



Industrielle Abwärmennutzung

Beispiele & Technologien



Dr. Brandstätter
SACHVERSTÄNDIGENBÜRO



LAND

OBERÖSTERREICH

ökologisch
Emissionen
Energieversorgung
Abwärmennutzung
ökonomisch
Kyoto
2030
effizient wirtschaftlich
unabhängigkeit
Energiepreise



Impressum

Medieninhaber und Herausgeber:

Amt der Oö. Landesregierung
Direktion Umwelt und Wasserwirtschaft
Abteilung Umweltschutz
Kärntnerstraße 10-12, 4021 Linz
E-Mail: us.post@ooe.gv.at
<http://www.land-oberoesterreich.gv.at>

Grafik: d.pfeiffer werbung, Linz
1. Auflage, Oktober 2008



Redaktion:

Dr. Roland Brandstätter
Sachverständigenbüro Brandstätter
Schererstraße 18
4020 Linz

Während die innerbetriebliche Nutzung von Abwärme in Oberösterreich bereits häufig praktiziert wird, bestehen große Potenziale an Abwärme, die außerbetrieblich genutzt werden könnten.

Diese Broschüre zeigt, wie solche Abwärmeströme international verwertet werden. Es werden interessante Formen der Nutzungsmöglichkeit von Abwärme (Heizungsmedium für Siedlungsgebiete, Niedertemperaturanwendungen in Gewerbe- und Industriebetrieben, Antriebsenergie für die Kälteerzeugung oder Umwandlung in elektrische Energie) dargestellt. Die internationale Recherche zeigt, dass in Europa eine außerbetriebliche Nutzung von Abwärme noch nicht häufig realisiert ist; die meisten Anwendungsfälle dazu gibt es in Deutschland und bei der Abwärmenutzung für Fernwärme in Skandinavien.

Best-Practice Beispiele

1	Stromerzeugung aus Abwärme im Zementwerk Lengfurt	4
2	Stromerzeugung aus Abwärme bei Gerresheimer in Essen	6
3	Kältespeicher erhöht Nutzungsgrad von Absorptionskältemaschinen für Fernkältenetz	8
4	Absorptionskältemaschinen sichern optimale Auslastung der BHKW-Module am Flughafen Köln/Bonn	10
5	Nutzung industrieller Abwärme zur Fernwärmeversorgung in Schweden	12
6	Abwärme aus drei Industrieanlagen deckt ein Drittel des Wärmebedarfs der Fernwärme Niederrhein	14
7	Gelatinefabrik versorgt Gebäude mit Abwärme mittels Wärmepumpe	16
8	Abwärme aus Walzwerk beheizt Freizeitbad	18

Technologien zur Nutzung von Abwärme

1	Umwandlung von Niedertemperatur-Abwärme in hochwertige elektrische Energie mittels ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle)	22
2	Nutzung von Abwärme für den Betrieb von Kälteanlagen	24
3	Einspeisung von Abwärme in Fern- bzw. Nahwärmenetze	26
4	Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme mittels Wärmepumpe	28





BEISPIELE

Best-Practice-Beispiele

1

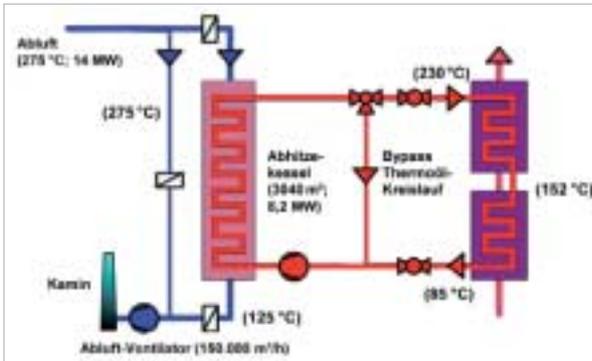


Quelle:
Bayrisches Landesamt für Umweltschutz
86179 Augsburg
www.lfu.bayern.de

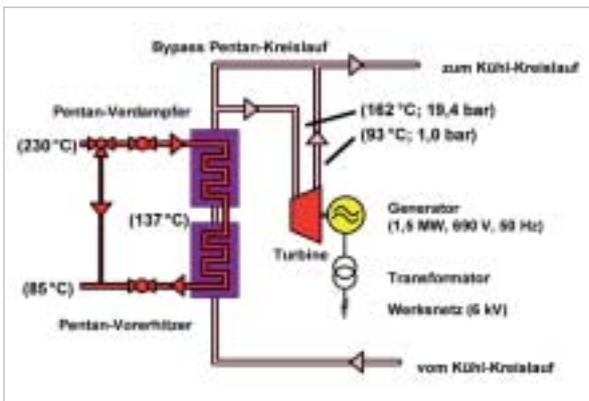
Stromerzeugung aus Abwärme im Zementwerk Lengfurt

ABWÄRME AUS ZEMENTWERK

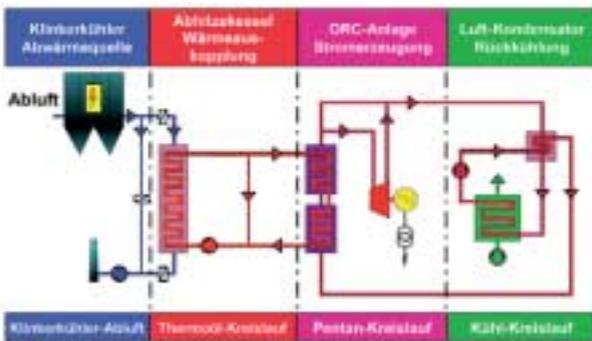
Ort:	Lengfurt/Deutschland
Technologie:	Stromerzeugung mit ORC-Prozess
Abwärmequelle:	Klinkerkühlanlage – Abluft mit 275 °C
Thermische Leistung des Wärmetauschers:	12,8 MW
Thermische Leistung im ORC-Kreislauf:	8,2 MW
Elektrische Leistung netto:	1,05 MW _{el}
Jahresertrag:	7.200 MWh _{el}
Reduktion der CO ₂ -Emissionen:	7.000 Tonnen/Jahr



Schematische Darstellung des Abhitzebeckens



Schematische Darstellung der ORC-Anlage



Schaltbild der gesamten Anlage

Die HeidelbergCement AG hat im Jahr 1999 in ihrem Werk in Lengfurt eine Vorreiterrolle übernommen und eine ORC-Anlage zur Verstromung der Abwärme aus der Klinkerkühlanlage installiert.

Da es keine innerbetriebliche Verwendung für die 275 °C heißen Abluftströme der Klinkerkühlanlage gibt und kein Bedarf an Fernwärme in der Umgebung besteht, bietet die Verstromung mittels ORC-Prozess die einzige Möglichkeit zur Nutzung der Abwärme.

Mit Hilfe der ORC-Anlage können pro Jahr 12 Prozent des Strombedarfs des Zementwerkes gedeckt werden, was einer elektrischen Energiemenge von 7.200 MWh pro Jahr entspricht.

Beschreibung des Prozesses im Zementwerk Lengfurt:

In einem Abhitzebeckens werden 150.000 m³/h Abluft von 275 auf 125 °C abgekühlt und damit ein Wärmeträgeröl von 85 auf 230 °C erwärmt. Dies entspricht einer auf das Wärmeträgeröl übertragenen thermischen Leistung von 12,8 MW. Mit dem Wärmeträgeröl wird das Arbeitsmittel Pentan verdampft, welches mit 162 °C in die Turbine eintritt. Die Verdampferleistung beträgt 8,2 MW. Das Arbeitsmittel wird in der Turbine von 19,4 auf 1 bar entspannt und auf 93 °C abgekühlt.

Die elektrische Leistung der Anlage beträgt rund 1,2 MW_{el}. Abzüglich der elektrischen Leistung der Nebenaggregate ergibt sich eine Nettoleistung von 1,05 MW_{el}, was einem elektrischen Wirkungsgrad von 12,8 % entspricht.

Durch den geringeren Strombezug aus dem öffentlichen Netz kann im Zementwerk Lengfurt der jährliche CO₂-Ausstoß um rund 7.000 Tonnen verringert werden. Dadurch wird aktiv zum Klimaschutz beigetragen.

Aus wirtschaftlicher Sicht ist dieses Projekt bei langfristiger Betrachtung sinnvoll. Die Investitionskosten betragen umgerechnet 4 Millionen Euro bzw. 2,65 Millionen Euro abzüglich einer Förderung für den Innovationscharakter der Anlage. Die Betreiber rechneten bei einem Strompreis von 5 bis 6 Cent/kWh mit einer Amortisationszeit von 8 bis 10 Jahren. Bei heutigen Strompreisen von etwa 8 Cent/kWh verkürzt sich der Rückfluss des eingesetzten Kapitals auf unter 7 Jahre.

2

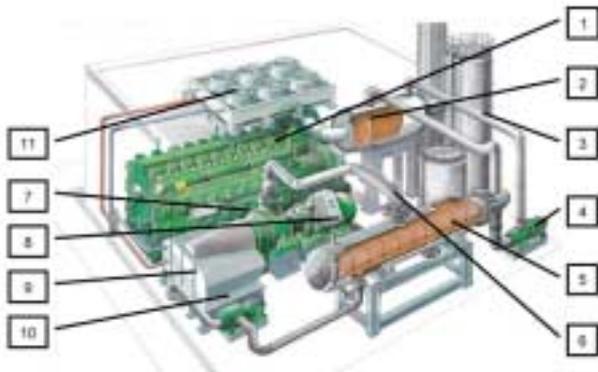


Quelle:
Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH
D-18211 Bargeshagen
www.gmk.info

Stromerzeugung aus Abwärme bei Gerresheimer in Essen

ABWÄRME AUS SCHMELZWANNEN

Ort:	Essen/Deutschland
Technologie:	Stromerzeugung mit ORC-Prozess
Abwärmequelle:	Schmelzöfen – Abgasströme mit 370 °C
Thermische Leistung des Wärmetauschers:	2,6 MW
Elektrische Leistung brutto:	570 kW _{el}
Jahresertrag:	4.000 MWh _{el}
Reduktion der CO ₂ -Emissionen:	2.400 Tonnen/Jahr



- 1 Abwärmequelle
- 2 Abgaswärmetauscher
- 3 Thermoölkreislauf
- 4 Thermoölpumpe
- 5 Vorwärmer-Verdampfer-Einheit
- 6 Frischdampfleitung
- 7 Turbine
- 8 Generator
- 9 Wärmetauscher-Kondensator-Einheit
- 10 Kondensat-Speisepumpe
- 11 Kühlsystem

Technische Daten der Anlage:

Abwärmeleistung:	4,4 MW
Thermische Leistung des Wärmetauschers:	2,6 MW
Generatorleistung brutto:	570 kW _{el}
Elektrische Leistung netto:	500 kW _{el}
Verdampfungsdruck:	20 bar
Kondensatortemperatur:	40 °C
Elektrischer Wirkungsgrad brutto:	22 %
Elektrischer Wirkungsgrad netto:	19 %

Die Gerresheimer Essen GmbH, ein Unternehmen der Gerresheimer Gruppe, einem führenden Hersteller von Glas und Kunststoff für die Pharma-Industrie, bekennt sich ausdrücklich zu einem verantwortungsvollen Umgang mit der Natur und ihren Ressourcen. Deshalb startete der Betrieb gemeinsam mit der GMK Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH mit Sitz in Bargeshagen/Mecklenburg-Vorpommern und der URBANA AGIMUS Contracting GmbH aus Braunschweig ein Pilotprojekt für die Installation eines ORC-Moduls zur Nutzung anfallender Abwärme. Das innovative Projekt wurde von der Deutschen Bundesumweltstiftung gefördert. Durch den Einsatz eines ORC-Prozesses wird bis jetzt ungenutzt an die Umgebung abgegebene Abwärme von zwei Schmelzöfen in hochwertige elektrische Energie umgewandelt. Die Inbetriebnahme der Anlage ist für das Jahr 2009 geplant.

Beschreibung des Prozesses:

Der Abgasstrom der Schmelzöfen beträgt 33.000 Nm³/h und hat ein Temperaturniveau von 370 °C. Bezogen auf Umgebungstemperatur entspricht das einer Abwärmeleistung von ca. 4,4 MW. In einem Wärmetauscher mit einer Leistung von 2,6 MW wird das Abgas auf 180 °C heruntergekühlt und erwärmt dabei ein Thermoöl auf 270 °C. Eine stärkere Abkühlung ist aus technischen Gründen zur Vermeidung von Korrosionsschäden nicht möglich.

Das Thermoöl verdampft das organische Arbeitsmedium WL 220 bei einem Druck von unter 20 bar. Der Arbeitsmitteldampf wird anschließend in einer einstufigen Dampfturbine ins Vakuum hinein entspannt und treibt einen Generator mit einer elektrischen Leistung von 570 kW_{el} an. Abzüglich der elektrischen Leistung der Nebenaggregate liegt die elektrische Nettoleistung der Anlage bei knapp 500 kW_{el}.

Das expandierte Arbeitsmittel wird einem Zwischenwärmetauscher zugeführt und beim letzten Schritt des Kreisprozesses im Kondensator verflüssigt und auf ca. 40 °C heruntergekühlt.

Die Kondensatorleistung von 2 MW wird als Abwärme an die Umgebung abgegeben, was aus thermodynamischen Gründen unvermeidbar ist.

Bei einer angenommenen Betriebszeit von mindestens 8.000 Volllaststunden können pro Jahr 4.000 MWh elektrischer Strom generiert werden. Dies entspricht in etwa dem jährlichen Strombedarf von 1.200 Haushalten. Dieser wird zur Eigenstromversorgung benutzt und muss deshalb nicht aus dem öffentlichen Netz bezogen werden, was im Zuge steigender Energiepreise die Kosten für den Energiebezug nachhaltig verringert. Unter Berücksichtigung des deutschen Strommixes können mit der Errichtung dieser Anlage die CO₂-Emissionen um 2.400 Tonnen pro Jahr reduziert werden. Diese innovative Technik ist somit aktiver Klimaschutz, der sich auch wirtschaftlich rechnet.

3



Quelle:
FIZ Karlsruhe, Büro Bonn
Kaiserstraße 185-197
53113 Bonn
www.bine.info



Kältespeicher erhöht Nutzungsgrad von Absorptionskältemaschinen für Fernkältenetz

ABWÄRME VON BHKW

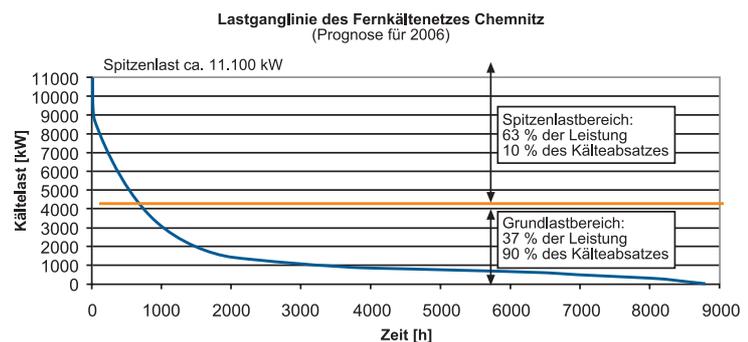
Ort:	Chemnitz/Deutschland
Technologie:	Absorptionskältemaschine mit Kältespeicher
Abwärmequelle:	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in Kohlekraftwerk
Kälteleistung der Absorptionskältemaschinen:	4,1 MW
Speichergröße:	3.500 m ³
Auslegungsleistung des Kältenetzes:	20 MW
Länge des Kältenetzes:	4,2 km
Kaltwasser-Vorlauftemperatur:	5 bis 7 °C

In Chemnitz, im deutschen Bundesland Sachsen, wurde bereits im Jahr 1973 eines der ersten Fernkältenetze errichtet. Die anfänglich installierte Kompressionskältemaschine, welche mit dem ozonschichtschädigenden Kältemittel FCKW betrieben wurde, wurde im Jahr 1993 durch eine Absorptionskältemaschine mit 2,2 MW Kälteleistung ersetzt. Bis 2005 wurde das Fernkältenetz auf 4,2 km Trassenlänge ausgebaut und um eine zusätzliche Absorptionskältemaschine mit 1,5 MW sowie zwei Kompressionskältemaschinen mit 3 bzw. 1,2 MW Kälteleistung erweitert. Im Jahr 2005 betrug die gesamte installierte Kälteleistung rund 8 MW. Dabei dienen die Absorptionskältemaschinen zur Deckung der Grundlast und die Kompressionskältemaschinen gehen in Spitzenlastzeiten in Betrieb. Da sich zwischen dem Jahr 2000 und 2005 der Kälteabsatz verdoppelt hat und für die folgenden Jahre eine Erhöhung der Anschlussleistung um zusätzliche 5 MW prognostiziert wurde, waren die Betreiber dazu gezwungen, ihre Kapazitäten zu erweitern. Der erhöhte Kühlbedarf in Chemnitz ist vor allem auf den architektonischen Trend zu Fassaden mit hohem Glasanteil und erhöhten Komfortansprüchen zurückzuführen.

Nach ersten Abschätzungen fielen die Varianten zur Anschaffung einer zusätzlichen Kompressionskältemaschine und der Bau eines Kältespeichers für die bestehenden Absorptionskältemaschinen in die engere Auswahl. Bei der Prüfung der Variante mit dem Kältespeicher wurden folgende Vorteile erarbeitet:

1. Absorptionskältemaschinen, welche Abwärme aus industriellen Prozessen oder von kalorischen Kraftwerken nutzen, können die anfallende Abwärme in den kühleren Nachtstunden nur zu einem geringen Teil verwerten. Durch den Bau eines Kältespeichers können die Absorptionskältemaschinen vermehrt auch in der Nacht betrieben werden und erreichen dadurch eine bessere Auslastung. Eine Studie ergab, dass durch die Errichtung eines 3.500 m³ fassenden Kaltwasser-Tank-Speichers bis zu 2 GWh/a mehr Abwärme genutzt werden können. In Chemnitz steigt der Gesamtwirkungsgrad des Kohlekraftwerks durch die vermehrte Nutzung der Abwärme um ein Prozent. Außerdem muss die zusätzlich genutzte Abwärme nicht über Kühltürme abgeführt werden.
2. Da während der heißen Mittagszeit der Speicher entleert wird, können die Leistungsspitzen der Kältemaschinen reduziert werden. Daraus ergibt sich, dass die Kompressionskältemaschinen bei gleichbleibendem Kältebedarf rund 150 MWh/a weniger elektrischen Strom für die Kälteerzeugung beziehen müssen.

3. Im Allgemeinen können Kältemaschinen durch den Einsatz von Kältespeichern kleiner dimensioniert werden. Dadurch arbeiten sie vermehrt im Auslegungspunkt und erzielen so bessere Jahresnutzungsgrade.



4. Neben den Lastspitzen der Kälteversorgung können durch den verringerten Einsatz von elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen auch die elektrischen Lastspitzen des gesamten Stromnetzes reduziert werden, da diese in der Regel zeitgleich mit den Kühllastspitzen auftreten. Die Betreiber des Fernkältenetzes profitieren davon auch aus wirtschaftlicher Sicht, da die Kältemaschinen vermehrt an Tageszeiten mit niedrigen Stromtarifen betrieben werden können.
5. Kältespeicher können beim Ausfall der Kältemaschinen kurzfristig die Notversorgung mit Kälte übernehmen.
6. Speicher sind trotz der zusätzlichen Speicherverluste, welche durch ausreichend Wärmedämmung minimiert werden, wirtschaftlicher als schwach ausgelastete Kältemaschinen.

Aufgrund dieser und weiterer Erkenntnisse wurde der Kältespeicher im Sommer 2007 in Betrieb genommen. Um eine optimale Schichtung im Speicher zu erzielen, wurden für den 17 Meter hohen Speicher spezielle Radialdiffusoren, welche das einfließende Wasser beruhigen, entwickelt.

Bis auf diese Ausnahme konnte der Speicher aus Standardkomponenten gebaut werden, was sich positiv auf die Investitionskosten auswirkte. Außerdem mussten keine hitzebeständigen Wärmedämmmaterialien eingesetzt werden, welche einerseits ein Erwärmen des Speichers und andererseits ein Zerstören der Schichtung verhindern.

4



Quelle:

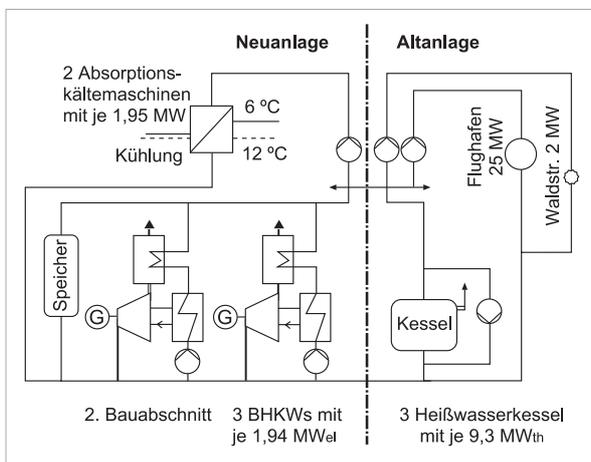
Fernwärmeverbund Niederrhein
Duisburg/Dinslaken GmbH & Co Kg
46537 Dinslaken
www.fernwaerme-niederrhein.de

Absorptionskältemaschinen sichern optimale Auslastung der BHKW-Module am Flughafen Köln/Bonn

ABWÄRME VON BHKW

Ort:	Köln/Deutschland
Technologie:	Lithiumbromid-Absorptionskältemaschine
Abwärmequelle:	Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung in Heizkraftwerk
Kälteleistung der Absorptionskältemaschinen:	2 x 1,95 MW
Abwärmeleistung zum Betrieb der Kältemaschinen:	2 x 2,6 MW
Temperatur der Abwärmequelle:	95 °C
Kaltwasser-Vorlauftemperatur:	6 °C

Größere Industriebetriebe setzen aus Gründen der Versorgungssicherheit oft auf Eigenstromerzeugung mittels Blockheizkraftwerken (BHKWs), welche neben der Stromerzeugung die anfallende Abwärme nutzen und dadurch einen höheren Gesamtwirkungsgrad erzielen. Die Wirtschaftlichkeit solcher Anlagen wird vor allem durch eine relativ konstante und gut ausgelastete Stromerzeugung gewährleistet.



Technische Daten der Anlagen jeweils pro Modul:

2 Absorptionskältemaschinen	
Kälteleistung	1,95 MW
Absorptionsmittel	Lithiumbromid
Auslegungstemperaturniveaus des Antriebes	95/70 °C
Temperaturniveaus des Kaltwassers	6/12 °C
Leistungszahl	0,75
3 BHKW-Module	
Elektrische Leistung	1,94 MW
Thermische Leistung	2,20 MW
Temperaturniveau der Abwärme	95 °C
Wirkungsgrad	> 80 %
3 Kompressionskältemaschinen	
Kälteleistung	1,65 MW
Elektrische Antriebsleistung	320 kW
3 Heißwasserkessel (Bestand)	
Thermische Leistung	9,30 MW

Deshalb sind in BHKWs Abnehmer, welche konstant auch in den Sommermonaten Prozesswärme benötigen, wichtig für den wirtschaftlichen Betrieb der Anlage, da dadurch auch mehr Strom generiert werden kann. Im konkreten Fall des Flughafens Köln/Bonn besteht aber kein hoher Bedarf an Wärme im Sommer. Deshalb bietet die Abwärmenutzung zur Kälteerzeugung mit Absorptionskältemaschinen eine optimale Lösung, da dadurch das BHKW zum Großteil gut ausgelastet werden kann.

Folgende Punkte waren in der Planungsphase entscheidend für die Errichtung einer Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung (KWKK):

- Deckung der Grundlast des Strombedarfs am Flughafen
- Wärme- und Kälteversorgung des Flughafen-Areals
- Optimierte Anlagenauslastung durch Wärme- und Kältebereitstellung
- Senkung der CO₂-Emissionen (effiziente Primärenergienutzung)
- Wirtschaftlichkeit

Ausgehend von diesen technischen, ökonomischen und auch ökologischen Rahmenbedingungen wurde ein optimal aufeinander abgestimmtes Anlagenkonzept entwickelt und 1999 in Betrieb genommen.

Die drei bestehenden erdgas- und erdölbefeuerten Heizkessel mit einer Leistung von jeweils 9,3 MW bleiben auch nach Installation der BHKW-Module in Betrieb, um die Spitzenlast des Wärmebedarfs zu decken. Die drei BHKW-Module stellen jeweils eine elektrische Leistung von 1,94 MW und eine Abwärmeleistung von 2,2 MW bei 95 °C.

Die Temperaturniveaus der Abwärme der BHKWs und der zwei Absorptionskältemaschinen wurden gezielt aufeinander abgestimmt. Deshalb wurden bewusst einstufige Absorptionskältemaschinen installiert, die zwar einen etwas niedrigeren Wirkungsgrad als zweistufige Absorptionskältemaschinen aufweisen, dafür aber bei niedrigeren Antriebstemperaturen effizienter Kälte liefern. Durch das niedrigere Temperaturniveau der Antriebswärme kann die Effizienz der Stromerzeugung gesteigert werden. Die zwei Absorptionskältemaschinen stellen eine Kälteleistung von je 1,95 MW bei einer thermischen Antriebsleistung von 2,6 MW bereit.

Weiters wurde in das Netz ein Wärmespeicher mit einem Volumen von 120 m³ eingebaut, um abnehmerseitige Schwankungen des Wärmebedarfs im Laufe eines Tages ohne ein Takten der BHKW-Module auszugleichen. Außerdem wurden zwei Kompressionskältemaschinen mit einer Kälteleistung von jeweils 1,65 MW zur Spitzlastdeckung des Kältebedarfs integriert.

Die höheren Investitionskosten für diese komplexe Anlagenkombination im Vergleich zu Standard-Anlagen können durch den effizienteren und günstigeren Betrieb wieder ausgeglichen werden.

5



Quelle:

The Swedish District Heating Association
101 53 Stockholm
www.svenskfjarvarme.se

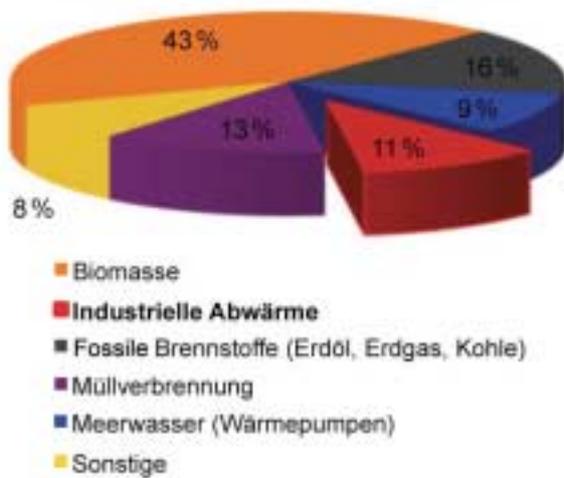
Euroheat & Power
The International Organisation for District Heating,
District Cooling and Combined Heat and Power
1150 Brussels
www.euroheat.org

Nutzung industrieller Abwärme zur Fernwärmeversorgung in Schweden

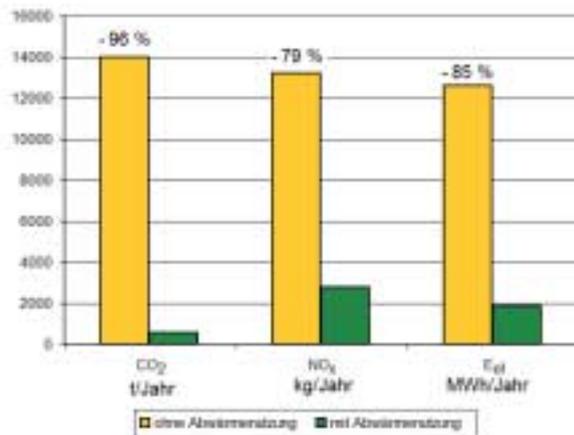
ABWÄRME AUS KARTONFABRIK

Ort:	Lindsberg/Schweden
Technologie:	Einspeisung in ein Fernwärmenetz
Abwärmequelle:	Kartonerzeugung
Temperaturniveau:	72 °C (mit Prozessdampf auf 86 °C angehoben)
Leistung des Fernwärmenetzes:	20 MW
Wärmemenge:	82.000 MWh
Reduktion der CO ₂ -Emissionen:	13.500 Tonnen/Jahr

Verteilung der Wärmequellen im schwedischen Fernwärmenetz



Reduktion von Emissionen und Energiebedarf



In Schweden nimmt Fernwärme bei der Wärmeversorgung eine besonders wichtige Rolle ein. Bei einer Netzlänge von knapp 15.000 Kilometern werden pro Jahr etwa 50 TWh Wärme vom Fernwärmenetz bezogen. Zum Vergleich: In Österreich betrug im Jahr 2006 der energetische Endverbrauch für Raumheizung und Warmwasser 93 TWh, wovon 17 TWh durch Fernwärme bereitgestellt wurden.

Zur Einspeisung der Wärme in das schwedische Netz werden rund 60 TWh Brennstoffe und andere Wärmequellen benötigt. Ein beachtlicher Anteil von 11 Prozent der eingespeisten Wärme, das entspricht 6,4 TWh, stammt aus industrieller Abwärme. Während der Einsatz fossiler Brennstoffe zwischen dem Jahr 2001 und 2005 von 11,4 auf 9,1 TWh zurückging, ist die Nutzung industrieller Abwärme im selben Zeitraum mit einer Erhöhung von 3,7 auf 6,4 TWh um 73 Prozent angestiegen.

Ein Vorzeigeprojekt zur Nutzung industrieller Abwärme ist die Versorgung der 23.500 Einwohner zählenden schwedischen Stadt Lindesberg und der Ortschaft Vedeväg mit Abwärme der Kartonfabrik Assi Domän. Mit 82.000 MWh bereitgestellter Wärme, deckt der Betrieb 98 Prozent des Fernwärmebedarfs der Stadt. Der Bau einer 18 km langen Fernwärmeleitung mit einer Übertragungsleistung von 20 MW zwischen der Kartonfabrik und der Stadt ist bei diesem Projekt wirtschaftlich vertretbar.

Die Abwärme, die mit einer Temperatur von 72 °C anfällt, wird mit 480 °C heißem Prozessdampf auf die Vorlauftemperatur des Fernwärmenetzes von 86 °C aufgeheizt.

Durch die Nutzung der überschüssigen Abwärme konnten die CO₂- und NO_x-Emissionen stark reduziert werden, und der Bedarf an elektrischer Energie im Versorgungsgebiet konnte ebenfalls um 85 Prozent gesenkt werden. Der geplante Ausbau des Fernwärmenetzes auf die Ortschaft Frövi würde noch weitere Einsparungen mit sich bringen.

6



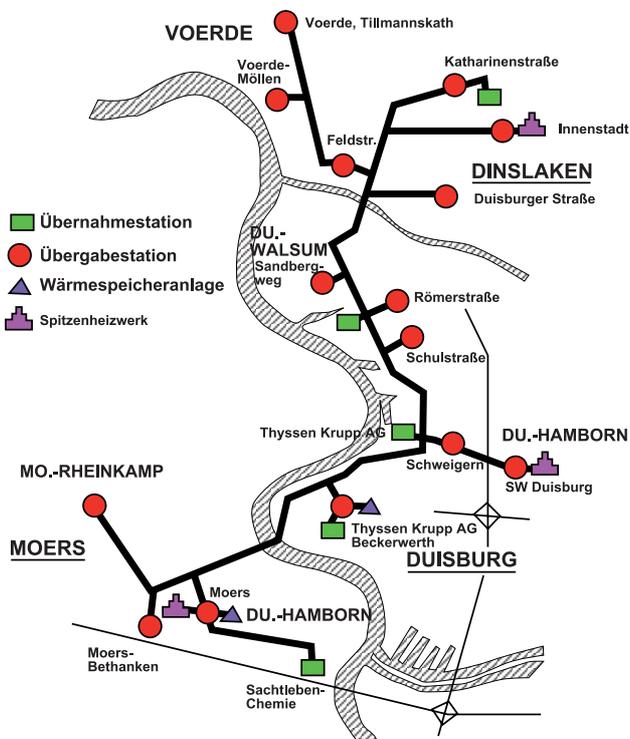
Quelle:

Fernwärmeverbund Niederrhein
Duisburg/Dinslaken GmbH & Co. KG
46537 Dinslaken

Abwärme aus drei Industrieanlagen deckt ein Drittel des Wärmebedarfs der Fernwärme Niederrhein

ABWÄRME AUS STAHLWERKEN UND CHEMIEFABRIK

Ort:	Duisburg/Deutschland
Technologie:	Einspeisung in ein Fernwärmenetz
Abwärmequellen:	zwei Stahlwerke, Chemiefabrik
Temperaturniveaus:	140 bis 600 °C
Wärmemenge:	350 GWh
Reduktion der CO ₂ -Emissionen:	90.000 Tonnen/Jahr



Die Firmenphilosophie der Fernwärme Niederrhein, dass Ökonomie und Ökologie keine Gegensätze sein müssen, wurde durch Nutzung von Wärme aus Kraft-Wärme-Kopplungsanlagen und Industrieabwärme in die Praxis umgesetzt.

Zur optimalen Ausnutzung der Abwärme wurde der Fernwärmeverbund Niederrhein Duisburg Dinslaken gegründet, welcher mit einem 29 km langen Primärnetz über 15 Übergabestationen mit einer Anschlussleistung von 550 MW die Fernwärme an Sekundärnetze der Fernwärme Niederrhein und der Stadtwerke Duisburg abgibt.

Das Netz der Fernwärmeversorgung Niederrhein mit knapp 800 MW Anschlussleistung ist über 500 km lang und versorgt ein Gebiet mit 500.000 Einwohnern mit Fernwärme. Von den 1.100 GWh eingespeister Fernwärme werden etwa 350 GWh aus industrieller Abwärme bezogen.

Die industrielle Abwärme wird von zwei Stahlwerken der Thyssen-Krupp AG und der Produktionsanlage der Sachtleben Chemie GmbH geliefert.

Im Hochofen Duisburg-Schwelgern der ThyssenKrupp AG erhitzen 250 °C heiße Verbrennungsgase über Wärmeübertrager das Fernwärmewasser. Das Warmbandwalzwerk Beeckerwerth der ThyssenKrupp AG stellt mit 450 °C bis 600 °C heißen Abgasen Wärme für das Fernwärmenetz zur Verfügung. Die jährlich eingespeiste Wärmemenge der beiden Stahlwerke der ThyssenKrupp AG beträgt 250 GWh.

Die Schwefelsäureanlage Duisburg-Homberg der Sachtleben Chemie GmbH liefert weitere 100 GWh Wärme pro Jahr. Die Wärme stammt aus der Schwefelsäureproduktion, welche für die Erzeugung von Titandioxid verwendet wird. Die gewonnene Abwärme wird im Heizkraftwerk Sachtleben auf 140 °C erhitzt, um ein geeignetes Temperaturniveau für die Fernwärmeversorgung zu erreichen.

Durch die Nutzung der industriellen Abwärme wird der Kohlendioxidausstoß jährlich um 90.000 Tonnen reduziert und der Wärmebedarf von 100.000 Haushalten gedeckt.



Quelle:
ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen
und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
10785 Berlin
www.asue.de

Gelatinefabrik versorgt Gebäude mit Abwärme mittels Wärmepumpe

ABWÄRME AUS GELATINEFABRIK

Ort:	Göppingen/Deutschland
Technologie:	Gasmotor-Wärmepumpe
Abwärmequelle:	Kühlturmwasser
Temperaturniveau der Abwärme:	30 °C
Leistung der Wärmequelle:	400 kW
Leistung der Wärmepumpe:	700 kW
Brennstoffeinsparung/Jahr:	1.750 MWh _{BS}
Reduktion der CO ₂ -Emissionen:	350 Tonnen/Jahr

Ein Vorzeigeprojekt zur Nutzung von Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau ist in der Deutschen Gelatinefabrik Stoess in Göppingen zu finden. Mit einer Gaswärmepumpe wird das 30 °C warme Kühlturmwasser für Heizzwecke nutzbar gemacht.

Die Abwärme stellt die Grundlast zur Versorgung folgender Gebäude dar:

- eine Schule mit Schwimmbad
- ein Verwaltungsgebäude mit Lagerräumen
- Bauhof der Stadt Göppingen
- mehrere Mehrfamilienhäuser

Nur an sehr kalten Tagen muss mit einem Gaskessel zugeheizt werden.

Technische Beschreibung der Anlage:

Im Verdampfer mit einer Leistung von 400 kW wird ein Kältemittel mit einer Verdampfungstemperatur von 15 °C verdampft, wo es mit 25 °C austritt. Der Gasmotor der Wärmepumpe mit einer Leistung von 122 kW verdichtet das Kältemittel und führt es dem Kondensator mit einer Temperatur von 65 °C zu. Die thermische Leistung des Kondensators beträgt 500 kW. Durch Nutzung der Motorenabwärme beträgt die thermische Leistung der gesamten Anlage 700 kW.

Das Nahwärmenetz wird mit einer Vorlauftemperatur von 62 °C und einer Rücklauftemperatur von 40 °C betrieben. Durch den Einsatz eines 20 m³ großen Heizwasserspeichers kann der Gasmotor ständig im optimalen Betriebspunkt gefahren werden. Der COP der Anlage beträgt 3 und die Jahresarbeitszahl liegt bei 2. Da die Wärmepumpe nur die Grundlast zur Verfügung stellt, kann sie 5.000 Stunden im Jahr betrieben werden. Die jährlichen Brennstoffeinsparungen betragen etwa 1.750 MWh. Das sind umgerechnet knapp 80.000 Euro und entsprechen einem CO₂-Ausstoß von 350 Tonnen.

Die Anlage läuft seit 1983 zuverlässig und praktisch störungsfrei. Im Jahr 2001 wurde der Motor inklusive Verdichtereinheit modernisiert. Der Rest der Anlage läuft seit über 20 Jahren ohne nennenswerte Störungen.

8



Quelle:
ASUE Arbeitsgemeinschaft für sparsamen
und umweltfreundlichen Energieverbrauch e.V.
10785 Berlin
www.asue.de

Abwärme aus Walzwerk beheizt Freizeitbad

ABWÄRME AUS VERPACKUNGSERZEUGUNG

Ort:	Plettenberg/Deutschland
Technologie:	Gasmotor-Wärmepumpe
Abwärmequellen:	Walzöl
Temperaturniveau der Abwärme:	45 bis 50 °C
Leistung der Wärmepumpe:	1,2 MW
Brennstoffeinsparung/Jahr:	3.000 MWh _{BS}
Reduktion der CO ₂ -Emissionen:	700 Tonnen/Jahr

Ein Paradebeispiel zur Abwärmenutzung mittels Wärmepumpe stellt die Kooperation zwischen dem Werk Ohle der Alcan Deutschland GmbH und dem Plettenberger Freizeitbad AquaMagis im deutschen Bundesland Nordrhein-Westfalen dar.

Bei der Produktion von Verpackungen und Menüschildern aus Aluminium erwärmt sich das Walzöl auf 45 bis 50 °C. Bis zum Ende des Jahres 2003 musste die anfallende Abwärme ungenutzt und aufwendig über einen Kühlturm abgeführt werden. Jetzt wird die Temperatur der Abwärme mit einer, mit einem Gasmotor betriebenen, Wärmepumpe auf 75 °C angehoben. Der Gasmotor selbst liefert mit dem Ölkühler, dem Motorkühler und dem Abgas zusätzliche Wärme. Insgesamt liefert das System bis zu 1,2 MW thermische Leistung und somit mehr als zur Deckung der Grundlast des Freizeitbades benötigt wird. Deshalb ist der Gasmotor mit einer elektromagnetischen Kupplung, mit einem Generator mit einer maximalen Leistung von 220 kW_{el}, verbunden, der die gesamte elektrische Energie ins Netz einspeist. Der Generator wird in Abhängigkeit des Wärmebedarfs des Freizeitbades betrieben. Benötigt AquaMagis an kalten Tagen eine hohe thermische Leistung, so kann die Generatorleistung auf bis zu 25 kW_{el} heruntergeschaltet werden. Diese Betriebsweise garantiert, dass der Motor immer im wirtschaftlichen Vollastbetrieb arbeitet. Im Sommer läuft der Gasmotor zur Gänze im BHKW-Betrieb.

Die Wärme wird über eine 740 m lange Leitung vom Werksgelände zum Freizeitbad transportiert. Die Vorlauftemperatur beträgt 75 °C und die Rücklauftemperatur liegt zwischen 45 und 50 °C.

Diese Anlage hat nicht nur Innovationscharakter, sie ist auch wirtschaftlich: Als im Jahr 1999 erste Vorerhebungen zu diesem Projekt unternommen wurden, setzte es sich bei der Bewertung der Wirtschaftlichkeit gegenüber einer direkten Beheizung des Freizeitbades mit einem Gaskessel durch, obwohl damals die Gaspreise wesentlich niedriger als heute waren. Seit dem Jahr 2000 ist der Gaspreis um über 70 Prozent angestiegen.

Die Firma Alcan gibt die anfallende Wärme kostenlos ab. Trotzdem profitiert auch das Werk von der Kooperation mit dem Freizeitbad, da weniger Wärme über Kühltürme abgeführt werden muss.

Durch die verringerte Wärmeabfuhr über den Kühlturm konnte die Bildung von Nebelschwaden sichtbar gemindert werden. Das Freizeitbad erspart sich ein Grundlast-Heizsystem und muss somit rund 3.000 MWh thermische Energie weniger aufbringen, was eine Reduktion der Kohlendioxidemissionen von 700 Tonnen pro Jahr mit sich bringt.



TECHNOLOGIE

Technologien zur Nutzung von Abwärme

1

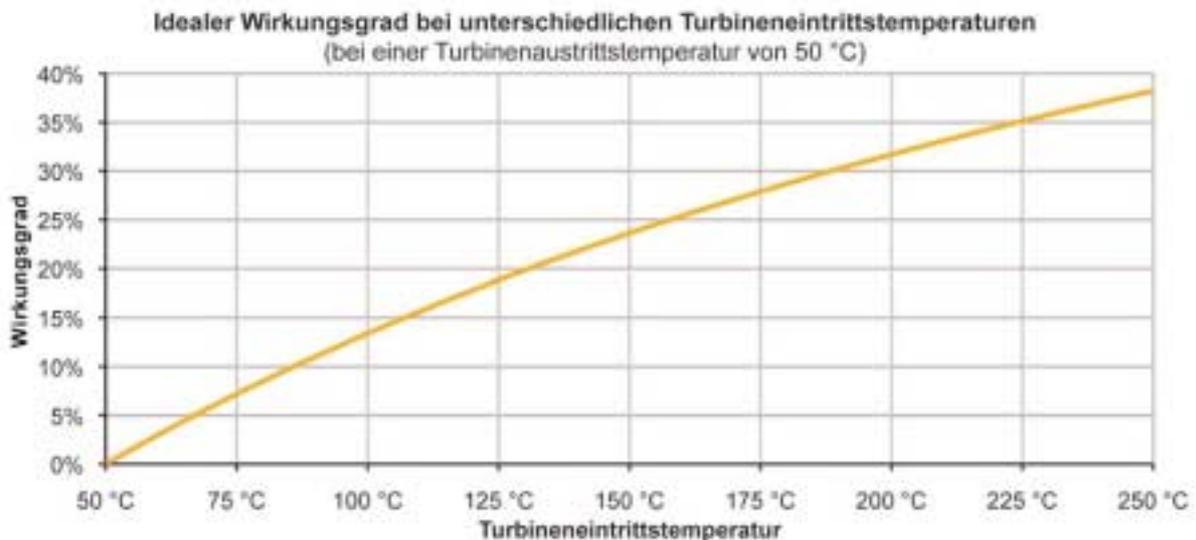
Umwandlung von Niedertemperatur-Abwärme in hochwertige elektrische Energie mittels ORC-Prozess

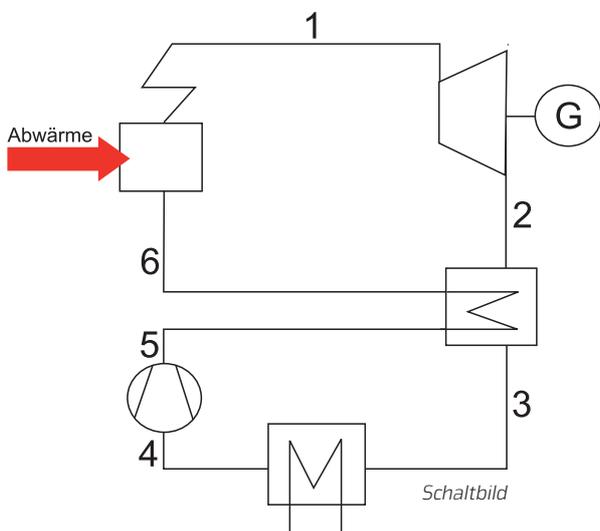
Mit dem Organic Rankine Cycle (ORC) kann selbst Abwärme auf relativ niedrigem Temperaturniveau in hochwertige elektrische Energie umgewandelt werden. Mit der Möglichkeit zur Einspeisung in das öffentliche Netz kann die Abwärme auch noch genutzt werden, wenn kein Bedarf an Wärme oder Kälte im Betrieb oder in der Umgebung des Betriebes besteht.

Im Gegensatz zu herkömmlichen Wasserdampfprozessen wird beim ORC-Prozess an der Stelle von Wasserdampf ein organisches Arbeitsmedium, welches bereits bei niedrigeren Temperaturen als Wasser vollständig verdampft, eingesetzt. Deshalb ist es nicht notwendig, Wärme auf einem hohen Temperaturniveau für den Betrieb einer Turbine zu verwenden. Abhängig vom

Temperaturniveau der Wärmequellen können unterschiedliche Arbeitsmittel gewählt werden, um die Wärme optimal zu nutzen. In der Regel wird die Wärme nicht direkt, sondern über einen Thermoölkreislauf an das organische Arbeitsmedium übertragen. Entscheidend für den Ertrag und folglich der Wirtschaftlichkeit einer ORC-Anlage ist das Temperaturniveau der Abwärme.

Das Diagramm zeigt den idealen Wirkungsgrad in Abhängigkeit der Turbineneintrittstemperatur. Die real erzielten Wirkungsgrade liegen etwa um 15 bis 50 Prozent darunter. Das Temperaturniveau der Abwärme liegt wegen der Verluste bei den Wärmeübertragern und im Thermoölkreislauf über der Turbineneintrittstemperatur.

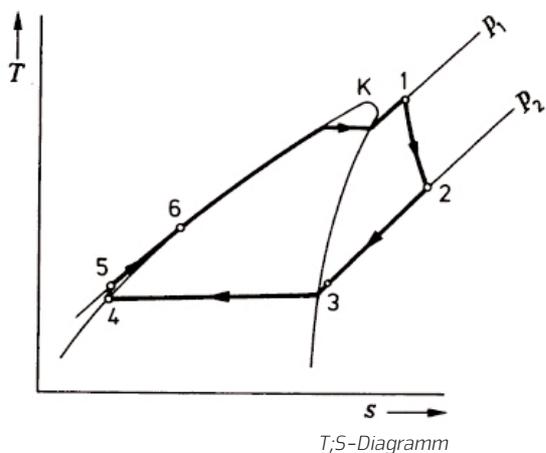




Das Schaltbild und das T;S-Diagramm zeigen den Verlauf eines ORC-Prozesses:

- 1 → 2: Expansion des organischen Arbeitsmittels in einer Turbine
- 2 → 3: Innerer Wärmetausch zur Verbesserung des Wirkungsgrades
- 3 → 4: Kondensation des Arbeitsmittels
- 4 → 5: Druckerhöhung in einer Pumpe
- 5 → 6: Vorwärmung durch inneren Wärmetausch
- 6 → 1: Erwärmung, Verdampfung und Überhitzung des Arbeitsmediums durch die Abwärmequelle

Die erzielbaren Wirkungsgrade im Vergleich zu herkömmlichen kalorischen Kraftwerken scheinen auf den ersten Blick sehr niedrig. Dafür ist es aber nicht notwendig, hohe Temperaturen im Verdampfer zu erzielen. Deshalb befinden sich die Einsatzgebiete von ORC-Modulen unter anderem in der Geothermie und in der Abwärmenutzung. In den letzten Jahren erlangte diese Technologie vor allem durch den Einsatz in Biomassekraftwerken Marktreife.



Aus wirtschaftlicher Sicht ist eine ORC-Anlage interessant, wenn ganzjährig Wärme auf dem benötigten Temperaturniveau anfällt. Dadurch sind die Voraussetzungen für die Nutzung industrieller Abwärme besonders günstig, da die industriellen Abwärmequellen konstant und beinahe das ganze Jahr über Wärme liefern, was bei Biomasse Heizkraftwerken nicht der Fall ist.

ORC-Anlagen zeichnen sich besonders durch eine hohe Zuverlässigkeit und niedrige Betriebskosten aus. Aufgrund der gestiegenen Anforderungen an die thermische Hülle von Neubauten und der Sanierung von bestehenden Gebäuden bei gleichzeitig steigendem Strombedarf wird es in Zukunft immer wichtiger, vorhandene Wärmepotenziale zur Stromerzeugung zu nutzen.

Nutzung von Abwärme für den Betrieb von Kälteanlagen

Das Wachsen des Marktes für Raumklimatisierung bringt viele technische und ökologische Probleme mit sich. Die steigende Nachfrage nach Klimaanlage führt unausweichlich zu einem Anstieg der benötigten elektrischen Energie. In Spanien wird sich der von Klimageräten verursachte Strombezug im Zeitraum von 1996 bis 2020 versechsfachen. Für Österreich wird eine Verdreifachung prognostiziert und 2020 etwa 360 GWh betragen.

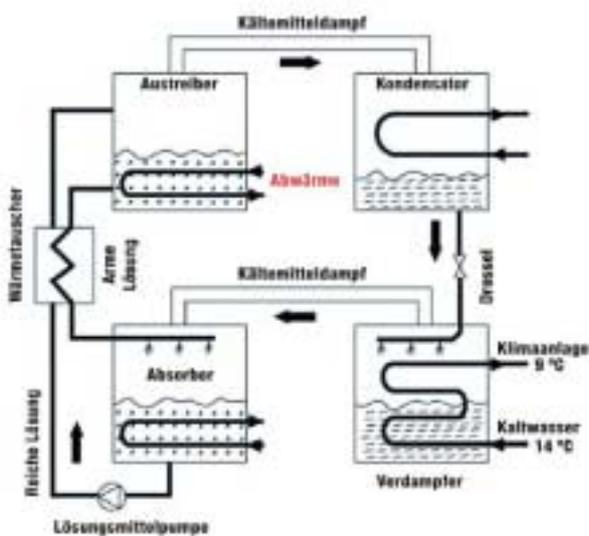
Diese Entwicklung bringt die Tatsache mit sich, dass die elektrische Spitzenlast an heißen Sommertagen infolge von Klimaanlage stark ansteigen wird. Bei einem Voranschreiten dieser Entwicklung werden sich die jährlichen Lastspitzen vom Winter in den Sommer verlagern. Dadurch werden hohe Investitionen für den Ausbau von Kraftwerkskapazitäten erforderlich. Laut Studien steigt zwischen 1996 und 2020 die Spitzenlast für den Betrieb elektrisch betriebener Klimageräte in 15 EU-Mitgliedsstaaten um 33 Gigawatt auf 43 Gigawatt. Der Anstieg entspricht rund 175 Prozent der österreichischen Kraftwerkskapazität.

Die steigende Nachfrage nach elektrisch betriebenen Raumklimageräten kann durch den Einsatz von thermisch betriebenen Kälteanlagen und dem Bau von Fernkältenetzen zum Teil abgedeckt werden. Statt die Kälte mittels Kompressionskältemaschinen bereitzustellen, eignen sich thermisch betriebene Kältemaschinen für den Einsatz in Kälteanlagen. Hier spielt die Verwertung überschüssiger Abwärme, einerseits aus

KWK-Anlagen und andererseits aus Industrieanlagen eine besondere Rolle. Abwärme steht in der Regel das ganze Jahr konstant zur Verfügung und findet deshalb außerhalb der Heizperiode oft keine Verwendung. Die Umwandlung von Abwärme in Kälte ist deshalb in vielen Fällen entscheidend für die ganzjährige effiziente Nutzung von Abwärme. Betrachtet man das System aus Kälteanlagen und die dafür benötigten Kraftwerkskapazitäten ganzheitlich und langfristig, so verlagern sich ökonomische und ökologische Argumente weg von Kompressionskältemaschinen hin zu thermisch betriebenen Kälteaggregaten.

Anstatt eines mechanischen Verdichters bei Kompressionskältemaschinen kommt bei Absorptionskälteanlagen ein so genannter thermischer Verdichter zum Einsatz.





Vereinfacht ist der Kühlkreislauf anhand der Aufgaben der einzelnen Komponenten zu beschreiben:

- Verdampfer:** Dem Kaltwasser der Klimaanlage wird durch das Verdampfen des Kältemittels Wärme entzogen. Hier wird die Kälte erzeugt.
- Absorber:** Ein Lösungsmittel absorbiert das Kältemittel, dabei steigt der Druck im Kreislauf an.
- Austreiber:** Durch Zufuhr von Wärme werden Lösungsmittel und Kältemittel wieder getrennt.
- Kondensator:** Das Kältemittel kondensiert und die dabei freiwerdende Wärme wird über eine Rückkühlanlage abgeführt.
- Drossel:** Das Kältemittel wird auf Verdampferdruck entspannt.

Bestimmend für den Wirkungsgrad einer thermischen Kälteanlage sind die 3 folgenden Parameter:

- Je höher das Temperaturniveau der Antriebswärme (Abwärme), umso höher ist der Wirkungsgrad.
- Je höher die Kaltwassertemperatur im Vorlauf des Kühlsystems ist, umso höher ist der Wirkungsgrad.
- Je niedriger die Temperatur der Rückkühlanlage im Kondensator ist, umso höher ist der Wirkungsgrad.



Das Diagramm zeigt, dass die realen Leistungszahlen deutlich unter dem idealen COP (Coefficient of Performance) liegen und die Abwärme mindestens auf einem Temperaturniveau von 80 °C liegen sollte. Abwärmepemperaturen über 120 °C bringen im realen Prozess keine weiteren Verbesserungen des Wirkungsgrades.

Einspeisung von Abwärme in Fern- bzw. Nahwärmenetze

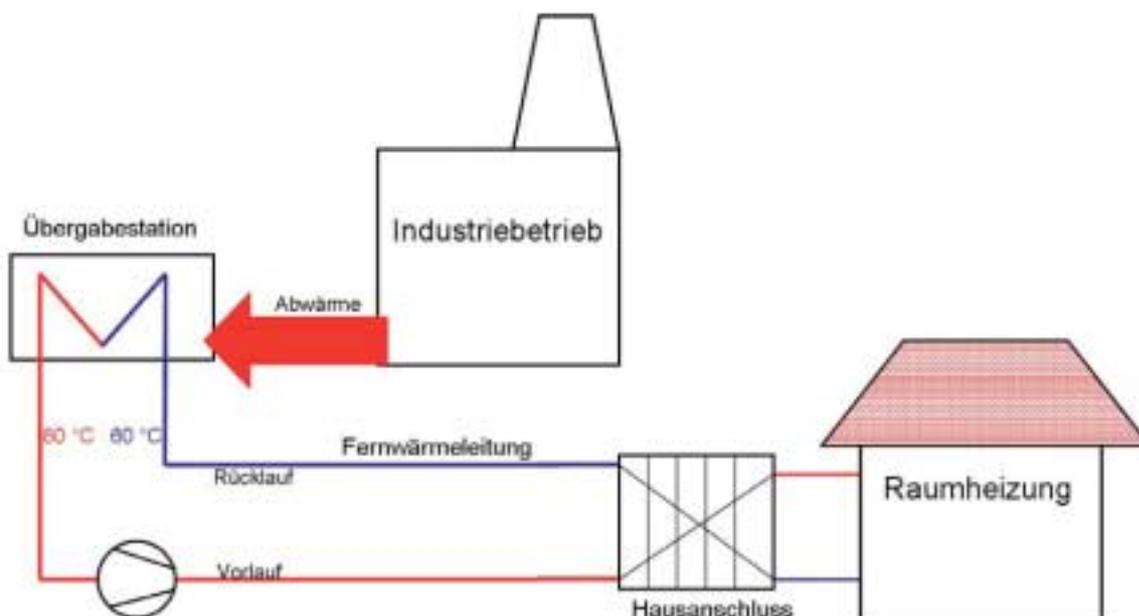
Da bei der Verstromung von Abwärme auf niedrigem Temperaturniveau nur niedrige Wirkungsgrade erzielt werden können, stellt die direkte Einspeisung in ein Fernwärmenetz die effizienteste Möglichkeit zur Nutzung überschüssiger Abwärme dar.

Durch die große Zahl an Abnehmern in einem großen Fernwärmenetz ist ein konstanter Wärmebedarf gesichert und Leistungsspitzen werden mit steigender Abnehmeranzahl geglättet. Die Vorteile aus Umweltsicht liegen in der optimierten und überwachten Verbrennung in großen Kesseln und der Möglichkeit zur Reinigung der Abgase. Bei der Nutzung von Abwärme fallen keine Emissionen für die Bereitstellung von Heizenergie an.

Voraussetzung für die direkte Einspeisung von Abwärme in ein Fernwärmenetz ist ein entsprechendes

Temperaturniveau, um unter Berücksichtigung der Übergabeverluste bei den Übergabestationen beim Anbieter und beim Abnehmer sowie der Leitungsverluste immer noch eine ausreichend hohe Vorlauftemperatur in den einzelnen Raumheizsystem zu erreichen. Um die Leitungsverluste zu minimieren, bedarf es einer entsprechenden Zahl von Abnehmern in der Nähe der Abwärmequelle.

Eine Faustformel lautet, dass pro Kilometer Leitungslänge ein MW Anschlussleistung vorhanden sein sollte. Damit wird garantiert, dass die Rohrleitungsverluste im Verhältnis zur bereitgestellten Wärme nicht zu groß werden und das Fernwärmenetz wirtschaftlich betrieben werden kann sowie die Verluste in den Rohrleitungen nicht die Vorteile der zentralen Wärmebereitstellung übertreffen.





Durch den Ausbau bestehender und dem Bau neuer Fernwärmenetze in Österreich, bietet sich für immer mehr Betriebe die Möglichkeit, im Betrieb nicht benötigte Abwärme in Fernwärmenetze einzuspeisen. Zwischen dem Jahr 2000 und 2006 betrug der Zuwachs an bereitgestellter Fernwärme in Österreich insgesamt 40 Prozent.

Werden Neubauten oder sanierte Gebäude mit Fernwärme versorgt, sinken die benötigten Vorlauftemperaturen. Es gibt bereits realisierte Nahwärmenetze, die mit einer maximalen Vorlauftemperatur von 50 °C das Auslangen finden, während große Fernwärmenetze in Gebieten mit älterer Gebäudestruktur zum Teil mit einer Vorlauftemperatur von über 100 °C betrieben werden müssen.

Aufgrund des ständigen Wachsens der Fernwärmenetze und den tendenziell sinkenden Vorlauftemperaturen bieten sich immer mehr Abwärmequellen zur Einspeisung in Fernwärmenetze an. Liegt das Temperaturniveau der Abwärme nicht über der benötigten Vorlauftemperatur, aber über der Rücklauftemperatur des Netzes, kann das Warmwasser mit der Abwärme vorgewärmt werden und anschließend mit einem Kessel auf Vorlauftemperatur angehoben werden. Dadurch kann die maximale Leistung im Heizkraftwerk gesenkt und der Brennstoffbedarf reduziert werden.

4

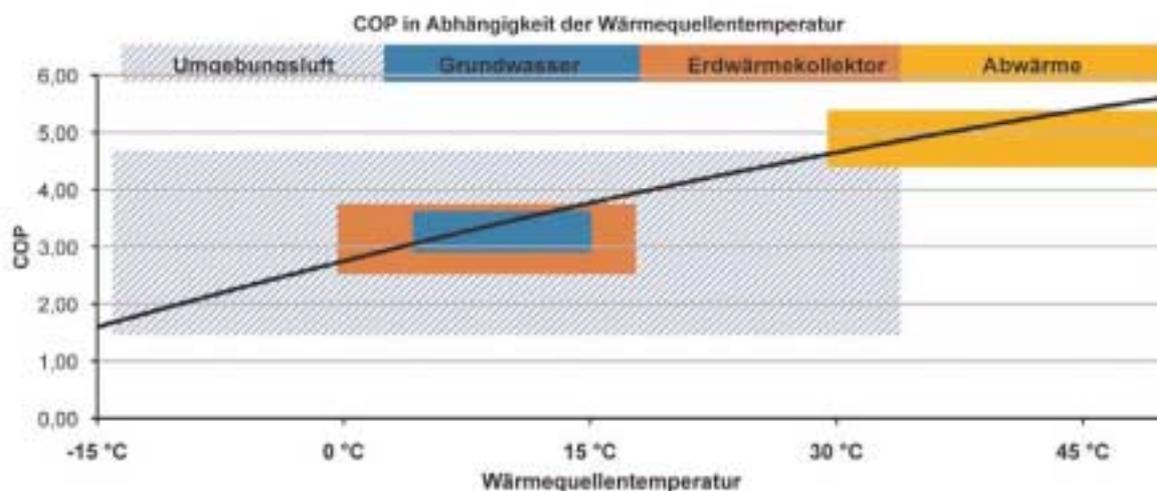
Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme mittels Wärmepumpe

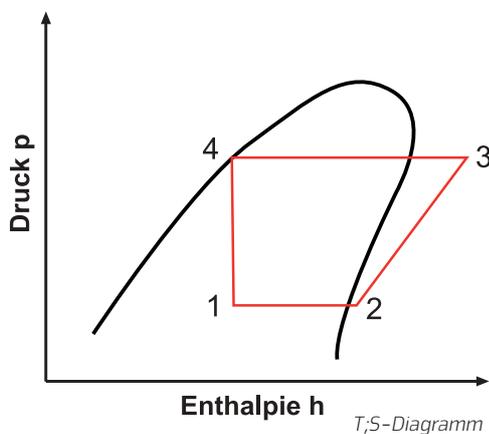
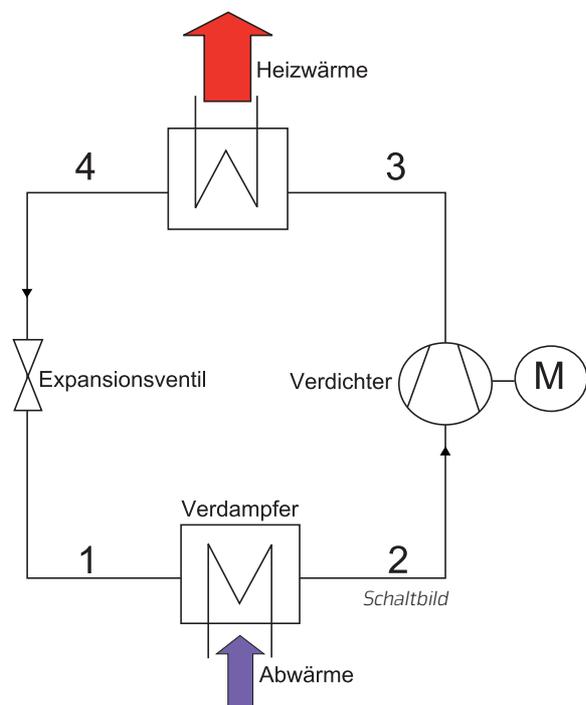
Abwärme mit Temperaturen unter 50 °C kann weder für die direkte Einspeisung in ein Fernwärmenetz noch für die Umwandlung in elektrische Energie mittels ORC-Prozess (Organic Rankine Cycle) noch für die Kälteerzeugung verwendet werden.

Die Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme wird durch den Einsatz einer Wärmepumpe ermöglicht. Selbst Abwärme mit 30 °C bietet im Vergleich zu herkömmlichen Wärmequellen von Wärmepumpen immer noch ein beachtliches Temperaturniveau.

Das Diagramm stellt den ungefähren COP von Wärmepumpen in Abhängigkeit der Wärmequellentemperatur beim Einsatz eines elektrisch betriebenen Verdichters

und bei einer Kondensationstemperatur von 60 °C dar. Die farbigen Felder kennzeichnen die üblichen Temperatur- und COP-Bereiche von verschiedenen Wärmequellen. Es ist zu erkennen, dass die Nutzung von Niedertemperatur-Abwärme gute COP-Werte erzielt. Beim großen Bereich der Umgebungsluft ist anzumerken, dass während der Heizperiode die durchschnittliche Lufttemperatur bei rund 3 °C liegt und der COP bei diesen Temperaturen knapp 3 beträgt. Jedoch ist gerade bei den höchsten Leistungsanforderungen beim Heizbetrieb die Außentemperatur sehr niedrig, wodurch sich bei einem Wärmepumpenbetrieb mit Umgebungsluft als Wärmequelle sehr niedrige COP-Werte ergeben.





Der Wärmepumpenprozess läuft in vier Teilschritten ab:

- 1 → 2: Durch Zufuhr der Abwärme wird das Kältemittel bei niedrigem Druck und niedriger Temperatur verdampft.
- 2 → 3: Im Verdichter wird das Kältemittel auf Kondensationsdruck und Kondensationstemperatur gebracht.
- 3 → 4: Im Kondensator gibt das Kältemittel Wärme an ein Heizmedium ab und kondensiert.
- 4 → 1: Das Kondensat wird entspannt und die Temperatur fällt wieder unter das Niveau der Abwärme, damit wieder ein Wärmeübergang von der Abwärme auf das Kältemittel erfolgen kann.

Der Verdichter einer Wärmepumpe kann mit einem Elektromotor oder mit einem Verbrennungsmotor betrieben werden. Durch den höheren Wirkungsgrad von Elektromotoren ist der COP-Wert bei elektrisch betriebenen Wärmepumpen höher.

Die Nutzung der Abwärme der Verbrennungsmotoren erhöht den Wärmeertrag der Anlage wesentlich und hochwertige elektrische Energie wird durch den Einsatz eines Brennstoffes substituiert. Deshalb eignen sich stationär betriebene Verbrennungsmotoren für die Nutzung konstant anfallender industrieller Abwärme in der Regel besser als Elektromotoren. Verbrennungsmotoren bringen allerdings einen höheren Investitions- und Wartungsaufwand mit sich.

