

Bibliothek in Mataró.

Fotos (3): ZAFH.net



Solare Kühlung in Mataró

Besucher der öffentlichen Bibliothek in der spanischen Hafenstadt Mataró, die in Büchern stöbern wollen, finden angenehm gekühlte Räume vor – dank einer offenen sorptionsgestützten Klimaanlage. Die Wärme zur Regeneration des Sorptionsmittels liefern hinterlüftete PV-Module und Luftkollektoren.

Offene sorptionsgestützte Klimaanlage sind für die solare Gebäudeklimatisierung interessant, da sie Wärme relativ niedriger Temperatur benötigt wird. Diese Anlagen sind technisch ausgereift, nur die Regelungstechnik muss jeweils auf die projektspezifischen Anforderungen angepasst, sorgfältig geplant und ausgeführt werden. Der Prozess basiert auf Frischluft, die – getrocknet, mit befeuchteter Abluft vorgekühlt und anschließend über Verdunstungsbefeuchtung – auf ein Zulufttemperaturniveau zwischen 16 und 20 °C gekühlt wird. Wenn bei diesen Anlagen die erforderliche Regenerationswärme solarthermisch oder mittels vorhandener Abwärme bereitgestellt wird, können solche Anlagen mit sehr geringem Primärenergieaufwand Kälte erzeugen.

In Europa sind derzeit zwischen 100 und 120 solare Kühlungsanlagen installiert, davon sind etwa 25 % offe-

ne sorptionsgestützte DEC-Anlagen (DEC – Desiccant and Evaporative Cooling). Betriebserfahrungen von solchen Anlagen sind rar. Dabei ist eine wesentliche Fragestellung, inwieweit solare Energieerzeugung und Wärmebedarf für die Sorptionstrocknung zeitlich übereinstimmen und welchen Einfluss Speichermöglichkeiten auf den solaren Deckungsbeitrag haben. Das ZAFH.net Stuttgart hat im Rahmen des von der europäischen Union geförderten Joule III Forschungsprojektes Aircool (Adsorption cooling of buildings with integrated PV/solar air heating facades) die offene sorptionsgestützte Klimaanlage in Mataró, das etwa 40 Kilometer nördlich von Barcelona liegt, geplant und wissenschaftlich begleitet. 1994 entstand im Zentrum der spanischen Hafenstadt nach den Plänen des Architekten Miquel Brullet i Tenas der Neubau einer öffentlichen Bibliothek mit 3.500 m² Nutzfläche. Hier wurde erstmalig eine gebäudeintegrierte, hinterlüftete Photovoltaik Fassade realisiert. Um die von den PV Generatoren und Luftkollektoren erzeugte Wärme zu nutzen, wurde ein Teil der elektrischen Kompressionskühlung durch eine solar betriebene sorptionsgestützte Klimaanlage (DEC-Anlage) ersetzt und im Juni 2002 in Betrieb genommen.

Anlagenbeschreibung und Regelungsstrategie

Das gesamte Gebäude wurde anfangs über eine zentrale elektrische Kompressionskältemaschine gekühlt, deren Leistung über Wärmetauscher an vier separate Klimaanlage übertragen wurde. Das Lüftungsgerät eines Raumes mit Kinderbüchern und Multimedia mit einer Fläche von 510 m² und einem Kühlenergiebedarf von 44.000 kWh/a wurde gegen eine offene sorptionsgestützte Klimaanlage mit einem Silikagel-Sorptionsrotor ausgetauscht. Die Anlage bläst Frischluft über 15 Deckenöffnungen ein. Die Sorptionsanlage in Mataró ist mit einem Zuluftvolumenstrom von 12.000 m³/h ist mit einer Nachkühlung unter Verwendung der bestehen-

den zentralen Kompressorkältemaschine ausgestattet (siehe Abb. 1). Die Regeneration mit einem Temperaturniveau zwischen 60 und 70 °C erfolgt rein solar über eine Kombination aus hinterlüfteten Photovoltaikmodulen und Luftkollektoren. Das Gebäude selbst besitzt eine hinterlüftete Photovoltaik Fassade (244 m²) und PV Dachsheds (330 m²) mit einer elektrischen Anschlussleistung von 55 kW_p. Die vom PV Generator erzeugte Wärme wird über einen 14 cm tiefen Luftspalt vom Ventilator der sorptionsgestützten Klimaanlage abgesaugt. Zwei zusätzliche Luftkollektorfelder in der Fassade (50 m²) und auf dem Dach (105 m², 34° nach Süden geneigt) heben das Temperaturniveau bis zur Regenerationsluft Temperatur an. Luftkollektoren sind kostengünstig und können ohne weitere Wärmetauscher direkt in den Prozess eingebunden werden.

Der Volumenstrom der Regenerationsluft ist variabel und wird solange reduziert, bis 70 °C Temperatur am Luftkollektoraustritt erreicht werden. Als minimaler Volumenstrom sind 3.000 m³/h vorgesehen. Die Zu- und Abluftvolumenströme werden zunächst auf 6.000 m³/h gesetzt und werden erst hochgefahren, wenn mit der eingebrachten Kühlenergie der Raumtemperatursollwert nicht eingehalten werden kann. Zur Kühlung wird zunächst der Abluftbefeuchter mit Rotationswärmetauscher eingeschaltet, danach der Zuluftbefeuchter und anschließend der Sorptionsrotor. In beiden Fällen ist der Temperaturregelung eine Raumluftfeuchtebegrenzung überlagert, die zur stufenweisen Abschaltung des Zuluftbefeuchters bei Überschreitung der maximalen Feuchte führt.

Betriebserfahrungen

Die in Mataró während der Inbetriebnahme im Jahr 2002 aufgezeichneten Messdaten bestätigen die korrekte Funktion der sorptionsgestützten Klimaanlage: Im vollen Regenerationsbetrieb wird eine Kälteleistung von bis zu 55 kW (Enthalpiedifferenz zwischen Raumzuluft und Außenluft) bzw. eine Kühlleistung von bis zu 35 kW (Enthalpiedifferenz zwischen Raumabluft und Außenluft) erreicht. Wenn die Anlage nachmittags in Betrieb geht, ist die anfangs zur Verfügung stehende Wärmeleistung sehr hoch, da das Kollektorfeld Stillstandstemperatur aufweist. Die Leistungszahl (COP) bei Regeneration ist daher zu Beginn dementsprechend niedrig und stabilisiert sich dann auf einem Wert von ca. 0,6 (siehe Abb. 2). Die kalkulierten Leistungszahlen liegen im Durchschnitt bei 0,52 über die gesamte Laufzeit. In den Monaten Juli und August liegen die Werte etwas höher zwischen 0,65 und 0,73, im April und im Oktober etwas niedriger zwischen 0,2 und 0,53.

Während der Entfeuchtungswirkungsgrad 80 % beträgt, liegt der Wirkungsgrad des Rotationswärmetauschers durchschnittlich bei nur 68 %. Die Ab- und der Zuluftbefeuchter arbeiten zufrieden stellend mit Befeuchtungswirkungsgraden von 85 %. Höhere Leistungszahlen bis ca. 1,0 werden mit niedrigeren Regenerationstemperaturen um ca. 50 °C erreicht. Niedrigere Regenerationstemperaturen sind daher im Hinblick auf eine gute Energieeffizienz anzustreben, wenn die Entfeuchtungsleistung dabei ausreichend hoch ist. Bei ei-

ner Aussenlufttemperatur von 31 °C und Regenerationstemperaturen um die 70 °C wird eine Zulufttemperatur zwischen 16 und 17 °C ohne zusätzliche Kühlung durch die Kompressionskältemaschine erreicht (siehe Abb. 3). Bei Temperaturen der Regenerationsluft zwischen 50 and 70 °C liegt die gemessene Entfeuchtungsleistung der Außenluft zwischen 2 and 4 g/kg.

Hinterlüftetes PV Dachshed und darüber angebrachte Luftkollektoren.



Der thermische Wirkungsgrad der hinterlüfteten Photovoltaik ist relativ niedrig (12 bis 15 %), da die Strömungsgeschwindigkeit in den zahlreichen parallel geschalteten Luftspalten nur 0,3 m/s erreicht und die Wärmeübergangskoeffizienten niedrig bleiben. Der maximale Temperaturhub liegt zwischen zehn und fünfzehn Kelvin. Der gesamte Volumenstrom des hinterlüfteten PV Systems von 3.000 bis 9.000 m³/h durchströmt anschließend drei parallel geschaltete Luftkollektorfelder, in denen die Strömungsgeschwindigkeit der nur 9,5 cm hohen Luftkanälen zwischen 3 und 9 m/s liegt und damit die Wirkungsgrade deutlich höher sind (etwa 50 %).

Ein wichtiges Ergebnis der Untersuchung ist, dass nur 9 % der gesamten Kühlenergie beim Nennvolumen-

DEC-Anlage auf dem Dach der Bibliothek.

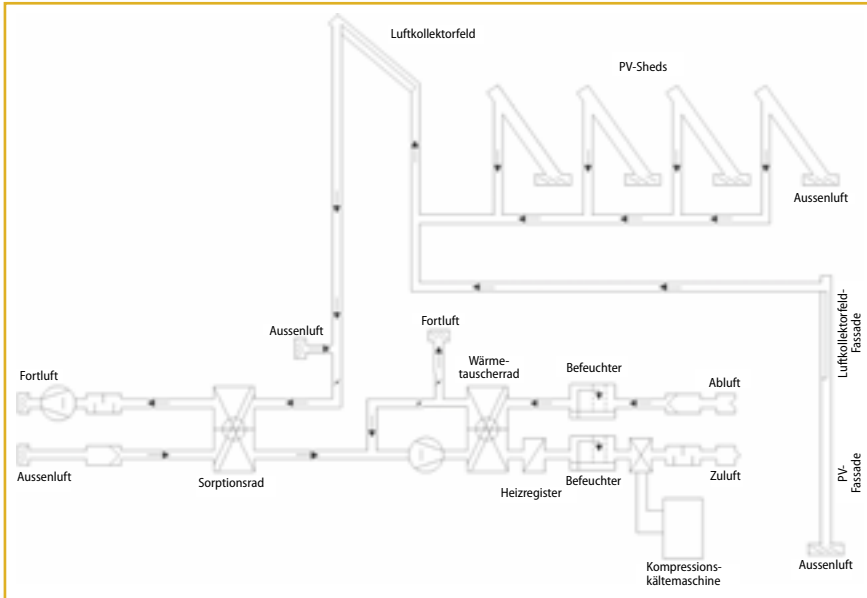


Abb. 1: Systemskizze der DEC-Anlage.

Grafiken (4): ZAFH.net

strom von 12.000 m³/h im vollen Regenerationsbetrieb erzeugt wird. 24 % der Zeit liegt der Volumenstrom zwischen 6.000 und 12.000 m³/h und 27 % der Zeit bei 6.000m³/h. Die restliche Kälteleistung wird durch freie Kühlung erbracht. Variable Volumenströme sind daher extrem wichtig zur Reduktion des relativ hohen elektrischen Energiebedarfs der Ventilatoren.

Die Betriebserfahrungen mit der sorptionsgestützten Klimaanlage haben gezeigt, dass die Regelstrategie bezüglich des energetischen Verhaltens und auch der Komponentenlebensdauer funktioniert. Zunehmend gehen Hersteller dazu über, keine Einzelkomponenten, sondern integrierte Systeme mit Regelungstechnik zu vertreiben. Der Sorptionsrotorstillstand bei gleichzeitiger Durchströmung sollte wegen der möglichen Anlagerung von Verunreinigungen oder Geruchsstoffen vermieden werden, so dass sich eine minimale Drehzahl zur Selbstreinigung empfiehlt. Durch die Verwendung von Außenluft für die Regenerationsluft bei offener Abluftführung werden weiterhin Geruchsübertragungen von belasteter Abluft sicher vermieden.

Anlagendimensionierung und Simulation

Zu Beginn des EU-Projektes bestand die Aufgabe in der Dimensionierung und Auslegung der Systemkomponenten und dem Finden der optimalen Regelstrategie zur Implementation in das bestehende Sauter Gebäudemanagement System der Bibliothek. Die Klimaanlage sollte in der Lage sein, die Temperatur in einem individuellen öffentlichen Saal des Gebäudes zu kontrollieren und dabei den erforderlichen Zusatzbetrieb der konventionellen Kompressionskältemaschine zu minimieren.

Für den Dimensionierungsprozess wurden bereits bestehende Ergebnisse eines Gebäudesimulationsmodells in TRNSYS verwendet, das im Ergebnis eine Zeitreihe des jährlichen Kühllastbedarfs in stündlicher Auflösung liefert. Das Lastprofil diente als Eingangsinformation für den Auslegungsprozess der solar betriebenen DEC-Anlage auf der Basis von Komponentenmodellen

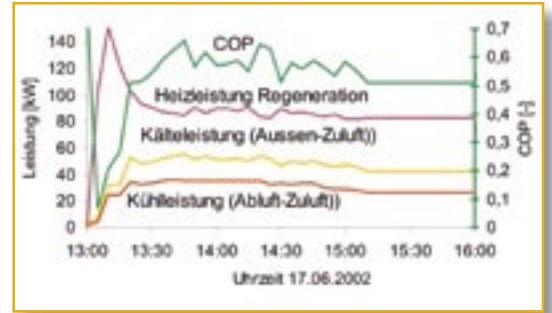


Abb. 2: Gemessene Heiz- und Kälteleistungen sowie Leistungszahl (COP) für die Mataró DEC-Anlage.

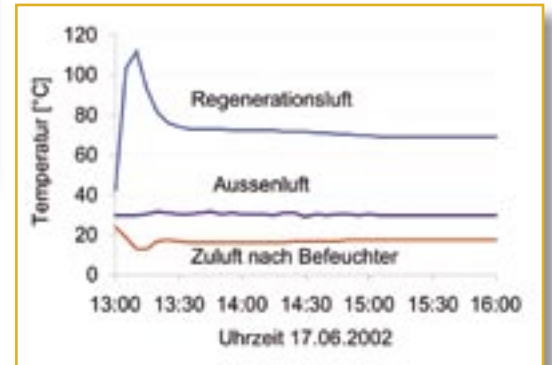


Abb. 3: Temperaturniveaus im Sorptionsbetrieb. Zu Beginn des Betriebs der DEC-Anlage am Mittag eines Junitags liefert das im Stillstand befindliche Kollektorfeld eine hohe Temperatur, die sich dann aber schnell bei 70 °C einpendelt. Eine zusätzliche Kühlung durch die Kompressionskältemaschine ist bei diesem typischen Betriebszustand nicht nötig.

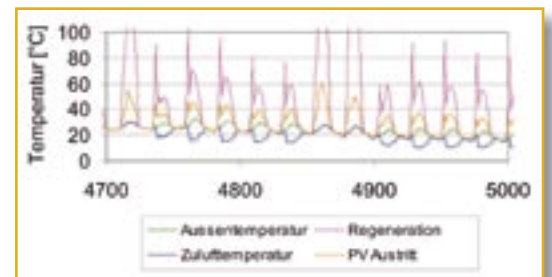


Abb. 4: Die Simulation bildet das reale Anlagenverhalten gut ab: Stundenwerte der Temperaturen der Zuluft, Außenluft, PV Sheds und Luftkollektoren (von unten nach oben) für den Monat Juli.

(Sorptionsrotor, Wärmetauscher, Befeuchter, Ventilatoren, Luftkollektoren, hinterlüftete PV) in der Simulationsumgebung Insel. Im Ergebnis stand ein detailliertes Simulationsmodell der Klimaanlage und der Regelstrategie zur Verfügung.

Für die Auslegungsphase der Anlage kam dem prozesssteuernden Regler (in diesem Fall mehreren Automatisierungsstationen der Firma Sauter des Typs EYL3A430) eine besonders wichtige Rolle zu. Unter Verwendung der aktuell gemessenen Raumtemperatur als Eingangsinformation entscheidet der Controller zum Beispiel über die Schaltung und den Volumenstrom der Ventilatoren, über die Zuschaltung und Rotationsgeschwindigkeit des Sorptionsrads und des rotierenden Wärmetauschers, sowie über die Anzahl der aktiven Befeuch-

ter, die Ventilstellung für das Kaltwasser Backup System etc. Der Regler selbst ist ebenfalls als unabhängiger Block in Insel implementiert, der die Raumtemperatur als Eingangsgröße benötigt und An/Aus-Signale für die verschiedenen Befeuchterstufen, die Rotationsgeschwindigkeiten von Sorptionsrad und Wärmetauscher, die Ventilatorrehzahl und damit den Volumenstrom als Ausgangsgrößen bereitstellt. Als Parameter benötigt der Reglerblock noch die maximal zulässige Zulufttemperatur und die maximal erlaubte Feuchte.

Bei einer jährlichen Einstrahlung von 1.020 kWh/m²a auf die vertikale Südfassade und 1.570 kWh/m²a auf die Dachsheds ergaben Simulationsrechnungen für das solarthermische Kombisystem einen Ertrag von nahezu 70.000 kWh Nutzwärme im Zeitraum April bis Oktober. Der monatliche sommerliche Energieertrag der hinterlüfteten Photovoltaik sowie des Luftkollektorfeldes liegt zwischen 18.000 und 22.000 kWh pro Monat mit jeweils etwa 50 % Anteil an der Gesamtenergieproduktion. Die Regenerationstemperaturen der thermischen Anlage erreichen bei einem Regenerationsluftvolumenstrom von 9000 m³/h etwa 60 °C. Deutlich zu erkennen sind die Stillstandstemperaturen bei Anlagenabschaltung am Wochenende und vor Betriebsbeginn (siehe Abb. 4). Für das Gebäude wird bei einem Kühlenergiebedarf von 44.000 kWh insgesamt ein solarer Deckungsgrad von 84 % erreicht.

Zusammenfassung

Bei den offenen sorptionsgestützten Klimaanlage können Luftkollektoren systemtechnisch einfach eingebunden werden. Auch hier ist die regelungstechnische Optimierung und Betriebsüberwachung wichtig für eine optimale Solarenergienutzung. Die Betriebserfahrungen der sorptionsgestützten Klimatisierungsanlage in Mataró mit solarthermischen Luftkollektoren in der Fassade und auf dem Dach sowie hinterlüfteter Photovoltaik Fassade bzw. PV Dachsheds zeigen das hohe Potenzial der solaren Klimatisierung auf. Die Anlage erreicht bei entsprechender solarer Einstrahlung die angestrebten Zulufttemperaturen ohne Hilfsenergiezufuhr. Die gemessenen Leistungszahlen (COP) der DEC-Anlage bei Regenerationsbetrieb liegen je nach Regenerationstemperatur zwischen 0,6 (70 °C) und 1,0 (50 °C).

Uli Jakob, Ursula Eicker

Dr. Uli Jakob ist Bereichsleiter der Solar Cooling Division bei der SolarNext AG, einem internationalen Systemanbieter für Solar Cooling and Heating Systeme, Envelope Power und Wasseraufbereitung bzw. Meerwasserentsalzung.

Prof. Dr. Ursula Eicker leitet das Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik (ZAFH.net). Sie lehrt im Studiengang Bauphysik an der Hochschule für Technik Stuttgart im Fachbereich Bauingenieurwesen, Bauphysik und Wirtschaft.

Kontakt:

SolarNext AG, Nordstraße 10, 83253 Rimsting, Tel. 080 51/6888-403, Fax 080 51/6888-490, E-mail: uli.jakob@solarnext.de, www.solarnext.de

Forschungszentrum Nachhaltige Energietechnik – ZAFH.net, Hochschule für Technik Stuttgart, Schellingstraße 24, 70174 Stuttgart, Tel. 07 11/89 26-28 31, Fax 07 11/89 26-26 98, E-Mail: eicker@zafh.net, www.zafh.net

„TYFO für Ihre Solaranlage!“



Wärmeträgerflüssigkeiten für alle thermischen Solarsysteme.

- tausendfach bewährte Frost- und Korrosionsschutzmedien für Flachkollektor- und Vakuumröhrenanlagen
- korrosionssicher – Schutz vor Ablagerungen
- umweltverträglich, ungiftig, biologisch abbaubar

Sole für Wärmepumpensysteme



Ihr Wärmeträger-Spezialist seit 1975

Anton-Reé-Weg 7 | 20537 Hamburg | T. 040/20 94 97-0 | F. 040/20 94 97-20 | www.tyfo.de

Sun Motion

Absorbertechnologie

Absorberstreifen & Vollflächenabsorber

SunMotion GmbH

Tel. 05838/991400 Fax 05838/99101

E-Mail: info@sunmotion-gmbh.com



DER NEUE ASOTEC-FACHHANDELSKATALOG

- Umfangreiches Gesamtangebot Solar, Heizung, Regenwasser, PV
- schlanker Vertriebsweg
- preiswerte Qualitätsprodukte
- alles aus einer Hand

Aktuelle Sonderpreisaktion!
Edelstahlwellrohr

Fordern Sie den Fachhandelskatalog unter www.asotec.de, per e-Mail oder Fax an.



ASOTEC GmbH - Hauptstraße 65 - D-57644 Hattert
Tel.: 02662-939616 - Fax: 02662-939617
info@asotec-gmbh.de - www.asotec.de

Besuchen Sie uns im Internet www.jumbo-heizsysteme.de www.degen-gmbh-co.de

DEGEN GmbH & Co.
Lambertstraße 22
59229 Ahlen-Dülberg
Telefon (02388) 810-3
Telefax (02388) 1888

Produkte: Fußboden-Heizungssysteme, HK/Sanitär-Anschluss-Systeme, Heizkreisverteiler-Armaturen, Wärmetauscher-Systeme, Thermische Solaranlagen, Regenwasser-Nutzung, Rohr-Isolierung, Pumpen-Gruppen, Hochleistungs-Speicher, Nachheizen, Angebot des Monats