

Standardinfoblatt – Milchkühlung mit BHKW-Abwärme



Für wen eignet sich die Milchkühlung mit BHKW-Abwärme?

Biogasanlagen mit überschüssiger Wärmeproduktion, mit Kältebedarf im eigenen Betrieb oder benachbarten Unternehmen

Wie funktioniert die Milchkühlung mit BHKW-Abwärme?

Die im BHKW erzeugte Wärme kann nicht nur zu Heizungszwecken eingesetzt werden, sondern über eine Adsorptionskältemaschine auch zur Kühlung.

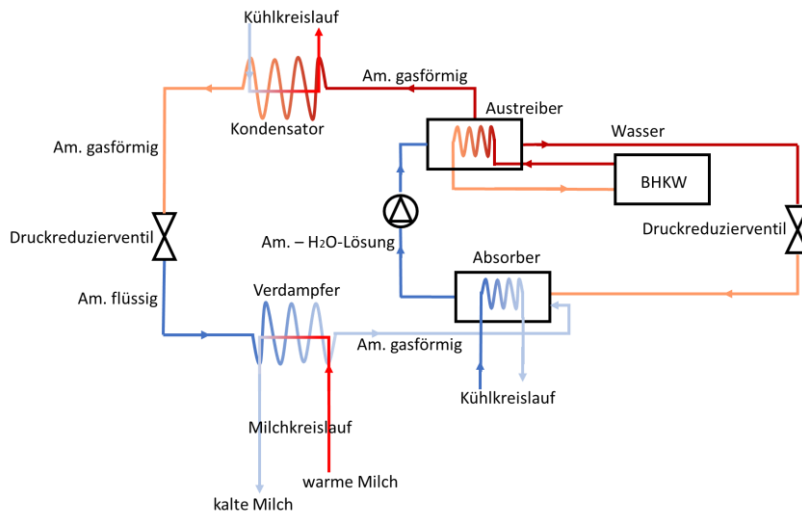
Was braucht man noch dazu?

- Überdachte Freifläche für AKM in der Nähe des Kältebedarfs
- Wärmeleitung vom BHKW und Leitung zur Kältesenke
- Anschluss an das Wärmetauschermodul des BHKW
- Personalbedarf zur Bedienung und Wartung

Treibende Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

- Investitionskosten der Adsorptionskältemaschine
- Gesamtkältebedarf bei kostengünstiger Abwärme
- Strombedarf der gesamten Anlage und des alternativen Kühlaggregates

Verfahrensfließbild und Einbindung bzw. Peripherie



In der Adsorptionskältemaschine wird im ersten Schritt eine Mischung aus einem Lösungsmittel z.B. Wasser und einem Kältemittel z.B. Ammoniak unter hohem Druck getrennt. Dazu wird die Abwärme aus dem Verbrennungsprozess des BHKW genutzt. Das Kältemittel wird danach durch Wärmeentzug im Kondensator wieder abgekühlt und durch Druckabfall wieder in den flüssigen Aggregatzustand gebracht und liegt in reiner Form vor. Anschließend wird das Kältemittel im Verdampfer zur Kühlung eingesetzt und nimmt Wärme auf, wodurch der Ammoniak wieder in den gasförmigen Zustand übergeht. In einem nachgeschalteten Absorber wird der Kältemitteldampf wieder mit dem Lösungsmittel vermischt. Danach beginnt der Prozess von vorn.

Eine Absorptionskältemaschine kann mit verschiedenen Lösungs- und Kältemitteln betrieben werden. Die gängigsten Kombinationen sind Wasser als Kältemittel und Lithiumbromid-Lösung als Lösungsmittel oder Ammoniak als Kältemittel und Wasser als Lösungsmittel. Eine Absorptionskältemaschine kann je nach zu Verfügung stehender Abwärmetemperatur und gewünschter Kühltemperatur ein- oder mehrstufig ausgeführt sein. Bei mehrstufigen Anlagen entstehen höhere Investitionskosten durch zusätzliche Kreisläufe mit Absorber und Austreiber.

Schematische Darstellung einer Absorptionskältemaschine

(Quelle: Eigene Darstellung)

Hintergrundinfo Projekt:

Im Biogasperspektivenprojekt wurden Weiterentwicklungsmöglichkeiten der Biogasproduktion und seiner Co-Produkte an 15 Beispielanlagen in Thüringen untersucht. Dabei sind sowohl die Möglichkeiten der Weiternutzung der Biogasanlagen nach Auslaufen der ersten 20jährigen Vergütung betrachtet und gegenübergestellt worden. Aber auch die Anlagenoptimierung von Biogasanlagen mit fester EEG-Vergütung in den nächsten 10 Jahren konnte untersucht werden. Neben einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung für jede Anlage wurde je nach Voraussetzungen individuell auf die Anlagen eingegangen. So konnten unter anderem drei Energieeffizienzberatungen, eine Ausschreibung, die Begleitung eines Biogasaufbereitungsprojektes mit Tankstelle und eine Substratumstellung durchgeführt werden. Daneben wurden über Seminare und Standardinfoblätter Informationen aus den individuellen Erfahrungen der Anlagen optimiert für die Öffentlichkeit zur Verfügung gestellt.



Ministerium
für Infrastruktur
und Landwirtschaft



Beispielrechnung AKM Anlagendimensionierung

- Wärmekapazität von Milch 3.85 kJ/kgK
- Kühlung der Milch nach dem Melken nach Kühlung durch Tränkewasser von ca. 25°C auf ca. 5°C
- COP einer einstufigen Adsorptionskältemaschine = Nutzkälte/Antriebswärme = $Q_{\text{Verdampfer}}/Q_{\text{Zu}} = 0,67$
 - ➔ daraus resultiert eine Antriebswärme am Austreiber $Q_{\text{Zu}} = 1,5 * Q_{\text{Verdampfer}}$
 - ➔ daraus resultiert eine abzuführende Wärme am Kondensator und Absorber $Q_{\text{ab}} = (1,5 * Q_{\text{Verdampfer}}) / 0,67 = 2,25 * Q_{\text{Verdampfer}}$
- Beispiel: 10.000kg Milch sind während eines Melkvorgangs zu kühlen

$$Q_{\text{Milch}} = c * m * \Delta T = 3.85 \text{ kJ/kgK} * 10000 \text{ kg} * 20 \text{ K} = 770.000 \text{ kJ} / 3600 = 214 \text{ kWh}$$
 Mit $Q_{\text{Zu}} = 1,5 * Q_{\text{Verdampfer}} = 1,5 * 214 \text{ kWh} = 321 \text{ kWh/Melkvorgang}$ zuzuführende Wärme

Abzuführende Wärme am Verflüssiger+Verdampfer:

$$Q_{\text{ab}} = 2,25 * Q_{\text{Verdampfer}} = 214 \text{ kWh} * 2,25 =$$

482 kWh/Melkvorgang

➔ Je nach Dauer des Melkvorgangs und der gewünschten Zeit, in der die Milch auf 5°C gekühlt werden soll, ist die Adsorptionskältemaschine zu dimensionieren

➔ Bei zwei Stunden Kühldauer müssen 160 kWh/h thermische Energie vom BHKW bereitgestellt werden und die AKK muss eine Kälteleistung von 110 kW aufweisen

- Berechnung des Stromverbrauches der AKM:
Strombedarf: 0,05-0,1 kWh_{el}/kWh_{th} für Absorber und Rückkühleinrichtung:

$$= Q_{\text{Zu}} * 0,075 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$$

$$= 321 \text{ kWh}_{\text{th}}/\text{Melkvorgang} * 0,075 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{kWh}_{\text{th}}$$

$$= 24 \text{ kWh}_{\text{el}}/\text{Melkvorgang}$$

3. Ökonomische Kennwerte

Die Investitionskosten für Adsorptionskältemaschinen je Kilowattstunde Kühlleistung sind im Vergleich zu Kompressionskältemaschinen hoch. Die Adsorptionskältemaschine sollten daher eine hohe Auslastung aufweisen. Um Investitionskosten für die Adsorptionskältemaschine möglichst gering zu halten und die Auslastung der Maschine zu steigern, ist die Installation eines Kältespeichers zu überdenken. Dieser könnte in den Zeiten ohne Melkvorgang befüllt und zu Spitzenlastzeiten während des Melkens entleert werden. Die Größe und die Investitionskosten der Adsorptionskältemaschine je Kilowattstunde können dadurch verringert und der Wirkungsgrad erhöht werden.

Wird die Adsorptionskältemaschine zudem mit einem Wärmetauscher am Milchtank kombiniert, lässt sich neben der Wärme des BHKWs auch die Wärme der Milch z.B. zur Tränkwassererwärmung oder zur Beheizung eines Bürogebäudes nutzen. Ein positiver Effekt dieser Gerätekombination ist die kleiner zu dimensionierende Adsorptionskältemaschine, da die Milch durch den Wärmetauscher bereits vorgekühlt wird.

Faustzahlen der Wirtschaftlichkeit

- Investitionskosten für Adsorptionskältemaschine: ca. 250-1500€/kWh je nach Leistung (umfasst Kältemaschine, Kalt- und Kühlwasserkreislaufsystem, Wasseraufbereitung, MSR-Anlage, Zubehöranteile)
Berechnungsformeln:
 - einstufige AKM [€/kW Kälte]:

$$14740,2 \times \text{Kälteleist. Verdampfer [kW]}^{-0,6849} + 3,29$$
 - zweistufige AKM [€/kW Kälte]:

$$231.975,1 \times \text{Kälteleist. Verdampfer [kW]}^{-1,1422} + 90,09$$
 - Zusatzinvestition offener Kühlturm [€/kW Kälte]:

$$2.348,2 \times \text{Kälteleistung [kW]}^{-1,0398} + 26,15$$
- Investitionskosten Kompressionskältemaschine: 75-350€/kWh je nach Leistung (Kältemaschine, Kalt- und Kühlwasserkreislaufsystem, Wasseraufbereitung, Rückkühlanlage, MSR-Anlage, Zubehöranteile)
KKM [€/kW Kälte]:

$$4991,34 \times \text{Kälteleist. Verdampfer [kW]}^{-0,6794} + 179,63$$
- Planungs- und Projektentwicklungskosten:
AKM 25.000€; KKM 20.000€

- Stromkosten: ca. 0,20 €/kWel;
- Wärmekosten: ca. 0,04 €/kWth
- Wärmenetzkosten: 300 €/m

Treibende Einflussfaktoren auf die Wirtschaftlichkeit

- Investitionskosten der Absorptionskältemaschine
- Strombedarf der gesamten Anlage

Investitionsbeispiel

Ausgangsdaten Beispielrechnung einstufige AKM

	Ausgangsdaten
Tägliche Milchleistung: 800 Milchkühe mit einer Leistung von 9.855kg Milch/a (27kg/d) [kg/d]	21.600 kg Milch
Wärmekapazität Milch [kJ/kgK]	3,85
Temperaturdifferenz Milch (25° auf 5°) [K]	20K
Melkvorgänge je Tag [1/d]	2
Zeitdauer der Abkühlung je Melkvorgang [h]	3
Abschreibungsdauer [a]	10
Wartungskosten pauschal [% von Investitionskosten/a]	1
Leistungsaufnahme AKM [kWel/kWth]	0,08
Kosten Wärmenetz [€/m]	300
Planungs- und Entwicklungskosten pauschal[€]	20.000
Stromkosten [€/kWel]	0,2
COP	0,67

Größe der AKM:

$$\frac{21.600 \frac{kg}{d} * 3,85 \frac{kJ}{kgK} * 30K}{2 \frac{1}{d} * 3600 \frac{kJ}{kWh}} = \frac{231kWh}{3h} = 77 kWth (Kälte)$$

Benötigte thermische Leistung

$$\frac{77 kWth}{0,67} = 115 kWth (Abwärme)$$

Investitionskosten AKM ohne Rückkühleinrichtung

$$14740,2 * 77[kW]^{-0,6849} + 3,29 = 756 \frac{€}{kW}$$

$$756 \frac{€}{kW} * 77kW = 58.212€$$

Investitionskosten offener Rückkühlturm:

$$2348,2 * 77[kW]^{-1,0398} + 26,15 = 52 \frac{€}{kW}$$

$$52 \frac{€}{kW} * 77kW = 4.004 €$$

Investitionskosten AKM mit Rückkühleinrichtung:

$$58.212€ + 4.004€ = 62.216€$$

Abschreibungskosten AKM

$$62.216€ \div 10a = 6.222 \frac{€}{a}$$

Wartungskosten:

$$58.216€ * 0,01 \frac{\%}{a} = 622 \frac{€}{a}$$

Abschreibung Planungs- und Entwicklungskosten:

$$\frac{20.000€}{10a} = 2.000 \frac{€}{a}$$

Stromkosten AKM:

$$\frac{77kWth}{0,67} * 0,08 \frac{kWel}{kWth} * 2 \frac{Melkvorgänge}{d} * 365 \frac{d}{a} = 6.712 \frac{kWel}{a}$$

$$6.712 \frac{kWel}{a} * 0,2 \frac{€}{kWel} = 1.342 \frac{€}{a}$$

Abschreibung Förderung (nach Kälteklimatechnikrichtlinie vom

19.12.2018; gültig bis 31.12.2021)

$$(1484,38 * 77[kW]^{-0,2682} - 74,31) * 77[kW] = 29.930€$$

$$29.930€ \div 10a = 2.993 \frac{€}{a}$$

Abschreibung Investitionskosten Nahwärmeleitung:

$$100m * 300 \frac{€}{m} = 30.000€$$

$$30.000€ \div 10a = 3.000 \frac{€}{a}$$

Gesamtkosten einstufige AKM ohne Wärmenetz:

$$6.222 \frac{€}{a} + 622 \frac{€}{a} + 2.000 \frac{€}{a} + 1.342 \frac{€}{a} - 2.993 \frac{€}{a} = 7.193 \frac{€}{a}$$

Gesamtkosten einstufige AKM mit Wärmenetz:

$$7.193 \frac{€}{a} + 3.000 \frac{€}{a} = 10.193 \frac{€}{a}$$

$$\text{Nach Abschreibung: } 1.964 \frac{€}{a}$$

Vergleichsrechnung der Kosten einer KKM

	Ausgangsdaten
COP [kWth/kWel]	3
Stromkosten [€/kWh]	0,2
Wartungskosten pauschal [% von Investitionskosten/a]	4

Investitionskosten KKM

$$4991,34 * 77[\text{kW}]^{-0,6794} + 179,63 = 441 \frac{\text{€}}{\text{kW}}$$

$$441 \frac{\text{€}}{\text{kW}} * 77 \text{kW} = 33.957 \text{€}$$

Wartungskosten:

$$33.957 \text{€} * 0,04 \frac{\%}{\text{a}} = 1.358 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Stromkosten KKM:

$$\frac{77 \text{kW}}{3} * 2 \frac{\text{Melkvorgänge}}{\text{d}} * 365 \frac{\text{d}}{\text{a}} = 18.737 \frac{\text{kWel}}{\text{a}}$$

$$18.737 \frac{\text{kWel}}{\text{a}} * 0,2 \frac{\text{€}}{\text{kWel}} = 3.747 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Gesamtkosten KKM:

$$3.396 + 1.358 \frac{\text{€}}{\text{a}} + 3.747 \frac{\text{€}}{\text{a}} = 8.501 \frac{\text{€}}{\text{a}}$$

Nach Abschreibung: $5.105 \frac{\text{€}}{\text{a}}$

Quellen

- 1 Ganzjährig optimierte Wärmenutzung aus einer landwirtschaftlichen Biogasanlage in einem Milchviehbetrieb durch die Einbeziehung von Kühlprozessen mit wesentlichem ökonomischem Effekt und positiven Umweltbedingungen. Thüringer Landesanstalt für Landwirtschaft. Projekt-Nr. 2807UM004Abschlussbericht. 2013
- 2 Baumgarth, S., Hörner, B. und Reeker, J. Handbuch der Klimatechnik. 5.. neu bearbeitete und erweiterte Auflage 2008. Heidelberg : C. F. Müller Verlag, 2008
- 3 Gebhardt, M., Kohl, H. und Steinrötter, T. Ableitung von Kostenfunktionen für Komponenten der rationellen Energienutzung. Duisburg-Rheinhausen: Institut für Energie- und Umwelttechnik e.V. (IUTA). 2002
- 4 Kalkgruber, Joachim. Aufbau und Inbetriebnahme einer Absorptionswärmepumpe zur Untersuchung von Ammoniak-Wasser-Natriumhydroxid Gemischen. Graz. 2009 (unter: <https://diglib.tugraz.at/download.php?id=577a021d864b7&location=browse>)
- 5 Rieberer, R., Zotter, G., Handler, C., Kotningm, C., Kottenko O., Moser H., Pink, W., Halmdienst, C., Bangheri, A.. ThermoPump Thermisch angetriebene Lösungsmittelpumpe für Ammoniak/ Wasser-Absorptionswärmepumpen kleiner Leistung, Blue Globe Report. Erneuerbare Energien #17/2013 (unter: <https://www.klimafonds.gv.at/wp-content/uploads/sites/6/BGR0172013EEThermoPump.pdf>)
- 6 Bachmann, S. Milchkühlung Das 1x1 der Kältetechnik (Teil 4). Kälte Klima Aktuell. 05/2013 (https://www.kka-online.info/artikel/kka_Milchkuehlung_1809189.html)
- 7 Nesper, S. Energiebedarf und Einsparmöglichkeiten in der Rinderhaltung. In: Energieverbrauch im Milchviehbetrieb – Effizienz und Einsparpotenziale. Institut für Landtechnik und Tierhaltung 04/2014 (https://www.lfl.bayern.de/mam/cms07/publikationen/daten/informationen/energieverbrauch_im_milchviehstall_065687.pdf)
- 8 EAW Energieanlagenbau GmbH Westenfeld. Absorptionskälteanlage WEGRACAL Maral (<https://www.eaw-energieanlagenbau.de/absorber-akm.html>)