



ASUE

Arbeitsgemeinschaft für sparsamen und
umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.

KWKK – Strom, Wärme und Kälte aus einer Anlage



INHALTSVERZEICHNIS

Die Kombination eines BHKWs mit einer Sorptionsanlage erhöht die Wirtschaftlichkeit und nutzt die Einsatzenergie optimal aus.	3
Ammoniak-Absorber	4
Brom-Lithium-Anlagen	5
Zeolith-Adsorber:	6
Weitere Anlagenteile	7
Kosten der Kälteerzeugung	7
Einsatzbereiche von KWKK-Anlagen	9

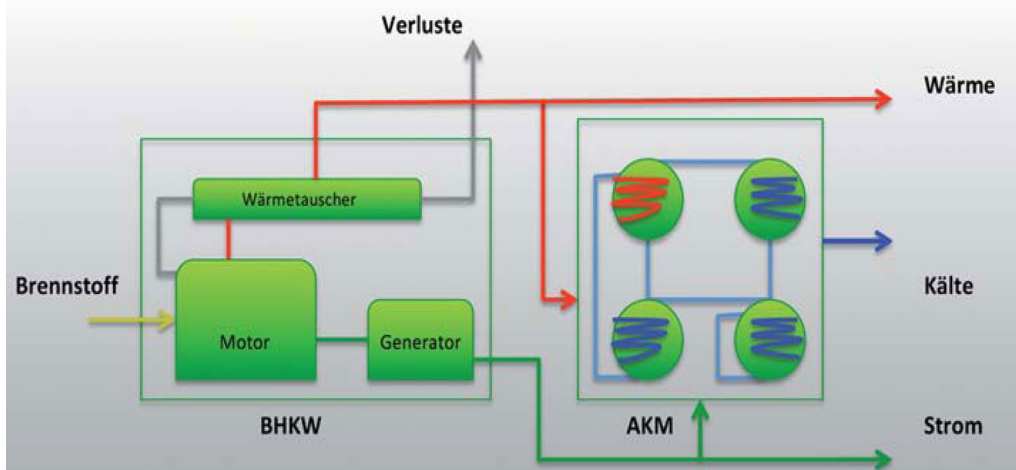
DIE KOMBINATION EINES BHKWs MIT EINER SORPTIONSANLAGE ERHÖHT DIE WIRTSCHAFTLICHKEIT UND NUTZT DIE EINSAZENERGIE OPTIMAL AUS.

Anlagen zur Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung finden sich in zunehmendem Maße in größeren Immobilien, immer dort, wo neben einem winterlichen Wärmebedarf ein namhafter Kältebedarf für Klimatisierung oder Prozesskühlung besteht. Hierzu gehören Hotels, Krankenhäuser, Bürogebäude, aber insbesondere auch Fertigungsstätten der Lebensmittelindustrie oder weitere industrielle Kühlprozesse. Die kleinsten KWKK-Anlagen bieten eine Stromerzeugung von 5 kW, eine Kälteleistung von 10 kW und eine Wärmeleistung von 15 kW. Nach oben sind durch große Bauarten und Kaskadenschaltung von Einzelanlagen keine Grenzen gesetzt.

Im KWKK-Prozess wird durch die Kombination eines BHKWs mit einer Sorptionsanlage – dieses kann ein Absorber oder ein Adsorber sein – Strom, Kälte und Wärme zugleich erzeugt. Hieraus resultieren eine optimale Energieausnutzung und eine sehr gute Wirtschaftlichkeit. Ihr Stromverbrauch beschränkt sich auf die Steuerung sowie wenige Pumpen mit geringer Leistungsaufnahme.

Die neben der Stromerzeugung im BHKW anfallende Abwärme treibt in der nachgeschalteten Sorptionsanlage einen thermischen Verdichter an, der seinerseits einen Kühlkreislauf antreibt. Je nach eingesetzter Sorptions-Stoffpaarung liegt der thermische Wirkungsgrad bei 60 – 80 %.

Funktionsweise der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung



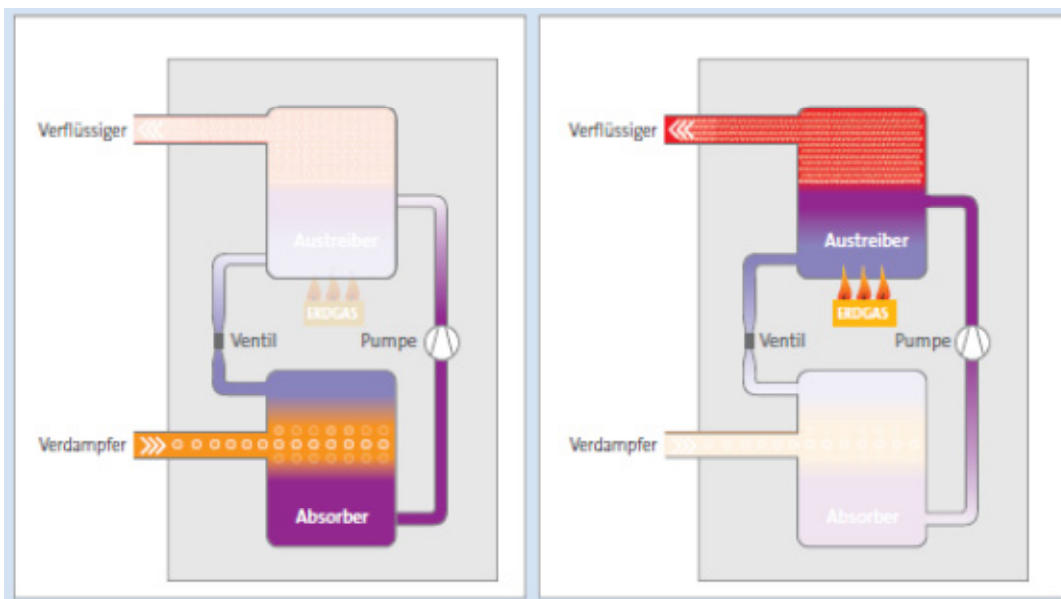
Ammoniak-Absorber: Für den industriellen Prozess werden zumeist Ammoniak-Anlagen eingesetzt. Ammoniak hat die Eigenschaft, bei Umgebungstemperatur von Wasser absorbiert zu werden. Das Stoffgemisch wird durch eine Pumpe auf einen höheren Druck angehoben und anschließend durch die BHKW-Wärme (ca. 90 °C) erhitzt. Dabei trennt sich das Ammoniakgas vom Wasser unter hohem Druck. Nach anschließender Wärmeabgabe (ca. 30 °C) wird das Gas in einem Ventil isentrop entspannt, wobei es sich stark abkühlt (ca. -20 °C). Dabei kann das Ammoniakgas in einem Wärmeübertrager einem Solekreislauf Wärme entziehen, welcher dem Verbraucher „Nutzkälte“ zuführt. In einem anschließenden Absorber assoziiert sich das Ammoniakgas wieder mit dem Wasser des thermischen Verdichters.



Quelle: AGO Energie und Anlagen

- VORTEIL:** kompakte Bauweise, hohe Leistungsdichte, tiefe Temperaturen möglich.
NACHTEIL: Ammoniak ist ein Gefahrstoff und kann nur unter Sicherheitsauflagen eingesetzt werden.

Brom-Lithium-Anlagen: Brom-Lithium ist ein Salz mit einer hohen Absorptionsfähigkeit gegenüber Wasser, auch wenn es bereits in Wasser gelöst ist. In diesem Prozess ist das Kältemittel das Wasser selbst. Durch die Wärme des BHKWs wird Wasser bei leichtem Unterdruck aus einer Brom-Lithium-Lauge ausgetrieben (ca. 80 °C). Der entstehende Wasserdampf wird in einem Wärmeübertrager wieder auskondensiert, wobei die Wärme als Nutzwärme oder Abwärme abgegeben werden kann. Über ein Expansionsventil wird das Wasser entspannt, in einem zweiten Behälter (Absorber), in dem eine untersättigte Brom-Lithium-Lauge unter starkem Unterdruck (ca. 50 mbar) zirkuliert, wird das Wasser über Rohrbündeln versprüht, wobei es bei dem bestehenden Unterdruck bei niedriger Temperatur (ca. 3 °C) verdampft und Wärme aufnimmt. Die Rohrbündel versorgen über einen Wasserkreislauf die „Nutzkälte“. Die Brom-Lithium-Lauge absorbiert den entstandenen Wasserdampf. Eine Speisepumpe überwindet den Druck zwischen Verdampfer und Absorber mit geringer elektrischer Leistung.



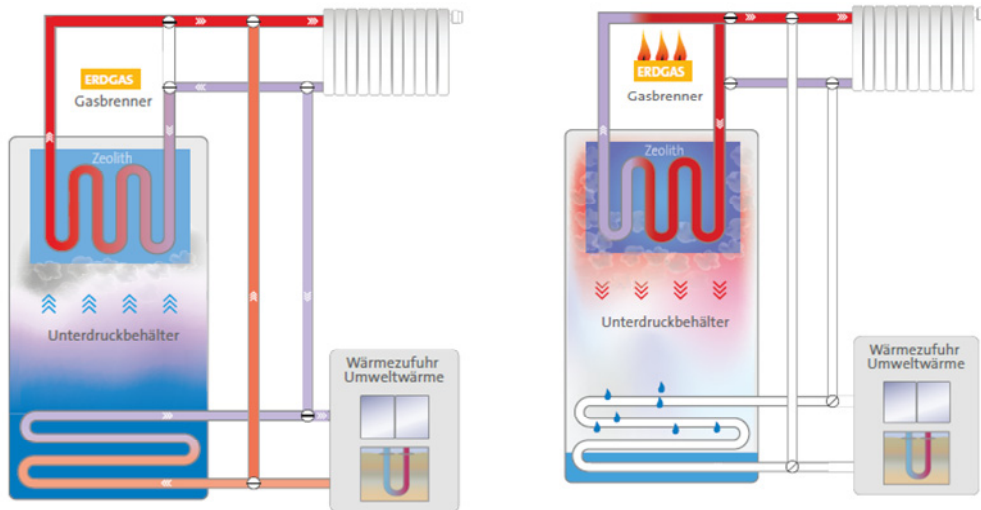
Quelle: Johnson Controls

VORTEILE: Brom-Lithium ist umweltverträglich und auch innerhalb geschlossener Räume zu verwenden. Die Anlagen sind robust und langlebig.

NACHTEILE: Die erzielbare Kälte liegt bei 3 – 5 °C. Die Anlagen bauen großvolumiger.

Zeolith-Adsorber: Zeolith ist ein in der Natur vorkommendes Mineral, welches Wasser bei Umgebungstemperaturen adsorbieren, also in seinen Kristallverband einlagern kann. Durch die Wärmezufuhr aus dem BHKW (55 – 90 °C) wird

das Wasser als Dampf aus dem Mineral ausgetrieben und kondensiert innerhalb eines Unterdruckbehälters (200 mbar). Wird die Wärmezufuhr nun unterbrochen, kehrt sich der Vorgang um; das Zeolithmineral kühlt ab, zieht das Wasser an, wobei fast ein Vakuum entsteht. Das Wasser verdunstet entsprechend bei niedrigen Temperaturen (3 – 5 °C). Über ein Rohrbündel wird die Verdunstungswärme zugeführt, wobei die „Nutzkälte“ entsteht. Dieser Prozess verläuft nicht kontinuierlich, sondern zyklisch. Durch parallele Anordnung zweier Behälter kann jedoch eine gleichmäßige Kälteerzeugung erreicht werden.



Quelle: Invensor

VORTEIL: Einfacher Prozess, Wasser und Zeolith sind umweltfreundlich und nicht gesundheitsgefährdend. Einbindung von Solarthermie zur Kälteerzeugung möglich.

NACHTEIL: Die maximal erreichbare Kälte liegt bei 4 – 6 °C. Größtes Einzelaggregat liegt bei einer Kälteleistung von 40 kW, wobei jedoch mehrere Aggregate parallel angeordnet werden können.

Weitere Anlagenteile

Eine sinnvolle Ergänzung des Systems kann ein Wärmespeicher sein, der die Laufzeiten der Sorptionsanlagen entkoppelt von der Funktion des BHKWs und somit der Stromerzeugung mehr Flexibilität einräumt.

Soweit die Wärme aus dem Prozess nicht dauerhaft (z. B. zu Heizzwecken) eingesetzt werden kann, muss ein entsprechender Rückkühler vorgehalten werden, dessen niedrige Rücklauftemperatur einen großen Einfluss auf den Wirkungsgrad des Systems hat. In der Regel werden heute Trockenkühlaggregate eingesetzt, die mit elektrischen Ventilatoren arbeiten.

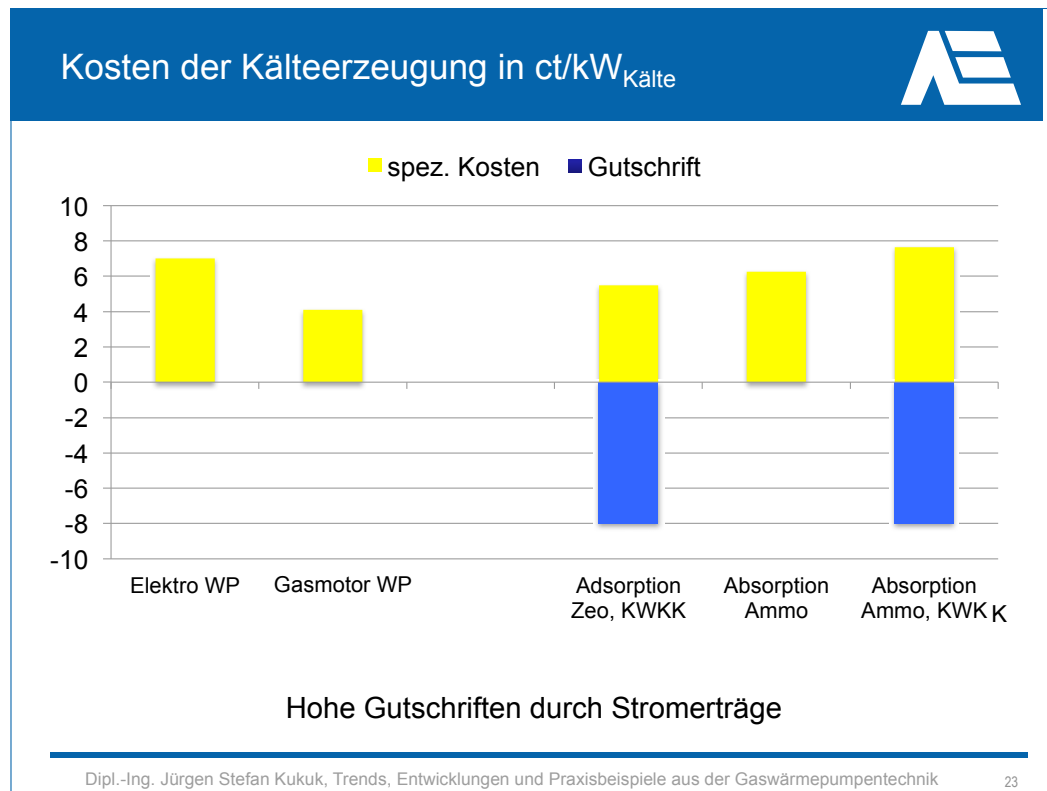
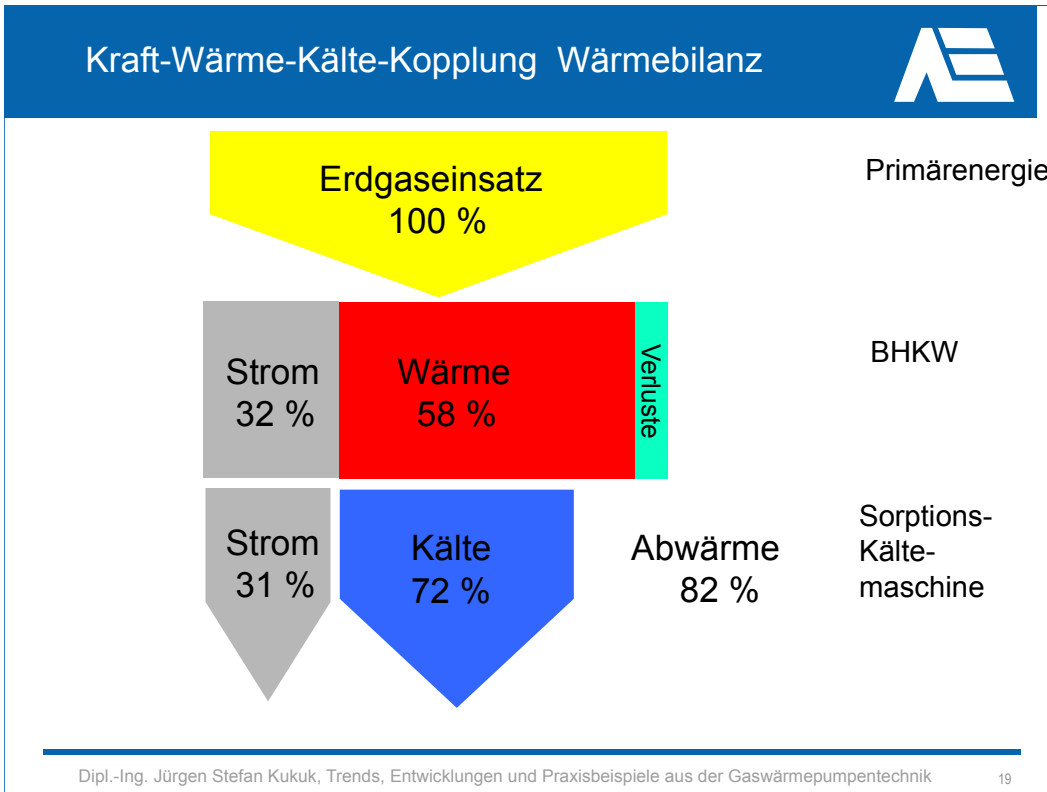
Technologie	Baugröße Kälteleistung	Temp. max min	Einsatzbeispiel
Absorption NH ₃	18 – 8.000 kW	+ 65 °C - 20 °C	Prozesskühlung
Absorption LiBr	20 – 100.000 kW	+ 40 °C + 2 - 4 °C	Klimatisierung; Kühlung
Adsorption Zeolith	10 - 40 kW	+ 30 °C + 4 - 6 °C	Gebäudekühlung

Kosten der Kälteerzeugung

Die Kosten der Kälteerzeugung im KWKK-Prozess müssen gemeinsam mit den Stromerlösen betrachtet werden. KWKK-Anlagen setzen gegenüber der elektrischen Kälteerzeugung höhere Investitionen für ein BHKW und das Kälteaggregat voraus. Diese können aber gegenüber elektrischen Kühlaggregaten durch die geringeren Energiekosten und Stromgutschriften aus dem BHKW schnell amortisiert werden.

Betrachtet man die reinen Betriebskosten, decken in der Regel die Stromerlöse bereits die Kosten für das Gas als Einsatzenergie. Als Einnahmeposition stehen somit die Kälte, die Abwärme und der eingesparte elektrische Strom gegenüber.

Die Investitionskosten belaufen sich für kleine Anlagen auf rund 4.000 EUR/kW Kälteleistung, bei großen Anlagen auf rund 1800 EUR/kW.



Einsatzbereiche von KWKK-Anlagen

Ammoniak-Absorptionsanlagen werden zumeist außerhalb geschlossener Räume zur industriellen Kälteerzeugung eingesetzt. In der Lebensmittelherstellung erzeugen diese Kühlkreisläufe bis zu minus 20 Grad.

Brom-Lithium-Absorptionsanlagen besorgen insbesondere Aufgaben der Klimatisierung von großen Gebäuden, Krankenhäusern, Hotels und Bürogebäuden bis hin zu Flughafengebäuden. Die Anlagen können innerhalb des Gebäudes betrieben werden. Ein wachsender Bereich sind Anwendungen zur Kühlung von IT-Zentren.

Zeolith-Adsorptionsanlagen sind eher in kleineren Anwendungen zu finden, zur Klimatisierung von Bürogebäuden oder IT-Serverräumen. Interessante Anwendung gibt es aber auch in der Industrie, z. B. der Kunststoffherstellung.

Praxisbeispiele Absorptionskältemaschine Ammoniak



Fleischerei Willms, NRW und Sachsen



BHKW im 30ft-Container und AKM im Container

Aggregate-Leistungen:
BHKW - 385/498 kW
AKM - 160/250 kW

Leistungsdaten Kälte:
VL-Temperatur: -10°C

BHKW-Laufzeit: 8400 h/Jahr

ROI: 2 ½ Jahre

Quelle: ecoenergytherm GmbH

Praxisbeispiele Adsorptionskältemaschine



Quelle: Invensor



Rechenzentrum der Stadt Marburg:
wassergekühlte Serverschränke
5 x LTC 30 mit 45 kW Kälteleistung
BHKW 25 kW
„Free cooling“ Einrichtung

Dipl.-Ing. Jürgen Stefan Kukuk, Trends, Entwicklungen und Praxisbeispiele aus der Gaswärmepumpentechnik

27

Praxisbeispiele Absorptionskältemaschine Brom-Lithium



Quelle: EAW

Anwendungsbeispiel in Erlangen; FORUM plus
BHKW 50 kWel,
EWM 50S – Erdgas WEGRACAL SE 50 mit 54 kW Kälteleistung

Dipl.-Ing. Jürgen Stefan Kukuk, Trends, Entwicklungen und Praxisbeispiele aus der Gaswärmepumpentechnik

29