www.think-ing.de

Ausgabe 5 | 2009

THINK ING.

kompakt

Jeden Monat neue Infos aus der Welt der Ingenieure

Thema: Klimatechnik

»» KLIMATECHNIK

Wohlig warm, luftig frisch und prima Klima

Ingenieure der Lüftungs-, Kälte- und Klimatechnik: Sie regeln in allen Räumen Temperatur, Luftfeuchte und Luftqualität

Schwitzen beim Sport mag ja noch okay sein, aber in Anzug und Krawatte im Büro und am Schreibtisch? Noch schlimmer verhält es sich mit dem Frieren, das geht gar nicht, diese unangenehme Strapaze versucht jeder Mensch möglichst zu vermeiden. Und dass man heutzutage mal so richtig vor Kälte schlottert, ist in geschlossenen Räumen selten geworden. Klar, „outdoor" an einem eisigen Wintertag bei falscher Kleidungswahl oder im schneeumwehten Sessellift im Skiurlaub, aber „indoor" in Wohn- und Bürogebäuden, in Schulen, in Fabriken, im Kaufhaus, im Bahnhof oder im eigenen Automobil, da wird dem modernen Menschen immer schön warm ums Herz.

Ein Wohlfühlklima umgibt uns, so selbstverständlich, dass wir es schon gar nicht mehr bemerken. Dafür sorgen Ingenieure. Genauer gesagt die Experten der Lüftungs-, Kälte- und Klimatechnik. Sie planen und installieren Anlagen und Maschinen, mit denen Temperatur, Luftfeuchte und Luftqualität in Räumen aller Art auf die gewünschten Werte geregelt werden können – egal, ob draußen die feuchtwarme Gewitterschwüle eines Sommertages wabert oder klirrende Winterkälte die eigene Atemluft gefrieren lässt. Für die Ingenieure bedeutet das einen Aufgaben-Mix aus Beratung, Bauleitung, Konstruktion, Projektmanagement und Messtechnik. Neben rein technischem Know-how sind planerisches Geschick, koordinierende Fähigkeiten sowie Detailkenntnisse der Gerätetechnik und das Verständnis von Klimakreisläufen extrem wichtig.

© Fotolia – Jopri-Foto

Dafür sorgen die Wohlfühlexperten unter den Ingenieuren ja auch für prima Klima – mit Anlagen und Prozessen und den Elementen Luft und Wasser. Vier große Klimaaufgaben müssen sie in geschlossenen Räumen lösen: 1. Kühlen – also Wärme abführen; 2. Heizen – also Wärme zuführen; 3. Die Luft befeuchten – also Luftfeuchtigkeit steigern; 4. Die Luft entfeuchten – also die Luftfeuchtigkeit absenken.

Die größte Klimaaufgabe, die sich den Ingenieuren neuerdings leider stellt, betrifft das Wohlbefinden unseres Planeten Erde. Woher kommt die Energie und wo bleibt die Energie, die wir verheizen? Zur Neige gehende »» weiter S. 2

»» INTRO

Am Anfang war das Feuer

Vielleicht waren die Ahnen des Homo sapiens ja die ersten Klimatechniker der menschlichen Geschichte. Ihnen gelang es schließlich schon vor 1,5 Millionen Jahren, die Überreste eines Blitzschlags zu nutzen. Fortan wärmten offene Flammen die klammen Höhlen und erhellten die steinzeitlichen Nächte. Von Lagerfeuerromantik ist heutzutage nicht viel übrig geblieben, Klimatechnik ist Hightech und sie ist überall. Nur, man sieht sie nicht, man spürt sie – angenehm warm, erfrischend kühl oder herrlich luftig. Ob Sommer oder Winter, ob Wohnhäuser, Bürogebäude, Hotels und Industriehallen – alle Gebäude haben eins gemeinsam: Sie müssen beheizt und belüftet werden. Klima ist aber auch in Bezug auf unseren Planeten ein Riesenthema. Damit wir den nicht gnadenlos verheizen, wird fieberhaft nach neuen Technologien gesucht und gespart, wo es nur geht. Denn Heizenergie ist kostbar. So kostbar wie das Know-how der Lüftungs-, Kälte- und Klimatechnik-Ingenieure.

»» FAKTEN

Too warm to work

Bei etwa 20 °C ist der Mensch zu 100 % leistungsfähig.
Bei 28 °C sinkt die Leistungsfähigkeit auf 70 % und bei 33 °C auf 50 %.
Wärmer als 26 °C soll es in Büroräumen nicht sein. //

© 2004 Behr GmbH & Co. KG

»» FORSCHUNG

Umweltfreundliche Kälte

In herkömmlichen Klimaanlagen kommen Treibhausgase wie Tetrafluorethan zum Einsatz. Damit soll jetzt Schluss sein. Alternative Technologien kommen aus Deutschland und die nutzen ausgerechnet Kohlendioxid als Kältemittel. »» weiter S. 3

© Fotolia – Cornelius

»» TECHNOLOGIEN

Energie für neue Wärme

Wärmeschutzverordnungen, Niedrigenergiehäuser, Brennwertkessel, Solaranlagen – die Welt der Klimatechnik ist im ständigen Wandel. Neue Entwicklungen zielen auf einen effizienten und umweltschonenden Umgang mit Energie. »» weiter S. 4

»» Fortsetzung von S.1: Wohlig warm, luftig frisch und prima Klima

Rohstoffe erfordern den Einsatz alternativer Energieträger und steigenden Brennstoffkosten kann nur mit immer effizienteren Anlagen begegnet werden. Zudem nimmt das Umweltbewusstsein zu und neue regenerative Energietechniken werden stark nachgefragt – das erschließt den Klimatechnik-Experten neue Potenziale, erfordert aber auch ein stets aktuelles Fachwissen.

So wohlig warm sich diese Jobbeschreibung auch anhören mag, so handfest, naturwissenschaftlich und technisch sind die Anforderungen, die ein Studium der Klimatechnik parat hat. Einige wenige Fachhochschulen und Berufsakademien bieten eigenständige Studiengänge. An den Unis startet man zumeist mit einem Grundstudium in den Fachbereichen Maschinenbau, Verfahrenstechnik oder Versorgungstechnik, bevor man sich in den weiterführenden Semestern auf die Spezialgebiete der Lüftungs- und Klimatechnik oder der Kälte- und Klimatechnik konzentriert. Alternativ gibt es im Rahmen des noch recht jungen Studiengangs Facility Management entsprechende klimatechnische Vertiefungsrichtungen im Bereich der Gebäudetechnik und Gebäudeautomation. Aber ganz egal, welchen Weg man wählt, folgende Inhalte bringen auf jeden Fall frischen Wind ins Studium der angehenden Lüftungs-, Klima- oder Kältetechnik-Ingenieure: Mathematik mit linearer Algebra, Logik, Analysis und Stochastik, Thermodynamik, Technische Mechanik, Elektrotechnik, Mess-, Steuerungs- und Regelungstechnik, Komponenten der Kälte- und Klimatechnik, Verfahren der Kälteerzeugung, Kenntnisse über Betriebs- und Hilfsstoffe, Informatik, CAD-Anwendungen, Recht, Kostenrechnung und Projektmanagement.

Das Studium

Die meisten Universitäten und Fachhochschulen, die die Studiengänge Maschinenbau, Verfahrenstechnik, Umwelt-, Energie- oder Prozesstechnik anbieten, haben im Hauptstudium auch die Vertiefungsrichtung Kälte- und Klimatechnik im Angebot.

An der Europäischen Studienakademie Kälte-Klima-Lüftung gibt's duale Studiengänge zum Bachelor der Klimasystemtechnik oder der Kältesystemtechnik.
www.esak.de

Ab dem Wintersemester 2009/10 kann an der Hochschule Karlsruhe erstmals auch im Bachelorstudiengang Mechatronik die „Kälte-, Klima- und Umwelttechnik" als Vertiefungsrichtung im Hauptstudium gewählt werden. Das gab's bisher nur im Bereich Maschinenbau.
www.hs-karlsruhe.de

Da wird schnell klar, dass Klimatechnik weit mehr ist als heiße oder kalte Luft. Nicht nur die Grundlagen zu Heizung, Sanitär, Gas und Gebäudeleittechnik müssen beherrscht werden, auch Zentralklimaanlagen und Wärmepumpen müssen vom Angebot bis zur Ausführung konzipiert und konstruiert werden. Es gilt Rohrnetze zu berechnen, den Wärmebedarf kompletter Gebäude zu bestimmen, diverse DIN-Normen, Sicherheitsvorschriften und sogar den Einfluss des Wetters zu beachten. Zudem warten auf die Ingenieure Hygieneinspektionen zur Luftreinheit, regelmäßige Dichtigkeitsprüfungen, umfassende Wartungen und die gewissenhafte Fortschreibung der Anlagendokumentation.

Ein ähnliches Aufgabenspektrum hat auch die Kältetechnik. Die Anlagen, zumeist für gewerbliche oder große industrielle Kühlprozesse genutzt, müssen projektiert werden, um danach Schaltungen und Komponenten auszuwählen und die Inbetriebnahme von der Einregulierung bis zur reibungslosen Übergabe sicherzustellen. Kenntnisse zu aktuellen Gesetzen über verbotene sowie umweltverträgliche alternative Kältemittel und mögliche Recyclingprozesse spielen eine wichtige Rolle.

Klimatechnik-Ingenieure machen uns das Leben angenehm – angenehm warm und angenehm kühl. Daran sollte man mal denken, wenn man demnächst in kuscheligem Wohlbehagen vorm Fernseher sitzt oder die Klimaanlage im Auto für lang andauernde Erfrischung sorgt. //

Klimatechnik-Ingenieure sind überall im Gebäude aktiv – egal ob Wärme oder Frischluft, durch sie wird das Leben angenehm

© Fotolia – Jean Paul Comparin

© Focke-Museum

»» GEO-ENGINEERING

Sprühschiffe gegen Klimakollaps

Klimatechnik in ganz großen Dimensionen wollen Forscher der University of Edinburgh betreiben. Dabei geht es ihnen nicht um Gebäude, sondern um die Rettung der Erde vor dem CO_2-Kollaps. Dazu soll ein Heer von 1.500 Roboterschiffen über die Ozeane geschickt werden, um Unmengen von Meerwassertropfen in die zu Luft zu blasen. Ein Riesenmanöver gegen die Aufheizung der Erdatmosphäre und die mit Sicherheit größte Klimaanlage im Universum.

Diese Form des Geo-Engineering soll sogar vergleichsweise günstig sein – zumindest in Relation zu den Katastrophen und Kosten, die durch einen weltweiten Klimawandel entstehen würden. Schlappe hundert Millionen Euro pro Jahr – wohlgemerkt, für eine Flotte von Roboterschiffen, die nichts weiter tun soll, als feine Salzwassertröpfchen zu versprühen. 30 Kilogramm gefiltertes Meerwasser müsste pro Sekunde „verpustet" werden. Dadurch würden besonders weiße Wolken erzeugt, denn schneeweiße Wolken und die darin enthaltenen Kondensationskeime verstärken das Reflektionsvermögen für Sonnenstrahlen. Folglich kommt weniger Wärme auf der Meeresoberfläche an, die Erde insgesamt heizt sich weniger auf und der Klimawandel ist unter Kontrolle. So die Theorie.

Made in Germany wäre übrigens die Antriebstechnik für die geplanten Sprühschiffe. Die hat seinerzeit der deutsche Erfinder Anton Flettner entwickelt – den Flettner-Rotor. Diese segelartigen Gebilde wären Antrieb, Meerwasserpumpe und Spray-Düse zugleich.
Wie das Ökosystem Erde auf die Sprüh-Attacke reagiert, weiß natürlich niemand. Aber vielleicht bleibt den Klimatechnik-Ingenieuren irgendwann nichts anderes mehr übrig als die Atmosphäre zu vernebeln … //

© 2005 Behr-Hella Thermocontrol GmbH

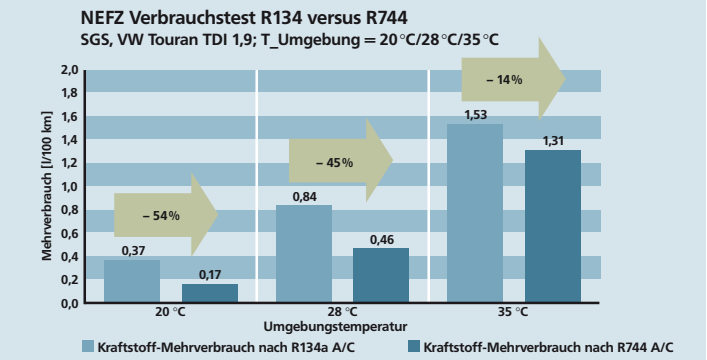
»» FORSCHUNG

Klimaschutz durch umweltfreundlichere Klimaanlagen

CO_2 statt Tetrafluorethan – neue Kältemittel kühlen effektiv, produzieren aber weniger Treibhausgase

Ein Volkswagen Touran dient Testzwecken, die möglicherweise große Auswirkungen auf unsere Umwelt haben werden. Auf dem Rollenprüfstand ist der Wagen fixiert, die Klimaanlage ist mit einer Messvorrichtung verbunden. Hier soll bei verschiedenen Umgebungstemperaturen der Verbrauch an Kraftstoff ermittelt werden – und zwar bei einer heute üblichen Autoklimaanlage und einer neuartigen CO_2-Klimaanlage.

In herkömmlichen Klimaanlagen kommt das Treibhausgas Tetrafluorethan zum Einsatz, das deutlich klimaschädlicher ist als CO_2: Nach Berechnungen des Weltklimarates IPCC, dem zwischenstaatlichen Ausschuss für Klimaveränderungen, weist R134a, wie es von Kältetechnikern bezeichnet wird, ein 1430-mal höheres Treibhauspotenzial auf als CO_2. Kohlendioxid als Kältemittel könnte eine mögliche Alternative sein. Das jedenfalls schlägt das Umweltbundesamt vor, das bei Ingenieuren oben dargestellte Prüfstandsmessungen in Auftrag gegeben hat. „Klimaanlagen sind selbstverständlich geworden und in keine Energieverbrauchsmessung eingerechnet. Da haben wir es für zwingend notwendig erachtet, nach einer alternativen Anwendung im Klima-Kältebereich zu suchen", sagt Dr. Wolfgang Plehn von der obersten deutschen Umweltbehörde mit Sitz in Dessau.



Das Forschungsprojekt des Umweltbundesamtes zeigt: Der Kraftstoff-Mehrverbrauch ist bei einer R744 (CO_2)-Klimaanlage geringer als bei einer herkömmlichen R134a-Anlage – und zwar bei verschiedenen Temperaturen.
Quelle: Umweltbundesamt

Der Motor des Touran wird also angelassen, bei angenehmer, konstanter Raumtemperatur von 20 °C. Die Laborbedingungen ändern sich, die Temperatur steigt zunächst auf 28 °C, später auf heiße 35 °C. Durch diese Simulationen kann der Kraftstoffverbrauch in verschiedenen Regionen nachgestellt werden; mit einer CO_2-Klimaanlage und einer R134a-Serienklimaanlage. Und siehe da: Bei 20 und 28 °C ist der Mehrverbrauch der umweltfreundlicheren Variante deutlich geringer, wie die Grafik (NEFZ Verbrauchstest R134a versus R744) eindrucksvoll zeigt. „Wir haben unter Mithilfe vieler Ingenieure belegen können, dass die innovative Pkw-Klimaanlage mit CO_2 als Kältemittel energetisch günstiger ist", erklärt Dr. Plehn.

Aufgrund der hohen Zusatzemission (sieben Gramm CO_2 pro Kilometer bei mittlerer Fahrleistung) beschloss die Europäische Union per EU-Richtlinie, dass ab 2011 in Autoklimaanlagen nur noch gering treibhausschädliche Kältemittel verwendet werden dürfen. Und der VDA (Verband der Automobilindustrie) verkündete schon vor zwei Jahren, CO_2 als neues Kältemittel einzuführen. Verschiedene Zulieferunternehmen wie zum Beispiel Behr aus Stuttgart investierten daraufhin in die Entwicklung entsprechender Klimaanlagen. Ausländische Automobilhersteller und Verbände wollten diesem Vorstoß nicht folgen und testeten fluorhaltige Alternativen. Zum Beispiel das synthetische Kältemittel R1234yf, das allerdings bei einem Brand stark ätzende und giftige Flusssäure bilden kann. CO_2 hingegen ist unbrennbar und nicht giftig, dafür müssen für die Verwendung von CO_2 ganz neue Klimaanlagen gebaut werden.

© Umweltbundesamt

Der Volkswagen Touran auf dem Rollenprüfstand

Überall suchen Ingenieure nach Lösungen – angesichts eines weltweiten Einsparpotenzials von 270 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten eine durchaus lohnenswerte Anstrengung. Das entspricht schließlich der Menge an CO_2, die 150 Millionen Kleinwagen bei einer Fahrleistung von 15.000 Kilometern im Jahr emittieren. Dank der Ingenieurskunst ist sicher: CO_2-Kältemittel können CO_2-Emissionen im großen Stil vermeiden, die Autohersteller müssen nur grünes Licht für Klimaschutz mit CO_2 als Kältemittel geben. Und deutsche Ingenieure hätten ihren Anteil daran. //

Umkehrprozess

Kohlendioxid kann durch seine speziellen Stoffeigenschaften auch für einen Wärmeprozess verwendet werden, sodass die CO_2-Klimanlage auch als Wärmepumpe für den Fahrzeuginnenraum genutzt werden kann. Das ist gerade bei modernen Diesel- und Hybridfahrzeugen wichtig, denn die Abwärme reicht hier in Wintermonaten oft nicht aus, um das Fahrzeug schnell beheizen zu können.

Natürliche Kälte in Supermärkten

Natürliche Kältemittel sind nach Ansicht des Umweltbundesamtes auch bei Kühlanlagen in Supermärkten der zukunftsweisende Weg. Kohlendioxid statt bislang verwendete teilfluorisierte Kohlenwasserstoffe (HFKW) werden befürwortet, denn die deutschen Supermarktkühlungen sind mit 3,4 Millionen Tonnen CO_2-Äquivalenten der größte HFKW-Emittent (35 % des Gesamtvolumens). Für zukünftige Elektrofahrzeuge gibt es sogar keine andere sinnvolle Alternative zur Wärmepumpe als Heizung.

CO_2-Forschungen

Ein Forschungsschwerpunkt bildet die mobile Klima- und Kältetechnik unter der Verwendung des natürlichen Kältemittels CO_2 auch an der TU Braunschweig. Das Institut für Thermodynamik unter Leitung von Prof. Dr.-Ing. Jürgen Köhler forscht zudem mit der Bundesuniversität in Recife (Brasilien) an Möglichkeiten der Wärmeauskopplung an Klima-und Kälteanlagen durch CO_2 in tropischen Regionen.

»» IMPRESSUM
Verantwortlicher Herausgeber:
Arbeitgeberverband Gesamtmetall
Wolfgang Gollub · Leiter Nachwuchssicherung/THINK ING.
Postfach 060249 · 10052 Berlin
www.think-ing.de

»»KURZ-INTERVIEW

10 Antworten in 10 Sätzen

Thomas Braun (44) studierte nach einer handwerklichen Ausbildung Versorgungstechnik an der FH in Gelsenkirchen und arbeitet seit 1991 als Projektingenieur bei der Firma Meuro Maschinen GmbH & Co. Vertriebs KG in Bochum. Während seiner Tätigkeit hat er in Abendform die Zusatzqualifikation zum Diplom-Wirtschaftsingenieur (FH) erworben. Seit dem Jahr 2000 ist er Prokurist.

Ein guter Arbeitstag beginnt mit …
einem angenehm gut gefüllten Terminkalender.

An der Klimatechnik faszinieren mich …
die vielseitigen und individuellen Anwendungsgebiete.

Es macht mich wahnsinnig, wenn …
Zusagen nicht eingehalten werden.

Die Ingenieurausbildung in Deutschland …
ist umfassend, anspruchsvoll und bietet viele berufliche Chancen.

Ohne Klimageräte wäre die Welt …
in vielen Bereichen nicht so angenehm. Außerdem wäre die EDV- und Medizintechnik in dem Umfang und der Perfektion von heute nicht denkbar.

Entspannung finde ich, wenn …
alles gut läuft.

Die aktuelle Weltwirtschaftskrise bedeutet für unsere Branche…
Umsatzeinbußen durch die verhaltene Investitionsbereitschaft unserer Kunden, aber auch die Chance, neue Zielgruppen zu erschließen.

Wenn ich noch einmal 18 wäre, würde ich …
den gleichen beruflichen Weg einschlagen.

Ein Studium der Versorgungstechnik und des Wirtschaftsingenieurwesens ist …
die Ausbildung in einem sehr vielseitigen Ingenieurberuf, der sich mit der uns täglich umgebenden Technik beschäftigt. Darüber hinaus ist das Studium der komplexen wirtschaftlichen Zusammenhänge eine sehr interessante Wissenserweiterung.

Als Rentner werde ich …
viel reisen.

© Fotolia – Vitaly Pakhnyushchy

»»TECHNOLOGIE

In heißen Zeiten kühlen Kopf bewahren

Klimatechniker kämpfen nicht nur gegen's Frieren und Schwitzen, sondern auch gegen Umweltsünden und Energieverschwendung

Circa ein Drittel des Energieverbrauchs in der BRD geht für **Raumwärme und Warmwasserbereitung** drauf. Dabei sind 75 % der Häuser energetisch nicht gerade im Topzustand, sie wurden vor Inkrafttreten der zweiten Wärmeschutzverordnung (1984) errichtet. Allein für Heizzwecke benötigen diese Oldies im Durchschnitt 250 Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr. Zum Vergleich: Nach den Regelungen der jetzt geltenden Energieeinsparverordnung (EnEV) haben Neubauten nur noch einen Heizwärmebedarf von 75 Kilowattstunden pro Quadratmeter Wohnfläche und Jahr. Niedrigenergiehäuser oder Passivhäuser liegen mit ihren Werten um die 15 Kilowattstunden pro Quadratmeter per anno noch deutlich darunter.

Das erste **Null-Energie-Bilanz-Hotel** der Welt entsteht gerade in Wien. Kein Strom, kein Gas, kein Öl. Das bedeutet: In allen 38 Zimmern, die bis November 2009 entstehen, wird keine externe Energie verwendet. Frieren müssen die Gäste trotzdem nicht und Licht und Warmwasser gibt's auch. Dafür sorgen Grundwasser-Wärmepumpen, eine Fotovoltaikanlage und eine Solaranlage direkt vor Ort. Im Sommer werden die Zimmer mit eiskaltem Grundwasser gekühlt, im Winter durch warmes Wasser und kontrollierte Raumluft temperiert.

Strom aus Abwärme lautet das Stichwort der gemeinsamen Entwicklung des Automobilherstellers BMW und des Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt (DLR): Mit dem Thermoelektrischen Generator (TEG) wird die bislang ungenutzte Abwärme aus Pkw-Abgasen in elektrische Energie umgewandelt. Das Fahrzeug kann so mit Bordstrom versorgt werden und der CO_2-Ausstoß reduziert sich. Der Generator des Versuchsfahrzeugs schaffte bei einer Geschwindigkeit von 130 km/h bereits eine elektrische Leistung von 200 Watt.

Kühlgeräte, die das Leben in Räumen angenehmer machen, gibt es zuhauf. Der Klassiker ist natürlich das **Klimagerät**, wobei hochwertige Anlagen übrigens auch zum Heizen genutzt werden können. Eine integrierte Wärmepumpe dreht das Prinzip der Kälteerzeugung um: Das „Kältemittel" entzieht dem Außenbereich Wärme und befördert sie in den Innenraum.

Zusatzfunktionen haben **Klimaanlagen in Flugzeugen**. Sie schaffen nicht nur eine angenehme Umgebungstemperatur, sondern versorgen die Kabine bei Flughöhen bis über 11.000 Metern mit genügend Luftdruck und ausreichend Sauerstoff. Deswegen bezeichnet man diese wesentlich komplexeren Anlagen als Umweltkontrollsystem beziehungsweise ECS (environmental control system). //

»» FACHBEGRIFFE

Klima-Deutsch und Heiz-Latein

» Zentralheizung
Von Zentralheizung spricht man, wenn alle zu beheizenden Räume eines Hauses von einem zentralen Kessel oder Heizgerät mit Wärme versorgt werden. Man unterscheidet Dampf-, Warmwasser- und Luftzentralheizung. Heutzutage spielt fast nur noch die Warmwasserzentralheizung eine Rolle.

» Brennwerttechnik
Die Brennwerttechnik erlaubt eine bessere Ausnutzung der Brennstoffenergie. Das Prinzip: Bei der Verbrennung von Heizöl oder Gas entsteht Wärmeenergie, aber auch latente Wärmeenergie in Form von Wasserdampf. Bei konventionellen Heizanlagen entschwindet diese gebunden im Wasserdampf mit dem Abgas durch den Schornstein. Anlagen mit Brennwerttechnik sind technisch in der Lage auch diese latente Wärmeenergie zu nutzen.

» Absorber
Ein Absorber besteht aus beschichtetem Kupferblech, ist Bestandteil des Kollektors und damit das wichtigste Bauelement eines Solarsystems. Er nimmt die einstrahlende Sonnenenergie auf und gibt sie an das zu erwärmende Wasser ab.

» Inverter-Technologie
Im Gegensatz zu einfachen, per Thermostat geregelten Klimageräten wird die Kälteleistung bei Geräten mit Invertertechnologie stufenlos hergestellt. Das Gerät fährt langsam herunter und nimmt auch langsam wieder Fahrt auf. Die Raumtemperatur kann so noch gleichmäßiger gehalten werden.

» Kryostate
Kryostate sind Kühlgeräte, in denen sehr tiefe Temperaturen ziemlich konstant gehalten werden können. Sie werden zum Beispiel eingesetzt zur Untersuchung von Werkstoffen oder zur Kühlung von Strahlungssensoren und supraleitenden Spulen.