugen. Andere Aufstellungen sind bei der Berechnung nur bei einer höheren Albedo im Gegensatz zur (optimalen) monofazialen Ost/West-Ausrichtung vorteilhaft.

Als weitere Einsatzmöglichkeit wurde die Agrophotovoltaik thematisiert, bei der mehrere Beispielanlagen mit unterschiedlichen Aufstellungen und Einsatzgebieten erläutert wurden und als Ergebnis eine verbesserte Flächennutzung gegenüber Freiflächenanlagen hervorbringen.

Aber auch für den Einsatz als Solarzaun aus bifazialen Modulen gibt es unterschiedliche Möglichkeiten für die Aufstellung. So zum Beispiel für Viehweiden, zur Einfriedung von Hühnern oder als Sichtschutzzaun im eigenen Garten. Dazu wurden unterschiedliche Berechnungen geliefert. Auch um den Sichtschutzzaun mit einer Dachanlage zu vergleichen. Der Einsatz als Solarzaun bietet zudem den Vorteil der Amortisation, da eine Amortisation eines Zauns ohne Module nicht vorhanden ist. Bei einem Solarzaun können Einspeisevergütung oder die Nutzung des eigens produzierten Stroms und damit der Senkung des Bezugs aus dem öffentlichen Stromnetz. Strombedarfs dafür sorgen, dass dieser sich selbst amortisiert. Der Einsatz als Überdachung wurde als weitere Einsatzmöglichkeit thematisiert. Zum Beispiel für das Carport, einen Elektroauto-Schnellladepark oder als Terrassenüberdachung am Einfamilienhaus. Mit einer Beispielrechnung konnte ermittelt werden, inwieweit der Einsatz als Überdachung sich lohnt. Als letztes Einsatzgebiet wurde die Fassadenkonstruktion angesprochen, die bei bifazialen Modulen an mehreren Stellen genutzt wird. Auch an dieser Stelle konnten mehrere Vorteile, die durch die Photovoltaikmodule entstehen, aufgezeigt werden.

Es konnten aber auch noch weitere Vorteile von bifazialen Modulen gegenüber monofazialen Modulen beleuchtet werden. Darunter zum Beispiel der Einsatz in schneereichen Regionen aufgrund der hohen Albedo durch den auf dem Boden liegenden Schnee. Außerdem die Verringerung des Speicherbedarfs aufgrund von bifazialen Modulen im Stromnetz. Dabei wurde erklärt, dass bifaziale Module aufgrund des veränderten Leistungsverlaufs gegenüber monofazialen Anlagen, keine Leistungsspitze in der Mittagszeit besitzen und das Netz zu dieser Zeit nicht weiter belasten. Dabei ist jedoch eine Spitze am Morgen und eine am Abend vorhanden. Durch die Kombination aus beiden Modularten (bifazial / monofazial) ergeben sich somit verbesserte Verläufe an das allgemeine Lastprofil des Stromnetzes.

Vehicle-2-X - Potenzialanalyse bidirektionaler Ladekonzepte am Beispiel eines Unternehmens

Hendrik Schmeinck M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann

Zweitprüfer: Marvin Mertens M.Sc.

Datum des Kolloquiums: 29. September 2022

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

in Kooperation mit: energielenker service GmbH



In den vergangenen zehn Jahren ist der Bestand an Elektrofahrzeugen in Deutschland von rund 4500 auf 618500 Fahrzeuge angewachsen. Zusammen mit Plug-in Hybriden übersteigt der gesamte Speicherinhalt aller deutschen Elektroautos damit bereits heute den Speicherinhalt aller Pumpspeicherkraftwerke in Deutschland.

Gleichzeitig erfordert der Ausbau volatiler regenerativer Kraftwerke im Rahmen der Energiewende mehr Flexibilität im Stromsystem. Bisher werden Lastschwankungen im Laufe eines Tages zu großen Teilen durch Gaskraftwerke ausgeglichen. Diese emittieren zwar weniger Treibhausgase als andere fossile Kraftwerke, müssen zur Erreichung der Klimaziele dennoch auch mittelfristig durch klimaneutrale Alternativen ersetzt werden. Zusätzlich führt ihr Einsatz durch die gegenwärtige Energiekrise und den Ausfall russischer Gaslieferungen zu deutlich steigenden Strompreisen.

Ein Weg, Gaskraftwerke zu ersetzen und die Flexibilitäten im Stromsystem zu erhöhen, kann in Zukunft die Nutzung der Speicher von Elektrofahrzeugen durch bidirektionales Laden bzw. Vehicle-to-Everything (V2X) sein.

Bisher läuft der Energiefluss in die Fahrzeuge in der Regel unidirektional, sodass die in den Fahrzeugen gespeicherte Energie ausschließlich für Mobilitätszwecke eingesetzt werden kann. In der jüngsten Vergangenheit wird jedoch auch die Umsetzung von V2X-Ladekonzepten, bei denen die Energie aus den Fahrzeugen auch wieder ausgespeist werden kann und in Form von Strom für andere Zwecke zur Verfügung steht, immer konkreter. Ziel dieser Arbeit war es, Potenziale bidirektionaler Ladekonzepte für Fahrzeugflotten aus der Sicht eines Ladestationsbetreibers zu ermitteln und aus diesen neue Geschäftsmodelle zu entwickeln. Gleichzeitig wurden aber auch Hürden aufgezeigt, die vor der Umsetzung bidirektionaler Ladekonzepte zu überwinden sind.

Dazu diente in dieser Arbeit die Fahrzeugflotte der Konzernzentrale der Jungheinrich AG als Beispiel und Datengrundlage. Die Firma Jungheinrich ist in weltweit 40 Ländern mit mehr als 18000 Mitarbeitern im Bereich der Intralogistik tätig. Der Stammsitz befindet sich in Hamburg und wurde in zwei Etappen in den Jahren 2015 und 2020 neu errichtet. Seit dem 05. Juli 2021 ist auf einem der Parkplätze der Konzernzentrale ein eigener Ladepark mit insgesamt 38 Ladepunkten

im Einsatz, der von energielenker geplant wurde und betrieben wird. In den ersten Kapiteln der Arbeit wurde hergeleitet, dass eine genauere Betrachtung des Einsatzes der Flexibilitätsoptionen der Fahrzeuge zur

- Spitzenlastkappung sowie
- zum Handel am Intraday-Continuous Markt und an
- den Märkten für positive und negative Sekundärregelarbeit am sinnvollsten ist.

Auch der Einsatz zur Erhöhung des Eigenverbrauchs oder zur optimierten Vermarktung von Strom aus eigenen regenerativen Erzeugungsanlagen wurde als erfolgversprechend erachtet.

Zur Ermittlung der Potenziale wurden in der Arbeit Vergangenheitsdaten eines ganzen Jahres vom 05. Juli 2021 bis zum 04. Juli 2022 genutzt, auf die die Rahmenbedingungen bidirektionaler Ladekonzepte angewendet wurden. Dazu wurde ein Python basierter Algorithmus geschrieben, der in minutengenaue Auflösung auf den Zustand der Fahrzeuge, die Lastdaten der Liegenschaft und Marktdaten reagiert.

Die Ergebnisse der Potenzialanalyse zeigen, dass der Einsatz von Fahrzeugflotten zur Kappung von Spitzenlasten den höchsten Vorteil bietet. Bereits mit einer Fahrzeugflotte in der aktuellen Größe konnten im betrachteten Beispiel durch den Einsatz der Spitzenlastkappung signifikante Einsparungen des leistungsabhängigen Strompreises erzielt werden. Gleichzeitig ist die Spitzenlastkappung im Gegensatz zu den Alternativen mit dem geringsten bürokratischen Aufwand verbunden. Steht die Ladeinfrastruktur jedoch auch anderen Fahrzeugen als der Fahrzeugflotte offen, können vor allem auch die Bereitstellung von positiven Regelreserven dazu beitragen, die Flexibilitätsoptionen angeschlossener Fahrzeuge gewinnbringend zu vermarkten.

Insgesamt zeigt sich allerdings auch, dass trotz der jüngsten Gesetzesnovellen im Bereich der Energiewirtschaft Unklarheiten zur rechtlichen Einordnung von bidirektionalen Ladekonzepten weiterhin ein Hemmnis für die Umsetzung entsprechender Ladekonzepte bleiben. Ebenso fehlen bislang umsetzungsfähige Konzepte der Fahrzeug- und Ladestationshersteller.

Herstellung von grünem Wasserstoff auf Kläranlagen am Beispiel der Kläranlage Bremen Seehausen

Michelle Schwenker M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums: 17. August 2022
Master-Studiengang: Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit: hanseWasser



Die vorliegende Arbeit geht der Frage nach, welche Möglichkeiten dem Betreiber (hanseWasser Bremen) der Kläranlage Bremen Seehausen (KAS) zur grünen Wasserstoffproduktion zur Verfügung stehen und welche Technologien kurzfristig umgesetzt werden könnten. Die mögliche Alternative wird wirtschaftlich bewertet. Ferner wird überprüft, ob das Faulgas durch eine Methanisierung eine ökonomischere Alternative zur Faulgasaufbereitung darstellt. Folgende Leitfragen wurden in dieser Arbeit beantwortet:

- Welche Wasserstoffherstellungsverfahren eignen sich zur grünen Wasserstoffproduktion und sind derzeit marktfähig?
- Welche Technologien eignen sich für die grüne Wasserstoffproduktion am Klärwerk?
- Welches Potenzial zur Herstellung von Wasserstoff bietet das Klärwerk am Standort Seehausen?
- Welche Kosten fallen für die Errichtung und den Betrieb einer Wasserstoffproduktionsanlage an?
- Kann die Biomethanproduktion am Standort des Klärwerks ökonomischer durchgeführt werden, als eine Faulgasaufbereitung zu Biomethan?

Wasserstoff lässt sich durch Umwandlung der Kohlenwasserstoffe im Faulgas in thermochemischen und biologischen Verfahren oder durch wasserelektrolytische Verfahren erzeugen. Die verschiedenen Technologien zur Wasserstoffherzeugung wurden mit Praxisbeispielen auf Kläranlagen vorgestellt. Unter der Bedingung, dass der Wasserstoff grün sein soll und unter der Bedingung eines technologischen Reifegrades der Verfahren von mindestens TRL (Technology readiness level) 6 ist die Wasserstoffelektrolyse derzeit die verbreitetste Methode. Zur Ermittlung der LCOH (levelised cost of hydrogen H₂) wurde daher die elektrolytische Wasserstoffherzeugung mit der Protonen-Exchange-Membran-Elektrolyse (PEMEL) verglichen. Durch eine Simulation der Lastgänge mit verschiedenen PEMEL-Anlagen wurde die Produktionskapazität des Standortes der Kläranlage Seehausen ermittelt. Bei Nutzung des überschüssig erzeugten Stroms am Standort könnten jährlich bis zu 103 Tonnen Wasserstoff produziert werden. Nach der Auswahl einer geeigneten Elektrolyseurgröße zur Deckung des Wasserstoffbedarfs der derzeit mit Diesel betriebenen Kanalspülfahrzeuge wurden die LCOH von 9,87 EUR/kg H₂ bei Verwendung des überschüssig erzeugten Stroms und von 10,42 EUR/kg H₂ bei einem Dauerbetrieb des Elektrolyseurs ermittelt.

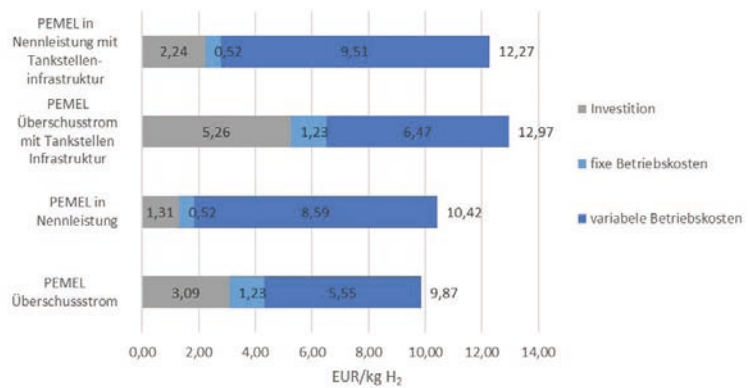


Abb1: LCOH der verschiedenen Konzepte

Um die Wasserstoffgestehungskosten im Verhältnis zur Erdgasproduktion und -netzeinspeisung zu setzen, wurde außerdem die LCOE für die Faulgasaufbereitung und die Methanisierung ermittelt. Dazu wurden reale Anlagendaten zweier Projekte herangezogen. Für die Faulgasaufbereitung wurden die Auslegungsdaten und Kostenprognose für die Gasaufbereitung an der Kläranlage Köln-Stammheim verwendet. Für die Methanisierungsanlage wurden die Daten aus dem BioCat-Projekt in Dänemark verwendet. Die Biogasaufbereitung ist die kostengünstigste Methode mit 0,049 EUR/kWh, gefolgt von der PEMEL mit der Nutzung des Überschussstroms mit 0,278 EUR/kWh. Daran anschließend folgt die PEMEL im Dauerbetrieb mit LCOE von 0,305 EUR/kWh und die Wasserstoffherzeugung mit anschließender Methanisierung mit LCOE von 1,223 EUR/kWh.

Erarbeitung einer Verfahrenskombination zur wirtschaftlichen Behandlung von Gärresten aus der Lebensmittelindustrie

Joshua Steinigeweg M.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter
Zweitprüfer: Dr.-Ing. Elmar Brüggling
Datum des Kolloquiums: 9. August 2022
Master-Studiengang: Technisches Management in der Umwelttechnik
in Kooperation mit: PreZero Bioenergie Münsterland GmbH & Co.KG



Durch eine gesetzliche Beschränkung der Ausbringung von Nährstoffen, wie beispielsweise Stickstoff (N), in belasteten Regionen, wird ein Export von Gärresten in Regionen mit einem Nährstoffbedarf notwendig. Aufgrund von hohen Transportkosten gewinnt eine Aufbereitung, bei der Nährstoffe in Teilströmen aufkonzentriert werden, zunehmend an Bedeutung.

Das Ziel der vorliegenden Masterarbeit war es, die Kosten und den Transportaufwand für den anfallenden Gärrest der Firma PreZero Bioenergie Münsterland GmbH & Co. KG zu reduzieren. Dies kann durch eine Aufkonzentrierung des CSB und der Nährstoffe N und P in Teilfraktionen erreicht werden. Dazu wurden das BioEcoSim-Verfahren, entwickelt durch Fraunhofer IGB, und eine Verfahrenskombination aus Zentrifugation in Kombination mit polymerem Flockungsmittel, Ultrafiltration und Strippung untersucht. Anschließend sind Nährstoffbilanzen aufgestellt worden, die Versuchsergebnisse mit Daten aus der Literatur und die Abgabe der aufbereiteten flüssigen Phase an eine Abwasserreinigungsanlage betrachtet worden.

Aufgrund von großer Schaumentwicklung in der ersten Stufe des BioEcoSim-Verfahrens war es nicht möglich, Ergebnisse zu erzielen. Mit der Verfahrenskombination aus Dekanter-Zentrifuge in Kombination mit polymerem Flockungsmittel, Ultrafiltration und Strippung konnten für die Parameter CSB und N die Indirekteinleitungsanforderungen der Stadt Greven erreicht werden. Im Ablauf der Strippung überschritt die Konzentration von Phosphor (P) den zulässigen Wert um mehr als das Vierfache. Hier sollte geprüft werden, ob individuelle Vereinbarungen mit der Stadt Greven getroffen werden können.

Die Zentrifugation mit polymeren Flockungsmitteln (pFM) führte zu einer überproportionalen Abtrennung von P (76 %) und des chemischen Sauerstoffbedarfes (CSB-Gehalt) (50 %) in die feste Phase. Nach der Ultrafiltration betrug die CSB Konzentration 1,333 mg/l, was einer Reduktion von ca. 97 % im Vergleich zum Ausgangsmaterial der Verfahrenskette entspricht. Bis auf NH₄-N und K₂O konnten auch die weiteren analysierten Parameter im Retentat der Ultrafiltration aufkonzentriert werden. Da nach der Ultrafiltration die Konzentration von N ges. im Wesentlichen derjenigen von NH₄-N entspricht, konnten durch die Strippung die Konzentration von N ges. um ca. 96 % reduziert werden und die Indirekteinleitungsanforderungen für N ges. erreicht werden, wie Abb. 1 zeigt.

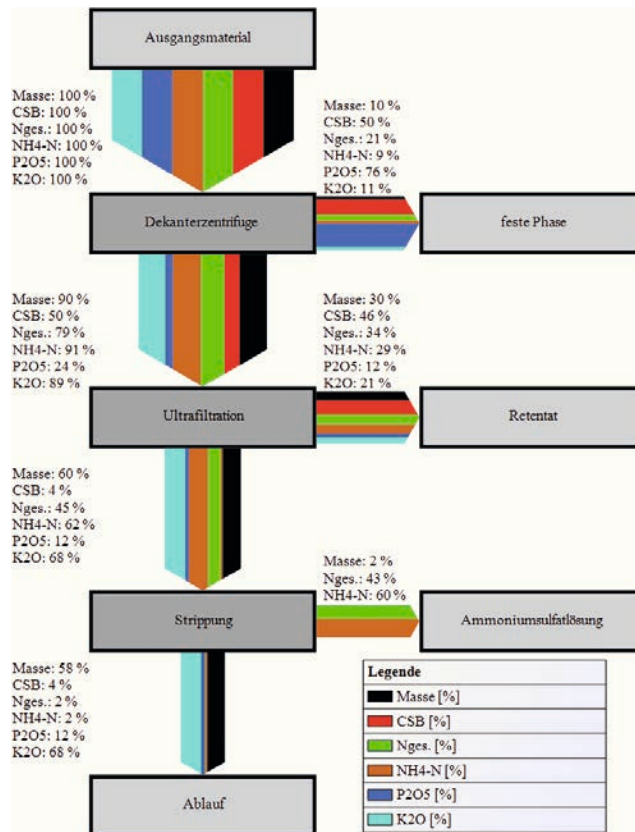


Abb 1: Sankeydiagramm der Massenauflistung der Parameter Chemischer Sauerstoffbedarf (CSB), Gesamtstickstoff (N ges.), Ammoniumstickstoff (NH4-N), Phosphorpentoxid (P2O5) und Kaliumoxid (K2O)

Für die Verfahrenskette bestehend aus Dekanter-Zentrifuge in Kombination mit polymerem Flockungsmittel, Ultrafiltration und Strippung fallen unter der Annahme einer kostenneutralen Rückführung des Retentats aus der Ultrafiltration in den Zulauf der Dekanter-Zentrifuge inklusive der Abwassergebühren, des Starkverschmutzerzuschlages und der Schlammentsorgung spezifische Behandlungskosten in Höhe von mindestens 37,45 €/m³ an. Da die Verwertungskosten in der Landwirtschaft aktuell ca. 25 €/m³ betragen ist diese Verfahrenskombination wirtschaftlich betrachtet unvorteilhaft und sollte aktuell nicht weiterverfolgt werden. Allerdings sollte die zukünftige Entwicklung der landwirtschaftlichen Verwertungskosten des Gärrests genau beobachtet werden und gegebenenfalls eine erneute Betrachtung der Verfahrenskombination mit aktuellen Kosten für die Anschaffung, Betriebsmittel und Personal durchgeführt werden. Außerdem sollte die wirtschaftliche Betrachtung durch Angebote von Anlagenherstellern für die betrachtete Verfahrenskette konkretisiert werden.

Nach Analyse der Kostenstruktur hat sich herausgestellt, dass die Entsorgung der festen Phase aus der Zentrifugation mit spezifischen Entsorgungskosten in Höhe 13,50 €/m² aufgrund der hohen Kosten für die Verbrennung den größten Einzelkostenblock der Verfahrenskombination darstellt. Daher sollte überprüft werden, ob eine signifikante Kostenreduktion durch eine vorgeschaltete Feinseparation erreicht werden kann, da die feste Phase nicht mit polymerem Flockungsmittel belastet ist und somit landwirtschaftlich verwertet werden kann.

Technische Planung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage auf der Kranstellfläche einer Windenergieanlage - Beispiel Ekeler Wind

Corinna Ströthoff B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann
 Zweitprüfer: Prof. Dr. Helmut Grüning
 Datum des Kolloquiums: 15. August 2022
 Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

in Kooperation mit: BBWind Projektberatungsgesellschaft mbH



In dieser Bachelorarbeit wird die Nachrüstung einer Photovoltaik-Freiflächenanlage auf der Kranstellfläche einer bestehenden Windenergieanlage geplant. Ziel dieser Bachelorarbeit ist, die technische Realisierbarkeit des Projektes zu prüfen und eine Photovoltaik-Freiflächenanlage zu konzipieren, die die standortspezifischen Anforderungen erfüllt. Diese Arbeit erfolgt in Kooperation mit der BBWind Projektberatungsgesellschaft mbH aus Münster und Nils Karschuck, der in seiner Bachelorarbeit die Wirtschaftlichkeit dieses Projektes behandelt. Es wurden Technische Daten des Beispielprojektes Ekeler Wind für die Planung verwendet. Zur Lösungsfindung wurden Literatur, technische Anlagendatenblätter und Experteninterviews herangezogen.

Die Kranstellfläche kann durch die Nachrüstung einer Freiflächen-Photovoltaikanlage sinnvoll genutzt werden, weil sie während der Betriebszeit der Windenergieanlage frei ist und nur im Wartungs- oder Störfall für den Kran benötigt wird. Dies kommt ungefähr ein bis fünf Mal in einer Betriebszeit von 20-30 Jahren vor. Der produzierte Photovoltaikstrom soll den Betriebsstrombedarf der Windenergieanlage decken und der nicht durch WEA verbrauchte Strom soll in das Stromnetz eingespeist werden.



Abbi: Kranstellfläche der Beispiel-WEA mit PV-Modulen

Dabei ergibt sich durch die Kombination der Stromerzeugung von Photovoltaik und Windenergie eine stabilere resultierende Lastkurve für das öffentliche Stromnetz. Durch die Installation von großflächigen PV-Anlagen kann ein Beitrag zur Klimaneutralität von Deutschland geleistet werden. Bürokratische Hürden werden umgangen, denn dieses Projekt kann verfahrensfrei errichtet werden. Der Flächennutzungsdruck wird vermindert, da so das vorhandene Potenzial an Flächen für die Energieerzeugung voll ausgeschöpft wird.

Die Photovoltaik-Freiflächenanlage sollte aus rechtlichen sowie wirtschaftlichen Gründen eine Anlagengröße von 100 kW Peakleistung nicht überschreiten und ihre technischen Komponenten (PV-Module, Unterkonstruktion, Verkabelung, Wechselrichter, Messeinrichtungen, Monitoring) müssen standortbezogen ausgewählt werden. Glas-Folien-Module sollten ausgewählt werden, mit einer Leistung von 300-400 kW Peakleistung. Sie sollten in Ost-West-Ausrichtung installiert werden, um die Globalstrahlung im gesamten Tagesverlauf zu nutzen. Verschattungen durch die WEA spielen in diesem Projekt keine Rolle, da die PV-Module südlich der WEA liegen. Als Unterkonstruktion der PV-Anlage bieten sich Metallschienen an, welche auf dem Schotter der Kranstellfläche aufliegen. Diese werden mit Pflastersteinen beschwert oder besitzen Betonfüße, um den Windlasten standzuhalten. Voraussetzung für die Realisierbarkeit ist, dass die Unterkonstruktion sowie die PV-Module kurzfristig (innerhalb von ein paar Stunden bis zu einem Tag) durch ein Fachunternehmen demontiert werden können. Die Gleichstromkabel werden durch vorgefertigte Verbindungsstecker gekoppelt und an einen dreiphasigen Wechselrichter angeschlossen.

Dieser wandelt den Gleichstrom zu Wechselstrom um und sollte mehrere Regler für den optimalen Betriebspunkt besitzen, damit die Modulstränge optimale Leistungen weitergeben können. Ein Zentralwechselrichter eignet sich am besten, dieser kann entweder im Schaltschrank im Turmfuß der Windenergieanlage oder vor die Kompakttransformatorstation auf der Kranstellfläche angeschlossen werden. Die dezentrale Betriebsstromversorgung kann erfolgen.

Das Energiekabel der Windenergieanlage, welches die zusätzliche Leistung noch aufnehmen kann, leitet den Überschussstrom dann weiter über die Übergabestation in das öffentliche Stromnetz. Auf die Möglichkeit der Installation eines Energiespeichers wird in dieser Bachelorarbeit auch kurz hingewiesen. Komponenten zur Netz- und Anlagensicherheit sind für die Photovoltaik-Freiflächenanlage erforderlich und zum Einspeisemanagement muss ein Funkrundsteuerempfänger ohne Ist-Stromerfassung angeschlossen werden. Das in diesem Projekt favorisierte Strommesskonzept, bei dem die Strombezüge separat betrachtet werden können, ist die kaufmännisch bilanzielle Weitergabe. Im Anschluss an die begründete Komponentenauswahl wird ein Beispiel für eine mögliche Anlagenvariante dargestellt, die mithilfe der Software PVsol erstellt wurde. Ein Ausblick auf die besonderen Anforderungen an die Demontage, Wartung und die Kommunikation zwischen den Beteiligten ist ebenfalls in dieser Bachelorarbeit enthalten.

Dennis Tillenburg M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	M.Sc. Alexander Kerkenhoff
Datum des Kolloquiums:	7. März 2023
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
in Kooperation mit:	2G Energy AG



Eine hohe Verfügbarkeit, geringe Wartungskosten und eine lange Lebensdauer garantieren eine Wettbewerbsfähigkeit im Markt der Blockheizkraftwerke (BHKW). Um dies zu erreichen, bedienen sich Hersteller zunehmend der intelligenten sensorischen Überwachung ihrer Anlagen.

In dieser Arbeit wurde analysiert welche Schritte nötig sind, um dem Unternehmen 2G Energy AG einen Wechsel von den herkömmlichen präventiven Intervall-Wartungen, hin zur Zustandsorientierten Instandhaltung ihrer Blockheizkraftwerke zu ermöglichen.

Aktuelle Prozess- und Maschinenüberwachungssysteme beschränken sich auf das Erfassen von Messwerten außerhalb des zulässigen Toleranzbereichs, aus denen sich nur ein grundsätzlicher Handlungsbedarf ableiten lässt. Aus Sicherheitsgründen laufen Anlagen, welche mit diesen Überwachungssystemen ausgestattet sind, fernab ihrer Leistungsgrenze und werden in regelmäßigen, auf Lebensdauerberechnungen basierenden Wartungsintervallen gewartet. Lebensdauerberechnungen basieren jedoch in der Regel auf idealisierten Lastannahmen und bieten nicht die Möglichkeit, die Wartungshistorie und individuellen Besonderheiten einer Anlage zu berücksichtigen.

Im Unterschied hierzu werden bei einer bedarfsgerechten und Zustandsorientierten Instandhaltung aktuelle und vergangene Betriebszustände des Anlagenbetriebs mittels Sensorik aufgezeichnet und durch eine Analyseplattform ausgewertet. Dies geschieht mit dem Ziel, Komponentenzustände zu identifizieren und im Optimalfall eine Prognose zu deren Lebenserwartung abzugeben. 2G hat diesbezüglich bereits eine interne Analyseplattform ?Intelligent Report Information System? (I.R.I.S.) entwickelt. Mit Hilfe dieser wird es möglich sein, komplexe Systemzusammenhänge zu identifizieren und Abweichungen in empfangenen Messwerten einer bestimmten Komponente und Ursache zuzuordnen.

Bisweilen werden bei 2G Komponenten in Wartungsstufen zusammengefasst, dessen Wartung in regelmäßigen Abständen durchzuführen sind. Im Zuge dieser Arbeit wurden diese Wartungsstufen zerlegt und in kleinere zusammenhängende Pakete zusammengefasst. Dabei wurde die Möglichkeit zur Überwachung jeder Komponente und jedes Pakets untersucht. Anschließend wurde den Paketen ein Wert zugeteilt, welcher aus den enthaltenen Materialkosten und aufgebrachtten Arbeitsstunden ermittelt wird. Nach ausführlicher Analyse der vorhandenen Anlagenkomponenten und der Möglichkeit diese zu überwachen, wurde im

Rahmen dieser Arbeit ein Wartungsplaner und Kostenrechner erarbeitet und programmiert. Dieser ermöglicht es den Lebenszyklus eines, durch Zustandsorientierte Instandhaltung gewarteten, BHKW zu simulieren und Schlussfolgerungen zu dessen Wirtschaftlichkeit zu treffen.

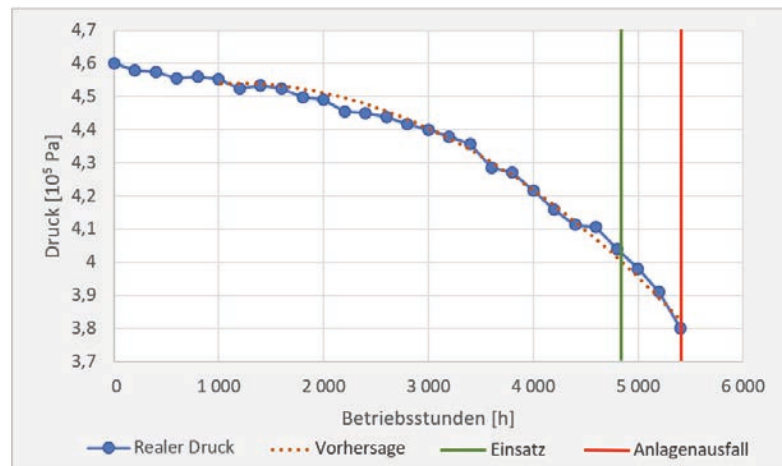


Abb 1: Wechsel eines Ölfilters vor Erreichen des maximal zulässigen Differenzdrucks anhand einer vorausschauenden Zustandsorientierten Instandhaltung

Durch eine Implementation von Zustandsorientierter Instandhaltung bei 2G Energy AG lassen sich, laut eigens für diese Ausarbeitung entworfenen Wartungskostenrechners, die Wartungskosten eines BHKW reduzieren. Darüber hinaus ist es möglich, aufgrund der ausführlichen Überwachung und Auswertung des Anlagenzustandes, Abweichungen vom Normalbetrieb frühzeitig zu erkennen. Es können damit Probleme beim Anlagenbetrieb frühzeitig erkannt und behoben werden, bevor es zu möglichen Schäden und Anlagenausfällen kommen kann.

Das Potenzial eine Zustandsorientierter Instandhaltung bei 2G Energy AG zu implementieren ist vorhanden. Es müssen im nächsten Schritt zusätzliche Sensorik verbaut und softwaretechnische Lösungsvorschläge erarbeitet werden. Im Anschluss folgen mehrjährige Versuchsreihen mit einigen Anlagen, bei denen die für die Vertriebe nötigen Daten erfasst und Erfahrungen gewonnen werden.

Technische und wirtschaftliche Umsetzbarkeit eines mobilen Blockheizkraftwerkes für die Optimierung der Wärmeversorgung öffentlicher Schwimmbäder mit angrenzenden Liegenschaften

Jens Vahl M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. Peter Vennemann
Zweitprüfer:	Daniel Kollbach MBA & Eng., M.Eng.
Datum des Kolloquiums:	01. Juni 2022
Master-Studiengang:	Technisches Management in der Energietechnik
Studienrichtung:	Energietechnik
in Kooperation mit:	Stadtwerke Schüttorf Emsbüren GmbH



Für die Gesellschaft des 21. Jahrhunderts ist Reduzierung der Treibhausgasemissionen eine der größten Herausforderungen. Die deutsche Bundesregierung hat hierfür am 9. Oktober 2019 das Klimaschutzprogramm 2030 beschlossen. Mit diesem Klimaschutzprogramm soll erreicht werden, dass Deutschland bis 2030 55 % weniger Treibhausgase im Vergleich zum Referenzjahr 1990 emittiert. Der 19. Bundestag hat am 24. Juni 2021 die Klimaschutznovelle beschlossen. Dabei wurde das Minderungsziel von 55 % auf 65 % erhöht. Davon betroffen sind neben den Sektoren Energiewirtschaft, Landwirtschaft, Verkehr und Industrie auch der Gebäudesektor. Für Letzteren resultiert aus den Anforderungen eine Einsparung von aktuell 120 auf höchstens 67 Millionen Tonnen emittiertes Kohlendioxid (CO₂) pro Jahr. Um das Ziel von 65 % zu erreichen, werden vermehrt für den Gebäudesektor Erneuerungen von Heizungsanlagen, steuerliche Förderungen energetischer Gebäudesanierungen und Energieberatungen von dem Bundeswirtschaftsministerium angeboten.

Das Ziel dieser Masterthesis war es zu bestimmen, inwiefern sich die derzeitigen Ist-Zustände des Blockheizkraftwerkes (BHKW) am Hallenbad, das dadurch versorgte Nahwärmenetz und die Wärmeerzeugungsanlagen im Freibad optimieren lassen. Dabei sollte die wirtschaftliche Beurteilung der technischen Optimierungen soll in Form von dynamischen und statischen Investitionsberechnungen begutachtet werden.

Zur Erfüllung des Zieles wurde zunächst von allen Systemkomponenten der Ist-Zustand ermittelt und dokumentiert. Darauf aufbauend die technischen Optimierungen ausgearbeitet. Diese sollten die bestehenden Anlagen effizienter arbeiten lassen und im Optimalfall die Freibadsaison verlängern. Außerdem wurde untersucht, welcher technische Aufwand notwendig ist, die Beckenwassertemperatur des Freibades während der gesamten Saison auf 24 °C zu halten.

Aktuell betreiben die Stadtwerke Schüttorf Emsbüren GmbH (SWSE) zwei Blockheizkraftwerke. Die Stadtwerke verfolgen den Ansatz, ihre Versorgungsnetze und technischen Anlagen im Versorgungsnetz ständig weiterzuentwickeln. Deswegen soll das über 40 Jahre alte Nahwärmenetz am Hallenbad optimiert werden. Zusätzlich sollen die Wärmeversorgungsanlagen für das Nahwärmenetz am Hallenbad und des Freibads effektiver gestaltet werden. Im Freibad wurden in den letzten Jahren viele Umbauten umgesetzt. Dabei wurden die Heizungs-

und Brauchwarmwasseranlagen nicht berücksichtigt. Die Folge ist, dass gerade in den Monaten Mai und September die gewünschten Beckenwassertemperaturen nicht mehr erreicht werden können. Im Rahmen dieser Masterthesis wurden zudem die Optimierung des am Hallenbad der Stadt Schüttorf befindlichen BHKWs überprüft. Ein erster Vorschlag seitens der Stadtwerke war es, ein mobiles BHKW zu erwerben. In den Wintermonaten soll das BHKW beim Hallenbad und in den Sommermonaten beim Freibad betrieben werden. Beide Standorte trennen ungefähr einen Kilometer Luftlinie. Auch die Erweiterung des bestehenden Nahwärmenetzes und eine nächtliche Abdeckung des Freibadbeckens waren Bestandteile dieser Masterthesis. Um die genannten technische Optimierungen auszuarbeiten zu können, wurden Lastgänge bzw. geordnete Dauerlinien für die Wärmeabnahme der einzelnen Verbraucher erstellt. Im Freibad werden dazu hauptsächlich Wetterdaten und im Nahwärmenetz Zählerstände verwendet.

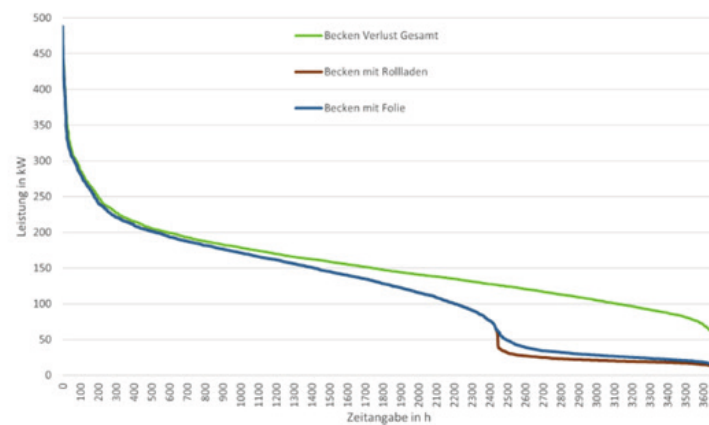


Abb1: Dauerlinien für die Wärmeabnahme der einzelnen Verbraucher

Mit Hilfe der Dauerlinien wurde zunächst bestimmt, welchen Anteil die jeweiligen Wärmeaggregate an der Deckung des Wärmebedarfs haben. Aufbauend darauf wurden die Optimierungen ausgearbeitet. Unter anderem floss auch ein mobiles BHKW mit in die Betrachtung ein.

Die Optimierung des vorhandenen BHKWs am Hallenbad ist zurzeit nicht notwendig. Das mitversorgte Nahwärmenetz sollte zunächst digitalisiert werden, damit ein umfangreiches Monitoring durchgeführt werden kann. Eine nächtliche Folien-Abdeckung des Freibades ist aufgrund der Einsparungen an Wärme technisch und wirtschaftlich zielführend. Der Einsatz eines mobilen Blockheizkraftwerkes ist aus technischer Sicht umsetzbar, wenn an beiden Standorten ausreichend Wärme und Strom abgenommen wird. Wirtschaftlich wird auf Grund der kalkulatorischen Zinsen ein Verlust verzeichnet. Sollten die kalkulatorischen Zinsen von aktuell fünf Prozent auf vier Prozent verringert werden können, kann ein Gewinn erzielt werden.

Skalierbare Kartierung von Verkehrsgeräuschen auf Basis öffentlich zugänglicher Daten mit dem Open-Source-Tool NoiseModelling

Fiona Wagenknecht M.Eng.

Erstprüfer:	Prof. Dr. rer. nat. Isabelle Franzen-Reuter
Zweitprüfer:	Dr. Jannik Hüls
Datum des Kolloquiums:	5. Dezember 2022
Master-Studiengang:	Master Energie · Gebäude · Umwelt in der Umwelttechnik



Anhand eines Fallbeispiels sollte die skalierbare Erstellung von Verkehrslärmkarten auf der Grundlage von öffentlich zugänglichen Daten und mit dem Open-Source-Tool NoiseModelling gezeigt werden.

NoiseModelling ist ein Projekt zur vereinfachten Implementierung von Umgebungslärmkarten und basiert auf einem europa-weit einheitlichen Berechnungsverfahren. Die Kartierung von Umgebungslärm basierend auf numerischen Berechnungen benötigt eine Menge an Informationen bezüglich des zu untersuchenden Gebiets. Es werden beispielsweise Daten über das Straßennetz einschließlich der Geschwindigkeiten und dem Verkehrsfluss für jeden Straßenabschnitt benötigt. Da öffentlich zugängliche Daten oft eine schlechte Datenqualität aufweisen, ist die Integration von Open Data in Modelling-Tools eine langwierige, komplexe Aufgabe. Dafür wurde mit der Programmiersprache Python ein Programm geschrieben, welches die Daten aufbereitet sowie die Verkehrslärmbeurteilung mithilfe der von NoiseModelling implementierten Funktionen durchführt.

Der Anwendungsfall führt zu dem Ergebnis (siehe Abb. 1), dass die Kartierung des Straßenlärms unter den gegebenen Rahmenbedingungen funktioniert. Darüber hinaus wurde durch das entwickelte Programm ein Effizienzgewinn bei der Erstellung der Karten erzielt und auch die Skalierung der Kartierung ist möglich, sodass dieses Programm beispielsweise auf ganz Nordrhein-Westfalen oder Deutschland anwendbar ist, solange die Rahmenbedingungen stimmen. Es muss berücksichtigt werden, dass sich diese Arbeit nur mit der Kartierung von Verkehrslärm befasst und andere Lärmquellen vernachlässigt.

Das Programm kann durch zahlreiche Erweiterungen verbessert werden. Beispielsweise könnte die Kartierung auf den gesamten Umgebungslärm, wie Schienenverkehrs- und Fluglärm ausgeweitet werden und im nächsten Schritt auf andere umweltrelevante Emissionen, wie Feinstaub, Stickoxid oder Treibhausgase.

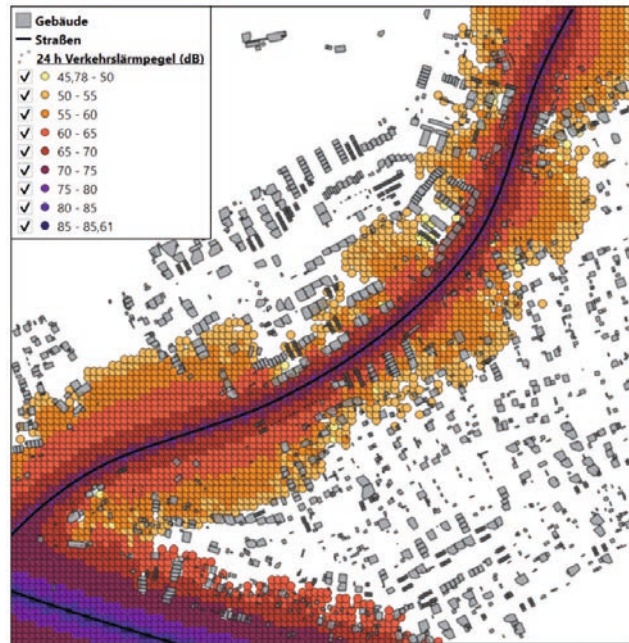


Abb1: Verkehrslärmkarte, die mithilfe des entwickelten Programmes erzeugt wurde

Bewertung des Regenklärbeckens Hessenbusch durch systematische Analyse von Betriebsdaten und Bemessungsgrößen

Sophia Wenning B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Helmut Grüning

Zweitprüfer: Dr.-Ing. Malte Henrichs

Datum des Kolloquiums: 13. Februar 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieurin der Umwelttechnik

in Kooperation mit: Amt für Mobilität und Tiefbau - Hauptkläranlage Münster



Obwohl Regenwasser häufig unbedenklich in ein Gewässer eingeleitet werden kann, sind besonders in stark bebauten und industriell genutzten Gegenden oder bei besonders empfindlichen Ökosystemen Maßnahmen zum gezielten Stoffrückhalt notwendig. Eine solche Maßnahme ist der Einsatz eines Regenklärbeckens. Ein Regenklärbecken ist ein Absetzbecken mit integrierter Leichtstoffabscheidung, das ausschließlich für verschmutztes Regenwasser in Trennsystemen angewendet wird.

Anforderungen an diese Becken ändern sich dabei auf Grundlage von neuen Erkenntnissen stetig. Das Arbeitsblatt DWA-A 102 stellt hierzu ein neues Regelwerk bezüglich der Anforderungen und Einleitungsbedingungen.

Das Ziel der vorliegenden Bachelorthesis war die Bewertung des Regenklärbeckens Hessenbusch durch systematische Analyse von Betriebsdaten und Bemessungsgrößen. Dazu wurden die neuen Anforderungen besonders in Bezug auf maßgebliche Bemessungsgrößen herausgearbeitet und der aktuelle Zustand und Betriebsweise des RKB Hessenbusch durch verschiedene Methoden überprüft.

Die Bachelorarbeit beginnt in Kapitel 2 mit dem Stand der Technik, bezogen auf die Arten und Nutzung von Regenklärbecken. Außerdem werden die maßgeblichen einzuhaltenden Werte aus dem Regelwerk DWA-A 102 hervorgehoben. In Kapitel 3 werden die Techniken zur Datenerhebung bezüglich des Einzugsgebietes, der Füllstände im Becken und der stofflichen Zusammensetzung der Zuflüsse behandelt. Die Darstellung der vollständigen Regenkläranlage Hessenbusch wird in Kapitel 4 vorgenommen. Dabei werden die Bemessungssituation und dessen Hintergründe dargelegt. In Kapitel 5 werden die Ergebnisse der Untersuchungen aus Kapitel 3 mithilfe von Diagrammen, Tabellen und Abbildungen dargestellt. Daraus werden die Zusammenhänge zwischen den jeweiligen Bauwerkskomponenten der Regenbehandlungsanlage hergestellt und die betrieblichen Anforderungen und Herausforderungen für das Regenklärbecken herausgearbeitet. In Kapitel 6 erfolgt die Zusammenfassung dieser Arbeit unter Einbezug der für die Struktur des Regenklärbeckens wichtigsten Parameter. Daran anschließend wird das Becken bewertet und Empfehlungen zum weiteren Betrieb der Anlage gegeben.

Aus den Ergebnissen lässt sich schließen, dass das Regenklärbecken zur Erfüllung der Anforderungen des aktualisierten Regelwerks DWA-A 102 sind einige Anpassungen notwendig.

So ist das Becken mit einer Oberflächenbeschickung von 10 m/h bemessen worden, während das Regelwerk 6 m/h vorgibt. Daraus resultiert, dass das RKB nach neuem Stand eine zu geringe Sedimentationswirkung hat. Das Speichervolumen und die Beckenoberfläche des RKB sind dafür zu gering. Dies wird durch den hohen Stoffabtrag von 358,6 kg/(ha*a), der durch die Bilanzierung des Stoffaufkommens bestimmt wurde, ebenfalls belegt. Die Reinigungsleistung des RKB von 25 % erwies sich als unzureichend, um den erlaubten Grenzwert von 280 kg/(ha*a) zu unterschreiten. Außerdem ist der erhöhte Phosphatgehalt von 0,9 mg/l, der bei der stofflichen Analyse gemessen wurde, für Regenwasser eher auffällig. Das SPW, die Leitungen zwischen den verschiedenen Bauwerken sowie der Ab- und Zulauf vom TBW unterliegen häufig einer Einstauung geringer Höhe. Dabei reichern sich absetzbare Partikel auf den Sohlen an, die in verschmutzten Spülstößen resultieren können, wenn ein entsprechend starkes Regenereignis auftritt.

Aus den Ergebnissen lässt sich also ableiten, dass die Bemessungsgrundlage des Regenklärbeckens aus 1984 zu veraltet ist und nicht mehr dem aktuellen Stand der Technik entspricht. Trotz Einstellung des Betriebes auf ein nicht ständig gefülltes Becken ist rein rechnerisch bereits nachgewiesen, dass die Auslegung des Beckens den Anforderungen des Industriegebietes in Bezug auf den Stoffrückhalt nicht entspricht. Deshalb sollten an der Regenwasserbehandlungsanlage in Zukunft einige Änderungen vorgenommen werden.

Batterierecycling - der Entsorgungsweg von Batterien - insbesondere Lithium-Ionen-Batterien - unter Umwelt- und Sicherheitsaspekten

Torsten Wiche B.Eng.

Erstprüfer: Prof. Dr. rer. nat. Hans-Detlef Römermann

Zweitprüfer: Prof. Dr. Peter Vennemann

Datum des Kolloquiums: 20. Januar 2023

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Umwelttechnik

Laborbereich: Labor Umwelttechnik (Wasserversorgung - Abwasser - Abfall - Immissionsschutz)



Die Menschheit macht sich zunehmend abhängig von elektrischer Energie. Für ihre lückenlose Verfügbarkeit war und ist die Stromspeicherung seit jeher ein entscheidender Faktor. Erst die Entwicklung von Batterien ermöglichte es, elektrisch betriebene Geräte und Fahrzeuge mobil nutzen zu können. Deren Aufbau und die verwendeten Materialien machten Batterien seit jeher umweltschädlich und damit auf eine gewisse Art und Weise auch gefährlich.

Ziel dieser Arbeit war es, die Leser/innen in die Lage zu versetzen, die ausgeprägte Abhängigkeit der Menschheit von der Batterietechnik und die damit verbundenen jetzigen und zukünftigen Herausforderungen und Probleme bei der Herstellung, beim Betrieb und bei der Entsorgung besser zu verstehen – insbesondere im Hinblick auf Umweltbelange und Recyclingstrategien.

Die Arbeit beschäftigt sich näher mit den Lithium-Ionen-Batterien (LIB) und deren spezifischen Eigenschaften und Eigenarten. Es wird erläutert, warum andere Batterietypen aktuell chancenlos gegenüber der Lithium-Ionen-Technik sind und welche Risiken das lithiumbasierte Batterie-Handling in sich birgt – gerade in Bezug auf eine erhöhte Brandgefahr.

Vor dem Hintergrund stagnierender Batterie-Sammelquoten und eines sich rapide ausbildenden Batterie-Sekundärmarktes wird sowohl die Notwendigkeit der Einführung eines Batteriepfandsystems diskutiert, als auch die Neugestaltung der gesetzlichen Rahmenbedingungen in Bezug auf die Sammlung und Entsorgung von Batterien.

Gemäss aktuellem Batteriegesetz (BATTG2) dürfen Batterien nicht in Mülltonnen über den Hausmüll entsorgt werden, sondern müssen an entsprechenden Sammelstellen abgegeben werden. Jeder Abfallbesitzer ist für die schadlose Entsorgung oder Verwertung von schädlichen Abfällen verantwortlich und dementsprechend verpflichtet seine Altbatterien über die installierten Gemeinsamen-Batterie- Rücknahmesysteme zu entsorgen. Alle gesammelten Batterien werden sortiert und im Anschluss einer stofflichen Verwertung zugeführt. In verschiedenen mechanischen, pyrometallurgischen oder hydrometallurgischen Verfahrensschritten werden dann die entsprechenden Wertstoffe aus den Batterien zurückgewonnen. Diese Rezyklate werden weiter aufbereitet und anschließend bei der Batterieherstellung wiederverwendet. Die Hauptziele des Recyclings sind es sekundäre

Rohstoffkreisläufe zur Ressourcenschonung zu implementieren und die Öko- und CO₂-Bilanz von neuen Batterien zu verbessern.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass die Rücklauf- und Sammelquoten von Altbatterien (ausser Starterbatterien und großen Industriebatterien) verbesserungswürdig sind. Altbatterien werden oftmals aus Unwissenheit oder Bequemlichkeit fehlentsorgt. Die Sammelquoten werden sich ohne Anreize für den Verbraucher (z.B. Pfandlösungen) oder Einführung von empfindlichen Bußgeldern nur schleppend verbessern lassen. Verbraucher/innen müssen im Hinblick auf ihre Verantwortung bei der Entsorgung besser informiert, aufgeklärt und sensibilisiert werden (z.B. Info- und Aufklärungs- Kampagnen).

Eine unerfreuliche Begleiterscheinung der Fehlentsorgungen sind die sich häufenden Brände in Mülltonnen, Müllwagen und auf den Betriebshöfen der Verwertungsbetriebe. Die Brände werden primär durch Kurzschlüsse von Li-Ion-Batterien hervorgerufen, welche sehr große Sach- und Umweltschäden verursachen können. Um die Gefahr von Batteriekurzschlüssen zu minimieren, werden die Verbraucher/innen angehalten, die Batteriepole vor der Entsorgung abzukleben.

Das Recycling von Batterien ist generell aufwendig, kosten- und energieintensiv. Die Energiekosten, Prozesskosten und Reststoff-Entsorgungskosten machen das Batterierecycling teuer. In Zeiten der extremen Energieverteuerung stehen einige Recyclingpfade auf dem Prüfstand, denn nur ökonomische Recyclingpfade mit hochwertigen Recyklaten bzw. Sekundärrohstoffen werden sich letztlich am Markt durchsetzen können. Am Ende eines jeden Recyclingprozesses entstehen giftige Filterstäube und Schlacken, die aufwendig immobilisiert und endgelagert werden müssen. Deshalb ist eine konsequente ganzheitliche Lebensweg-Betrachtung von Batterien notwendig, denn nur ein ehrlicher ökologischer Gesamtfußabdruck verhindert Greenwashing.

Durch geeignete Maßnahmen ließe sich die Recyclingsituation nachhaltig verbessern. Bereits bei der Herstellung der Batterien könnten die Hersteller das „Design for Recycling“ konsequent berücksichtigen. Eine genormte Kennzeichnung jeder Batteriezelle durch Traceability-Konzepte (z.B. QR-Codes) würde eine bessere Rückverfolgbarkeit, Zuordnungsmöglichkeit und Identifikation ermöglichen. Eine Reduzierung der Variantenvielfalt durch die Einigung auf einige wenige Bauformen und Zellchemien wäre ebenfalls wünschenswert. Batterien dürfen generell nicht als Wegwerfartikel gelten. Gut aufgeklärte Verbraucher/innen würden sicherlich auch ein erweitertes Batteriepfandsystem akzeptieren. Die Steuerungsstrategien der staatlichen Einrichtungen (z.B. Umweltbundesamt (UBA)) sollten die Verbraucher/innen stärker berücksichtigen, denn nur mit ihrer Unterstützung werden sich zukünftig geschlossene Rohstoffkreisläufe realisieren lassen, die unsere Welt dringend benötigt.

Ansatz zur Bestimmung der Energieeffizienz bei Durchlauf-Trinkwasser-Erwärmern (DTW)

Zhipeng Zhang B.Eng.

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

Datum des Kolloquiums: 31. August 2022

Bachelor-Studiengang: Ingenieur der Gebäudetechnik

in Kooperation mit: Stiebel-Eltron GmbH



In den vergangenen Jahren erlangen in Deutschland Durchlauf-Trinkwasser-Erwärmern (DTW) eine größere Marktbedeutung, aber eine Methode zur Messung der Energieeffizienz von DTWs existiert nicht.

In meiner Bachelorarbeit wird die Anwendbarkeit zur Energieeffizienz-Bestimmung nach Normen DIN EN 50440 und DIN EN 50193-1 durch Messungen den DTW WS-DUO von Stiebel-Eltron und FriWa mini von Fa. PAW geprüft. Eine Marktübersicht ist ebenfalls in der Bachelorarbeit enthalten, die die technische Daten mehr als 100 DTWs aus unterschiedlicher Hersteller zusammenfasst werden.

Bevor das Experiment DTW Abkühlversuch des Plattenwärmetragers (PWT). Durch die Abkühlkurve der PWT wird Energieverlust in DTW simuliert. Danach wird die Messungsreihe bzgl. Ermittlung der Energieeffizienz des DTW WS-DUO und FriWa Mini durchgeführt. Die Messdaten werden mittels excel-Tabelle ausgewertet, und damit der Energieeffizienz berechnen. Durch Vergleich der experimentellen Daten mit den theoretischen Energieeffizienz wird die Anwendbarkeit DIN EN 50440 und (eingeschränkt) DIN EN 50193-1 zur Bestimmung der DTW-Energieeffizienz nachgewiesen, sowie die Überlegung und Verbesserungsmöglichkeit zu weitere Experimenten erhalten.

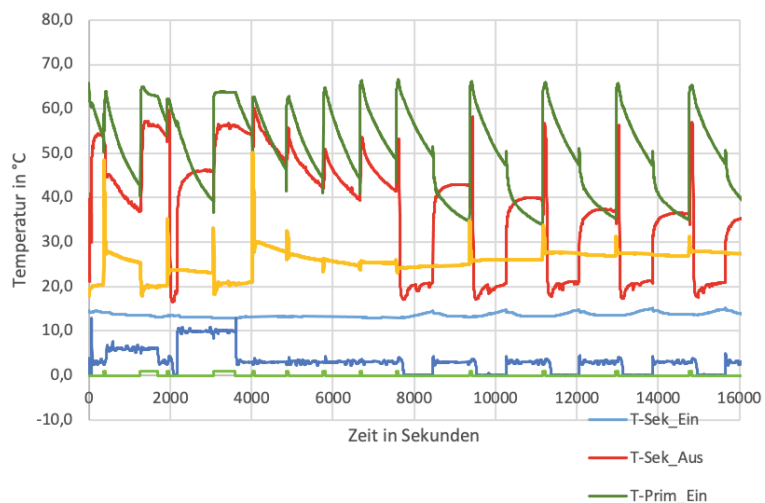


Abb1: Temperaturverlaufslinie in der Messung



Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt

Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt

Tel: +49 2551 - 962097
Fax: +49 2551 - 962706
www.fh-muenster.de/egu

