

Netzstabilität mit Wind- und Bioenergie, Speichern und Lasten

Robert Brockmann

Hochschule Stralsund / Institut für Regenerative Energiesysteme

Zur Schwedenschanze 15, 18435 Stralsund

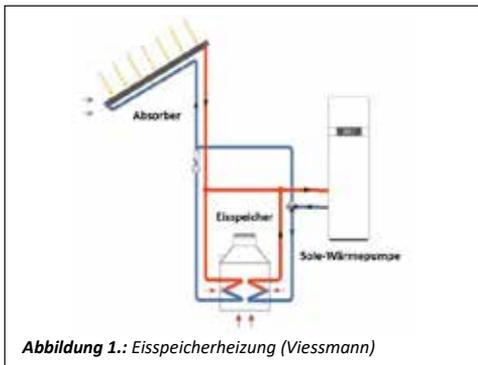
Kontakt: Robert.Brockmann@Hochschule-Stralsund.de

Schlüsselwörter: Wärmepumpe, Eisspeicher, Kalte Nahwärme, Biogasanlage, Biogas, Wasserstoff, Methanisierung, Mikrogasnetz

1. Einleitung

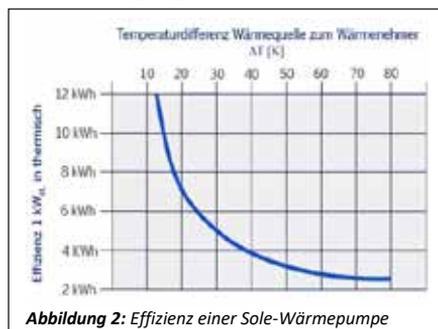
Etwa 40% der eingesetzten Primärenergie wurde in Deutschland im vergangenen Jahr für die Bereitstellung von Wärme bzw. Kälte benötigt, davon wiederum 46% für Raumheizung und weitere 9% für Warmwasser in Haushalten, Industrie und Gewerbe. Für die Erreichung der Klimaschutzziele ist in Deutschland bis zum Jahr 2050 eine Verringerung des Energiebedarfes im Wärmesektor auf 1/6 der gegenwärtigen Energiemenge vorgesehen [1]. Dafür bedarf es nicht nur umfangreicher Anstrengungen im Bereich der Gebäudesanierung. Die Umstellung der häuslichen Wärmeversorgung mit Wärmepumpen bedingt das Wärmesysteme derart projektiert und betrieben werden, dass im Winter kein zusätzlicher Bedarf an Strom von zentralen thermischen Kraftwerken benötigt wird. Zudem, dass im Winter der benötigte Strom für Wärmepumpen durch lokale thermische Stromerzeugungsanlagen, wie z. B. Stirlingmotoren, erzeugt wird. Optimalerweise wird der Brennstoff durch organische Rohstoffe aus der Landwirtschaft (Biogas) oder Windkraftanlagen (Wasserstoff) gewonnen.

2. Auslegung von Eisspeicherheizungen



Bei der häuslichen Eisspeichertechnologie wird mit einer Sole-Wärmepumpe Wärme zum Beheizen eines Gebäudes bei Außentemperaturen größer als -2°C über einem häuslichen Dachabsorber und bei Außentemperaturen unter -2°C aus einem häuslichen Eisspeicher bezogen. Bei Umgebungstemperaturen oberhalb von 0°C wird vom Dachabsorber zur Regeneration des Eisspeichers Wärme zugeführt. Dadurch kann die Wärmepumpe einer derartigen häuslichen Eisspeicherheizung mit einer Jahresarbeitszahl (JAZ) von mindestens fünf betrieben werden, da die Temperaturdifferenz zwischen Eisspeicher und Heizungsvorlauf im Winter im Mittel bei 30 K liegen wird (Abbildung 1).

Der häusliche Eisspeicher wird auch als Latentwärmespeicher bezeichnet. Dieser erlaubt über den Phasenübergang beim Erstarren einer Flüssigkeit bei konstanter Temperatur Heizwärme zu beziehen.



Die Energiemenge beim Erstarren des Wassers entspricht etwa der Energiemenge, die erforderlich ist, um die gleiche Wassermenge von 0°C auf 80°C zu erwärmen. Die Erstarrungsenthalpie von Wasser beträgt 334 kJ/kg , die spezifische Wärmekapazität $4,19 \text{ kJ/kg}$. Ein häuslicher Eisspeicher mit einer maximalen Heizleistung 10 kW wird derart projektiert, dass dieser ca. 10% des jährlichen Wärmebedarfes für ein Einfamilienhaus abdecken kann. Bei einer häuslichen Eisspeicherheizung mit 10 m^3 ist dieses eine Energiemenge, die einem Heizwert von 11 Litern Heizöl entspricht. Der Speicher liefert in einem Zyklus maximal 900 kWh Wärme, er kostet mit Einbringung

etwa 10 T€. Hinzu kommen die Kosten für die Sole-Wärmepumpe und den Dachabsorber von ca. 12 T€ bis 17 T€, womit sich die Gesamtkosten auf 22 – 27 T€ belaufen. Sehr wichtig ist zudem, bei der Projektierung von Eisspeicherheizungen, die Herabsenkung der Vorlauftemperatur des Heizkreises (zum Beispiel durch Fußbodenheizung bzw. Wandheizungen). Wird die Temperaturspreizung zwischen der Primär- und der Sekundärseite der Sole-Wärmepumpe um 1 K verringert, reduziert sich der Strombezug einer Sole-Wärmepumpe um etwa 3% (Abbildung 2) [2].

3. Quartier-Wärmeversorgung mit geclusterten Eisspeichern

Aufgrund der gesetzlichen Anforderungen der EnEV 2016 werden Einfamilienhäusern zunehmend mit Luft-Wärmepumpen beheizt. Dieses bedeutet, dass das zugehörige Stromnetz in einem Quartier für den Lastfall extremer Winterperioden ausgelegt werden muss. Pro Gebäudeeinheit mit einer Luft-Wärmepumpe muss die Kapazität des Stromnetzes im Quartier um mindestens 5 kW erhöht werden [3]. Bei niedrigen Außentemperaturen sinkt durch die Temperaturspreizung der COP der Luft-Wärmepumpen auf etwa 2, so dass bei -15°C mit 1 kW Strom nur 2 kW Heizwärme erhalten werden.

Zur Bereitstellung dieser elektrischen Leistung für die verbauten Luft-Wärmepumpen muss eine entsprechende (elektrische) Kraftwerkskapazität für extreme Winterperioden vorgehalten werden, die i.d.R. nur fortlaufend für maximal 20 Tage benötigt wird. Würde man die Kosten der Vorhaltung dieser (quasi thermisch bedingten) Kraftwerkskapazität für Luft-Wärmepumpen umlegen, könnten Luft-Wärmepumpen überhaupt nicht wirtschaftlich betrieben werden!

Werden die Gebäude hingegen mit Eisspeicherheizungen beheizt, kann die benötigte (Winter-) Kraftwerkskapazität minimiert werden, da die hier eingesetzten Sole-Wärmepumpen bei Außentemperaturen unter -2°C die Wärme aus dem Eisspeicher mit 0°C entnehmen. Der dadurch erreichte COP von 4 erlaubt letztlich eine Halbierung der zugeordneten (Winter-) Kraftwerkskapazität.

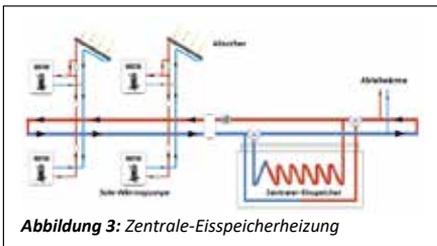


Abbildung 3: Zentrale-Eisspeicherheizung

Beziehen Gebäudeeinheiten im Winter ihre Wärme nicht aus häuslichen Eisspeichern, sondern aus einem gemeinsamen Eisspeicher, können die Kosten für häusliche Eisspeicher deutlich reduziert werden. Zu etwas höheren Kosten als ein häuslicher Eisspeicher von 10 m³ kann ein zentraler Eisspeicher mit den Abmessungen einer Fertigarage und mit einem Volumen von ca. 50 m³ für die Versorgung von fünf typischen Einfamilienhäusern errichtet werden (Abbildung 3). Dieses erlaubt es die Kosten für eine Eisspeicherheizung pro Gebäudeeinheit auf 15 – 20 T€ zu reduzieren. Zudem kann bei einem zentralen Eisspeicher zusätzliche Wärme über ein Erdkollektorleitungsnetz aus dem Erdreich bezogen werden. Auch besteht die Möglichkeit dem kalten Nahwärmenetz Abfallwärme zuzuführen, zum Beispiel die Abwärme einer Lithium-Ionen-Batterie.

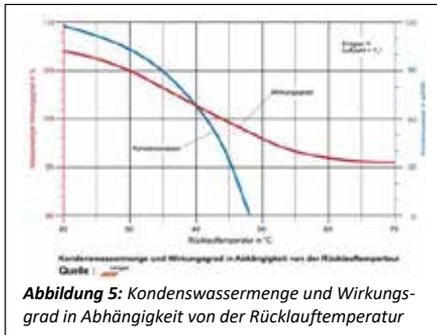
reduzieren. Zudem kann bei einem zentralen Eisspeicher zusätzliche Wärme über ein Erdkollektorleitungsnetz aus dem Erdreich bezogen werden. Auch besteht die Möglichkeit dem kalten Nahwärmenetz Abfallwärme zuzuführen, zum Beispiel die Abwärme einer Lithium-Ionen-Batterie.



Dieses erlaubt es die Effizienz der häuslichen Eisspeicher durch eine Anhebung der Vorlauftemperatur zu den häuslichen Sole-Wärmepumpen zu erhöhen (Abbildung 4)[4].

Abbildung 4: Kalte Nahwärme mit einem Stromspeicher

4. Boosterung eines kalten Nahwärmenetzes mit Gasheizungen

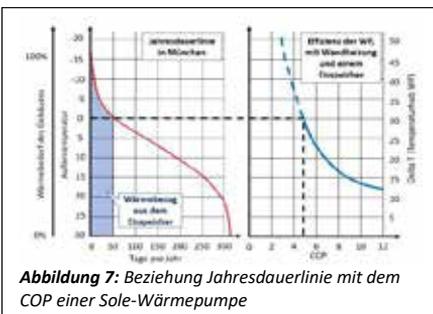


Neben einer Boosterung eines kalten Nahwärmenetzes mit der Abwärme eines Stromspeichers besteht auch die Möglichkeit das kalte Nahwärmenetz durch die Abfallwärme einer zentralen fossilen Heizungsanlage zu boostern, zum Beispiel mit der Kondensationswärme einer Gasheizung (Brennwerttechnik). Bei der Brennwerttechnik wird durch die Abkühlung des Abgases die im Abgas enthaltene Kondensationswärme weitgehend zurückgewonnen. Wird das Abgas auf eine Temperatur von 20°C abgekühlt, so liegt der Wirkungsgrad bezogen auf den Heizwert bei 107% und bezogen auf den Brennwert bei 96% (Abbildung 5)[5][6]. Dieses Vorgehen erlaubt es den Eisspeicher mit Kondensationswärme der Gasheizung zu beladen. Aus technischer Sicht kann die Abgastemperatur einer Gasheizung bis auf eine Temperatur von 0°C abgesenkt werden. Zudem besteht die Möglichkeit durch die Gasheizung das kalte Nahwärmenetz mit Wärme zu boostern. Die Boosterung erlaubt es im Winter den Strombezug der häuslichen Sole-Wärmepumpen in Phasen mit einer Unterversorgung von regenerativem Strom zu minimieren. Es besteht hierdurch die Möglichkeit durch die Boosterung Sole-Wärmepumpen mit einem COP von bis zu 7 zu betreiben. Vorteilhafterweise sollte der Strom für die Sole-Wärmepumpe im Winter durch Gasheizungen mit Stirlingmotoren erzeugt werden.



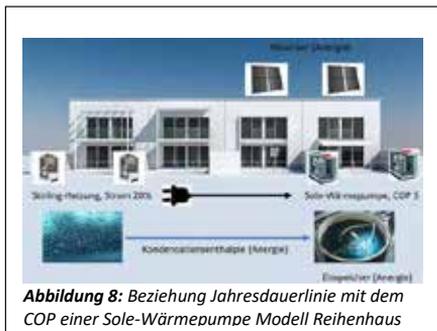
Im Jahr 2010 begannen die Hersteller Brötje, Vaillant, Remeha und Viessmann Gasheizungen mit Stirlingmotoren zu vertreiben (Abbildung 6). Der EcoGen WGS 20.1 der Firma Brötje erreicht seine elektrische Maximalleistung von einem Kilowatt bei einer Wärmebereitstellung von 5 kW. Der elektrische Wirkungsgrad liegt bei 20%. Der EcoGen WGS 20.1 wurde im Jahr 2012 mit einem Pufferspeicher von 400 zum Preis von 14.500 Euro angeboten [7][8]. Die Rudolf Schmid AG aus der Schweiz entwickelt des Weiteren seit einigen Jahren einen

Resonanzstirlingmotor. Der elektrische Wirkungsgrad des Resonanzstirlingmotors ist größer als 30%. Bei einer thermischen Leistung von rund 6 kW wird eine elektrische Leistung von 2 kW erzeugt [9]. Gleichfalls entwickelte die Firma Frauscher Thermal Motors einen Stirlingmotor mit einem Wirkungsgrad von 38%, bezogen auf die eingetragene Wärmeleistung zur mechanischen Wellenleistung [10]. Diese Entwicklungen zeigen, dass Strom mit einer gleichen Effizienz wie mit einem BHKW erzeugt werden kann. Der Vorteil der Stirlingmotortechnologie ist gegenüber einem BHKW, sowie der Brennstoffzellentechnologie, die hohe Robustheit. Aber auch, dass ein Stirlingmotor im Gegensatz zu einem BHKW kaum gewartet werden muss.



Bei einer Berücksichtigung einer linearen Abhängigkeit zwischen Außentemperatur und Wärmebedarf kann über die Lufttemperatur der Wärmebedarf eines Gebäudes bestimmt werden (Abbildung 7). Die für die Berechnung benötigte Norm-Außentemperatur (t_{Norm}) wird entweder dem Regelwerk DIN4710 entnommen oder von Wetterdiensten bezogen. Die Norm-Außentemperatur wird nach der DIN EN 12831 bestimmt. Berechnet wird die Norm-Außentemperatur über das tiefste Zweitagesmittel der Lufttemperatur eines Ortes, das zehnmal in 20 Jahren erreicht wurde. Mithilfe der Norm-Außentemperatur kann der Norm-Wärmeverbrauch (Jahresdauerlinie) der

Gebäudeeinheit berechnet werden. Die Jahresdauerlinie erlaubt es zudem zu bewerten, wie effizient eine Eisspeicherheizung (kalte Nahwärme) betrieben werden kann [11]. Je höher die Anzahl der Tage unter 0°C ist, desto höher ist die Effizienz einer Eisspeicherheizung gegenüber einer Luft-Wärmepumpe. Zudem kann eine Gasheizung mit einem Stirlingmotor hervorragend mit einer Eisspeicherheizung kombiniert werden. Grund ist, dass die Sole-Wärmepumpe einer Eisspeicherheizung mit einer

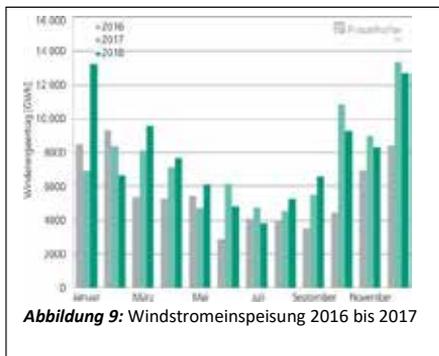


Wandheizung im Winter bei Temperaturen unterhalb von 0°C mit einem COP von 5 betrieben werden kann. Dieses bedeutet, dass mit 1 kW_{ele} 5 kW_{therm} energetische Wärme auf ein Temperaturniveau gefördert werden kann, mit dem ein Haus beheizt werden kann. Eine Gasheizung mit einem Stirlingmotor erzeugt genau die Strommenge, die von der Sole-Wärmepumpe einer Eisspeicherheizung benötigt wird. Wird zum Beispiel in zwei Gebäudeeinheiten eines Reihenhauses die Heizwärme mit Stirlingmotor-Gasheizungen und bei zwei Gebäudeeinheiten mit Eisspeicherheizungen erzeugt, so wird kein Netzstrom im Winter zum Betrieb der Sole-Wärmepumpen benötigt (Abbildung 8). Dieses bedeutet,

dass auch in einer Region, bei einer richtigen Balancierung von Eisspeicherheizungen und Stirlingmotor-Gasheizungen, kein Netzstrom zum Betrieb von Sole-Wärmepumpen im Winter benötigt wird.

5. Betrieb von Stirlingmotor-Gasheizungen mit Biogas

Der Vorteil eines Stirlingmotors ist, dass dieser auch mit Biogas betrieben werden kann. Die Wärme- und Kältebereitstellung aus Biogas und Biomethan erreichte 2018 einen Anteil von gut 11% des Endenergieverbrauchs an Wärme aus erneuerbaren Energien [12]. Studien zeigen aber, dass das spezifische Biogutaukommen saisonal schwankt. Die Analyse einer Biogasvergärungsanlage zeigte, dass das spezifische Biogutaukommen je Bürger zwischen ca. 3 kg_{Einwohner/Monat} in den Wintermonaten und 9 kg_{Einwohner/Monat} in den Sommermonaten schwankt [13]. Aus diesem Grund sollte das Biogas nicht in einem BHKW, sondern das Biogas einem Mikrogasnetz mit Stirlingmotor-Gasheizungen zugeführt werden [14][15]. Der Vorteil eines Mikrogasnetzes mit Gasheizungen mit Stirlingmotoren ist, dass dieses auch mit Wasserstoff betrieben werden kann.



Somit besteht die Möglichkeit dem lokalen Mikrogasnetz unbegrenzt Wasserstoff beizumischen. In Phasen mit überschüssigem Strom wird Wasserstoff im Quartier erzeugt und dieser dem Mikrogasnetz zugeführt. Auswertungen zeigen, dass im Winter mehr Windstrom als im Sommer erzeugt wird (Abbildung 9)[16]. Somit besteht die Möglichkeit im Sommer die Stirlingmotor-Gasheizungen ausschließlich mit Biogas und im Winter mit einem Gasgemisch aus Biogas und Wasserstoff zu betreiben. Außerdem besteht die Möglichkeit mit der Abfallwärme bei der Elektrolyse das kalte Nahwärmenetz im Winter zu boostern. Der chemische Wirkungsgrad bei der Erzeugung von Wasserstoff liegt bei ca. 70% bis 80%.

6. Verkopplung von lokalen Gasnetzen mit dem überregionalen Gasnetz

Um die Kapazität des lokalen Gasnetzes zu erhöhen, sollte das Mikrogasnetz mit dem überregionalen Gasnetz verkopplert werden. Der Grund ist, dass das überregionale Gasnetz es erlaubt Erdgas kostengünstig in Salzkavernen zu speichern. Auch besteht die Möglichkeit im Winter aus dem überregionalen Gasnetz dem Mikrogasnetz Erdgas zuzuführen (Abbildung 10). Es gibt einige verfahrenstechnische Verfahren, um Biogas auf die Qualität von Erdgas durch eine CO₂-Abtrennung zu veredeln, zum Beispiel durch die Aminwäsche, der Druckwasserwäsche, der Druckwechseladsorption oder der Membrantechnik. Das am meisten verbreitete Verfahren zur Methan-anreicherung von Biogas ist die Druckwasserwäsche. „Das Verfahrensprinzip beruht auf der unterschiedlichen Löslichkeit von Methan und Kohlendioxid in Wasser. Bei dem Verfahren rieselt möglichst kühles Wasser von oben dem aufwärts strömenden Rohbiogas entgegen, wobei sich beim Kontakt der beiden Medien basische und

saure Bestandteile des Rohbiogases im Wasser lösen. Je kühler das Wasser und je höher der Druck ist, desto mehr CO₂ kann im Wasser gelöst werden.

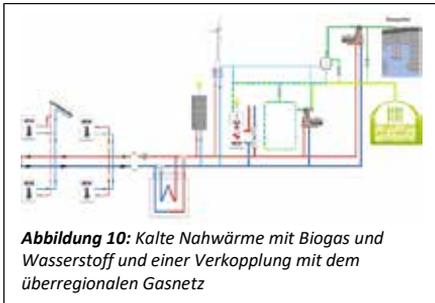


Abbildung 10: Kalte Nahwärme mit Biogas und Wasserstoff und einer Verkopplung mit dem überregionalen Gasnetz

Das gereinigte Gas ist wassergesättigt und muss noch in einem Gastrockner getrocknet werden. Nach der Aufbereitung hat das Gas einen Methangehalt von bis zu 96%. Das CO₂ reiche Wasser wird anschließend in eine Entspannungskolonnen übergeführt, in der das CO₂ aus dem Wasser entweicht. Bei diesem Verfahren bestehen relativ viele Erfahrungen und es ist keine Chemikalienentsorgung nötig. Der hohe Stromverbrauch wirkt sich jedoch negativ aus“ [17].

Ein weiteres Verfahren mit dem Biogas zur Bio-Erdgas veredelt werden kann, sind mikrobiologische Verfahren mit Archebakterien (Archaeen). Das Verfahren beruht darauf, dass man methanbildenden Bakterien Biogas und Wasserstoff zuführt. Der Vorteil einer biologischen Veredelung von Biogas zu Bio-Erdgas durch Archaeen von Biogas zu Bio-Erdgas ist die hohe Toleranz des Verfahrens gegenüber Eduktgasen. Nach den Angaben der Firma Krajete GmbH besteht die Möglichkeit das Kohlenstoffdioxid im Rohbiogas durch Bakterien gänzlich zu methanisieren. Zudem erlaubt das mikrobiologische Verfahren, dass das Biogas auch nach längeren Stillstandszeiten des Reaktors zu Methan veredelt werden kann. Selbst nach einer Stillstandszeit von 500 Stunden konnte nach dem Wiederaufstarten des Reaktors keinerlei Auswirkung auf die Produktivität, nach den Angaben der Firma Krajete GmbH, beobachtet werden. Dieses bedeutet, dass das Verfahren sehr dynamisch betrieben werden kann [18]. Das Verfahren ist in der Art ausgereift, dass es durch die Firma Krajete GmbH und der Viessmann Group (Microbenergy) beworben wird [19][20]. Wird zum Beispiel am Standort einer Biogasanlage über einen Elektrolyseur aus überschüssigen Strom Green-Wasserstoff generiert und in einem Gasspeicher zwischengespeichert, so besteht die Möglichkeit Biogas bedarfsgerecht zu methanisieren, um dieses dem Erdgasnetz zuzuführen. Seit März 2015 speist die erste mikrobiologische Power-to-Gas-Anlage Green-Methan in das öffentliche Gasnetz in Allendorf (Eder) ein. Die Anlage läuft mit einer Leistung von 15 Nm³/h, was 400.000 kWh pro Jahr entspricht. Betreiber der Anlage ist die MicrobEnergy GmbH der Viessmann Group.

Vorteil des mikrobiologischen Verfahrens mit Archebakterien ist, gegenüber verfahrenstechnischen Verfahren, dass dem Reaktor auch ein Gasgemisch mit Wasserstoff zugeführt werden kann, zum Beispiel ein Gasgemisch aus Biogas und Wasserstoff. Es besteht nur die Notwendigkeit, bei einer zu geringen Wasserstoffkonzentration im Mischgas, dem Reaktor Wasserstoff zu Methanisierung zuzuführen. Auch ist es kein technisches Problem, bei einem Überschuss von Wasserstoff im Gasgemisch, dem Erdgasnetz Wasserstoff zuzuführen. Somit besteht mit dem mikrobiologischen Verfahren die Möglichkeit, dass lokale Gasnetz mit dem überregionalen Erdgasnetz sehr vorteilhaft zu verknüpfen.

7. Ausblick und Zusammenfassung

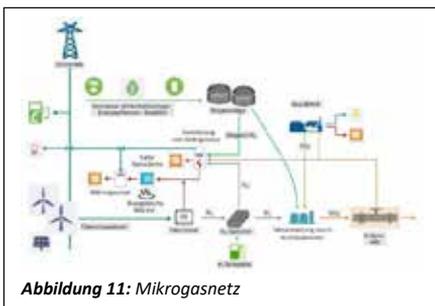


Abbildung 11: Mikrogasnetz

Wird ein lokales Gasnetz als Mischgasnetz betrieben bedingt dieses, dass der Brennwert des Mischgases stetig bestimmt werden muss. Beim Stand der Technik ist es zudem kein Problem über eine Datenkommunikation den Heizwert bzw. den Brennwert des Gasgemisches dem Wärmeerzeuger zu übermitteln. Aus technischer Sicht besteht somit kein Problem einem Mikrogasnetz Biogas oder Wasserstoff zuzuführen. Dieses bedingt aber, dass im Versorgungsgebiet des Mikrogasnetzes nur Wärme beim Stand der Technik mit Gasheizungen oder mit Stirlingmotor-Gasheizungen erzeugt werden kann (Abbildung 11). Zwar besteht die theoretische Möglichkeit

im Mikrogasnetz ein BHKW zu betreiben, aber beim Stand der Technik gibt es keine Angaben von Herstellern, ob zum Beispiel BHKWs mit einer Mikroturbine auch mit Mischgas betrieben werden kann. Obwohl beim Stand der Technik der elektrische Wirkungsgrad von Stirlingmotor-Gasheizungen nur bei

ca. 20% liegt, zeigt sich, dass ein Quartier mit Wärme mit einem geringen ökologischen Fußabdruck versorgt werden kann. Auch wird die Möglichkeit bestehen keramische Brennstoffzellen mit Mischgas zu betreiben, deren elektrischer Wirkungsgrad bei 50% bis 70% liegt. Zurzeit gibt es keine Publikation, die es erlauben zu bewerten, ob Feststoffbrennzellen auch mit Mischgas betrieben werden können.

Literaturverzeichnis

- [1] Umweltbundesamt: Energiedaten 2016-2018, <https://www.umweltbundesamt.de/daten>, abgerufen am 28.09.2019
- [2] Brockmann, R.: Sektorkoppelung durch Eisspeicher und kalte Nahwärme, Tagungsband 26. Energie – Symposium, 6. – 8. November 2019, Hochschule Stralsund
- [3] Zander, H.: Planung und Bemessung von Hauptstromversorgungssystemen nach DIN 18015-1 und TAB 2000, <https://www.voltimum.de/sites/www.voltimum.de/files>, abgerufen am 28.09.2019
- [4] KI-Portal: Aldi Nord und Viessmann stellen gemeinsames Energieprojekt vor: Innovatives Kälte-Wärme-Verbund- System im Discount-Filialnetz, https://www.ki-portal.de/wp-content/uploads/2017/04/KI_2017_04_Messe_Euroshop_Viessmann.pdf, abgerufen 01.10.2019.
- [5] Heizungs-Betrieb: Was bedeuten Brennwert und Heizwert?, <https://www.heizungsbetrieb.de/de/brennwert.html>, abgerufen 01.10.2019.
- [6] Wolf, Dieter; Teuber, Peter; Budde; Jörg, Jagnow, Kati: Felduntersuchung: Betriebsverhalten von Heizungsanlagen mit Gas-Brennwertkeseln, Fachhochschule Braunschweig Wolfenbüttel, Fachbereich Versorgungstechnik, Institut für Heizungs- und Klimatechnik, Wolfenbüttel, April 2004, http://www.delta-q.de/export/sites/default/de/downloads/bericht_cd.pdf, abgerufen 01.10.2019.
- [7] BHKW-Forum, Brötje EcoGen WGS 20.1 in Betrieb, <https://www.bhkw-forum.de/diskussion/thread/5362-brötje-ecogen-wgs-20-1-in-betrieb/>
- [8] BRÖTJE Heizung, EcoGen -System, <http://www.akvt.de/ft2011/unterlagen/A2-Broetje.pdf>, abgerufen 01.10.2019.
- [9] Rudolf Schmid AG: Eigenschaften Stirling, <https://www.stirling.ch/eigenschaften/>, abgerufen 01.10.2019.
- [10] Frauscher thermal motors GmbH, Unternehmen, <https://www.frauscher-motors.com/de/unternehmen/>, abgerufen 01.10.2019.
- [11] Kretschmar Haustechnik GmbH, Betriebsarten von Wärmepumpen, http://www.kht-dresden.de/index.php?view=HEATING_pump-mode, abgerufen 01.10.2019
- [12] M. Nelles, R. Glowacki, I. Hartmann, V. Lenz, J. Liebetrau, F. Müller-Langers, S. Narra, D. Thrän; Aktuelle energetische Nutzung von Biomasse in Deutschland, 13. Rostocker Bioenergieforum, 1. und 14. Juni 2019, Universität Rostock, Seite 16,
- [13] J. Sprafke, N. Engler, M. Nelles, A. Schüh, Bioabfallvergärung - Prozessoptimierung durch Substratmanagement , 13. Rostocker Bioenergieforum, 1. und 14. Juni 2019, Universität Rostock, Seite 138
- [14] Zwischenevaluierung 2019, Netz-Stabil, AG Bioenergieanlagen und Speicher - AG Sektorkopplung, Rostock, Dr. Schüch
- [15] Hülsken, Christina: RENEWES SPEZIAL NR. 86 / Januar 2019 - Verknüpfung von Strom, Wärme und Verkehr im Energiesystem der Zukunft: Die Rolle der Bioenergie in den Sektoren, Agentur für Erneuerbare Energien e. V., https://www.forum-synergiewende.de/wp-content/uploads/2019/01/AEE_86_Renews_Spezial_Sektorenkopplung_Jan19-web.pdf, , abgerufen 01.10.2019
- [16] Fraunhofer-Institut für Energiewirtschaft und Energiesystemtechnik IEE, Windstromeinspeisung, http://windmonitor.iee.fraunhofer.de/windmonitor_de/2_Netzintegration/1_einspeisung-und-ertraege/1_Windstromeinspeisung/

[17] Kompost & Biogas Verband: Gasaufbereitung, <https://www.kompost-biogas.info/biogas/biomethan/gasaufbereitung/>, abgerufen 01.10.2019

[18] Krajete: Prozess, unter: <https://www.krajete.com/technologie/prozessmethanogenese> abgerufen am 28.09.2019

[19] Petersen, N. H.: Kleine Helfer, Power-to-Gas – Mikroben sollen Kosten senken, Hzwei 10/15, Seite 14-15

[20] Petersen, N. H.: Power-to-Gas – Mikroben sollen Kosten senken, <https://www.hzwei.info/blog/2015/12/03/power-to-gas-mikroben-sollen-kosten-senken/>, abgerufen 01.10.2019