

# WÄRMEPUMPEN IN GEWERBE UND INDUSTRIE – EIN ÜBERBLICK

Dipl.-Ing. R. Heidelck, Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. H. Kruse,  
Prof. Dr.-Ing. H.-J. Laue

Informationszentrum Wärmepumpen und Kältetechnik e.V., Hannover

## Kurzfassung

In Industrie und Gewerbe besteht vielfältiger Bedarf an Heiz- und Prozesswärme bis Temperaturen von ca. 150°C, die bei geeigneter Wärmequelle durch eine Wärmepumpenanlage bereitgestellt werden kann. Die auftretenden Temperaturen der Wärmesenken- und Wärmequellenseite und die erforderlichen Wärmeleistungen variieren sehr viel stärker als in der Gebäudebeheizung. Dies führt dazu, dass die Anlagen individueller geplant werden und die betriebenen Anlagen eine große Vielfalt aufweisen.

Der Wärmebedarf in Gewerbe und Industrie ist sehr hoch, so dass bei konsequenter Nutzung der Wärmepumpentechnik erhebliche Mengen an Energie eingespart und an Treibhausgasemissionen vermieden werden können.

Der Vortrag gibt einen Überblick über die Einsatzbereiche von Wärmepumpen in Gewerbe und Industrie, technische Ausführungen und zeigt exemplarisch einige Beispiele.

**Keywords:** Wärmepumpen, Industrie, Gewerbe, Energieeinsparung, CO<sub>2</sub>-Emissionen

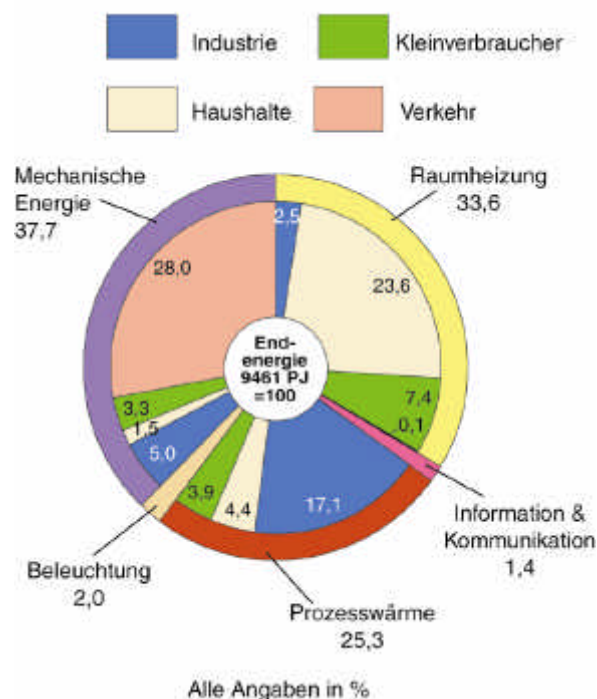
## 1 Einleitung

Häufig werden als industrielle bzw. gewerbliche Wärmepumpen lediglich Anlagen verstanden, die eine Nutzwärme in Gewerbe oder Industrie bereitstellen. Diese Definition orientiert sich an dem Gebäudebereich, wo bisher die natürlichen Wärmequellen Erdreich, Grundwasser und Luft dominieren. In der Industrie und Gewerbe fällt aber in großen Mengen Abwärme an, die hervorragend als Wärmequelle, sowohl in dem Gewerbe- bzw. Industriebetrieb selbst, als auch in anderen Bereichen genutzt werden kann. Um auch diese Wärmepumpenanlagen geeignet zu erfassen, wird die oben genannte Definition erweitert, d.h. dass als industrielle Wärmepumpen sowohl Wärmepumpen bezeichnet

werden, deren Nutzung im industriellen Bereich liegt, aber auch Wärmepumpen, deren Wärmequelle aus Industrieprozessen stammt. Wärmepumpen, die ihre Nutzwärme an Fernwärmenetze abgeben, werden ebenfalls als industrielle Wärmepumpen betrachtet. Für gewerbliche Wärmepumpen wird eine entsprechende Definition vereinbart.

Wird Abwärme einem Prozess entzogen und nach Temperaturerhöhung in einer Wärmepumpe diesem Prozess wieder zugeführt, kann man den Begriff Wärmerecycling verwenden.

Das Potenzial von Wärmepumpen zur Wärmebereitstellung ist erheblich, wie Abbildung 1 verdeutlicht. Dargestellt ist die Bedarfsstruktur der Endenergienutzung in Deutschland im Jahr 1998.



**Abbildung 1:** Bedarfsstruktur der Endenergienutzung in Deutschland 1998, Quelle: IfE / TU München [1]

Potentiell kann der gesamte Bereich Raumheizung und Prozesswärme durch Wärmepumpen abgedeckt werden. Auf Grund der zum Teil sehr hohen Nutzwärmetemperaturen kann man davon ausgehen, dass ca. 50 % der Prozesswärme durch Wärmepumpen bereitgestellt werden kann. Bei einem Anteil von 24,6% des gesamten Endenergiebedarfs in Deutschland könnten in der Industrie ca. 11 % des Endenergiebedarfs durch Wärmepumpen abgedeckt werden. Für den Gewerbebereich mit einem Anteil 14,6% am Gesamtendenergiebedarf und einen Anteil von ca. 65%, der von Wärmepumpen bereitgestellt werden könnte, entspricht dies ca. 9,5 % des gesamten Endenergiebedarfs.

Damit ergibt sich für die Bereiche Industrie und Gewerbe zusammen ein Anteil von rund 20% des gesamten Endenergiebedarf in Deutschland, der durch Wärmepumpen umweltfreundlich bereitgestellt werden könnte.

## 2 Anwendungsbereiche

In vielfältigen Anwendungsbereichen können Wärmepumpen eingesetzt werden, im Prinzip überall dort, wo Nutztemperaturen bis ca. 150°C benötigt werden oder Abwärmeströme sinnvoll weiter genutzt werden sollen. In Tabelle 1 sind einige Anwendungen zusammengestellt.

**Tabelle 1:** Beispiele für Anwendungsbereiche von industriellen und gewerblichen Wärmepumpen

<p><b>Chem. Industrie</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Petrochemie</li> <li>• Düngemittel</li> <li>• Kunststoffe</li> </ul>	<p><b>Landwirtschaft</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fischfarmen</li> <li>• Treibhäuser</li> <li>• Viehzucht</li> </ul>
<p><b>Lebensmittelverarbeitung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Molkereien</li> <li>• Fischverarbeitung</li> <li>• Zuckerherstellung</li> <li>• Schlachthäuser</li> <li>• Brennereien</li> <li>• Tiefkühlkostherstellung</li> <li>• Brauereien</li> </ul>	<p><b>Trocknung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Salzproduktion</li> <li>• Müllereien</li> <li>• Schlamm-trocknung</li> <li>• Papierherstellung</li> <li>• Holz-trocknung</li> <li>• Textil-industrie</li> </ul>
<p><b>Metallverarbeitung</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Galvanisierung</li> <li>• Lackierereien</li> </ul>	<p>....</p>

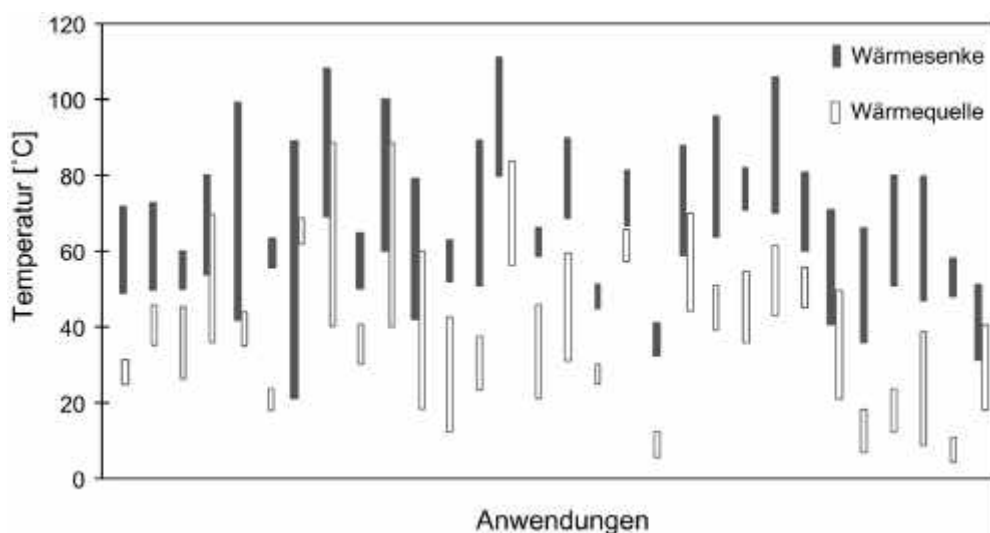
In der chemischen Industrie wird vor allem Prozesswärme zur Herstellung von Kunststoffen, Düngemittel und in der Petrochemie benötigt. In der Landwirtschaft wird überwiegend Niedertemperaturwärme zur Beheizung von Ställen und Treibhäusern, bei Fischfarmen zur Beheizung von Zuchtbecken sogar Niedrigsttemperaturwärme unter 20°C, gebraucht. In der Lebensmittelverarbeitung wird speziell Wärme zur Reinigung und zur Desinfektion benötigt [2].

Ein großes Anwendungsgebiet stellen Trocknungsprozesse dar. Neben der Erwärmung der Prozessluft können die Wärmepumpen zur Entfeuchtung eingesetzt werden und erhöhen den Leistungsbereich bestehender Anlagen. Es ergeben sich zahlreiche Produkte, die durch Wärmepumpenprozesse getrocknet

werden können, wie Tabelle 1 zeigt. Wirtschaftliche Bedeutung hat insbesondere die Holz- und Papiertrocknung [3]. Im Bereich der Metallverarbeitung wird vor allem Prozesswärme z.B. für die Oberflächenbearbeitung und den Korrosionsschutz benötigt.

### 3 Anforderungen an Wärmepumpen

Wie in Abschnitt 2 dargestellt, werden für industrielle und gewerbliche Wärmepumpen erheblich unterschiedliche Nutzungstemperaturen benötigt. In Abbildung 2 ist eine Auswertung zur Temperaturverteilung von Wärmequellen und –senken für industrielle Wärmepumpen dargestellt.



**Abbildung 2:** Temperaturniveau von Wärmequellen und Wärmesenken bei industriellen Wärmepumpen [4]

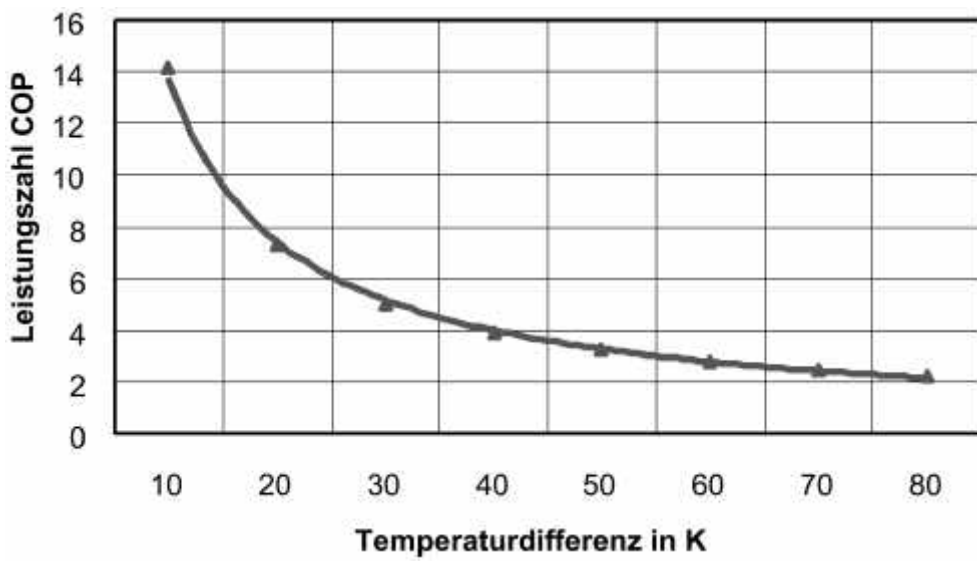
Die Temperaturen der Wärmesenke variieren bei dieser Studie von 20 bis 110°C, die der Wärmequelle von 5 bis 90°C. Wie die Abbildung 2 außerdem zeigt, werden beachtliche Temperaturglides sowohl auf der Wärmesenken als auch auf der Wärmequellenseite benötigt. Hier können speziell Wärmepumpen mit Kältemittelgemischen günstig eingesetzt werden, da dann der Temperaturglide des Kältemittelgemisches bei Verdampfung und Kondensation zur Minimierung der Wärmetauscherverluste genutzt werden kann.

In Tabelle 2 wird eine Klassifizierung in Bezug auf die benötigten Nutzttemperaturen vorgenommen. Als Wärmequellen für diese Anwendungen können natürliche Quellen – Luft, Wasser, Erdreich – eingesetzt werden. Noch viel günstiger ist allerdings eine Abwärmenutzung mit Temperaturen bis 100°C. Als Abwärme könnte Kühlwasser, welches ansonsten unsere Flüsse meist schädlich erwärmt, oder Prozessabwärme genutzt werden.

**Tabelle 2:** Klassifizierung von Wärmequellen und -senken von industriellen Wärmepumpen

Wärmesenke	
• Niedrigsttemperaturwärme	ca. 15°C
• Gebäudebeheizung	ab 35°C
• Reinigung	ab 60°C
• Prozesswärme	120-150°C
Wärmequelle	
• Natürliche Quellen (Luft, Wasser, Erdreich)	bis 20°C
• Abwärme (Kühlwasser, Prozessabwärme)	bis ca. 100°C

Wichtig bei der Auswahl einer geeigneten Wärmequelle ist die Temperaturdifferenz zur Wärmesenke, d.h. zur Nutztemperatur. In Abbildung 3 ist die Berechnung der Carnot-Leistungszahl für verschiedene Temperaturdifferenzen dargestellt. Die Verluste im Kältemittelkreislauf – Verdichter, Wärmetauscher, Expansionsventil und Rohrleitungen – sind durch einen Faktor 0,5 berücksichtigt. Als Wärmequellentemperatur wird 0°C festgelegt.



**Abbildung 3:** Leistungszahl in Abhängigkeit von der Temperaturdifferenz,  $0,5 \cdot \epsilon_C$  bezogen auf  $T_0 = 273 \text{ K}$  (0 °C)

Für elektrisch betriebene Wärmepumpen sollte mit dem deutschen Strommix eine minimale Leistungszahl von ca. 3 erreicht werden, um noch signifikante Energieeinsparungen gegenüber einer Gasbeheizung zu erreichen. Das heißt, dass eine maximale Temperaturdifferenz von ca. 55 K nicht überschritten werden sollte. Die Ausführungen lassen sich im groben auch auf gasbetriebene Wärmepumpen übertragen, wobei eine Heizzahl von 1 bei ähnlichen maximalen

Temperaturdifferenzen nicht unterschritten werden sollte. Daher eignet sich für höhere Nutzttemperaturen speziell Abwärme als Wärmequelle, da diese in der Regel bei höheren Temperaturen anfällt und so eine bessere Leistungszahl erreicht werden kann.

Die unterschiedlichen Anforderungen an Temperaturen und Ausführungsformen von Wärmepumpen im industriellen und gewerblichen Einsatz, besonders im Vergleich zum Haushaltsbereich, machen neben einer vielfältigen Anlagentechnik auch den Einsatz verschiedener Kältemittel erforderlich.

Für mittlere Verflüssigungstemperaturen bis 80°C in Kompressionswärmepumpen kann R134a in Verbindung mit konventioneller 25bar-Technologie genutzt werden. Ammoniak kann mit der heute verfügbaren 40bar-Technologie auch in diesem Temperaturbereich betrieben werden. Außerdem können Kohlenwasserstoffe verwendet werden, wenn die entsprechenden Sicherheitsvorschriften bezüglich der Brennbarkeit eingehalten werden können.

Für hohe Temperaturen bis 120°C wurde in der Vergangenheit das ozonschädliche R114 verwendet. Nach dem Verbot dieses Stoffes wird von der amerikanischen Navy R236fa benutzt, dessen allgemeine Verfügbarkeit aber stark eingeschränkt ist. Weiterhin sind HFE-245mc, ein Ether, in Untersuchung [5] und von der US EPA (United States Environmental Protection Agency = US Umweltschutz Agentur) wurde als Kurzzeitlösung Furan, ein Perfluorkohlenwasserstoff, in ihre SNAP-Liste aufgenommen [6], in der ozonunschädliche Ersatzstoffe notiert werden. Außerdem ist im Rahmen eines Forschungsprojektes die Untersuchung des Gemisches aus R365mfc und R227ea geplant [7], mit dem durch Nutzung des Gemisch-Temperaturglides hohe Energieeinsparungen erreicht werden sollen. Daneben können auch Ammoniak/Wasser [8], Kohlenwasserstoffe [9] und auch, für spezielle Anwendungen, Wasser eingesetzt werden.

Für Absorptionsanlagen können die allgemein bekannten Stoffpaare Wasser/Lithiumbromid und Ammoniak/Wasser verwendet werden.

Außerdem können Rekompansions-Systeme genutzt werden, in denen das Prozessfluid, das als Wärmequelle oder Wärmesenke dient, direkt in einem Verdichter komprimiert wird. Der Verdichter kann mechanisch – MVR (Mechanical Vapor Rekompansion) – oder thermisch – TVR (Thermal Vapor Rekompansion) - betrieben werden.

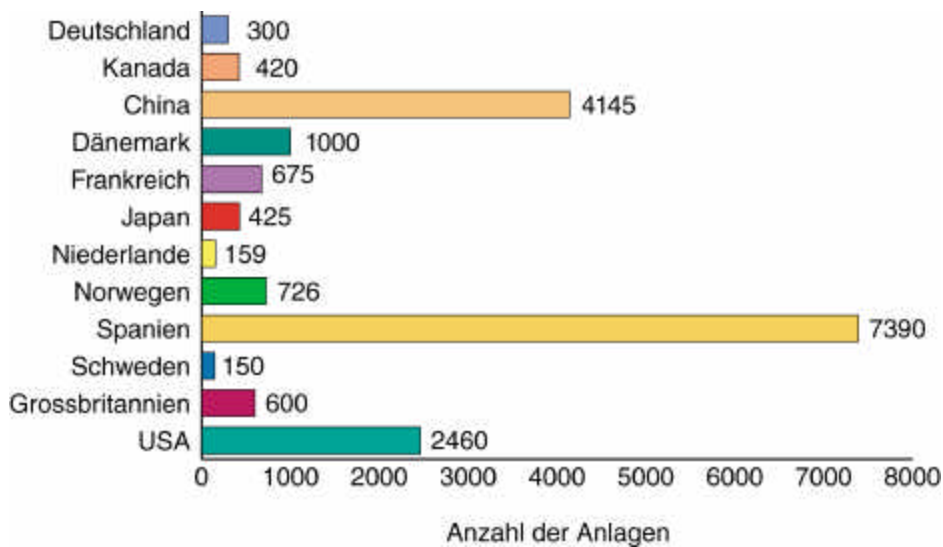
#### **4 Markt für industrielle und gewerbliche Wärmepumpen**

Der vom IEA Heat Pump Centre veröffentlichte, weitgehend geschätzte Bestand an industriellen und gewerblichen Wärmepumpen in Deutschland und einigen weiteren Staaten ist in Abbildung 4 und 5 wiedergegeben [10]. Die Zahlen wurden 1999 veröffentlicht und beziehen sich auf das Jahr 1996.

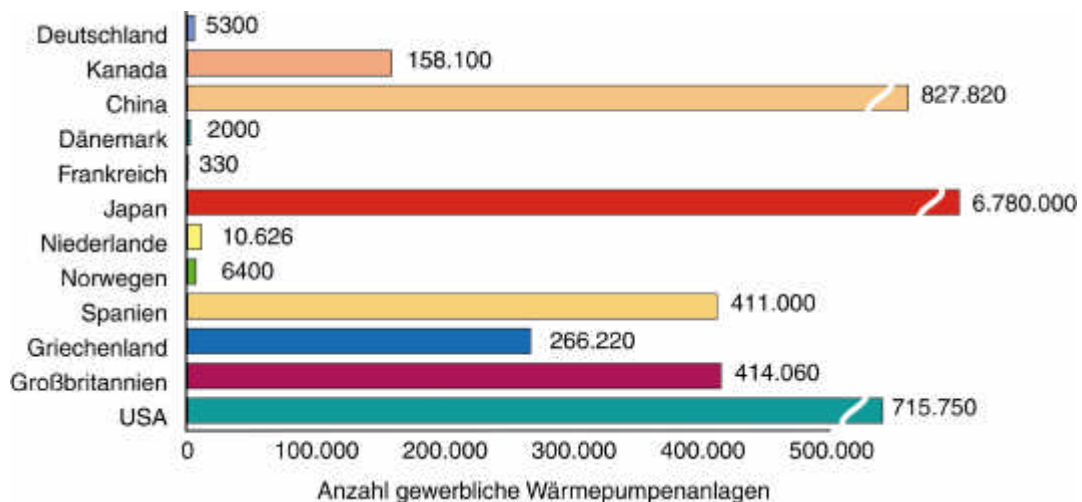
Auf den ersten Blick sind in Deutschland mit 300 Industrieanlagen im Vergleich zu 50.000 Wärmepumpenanlagen in Haushalten nur äußerst wenige Anlagen installiert. Die industriellen Anlagen haben jedoch im Schnitt Heizleistungen

zwischen 100 kW und 10 MW. Als Beispiel kann auf eine Anlage aus Schweden verwiesen werden, die im weiteren noch kurz vorgestellt wird. Die Wärmepumpenanlage dient zur Fernwärmebeheizung mit einer Heizleistung von 26,7 MW. Das entspricht ca. 3800 Haushalts-Wärmepumpen mit einer mittleren Heizleistung von 7 kW.

Die Anzahl von 5300 gewerblichen Wärmepumpen in Deutschland ist deutlich höher, allerdings sind auch die Anlagenleistungen deutlich geringer. Die in anderen Ländern zum Teil wesentlich höheren Zahlen von installierten Anlagen sind unter anderem damit begründet, dass auch Klimaanlage mit gelegentlicher Heizfunktion in die Statistik aufgenommen worden sind, wie der hohe Anteil an Luft/Luft-Anlagen in Tabelle 3 zeigt.



**Abbildung 4:** Bestand an industriellen Wärmepumpen 1996 (inkl. Fernwärmesysteme) [10]



**Abbildung 5:** Bestand an gewerblichen Wärmepumpen 1996 [10]

Die im Vergleich zu anderen Ländern geringe Zahl von 300 bzw. 5300 installierten Anlagen zeigt, dass gerade im Bereich der gewerblichen und industriellen Wärmepumpen Anstrengungen unternommen werden müssen, um potenziellen Betreibern die Wärmepumpentechnik nahe zu bringen.

Bisher fehlt aber ein funktionierender Markt und oftmals werden Wärmepumpenanlagen gar nicht als solche vom Betreiber wahrgenommen, da sie in einem Gesamtprozess eingebunden sind. Außerdem sind die Investitionskosten, im Vergleich zu den niedrigen Energiepreisen für Öl und Gas in den letzten Jahren, für viele Betreiber noch zu hoch und damit die Amortisationszeiten zu lang. Dabei sind die Investitionskosten pro reduzierter Tonne CO<sub>2</sub> bei industriellen Wärmepumpen um den Faktor zwei kleiner als bei Wärmekraftkopplungsprojekten, wie eine Untersuchung aus den Niederlanden zeigt [2]. Eine staatliche Förderung wäre deshalb schon aus volkswirtschaftlichen Gesichtspunkten von der Politik erwägenswert. Die gegenwärtig steigenden Öl- und Gaspreise müssten jedoch einen positiven Einfluss auf die Wirtschaftlichkeit von Wärmepumpen ausüben. Weitere Effekte können von den Anbietern erwartet werden, wenn durch Standardisierung, z.B. in der Lebensmittelindustrie, die Investitionskosten gesenkt werden können.

**Tabelle 3:** Art der Wärmequelle und –senke bei gewerblichen Wärmepumpenanlagen gemäß Abbildung 5

	Wärmequelle (%)				Wärmesenke (%)	
	Luft	Erdreich	Wasser	Abwärme	Luft	Wasser
China	100	0	0	0	100	0
Dänemark	-	-	-	-	-	-
Deutschland	33,9	33	29,3	3,8	-	-
Frankreich	80	0	20	0	100	0
Griechenland	100	0	0	0	75,2	24,8
Großbritannien	88	0	0	12	99,2	0,8
Japan	100	0	0	0	99,65	0,35
Kanada	7	3,6	89,4	0	100	0
Niederlande	56	12,5	21,3	10,2	7	93
Norwegen	57,8	10,9	9,3	15,6	59,3	40,7
Spanien	100	0	0	0	90	10
USA	97	0	3	0	100	0

Betreiber könnten vom Wärmepumpeneinsatz neben der Energieeinsparung auch von geringerem Kühlwasserbedarf, gleichmäßigeren Prozessbedingungen und Leistungssteigerung (z.B. bei der Entfeuchtung), Nennleistung auch bei warmer Witterung und durch ein verbessertes Öko-Audit bei der Bewertung von Industrieprozessen profitieren.

## 5 Beispiele ausgeführter Anlagen

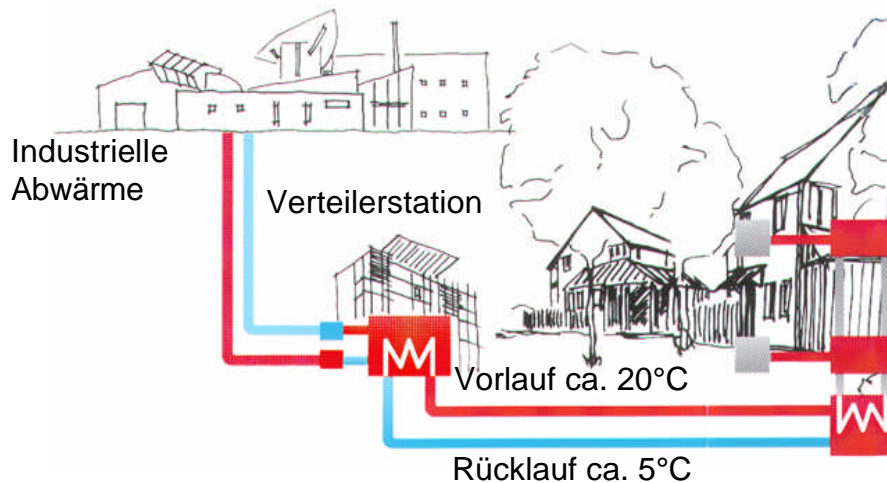
In Stockholm wurde eine kombinierte Fernkälte- und Fernwärmeversorgung mit Wärmepumpen errichtet (Abbildung 6). Die Anlage besteht aus 3 Einheiten mit jeweils 2 Turboverdichtern und insgesamt 26,7 MW Heizleistung. Die Verdichter können parallel oder in Serie geschaltet werden, so dass je nach Temperaturhub ein 1- oder 2-stufiger Betrieb möglich ist. Als Kältemittel wird R134a verwendet. Die Wärmesenke hat ein Temperaturniveau von 78°C im Vorlauf und 68°C im Rücklauf. Als Wärmequelle dient Meerwasser mit 11°C, welches auf 5°C abgekühlt wird. Damit erreicht die Anlage im 2-stufigen Betrieb eine Leistungszahl von 3. Zur weiteren Steigerung der Leistungszahlen könnte auch Abwärme eingesetzt werden, wie der Vortrag von Herrn Bailer innerhalb dieses Wärmepumpenforums zeigt.



**Abbildung 6:** Kombinierte Fernkälte- und Fernwärmeversorgung in Stockholm [11]

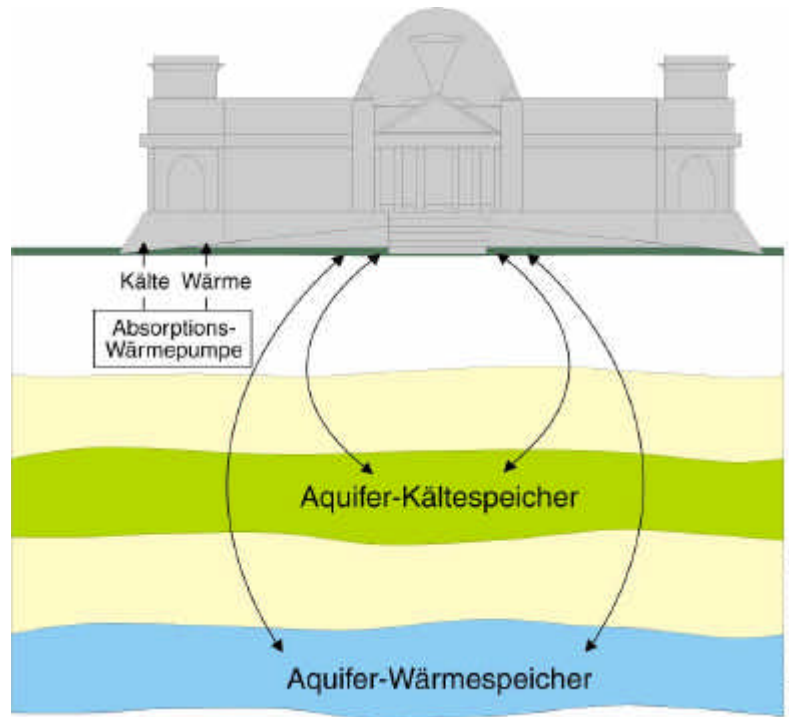
Ein weiteres sehr interessantes Projekt ist die Abwärmenutzung von Industriebetrieben mit Hilfe einer Kaltwasser-Nahwärmeversorgung (Abbildung 7). In zwei Wohngebieten in Spenge und Herford wird die Abwärme eines ortsansässigen Industriebetriebes als Wärmequelle für Haushaltswärmepumpen genutzt. Die Abwärme wird über eine Verteilstation in ein ungedämmtes und damit preiswertes Kaltwasser-Nahwärme-Rohrnetz geleitet und mit ca. 20°C Vorlauf-temperatur den Haushalten zur Verfügung gestellt. Zum Einsatz kommen spezielle Tandem-Wärmepumpen mit zwei Wärmetauschern zur getrennten

Brauch- und Heizwassererwärmung. Damit kann die Überhitzungswärme bei höheren Temperaturen zur energie-effizienten Brauchwassererwärmung genutzt werden. Im langjährigen Mittel wurden Jahresarbeitszahlen des Gesamtsystems von 5,2 erreicht. Im Rahmen dieses Forums wird diese innovative Abwärmenutzung noch ausführlich von Herrn Bertuleit vorgestellt.



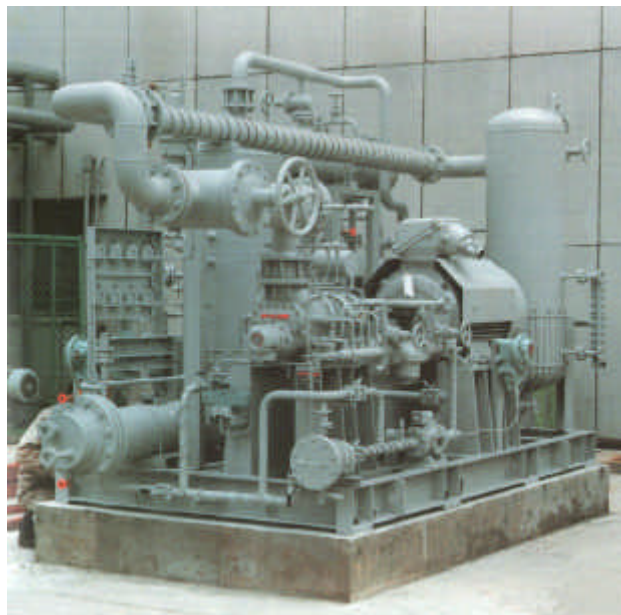
**Abbildung 7:** Abwärmenutzung eines Industriebetriebes zur Gebäudebeheizung

Im Reichstag in Berlin wird ebenfalls eine Wärmepumpe zur energie-effizienten Wärmeversorgung eingesetzt. Es wird ein Standardabsorber mit geringen Modifikationen als Wärmepumpe für die Kalt- und Warmwassererzeugung genutzt, die Absorptionswärmepumpe verwendet dabei Abwärme von 110°C eines BHKWs. Als Stoffpaar wird Wasser/Lithiumbromid eingesetzt. Die Absorptionswärmepumpe produziert 6°C kaltes Wasser für die Klimatisierung und gleichzeitig Niedertemperaturwasser aus dem Verflüssiger- und Absorberwärmetauscher für die Niedertemperaturheizung mit einem Vorlauf von ca. 40°C [12]. Besteht zeitweise nur Bedarf für jeweils das kalte oder warme Wasser, kann die übrige Kälte oder Wärme in getrennten, sogenannten Aquifer-Speichern saisonal zwischengespeichert werden [13].



**Abbildung 8:** Absorptionswärmepumpe im Reichstag Berlin [13]

Für Hochtemperaturanwendungen wird der Einsatz einer Wärmepumpe mit Pentan als Kältemittel untersucht (Abbildung 9), Vorlauftemperaturen von ca. 130°C dienen der Niederdruck-Dampferzeugung mit einer Leistung von 75 kW. Abwärme als Wärmequelle mit einer Vorlauftemperatur von 90°C steht zur Verfügung. Als Verdichter wird ein Schraubenverdichter genutzt. Damit wird eine Leistungszahl von 4,0 erreicht [9].



**Abbildung 9:** Pentanwärmepumpe für Hochtemperatur-Anwendungen [9]

## 6 Zusammenfassung

Es besteht ein großes Potenzial zur Energieeinsparung und zum Umweltschutz durch den Einsatz von Wärmepumpen in Gewerbe und Industrie. Dabei können vielfältige Anwendungsbereiche im Temperaturbereich von 15 bis 150°C genutzt werden. Daher kommen überwiegend individuell gestaltete Wärmepumpenanlagen zum Einsatz.

Es ergeben sich zahlreiche Möglichkeiten der Abwärmenutzung und des Wärmercyclings. Da oftmals Abwärmequellen hoher Temperatur zur Verfügung stehen, können zum Teil sehr hohe Arbeitszahlen bei ausgeführten Anlagen erreicht werden. Weitere Einsparungen sind durch kombinierte Nutzung der Wärmequelle und –senke möglich, z.B. gleichzeitige Kühlung und Beheizung oder Kühlung und Trocknung.

Im Abschlußbericht des Annex 21 des IEA Heat Pump Programms [3] wurden die möglichen Energieeinsparungen und CO<sub>2</sub>-Emissionsminderungen durch den konsequenten Einsatz von Wärmepumpen in der Industrie bewertet. Für das Jahr 2010 wird eine Einsparung des Energieeinsatzes für Prozesswärme von 2,5- bis 6% prognostiziert. Dies führt zu einer Vermeidung von CO<sub>2</sub>-Äquivalenten (auf CO<sub>2</sub> bewertete Emissionen von Treibhausgasen) in Höhe von 25 bis 58 Mio. t CO<sub>2</sub> pro Jahr. Das entspricht den Emissionen von 15 bis 40 Mio. Autos, oder zur Stromerzeugung, Kraftwerken mit 50 bis 150 GW.

## 7 Literatur

- [1] Geiger, B.; Lindhorst, H.: Energiewirtschaftliche Daten, Energieverbrauch in der Bundesrepublik Deutschland. IfE / TU München, VDI-GET Jahrbuch 2000, S. 244-262.
- [2] Breembroek, G.; Kleefkens, O.: Industrial Heat Pumps – an International Overview. IEA Heat Pump Centre Newsletter, 17(1999)4.
- [3] IEA Heat Pump Centre: Industrial Heat Pumps. Final Report from Annex 21 of the Heat Pump Programme. April 1995.
- [4] Schnitzer, H., Industrielle Wärmepumpen in der chemischen Verfahrenstechnik, 7. Frigen-Forum Hoechst, Großwärmepumpen zur Wärmerückgewinnung in Industriebetrieben, April 1985.
- [5] Sekiya, A.; Misaki, S.: Hydrofluoroethers as Alternatives to CFCs, HCFCs, HFCs and PFCs. The Earth Technologies Forum, Washington D.C., 2000.
- [6] N.N.: US EPA approves Furan and hydrocarbons under SNAP. OzonAction Newsletter, Nr. 35, Juli 2000.
- [7] Kruse, H.: Hochtemperatur-Wärmepumpen für Industrie und Gewerbe. DKV-Tagung 2000, Wärmepumpenforum, IZW-DKV-Statusbericht Nr. 2.
- [8] Heidelck, R.; Kruse, H.: Use of Commercial Compressors for Absorption/Compression Heat Pumps with Ammonia-Water. Proceedings 6th IEA Heat Pump Conference, Berlin, 1999.
- [9] Yamazaki, T.; Kubo, Y.: Development of a High-Temperature Heat Pump. IEA Heat Pump Centre Newsletter, 4(1985)4.
- [10] Breembroek, G.; Lazáro, F.: International heat pump status and policy review 1993-1996, Part 1 Analysis. IEA Heat Pump Centre, Analysis report No. HPC – AR7, Juli 1999.
- [11] Bailer, P.: Kombinierte Fernkälte- und Fernwärmeversorgung mit Großwärmepumpen in Stockholm. Wärmepumpe aktuell, 3/2000, S. 2-3.
- [12] Jacobowsky, H.: Die Absorberwärmepumpe im Reichstag Berlin. Persönliche Mitteilung.
- [13] Brandt, W.: Aquifer-Kälte- und Wärmespeicher im Reichstag Berlin. Persönliche Mitteilung.