

## CASE STUDY

---

### **Abwärmenutzung in einem Frittierbetrieb**

---

Prozesse in der Lebensmittelindustrie zeichnen sich häufig durch einen hohen Wärmeeinsatz aus. In der Regel wird dabei ein beträchtlicher Teil dieser Wärme von den Produkten und Produktionsanlagen an den Raum abgegeben. Durch die hohen inneren Wärmelasten entsteht neben dem Kältebedarf für die Produktkühlung ein erheblicher Kühlbedarf für die Produktionsräume, der auch in den Übergangszeiten nur begrenzt durch Frischluftzufuhr gedeckt werden kann. Ist der Wärmeeinsatz in der Produktion mit erheblichen Abwärmeströmen verbunden, kann die Grundlast des Kältebedarfs häufig durch eine Absorptionskältemaschine wirtschaftlich gedeckt werden.

### **Wärmequellen für Absorptionskältemaschinen in der Industrie**

Abwärmequellen, mit einer nutzbaren Temperatur oberhalb von 75 °C sind in Industriebetrieben häufig vorzufinden. Ein klassisches Beispiel sind Anlagen zur thermischen Nachverbrennung, in denen belastete Abluft durch Erhitzung von Kohlenwasserstoffverbindungen gereinigt wird. Diese sind in der Lebensmittelindustrie ebenso anzutreffen wie in Druckereien, Lackieranlagen, der Schleifleinenherstellung und ähnlichen Prozessen. Aber auch andere Abwärmeströme bieten ein ausreichendes Potenzial wie z. B. Abgase von Backöfen, Härte- und Glühanlagen oder Abluft von Trocknungsprozessen.

### **Anwendungsfallgerechte Auslegung**

Absorptionskältemaschinen bieten sich überall dort als wirtschaftliche Lösung zur Kälteerzeugung an, wo Abwärmepotenziale mit ausreichendem Temperaturniveau mit moderatem Investitionsaufwand erschlossen werden können und sich durch eine Gleichzeitigkeit von Wärmeangebot und Kältebedarf hohe Laufzeiten ergeben.

YAZAKI bietet mit seinen heißwasserbetriebenen Absorptionskältemaschinen der WFC-Reihe mit Kälteleistungen von 17,5 bis 105 kW und Antriebsleistungen von 25,1 bis 151 kW den Leistungsbereich typischer Abwärmequellen in Industrie und Gewerbe ab.

Soweit der Anwendungsfall eine weitgehend freie Wahl der Antriebs- und Rückkühltemperaturen zulässt und Abwärme in ausreichendem Maß zur Verfügung steht, kann die Auslegung so erfolgen, dass die nutzbare Kälteleistung der YAZAKI-Absorptionskältemaschinen bis zu 30 % über ihrer Nennleistung liegt. Neben einer moderaten Rückkühltemperatur von 27 °C, die in der Regel von Verdunstungskühltürmen nahezu ganzjährig bereitgestellt werden kann, sollte die Antriebstemperatur in diesem Fall zwischen 90 und 95 °C liegen.

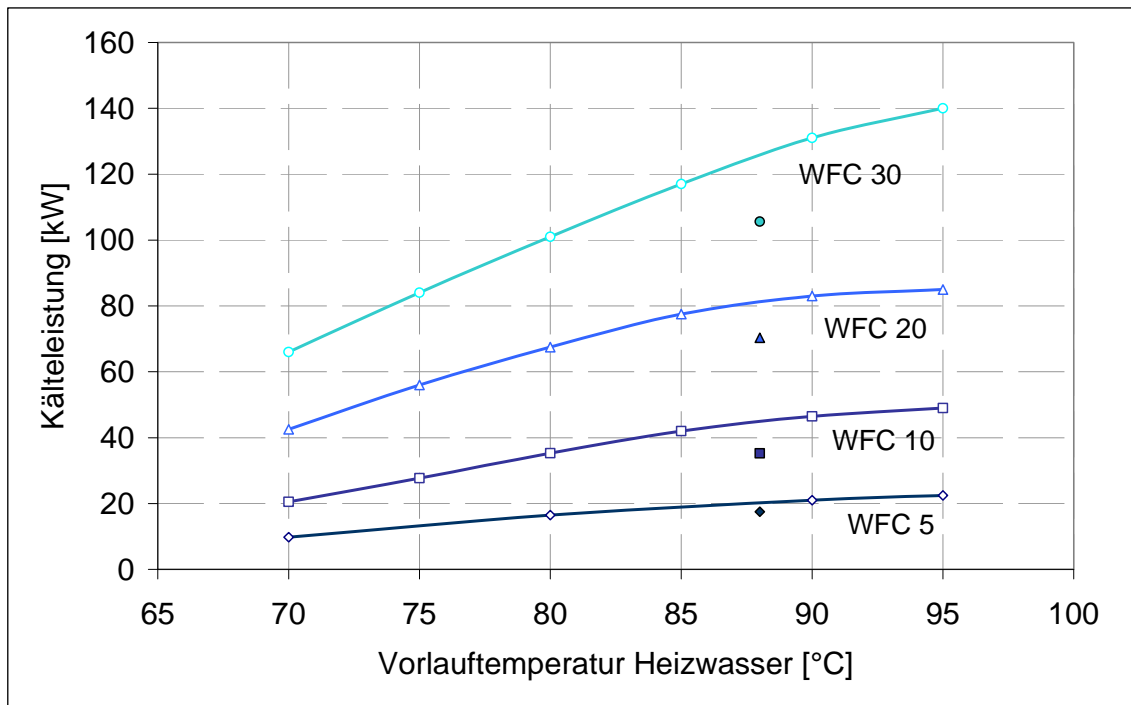


Bild 1: Nennbetriebspunkte und erreichbare Kälteleistung bei einem Kühlwasservorlauf von 27 °C in Abhängigkeit der Heizwasservorlauftemperatur.

## Der konkrete Fall

Im vorliegenden Fall wurde der Einsatz einer YAZAKI-Absorptionskältemaschine vom Typ WFC 30 in einer Frittierfabrik untersucht. Auf vier Linien werden rund 15 t Produkt pro Stunde zunächst in dampfbeheizten Öfen gegart und anschließend für 30 Sekunden bei 192 °C frittiert. Das Schichtmodell sieht jeweils fünf Produktionsschichten vor, an die sich eine Reinigungsschicht anschließt. Der Sonntag ist produktionsfrei. Die gesamte Kälteversorgung erfolgt über eine Kompressionskälteanlage, welche neben der hier näher betrachteten Frittierhalle auch weitere Werkshallen mit Klima- und Tiefkälte versorgt.

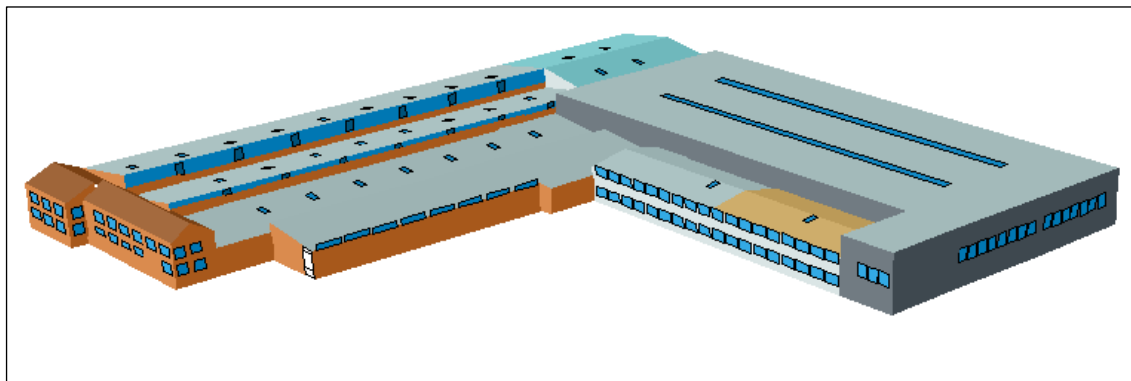


Bild 2: Ansicht des untersuchten Betriebs als 3D-Ausgabe des verwendeten Gebäudesimulationsmodells

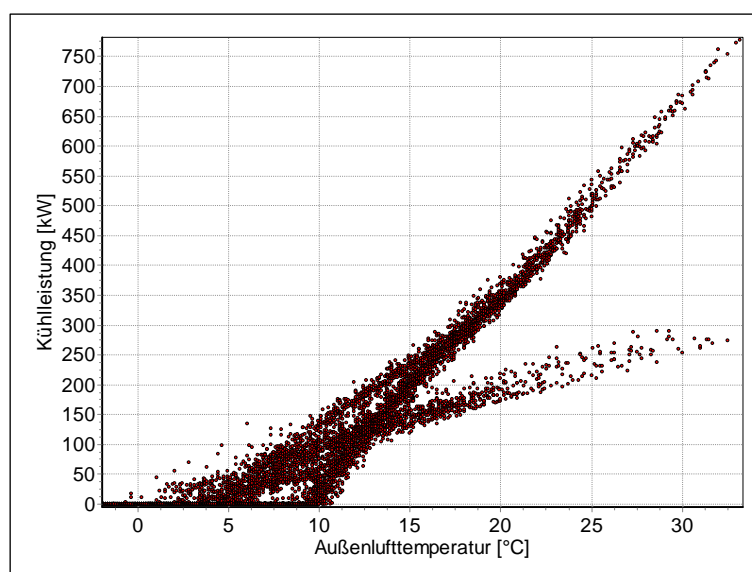
## Die Wärmequelle

Die zum Antrieb der Kältemaschine notwendige Wärme wird aus dem Abgas der thermischen Nachverbrennung der Frittierdämpfe ausgekoppelt. Hier werden mit Hilfe eines Erdgasbrenners pro Stunde rund 5.800 m<sup>3</sup> Abluft auf 600 °C erhitzt, um die darin enthaltenen Kohlenwasserstoffe sicher zu zersetzen. Das heiße Verbrennungsgas wird zunächst zur Erwärmung von Thermoöl eingesetzt und verlässt anschließend die Anlage mit einer Temperatur von 250 °C. Durch Abkühlung in einem Rippenrohr-Wärmeübertrager auf 120 °C können während der Produktionsschichten im Mittel 220 kW auf ein Heißwassersystem übertragen werden. Während der Reinigungs- und Wartungsschichten verringert sich diese Leistung auf ca. 60 kW (vgl. Jahresdauerlinie des Abwärmeangebots in Bild 4).

Da der Warmwasserbedarf bereits größtenteils aus der Ölwärme der NH<sub>3</sub>-Kompressoren der Tiefkälteanlage des Werkes erzeugt wird, steht die so nutzbar gemachte Wärme der Kälteerzeugung zur Verfügung.

## Die Kältenutzung

Durch den hohen Wärmeeintrag von ca. 800 W/m<sup>2</sup> in die Gar- und Frittierhalle entsteht ein erheblicher Kühlbedarf für die Raumluft. Trotz einer Frischluftzufuhr von 40 m<sup>3</sup>/(m<sup>2</sup> h) besteht dieser auch in den Übergangszeiten, sodass hier Umluftkühler zum Einsatz kommen. Da der Verlauf des Kältebedarfs stark witterungsabhängig ist, wurde dieser mit Hilfe einer dynamischen Gebäudesimulation, welche auch den Wärmeeintrag durch die Produktionsanlagen berücksichtigt, bestimmt. Die 3D-Ansicht des Gebäudemodells ist in Bild 2 dargestellt. Aus der Simulation ergibt sich die für die Kühlung des Raumes notwendige Kälteleistung für jede Stunde des Jahres. Diese ist in Bild 3 in Abhängigkeit der Außentemperatur aufgetragen. Insgesamt besteht ein Kältebedarf über rund 5.000 h/a mit einer Spitzenleistung von 780 kW (vgl. Jahresdauerlinie in Bild 4).



*Bild 3: Kältebedarf der Frittierhalle in Abhängigkeit der Außenlufttemperatur bei einer maximalen Raumlufttemperatur von 24 °C für jede Stunde des Jahres. Zu erkennen ist der unterschiedliche Kühlbedarf während der Produktionszeit (oberer Ast) und der Reinigungsschichten (unterer Ast)*

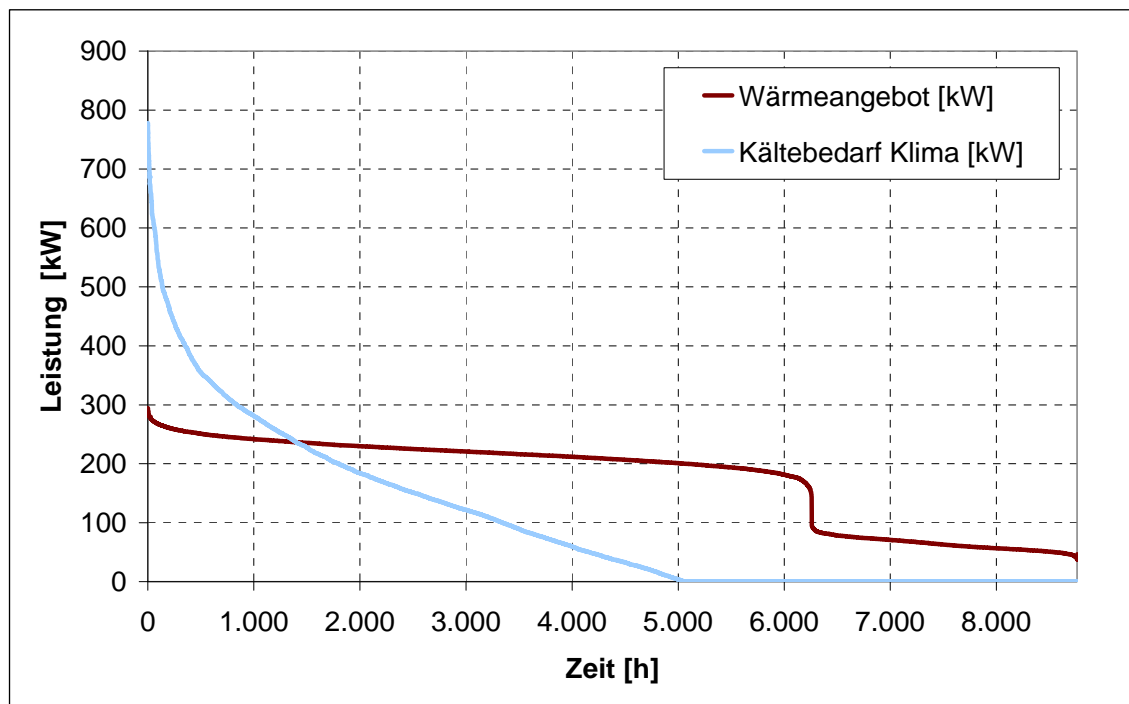


Bild 4: Geordnete Jahresdauerlinie des Abwärmeangebots und Kältebedarfs für die Raumkühlung

### Auslegung der Absorptionskältemaschine

Da sowohl Abwärmeangebot als auch Kältebedarf von demselben Produktionsprozess bestimmt werden, besteht zwischen beiden Größen ein hohes Maß an Gleichzeitigkeit. Durch den Einsatz der YAZAKI WFC 30 können rund 48 % des Kältebedarfs aus der Abwärme gedeckt werden. Um eine möglichst hohe Kälteleistung zu erzielen, wird die Antriebstemperatur auf 95 °C ausgelegt.

Die Installation zusätzlicher Rückkühler zur Aufnahme der bei Absorptionskältemaschinen prinzipbedingt höheren Rückkühlleistung ist in diesem Fall nicht notwendig, da das bestehende System, in welches zur Rückkühlung der bestehenden Kompressionskälteanlage dient, über eine ausreichende Kapazität verfügt. Da es sich hierbei um Verdunstungskühler handelt, kann eine Kühlwassertemperatur von 27 °C fast ganzjährig erreicht werden.

Die Absorptionskältemaschine erreicht in diesem Fall ca. 3.150 Volllaststunden pro Jahr. Die geordnete Dauerlinie der Kälteproduktion ist in Bild 5 dargestellt. Da die Maschine zu Zeiten des höchsten Kältebedarfs in Betrieb ist, verringert sich die Spitze der durch die Kompressionskälteanlage bereitzustellenden Kälteleistung um 136 kW.

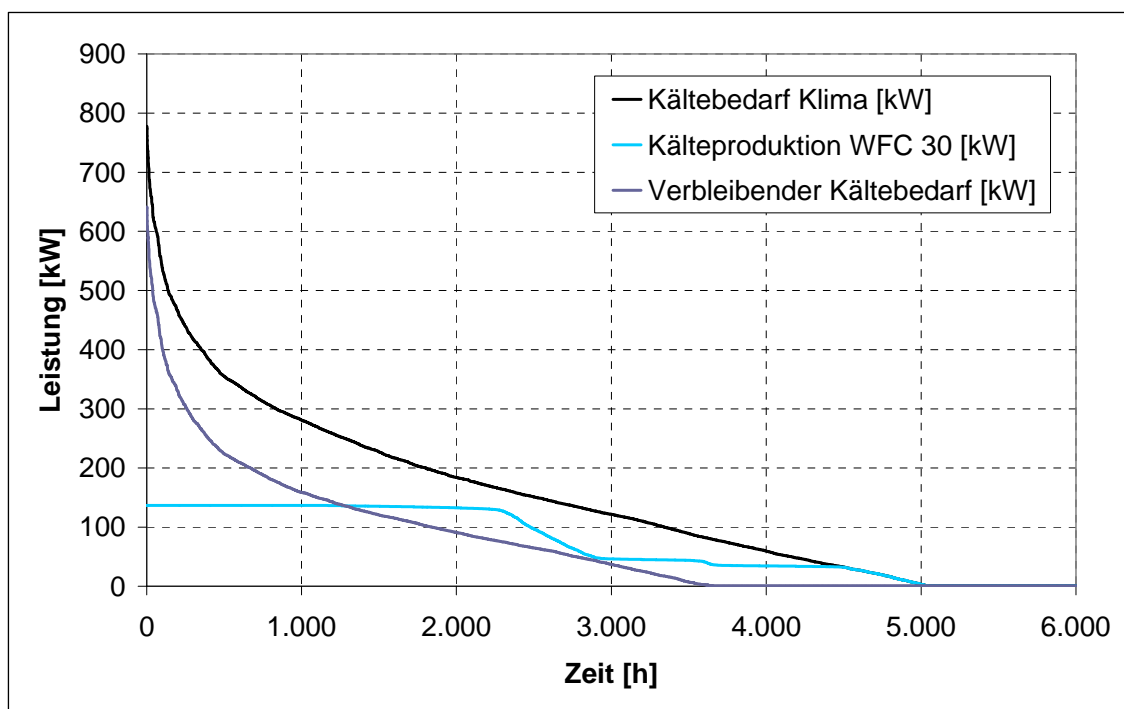


Bild 5: Geordnete Jahresdauerlinien des Kältebedarfs, der durch die WFC 30 bereitgestellten Kälte und des verbleibenden Kältebedarfs.

## Wirtschaftlichkeit

Der untersuchte Fall zeigt, dass sich der Einsatz der YAZAKI WFC 30 wirtschaftlich darstellen lässt. Bei einer Investitionssumme von 78.000 € ergibt sich ein Betriebskostenvorteil von rund 14.000 €/a (vgl. Kasten). Neben den Arbeitskosten für den vermiedenen Strombezug sind dabei auch die verringerten Leistungskosten zu berücksichtigen, da der Spitzenstrombezug, wie in vielen vergleichbaren Fällen, durch die Leistungsspitze der Kälteerzeugung verursacht wird. Verminderte Wartungskosten für die entlastete Kompressionskälteanlage können dagegen nicht geltend gemacht werden, da die Laufzeit der wesentlich größeren Anlage nicht maßgeblich verringert wird. Bei einem Kalkulationszins von 5 %/a führt dies ohne Berücksichtigung von Energiepreisstigerungen auf eine Amortisationszeit von 6,7 Jahren.

### Wirtschaftlichkeit der Investition

#### Investition

AKM WFC 30	39.900 €
Wärmerückgewinnung	16.000 €
Installation	15.000 €
Planung (10 %)	7.090 €
<b>Summe</b>	<b>77.990 €</b>

#### Betriebskosten

Wartungskosten AKM	680 €/a
Instandhaltungskosten AKM	1.083 €/a
zus. Wasserbedarf Kühlturm	570 €/a
Betriebsstrom	235 €/a
<b>Summe</b>	<b>2.568 €/a</b>

#### Einsparung

Strom Kompressionskälte (COP = 3)	13.454 €/a
vermiedene Leistungskosten	3.087 €/a
<b>Summe</b>	<b>16.541 €/a</b>

Verminderung CO <sub>2</sub> -Emissionen	86,2 t/a
--	----------

#### Ergebnis

Betriebskostenvorteil	13.972 €/a
Amortisationszeit (5 % Zins)	6,7 a



Neben dem finanziellen Vorteil bietet der Einsatz von YAZAKI-Absorptionskältemaschinen zur Abwärmenutzung eine Möglichkeit zur Reduktion der produktionsbedingten Treibhausgasemissionen. Durch den vermiedenen Strombezug beläuft sich die jährliche Einsparung der produktionsbedingten CO<sub>2</sub>-Emissionen im dargestellten Fall auf rund 86 t.

## **Fazit**

Der untersuchte Fall zeigt, dass YAZAKI-Absorptionskältemaschinen eine attraktive Option zur Nutzung bestehender Abwärmepotenziale bieten. Die Amortisationszeiten bewegen sich dabei in einem für Energieanlagen typischen Rahmen.

Ähnliche Rahmenbedingungen für den Einsatz von YAZAKI-Maschinen können überall dort erwartet werden, wo produktionsbedingt kontinuierliche Abwärmeströme mit einer nutzbaren Temperatur von mindestens 75 °C zur Verfügung stehen und ein Kältebedarf auf dem typischen Klimakälteniveau für mehrere tausend Stunden pro Jahr in der Grundlast besteht. Neben den Kosten für die Erschließung einer geeigneten Abwärmequelle hat der zu erwartende Benutzungsgrad der Anlage einen erheblichen Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit des Projektes. Dementsprechend bietet sich der Einsatz der Absorptionskälte vorwiegend zur Deckung der Grundlast an.

Insbesondere dort, wo trotz steigender Energiepreise der Energiekostenanteil begrenzt werden soll, Kapazitätsengpässe in der Kälte- oder Stromversorgung bestehen oder Ziele zur Reduktion der produktionsbedingten Treibhausgasemissionen zu erreichen sind, können YAZAKI-Absorptionskältemaschinen einen sinnvollen Beitrag zur Lösung der anstehenden Aufgabe leisten.

 **perpendo** Analyse der Perpendo GmbH für Energietechnik und Verfahrenstechnik, Aachen