

# Warm und kalt

Solarthermische Kombisysteme können Gebäude gleichzeitig beheizen und kühlen. Schon lange gibt es dazu die verschiedensten Ansätze – der Marktdurchbruch steht jedoch noch aus

☀ Fast 40 Prozent des Gesamtenergieverbrauchs in Europa werden heute durch Gebäude verursacht [1]. Während der Energieverbrauch der Heizung pro Quadratmeter Gebäudefläche in den letzten 20 Jahren aufgrund steigender Energieeffizienz bei der Wärmebereitstellung und der Bauweise stetig sank, steigt der Verbrauch für Gebäudekühlung stark an. Gründe dafür sind die zunehmenden thermischen Lasten in den Gebäuden durch elektrische Geräte, die höheren Komfortansprüche aufgrund des gestiegenen Lebensstandards sowie der Trend, in der Architektur vermehrt große lichtdurchlässige Flächen umzusetzen. Diese Entwicklung ist sowohl im privaten als auch im gewerblichen Sektor zu verzeichnen. Bis zum Jahr 2030 wird für Deutschland ein Anstieg des Klimatisierungsbedarfs um 50 Prozent gegenüber 2006 prognostiziert [2].

Aufgrund der guten Übereinstimmung von Solarstrahlung und Kältebedarf eignet sich solare Kühlung, um den Stromverbrauch für Kühlung zu reduzieren sowie sommerliche Lastspitzen im Stromnetz abzufangen. Prinzipiell stehen hinter der solaren Kühlung zwei verschiedene Ansätze: Zum einen kann aus Solarenergie Strom erzeugt werden – üblicherweise mit einem PV-Generator, der eine Kompressionskältemaschine betreibt. Dieses Konzept kommt bei netzfernen Anwendungen zum Einsatz, wenn kleine Kühleinheiten solar-autark versorgt werden. Alternativ kann die Sonneneinstrahlung in Wärme umgewandelt werden, mit der dann mittels eines thermisch angetriebenen Prozesses Kälte bereitgestellt oder ein Klimatisierungsprozess geführt wird. Dieser Beitrag konzentriert sich auf letztere Technik, da diese für die Gebäudeklimatisierung eingesetzt wird.

Da thermisch getriebene Prozesse zur Klimatisierung meist mit dem Kältemittel Wasser arbeiten, das im Gegensatz zu den in Kompressionskältemaschinen eingesetzten Kältemitteln kein Treibhauspotenzial (GWP) besitzt (z. B. R134a:  $GWP = 1.300$ ), leistet diese Technik einen weiteren Beitrag zum Klimaschutz. Zudem kann die Solaranlage auch zur Heizungsunterstützung und Brauchwassererwärmung genutzt werden. Somit wird der Verbrauch an fossilen Brennstoffen vermindert und weitere Emissionen eingespart. Weil die Maschinen ohne Kompressor auskommen, sind auch die Schallemissionen gegenüber konventionellen Anlagen deutlich geringer.

Unter den thermischen Kälte- und Klimatisierungsprozessen gibt es unterschiedliche Verfahren. Bei der offenen sorptionsgestützten Klimatisierung wird die Gebäudezuluft direkt entfeuchtet und gekühlt. In geschlossenen Systemen dagegen kühlt ein sorptionsgestützter Kaltwassererzeuger

einen Kaltwasserkreis. Aus diesem können verschiedene Techniken zur Raumkonditionierung bedient werden: entweder Kühlkonvektoren, die der Raumluft Wärme entziehen und bei ausreichend niedrigen Kaltwassertemperaturen die Raumluft entfeuchten oder Flächenkühlung. Da in kleineren Gebäuden vornehmlich geschlossene Verfahren zum Einsatz kommen, wird im Weiteren ausschließlich diese Technologie betrachtet.

Im Herz der gesamten Anlage, der Sorptionskältemaschine, können wiederum zweierlei Prozesse zur Anwendung kommen:

- die Adsorption, üblicherweise mit dem festen Sorptionsstoff Silikagel oder Zeolith sowie Wasser als Kältemittel;
- die Absorption mit einem flüssigen Arbeitsmittelpaar, in der Regel Lithiumbromid-Wasser oder Wasser-Ammoniak.

Mit Absorptionstechnik auf Basis eines Wasser-Ammoniak-Arbeitsmittelpaars können Temperaturen unterhalb von null Grad Celcius erzeugt werden, diese Technik eignet sich daher für die Bereitstellung von Prozesskälte für den industriellen Einsatz. Bei den übrigen Verfahren liegt die Untergrenze für die Kaltwassertemperatur bei rund sechs Grad Celcius (°C).

Analog zum Energy Efficiency Ratio (EER) bei Kompressionskältemaschinen wird die Effizienz von thermischen Kältemaschinen durch das Verhältnis von Nutzen zu Aufwand, also bereitgestellter Kälte pro eingesetzter Wärmeenergie angegeben. Für diesen Coefficient of Performance (COP) liegen typische Werte von marktverfügbaren Anlagen im kleinen Leistungsbereich im Bereich von 0,5 bis 0,8.

## Komponenten müssen abgestimmt sein

Bei einem solar unterstützten System zu Kühlung, Heizung und Warmwasserbereitung wandelt ein Kollektorfeld einfallende Sonnenstrahlung in Wärmeenergie um, mit der ein Warmwasserspeicher beladen wird. Aus dem Speicher erfolgt dann die Versorgung der Verbraucher: Warmwasserbereitung, Heizung und Sorptionskältemaschine zur Kühlung. Deckt die solar erzeugte Wärme bei bewölktem Himmel oder im Winter nicht den Bedarf, kann ein konventioneller Heizkessel Wärme bereitstellen. Für einen effizienten Betrieb ist es wichtig, das System passend zu dimensionieren und Komponenten richtig aufeinander abzustimmen.

Herkömmliche Flachkollektoren verlieren bei hohen Temperaturen zunehmend an Wirkungsgrad. Somit eignen sie sich vornehmlich für den Antrieb von Adsorptionskältemaschinen, die schon ab 65 °C zuverlässig funktionieren.

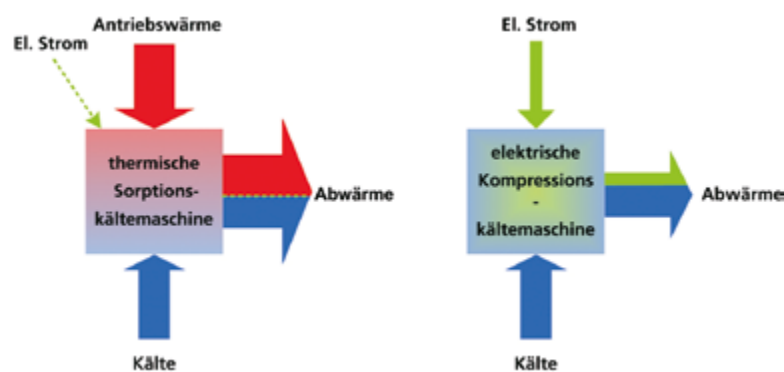


Abb. 1: Grafische Gegenüberstellung der Energieströme an eine Kompressions- und einer Sorptionskältemaschine. Quelle: Fraunhofer ISE

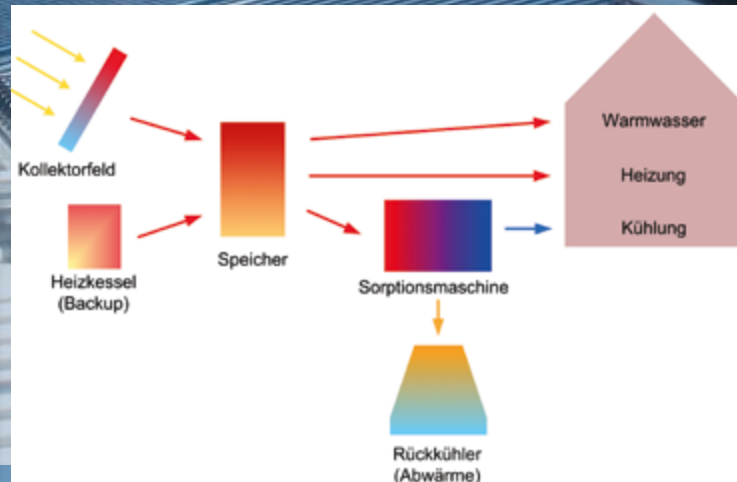


Abb. 2: Übersicht Aufbau einer Anlage zur Warmwasserbereitung, Heizung und Kühlung mit Solarunterstützung. Quelle: Fraunhofer ISE

Die übrigen Technologien erfordern entweder verbesserte Flachkollektoren, zum Beispiel mit Antireflexbeschichtung oder Doppelverglasung und verstärkter Isolierung, oder Vakuumröhrenkollektoren. Üblicherweise werden pro Kilowatt installierter Kälteleistung drei bis fünf Quadratmeter Kollektorfläche installiert [3], weil ein großes Kollektorfeld zwar einerseits die solare Deckung des Wärmebedarfs erhöht, andererseits aber die Investitionskosten und das Risiko von Stagnation – besonders in der Übergangszeit ohne Heiz- oder Kühlbedarf – in die Höhe treibt.

Der Speicher ist die zentrale Schnittstelle des Systems und muss die teils widersprüchlichen Anforderungen erfüllen. In der Kühltisaison soll er die Starttemperatur der Kältemaschine schnell bereitstellen, wofür ein kleines Volumen vorteilhaft ist. Um den kontinuierlichen Betrieb trotz Wolkenfelder sicherzustellen, ist jedoch eine große Kapazität erforderlich – ebenso wie zur Heizungsunterstützung. Dazu soll er unabhängig von den hohen Volumenströmen eine stabile Temperaturschichtung gewährleisten. In kleinen Systemen sind spezifische Speichergrößen zwischen 30 und 60 Litern pro Quadratmeter Kollektorfläche üblich.

Eine weitere Schlüsselkomponente ist die eingesetzte Rückkühltechnik. Zum einen beeinflusst die Kühlwassertemperatur maßgeblich die Leistung und Effizienz der Kältemaschinen, zum anderen trägt der Ventilator handelsüblicher Rückkühlwerke stark zum Gesamtstromverbrauch des Systems bei. Trockene Rückkühler eignen sich da, wo die Außentemperaturen selten 30 °C überschreiten. Mit Nasskühltürmen können Kühlwassertemperaturen auch unter der Außentemperatur erreicht werden. Daher eignen sie sich für heißere Klimata, sofern keine Wasserknappheit besteht und die relative Luftfeuchtigkeit nicht so hoch ist, dass keine Verdunstung möglich ist. Sie sind effizienter als trockene Luftkühler und werden derzeit bevorzugt in der thermisch angetriebenen Kältetechnik eingesetzt, weil dort die erforderlichen Rückkühlleistungen höher als in der Kompressionskältetechnik sind (Abbildung 1). Allerdings unterliegen sie in einigen Ländern strengen Hygieneauflagen, die deren Betrieb aufwändig und bei kleinen Installationen teilweise unwirtschaftlich machen. Hybridkühler oder Trockenkühler mit Besprühlung sind Ansätze, um die Vorteile beider Technologien zu kombinieren. Je nach lokalen Gegebenheiten kann auch anders rückgekühlt werden, beispielsweise über Erdsonden, Schwimmbäder, Brunnen-, Fluss- oder Seewasser. Im Idealfall lässt sich die Abwärme sogar an anderer Stelle nutzen.

Zur Kälteverteilung eignen sich besonders Kühldecken oder aktive Bauteile, da diese mit Temperaturen über 15 °C

betrieben werden, wodurch die Effizienz der Kältemaschine steigt. Auch bei Kühlung über Konvektoren, kann durch deren großzügige Dimensionierung oft mit höheren Kaltwassertemperaturen gearbeitet werden als mit der in der herkömmlichen Kältetechnik üblichen Temperaturspreizung von 7 zu 12 °C. Da jede Komponente Auswirkungen auf das übrige System hat, ist eine abgestimmte Gesamtauslegung essenziell. Wird das System nicht auf den Nennarbeitspunkt der Kältemaschine ausgelegt, müssen die geänderten Leistungsdaten vom Hersteller erfragt und bei der Planung berücksichtigt werden. Nur so können Eigenheiten eines Bauteils durch angepasste Dimensionierung an anderer Stelle ausgeglichen werden. Beispielsweise kann so die verringerte Performance eines Systems mit Trockenrückkühler in heißen Klimazonen durch höhere Antriebstemperaturen, etwa durch ein größeres Kollektorfeld oder effizientere Kollektoren, kompensiert werden.

Um den Hilfsenergieverbrauch zu minimieren, ist es wichtig, die Rohrquerschnitte angemessen zu dimensionieren und die Pumpen entsprechend der Druckverluste ausulegen. Außerdem sollten Hocheffizienzpumpen und EC-Motoren für den Rückkühlventilator verbaut werden. Eine Regelung der Verbraucher – insbesondere des Rückkühlers – in Abhängigkeit von Solarstrahlung und Kältebedarf ist eine weitere Optimierungsoption.

Damit sich solare Kühlung lohnt, muss der Kältebedarf gut mit der Sonneneinstrahlung übereinstimmen, da ein Kühlbetrieb mit dem Heizkessel als Wärmequelle pri-

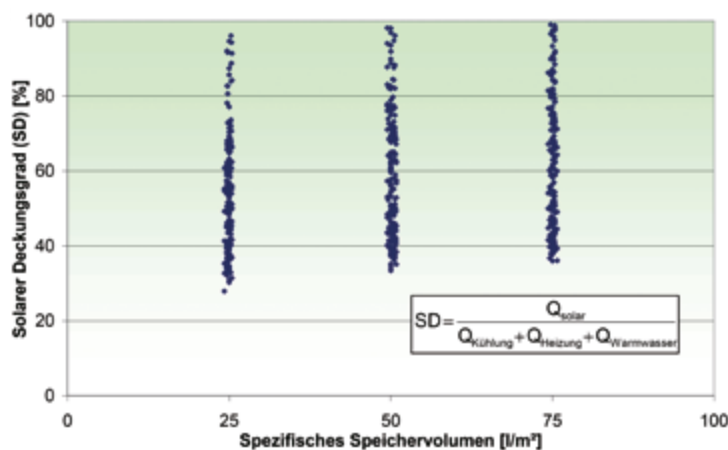


Abb. 3: Ergebnisspanne der Simulationsstudie für den solaren Deckungsgrad von unterschiedlichen Systemkonfigurationen. Quelle: SolarCombi+





Abb. 4: Wohnhaus in Österreich, gekühlt mit einer Maschine der Sortech AG: „Maschine funktioniert perfekt. Herrliche 23 Grad Celcius.“ Quelle: Solution Solartechnik GmbH



Abb. 5: Solare Kühlung einmal anders: Im EU-Projekt Medisco werden drei Weintanks in Tunesien mit 88 Quadratmeter Fresnelkollektoren, 12,8 Kilowatt Ammoniak-Wasser-Maschine mit integrierter trockener Rückkühlung (Robur) und Eisspeicher gekühlt. Quelle: Fraunhofer ISE

mänerenergetisch ineffizient ist und vermieden werden sollte. Deswegen eignen sich besonders Anwendungen, in denen die Solarwärme auch außerhalb der Kühlsaison genutzt werden kann, also Wohnhäuser in Regionen ohne nächtlichen Kühlbedarf und Bürogebäude. Bei anderen Anwendungen, z. B. der Kühlung von Serverräumen rund um die Uhr, kann das Solarsystem lediglich als Unterstützung fungieren.

## Ein junger Markt: Viele Herausforderungen, großes Potenzial

Mit dem Ziel die aktuelle Situation und das Potenzial für die Zukunft zu bestimmen, wurden im Rahmen des EU-Projekts SolarCombi+ in einer Analyse der Stärken, Schwächen, Chancen und Risiken (SWOT-Analyse) technische, finanzielle, marktbedingte und legislative Aspekte der solaren Kühlung untersucht [4].

Aktuell steht diese Technik noch vor einer Reihe von Problemen. Sie ist noch neu und daher wenig standardisiert. Daher werden die Anlagen meist individuell ausgelegt, was zu hohen spezifischen Kosten im Planungsstadium führt. Gleichzeitig bringt der geringe Erfahrungsstand das Risiko von Fehlern sowohl im Planungsstadium als auch bei der Installation, der Inbetriebnahme und der Regelung mit sich. Zusätzlich liegen die spezifischen Systemkosten mit 3200 bis 5100 Euro pro Kilowatt ohne Installation noch relativ hoch [5]. Insbeson-

dere die Kältemaschinen verursachen noch hohe Investitionskosten, da sie meist in Kleinstserien gefertigt werden. Dieser Faktor schlägt umso mehr zu Buche, da es bisher noch keine Markteinführungsprogramme für die Installation kompletter solarer Kühlsysteme ähnlich wie bei der Photovoltaik gibt. Dementsprechend unbekannt ist die Technologie, gleichzeitig fehlt eine flächendeckende Vertriebsstruktur.

Trotz der Schwierigkeiten birgt solare Kühlung ein großes Potenzial. Steigende Kosten für fossile Brennstoffe sowie die Ziele der Klimapolitik erfordern beträchtliche Energieeinsparungen auch bei der Kühlung. Erste Unternehmen beginnen mit der industriellen Massenfertigung, ein wichtiger Schritt, um die Kosten für die Kältemaschinen zu reduzieren. Die Firma ClimateWell hat im spanischen Olvega eine Fabrik mit einer Fertigungskapazität von bis zu 1.000 Maschinen pro Jahr aufgebaut. Auch die Sortech AG stellt derzeit von großteils manueller Herstellung auf Serienproduktion um. Unternehmen wie Solarnext AG oder Solution Solartechnik GmbH haben vorkonfigurierte „Solar-Cooling-Kits“ im Angebot.

Im EU-Projekt SolarCombi+ arbeiten Maschinenhersteller und Forschungsinstitutionen gemeinsam an der Entwicklung von Paketlösungen, um den Auslegungsaufwand zu reduzieren. Ergänzend wurde eine umfangreiche Simulationsstudie durchgeführt, um geeignete Anwendungen zu ermitteln und erreichbare Erträge abzuschätzen. Die Ergebnisse sind in einer Datenbank auf der Internetseite abrufbar [6].

Hersteller	Yazaki	EAW	Sortech	Pink	ClimateWell	Invensor	Sortech	Invensor
Bezeichnung	WFC-SC5	Wegracal SE 15	ACS15	chillii PSC12	ClimateWell SolarChiller	HTC 10	ACS08	LTC 07
Technologie	Absorption	Absorption	Adsorption	Absorption	Absorption	Adsorption	Adsorption	Adsorption
Arbeitsmittelpaar	LiBr/H <sub>2</sub> O	LiBr/H <sub>2</sub> O	Silikagel/H <sub>2</sub> O	H <sub>2</sub> O/NH <sub>3</sub>	LiCl/H <sub>2</sub> O	Zeolith/H <sub>2</sub> O	Silikagel/H <sub>2</sub> O	Zeolith/H <sub>2</sub> O
Kälteleistung [kW]	17,5	15	15	12	4–9	10	8	7
COP	0,7	0,71	0,6	0,63	0,52–0,57	0,5	0,6	0,54
Heißwassertemperatur ein/aus	88/83 °C	90/80 °C	72/65 °C	75/68 °C	80–110 °C <sup>2</sup>	85/77 °C	72/65 °C	65/59,5 °C
Kühlwassertemperatur ein/aus	31/35 °C	30/35 °C	27/32 °C	24/29 °C	<30 °C <sup>2</sup>	27/33 °C	27/32 °C	27/31 °C
Kaltwassertemperatur ein/aus	12,5/7 °C	17/11 °C	18/15 °C	18/15 °C	10–16 °C <sup>3</sup>	18/15 °C	18/15 °C	18/15 °C
El. Leistungsaufnahme	48–72 W	300 W	14 W	300 W	18 W	20 W	7 W	20 W
Besonderheiten			WP-Modus <sup>1</sup>		Interner chem. Speicher, WP-Modus <sup>1</sup>		WP-Modus <sup>1</sup>	

ohne Anspruch auf Vollständigkeit; <sup>1</sup> WP = Wärmepumpe; <sup>2</sup> Eintrittstemperaturbereich; <sup>3</sup> Austrittstemperaturbereich

Tab. 1: Übersicht der marktverfügbaren Kältemaschinen unter 20 Kilowatt Nennkälteleistung

Den Wissensstand um solare Kühlung zu verbessern, ist auch Ziel des EU-Projekts Solair. In besonderen Seminaren werden Architekten, Planer und Installateure über solare Kühlung in all ihren Facetten informiert. Außerdem steht auf der Website umfangreiches Informationsmaterial in mehreren Sprachen frei zur Verfügung [7]. Die Großzahl der Akteure im Bereich solare Kühlung sind zudem im Task 38 des Solar Heating and Cooling Program der internationalen Energieagentur (IEA) vertreten – insgesamt 52 Firmen und Institute aus elf Ländern weltweit [8]. Hier werden Ergebnisse aus verschiedensten solaren Kühlprojekten zusammengetragen und diskutiert. Ein Produkt dieser Aktivitäten wird unter anderem eine überarbeitete Auflage des Handbuchs für Planer von Solaren Kühlsystemen sein. Im Annex 34 des Heat Pump Program der IEA wird gleichzeitig an einheitlichen Standards zur Leistungsbestimmung von thermischen Sorptionsmaschinen gearbeitet [9].

Auch auf politischer Ebene bewegt sich einiges: In Frankreich ist seit Anfang des Jahres ein Förderprogramm für Systeme zur solaren Kühlung, Heizung und Warmwasserbereitung in Kraft. Unter der Bedingung, dass eine Vorabschätzung einen Mindestertrag an Nutzenergie ergibt, werden bis zu 70 Prozent des Gesamtsystems sowie die Kosten der Betriebsüberwachung für die ersten zwei Jahre staatlich zufinanziert [10]. Um auch in Deutschland der Forderung nach politischer Unterstützung mehr Gewicht zu verleihen, haben sich im Dezember 2008 mehrere Firmen und Forschungsinstitute aus dem Bereich thermische Kühlung in dem Verband GreenChiller e.V. zusammengeschlossen [11]. Im sonnenreichen Australien besteht ebenfalls großes Interesse an solarer Kühlung. Dort hat sich die Australian Solar Cooling Interest Group formiert, um verstärkt für die Technik zu werben [12].

Die solare Kühlung ist heute doch noch nicht so weit, wie vor einigen Jahren noch prognostiziert wurde. An der Optimierung der Systemtechnik arbeiten jedoch Wissenschaftler auf der ganzen Welt. Wenn die solare Kühlung aus ihren Kinderschuhen wächst, kann sie eine wichtige Technologie im Kampf gegen die Klimaerwärmung werden. Dazu ist auch stärkere politische Unterstützung notwendig. ☀

[1] Energie und Verkehr – Bilanz 2000–2004. Luxemburg: Amt für amtliche Veröffentlichungen der Europäischen Gemeinschaft, Europäische Kommission, 2004

[2] „Fernwärmebasierte Kälteversorgung“: [http://www.vattenfall.de/www/vf/vf\\_de/225583xberx/228797innov/228887brenn/1548590kx/ite/index.jsp](http://www.vattenfall.de/www/vf/vf_de/225583xberx/228797innov/228887brenn/1548590kx/ite/index.jsp). Aufgerufen am 7.1.2010

[3] Hans-Martin Henning; Solar-Assisted Air-Conditioning in Buildings – A Handbook for Planners, Springer, Wien, 2003

[4] [www.solarcombiplus.eu](http://www.solarcombiplus.eu)

[5] Uli Jakob: Entwicklung eines Systemreglers für standardisierte Solar Cooling Kits; Zeitschrift Erneuerbare Energie, Arbeitsgemeinschaft Erneuerbare Energie, Gleisdorf, Österreich, 2009

[6] <http://wis.eurac.edu/solarcombiplus/Default.aspx>. Aufgerufen am 22.1.2010

[7] [www.solair-project.eu](http://www.solair-project.eu)

[8] [www.iea-shc.org/task38/](http://www.iea-shc.org/task38/)

[9] [www.annex34.org](http://www.annex34.org)

[10] [www.solaire-collectif.fr/index.php?pid=7](http://www.solaire-collectif.fr/index.php?pid=7). Aufgerufen am 22.1.2010

[11] [www.greenchiller.de](http://www.greenchiller.de)

[12] [www.ausscig.org.au/](http://www.ausscig.org.au/)

## Björn Nienborg

Fraunhofer ISE

Heidenhofstr. 2

79110 Freiburg

Tel. +49 (0) 761-4588 0

info@ise.fhg.de

Björn Nienborg studierte Umwelttechnik an der Hochschule für angewandte Wissenschaften Hamburg. Seit Herbst 2006 ist er am Fraunhofer Institut für Solare Energiesysteme (ISE) im Bereich energieeffiziente und solare Kühlung tätig.



## 25th European Photovoltaic Solar Energy Conference and Exhibition

### 5th World Conference on Photovoltaic Energy Conversion

The most inspiring Platform for the global PV Solar Sector

Feria Valencia  
Convention & Exhibition Centre  
Valencia, Spain

Conference 06-10 September 2010  
Exhibition 06-09 September 2010



Exhibition booking ongoing

joint World Conference of:



25th  
European Photovoltaic  
Solar Energy  
Conference and Exhibition



36th  
US IEEE  
Photovoltaic  
Specialists Conference



20th  
Asia/Pacific PV  
Science and Engineering  
Conference

[www.photovoltaic-conference.com](http://www.photovoltaic-conference.com)