

Zukunft der Energieversorgung

Teil 2: Regenerative Energien und weitere Ressourcen

Der erste Teil der Betrachtungen zur Zukunft der Energieversorgung¹ hatte ergeben, dass bei Öl, dem wichtigsten Rohstoff der Industriegesellschaften, in naher Zukunft ein globales Ölfördermaximum bevorsteht, in dessen Folge sich ein Förder-Rückgang einstellen wird.

Gas, Kohle und Kernenergie können den Niedergang der Ölförderung nicht ausgleichen, deswegen wird es auch zu einem deutlichen Abfall der insgesamt verfügbaren fossilen und fissilen Energie kommen.

Damit stellen sich die Fragen nach den Konsequenzen und den Optionen.

Der bevorstehende Mangel in der globalen Energieversorgung wird die Einführung von Energieeffizienztechnologien und den Aufbau von Energie-Alternativen beschleunigen.

Die Potentiale, bei identischem Nutzen den Energieeinsatz zu reduzieren, sind angesichts des Weltbevölkerungs- und Wirtschaftswachstums begrenzt. Große Bedeutung kommt daher dem Aufbau von Alternativen zu. Im folgenden sollen zunächst die prinzipiellen Abläufe sowie die theoretischen Grenzen regenerativer Energien dargestellt werden.

Wachstumsgesetz

Die wichtigste Energiequelle der Zukunft ist neben Geothermie und Kernfusion² in erster Linie die Sonne, deren emittierte Energie mittels technischer und biologischer Prozesse gewandelt und nutzbar gemacht werden muss. Der Verlauf der über der Zeit bereitgestellten Alternativenergie genügt dem Gesetz des natürlichen Wachstums innerhalb gegebener Grenzen, das in Abbildung 2 grafisch dargestellt ist. Ein solches natürliches Wachstum ist gekennzeichnet durch einen exponentiellen Anstieg bis zu einem Wendepunkt und anschließend

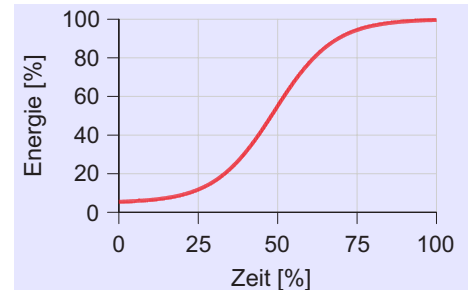


Abb. 2: Natürliches Wachstum innerhalb von Grenzen

durch eine Umkehr des Funktionsverlaufs bis zum Maximum. Das Wachstum ist zu Beginn zwar exponentiell, die absoluten Werte sind jedoch niedrig und erreichen erst nach beträchtlicher Zeit eine nennenswerte Größe.

Abbildung 1 zeigt eine mögliche Entwicklung der regenerativen Energieversorgung. Diese kann hinsichtlich der Gewichtung der Alternativen und hinsichtlich der zeitlichen Abfolge durchaus etwas anders verlaufen. Nicht beliebig verkürzt werden kann jedoch die relativ lange Anlaufzeit, bis Energie in nennenswerter Höhe zur Verfügung steht, verteilt und genutzt wird. Die materiellen Kapazitäten dafür müssen erst geschaffen werden, und zwar auf Basis fossiler Energie – die immer kostenintensiver wird.

Autoren

Dipl.-Ing.
Jörn Schwarz

Kompetenzzentrum
Energieeffizienz
Kälte- und Klima-
technik (**kek**),
ASPO Deutschland



Dr. Werner Zittel

Ludwig-Bölkow-System-
technik, ASPO
Deutschland

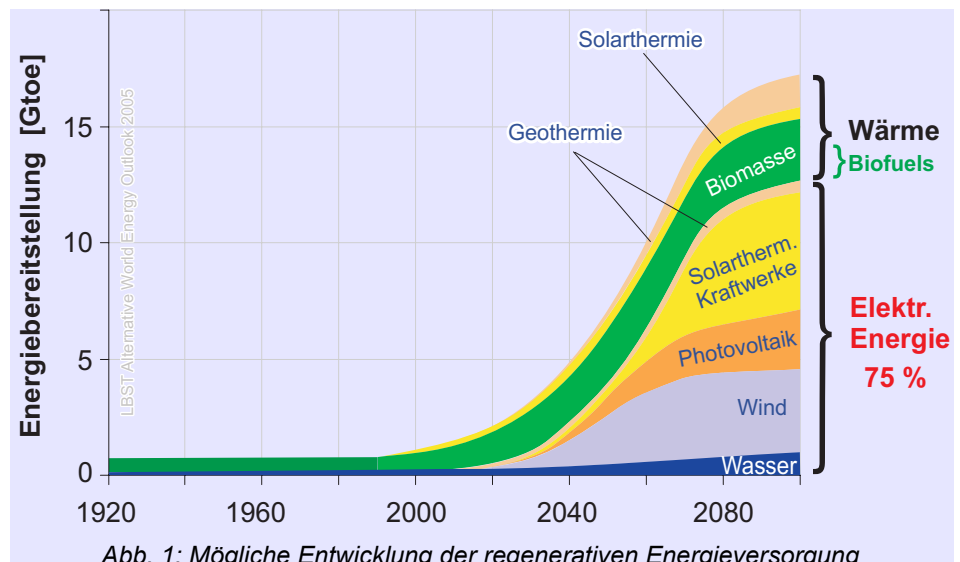


Abb. 1: Mögliche Entwicklung der regenerativen Energieversorgung

Gesamtprognose

Damit stellt sich die Frage, ob die regenerativen den Niedergang der fossilen Energien ausgleichen können. – Die Frage beantwortet sich durch Addition der Verläufe der prognostizierten regenerativen und fossilen Energiebereitstellung (letztere aus Teil 1 dieses Artikels¹). Grafisch wiedergegeben ist das Ergebnis in Abbildung 3.

Auch in dieser Darstellung zeigt sich ein Maximum der weltweit zur Verfügung stehenden Energie um das Jahr 2010, gefolgt von einem Rückgang ungefähr bis ins Jahr 2030. Erst danach steigt die Energiebereitstellung wieder an.

Der Aufbau der regenerativen Energien wird also soviel Zeit erfordern, dass der Rückgang der verfügbaren fossilen Energieträger nicht ausgeglichen werden kann. Daraus resultiert eine Energiemangel-Phase von mehreren Jahrzehnten. Gleichzeitig steigt jedoch der für ein wirtschaftliches Wachstum für nötig gehaltene globale Energiebedarf deutlich an, und zwar gemäß IEA³ zwischen 2005 und 2030 um knapp 50 % auf ca. 17 Gigatonnen Öläquivalent.

Damit bekommen Energieeffizienz-Technologien, obwohl, wie einleitend bemerkt, ihr Potential begrenzt ist, eine außerordentlich große Bedeutung.

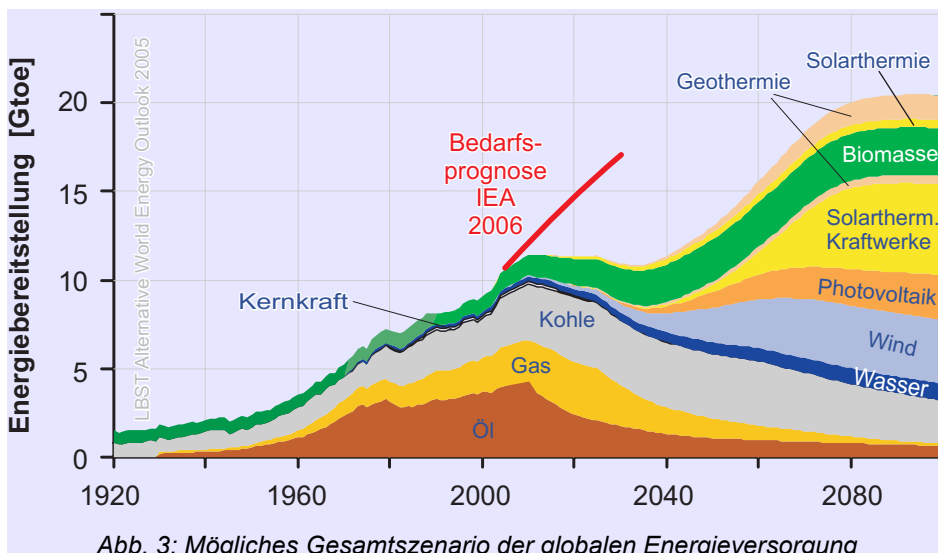


Abb. 3: Mögliches Gesamtszenario der globalen Energieversorgung

Energieeffizienz in der Kaltdampfkompressionstechnik

Die Kälte- und Klimatechnik ist einer der großen Energie'verbraucher' in Deutschland. 14 % der Elektroendenergie werden für die Bereitstellung von Kälte aufgewendet, entsprechend 5,8 % der Primärenergie. Abbildung 4 zeigt die Aufteilung der 14 % Elektroendenergie in Anwendungsbereiche.

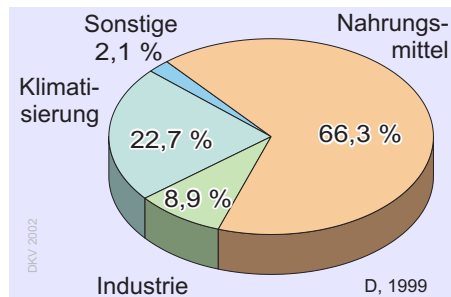


Abb. 4: Elektroendenergie für die Bereitstellung von Kälte, 66 Mrd. kWh/a

Insgesamt sind es ca. 66 Mrd. kWh Elektroenergie, entsprechend 12 fossil-thermischen Kraftwerken. Hinzu kommen 11 Mrd. kWh thermischer Energie zum Antrieb von Sorptionsanlagen. Diese für das Jahr 1999 erhobenen Daten stammen aus einem Statusbericht des DEUTSCHEN KÄLTE- UND KLIMATECHNISCHEN VEREINS⁴ VON 2002. Für die folgenden Betrachtungen wird davon ausgegangen, dass die Anteile seitdem konstant geblieben sind und sich auch in der nahen Zukunft nicht wesentlich ändern.

Potentiale Kälte-/Klimatechnik

Das größte Energieeffizienz-Potential besteht bei den individuell von Anlagenbauern gefertigten Einzelanlagen. In der Vergangenheit standen hier bei niedrigen Elektroenergiekosten nicht die laufenden Betriebskosten im Vordergrund, sondern die dominierenden Investitions- und Installationskosten. Energiespartechniken, die seit Jahren bekannt sind, hätten zu unakzeptabel langen Amortisationszeiten geführt und wurden deshalb nur in seltenen Fällen eingesetzt. Wie in Teil 1 dieses Artikels ausgeführt, sind die Elektroenergiekosten in den letzten Jahren jedoch auf Rekordhöhe angestiegen, und ein Ende der Steigerungen ist nicht abzusehen. Energieeinspartechniken, die sich in der Vergangenheit nur nach langer Zeit amortisierten, bekommen dadurch eine immer größere Bedeutung.

Berechnungen des KOMPETENZZENTRUMS ENERGIEEFFIZIENZ KÄLTE- UND KLIMATECHNIK (*kek*) haben ergeben, dass durch Einsatz moderner kälte- und regelungstechnischer Komponenten in Verbindung mit angepassten Regelungsstrategien mindestens 30 % der Antriebsenergie eingespart werden können⁵. Die Amortisationszeiten für die neue Technik liegen in der Größenordnung von 2 – 3 Jahren.

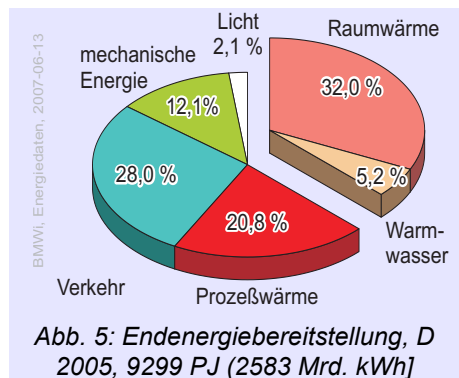
Hochgerechnet auf den Bestand in Deutschland, bedeutet dies ein mögliches Einsparpotential von knapp 10 Mrd. kWh, entsprechend 2 fossil-thermischen Kraftwerken mit einer Nennleistung von 600 MW. Bei einem Arbeitspreis für gewerbliche Anwendungen von 0,10 €/kWh bedeutet dies in der Summe eine finanzielle Entlastung der Betreiber von 1 Mrd. €a und bei einer spezifischen CO₂-Emission von 616 g/kWh_{el}⁶ eine Minderemission von 6,16 Mio. t CO₂/a.

Für die Umsetzung der Modernisierungsmaßnahmen würde Zeit sowie Material und Personal benötigt. Bei theoretisch zur Verfügung stehenden 20 Jahren mit einer jährlichen Um-

rüstrate von 5 %, resultierte daraus für die Anlagenbauer nach überschlägigen Berechnungen ein Zusatz-Umsatz von ca. 100 Mio. €a und für die Komponentenhersteller von ungefähr 30 Mio. €a.

Potentiale Wärmebereitstellung

Der Nutzen der Kaltdampfkompressionstechnik muß aber nicht nur auf der Seite des Verdampfers liegen, er kann ebenso auf der Seite des Verflüssigers liegen – nämlich bei der Wärmebereitstellung.



Wie Abbildung 5 zeigt, wird mehr als 37 % der Endenergie in Deutschland für Raumwärme und Warmwasser aufgewendet (knapp 960 Mrd. kWh), wovon mehr als 90 % aus fossilen Energiequellen und mehr als 75 % aus Gas und Öl stammen⁷.

Mit dem Rückgang der weltweit zur Verfügung stehenden fossilen Energieträger wird der Bedarf an alternativen Techniken zur Bereitstellung von Niedertemperaturwärme deutlich steigen. Wärmepumpen beziehen ca. 75 % des Nutzens Heizwärme aus der Umwelt und benötigen zum Antrieb keine fossilen Energieträger, sondern Elektroenergie⁸. Die Umweltverträglichkeit der Wärmepumpen hängt damit von derjenigen der Elektroenergiebereitstellung ab.

In der Vergangenheit hatten Wärmepumpen aufgrund des elektrischen Antriebs und der damit in Deutschland verbundenen, hohen CO₂-Emissionen keine sehr günstigen Randbedingungen (in Ländern mit anderem Energiemix waren die Verhältnisse

besser). In den letzten Jahren hat sich dies jedoch grundlegend geändert, was auf die Energiepreisentwicklungen, eine Steigerung der Jahresarbeitszahlen neuer Wärmepumpensysteme sowie auf die geringeren CO₂-Emissionen bei der Bereitstellung von Elektroenergie zurückzuführen ist. Letztere sind von 727 g CO₂ im Jahre 1990 auf 616 g CO₂ pro kWh_{el} im Jahre 2007 reduziert worden⁶, wodurch die Wärmepumpen hinsichtlich der Umweltbelastung den mit fossilen Energieträgern betriebenen Konkurrenten inzwischen überlegen sind.

Die Reduzierung der CO₂-Emissionen geht jedoch weiter. Nach den Teilveröffentlichungen des UNO-Weltklimaberichts im Frühjahr 2007 und einer Vielzahl politischer Forderungen wurde das Thema 'CO₂-Emission und Elektroenergiebereitstellung' intensiv in der Wirtschaft und in der Öffentlichkeit diskutiert. Am 31. Mai 2007 veröffentlichten die RHEINISCH-WESTFÄLISCHE ELEKTRIZITÄTWERK AG (RWE) ihr Ziel hinsichtlich der zukünftigen Reduzierung der spezifischen CO₂-Emission: Bis ins Jahr 2030 sollen die Emissionen auf einen Wert von 360 g CO₂/kWh_{el} reduziert werden, was, bezogen auf den momentanen Wert, einer Verringerung um 42 % entspricht. Wie dieses Ziel technisch erreicht werden soll, ist noch nicht im Detail veröffentlicht. Es kann allerdings davon ausgegangen werden, dass nicht

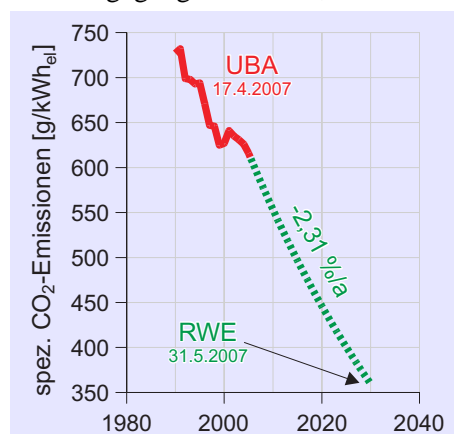


Abb. 6: Möglicher Verlauf zukünftiger CO₂-Emissionen bei der Bereitstellung von Elektroenergie (RWE / k&kk)

nur ein, sondern alle Energieversorgungsunternehmen dieses Ziel anstreben. In Abbildung 6 ist die Entwicklung der bisherigen CO₂-Emissionen sowie auf der Basis der RWE-Ankündigung ein möglicher Verlauf der Emissionswerte bis 2030 dargestellt. Daraus ergibt sich, dass Wärmepumpenheizsysteme in Zukunft aufgrund der geringer werdenden CO₂-Emissionen immer umweltverträglicher werden – während die mit fossilen Energieträgern betriebenen Heizsysteme zukünftig konstante Emissionen aufweisen werden.

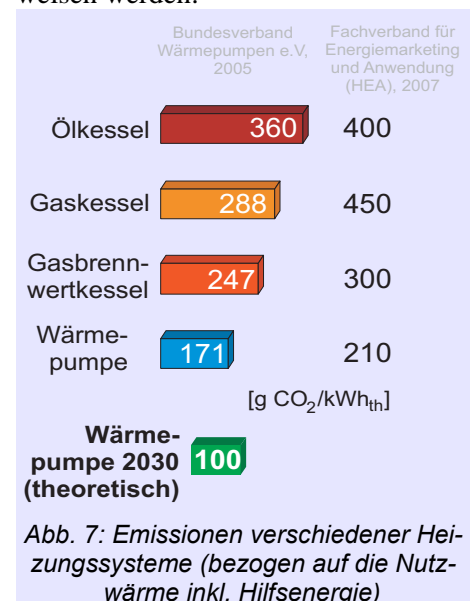


Abb. 7: Emissionen verschiedener Heizungssysteme (bezogen auf die Nutzwärme inkl. Hilfsenergie)

Abbildung 7 zeigt die spezifischen Emissionswerte der mit fossilen Energieträgern betriebenen Heizsysteme mit Daten des BUNDESVERBANDES WÄRMEPUMPEN E.V. und der HEA. Die Daten dieser beiden Organisationen weisen erhebliche Unterschiede auf (die hier nicht näher erörtert werden sollen).

Entscheidend ist, daß beide Organisationen die Wärmepumpe als das Heizsystem mit den gegenwärtig geringsten CO₂-Emissionen ansehen. Dieser Vorteil wird noch größer, wenn die spezifischen CO₂-Emissionen der Kraftwerke, wie von der RWE angegebenen, in Zukunft deutlich reduziert werden. Die Wärmepumpe wird damit das eindeutig 'umweltverträglichste' Heizsystem.

Gedankenspiele

Diese Zahlen sind bei weitem noch nicht Realität, und angesichts technischer Probleme und politischer Unwägbarkeiten auf dem Weg zu einem derartig anspruchsvollen Ziel sind Zweifel durchaus angebracht. Gleichwohl bieten Wärmepumpen schon jetzt Emissionsvorteile gegenüber den fossil betriebenen Heizsystemen. Vor diesem Hintergrund soll eine Abschätzung der theoretisch möglichen Emissionsminderung vorgenommen werden, die sich bei einem vollständigen Ersatz aller fossil betriebenen Heizsysteme durch solche mit Wärmepumpen ergibt. Damit soll nicht einem sofortigen Weg dorthin das Wort geredet werden, sondern es soll nur das Potential bestimmt werden, was dann in Relation zu anderen Emissionsminderungsmaßnahmen zu sehen ist.

Für Raumwärme und Warmwasser wurden im Jahr 2005 gemäß Abbildung 5 in Deutschland knapp 960 Mrd. kWh aufgewendet. Die durchschnittliche Emission bei der Bereitstellung von Raumwärme und Warmwasser in Haushalten beträgt 0,281 kg CO₂/kWh⁷ (es sei davon ausgegangen, dass diese spezifischen Emissionswerte auch für gewerblich genutzte und geheizte Räume gilt). Daraus resultiert dann eine absolute CO₂-Emission für Raumwärme und Warmwasser von knapp 270 Mio. t CO₂ pro Jahr (zum Vergleich: die gesamte Emission in Deutschland lag 2006 bei ca. 1012 Mio. t CO₂-Äquivalent⁹).

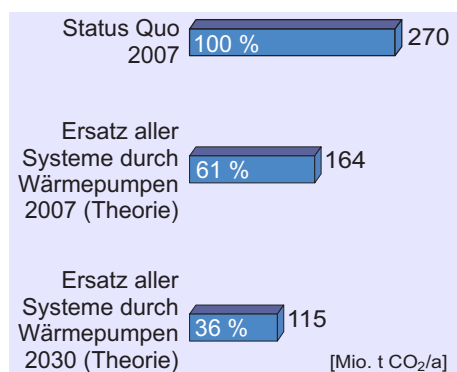


Abb. 8: CO₂-Emissionen gegenwärtiger und möglicher zukünftiger Heizsysteme

Abbildung 8 belegt das außerordentliche Emissionsminderungspotential der Wärmepumpen. Theoretisch könnten Emissionen in Höhe von ca. 155 Mio. t CO₂ pro Jahr eingespart werden. Keine andere Technik bietet ein derartig hohes Potential.

Die Deutsche Bundesregierung hat auf der Kabinettsitzung in Meseberg am 23. und 24. August 2007 ein Minderungsziel bei der CO₂-Emission von 36 % bis 2020 beschlossen (bezogen auf 1990), was insgesamt 226 Mio t CO₂-Äquivalent entspricht. Wie obige Gedankenspiele belegen, könnten Wärmepumpen zu einer zukünftigen großen CO₂-Emissionsminderung beitragen. Der einfachste Weg dorthin wäre der Ersatz herkömmlicher Heizsysteme in Einfamilien- und in geeigneten Mehrfamilienhäusern sowie Industriegebäuden. Parallel dazu sollten die Gebäude besser isoliert werden, was auch im Konzept der Bundesregierung vorgesehen ist. Für die Sanierung bestehender kleiner Gebäude steht eine Luft/Wasser-Wärmepumpentechnologie mit Economizerschaltung und Jahresarbeitszahlen von 3,8 zur Verfügung¹⁰, bei denen keine kostenintensive Installation von Erdreichwärmeübertragern mehr erforderlich ist.

Fazit

Angesichts der in nicht allzu ferner Zukunft bevorstehenden Verknappung der fossilen und fossilen Energieträger werden sich erhebliche Änderungen in allen Bereichen der Energiewandlung ergeben. Für die Branchen der Kaltdampfkompensationstechnik ergeben sich dadurch mehr Chancen als Risiken:

Kälte-/Klimatechnik Modernisierungsmaßnahmen an individuell gefertigten Kälteanlagen könnten bei Amortisationszeiten von 2–3 Jahren Betriebskosteneinsparungen von 30 % und mehr ermöglichen, was zum Vorteil aller Beteiligten wäre:

- **der Betreiber durch langfristig geringere Kosten,**
- **der Kälteanlagenbauer und der Zulieferindustrie durch eine höhere Wertschöpfung sowie**
- **der Umwelt durch geringere CO₂-Emissionen.**

Heizungstechnik Wärmepumpenheizungs-systeme bieten vor dem Hintergrund neuer, angekündigter Kraftwerke mit deutlich reduzierten CO₂-Emissionen das größte Einsparungspotential überhaupt. Und die Emissionen werden in Zukunft sogar noch weiter zurückgehen, wenn im zweiten Drittel des Jahrhunderts ein immer größer werdender Anteil der bereitgestellten Energie aus Wasser- und Windkraft sowie Photovoltaik und Solarthermischen Kraftwerken stammt und daher Elektroenergie sein wird.

- 1 'Zukunft der Energieversorgung – Teil 1: Ökonomische und geologische Aspekte'; Schwarz, Jörn; Zittel, Werner; Die KÄLTE & Klimatechnik 9/2007; Gentner-Verlag
- 2 Die Kernfusion ist gemäß mündlicher Information des Instituts für Plasmaphysik, Greifswald, voraussichtlich nicht vor 2060 verfügbar (Schauer, F.; Vortrag am 6.7.2007 in Greifswald), und das Potential ist derzeit noch nicht abschätzbar. Aus diesem Grund ist die Kernfusion in der vorliegenden Betrachtung (noch) nicht berücksichtigt.
- 3 World Energy Outlook 2006, International Energy Agency, Paris
- 4 'Energiebedarf für die technische Erzeugung von Kälte'; Deutscher Kälte- und Klimatechnische Verein; Statusbericht 2002; ISBN 3 932 715-06-3
- 5 Eine Einsparung durch optimierte Regelung in Höhe von 23 % des Jahresenergieverbrauchs ist bereits nachgewiesen bei identischen Anlagen des neuesten Standes der Technik: 'Optimierte Arbeitstemperaturregelung'; Wendelborn, Horst; Die KÄLTE & Klimatechnik 8/2007; Gentner-Verlag. Die Mehrzahl der in Deutschland in Betrieb befindlichen Anlagen entspricht jedoch nicht dem neuesten Stand der Technik, so dass deren Energieeinsparpotential höher anzusetzen ist.
- 6 'Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix', Umweltbundesamt, 2007-04-17
- 7 'Energieverbrauch in Deutschland – Daten, Fakten, Kommentare'; Tzscheutschler, Peter; Nickel, Michael; Wernicke, Ingrid; BWK · Das Energie-Fachmagazin, Springer VDI Verlag, 5/2007,
- 8 Sorptionswärmepumpen mit thermischer Verdichtung des Kältemittels seien in diesem Zusammenhang aufgrund der sehr geringen Marktbedeutung nicht betrachtet.
- 9 Klimaagenda 2020, April 2007, Bundesumweltministerium, www.bmu.de
- 10 'Verbesserung des COP bei Luft-Wasser-Wärmepumpen'; Bertuleit, Reiner; Die KÄLTE & Klimatechnik 1/2007; Gentner-Verlag