

Komponenten- und Anlagenverhalten solar betriebener sorptionsgestützter Klimaanlage

Ursula Eicker, Martin Huber, Uwe Schürger, Jürgen Schumacher*, Andreas Trinkle
Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik, Schellingstr.24, 70174 Stuttgart

*Universität Oldenburg, Carl-von Ossietzky-Str.9-11, 26129 Oldenburg

KI Luft- und Kältetechnik, C.F. Müller Verlag, 11/2002

1 Einleitung

Die ersten solarthermisch angetriebenen sorptionsgestützten Klimatisierungsanlagen (SGK-Anlagen) sind in Deutschland seit wenigen Jahren in Betrieb und aus den Betriebserfahrungen können Erkenntnisse über Anlagen- und Leistungsverhalten gezogen werden. Im Forschungsschwerpunkt Solarenergienutzung der Fachhochschule Stuttgart wurden zwei sorptionsgestützte Klimaanlage mit Beheizung durch Luftkollektoren bzw. hinterlüftete Photovoltaikmodule für eine Fabrikhalle in Althengstett sowie eine öffentliche Bibliothek in Mataró bei Barcelona geplant und wissenschaftlich begleitet. Während in Spanien die Inbetriebnahme erst im Sommer 2002 abgeschlossen wird und Energiekennwerte vorwiegend durch Simulationsrechnungen ermittelt wurden, liegen von der deutschen Anlage die ersten Messergebnisse vor.

Eine genaue Analyse des Komponentenverhaltens ist allerdings bei solchen grossen Anlagen im laufenden Betrieb schwierig, da die Messtechnik in Kastengeräten oft nur punktuell eingesetzt wird und aufgrund fehlender strömungstechnischer Beruhigungsstrecken wenig genaue Aussagen zulässt. Zusätzlich zu den Betriebsergebnissen beider Anlagen sollen daher im vorliegenden Artikel genaue Messungen kommerziell verfügbarer Sorptionskomponenten vorgestellt werden, die am Sorptionsprüfstand der FH Stuttgart durchgeführt wurden.

2 Anlagenkonzept Fabrikhalle Althengstett

Die europaweit erste gewerblich genutzte Sorptionsklimaanlage mit einem Luftkollektorfeld von ca. 100 m² wurde zur Klimatisierung des Neubaus einer zweigeschossigen Produktionshalle der Firma H.C. Mayer GmbH in Althengstett errichtet und 2000 in Betrieb genommen. Die Anlage ist für einen Außenluftvolumenstrom von 18.000 m³/h ausgelegt. Um bei einer Außentemperatur von 32°C im Auslegungsfall auf eine Zulufttemperatur von 17°C zu kühlen, ist eine Kälteleistung von etwa 90 kW erforderlich. Bei einer Leistungszahl von 0,9 entspricht dies einer thermischen Antriebsleistung der Sorptionsanlage von 100 kW.

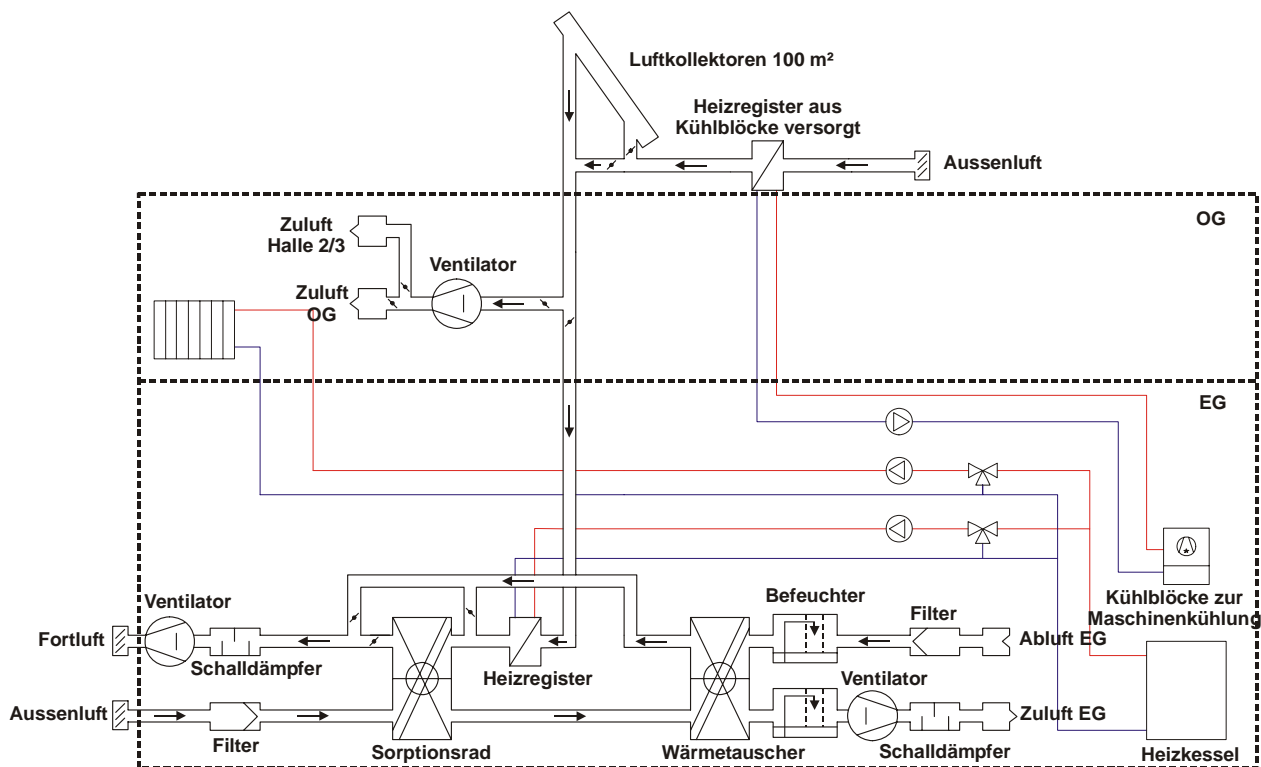


Abbildung 1: Systemskizze sorptionsgestützte Klimatisierung Althengstett

Problematisch bei der Planung der Anlage war besonders die Entwicklung der Regelstrategie, da die Einbindung der Abwärme der vorhandenen Kältemaschinen sich nicht mit einer Standardlösung realisieren ließ. Ein reibungsloser Produktionsbetrieb erforderte eine kontinuierliche Abnahme von Wärme, um dadurch die optimale Kühlung der Produktionsmaschinen zu gewährleisten. Die Kälteaggregate für die Maschinenkühlung besitzen zwar die Möglichkeit, über eingebaute Ventilatoren die anfallende Abwärme an den Raum abzugeben, diese belasten den Raum jedoch zusätzlich thermisch und sollten möglichst nicht in Betrieb gehen. Es bedurfte zahlreicher Optimierungsschritte, um das Zusammenspiel zwischen Abwärmenutzung und freier Regelung der SGK-Anlage zu gewährleisten. Diese Optimierungsphase ließ einen fehlerfreien Betrieb über eine längere Betriebsphase der Anlage erst ab Herbst 2001 zu.



Abbildung 2: Luftkollektorfeld der sorptionsgestützten Klimaanlage in Althengstett

Bei der Funktionsanalyse des Sorptionsrades stellte sich sehr häufig heraus, dass die Laufradüberwachung zwar ein Rotieren des Rads meldete, aber aus den aufgezeichneten Messwerten deutlich hervorging, dass das Rad stand. Das größte Problem war aber die Haltbarkeit des Sorptionsrads. Bei Stillstand des Sorptionsrads und gleichzeitigem Durchströmen mit Luft lagerte sich so viel Wasser an, dass das Rad infolge seines nun sehr hohen Eigengewichts Schäden davon trug. Die Trägerstruktur riss an diversen Stellen und es bildeten sich Spalte die im Zentimeterbereich lagen. Von Seiten des Herstellers wird gefordert, dass das Rad mindestens in einen Intervallbetrieb geht, sobald es mit Luft durchströmt wird, um dieses Problem zu umgehen.

Die messtechnische Überwachung einer solchen Anlage ist unweigerlich mit diversen Problemen verbunden. Solange Temperatur-, Feuchte- und Volumenstrommessung in einem Kanalsystem stattfinden, ist eine wenig fehlerbehaftete Messung möglich. Es können dabei meist Messorte gefunden werden, die eine Punktmessung der einzelnen Messgrößen zulassen. Die Dimension des SGK-Geräts und die aufgrund der kompakten Bauweise nur minimalen Abstände zwischen den einzelnen Komponenten führen dazu, dass eine punktuelle Messung von Temperatur, Luftfeuchte und Volumenstrom an diesen Messorten mit sehr großen Messfehlern behaftet sein können. Die installierten Messfühler in der Anlage werden zwar regelmäßig mittels Handmessungen abgeglichen, aber infolge der schwierigen Strömungsverhältnisse an den Messorten ist diese Art der messtechnischen Erfassung relativ ungenau. Mittelwertfühler über den Gerätesegmentquerschnitt würden diese Situation verbessern, jedoch sind bei Querschnitten von über 1 m² und sehr geringen Abständen zwischen den Komponenten auch solche Messungen nicht ohne Messfehler möglich. Eine wissenschaftliche Bewertung der Komponenten einer solchen Anlage ist deshalb bei Freifeldmessungen sehr problematisch. Um Tendenzen festzustellen und Fehlfunktionen der Anlage zu untersuchen sind die Messdaten jedoch unerlässlich. Auch die energetische Bewertung der Gesamtanlage ist ohne weiteres möglich, da die hierfür benötigten Messpunkte alle außerhalb des SGK-Aggregats liegen und deshalb verwertbare Daten liefern.

3 Anlagenkonzept öffentliche Bibliothek Mataró

In der Stadt Mataró bei Barcelona (Spanien) wurde 1994 der Neubau einer öffentlichen Bibliothek mit 3500m² Nutzfläche mit einer gebäudeintegrierten Photovoltaikanlage mit 55 kW_p elektrischer Spitzenleistung ausgestattet. Die hinterlüfteten Fassaden- und Dachshedmodule ermöglichen eine kontrollierte Nutzung der Abwärme, die in einem 14 cm tiefen Luftspalt ventilatorgetrieben abgeführt wird. Zum Gebäude hin wird der Luftspalt durch eine Doppelverglasung abgeschlossen, so dass auch Tageslicht durch die Glasanteile des Photovoltaikmoduls gelangt.

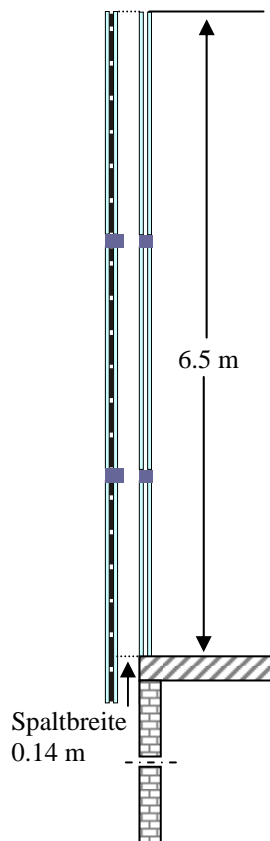


Abbildung 3: Hinterlüftete gebäudeintegrierte Photovoltaik zur kombinierten elektrisch-thermischen Energiegewinnung.

Mit einer jährlichen Einstrahlung auf die Horizontale von 1440 kWh/m^2 ist Mataró ein sehr guter Standort für die Solarenergienutzung (1020 kWh/m^2 auf die Südfassade, 1570 kWh/m^2 auf die Sheddächer). Die mittlere Temperatur im kältesten Monat Januar liegt bei $9,7^\circ\text{C}$, die Maximaltemperaturen im Sommer überschreiten aufgrund der temperierenden Meeresnähe nicht 35°C .

Mit den hinterlüfteten Photovoltaikerelementen mit einer Gesamtfläche von 244 m^2 in der Südfassade und 330 m^2 in den südorientierten Sheddächern können bei hohen Einstrahlungen und Strömungsgeschwindigkeiten im Spalt von etwa 0.3 m/s Temperaturerhöhungen von $10\text{-}15 \text{ K}$ erzielt werden. Um auf Regenerationstemperaturen $>60^\circ\text{C}$ zu kommen, wurden 1998 und 2002 zusätzliche Luftkollektoren der Firma Grammer in der Fassade (insgesamt 50 m^2) und mit 34° Neigung auf dem Dach installiert (105 m^2).

Trotz deutlich geringerer Fläche erzielen die Luftkollektoren aufgrund höherer Strömungsgeschwindigkeiten von $2.5\text{-}3 \text{ m/s}$ sowie grösserer Wärmeübertragungsflächen durch Berippung weitere $15\text{-}20 \text{ K}$ Temperaturerhöhung.

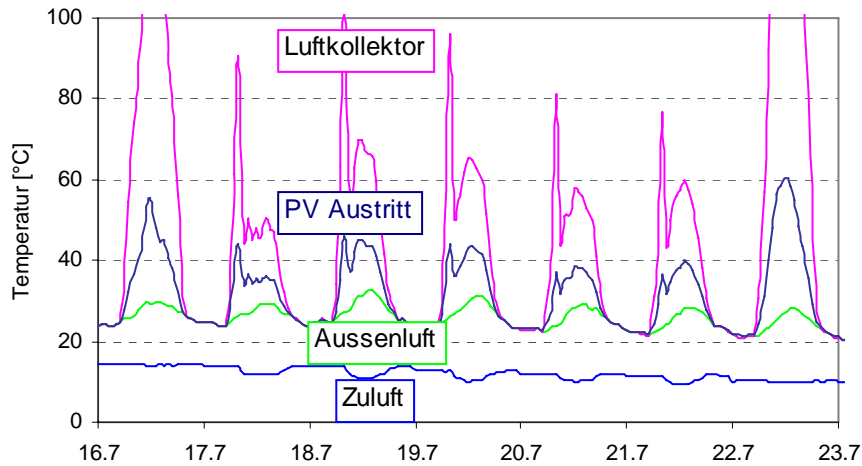


Abbildung 4: Berechnete Temperaturerhöhung durch die hinterlüftete Photovoltaik und die Luftkollektoren im Juli bei Einstrahlung auf die Süddächer bis maximal 1000 W/m² und einem Gesamtvolumenstrom von 9000m³/h.

Die sorptionsgestützte Klimaanlage wird mit einem Prozessluftstrom von 12.000m³/h gefahren und klimatisiert ein Gebäudegeschoss mit einem jährlichen Kühlenergiebedarf von etwa 40.000 kWh. Insgesamt soll die sorptionsgestützte Klimaanlage 93% des gesamten Kühlenergiebedarfs decken.

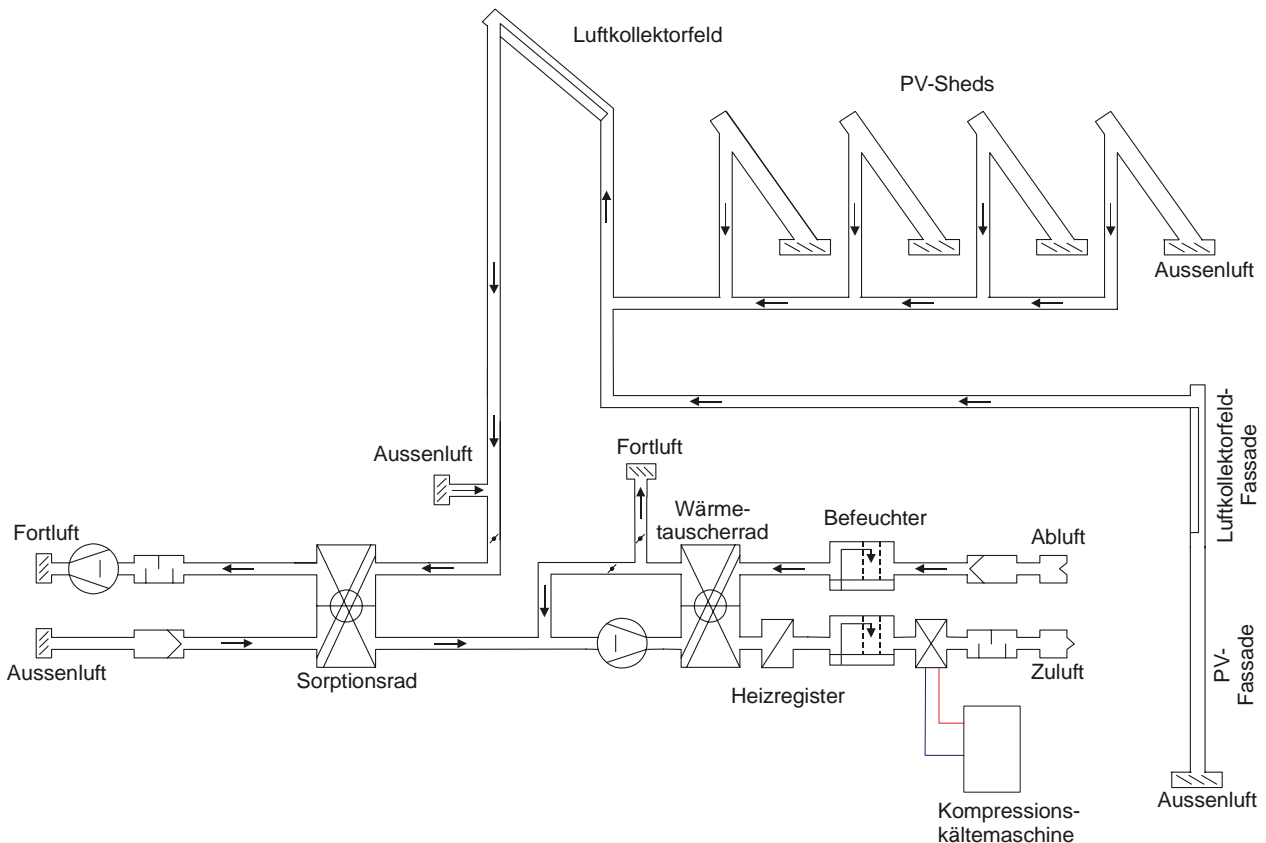


Abbildung 5: Anlagenverschaltung der sorptionsgestützten Klimaanlage in Mataró.

Detaillierte Untersuchungen der Regelstrategie zeigen, dass vor allem eine Volumenstromreduzierung bei geringerer Kühllast zur Stromverbrauchsreduzierung der Ventilatoren beiträgt. Neben der freien Lüftung, die 40% der Kühlstunden abdeckt, kann die

Anlage zu 27% mit halbem Volumenstrom gefahren werden. 24% der Kühlstunden wird zwischen halbem und vollem Volumenstrom geregelt und nur 9% der Zeit wird mit vollem Volumenstrom gefahren. Die Anlagensimulation wurde mit dem Simulationssystem INSEL durchgeführt (Schumacher, 2002), über dessen graphische Oberfläche von Hewlett Packard (HPVVE) gleichzeitig eine Messdatenerfassung und Anlagensvisualisierung möglich ist.

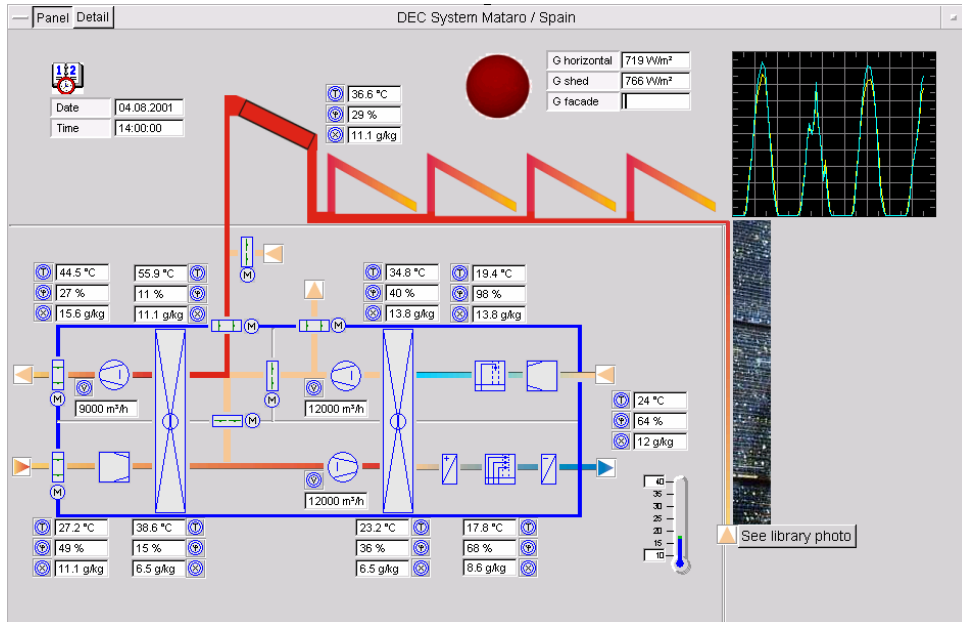


Abbildung 6: Visualisierung und Simulationsoberfläche der Sorptionsanlage in dem Simulationssystem INSEL.

Die ersten Betriebsergebnisse der Anlage im Juli 2002 zeigen die erwarteten Temperaturabsenkungen der Sorptionsanlage ohne jegliche Zusatzheizung oder -kühlung: so betrug beispielsweise am 17.7.2002 die Raumtemperatur in den Morgenstunden ohne Anlagenbetrieb 35°C. Die Anlage ging um 14.00h in Betrieb und erreichte in 30 Minuten eine Abkühlung der Raumtemperatur (Abluft) auf 26°C. Die zugehörige Zulufttemperatur am Nachmittag während der Öffnungszeit der Bibliothek betrug etwa 16°C.

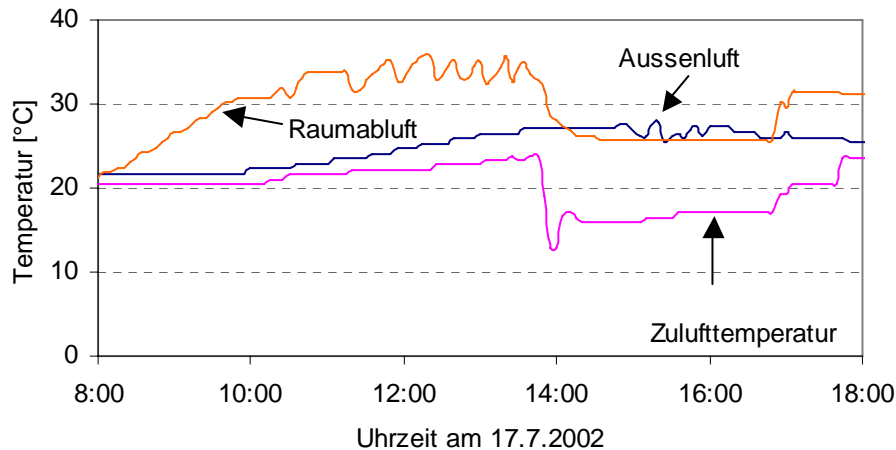


Abbildung 7: Gemessene Aussenluft-, Raumabluft- und Zulufttemperaturen der sorptionsgestützten Klimaanlage in Mataró.

Bei Anlagenstillstand werden im selektiv beschichteten Luftkollektor Stillstandstemperaturen bis zu 170°C erreicht. Auch in den Morgenstunden können vor Anlagenanlauf Stillstandstemperaturen über 100°C erreicht werden. Die im Gerät gemessene Regenerationstemperatur betrug bei Anschalten 110°C, um anschliessend auf die Solltemperatur von 70°C abzufallen. Die dadurch entstehende thermische Belastung der Anlage soll künftig durch eine vor Anlaufen geöffnete Aussenluftklappe im Regenerationsstrang vermieden werden.

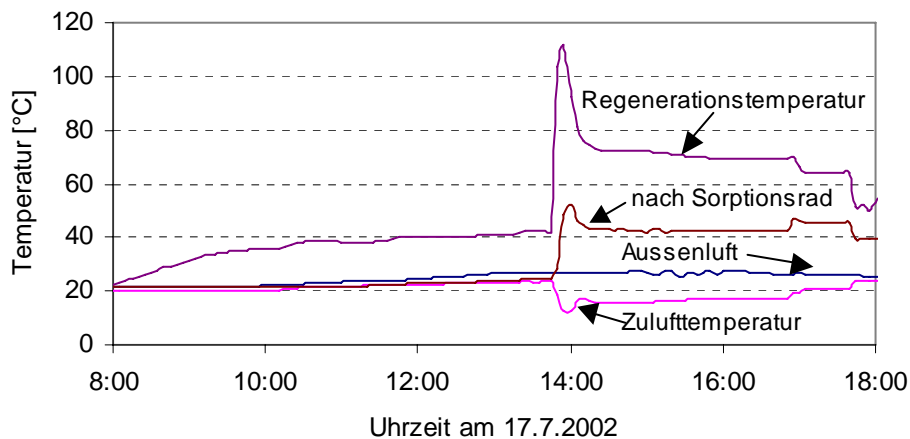


Abbildung 8: Gemessene Regenerationstemperatur im Gerät aus dem Luftkollektorfeld sowie der hinterlüfteten Photovoltaik sowie die Temperatur nach der Entfeuchtung im Sorptionsrad und die Raumzulufttemperatur.

Das Sorptionsrad wies im Betrieb eine Entfeuchtungsleistung von 4g/kg auf, was gut mit der Anlagensimulation übereinstimmt.

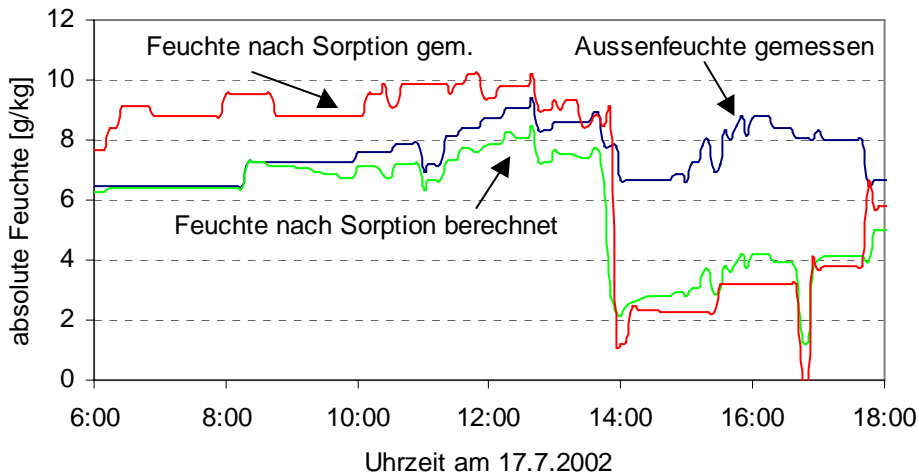


Abbildung 9: absolute Feuchten vor und nach dem Sorptionsrad berechnet aus gemessenen Temperaturen und relativen Feuchten.

Die Nachkühlung durch die Kompressionskältemaschine erfolgt wie erwartet bei geringen Einstrahlungen und Abfall der Regenerationstemperatur: am 21.7. konnte bis Mittags alleine mit der SGK Anlage klimatisiert werden und etwa 4g/kg Wasserdampf adsorbiert werden. Bei Abfall der Regenerationstemperatur auf etwa 35°C konnte nachmittags nicht mehr entfeuchtet werden und bei hohen Aussenluftfeuchten über 11g/kg die Zuluftbefeuchtung nicht zugeschaltet werden. Bei solchen Konditionen wird konventionell die Kompressionskältemaschine über einen Wärmetauscher im SGK Gerät zur Nachkühlung genutzt.

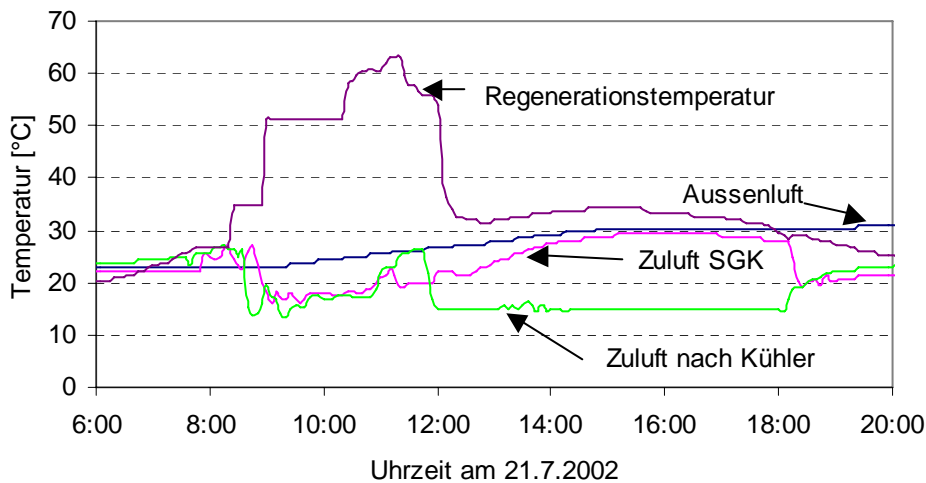


Abbildung 10: Zulufttemperatur nach Sorptionsanlage und nach dem Hilfskühler bei bedecktem Nachmittag mit geringen Regenerationstemperaturen.

Die komplette Regelung und Datenerfassung der Anlage erfolgt über Zusatzkomponenten des Gebäudeleitsystems. Die oft treppenförmigen Temperaturen sind auf unregelmäßige Datenaktualisierungen des Leitsystems zurückzuführen.

4 Betriebsergebnisse Althengstett

Aus den Messdaten der Sorptionsanlage wurden zunächst die Wirkungsgrade und Rückwärmzahlen aller konventionellen Komponenten bestimmt, die meist deutlich unter den Herstellerangaben liegen. So erreicht der rotierende Wärmetauscher bei einer Drehzahl von 600 U h⁻¹ eine mittlere Rückwärmzahl von 62%, während bei dem vorliegenden gemessenen

Verhältnis zwischen Zuluft und Abluft von 1.16 vom Hersteller 73% zu erwarten sind. Die Kontaktbefeuchter auf der Zu- und Abluftseite erreichen Befeuchtungswirkungsgrade von 85%, verglichen mit 92.4% aus den Herstellerangaben. Mit einem konstanten Befeuchtungswirkungsgrad können die gemessenen Befeuchtungsleistungen gut simuliert werden. Die erhebliche Trägheit des Befeuchters bei Abschalten (im Stundenbereich) wird derzeit im Simulationsmodell noch nicht berücksichtigt,

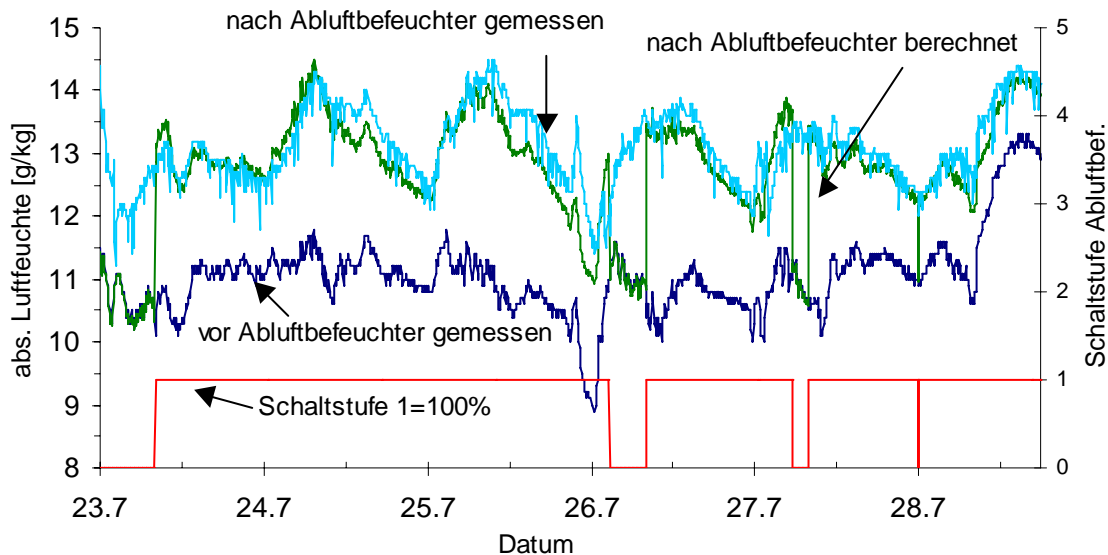


Abbildung 11: gemessene und berechnete Befeuchtungsleistungen des Abluftbefeuchters mit konstantem Befeuchtungswirkungsgrad von 85%.

Die Trägheit der Komponenten wird auch in der Anlagenregelstrategie derzeit nur ungenügend berücksichtigt. So wurde beispielsweise am 22.7.2002 bei reinem Befeuchterbetrieb und relativ niedrigen Aussenlufttemperaturen bis 22°C ein regelmässiges Schwanken der Zulufttemperatur von etwa 6K gemessen. Die volle Zuschaltung des dreistufigen Zuluftbefeuchters (Stellsignal 3) sowie des einstufigen Abluftbefeuchters führte in weniger als 30 Minuten zu einer Zulufttemperaturabsenkung unter den zulässigen Minimalwert und somit zur Abschaltung der Befeuchter. Gleichzeitig wird die Drehzahl des Sorptionsrotors stetig erhöht, um die Zulufttemperatur im Wärmerückgewinnungsmodus anzuheben. Bei erfolgtem Temperaturanstieg wird die Drehzahl des Sorptionsrotors wieder reduziert. Durch das verfrühte Anfahren des Rotationswärmetauschers (10 Minuten vor Abluftbefeuchter), wird die Zuluft durch die Raumabluft auf unnötig hohe Werte über 20°C erwärmt, um dann anschliessend wieder auf unter 15°C abzusinken.

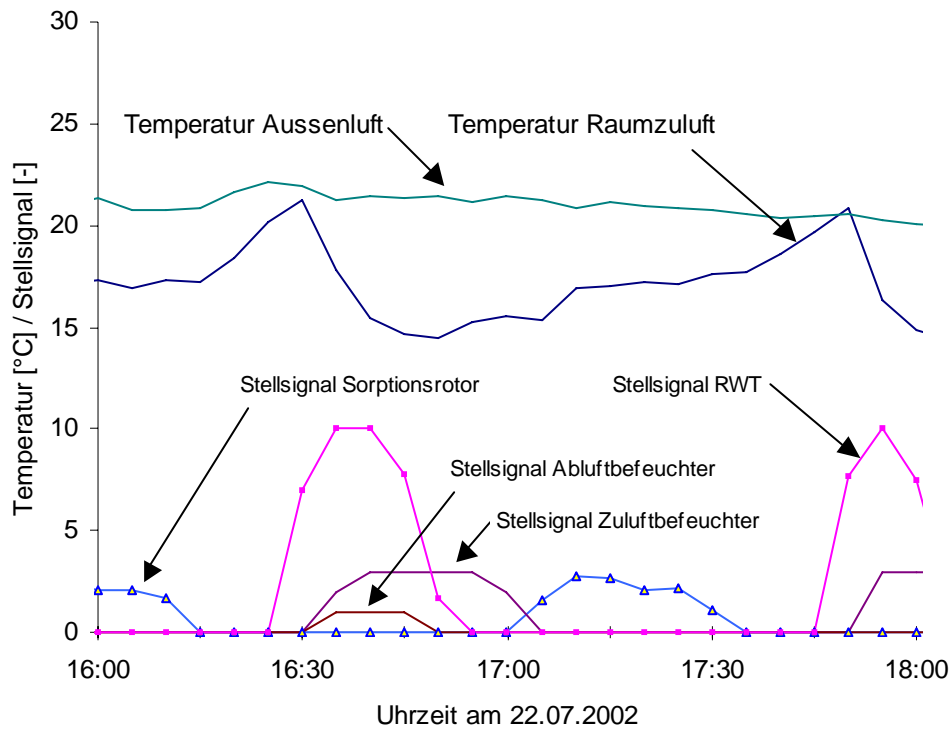


Abbildung 12: Schwankungen der Zulufttemperaturen bei Erreichen der minimal zulässigen Einblastemperatur

Die hohe Regelabweichung der Zulufttemperatur liesse sich vermeiden, wenn die Trägheit der Befeuchter besser berücksichtigt, der Wärmerückgewinnungsmodus des Sorptionsrades nicht eingeschaltet würde und der Rotationswärmetauscher erst nach Zuschalten des Abluftbefeuchters in Betrieb gehen würde.

Die Problematik der Feuchtemessung erschwert die Analyse der Entfeuchtungsleistung des Sorptionsrotors erheblich, da zwischen den Herstellerfühlern und den zusätzlich installierten Kontrollfühlern bereits bei der Aussenluftfeuchtemessungen bis zu 2g/kg Abweichungen bestanden. Als ein Ergebnis dieser Untersuchung hat sich als einzig realistische Bestimmung der Entfeuchtungsleistung deren Berechnung aus der Temperaturerhöhung bei bekanntem Enthalpieverlauf erwiesen. Die Enthalpieverläufe für die derzeit marktverfügbaren Sorptionsrotoren wurden am Prüfstand der FH Stuttgart bestimmt und für die Berechnungen verwendet. Bei dem in Althengstett verwendeten Lithiumchlorid-Rotor ist die Entfeuchtung isenthalp. Die bei isenthalpem Adsorptionsverhalten berechneten Temperaturen nach der Entfeuchtung stimmen sehr genau mit den gemessenen Werten überein.

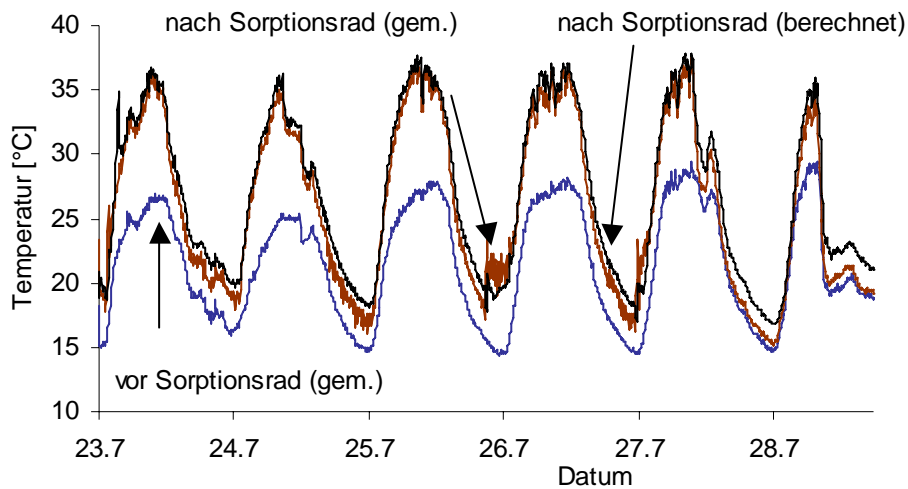


Abbildung 13: gemessene und berechnete Temperaturen nach der adsorptiven isenthalpen Trocknung der Luft sowie gemessene Aussenlufttemperatur vor dem Sorptionsrad.

Der Entfeuchtungswirkungsgrad, definiert als die tatsächliche gemessene absolute Entfeuchtung zur möglichen Enfeuchtung, liegt bei der Berechnung konstant bei 80% (Verhältnis aus Regenerationsluft zu Prozessluft 66%).

5 Prüfstandmessung Sorptionsräder

Für die optimale Auslegung einer solar betriebenen sorptionsgestützten Klimaanlage muss das Sorptionsverhalten des Rotors als Funktion variierender Temperaturen und Volumenstromverhältnisse bekannt sein. Da solche Informationen bisher nicht in dem erforderlichen Ausmaß verfügbar sind, wurde an der Fachhochschule Stuttgart ein Prüfstand für Sorptionsregeneratoren aufgebaut. Im Prüfstand können Temperatur, Feuchte und Volumenstrom der Prozess- und der Regenerationsluft nach Bedarf eingestellt werden. Temperatur, Feuchte und Volumenstrom werden in beiden Luftströmen jeweils am Eintritt und Austritt gemessen.

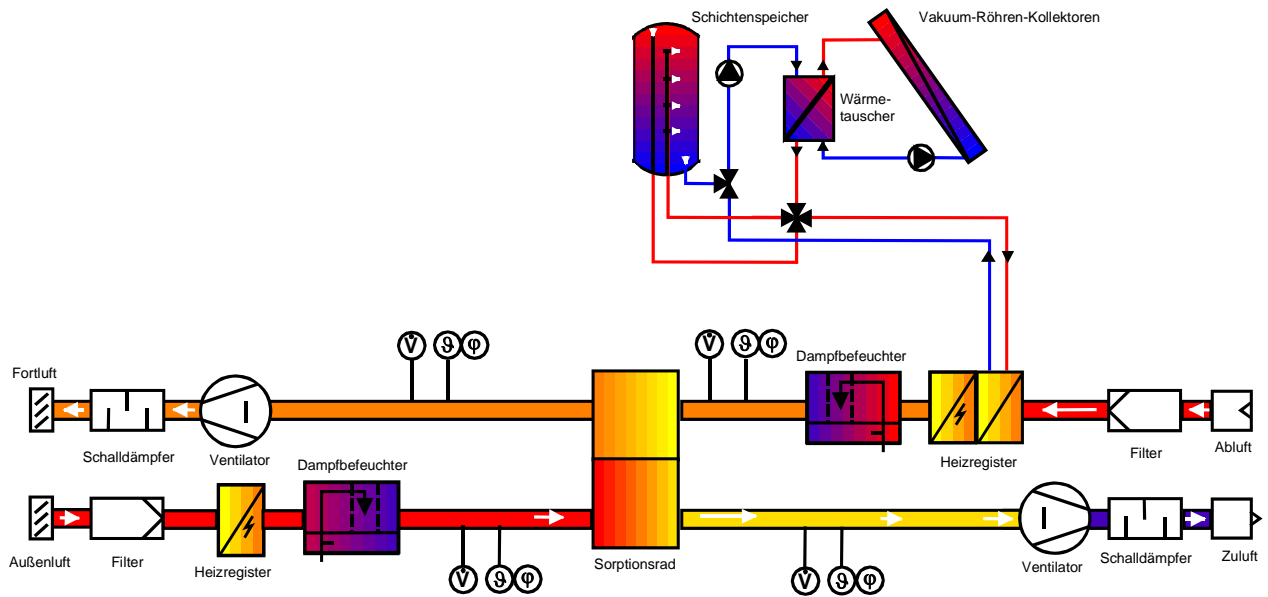


Abbildung 14: Prüfstand an der Fachhochschule Stuttgart

In der Anlage können die Volumenströme zwischen 0 und 2500 m³/h variiert werden. Für die Bereitstellung der Regenerationsenergie werden Röhrenkollektoren mit einem Pufferspeicher (2 m³) sowie elektrische Heizregister mit einer Leistung von 42 kW eingesetzt. Für die Konditionierung der Außenluft wird ein elektrisches Heizregister mit einer Leistung von 16 kW verwendet. Die Regulierung der Feuchte in beiden Luftströmen erfolgt durch Dampfbefeuchter mit einer maximalen Dampfleistung von 30 kg/h.

Die Leistungsfähigkeit von Sorptionsregeneratoren wird hauptsächlich durch die Entfeuchtungsleistung charakterisiert, welche die entzogene Wassermenge pro Kilogramm trockene Luft beschreibt. Nachfolgend sind beispielhaft einige Ergebnisse von Messungen an einem kommerziellen Sorptionsrotor der Firma Engelhard HexCore, LP ,Typ DES-H-Hexcore-DC15/N dargestellt.

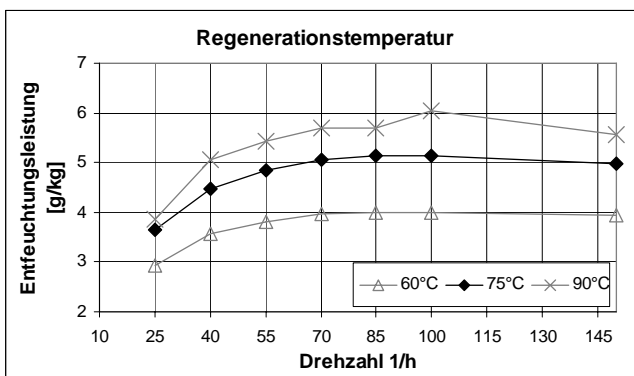


Abbildung 15: Einfluss der Drehzahl / Regenerationstemperatur

Abbildung 15 zeigt den Einfluß der Rotationsgeschwindigkeit und der Regenerationstemperatur auf die Entfeuchtungsleistung. Diese steigt bis 85-100 Umdrehungen pro Stunde und mit steigender Regenerationstemperatur an. Bei weiterer Erhöhung der Drehzahl nimmt die Entfeuchtungsleistung wieder leicht ab.

Aufgrund der steigenden Wärmeübertragung bei steigender Drehzahl erhöht sich die Enthalpie der Zuluft, was sich negativ auf die Kühlleistung eines DEC-Systems auswirkt. Andererseits ist für eine Verdunstungskühlung eine maximale Entfeuchtung anzustreben. Wegen dieser gegenläufigen Effekte gibt es für jeden Betriebspunkt eine optimale Drehzahl, die zusätzlich von der Verschaltung des Sorptionsregenerators mit den anderen Komponenten des DEC-Systems abhängig ist.

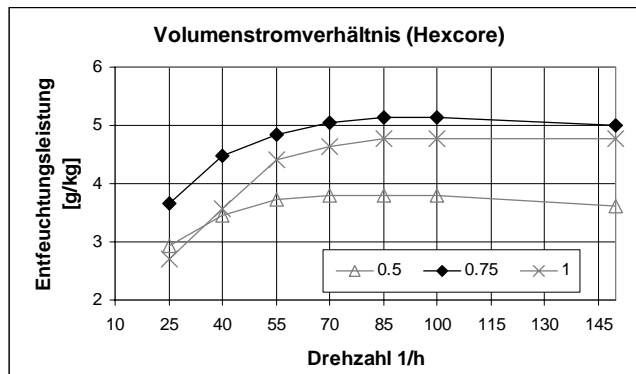


Abbildung 16: Einfluss der Drehzahl / Volumenstromverhältnis

Abbildung 16 zeigt den Einfluß der Drehzahl und des Volumenstromverhältnisses zwischen Außenluft und Regenerationsluft. Die optimale Entfeuchungsleistung liegt bei einem Volumenstromverhältnis von 0.75.

In Abbildung 17 ist ein direkter Vergleich zweier Sorptionsregeneratoren (Engelhard HexCore, LP ,Typ DES-H-Hexcore-DC15/N und Klingenburg, SECO 1000) dargestellt.

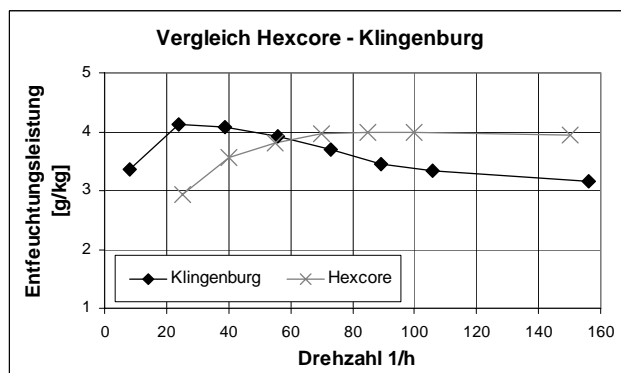


Abbildung 17: Vergleich Hexcore / Klingenburg

Die Vergleichsmessungen wurden bei einer Außenlufttemperatur von 32°C und einer relativen Luftfeuchte von 40% durchgeführt. Die Regenerationslufttemperatur betrug 60°C, die relative Feuchte ca. 6%. Es wurde ein Prozessluftvolumenstrom von 2000 m³/h und ein Volumenstromverhältnis zwischen Regeneration und Prozessluft von 0,75 eingestellt. Für beide Rotoren wurden unter diesen Bedingungen ähnliche maximale Entfeuchungsleistungen gemessen. Bei dem Lithiumchlorid-Rotor der Fa. Klingenburg liegt die optimale Drehzahl bei 20 U/h. Bei ansteigender Drehzahl fällt die Entfeuchungsleistung ab. Beim Silikagel-Rotor der Fa. Hexcore Engelhard dagegen steigt die Entfeuchungsleistung bis zu einer Drehzahl von ca. 100 U/h an.

In weiteren Messungen wurde versucht nachzuweisen, in wie weit die Entfeuchtungsleistung auch von dem Feuchtegehalt der Regenerationsluft abhängt. Bei hohen Regenerations-temperaturen ist der Betrag der relativen Feuchte sehr klein. So hat z. B. Luft mit einer Temperatur von 20°C und einer relativen Feuchte von 50% nach der Erwärmung auf 70°C nur noch eine relative Feuchte von knapp 4%. In diesem Feuchtebereich liefern kapazitive Feuchtefühler in der Regel keine auswertbaren Ergebnisse mehr. Selbst wenn durch spezielle Kalibrierung der übliche Messbereich (bis ca. 10%) nach unten ausgedehnt wird, so ist der mögliche Fehler (ca. 2% rel. Feuchte) bei der Errechnung der absoluten Feuchte meist größer als die Entfeuchtungsleistung des Rotors. Durch die Befeuchtung der Regenerationsluft konnte tendenziell ein Einfluß der relativen Feuchte auf die Entfeuchtungsleistung festgestellt werden. Es ist deshalb geplant, für derartige Messungen in Zukunft psychrometrische Feuchtefühler einzusetzen. Die psychrometrische Feuchtemessung ist eine der genauesten Feuchtemeßmethoden, die sich besonders zur Messung niedriger relativer Feuchten eignet.

Aus den Messergebnissen lassen sich erste Aussagen über die Entfeuchtungsleistung der Sorptionsrotoren bei Kopplung mit solarthermischen Luftkollektoren ziehen. Die Kollektorfläche ist aus Kostengründen meist begrenzt, in den beiden vorgestellten Anlagen auf jeweils 100m² Fläche. Um hohe Entfeuchtungsleistungen zu erreichen, müssen die Austrittstemperaturen aus dem Kollektor so hoch wie möglich liegen. Dieses kann durch Absenken des spezifischen Volumenstromes erreicht werden. In der spanischen Anlage wurde anfänglich der Regenerationsluftvolumenstrom soweit abgesenkt, dass die Austrittstemperatur mindestens 70°C beträgt. Das Verhältnis zwischen konstantem Zuluftvolumenstrom von 12.000 m³/h und Regenerationsluftvolumenstrom sank dadurch jedoch auf bis zu 25% ab, d.h. der Regenerationsvolumenstrom betrug lediglich 3000 m³/h. Bei solch geringen Verhältnissen zeigen die Prüfstandsmessungen, dass die Entfeuchtungsleistung stärker absinkt, als wenn höhere Volumenströme mit allerdings niedrigeren Kollektorausstrittstemperaturen gewählt werden. Die optimalen Betriebspunkte für verschiedene Kollektortypen werden derzeit im Prüfstand ermittelt. Aus den bisherigen Messpunkten ergibt sich eine Reduzierung der Entfeuchtungsleistung um 13%, wenn das Verhältnis Regenerations- zu Zuluftvolumenstrom von 75% (Optimum) auf 50% gesenkt wird.

6 Zusammenfassung

Die ersten Betriebserfahrungen von zwei grossen sorptionsgestützten Klimatisierungsanlagen mit solarthermischen Luftkollektoren sowie die detaillierten Prüfstandsmessungen zeigen das hohe Potential der solaren Klimatisierung auf. Beide Anlagen erreichen bei entsprechender solarer Einstrahlung die angestrebten Zulufttemperaturen ohne Hilfsenergiezufuhr. Das Regelverhalten der Anlage sowie das Leistungsverhalten der konventionellen klimatechnischen Komponenten bietet Optimierungspotential. Insbesondere die Messung der relativen Feuchte ist als Regelgrösse äusserst unzuverlässig, wesentlich besser geeignet sind Feuchteberechnungen aus Temperaturänderungen bei angenommenen Enthalpieverläufen. Für die Dimensionierung des solarthermischen Kollektorfeldes ist die Abstimmung der Luftvolumenströme entscheidender als eine reine Dimensionierung über die thermische Leistung: bei optimalen Volumenstromverhältnissen zwischen Prozess- und Regenerationsluft müssen die Kollektoren genügend hohe Austrittstemperaturen erzielen, um die erforderliche Entfeuchtungsleistung zu erreichen. Die gemessenen Leistungszahlen der Anlage bei Sorptionsbetrieb liegen zwischen 0.55-0.75 bezogen auf die Enthalpiedifferenz zwischen Aussenluft und Zuluft bzw. zwischen 0.35-0.5 bezogen auf die Differenz zwischen Raumabluft und -zuluft.

Literatur:

Jürgen Schumacher, Ursula Eicker

Planung und Simulation solarer Kühlung

Tagungsband 2. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Hochschule für Technik Stuttgart
2002

Ursula Eicker, Martin Huber

Planung einer Sorptionsklimaanlage mit Solarluftkollektoren

Erneuerbare Energien 2, 2002

Ursula Eicker, Uwe Schürger, Jürgen Schumacher

Sorptionsverhalten von thermisch betriebenen Sorptionsrotoren zur Gebäudeklimatisierung

Tagungsband 11. Symposium Thermische Solarenergie, Staffelstein, Mai 2001