

Wege einer effizienten Kältetechnik und solare Kühlung



VDMA

Arbeitskreis Energieeffizienz
Kältetechnik

Holger König
ref-tech engineering
holger.koenig@ref-tech.de

Fraunhofer ISE

Dr. Hans-Martin Henning
hans-martin.henning@ise.fraunhofer.de

Dr. Doreen Kalz
doreen.kalz@ise.fraunhofer.de

Fraunhofer IBP

Dr. Michael Krause
michael.krause@ibp.fraunhofer.de

ZAE Bayern

Prof. Dr. Christian Schweigler
schweigler@muc.zae-bayern.de

1. Einleitung

Aufgrund des steigenden Bedarfs in den meisten Sektoren der Kältetechnik steigt die Anzahl der installierten Anlagen und damit der absolute Energieverbrauch in der Kälte- und Klimatechnik – trotz zum Teil deutlich verbesserter Effizienz der Kälteprozesse.

In einem ersten Positionspapier des Forschungsrats Kältetechnik in 2008 sind die Grundlagen für die Energie-Einsparpotenziale in der Kältetechnik und Emissionen aus dem Bereich der Kältetechnik dokumentiert worden. Aktuelle Zahlen von 2012 aus dem zweiten Positionspapier des Forschungsrats Kältetechnik [1] liefern einen Anstieg des Energiebedarfs von 78.317 GWh/a im Jahr 1999 auf 85.163 GWh/a im Jahr 2009, wobei lediglich im Bereich der Haushaltskälte eine Marktsättigung und eine absolute Energieverbrauchsreduzierung zu verzeichnen sind. Andere Bereiche der Kältetechnik zeigen hinsichtlich der Anzahl der Kältesysteme weiterhin z. T. ein deutliches Wachstum, z. B. gekühlte Lebensmittel und Pkw-Klimatisierung.

Für die globale Perspektive ist zu erwarten, dass bis ca. 2050 das Bevölkerungswachstum und damit der Bedarf an gekühlten Lebensmitteln stark steigen werden. Es werden Wachstumsraten von teilweise größer 5%/Jahr in einigen Sektoren der Kälte- und Klimatechnik erwartet. Eine absolute Energieverbrauchsreduzierung ohne eindeutige Politik- und Regulierungsmaßnahmen erscheint deshalb wenig realistisch [2].

Um diesem Trend Rechnung zu tragen, hat sich die Kältebranche zu Best Practice Guidelines selbst verpflichtet, um eine Erhöhung der Effizienz weiter umzusetzen und vor allem die Bewertung des energetisch optimalen Betriebs von Kälteprozessen zu ermöglichen und damit maßgeblich zu den energiepolitischen Zielen der Bundesregierung beizutragen.

2. Senkung des Energieverbrauchs durch Effizienzsteigerung

Mit dem VDMA-Einheitsblatt 24247 „Energieeffizienz von Kälteanlagen“ wurde ein Leitfaden erstellt, der Betreibern und Unternehmen der Kältebranche Hilfestellung gibt, um den Energieverbrauch für Kälteanwendungen wirksam zu senken und die jeweiligen kältetechnischen Prozesse hinsichtlich ihrer Energieeffizienz zu bewerten.

2.1 Sektoren der Kältetechnik

Eine allgemeingültige Bewertung der Energieeffizienz von Kälteanlagen aller Art ist aufgrund der Komplexität quasi nicht möglich. Daher werden die auf thermodynamischen Kreis- oder Wärmetransformationsprozessen basierenden kältetechnischen Technologien üblicherweise in Sektoren zusammengefasst. Die einzelnen Sektoren wurden im VDMA Einheitsblatt definiert und es wurden jeweils angepasste Bewertungskriterien dokumentiert und festgelegt.

Vor allem wurde die grundsätzliche Problematik des Spannungsfeldes zwischen Investitionskosten und Betriebskosten erörtert. Hierbei werden einfache Berechnungsverfahren dargestellt, die die Kosten für energieeffiziente Anlagentechnologie – die im Allgemeinen zu höheren Investitionskosten führt – den möglichen Kosteneinsparungen beim Betrieb gegenüberstellen.

Weiterhin werden Empfehlungen für die Auslegung der Anlagen unter Berücksichtigung des Ganzjahresbetriebs und der Berücksichtigung der jeweiligen Lastanforderung gegeben.

Das VDMA-Einheitsblatt 24247 [6] beinhaltet die Teile:

- Klimaschutzbeitrag von Kälte- und Klimaanlage
- Verbesserung der Energieeffizienz
- Verminderung von treibhausrelevanten Emissionen
- Anforderungen an das Anlagenkonzept und die Komponenten
- Leitfaden für eine Verbesserung der Energieeffizienz in Kühlhäusern
- Supermarktkälte, Gewerbekälte, Kühlmöbel
- Industriekälte
- Klimakälte
- Regelung, Energiemanagement und effiziente Betriebsführung
- Komponenten – Wärmeübertrager

2.2 Aktueller Status und Maßnahmen zur weiteren Verbesserung

Der aktuelle Status der Bemühungen wurde für 2012 in [1] ermittelt und zu früheren Erhebungen aus dem Positionspapier des Forschungsrats Kältetechnik verglichen. Dieser Statusbericht zeigt aufgrund der Umsetzung der Selbstverpflichtungen wie VDMA 24247 bereits Erfolge. Im Rahmen dieser Arbeit wurde abgeschätzt, dass die technischen Möglichkeiten vor-

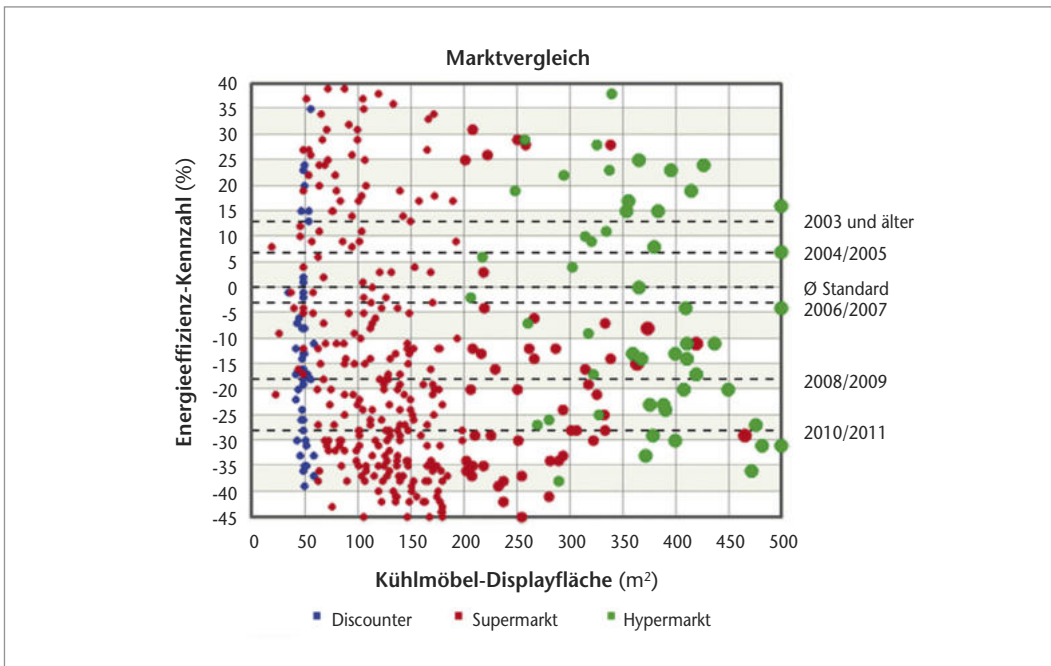


Abbildung 1
Vergleich von Supermärkten in den Betriebsjahren 2003–2011, die im VDMA Effizienz-Check nach der VDMA-Richtlinie 24247 bewertet wurden
www.vdma-effizienz-quickcheck.org

Sektor	Regulierungsvorschläge / Verpflichtungen / Maßnahmen
Allgemein	<ul style="list-style-type: none"> • Bestimmung des Lastprofils, • Ganzjahres-Auslegung (Lastprofil, Jahrestemperaturgang) • Mindestkennzahlen, Verbrauchskennzahlen • Monitoring, Wartung • Energie-Contracting • Zertifizierung von Personal, Schulung der Betreiber • Nachweis Fachkunde Energieeffizienz • F&E-Gemeinschaftsforschung mit anderen Gewerken • Wärmerückgewinnung • Investitionsförderung versus Energieverbrauchsförderung
Supermarkt	<ul style="list-style-type: none"> • ErP (umweltgerechte Gestaltung energieverbrauchsrelevanter Produkte = Energy-related Products) für Kühlmöbel (ENER Lot 12) • Fördermaßnahmen
Industriekälte	<ul style="list-style-type: none"> • Beratung • Bonus-Malus-System (Statistik, LEED) • gezielte Netzwerkprogramme • Fördermaßnahmen
Klimatisierung	<ul style="list-style-type: none"> • Beratung • Bonus-Malus-System (Statistik, LEED) • Fördermaßnahmen
Betrieb, Regelung, Steuerung	<ul style="list-style-type: none"> • Nachweis bedarfsgerechter Regelung • Vorbeugende selbstlernende Regelung
Wärmeübertrager	<ul style="list-style-type: none"> • maximale Druck- und Temperatur-Differenzen pro Typ und Anwendung festlegen • hocheffiziente Ventilatoren, Pumpen, Antriebe • ErP-Regelung für Wärmeübertrager

Tabelle 1
Vorschläge für Politikmaßnahmen zur Verringerung des Energieverbrauchs zur Kälteerzeugung

handen sind, um das Energieeinsparziel von 40 % bis 2020 zu erreichen, jedoch unter der Voraussetzung, dass die Politik flankierende Maßnahmen ergreift.

Bereits dokumentiert sind die folgenden Einsparungen:

- Supermarktkälte: -5,5 % / Jahr [3]
- Haushaltskälte: -27 % / 10 Jahre [4]
- Klimakälte: -2 % / Jahr [5]

Beispielhaft ist in Abbildung 1 der Vergleich von Supermärkten dargestellt, die in den Betriebsjahren von 2003–2011 im Mittel ca. 5 % pro Jahr energie-

effizienter betrieben wurden. Basis dieser Untersuchung waren 200 Vergleichsmärkte von 10 Handelsketten, sowie Daten von Kühlmöbelherstellern und Anlagenbauern [3].

Große Potenziale bestehen aber weiterhin bei der Regelung und Steuerung von Anlagen sowie bei der optimierten Auslegung und im Betrieb beispielweise nach Jahrestemperaturgang und Jahreskältebedarf.

Einen weiteren Beitrag zur Senkung des Bedarfs an konventionellen Energieträgern stellt die Nutzung

erneuerbarer Energien dar. Neben einem wachsenden Beitrag erneuerbarer Energien im Strommix, der bei allen strombetriebenen Kälteverfahren indirekt wirkt, ist auch die lokale Nutzung erneuerbarer Energien im Verbund mit Kälte- oder Klimatisierungstechniken möglich, um den Bezug von Netzstrom und/oder fossilen Energieträgern zu reduzieren (siehe Abschnitt 3 dieses Beitrags).

Für verschiedene Sektoren der Kältetechnik sind in [Tabelle 1](#) Regulierungsvorschläge, Verpflichtungen und Maßnahmen dokumentiert, die im Rahmen der Arbeit des Forschungsrats Kältetechnik aber auch des VDMA Arbeitskreises Energie-Effizienz Kältetechnik erarbeitet wurden.

Eine Abschätzung zur Auswirkung der Umsetzung dieser Maßnahmen ergibt das oben dokumentierte Einsparpotenzial, welches in der genannten Größenordnung von ca. 40% bezogen auf die jeweilige Anlagentechnologie und deren Betrieb angenommen werden kann.

2.3 Prozessoptimierung und Betriebsführung

Die Optimierung der kälte- und wärmetechnischen Anlagentechnologie hinsichtlich der Integration der Gewerke ist derzeit im Fokus der Industrie. So werden beispielsweise die Wärmerückgewinnung und der Wärmepumpenbetrieb mit in die kältetechnische Prozessführung integriert. Weiterhin werden andere Wärme- und Kälteströme mit in neue Anlagenkonzeptionen integriert.

Auch die Berücksichtigung von Speichertechnologien wird intensiv untersucht, hier sind neben flüssigen Energiespeichern auch die in thermischen Massen gespeicherten Energien hinsichtlich ihrer Einkopplung in die Kältetechnik relevant.

Eine zentrale Herausforderung besteht in einer optimierten, möglichst intelligenten Betriebsführung, um das Zusammenspiel dieser insgesamt komplexer werdenden Prozessverbünde zu garantieren, und zwar im Sinne einer Sicherstellung der kältetechnischen Anforderungen einerseits und einer Minimierung des Energiebedarfs andererseits. Gerade in diesem The-

menfeld besteht noch erhebliches Optimierungs- und Einsparpotenzial und korrespondierender Forschungsbedarf.

3. Regenerative Energien in der Kältetechnik

Eine wachsende Rolle kommt der Nutzung regenerativer Energien für Kühlung und Klimatisierung zu. Während in Deutschland vor allem die Nutzung von Wärmesenken in der Umwelt ein erhebliches Potenzial für die Komfortklimatisierung bietet, sind solar angetriebene Kühlverfahren darüber hinaus eine aussichtsreiche Lösung für vielfältige Anwendungen, insbesondere in sonnenreichen Regionen. Eine Systematisierung und Begriffsdefinition zu „Renewable Cooling“-Technologien wurde jüngst vom Öko-Institut durchgeführt [\[7\]](#).

3.1 Solare Kühlung

Die Internationale Energie-Agentur hat in ihrer kürzlich veröffentlichten „Technology Roadmap – Solar Heating and Cooling“ [\[8\]](#) für 2050 ein Potenzial von weltweit jährlich 1500 PJ an bereit gestellter Kälte ermittelt, das durch solarthermische Verfahren gedeckt werden kann. Dies entspricht rund 17% des für 2050 erwarteten weltweiten Kältebedarfs. Hierfür wären rund 1000 GW an Kälteanlagen zu installieren, die mit Solarwärme betrieben werden.

Ein grundsätzliches Schema für solare Kühlverfahren zeigt [Abbildung 2](#). Ein thermischer Kollektor betreibt ein thermisch angetriebenes Kühlverfahren, das entweder Kaltwasser oder konditionierte Luft bereitstellt. Für die Bereitstellung von Kaltwasser stehen eine Reihe von geschlossenen, thermisch angetriebenen Kältemaschinen zur Verfügung, die mit unterschiedlichen Sorptionsmitteln arbeiten (Absorption, Adsorption) und je nach Verfahren unterschiedliche Antriebstemperaturen benötigen. Die Antriebstemperatur bedingt auch, welche Form von Solarkollektor eingesetzt werden kann. Neben den Sorptionsverfahren kommen auch Dampfstrahlkältemaschinen in Betracht; hier gibt es allerdings bislang kaum

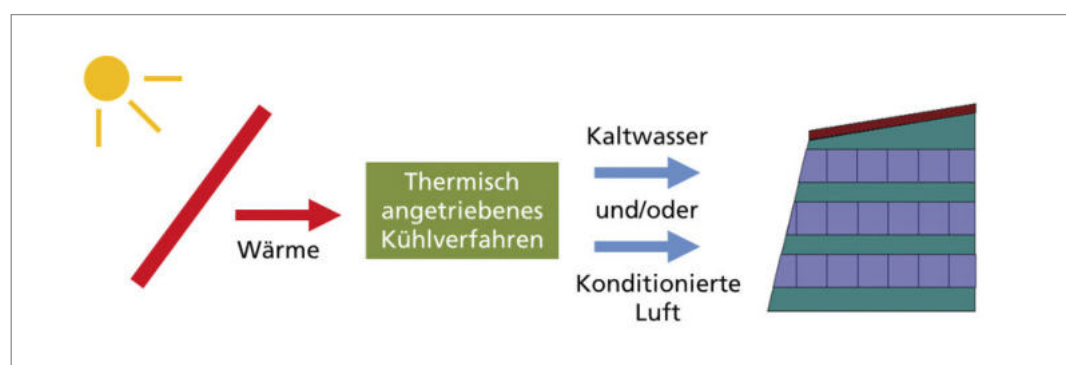


Abbildung 2
Generelle Verfahren der solaren Kühlung

Systemtyp	Kältemaschine (geschlossener thermodynamischer Prozess)							Direkte Luftbehandlung (offene sorptive Verfahren)	
Physikalische Phase Sorptionsmittel	Flüssig				Fest			Flüssig	Fest
Sorptionsmaterial	Wasser	Lithium-Bromid			Zeolith	Silikagel	Lithiumchlorid	Lithiumchlorid	Silikagel, Zeolith, Lithiumchlorid in Zellulose-Matrix
Kältemittel	Ammoniak	Wasser			Wasser	Wasser	Wasser	Wasser	Wasser
Prozessart	1-effect	1-effect	2-effect	3-effect	1-effect	1-effect	1-effect	Gekühlter Sorptionsprozess	Entfeuchtungsrotor
COP-Bereich	0.5 - 0.75	0.65 - 0.8	1.1 - 1.4	1.6 - 1.8	0.5 - 0.75	0.5 - 0.75	0.5 - 0.75	0.7 - 1.1	0.6 - 0.8
Antriebs-temperatur-Bereich, °C	70 ... 100 120 ... 180 ⁽¹⁾	70 ... 100	140 ... 180	200 ... 250	65 ... 90	65 ... 90	65 ... 90	60 ... 85	60 ... 80
Solarkollektor-Technologie ⁽²⁾	FK, VRK, EAK	FK, VRK	EAK	EAK	FK, VRK	FK, VRK	FK, VRK	FK, VRK, SLK	FK, VRK, SLK

Tabelle 2
Übersicht über sorptionsbasierte thermisch angetriebene Kühlverfahren, die benötigten Antriebs-temperaturen und die korrespondierende Solarkollektortechnik (VDMA, eigene Darstellung)

(1) gültig für hohen Temperaturhub, also z. B. Eisenzeugung bei trockener Rückkühlung in trocken-heißen Zonen
 (2) FK = Flachkollektor; VRK = Vakuumröhrenkollektor; EAK = einachsiger nachgeführter, konzentrierender Kollektor; SLK = Solarluftkollektor

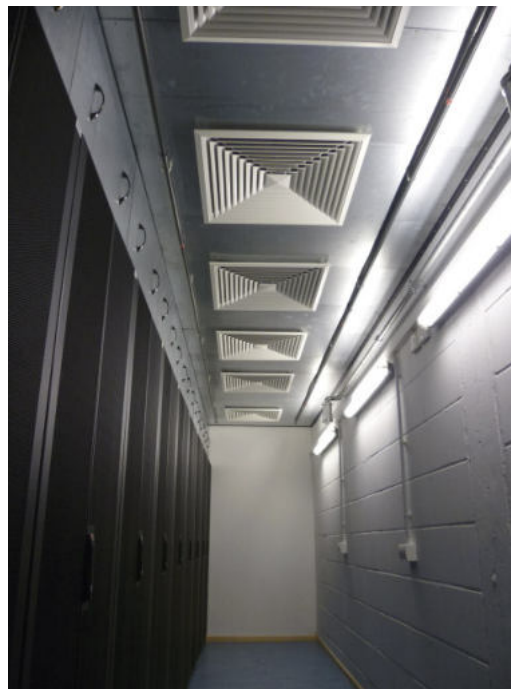


Abbildung 3
Anlagen für Prozesskälte
Links: Im EU-Vorhaben MEDISCO erstellte Demonstrationsanlage zur solaren Kühlung in der Weinherstellung in Tunesien. Rechts: Im BMWi-Vorhaben „Monitoring einer zentralen Energieversorgung aus erneuerbaren Energien für ein Verwaltungszentrum“ erstellte solarthermische Kühlung eines IT-Servers.

marktverfügbare Anlagen. Die direkte Luftkonditionierung – also Absenkung der Temperatur und der Feuchte von Frischluft – ist in thermisch angetriebenen offenen Sorptionsverfahren möglich. Als Sorptionsmittel kommen – wie bei den geschlossenen Kältemaschinen auch – entweder flüssige Sorbentien oder Feststoffe in Frage.

Eine Übersicht über die verschiedenen Verfahren und die korrespondierenden Kollektortechniken gibt [Tabelle 2](#). Alle Verfahren werden zum Beispiel in [\[9\]](#) ausführlich beschrieben.

Die in der Tabelle dargestellten COP-Werte (= Coefficient of Performance) geben das Verhältnis aus bereit gestellter Kälte pro eingesetzter Antriebswärme an und sind somit Kennzahl für die Effizienz.

Der Markt für solare Kühlung wächst stetig, allerdings liegt die Anzahl weltweit installierter Anlagen immer noch im Bereich von rund 1000. In den vergangenen

Jahren wurden jedoch neben Anwendungen zur Komfortklimatisierung zunehmend auch Anlagen für die Bereitstellung von Prozesskälte beispielsweise in der Nahrungsmittelindustrie in sonnenreichen Ländern oder auch zur Kühlung von zentralen IT-Infrastrukturen installiert; Beispiele hierfür zeigen [Abbildung 3](#).

Die beste Wirtschaftlichkeit erreichen Anlagen zum solaren Kühlen dann, wenn ein hoher Kollektorsertrag nutzbringend eingesetzt werden kann. Dies ist oftmals der Fall, wenn neben der Kühlung weitere

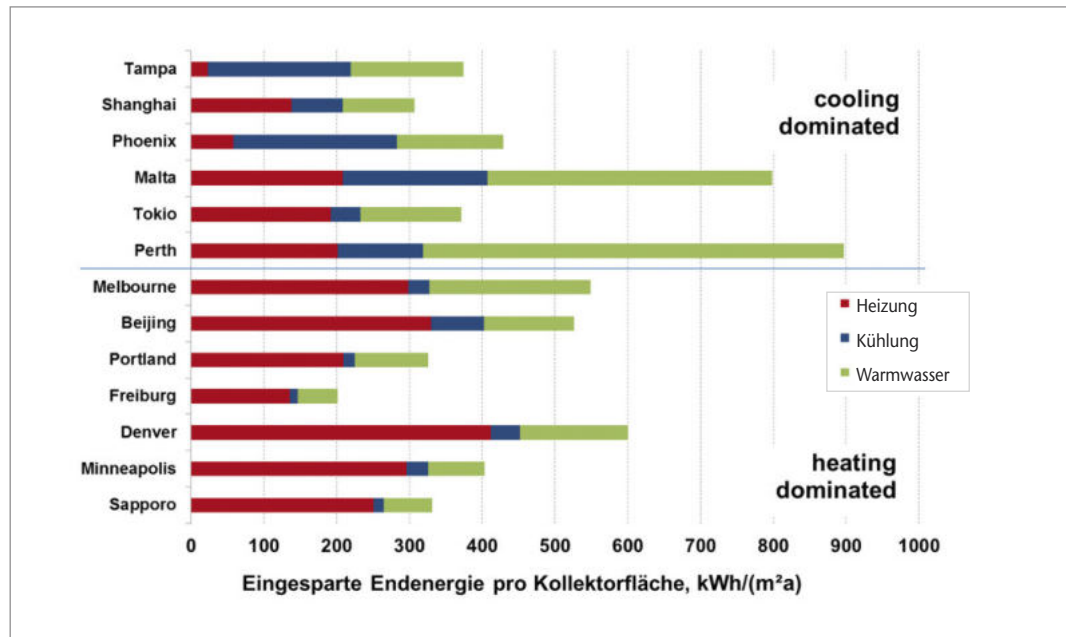


Abbildung 4
Eingesparte Endenergie pro Kollektorfläche im Vergleich zu einer Referenzanlage ohne Solarthermie. Simulationsstudie für ein Solarsystem zur Versorgung eines Hotels in unterschiedlichen Klimazonen [9].

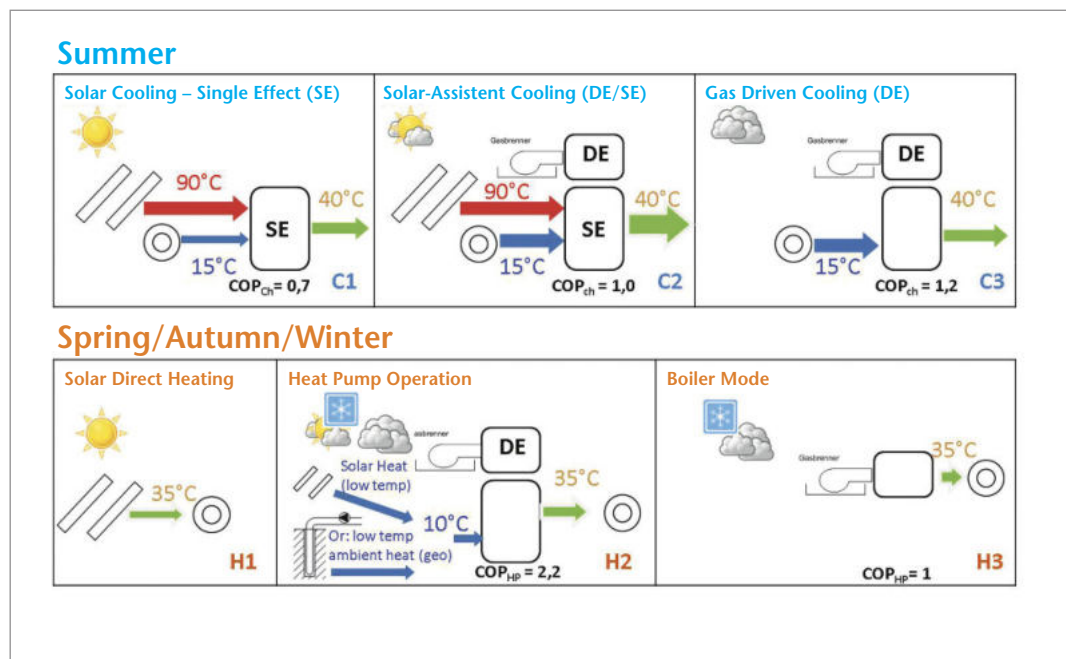


Abbildung 5
Betriebsmodi eines solaren Heiz- und Kühlsystems mit Gasfeuerung zur Unterstützung des Kühlbetriebs und als Antriebsquelle für die Wärmepumpenheizung.

Anwendungen durch Solarenergie bedient werden können, wie die Heizungsunterstützung oder die Brauchwassererwärmung.

Am Fraunhofer ISE wurde der Einsatz der Solarthermie zum Kühlen, Heizen sowie der Warmwasserbereitstellung eines Hotels in einer Simulationsstudie für verschiedene Klimata untersucht [10]. Beispielhaft zeigt *Abbildung 4* einige Ergebnisse. Es ist die eingesparte Endenergie für Heizen, Kühlen und Warmwasser im Vergleich zu einer Referenzanlage, die keine Solarthermie verwendet, dargestellt. Je höher die pro Kollektorfläche eingesparte Endenergie, desto wirtschaftlicher arbeitet die Solaranlage. An günstigen

Standorten sind die Lebenszykluskosten für die Solarvariante niedriger als für das konventionelle Vergleichssystem.

Um eine sichere Versorgung mit Wärme und Kälte unabhängig vom solaren Angebot und gleichzeitig die angestrebte Ressourcenschonung zu erreichen, ist eine wirksame Verbindung des solaren Klimatisierungssystems mit herkömmlicher Anlagentechnik erforderlich. Als Beispiel kann hier das Konzept einer zweistufigen Absorptionskältemaschine/-wärmepumpe angeführt werden, die im Kühl-Modus mit Solarwärme (ca. 80 °C) und ergänzend mittels Gasfeuerung betrieben wird (siehe *Abbildung 5*).

Die fossile Zusatzwärme treibt bei höherer Temperatur (150 °C) die zweite Stufe der Kältemaschine an. Dementsprechend wird der fossile Brennstoff mit höherer Effizienz (COP) genutzt. Dieselbe Anlage dient während der Heizsaison als Wärmepumpe. Dabei wird die bei niedriger Temperatur durch die solarthermische Anlage gelieferte Umgebungswärme durch die Wärmepumpe auf Nutztemperaturniveau angehoben. Durch die Integration von Heiz- und Kühlfunktion und die Einbindung eines konventionellen Wärmeerzeugers in eine Anlageneinheit werden Komplexität und Investitionsbedarf reduziert [11].

Zusammenfassend ist solare Kühlung eine vielversprechende Alternative zu konventionellen Anlagen insbesondere dort, wo eine hohe Auslastung der Solaranlage erreicht wird. Dies ist naturgemäß dort der Fall, wo einerseits hohe Einstrahlungswerte vorliegen und wo andererseits eine hohe Abnahme der Solarwärme gegeben ist. In der Praxis liegen die Schwierigkeiten der Technik heute oft noch in einer unzureichenden Qualität bei Planung, Ausführung und Betrieb. Hier sind weitere Demonstrationsvorhaben sowie Maßnahmen zur Unterstützung der Markteinführung sowie der Ausbildung der beteiligten Planer und Installateure notwendig.

3.2 Nutzung von Umweltwärmesenken zur Gebäudekühlung

In Deutschland ist in etwa die Hälfte der Büro- und Verwaltungsgebäude mit Kühl- oder Klimatisierungsvorrichtungen ausgestattet; rund 10% sind vollklimatisierte, ein gutes Drittel teilklimatisierte Gebäude [12]. Die somit zu kühlende Fläche der Büro- und Verwaltungsgebäude für den Sektor Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (= GHD) erfordert nach Angabe verschiedener Studien einen Endenergiebedarf zwischen 800 GWh_{end}/a Endenergiebezug für büroähnliche Betriebe [13], Stand 2008, 3.130 GWh_{end}/h [14], Stand 2005, 3.520 GWh_{end}/h [15], Stand 2008 bis sogar 5.540 GWh_{end}/a [16], Stand 2009.

Dies entspricht einem spezifischen Endenergiebezug für Klimakälte von 10 bis 20 kWh_{end}/(m²_{NGFa}) [15, 16], Stand 2008, 2009. Der elektrische Endenergiebedarf beträgt davon rund 85%.

Viele Studien prognostizieren weiterhin einen Anstieg des Energiebedarfs für die Gebäudekühlung in Deutschland und auch in Europa. Die Autoren einer gemeinsamen Studie von Prognos und Öko-Institut [17] gehen davon aus, dass spätestens ab 2015 alle errichteten Neubauten im GHD-Sektor mit Klimaanlagen ausgerüstet und auch im Bestand in erheblichen Maße Nachrüstungen erfolgen werden. Andere Studien erwarten für Geschäfts- und Bürogebäude voraussichtlich bis 2020 sogar einen Anstieg der Kühlung auf 70% des Gebäudebestandes [15, 16].

Gebäude, die mit thermoaktiven Bauteilsystemen (TABS) in Verbindung mit der Nutzung von Umweltenergie gekühlt und ggf. beheizt werden, haben sich in den letzten Jahren etabliert. Viele erfolgreiche und gut funktionierende Beispiele belegen, dass mit diesen Systemen ein hohes Maß an thermischer Behaglichkeit in Verbindung mit einer hohen Energieeffizienz bei Nutzung von erneuerbarer Umweltenergie (v. a. oberflächennaher Geothermie) erreicht werden kann. Jedoch zeigen die Betriebserfahrungen und die systematische wissenschaftliche Auswertung einer ganzen Reihe von Projekten, dass es in Planung, Ausführung und Betrieb noch Verbesserungsmöglichkeiten in Richtung einer besseren Ausschöpfung des Effizienzpotenzials gibt.

Niedrigenergiegebäude mit einem energieoptimierten Gesamtkonzept aus Architektur, Bauphysik und Gebäudetechnik weisen einen geringen Heiz- und Kühlbedarf auf. Sie können somit bei vergleichbarem Arbeitsplatzkomfort auf eine Vollklimatisierung und den Einsatz von Kältemaschinen zu Gunsten von Umweltenergie aus dem Erdreich, dem Grundwasser oder der Außenluft verzichten.

Die Betonkerntemperierung als Hochtemperatursystem im Kühlfall ermöglicht den effizienten Einsatz von Umweltwärmesenken. Das Erdreich bzw. das Grundwasser wird als natürliche Umweltwärmesenke zur direkten Kühlung (Einsatz eines Wärmetauschers) der Gebäude genutzt, sodass lediglich Hilfsenergie zur Verteilung der Kühlenergie, nicht aber zu deren Erzeugung, aufgewendet werden muss.

Die direkte Kühlung mittels oberflächennaher Geothermie ermöglicht die Bereitstellung von Klimakälte mit hoher Energieeffizienz – eine korrekte Auslegung, Installation und Betrieb der Geothermiesysteme vorausgesetzt. Für das Primärsystem im Betriebsmodus „Direkte Kühlung“ (ohne den Einsatz einer reversiblen Wärmepumpe bzw. Kältemaschine) wurden messtechnisch Jahresarbeitszahlen zwischen 10 und 16 kWh_{therm}/kWh_{el} nachgewiesen. Die Energieeffizienz der Umweltwärmesenken wird durch den Hilfsstrombedarf bestimmt und ist damit in erster Linie von der elektrischen Leistungsaufnahme der Primärpumpe (Grundwasser- oder Solepumpe) abhängig. Im Rahmen der Planung sollten daher klare Vorgaben für die zu erreichende Energieeffizienz der Systeme vereinbart werden.

Erfordert das Gebäude und die Nutzung eine erhöhte Kühlleistung, kann Klimakälte durch eine erdgekoppelte, reversible Wärmepumpe energieeffizient bereitgestellt werden. Die Nutzung von erdreichgekoppelten Kältemaschinen stellt ein effizientes und nachhaltiges Konzept zur Gebäudekühlung dar. Die relativ hohen Vorlauftemperaturen zur Kühlung von 16 bis 20 °C bedingen gute Energieeffizienzen. Mess-

technisch wurden in Projekten Jahresarbeitszahlen von 4,8 bis 5,8 kWh_{therm}/kWh_{el} nachgewiesen (Primärkreis und erdgekoppelte Wärmepumpe).

4. Forschungsbedarf im Bereich der Kältetechnik und erneuerbaren Energien

Wichtige Forschungsthemen, die sich zum Beispiel aus der Arbeit des Forschungsrats Kältetechnik und des VDMA ergeben, sind

- Schaffung von Marktanreizsystemen zur Umsetzung der formulierten Ziele (40% Energieeinsparung) in der Kältetechnik
- Untersuchung des Einsparpotenzials mittels Auslegungskriterien nach Jahrestemperaturgang und Teillastbetrieb und Berücksichtigung in Richtlinien und Normen
- Entwicklung von kostengünstigen Methoden zum Kältemaschinen-Monitoring und deren Praxisanwendung
- Entwicklung von Berechnungsmodellen zur Umsetzung der in VDMA 24247 entwickelten Energieeffizienzkriterien
- Aufzeigen und Entwickeln von Innovationsstrategien für die Kälte-, Klima- und Wärmepumpentechnik unter Berücksichtigung der Systemintegration und der Betriebsweise im Kontext der nationalen und europäischen Energiepolitik
- Untersuchung des Potenzials und der Anwendbarkeit von neuen Technologien, wie Wärmerückgewinnung und Speichertechniken
- Monitoring von Anlagen und Komponenten zur Rückkühlung
- Thermohydraulische Optimierung von Gesamtsystemen
- Entwicklung von intelligenten Betriebsführungsverfahren, insbesondere für den Verbund von Anlagen, bei der Prozessintegration und der Einbindung von Speichern
- Weiterentwicklung von Verfahren der solaren Kühlung, sowohl im Bereich der Basistechnologien als auch insbesondere der Systemtechnik und Qualitätssicherung im Betrieb

5. Zusammenfassung und Ausblick

Es wird erwartet, dass der Bedarf an Kälte- und Klimatechnik in den nächsten Jahren stark steigen wird, ein globales Marktwachstum von 5% pro Jahr scheint vor allem aufgrund des in den Entwicklungsländern sehr stark steigenden Bedarfs an Kühlung von Lebensmitteln und dem zunehmenden Komfortbedürfnissen realistisch. Dadurch, dass herkömmliche Verfahren der Kältetechnik meist elektrische Antriebe

benötigen, welche aber in heißen Klimaten nicht vollumfänglich zur Verfügung stehen, weisen die thermisch angetriebenen Prozesse gerade in diesen Gebieten außerordentlich große Marktpotenziale und damit Wachstumschancen für die deutsche Wirtschaft auf.

Das Optimierungspotenzial bei herkömmlichen Verfahren der Kälteerzeugung (Kaltdampfprozess) wird vor allem im optimierten Betrieb und bei der Integration von intelligenten Steuerungen gesehen. Bei den thermisch angetriebenen Verfahren zur Kälteerzeugung sind teils noch erhebliche Potenziale und Forschungsbedarf bei der Komponentenoptimierung vorhanden, aber auch bei der Integration in bestehende prozesstechnische Anlagen und damit in kälte- und wärmetechnische Konzepte.

Weiterhin wird erwartet, dass zukünftig die selbsttätige Optimierung der Betriebsweise dieser kälte- und wärmetechnischen Anlagen durch immer intelligentere Verfahren der Steuerung voranschreitet. Auch diese Technologieentwicklung weist einen erheblichen noch nicht gedeckten Forschungsbedarf auf.

6. Literatur

- [1] Klimaschutzbeitrag von Kälte- und Klimaanlage, Verbesserung der Energieeffizienz, Verminderung von treibhausrelevanten Emissionen, Forschungsrat Kältetechnik e. V., Frankfurt, März 2012
- [2] König, H.: Energieeffizienz von Kälteanlagen im internationalen, politischen Kontext, sowie Handlungsmaßnahmen, Vortrag und Podiumsdiskussion, DKV-Jahrestagung Aachen, November 2011
- [3] Heinbokel, B.: CO2OLtec analysiert und bewertet auf www.vdma-effizienz-quickcheck.org, DKV-Jahrestagung Aachen, November 2011
- [4] Preuß, G.: Übersicht zu aktuellen Erhebungen des VDMA zur Kältetechnik in Deutschland, VDMA, Frankfurt, November 2011
- [5] Brinkmann, R.; et al.: Energieeffizienz von Kälteanlagen, Klimakälte; VDMA-Tagung, Frankfurt, Dezember 2009
- [6] VDMA Einheitsblatt 24247, Energieeffizienz von Kälteanlagen, Teil 1–8: 2011
- [7] Kenkmann, T., Bürger, V.: Contribution of Renewable Cooling to the Renewable Energy Target of the EU, Freiburg, Juni 2012. Als PDF erhältlich unter <http://www.oeko.de/oekodoc/1497/2012-066-en.pdf>

- [8] Internationale Energie-Agentur (IEA): „Technology Roadmap Solar Heating and Cooling“. IEA Paris, 2012
- [9] Hans-Martin Henning (Ed.), Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings, A Handbook for Planners, Springer, Wien, New York, ISBN 3-211-00647-8.
- [10] H-M. Henning, J. Döll: Solar systems for heating and cooling of buildings. 1st IEA International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry. San Francisco, 2012. Submitted to Energy Procedia.
- [11] M. Riepl, F.Loistl, R. Gurtner, M. Helm, C. Schweigler;: Operational Performance Results of an Innovative Solar Thermal Cooling and Heating Plant. 1st International Conference on Solar Heating and Cooling for Buildings and Industry; San Francisco, 2012. Submitted to Energy Procedia.
- [12] BMVBS/BBR (Hrsg.) (2008) Folgen des Klimawandels: Gebäude und Baupraxis in Deutschland, BBR-Online-Publikation 10/2008. urn:nbn:de:0093-ON1008R229.
- [13] Schlomann, B. et al.: Energieverbrauch des Sektors Gewerbe, Handel, Dienstleistungen (GHD) in Deutschland für die Jahre 2007 bis 2010, Erster Zwischenbericht an das Bundesministerium für Wirtschaft und Technologie (BMWi), Karlsruhe, München, Nürnberg, 2010.
- [14] Adnot, J. et al.: Energy Efficiency and Certification of Central Air Conditioners (EECCAC), Abschlussbericht, Teil 1 bis 3. Study for the D.G. Transportation-Energy (DGTREN) of the Commission of the E.U., Paris, Frankreich, 2003.
- [15] VDMA (Hrsg.): Energiebedarf für Kältetechnik in Deutschland: Eine Abschätzung des Energiebedarfs von Kältetechnik in Deutschland nach Einsatzgebieten. Frankfurt am Main, 2011.
- [16] Bettgenhäuser, K. et al.: Klimaschutz durch Reduzierung des Energiebedarfs für Gebäudekühlung. www.uba.de/uba-info-medien/3979.html, 2011.
- [17] Kirchner, A. und Matthes, F. Modell Deutschland Klimaschutz bis 2050: Vom Ziel her denken. www.prognos.com und www.oeko.de, 2009.