



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Eidgenössisches Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und
Kommunikation UVEK

Bundesamt für Energie BFE
Sektion Cleantech

Schlussbericht vom 10.02.2019

Hocheffiziente Dampferzeugung mit Micro- gasturbine bei der fenaco in Sursee



© ZVG eicher+pauli



Datum: 12.02.2019

Ort: Bern

Subventionsgeberin:

Schweizerische Eidgenossenschaft, handelnd durch das
Bundesamt für Energie BFE
Pilot-, Demonstrations- und Leuchtturmprogramm
CH-3003 Bern
www.bfe.admin.ch

Subventionsempfänger:

fenaco Genossenschaft
Areale und Technik
Obstfeldstrasse 1, 6210 Sursee
www.fenaco.com

Autoren:

Michael Gfeller, fenaco Genossenschaft, michael.gfeller@fenaco.com
Beat Näf, Acrona Project Sarl, beat.naef@acrona-projects.com
Beat Wellig, Hochschule Luzern, beat.wellig@hslu.ch
Florian Brunner, Brunner Energie GmbH, florian.brunner@br-energie.ch

BFE-Programmleitung: Yasmine Calisesi, yasmine.calisesi@bfe.admin.ch
BFE-Projektbegleitung: Name Projektbegleiter BFE gemäss Vertrag, email@adresse.ch
BFE-Vertragsnummer: SI/501612-01

Für den Inhalt und die Schlussfolgerungen sind ausschliesslich die Autoren dieses Berichts verantwortlich

Bundesamt für Energie BFE

Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen; Postadresse: CH-3003 Bern
Tel. +41 58 462 56 11 · Fax +41 58 463 25 00 · contact@bfe.admin.ch · www.bfe.admin.ch



Zusammenfassung

Die fenaco Genossenschaft hat sich bei der Erneuerung ihrer Dampfzentrale bewusst für eine Wärme-Kraft-Kopplung entschieden. Einerseits stand der Wunsch einer dezentralen Stromproduktion, sowie das Kennenlernen und der Aufbau von internem Know-How bei diesem Projekt im Vordergrund.

Die Wahl fiel auf eine Capstone-Turbine C200 in Kombination mit einem Gasturbinen-Abgas-Brenner DDZG-GTM von Saacke und einem 10 t/h-Dampfkessel von Viessmann, sowie einem zweiten 10 t/h-Dampfkessel mit Dreistoffbrenner. Herausragendes Kriterium der Kombination Capstone-Turbine und Saacke-Brenner ist die annähernd vollständige thermische Nutzung der Rauchgase mit einem Gesamtwirkungsgrad von bis zu 94 % im Vollastbetrieb. Dieser Wirkungsgrad ist einem konventionellen Dampfkessel ebenbürtig – mit dem zusätzlichen Nutzen der Elektrizitätsproduktion.

Das Projekt konnte in der geplanten Zeit wie auch innerhalb des Budgets umgesetzt werden.

Die vom Lieferanten angegebenen Werte zum Gesamtwirkungsgrad wurden durch die Hochschule Luzern messtechnisch begleitet und überprüft. Bei einem Dampfbedarf zwischen 4 bis 8 t/h erreicht das System die versprochenen Werte.

Aus rein wirtschaftlicher Sicht betrachtet erreicht das System in Sursee mit Wärme-Kraft-Kopplung, eine für die Industrie normale Paybackzeit von acht Jahren klar nicht.

Einerseits ist die Preisdifferenz zwischen den Strompreisen gegenüber dem Erdgas tief, andererseits wurden mit durchschnittlich 4700 äquivalente Vollaststunden für den wirtschaftlichen Betrieb zu wenig Vollaststunden gefahren.

Für Folgeprojekte gilt es, Industriekunden mit einem konstant hohen Dampfbedarf zu finden. Bei einem 24-Stundenbetrieb, inklusive Wochenende, und einem Dampfbedarf von 4 t/h und mehr beträgt das Volllastäquivalent zwischen 6'000 bis 8'000 Stunden – bei einem Spread von 100 CHF/MWh resultiert eine Paybackzeit von 5 bis 7 Jahren.



Take-home messages

- Der Gesamtwirkungsgrad von 92-94 % wird bei einem Dampfverbrauch von 4-8t/h erreicht. Ein konstanter, hoher Dampfbedarf ist vorteilhaft.
- Der Volllastäquivalent der Microgasturbine sollte möglichst hoch sein (> 6000h/a).
- Je grösser die Preisdifferenz zwischen Strom zu Erdgas ist, umso besser wird die Wirtschaftlichkeit der Microgasturbine
- Einbindung von Biogas ist regelungstechnisch herausfordernd und verursacht Zusatzkosten.



Inhaltsverzeichnis

Zusammenfassung	3
Take-home messages	4
Inhaltsverzeichnis	5
Ausgangslage	6
Ziele des Projektes	6
Grundlagen – Randbedingungen	6
Résumé	6
Konzept – Anlagenbeschrieb	7
Ergebnisse	9
Messtechnische Begleitung durch die HSLU	11
Wirtschaftliche Betrachtung	12
Schlussfolgerungen	13
Anhang	14
190208 Messbericht HSLU	14
Wirtschaftlichkeitsbetrachtung MGT Saacke fenaco EndversionV2	14
Abbildungsverzeichnis	14



Ausgangslage

Die fenaco Genossenschaft betreibt in Sursee eine Dampfzentrale, welche u.a. für die Unternehmen Ramseier Suisse AG und die UFA AG Dampf auf 10 bara zur Verfügung stellt. Der jährliche Dampfbedarf beträgt rund 25'000 t/a und wurde früher mit Heizöl und intern erzeugte Biogas gedeckt. Es standen zwei 8 t/h-Oelkessel sowie ein Biogas-/Oelkessel mit 2.7 t/h Dampf im Einsatz. Die Anlage war am Ende der Lebenszeit angelangt und musste erneuert werden.

Ziele des Projektes

Energieeffizienz und Nachhaltigkeit haben bei der fenaco seit jeher einen grossen Stellenwert. Für die neue Energieversorgung wurden darum verschiedene Varianten auf ihre technische Machbarkeit, die Investitions-, und Lebenszykluskosten sowie Energieeffizienz und CO₂-Emissionen untersucht. Sämtliche Varianten sollten ein grosses Leistungsspektrum von rund 10 t/h Dampf in der Mostereisaison bis zu wenigen Tonnen Dampf pro Stunde (an den Wochenenden) abdecken und das Biogas möglichst wirtschaftlich verwerten können. Wärme-Kraft-Kopplung war in Anbetracht der zunehmenden Bedeutung von dezentraler Stromproduktion ein Wunschkriterium. Zudem sollen die Erfahrungen aus diesem Pilotprojekt zum internen Know-how Aufbau dienen und als Entscheidungsgrundlage für weitere Projekte dienen.

Grundlagen – Randbedingungen

Der Umbau der Anlage musste im laufenden Betrieb geschehen, das heisst der Dampfbedarf während der Umbauphase musste mit einer mobilen Dampfversorgung sichergestellt werden. Die vorhandenen Platzverhältnisse sind eng und konnten nicht erweitert werden.

Résumé

Die Technologie der Mikrogasturbine arbeitet mit einem hohen Luftüberschuss. In der Folge weisen die 280°C heissen Abgase einen Sauerstoffgehalt von rund 18 Prozent aus. Das bei der fenaco in Sursee realisierte Konzept nutzt die Abgase der Capstone C200 Mikrogasturbine – und bei Dampfkes-sellasten von mehr als 4 Tonnen pro Stunde auch die warme Turbinenkühlluft (Kühlung der Elektro-nik) – als Verbrennungsluft für einen Spezialbrenner von Saacke, eingebaut in einem Viessmann Dampfkessel.

Das Projekt ist von der Hochschule Luzern messtechnisch begleitet worden. Der 22 Seiten umfas-sende Messbericht vom 8. Februar 2019 liegt vor. Die wirtschaftlichen Fakten des Projektes sind im Bericht von Brunner Energie vom 10. Februar 2019 enthalten. Die Kernaussagen des Projektes:

- Die Brennstoffausnutzung beträgt im Bereich 4 bis 8 t/h Dampfproduktion 92 bis 94 Prozent, ein für die kombinierte Strom/Dampferzeugung exzellenter Wert. Die Zielvorgabe ist damit er-reicht¹.
- Am 31. Oktober 2018 wurde bei 8°C Aussentemperatur ein elektrischer Wirkungsgrad der Mikrogasturbine von 33 Prozent (ohne Berücksichtigung der Kompressionsverluste) nachge-wiesen. Auch hier wird der Garantiewert erreicht².

¹ Messbericht HSLU, Seite 17

² Messbericht HSLU, Seite 14



- Eine Referenzmessung des spezifischen Brennstoffbedarfs des Dampfkessels bei einer Last von rund 5 t/h ergab einen Bedarf von 673 kWh/t bei Betrieb ohne Mikrogasturbine und 638 kWh/t bei Betrieb mit Mikrogasturbine. Das zeigt, dass durch die Nutzung der Abgase der Mikrogasturbine der Kessel über fünf Prozent weniger Erdgas verbrennt.
- Das Amt für Energie und Umwelt des Kantons Luzern hat die von Kost und Partner AG durchgeführten Emissionsmessungen mit den LRV-Grenzwerten verglichen: Bei Betrieb des Dampfkessels mit Erdgas/Biogas und mit den Abgasen der Mikrogasturbine werden die Grenzwerte von 100 mg/m³ für Kohlenmonoxid und 110 mg/m³ für Stickoxide eingehalten, bzw. weit unterschritten.

Die Anlage wurde im September 2017 in Betrieb genommen. Insbesondere der Erdgas/Biogas Betrieb und der Wechsel zwischen GTA-Betrieb auf Abhitzebetrieb (in den nachfolgenden Kapiteln näher beschrieben) waren regeltechnische Herausforderungen. Beides funktioniert einwandfrei. Die Verfügbarkeit der Anlage ist – abgesehen von wenigen Störschaltungen (meist verursacht durch eine mutmasslich ungenügende Qualität des Biogases) - sehr hoch.

Fazit:

aus technischer Sicht wurden die Erwartungen und Zielvorgaben erfüllt. Die wirtschaftliche Sicht: Die oft geforderte Paybackzeit von acht Jahren für Infrastrukturprojekte wird wie erwartet verfehlt. Die Gründe dafür liegen a) in den erheblichen Mehrkosten für die Biogaseinbindung (ohne, dass das Projekt für den grünen Strom oder die «grüne Verbrennungsluft» des Dampfkessels eine buchhalterische Gutschrift erhält) und b) in der relativ kleinen Differenz zwischen Gas- und Strompreis. Die fenaco Genossenschaft publiziert aus Gründen der Vertraulichkeit keine Zahlen hierzu³

Die technische Machbarkeit und die technische Effizienz der hocheffizienten Dampferzeugung mit Mikrogasturbine sind nachgewiesen. Der Brennstoffbedarf im Bereich 4 bis 8 t/h ist vergleichbar mit dem Brennstoffbedarf eines konventionellen Dampfkessels, aber: beim Konzept bei der fenaco in Sursee wird zusätzlich 200 kW elektrischer Strom erzeugt. Der Schlüssel für Folgeprojekte liegt in der Verbesserung der Wirtschaftlichkeit. Die Herausforderung für Folgeprojekte liegt darin, Industrieunternehmen mit einem konstant hohen Dampfbedarf zu finden. Positiv würden sich zukünftig steigende Strompreise (was tendenziell erwartet wird) auswirken. Ein Beispiel: bei einer Preisdifferenz von 100 CHF/MWh zwischen Gas- und Strompreis (Vollbelieferung, inklusive Durchleitung, Systemdienstleistungen, Leistung) und einem Volllastäquivalent von 6'500 Stunden beträgt die Paybackzeit noch sieben Jahre.

Konzept – Anlagenbeschreibung

Das Herzstück der Anlage ist ein SAACKE Brennersystem DDZG-GTM8 mit einer vorgeschalteten Capstone Mikrogasturbine C200 mit 200 kW elektrischer Leistung und 33 Prozent elektrischem Wirkungsgrad unter ISO Konditionen. Die Mikrogasturbine wird wärmegeführt betrieben und deren sauerstoffreiche Abgase werden vom GTA-Brenner vollständig als Verbrennungsluft genutzt. Als technisches Novum wird auch die Kühlblauf der Mikrogasturbine anstelle von zusätzlich benötigter Verbrennungs-Frischluff verwendet.

³ Der Bericht 190210 Wirtschaftlichkeitsbetrachtung MGT Saacke fenaco EndversionV2 zeigt auf Seite 4, Abbildung 3 die statische Paybackzeit ohne Biogasnutzung

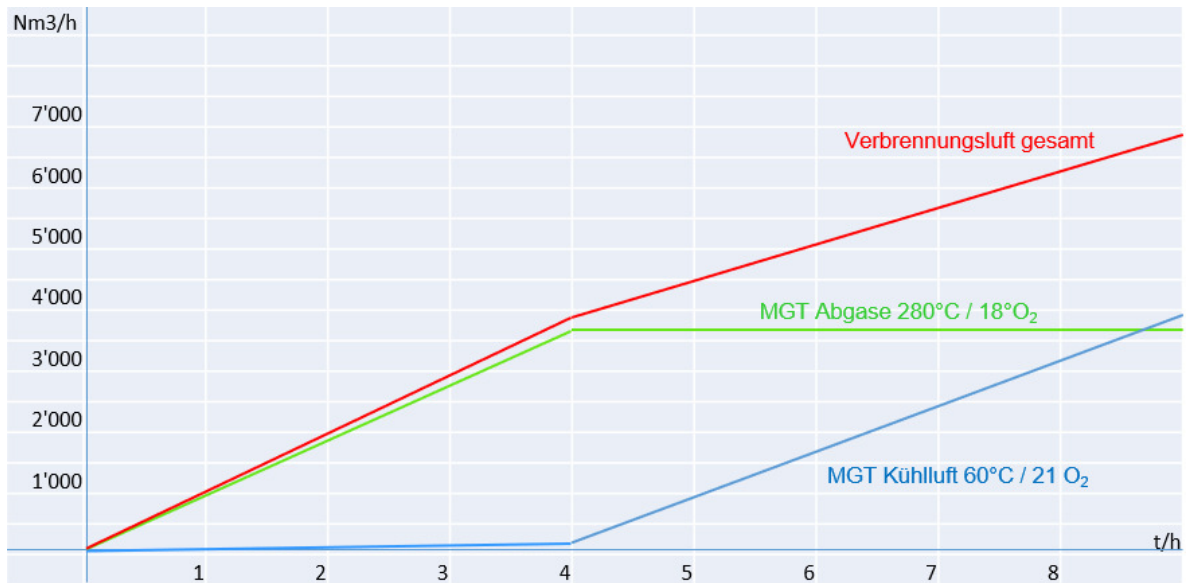


Abbildung 1, Verbrennungsluft = f (Dampfleistung)

Bei 4 t/h Dampfproduktion wird die Mikrogesturbine auf Vollast gefahren und als Verbrennungsluft werden ausschliesslich deren Abgase genutzt. Bei tieferer Dampfproduktion wird die Turbinenlast reduziert. Bei Dampfleistungen von mehr als 4 t/h wird dem Brenner sukzessive warme Turbinenkühlluft zugemischt.

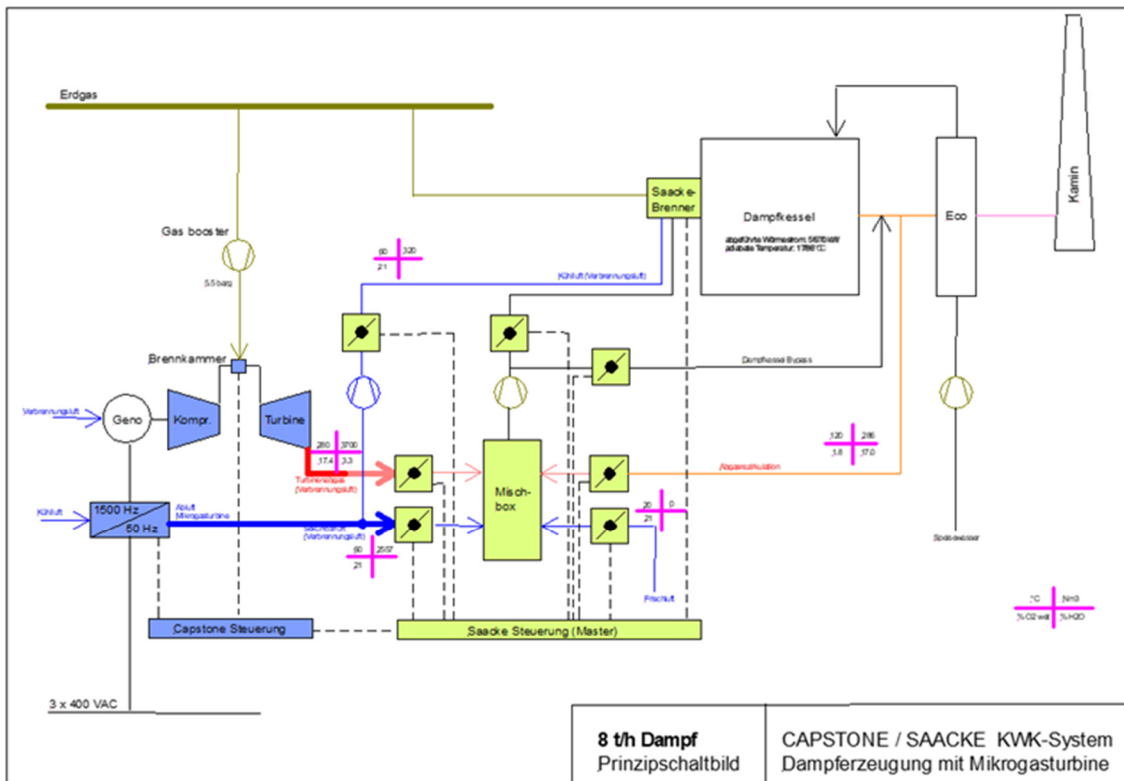


Abbildung 2, Prinzipschaltbild



Ein zentrales Element der Anlage ist die Mischbox. Hier werden über ein Gebläse die Turbinenabgase, die Turbinenkühlluft und Frischluft je nach Betriebsart und Lastpunkt geregelt.

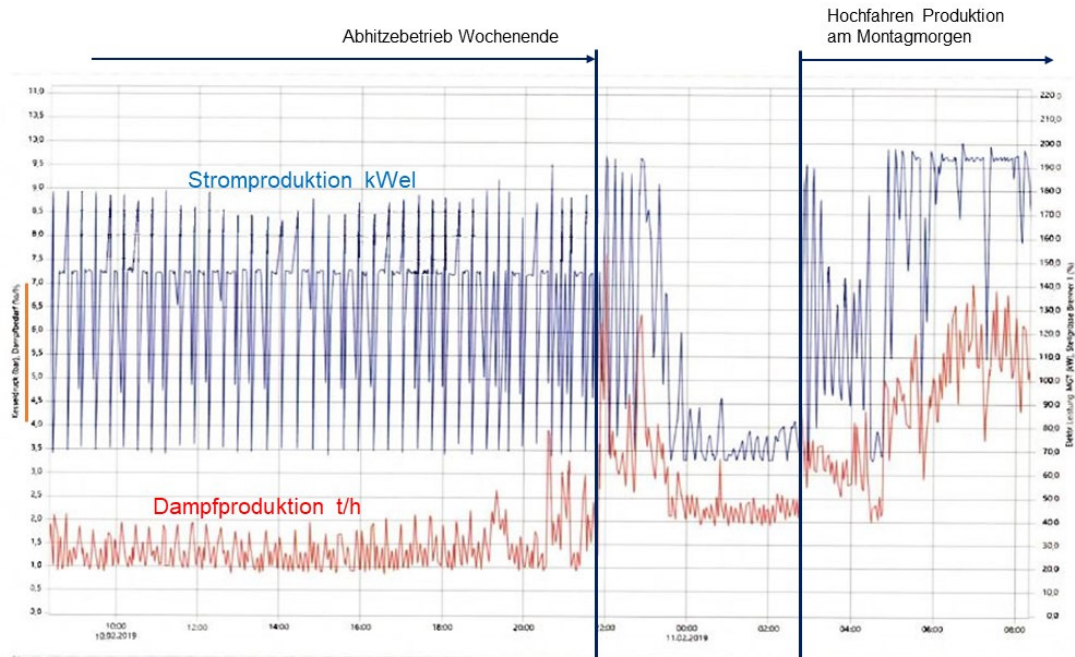


Abbildung 3, Aufzeichnung Dampf- und Stromproduktion

Im sogenannten GTA-Betrieb ist der Hauptbrenner des Kessels in Betrieb. In Sursee ist ein 10 t/h Dampfkessel installiert. Bei einem Regelverhältnis von 1:7 beträgt die minimale Last rund 1,5 t/h. Für tiefere Lasten fährt die Anlage in so genannten Abhitzebetrieb. Das heisst, der Hauptbrenner ist aus und «nur» der Zündbrenner, welcher in Dauerbetrieb fährt, ist eingeschaltet. Zusammen mit den Abgasen der Mikrogesturbine, welche mit 100 kWel fährt, kann eine Dampfleistung von rund 350 kW erzeugt werden. Übers Wochenende beträgt der Dampfbedarf oft zwischen 0.5 und 2 t/h. Die Anlage «pendelt» in diesem Fall zwischen GTA- und Abhitzebetrieb. Der grosse Vorteil gegenüber einem konventionellen System: Der Kessel wird konstant warmgehalten.

Ergebnisse

Biogas

Die Mikrogesturbine in Sursee wird mit Biogas der Ramseier internen Kläranlage und mit Erdgas betrieben. Auch bei maximaler Biogasproduktion kann die Turbine nicht ausschliesslich mit Biogas über längere Zeit auf Vollast betrieben werden. Das Ziel ist es, alles Biogas in der Turbine zu verbrennen. Regelungstechnisch ist dies so umgesetzt worden, dass über die Gasspeicherbewirtschaftung der Turbine jeweils ausschliesslich Biogas oder ausschliesslich Erdgas zugeführt wird. Die Umschaltung erfolgt automatisch und unterbrechungsfrei, im Normalbetrieb und bei durchschnittlicher Biogasproduktion im Halbstundentakt.



Das Konzept der 2-Stoffverbrennung (Erdgas und Biogas) in der Mikrogasturbine hat eine Reihe von voraussehbarer, aber auch nicht voraussehbarer Probleme und Nachteile gebracht:

Die in Sursee eingesetzte Turbine ist eine Sonderausführung: sie toleriert bis zu 5'000 ppm Schwefelwasserstofffrachten.

Die ganze Biogasaufbereitung im Wesentlichen bestehend aus Gaskühlung, Entwässerung, Filter und Kompression kostet inklusive Installation und Inbetriebsetzung annähernd 100'000 Franken.

Das Erdgas wird entspannt und der Gasaufbereitungsanlage zugeführt wo das Gas wieder auf 5 bar verdichtet wird. Das verursacht Verluste. So hat im Betriebsjahr 2018 der Kompressor 63 MWh elektrische Energie verbraucht.

Die Biogasvariante verursacht gegenüber der reinen Erdgasvariante für die Wartung Mehrkosten von jährlich rund 5'000 Franken.

Der vermutlich grösste Nachteil: bei hoher Auslastung der Mosterei kommt die Ramseier Kläranlage an ihre Kapazitätsgrenzen. In der Folge sinkt der Methangehalt wesentlich und der Schwefelwasserstoffanteil wird massiv erhöht. Ersteres führte mehrmals zu Anlagenausfällen und die höheren H₂S-Werte können zu Korrosionsproblemen in den nachgeschalteten Systemen führen.

Fazit: Eine separate Nutzung des Biogases, sei dies in einem einfachen kleinen Biogaskessel oder einer separaten Wärmekraftkopplung, wäre vermutlich die vorteilhaftere Lösung.

Standort Gasstation

Die Gasstation ist im Keller installiert. Die 5-bar-Leitung zur Mikrogasturbine ist ca. 60 m lang. Diese Gasleitung wirkt wie ein Gasspeicher. Die Druck- und Temperaturregelung war bei der Inbetriebsetzung eine Herausforderung. Insbesondere den Druck vor der Turbine konstant zu halten ist regelungstechnisch schwierig. Fazit: die Distanz zwischen Turbine und Gasstation ist möglichst klein zu halten.

Umschaltung zwischen GTA- und Frischluftbetrieb

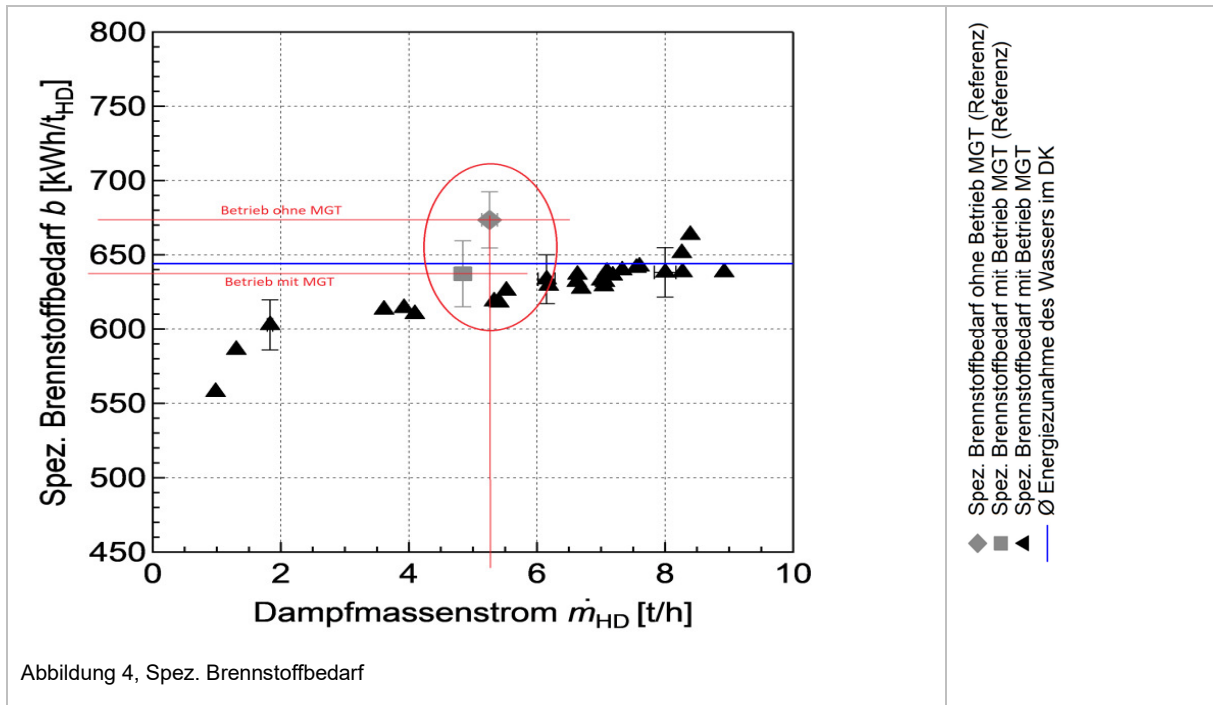
Wenn die Mikrogasturbine nicht in Betrieb ist, fährt der Dampfkessel im so genannten Frischluftbetrieb. Die Verbrennungsluft wird von aussen der Mischbox zugeführt. Das ursprüngliche Konzept sah vor, dass bei Wechsel von GTA- auf Frischluftbetrieb oder umgekehrt der Brenner komplett neu gestartet wird. Wird im GTA-Betrieb die Mikrogasturbine bewusst oder über eine Störung abgeschaltet, so hat dies automatisch auch zu einer Abschaltung des Brenners geführt. Bis dieser nach dem Neustart wieder auf dem geforderten Lastpunkt fährt, können je nach Last mehrere Minuten vergehen. Das birgt das Risiko eines Einbruchs des Dampfdrucks.

Bei der Anlage in Sursee ist deshalb nachträglich einen so genannter Fliegender Wechsel von GTA- auf Frischluftbetrieb realisiert worden. Damit kann ein Runterfahren der Mikrogasturbine ohne Unterbruch der Dampfproduktion aufgefangen werden. Dies soll für zukünftige Anlagen standardmässig eingebaut werden.



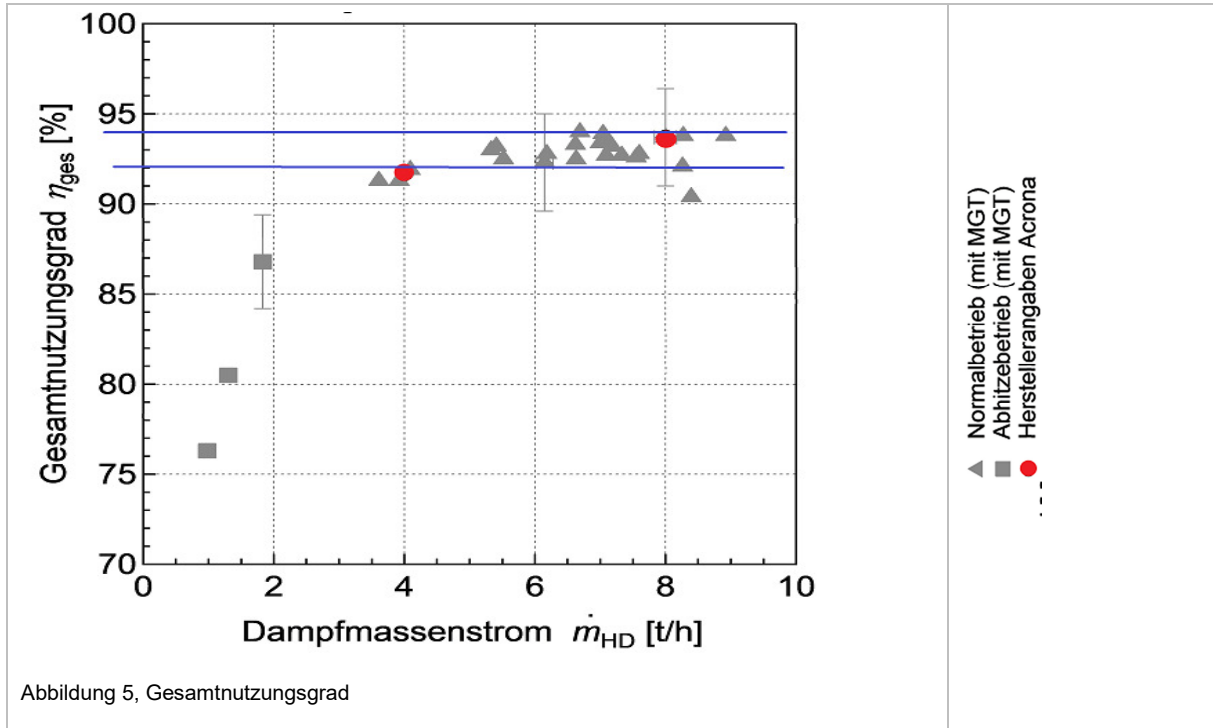
Messtechnische Begleitung durch die HSLU

Die Hochschule Luzern, Abteilung Thermische Energiesysteme und Verfahrenstechnik, hat unter der Leitung von Prof. Dr. Beat Wellig im Zeitraum September 2018 bis Februar 2019 Messungen durchgeführt und ausgewertet. Der Schlussbericht verfasst von den Herren Tobias Käch und Philipp Stirnimann liegt vor. Nachfolgend zwei essentielle Aussagen des Berichts:





Gesamtnutzungsgrad



Die Brennstoffausnützung vereinfacht ausgedrückt als (Strom + Dampf) / Erdgasverbrauch beträgt im Bereich 4 bis 8 t/h Dampfproduktion exzellente 92 bis 94 Prozent. Bei weniger als 2 t/h fährt die Anlage im Abhitzebetrieb.

Wirtschaftliche Betrachtung

Der Schlussbericht von Brunner Energie vom 10. Februar 2019, verfasst von Florian Brunner, liegt vor (siehe Anhang). Nachfolgend die Kostenübersicht und die graphische Darstellung der Paybackzeit aus dem Bericht:

	fenaco Biogas/Erdgas	Folgeprojekt Erdgas
Projektkosten Auftrag Acrona	826'000	714'000
Eigenleistung Kunde: Anordnungsplanung, Mezzaninfloor für Vakuumgebläse, Kamin ggf. mit Schalldämpfer	136'000	86'000
Projektkosten brutto CHF	962'000	800'000
abzüglich konventionelles Brennersystem 10 t/h	-195'000	-140'000
Projektkosten netto CHF	767'000	660'000

Abbildung 6, Kostengegenüberstellung MGT mit Biogas vs ohne Biogas

Die Kostenübersicht zeigt, dass ein Projekt mit reinem Erdgasbetrieb erheblich kostengünstiger ist.

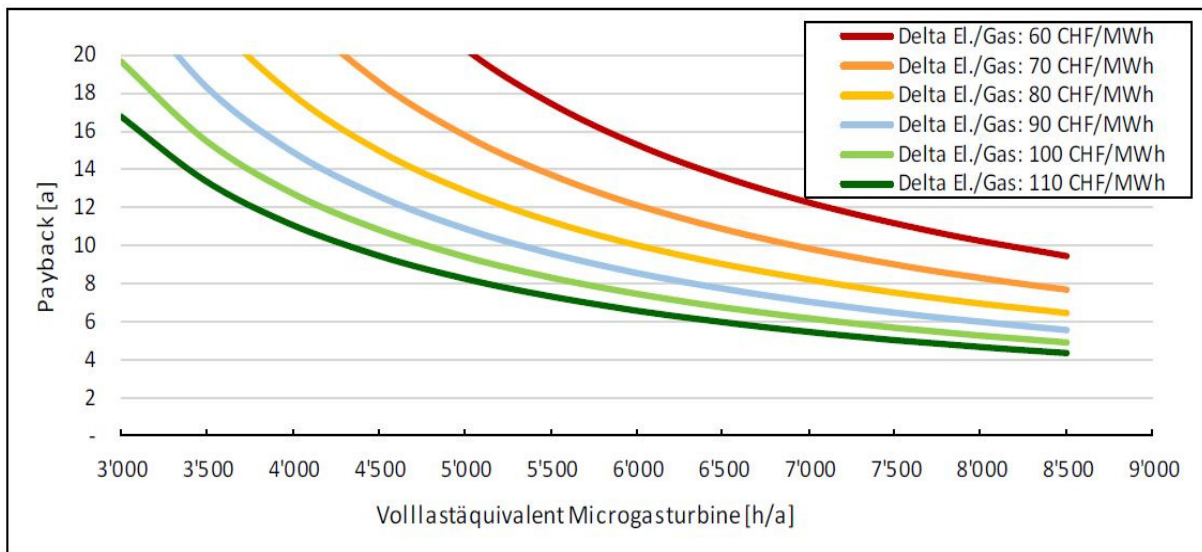


Abbildung 7, Payback / Volllastäquivalent

Die Paybackzeit hängt einerseits von den Investitionskosten und andererseits im Wesentlichen von der Jahresnutzungsdauer sowie von den Strom- und Gaspreisen ab. Massgebend bei den Energiepreisen ist der Unterschied, der so genannte Spread, zwischen Strom- und Gaspreisen.

Bei knapp 5'000 volllastäquivalenten Stunden und einem Spread von nur gerade 70 CHF / MWh beträgt die rechnerische Paybackzeit 16 Jahre. Wird dem Strom als grüne Energie buchhalterisch ein «Bonus» von 4 Rp./kWh zugeschrieben, dann sinkt die Paybackzeit rechnerisch auf 8 Jahre.

Die Dampfzentrale der fenaco in Sursee fährt übers Wochenende mit erheblich reduzierter Dampfproduktion. Auch weist der Betrieb bedingt durch die Mosterei saisonale Schwankungen auf. In der Folge erwartet fenaco durchschnittlich 4'700 äquivalente Volllaststunden (2018 war infolge der sehr hohen Apfelernte atypisch).

Die Strompreise liegen bekanntlich auf sehr niedrigem Niveau, haben im vergangenen Jahr aber für diverse Industriekunden merklich angezogen. Viele Marktexperten und -beobachter erwarten, dass sich dieser Trend in den kommenden Jahren vorsetzt. Dies wird dem Konzept «hocheffiziente Dampfproduktion mit Mikrogasturbine» zugutekommen. Andererseits wird Erdgas voraussichtlich (neues CO₂-Gesetz) mit einer höheren CO₂-Abgabe belastet werden.

Schlussfolgerungen

Für Folgeprojekte gilt es, Industriekunden mit einem konstant hohen Dampfbedarf zu finden. Bei einem 24-Stundenbetrieb, inklusive Wochenende, und einem Dampfbedarf von 4 t/h und mehr beträgt das Volllastäquivalent zwischen 6'000 bis 8'000 Stunden – bei einem Spread von 100 CHF/MWh resultiert eine Paybackzeit von 5 bis 7 Jahren.



Anhang

190208 Messbericht HSLU

Wirtschaftlichkeitsbetrachtung MGT Saacke fenaco EndversionV2

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1, Verbrennungsluft = f (Dampfleistung)	8
Abbildung 2, Prinzipschaltbild	8
Abbildung 3, Aufzeichnung Dampf- und Stromproduktion	9
Abbildung 4, Spez. Brennstoffbedarf	11
Abbildung 5, Gesamtnutzungsgrad	12
Abbildung 6, Kostengegenüberstellung MGT mit Biogas vs ohne Biogas.....	12
Abbildung 7, Payback / Volllastäquivalent	13