



16. Steinfurter Bioenergiefachtagung – Tagungsband –

2024 - Ein Ja(hr) für die Wärmewende!?

29.02.2024 in Steinfurt, Deutschland

Herausgeber:

Forschungsteam Prof. Brüggling und Prof. Wetter
FH Münster – University of Applied Sciences
Stegerwaldstraße 39
48565 Steinfurt
Tel: +49 2551 9627 25
Fax +49 2551 9627 17
www.fh-muenster.de

Ansprechpartner:

Prof. Dr.-Ing. Elmar Brüggling
bruegging@fh-muenster.de
Mobil +49 179 5495 281

Datum 29.02.2024

Vorwort

Am 29.02.2024 fand in Steinfurt die 16. Steinfurter Bioenergiefachtagung statt. Programm und Diskussion waren geprägt durch den Blick auf eine veränderte Energiewelt und vor dem Hintergrund des "Gebäudeenergiegesetzes" (GEG) und des "Gesetzes für die Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze" (WPG).

Die Tagung brachte Experten verschiedener Disziplinen zusammen, um die Herausforderungen und Chancen der Wärmewende zu diskutieren. Der Fokus lag dabei auf der Rolle der Kommunen als zentrale Akteure in der Gestaltung nachhaltiger Energiesysteme. Die Notwendigkeit einer interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Stadtplanung, Technologie und Energiewirtschaft wurde betont, um integrative Lösungen für eine dekarbonisierte Energieversorgung zu entwickeln.

Neu in diesem Jahr ist die Einbindung und Präsentation von aktuellen Forschungs- und Entwicklungsschwerpunkten über wissenschaftliche Poster. Dabei sind natürlich Beiträge von Forschungsgruppen der FH Münster. Die Beiträge der Forschenden der Saxion Hogeschool, der Hochschule Osnabrück, der Hochschule Bremen, des GWI Essen sowie des Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), zeigen das starke Netzwerk und die gut funktionierenden Forschungs- und Partnernetzwerke.

Der Tagungsband reflektiert diese thematische Vielfalt durch Beiträge, die sowohl praxisnahe Umsetzungsbeispiele als auch theoretische Modellierungen umfassen. Themenschwerpunkte sind die effiziente Integration von Bioenergie, die Potenziale und Herausforderungen von Wasserstofftechnologien, die Optimierung urbaner Energiesysteme mittels innovativer Tools wie dem "Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG)", und die Vorbehandlung von Reststoffen für die Biogasproduktion. Besondere Beachtung finden auch datengetriebene Ansätze zur Klassifizierung von urbanen Energieeinheiten und die KI-gestützte Entwicklung von energetischen Gebäudemodellen als Grundlage für Wärmewendeprojekte.

Die Beiträge illustrieren die Komplexität – aber auch die spannende Vielfalt – der Energiewende und betonen die Notwendigkeit, regulatorische, technische und soziale Aspekte in der Planung und Implementierung von Energieprojekten zu berücksichtigen. Sie zeigen auf, wie durch die Kombination von wissenschaftlicher Arbeit und praktischer Anwendung innovative Lösungsansätze geschaffen werden können, die zur Bewältigung der Herausforderungen einer nachhaltigen Energiezukunft beitragen.

Diese Fachtagung und der begleitende Tagungsband wollen damit einen Beitrag zur Diskussion um die Zukunft der Energieversorgung leisten sowie die zentrale Rolle, welche eine vorausschauende und integrative Planung in diesem Prozess spielt, unterstreichen.



Prof. Dr.-Ing. Elmar Brüggling



Prof. Dr.-Ing. Christof Wetter

Inhalt

1. Vorträge der 16. Steinfurter Bioenergiefachtagung

2. Aussteller der 16. Steinfurter Bioenergiefachtagung

3. Abstracts zu den Poster-Beiträgen

The effect of the configuration of a heat exchanger in a thermal storage

M.N. Buitink, R.P. Leeuwen, S.P.W. Hagemann

Automatisierte Erstellung von energetischen Gebäudemodellen als georeferenzierter Grundlagendatensatz für Wärmewendeprojekte

P. Groesdonk, L. Blanco, L.C. Singer, J.E. Schmiedt

Datengetriebene Klassifizierung von städtischen Energieeinheiten für die Analyse des Wärme- und Strombedarfs von Quartieren

L. Blanco, P. Groesdonk, L.C. Singer, J.E. Schmiedt

Biogasanlagen im KWK-Betrieb: Post-EEG-Betrieb mit Perspektive in kommunaler Wärmeversorgung?

M. Heiker, S. Rosenberger

Dashboard-Anwendung zur Eignungsbereichsdarstellung von Wärmeversorgungsoptionen (in Bremen)

Y. Gerling, T. Schwarz

Der Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG): Ein Tool zur Optimierung urbaner Energiesysteme

J.N. Tockloth, C. Klemm, G. Becker, B. Blankenstein, P. Vennemann

Quartier für Quartier – Alternativen zum Erdgas und die Zukunft der Gasverteilnetze im Rahmen der kommunalen Wärmewende

N. Brücken, J. Schaffert, C. Redicker, L. Heidbreder, L. Lohmann

Dekarbonisierung der Energieversorgung einer Molkerei durch die anaerobe Vergärung landwirtschaftlicher Reststoffe – Projekt ReMolk

T. Harms-Ensink, S. Mehnert, J. Häner, E. Brüggling

Vorbehandelte Reststoffe als Substrat in Biogasanlagen

M. Schomaker, S. Kamphus, E. Brüggling

Biologische Wasserstoffherzeugung aus organischen Reststoffen

J. Rolf, S. Kamphus, E. Brüggling

Thermische Batterien / Schwarmpeicher

B. Boiting

1. Vorträge der 16. Steinfurter Bioenergiefachtagung

Das Gesetz zur kommunalen Wärmeplanung und zur Dekarbonisierung der Wärmenetze

Carsten Petersdorff, NRW.Energy4Climate

Neues Wärmekataster – Grundlagen der Wärmeplanung

Nils Dering, LANUV

Die Rolle von Open Source Modellen für neue Energiesysteme

Dr.-Ing. Uwe Krien, Fraunhofer IFAM/WärmeWendeNordwest

KI in der Wärmewende?! – Beschleunigung der Planungsphase

Philip Groesdonk, DLR/heatbrAI

Wärmeplanung und der Wandel der Energiesysteme

Prof. Dr.-Ing. Elmar Brüggling und Hinnerk Willenbrink, FH Münster

Forschung für die kommunale Wärmeplanung

Dr. ir. Richard van Leeuwen, Saxion Hogeschool

“Efficiency First” in der Wärmeplanung

Wolfgang Jaske, Jaske & Wolf

Kommunale Wärmeplanung in Alfhausen

Agnes Droste, Gemeinde Alfhausen

Wärmekonzept Tennang

Axel Popp, ENGIE Deutschland GmbH

Die Vorträge stehen hier zum Download bereit:

<https://www.fh-muenster.de/egu/termine/tagungen/2024/bioenergiefachtagung.php>

Das Passwort lautet: KWP2024



2. Aussteller der 16. Steinfurter Bioenergiefachtagung

DigiKoo GmbH

Roland Broll

Landesamt für Natur, Umwelt und Verbraucherschutz Nordrhein-Westfalen

Nils Dering

Viessmann Group GmbH & Co. KG

Björn Gropengießer

dp Energietechnik GmbH

Christoph Wissing

PEWO Energietechnik GmbH

Ralf Dosoudil und Torsten Heise

2G Energietechnik GmbH

Johannes Rehring

energieland2050 – Kreis Steinfurt

Daniel Göcking und Henning Bückers

energiePLUSagrar GmbH

Fabian Koch

NRW.Energy4Climate GmbH

Carolin Wicke und Christian Böckenholt

Westfalen AG

Tobias Mateina-Noll

RWT Jagdt GmbH & Co. KG

Guido Jagdt

Danfoss GmbH

Martin Schilling Frenk

3. Abstracts zu den Poster-Beiträgen

The effect of the configuration of a heat exchanger in a thermal storage

M.N. Buitink¹, R.P. van Leeuwen¹, S.P.W. Hageman¹

¹ Sustainable Energy Systems, Saxion university of applied sciences, Enschede, Netherlands

1. Einleitung

Most heat pumps are ground source or air source based heat pumps. A ground source heat pump requires drilling, which is expensive and not always possible. An air source heat pump requires some outdoor space and is less efficient when it is freezing. SolarFreezer has developed an alternative using a water buffer and PVT-panel as a heat source. PVT is a normal solar panel with a heat exchanger on the back to extract thermal energy from the panel. The water buffer can be placed in the crawl space. The whole Solar-Freezer system was monitored in a dwelling over a year. In the monitored year, a SCOP of 3.8 was calculated [1].

The water buffer can be a source of energy. A heat exchanger is placed in this buffer. The heat exchanger consists of several thin but long flat plates. The buffer delivers a lot of latent heat when ice is formed. The latent heat is equal to the amount of energy when water is cooled from 80°C to 0°C. By forming ice, a lot of energy can be extracted at a constant temperature. The buffer system works well, but there are ways to improve the heat transfer. Therefore, research is being carried out into how the configuration of the heat exchanger affects the heat transfer, to see what the best configuration is. The literature was contradictory about the best configuration. So applied research needs to be carried out to see the effect of the configuration of the heat exchanger on the heat transfer.

2. Material und Methoden

The measurement setup and results are also documented in [2]. The heat exchanger is placed in a container and the container is insulated. In the set-up it is possible to place the heat exchanger horizontally, diagonally and vertically as well as vertically at the bottom. A schematic overview of the test setup is shown in Figure 1. In this Figure the white rectangle is the heat exchanger and the grey lines are the pipework.

The pipework is connected to a chiller which cools down the cooling liquid, glycol, to -4 °C.

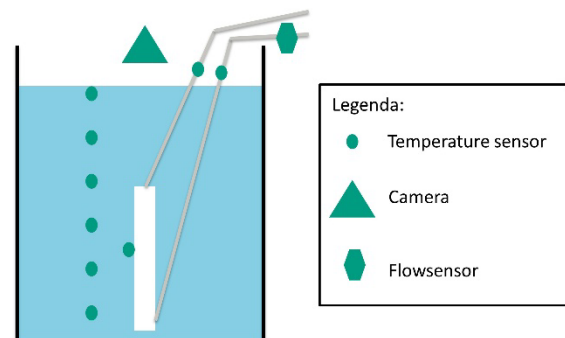


Figure 1: Schematic overview of test setup

To make a good comparison between the results a starting point and an end point are defined. The starting point is the moment when all the water is 4 °C. This moment happens because the density of the water is the highest at 4 °C. The end point of the measurement is when ice is formed at the heat exchanger. This moment is filmed by a camera.

3. Ergebnisse

Figure 2 shows the total extracted energy for cooling down from 4 °C to the freezing point. The measurements shown are spread out. Placing the heat exchanger vertically at the bottom seems to be slightly better. From a t-test it can be concluded that the measurements for the vertical at the bottom and the horizontal are less than 10 percent comparable. When compared with the vertical en diagonal, it is more than 10%. When the heat exchanger is placed in the middle of the container, the temperature of water below the heat exchanger is a few degrees higher. By placing the heat exchanger lower, the water at the bottom of the container will also be cooled down to 0 °C. This may be the reason why more energy can be extracted.

Figure 3 shows the average heat flow for the different orientations. There is no significant difference between the orientations.

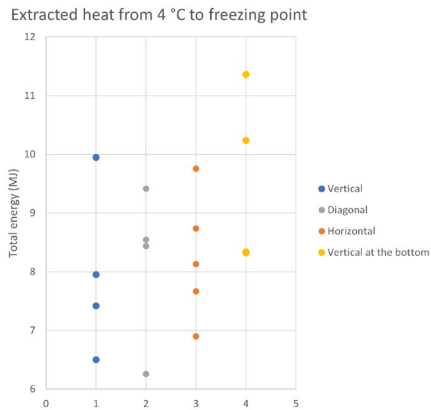


Figure 2: Extracted heat for different orientations of the heat exchanger

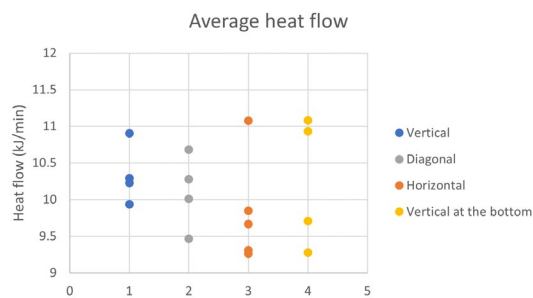


Figure 3: Average heat flow for different orientations of the heat exchanger

When the water is mixed in the container, the total amount of energy extracted before ice formation is doubled for the different orientations. This is shown in Figure 4. Mixing the water increases the heat transfer coefficient of the heat exchanger and also increases the heat transfer from the environment. In addition, there is no stratification and therefore the whole container is cooled and not just the part that is at and above the heat exchanger. Figure 4 also shows that the diagonal orientation seems to have the highest heat transfer..

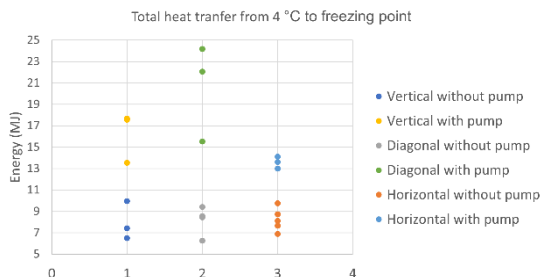


Figure 4: Total heat transfer from 4 °C to freezing point

4. Diskussion

From the results it is clear that more experiments need to be done to determine the best orientation

is. The container was insulated, but it is still affected by the ambient temperatures. This may explain why there is a spread in the measured values for each orientation.

5. Fazit

When water is mixed through the container, the diagonal orientation of the heat exchanger seems to have the best heat transfer. Circulating the water can double the amount of heat extracted. This is the case if the container is in a room temperature area. By placing the heat exchanger at the bottom, more water can be cooled. This increases the heat transfer as well.

6. Referenzen

[1] M.N. Buitink, J. Mathijsen, R.P. Van Leeuwen, 2021, SolarFreezer: Warmtepomp met thermische energieopslag, e-book Nationaal warmtecongres.
 [2] M.N. Buitink, S.P.W. Hageman, I. Gebhardt, R.P. van Leeuwen, H. Gelten, 2023, Warmteoverdracht voor verschillende lamel oriëntaties en waterstromingen in de bufferzak,

7. Förderhinweis

The research is partly financed by TechForFuture and TKI Urban Energy.

Automatisierte Erstellung von energetischen Gebäudemodellen als georeferenzierter Grundlagendatensatz für Wärmewendeprojekte

Philip Groesdonk¹, Luis Blanco¹, Larissa Celine Singer¹, Jacob Estevam Schmiedt¹

¹ Institut für Solarforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Jülich, Deutschland

1. Einleitung

Eine der größten Herausforderungen im Zuge der Abkehr von fossilen Energiequellen ist die Umstellung der Wärmeversorgung. Der Transport von Wärmeenergie über größere Strecken ist aufwändig, weswegen die sogenannte Wärmewende lokal geplant und umgesetzt wird. In Deutschland ist die kommunale Wärmeplanung (KWP) der erste Schritt dieses Prozesses.

Für die KWP und die nachfolgenden Planungsschritte sind zuverlässige Daten über Wärmebedarfe sowie Einsparungs- und Erzeugungspotenziale essentiell. So können das effizienteste Ergebnis gefunden und Investitionen so gut wie möglich abgesichert werden. Bei der Datenverarbeitung stellen Geoinformationssysteme (GIS) die konsequente Lokalisierung der Daten sicher. Zu den Herausforderungen der Wärmewende gehört auch die begrenzte Verfügbarkeit von Planungsbüros angesichts der großen Anzahl von zu erstellenden Wärmeplänen und durchzuführenden Umsetzungsprojekten.

Wir stellen hier eine Vorgehensweise vor, mit der wir Wärmebedarfs- und energetische Gebäudemodelle für ganze Kommunen automatisiert erstellen können, sowie die darauf basierende Positionierung unseres Spin-off-Projekts heatbrAln in der deutschen Wärmewendepaxis.

2. Material und Methoden

Der Stand der Technik umfasst verschiedene Methoden, um Kennwerte für den Gebäudebestand zu ermitteln. Manche basieren auf Energieverbrauchsdaten, manche auf theoretischen Bedarfswerten, andere auf einer Kombination. Wir konzentrieren uns hier auf Bedarfsmodelle.

Um realistische energetische Gebäudemodelle für den Bestand zu erhalten, werden Informationen benötigt über

- die Geometrie der Gebäude (z. B. Volumen, Außenflächen, Flächentyp),
- Bauphysik (z. B. U-Werte, Luftdichtheit),
- Nutzung sowie
- Versorgungsart.

Da die Versorgungsart Teil der Planung für das Zielszenario ist, wird sie hier vernachlässigt.

Für die restlichen Informationen nutzen wir eine Kombination offizieller und offener Datensätze – mit dem Ziel, den Prozess so weit wie möglich zu automatisieren, sodass der Aufwand bei der initialen Datenerhebung für Wärmewendeprojekte substanziell sinkt. Dies beinhaltet

- LOD2-3D-Gebäudemodelle,
- Gebäude- und Grundstückspolygone aus dem amtlichen Kataster (ALKIS),
- Open Street Maps (OSM),
- Baujahre aus dem Zensus 2011 sowie
- die TABULA-Daten zu typischen Bauweisen je nach Baualter (Loga *et al.*, 2015).

Auf dieser Basis lassen sich Geometrie (3D-Gebäudemodelle), Nutzung (Kataster und OSM) und Bauphysik (TABULA) ableiten – ähnliche Ansätze sind Stand der Technik (Fuchs, 2018; Ludwig, 2022). Die extrahierten Daten werden in einer Datenbank mit einzelnen Gebäuden als gemeinsamer Referenz gespeichert (s. Abbildung 1). Für eine Wärmebedarfsrechnung nach DIN V 18599 ermitteln wir zudem noch geometrische Nachbarschaftsbeziehungen zwischen Gebäuden.

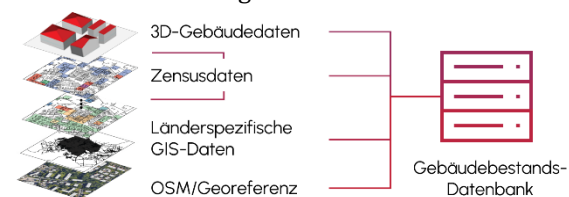


Abbildung 1: Datenbankanstellung

Herausfordernd ist die Zuordnung von Gebäudealtersklassen zu einzelnen Gebäuden, da die Zensusdaten nur in Hektarrastern vorliegen. Für die Disaggregation dieser Datensätze auf einzelne Gebäude integrieren wir die von Blanco *et al.* (2023) weiterentwickelte Methode, ein Random-Forest-Modell auf Gebäuden mit bekanntem Alter zu trainieren und auf die übrigen anzuwenden. Hilfreich für das Training sind offene Datensätze mit Baujahren sowie Zensus-Hektarkacheln mit homogenem Alter.

Eine weitere Datenlücke besteht in einer fehlenden Quelle für eine kleinräumige Zuordnung von Sanierungen zu Gebäuden. Insofern bietet sich

eine Modellierung aller Gebäude mit den in der TABULA enthaltenen drei Sanierungsständen an, sodass im Planungsprozess mit Szenarien unterschiedlicher aktueller und zukünftiger Sanierungsrate gerechnet werden kann.

Die aufgebaute Datenbank ermöglicht nicht nur normgemäße Wärmebedarfsrechnungen, sondern auch stündlich aufgelöste dynamische Simulationen (Groesdonk *et al.*, 2023).

3. Ergebnisse

Abbildung 2 zeigt einen Beispieldatensatz. Durch die dynamische Simulation werden für jedes Gebäudepolygon mehrere Lastgänge (zu verschiedenen Sanierungsständen, Nutzungen und/oder Wetter-Testreferenzjahren) erzeugt. Die Eingangsdaten sind in vielen deutschen Ländern vollständig als Open Data verfügbar. Länderspezifische Unterschiede bestehen in der Datenstruktur und der Vollständigkeit der LOD2-Daten. Weiteres Ziel des Spin-off-Projekts war die Abstimmung von Methodik und Schnittstellen mit Anwendern. Es zeigte sich, dass der entwickelte Ansatz mit geringen Anpassungen in die Abläufe von Planungsbüros integrierbar ist. Vorteilhaft ist die Kompatibilität der erstellten Datensätze mit der Open-Source-Software QGIS.

4. Diskussion

Die vorgestellte Methodik lässt sich im aktuellen Entwicklungsstand für die Modellierung von Wohngebäuden vollständig automatisiert anwenden. Manuelle Anpassungen der Grundlagendaten sind möglich und für Nichtwohngebäude auch nötig. Ein naheliegender Weiterentwicklungsansatz ist die Automatisierung dieses Schritts. Die Integration von Verbrauchsdaten kann – sofern Herausforderungen bei der Datenqualität und -granularität gelöst werden können – zu einer Kalibrierung des Modells auf reale Gebäudezustände beitragen.

5. Fazit

Die gesammelten Ergebnisse lassen den Schluss zu, dass die automatisierte Erstellung von

energetischen Gebäudemodellen auf Basis von offiziellen und offenen Geodaten zu einer signifikanten Beschleunigung von Wärmewendeprojekten beitragen kann und für die praktische Anwendung marktfähig ist. Um das Potenzial der Lösung nutzbar zu machen und weitere Entwicklungsschritte praxisnah durchführen zu können, führen wir das Spin-off-Projekt heatbrAI als eigenständiges Unternehmen weiter.

6. Referenzen

- Blanco, L., Aditya, M., Schiricke, B. und Hoffschmidt, B. (2023), „Classification of building properties from the German census data for energy analyses purposes“, in *Building Simulation 2023: 18th Conference of IBPSA*, 4.–6.9.2023, Shanghai, China.
- Fuchs, D. (2018), „Berechnung des Energiebedarfs von Wohngebäuden auf Basis von semantischen 3D-Stadtmodellen am Beispiel der Gemeinde Poing“, Bachelorarbeit, TU München, 2018.
- Groesdonk, P., Jansen, D., Estevam Schmiedt, J. und Hoffschmidt, B. (2023), „Integration of Heat Flow through Borders between Adjacent Zones in AixLib's Reduced-Order Model“, in *The 15th International Modelica Conference*, 9.–11.10.2023, Aachen.
- Loga, T., Stein, B., Diefenbach, N. und Born, R. (2015), *Deutsche Wohngebäudetypologie: Beispielhafte Maßnahmen zur Verbesserung der Energieeffizienz von typischen Wohngebäuden*, 2. Aufl., IWU, Darmstadt.
- Ludwig, D. (2022), „3D-Gebäudemodelle für den kommunalen Wärmeplan – das zentrale Werkzeug für die Wärmewende“, in *Workshop 3D-Stadtmodelle*, 8.–9.11.2022, online.

7. Förderhinweis

Die vorgestellten Arbeiten wurden als Vorhaben „HE-2022-15 SoKo Wärme“ aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft im Rahmen des Spin-off-Programms „Helmholtz Enterprise“ gefördert.

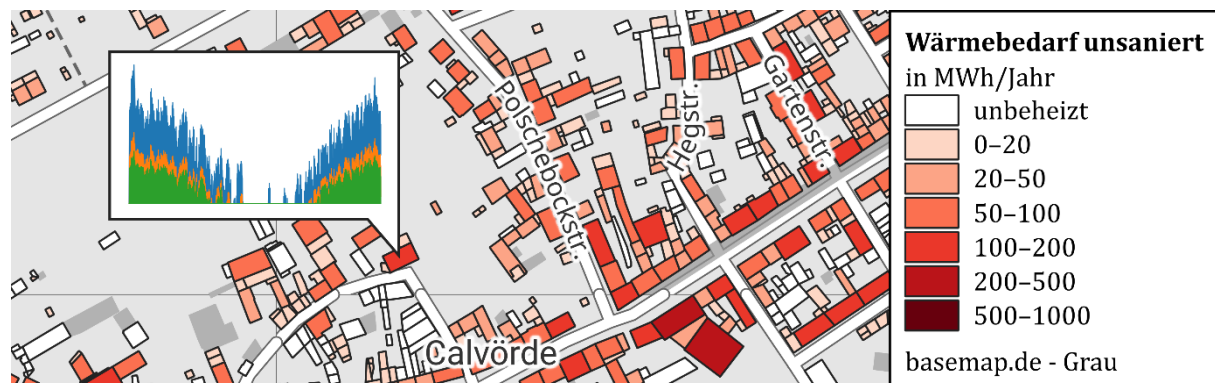


Abbildung 2: Wärmebedarf in Beispielgebiet mit stündlicher Wärmelast für verschiedene Sanierungsstände

Datengetriebene Klassifizierung von städtischen Energieeinheiten für die Analyse des Wärme- und Strombedarfs von Quartieren

Luis Blanco¹, Philip Groesdonk¹, Larissa Celine Singer¹, Jacob Estevam Schmiedt¹

¹Institut für Solarforschung, Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), Jülich, Deutschland

1. Einleitung

Der Gebäudesektor ist ein bedeutender Verursacher des globalen Energieverbrauchs und verantwortlich für rund ein Drittel der Treibhausgasemissionen weltweit. Um Emissionen zu reduzieren, müssen Maßnahmen nicht nur an einzelnen Gebäuden, sondern auch im Verbund umgesetzt werden. Diese Verbünde müssen jedoch zunächst gebildet werden, z. B. als energetisches Quartier. Wir stellen hier das Konzept der stadtweiten Gliederung in Urban Energy Units (UEUs) vor. UEUs repräsentieren hierbei geografische Gebietsabschnitte innerhalb von Städten mit spezifischen Gebäudeeigenschaften und Energiebedarfen. Bei unserer Methode zur Definition und Klassifizierung solcher UEUs ergänzt ein Random-Forest-(RF)-Modell fehlende Gebäudeinformationen. Ein Entscheidungsbaummodell (DT) identifiziert die UEUs. Nach der Vorstellung der Vorgehensweise, mit der wir UEUs für ganze Kommunen automatisiert erstellen können, präsentieren wir eine Beispielanwendung in Oldenburg. Die aus UEUs geschaffenen flexiblen Energiedistrikte können etwa bei der Wärmeplanung verwendet werden und bieten eine wertvolle Grundlage für nachhaltige städtische Entwicklung.

2. Material und Methoden

Um eine umfassende Gebäudebestandsdatenbank für ein ausgewähltes deutsches Stadtgebiet zu erstellen, werden drei Hauptdatensätze benötigt: 3D-Gebäudemodelle, Daten des Zensus 2011 und OpenStreetMap-GIS-Daten. Die Volkszählungsdaten bieten unter Beachtung der Datenschutzbestimmungen auf ein INSPIRE-konformes 100-m-Rasterformat aggregierte Informationen, einschließlich Gebäudealter und Bautyp, und müssen zur Anwendung auf höherer Auflösung zunächst disaggregiert werden. Die GIS-Daten liefern zusätzliche Details. Es wurde ein einheitliches Modell mit 27 Parametern entwickelt, um fehlende Informationen in den gesammelten Datensätzen zu integrieren und zu ergänzen, um eine vollständige und gebäudespezifische

Datenbank innerhalb des Untersuchungsgebiets zu erhalten. Hierbei wurde ein RF-Modell verwendet, das auf bekannte Gebäudealter trainiert wurde (Blanco *et al.* 2023).

3. Urban Energy Units

Es gibt keine allgemeingültige Definition des Begriffs "Quartier", aber die Analyse größerer Siedlungen wie Stadtteilen oder Nachbarschaften bieten mehr Möglichkeiten zur Reduzierung von CO₂-Emissionen als die Betrachtung einzelner Gebäude. Daher bietet sich eine energetisch orientierte Einteilung von Gebieten an. In Anlehnung an die Arbeit von Dettmar *et al.* (2020) haben wir die in Tabelle 1 aufgelisteten sechzehn verschiedenen städtischen Standardgebiete in Deutschland auf der Grundlage ihrer Gebäudeeigenschaften, Siedlungsmuster und ihres Energiebedarfs klassifiziert und als Urban Energy Units (UEUs) bezeichnet. Für eine ausführliche Beschreibung ihrer Definition, ihrer Mittelwerte und Merkmale verweisen wir auf Blanco *et al.* (2024).

Die UEUs werden automatisch durch Analyse der im Gebäudebestand des Untersuchungsgebiets gefundenen Informationen generiert. Ihre Grenzen werden vom Modell gezogen und die jeweilige Klassifizierung erfolgt über ein DT-Modell. UEUs können modellhaft zu beliebigen größeren Quartiersgebieten kombiniert werden und so Energiedistrikte für die Wärmeplanung bilden. Die Ausgabedaten können direkt in eine beliebige GIS-Software wie z. B. QGIS geladen werden.

Tabelle 1: Beschreibung aller UEU-Typen

UEU	Beschreibung
UEU-1	Freistehende Wohnbebauung
UEU-2	Reihenhausähnliche Bebauung
UEU-3	Niedrige Reihenbebauung
UEU-4	Großflächige Wohnbebauung
UEU-5	Blockrandbebauung
UEU-6	Dörfliche Bebauung
UEU-7	Historische Altstadtbebauung
UEU-8	Innenstadtbebauung
UEU-9	Verwaltungsgebiet
UEU-10	Gewerbegebiet
UEU-11	Öffentliche Parks

UEU-12	Friedhöfe
UEU-13	Kleingärten
UEU-14	Ackerland
UEU-15	Dauergrünland
UEU-16	Wald

4. Ergebnisse und Diskussion

Unsere Methodik besteht aus der Erstellung einer Datenbank für den Gebäudebestand und städtische Einheiten, einem DT-Modell für die UEU-Klassifizierung, der automatisierten Konstruktion von Energiedistrikten und der Wärmebedarfsberechnungen auf Quartiersebene.

Bei einer Beispielanwendung in Oldenburg wurde eine Datenbank mit 8.249 städtischen Einheiten durch die Integration von OSM-Daten erstellt. Jede Einheit wird durch 23 Parameter definiert, die die Grundlage für die Klassifizierung in die 16 UEU-Typen bilden. Die Aggregation in energetische Quartiere wurde durch Gruppierung von UEUs auf der Grundlage ausgewählter Parameter gebildet, hier Straßen und Standorte von Niederspannungstransformatoren.

Die Kartierung der UEUs (Abbildung 1) veranschaulicht räumliche Variationen des Wärmebedarfs, wobei die Best-Worst-Case-Szenarien hervorgehoben wurden. Eine Analyse der Energiebezirke zeigt das Potenzial für detaillierte Einblicke in die Merkmale der Energienachfrage, die die städtische Energieplanung unterstützen.

In weiteren Projekten konnten wir die Methodik auch mit Katasterdaten als Grundlage verwenden. Dies unterstreicht die Anpassungsfähigkeit und Effektivität der vorgeschlagenen Methodik bei der Erstellung von Datenbanken, der Klassifizierung städtischer Einheiten und der Bildung von Energiedistrikten für die Wärmeplanung.

5. Fazit

Diese Studie präsentiert einen ganzheitlichen Ansatz für die städtische Energieplanung, der

maschinelles Lernen und räumliche Analyse integriert. Die Datenbankerstellung und UEU-Klassifizierung ermöglichen ein detailliertes räumliches Verständnis des Energiebedarfs in Städten. Die flexible Konstruktion von Energiedistrikten basierend auf spezifischen Parametern unterstreicht die Anpassungsfähigkeit der Methodik. Die erfolgreiche Anwendung von maschinellem Lernen zur Gebäudealter-Klassifizierung bietet eine skalierbare Lösung für datenarme Gebiete. Diese Methodik ist ein wertvolles Werkzeug für Stadtplaner, insbesondere im Kontext der kommunalen Wärmeplanung, und ermöglicht fundierte Entscheidungen für nachhaltige Stadtentwicklung.

6. Referenzen

- Blanco, L., Aditya, M., Schiricke, B. und Hoffschmidt, B. (2023), „Classification of building properties from the German census data for energy analyses purposes“, in *Building Simulation 2023: 18th Conference of IBPSA*, 4.–6.9.2023, Shanghai, China.
- Blanco, L., Alhamwi, A., Schiricke, B. und Hoffschmidt, B. (2024), „Data-driven classification of urban energy units for district-level heating and electricity demand analysis“, *Sustainable Cities and Society*, Nr. 101, S. 105075.
- Dettmar, J., Drebes, C., und Sieber, S. (2020), *Energetische Stadtraumtypen. Strukturelle und energetische Kennwerte von Stadträumen*, Fraunhofer IRB Verlag, Stuttgart, 2. Aufl.

7. Förderhinweis

Die vorgestellten Arbeiten wurden als Vorhaben „HE-2022-15 SoKo Wärme“ aus dem Impuls- und Vernetzungsfonds der Helmholtz-Gemeinschaft im Rahmen des Spin-off-Programms „Helmholtz Enterprise“ gefördert.

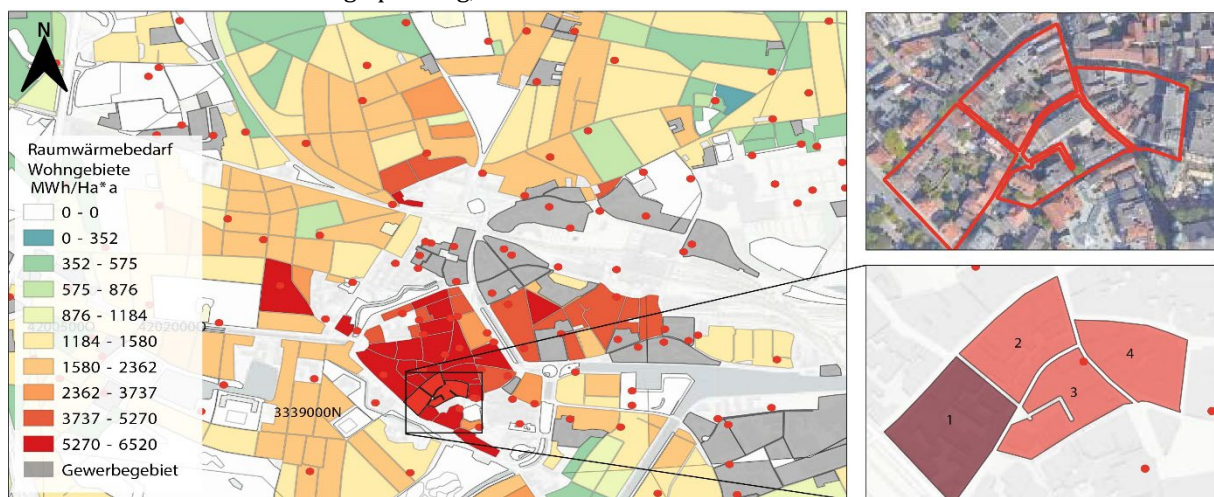


Abbildung 1: UEUs, Energiebedarf und Analyse eines Quartiers. Überarbeitet aus Blanco et al. (2024).

Biogasanlagen im KWK-Betrieb: Post-EEG-Betrieb mit Perspektive in kommunaler Wärmeversorgung?

Heiker, Mathias, Prof. Dr.-Ing. Rosenberger, Sandra

Ingenieurwissenschaften und Informatik, Hochschule Osnabrück, Osnabrück, Deutschland

1. Einleitung

Für den Post-EEG-Betrieb sind Betreiber von Biogasanlagen auf der Suche nach einem Anschlussgeschäftsmodell. Viel diskutiert wird hier die Aufbereitung des Biogases zu Biomethan für den Verkehrssektor. Doch gibt es für Betreiber auch eine Geschäftsmodell im KWK-Betrieb, sollten Randbedingungen der Biogasaufbereitung nicht erfüllbar sein?

Ein mathematisches Optimierungsmodell einer typischen Biogasanlage (400 kW_{el}, Wirtschaftsdüngeranteil zwischen 30% und 80%) zeigt auf, wie die Direktvermarktung und der EPEX-Spotmarkt Einfluss auf den KWK-Betrieb und mögliche Nahwärmenetzanschlussdistanzen nehmen kann. Es wird gezeigt, dass der Wärmebetrieb als Teilversorger deutliche Vorteile in ökonomisch erschließbare Nahwärmenetzdistanzen mit sich bringen kann.

2. Material und Methoden

Das mathematische Optimierungsmodell einer Bestandsanlage (Abbildung 1, Behälter als Bestand ohne Investitionskosten) betrachtet mögliche Annuitäten a_i (7 Jahre zu 3%) eines BHKWs (740 €/kW_{el} nach (Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V., 2011)), Gasspeichers (13,5 €/m³ nach (Hahn und Möhring, 2016; Zorg Biogas, 2023)) und Warmwasserspeichers (255 €/m³ nach (Espagnet, 2016; Gerschizka *et al.*, 2016)) sowie eines Nahwärmenetzanschlusses (480 €/m nach (Nussbaumer und Thalmann, 2016)).

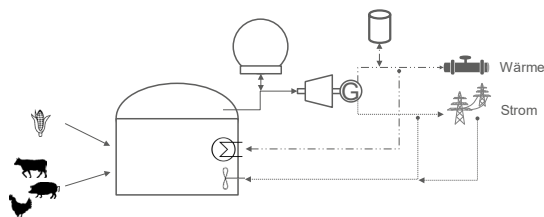


Abbildung 1: Energiesystem des mathematischen Optimierungsmodells einer Biogasanlage

Diese möglichen jährlichen Kosten werden durch erzielbare Gewinne des Strom- (E_{el}) und Wärmeverkaufs (Q_{th}) minimiert, indem ein optimaler Mix des Substratinputs und der damit verbundenen Substratkosten f_j der Anlage berechnet wird.

$$\min (a_i + f_j - E_{el} - Q_{th})$$

Substrate einer typisch landwirtschaftlich betriebenen Biogasanlage werden dabei mit ihren spezifischen Kosten betrachtet (Mais, Rindergülle und -mist, Schweinegülle und -mist, Geflügelmist).

Der Vermarktungsweg für Strom ist als Direktvermarktung oder über den EPEX-Spotmarkt abgebildet. Wärme ist als Teil- oder Vollversorger in ein mögliches Nahwärmenetz vermarktbare. Mögliche Anschlussdistanzen an ein Nahwärmenetz werden dabei bis zu 2,5 km betrachtet. Ohne Distanz (0 km) zeigt den Betrieb eines vorhandenen, kostenfreies oder eines durch dritte betriebenen Nahwärmenetzes.

Die mittleren Marktpreise sind skalierbar, um so Markteffekte auf den wirtschaftlich optimalen Betrieb der Anlage abzubilden.

Das mathematische Modell ist so konfiguriert, dass Nutzungspfade und Technologien berücksichtigt oder unberücksichtigt bleiben. Es werden drei wesentliche Szenarien betrachtet: der Betrieb der Anlage ohne Speichertechnologien als Teilversorger für Wärme oder als Vollversorger für Wärme sowie die Berücksichtigung von Speichertechnologien in der Vollversorgung für Wärme.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse des Optimierungsmodells zeigen für die betrachtete Anlage einen ökonomisch sinnvollen Weiterbetrieb in der Direktvermarktung. Bei einem anzulegenden Wert von 17,7 €cent/kWh zeigt der in der Direktvermarktung zugrunde liegende EPEX-Spotmarkt nahezu keinen Einfluss auf mögliche jährliche Gewinne. Das BHKW arbeitet hier ökonomisch optimal bei über 8.000 jährlichen Volllaststunden. Wärmeerlöse durch den Verkauf in ein vorhandenes oder kostenfreies Nahwärmenetz als Teilversorger können hier wesentliche Mehrerlöse generieren

und zeigen nur eine geringe Auswirkung auf die Betriebsweise des BHKWs.

Der Betrieb im EPEX-Spotmarkt hingegen zeigt erst bei einem mittleren jährlichen Strommarktpreis von 8,5 €cent/kWh eine Überschreitung der Gewinnschwelle, sofern keine Wärmeerlöse vorhanden sind. Steigende Wärmepreise und die damit verbunden erzielbare Wärmeerlöse senken den notwendigen mittleren Strommarktpreise zur Erreichung der Gewinnschwelle bis auf 4 €cent/kWh bei 5,5 €cent/kWh für Wärme, falls ein Nahwärmenetz kostenfrei vorhanden ist (0 km).

Die ökonomisch überbrückbaren Anschlussdistanzen an ein Nahwärmenetz liegen sowohl in der Direktvermarktung als auch im EPEX-Spotmarkt bei maximal 2 km, sofern der Wärmeverkauf als Teilversorger erfolgen kann und Wärmepreise von 10 €cent/kWh erzielbar sind. Im EPEX-Spot-Stromhandel sind diese Anschlussdistanzen zudem nur dann erreichbar, wenn der mittlere jährliche Strommarktpreis bei etwa 12 €cent/kWh liegt. Sinkt der mittlere Strompreis auf 4 €cent/kWh (Niveau aus 2019) ist auch bei weiterhin hohen Wärmepreisen eine Netzanschlussdistanz von lediglich 0,75 km realisierbar. Ist der Wärmeverkauf in ein Nahwärmenetz als Vollversorger notwendig, ist ein ökonomischer Netzanschluss auf 0,75 km begrenzt. Grundsätzlich zeigt die Vollversorgung im Vergleich zur Teilversorgung dabei durchgehend höhere mittlere Strompreise bei auch geringen Netzausbau-distanzen.

Speichertechnologien erhöhen mögliche Netzanschlussdistanzen auf bis zu 1,1 km und reduziert dabei notwendige Stromerlöse. Insbesondere Warmwasserspeicher werden in dem Optimierungsansatz vorgesehen, die eine Entkopplung der Strom- und Wärmeproduktion des BHKW ermöglichen.

4. Diskussion und Fazit

Der Post-EEG-Betrieb der Biogasanlage im KWK-Betrieb zeigt insbesondere ökonomisch attraktive Ergebnisse in der Direktvermarktung, hervorgerufen durch den hohen anzulegenden Wert von 17,7 €cent/kWh für Strom. Wird durch Ausschreibung kein Zuschlag in der Direktvermarktung erzielt und ist der Betrieb der Anlage im EPEX-Spotmarkt ohne Wärmeverkauf notwendig, so zeigt sich eine Gewinnschwelle erst ab einem mittleren Strompreis von etwa 8,5 €cent/kWh, dessen Niveau in 2023 mit ca. 9,3 €cent/kWh knapp überschritten wurde (Vergleich 2019: 3,8 €cent/kWh).

Ist eine regionale Wärmenutzung aus Biogas von Interesse, so zeigt unter ökonomischen Aspekten aus Sicht des Betreibers der Biogasanlage insbesondere die Teilversorgung die höchsten

Netzanschlussdistanzen mit bis zu 2 km unter der Randbedingung hoher Wärme- und Stromerlöse. Höhere Netzanschlusskosten sind dann nicht mehr ökonomisch durch den Anlagenbetreiber abdeckbar und sollten, sofern notwendig, durch weitere Akteure kompensiert werden.

Grundsätzlich zeigt die Wärmevermarktung als Teilversorger gegenüber der Vollversorgung einen positiven Einfluss auf die Reichweite des Wärmenetzanschlusses: gegenüber 2 km als Teilversorger ist die Vollversorgung nur bis maximal 0,75 km ökonomisch attraktiv und benötigt dabei zudem durchweg höhere mittlere Strommarktpreise. Speichertechnologien können hier die Differenz nur geringfügig kompensieren.

Geeignete Wärmepuffer außerhalb des Betriebs der Biogasanlage können also zur Attraktivität des Nahwärmenetzbaus aus Anlagenbetreiber-sicht beitragen, der dann anfallende Wärme ohne Restriktionen durch mögliche Wärmeprofile im regionalen Wärmesystem als Teilversorger nutzbar machen kann.

6. Referenzen

- Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V. (2011), *BHKW Kenndaten 2011: Module, Anbieter, Kosten*.
- Espagnet, A. R. (2016), „Techno-Economic Assessment of Thermal Energy Storage integration into Low Temperature District Heating Networks“, Master Thesis, Division of Heat and Power Technology, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm, Sweden, 2016.
- Gerschizka, M., Lang, S., Rieder, M., Sirch, M., Marx, R., Bauer, D. und Drück, H. (2016), *Entwicklung großvolumiger, preiswerter Warmwasserspeicher mit hocheffizienter Dämmung zur Außenauflistung: Abschlussbericht*, Stuttgart.
- Hahn, H. und Möhring, A. (Hg.) (2016), *Konzepte der bedarfsorientierten Biogasbereitstellung für einen flexiblen Verstromungsbetrieb: Gasspeicherung vs. alternativer Verfahren*.
- Nussbaumer, T. und Thalmann, S. (2016), „Influence of system design on heat distribution costs in district heating“, *Energy*, 101. Jg., S. 496–505.
- Zorg Biogas (2023), „Gasspeicher“, verfügbar unter <https://zorg-biogas.com/de/equipment/gasspeicher> (Zugriff am 13. Juni 2023).

7. Förderhinweis

Diese Forschung wurde von der Deutschen Bundesstiftung Umwelt (DBU) gefördert, Förderkennzeichen 816 Nummer AZ 34663.

Dashboard-Anwendung zur Eignungsbereichsdarstellung von Wärmeversorgungsoptionen (in Bremen)

Yannick Gerling¹, [Timmy Schwarz](#)¹

¹ Fakultät 2, Abt. Bau und Umwelt, Hochschule Bremen, Mitarbeitende im Verbundvorhaben Wärmewende Nordwest

1. Einleitung

Die vorliegende Arbeit präsentiert eine Dashboard-Anwendung zur Eignungsbereichsdarstellung von Wärmeversorgungsoptionen in Bremen. In Zeiten des fortschreitenden Klimawandels und steigender Bedeutung nachhaltiger Energiequellen werden die Implementierungen des Wärmeplanungsgesetzes (WPG) sowie des Gebäudeenergiegesetzes (GEG) zu entscheidenden Wegweisern für eine nachhaltige städtische Wärmewende. Diese Gesetzgebungen fordern von Kommunen eine strukturierte Planung und Umsetzung von nachhaltigen Wärmeversorgungslösungen. Im Kontext dieser regulatorischen Anforderungen und der zunehmenden Bedeutung der kommunalen Wärmewende präsentiert das vorgestellte Dashboard eine innovative Herangehensweise zur Darstellung von Eignungsbereichen für verschiedene Wärmeversorgungsoptionen.

Die Planung und Umsetzung einer effizienten und nachhaltigen Wärmeversorgung erfordert eine präzise Analyse der Eignungsbereiche für verschiedene Versorgungsoptionen. In diesem Zusammenhang sind auch Akteure außerhalb der traditionellen Stakeholder von großem Interesse. Das Dashboard richtet sich nicht nur an politische und wirtschaftliche Entscheidungsträger, sondern insbesondere an eine breite Öffentlichkeit und lokale Gemeinschaften. Das Ziel besteht darin, unabhängige und transparente Informationen zu liefern, die auf Fakten basieren und keinen politischen oder wirtschaftlichen Motivationen unterliegen.

2. Material und Methoden

Für die Erstellung des Dashboards wurde der Model Builder in ArcGIS Pro verwendet. Das zugrundeliegende Modell entspricht einem von der DBI Gas- und Umwelttechnik GmbH (DBI GUT) in Zusammenarbeit mit der Hochschule

Bremen entwickelten Workflow zur Ermittlung von Eignungsbereichen von Wärmeversorgungsoptionen (vgl. Knies *et al.*, 2024). Als Eingangsdaten dient das festgelegte Untersuchungsgebiet, Wärmeabnehmerdaten, ein Raster für die Aggregation und Auswertung der standortscharfen Daten sowie das Straßennetz im Untersuchungsgebiet.

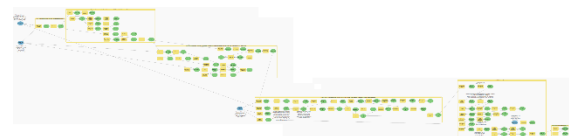


Abbildung 1: ArcGIS-Pro-Modell zur Ermittlung von Eignungsbereichen für Wärmeversorgungsoptionen

Über die ESRI Dashboard Webanwendung wurden die erzeugten Inhalte als Webkarte in ein Dashboard implementiert.

3. Ergebnisse

Über den beschriebenen Workflow werden Eignungsbereiche für Wärmeversorgungsoptionen sowie ein Wärmedichteraster ausgegeben. Diese visualisierten Geodaten werden im interaktiven Dashboard bereitgestellt. Folgende Funktionen sind bislang im Dashboard realisiert: adressscharfe Anzeige der Eignungsklassen (inkl. Adresssuche) innerhalb eines 100x100m Rasters, Zoom- & Navigationsfunktion, Popup-Anzeigen pro Rasterzelle (Ausgabe des Wärmebedarfs, Anzahl der Abnehmer im Raster und vorgeschlagene Versorgungsoption), bestehende Wärmenetzabdeckung (Energieversorger/Netzbetreiber). Zusätzlich zu den bestehenden Funktionalitäten ist eine Downloadoption für das gesamte Modell aus der Webanwendung (Dashboard) heraus vorgesehen.

Der Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG): Ein Tool zur Optimierung urbaner Energiesysteme

J. N. Tockloth¹, C. Klemm^{1,2}, G. Becker¹, B. Blankenstein¹, P. Vennemann¹

¹ Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt, FH Münster, Steinfurt

² Abteilung Energie- und Umweltmanagement, Europa-Universität Flensburg, Flensburg

1. Zusammenfassung

Der Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG) ist ein Werkzeug zur Modellierung und Optimierung von (urbanen) Energiesystemen. Der SESMG hat eine browserbasierte grafische Benutzeroberfläche, eine tabellenbasierte Dateneingabe und eine ausführliche Dokumentation, was einen einfachen Einstieg ermöglicht. Zudem erfordern die Installation und Anwendung keine Programmierkenntnisse. Im SESMG sind verschiedene Modellierungsmethoden implementiert, wie z. B. die Anwendung des Multi-Energie-System-Ansatzes, die multikriteriale Optimierung, modellbasierte Methoden zur Reduktion des Rechenaufwands sowie die automatisierte Erstellung von räumlich hoch aufgelösten Energiesystemmodellen. Somit können urbane Energiesysteme mithilfe des SESMGs mit vergleichsweise geringem Aufwand, aber unter Berücksichtigung einer Vielzahl von Parametern und Randbedingungen, modelliert und optimiert werden.

2. Relevanz

Der SESMG überwindet verschiedene Herausforderungen der Modellierung urbaner Energiesysteme. Die Planung und Optimierung dieser Energiesysteme wird durch die Sektorenkopplung, die Nutzung dezentraler erneuerbarer Energien mit volatiler Erzeugung, den Einsatz diverser Speichertechnologien, die wachsende Bedeutung neuer Energiesektoren, wie dem Wasserstoffsektor, sowie die zunehmende Relevanz unterschiedlicher Planungsziele immer komplexer (Mancarella et al., 2016). Bisher wurden Energiesysteme durch die Simulation und den Vergleich einer begrenzten Anzahl vordefinierter Energieversorgungszenarien geplant. Hierbei werden einzelne Gebäude, Verbrauchs- oder Energiesektoren häufig noch getrennt voneinander untersucht (Lukszo et al., 2018). Oft werden hauptsächlich finanzielle Kosten minimiert, anstatt zusätzliche Planungsziele, wie die Minimierung von Treibhausgas-(THG)-Emissionen oder des Endenergiebedarfs, zu verfolgen. Um alle Wechselwirkungen zu berücksichtigen und Zielkonflikte

zu vermeiden (Pfenninger et al., 2014), ist eine ganzheitliche Planung urbaner Energiesysteme unter Berücksichtigung aller Energiesektoren, Planungsziele und räumlicher Einheiten erforderlich (Lukszo et al., 2018). Nicht nur bestimmte, sondern alle theoretisch möglichen Versorgungsszenarien sollten mit Hilfe von Optimierungsalgorithmen verglichen werden (DeCarolis et al., 2017). Nur so kann sichergestellt werden, dass die Versorgungsszenarien identifiziert werden, welche die Minimierung der Planungsziele garantieren (Klemm & Wiese, 2022). Diese Anforderungen führen zu einem immer höheren Bedarf an Rechenkapazitäten (Rechenzeit und Arbeitsspeichergröße) von Planungstools (Klemm et al., 2023a). Eine Reduktion der erforderlichen Rechenkapazitäten, kann durch Nutzung von modell- oder solver-basierten Methoden erfolgen (Cao et al., 2019). Der SESMG überwindet die Herausforderungen der Modellierung durch die Nutzung von Funktionen des zugrundeliegenden Open Energy Modeling Frameworks (oemof) (Krien et al., 2023) sowie eigener Funktionen: er berücksichtigt den **Multi-Energie-System-Ansatz** (Mancarella et al., 2016), optimiert mithilfe der Epsilon-Constraint-Methode multikriterial (Mavrotas, 2009) und stellt verschiedene modellbasierte Methoden zur **Reduktion des Rechenaufwands** bereit (Klemm et al., 2023a).

Der SESMG ermöglicht die Optimierung multisektoraler und räumlicher Synergien urbaner Energiesysteme mit einer anpassbaren Gebäudeanzahl. Aufgrund der multikriterialen Ergebnisse in Form einer Pareto-Front, können Transformationsprozesse zwischen Status Quo sowie der Minimierung finanzieller Kosten und THG-Emissionen identifiziert werden. Darauf aufbauend eignet er sich um Sensitivitätsanalysen durchzuführen (Klemm et al., 2024). Anwendung findet der SESMG bei der Planung (urbaner) Energiesysteme und in der Wissenschaft auf dem Gebiet der Energietechnik. Sowohl für die Anwendung des SESMGs als auch für die Ergebnisinterpretation müssen die Nutzenden ein gewisses Grundwissen

über die kommunale Strom- und Wärmeversorgung besitzen. Im Vergleich zu anderen Werkzeugen zur Modellierung und Optimierung urbaner Energiesysteme, wie sie von Klemm & Vennemann (2021) aufgelistet wurden, bietet der SESMG mehrere Vorteile hinsichtlich der Benutzerfreundlichkeit: er ist **open-source lizenziert**, **ohne Programmierkenntnisse** anwendbar, bietet **eine browserbasierte Benutzeroberfläche**, kann urbane Energiesystemmodelle beliebiger Größe **automatisch konzipieren, visualisiert Ergebnisse** z. B. in Form von Energiemengendiagrammen und stellt eine breite Palette technischer und wirtschaftlicher **Standardparameter** zur Verfügung. Der SESMG bietet eine ausführliche Dokumentation (SESMG Developer Group, 2024) mit Beispielen, Erläuterungen zu Modellierungsmethoden sowie Beschreibungen von Fehlermeldungen.

3. Allgemeiner Hinweis

Dieser Artikel ist als „The Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG): A tool for the optimization of urban energy systems“ (Klemm et al., 2023b) in englischer Sprache mit einer CC BY 4.0 DEED Lizenz erschienen und wurde für diesen Konferenzband übersetzt und aktualisiert.

4. Förderhinweise

Die Autoren danken der oemof-Community für die Entwicklung von oemof und hilfreiche Diskussionen sowie der SESMG-Community für ihre Entwicklungsarbeit sowie Fehlerberichte und -korrekturen. Die Entwicklung wurde im Rahmen des vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderten Projekts „R2Q“ (Förderkennzeichen 033W102A) gefördert.

5. Referenzen

Cao, K.-K., von Krbek, K., Wetzels, M., Cebulla, F., Schreck, S., 2019. Classification and evaluation of concepts for improving the performance of applied energy system optimization models. *Energies* 12, 4656. <https://doi.org/10.3390/en12244656>

DeCarolis, J., Daly, H., Dodds, P., Keppo, I., Li, F., McDowall, W., Pye, S., Strachan, N., Trutnevyte, E., Usher, W., Winning, M., Yeh, S., Zeyringer, M., 2017. Formalizing best practice for energy system optimization modelling. *Applied Energy* 194, 184–198. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2017.03.001>

Klemm, C., Vennemann, P., 2021. Modeling and optimization of multi-energy systems in mixed-use districts: A review of existing methods and approaches. *Renewable and Sustainable Energy*

Reviews 135, 110206. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110206>

Klemm, C., Wiese, F., 2022. Indicators for the optimization of sustainable urban energy systems based on energy system modeling. *Energy Sustain Soc* 12, 3. <https://doi.org/10.1186/s13705-021-00323-3>

Klemm, C., Wiese, F., Vennemann, P., 2023a. Model-based run-time and memory reduction for a mixed-use multi-energy system model with high spatial resolution. *Applied Energy* 334, 120574. <https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2022.120574>

Klemm, C., Becker, G., Tockloth, J.N., Budde, J., Vennemann, P., 2023b. The Spreadsheet Energy System Model Generator (SESMG): A tool for the optimization of urban energy systems. *JOSS* 8, 5519. <https://doi.org/10.21105/joss.05519>

Klemm, C., Vennemann, P., Wiese, F., 2024. Potential-risk and no-regret options for urban energy system design — A sensitivity analysis. *Sustainable Cities and Society* 102, 105189. <https://doi.org/10.1016/j.scs.2024.105189>

Krien, U., Kaldemeyer, C., Günther, S., Schönfeldt, P., Simon, H., Launer, J., Röder, J., Möller, C., Kochems, J., Huyskens, H., Developer, A., Schachler, B., Pl, F., Sayadi, S., Duc, P.-F., Endres, J., Büllsbach, F., Fuhrländer, D., Developer, A., ... Gering, M.-C. (2024). oemof.solph. Zenodo. <https://doi.org/10.5281/zenodo.10497413>

Lukszo, Z., Bompard, E., Hines, P., Varga, L., 2018. Energy and Complexity. *Complexity* 2018, 1–2. <https://doi.org/10.1155/2018/6937505>

Mancarella, P., Andersson, G., Pecas-Lopes, J.A., Bell, K.R.W., 2016. Modelling of integrated multi-energy systems: Drivers, requirements, and opportunities, in: 2016 Power Systems Computation Conference (PSCC). Presented at the 2016 Power Systems Computation Conference (PSCC), IEEE, Genoa, Italy, pp. 1–22. <https://doi.org/10.1109/PSCC.2016.7541031>

Mavrotas, G., 2009. Effective implementation of the ϵ -constraint method in Multi-Objective Mathematical Programming problems. *Applied Mathematics and Computation* 213, 455–465. <https://doi.org/10.1016/j.amc.2009.03.037>

Pfenninger, S., Hawkes, A., Keirstead, J., 2014. Energy systems modeling for twenty-first century energy challenges. *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 33, 74–86. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2014.02.003>

SESMG Developer Group, 2024. The Spreadsheet Energy System Model Generator. Read the Docs. <https://spreadsheet-energy-system-model-generator.readthedocs.io/>

Quartier für Quartier (Q4Q) – Alternativen zum Erdgas und die Zukunft der Gasverteilnetze im Rahmen der kommunalen Wärmewende

Nils Brücken¹, Dr. Johannes Schaffert¹, Christoph Redicker¹, Lukas Heidbreder¹, Luna Lohmann¹

¹ Gas- und Wärme-Institut Essen e.V., Essen, Deutschland, www.gwi-essen.de

1. Einleitung

Für eine erfolgreiche Wärmewende bis 2045 ist ein rascher Umstieg von fossilem Gas auf klimaneutrale Formen der Wärmeversorgung erforderlich.

Die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze (BEW) setzt Anreize für eine Abkehr von der fossilen Gasnutzung in der Wärmeerzeugung [1].

Bei den Kommunen, Stadtwerken und Akteuren vor Ort, die die Wärmewende „Quartier für Quartier“ (Q4Q) in die Tat umsetzen müssen, liegt großer Handlungsbedarf, angefangen von der kommunalen Wärmeplanung bis hin zu konkreten Investitions- und Betriebsentscheidungen.

Das Projekt Q4Q soll eine Bewertungsgrundlage bieten, um das Voranschreiten der Wärmewende zu unterstützen.

2. Material und Methoden

Die Analyse der vier Quartiere erfolgt durch eine hochaufgelöste dynamische Simulation mittels Dymola/Modelica. Mit Hilfe der Simulation werden zentrale Parameter wie Netzschlechtepunkte und Spannungsbandverletzungen identifiziert. Es werden alle relevanten dezentralen Erzeuger, Verbraucher und Energieträger berücksichtigt und in Szenarien ausgebaut: PV, WPs, E-Mobilität, Fernwärme, Wasserstoffnetze etc. Die Methodik wurde zuvor im Projekt EneRegio [6] angewandt. Die geplante Modellierung wird für vier unterschiedliche Quartiere durchgeführt.

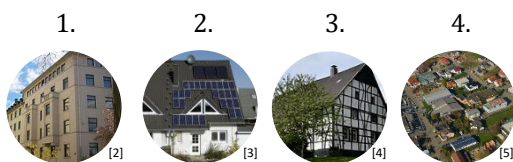


Abbildung 1: Die vier untersuchten Quartiere

Konkret geht es sich dabei um:

1. Das städtische Quartier
2. Das vorstädtische Quartier
3. Das Ländliche Quartier
4. Das Mischquartier

Für die jeweiligen Quartiere gibt es eine Vielzahl von Einflussgrößen, die im Rahmen der Betrachtung in der Simulation Berücksichtigung finden.

Dabei handelt es sich beispielsweise um die Gebäudetypen, das Baujahr, sowie die Energieeffizienzklassen und unterschiedlichen Sanierungsstandards. Neben diesen gebäudespezifischen Parametern werden auch infrastrukturelle Potenziale in der Simulation berücksichtigt. Dazu gehören Fernwärmepotenziale, PV-Potenziale, die Ladeinfrastruktur in den jeweiligen Quartieren wie auch der ÖPNV. Zusätzlich werden mögliche Abwärmepotenziale in den Quartieren berücksichtigt. Auch soziale Parameter wie Mietniveaus und Besitzverhältnisse fließen in die Studie ein.



Abbildung 2: Dynamische Simulation des Netzausbaus für verschiedene Stützjahre [6]

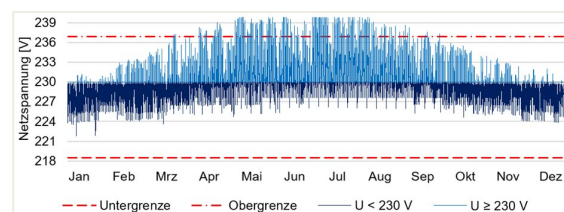


Abbildung 3: Beispielhafte Auswertung des jährlichen Spannungsbandes für einen Netzschlechtepunkt (2045) und erlaubter Spannungsbereich (rot) [6]

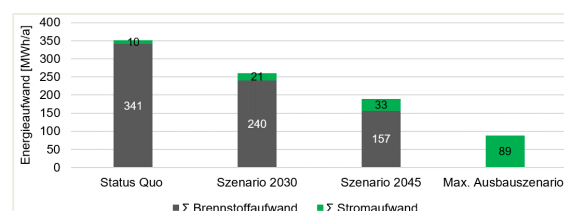


Abbildung 4: Ermittlung des Energiebedarfs zur Wärmebereitstellung nach Brennstoff- und Stromaufwand [6]

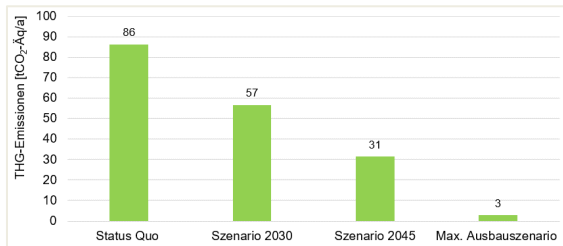


Abbildung 5: Berechnung der THG-Emissionen auf Grundlage des ermittelten Energiebedarfs [6]

3. Projektziele

Ziel des Projekts Q4Q ist die Untersuchung der Wärmetransformation in den vier dargestellten Typquartieren. Da bis 2045 die Klimaneutralität erreicht werden soll, geschieht die Untersuchung unter Berücksichtigung der auslaufenden Erdgasversorgung in Deutschland. Um die zukünftige Energieversorgung in den Quartieren gesamtgesellschaftlich darzustellen, werden alle relevanten Energieversorgungsoptionen betrachtet. Konkret handelt es sich dabei um Strom, Fernwärme und erneuerbare Gase, wobei der Fokus in diesem Bereich auf dem grünen Wasserstoff liegt. Zusätzlich finden weitere Erzeuger und Senken wie die E-Mobilität, Klimatisierung, Wärmepumpen und PV-Anlagen Betrachtung.

Um eine möglichst umfassende Bewertung zu ermöglichen, wird das Forschungsprojekt interdisziplinär durchgeführt. Somit findet nicht nur eine technische Modellierung statt, sondern auch eine soziale, ökonomische, rechtliche und regulatorische Erforschung der Einflussfaktoren und Interdependenzen, die Auswirkungen auf eine erfolgreiche Quartiersentwicklung ohne die Nutzung fossiler Brennstoffe haben.

Auf Grundlage der Forschungsergebnisse werden Handlungsempfehlungen abgeleitet. Diese dienen gemeinsam mit den technischen Simulationsergebnissen als Entscheidungshilfen für die Entwicklung typischer deutscher Quartiere im Rahmen der in den nächsten Jahren durchzuführen kommunalen Wärmeplanung.

Zielgruppen für die Handlungsempfehlungen sind insbesondere Kommunen, Stadtwerke, Wohnungsbaugesellschaften und -genossenschaften, wie auch die Politik, die Forschung, Energieberater und die Öffentlichkeit.

Zudem sollen Impulse geschaffen werden, die zu einer zielgerichteten Weiterentwicklung des Regulierungsrahmens führen.

5. Referenzen

Quellen:

- [1] Richtlinie für die Bundesförderung für effiziente Wärmenetze „BEW“. Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz
- [2] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Wohnblock_Bismarckplatz_4-6_-3.JPG
- [3] <https://www.schwaebisch-hall.de/ratgeber/neubau-und-anbau/zusammen-leben/doppelhaus-bauen.html>
- [4] https://commons.wikimedia.org/wiki/File:Essen-Burgaltendorf,_Dumberger_Str._58.jpg
- [5] <https://www.altdorf-boeblingen.de/de/wirtschaft-bauen/gewerbegebiet.php>
- [6] Brücken et al. (2022) EnerRegio: FH Münster und GWI

Referenzen:

- Baasch, S. (2024) "Multiple fragmentation as a challenge for municipal heat transition,"
- Benthin et al. (2022) IntegraNet II
- Lucke et al. (2023) iFlex KWK 4.0
- Lucke et al. (2022) IQDortmund
- Senner et al. (2024) HyBEST
- Benthin et al. (2021) EnQM
- Heyer et al. (2024) GreenVEgas



7. Förderhinweis

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Dekarbonisierung der Energieversorgung einer Molkerei durch die anaerobe Vergärung landwirtschaftlicher Reststoffe – Projekt ReMolk

Tim Harms-Ensink^{1,2}, Sylke Mehnert^{1,2}, Jurek Häner^{1,2}, Elmar Brüggling^{1,2}

¹ Fachbereich Energie-Gebäude-Umwelt, FH Münster, 48565 Steinfurt, Deutschland

² Institutsverbund Ressourcen, Energie und Infrastruktur, FH Münster, 48149 Münster, Deutschland

1. Einleitung

Deutschland beteiligt sich an internationalen Vereinbarungen zum Klimaschutz wie der UN-Klimarahmenkonvention, dem Kyotoprotokoll und dem Pariser Klimaschutzabkommen aus dem Jahr 2015. Die klimapolitischen Zielsetzungen sind im EU-Klimagesetz und national im Bundes-Klimaschutzgesetz festgelegt. Bis 2030 sollen die Treibhausgas-Emissionen um 65 % gegenüber dem Bezugsjahr 1990 gesenkt werden und bis 2045 wird Klimaneutralität angestrebt. Zur Zielerreichung ist neben dem allgemeinen Ausbau der erneuerbaren Energie u.a. eine nachhaltige Energiewirtschaft mit der integrierten Nutzung von thermischer und stofflicher Energie in Unternehmen ein wichtiger Bestandteil. Insbesondere durch die CO₂-Bepreisung werden deutsche Industrieunternehmen, wie auch die Lebensmittelindustrie, angetrieben, ihre betrieblichen Energiekonzepte umzustellen und zu optimieren. Das Ziel des Projekts ReMolk besteht darin, eine dekarbonisierte Energieversorgung einer Molkerei anhand von Reststoffnutzung in Biogasanlagen zu untersuchen.

2. Projektinhalte

Das Projekt ReMolk ist in 4 Arbeitspakete unterteilt. In Arbeitspaket 1 werden die Energieströme innerhalb der Molkerei analysiert, grafisch dargestellt und monetär bewertet.

Das zweite Arbeitspaket befasst sich mit den vorhandenen Reststoffen in der Milchviehhaltung. Neben der räumlichen und quantitativen Auswertung werden individuelle Biogas- und Methangaspotentialbestimmungen nach VDI 4630 durchgeführt.

In Arbeitspaket 3 steht die Ausarbeitung eines geeigneten Anlagenkonzeptes zur anaeroben Vergärung der Reststoffe im Mittelpunkt. Dabei werden sowohl zentrale Lösungen als auch Szenarien für dezentrale Biogasanlagen ausgewertet. Auch der vorhandene Biogasanlagenbestand wird in die Analyse einbezogen. Durch die Auswahl entsprechender Bewertungskriterien, wie

Wirtschaftlichkeit, technische Umsetzbarkeit, Treibhausgasminderungspotential und Investitionsrisiko lässt sich das aussichtsreichste Konzept zur Substitution fossiler Energieträger im Betrieb ermitteln.

In Arbeitspaket 4 wird dieses Konzept durch Wirtschaftlichkeitsberechnungen und eine großtechnische Auslegung einer potenziellen Biogasanlage komplettiert. Darüber hinaus werden weitere Eckpunkte zur Übertragbarkeit der Vorgehensweise im Projekt für die Umsetzung von Projekten zur Eigenenergieversorgung mittels anaerober Vergärung definiert.

3. Ergebnisse

Die Ergebnisse aus der Analyse der Energiedaten der Molkerei werden in Abbildung 1 vereinfacht dargestellt.

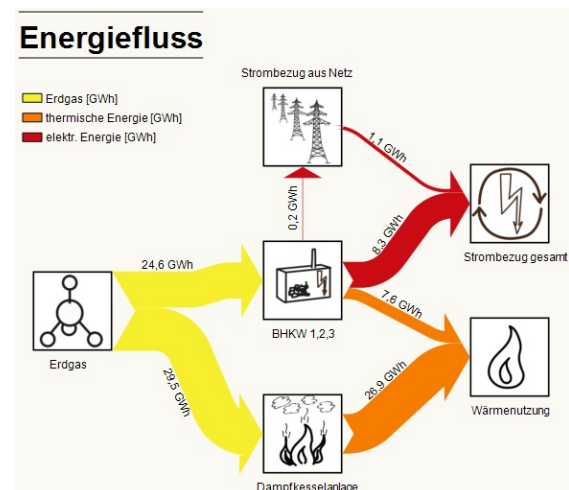


Abbildung 1: Energiefluss der Molkerei

Der jährliche Primärenergiebedarf liegt aktuell bei ca. 55,2 GWh/a. Dabei entfallen über 98 % auf den Energieträger Erdgas. Über BHKW-Anlagen sowie eine Dampfkesselanlage werden aus dem bezogenen Erdgas Wärme und Strom bereitgestellt, sodass in der Molkerei insgesamt ca. 9,3 GWh/a an elektrischer Energie und 34,5 GWh/a an thermischer Energie genutzt werden. Durch ein umfangreiches

Energieeffizienzprojekt soll der Primärenergiebedarf in den kommenden Jahren um 45 % gesenkt werden. Durch eine umfangreiche Elektrifizierung der Prozesse liegt der prognostizierte Einsatz von Erdgas zukünftig bei ca. 17 GWh/a (Privatmolkerei Naarmann, 2022). Die geschaffenen Flexibilitäts-Optionen, welche im Rahmen des Energieeffizienzprojekts zusätzlich umgesetzt werden, ermöglichen es, netzdienlich und damit auch kostengünstig elektrische Energie zu beschaffen. Dadurch erscheint Biogas/Biomethan als sinnvolle Möglichkeit den reduzierten prognostizierten fossilen Erdgasbedarf zu substituieren. Um das energetische Potential der Reststoffe im Umfeld der Molkerei zu bestimmen, wurde in Arbeitspaket 2 eine Umfrage zum Reststoffaufkommen auf den milchliefernden Betrieben durchgeführt. Die nachfolgende Abbildung 2 stellt die räumliche Anordnung der Milchviehbetriebe und die bekannten Biogas-BHKWs aus dem Marktstammdatenregister dar.

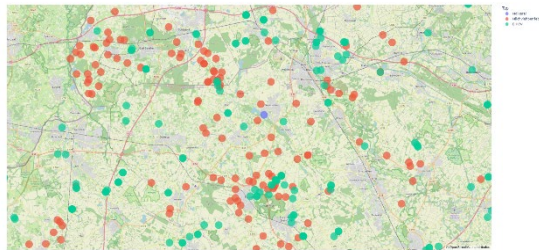


Abbildung 2: Verteilung der Milchviehbetriebe und bestehenden Biogas-BHKWs

Es konnten 39 Fragebögen hinsichtlich des Reststoffaufkommens ausgewertet, was einem Anteil von ca. 22 % der befragten Betriebe entspricht. Aus den Antworten geht hervor, dass rund 4.800 Milchkühe auf den 39 befragten Betrieben gehalten werden. Aus den ebenfalls erhobenen anfallenden Mengen Gülle und Mist wurde das Biomethanpotential bestimmt. Für die anfallende Gülle wurden ein Trockenrückstand (TR) von 8,5 %, ein organischer Trockenrückstand von 85 % sowie ein Biomethanpotential (BMP) von 154 L/kg oTR angenommen. Für den Mist wurden TR = 25 %, oTR = 80 % sowie BMP = 247,5 L/kg oTR angesetzt. Der potentielle Methanvolumenstrom auf Grundlage dieser Reststoffe beträgt 2,2 Mio. m³/a, was 22,6 GWh/a entspricht (Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft, 2024).

4. Diskussion und Ausblick

Ausgehend von der Bestimmung des Reststoffpotentials auf Grundlage der Befragung der Milchviehbetriebe sowie des prognostizierten Erdgasverbrauchs nach Umsetzung der Energieeffizienzmaßnahmen wird ersichtlich, dass sich der Erdgasbedarf durch eine konsequente Nutzung

der anfallenden Reststoffe decken lässt. Für diese Betrachtung wurden jedoch nur die Reststoffmengen einbezogen, die sich durch die rückläufigen Fragebögen belegen lassen. Unter Berücksichtigung der übrigen Reststoffmengen (ca. 78%), welche nicht über die Fragebögen erfasst wurden, ergibt sich ein deutlich höheres Potential. Wobei ein Teil der Reststoffe bereits in bestehenden Biogasanlagen eingesetzt wird und das energetische Potential somit bereits genutzt wird. Regional verteilen sich die Reststoffmengen im gesamten Kreis Steinfurt und darüber hinaus, sodass die Wirtschaftlichkeit für einen Transport zu prüfen ist.

Für eine genauere Aussage zum Reststoffpotential der Milchviehhaltung im Kontext der Molkerei werden insgesamt zwölf landwirtschaftliche Betriebe beprobt und das BMP verschiedener Haltungsformen, Leistungsklassen und Produktionsstufen ermittelt. Die abschließenden Ergebnisse dieses Arbeitspaketes werden für das 3. Quartal in 2024 erwartet. Begleitend zu dieser Auswertung startet im 2. Halbjahr 2024 das dritte Arbeitspaket, welches die Erarbeitung möglicher Anlagenkonzepte zur Nutzung der Reststoffe umfasst. Darauf folgend wird das aussichtsreichste Anlagenkonzept in AP4 zur konkreten Umsetzung vorbereitet.

5. Fazit

Nach aktuellem Stand der Auswertung zum Energiesystem in der Molkerei und dem Reststoffaufkommen der Milchviehbetriebe ist festzustellen, dass die potentielle Substratmenge relevant in Bezug auf das Substitutionspotential für den Energieträger Erdgas ist. Darüber hinaus werden die aktuell durchgeführten Potentialbestimmungen einen erheblichen Mehrwert für die Konzeptionierung möglicher Anlagenkonzepte darstellen.

6. Referenzen

Bayerische Landesanstalt für Landwirtschaft (2024), „Biogasausbeuten verschiedener Substrate“, verfügbar unter <https://www.lfl.bayern.de/iba/energie/049711/index.php>. zuletzt geprüft am: 30.01.2024 (Zugriff am 19. Februar 2024).

Privatmolkerei Naarmann (2022), „Energieeffizienzkonzept“.

7. Förderhinweis



Vorbehandelte Reststoffe als Substrat in Biogasanlagen

Marion Schomaker¹, Sören Kamphus¹, Elmar Brüggling¹

¹ FH Münster, Fachbereich Energie Gebäude Umwelt, Steinfurt, Deutschland

1. Hintergrund

Angesichts der begrenzten Förderung durch das Erneuerbare-Energien-Gesetz (EEG) stehen viele Betreiber von Biogasanlagen vor der Herausforderung, ihre Anlagen zukunftsfähig aufzustellen und ihre Wirtschaftlichkeit zu steigern. Dabei spielt die Erweiterung des Substratmixes und die Einhaltung von Grenzwerten eine entscheidende Rolle. Gemäß dem EEG 2021 gilt für neu geförderte Biogasanlagen eine jährliche Begrenzung von maximal 40 Massenprozent für den Einsatz von Getreidekorn und Mais als Substrat. Um diese Vorgaben einzuhalten und gleichzeitig die Anlagenleistung zu erweitern, bietet der vermehrte Einsatz von Reststoffen eine Lösung. Diese landwirtschaftlichen Nebenprodukte sind oft kostengünstige Substrate, allerdings weisen sie ohne Vorbehandlung eine geringe Vergärbarkeit auf. Daher sind geeignete Vorbehandlungsmethoden erforderlich, die die Effizienz der Vergärung verbessern und gleichzeitig ökonomisch und ökologisch überzeugend sind.

2. Zielsetzung

Das Projekt BioReSt konzentrierte sich auf die nachhaltige Nutzung von Reststoffen in Biogasanlagen. Das Ziel des Projektes war es, geeignete Vorbehandlungsmethoden für landwirtschaftliche Nebenprodukte zu entwickeln, um ihre Vergärbarkeit zu verbessern. Diese Reststoffe sind oft kostengünstige Substrate, die jedoch ohne Vorbehandlung nur schwer vergärbar sind. Durch eine effektive Vorbehandlung sollen die Reststoffe besser nutzbar gemacht werden, um die Biogasproduktion und damit die Leistung der Anlagen zu steigern.

3. Vorgehensweise

Zu Beginn des Projektes wurden dazu exemplarisch für verschiedene Reststoffkategorien eine Auswahl von sechs Reststoffen getroffen: strohhaltiger Pferde- und Rindermist, Gersten- und Rapsstroh, Kartoffelkraut und Grasschnitt. In einer ersten Versuchsreihe ist systematisch der Effekt verschiedener Kombinationen aus mechani-

scher, basischer und enzymatischer Vorbehandlung auf die Vergärung bzw. den Methanertrag der sechs Reststoffe untersucht worden. Dazu wurden alle Substrate zunächst mechanisch mit einem Prallreaktor zerkleinert. Anschließend erfolgte die basische Behandlung mit Ammoniak und die biologische Behandlung mit einer Enzymmischung.

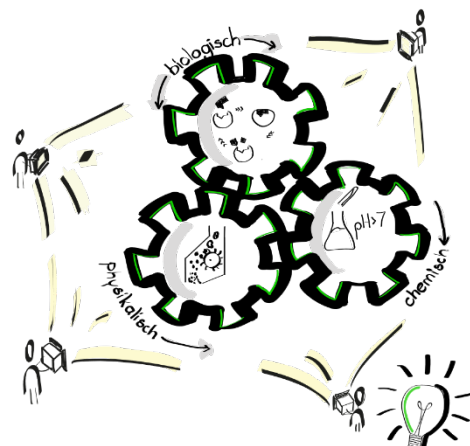


Abbildung 1: Darstellung der Vorbehandlungskombinationen (Grafik: Schomaker, FH Münster)

Die besten Ergebnisse der Versuchsreihen im Batch-Maßstab wurden in den technischen Maßstab übertragen. Dabei wurden neben dem Methanertrag und der Möglichkeiten der Ertragssteigerung auch die Kosten und die Umsetzung in die Praxis berücksichtigt.

4. Ergebnisse

In der letzten Projektphase wurden kontinuierliche Versuche in unterschiedlichen Maßstäben durchgeführt und die Vorbehandlungskombinationen aus den Batch-Versuchen erprobt.

Untersuchung im technischen Maßstab von vorbehandeltem Rindermist, Gras und Rapsstroh in Rührkessel-Reaktoren (12 L Gärrest). Der Vergleich in diesem Maßstab zeigte, dass die Vorbehandlung ohne die basische Komponente auskommt.

Finale Vorbehandlungskombination für diese Substrate:

Rapsstroh: Vorbehandlung mit Gülle, im Projekt 24 h, Massenverhältnis der Substrate 1:1 (Trockenrückstand der Mischung: 40 Gew.-%), Methanmehrertrag: 10 %

Rindermist: Vorbehandlung mit Gülle und Enzymen, im Projekt 24 h, Massenverhältnis der Substrate 1:1 (Trockenrückstand der Mischung: 15 Gew.-%), Enzymdosierung: 100 ppm (19 g/t_{FM} (Rindermist)), Methanmehrertrag: 11 %

Gras: Vorbehandlung mit Gülle und Enzymen, im Projekt 24 h, Massenverhältnis der Substrate 1:1 (Trockenrückstand der Mischung: 10 Gew.-%), Enzymdosierung: 200 ppm (22 g/t_{FM} (Gras)), Methanmehrertrag: 11 %



Abbildung 2: Rührkesselreaktoren der FH Münster im Technikum in Steinfurt (Foto: Schomaker, FH Münster)

Verwendung von Rapsstroh an einer Praxisanlage:

Der Betreiber hatte erstmalig auf seinen Rapsflächen das Rapsstroh geborgen. Die Lagerung erfolgt zunächst als Schüttung im Fahrsilo der Anlage. Es wurden täglich 300 kg Rapsstroh eingesetzt, solange die Menge reicht. (etwa 4 Wochen). Das Ergebnis: bei der Lagerung keine Erwärmung der Schüttung, Durchmischung mit Wirtschaftsdünger im Futtermischwagen als Vorbehandlung problemlos, während und nach den Versuchen lief der Anlagenbetrieb ohne besondere Vorkommnisse, Anlagenbetreiber zufrieden.



Abbildung 3: Rapsstroh Schüttung nach der Ernte 2022 im Fahrsilo einer Biogasanlage (Foto: Schomaker, FH Münster)

Expertenumfrage zum Einsatz von Reststoffen:

Tendenziell planen die Betreiber einen vermehrten Einsatz von Reststoffen in ihren Anlagen, insbesondere die Zahl der Antworten „über 50 % Reststoffe“ stieg. Gleichzeitig wurden Herausforderungen benannt, die ein Drittel der Betreiber im Bereich Rührtechnik sehen. Weitere Punkte sind begrenztes Behältervolumen (18 %), Pumpentechnik (16 %) sowie Beschaffung und Verfügbarkeit (16 %). Bereits geplante Änderungen der Anlagenbetreiber verteilen sich über alle Anlagenbereiche, z.B. mehr Einsatz von Mist, Einbau neuer Rührwerke oder Erhöhen des Gasspeichers. Forschungsbedarf in verschiedenen Bereichen des Anlagenbetriebes.

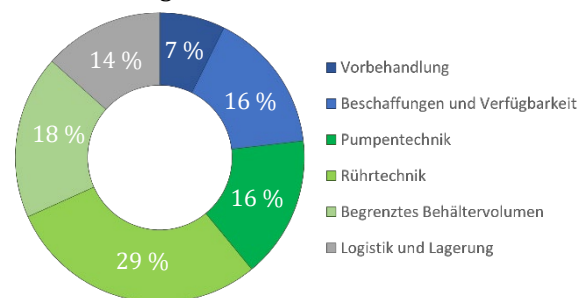


Abbildung 4: Verteilung der Antworten auf die Frage: „Welche Herausforderungen bestehen bei dem Einsatz von Rapsstroh?“

5. Ausblick

Im Laufe des Projekts zeigte sich ein erhebliches Interesse an der Verwendung von Reststoffen und Biogasanlagen waren bereit, diese einzusetzen. Dennoch bestehen genehmigungsrechtliche Bedenken hinsichtlich des umfangreicheren Einsatzes von Reststoffen in den Anlagen. Im Rahmen des Projekts wurden verschiedene Fragestellungen und Ideen aufgeworfen, die vom Projektteam weiterentwickelt und das Potenzial für Folgeprojekte geprüft werden.

6. Förderhinweis

Das Vorhaben BioReSt (FKZ: 03EI5406) wurde gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz.



Regionale Vorbehandlungskonzepte zur nachhaltigen Reststoffnutzung in Biogasanlagen

Projektpartner: FH Münster
AGRAVIS Raiffeisen AG

Laufzeit: 01/2020 – 03/2023

Biologische Wasserstoffherzeugung aus organischen Reststoffen



Juliana Rolf^{1,2}, Sören Kamphus^{1,2}, Elmar Brüggling^{1,2}

¹ Fachbereich Energie · Gebäude · Umwelt, FH Münster, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt

² Institutsverbund Ressourcen, Energie und Infrastruktur, FH Münster, Stegerwaldstr. 39, 48565 Steinfurt

1. Einleitung

Wasserstoff spielt eine entscheidende Rolle in Bezug auf die angestrebte Energiewende in Deutschland. Im Forschungsprojekt SolidScore wird mit Hilfe einer innovativen Biowasserstofftechnologie das vorhandene Spektrum, der bisher zur biologischen Wasserstoffherzeugung genutzten wässrigen Ausgangssubstrate, erweitert. Vor diesem Hintergrund wird untersucht, inwieweit sich Reststoffe, wie zum Beispiel Bioabfälle oder landwirtschaftliche bzw. biologische Reststoffe, mit einem Trockenrückstand (TR) > 10 % eignen.

2. Grundlagen

Die dunkle Fermentation (DF) ist ein vielversprechendes Verfahren zur Produktion von Biowasserstoff und organischen Verbindungen aus verschiedenen organischen Substraten. Im Rahmen dieses Projekts werden umfangreiche Recherchen durchgeführt, um den aktuellen Kenntnisstand und die neuesten Entwicklungen auf diesem Gebiet zu erfassen. Die DF bezieht sich auf den anaeroben biologischen Abbau von organischen Substraten. Der Prozess findet ohne Licht statt. Dabei wird Biomasse in Produkte wie Biowasserstoff, flüchtige Fettsäuren, Alkohole und andere Verbindungen umgewandelt. Die DF bietet zahlreiche Einsatzmöglichkeiten und Vorteile. Eine vielversprechende Anwendung ist die Produktion von Wasserstoff als erneuerbare Energiequelle, die zur Dekarbonisierung des Energiesektors beitragen kann. Durch die Umwandlung organischer Substrate kann Wasserstoff in einem nachhaltigen Prozess erzeugt werden, der im Vergleich zu fossilen Brennstoffen weniger Umweltauswirkungen hat. Zudem ermöglicht die DF die Umwandlung von organischen Abfällen in wertvolle Chemikalien, was zur Förderung einer nachhaltigen Bioökonomie beiträgt.

3. Vorgehensweise

Bei der Projektdurchführung arbeiten die beteiligten Projektpartner EMCEL GmbH, PlanET Biogastechnik GmbH und FH Münster mit Ihren jeweiligen Kompetenzen eng zusammen. In Abbildung 1 wird der Ablauf des Forschungsprojektes dargestellt.



Abbildung 1: Ablauf Forschungsprojekt SolidScore

In der ersten Projektphase werden geeignete Substrate ausgewählt und in Versuchen hinsichtlich ihres Biowasserstoffpotenzials untersucht. Getestet werden dafür auch verschiedene Vorbehandlungs- und Zerkleinerungsmethoden. Ziel ist es ein breites Substratspektrum zu untersuchen und den Prozess mittels innovativem Reaktordesign in einen kontinuierlichen Betrieb zu überführen. Im Projekt werden so wesentliche Erkenntnisse über die Verwendung von fester Biomasse gesammelt und mögliche Grenzen des Prozesses aufgezeigt. Das Projekt liefert daher u.a. Daten, die zum späteren Scale-Up in den Technikumsmaßstab benötigt werden. Die Fa. PlanET wird die FH Münster beim Substratscreening, bei der Anlagenplanung und -bau unterstützen. Insbesondere für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung und der Entwicklung von Anwendungsmöglichkeiten wird das Projekt von der Fa. EMCEL begleitet. Diese erarbeiten im engen Austausch mit PlanET verschiedene Anwendungskonzepte für die Landwirtschaft und führen ein Life Cycle Assessment (LCA) für unter-

schiedliche Szenarien durch. Durch die Zusammenarbeit werden somit nach Projektabschluss die technischen, ökonomischen und ökologischen Grundlagen für die biologischen Wasserstoffherzeugung in Verbindung mit bestehender Biogas-technik aus fester Biomasse geschaffen.

4. Ergebnisse

Im Vergleich zu den anderen biologischen Verfahren zur Wasserstoffherzeugung ist die dunkle Fermentation technologisch am weitesten fortgeschritten. Es ist ein anaerobes Verfahren bei dem organische Substrate unter Abwesenheit von Licht zu Wasserstoff (H₂) und Kohlenstoffdioxid sowie flüchtigen organischen Säuren abgebaut werden.

Bereits abgeschlossene Projekte zeigten, dass vor allem Abwasser aus der Nahrungsmittelindustrie für die Biowasserstoffherzeugung geeignet sind. Abwasserproben aus der Nahrungsmittelindustrie wiesen einen Wasserstofftrag von 90 bis 160 l H₂/kg_{OTR} (Weide *et al.*, 2019). Gleichzeitig konnten aber auch Limitierungen der einsetzbaren Substrate aufgezeigt werden. Das Projekt SolidScore hat daher das Ziel, das Reststoffspektrum der verwendbaren Substrate und somit die Einsetzbarkeit des Verfahrens deutlich zu erweitern. Darüber hinaus führt die Implementierung der dunklen Fermentation in Bioenergieanlagen zu einer Steigerung der Gesamteffizienz. Außerdem werden im Rahmen des Projektes SolidScore Konzepte zur weiteren Verwendung des so erzeugten Wasserstoffs erstellt und ein Life Cycle Assessment durchgeführt.

5. Fazit

Das SolidScore-Projekt hat eine Laufzeit von insgesamt drei Jahren und startete im August 2023. Vielversprechende Substrate wurden identifiziert und die ersten Batchversuche durchgeführt. Weitere Versuchsreihen sind notwendig, um die Palette der verfügbaren Reststoffe und Abwässer zu erweitern.

6. Referenzen

Weide, T., Brüggling, E., Wetter, C., Ierardi, A. und Wichern, M. (2019), „Use of organic waste for biohydrogen production and volatile fatty acids via dark fermentation and further processing to methane“, *International Journal of Hydrogen Energy*, 44. Jg., Nr. 44, S. 24110–24125.

7. Förderhinweis

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



Projektträger Jülich
Forschungszentrum Jülich

Das Forschungsprojekt SolidScore wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (Projektträger: Projektträger Jülich (PtJ)) gefördert und mit der EMCEL GmbH und der PlanET Biogastechnik GmbH durchgeführt (Förderkennzeichen: 03EI5465A).

Thermische Batterien / Schwarmpeicher

Autor: Prof. Dr.-Ing. Bernd Boiting¹

¹ Fachbereich: Energie • Gebäude • Umwelt, FH Münster, Steinfurt, Deutschland NRW

1. Thermische Batterien

Der zeitliche Energiebedarf für Gebäude und viele verfahrenstechnische Anlagen, ist nicht synchron zur volatilen Verfügbarkeit regenerativer Energien, z.B. aus PV- oder Windkraftanlagen. Intelligente Gebäude und Anlagen müssen daher große Energiemengen speichern und über mehrere Stunden verschieben können, um sie nutzbar zu machen. Dabei wird oft an elektrische Speicher gedacht, obwohl ein Großteil der benötigten Energien thermischer Art ist. Kompressionskältemaschinen können regenerativen Strom direkt und durch ihren Wirkungsgrad um ein Vielfaches vergrößert in Wärme und Kälte wandeln. Diese lässt sich wesentlich wirtschaftlicher und nachhaltiger speichern als Strom. Da sensible Speicher im MWh und GWh Bereich sehr groß werden, sind Lösungen gefragt, die Speicherdichten vervielfachen. Hier kommen Phase Change Materials (engl. PCM) in Spiel.

2. Material und Methoden

An der FH Münster wurde PCM-Objekte nach RAL-GZ 896 in hybriden Latentwärmespeichern untersucht:

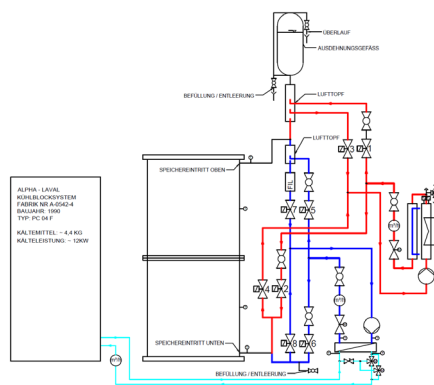


Abbildung 1: Versuchsstand für PCM-O, zur Untersuchung des dynamischen Be- und Entladevorganges von thermischen Speichern, inkl. Kapazitätsbestimmung

Dabei wurden sowohl verschiedene PCM-Objekte untersucht als auch unterschiedliche PCM. Die

umfangreichen Untersuchungen umschlossen neben der Wärmespeicherung auch die Kältespeicherungen. Erweiterungen des Prüfstandes ermöglichten auch die Untersuchungen dynamischer Lastverläufe.

3. Ergebnisse

Aufbauend auf den Messergebnissen, wurde für die RAL-Gütegemeinschaft PCM ein Algorithmus entwickelt und als Proof of Concept, in ein Simulationsprogramm überführt:

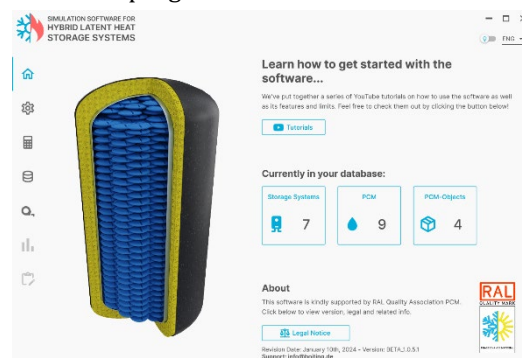


Abbildung 2: Proof of Concept: Auslegungs- und Simulationstool für hybride, latente Wärmespeichersysteme

Das Tool erlaubt neben der Simulation von einfachen Laborversuchen in Form von Sprungantworten zur Speicherkapazitätsbestimmung, auch die Simulation beliebiger Speicher mit frei bestimmbarer PCM und PCM-Objekten, unter dynamischen Randbedingungen.

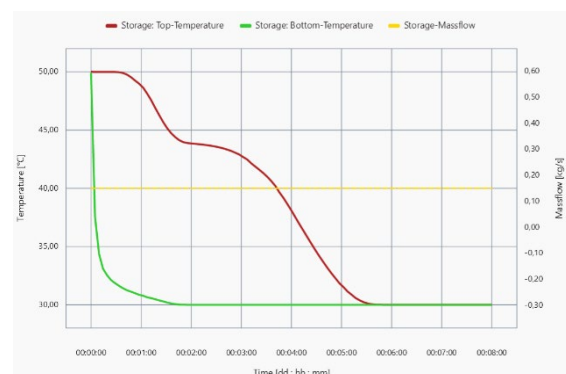


Abbildung 3: Simulation der Speichertemperaturen, während des Entladevorganges eines untersuchten Speichers mit PCM-Objekten

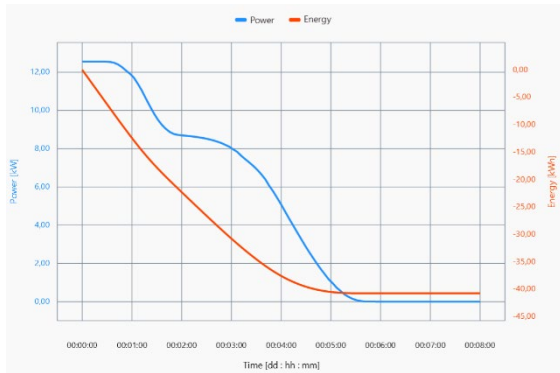


Abbildung 4: Ermittlung der Leistungsabgabe und der gelieferten thermischen Energiemenge des simulierten Speichers

Durch das Berechnungstool können Betriebsparameter bestimmt werden, wodurch der Leistungsverlauf gegenüber dem dynamischen Verlauf in Abbildung 4, in einen konstanten Verlauf überführt werden kann. Dadurch gelingt der Betrieb hybrider Latentwärmespeicher, wie der einer regelbaren Heizungsanlage, oder Kältemaschine.

4. Diskussion

Hybride, latente Wärmespeichersysteme verhalten sich ähnlich dynamisch wie Stromspeichersysteme. Eine mit dem Simulationswerkzeug bestimmbare Betriebsweise, ermöglicht den Einsatz dieser thermischen Energiespeicher als regelbares System, zur Aufnahme großer regenerativer Energiemengen.

5. Fazit

Das vorliegende Proof of Concept, ermöglicht dem geschulten Ingenieur die Planung von thermischen Energiespeichern mit konstanter Leistung bis weit in den MWh Bereich.

Durch die Möglichkeit die Wärme- und Kälte erzeugenden Kompressionskältemaschinen durch EVU's von extern anzusteuern, gelingt der Ansatz zu Schwarm speichern. Ebenfalls wird es für Anlagen und Gebäude erstmals möglich, regenerative Energien in relevanten Größenordnungen im eigenen Bilanzkreis zu verwenden, ohne ihn selbst erzeugt zu haben. Ein Ansatz den es noch im GEG zu berücksichtigen gilt. Dazu werden aktuell Normungs- und Richtlinienarbeiten vorangetrieben. Mit der noch in der Bearbeitung befindlichen DIN 2386 (Schwarm Speicher) und der VDI 4657, Blatt 2 (Speicherkennzahlen und Prüfverfahren) sollen die Grundlagen dazu geschaffen werden.

6. Referenzen

Wie ausgeführt, können hybride, latente Energiespeicher sowohl Wärme als auch Kälte speichern. In einer Geflügelschlachtereie wurde ein Energiesystem, bestehend aus 750 kWp (PV) und einer Kältemaschine (690 kW) und einem 80.000l-Speicher kombiniert, der mit PCM-Objekten gefüllt wurde. Das entstehende Speicheräquivalent entspricht 360.000l, respektive 3,6 MWh Speicherkapazität (~ 8K Temperaturspreizung).



Abbildung 5: Geflügelschlachtereie, die mittels hybrider Latentspeichertechnologie, PV-Strom in Form von Kälte zwischenlagert



Für die Wärmewende relevante, speicherbare und verschiebbare Energiemengen entstehen, wenn Schwarm Speicher im TWh gebildet werden können. Die aktuelle flächendeckende Einführung der Wärmepumpentechnologie würde das in Verbindung mit dieser Speichertechnologie möglich machen.

Abbildung 6: kraftBoxx, in Verbindung mit Wärmepumpe, oder Durchlauferhitzer und EVU-Anbindung, als Schwarm Speicher verwendbar