

District Cooling – Chancen und Herausforderungen für die zukünftige Regional- und Immobilienentwicklung

Robert KRAWINKLER, Adolf PENTHOR, Günter R. SIMADER

DI Robert KRAWINKLER, Österreichische Energieagentur, Energietechnologien und –systeme, Otto-Bauer-Gasse 6, 1060 Wien, robert.krawinkler@energyagency.at

DI Adolf PENTHOR, Fernwärme Wien GmbH, Spittelauer Lände 45, 1090 Wien, adolf.penthor@fernwaermewien.at

DI Dr. Günter R. SIMADER, Österreichische Energieagentur, Energietechnologien und –systeme, Otto-Bauer-Gasse 6, 1060 Wien, guenter.simader@energyagency.at

1 EINLEITUNG

Basierend auf nationalen und europäischen Studien wird für die kommenden Jahre ein deutlicher Anstieg des Energiebedarfs für Klimatisierung und Kühlung erwartet. Die Gründe für den steigenden Kühlbedarf, der derzeit hauptsächlich durch elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen abgedeckt wird, sind dabei vielfältig. Der Anstieg bringt jedenfalls eine Verschärfung der bereits bestehenden Probleme in der Energieversorgung – wie hohe Spitzenlasten im Sommer, weitere Importabhängigkeit und höhere CO₂-Emissionen – mit sich. Diesem Trend können Kühlanlagen, die mit thermischer Energie aus Fernwärmenetzen angetrieben werden, entgegenwirken.

Der Einsatz thermischer Kältemaschinen wirkt sich positiv auf die Auslastung von Fernwärmesystemen aus. Im Jahresverlauf ist ersichtlich, dass außerhalb der Heizperiode Lasttäler für die Abnahme von Wärme bestehen. Abbildung 1 soll den Verlauf der Wärmeerzeugung am Beispiel der Fernwärme Wien verdeutlichen. Die Nutzung der Abwärme aus KWK-Anlagen, insbesondere auch aus regenerativ befeuerten Heizkraftwerken, und aus Abfallverwertungsanlagen im Sommer bewirkt eine Effizienzsteigerung und führt somit zu einer verbesserten Wirtschaftlichkeit der eingesetzten Erzeugungsanlagen. Weiters kann die Kühlungsmittels Anlagen, die mit Fernwärme angetrieben werden, einen wesentlichen Beitrag zur Reduktion von CO₂-Emissionen liefern.

Im Rahmen eines aktuellen „Intelligent Energy – Europe“ Projekts werden die technologischen, ökonomischen und ökologischen Aspekte des Einsatzes von Fernwärme zur Klimakälteerzeugung untersucht. Die Analyse von Fernkältenetzen, in die auch Erfahrungen und Ergebnisse aus vergangenen Projekten einfließen, wird durch die Darstellung und Untersuchung eines Best Practise Beispiels unterstützt.

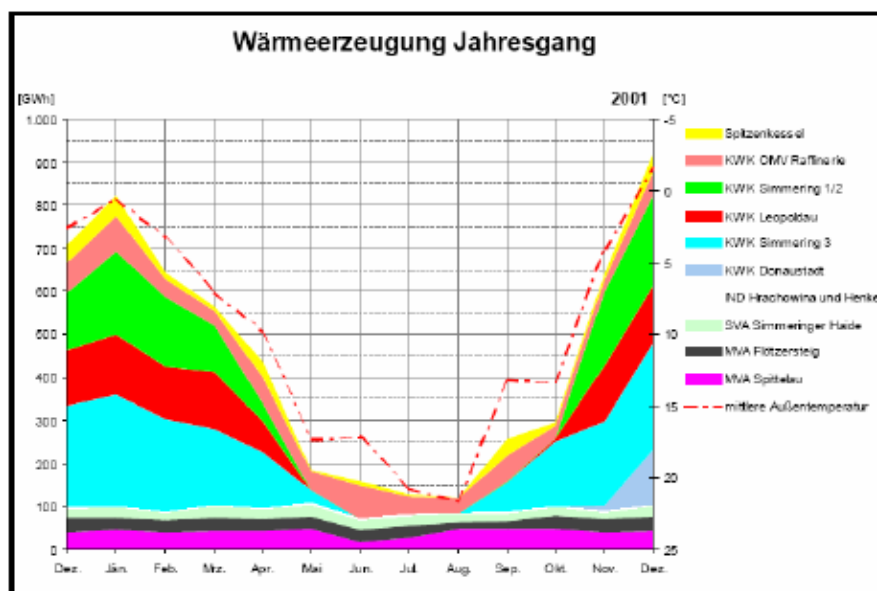


Abbildung 1: Jahresgang der Wärmeerzeugung (Fernwärme Wien GmbH)

2 TECHNOLOGIEN ZUR KLIMAKÄLTEVERSORGUNG MITTELS FERNWÄRME

Thermisch angetriebene Kältemaschinen zählen zu den Kaltdampfmaschinen und arbeiten entweder nach dem Absorptions- oder nach dem Adsorptionsprinzip. Dabei werden bestimmte Arbeitsstoffe, sogenannte Stoffpaare, eingesetzt, die sich aus dem Kältemittel und dem Sorptionsmittel zusammensetzen. Als Sorptionsmittel kommen entweder Flüssigkeiten (Absorption) oder feste Stoffe (Adsorption) zur

Anwendung. Das Charakteristische an den Sorptionsmitteln ist dabei, dass sie gasförmige Stoffe – in dem Fall den Kältemitteldampf – aufsaugen. Folgende Technologien zur thermischen Kälteerzeugung stehen derzeit zur Verfügung:

- Lithiumbromid/Wasser-Absorptionsanlagen
- Wasser/Ammoniak-Absorptionsanlagen
- Silicagel/Wasser-Adsorptionsanlagen
- DEC-Anlagen (Desiccant-Evaporative Cooling)

Diese Technologien unterscheiden sich hinsichtlich der verfügbaren Leistungsgrößen, der erforderlichen Temperatur der Antriebswärme, des zu kühlenden Mediums (Wasser oder Luft) und des COP-Wertes (Coefficient of Performance = Kälteleistung zu Antriebswärmeleistung). Bei jenen Systemen, die Kaltwasser zu Kühlzwecken erzeugen, unterscheidet man grundsätzlich zwei Ansätze, wie die Erzeugung und Verteilung realisiert werden kann (vgl. EUROPEAN MARKETING GROUP DISTRICT HEATING AND COOLING, 1999).

2.1 Versorgungskonzepte

Einerseits können thermische Kälteerzeugungsanlagen direkt in oder bei den einzelnen Objekten errichtet werden. In diesem Fall ist dann zusätzlich zum Kaltwassersatz nur mehr ein Sekundärnetz zur Kaltwasserverteilung innerhalb des Gebäudes notwendig. Neben Absorptions- und Adsorptionskältemaschinen eignet sich der DEC-Prozess ausschließlich für die dezentrale Kälteversorgung. Bei diesem Verfahren wird nicht Kaltwasser, sondern Luft mit entsprechender Temperatur zur Raumkonditionierung erzeugt, und es muss daher ein entsprechendes Luftverteilungssystem im Gebäude berücksichtigt werden.

Eine andere Möglichkeit stellt die Errichtung und der Betrieb zentraler Großkälteanlagen dar. In einer derartigen Kältezentrale wird das Kaltwasser unter Einsatz von Fernwärme gewonnen und anschließend in einem eigens dafür vorgesehenen Kreislauf aus isolierten Rohren an die jeweiligen Verbraucher verteilt. Das Kaltwasser wird anschließend über ein Sekundärnetz in den Gebäuden verteilt. Dort nimmt es über Kühldecken und Fan-Coils die Wärme aus der Raumluft auf. Zusätzlich können sich auch (bestehende) Heizkörper eignen, wofür in der Regel jedoch ein 4-Leiter-System erforderlich ist. Bei der Entwicklung dieser innovativen Kühlungskonzepte übernehmen die Kältenetze die Versorgung zumeist abgegrenzter Stadtteile oder Gruppen von Büro- und Wohnbauten sowie von Gewerbebetrieben (vgl. Abbildung 2).

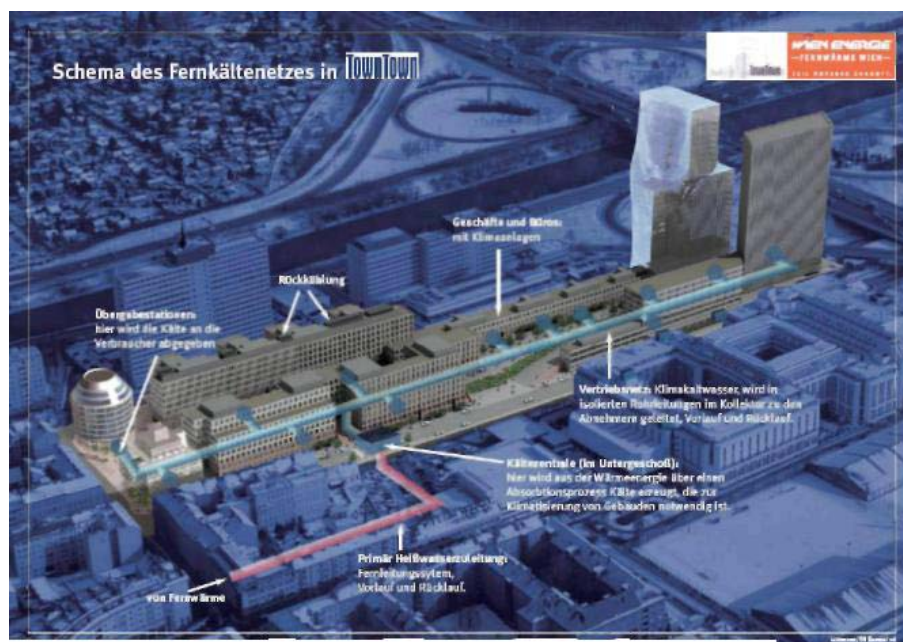


Abbildung 2: Fernkältenetz, TownTown, Wien (Fernwärme Wien GmbH)

Obwohl der Begriff der Fernkälte für den beschriebenen Modellfall und das dargestellte Beispiel nicht gänzlich zutreffend ist, soll hier in Anlehnung an den Ausdruck der Fernwärme von Fernkälte gesprochen

werden. Die Kälteleistungen dieser lokal abgegrenzten Netze liegen in der Regel im Bereich von 1 MW bis 20 MW. Da netzgebundene Infrastrukturen sehr langfristige Entscheidungen erfordern, sollte bereits im Planungs- und Entwicklungsprozess von bestehenden und neuen Stadtgebieten diese Form der Kältebereitstellung als Alternative in Betracht gezogen werden. Nachfolgend wird das Hauptaugenmerk – auch anhand des Best Practise Beispiels – auf derartige Fernkältenetze gelegt, und es wird vorrangig auf jene Technologien eingegangen, die für die Kaltwassererzeugung in Fernkältenetzen maßgeblich sind.

2.2 Thermisch betriebene Kälteprozesse - Absorptionskältemaschine

Im Unterschied zu Kompressionskältemaschinen, bei denen das Kältemittel mechanisch verdichtet und damit auf ein höheres Temperaturniveau gebracht wird, kommt es bei Sorptionskältemaschinen zu einer „thermischen Verdichtung“ des Stoffpaares, bestehend aus Kältemittel und Lösungsmittel (Sorptionsmittel). Beim Absorptionsprozess handelt es sich beim Lösungsmittel um eine Flüssigkeit. Die folgende Darstellung soll einen kurzen Einblick in die Besonderheiten der Absorptionskältemaschine geben.

Im Verdampfer entsteht bei niedrigem Verdampfungsdruck Kältemitteldampf, der anschließend im Absorber von einem Lösungsmittel absorbiert, d. h. aufgenommen wird. Eine Pumpe bringt die mit Kältemittel angereicherte Lösung auf den höheren Verflüssigungsdruck und fördert sie in den Austreiber, wo dem Prozess über Wärmetauscher Wärme – in diesem Fall Fernwärme – zugeführt wird. Durch die Wärmezufuhr wird das Lösungsvermögen des Absorptionsmittels herabgesetzt, und es kann das Kältemittel nicht länger binden. Das Kältemittel wird ausgetrieben, und das Absorptionsmittel liegt wieder als arme Lösung vor, die über ein Drosselorgan zum Absorber zurückströmt. Das ausgetriebene Kältemittel gibt seine Wärme im Kondensator (Verflüssiger) an den Kühlwasserkreislauf ab. Nach der Drosselung in einem Expansionsventil kann das Kältemittel im Verdampfer bei niedrigem Verdampfungsdruck und zugehöriger Verdampfungstemperatur wieder Wärme aus dem zu kühlendem Kaltwasser aufnehmen. Der Kreislauf ist somit geschlossen. Elektrische Antriebsenergie wird bei thermischen Kältemaschinen nur für den Betrieb der Lösungsmittelpumpe benötigt, was gegenüber vergleichbaren Kompressionskältemaschinen zu großen Stromeinsparungen führt.

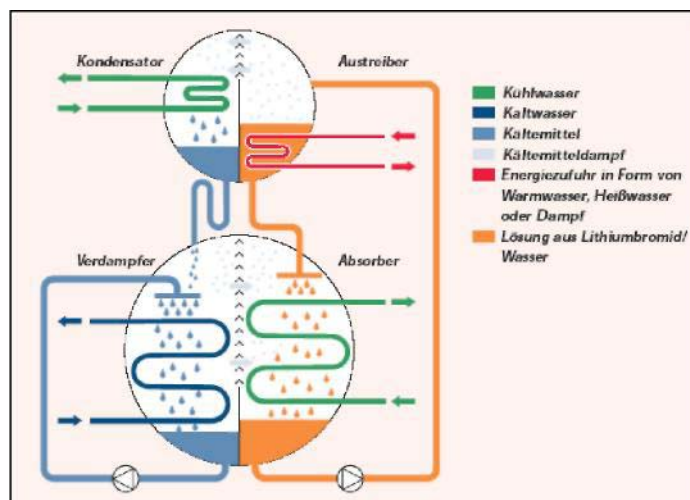


Abbildung 3: Schematische Darstellung des Absorptionsprozesses (Axima Refrigeration GmbH)

Zwischen Absorber und Austreiber ist in der Regel ein Gegenstromwärmetauscher geschaltet, der die Effizienz des Prozesses verbessert, indem der Wärmebedarf des Austreibers verringert wird und gleichzeitig die abzuführende Wärme aus dem Absorber sinkt. Für die Absorptionsfähigkeit des Lösungsmittels gilt, dass sie mit sinkender Temperatur zunimmt. Daher ist die Temperatur im Absorber möglichst tief zu wählen, und der Absorber sowie der Verflüssiger werden im Allgemeinen kühlwasserseitig hintereinander geschaltet.

Absorptionskältemaschinen verwenden in der Regel eines der beiden folgenden Arbeitsstoffpaare:

- **Ammoniak–Wasser** Beim Arbeitsstoffpaar Ammoniak–Wasser ist Ammoniak (NH₃) das Kältemittel und eine wässrige Ammoniaklösung das Absorptionsmittel. Dieses Stoffpaar wird vorwiegend in Tieftemperaturanwendungen bis zu –60 °C eingesetzt. Je nach geforderter Kältetemperatur sind dazu allerdings Heißwasser bzw. Dampftemperaturen ab 100 °C notwendig. Um niedrigere Antriebstemperaturen im Bereich von rund 90 °C nutzen zu können, muss ein anlagentechnisch

aufwändigerer, mehrstufiger Prozess ausgeführt werden (ALEXANDRU G., GREILER E., KLEINBERGER J., 2004). Hinsichtlich des Einsatzes von Fernwärme soll dieser Typ nicht näher betrachtet werden.

- Wasser–Lithiumbromid Bei diesem Anlagentyp bildet Wasser das Kältemittel und Lithiumbromid das Lösungsmittel. Absorptionskältemaschinen sind bereits ab Leistungen von rund 10 kW Kälteleistungen (u. a. für die solare Kühlung) verfügbar. Jedoch liegt der Fokus der Technologierecherche auf einem größeren Leistungsbereich, da zentrale Applikationen der Kälteversorgung im Vordergrund der Betrachtungen stehen sollen.

Neben der oben beschriebenen, einstufigen Ausführung des Absorptionsprozesses gibt es zwei weitere Bauformen. Zweistufige Wasser-Lithiumbromid-Absorptionskältemaschinen nutzen die eintretende Antriebswärme doppelt und erzielen so das höchste Wärmeverhältnis. Sie benötigen höhere Antriebstemperaturen ab rund 125 °C, die in der Regel in Fernwärmenetzen im Sommerbetrieb nicht zur Verfügung stehen.

Eine weitere Bauart ist die Single-Effect/Single-Lift-Double-Lift (SE/SL-DL) Absorptionskältemaschine. Diese wurde speziell für den Antrieb mit Fernwärme entwickelt. Sie verbindet einen einstufigen (SE) mit einem zweistufigen (DL) Kreislauf und kann sich optimal den thermischen und hydraulischen Bedingungen eines Fernwärmenetzes anpassen. Der Unterschied zur herkömmlichen, einstufigen Anlage besteht darin, dass sie zwei Lösungskreisläufe besitzt, und die Wärme an drei Stellen des Kreislaufes auf unterschiedlichem Temperaturniveau eingekoppelt werden kann. SE/SL-DL ermöglichen insbesondere eine hohe Auskühlung des Heizmediums um 25 – 70 K (abhängig von der Vorlauftemperatur), wodurch für das Fernwärmenetz günstige Rücklauftemperaturen erreicht werden können (KROTIL R., GRAF M., MÜHL M., 2002). Tabelle 1 gibt einen Überblick über die wesentlichen Parameter der Wasser-Lithiumbromid Absorptionskältemaschinen, die sich für zentrale Applikationen mit Fernwärme eignen.

Bauart	Kälteleistung [kW] ¹⁵⁹	Kaltwasser-temperatur[°C]	Temp. Antriebswärme [°C]	COP ² ₁₆₀
1-stufige LiBr-H ₂ O	100 - 20.000	>6	80 - 135	<0,8
SE/SL-DL LiBr-H ₂ O	400 - 10.000	> 6	80 - 130	<0,75

Tabelle 1: Wasser-Lithiumbromid Absorptionskältemaschinen (Österreichische Energieagentur)

Hinsichtlich der Effizienz und der erzielbaren Kälteleistung von thermischen Kältemaschinen sind die Temperaturniveaus der Antriebswärme, des zu erzeugenden Kaltwassers und des Kühlwassers von entscheidender Bedeutung. Für die dargestellten Absorptionskältemaschinen ist zumindest eine Warmwassertemperatur von 80 °C notwendig. Je höher die Antriebstemperatur liegt, desto größer ist die erzielbare Kälteleistung der verwendeten Maschine und auch die Temperaturspreizung zwischen Fernwärmever- und -rücklauf. Bezüglich des Kaltwassers beeinflusst dessen Temperatur die erzielbare Kälteleistung indirekt proportional. Bei der Rückkühlung sind einerseits die erforderlichen Kühlwassertemperaturen zu beachten, andererseits ist der Tatsache Rechnung zu tragen, dass bei thermischen Kältemaschinen im Vergleich zu konventionellen Kompressionskältemaschinen die rund zweifache Menge an Wärme abzuführen ist.

Die Eignung von Absorptionskältemaschinen zur Kälteversorgung und die Wirtschaftlichkeit sind daher immer projektbezogen zu untersuchen, wobei die jeweils vorliegenden, technischen und netzspezifischen Rahmenbedingungen sehr sorgfältig beachtet werden müssen.

3 BEST PRACTISE – TOWNTOWN

Thermisch betriebene Kältemaschinen sind in Österreich bereits vereinzelt bei dezentralen Systemlösungen eingesetzt. Fernkältenetze stehen allerdings hierzulande im Vergleich zu anderen, auch europäischen Ballungszentren noch am Beginn ihrer Entwicklung. In Wien wird derzeit ein lokal begrenztes Fernkältenetz aufgebaut. Daher konzentrieren sich die Untersuchungen anhand dieses Best Practise Beispiels auf zentrale

¹⁵⁹ Kälteleistung in Abhängigkeit der jeweiligen Betriebsparameter: Temperaturen für Heizwasser, Kaltwasser und Kühlwasser

¹⁶⁰ COP in Abhängigkeit der jeweiligen Betriebsparameter: Temperaturen für Heizwasser, Kaltwasser und Kühlwasser und der Last.

Kälteversorgungskonzepte, und es werden die technologischen, wirtschaftlichen und ökologischen Rahmenbedingungen dafür dargestellt und untersucht.

3.1 Technische Beschreibung des Kältesystems

TownTown ist ein neues Stadtentwicklungsgebiet in Wien-Erdberg, das gerade errichtet wird. Auf dem Areal entstehen insgesamt 21 Gebäude mit einer Gesamtnutzfläche von über 100.000 m². Neben Büros gibt es Gewerbebetriebe, Restaurants, Shops und ein Hotel (vgl. Abbildung 2 auf Seite 2).

Um den gestiegenen Komfortansprüchen an ein passendes Raumklima speziell in Geschäftslokalen und Büros gerecht zu werden, ist in allen Objekten eine Klimatisierung vorgesehen. Herkömmliche Versorgungskonzepte erzeugen die dafür notwendige Kälte in mehreren Kältezentralen, die dezentral in den einzelnen Gebäuden aufgestellt und betrieben werden. Fernwärme Wien hat alternativ zu solchen Überlegungen eine Versorgung des gesamten Areals aus einer Kältezentrale konzipiert, wobei die einzelnen Objekte über ein Kaltwassernetz an diese Zentrale angeschlossen sind (siehe Abbildung 4). Im Endausbau soll eine Kälteleistung von 8,4 MW installiert werden, die aus insgesamt drei Absorptions- und zwei konventionellen, elektrisch betriebenen Kompressionskältemaschinen bereit gestellt wird.

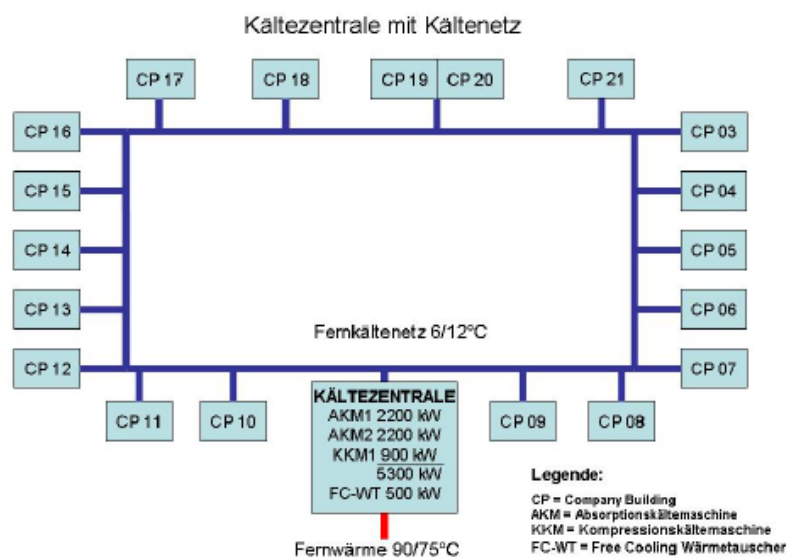


Abbildung 4: Schematische Darstellung des Fernkältenetzes, TownTown (Österreichische Energieagentur)

In seiner ersten Ausbaustufe beinhaltet dieses innovative Versorgungskonzept, das mehrere Technologien kombiniert, folgende Systemkomponenten. Zwei Absorptionskältemaschinen mit einer Leistung von jeweils 2.200 kW und eine Kompressionskältemaschine (Turboverdichter) mit einer Leistung von 900 kW sind installiert. Ähnlich wie bei der Beheizung wird hier auch bei der Kühlung eine Unterteilung in Grund- und Spitzenlast vorgenommen, wobei die beiden thermischen Kältemaschinen zur Abdeckung der Grundlast vorgesehen sind. Zusätzlich werden die Spitzenlasten bei den Objekten des TownTown-Projektes durch eine bauliche Maßnahme, der sogenannten Bauteilaktivierung, zu Gunsten der Grundlast verschoben.

Unter Bauteilaktivierung versteht man die Verwendung von Wänden und Decken zur aktiven Beeinflussung des Raumklimas, die durch Verlegung von Wasserrohrsystemen im Kern der Bauteile ermöglicht wird. Durch die Kühlung der Betondecken werden deren speicherwirksame Massen zum Temperatenausgleich genutzt. Die Bauteilaktivierung sorgt für eine Lastverschiebung von den Tagesstunden in die Nachtstunden, wodurch es zu einer Vergleichmäßigung der Kühllast kommt. Dieses Verfahren trägt dazu bei, dass die Absorptionskältemaschinen über einen möglichst langen Zeitraum bei konstanten Lasten gefahren werden können.

Die Rückkühlwerke der Verdichterkältemaschinen sind Hybridkühltürme, die je nach vorherrschenden Außentemperaturen eine Kombination aus Nass- und Trockenkühlung ermöglichen, wobei sich das Kühlmedium, ein Wasser-Glykol-Gemisch, in einem geschlossenen System befindet. Eine weitere Besonderheit der Kältezentrale ist, dass die Hybridkühltürme und der Kühlkreislauf über einen Wärmetauscher unter Umgehung der Kältemaschinen auch direkt mit dem Kaltwasserkreislauf verbunden sind. Dadurch wird ein so genannter Free Cooling Betrieb möglich. Das bedeutet, dass bei entsprechend

niedrigen Außentemperaturen die Bereitstellung des Kaltwassers durch Kühlung des Kühlwasser mittels Kaltluft oder Kaltwasser über das Rückkühlwerk erfolgt und den Betrieb der Kältemaschinen erübrigt.

Der Free Cooling Betrieb ist vor allem in der Winter- und Übergangszeit von besonderem Interesse, wenn trotz niedriger Außentemperaturen aufgrund von starker Sonneneinstrahlung eine Kühlung gewünscht wird. Weiters können während dieser Zeit Räumlichkeiten, die in Folge hoher interner Lasten (z. B. EDV-Anlagen) einer ganzjährigen Kühlung bedürfen, konditioniert werden.

3.2 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Die Analyse der Wirtschaftlichkeit basiert auf der Annuitätenmethode nach VDI 2067, die neben den Kapitalkosten auch die betriebs- und verbrauchsgebundenen Kosten berücksichtigt. Für diese Betrachtung wurde die erste Ausbaustufe mit einer installierten Kälteleistung von 5,3 MW herangezogen.

Auf die Ermittlung eines Kältepreises werden sich insbesondere in der Einführungsphase des Fernkältesystems die Volllaststunden, die das System in der Realität erreichen kann, auswirken. Daher wurde der Kältepreis in Abhängigkeit der Volllaststunden dargestellt. Darüber hinaus fließen die Kosten für den Anschluss an das System in die Berechnung mit ein. Als mögliche Beispiele können hier eine finanzielle Unterstützung des Anschlusses aus Fördermitteln (z. B. EU-Förderungen), ein Baukostenzuschuss der Kunden für die Netzerrichtung oder eine Kombination beider genannter Maßnahmen angeführt werden. Weiters hängt ein möglicher Preis von der genauen Ausgestaltung des Kältetarifs ab. Dieser sollte beispielsweise auch eine Leistungspreiskomponente enthalten, die auf die örtlichen und netzspezifischen Parameter (z. B. Temperaturspreizung) der Kunden abgestimmt ist. Für das vorliegende Fernkältesystem kann davon ausgegangen werden, dass die Ausgestaltung des Kältepreises in der Bandbreite von 0,08 – 0,13 €/kWh liegt (siehe Abbildung 5).

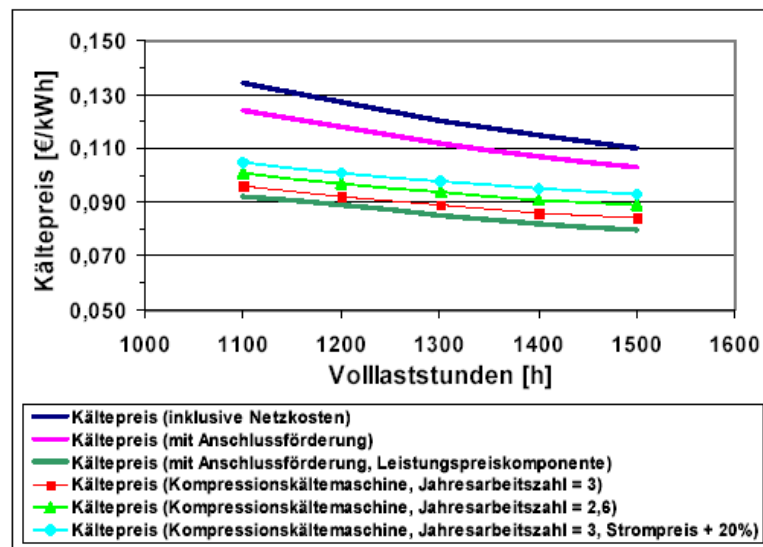


Abbildung 5: Kältepreis in Abhängigkeit der Volllaststunden (Österreichische Energieagentur)

Die zentrale Kälteversorgung wird mit konventionellen Kaltwassersystemen, die dezentral in den einzelnen Objekten angeordnet sind, verglichen. Dazu werden elektrisch betriebene Kompressionskältemaschinen zur Kaltwassererzeugung mit einer durchschnittlichen Kälteleistung von 300 kW herangezogen, wobei eine Ausfallsicherheit von 50 % angenommen wird, um ähnlichen Komfortansprüchen wie bei der Fernkälteversorgung genügen zu können. In Abbildung 5 sind auch verschiedene Paramtervariationen bezüglich der konventionellen Kälteerzeugung dargestellt. Wie aus der Darstellung ersichtlich, liegen die Kältepreise dafür am unteren Ende der Bandbreite für Fernkälte.

Jedoch wird auch der Einfluss zweier wesentlicher Parameter bei elektrischen Kompressionskältemaschinen, nämlich der Jahresarbeitszahl und des Strompreises, deutlich. Kompressionskältemaschinen der angeführten Leistungsgröße weisen Leistungszahlen in der Größenordnung von 3 auf. Um Jahresarbeitszahlen dieser Größe und damit einhergehende niedrige Kältekosten zu erzielen, sind günstige Rahmenbedingungen erforderlich. Dazu gehören unter anderem eine richtig eingestellte Betriebsweise sowie fachmännische Betreuung und Wartung der Anlagen. Der wichtigste Kostenfaktor bei Kompressionskältemaschine sind die

Stromkosten. Falls hier bei der Einzelobjektversorgung höhere Stromtarife angesetzt werden, als sie in einer Kältezentrale zur Verfügung stehen, wird das Ergebnis weiter merklich beeinflusst.

Allgemein gilt, dass bei der wirtschaftlichen Betrachtung der beiden unterschiedlichen Erzeugungssysteme jedenfalls alle Kostenkomponenten, wie in Abbildung 6 dargestellt, berücksichtigt werden müssen. Sehr häufig fließen bei der Beurteilung von Kosten für die Kühlung und Klimatisierung nur die verbrauchs- und betriebsgebundenen Kosten mit ein, und es wird vernachlässigt, dass die Investitionskosten für die Erzeugungsanlagen an die Kunden (Mieter) weitergegeben werden, beispielsweise über die Mieten. Abbildung 6 zeigt die Aufteilung der Kostenstruktur, die der Berechnung zu Grunde liegt.

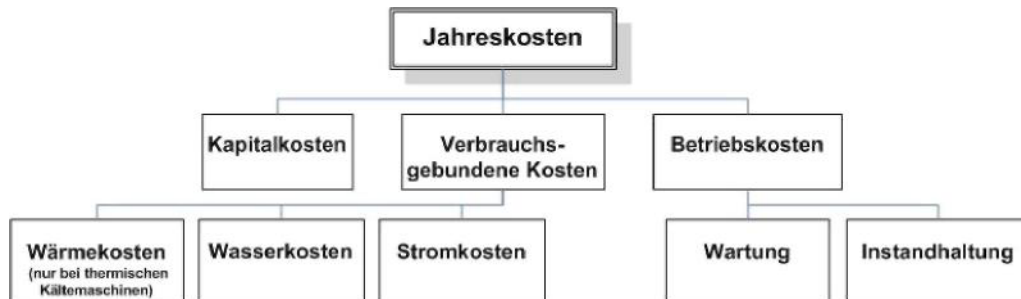


Abbildung 6: Kostenbetrachtung nach VDI 2067 (Österreichische Energieagentur)

Weiters ist die Auswahl des Systems oft von kurzfristigem Denken hinsichtlich geringer Investitionskosten geleitet, was in technischer Hinsicht und bei wirtschaftlicher Betrachtung über die Lebensdauer der Systeme nicht immer der optimalen Lösung entspricht. Diese erfordert eine genaue Analyse und eine ganzheitliche Betrachtungsweise der verschiedenen Technologien. Aufgrund der durchgeführten Vergleichsrechnungen kann unter den gegebenen Rahmenbedingungen mit großer Wahrscheinlichkeit davon ausgegangen werden, dass die Fernkälte auch in wirtschaftlicher Hinsicht eine echte Alternative zur konventionellen Kälteversorgung darstellen können wird.

3.3 Ökologische Bewertung

Die Emissionsberechnungen basieren auf einer geringfügig anderen Ausgangssituation, die noch aus der Vorplanung des Projekts stammt und 15 Objekte inkludiert. Die Kältezentrale weist eine maximale Kälteleistung von 5 MW auf, besteht aber ebenfalls aus zwei Absorptionskälte- und einer Kompressionskältemaschine. Als Vergleichssystem wurden dezentrale, konventionelle Kaltwassersätze in den einzelnen Gebäuden gewählt.

Für die Emissionsberechnungen bzw. -vergleiche wurden die Emissionsfaktoren berücksichtigt, die sich aus dem GEMIS Standard-Datensatz ableiten. GEMIS, das für Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme steht, ist ein EDV-Programm, mit dem die Umweltauswirkungen verschiedener Energiesysteme verglichen werden können. Es kann dabei die gesamte „Energiekette“ – alle wesentlichen Schritte von der Primärenergie- bzw. Rohstoffgewinnung bis zur Nutzenergie- bzw. Stoffbereitstellung – berücksichtigt werden und bezieht den Hilfsenergie- und Materialaufwand zur Herstellung von Energieanlagen und Transportsystemen (die so genannte „graue Energie“) mit ein.

Die Bewertung der Emissionen aus Kompressionskälteanlagen wird mit dem TEWI (Total Equivalent Warming Impact) vorgenommen, der sich aus den direkten Emissionen zur Kälterzeugung (Leckage- und Rückgewinnungsverluste) und den indirekten Emissionen für den Energiebedarf der Kältemaschinen zusammensetzt. Folgende Annahmen werden für die Berechnungen getroffen:

- Der zusätzliche Strombedarf für die Kompressionskälteanlagen kann entweder über thermische Kraftwerke oder durch Stromimporte abgedeckt werden.
- Für die Fernwärme wurde ein durchschnittlicher Emissionsfaktor des Kraftwerksparks einer Sommersituation berücksichtigt. Emissionen der Abfallentsorgung fallen hierbei an, egal ob Fernwärme für Kühlprozesse verwendet wird oder nicht. In diesem Fall werden diese der Entsorgung angerechnet. Weiters wird die industrielle Abwärme wie international üblich mit 0 bewertet. Der Fernwärmeabsatz im Sommer, der vorwiegend zur Warmwasserbereitung verwendet wird, wird größtenteils durch die bestehenden Müllverbrennungsanlagen abgedeckt.

Unter Berücksichtigung der obigen Annahmen werden für die Berechnungen folgende Emissionsfaktoren verwendet:

Emissionsfaktoren - CO ₂	kg/MWh
UCTE Strommix *)	360
therm. ö. Kraftwerkspark	744
Fernwärme Wien **)	39

*) Union for the Co-ordination of Transmission of Electricity

**) Die Emissionsfaktoren beziehen sich auf die Wärmeproduktion in den Sommermonaten.

Tabelle 2: Verwendete Emissionsfaktoren (SIMADER, RAKOS 2005)

Wie bereits angeführt, werden als Vergleichsbasis die Emissionen des österreichischen, thermischen Kraftwerksparks (hinsichtlich der Emissionen für die Stromproduktion) und des UCTE Kraftwerksparks jeweils für die Kältezentrale und die dezentrale Kälteversorgung aus Kompressionskältemaschinen (KKM) herangezogen. Für beide Varianten wird von einer jährlichen Kühlenergie von 5500 MWh als Vergleichsbasis ausgegangen. Für die indirekten Emissionen aus etwaigen Leckage- und Rückgewinnungsverlusten wurde ein zehnpromzentiger Verlust bei den Kompressionskältemaschinen angenommen.

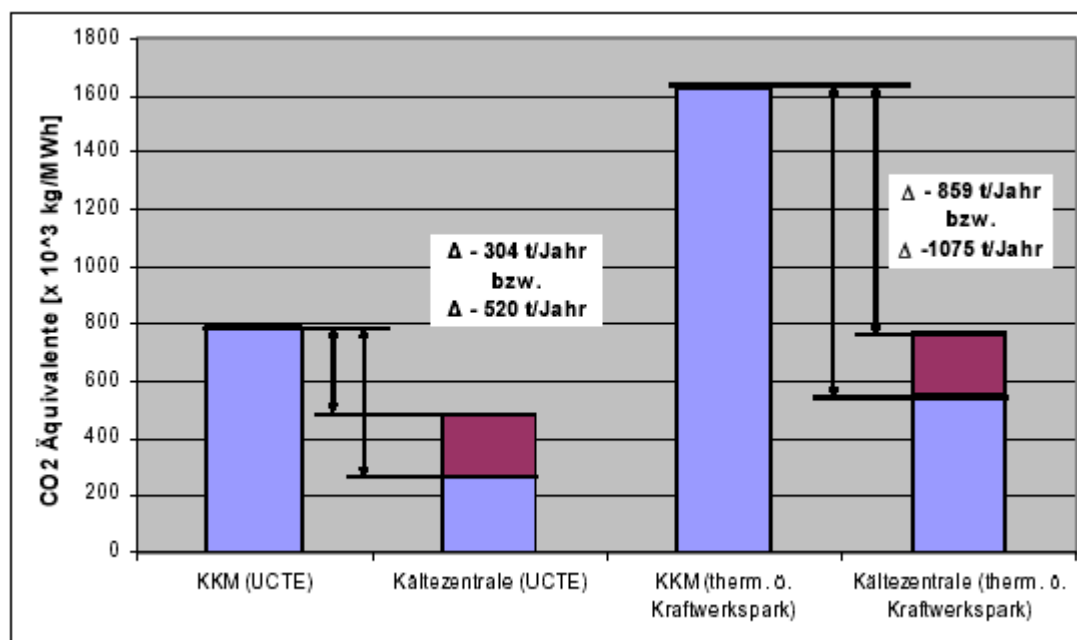


Abbildung 7: CO₂ Emissionen pro Jahr von KKM und ABKM für zwei Szenarien: (i) unter Berücksichtigung des UCTE Kraftwerksparks und (ii) des österreichischen, thermischen Kraftwerksparks¹⁶¹ (SIMADER, RAKOS 2005) Erklärung: blau: Emissionen bedingt durch die Stromerzeugung, violett: Emissionen bedingt durch die Fernwärmeerzeugung.

Die Ergebnisse in Abbildung 7 zeigen das Reduktionspotenzial, das durch den Einsatz von Fernwärme in diesem Fallbeispiel erreicht werden kann. Abhängig vom Vergleichsszenario (Berücksichtigung der Emissionsfaktoren des UCTE Kraftwerksparks bzw. des österreichischen, thermischen Kraftwerksparks) können Einsparungen zwischen 304 bzw. 859 t CO₂-Äquivalente/Jahr erzielt werden. Kann auf Wärmelieferungen aus industriellen Abwärmeprozessen bzw. aus der Abfallverbrennung zurückgegriffen werden, so können sich die Emissionen um weitere 216 t CO₂-Äquivalente/Jahr reduzieren (= 520 t bzw. 1075 t CO₂ Äquivalente pro Jahr).

4 RAHMENBEDINGUNGEN FÜR DIE ERRICHTUNG UND DEN BETRIEB VON FERNKÄLTE

Auf europäischer Ebene wurde eine Anzahl von Initiativen bzw. Richtlinien erlassen, die einerseits Einfluss auf die Errichtung und den Betrieb von gewöhnlichen Gebäudeklimaanlagen haben und andererseits

¹⁶¹ Da bei den UCTE Emissionsfaktoren keine Vorketten berücksichtigt wurden, wurden die Emissionen Vorketten gerechnet

Rahmenbedingungen für die Nutzung von Fernwärme zur Kälteerzeugung schaffen. Aus diesen zahlreichen legislativen Maßnahmen, deren nationale Umsetzung es ebenfalls zu beachten gilt, seien zwei herausgegriffen.

Neben der KWK-Richtlinie, die eine Forcierung des Ausbaus von Kraft-Wärme-Kopplungen in der europäischen Union vorsieht, wird insbesondere die Richtlinie RL 2002/91/EG über die Gesamtenergieeffizienz von Gebäuden („Gebäude-Richtlinie“) für die Immobilienentwicklung und die damit verbundene Implementierung von alternativen Kühltechnologien in Österreich von Bedeutung sein. Darin ist unter anderem eine Alternativenprüfung vorgesehen. Konkret muss bei Neubauten mit einer Gesamtnutzfläche über 1.000 m² zukünftig die technische, ökologische und wirtschaftliche Einsetzbarkeit alternativer Energiesysteme wie Fern- bzw. Blockkühlung vor Baubeginn berücksichtigt werden. Weiters ist darin vorgesehen, dass die Mitgliedstaaten die erforderlichen Maßnahmen treffen, um die regelmäßige Inspektion von Klimaanlage mit einer Nennleistung von mehr als 12 kW zu gewährleisten. Diese soll eine Prüfung des Wirkungsgrads der Anlage und der Anlagendimensionierung umfassen und die Nutzer über mögliche Verbesserungen oder den Austausch der Klimaanlage sowie über Alternativlösungen informieren.

Die in konventionellen Kältemaschinen eingesetzten Kältemittel sind - neben dem Schädigungspotenzial der bereits verbotenen Fluorchlorkohlenwasserstoffe (FCKW) für die Ozonschicht - auch aufgrund ihrer Treibhauswirksamkeit klimarelevant. Daher schreibt die im Jahr 2006 erlassene EU-Verordnung 842/2006 über bestimmte fluorierte Treibhausgase Maßnahmen zur Emissionsminderung von bestimmten fluorierten Treibhausgasen (FKW) und Schwefelhexafluorid vor. Dies soll durch eine wirksame Reduzierung und bessere Überwachung dieser Gase bei Kühlanwendungen (Überprüfung der Dichtheit, Leckageüberwachung) sowie die Einführung von Beschränkungen für deren Inverkehrbringen und Verwendung in bestimmten anderen Sektoren erzielt werden.

Österreich nahm in einer Verordnung über Industriegase aus dem Jahre 2002 schon strengere Bestimmungen hinsichtlich des Einsatzes und der Verwendung von HFKW (teilfluorierte FKW) und FKW vorweg, die durch eine in der EU-Verordnung vorgesehene Schutzklausel beibehalten werden können. Die Verordnung beinhaltet ein Verbot von FKW als Kälte- und Kühlmittel (mit bestimmten Ausnahmeregelungen) seit Dezember 2002. Weiters war eine zeitliche Befristung (Ende 2007, ebenfalls mit Ausnahmeregelungen) für die Anwendung von HFKW als Kältemittel vorgesehen, die aber einem Evaluierungsprozess bezüglich des Standes der Technik unterworfen werden musste. Die Diskussionen dazu befinden sich in der Endphase. Ein finaler Entwurf ist in Vorbereitung, in dem allerdings von einem endgültigem Ausstiegsszenario für HFKW abgewichen wird und der noch Spielraum für den Einsatz hinsichtlich Leistungsgrenzen und mengenmäßiger Beschränkungen lässt.

5 ERGEBNISSE UND ZUSAMMENFASSUNG

Die Verwendung von Fernwärme im Sommer zur Klimakälteerzeugung weist vielfältige Vorteile auf. Die Nutzung der Abwärme aus KWK-Anlagen, insbesondere aus regenerativ befeuerten Heizkraftwerken, und aus Verbrennungsanlagen im Sommer bewirkt eine Effizienzsteigerung und führt außerdem zu einer besseren Auslastung von Fernwärmesystemen. Weiters kann, wie im Fallbeispiel gezeigt, eine Reduktion der CO₂-Emissionen erreicht werden.

Ein wesentlicher Vorteil gegenüber Kompressionskälteanlagen ist der deutlich geringere Strombedarf und die Art des Kältemittels. Absorptionskältemaschinen verwenden Wasser als Kältemittel und sind frei von FCKW und FCKW-Ersatzstoffen. Damit ist auch eine Unabhängigkeit hinsichtlich gesetzlicher Bestimmungen und deren möglicher Verschärfungen für diese konventionellen Kältemittel gegeben, die sowohl die Ozonschicht schädigendes Potenzial aufweisen als auch treibhausrelevant sind.

Folgende weitere Aspekte und Vorteile, die im Speziellen auch bei der Entwicklung und Planung von Immobilien einfließen können, sind in Bezug auf Fernkältenetze anzuführen:

- Frei werdende Flächen: durch den Wegfall eigener Erzeugungsanlagen und der Rückkühlwerke bzw. Kühltürme zur Rückkühlung, die ebenfalls zentral angeordnet werden.
- Einfluss auf die Architektur: Wegfall der gewöhnlich auf dem Dach installierten Rückkühlwerke und Kühltürme bzw. Kompaktanlagen und damit verbundene Auswirkungen auf das architektonische Gesamtbild der Gebäude.

- Konzentration der Schallquellen auf einen Punkt.
- Bedienung und Wartung durch spezialisierte Energieversorgungsunternehmen.
- Geringere Wartungskosten als konventionelle Kaltwassersätze.
- Ausfallsicherheit und Komfort, die in Zeiten gestiegener Ansprüche an Bedeutung gewinnen.
- Der Wegfall der Investition in eigene Kälteerzeugungsanlagen kann bei einem starken Wettbewerb am Immobilienmarkt zu Vorteilen bei der Mietpreisgestaltung führen.

In einer Kältezentrale lassen sich zudem mehrere Techniken zur Deckung des unterschiedlichen Bedarfs (Grundlast, Spitzenlast) leichter kombinieren. Im beschriebenen Fallbeispiel wird bei entsprechenden Außentemperaturen auch die Möglichkeit des Free Cooling genutzt, das zu einer zusätzlichen Minimierung des Primärenergieaufwandes beiträgt. Nachteilig in Bezug auf Fernkältenetze ist der Umstand, dass bei einem stufenweisen Ausbau des Versorgungsgebietes Investitionen in das Kältenetz vorgehalten werden müssen. Gegenüber konventionellen Kompressionskältemaschinen sind zudem die höheren Investitionskosten zu berücksichtigen. Aus anlagentechnischer Sicht weisen sie einen höheren Platzbedarf und ein höheres Gewicht als gewöhnliche Kältemaschinen auf, und es ist eine größere Rückkühlleistung erforderlich.

Potenziale für den Aufbau von Fernkältenetzen bestehen in dicht bebauten Arealen, insbesondere bei Vorhandensein von Objekten mit hohem Kühlbedarf wie

- Großvolumige Bürogebäude,
- Krankenhäuser,
- Hotels (vorwiegend 3 – 5 Sterne Hotels),
- Gewerbebetriebe,
- Einkaufszentren und große Verbrauchermärkte.

Durch den verstärkten Einsatz von Kühlung mittels thermischer Kältemaschinen in den angeführten Gebäudekategorien (dezentrale Erzeugung eingeschlossen) kann für Österreich in den nächsten Jahren von Stromeinsparungen im Ausmaß von 80 bis 177 GWh ausgegangen werden. Hinsichtlich der Reduktion der CO₂-Äquivalent Emissionen wird in den kommenden Jahren je nach verwendetem Referenzszenario ein Potenzial von rund 22.000 bis 135.000 t CO₂-Äquivalent Emissionen gesehen. Für den Raum Wien gehen grobe Abschätzungen von einem theoretischen Potenzial von 61 bis 178 MW zu installierender Kälteleistung aus. Dieses Potenzial gilt es zu entwickeln (vgl. SIMADER, RAKOS 2005).

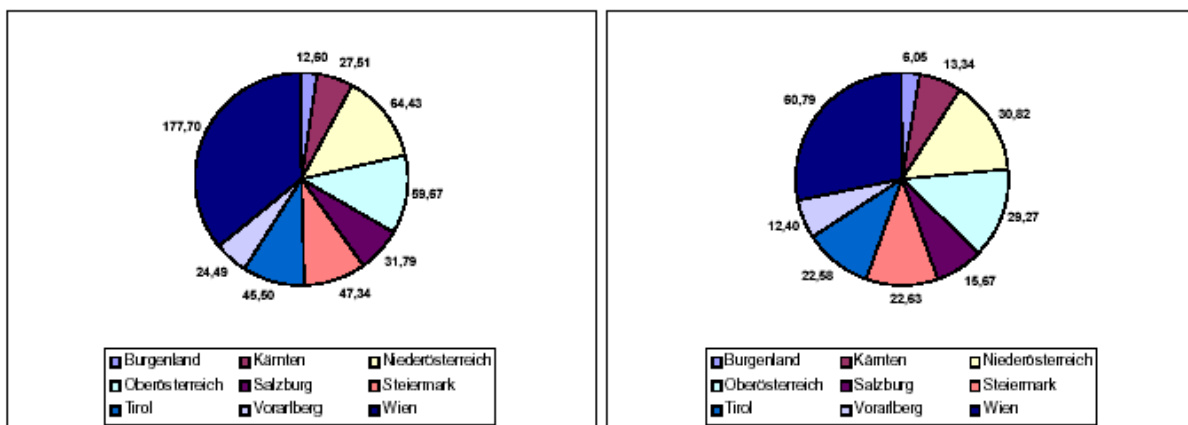


Abbildung 8: Verteilung der installierbaren Kälteleistungen für thermische Kühlanlagen in MW (SIMADER, RAKOS 2005)
 Erklärung: Die linke Grafik stellt das max. Potenzial mit insgesamt 491 MW dar, die rechte das min. Potenzial mit insgesamt 214 MW.

Fernkältesysteme stellen eine innovative und zukunftssträchtige Form der Gebäudekühlung dar, deren Verbreitung und Anwendungsstand mit den Anfängen der Fernwärmeversorgung in Ballungszentren zu vergleichen ist. Große Chancen für Fernkältenetze, zu denen es auch ein regional sehr starkes politisches Bekenntnis gibt, werden in räumlich begrenzten, verdichteten Gebieten gesehen. In Wien bilden bestehende und/oder sich in der Entwicklung befindliche, städtebauliche Gebiete wie das Areal um das Fernheizwerk

Spittelau oder die Donauplatte mit der angrenzenden UNO-City ein vielversprechendes Potenzial. Die Entwicklung und Implementierung innovativer Fernkälteprojekte liegt somit auch an der Schnittstelle zwischen der Immobilienentwicklung, bei der innovative Energiekonzepte und Energieeffizienz immer stärker in den Vordergrund rücken, und einer ganzheitlichen Stadtplanung.

6 QUELLEN

- ALEXANDRU G., GREILER E., KLEINBERGER J.: Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung – Innovative Wärmenutzung im Bereich Biogas. Graz, 2004.
- EUROPEAN MARKETING GROUP DISTRICT HEATING AND COOLING (Hrsg.): The District Cooling Handbook. 2nd Edition, 1999.
- KROTIL R., GRAF M., MÜHL M.: Heißwasserbetriebene Sorptionsanlagen zur Klimakälteerzeugung. In Heizung Lüftung Klimatechnik, 10/2002.
- SIMADER G., RAKOS C.: Klimatisierung, Kühlung und Klimaschutz: Technologien, Wirtschaftlichkeit und CO₂-Reduktionspotenziale. Materialband Österreichische Energieagentur, 2005.