

Kühlen mit Biomasse und Sonne

Von Erich Podesser

Für das Forschungshaus im Ökopark Hartberg wurde die erste österreichischen Desiccant-Klimaanlage mit einer Kühlleistung von ca. 30 kW_c geplant und errichtet. Mit dieser Anlage kann das Gebäude ganzjährig belüftet, im Winter beheizt und im Sommer gekühlt und, wenn erforderlich, auch entfeuchtet werden.

Bei der Raumkühlung im Sommer unterscheidet man zwei Betriebsarten: Die adiabatische Luftkühlung, die nur elektrische Antriebsenergie für die Ventilatoren und Wasser zur Luftbefeuchtung benötigt, und die sorptive Luftkühlung, bei der durch Trocknen der Zuluft und anschließende Wiederbefeuchtung eine Abkühlung der Luft erreicht wird.

Bei der Betriebsart „sorptive Kühlung“ wird Wärme zur Trocknung der Zuluft benötigt, die beim gegenständlichen Projekt aus erneuerbarer Energie (Biomasse und/oder Sonnenstrahlung) gewonnen wird.

Die Anlage wurde im September 2000 in Betrieb genommen. Die Erfahrungen des ersten Sommers 2001 zeigen, dass im Umfeld von Hartberg an 50 bis 70% der Sommertage eine adiabatische Kühlung ausreicht und nur an Tagen mit höheren Luftfeuchten Wärme für den sorptiven Kühlbetrieb notwendig ist.

Die gewonnenen Erfahrungen erlauben vor allem auch neue Ansätze bei den Regelungsstrategien, die eine höhere Betriebssicherheit und eine weitere Reduktion der eingesetzten Wärme für den Kühlbetrieb im Sommer möglich machen.

Das im Folgenden beschriebene Verfahren zur Klimatisierung von Gebäuden in mitteleuropäischen Klimazonen benutzt umweltverträgliche Kältemittel, wie Luft und Wasser, und wird im „sorptiven Kühlmodus“ mit Wärme aus erneuerbaren Energieträgern (Biomasse und Sonnenenergie) betrieben. Der bekannte negative Einfluss von konventionellen Kältemitteln auf die Ozonschicht (Ozon Depletion Potential: ODP) und der Beitrag zur Erwärmung der Erdatmosphäre (Global Warming Potential, GWP) kann weitgehend vermieden werden. Allerdings benötigt man zur Luftbewegung, wie dies in Gebäudeklimaanlagen üblich ist, elektrisch betriebene Ventilatoren, die je nach Art der Stromerzeugung einen bestimmten Beitrag zur antropogenen CO₂-Produktion leisten. Dieser wird als indirekter Beitrag zum Treibhauseffekt(I-GWP) bezeichnet.

Anlagenfunktion

Abbildung 1 zeigt die am Verfahren beteiligten Komponenten, eingebaut in einem Lüftungsgerät üblicher Bauart. Daraus kann man bereits im wesentlichen den Ablauf des Prozesses zu Zuluftkühlung und -entfeuchtung erkennen.

Für die Kühlung der Zuluft im Sommer tritt die Außenluft durch ein Luftfilter 1 in den Zuluftkanal des Desiccant-Klimagerätes (DEC-Gerätes) ein und wird im sorptiven Luftkühlbetrieb durch Kondensation am Sorptionsrad 2 getrocknet.

Durch diesen Kondensationsvorgang erwärmt sich die Luft und wird in weiterer Folge vom Wärmerad 3 abgekühlt (weil der Abluftbefeuchter 7 vor dem Wärmerückgewinnungsrade die Abluft kühlt) und durch anschließende Befeuchtung im Verdunstungsbefeuchter 5 weiter bis in den Bereich von 16 bis 18 °C gekühlt. Die so konditionierte Zuluft tritt somit mit einem Luftzustand, der durch die Regelung im Behaglichkeitsbereich gehalten wird, in das Gebäude ein. Durch Sonnenstrahlung und Transmissionswärme, durch Personenwärme und Geräteabwärme wird die Raumluft im Gebäude erwärmt und befeuchtet, und verlässt das Gebäude über die Abluftkanäle.

Im Abluftkanal des Desiccant-Gerätes werden von der Abluft verschiedene Stufen durchlaufen. Die Abluft wird im Abluftbefeuchter 7 befeuchtet und damit gekühlt. Mit Hilfe des Wärmerückgewinnungsrades 3 wird die Zuluft durch die kühle Abluft bereits vorgekühlt. Bei diesem Vorgang erwärmt sich die Abluft im Wärmerückgewinnungsrade 3 und kommt somit bereits vorgewärmt in den Regenerationserhitzer 8, in dem die Abluft mit Wärme aus Biomasse und/oder Sonne je nach Bedarf, jedoch maximal auf 75 °C, erwärmt wird. Die erwärmte Abluft trocknet im sorptiven Kühlbetrieb das Sorptionsrad 2, damit die Zuluft wieder effizient entfeuchtet werden kann.

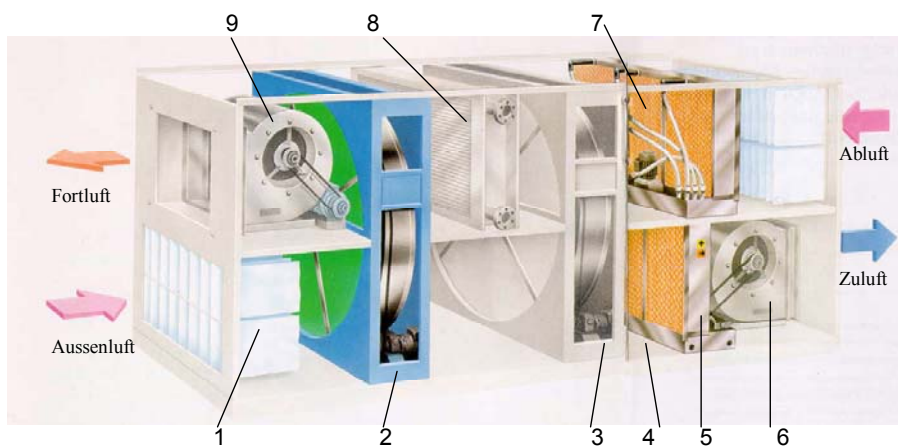


Abbildung 1: Zusammenbau der Komponenten zu einem Desiccant-Klimagerät. Zuluftseite: 1 Luftfilter EU7, 2 Sorptionsrad, 3 Wärmerückgewinnungsrads (rotierender Rekuperator), 4 Platz für Nacherhitzer für Heizen im Winter, 5 Verdunstungsbefeuchter Zuluft, 6 Zuluftventilator; Abluftseite: 7 Verdunstungsbefeuchter Abluft, 8 Luftherhitzer zur Trocknung des Sorptionsrades, 9 Abluftventilator.

Adiabatische Kühlung

Die adiabatische Kühlung der Zuluft im Sommer ist dadurch gekennzeichnet, dass die oben beschriebene Lufttrocknung der Außenluft im Zuluftkanal nicht erforderlich ist, weil die Außenluftfeuchte niedrig ist (z.B. unter 8 g Wasser/kg Luft und niedriger). Im Fall der adiabatischen Kühlung wird in der ersten Stufe nur der Abluftbefeuchter 7 eingeschaltet (siehe Abbildung 1). Dieser kühlt die Abluft, so dass kühle Abluft in den rotierenden Rekuperator 3 eintritt, diesen auf der Abluftseite kühlt, wodurch in weiterer Folge auch die Zuluft gekühlt wird. Die Zuluft kommt in einem solchen Betriebsfall mit ca. 18 bis 20 °C in das Gebäude. Der Arbeitsbereich der adiabatischen Kühlung kann darüber hinaus noch wesentlich erweitert werden, wenn die Zuluftkühlung durch Zuluftbefeuchtung soweit gesteigert wird, bis die Raumluft im Gebäude die Grenzen der Behaglichkeit erreicht. Dieser Regelungsvorgang muss mit entsprechender Sensorik überwacht und geregelt werden. Werden die Behaglichkeitsgrenzen erreicht, d. h. besteht die Gefahr, dass in den Büros die Raumluftfeuchte 11 g/kg Luft übersteigt, dann wird auf den sorptiven Kühlbetrieb mit Zuluftentfeuchtung umgeschaltet.

Heizbetrieb

Wenn die Außentemperatur 20 °C unterschreitet, wird die Raumheizung durch die Regelung vollautomatisch eingeleitet. In der ersten Phase der Sequenz wird mit einem Rad und anschließend mit beiden Rädern Wärmerückgewinnung aus der Abluft gefahren. Weitere Phasen sehen vor, dass in Abbildung 1 in Punkt 4 positionierte Heizregister in Betrieb zu nehmen, um dafür zu sorgen, dass auch bei tiefen Außentemperaturen entsprechend konditionierte Warmluft in die Büros gefördert wird.

h,x-Diagramm für feuchte Luft

Der mit Hilfe der Abbildung 1 beschriebene Prozess kann nun in Abbildung 2 in das h,x-Diagramm für feuchte Luft eingetragen werden. Dabei werden der Beginn und das Ende der Luftzustandsänderungen für jeden Prozessschritt ins Diagramm eingezeichnet.

Bei der Luftzustandsänderung von 1 nach 2 in Abbildung 2 findet die Trocknung der Außenluft statt, die mit etwa 9 g Wasser je kg trockener Luft in den Prozess eintritt. Die Trocknung erfolgt durch Kondensation (Adsorption an der Silikagelschicht des Sorptionsrades), wodurch die Kondensationswärme frei wird und die Zuluft auf ca. 40 °C erwärmt wird.

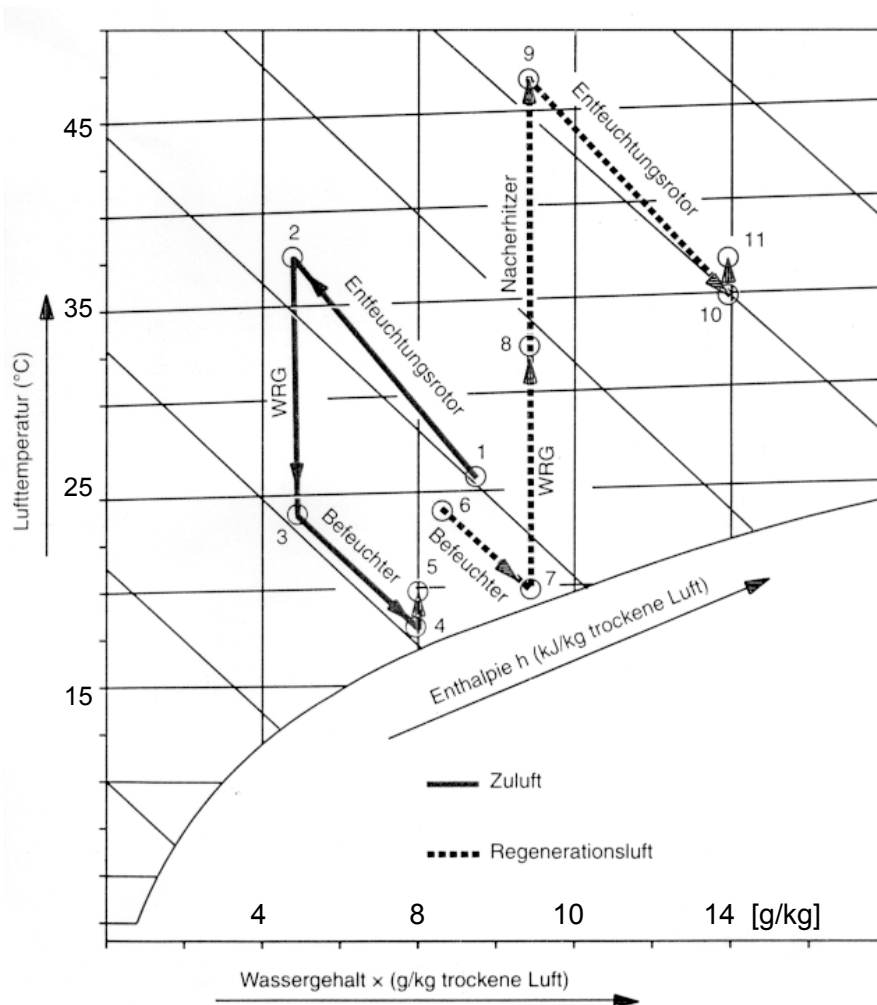


Abbildung 2: Sorptiver Desiccant-Kühlprozess im h,x-Diagramm für feuchte Luft

Im folgenden Schritt von 2 nach 3 findet die Abkühlung der Zuluft am Wärmerückgewinnungsrad bis auf ca. 24 °C statt. Der anschließende Prozessschritt sieht die Zuluftbefeuchtung im Verdunstungsbefeuchter vor, wodurch die Zuluft auf ca. 18 °C abgekühlt wird (Luftzustandsänderung von 3 auf 4). Die darauf folgende Erwärmung im Zuluftventilator um weniger als 1 °C ist noch durch die Zustandsänderung von 4 nach 5 gekennzeichnet.

Die Zuluft tritt nun mit dem Zustand 5 in die zu konditionierenden Räume des Gebäudes ein, wird dort durch Personen und Geräte erwärmt und befeuchtet, und verlässt das Gebäude im Luftzustand 6 (ca. 24 °C und 9 g/kg).

Im Abluftbefeuchter erreicht die Abluft den Zustand 7 (ca. 20 °C und 10 g/kg) und wird in weiterer Folge vom Wärmerückgewinnungswad (Teil 3 in Abbildung 1) auf ca. 33 °C vorgewärmt und anschließend zur Trocknung (Regeneration) des Sorptionsrades mit Wärme aus Biomasse und Sonne im Regenerationserhitzer auf ca. 47 °C erwärmt (Luftzustandsänderung von 8 auf 9). Die Luftzustandsänderung mit Abkühlung und Feuchteanstieg geschieht im Sorptionsrad und der Schritt 10 – 11 im Abluftventilator.

Errichtung der Desiccant-Klimaanlage

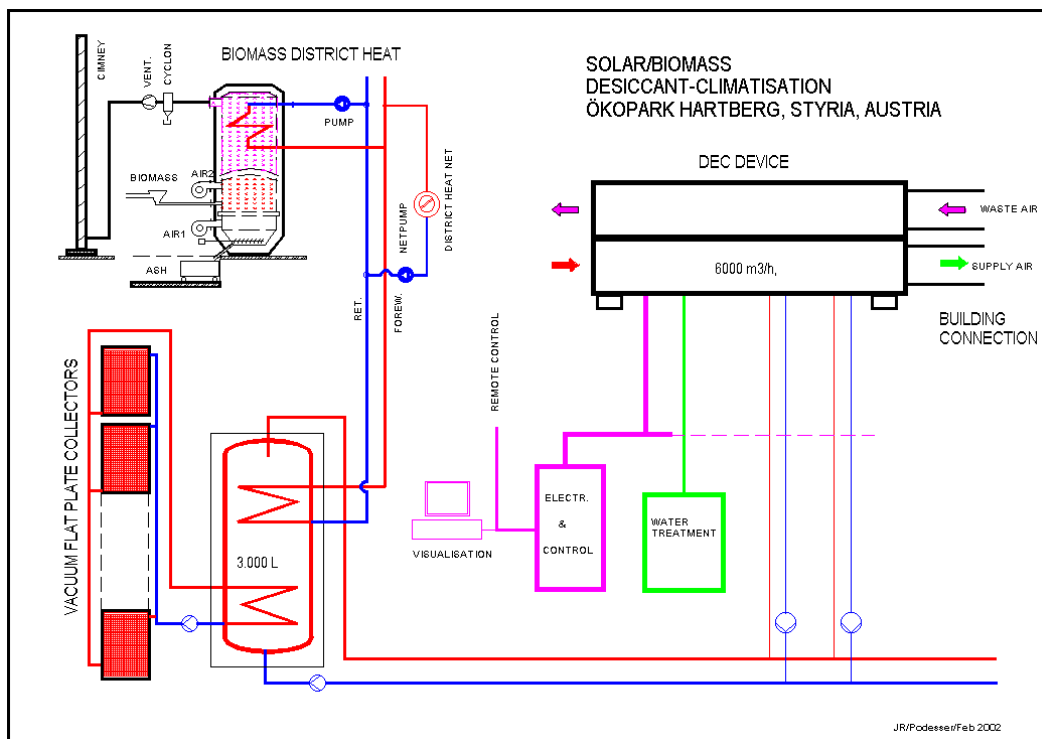


Abbildung 3: Anlagenschema der Wärmeversorgung und der Klimaanlage für den ÖKOPARK-Hartberg

In enger Zusammenarbeit mit dem planenden Architekt und den Technikern wurden die Schnittstellen zur übrigen Haustechnik festgelegt. Die Haustechnikplanung bearbeitete die Wärmeversorgung mit Holzhackgut und Solarkollektoren sowie die Wärme- und Luftverteilung im Gebäude. Das Joanneum Research war mit der Kühllastberechnung des Gebäudes, der Planung des Desiccant-Klimagerätes mit Wasseraufbereitung und der Regelungsstrategie und Regeltechnik der Klimaanlage für ganzjährigen Betrieb befasst. Die Abbildung 3 zeigt die Wärmeversorgung und die Klimaanlage im Blockdiagramm.

Nach der Kühllastberechnung für das gegenständliche Gebäude wurde die Auftragsvergabe zum Bau des Desiccant-Gerätes an ein Unternehmen im Wege einer beschränkten Ausschreibung vorbereitet. Dazu wurde auf Basis der Prozessberechnung und einer

konstruktiven Lösung des DEC-Gerätes ein Leistungsverzeichnis erstellt. Wesentliche Aufgaben waren,

- nur seriengefertigte Module der im EU-Bereich verfügbaren Lüftungstechnik zum Bau des DEC-Gerätes zu verwenden,
- die bauseits beigestellten Komponenten wie Sorptionsrad, Wärmerückgewinnungsrund und Verdunstungsbefeuchter in die seriengefertigten Module zu integrieren
- und diesen Vorgang durch eine entsprechende Definition der Positionen im Leistungsverzeichnis zu fixieren.

Im Rahmen der Vorplanung wurde mit mehreren Unternehmen, die konventionelle klimatechnische Geräte herstellen, verhandelt und nach Möglichkeiten gesucht, die beim Bau von Lüftungstechnischen und klimatechnischen Geräten firmenspezifisch standardisierte Modultechnik so einzusetzen, dass die dabei entstehenden Kostenvorteile genutzt werden können. Dies konnte nur dann geschehen, wenn die beigestellten Komponenten für das Desiccant-Klimagerät, wie das Sorptionsrad, das Wärmerückgewinnungsrund und die Verdunstungsbefeuchter, in die firmenspezifische Modultechnik ohne Änderungen bei der Fertigung integriert werden können.

Drei Unternehmen konnten Angebote zur Lieferung der Desiccant-Klimatechnik auf Basis eines Leistungsverzeichnisses erarbeiten. Den Zuschlag bekam die Fa. Klötzel, die im Wege der Fa. TROGES (Wiener Unternehmen für den Bau von Lüftungs- und klimatechnischen Geräten) die Lieferung vornahm.

Die Desiccant(DEC)-Klimaanlage wurde als wetterfestes Gerät für Außenaufstellung gebaut und vor dem Gebäude positioniert (siehe Titelbild dieses Artikels). Es ist mit wettergeschützten, wärmegeprägten Luftrohren mit den Zu- und Abluftsträngen des Gebäudes verbunden. Neben der Nahwärmeversorgung durch eine Biomasse-Verbrennungsanlage tragen auch die an der Gebäudesüdseite montierten Solarkollektoren zur Wärmeversorgung der sorptiven Luftkühlung im Sommer und der Heizung im Winter bei.

Reinwasser für Luftbefeuchter

Für den Betrieb der DEC-Klimaanlage ist, wie für alle Raumluftbefeuchtungsanlagen, Reinwasser erforderlich, das durch entsprechende Wasseraufbereitung bereitgestellt wird. Eine erste Wasseranalyse der örtlichen Wasserversorgung ergab 13 dH° und einen Leitwert von 360 µS/cm. Es wurde daher ein Ionentauscher, gefolgt von einer Reverse-Osmoseanlage eingebaut. Das Reinwasser, das den Verdunstungsbefeuchtern zugeführt wird, hat nach der Aufbereitung 0 bis 1 dH° und einen Leitwert von ca. 30 bis 50 µS/cm. In geringen Mengen wird auch ein Biocid dosiert, um den Bakterienwuchs in den Wasserbecken zu verhindern.

Anlagenregelung

Das Herz der DEC-Klimaanlage ist die Regelung für den vollautomatischen Ganzjahresbetrieb. Die Erstellung der Regelungsalgorithmus war einer der wichtigsten Entwicklungsschritte. Daraus wurde eine Strategie entwickelt, mit deren Hilfe das Programm für eine kommerziell verfügbare Regelungstechnik erstellt werden konnte.

Die verwendete ELESTA-DDC-Regelung für den vollautomatischen Ganzjahresbetrieb der Anlage ermöglicht es auch einen PC zu integrieren, um die gemessenen Daten der Anlage zu speichern und andererseits auch den Prozess, versehen mit den aktuellen Messwerten am Bildschirm, darzustellen. Zudem wird dabei die Fernüberwachung mit Hilfe von PC-Anywhere ermöglicht.

Die Verbesserung der Regelung ist auch Gegenstand von noch laufenden EU-Projekten (ASODECO, SACE) mit Partnern in Holland, Deutschland und Israel.

Betriebserfahrungen

Die Anlage wurde im September 2000 erstmals in Betrieb genommen. An warmen Herbsttagen desselben Jahres konnte die geplante Anlagenfunktion „Sommerkühlung“ bereits im Betriebsmodus „Handsteuerung“ realisiert werden.

Der anschließende Winterbetrieb zeigte, dass die Außenaufstellung verlässlich geplante und ausgeführte Maßnahmen zur Verhinderung von Eisbildung in Rohren und Wärmetauschern erfordert. Die durch Frostwächter eingeleiteten Maßnahmen, das sind vor allem das Einschalten der elektrischen Rohrbegleitheizungen, das Einschalten der Umwälzpumpen bei Außentemperaturen unter 2 °C und das gleichzeitige Überwachen der Wärmetauscher durch Frostschutzthermostate, müssen sicher funktionieren.

Die Erfahrungen des Sommers 2001 zeigten, dass im Hartberger Umfeld an etwa 50 bis 70% der Sommertage eine adiabatische Kühlung ausreicht und nur an Tagen mit höheren Luftfeuchten Wärme für die Zuluftkühlung notwendig ist. Erst ab Mitte August 2001 klettert die Luftfeuchte über 9 g/kg Außenluft, wodurch dann der sorptive Kühlbetrieb aus Behaglichkeitsgründen gestartet werden muss.

Auch im Sommer wird in den Morgenstunden fallweise Heizbetrieb gefahren, wenn die Außentemperaturen noch unter 20 °C liegen. Im allgemeinen genügt dabei Wärmerückgewinnung mit einem oder zwei Rotoren.

Die gewonnenen Erfahrungen eröffnen Möglichkeiten, die Regelungsstrategien zu verbessern, und eine Reduktion der eingesetzten Wärme für den sorptiven Kühlbetrieb im Sommer zu erreichen. Die Erfassung und Überwachung der Raumluftzustände mit geeigneter Sensorik und Regelungsstrategie ist Gegenstand weiterer Entwicklungsschritte.

Die Messdatenerfassung und Auswertung wird auch wichtige Ergebnisse für die Erstellung von Energiebilanzen und für eine Gesamtbeurteilung der DEC-Klimaanlage ergeben.

Finanzierung und beteiligte Unternehmen

Die Projektarbeiten wurden vom Land Steiermark im Wege der EU-Regionalförderung und von der OKOPLAN Ges m b H, Hartberg (Stadtwerke Hartberg), finanziert.

Mit der Projektleitung und Planung wurde Joanneum Research, Graz, betraut. Für die Lieferung und Detailplanung der Anlage wurde mit den Unternehmen Fa. Klötzel (Graz: Lüftungstechnik) und Fa. Hereschwerke (Wildon: Regelungstechnik) kooperiert.

Literaturverzeichnis

- /1/ Heinrich, G.; Franzke, U.: Sorptionsgestützte Klimatisierung, C.F. Müller-Verlag Heidelberg, 1. Auflage 1997.
- /2/ Dehli, F.: Energy and Environmental Protection Aspects of Desiccant Cooling, Paper presented at the 15th AIVC Conference, „The Role of Ventilation“, Buxton, UK, 1994.
- /3/ Heinrich, G.: Desiccative and Evaporative Cooling of Air. KI, Luft- und Kältetechnik, 2/1994.
- /4/ Busweiler, U.: Desiccant Cooling. Clima Commerce International, 6/1991.
- /5/ Busweiler, U.: Vollklimatisierung ohne FCKW funktioniert. TGA Magazin, 6/1992.
- /6/ Busweiler, U.: Klimatisieren ohne Kältemaschine, Technische Akademie Mannheim, Seminar Nr. 0751/ II 93.
- /7/ Munters Euroform GmbH: MCC-Kühlkassetten, Adsorptionskühlung, Produktinformation, 1994
- /8/ Munters Euroform GmbH: Verdunstungsbefeuchter FA4, Technischer Katalog, 1995
- /9/ Podesser, E; Stiglbrunner, R.: Errichtung und Betrieb einer Desiccant-Klimaanlage zur Technologiedemonstration im Forschungshaus des ÖKOPARK Hartberg, Endbericht Nr.: IEF-B-09/00, im Auftrag von ÖKOPLAN Hartberg, Dezember 2000, 40 Seiten.

Autor:

Dr. Erich Podesser ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am JOANNEUM RESEARCH, Institut für Energieforschung in Graz, Österreich, erich.podesser@joanneum.at

Dieser Artikel wurde in der **erneuerbaren energie 2002-2** publiziert. Die Zeitschrift ist die Mitgliederzeitung der Arbeitsgemeinschaft ERNEUERBARE ENERGIE – Dachverband und erscheint viermal jährlich. Internet: www.aee.at