



# ZENTRALE MAGNETISCHE KUEHL- UND KAELTEMASCHINEN (CHILLER) UND IHRE BEWERTUNG

Jahresbericht 2008

Autor und Koautoren	Peter W. Egolf, Andrej Kitanovski, Didier Vuarnoz, Cyrill Gonin, Tom Swinnen
beauftragte Institution	HEIG-VD, Yverdon-les Bains
Adresse	Route de Cheseaux 1
Telefon, E-mail, Internetadresse	024 557 61 57, <a href="mailto:Peter.egolf@heig-vd.ch">Peter.egolf@heig-vd.ch</a> , <a href="http://www.heig-vd.ch">http://www.heig-vd.ch</a>
BFE Projekt-/Vertrag-Nummer	102873/153691
BFE-Projektbegleiter	Roland Brüniger
Dauer des Projekts (von – bis)	15. November 2008 - 31 März 2010
Datum	1. Dezember 2008

## ZUSAMMENFASSUNG

Eine erste Machbarkeitsstudie über die magnetische Kältetechnik wurde im April 2008 abgeschlossen. Diese hatte zum Ziel für alle Gebiete der Kältetechnik zu prüfen, wie geeignet eine Substitution einer konventionellen durch eine magnetische Kälteanlage ausfallen würde. Die umfassende Studie zeigt, dass vor allem zwei Anwendungen für einen Einsatz der magnetischen Kältetechnik erfolgversprechend wären, nämlich der Haushalt-Kühlschrank ohne Gefrierfach und die zentralen Kühlgeräte (Chiller) mit nicht zu tiefen Wassertemperaturen. Das Projektteam konnte bereits ein Industrieprojekt mit einer namhaften Kühlschrank-Firma einrichten, um die magnetische Haushalt-Kühlschrank-Technologie weiter zu untersuchen. Deshalb wird in diesem BFE-Folgeprojekt vorgeschlagen, die zweite Anwendung der „magnetischen Kühlmaschinen (Chiller)“ weiter zu vertiefen. Durch eine tief-schürfende Untersuchung - mit einfachen Modellen und numerischen Simulationen - soll beurteilt werden, welche „Chiller-Anlagen“ sich am besten eignen um durch magnetische Kältemaschinen ersetzt zu werden.

## Projektziele

Durch die Entdeckung des „giant magnetocaloric effect“ hat die magnetische Kältetechnik einen grossen Impulsstoss erhalten. Man kann zum Beispiel leicht nachweisen, dass die geringe Zahl von erschienen Publikationen in internationalen renommierten Fachjournalen vor dieser Entdeckung im Jahre 1996 durch Karl Gschneidner und Vitalij Pecharsky plötzlich exponentiell zu wachsen begann. Dies hatte dann auch gleich zur Folge, dass in verschiedenen Quellen Durchbrüche dieser Technologie in einige Märkte der Kältetechnik vorhergesagt wurden. Einzig über den Zeitpunkt solcher Durchbrüche gibt es unterschiedliche Voraussagen, die zwischen zwei und fünf Jahren schwanken.

Die Forscher der HEIG-VD in Yverdon-les-Bains haben durch einige interessante Patentanmeldungen für magnetische Kältemaschinen, magnetische Wärmepumpen und magnetische Energie-Konversions-Maschinen, Publikationen in renommierten Fachjournalen und Preisgewinne (z. B. erster Preis des Swiss Technology Award, ABB- und BFE-Sonderpreis im Jahre 2006) auf sich aufmerksam gemacht. Durch die Präsidentschaft der Arbeitsgruppe „Magnetic Refrigeration at Room Temperature“ des Internationalen Kälteverbandes (IIF/IIR) in Paris sind sie auch international gut vernetzt und werden regelmäßig an internationale Konferenzen als Redner eingeladen (dieses Jahr z.B. an die Purdue Konferenz, AICARR Vicenza, MISM Moskau, usw.).

Drei BFE-Studien über die Machbarkeit der drei Technologien: magnetische Wärmepumpe, magnetische Kältemaschine, magnetische Energiekonversion haben großes Interesse hervorgerufen. Speziell die Studie: *Application of Magnetic Refrigeration and its Assessment: A Feasibility Study* ist viel beachtet worden. Diese Studie hatte zum Ziel alle möglichen Kältetechnologien auf eine Anwendung der magnetischen Kältetechnik hin zu evaluieren. Es hat sich gezeigt, dass die „Chiller“ für die Klimatisierung von Gebäuden und die Kühlung von Produkten in der Prozesstechnik, falls in dieser zweiten Anwendung eine nicht zu tiefe Temperatur (das heisst nicht unter 5 °C) verlangt wird, sehr ideale Anwendungen sind.

Daher ist es das Ziel dieses Folgeprojekts die oben erwähnte Studie mit einem speziellen Fokus auf die „Chiller-Technologie“, mit einer ergänzenden Untersuchung zu vertiefen. Aufgrund dieser Studie sollten finanzielle Ressourcen für die Forschung und Entwicklung in Zukunft optimaler eingesetzt werden können. Die Forscher haben die Hoffnung, dass diese Evaluation zu einem Folgeprojekt, das den Bau eines ersten Prototyps mit Industrieunterstützung enthalten sollte, führen wird. Entsprechende geeignete Partner für den Bau eines Prototyps und für experimentelle Untersuchungen sind an der HEIG-VD vorhanden.

Die erwarteten Ergebnisse werden in Kürze aufgelistet:

- 1) „Review“ der „Chiller-Technologien“ (Luftkühlung, Verdunstungskühlung, Wasserkühlung)
- 2) Liste der Vor- und Nachteile der einzelnen Technologien unter Bezugnahme auf die Grösse der Anlagen
- 3) Gegenüberstellung mit anderen, bewährten Kälteproduktionsverfahren
- 4) Liste und extensive Beschreibung der möglichen Anwendungen
- 5) Technische Charakterisierung der Anlagen
- 6) Vorschlag je eines geeigneten magnetischen und regenerativen Prototyps pro Anwendung
- 7) Numerische Modellierung mit Vereinfachungen der Maschinen, erwähnt unter Punkt 6)
- 8) Numerische Energieverbrauchsrechnungen
- 9) Kostenabschätzungen der Anlagen unter Einbezug der Kompetenz von Kältefirmen
- 10) Vergleiche (siehe Punkte 8 und 9) des neuen Systems mit der konventionellen Technologie
- 11) Vorschlag für weiterführende Arbeiten
- 12) Suche eines geeigneten Industriepartners
- 13) Alle geforderten Jahres-, Zwischen- und Schlussberichte.

## Eine erste Recherche über Grosskältemaschinen

Eine Literaturrecherche über „Chillers“ wurde im Rahmen des Vorgängerprojektes (siehe Ref. [1]) durchgeführt und auch in einem Anhang des Schlussberichts publiziert. Dieser Anhang enthält die folgenden Ausführungen:

Im Jahre 2003 war die weltweite Produktion von Kompressoren (Zentrifugal-, Schrauben-, Reziprok- und Rotations-Kompressoren mit zwei Zylindern) für die Klimatisierung ungefähr 22 Millionen Einheiten und für die Kältetechnik ungefähr 18 Millionen Einheiten. Der Weltmarkt für beide wird ungefähr zu 3 Milliarden US\$ pro Jahr geschätzt. Konventionelle zentrale Kühlsysteme, Gas-Kompressions- und Sorptions-Chiller (normalerweise Heisswasser und Gas Absorptions-Chiller, seltener Adsorptions-Chiller und dampfgetriebene Absorptions-Chiller) werden in praktischen Anwendungen gefunden. Die Figur 1 zeigt ein Beispiel eines Zentrifugal-Chillers. Solche werden für grosse Volumenströme und kleinere Temperaturspannen eingesetzt. Wir verwenden in diesem Bericht den englischen Ausdruck Chiller, weil er auch in der deutschen Fachliteratur gebräuchlich ist.

Eine Recherche der Autoren dieses Berichts über die Aktivitäten, die weltweit in magnetischer Kühlung zurzeit im Gange sind, hat gezeigt, dass die aktivsten Industrievertreter im Bereiche der Klein-Kompressor-Hersteller und Kühlschränke-Hersteller zu finden sind. Nun kommt es mehr und mehr, dass auch Industrien die Klein-Klimageräte herstellen sich für die magnetische Kältetechnologie zu interessieren beginnen. Dazu gehört auch die Automobilindustrie. Überraschend ist das geringe Interesse der Industrie die grosse Kältemaschinen produzieren. Grosse magnetische Kältemaschinen hätten viele Vorteile gegenüber kleinen Geräten beispielsweise eingesetzt in Laboratorien, Hotels und Haushalten, wie Labor-Kühlschränke, Hotel-Mini-Bar-Kühlschränke, usw. Ein grosser Vorteil ist, dass in Grosskälteanlagen die verlangten Temperaturdifferenzen zwischen den Wärmequellen und den Wärmesenken gar nicht so gross sind. Zudem liessen in Grossanlagen die hohen Anlage- und Betriebskosten Elektromagnete und vielleicht sogar supraleitende Magnete zu. Dies gilt vor allem für zentrale und dezentrale Distrikt-Kälteanlagen. Die relative Auslage für das externe Kühlen mit Stickstoff eines supraleitenden Systems im Vergleich zur Gesamtinvestition würde viel weniger gross sein als bei einer Kleinanlage. Das solches nicht Utopie ist, kann man daran sehen, dass es zurzeit grosse Aktivitäten gibt Motoren mit supraleitenden Teilen für grosse Schiffe zu entwickeln (siehe z. B. in der Ref. [2]). Es ist klar, dass solche Systeme sehr gute Wirkungsgrade erreichen könnten.

## Allgemeiner Stand der magnetischen Kältetechnik

Trotz des noch geringen Interesses verschiedenster Industriezweige gibt es aufmunternde Neuigkeiten auf dem Bereiche der magnetischen Kühlung zu vermelden. Dies ist, dass die Firmen BASF [3] und Vacuumschmelze [4] grosse Anstrengungen unternehmen magnetokalorische Materialien zu entwickeln, die - für die magnetische Heizung, magnetische Kühlung und die magnetische Energie-Konversion - auf dem Markte Bestand haben sollen. Ungeachtet dessen entwickeln Materialwissenschaftler immer neue magnetokalorische Materialien mit dem Ziel für den Praxiseinsatz ideale Materialien zur Verfügung stellen zu können (siehe z. B. in den Ref. [5] bis [9]). Dies ist die eine wichtige Entwicklung und die andere ist die Entwicklung neuer Prototypen. Hier ist auch viel Bewegung entstanden. Zurzeit gibt es weltweit etwa dreissig Prototypen, über die berichtet worden ist (Ref. [10] und [11]). Die Entwicklung neuer Prototypen wird durch die Autoren wie folgt beurteilt. Einmal muss man sich klar sein, dass nicht alle Entwicklungen auch publik gemacht werden. Es wird hier also nur über die transparenten Aktivitäten, die eher an Hochschulen als in Industrielaboratorien stattfinden, berichtet. Die ersten dreissig Prototypen sind angelegt einen Kühleffekt bei möglichst eindrücklichem Abkühlverhalten (Temperaturerniedrigung) zu zeigen. Dabei wurde noch selten auf eine global gute Energieeffizienz geachtet. Auch die Grösse der Maschinen im Vergleich zu ihrer Leistung ist in der Regel noch viel zu gross. Eine Minimierung der Masse (der Magnet-Konfiguration, der magnetokalorischen Material-Betten und der totalen Masse einer Maschine) um möglichst kleine Geräte zu erreichen sind sehr gefragt. Nun wird eine neue Generation von Klein-Prototypen erwartet, die diesen Kriterien besser gerecht wird. Das wird die Technologie einen Schritt weiter in die Nähe der Umsetzung in die Praxis bringen. Im Falle der Entwicklung eines neuen Produktes, wo noch viele Probleme zu lösen sind, ist es generell ratsam zuerst kleinere Geräte zu bauen. Das Risiko auch bei einer späteren Umsetzung ist bei kleineren Maschinen geringer. Daher sind die Prototypen, die heute gebaut werden, im Leistungsbereich von 50 Watt bis einige hundert Watt zu finden. Das einzige bekannte Projekt - das einen Prototyp im Kilowatt-Bereich vorsieht - ist das ebenfalls vom BFE finanzierte Projekt: „Wärmepumpe mit Erd-Wärme-Quelle“ (siehe Ref. [12] und [13]).

## Konventionelle zentrale Kälteanlagen in Kürze

In konventionellen Kälteanlagen werden die folgenden Kältemaschinen eingesetzt:

- Kompressor-Kältemaschine (Reziproke, Schrauben-, und Turbo-Kompressoren)
- Sorption (normalerweise Heisswasser- und gasgefeuerte Absorptions-Maschinen, seltener Adsorptions-Maschinen und dampfgetriebene Absorptions-Maschinen).

In vielen Fällen wird die Wärme über adiabatische Kühlung in Kühltürmen an die Umgebung abgegeben. Dies ist der Grund warum die Wirksamkeit eines wassergekühlten Systems viel besser ist als jene einer luftgekühlten Anlage. Die Temperatur des gekühlten Wassers variiert in der Regel zwischen 5 und 10 °C und zwischen 10 °C und 18 °C im Kreislauf, der von der Wärmequelle her kommt. Die Temperatur des Kühlwassers variiert üblicherweise zwischen 18 und 35 °C. Man muss beachten, dass gewisse Gebäude oder wenigstens Gebäudeteile einen ganzjährigen Kühlbedarf haben können.



**Figure 1:** Eine typische Zentrifugal-Kältemaschine gemäss Ref. [14]. Solche Chiller werden eingesetzt, wenn grosse Kälteleistungen erforderlich sind. Das bedeutet, dass ein grosser Volumenstrom und ein geringes Druckverhältnis auftritt. In sehr grossen Anlagen kann der Kompressor nicht nur elektrisch angetrieben werden, sondern es kann auch eine Gasturbine oder eine Dampfturbine zum Einsatz kommen.

**Figur 2:** Ein luftgekühlter Flüssigkeitskühler mit Doppelrotor-Schraubenverdichter ist rechts gezeigt [15]. Solche Geräte haben gute Wirkungsgrade und sind geeignet für ein hohes Druckverhältnis. Sie können hohe Frequenzen haben und eine einfache Kontrolle der Kühlleistung erlauben. Dagegen ist der Lärm etwas höher als bei anderen Maschinen. Die Kühlleistung eines solchen Geräts ist zwischen 100 kW und einigen MW angesiedelt. Der COP-Wert ist 3 bis 3.5 bei 7°C/12 °C und einer Umgebungstemperatur von 35°C.

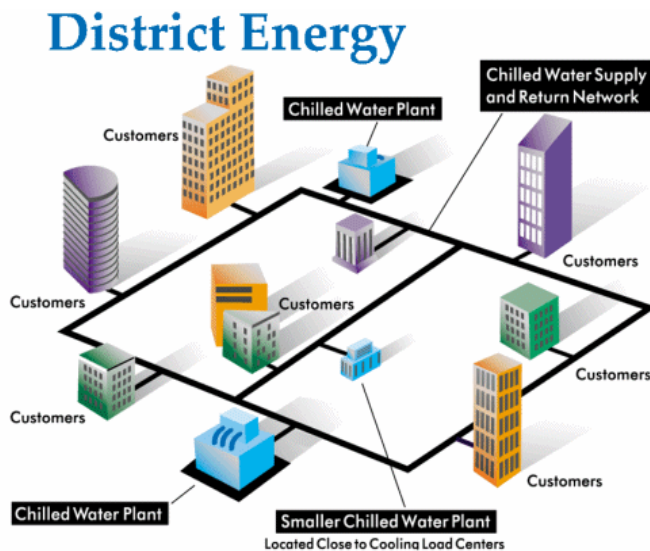


**Figure 3:** Eine durch Wasser gekühlte hermetische Turbo-Kältemaschine [15]. Diese Maschine ist sehr kompakt und läuft mit hohem Wirkungsgrad. Vorteile sind hohe Stabilität und tiefe spezifische Kosten für die „produzierte“ Kälte. Sie läuft auch noch wirksam mit kleineren Kälteleistungen als die nominelle. Wassergekühlte Kompressoren erreichen normalerweise 30 % höhere Wirkungsgrade als luftgekühlte. Maschinen mit Turbo-Kompressoren werden hergestellt um sehr grosse Kälteleistungen zu erbringen. Die COP-Werte sind zwischen 5.5 und 6.0 bei den folgenden Temperaturverhältnissen: 7 °C/12 °C und 27°C/32°C.

## Aussichten für magnetische Kälteanlagen

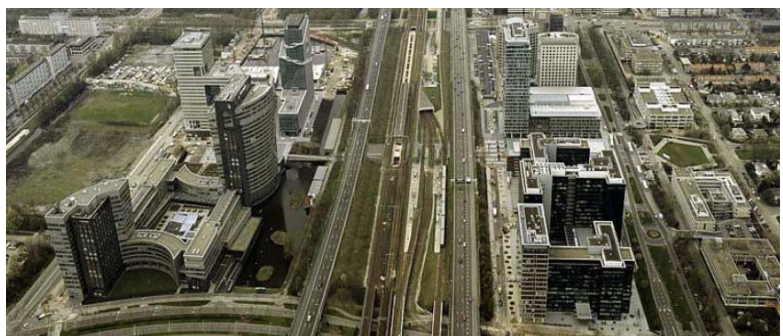
Die Betriebsbedingungen eines Wasser-Chillers sind vorteilhaft für eine Anwendung der magnetischen Kältetechnik, speziell weil die Temperaturdifferenz zwischen der Wärmequelle und der Wärmesenke meistens klein ist. Daher zeigt sich schon jetzt, dass es Sinn macht ein spezielles Augenmerk auf zentrale Kälteanlagen zu werfen, die üblicherweise ein Sekundär-Wärme-Transport-Fluid enthalten. Dieses ist meistens Wasser oder eine Sole.

Es muss darauf hingewiesen werden, dass vor allem in Gross-Kälteanlagen magnetische Chiller mit supraleitenden Magneten durchaus eines Tages zum Einsatz kommen könnten. Das Kältesystem für die supraleitenden Spulen (eventuell Hochtemperatur-Supraleitung) könnte so ausgestaltet werden, dass es die notwendige Kälte für die magnetischen Feldquellen gleich für mehrere Einheiten liefert. Da die magnetischen Felder in Permanentmagneten am kleinsten sind, in Elektromagneten von mittlerer Grösse und in supraleitenden am grössten, würden in solchen Maschinen die höchsten Feldstärken erreicht. Dann wäre aber der magnetokalorische Effekt auch am grössten und es könnten einstufige magnetische Kälteanlagen mit grösseren Temperaturhüben betrieben werden. Was man für die zusätzliche Kühlung der supraleitenden Spulen aufwenden würde, könnte man durch eine höhere Systemeffizienz der einstufigen gegenüber mehrstufigen Anlagen mindestens ausgleichen.

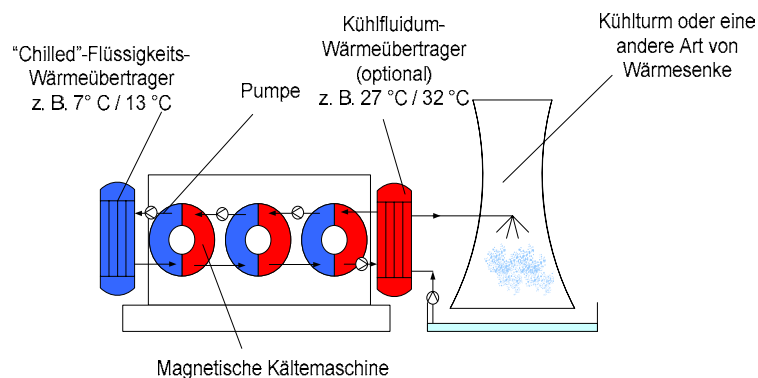


**Figure 4:** Ein Beispiel eines Distrikt-Kältesystems gemäss der Ref. [16]. Ein solches System ist umweltschonend im Vergleich zu herkömmlichen Lösungsansätzen mit dezentralen Kälteanlagen. In einer Zentrale wird Kälte in grossem Massstab „produziert“ und über ein Verteilnetz den Endverbrauchern zugeführt. Gerade solch grosse Anlagen könnten eines Tages Objekte für supraleitende Magnet-Kühlung sein. Doch eine solche Entwicklung liegt noch in weiter Ferne.

**Figure 5:** Ein Distrikt-Kälte-System in Zuidas - Amsterdam (NL) ist rechts zu sehen. Die maximale Kälteleistung von 76 MW wird im Jahre 2012 erreicht werden. Weiteres ist der Ref. [17] zu entnehmen. Es ist nicht bloss Utopie, dass der Einsatz der magnetischen Kältemaschinen in solchen Grossanlagen eines Tages Wirklichkeit werden könnte.



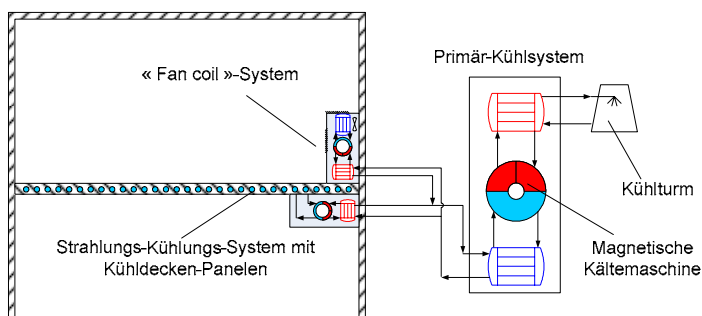
Die magnetische Kältetechnik wird Systeme mit einem Kreislauf und solche mit zwei erlauben. Im Ein-Kreislauf-System wird das gleiche Fluid - das in der Kältemaschine magnetisch gekühlt wird - auch zum Wärmetransport verwendet. Vor allem bei Grossanlagen ist ein speziell geeignetes Wärmetransport-Medium oft von Vorteil. Ein Sekundär-Fluid wird aber über Wärmetauscher gekühlt und das hat zusätzliche Verluste zur Folge. Dagegen ist die Regelung der Anlage mit zwei Kreisläufen einfacher zu gestalten.



**Figure 6:** Ein Beispiel einer drei-stufigen magnetischen Kältemaschine ist hier nur sehr schematisch skizziert. Die Temperaturen des Kühlwassers sind in Vor- und Rücklauf 27 °C / 32 °C. Die Temperaturen des „Chilled water“ sind 7 °C / 13 °C, wie es auch in der Figur zu sehen ist. Wie die Rotoren aussehen könnten ist in anderweitig publizierten Arbeiten von uns nachzulesen (z. B. in der Ref. [18]). Die Figur entstammt der Ref. [1].

In zentralen Kälteanlagen in Gebäuden sind Zwei-Kreislauf-Systeme vorzuziehen. Jeder Kreislauf kann Wasser oder eine Sole enthalten. Sollte Luft als Arbeitsmedium verwendet werden, dann könnte dies - wegen der geringen thermischen Kapazität dieses Fluidums - zu sehr grossen Temperaturdifferenzen führen. Die Leistung wäre auch eher klein. Die Struktur des porösen Materials müsste sehr geeignet ausgewählt werden um noch vernünftige Wärmeübergänge zu erhalten.

Die magnetische Kältetechnik könnte aber auch in dezentralen Anlagen eingesetzt werden. Oder es ist auch möglich sich Systeme vorzustellen, wo zentral vor- und dezentral nachgekühlt wird. Die lokalen Geräte übernehmen die Nachkühlung, die nun auf diese Weise sehr individuell gestaltet werden kann. Man beachte, dass zum Beispiel „Fan-coil-Geräte“ tiefere Temperaturen erzeugen können als es für Kühldecken empfehlenswert ist. Das hängt mit der Kondensation und dem Komfortempfinden von Gebäudebenutzern zusammen. In der Figur 7 ist ein solches Beispiel skizzenhaft dargestellt.



**Figure 7:** Ein Kaskaden-Kühlsystem mit zentraler Kälteproduktion und Nachkühlung an dezentralen Orten. Im oberen Stock ist ein dezentrales Klimagerät angeschlossen, währenddem im unteren Stockwerk eine Kühldecke zu sehen ist. Die Primär-Kälteanlage, wie auch die sekundären sind mit magnetokalorischen Maschinen ausgerüstet. Man kann die schemenhaft angedeuteten Rotoren der magnetischen Kältemaschinen erkennen.

## Durchgeführte Arbeiten und Ausblick ins neue Jahr

Da das Projekt erst gerade im November dieses Jahres begonnen hat, werden in diesem Kapitel anstatt der durchgeführten Arbeiten, die geplanten Arbeiten und der vorgeschlagene Lösungsweg beschrieben.

Es wird vorgeschlagen die verschiedenen Anwendungen von Kältemaschinen und Flüssigkeitskühlern („Chiller“) zu evaluieren und systematisch darzustellen. Der Leistungsbereich solcher Anlagen liegt zwischen 10 kW und 5 MW. Auf die Grösse der Anlagen soll Bezug genommen werden. Wassergekühlte „Chiller“ haben in der Regel einen oder mehrere Kühltürme, welche zu signifikanten Verminderungen des CO<sub>2</sub>- und Energieverbrauches führen. Typische „Coefficient of Performance-Werte (COP)“ werden für kleinere Anlagen (COP=3.5) bis zu Grossanlagen (COP=4.8) angegeben.

Dann sollen magnetische „Chiller-Maschinen“ grob entworfen werden. Die Anwendungen mathematisch-physikalischer Modelle und numerischer Simulationen sollen dann Auskunft über mögliches Betriebsverhalten geben und so einen Vergleich mit konventionellen Systemen ermöglichen. Diese Vergleiche sollen den Energiehaushalt aber auch die Gestehungskosten beinhalten. Für Grosssysteme sollen auch supraleitende Magnete in die Betrachtung einbezogen werden.

Auf Grund einer umfassenden Analyse soll dann ein konkreter Vorschlag für ein Folgeprojekt mit Industriebegleitung oder sogar mit einer fachlichen und finanziellen Beteiligung gemacht werden. Primäres

Ziel dürfte dabei der Bau eines Funktionsmusters (Prototyp) und das Messen des berechneten Wirkungsgrades sein.

## Nationale Zusammenarbeiten und weitere Projekte

Gegenüber dem BFE-Projekt Nr. 101'776/152'191: *Application of Magnetic Refrigeration and its Assessment* [1] hat diese vorgeschlagene Studie die Vertiefung einer einzigen Anwendung, der in dem oben genannten Projekt aufgelisteten Technologien, zum Objekt. Es handelt sich daher sozusagen um eine Weiterführung des dieses Jahr abgeschlossenen Projekts.

Ein weiteres Projekt mit dem Titel: *Magnetische Kälteproduktion bei Raumtemperatur* wird von der Gerbert-Rüf-Stiftung (GRS) finanziert. In diesem Projekt ist vor allem der gewöhnliche Haushalt-Kühlschrank Gegenstand der Untersuchungen. Der vorgesehene Projektleiter garantiert, dass unerlaubte Überlappungen dieser beiden Projekte vermieden werden.

Die Gruppe HEIG-VD/SIT ist in ein weiteres Projekt im Felde der magnetischen Kühlung mit einer Finanzierung durch eine Industriefirma involviert.

## Internationale Zusammenarbeiten

Verschiedene internationale Zusammenarbeiten wurden in Ref. [18] beschrieben. Diese sollen hier nicht wiederholt werden. Dagegen wird hier auf einige weitere Kontakte aufmerksam gemacht.

Der Erstautor dieses Berichts unterstützt den indischen Professor Senthil Kumar, der eine Eingabe um Finanzierung beim Schweizerischen Nationalfonds (SNF) macht, in seinen Bemühungen um eine Finanzierung seiner Arbeiten über magnetische Kühlung im Rahmen des Indo-Swiss Joint Research Programms. Es besteht die Hoffnung, dass daraus eine grenzüberschreitende Zusammenarbeit entstehen könnte.

Weiter wurden einige Kontakte mit chinesischen Forschern geknüpft. Ein erster Kontakt fand mit Prof. Bingfeng Yu an der Jiao Tong Universität in Xi'an statt. Mit ihm wird zurzeit ein Übersichts-Artikel über alle existierenden Prototypen im Bereiche der magnetischen Heizung und Kühlung verfasst [10]. Im Rahmen dieser Zusammenarbeit wird einer seiner Doktoranden, Min Liu der Mitautor ist, uns in der Schweiz während vier Monaten besuchen.

Eine weiterer wichtiger Kontakt wurde mit Prof. Huang am Baotou Research Institute of Rare Earth geknüpft. Baotou ist die Stadt in der inneren Mongolei, wo weltweit der Hauptteil der seltenen Erden im Tagbau gewonnen wird. Prof. Huang und Yan Wang werden lokale Organisatoren der „Fourth Int. Conf. on Magnetic Refrigeration at Room Temperature“ im Jahre 2011 sein. Diese Konferenz wird von Egolf und Kitanovski für den internationalen Kälteverband organisiert werden.

Ein dritter Kontakt wurde mit Prof. Xue Ling Hou an der Shanghai Universität gemacht. Sie ist eine bekannte Materialwissenschafterin, die neue magnetokalorische Materialien entdeckt und untersucht. Ein Austausch von Assistenten, zwecks einer Zusammenarbeit, ist geplant.



**Figur 8:** Die „Third International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature“ wird von der Gruppe HEIG-VD/SIT zusammen mit den Professoren Karl Gschneidner und Vitalij Pecharsky (IOWA State University) organisiert. Sie wird in Des Moines, USA, in der Periode vom 12. bis 15. Mai 2008 durchgeführt werden. Die vielen angemeldeten Beiträge lassen einen grossen Anstieg der Aktivitäten auf dem Bereich des magnetischen Kühlens erahnen. Während vier Tagen wird über Themen der magnetischen Heizung und Kühlung in Vorträgen und Postern berichtet. Mehr Informationen sind in Ref. [19] zu finden.

Zwei Koryphäen des Gebietes magnetische Kühlung, Ronald Rosensweig (New Jersey) und Andrew Rowe (Victoria University, Canada), werden als „Visiting Professors“ in der Gruppe HEIG-VD/SIT im Jahre 2009 einige Monate „Sabbatic Visits“ absolvieren. Doch darüber mehr im nächsten Jahresbericht.

## Schlussbemerkungen

Das Projekt steckt noch in seinen Anfängen. Deshalb sind einige Sachverhalte in diesem Bericht noch nicht so tiefgehend ausgeführt.

## Verdankungen

Wir danken dem Bundesamt für Energie und ihren Vertretern Roland Brüniger und Thomas Kopp für die Unterstützung unserer Aktivitäten im Bereiche der magnetischen Heizung, Kühlung und Energie-Konversion.

## Referenzen

- [1] A. Kitanovski, P.W. Egolf, **Application of magnetic refrigeration and its assessment: A feasibility study**, Schlussbericht zuhanden des Bundesamtes für Energie, Nr. 101'776/152'191, 29. April 2008, 1-42 mit drei Anhängen
- [2] [www.amsc.com](http://www.amsc.com) (Dezember 2008)
- [3] [www.basf-fb.de](http://www.basf-fb.de) (Dezember 2008)
- [4] [www.vacuumschmelze.de](http://www.vacuumschmelze.de) (Dezember 2008)
- [5] K. A. Gschneidner, V. K. Pecharsky, A. O. Tsokol, **Recent developments in magnetocaloric materials**, Inst. of Phys., Rep. Prog. Phys. 68, 2005, pp. 1479-1539
- [6] V. K. Pecharsky, K. A. Gschneidner, **Advanced magnetocaloric materials: What does future hold ?**, Int. J. of Refr., 29, 2006, pp. 1239-1249
- [7] H. Wada, **Magnetocaloric effect and magnetic refrigerant materials**, J. Calorimetry and Thermal Analysis, Vol. 33, No. 3, 2006, pp. 98-103
- [8] A. M. Tishin, **Magnetocaloric effect: Current situation and future trends**, Journal of Magnetism and Magnetic Materials, JMMM, 316, 2007, pp. 351-357
- [9] E. Brueck, **Magnetocaloric refrigeration at ambient temperature**, Handbook of Magnetic Materials, Vol. 17, 2007, pp. 235-291
- [10] B. Yu, M. Liu, P. W. Egolf, A. Kitanovski, **A review of magnetic refrigerator and heat pump prototypes built before the year 2009**, Invited article in preparation for the International Journal of Refrigeration, 2009
- [11] K. A. Gschneidner Jr., V. K. Pecharsky, **30 years of near room temperature magnetic cooling**. Conference Proceedings of the Second International Conference on Magnetic Refrigeration at Room Temperature. Portoroz, Slovenia, 11-13, April 2007, pp. 9-21
- [12] P. W. Egolf, F. Gendre, A. Kitanovski, O. Sari, 2006, **Machbarkeitsstudie für magnetische Wärmepumpen: Anwendungen in der Schweiz**, Final report for the Swiss Federal Office of Energy, No. 100873/151017, 2006, 1- 67
- [13] P. W. Egolf *et al.*, **Magnetische Wärmepumpe mit Erd-Wärme-Quelle**, Jahresbericht des Projekts zuhanden des Bundesamtes für Energie, Nr. 100'873/152'928, 2007, pp. 1-11
- [14] [www.carrier.com/](http://www.carrier.com/) (Dezember 2008)
- [15] [www.carrier.de/](http://www.carrier.de/) (Dezember 2008)
- [16] [www.entergy-thermal.com/](http://www.entergy-thermal.com/) (Dezember 2008)
- [17] [www.iea-dhc.org/](http://www.iea-dhc.org/) (Dezember 2008)
- [18] P. W. Egolf *et al.*, **Magnetic heat pump with ground heat source: optimized prototype**, Jahresbericht zuhanden des Bundesamtes für Energie, Projekt Nr. 100'873/152928, 1. Dezember 2008, 1-12
- [19] <http://www.mcwp.ch/> (IIR Arbeitsgruppe) oder <http://www.ucs.iastate.edu/mnet/thermag/home.html> (Konf. Internetseite)