

Primärenergetisch optimierter Betrieb von solaren sorptionsgestützten Klimaanlage (DEC) durch innovative Regelstrategien

Dirk Pietruschka^{1*}, Ursula Eicker¹, Victor Hanby²

¹zafh.net - Centre of Applied Research Sustainable Energy Technologies
University of Applied Sciences Stuttgart, Schellingstr. 24, 70174 Stuttgart

²Institute of Energy and Sustainable Development De Montfort University,
The Gateway, Leicester LE1 9BH UK

*dirk.pietruschka@hft-stuttgart.de, Tel +49 711 8926 2674, Fax +49 711 8926 2698

1. Einleitung

Konventionelle DEC-Regelstrategien versuchen die erforderliche Kühlleistung in der Regel über eine Kaskadenregelung durch Zu- und Abschalten einzelner Komponenten in Abhängigkeit von der Raumtemperatur zu erreichen. Im einfachsten Fall wird bei ausreichend kühler Außenluft zunächst der Volumenstrom bis auf maximale Leistung hochgefahren, dann der Abluftbefeuchter mit Wärmerückgewinnungsrad in Betrieb genommen (indirekte Verdunstungskühlung) bevor auch der Zuluftbefeuchter (direkte Verdunstungskühlung) eingeschaltet wird. Zur Vermeidung unzulässig hoher Raumlufffeuchten sind die Zuluftbefeuchter üblicher weise regelbar z.B. über das Zu- und Abschalten mehrerer hintereinander geschalteter Kontaktbefeuchterstufen oder über stufenlos regelbare Sprühbefeuchter und Kombinationen aus beiden Systemen. Das Sorptionsrad wird häufig erst als letzte mögliche Option in Betrieb genommen, sofern der Zuluftbefeuchter maximale Leistung bringt bzw. die zulässige Raumlufffeuchte erreicht ist und weiterhin Kühlbedarf besteht. Ein wesentliches Problem der installierten DEC-Anlagen ist oftmals ein sehr geringer Nutzungsgrad der installierten Solarkollektoren [1,2]. Ursächlich hierfür ist, dass bei hinreichend trockenem Klima und maximalem Volumenstrom zur Einhaltung der erforderlichen Raumlufftkonditionen häufig die Verdunstungskühlung (indirekte bzw. kombiniert mit direkter Verdunstungskühlung) ausreichend ist und das Sorptionsrad somit nur sehr selten in Betrieb genommen wird. Außerdem arbeiten einige Anlagen mit konstanten Regenerationstemperaturen, obwohl oftmals deutlich niedrigere Temperaturen zur Deckung der erforderlichen Kühlleistung ausreichend wären, was den solaren Nutzungsgrad zusätzlich schmälert. Regelungstechnisch optimierte Anlagen arbeiten daher generell mit variablen Regenerationstemperaturen die sich in der Regel zwischen 45°C und 90°C bewegen. Wie aktuelle Untersuchungen [3-6] zeigen, ist eine frühzeitige Anhebung des Anlagenvolumenstroms unter energetischen Gesichtspunkten nur dann sinnvoll, wenn die nötige Regenerationswärme nicht solar bereitgestellt werden kann, sondern durch Nachheizung zugeführt werden muss. Sofern ausreichend Solarenergie zur Verfügung steht sollte daher zunächst das Sorptionsrad in Betrieb genommen werden bevor der Anlagenvolumenstrom erhöht wird. Durch diese Regelung kann

hochwertige elektrische Energie eingespart werden. Weiter Optimierungspotentiale liegen nach eigenen Untersuchungen [1,2] in der optimalen Wahl der Rotationsgeschwindigkeit des Sorptionsrotors und des Regenerationsvolumenstroms. Am Beispiel einer Demonstrationsanlage der HfT-Stuttgart, die künftig für die Belüftung und Klimatisierung zweier kleinerer Vorlesungsräume eingesetzt werden soll, wird eine neu entwickelte Regelstrategie mit simulationsbasiertem Energieoptimierungstool vorgestellt. Im Vortrag werden darüber hinaus erste Ergebnisse zum Test des entwickelten Regelalgorithmus im Zusammenspiel mit dem Onlinesimulationstool am Beispiel von ausgewählten typischen Sommertagen und über eine gesamte Kühlperiode dargestellt.

2. Beschreibung der DEC-Demonstrationsanlage

An der HfT-Stuttgart wurde eine zuletzt als Sorptionsrad-Teststand genutzte sorptionsgestützte Klimaanlage (DEC-Anlage) wieder vervollständigt und mit dem Ziel Regelungsoptimierungen und Regelungsstrategien untersuchen zu können Mess- und Regelungstechnisch modernisiert. Abbildung 1 zeigt eine Skizze der realisierten Anlage mit der Anordnung der Komponenten sowie der implementierten Temperaturfühler und kombinierten Temperatur-/ Feuchtefühler.

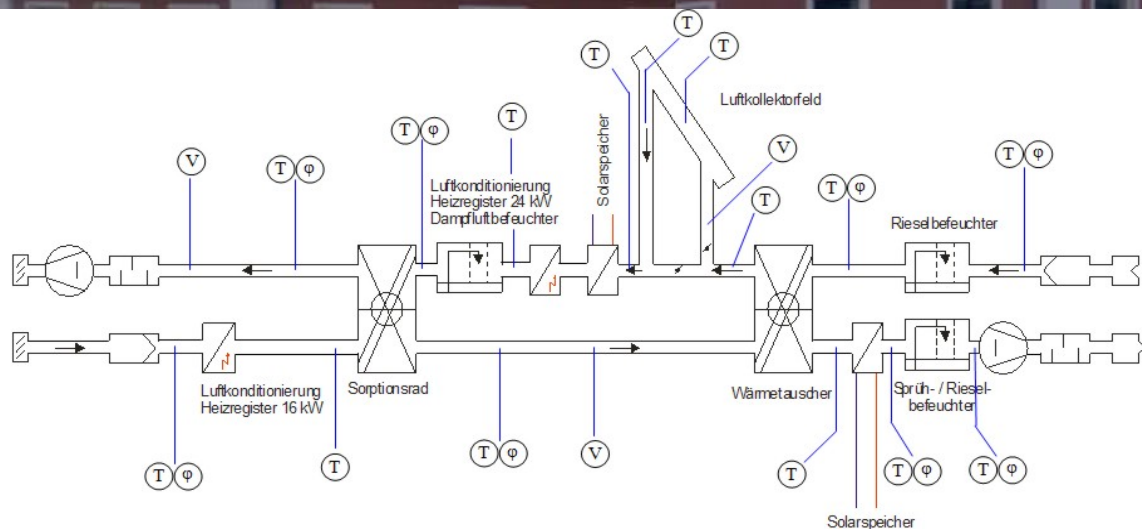


Abbildung 1: Systemskizze DEC-Demonstrationsanlage der HfT-Stuttgart

Als Wärmequellen stehen zum einen ein 20 m² großes Luftkollektorfeld und zum anderen ein wassergeführtes System mit 21 m² Vakuum-Röhrenkollektoren und zwei

parallel geschalteten 1000 l Wärmespeichern zur Verfügung. Der maximale Zu- und Abluftvolumenstrom der Anlage beträgt 3000 m³/h. Als Sorptionsrad wurde ein Engelhard HexCore Rad mit einer Dicke von 140 mm und einem Durchmesser von 840 mm mit hälftiger Teilung zwischen Sorptions- und Regenerationsbereich in die Anlage integriert. Die Vorkühlung des Zuluftvolumenstroms erfolgt über einen Rotationswärmetauscher der Fa. KA rototherm mit 950 mm Durchmesser und 20 mm Bautiefe mit einem Wärmerückgewinnungsgrad im Auslegungszustand von 78%. Als Befeuchter wird Abluftseitig ein Rieselbefeuchter mit GLASdek-Rieselmatix (900 x 410 x 300 mm) der Fa. Munters eingesetzt. Zuluftseitig wurde ein moderner Stufenlos regelbarer Hybrid-Sprühbefeuchter (Dual 2 der Fa. Condair) mit umfangreicher Wasseraufbereitungsanlage (Wasserenthärtung Condair Soft und Umkehrosmoseanlage Condair AT) installiert.

Die Demonstrationsanlage soll künftig zwei kleinere Vorlesungsräume mit einer Gesamtgrundfläche von 150 m² und einem Gesamtraumvolumen von 500 m³ mit Frischluft und Kühlenergie versorgen. Beide Räume werden maximale mit 25 Personen belegt sein. Zur reinen Frischluftversorgung ist ein Luftwechsel von ca. 30 m³ pro Stunde und Person erforderlich, was bei voller Belegung der beiden Räume einem 3-fachen Luftwechsel (750 m³/h je Raum) entspricht. Zur Steuerung des erforderlichen Mindestluftwechsels bei Teilbelegung ist eine Regelung über CO₂ Sensoren vorgesehen. Bei maximalem Volumenstrom der DEC-Anlage (3.000 m³/h) ergibt sich für die beiden Räume ein 6-facher Luftwechsel.

3. Entwicklung des simulationsbasierten Reglerkonzepts

Zur Entwicklung von primärenergetisch optimierten Regelstrategien wurden anhand eines dynamischen Simulationsmodells der Anlage zunächst detaillierte Sensitivitätsanalysen für unterschiedliche Betriebszustände der Komponenten der DEC-Anlage durchgeführt. Abbildung 2 zeigt beispielsweise für den Auslegungszustand (32°C Außentemperatur und 40%RF) die Auswirkungen unterschiedlicher Regenerationstemperaturen und solarer Deckungsgrade am Heizwärmebedarf auf den primärenergetischen COP. Hier zeigt sich deutlich, dass sich im Regenerationsbetrieb primärenergetische COP von deutlich über 2 nur erreichen lassen, wenn die hierzu erforderliche Wärmeenergie rein solar gedeckt werden kann. Auf Grund des hohen Wärmebedarfs im Vergleich zur erzeugten Kälteleistung (ca. Faktor 3) wirkt sich somit eine Nachheizung deutlich negativer auf die primärenergetische Gesamteffizienz der DEC-Anlage aus, als beispielsweise eine Nachkühlung über eine kleine elektrische Kompressionskältemaschine. Daher wird im entwickelten Reglerkonzept auf eine Nachheizung gänzlich verzichtet. Im Gegenzug wird ein kurzzeitiger Anstieg der Raumtemperatur über 26°C bei zu geringem Solarangebot in Kauf genommen.

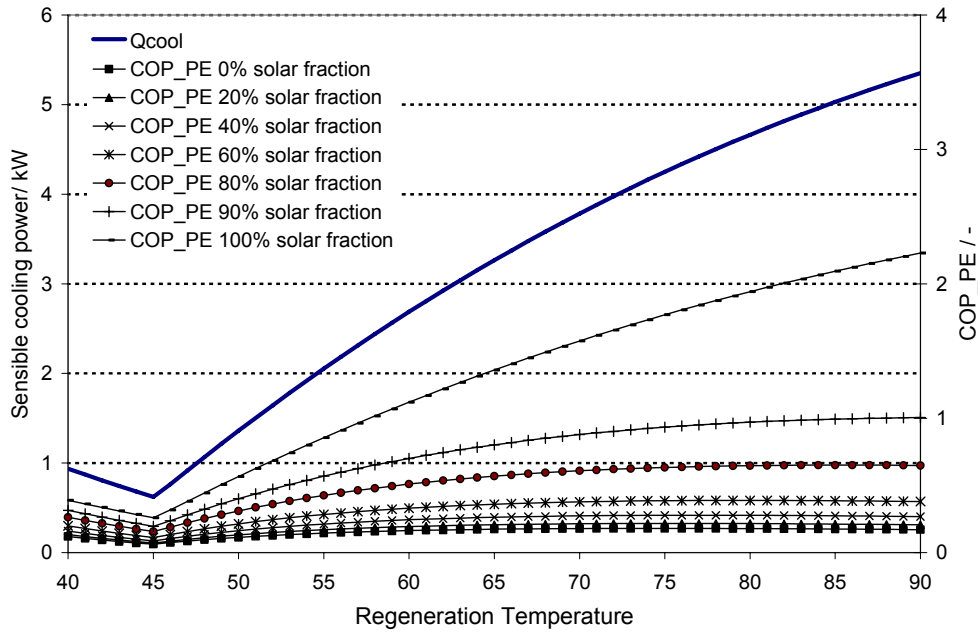


Abbildung 2: Einfluss des solaren Deckungsgrads auf die primärenergetische Gesamteffizienz der DEC-Anlage (Außenluft: 32°C, 40%, 1.500 m³/h)

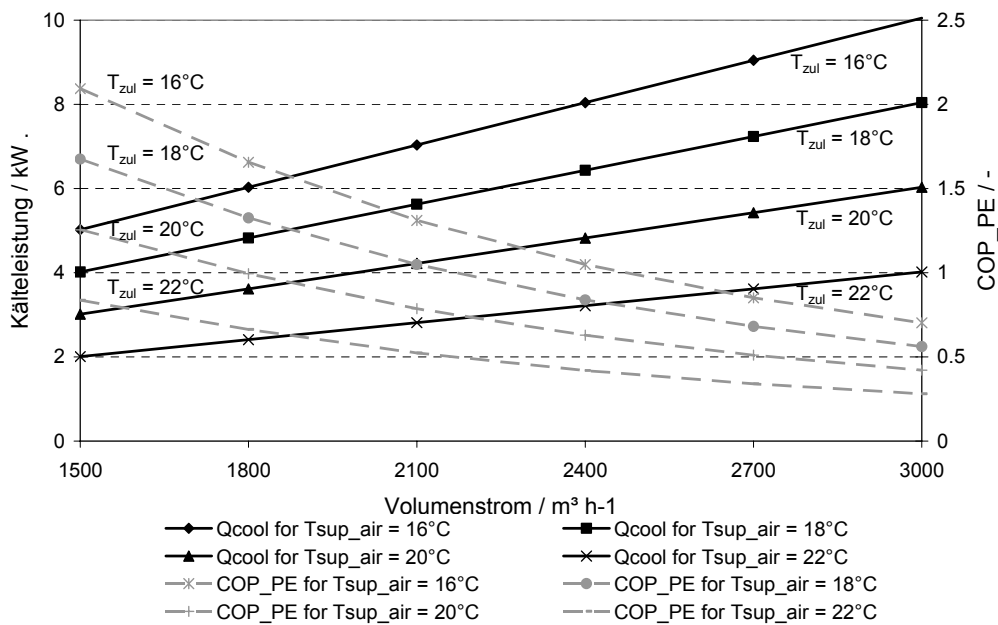


Abbildung 3: Einfluss der Zulufttemperatur und des Volumenstroms auf die primärenergetische Gesamteffizienz der DEC-Anlage

Als weiteres Beispiel ist in Abbildung 3 der Einfluss der Zulufttemperatur und des Volumenstroms auf die erreichte Kälteleistung und den resultierenden primärenergetischen COP der DEC-Anlage ohne Nachheizung dargestellt. Demnach wäre z.B. zur Deckung einer Kälteleistung von 5 kW bei einer Zulufttemperatur von 18°C ein Volumenstrom von 1500 m³/h ausreichend, wohingegen bei 22°C Zulufttemperatur der maximale Luftvolumenstrom von 3000 m³/h erforderlich würde.

unabhängig vom Simulationstool. Die Parameter für den integrierten PID-Regler zur Volumenstromregelung wurden nach dem Ziegler-Nichols Verfahren in der dynamischen Simulationsumgebung ermittelt. Um ein Aufschwingen des Integralteils des Reglers im Sättigungsfall zu vermeiden, wurde der PID-Regler außerdem mit einer ‚Anti-Windup‘-Funktion ausgestattet, die den Integralteil des Reglers bei kritischen Situationen automatisiert zurücksetzt. Die Regelung der Regenerationslufttemperatur erfolgt über einen Proportionalregler im Temperaturbereich von min. 45°C bis max. 85°C. Zur Berücksichtigung der Trägheit der Komponenten werden im Regler zusätzlich die Temperaturgradienten der Raumluft und der Zuluft ausgewertet. Dadurch lässt sich das zu schnelle Zuschalten weiterer Komponenten bei ausreichend schnell fallenden Temperaturen vermieden.

4. Zusammenfassung / Ausblick

Für eine DEC-Demonstrationsanlage der HfT-Stuttgart wurde ein neues Reglerkonzept mit primärenergetisch optimierten Regelstrategien entwickelt und an einem dynamischen Gesamtmodell in der Simulationsumgebung INSEL detailliert getestet. Im Beitrag werden darüber hinaus detaillierte Ergebnisse zum Test des entwickelten Reglers in der Simulationsumgebung für einzelne typische Sommertage dargestellt. Außerdem wird die Effizienz der Anlage über eine gesamte Kühlperiode im Vergleich zu einem herkömmlichen Lüftungssystem mit Kompressionskältemaschine ermittelt und einander gegenüber gestellt.

Referenzen:

- [1] Eicker, U., Schürger, U., Schumacher, J. ‚Betriebserfahrungen und Potentiale sorptionsgestützter Klimaanlage mit Solarluftkollektoren: Optimierung des solaren Ertrags durch Simulation unterschiedlicher Regelungsstrategien‘ 16. Symposium Thermische Solarenergie. Staffelstein. Seite 404-409, 17.-19. Mai 2006.
- [2] Schürger, U., Eicker, U., Schumacher, J. ‚Betriebserfahrungen und Untersuchungen von DEC-Anlagen: Regelungsoptimierung und Energieanalysen‘ Tagungsband 4. Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Band 74, Seite 59-72, 3.-4. April 2006.
- [3] Henning, H.M., Hindenburg, C., Erpenbeck, T., Santamaria, I. S. (2002) The potential of solar energy use in desiccant cooling cycles, International Journal of Refrigeration, Volume 24, Issue 3, May 2001, pp 220 – 229
- [4] Ginestet, S. Stabat, P., Marchio, D. (2002) Control strategies of open-cycle desiccant cooling systems minimising energy consumption, eSim 2002, The Canadian conference on building energy simulation, September 11th-13th, Montréal 2002
- [5] Ginestet, S. Stabat, P., Marchio, D. (2003) Control design of open-cycle desiccant cooling systems using a graphical environment tool, Building Service Engineering Research and Technology, Vol. 24, No. 4, 257-269
- [6] Vitte, T., Brau, J., Chatagnon, N., Woloszyn, M., (2008) Proposal for a new hybrid control strategy for a solar desiccant evaporative cooling air handling unit, Energy and Buildings, Volume 40, 896-905
- [7] Schumacher, J. „Digitale Simulation regenerativer elektrischer Energieversorgungssysteme“, Dissertation Universität Oldenburg, 1991
- [8] www.inselDi.com

