

## CASE STUDY

---

### Einsatz einer Yazaki-Absorptionskältemaschine in einem Hotel

---

Hotels zeichnen sich durch einen ganzjährigen Wärmebedarf aus, da ein erheblicher Anteil des Wärmebedarfs durch die Warmwasserversorgung verursacht wird. Dieser Anteil kann in höherklassigen Hotels bis zu 40 % des Gesamtbedarfs verursachen. Darüber hinaus tritt in den Sommermonaten ein Kältebedarf für die Klimatisierung der Hotelzimmer auf, der in der Regel auf 5 bis 6 Monate begrenzt ist.

In diesem Case Study wurde für ein konkretes 5-Sterne Hotel der Einsatz einer Absorptionskältemaschine für die Grundlastversorgung der Gebäudeklimatisierung untersucht. Dabei wurde angenommen, dass die vorhandene Kälteversorgung durch Kompressionskältemaschinen erhalten bleibt und weiterhin die Spitzenlastversorgung übernimmt. Diese vorhandene Versorgung sollte lediglich um eine Yazaki-Absorptionskältemaschine des Typs WFC 30 ergänzt werden, um hieraus einen Betriebskostenvorteil zu erlangen.

### Wärmequellen für Absorptionskältemaschinen

Viele Biogasanlagenbetreiber stehen vor dem Problem, dass sie ihr Biogas-BHKW nicht oder nur zeitlich begrenzt in Kraft-Wärme-Kopplung fahren können, weil der entsprechende Wärmebedarf nicht vorhanden ist. Dadurch treten finanzielle Einbußen auf, da nach aktuellem Energie-Einspeise-Gesetz (EEG) die Einspeisevergütung für den eingespeisten Strom um 2 Ct/kWh niedriger liegt, wenn der KWK-Bonus entfällt. Mit der Novellierung des EEG in 2009 wird der Wert des KWK-Bonus sogar auf 3 Ct/kWh ansteigen.

Aus diesem Grund suchen die Betreiber entsprechenden Anlagen immer häufiger die Nähe zu Verbrauchern, die eine möglichst ganzjährige Wärmebedarfsstruktur vorweisen können. Der Vorteil liegt auf beiden Seiten. Zum Einen wird der eingespeiste Strom höher vergütet und auf der anderen Seite kann dadurch für den Verbraucher ein sehr günstiger Wärmepreis offeriert werden. Ob dabei das BHKW beim Verbraucher aufgestellt wird oder in unmittelbarer Nähe zur Biogasanlage verbleibt, ist für diese win-win-Situation zunächst unerheblich. Wirtschaftlich sind für das BHKW lediglich die unterschiedlichen Leitungskosten zu bewerten.

Als alternative Wärmequelle steht häufig auch ein günstiger Fernwärmetarif für die Sommermonate zur Verfügung, was in diesem konkreten Fall jedoch nicht weiter untersucht wurde.

## Der konkrete Fall

Für ein 5-Sterne Hotel am Stadtrand einer größeren mitteldeutschen Stadt ist eine Energieanalyse durchgeführt worden, bei der u. a. der Einsatz einer Absorptionskältemaschine für die Gebäudeklimatisierung geprüft und wirtschaftlich bewertet wurde. Das Hotel verfügt über den in Bild 1 dargestellten jahreszeitlichen Verlauf des Wärme- und Kältebedarfs.

### Hotel:

- 530 Zimmern
- BGF 36.000 m<sup>2</sup>
- Kälteversorgung über 3 KKM mit insgesamt 700 kW

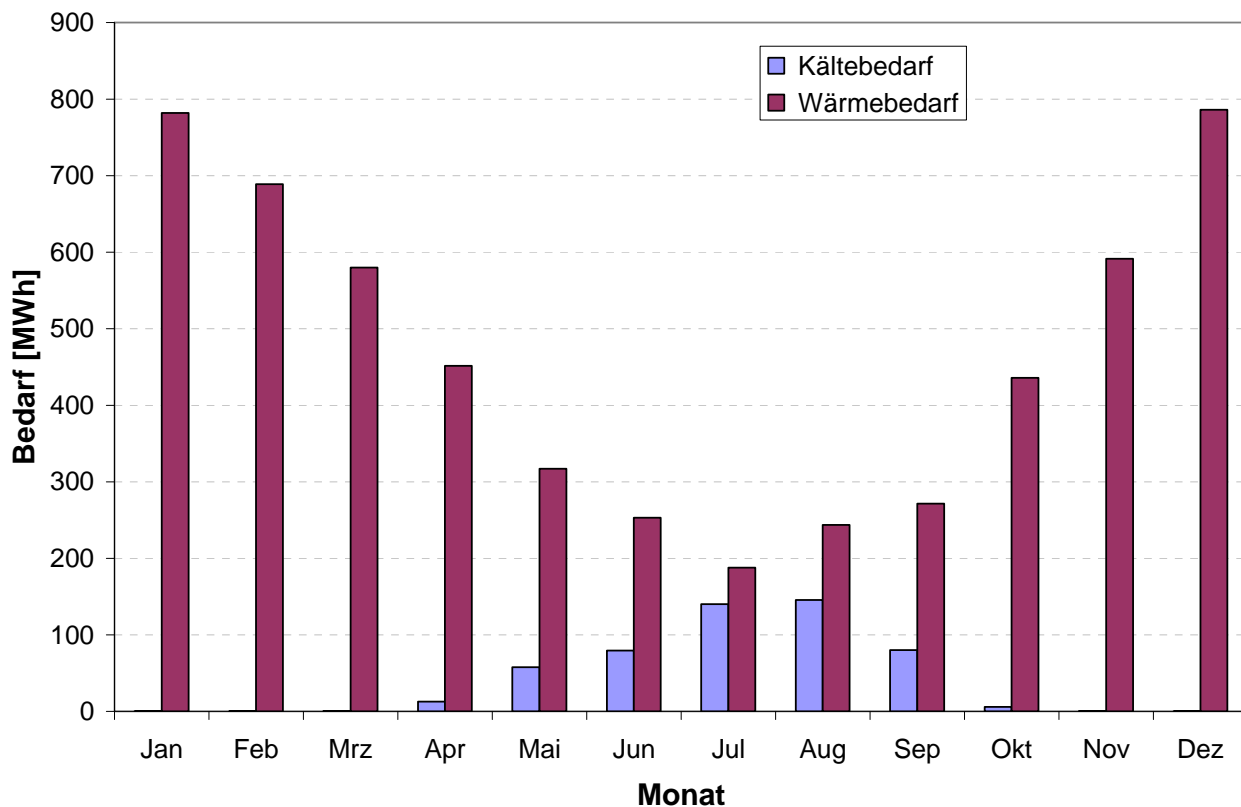


Bild 1: Jahreszeitlicher Verlauf des Wärmebedarfs für die Gebäudebeheizung und die Warmwassererzeugung sowie des Kältebedarfs für die Klimatisierung

## Die Wärmequelle

In der näheren Nachbarschaft zu diesem Hotel plant ein Landwirt eine Biogasanlage mit einem BHKW mit Gasmotor. Der Wärmebedarf für die Beheizung des Fermenters auf dem Hof ist jedoch so gering, dass die Anlage nur einen geringen Anteil des Stroms in Kraft-Wärme-Kopplung erzeugen könnte und das vorhandene Biogaspotenzial finanziell nur unzureichend ausgenutzt wird.

Das untersuchte Konzept sieht nun eine Biogasleitung zum Hotel und eine Aufstellung eines zweiten, deutlich größeren BHKW direkt am Verbraucher vor. Als Betreiber dieses BHKW tritt der Landwirt auf, der den produzierten Strom ins öffentliche Netz einspeist und entsprechend nach EEG vergütet bekommt.

Durch den hierbei erhaltenen KWK-Bonus rechnet sich die Biogasleitung sowie die Unterteilung in 2 BHKW-Module für den Landwirt in weniger als 3 Jahren. Hierbei ist ein Verkaufserlös für die Wärmelieferung nicht enthalten, sodass der eigentliche Wärmepreis frei verhandelbar ist und im konkreten Fall für den Antrieb der AKM im Sommer entfiel. Die Zweiteilung der BHKW-Module bietet dem Landwirt zudem den Vorteil, besser auf die schwankende Biogasproduktion reagieren zu können.

**Eckdaten Konzept:**

Biogas-BHKW mit  
537 kW<sub>el</sub> und 524 kW<sub>th</sub>  
( $\eta_{ges}=0,79$ )

Absorptions-KM:  
WFC 30 mit Q<sub>K</sub>=105 kW,  
Spitzenlastkühlung über vorhandene  
KKM

Die Größe des BHKW am Hotel richtet sich dabei nach dem Wärmebedarf, der in Bild 2 in Form einer geordneten Jahresdauerlinie dargestellt ist. Dabei wurde ein BHKW-Modul mit einer thermischen Leistung von 524 kW ausgewählt. Dieses BHKW wird ganzjährig betrieben und der ungenutzte Abwärmeanteil über einen Notkühler abgefahren.

Bei dieser Betriebsweise wird die Vergütung des eingespeisten Stroms unterteilt in einen Anteil mit vollständiger Wärmenutzung (etwa 3.750 h/a) und einen Anteil mit Teilnutzung der Abwärme. Für diesen zweiten Anteil ist je Betriebsstunde der prozentuale Anteil der genutzten Abwärme an der vorhandenen Abwärme im Auslegungszustand zu berechnen. Mit diesem Faktor wird der zeitgleich erzeugte Strom bewertet und anteilig der KWK-Bonus vergütet.

Die Anzahl der umgerechneten Volllaststunden (mit vollständiger Abwärmenutzung) liegt im vorliegenden Fall damit bei 6.857. Mit der Grundvergütung nach EEG für die o. g. Randbedingungen von 15,63 Ct/kWh (ohne KWK-Bonus) ergibt sich eine Einspeisevergütung in Höhe von 735.250 €/a sowie ein KWK-Bonus von 110.460 €/a (Daten ab 2009).

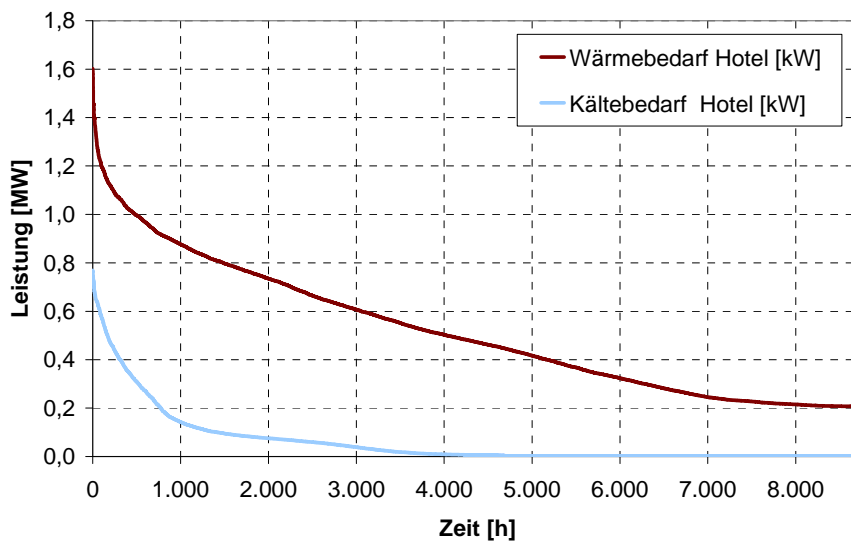


Bild 2: Geordnete Jahresdauerlinie des Wärme- und Kältebedarfs

Durch den Einsatz einer Absorptionskältemaschine WFC 30 verschiebt sich der Wärmebedarf in der Form, wie es in Bild 3 dargestellt ist. Die Zahl der Volllaststunden der Abwärmenutzung erhöht sich auf 7.818. Dadurch steigt der jährliche KWK-Bonus um 15.490 €/a auf 125.950 €/a an.

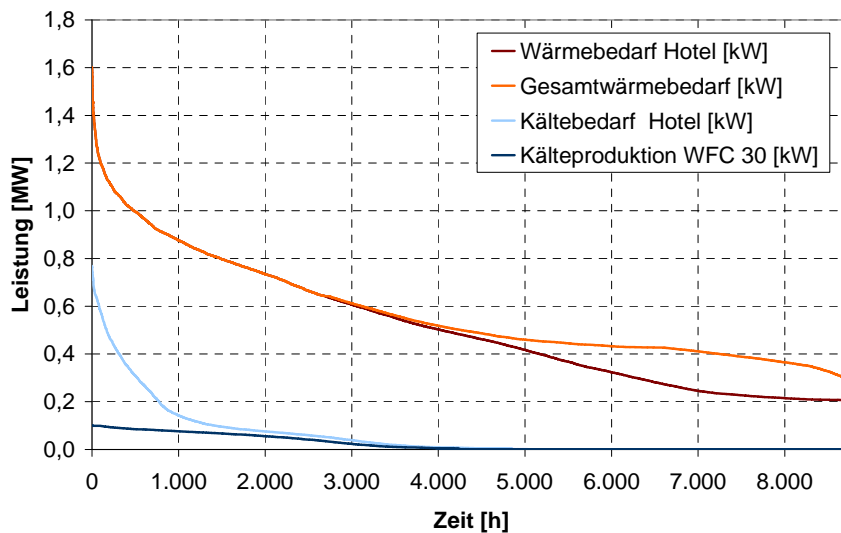


Bild 3: Einfluss einer Absorptionskältemaschine auf die Jahresdauerlinie

Der Anteil, den die Absorptionskältemaschine als Grundlastmaschine am jährlichen Kältebedarf in diesem Fall hat, beträgt 59,6 %. Die erzeugte Kälteenergie liegt bei 302,5 MWh/a. Hierfür ist ein Wärmebedarf von 463,7 MWh/a erforderlich, woraus ein mittleres COP von 0,65 resultiert.

## Auslegung der Absorptionskältemaschine

Die WFC- Maschinen von Yazaki verwenden Lithiumbromid als Lösungsmittel und Wasser als Kältemittel. Dadurch ist eine minimale Kaltwassertemperatur von etwa 6 °C möglich. Für den Austreiber können Wärmequellen in einem Temperaturbereich von 70 bis 95 °C eingesetzt werden.

Im konkreten Anwendungsfall ist für eine WFC 30 eine Kaltwassertemperatur von 7 °C und eine Austreibertemperatur von 90 °C angesetzt worden. Dieser Auslegungspunkt befindet sich nicht im Bereich des maximalen COP (coefficient of performance) sondern bei einer erhöhten Kälteleistung von 127 kW statt der Nennleistung von 105 kW. Die Auslegung wurde gewählt, weil im vorliegenden Fall durch die zur Verfügung stehende Antriebsenergie nicht eine maximale Effizienz sondern ein möglichst hohen Anteil an der Kälteversorgung sowie niedrige spezifische Investitionskosten im Focus standen. Zudem sind die meisten BHKW-Module üblicherweise auf Systemtemperaturen von 90/70 °C ausgerichtet.

Die Abhängigkeiten des COP sowie der Kälteleistung von der Austreibertemperatur sind in Bild 4 dargestellt.

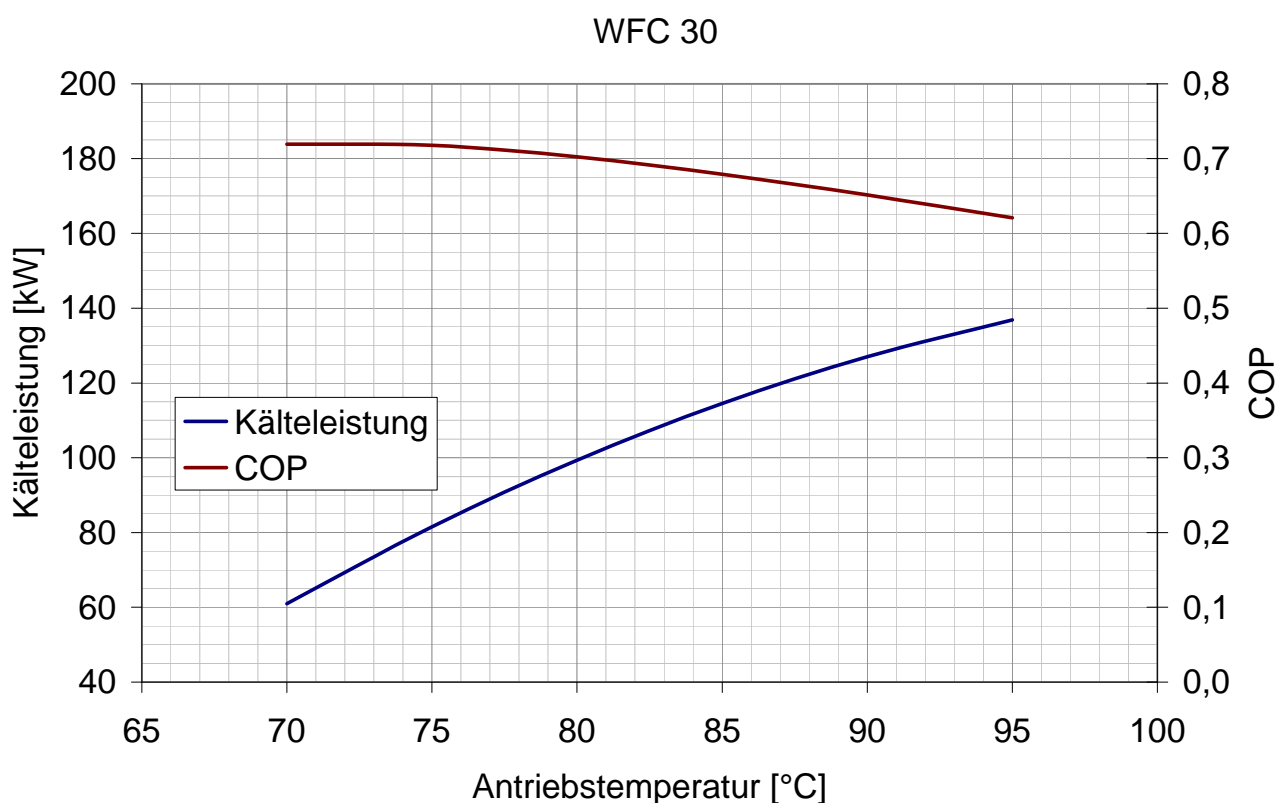


Bild 4: Einfluss der Antriebstemperatur auf COP und Kälteleistung

Als Rückkühltemperatur wurde ein geregelter Wert von 27 °C angesetzt. Dabei wurde jedoch berücksichtigt, dass nach dem Wetterdatensatz des geplanten Standortes dieser Wert nicht immer eingehalten werden kann und sich die genannten Werte der Kälteleistung für einzelne Betriebssituationen geringfügig verschieben können. Zudem wurde berücksichtigt, dass die Rückkühlleistung um insgesamt 150 kW erhöht werden muss. Zwar ist für eine WFC 30 eine Rückkühlleistung in diesem Arbeitspunkt von etwa 195 kW erforderlich, es werden jedoch etwa 45 kW Rückkühlleistung der Kompressionskältemaschinen ersetzt.

## Wirtschaftlichkeit

Für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Konzeptes sind verschiedene Blickrichtungen erforderlich. So wurden für die Investitionen des Landwirtes in das BHKW und die Biogasanlage folgende Annahmen getroffen:

### Randbedingungen:

- Zinssatz 5 %
- Strompreis 12 Ct/kWh
- Leistungspreis 100 €/kW
- Wasserpreis 2,50 €/m<sup>3</sup>
- COP<sub>KKM</sub> = 3

- Die grundsätzliche Investition in eine Biogasanlage ist für den Landwirt wirtschaftlich attraktiv. Ein BHKW auf dem Hof ohne KWK-Nutzung würde sich in jedem Falle rechnen.
- Im konkreten Fall sind lediglich die Mehrkosten für die Biogasleitung zum Hotel und die Unterteilung in 2 BHKW-Module zu berücksichtigen. Diese Investitionen in Höhe von etwa 250 T€ können durch den KWK-Bonus von 110 T€/a in weniger als 3 Jahren refinanziert werden. Hierzu ist noch nicht einmal ein zusätzlicher Verkaufserlös für die Wärme erforderlich.
- Welcher Verkaufserlös für die gelieferte Wärme im Winter vereinbart wird, ist für die nachfolgende Betrachtung unerheblich.
- Da das BHKW am Hotel ganzjährig betrieben wird, entstehen durch den Einsatz der Absorptionskältemaschine keine zusätzlichen Betriebskosten für das BHKW.

Für den Betreiber des Hotels ist die wirtschaftliche Situation der Versorgungsvariante mit einer WFC 30 Absorptionskältemaschine gegenüber dem reinen KWK-Betrieb in den nachfolgenden Tabellen zusammengefasst worden. Dabei wurde der durch die WFC 30 substituierte Anteil des jährlichen Kältebedarfs mit den genannten

302,5 MWh/a bestimmt. Da zudem die maximale Stromabnahme im Sommer durch die Kühlung verursacht wird, kann auch ein entsprechender Anteil am Leistungspreis angerechnet werden.

Komponente	Leistung	Spez. Investition	Investition
AKM WFC 30	105 kW	380 €/kW	39.900 €
Rückkühler	150 kW	60 €/kW	9.000 €
Planung & Installation			13.000 €
Summe Investition			62.590 €

Tabelle 1: Investitionen

Mit diesen Randbedingungen kann für den Hotelbetreiber eine Amortisationszeit von 4,7 Jahren erreicht werden. Zusätzlich ergeben sich Einnahmen aus dem KWK-Bonus in Höhe von 15.490 €/a aus dem Einsatz der Absorptionskältemaschine, für deren Verrechnung mit dem Landwirt eine entsprechende Vereinbarung getroffen werden müsste.

	AKM	KKM	Differenz
Wartung / Instandhaltung	1.763 €/a	1.500 €/a	+ 263 €/a
Stromkosten	278 €/a	12.100 €/a	- 11.822 €/a
Leistungspreis Strom	50 €/a	4.233 €/a	- 4.183 €/a
Wasserkosten Kühlung			+ 513 €/a
<b>Betriebskostenvorteil AKM</b>			<b>15.229 €/a</b>

Gegenüber der ausschließlichen Kälteversorgung durch Kompressionskälte ergibt sich zudem eine Verminderung der jährlichen CO<sub>2</sub>-Emissionen um rund 60 t.

Tabelle 2: Betriebskosten

## Fazit

Das konkrete Beispiel zeigt, dass es wirtschaftlich äußerst interessante Betriebssituationen für den Einsatz von Absorptionskältemaschinen gibt. So kann sogar für eine nachträgliche Installation einer Absorptionskältemaschine eine kurze Amortisationszeit erreicht werden, wenn ein niedriger Arbeitspreis für die Antriebswärme gegeben ist. Bei einer Neuinvestition und einem direkten Vergleich mit einer alternativen Investition in eine Kompressionskältemaschine wird sich dieser Vorteil noch vergrößern.

Zu beachten sind lediglich zwei wesentliche Aspekte:

- Es ist eine hohe Anzahl an Volllaststunden für die AKM anzustreben (im vorliegenden Fall 2.385 h/a) was durch ein bivalentes System zusammen mit Kompressionskältemaschinen erreicht werden kann, bei der die AKM den Grundlastbetrieb übernimmt.
- Es sind niedrige Kosten der Wärmeversorgung für die AKM erforderlich, die durch die Besonderheiten des EEG und den darin enthaltenen KWK-Bonus für viele Projekte mit einer Kraft-Wärme-Kopplung realisierbar sind.