

Juni 2019

Leitfaden «Abwärmennutzung auf Biogasanlagen»



Autoren

Andreas Utiger
Arthur Wellinger
Daniel Trachsel
Deborah Scharfy
Juliana Leon
Léonore Schaller
Silvan Zeyer
Victor Anspach
Yves Membrez

**Dieser Leitfaden wurde im Auftrag von EnergieSchweiz erstellt.
Für den Inhalt sind alleine die Autoren verantwortlich.**

Adresse

EnergieSchweiz, Bundesamt für Energie BFE
Mühlestrasse 4, CH-3063 Ittigen. Postadresse: 3003 Bern
Infoline 0848 444 444. www.energieschweiz.ch/beratung
energieschweiz@bfe.admin.ch, www.energieschweiz.ch

Inhaltsverzeichnis

1.	Zusammenfassung	4
2.	Einleitung	4
3.	Aktuelle Situation der Wärmenutzung	6
3.1	Wärmenutzung bei gewerblich-industriellen Anlagen	6
3.2	Wärmenutzung bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen	9
3.3	Einbettung in die Klimapolitik der Schweiz	11
3.4	Unterschied bestehende und geplante Anlagen	13
4.	Angewandte Technologien für die Abwärmenutzung	13
4.1	Gemeinsamkeiten der angewandten Technologien bei den verschiedenen Anlagekategorien	13
4.2	Wärme	23
4.3	Speicherung	27
4.4	Wärmenutzung zur Trocknung	31
4.5	Biogas- und Wärmespeicherung: Möglichkeiten und Grenzen	35
4.6	Kälteproduktion	36
4.7	Zusätzliche Stromerzeugung	41
5.	Rechtliche Grundlagen	46
5.1	Rechtliche Grundlagen hinsichtlich Wärmenutzung bei Biogasanlagen mit Biomethanaufbereitung	46
5.2	Rechtliche Grundlagen hinsichtlich Wärmenutzung bei Biogasanlagen ohne Einspeisevergütung	47
5.3	Rechtliche Vorschriften hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen des Einspeisevergütungssystems (Wärmenutzungs-bestimmungen)	47
5.4	Allgemein gültige Bestimmungen hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen des Einspeisevergütungssystems	48
5.5	Rechtliche Grundlagen für gewerblich-industrielle Anlagen	49
5.6	Rechtliche Grundlagen für landwirtschaftliche Anlagen	50
6.	Checkliste – Wichtigste Fragen und Antworten rund um die Wärmenutzung	51
7.	Zukunftsperspektiven	57
8.	Glossar	58
9.	Literaturverzeichnis:	60

1. Zusammenfassung

Die Verwertung der Abwärme bei Biogasanlagen hat in der Vergangenheit stetig zugenommen. Trotzdem liegt noch ein beträchtliches Potential an Wärme brach. Dieses wird vielfach nicht genutzt, weil die Wärme nicht als relevante Einnahmequelle angesehen wird und dementsprechend auch nicht das nötige Augenmerk erhält. Es gibt viele verschiedene Verwertungsarten, die für den Betreiber lukrativ sein können und eine sinnvolle Verwertung sind.

Um den wirtschaftlichen und energetischen Ertrag zu steigern, sollte die Wärme ab den Blockheizkraftwerken möglichst gut genutzt werden. Zusammen mit der Produktion von Strom sollte ein möglichst hoher Gesamtnutzungsgrad resultieren. Dies ist bisher nicht immer der Fall, speziell bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen, die vielfach eine grosse Distanz zu potentiellen Wärmeabnehmern aufweisen. Aus diesem Grund ist es wichtig, dass alle Massnahmen zur Wärmenutzung in Betracht gezogen und möglichst konsequent umgesetzt werden. Im Leitfaden werden alle Technologien beschrieben, ihr Potential wie auch Vor- und Nachteile aufgezeigt. Praxisbeispiele illustrieren dies auf anschauliche und gut leserliche Art. Dies soll einerseits als Inspirationsquelle dienen, andererseits aber auch direkt auf Referenzanlagen verweisen, an denen man die Verwertung der Wärme für einen spezifischen Betrieb ableiten kann.

Der Leitfaden richtet sich an folgende Zielgruppen:

- Betreiber und Planer von bestehenden Biogasanlagen, die sich mit einer sinnvollen Wärmenutzung auseinandersetzen wollen.
- Ingenieurbüros und zukünftige Bauherren, die in der Planung und dem Bau der Anlagen tätig sind.
- Potentielle Investoren jeglicher Art, die sich über die Möglichkeiten der Abwärmenutzung und die Evaluation zwischen Aufbereitung Biogas und Betrieb BHKW informieren möchten. Diese Kategorie umfasst Fremdkapitalgeber, Kontrakter und andere involvierte Parteien.

Die ersten beiden Kategorien sind bezüglich Abwärmenutzung relevanter als die dritte Kategorie. Der Leitfaden ist dementsprechend praxisnah auf bestehende und künftige Anlagenbetreiber und Ingenieurbüros zugeschnitten.

2. Einleitung

In der Biomasse steckt wertvolle Energie. Rund 90% der verwerteten Bioenergie stammt aus Holz, das weitgehend thermisch genutzt wird. Die restlichen 10% werden durch Biogas aus der Landwirtschaft, aus gewerblichen Anlagen, aus ARA und aus der industriellen Abwasserreinigung bereitgestellt. Beim Strom als hochwertigen Energieträger macht Biogas hingegen rund 50% aus. Auf diese Anlagen, die neben Strom auch Wärme produzieren, wird das Hauptaugenmerk dieses Leitfadens gelegt. Durch die Vergärung in einer Biogasanlage wird aus den organischen Abfällen Biogas gewonnen. Da Strom ein sehr hochwertiger Energieträger darstellt, gilt diesem bei der Verwertung von

Biogas in einem BHKW auch das Hauptaugenmerk. Um die Gesamteffizienz der Biogastechnik weiter zu steigern, ist eine Verwendung der noch frei verfügbaren Wärme sinnvoll. Gut geplante Wärmenutzungskonzepte können zusätzlich zum wirtschaftlichen Erfolg einer Biogasanlage beitragen.

In der Schweiz wird Biogas durch unterschiedliche Anlagentypen produziert. Grob kann man die Produktionsstätten in folgende Kategorien unterteilen:

- Gewerblich-industrielle Vergärungsanlagen
- Landwirtschaftliche Biogasanlagen
- Anlagen für hochbelastete Industrieabwässer
- ARA (Abwasserreinigungsanlagen)

In diesem Leitfaden wird nur auf die Wärmenutzung der ersten drei Kategorien eingegangen. Die Wärmeverwertung in den ARA stellt in aller Regel keine Herausforderung dar, da der Wärmebedarf der Abwasserbehandlung grösser als die Produktion der Wärme ist.

Biogas kann entweder Strom und Wärme in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) erzeugen oder das Biogas kann zu Biomethan aufbereitet und anschliessend ins Erdgasnetz eingespeist werden. Ein Nischenabsatz besteht auch in der Vermarktung von Biomethan ab der Produktionsanlage. Wichtig ist, unabhängig von der Verwertungsart, dass ein möglichst hoher Gesamtnutzungsgrad erzielt wird.

In den vergangenen Jahren hat es in der Schweiz einen erheblichen Zuwachs an Biogasanlagen zur Biomethanerzeugung gegeben. Der grösste Teil dieser Anlagen speist das aufbereitete Biomethan in das Erdgasnetz ein, einige wenige betreiben lokale Tankstellen ohne Netzverbund. Die Anlagen zur Biomethanerzeugung werden in diesem Leitfaden nicht behandelt, da sie keine Abwärme verwerten, sondern sogar Wärmebezügler sind.

Biogasanlagen, die das Gas über ein Blockheizkraftwerke (BHKW) verwerten, erzeugen eine mindestens ebenso hohe Wärmeleistung wie die elektrische Leistung. Diese fällt allerdings nur als Niedertemperaturwärme an und ist im Vergleich zu den Abwärmemengen der Industrie und Energieversorgungsunternehmen verhältnismässig unbedeutend. Ein Teil der thermischen Energie wird für das Erwärmen des Substrates und die Aufrechterhaltung der Betriebstemperatur benötigt. Dieser Anteil beträgt je nach Anlagentyp und Betriebsweise zwischen 10% und 60%.

Biomasse ist eine lebenswichtige erneuerbare Ressource. Das Bundesamt für Energie (BFE) hat 2010 eine «Strategie für die energetische Nutzung von Biomasse in der Schweiz» erarbeitet, damit das vorhandene energetische Biomasse-Potenzial möglichst vollständig, effizient und umweltschonend genutzt werden kann. Das BFE hat darin unter anderen folgende Hauptziele definiert:

- Maximaler Ersatz nicht erneuerbarer Energieträger (Ziel IV)
- Bereitstellung hochwertiger Energie (Ziel V)

Diese zwei Ziele bedingen einen möglichst hohen Gesamtnutzungsgrad. Dieser Nutzungsgrad kann nur mit einer konsequenten Abwärmenutzung erreicht werden.

3. Aktuelle Situation der Wärmenutzung

Die Wärmenutzung bei Biogasanlagen stellt allgemein aus verschiedenen Gründen eine grosse Herausforderung dar. Auf dem Biogasbetrieb allein ist es schwierig, ganzjährig die Wärme aus einem BHKW gleichmässig, das heisst, zeitgleich mit der Stromproduktion zu nutzen. Die externe Nutzung mittels Nahwärmeverbünden ist meist kostspielig. Biogasanlagen sind in der Regel weit von Siedlungen entfernt, was erstens eine grosse Leitungslänge für den Wärmetransport verlangt und zweitens eine bescheidene Anschlussdichte der Wärmeabnehmer mit sich bringt.

Die Erfahrungen von Holzenergie Schweiz¹ zeigen, dass die Anschlussdichte von Wärmeverbünden relativ hoch sein muss, um im Vergleich zur lokalen Produktion fossiler Wärme bestehen zu können. Unter günstigen Bedingungen, das heisst bei Leitungsbau durch Wiesen und Felder, sollte die Anschlussdichte in der ersten Etappe mindestens 0,7 MWh pro Jahr und Meter Trasse betragen und im Endausbau (vorzugsweise innerhalb von drei bis maximal fünf Jahren) 1,2 MWh pro Jahr und Meter betragen. Unter weniger günstigen Bedingungen, das heisst mit Leitungsbau in Strassen und durch Dorfzentren mit vielen bestehenden Werkleitungen, vergrössern sich die entsprechenden rentablen Dichten auf 1,4 MWh/Jahr und Meter bzw. 2 MWh/Jahr und Meter in schwierigem Gelände. Die entsprechenden Kennzahlen für die Anschlussleistung betragen 0,5 kW/Meter Trasse im ländlichen Raum bzw. 1 kW/Meter Trasse im bebauten Raum.

3.1 Wärmenutzung bei gewerblich-industriellen Anlagen

Die gewerblich-industriellen Anlagen (G/I-Anlagen) liegen öfters in einem erschlossenen Industriegebiet, bei der die Möglichkeit zur Wärmenutzung auf benachbarten Liegenschaften relativ gut möglich ist. Ideal sind natürlich die Fälle, bei denen die Biogasanlage direkt auf einem Industriebetrieb steht, eigene Abfälle bzw. Abwässer verwertet und mit der produzierten Wärme einen Teil der fossil erzeugten Prozesswärme ersetzen kann. Bei den Substraten handelt es sich meist um leicht abbaubare Industrieabwässer, die in einer Vergärungsanlage vorbehandelt werden.

¹ Verband Holzenergie Schweiz www.holzenergie.ch

Einheit	Nutzung	Industrieabwässer	Gewerbe/Industrie
Anzahl	Total Anlagen	23	28
	–mit Wärmenutzung	21	19
	–Gaseinspeisung	2	9
Energie [GWh/a]	Wärmenutzung	40	38
	Strom	8	83
	Einspeisung Biomethan	14	113

Tabelle 1: Produktion von Strom, Wärme und Biomethan

In der Schweiz sind insgesamt 21 Anlagen zur Behandlung von Industrieabwässern in Betrieb, in denen die Wärme vor Ort direkt genutzt wird (Tabelle 1). Die meisten davon produzieren über einen Brenner direkt Dampf aus dem Biogas und haben keine Stromproduktion². Die Abwärmenutzung ist aber nicht allein auf die Prozesswärme beschränkt. In Industrien mit einem Kältebedarf kann auch eine Absorptions-Kältemaschine betrieben werden, wie bei der Firma Frutarom in Wädenswil. Eine andere Form der Dampfproduktion nutzt Gefu Oberle aus Rickenbach (LU). Der Futtermittelproduzent verwertet jährlich rund 650'000 Liter Molke. Diese wird zuerst mittels Umkehrosmose getrennt, um die proteinreichen Nährstoffe zu konzentrieren. Übrig bleibt eine dünne Flüssigkeit mit Milchzucker, welche kaum andernorts verwendet werden kann. Die optimale Verwertung besteht aus der anaeroben Vergärung. Mit dem Abbau der organischen Substanz um rund 95% wird einerseits Energie gewonnen, andererseits ist das Wasser auch viel weniger stark mit sauerstoffzehrender Organik belastet. Das Biogas wird in Mikro-Turbinen zu Strom umgewandelt und das resultierende Hochtemperatur-Abgas zur Dampfproduktion verwendet. Der Dampf wird zur Trocknung des Permeats eingesetzt.

Bei G/I-Anlagen, welche auf die Wärmeabnahme anderer Industrien angewiesen sind, ist die Situation schwieriger, insbesondere bei abgelegenen Anlagen. Meist können sie nur einen Teil der Wärme absetzen. Die Statistik der erneuerbaren Energien des BFE zeigt, dass noch ein grosses Potenzial von rund 30% der produzierten Wärme besteht. Zurzeit werden nur rund 45% der Nettowärme, nach Abzug der Fermenterbeheizung, wirklich genutzt.

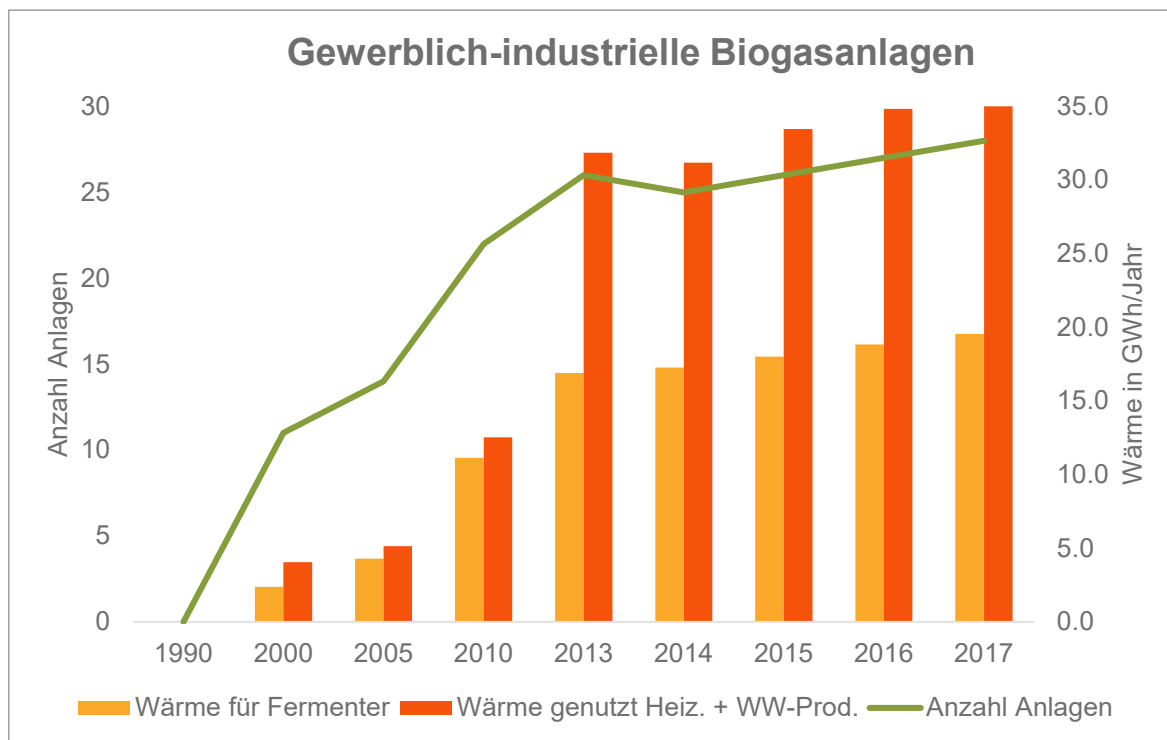


Abbildung 1: Wärmenutzung von gewerblich-industriellen Biogasanlagen zwischen 1990 und 2017

Abbildung 1 zeigt aber, dass die Wärmenutzung in den letzten fünf Jahren deutlich zugenommen hat. Bis 2010 war diese kaum höher als die Prozesswärme.

Es gibt eine ganze Reihe von Beispielen, die zeigen, dass das Wärmepotenzial durchaus noch besser genutzt werden kann. So wird in Chavornay in einem benachbarten Komplex die Wärme für die Fisch- und Schildkrötenzucht verwendet. In Wauwil kann die Wärme an eine angrenzende Champignonzucht abgegeben werden, welche wiederum einen Teil der Abfälle in die Vergärungsanlage liefert. In Bachenbülach konnte mit der Bürgergemeinde ein Vertrag geschlossen werden zur Beheizung eines Teils ihrer Liegenschaften.

In dicht besiedelten Gebieten ist die Kombination von Biogas und Holzenergie besonders interessant. Die Abwärme der WKK (Wärme-Kraft-Kopplung) liefert dabei die Grundlast. Bei G/I-Anlagen mit grösseren Netzen kommt die Hauptwärme meist aus Holzheizungen. Bei kleineren Netzen auf Landwirtschaftsbetrieben liefert die Abwärme den Hauptanteil der Wärmeenergie. In beiden Fällen hat der Wärmespeicher eine zentrale Funktion, wie dies auch ausführlich im Kapitel 4.3 beschrieben ist. Der Speicher dient insbesondere dazu, die während 24 Stunden erzeugte Wärme des BHKWs auszubalancieren, um damit Spitzenlasten abzudecken. Insbesondere am Morgen treten sowohl im Sommer und im Winter grosse Bedarfsspitzen auf, natürlich in unterschiedlichem Ausmass. Gute Beispiele von G/I-Anlagen (welche z.T. auch Gülle verwerten), sind die BIEAG in Hünenberg, die Agro Schwyz AG und die Oberland Energie AG in Spiez. Diese Anlagen speisen in grosse Fernwärmenetze ein, dies hat eine hohe Abwärmenutzung zur Folge.

Schwieriger wird die Wärmenutzung in abgelegenen Gebieten. Dort wird besonders Wert daraufgelegt, einen möglichst hohen Stromwirkungsgrad zu erreichen. In Klingnau wird dazu mit der Abwärme eine ORC (organic ranking cycle) Anlage betrieben. Auch in Ottenbach wird zurzeit die WKK mit einer ORC-Anlage nachgerüstet. Diese Technologie wird im Kapitel 4.7 eingehend beschrieben.

Eine andere Möglichkeit der Wärmenutzung wird in Krauchthal genutzt. Dort wird, neben einem kleinen Wärmenetz, das die Büroräumlichkeiten und ein auf dem Betriebsgelände liegendes Restaurant beliefert, auch eine Holztrocknung sowie die Beheizung der Nachrotte betrieben.

3.2 Wärmenutzung bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Die genutzte Wärmemenge aus der landwirtschaftlichen Biogasproduktion steigt seit mehreren Jahren kontinuierlich an. Ein Grossteil der Wärme wird dabei für anlageninterne Prozesse genutzt. Dabei werden Fermenter und Nachgärer sowie Lagertanks für Flüssigkeiten beheizt. Die extern genutzte Wärmemenge stieg gemäss Schweizerischer Statistik der erneuerbaren Energien von 21,38 GWh im Jahr 2015 auf knapp 23 GWh im Jahr 2017 an¹. Dies entspricht einer Steigerung von 7,6%. Die Zunahme der extern genutzten Wärmemenge ist dabei klein im Vergleich zur Steigerung der Wärmenutzung für die Gärbehälter im selben Zeitraum um 27%. Gesamthaft werden für interne und externe Wärmenutzung etwas mehr als 125 GWh genutzt.

Trotz der absoluten Zunahme an genutzter Wärme ist der Nutzungsgrad in den letzten Jahren konstant geblieben oder sogar leicht gesunken.

Dabei lässt sich die gesamthaft produzierte Wärme nur abschätzen, denn kaum eine Anlage hat einen Wärmezähler installiert. Die produzierte Menge Biogas belief sich auf 364 GWh brutto im Jahr 2017. Wenn man berücksichtigt, dass ein durchschnittliches BHKW mit einem Gasmotor aus Biogas zu 55% nutzbare Wärme produziert, so liegt die nutzbare Wärmeenergie aus Biogas überschlagsmässig bei rund 200 GWh. Es liesse sich also noch einiges mehr an Wärme für externe Prozesse nutzen.

Für das Jahr 2005 wurde die ungenutzte Wärmemenge von landwirtschaftlichen Biogasanlagen auf 9 GWh berechnet und abgeschätzt, dass diese Menge für die Beheizung von 260 Einfamilienhäusern reichen würde. Seit 2005 ist die Biogasproduktion um das knapp 10-fache gestiegen und die ungenutzte Wärmemenge um das 8-fache. Demnach könnten heute mehr als 2000 Einfamilienhäuser mit der ungenutzten Wärmemenge beheizt werden.

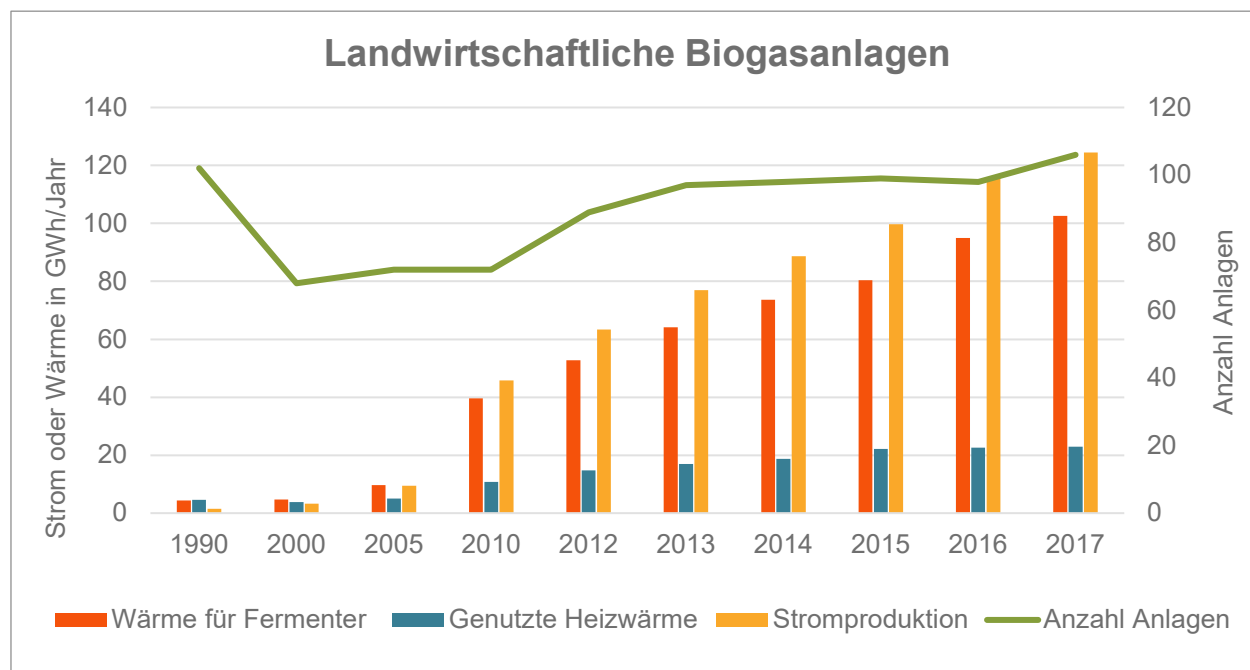


Abbildung 2: Wärmenutzung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen

Einen genaueren Blick lässt das Benchmarking-Projekt von Ökostrom Schweiz zu. Aus dem Projekt geht hervor, dass die insgesamt genutzte Wärmemenge von 35 Anlagen bei 19,3 GWh lag⁴. Die extern genutzte Wärmemenge entsprach dabei 35% der tatsächlich produzierten Bruttowärme, ohne den Wärmebedarf für den Fermenter und andere betriebseigene Wärmebezügler. Von der extern, d.h. ausserhalb der Biogasanlage genutzten Wärme, wurden etwas mehr als 45% intern auf den Betrieben genutzt und knapp 55% verkauft. Dabei kann oder muss nicht jeder Betrieb Wärme verkaufen. Die meisten Betriebe nutzen die Abwärme lokal als sogenannte Nahwärme für die Heizung von Wohngebäuden, Ställen oder die Trocknung von landwirtschaftlichen Gütern (detaillierte Beispiele siehe Kapitel 4). Das Einspeisen ins Fernwärmenetz war im 2016 erst für drei Betriebe eine Option. Die Wärmenutzung von Benchmarking-Anlagen vergrösserte sich um 14% von 2015 auf 2016, sowohl intern auf den Betrieben als auch extern im Verkauf. Diese Steigerung übertrifft die schweizweite jährliche Zunahme in der Wärmenutzung und ist möglicherweise auf die höhere Aufmerksamkeit der am Benchmarking-Projekt teilnehmenden Betreiber auf nachhaltige Energienutzung zurückzuführen.

Je nach Standort der Biogasanlage ist die Art der Abwärmenutzung von landwirtschaftlichen Biogasanlagen unterschiedlich. Eine Biogasanlage mit einer installierten elektrischen Leistung von 100 kW kann beispielsweise 9 Einfamilienhäuser über die Wintermonate beheizen. Eine Anlage von 190 kW_{el} kann eine Käserei mit einer Verarbeitung von 2,2 Mio Liter Milch mit Wärme und Warmwasser versorgen. Eine Anlage mit 170 kW_{el} versorgt eine Gärtnerei mit einer Gewächshausfläche von 8400 m². Laut Aussage des Produzenten Biogas Hopöschen Ruswil AG kann durch eine gute Planung für die Wärmenutzung bis zu 90% der Wärme sinnvoll genutzt werden. Während im Winter Gebäude beheizt werden, wird die Wärme in den Sommermonaten vor allem zu Trocknungszwecken eingesetzt. Die häufigste Nahwärmenutzung aus der Biogasproduktion ist die Beheizung von Wohngebäuden, gefolgt von Ställen, der Holztrocknung und der

Warmwasseraufbereitung (Datenauswertung Ökostrom Schweiz). Einzelne Betriebe haben die Möglichkeit eine Käserei, Gärtnerei oder andere Industriebetriebe zu beheizen oder zu beliefern.

Die installierte thermische Leistung der BHKW beläuft sich auf durchschnittlich 277 kW_{th} bei den landwirtschaftlichen Biogasanlagen, mit einem Spektrum von 16 bis 844 kW_{th}. Erst ab einer thermischen Leistung von mehr als 500 kW_{th} ist eine Wärmequelle für grosse Industriebetriebe interessant. Für landwirtschaftliche Biogasanlagen sind also oft alternative, nicht-industrielle Wärmenutzungspfade gefragt.

3.3 Einbettung in die Klimapolitik der Schweiz

Mit der Ratifikation des Klimaübereinkommens von Paris im Oktober 2017 hat sich die Schweiz verpflichtet, die Treibhausgasemissionen bis 2030 gegenüber 1990 um 50% zu senken, mit Massnahmen im Inland und Ausland. Infolge dessen ist das geltende CO₂-Gesetz für den Zeitraum von 2021 bis 2030 zur Zeit in Totalrevision. Die Schweizer CO₂-Gesetzgebung umfasst Massnahmen in den Bereichen Verkehr, Gebäude, Industrie und Landwirtschaft. Die Landwirtschaft soll über die Agrargesetzgebung ihren Beitrag zum Klimaschutz leisten. Die verbindlichen Ziele für die Landwirtschaft ab 2022 sollen in der AP22+ definiert werden.

Mehr als die Hälfte des Endenergieverbrauchs und der CO₂-Emissionen werden in der Schweiz durch die Wärmeerzeugung für die Gebäudeheizung verursacht. Zwar hat sich die Wärmeerzeugung aus erneuerbaren Energien in den letzten Jahren positiv entwickelt, die erneuerbaren Anteile am Endenergieverbrauch im Bereich Wärmeerzeugung liegen jedoch lediglich bei rund 20%¹. Etwa die Hälfte der erneuerbaren Wärme stammt dabei aus der Biomassenutzung (insbesondere Holzfeuerungen). Eines der Ziele der Energiestrategie 2050 ist es, den Anteil der neuen erneuerbaren Energien an der Wärmeproduktion deutlich zu erhöhen. Verbindliche Ziele für einzelne Technologien werden im Rahmen der Energiestrategie aber nicht gesetzt.

Nach Hochrechnungen von Ökostrom Schweiz liegt der Beitrag der Wärmenutzung von 105 landwirtschaftlichen Biogasanlagen zur CO₂-Reduktion bei aktuell rund 8500 Tonnen CO₂-Äq je Jahr (Stand 2017). Dabei wird angenommen, dass nur die Hälfte der genutzten Wärme tatsächlich fossile Energieträger substituiert, während mit den verbleibenden 50% andere erneuerbare Energieträger ersetzt werden (insbesondere Holzheizungen, welche in der Landwirtschaft verbreitet sind). Diese Annahme ist als sehr konservativ einzuschätzen. Unter Berücksichtigung des Zu- und Ausbaus von landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird ein Anstieg der jährlichen CO₂-Reduktion bis zum Jahr 2021 auf rund 14'500 t CO₂-Äq je Jahr erwartet.

Möglichkeiten der Wertschöpfung aus der CO₂-Kompensation

CO₂-Reduktionsleistungen aus Projekten und Programmen zur Emissionsverminderung im Inland (CO₂-Kompensation) können bescheinigt und für die Kompensation von Emissionen an anderer Stelle genutzt werden. Zuständig für das Instrument der CO₂-Kompensation ist das Bundesamt für Umwelt. Die Abwicklung von Projekten und Programmen zur Emissionsverminderung im Inland regelt das CO₂-Gesetz. CO₂-Bescheinigungen sind handelbar. In der Schweiz werden die meisten Bescheinigungen aus Projekten und Programmen zur Emissionsverminderung im Inland durch die

Stiftung Klimaschutz und CO₂-Kompensation KliK 9 gekauft, welche die CO₂-Kompensationsverpflichtungen der Mineralölindustrie umsetzt.

Mit dem Programm Wärmeverbünde fördert die Stiftung KliK den Bau, die Erweiterung sowie die Umstellung von Wärmeverbünden auf Abwärme oder erneuerbare Energien. Die Stiftung KliK zahlt einen Preis von CHF 100.– pro reduzierte Tonne CO₂. Das Programm läuft bis zum Jahr 2030. Biogasanlagen können an dem Programm aus methodischen Gründen aber nicht teilnehmen. In den Teilnahmebedingungen ist festgelegt worden, dass im Bereich Biomasse nur die Wärmeerzeugung aus Holz berücksichtigt werden kann. Alternative Klimaschutzprogramme, an denen Biogasanlagen teilnehmen könnten, existieren bisher noch nicht.

CO₂-Bescheinigungen können nur für Reduktionsleistungen ausgestellt werden, welche nicht gesetzlich vorgeschrieben sind. Mit dem Wärmebonus der KEV waren bisher die Klimaschutzleistungen der Wärmenutzung von Biogasanlagen daher ganz abgegolten. Um den Wärmebonus der KEV zu erhalten, mussten bestimmte Mindestwärmenutzungsgrade gesetzlich verpflichtend erreicht werden. Für die Wärme bis zum Erreichen des Mindestwärmegrades konnten daher keine CO₂-Bescheinigungen generiert werden. Nur für die Wärmenutzung, welche über die Mindestnutzung hinausging, waren CO₂-Bescheinigungen möglich. Deren Anteil war jedoch vergleichsweise gering, so dass sich bisher Klimaschutzprogramme für Biogasanlagen in punkto Wärmenutzung unter Kosten-Aufwand-Nutzen-Relation nicht gelohnt haben.

Mit der am 01.01.18 in Kraft getretenen Energieförderungsverordnung entfällt für alle neuen Biogasanlagen der Wärmebonus. Damit entfallen für Biogasanlagen mit Landwirtschaftsbonus, jedoch nicht für gewerblich-industrielle Anlagen, die Anforderung der Wärmemindestnutzung. Es ist nur noch die Deckung des Wärmebedarfs der Energieanlage (z. B. Fermenterheizung) durch Abwärmenutzung vorgeschrieben. Die gesamte extern genutzte Wärme kann in Klimaschutzprojekte eingebracht werden.

3.4 Unterschied bestehende und geplante Anlagen

Bei Neuanlagen sollen die Projektverantwortlichen die Abwärmenutzung von Anfang an in das Konzept einbetten, damit nicht nachträglich unnötige Investitionen ausgelöst werden müssen. Bei der Planung ist darauf zu achten, dass die Abwärme auf verschiedenen Temperaturniveaus entnommen werden kann. Dies sollte in das Konzept einfließen. Die entsprechenden Verrohrungen müssen zwar nicht auf Vorrat gebaut, aber der Platz dafür muss vorgesehen werden. Bei den bestehenden Anlagen ohne eine zufriedenstellende Abwärmenutzung ist der Umbau mit mehr Aufwand verbunden, aber in aller Regel ohne grössere Schwierigkeiten machbar. Es ist wichtig, dass eine fundierte Planung erfolgt. Diese sollte auch mögliche Erweiterungen mit einbeziehen, damit nicht unnötige Umbaukosten entstehen.

4. Angewandte Technologien für die Abwärmenutzung

4.1 Gemeinsamkeiten der angewandten Technologien bei den verschiedenen Anlagekategorien

Der Einfluss des Biogasanlagenkonzepts

Die Energieerzeugung und damit die Erzeugung und mögliche Nutzung von Wärme aus einer Biogasanlage wird durch das Gesamtkonzept der Anlage beeinflusst. Dieses Konzept wird insbesondere durch die folgenden Aspekte definiert:

Das Ziel der Anlage: In der Schweiz hat sich die Mehrheit der nach der Einführung der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) realisierten Biogasprojekte aus betriebswirtschaftlichen Gründen für die Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien entschieden. Die ökologische Abfallbehandlung und die Einspeisung von Biomethan in das Gasnetz sind inzwischen ebenso wichtige Ziele wie die Rückführung von organischer Substanz mittels Kompost und Gärgut in den Boden. Bei Anlagen mit Wärme-Kraft-Kopplung hat die Optimierung der Wärmeverwertung über die gesetzlichen Anforderungen bedauerlicherweise selten eine Priorität.

Die Grösse der Anlage hat einen Einfluss auf die Menge und Verfügbarkeit von Wärmeenergie. Die installierte elektrische Leistung der Schweizer Biogasanlagen liegt im Durchschnitt bei knapp 200 kW_{el} für landwirtschaftliche Anlagen und 500 kW_{el} für industrielle Anlagen zur Verarbeitung von Bioabfällen. Die Bandbreite kann jedoch von 30 kW_{el} für die kleinsten landwirtschaftlichen Anlagen bis hin zu einigen Megawatt für die grössten Industrieanlagen reichen.

Die Vergärungstechnologie (Flüssig-/Feststoffvergärung, Kontinuierliches/Batchverfahren) beeinflusst den Wärmebedarf, da Temperaturniveau und Geometrie der Fermenter unterschiedlich sind. Unabhängig von der Technologie ist eine gute Fermenterisolierung Voraussetzung für einen effizienten Wärmeeinsatz und stabilen Prozess.

Die Art der Inputs (Hofdünger und landwirtschaftliche Reststoffe, Grüngut, Speiseabfälle, Industrieabfälle, etc.) bestimmt die produzierte Biogasmenge und deren Zusammensetzung und damit auch die Erzeugung und Verfügbarkeit von Wärme.

Das Geschäftsmodell: Neben den oben genannten Zielen beeinflussen die Art der Geschäftstätigkeit (Landwirtschaftlicher Einzel- oder Gemeinschaftsbetrieb, Industrielle Abfallbehandlungsanlage, etc.) und ihr Standort die Möglichkeiten der Wärmerückgewinnung. In landwirtschaftlichen Biogasanlagen wird Wärme zum Heizen von Wohnungen, Wirtschaftsgebäuden und Ställen (hauptsächlich Schweine- und Geflügelställen), zur Erzeugung von Warmwasser für die landwirtschaftliche Nutzung sowie für Gewächshäuser und Trocknungsprozesse wie Holz, Getreide oder Futtermittel genutzt. In industriellen Abfallbehandlungsanlagen kann Wärme zur Hygienisierung von Substraten oder zur Reinigung von Entsorgungsfahrzeugen und -behältern sowie zur Fernwärme genutzt werden. Eine typische Nutzung überschüssiger Wärmeenergie in Industrieanlagen ist die Bereitstellung von Industrierwärme, die jedoch durch das Temperaturniveau begrenzt ist, da oft höhere Temperaturen als die üblicherweise von Wärmekraftkoppelung gelieferten 85°C erforderlich sind.

Thermischer Eigenverbrauch

Der thermische Bedarf einer Biogasanlage ist kontinuierlich und im Allgemeinen über das Jahr geglättet, mit saisonalen Schwankungen, aber mit möglichen Spitzen bei spezifischen Vor- oder Nachbehandlungen.

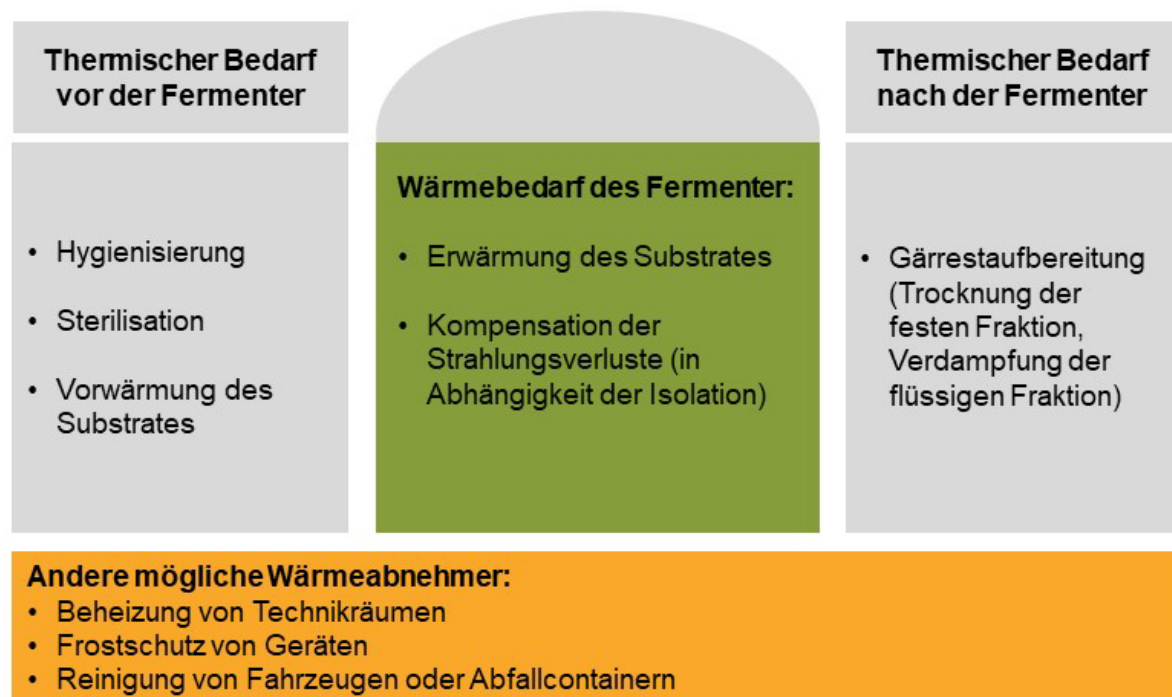


Abbildung 3: Thermischer Eigenbedarf von Biogasanlagen

Der thermische Bedarf der Fermenter hat Vorrang vor anderen möglichen Formen der Wärmenutzung. Dieser Eigenverbrauch resultiert aus Wärmeverlusten aus der Fermenterhülle und aus solchen, die mit der Einführung von frischen Substraten zusammenhängen. Dies muss durch einen Wärmeinput kompensiert werden, so dass die erforderliche Temperatur für den biologischen Prozess aufrechterhalten werden kann.

Die thermischen Anforderungen hängen von der Umgebungstemperatur und der verwendeten Technologie ab, einschliesslich der folgenden Parameter:

- Mesophiles Temperaturniveau (35–44°C) oder thermophiles Temperaturniveau (50–55°C)
- Dimensionierung des Fermenters
(einschliesslich des Verhältnisses von Oberfläche zu Volumen)
- Dicke und Qualität der Isolierung (Boden, Wände und Dach)
- Trockensubstanz des Gemisches beim Aufschluss

Für Biogasanlagen unter Schweizer Klimabedingungen (Mittelland) sind in der folgenden Tabelle Grössenordnungen des thermischen Eigenverbrauchs zur Beheizung des Fermenters (und für mögliche beheizte Nachfermenter) dargestellt.

Art und Leistung der Biogasanlage	Beschreibung/Hauptparameter			Thermischer Eigenverbrauch (in % der Wärme des BHKW)
	Jährliche Kapazität (Tonnen Frischsubstanz/Jahr)	Art der Inputs	Temperaturniveau	
Kleine landwirtschaftliche Biogasanlagen 30–60kW _{el}	< 5000t/Jahr	Hauptsächlich Gülle	Mesophil	40–60%
Mittlere landwirtschaftliche Biogasanlagen 150–200kW _{el}	8000–15'000t/Jahr	80% Hofdünger 20% Cosubstrate	Mesophil	30–40%
Grosse landwirtschaftliche Biogasanlagen 300–500kW _{el}	20'000–30'000t/Jahr	80% Hofdünger, 20% Cosubstrate	Mesophil	25–35%
Industrielle Vergärungsanlagen 400–1000kW _{el}	20'000–30'000t/Jahr	Grüngut und Industrieabfälle	Thermophil	10–30%

Tabelle 2: Thermischer Eigenverbrauch der unterschiedlichen Arten von Biogasanlagen in der Schweiz

Um den Eigenverbrauch zu minimieren, ist eine Verstärkung der Isolierung eine besonders effektive Massnahme. Um die für die externe Nutzung verfügbare Wärmemenge zu erhöhen, können auch Wärmerückgewinnungssysteme für den Gärrest installiert werden.

Saisonabhängigkeit von Bedarf und Verfügbarkeit

Eine der Herausforderungen bei der Wärmeverwertung ist die Saisonalität. Während die thermische Produktion im Allgemeinen kontinuierlich und über das Jahr verteilt erfolgt, abhängig von der Biogasproduktionskurve, ist der Wärmebedarf im Sommer deutlich geringer als im Winter. Darüber hinaus benötigen die meisten potenziellen externen Verbraucher, beispielsweise die Gebäude, nur im Winter Wärme. Die Folge ist, dass es im Sommer oft zu einem Wärmeüberschuss kommt.

Der Wärmenutzungsgrad hängt von der verfügbaren Wärme und dem Bedarf ab. Dies ist durch Überlagerung der beiden Grafiken in Abbildung 4 ersichtlich.

Der Wärmebedarf ist sehr kundenspezifisch. In vielen Betrieben ist der Wärmebedarf in den Sommermonaten wesentlich kleiner als im Winter. Das hat zur Folge, dass im Sommer nicht die gesamte Energie verwertet werden kann, aber im Winter eine zusätzliche Wärmequelle benötigt wird. Diese Tatsache erschwert eine effiziente Wärmenutzung.

Diese Gegebenheiten müssen bei der Planung einer Wärmeverwertung in erster Priorität berücksichtigt werden.

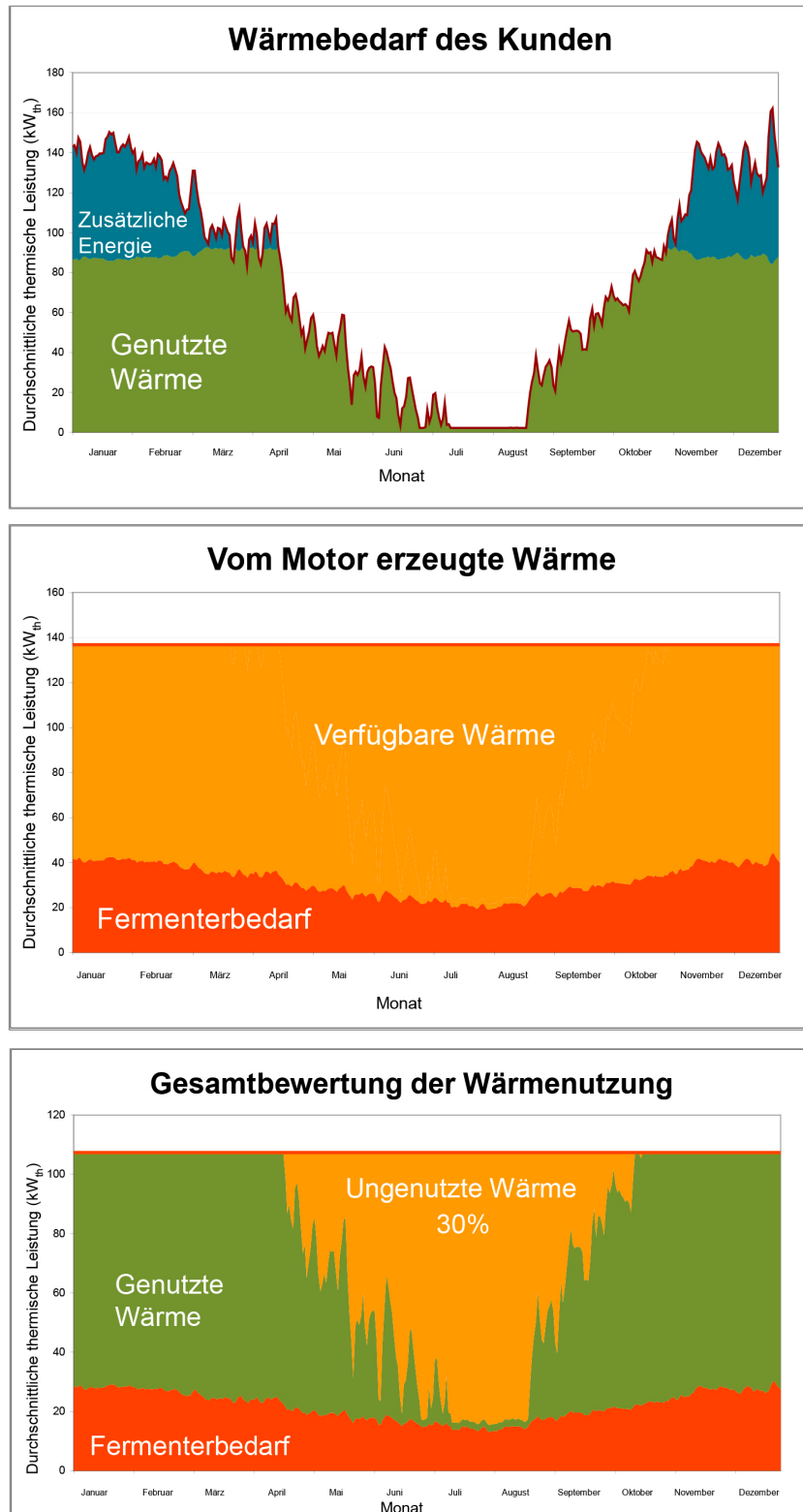


Abbildung 4: Wärmenutzungsbilanz einer landwirtschaftlichen Biogasanlage mit Wärmeverwertung in einem öffentlichen Gebäude

Funktion und Eigenschaften der Wärmekraftkoppelung

In der Schweiz wird Biogas zum grossen Teil durch Kraft-Wärme-Kopplung verwertet. Vor der Verbrennung in einem Blockheizkraftwerk wird das Biogas getrocknet und gereinigt, da die meisten Gasmotoren Betriebsgrenzen für Schwefelwasserstoff, halogenisierte Kohlenwasserstoffe und Siloxane haben.

Verbrennungsmotoren haben einen elektrischen Wirkungsgrad zwischen 32 % und 42% und einen thermischen Wirkungsgrad zwischen 40% und 60%. Vor der Planung der Wärmeverwertung sind die spezifischen Eigenschaften der Blockheizkraftwerke zu berücksichtigen. Die technischen Daten des Herstellers sind zu beachten in Bezug auf: Hydraulik des Wärmeverteilungssystems, Temperaturen, Volumenströme, Drücke und Wasserqualität in den Kreisläufen, das Mess- und Regelsystem.

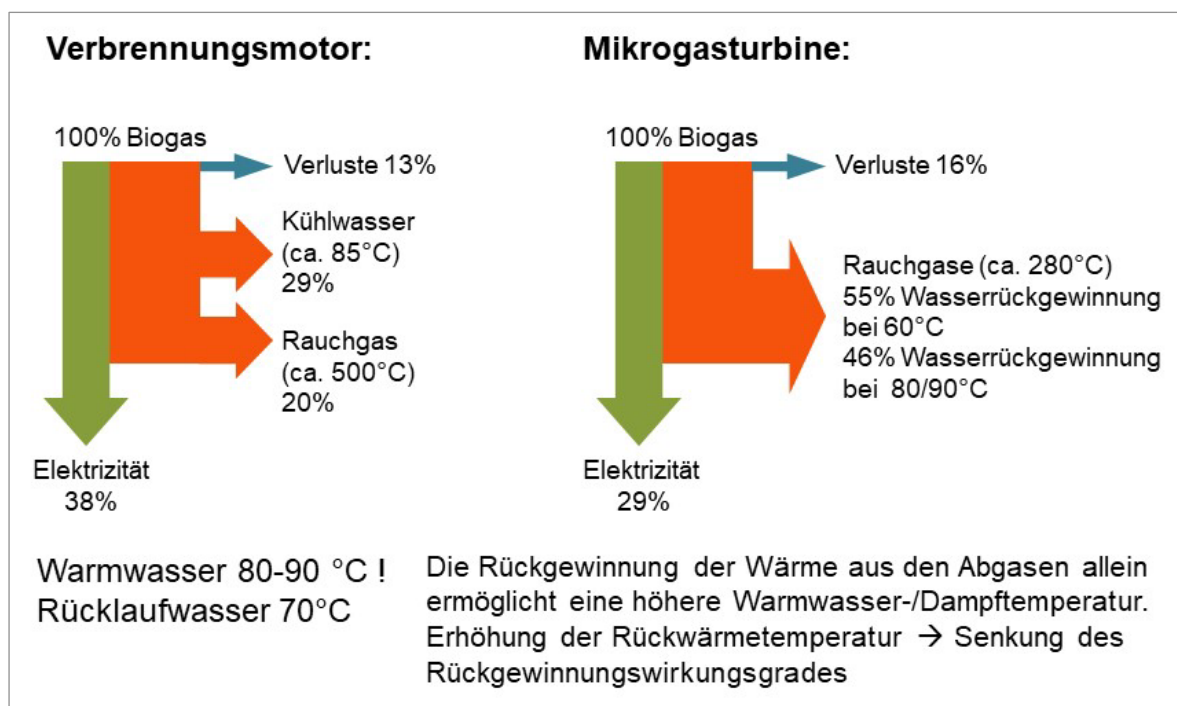


Abbildung 5: Typische Temperaturniveaus und Wärmerückgewinnungsgrade in einem biogasbetriebenen Verbrennungsmotor und einer Mikrogasturbine.

Abbildung 5 zeigt die Wärmequellen einer Wärmekraftkopplungs-Anlage für einen Verbrennungsmotor und eine Gasmikrogasturbine. Je nach Hersteller und Modell gibt es erhebliche Unterschiede in den Leistungsklassen und den Möglichkeiten der Wärmenutzung.

Gasmotoren

Bei einem Gasmotor kommt die Wärme aus drei Hauptkreisen: Öl, Motorkühlung und Abgase. Es wird im Allgemeinen an einer einzigen Stelle in Form von heissem Wasser bei 90°C mit einer Vorlauftemperatur von 90°C gewonnen.

Werden Temperaturen über 100°C gefordert, ist es möglich, die Wärme über einen Dampferzeuger vom Abgasstrom, der zwischen 400 und 500°C austritt, zu entkoppeln. Diese Lösung ist jedoch teurer, da sie eine hochdruckfeste Konstruktion (>3 bar) erfordert.

Die Rauchgastemperatur darf höchstens bis auf 150–180°C gesenkt werden. Darunter sind NO_x- und SO_x-Emissionen zu befürchten. Darüber hinaus würde eine niedrigere Temperatur zu einer Beschädigung der Wärmetauscher und einer Verkürzung der Lebensdauer aufgrund der Kondensation von korrosiven Produkten führen.

Mikrogasturbinen

Bei einigen Turbinen gibt es weder eine Öl- noch eine Wasserkühlung und die Wärme wird nur durch Abgase abgegeben. Die Temperatur des Turbinenabgases ist niedriger als die der Motoren (ca. 300°C), da er durch die hohe Luftzufuhr in die Brennkammer «verdünnt» wird. Allerdings ist die Wärmemenge, die aus einer Mikrogasturbine gewonnen werden kann, grösser als bei Motoren.

Falls man Dampf erzeugen will, kann man dies zu 100% tun, indem man die gesamte Wärme der Turbinen nutzt, während man bei Motoren dies nur zu einem Teil machen kann. Ein Teil des heissen Wassers aus dem Kühlkreislauf wird bei niedriger Temperatur abgegeben und ist nicht für die Dampferzeugung verwendbar.

Es kann je nach Verbraucher vorzuziehen sein, wärmeverbrauchende Geräte die das höchste Temperaturniveau erfordern, bis hin zu den Geräten mit dem niedrigsten Temperaturniveau in Serie zu schalten. Da die Fermenter auf eine relativ niedrige Temperatur, oft um 38°C, erwärmt werden, können sie beispielsweise durch die Rückflüsse aus Wärmenetzen erwärmt werden (siehe Beispiel Agrogaz Lignerolle).

Wenn keine Wärme genutzt wird, muss sie abgeführt werden, was Geräte wie Rückkühler erfordert, die elektrische Energie verbrauchen.

Gute Beispiele: Agrogaz Lignerolle SA, Lignerolle, Suisse

Abbildung 6: Anlage Agrogaz Lignerolle SA, Lignerolle, Schweiz

Praxisbeispiel: Biogasanlage Agrogaz Lignerolle**Charakterisierung Anlagedaten****Ort:** Lignerolle (Kt. VD)**Baujahr Biogasanlage:** 2014**Anlagengrösse:** 1 Wärmekraftkopplungsmotor, 330 kW_{el} und 395 kW_{th}**Hydraulische Verweilzeit:** 100 Tage**Prozesstemperatur:** 42°C**Vergärungssubstrate/Einsatzstoffe:** Rund 13'000 t Hofdünger. Rund 3000 t Co-Substrate**Brutto-Stromproduktion:** 2'500'000 kWh**Kontakt**

Agrogaz Lignerolle SA

Grand Vailloud 10

1357 Lignerolle

Tel: 079 606 37 49

Email: contact@agrogaz.ch

Agrogaz Lignerolle ist eine landwirtschaftliche Biogasanlage, die Gülle und Mist von ca. 1100 Grossvieheinheiten (GVE) vergärt. Das Einzugsgebiet umfasst die Gemeindegebiete Ballaigues, Lignerolle, Sergey und Valeyres-sous-Rances mit einer Menge von 13'000 t/Jahr. Daneben werden Co-

Substrate der Lebensmittelindustrie (3000 t/Jahr) verwertet. Agrogaz ist das Ergebnis einer Partnerschaft zwischen Romande Energie (40%) und den Landwirten Frédéric und Fabien Petermann (60%). Die Anlage wurde 2014 mit einer Investitionssumme von CHF 5'500'000 erbaut.

Das Biogas erzeugt Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung). Diese Wärme wird in Kaskade nach dem folgenden Prinzip genutzt:

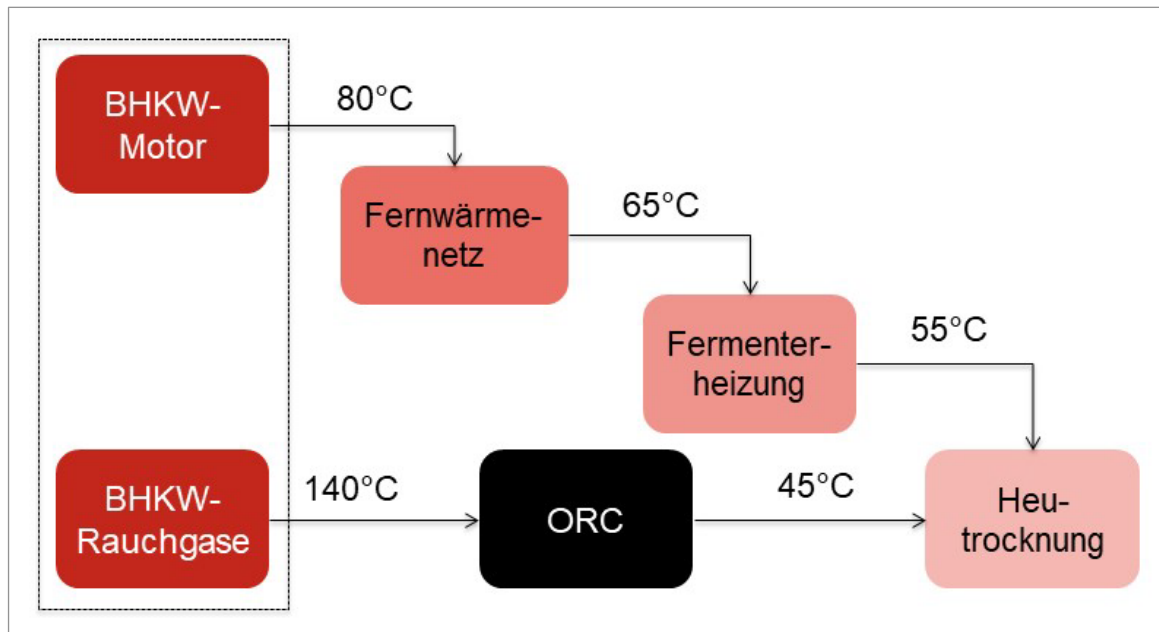


Abbildung 7: Kaskadenverschaltung der Verbraucher

Die Stromproduktion vor Ort wird auf rund 2,5 GWh/Jahr geschätzt. Die elektrische Leistung des Blockheizkraftwerks beträgt 330 kW (elektrischer Wirkungsgrad 40%). Die thermische Leistung des Blockheizkraftwerks beträgt 395 kW.

Um die vom Motor erzeugte Abwärme zu nutzen, wurde eine ORC-Turbine mit einer elektrischen Leistung von 20 kW_{el} installiert (Investitionen: circa CHF 250'000.–), die 200 kW_{th} aus der Abgaskühlung des Motors verbraucht. Die dem ORC zugeführte Wärme liegt bei einer Temperatur von 140°C und einem Druck von 8 bar.

Das ORC steigert die Stromerzeugung des Gasmotors um rund 6%.

Die am Standort erzeugte Wärme wird durch die ORC-Turbine, einen Heutrockner und ein Fernwärmesystem, welches die Wohngebäude von Herrn Petermann und die benachbarten Weiler versorgt, genutzt. Zu diesen Wärmeabnehmern kommen ein Schnitzel- und ein Holztrockner hinzu. Jährlich werden etwa 75% der gesamten in der Biogasanlage erzeugten Wärme genutzt.

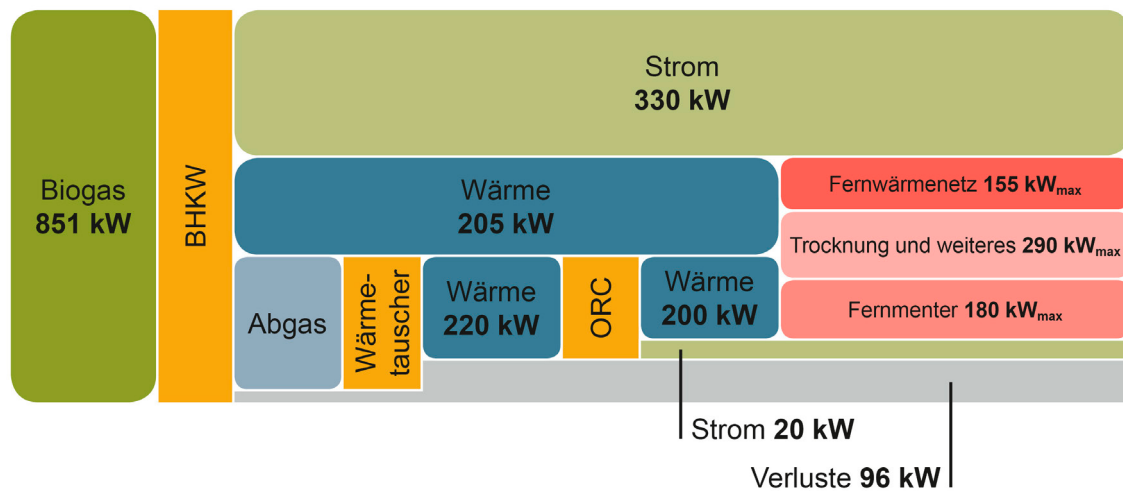


Abbildung 8: Blockschema Verwertung Energie BHKW und ORC Anlage

Wärmeabnehmer	• Fermenter • Turbinen-ORC • Heutrockner • Schnitzel- und Holzrockner • Fernwärmenetz
Bauzeit für die Wärmenutzungsanlage	5 Monate; Meilensteine: Aushub für die Fernwärmeleitung, Bau eines Anbaus für den Heutrockner, Installation des ORC
Aufgetretene Schwierigkeiten	• Zusätzliche Kosten durch die Anreise des Installateurs/der Heizung • Integration des Fernwärmenetzes in bestehende Wohnhäuser und Gewerbeliegenschaften • Kommunikationsprobleme unter Gesprächspartnern • Die Einstellung des Hydraulikkreises, der den ORC versorgt, erforderte Zeit und zahlreiche Eingriffe. Der ORC ist sehr empfindlich gegenüber Schwankungen der Wärmeleistung und der Temperatur • Konkurs des ORC-Lieferanten
Erfolgsfaktoren	• Nutzung vorhandener Holzkessel als redundante Wärmequelle • Bereitstellung eines Pufferspeichers mit ausreichendem Volumen • Bereitstellung ausreichender Ventile und Automatisierung der Heizeinstellungen zur Erhöhung der Flexibilität und des saisonalen Nachfragemanagements

Tipps & Ratschläge	• Durch die Wahl eines regionalen Sanitär-/Wärmetechnikers werden die Instandhaltungskosten deutlich reduziert: wenig Erfahrung bei der Ausführung, dafür Zeit- und Kostenersparnis. • Planen Sie ein erweiterungsfähiges System mit Reserven für das Fernwärmesystem. «Wir hatten eine Reserve geplant. Diese wurden bereits nach drei Monaten für eine Waschanlage genutzt». • Änderungen am System während des Betriebs werden immer teurer. Eine gute Planung hilft, die Investitionskosten im laufenden Betrieb zu begrenzen.
-------------------------------	--

Tabelle 3: Erfahrungen des Anlagebetreibers Agrogaz Lignerolle

4.2 Wärme

Die Wärmenutzung in Nah- oder Fernwärmenetzen für die Beheizung von Gebäuden und Haushalten hat viele Vorteile, unter anderem den Ersatz fossiler Brennstoffe und die Schaffung regionaler Wertschöpfung. Nachteile bestehen im saisonal schwankenden Wärmebedarf von Gebäuden, der geringen Speicherkapazität im Netz und den Wärmeverlusten, die beim Transport in den Netzen entstehen. Wärmespitzen, die im Winter auftauchen können, werden häufig mit Hackschnitzelheizungen überbrückt. Die Grundlast kann durch die Abwärme aus der BHKW-Verstromung gut gedeckt werden, eine Spitzenlast jedoch nicht. Der Vorteil von Biogasanlagen ist die ganzjährig kontinuierliche Bereitstellung von Abwärme. Diese wird bei Bedarf in Warmwasserspeichern zwischengespeichert. Je nach Dimensionierung des Speichers ist die mögliche zeitliche Überbrückung kürzer oder länger. Kurzzeitspeicher werden bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen häufig eingesetzt, Saisonspeicher nicht.

Die Länge des Wärmenetzes ist entscheidend für entstehende Wärmeverluste. Punkto Wirtschaftlichkeit sind Nahwärmeleitungen kostenintensiver als Biogasleitungen. Daher wird in Deutschland empfohlen, die teureren Nahwärmeleitungen nur in Nähe der Wärmeabnehmer zu verwenden und bei weiterer Entfernung der Biogasanlage zu den Wärmeabnehmern eine Heizzentrale dazwischenschalten, d.h., bis zur Heizzentrale keine Nahwärmeleitungen sondern Biogasleitungen zu verwenden. Durch den Bau von Heizzentralen können Wärmenetzlängen und damit Wärmeverluste reduziert werden. In der Schweiz ist diese Lösung noch nicht realisiert, da dafür sehr strenge technische und administrative Anforderungen gelten, welche von einem einzelnen landwirtschaftlichen Biogasanlagenbetrieb nicht erfüllt werden können.

Für die Wirtschaftlichkeit ist vor allem eine möglichst hohe Anschlussdichte relevant und ein Wärmeabsatz von mehr als 2 MWh pro Jahr und Meter der Trassenlänge wird empfohlen. Eine hohe Anschlussdichte verringert auch die Wärmeverluste deutlich. Die Baukosten für ein Verteilnetz sind dabei im ländlichen Raum geringer als im städtischen Umfeld. Erzielte Erlöse oder günstige Baubedingungen können auch geringere Anschlussdichten ausgleichen und wirtschaftlich positiv beeinflussen. Bei der Gestaltung des Wärmepreises für Nah- oder Fernwärme wird empfohlen, Flexibilität bezüglich der Preisanpassung zu bewahren, da auch im Biogasbereich die Preisstabilität nicht langfristig gegeben ist.

Im Folgenden werden zwei Praxisbeispiele beleuchtet, die eine möglichst vollständige und standortangepasste Wärmenutzung zu Heizzwecken verfolgen.

Praxisbeispiel: Holzwärmeverbund Unterbuck

Charakterisierung Anlagedaten

Ort: Thayngen (Kt. SH)

Baujahr Biogasanlage: 2014

Anlagengrösse: 1 Wärmekraftkopplungsmotor, 265 kW_{el} und 345 kW_{th}

Anlagenbestandteile: Fermenter und Nachgärer 3500 m³, Endlager 2300 m³

Hydraulische Verweilzeit: 100 Tage

Prozesstemperatur: 42°C

Vergärungssubstrate/Einsatzstoffe: Rund 14'500 t Hofdünger (Rindermist, Rindergülle, Hühnermist). Rund 3400 t Co-Substrate

Brutto-Stromproduktion: 2'112'000 kWh (2017)

Brutto-Wärmeproduktion: 3'764'000 kWh, Heizzentrale (31%) und Biogasanlage (69%).

Wärmenutzung im Sommer/Winter: Die Biogasanlage liefert über das ganze Jahr gerechnet gut 55% der benötigten Wärme im Wärmeverbund. Im Sommer wird nur die Abwärme aus der Biogasanlage genutzt und die Holzheizung nicht betrieben. Dabei beträgt der Wärmebedarf im Fernwärmenetz im Sommer ca. 60% der produzierten Wärme und es wird zusätzlich Getreide getrocknet. Im Winter wird die Wärme aus der Holzheizung und der Biogasanlage zu 100% für das Fernwärmenetz und den eigenen Betrieb eingesetzt.

Wärmespeicher: Warmwasserspeicher mit 85'000 Liter.

Heizzentrale: Holzschnitzel-Heizzentrale mit 550 kW_{th}, es werden 900–1400 m³ Waldhackschnitzel eingesetzt.

Wärmeverkauf: 2'337'000 kWh (2017)

Anschlussdichte: 0,93 MWh a⁻¹ m⁻¹.

Grösse des Wärmenetzes: 250 Haushalte in der Gemeinde Thayngen (Einfamilien- und Mehrfamilienhäuser), 4 Gewerbebetriebe und eine Schule

Länge des Wärmenetzes: mehr als 2500 m

Wärmenutzung auf dem Betrieb: Kartoffellager (Frostschutz), Werkstatt, Warmwasser und Wohnhaus, Getreidetrocknung.

Kontakt

Müller Energie GmbH

Herr Christian Müller und Frau Andrea Müller

Reiatstrasse 51

8240 Thayngen

E-Mail: unterbuck@bluewin.ch



Abbildung 9: Blick auf die Biogasanlage mit den unterirdischen Gärbebehältern



Abbildung 10: Luftbild des Landwirtschaftlichen Betriebs «Unterbuck» in Thayngen (SH) mit Holzsnitzelfeuerung (1), Photovoltaikanlage (2) und Biogasanlage mit Blockheizkraftwerk (3).

Praxisbeispiel: Wärmelieferung für eine Käserei auf der BGA AgroGaz Haute-Sarine SA**Charakterisierung Anlagedaten**

Ort: Ferpicloz (Kt. FR)

Baujahr BGA: 2012

Anlagengrösse: 1 BHKW mit 280 kW_{el} und 320 kW_{th}

Anlagenbestandteile: Fermenter und Nachgärer 3600 m³, Gärrestlager 3800 m³ **Hydraulische Verweilzeit:** 65 Tage

Prozesstemperatur: 40°C

Vergärungssubstrate/Einsatzstoffe: Rund 23'000 t Hofdünger (Rinder- und Schweinegülle, Rindermist, Geflügelmist, Pferdemist). Rund 2000 t Co-Substrate

Brutto-Stromproduktion: 2'277'000 kWh (2017)

Brutto-Wärmeproduktion: ca. 2'500'000 kWh.

Abwärmenutzung: 20–25% der produzierten Abwärme werden an die Käserei Le Mouret verkauft. Diese kann damit das Gebäude heizen und die Milchkessel für die Produktion von jährlich insgesamt 450 Tonnen Käse auf 80°C vorwärmen. Dadurch spart die Käserei mehr als 70'000 Liter an fossilem Heizöl ein und deckt ihren Wärmebedarf zu gut 50% mit der Wärme aus der Biogasanlage. Die Aufheizung der Käsekessel von 80°C auf 100°C erfolgt mit Heizöl. Neben der Käserei werden zusätzlich mehrere Wohngebäude beheizt, was eine weitere Nutzung von 15–20% der Wärmeproduktion darstellt.

Nutzung der Überschusswärme: Mit der Überschusswärme werden im Jahr ca. 4000 m³ Holzschnitzel für die Firma BestPellet (<http://bestpellet.ch/>) getrocknet. Im Sommer werden rund dreimal so viele Pellets getrocknet wie im Winter.

Wärmespeicher: Warmwasserspeicher mit 40'000 Litern

Fernwärmenetz: Das Fernwärmenetz der Biogasanlage zur Käserei und weiteren Gebäuden ist 1 km lang.

Anschlussdichte: ca. 1 MWh a⁻¹ m⁻¹.

Kontakt

Herr Alexandre Peiry

Impasse de la Tuilerie

1724 Ferpicloz

E-Mail: alexandre.peiry@bluewin.ch



Abbildung 11: Anlage Agrogaz, Haute Sarine

4.3 Speicherung

Schwankungen im Wärmebedarf von Gebäudeheizungen oder anderen wärmeverbrauchenden Prozessen treten sowohl im Tagesgang als auch im Jahresverlauf auf. Die laufende Produktion des Blockheizkraftwerkes (BHKW), aber auch etwaige Unterbrüche machen einen Wärmespeicher für die Überbrückung von Produktionsausfällen nützlich und für den Ausgleich von Lastspitzen sogar notwendig.

Die Speicherung von Wärme in **Warmwasserspeichern** ist eine bekannte, relativ kostengünstige, schnelle und ungiftige Möglichkeit der Speicherung und Pufferung des zur Produktion zeitlich versetzten Wärmebedarfs. Sensible Warmwasserspeicher sind Kurzzeitspeicher und werden vor allem im Bereich von Stunden bis zu wenigen Tagen eingesetzt. Je grösser der Speicher, desto grösser auch die Speicherkapazität. Bei Grosswärmespeichern über 1000 m³ spricht die Firma cupasol GmbH² sogar von einer möglichen Wärmespeicherung über Wochen und Monate. Die grössten Nachteile von Warmwasserspeichern sind die relativ geringe Speicherkapazität mit ca. 60 kWh/m³ und der relativ grosse Platzbedarf. Für eine wirtschaftliche Nutzung eines Warmwasserspeichers

² <https://cupasol.de/grosswaermespeicher/grosswaermespeicher/>

sollte dieser oberirdisch gebaut werden. Warmwasserspeicher werden laut Fachkreisen die vorherrschende Speichertechnologie bis ins Jahr 2030 darstellen, weil die anderen Speichermöglichkeiten noch zu viele technische Probleme aufweisen. Zu dieser Einschätzung passt das neue Wärmespeicherprojekt der Agro Energie Schwyz:

Praxisbeispiel: Grosser Warmwasserspeicher auf der BGA Agro Energie Schwyz

Charakterisierung Anlagedaten

Ort: Schwyz (Kt. SZ)

Baujahr BGA: 2009

Anlagenbestandteile: 2 Fermenter à 1885 m³, Nachgärer mit 3436 m³

Anlagengrösse: 1 BHKW mit 526 kW_{el} und 558 kW_{th}

Hydraulische Verweilzeit: 35 Tage

Prozesstemperatur: 40°C

Vergärungssubstrate/Einsatzstoffe: Rund 30'000 t Gülle.

Brutto-Stromproduktion: ca. 3'000'000 kWh

Brutto-Wärmeproduktion: 3'000'000 kWh

Abwärmenutzung: Die Biogasanlage wird ergänzt durch eine Holzschnitzelfeuerung und eine ORC-Anlage.

Wärmespeicher: Auf 2019 geplant – Bau eines Warmwasserspeicherturms mit 28'000'000 Litern, 50 m hoch und 30 m im Durchmesser. Nutzungszahlen liegen aufgrund der Planungsstatus noch nicht vor.

Fernwärmenetz: > 1090 Hausanschlüsse, 8000 Haushalte und > 80 km Länge
Anschlussdichte: ca. 1 MWh a⁻¹ m⁻¹

Kontakt

Herr Urs Rhyner

Milchstrasse 14

6431 Schwyz

E-Mail: urs.rhyner@agroenergie.ch



Abbildung 12: Bilder der Biogasanlage Agro Energie Schwyz mit Aussensicht auf Fermenter (links) und Heizzentrale (rechts).

Latentwärmespeicher haben eine viel höhere Speicherkapazität als Warmwasserspeicher, ca. 120 kWh/m^3 ^{6,7}. Die Wärmespeicherung findet dabei nicht mit Wasser, sondern in sogenannten Phasenwechselmaterialien statt, meist Salzhydrate, die ihren Zustand von fest zu flüssig innerhalb eines Temperaturwechsels von wenigen Graden verändern. Durch Zustandsänderungen der Salzlösungen wird die Wärme chemisch gespeichert und über einen beliebigen Zeitraum «gelagert». Die hohe Energiekonzentration in den Lösungen ermöglicht kompakte Speicher mit reduziertem Platzbedarf und dadurch den leitungsunabhängigen Transport an einen anderen Ort. Der Einsatz hat sich allerdings nicht durchgesetzt und auch die bekannteste der Firmen, die den mobilen Wärmetransport in Deutschland angeboten haben, ist heute insolvent: Die Firma LaTherm war eine der wenigen Firmen, die einen mobilen Wärmespeicher und -transport mittels Container, die Natriumacetat enthielten, anbot. So konnten in einem LaTherm Container 2,5 MWh Wärme gespeichert werden, was energetisch 250 Litern Heizöl entspricht. Die hohen Kosten sind bei den mobilen Wärmespeichern und -transporten nachteilig und für kleinere Biogasanlagen ($< 150 \text{ kW}_{\text{el}}$) sind Latentwärmespeicher nicht wirtschaftlich^{6,8}. Weiterhin sind auch gewisse Nutzungsanforderungen heikel: Beim Wärmeträger Natriumacetat z.B. wird die geringe Nutztemperatur von maximal 50°C bemängelt, die aufgrund des niedrigen Schmelzpunktes von Natriumacetat gegeben ist^{2,18}. Latentwärmespeicher sollten daher nur in Betracht gezogen werden, falls keine andere Möglichkeit der direkten Wärmenutzung erfolgen kann².

Thermochemische Speicher haben mit ca. $200\text{--}500 \text{ kWh/m}^3$ eine noch grössere Speicherkapazität als Latentwärmespeicher⁷. Die Wärmespeicherung findet mittels Trocknung bzw. Aufkonzentrierung von Salzlösungen, Zeolith oder Silicagel statt⁹. Dafür können höhere Abwärmemperaturen,

z.B. 225–250°C für Zeolithe, genutzt werden, welche dann auch für höhere Nutzwärmetemperaturen sorgen (max. 200°C bei Zeolithen). Die Nutzttemperatur lässt sich bei Zeolithen aber beliebig einstellen⁹. Die Praxisreife von thermochemischen Speichern ist aber noch weniger weit entwickelt als bei den vorherig genannten Latentwärmespeichern. Eine erste Demonstrationsanlage für die thermochemische Speicherung und Nutzung wird ab 2018 vom ZHAW Institut für Energiesysteme und Fluid-Engineering getestet:

Im Rahmen eines EU Horizon 2020 Projekts namens HDisnet testet die ZHAW eine offene Absorptionstechnologie, d.h. die Wärmespeicherung mittels Desorption findet bei einer landwirtschaftlichen Biogasanlage (Sunnehofenergie GmbH Marthalen ZH) statt und die Wärmeabgabe mittels Absorption findet bei einem Gewächshaus an einem anderen Ort (Meyer Pflanzenkulturen AG, Wangen-Brüttisellen ZH) und zu einem anderen Zeitpunkt statt. Die Wärme am Entstehungsort wird genutzt, um eine Salzlösung mittels Wasserentzug aufzukonzentrieren und damit ein chemisches Potential zu generieren, welches am Nutzungsort mittels Wiederbefeuchtung in Nutzwärme umgewandelt werden kann. Mit dieser Technologie sollen grössere Distanzen zwischen Wärmequellen und –senken überbrückt werden können, da die Energiedichte mit dieser Technologie relativ hoch ist und dadurch der Transport finanziell weniger ins Gewicht fällt, als dies bei den Latentwärmespeichern der Fall ist. Erste Projektergebnisse und die Beurteilung der Praxistauglichkeit sind erst in ein paar Jahren zu erwarten.



Abbildung 13: Versuchsanlage der ZHAW (2017), mit Absorptionssäule in Blau.

4.4 Wärmenutzung zur Trocknung

Die Abwärme von Biogasanlagen kann vor allem in den Sommermonaten sehr gut zu Lufttrocknungszwecken von Gütern des eigenen landwirtschaftlichen Betriebs eingesetzt werden, da die Wärme Tag und Nacht verfügbar ist. Auch bei schlechtem Wetter stellt die Installation einer Trocknungsanlage eine Absicherung dar. Die meistgenannten Trocknungszwecke von landwirtschaftlichen Biogasanlagen sind die Heu-, Holz- und Getreidetrocknung. Für den Einsatz als Trocknungswärme muss man Investitionskosten unter anderem für Wärmeleitungen, Gebläse, Wärmetauscher und eventuell Container einkalkulieren und im Unterhalt gilt es an die Stromkosten für Gebläse, die Reinigung von Filtern und den Ausfall von Wärmetauschern (z.B. Einfriergefahr) zu denken¹⁰. Daher ist die Trocknung von externen, nicht-hofeigenen Gütern nur bei kurzer Transportentfernung und wenig Umschlagsaufwand sinnvoll.

An ein BHKW kann man heute ziemlich einfach einen Trocknungscontainer anschliessen, in den die Abwärme direkt eingeleitet wird. Mit einer Satz Trocknung, d.h. einer batchweisen Trocknung in Containern oder Wägen mit Warmlufteinblasung durch Belüftungsrohre oder Lochböden, lassen sich auch feuchte Güter trocknen, wenn z.B. ein Hochdruckventilator angeschlossen wird. Je mehr Wasser aus den zu trocknenden Gütern entfernt werden muss, desto weniger Material kann auf einmal getrocknet werden. Die Investitionskosten für eine Containertrocknungsanlage befinden sich in einem für landwirtschaftliche Biogasanlagen erschwinglichen Rahmen, naturgemäss abhängig vom Leistungsbereich der Trocknungsanlage¹⁰. Satz Trockner stellen besonders für Energieholz eine gute Trocknungsmöglichkeit dar. Für Getreide und Mais ist es wichtig, dass die Schütthöhe nur einen Meter beträgt, damit eine genügend gleichmässige Durchströmung gewährleistet ist. Für Grasschnitt eignet sich die Satz Trocknung nicht².

Bei der Heubelüftung kann man mit einer Trocknungsleistung von 1–2 kW pro m² Heustockfläche rechnen. Es ist darauf zu achten, dass der Heustock nicht zu hoch befüllt wird, max. 1,4–2 m, da sonst eine ungleichmässige Trocknung erfolgt. Die Einblastemperatur sollte nicht über 40°C sein, damit die Heuqualität nicht leidet. Daher sind für gewisse Trocknungszwecke auch Temperaturregler einzubauen. Für einen Heustock von 150 m² kann bei einer Heizleistung von 150 kW, mit einer Temperaturerhöhung von 7,6°C gegenüber der Aussentemperatur eine Trocknungsleistung von 142 Litern in der Stunde erreicht werden. Bei Heu- und Getreidetrocknung muss berücksichtigt werden, dass in möglichst kurzer Zeit getrocknet werden sollte. Bei einer grossen Menge Heu respektive Getreide muss die Wärmeleistung der Biogasanlage gut kalkuliert werden, da eine Lagerung von feuchtem Trocknungsgut Qualitätseinbussen zur Folge hat und nicht mehr als 1–2 Tage andauern sollte¹⁰. Je feuchter das Trocknungsgut, desto geringer sind die einsetzbaren Maximaltemperaturen für die Trocknung und desto länger dauert der Trocknungsprozess.

Der grosse Vorteil der Holztrocknung ist, dass Holz auch über mehrere Wochen ohne Qualitätseinbussen vorgelagert werden kann (siehe Tabelle 4.1). Auch von der Wirtschaftlichkeit her ist Holz, v.a. Hackgut und Stückholz, attraktiver für den Einsatz in Satz Trocknern als andere landwirtschaftliche Güter, da sich die Holztrocknung ganzjährig betreiben lässt¹⁰.

Trockengut	Zeitraum	Vorlagern (d)	Trockendauer (d)	Maximale Trocknungs-temperatur (°C)
Stückholz	Ganzjährig	Ja	5–25	55–150
Hackschnitzel	Ganzjährig	Ja	3–10	55–150
Getreide	Juni-Aug., wetterabhängig	Maximal 2	Bis 2	30–65
Mais	Okt./Nov.	Maximal 1	Bis 2	30–65
Gras, Heu	Mai-Okt., wetterabhängig	Maximal 1	Bis 3	40

Tabelle 4: Landwirtschaftliche Trockengüter für Biogasanlagen und ihre Anforderungen.

Praxisbeispiel: Pelletproduktion auf der BGA Düdingen

Charakterisierung BGA Anlagedaten

Ort: Düdingen (Kt. FR)

Baujahr BGA: 2011

Anlagengrösse: 2 BHKW, insgesamt 740 kW_{el} und 774 kW_{th}

Anlagenbestandteile: Fermenter 3100 m³, Nachgärer 3600 m³, Gärrestlager 5100 m³

Hydraulische Verweilzeit: ca. 40 Tage

Prozesstemperatur: 42°C

Anlagenauslastung: 70%

Vergärungssubstrate/Einsatzstoffe: Rund 25'000 t Rinder- und Schweinegülle, Rinder-, Hühner- und Pferdemist. Rund 4000 t Co-Substrate.

Brutto-Stromproduktion: 4'273'000 kWh

Brutto-Wärmeproduktion: 4'523'000 kWh

Abwärmenutzung: 100% eigene Wärmenutzung zur Holzpelletproduktion

Trocknungsleistung: Für die Trocknung von rund 8500 t Holzpellets im Jahr wird die gesamte Bruttowärme der Biogasanlage aufgewendet. Das entspricht rund 400 kWh pro Tonne Holzpellets.

Trockensubstanz: Zur Pelletproduktion darf das Ausgangsmaterial max. 60% Wasser enthalten.

Trocknungsverfahren: Die Abwärme aus dem BHKW wird mittels Gebläse direkt dem Bandtrockner zugeführt, um die Holzbiomasse zu trocknen. Das Verfahren wurde eigens zu diesem Zweck entwickelt

Trocknungsziel: Die Holzbiomasse wird auf 85% Trockensubstanz getrocknet

Herkunft der Holzbiomasse: Umkreis von 30–50 km

Art und Qualität der Holzbiomasse: Es werden alle Holzarten (Fichte, Tanne, Buche etc.) verarbeitet, je nach Verfügbarkeit. Verschiedene Holzqualitäten können verarbeitet werden. Waldhackschnitzel z.B., aber auch Sägemehl.

Zertifizierung: Die BestPellets tragen das Schweizer Naturholz-Pellets Label und werden ohne Bindemittel und Presshilfsmittel hergestellt.

Kontakt

Hubert Grossrieder

Luggiwil 20

3186 Düringen

E-Mail: hubigro@bluewin.ch



Abbildung 13: Bioenergiepark Düringen mit Lagersilos für getrocknete Holzpellets und der Biogasanlage

Praxisbeispiel: Heuballentrocknung auf der BGA Natur Energie

Charakterisierung Anlagedaten

Ort: Oberrüti (Kt. AG)

Baujahr BGA: 2006

Anlagengrösse: 1 BHKW, 285 kW_{el} und 210 kWh_{th}

Anlagenbestandteile: Fermenter und Nachgärer 1800 m³, Endlager 750 m³

Hydraulische Verweilzeit: 50–90 Tage (Sommer-Winter)

Prozesstemperatur: 42–43°C

Vergärungssubstrate/Einsatzstoffe: 5500 t Rindergülle, Rinder- und Geflügelmist.

Zudem rund 1300 t Co-Substrate

Brutto-Stromproduktion: 1'470'000 kWh (2017)

Brutto-Wärmeproduktion: ca. 2'000'000 kWh

Abwärmenutzung: Heuballentrocknung, Heutrocknung auf Heustock, Futtertrocknung im Container

Wärmenutzung extern (ohne Fermenter): Rund 580'000 kWh, entspricht ca. 30% der Bruttowärme

Trocknungsleistung: Vorgetrocknetes Ballenheu wird durch die Trocknungsanlage in 12 Stunden nachgetrocknet. Im Jahr werden 80–90 Rundballen Ökoheu der Grösse 150 cm Durchmesser (ca. 300 kg) getrocknet. Mit der Anlage können 8 Rundballen aufs Mal getrocknet werden.

Wärmenutzung im Winter: Im Winter werden vor allem die Wohngebäude des Betriebs mit Warmwasser beheizt.

Kontakt

Herr René Leu

Reusshöfe 2

5647 Oberrüti

Tel: 079 605 09 32

E-Mail: leurene@hotmail.com



Abbildung 14: Heuballentrocknungsanlage von Inventa (links) auf dem Betrieb Natur Energie und die fertig getrockneten Ökoheu-Rundballen (rechts).

4.5 Biogas- und Wärmespeicherung: Möglichkeiten und Grenzen

Die Biogasspeicherung scheint zwar eine ideale Lösung zur bedarfsgerechten Energieerzeugung (Strom oder Wärme) zu sein, ist aber auch eine einschränkende Lösung. Tatsächlich hat Biogas eine geringe volumenmässige Energiedichte. Jeder Kubikmeter Biogas (bei einem relativen Druck von 50 mbar und bei 60% CH₄) enthält ungefähr 6 kWh Energie, also 1700 mal weniger als Diesel. Dies erfordert sehr grosse Speichervolumina. Grosse Biogasspeicher sind teuer, erfordern einen grossen Platzbedarf und hohe regulatorische Auflagen für mehrere Tonnen gespeichertes Biogas.

Verschiedene Arten der Biogasspeicherung sind möglich:

Lagerung bei niedrigem Druck (wenige mbar relativer Druck) im Allgemeinen unter einer flexiblen Membran (das Volumen variiert und der Druck bleibt konstant), die durch eine externe Membran (Doppelmembransystem) geschützt ist. Diese Art der Speicherung kann direkt als Abdeckung des Fermenters oder als unabhängige Speicherung realisiert werden.

Lagerung bei hohem Druck (10–300 bar) und Druckänderung bei konstantem Volumen. Diese Lösung hat zwei Nachteile: den hohen Stromverbrauch (ca. 0,33 kWh, um 1 Nm³ bei 300 bar zu verdichten) und die Notwendigkeit einer Vorbehandlung (vor der Hochdruckspeicherung müssen Wasser, Schwefelwasserstoff und eventuell CO₂ entfernt werden).

In Bezug auf die **Wärmespeicherung** ergeben sich folgende Möglichkeiten:

Pufferspeicher werden eingesetzt, um tägliche und kurzfristige Schwankungen des Wärmebedarfs auszugleichen. Bei der Nutzung von Wärme als Warmwasser ist es möglich, die Wärmeenergie über einen Warmwasserspeicher mehrere Stunden lang zu speichern (ein 25 m³ Edelstahlspeicher kostet ca. CHF 40'000. Polyesterballons sind in der Regel billiger).

Es existieren auch saisonale Speichersysteme, die die im Sommer erzeugte Restwärme für den Verbrauch im Winter speichern. Saisonale Speichersysteme sind in der Regel Erdwärmespeicher, die Wärmeenergie im Erdreich speichern. Diese sind in der Regel im Einsatzbereich der Biogasanlagen unter den derzeitigen Rahmenbedingungen noch nicht konkurrenzfähig.

Mobile Wärmespeichersysteme in Containern zum Transport von Wärme (in Form von Latentwärme) zu Verbrauchern in einer Entfernung von bis zu 20–30 km. Obwohl vermarktet (z.B. TransHeat®), sind diese Systeme nicht sehr verbreitet.

Weitere Praxisbeispiele:

- Wärmeverbünde (Beispiele BGA Unterbuck Thayngen, BGA Sprenger (Thurgau))
- Beheizung von Gebäuden in der Umgebung
(Beispiele BGA Riethof und Ferpicloz für Käsereien)
- Heizung von Gewächshäusern (Beispiel Biogaz Mandement)
- Kleinanlagen zur Eigenversorgung
(Beispiele BGA Ruckli Wallis; BGA Boschung, BGA Vögtli)
- Heizung landwirtschaftlicher Gebäude und Einrichtungen
(Ställe, Anlagen zur Tierproduktion, Beispiele BGA Harder (Geflügel), BGA Helfenberger)

4.6 Kälteproduktion

Restwärme aus Biogasanlagen kann zur Kälteerzeugung genutzt werden. Kältemaschinen arbeiten nach folgendem Prinzip: Die Verdampfung einer Flüssigkeit bei niedrigen Temperaturen absorbiert die Wärme aus dem zu kühlenden Medium. Absorptionskältemaschinen nutzen eine Wärmequelle, um den Kreislauf anstelle des Kompressors zu betreiben. Das Gas wird in eine Flüssigkeit umgewandelt, indem das Kältemittel in eine andere Flüssigkeit aufgenommen und mit Wärme desorbiert wird. Die für diesen Prozess häufig verwendeten Kältemittel/Absorberpaare sind oft Ammoniak/Wasser ($\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$) oder Wasser/Lithiumbromidsalzlösung ($\text{H}_2\text{O}/\text{LiBr}$). Die als Absorber bezeichnete Flüssigkeit wirkt als Kompressor auf molekularer Ebene.

Anstelle einer flüssigen Lösung kann ein festes Material (Adsorptionsmittel) verwendet werden. Diese Technologie ist derzeit nicht weit verbreitet und wird in diesem Dokument kurz erläutert.

Absorptionskältemaschinen

Die folgende Abbildung veranschaulicht die Betriebsweise einer Absorptionskältemaschine mit dem $\text{NH}_3/\text{H}_2\text{O}$ -Paar: Ammoniak wird als Kältemittel und Absorberwasser verwendet.

1: Am Verdampfer erzeugt flüssiges Ammoniak die Kühlwirkung. Es wird durch Aufnahme der Wärme aus der zu kühlenden Substanz verdampft und in gasförmiges Ammoniak umgewandelt. Dies hat den Effekt, dass der Wärmequelle bei niedriger Temperatur Wärme entzogen wird.

2: Im Absorber wird das Kältemittel von einer vorhandenen niederkonzentrierten Ammoniaklösung absorbiert und bildet eine konzentrierte Ammoniaklösung. Der Absorber wird verwendet, um den Dampf des Kältemittels in der absorbierenden Flüssigkeit zu fixieren. Die bei der Absorption freigesetzte Wärme muss ebenfalls abgeführt werden, z.B. durch Wasser, das in einem Luftkühler zirkuliert.

3: Diese Lösung wird zum Generator gepumpt, wo sie durch die Restwärme der Biogasanlage erwärmt wird. Das Ammoniak verdampft, sein Druck und seine Temperatur steigen und die Lösung wird aufgebraucht und regeneriert das Ammoniak bei niedriger Konzentration des Absorbers. Ein Separator (der als Destillationskolonne fungiert) trennt die mit dem gasförmigen Ammoniak mitgeführten Wasserpartikel.

4: Das gasförmige Ammoniak durchläuft einen zu kühlenden Kondensator und wird wieder flüssig. Die Kühlflüssigkeit, mit der der Kältemitteldampf kondensiert wird, ist in der Regel Umgebungsluft. Der Kältemitteldruck wird dann durch das Expansionsventil reduziert, bevor das Kühlmittel zum Verdampfer zurückkehrt.

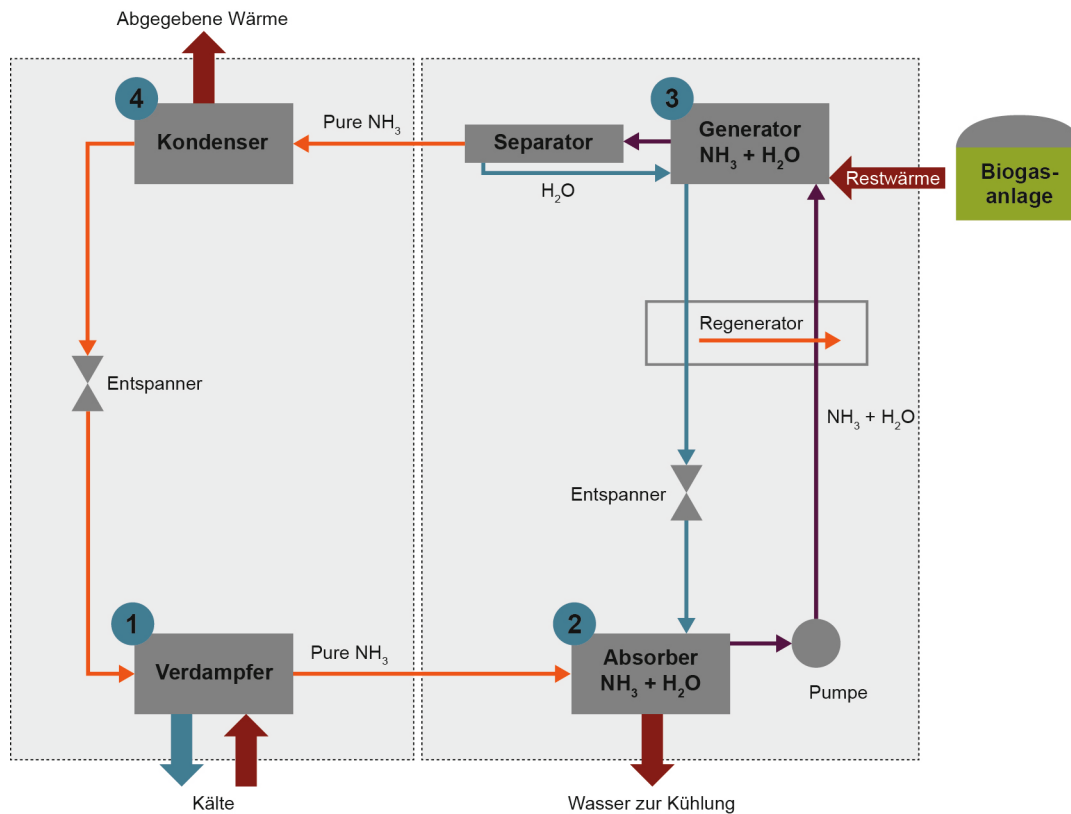


Abbildung 15: Schema zur Darstellung des Prozesses einer Absorptionskältemaschine Ammoniak-Wasser

Auf dem Markt sind viele Absorptionsmaschinen erhältlich, deren Kühlleistung jedoch in der Größenordnung von wenigen kW liegt. Dank der jüngsten Fortschritte in der Branche bieten mehrere Hersteller heute Maschinen mit Leistungen bis zu 10 kW an.

Der Einsatz einer Absorptionskältemaschine hängt von der Temperatur der Restwärme, dem verwendeten Kältemittel, dem Absorptionsmedium sowie der gewünschten Kühltemperatur ab. LiBr/H₂O-Kältemaschinen können auf 5–6°C abkühlen: Die Kühlwirkung wird durch die Verdampfung von Wasser erzielt und der Gefrierpunkt des Wassers begrenzt die Anwendung dieses Gemisches. Die NH₃/H₂O-Mischung ermöglicht es, niedrigere Temperaturen von 0°C bis –60°C zu erreichen. Bei einer einfachwirkenden Maschine (eine einzige Stufe der Wärmequelle, es gibt auch doppelt- und dreifachwirkende Maschinen, die einen mehrstufigen Generator verwenden) muss die Temperatur der heißen Quelle in der Regel über 80°C liegen.

Die Leistung der Kältemaschine wird durch den Leistungskoeffizienten (COP) gekennzeichnet, der das Verhältnis zwischen der dem Generator zugeführten Leistung und der dem Verdampfer zugeführten Kühlleistung ist. Diese unterscheidet sich je nach Art der verwendeten Flüssigkeit und den Betriebsbedingungen (z. B. die gewünschte Kaltwassertemperatur). Die auf dem Markt befindlichen Systeme weisen in der Regel einen COP auf, der bei einfachwirkenden Maschinen zwischen 0,2 und 0,7 liegt.

Investitionskosten

Die Investitionskosten liegen in folgender Bandbreite:

- 300 à 350 €/kW_{Kühlung}, Kältemittelpaar LiBr/H₂O
- 500 à 1250 €/kW_{Kühlung}, Kältemittelpaar NH₃/H₂O

Diese Zahlen stellen rudimentäre Schätzung dar und können je nach Anwendungsfall variieren.

Wichtigste Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile:

- Geringer Stromverbrauch
- Möglichkeit der Nutzung von Abwärme für die Kälteerzeugung
- Kältemittel, die grundsätzlich unbedenklich für die Ozonschicht sind.
- Geringer Geräusch- und Vibrationspegel im Betrieb
- Ausgereifte Technologie mit relativ hohem Leistungskoeffizienten

Nachteile:

- Benötigt Strom für den Betrieb von beweglichen Teilen, wie z.B. Pumpen
- Hohe Generatortemperaturen
- Hohe Investitionskosten
- Geringerer Wirkungsgrad als bei Kompressionsmaschinen
- Erfordert die Verwendung von giftigen und brennbaren Flüssigkeiten wie NH₃ oder H₂O/LiBr.

Anbieter

- Grosse Kühlleistung (> 250 kW):
 - Carrier GmbH (DE) in CH vertreten von www.meiertobler.ch, 60 à 1800 kW
- Mittlere bis grosse Kühlleistung (< 250 kW):
 - Yazaki (USA) in CH vertreten von www.meiertobler.ch, 18 à 170 kW
 - EAW GmbH (DE), www.eaw-energieanlagenbau.de, 15 à 250 kW
 - SolarNext AG (DE), www.solarnext.de, 20 à 200 kW

Praxisbeispiel einer mit diesem Verfahren ausgestatteten Anlage: Landwirtschaftsbetrieb von Norbert Wirsching, Rieth, Deutschland

Charakterisierung Anlagedaten

Ort: Rieth, Deutschland

Inbetriebnahme: 2002

Parameter:

- 800 m³ Stahlfermenter mit integriertem Gasspeicher
- 85 kW_{el} Otto-Gasmotor mit Kraft-Wärme-Kopplung und Nutzung der Abwärme zur Heizung und Klimatisierung in Schweinestallungen

Im 2002 wurde auf dem Wirschinger Bauernhof in Rieth (Thüringen) eine Biogasanlage installiert. Damals hatte der Betrieb 300 Milchkühe, sowie Mastplätze für männliche Kälber und 1200 Mastplätze für Schweine. Insgesamt bewirtschaftete der Betrieb 1200 ha Land.

In der ersten Planungsphase der Biogasanlage war Rindergülle der wichtigste Input. Auch die Zugabe von Maissilage und Getreideresten war geplant. Da es schwierig war, die Restwärme aus dem BHKW zu nutzen, wurde beschlossen, 900 zusätzliche Mastplätze für Schweine zu bauen und eine Stalklimaanlage mit Absorptionskälteanlage zu installieren. Die zusätzliche Schweinegülle wird ebenfalls in der Biogasanlage vergärt.

Im ersten Betriebsjahr, zwischen August 2002 und Juli 2003, wandelte die Anlage 480'000 Nm³ Biogas in Strom um, mit einem elektrischen Wirkungsgrad von 30% (bei einem Gesamtwirkungsgrad von 83%).

Für die Klimatisierung von Schweineställen wurde eine Absorptionskältemaschine von Wegracal SEA installiert.

Im Winter wird heisses Wasser zum Wärmetauscher gepumpt, um die Ställe zu erwärmen. Im Sommer, wenn die Temperatur 23°C erreicht, startet das Absorptionssystem und das kalte Wasser wird in den Wärmetauscher gepumpt.

Die Gesamtinvestition betrug rund 60'000 Euro für die Absorptionskältemaschine.

Kontakt

Agricultural company of Norbert Wirsching

Hauptstr. 7

98663 Rieth, Deutschland

Tel: +49 36871 29608

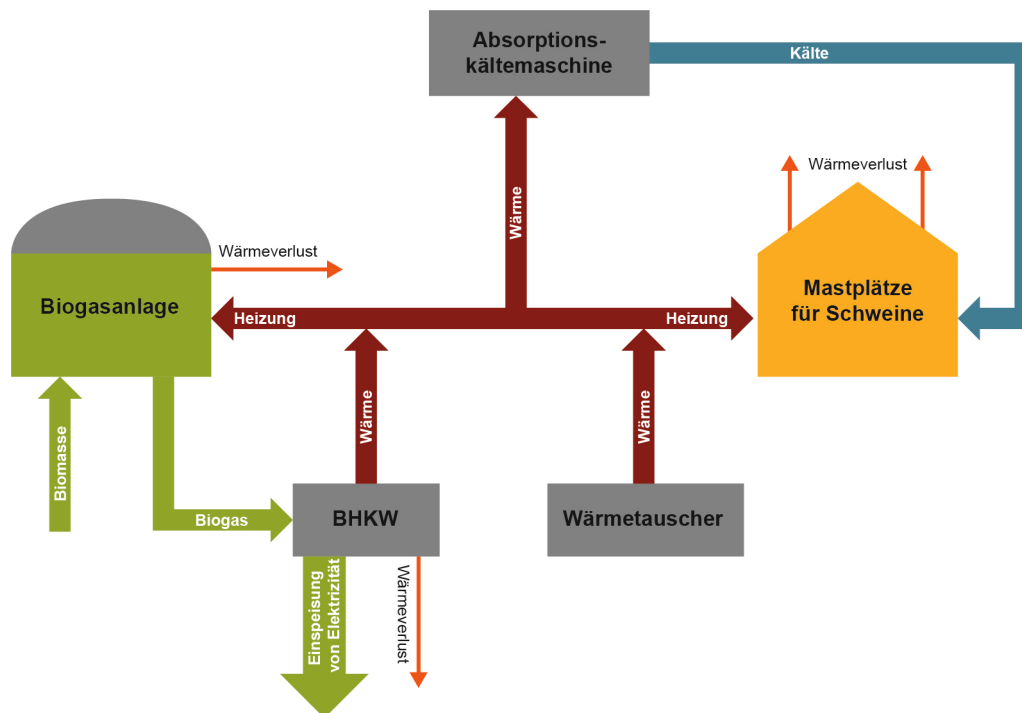


Abbildung 16: Stoffflussdiagramm der Biogasanlage Rieth (Quelle: BiogasHeat. 2012. Good Practice Examples of Efficient use of heat from Biogas Plant)

Adsorptionskältemaschinen

Anstelle einer flüssigen Lösung kann ein festes Material (Adsorptionsmittel) verwendet werden. Die auf dem Markt erhältlichen Systeme verwenden Wasser als Kältemittel und Kieselgel oder neuerdings Zeolith als Adsorptionsmittel. Derzeit produzieren nur wenige Hersteller diese Adsorptionsmaschinen. Mit einer Temperatur der heissen Wärmequelle von etwa 80°C erreichen diese Systeme einen COP von etwa 0,6, können aber bei Temperaturen bis zu etwa 60°C betrieben werden. Die Kühlleistung dieser Maschinen reicht von 7 kW bis 500 kW.

Vorteile (im Vergleich zu Absorptionskältemaschinen)	Nachteile (im Vergleich zu Absorptionskältemaschinen)
Keine Pumpe nötig: Bedeutet besonders geringer Stromverbrauch	Hohe Grösse und Gewicht
Erforderliche Generatortemperatur im Allgemeinen niedriger	Technologie nicht ausgereift
Keine Kristallisationsgefahr, daher keine mechanische Belastung der Zwischenkühler	Niedrigerer Leistungskoeffizient

Tabelle 5: Vor- und Nachteile von Adsorptionsmaschinen

Verwendung von Kälte

Die Kälte kann in einem städtischen Kühlnetz eingesetzt werden, das ähnlich wie das Fernwärmenetz Kaltwasser anstelle von Wärme verteilt. Für grosse Netze ist die Restwärme von Biogasanlagen jedoch in der Regel zu gering. Mikronetz-Kühlsysteme sind in kleinerem Umfang vorstellbar, aber die Hausklimatisierung aus der Restwärme von Biogasanlagen ist immer noch nur eine Nischenanwendung.

Mögliche Anwendungen für die Kälteerzeugung sind:

- Klimatisierung von öffentlichen und privaten Räumen
- Klimaanlage zur Lagerung von Lebensmitteln (Obst, Gemüse, Fleisch)
- Klimatisierung von Ställen (z.B. Schweinestall)
- Klimatisierung von Computerräumen
- Kühlung der Milch im Betrieb oder auf Industriegeländen

4.7 Zusätzliche Stromerzeugung^{3,4,5,6,7,8,9}

Es gibt technische Lösungen, um die in einem BHKW erzeugte Abwärme durch einen thermodynamischen Kreislauf in zusätzlichen Strom umzuwandeln. Es handelt sich im Allgemeinen um eine Reihe von aufeinanderfolgenden Transformationen, die von einem thermodynamischen System in einem bestimmten Zustand ausgehen, um es zu transformieren und in seinen ursprünglichen Zustand zurückzubringen. Während des Zyklus variiert das System in Temperatur, Druck und anderen Zustandsparametern, während es Wärme und Arbeit überträgt.

³ BiogasHeat. 2015. *Sustainable Heat Use of Biogas Plants. A Handbook. 2nd edition.*

⁴ Site internet de l'ADEME. Cycle ORC. <http://www.recuperation-chaleur.fr/cycle-orc>

⁵ Region Aktiv Wendland/Elbetal. 2007. *Wärmenetze an Biogasanlagen. Ein Leitfaden.*

⁶ Bremer Energie Institut. 2007. *Leitfaden. Verwertung von Wärmeüberschüssen bei landwirtschaftlichen Biogasanlagen*

⁷ ATEE Club Biogaz. 2013. *Guide pour l'optimisation de l'efficacité énergétique des installations de biogaz*

⁸ Hornig N, Lüttgens S. 2015. *Wirtschaftliche Optimierung von Biogasanlagen mit bestehendem Wärmenutzungskonzept.* Biogas Journal 4_2015.

⁹ Diederich F. 2016. *L'ORC, une technologie mature, écologique et qui maximise la production d'électricité.* Bioénergie International n°43.

Der am häufigsten verwendete thermodynamische Zyklus zur Rückgewinnung von Abwärme aus Biogasanlagen ist der Rankine-Zyklus. Dieser Zyklus besteht aus vier Phasen:

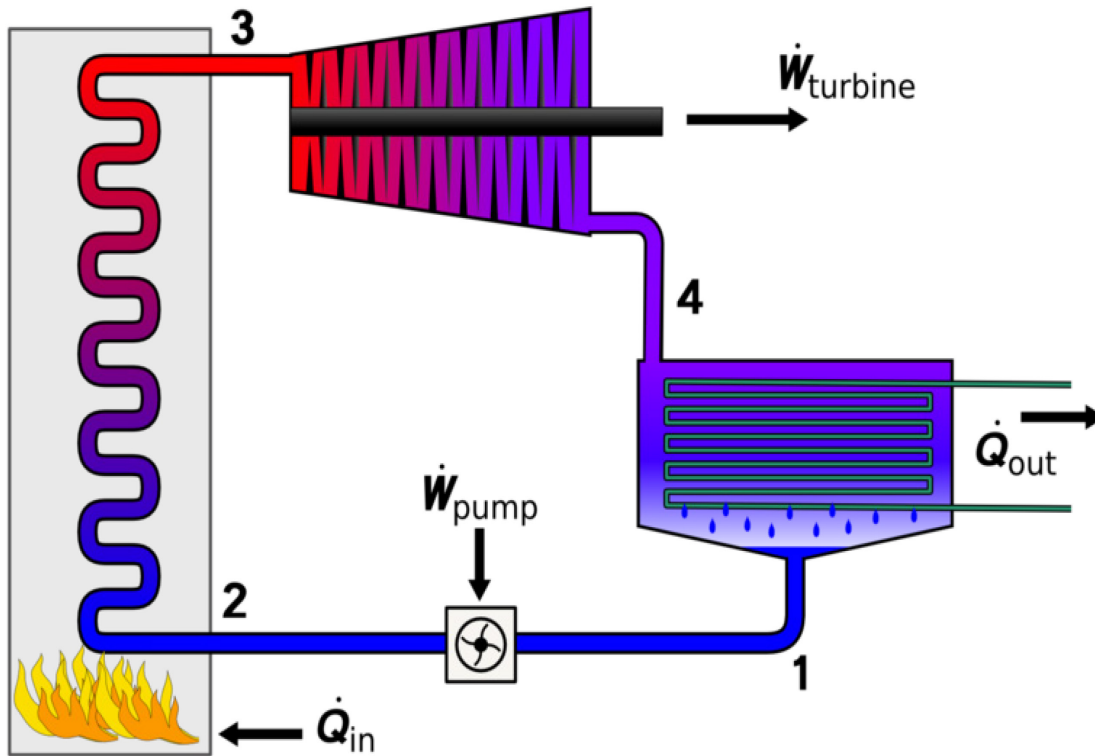


Abbildung 17: Schema des Rankine Zykluses (Quelle: BiogasHeat. 2015. Sustainable Heat Use of Biogas Plants. A Handbook. 2nd edition.)

1 → 2: Die Arbeitsflüssigkeit wird komprimiert. Während dieses Schrittes befindet sich das Fluid in einem flüssigen Zustand und sein Pumpen erfordert wenig Energie.

2 → 3: Die komprimierte Flüssigkeit gelangt in einen Verdampfer, wo sie durch die Abwärme der Biogasanlage auf konstanten Druck erwärmt und verdampft wird.

3 → 4: Das so verdampfte Arbeitsfluid wird in der Turbine expandiert, wo die thermische Energie in mechanische Energie umgewandelt wird. Da letztere mit einem Generator gekoppelt ist, ermöglicht der Fluidstrom die Erzeugung von Strom. Die Temperatur sinkt und damit auch der Dampfdruck, so dass er kondensiert.

4 → 1: Das Fluid gelangt in einen Kondensator, wo sie gekühlt wird und wieder flüssig wird, und so den Zyklus zu wiederholen.

ORC (Organic-Rankine Cycle)

Technischer Beschrieb

Der ORC-Zyklus ist ein thermodynamischer Zyklus. Dies ist eine spezifische Kategorie des Rankine-Zyklus, der eine organische Flüssigkeit anstelle von Wasser und Wasserdampf als Arbeitsflüssigkeit verwendet. Die gewonnene Wärme wird genutzt, um das organische Fluid des Kreislaufs zu verdampfen. Das unter einem Druck von 16 bar gewonnene Gas wird in der Mikroturbine zur Stromerzeugung entspannt.

Zu den organischen Flüssigkeiten gehören Alkane, fluorierte Alkane, Ether und fluorierte Ether. Die Auswahl des Arbeitsfluids ist für ORC-Zyklen unerlässlich. Die Effizienz der Wärmeübertragung ist ein wichtiger Parameter.

Die Restwärme aus dem ORC-Kreislauf kann theoretisch zum Beispiel zur Beheizung des Fermenters genutzt werden, wird aber oft in die Atmosphäre abgegeben.

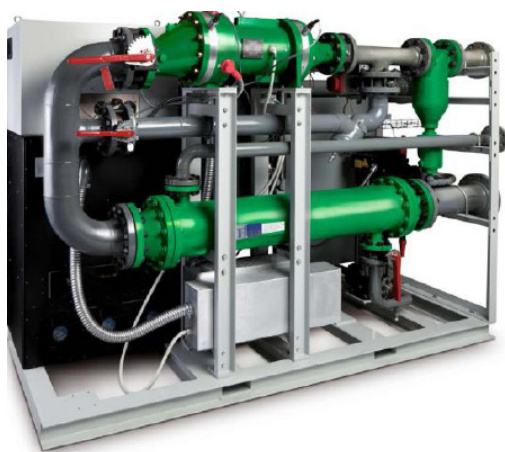


Abbildung 18 (links): ORC von GE Energy (Quelle: GE Energy)

Abbildung 19 (rechts): RC-System auf der Kompogasanlage in Klingnau (Quelle: Enefttech)

Leistung

Der Gesamtwirkungsgrad eines ORC-Zyklus ist definiert als das Verhältnis zwischen der erzeugten elektrischen Leistung inklusiv dem für den Betrieb der Anlage erforderlichen elektrischen Verbrauch (Pumpe, Zusatzkomponenten) und der vom Verdampfer aufgenommenen Wärmeleistung. Dieser Wirkungsgrad ist relativ gering, in der Regel zwischen 7 und 10% ¹⁰ (er kann aber auch bis zu 20% ¹¹ betragen). Damit kann der elektrische Gesamtwirkungsgrad verbessert werden. Dies kann den Return on Investment und die Produktivität der Anlage verbessern.

¹⁰ Diederich F. 2016. *L'ORC, une technologie mature, écologique et qui maximise la production d'électricité*. Bioénergie International n°43.

¹¹ Site internet de l'ADEME. Cycle ORC. <http://www.recuperation-chaleur.fr/cycle-orc>

Die breite Palette an Arbeitsfluidoptionen ermöglicht die Rückgewinnung von Wärmequellen von 85°C bis 350°C. Die Effizienz und Wirtschaftlichkeit der Anlage hängt direkt vom Temperaturniveau und dem Durchfluss des Wärmeträgers ab.

Investitionskosten

Die Investitionskosten des ORC-Moduls hängt von der verfügbaren thermischen Leistung ab. Für Module mit einer elektrischen Leistung unter 100 kW_{el} variieren die Investitionskosten zwischen 5500 und 15'000 CHF/kW_{el}¹². Die Investitionskosten sinken bei Anlagen mit höherer elektrischer Leistung.

Die wichtigsten Vor- und Nachteile des Verfahrens

Vorteile:

- Möglichkeit der Verwendung einer heissen Wärmequelle mit einer niedrigeren Temperatur (70–90°C) aufgrund der niedrigeren Siedetemperatur von organischen Flüssigkeiten im Vergleich zur Verdampfungstemperatur von Wasser.
- Geringere Drehzahl, geringerer Druck und geringerer Verschleiss der Turbinen aufgrund des höheren Molekulargewichts organischer Flüssigkeiten.
- Stromerzeugung ohne fossile Ressourcen und ohne schädliche Gasemissionen

Nachteile:

- Bescheidener elektrischer Ertrag
- Brennbare Flüssigkeiten als Fluide

Technologieanbieter

- Enogia (FR) in der Schweiz vertreten durch www.ofatec.ch 5 à 100 kW_{el}
- ORCAN Energy AG (DE), www.orcan-energy.com 5 à 100 kW_{el}

Nicht vollständige Liste der Lieferanten

Das Biogas erzeugt Strom und Wärme (Kraft-Wärme-Kopplung).

Die Stromproduktion der Anlage beträgt rund 2,5 GWh/Jahr. Die elektrische Leistung des Blockheizkraftwerks beträgt 330 kW (elektrischer Wirkungsgrad 40%). Die thermische Leistung des Blockheizkraftwerks beträgt 395 kW.

Um die vom Motor erzeugte Abwärme zu nutzen, wurde eine ORC-Turbine mit einer elektrischen Leistung von 20 kW_{el} installiert, die 200 kW_{th} aus der Abgaskühlung des Motors verbraucht. Die dem ORC zugeführte Wärme liegt bei einer Temperatur von 140°C und einem Druck von 8 bar.

¹² BFE, *Abwärmenutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen*, Januar 2009

Der ORC-Lieferant und Instandhaltungsdienstleister ist das Schweizer Unternehmen Enefttech Innovation SA. Seit seiner Inbetriebnahme hat das ORC die Stromerzeugung des Gasmotors um rund 6 % gesteigert.

Andere Systeme

Kalina Zyklus: Als Alternative zum ORC-Prozess bietet sich der Kalina Prozess an. Er wird aber sehr selten bei Biogasanlagen eingesetzt. Dieser Prozess verwendet ein Wasser-Ammoniak-Gemisches als Arbeitsflüssigkeit.

Vorteile (im Vergleich zu ORC)	Nachteile (im Vergleich zu ORC)
Ammoniak und Wasser sind billiger als die organischen Flüssigkeiten beim ORC-Prozess.	Bei sehr kleinen Biogasanlagen gibt es Beispiele mit sehr kleinen Kalina-Zyklusmodulen.
Anpassung an unterschiedliche Temperaturniveaus möglich	Ammoniak hat ein hohes Korrosionspotenzial, was zu erhöhtem Verschleiss führt und eine spezielle Ausrüstung erfordert.
Höhere Energieeffizienz als ORC-Systeme	Gesamtinvestitionskosten höher als bei ORC-Anlagen
	Ammoniak ist giftig und geruchsintensiv, Freisetzung in die Umwelt ist zu vermeiden.
	Ammoniak ist brennbar und explosiv.

Tabelle 6: Vor- und Nachteile Kalina Prozess

Stirlingmotoren: Verdichtung und Ausdehnung von Gasen (Luft) mittels einer externen Wärmequelle. Erzeugung von mechanischer Energie aus Wärmeenergie.

Nachteile (im Vergleich zu ORC)
Die Nutzung der Abwärme aus Biogasanlagen ist aufgrund der niedrigen Temperaturen dieser Abwärme sehr begrenzt (Stirling ist ein System, das bei hohen Temperaturen (ca 900°C) besser funktioniert).
Hohe Investitionskosten
Stirlingmotoren werden nur für kleine Leistungen bis ca. 40 kW _{el} vermarktet.
Es besteht die Gefahr von Korrosion des Wärmetauschers mit SO ₂

Tabelle 7: Nachteile Stirlingmotor

Motor-Abgasturbine: Eine weitere Möglichkeit, die Gesamtstromproduktion zu erhöhen
→ Installation einer Gasturbine auf dem Abgasstrom des Motors.

Nachteile (im Vergleich zu ORC)
Nur wenige Anbieter bieten Gasturbinensysteme zur Nutzung von Biogasmotorenabgas an.
Herausforderung Turbinenkorrosion, da die Abgase korrosiv sind.

Tabelle 8: Nachteile Motor-Abgasturbine

5. Rechtliche Grundlagen

5.1 Rechtliche Grundlagen hinsichtlich Wärmenutzung bei Biogasanlagen mit Biomethanaufbereitung

Wenn Biogas ins Erdgasnetz eingespeist wird, muss es auf Erdgasqualität aufbereitet werden. Dazu müssen nach der Trocknung und Entschwefelung noch vor allem das CO₂ sowie weitere Gasbe-

standteile möglichst vollständig entfernt werden. Es gibt verschiedene Technologien zur Aufbereitung. Diese unterscheiden sich bezüglich Energiebedarf. So benötigt die Aminwäsche relativ viel Wärmeenergie, rund $0,7\text{kWh/Nm}^3$, was rund 7% des Energieinhaltes des aufbereiteten Biomethans entspricht. Die anderen Technologien (PSA, Druckwasserwäsche, Membranverfahren) brauchen keine Wärmeenergie, haben aber gegenüber der Aminwäsche einen erhöhten Strombedarf.

Zusammen mit dem Bedarf für die Substraterwärmung und die Fermenterbeheizung haben die Anlagen, die Biogas zu Biomethan aufbereiten, einen Wärmekonsum, der durch geeignete Anlagen zur Verfügung gestellt werden muss. Durch diesen Umstand sind keine gesetzlichen Grundlagen bezüglich Wärmenutzung nötig.

5.2 Rechtliche Grundlagen hinsichtlich Wärmenutzung bei Biogasanlagen ohne Einspeisevergütung

Es gibt einige wenige landwirtschaftliche Biogasanlagen, die Blockheizkraftwerke betreiben und keine Einspeisevergütung erhalten. Dies sind Kleinanlagen, die in der Regel Komfortwärme und Warmwasser für den Landwirtschaftsbetrieb bereitstellen.

Bei den gewerblich-industriellen Anlagen sind es einige wenige ältere Anlagen, die Blockheizkraftwerke betreiben und keine Einspeisevergütung erhalten.

Die Anlagen ohne Einspeisevergütung haben keine gesetzlichen Anforderungen bezüglich der Wärmenutzung.

5.3 Rechtliche Vorschriften hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen des Einspeisevergütungssystems (Wärmenutzungsbestimmungen)

Das Energiegesetz ([EnG, SR 730.0](#)) bestimmt in seinem [Artikel 19](#) die Voraussetzungen zur Teilnahme am Einspeisevergütungssystem. So können Biogas-Neuanlagen (Inbetriebnahme nach dem 01.01.2013) am Einspeisevergütungssystem (EVS) teilnehmen. Das EVS hat per 01.01.2018 die frühere «*Kostendeckende Einspeisevergütung*» (KEV) abgelöst. Art. 19, Absatz 7, lit. c des EnG gibt dem Bundesrat zudem die Befugnis, Einzelheiten zum Einspeisevergütungssystem zu regeln. Hinsichtlich Wärmenutzung kann der Bundesrat «*energetische, ökologische und andere Mindestanforderungen*» definieren. Die Befugnis gemäss Art. 19 EnG hat der Bundesrat in der Energieförderungsverordnung ([EnFV, SR 730.03](#)) umgesetzt, in welche per 01.01.2018 die Wärmenutzungsbestimmungen der früheren Energieverordnung ohne materielle Anpassungen überführt wurden. Wer demnach von der Vergütung der Einspeisung von Elektrizität aus erneuerbaren Energien profitieren möchte, muss die entsprechenden Mindestanforderungen – wie beispielsweise die Wärmenutzungsbestimmungen – erfüllen. Darauf wird im Folgenden eingegangen.

Zuständig zum Vollzug ist gemäss revidiertem EnG seit 2018 die [Pronovo AG](#), eine hundertprozentige Tochtergesellschaft von [Swissgrid](#) und der Aufsicht des BFE unterstehend. Ihr obliegt die Kontrolle der Minimalanforderungen in der Praxis.

Vorbehalt: Kantone können in ihren Energiegesetzen in gewissen Bereichen eigene Vorschriften zur Optimierung der Wärmenutzung erlassen. Auf spezifische kantonale Sondervorschriften wird in diesem Leitfaden jedoch nicht näher eingegangen.

5.4 Allgemein gültige Bestimmungen hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen des Einspeisevergütungssystems

Berechnung der extern genutzten Wärme

Die extern genutzte Wärme wird ausschliesslich rechnerisch aus der gemeldeten Stromproduktion (Nettostromproduktion) wie folgt errechnet:

$$\text{Bruttowärmeproduktion} = \frac{\text{Nettostromproduktion} \cdot \text{installierte thermische Leistung}}{\text{Installierte elektrische Leistung}}$$

Nur die Wärme, welche die Biogasanlage verlässt, wird für die externe Wärmenutzung angerechnet. Insbesondere ist somit die Fermenterheizung interne Wärmenutzung, welche nicht angerechnet wird. Nur die externe Nutzung muss mit geeichten Zählern nachgewiesen werden. Eine sparsame und rationelle Energienutzung wird dabei vorausgesetzt. Schein-Wärmenutzungen sind nicht zulässig.

Zeitliche Aspekte

Bei neuen Anlagen ist zu beachten, dass die Anforderungen zur Wärmenutzung ab Beginn des dritten vollen Kalenderjahres nach der Inbetriebnahme erfüllt sein müssen (Ziffer 2.2.1 des [Anhangs 1.5 der EnFV](#)). Bemessungszeitraum bzw. Beurteilungsperiode ist immer das Kalenderjahr.

Generell gelten folgende Beurteilungsperioden gemäss Anhang 1.5 der EnFV: Drei Monate für die Einhaltung der ökologischen Anforderungen (Ziffer 2.3.1), drei Monate für die allgemeinen Anforderungen (Ziffer 2.1.3), ein Kalenderjahr für die energetischen Anforderungen (Ziffer 2.2.2).

Allgemein gültige Bestimmungen hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV)

Übergangsbestimmungen für den Wärme-Kraft-Bonus (WKK-Bonus) nach altem Recht

Biogasanlagen, welche vor dem 01.01.2018 nach einem positiven Entscheid in Betrieb gegangen sind oder welche vor dem 01.01.2018 einen positiven Bescheid zur Aufnahme ins EVS erhalten und die Projektfortschrittsmeldung nach altem Recht eingereicht haben, profitieren von einem zusätzlichen Wärme-Kraft-Bonus in Höhe von 2,5 Rp./kWh eingespeisten Strom. Dieser Bonus basiert auf

Anhang 1.5 der früheren EnV, Ziffer 6.5. Voraussetzung ist, dass die Mindestanforderung um wenigstens 20% (bezogen auf die Bruttowärmeproduktion) übertroffen werden.

Mit der neuen Energieförderungsverordnung EnFV entfällt dieser Bonus.

5.5 Rechtliche Grundlagen für gewerblich-industrielle Anlagen

Massgebende Norm

Mindestanforderungen hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen des Einspeisevergütungssystems (EVS) finden sich in der EnFV. [Der Anhang 1.5 der EnFV](#) befasst sich mit «*Biomasseanlagen im Einspeisevergütungssystem*». Unter [Ziffer 2, Mindestanforderungen](#), bestimmt die Ziffer 2.2.4, lit. b, Ziffer 2: **«Bei den übrigen Anlagen muss der Anteil der extern, d. h. ohne Eigenverbrauch der Energieanlage, genutzten Wärme mindestens 40 Prozent der Brutto-Wärmeproduktion betragen».**

Auslegung der Norm

Unter «*übrige Anlagen*» sind nach der Systematik der Verordnung gewerblich-industrielle Anlagen zu verstehen. Es sind ausschliesslich solche, welche Biogas in einem Blockheizkraftwerk (BHKW) verstromen, den Strom ins Netz einspeisen und von der Förderung des Bundes profitieren (wollen). Die Fördergelder wurden bis Ende 2017 von der Kostendeckenden Einspeisevergütung (KEV) vergütet, ab dem Jahr 2018 vom Einspeisevergütungssystem. Die Norm gilt sowohl für neue Anlagen als auch für deren Erweiterung.

Praktische Auswirkungen

Der Wärmebedarf des Fermenters wird als Eigenverbrauch eingestuft. Dies bedeutet je nach Anlagentyp, dass ein beträchtlicher Teil der Wärme gar nicht für die externen Nutzer zur Verfügung steht. Deshalb muss bei der gesetzlich geforderten externen Wärmenutzung von 40% von der zur Verfügung stehenden Wärme ein wesentlich höherer Anteil extern verwertet werden. Im Beispiel der Tabelle 9 sind dies 53%.

Dazu ein Beispiel:

Bruttowärmeproduktion	200 [kWh]
Eigenverbrauch Fermenter	–50 [kWh]
Verbleibt zur Nutzung	150 [kWh]
Minimale externe Nutzung 40% der Bruttowärmeproduktion (200 kWh)	80 [kWh]
Prozentsatz minimale externe Nutzung (80 kWh) zu verbleibender Nutzungsmöglichkeit (150 kWh)	53%

Tabelle 9: Beispiel Wärmenutzungsgrad

Im Beispiel von Tabelle 9 müsste die extern genutzte Wärme von 80 kWh beim Anspruch auf den WKK-Bonus auf mindestens 120 kWh steigen, was bei effektiv für externe Zwecke zur Verfügung stehender Wärmemenge von 150 kWh einen Nutzungsgrad von 80% bedeutete.

5.6 Rechtliche Grundlagen für landwirtschaftliche Anlagen

Mindestanforderungen hinsichtlich Wärmenutzung im Rahmen des Einspeisevergütungssystems (EVS)

Gemäss [Anhang 1.5, Ziffer 2.2.4 der EnFV](#) müssen neue Anlagen, die den Landwirtschaftsbonus nach [Ziffer 3.4](#) des gleichen Anhangs beanspruchen können, **nur den Wärmebedarf der Energieanlage** (z.B. Fermenterheizung) durch Wärmenutzung der WKK-Anlage oder durch den Einsatz von erneuerbaren Energien decken.

Transport von Wärme und Abwärme durch die Landwirtschaftszone

Leitungen für den Transport von Wärme und Abwärme sind zonenkonform. Die dabei abgeführte Energie über grössere Distanzen muss dabei an «geeignete Abnehmer» gelangen. Eine eigentliche Begrenzung der dafür zulässigen Transportdistanz ist im Gesetzestext nicht beschrieben. Laut Einschätzung der Schweizerischen Vereinigung für Landesplanung (VLP-ASPAN) von 2010¹³ dürften dafür *«Bezüger in den nahe gelegenen Bauzonen sowie in Wohn- und Ökonomiegebäuden der näheren Umgebung in Frage kommen. Die als Nebenprodukt gewonnene Abwärme soll sinnvoll genutzt und nicht wegen fehlenden Verbrauchern ungenutzt bleiben. Je weiter entfernt jedoch die*

¹³ Gutachten im Auftrag des Amtes für Gemeinden und Raumordnung des Kantons Bern, publiziert unter dem Titel «Energiegewinnung aus Biomasse» in der Zeitschrift Raum & Umwelt Juli 2010 der schweizerischen Vereinigung für Raumplanung

Abnehmer vom Ort der Energieproduktion sind, umso grösser dürfte der transportbedingte Wärmeverlust sein und umso kleiner dürfte das wirtschaftliche Interesse an der Wärmeproduktion ausfallen».

6. Checkliste – Wichtigste Fragen und Antworten rund um die Wärmenutzung

Situation/Fragestellung	Optionen	Verweise
Wie hoch ist der Eigenwärmebedarf einer Anlage?	Für den Eigenwärmebedarf rechnet man durchschnittlich mit rund 30%. Bei kleinen Anlagen kann der Eigenbedarf jedoch auch 40–60% betragen. Eine verstärkte Isolierung des Fermenters bzw. Nachgärers kann den Eigenverbrauch reduzieren. Der Eigenbedarf der Anlage sinkt im Sommer im Vergleich zum Winter. Eine Jahresverlaufskurve hilft bei der Berechnung der Verfügbarkeit.	Kapitel 3 und 4.1
Wieviel von der Bruttowärme kann ich nutzen? Welchen Gesamtnutzungsgrad kann ich erreichen?	Mit verschiedenen Wärmenutzungen und dem Eigenwärmebedarf scheint ein Gesamtnutzungsgrad von 70% gut möglich. Viel mehr als 70% der Wärmenutzung ist in der Praxis eher schwierig, da im Sommer der Wärmebedarf sinkt. Bei der Abklärung der Wärmeverfügbarkeit muss die Abwärmeproduktion mit dem Wärmebedarf in einer Jahresverlaufskurve abgeglichen werden.	Kapitel 3 und 4.1
Spielt die Wahl des BHKW eine Rolle für die Wärmenutzung?	- Die Wahl des BHKW spielt eine grosse Rolle. Je nach Hersteller und Typ liegt der thermische Wirkungsgrad zwischen 40 und 60%. - Eine Mikrograsturbine ermöglicht eine höhere Wärmegewinnung als ein Motor.	Kapitel 4.1

Situation/Fragestellung	Optionen	Verweise
Gibt es Mindestanforderungen für die Wärmenutzung?	- Für landwirtschaftliche KEV Biogasanlagen ist vorgeschrieben, dass sie den Eigenwärmebedarf ihrer Anlage über erneuerbare Energien decken müssen. - Bestehende landwirtschaftliche Anlagen im KEV System mit Wärmebonus müssen zusätzlich 20% externe Wärmenutzung vorweisen - Für gewerblich-industrielle Anlagen ist vorgeschrieben, dass sie zusätzlich zum Eigenwärmebedarf mindestens 40% der Bruttowärmeproduktion extern nutzen müssen.	Kapitel 5.1 und 5.2
Wie ist die interne bzw. externe Wärmenutzung definiert?	Das Bundesamt für Energie führt aus, dass innerhalb der Systemgrenze alle Anlageteile liegen, die «aus verfahrenstechnischer Sicht erforderlich oder für einen gesetzeskonformen Betrieb der Energieanlage unerlässlich sind».	Kapitel 5
Wie erhalte ich den Wärme(-Kraft)-Bonus?	- Als neue Anlage ausserhalb des Einspeisevergütungssystems (KEV) können Sie nicht mehr vom Wärmebonus profitieren (abgeschafft). - Als Anlage im KEV-System können Sie den Wärmebonus erhalten, wenn: - Sie mit Ihrer landwirtschaftlichen Biogasanlage mehr als 20% der Abwärme extern (d.h. zusätzlich zum Eigenwärmebedarf und ausserhalb der Anlage) nutzen. - Sie mit Ihrer gewerblich-industriellen Anlage mehr als 60% der Bruttowärmeproduktion zusätzlich zum Eigenwärmebedarf in externe Nutzung bringen	Kapitel 5.1
Muss ich die externe Wärmenutzung nachweisen?	Für Bestandsanlagen im KEV-System ist für den Erhalt des Wärmebonus der Nachweis der tatsächlich extern genutzten Wärmemenge mit geeichten Wärmesählern erforderlich.	Kapitel 5

Situation/Fragestellung	Optionen	Verweise
Kann ich mir die CO ₂ -Reduktion aus der Wärmenutzung bescheinigen lassen?	• Für Bestandsanlagen, welche den Wärmebonus erhalten, ist eine Bescheinigung nicht möglich, weil dies einer doppelten Förderung entsprechen würde. • Prinzipiell sind Wärmenutzungen, die über die gesetzlichen Mindest-nutzungsanforderungen hinausgehen auch CO₂-zertifikatsberechtigt. • Für Neuanlagen gilt: • Landwirtschaftliche Biogasanlagen: Da der Wärmebonus durch die neue Energieförderungsverordnung entfällt, sind Bescheinigungen für externe Wärmenutzungen prinzipiell möglich. • Gewerbliche-industrielle Biogasanlagen: Nur eine externe Wärmenutzung über der Mindestanforderung von 40% kann bescheinigt werden. • Das Kosten-Nutzen-Verhältnis von CO₂-Zertifikaten für Wärmenutzungen ist vor allem für Einzelanlagen bescheiden.	Kapitel 3.3
Welche Speichermöglichkeiten gibt es?	• Warmwasserspeicher können als Pufferspeicher eingesetzt werden; sie halten die Wärme für mehrere Stunden oder bei grosser Dimensionierung mehrere Tage. • Andere Möglichkeiten sind Latentwärmespeicher oder thermo-chemische Speichersysteme. Diese sind aber teurer als Warmwasser-speicher und kaum verbreitet. • Saisonale Speicher, also geothermische Speicher, sind noch teuer und bisher für Biogasanlagen nicht rentabel.	Kapitel 4.3

Situation/Fragestellung	Optionen	Verweise
Meine Biogasanlage wird sich in der Nähe eines Wohngebiets befinden. Welche Möglichkeiten habe ich?	• Klären Sie die Möglichkeit einer Fernwärmelieferung für einen Wärmeverbund. Vielleicht existieren schon kommunale Leitungen, die ergänzt werden können. • Die Anschlussdichte sollte zu Beginn mindestens 0,7 MWh pro Jahr und Meter Trasse betragen, für den Endausbau mindestens 1,2 MWh. Ideal sind Anschlussdichten von > 2 MWh pro Meter und Jahr, besonders in schwierigem Gelände. • Als Wärmelieferant müssen Sie die Wärmelieferung sicherstellen. Um die Investition in einen Wärmespeicher werden sie nicht herumkommen. • Mit der Wärme kann nur die Grundlast gedeckt werden. Wollen Sie auch die Spitzenlast abdecken, so benötigen Sie eine zusätzliche Wärmequelle (z.B. Hack-schnitzelheizung).	Kapitel 3.1 und 4.2 mit Praxisbeispiel
Meine neue Biogasanlage wird sich in der Nähe eines Industriegebiets befinden. Welche Möglichkeiten habe ich?	• Besonders interessant sind Unternehmen, die ganzjährig Wärme brauchen. Auch wenn Ihre Anlage nicht den gesamten Wärmebedarf decken kann, so ist der Ersatz eines Teilbedarfs trotzdem interessant. Beispiele für Abnehmer sind Gärtnereien, Käsereien oder auch Fischzuchten.	Kapitel 4.2 mit Praxisbeispiel

Situation/Fragestellung	Optionen	Verweise
Meine neue Biogasanlage wird dezentral ohne Wärmeabnehmer in der Nähe sein. Welche Möglichkeiten habe ich?	• Die Wirtschaftlichkeit Ihrer Biogasanlage muss ohne Wärmeeinnahmen gegeben sein. • Für landwirtschaftliche Biogasanlagen: Überlegen Sie, für welche Prozesse Sie auf Ihrem Betrieb Wärme benötigen und welche Sie mit Abwärme ersetzen können. Infrage kommen: • Platztrocknung von landwirtschaftlichen Gütern wie Getreide, Heu, Hack-schnitzel • Heustockbelüftung • Evtl. Gülleeindampfung • Stallbeheizung, Melkstand • Beheizung Wohnhäuser • Hygienisierung von Speiseresten • Für gewerblich-industrielle Anlagen kommt auch die Erwärmung von Wasser zur Reinigung von Entsorgungsfahrzeugen und –behältern in Frage. • Eine neuere Möglichkeit ist der Betrieb einer ORC-Anlage zur zusätzlichen Stromproduktion aus Abwärme. Bisher sind zwei dieser Anlagen auf Schweizer Biogasanlagen in Betrieb.	Kapitel 4.4

Situation/Fragestellung	Optionen	Verweise
Welche Güter eignen sich zum Trocknen mit der Abwärme?	• Holzhackschnitzel sind sehr beliebt, weil sie vorgelagert werden können und unempfindlich gegen höhere Temperaturen sind. Zudem kann man sie das ganze Jahr über trocknen. • Heu ist nach Holz das zweithäufigste Trocknungsgut. Hier gibt es sowohl die Möglichkeit der Ballentrocknung als auch Trocknung von losem Heu (Heustock- oder Containertrocknung). • Andere Güter sind Getreide, Mais, Silage oder auch (Apfel)trester. Prinzipiell ist alles einsetzbar, was sich gut in einem Container belüften lässt.	Kapitel 4.4 mit Praxisbeispielen
Kann ich die Wärme auch in Kälte umwandeln?	• Mittels Absorptionskältemaschinen oder Adsorptionskältemaschinen ist das möglich und es kann Kühlwasser von 5–6°C oder Kühlflüssigkeit bis –60°C produziert werden. Die Umwandlung in Kälte benötigt aber Strom und relativ hohe Investitionskosten.	Kapitel 4.5 mit Praxisbeispiel

Tabelle 10: Checkliste Wärmenutzung

7. Zukunftsperspektiven

Die Zukunft der Biogasanlagen in der Schweiz hängt von vielen Faktoren ab. Die wichtigsten Rahmenbedingungen werden von der Politik festgelegt. So ist die momentane Stimmung für die Erzeugung von erneuerbarer Energie sehr gut. Die Bevölkerung wünscht, dass sich die Energieproduktion weg von der fossilen Energie hin zu erneuerbarer Energie wandelt. Die Produktionsarten wie Solar- und Windstrom haben in Gesamteuropa in der Vergangenheit einen grossen Stellenwert eingenommen. Diese beiden Produktionsarten haben grosse Anschaffungskosten, aber relativ geringe laufende Kosten. Sie sind im Vergleich mit Biogasstrom im momentanen Tiefzinsumfeld wesentlich günstiger. Allerdings haben sie den Makel, dass sie die Energie nicht speichern können. Es ist für die Zukunft der Biogasbetriebe wichtig, dass diese Speicherbarkeit und der Mehrwert für die Umwelt bekannt gemacht und auch finanziell abgegolten werden kann. Mit dem Auslaufen der kostendeckenden Einspeisevergütung ist ein Vergütungsmodell gefragt, das diese Umweltdienstleistungen dementsprechend würdigt und belohnt.

Die Erdgasindustrie ist bestrebt, einen Teil des fossilen Erdgases durch Biogas zu ersetzen. Diese Tendenz ist in den vergangenen Jahren durch das Beimischen (per Defaultprodukten) von biogenen Brennstoffen stark gefördert worden. So ist der Absatz von Biogas im Bereich der Komfortwärme für Privatkunden sehr stark gewachsen. Dies ist ein sehr interessanter zukünftiger Markt für Biogasproduzenten. Die Entwicklung könnte in die Richtung gehen, dass Produzenten, die für die Wärme keinen geeigneten Abnehmer finden, die Produktion auf die Einspeisung von Biomethan umstellen.

Die Verwertung der Wärme der Biogasanlagen, die weiterhin Strom und Wärme produzieren, wird längerfristig wahrscheinlich zunehmen, weil der Energiepreis langfristig auch zunehmen wird. Dies aufgrund der Verknappung der Ressourcen, aber auch, weil der Ausstoss von CO₂ aus fossilen Quellen in Zukunft durch Lenkungsabgaben verteuert wird. Dies wird den nötigen Marktdruck für eine sinnvolle Energieverwendung ergeben.

8. Glossar

Abkürzung	Bezeichnung
BFE	Bundesamt für Energie, www.bfe.admin.ch
BKHW	Blockheizkraftwerk, eine typische Wärme-Kraft-Nutzung. In der Biogasbranche in der Regel ein Gasmotor, der einen Generator zur Stromproduktion antreibt. Die Abwärme des Gasmotors wird soweit möglich ebenfalls genutzt. Siehe auch WKK.
EnFV	Energieförderungsverordnung des Bundes, SR 730.03 , regelt seit 2018 das Einspeisevergütungssystem
EnG	Energiegesetz des Bundes, SR 730.0
EnV	Energieverordnung des Bundes, SR 730.01 , regelte bis 2017 die kostendeckende Einspeisevergütung KEV
EVS	Einspeisevergütungssystem nach dem Energiegesetz des Bundes (ab 2018)
G/I Anlagen	Gewerblich-Industrielle Anlagen
GWh	Gigawattstunde
KEV	Kostendeckende Einspeisevergütung nach dem Energiegesetz des Bundes (bis 2017)
kW	Kilowatt: Leistung; aus Leistung mal Zeitraum ergibt sich die Energiemenge (technisch Arbeit)
kWh	Kilowattstunde: Energiemenge (technisch Arbeit) pro Stunde; 10 kW Leistung über zwei Stunden resultiert in 20 kWh; siehe auch kW
ORC	Organic Rankine Cycle: Verfahren zum Betrieb von Dampfturbinen mit einem Medium, das bei tieferer Temperatur verdampft als Wasser. Damit kann auch aus Abwärme geringer Temperatur noch Strom gewonnen werden.
Pronovo	Pronovo AG, seit 2018 im Auftrag und unter Aufsicht des Bundesamts für Energie zuständig für Management und Kontrolle des Einspeisevergütungssystems; www.pronovo.ch
RPG	Raumplanungsgesetz des Bundes (RPG, SR 700)
RPV	Raumplanungsverordnung des Bundes (RPV, SR 700.1)
SR	Systematische Rechtssammlung der Erlasse des Bundes

Unterer Heizwert H_u	Die in der Verbrennung maximal nutzbare Wärmemenge, bei der es nicht zur Kondensation des Wasserdampfes im Abgas kommt.
VLP-ASPAN	Schweizerische Vereinigung für Landesplanung; ab Mitte 2018 Umbenennung in EspaceSuisse
WKK	Wärme-Kraft-Kopplung: Gleichzeitige Nutzung von mechanischer Energie (Kraft, Umwandlung in Generator zu Strom) und Wärme für Heiz- oder Produktionszwecke. Siehe auch BHKW

Tabelle 11: Glossar

9. Literaturverzeichnis:

1. *Schweizerische Statistik der erneuerbaren Energien. Ausgabe 2017. Vorabzug.* Kaufmann, U. Eicher + Pauli AG im Auftrag des Bundesamtes für Energie (2018).
2. *Nachhaltige Wärmenutzung von Biogasanlagen. Ein Handbuch.* Rutz, D., Mergner, R. & Janssen, R. WIP Renewable Energies (2012).
3. *Abwärmenutzung in landwirtschaftlichen Biogasanlagen. Schlussbericht.* Gutzwiller, S. Eicher + Pauli AG im Auftrag für das Bundesamt für Energie (2009).
4. *Schlussbericht Benchmarking Biogas 2016.* Anspach, V. & Bolli, S. Genossenschaft Ökostrom Schweiz (2018).
5. *Bioenergiedörfer. Leitfaden für eine praxisnahe Umsetzung.* Heck, P. et al. Fachagentur Nachwachsende Rohstoffe e.V. FNR (2014).
6. *Planungshandbuch Fernwärme.* Nussbaumer, T., Thalmann, S., Jenni, A. & Ködel, J. Im Auftrag des Bundesamtes für Energie (2017).
7. *Wärmenutzung bei Biogasanlagen.* Zielbauer, J., Gaida, R. & Knott, G. Sächsische Landesanstalt für Landwirtschaft (2007).
8. *Wärmenutzung bei kleinen landwirtschaftlichen Biogasanlagen.* Gaderer, M., Lautenbach, M., Fischer, T. & Ebertsch, G. Im Auftrag des Bayrischen Landesamt für Umwelt (2007).
9. *Mobile Wärmespeicher zur Effizienzsteigerung bei Biogasanlagen.* Isele, A. & Bollin, E. Hochschule Offenburg (2013).
10. *Trocknung von Energieholz und Getreide mit Biogas-Wärme. Ein Überblick.* C.A.R.M.E.N. Centrales Agrar-Rohstoff Marketing- und Energie-Netzwerk (2015).
11. *Verordnung über die Förderung der Produktion von Elektrizität aus erneuerbaren Energien.* EnFV. Bundesrat. SR 730.03 (2017).