

Sorptionsgestützte Klimatisierung

Langzeitmonitoring bestätigt hohe Effizienz

Bild 1

In der Uniklinik Freiburg wurde ein sorptionsgestütztes Klimagerät drei Jahre lang vom Fraunhofer ISE evaluiert

Bild: Uniklinikum Freiburg

Jürgen Röben,
Mülheim a.d. Ruhr

Die Suche nach neuen Wegen für eine effizientere Energieversorgung bekommt auch in der Klimatechnik immer stärkeres Gewicht. Insbesondere die Nutzung von Niedertemperaturwärme zur Klimatisierung stellt dabei eine viel versprechende Option dar. Hierfür werden sorptionsgestützte Klimageräte, die Wärme für die Entfeuchtung der Außenluft verwenden, bereits seit einiger Zeit erfolgreich eingesetzt. Im Rahmen einer drei Jahre dauernden Langzeituntersuchung des Fraunhofer-Instituts für Solare Energiesysteme (ISE) wurde für diese noch relativ neue Technologie jetzt eine thermische Leistungszahl (COP) von bis zu 1,5 kWh Nutzkälte pro kWh Antriebswärme sowie Primärenergieeinsparungen von über 50 % nachgewiesen.



Sorptionsgestützte Klimageräte ermöglichen die Komfortklimatisierung (Kühlen und Entfeuchten) mit Hilfe von Wärme als Antriebsenergie. Im Zentrum steht hier der zur Entfeuchtung genutzte Sorptionsprozess, bei dem Luft an der Oberfläche eines Rieselfilms aus konzentrierter Salzlösung getrocknet wird. Die für die Konditionierung der Luft erforderliche Kälte wird dabei durch „adiabate“ Verdunstungskühlung erzeugt. Die Regeneration der Lithiumchlorid-Lösung erfolgt im Desorber durch Austreiben des Wassers über Erwärmung. Hierzu sind niedrige Temperaturen von 55 bis 75 °C ausreichend, so dass regenerative Wärmequellen wie

Solarthermie, Fernwärme oder auch KWK-Anlagen eingesetzt werden können.

LiquiSorp Projekt – Universitätsklinikum Freiburg

Im Rahmen der Langzeituntersuchung hat das Fraunhofer ISE beim so genannten LiquiSorp Projekt eine Pilotanlage des Mülheimer Herstellers Menerga im Ambulanzbereich des Universitätsklinikums Freiburg (Bild 1) über einen Zeitraum von drei Jahren evaluiert. Die zu klimatisierende Fläche beträgt ca. 700 m² und beinhaltet einen Empfangsbereich, Flure und sechs innen

Autor

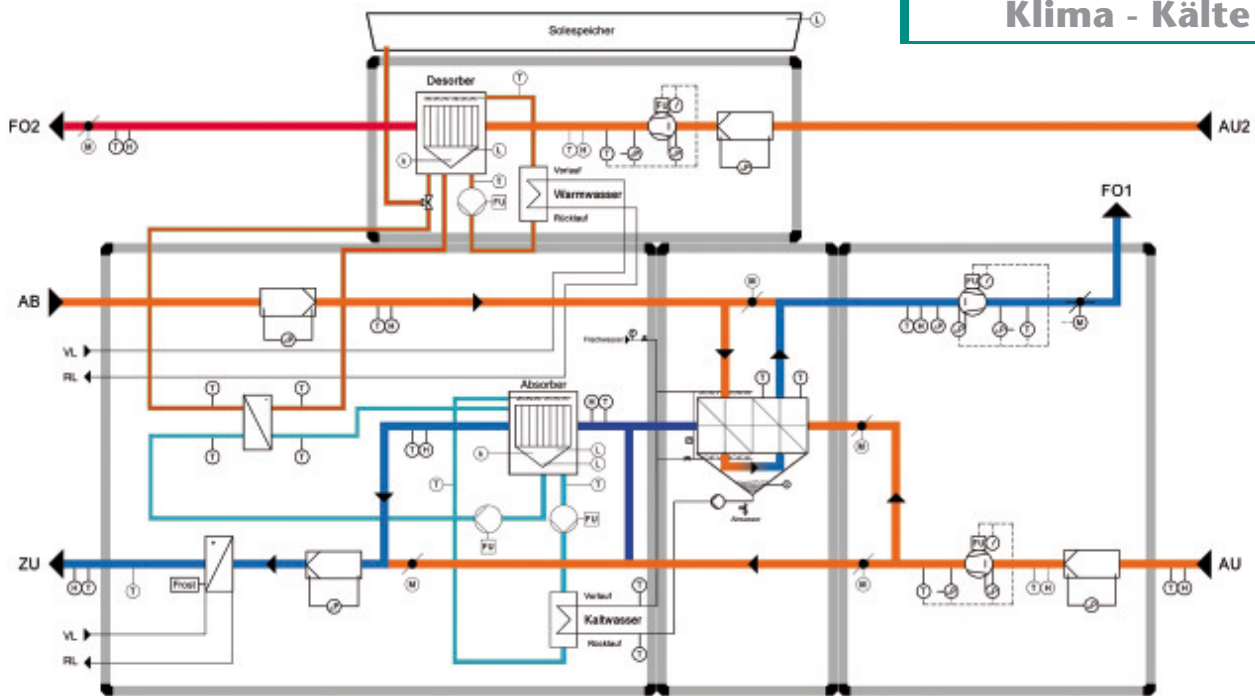


Dr.-Ing. Jürgen Röben studierte und promovierte an der Universität Essen Energie- und Verfahrenstechnik. Heute ist er Geschäftsführer der Menerga GmbH, Mülheim a.d. Ruhr.



Bild 2

Die Sorpsolair Anlage ermöglicht die Komfortklimatisierung des Ambulanzbereichs mit Hilfe von Wärme als Antriebsenergie



liegende Räume mit hohen internen Lasten. Die Patienten werden dabei in diesem Bereich der Klinik rund um die Uhr versorgt.

Als Wärmequelle für den Sorptionsprozess dient das Wärmeverbundnetz der Uniklinik. Zur Erwärmung der Sole benötigt die Heizwasserseite hier ein Temperaturniveau von ca. 80 °C, um eine Soletemperatur von 75 °C zu garantieren. Da die entsprechende Niedertemperaturwärme jeder Zeit zur Verfügung steht, erfolgt die Regeneration der Salzlösung im Sorptionsteil kontinuierlich. Dabei wird die Sole zwischen Absorber und Desorber ausgetauscht und der Entfeuchtungs- sowie der Regenerationsbetrieb laufen gleichzeitig. Im Austauschkreis wird die Sole über einen Sole-Sole-Wärmerückgewinner geführt, um die reiche, warme Sole aus dem Desorber vor dem Eintritt in den Absorber zu kühlen und die arme, kühle Sole für die Desorption vorzuheizen.

Die Anlage (Bild 2) wurde als Ersatz für ein etwa 30 Jahre altes Lüftungsgerät installiert, wobei das bestehende Kanalnetz luftseitig genutzt werden konnte. Die Inbetriebnahme des sorptionsgestützten Klimagerätes erfolgte am 10. Mai 2006. Im Untersuchungszeitraum vom Mai 2006 bis zum Mai 2009 lief die Anlage mit Luftvolumenströmen von 8 000 m³/h (6:00 bis 14:00 Uhr) und außerhalb dieser Zeiten mit 5 000 m³/h. Der mittlere Luftvolumenstrom in allen drei Betriebsjahren lag bei 6 140 m³/h.

Betriebsbegleitende Optimierung

Im ersten Betriebsjahr 2006/2007 wurden an dem sorptionsgestützten Klimagerät zunächst noch Versuche mit dem Ziel durchgeführt, sowohl eine Verbesserung der Leistungszahl (COP) als auch eine anlagen- und regelungstechnische Optimierung zu erreichen. Dabei stand

im Sommer 2006 die Regeneration der Sole im Desorber im Mittelpunkt, während anschließend im Sommer 2007 die Entfeuchtungsregelung in ihrer Gesamtheit verbessert wurde. Hier ist es gelungen, die Zulufttemperatur bei gleich bleibender Entfeuchtungsleistung deutlich zu senken und damit den Kühl- und Entfeuchtungsbetrieb noch einmal spürbar zu verbessern.

Messdatenerfassung

Angesichts des durchgehenden Betriebs des sorptionsgestützten Klimagerätes konnten im Laufe des Projektzeitraums sehr umfangreiche Datenerhebungen zu Behaglichkeit, Ressourcenverbrauch und Energieeffizienz durchgeführt werden. Hierzu wurden zwei redundante Messerfassungssysteme installiert, so dass der Ausfall eines Systems durch das andere aufgefangen werden kann.

Einerseits wurde der auf einem Embedded-PC basierende Freezmo Webdatenlogger des Anlagenherstellers eingesetzt. Dieser liest die Messwerte direkt aus der DDC, speichert sie und stellt die Daten anschließend webbasiert zur Verfügung. Die so gelieferten Rohdaten wurden mit Hilfe einer am Fraunhofer ISE entwickelten Software auf Datenlücken, Min/Max-Grenzwerte und Plausibilität geprüft und ausgewertet. Ergänzend wurde ein eigener Messrechner mit einer weitgehend standardisierten Software des Fraunhofer ISE installiert. Auch hier konnten sich die Projektpartner die aufgezeichneten Daten über ein Java-Applet online anzeigen lassen.

Bei einer Auswertung von mindestens 7 600 Betriebsstunden pro Jahr konnte so insgesamt eine Verfügbarkeit von über 85 % bei der Messdatenerfassung erreicht werden. Die Bilanzgrenze für alle energetischen Auswertungen ist dabei

Bild 3

Anlagenschema der sorptionsgestützten Klimatisierung in der Uniklinik

Bilder 2 u. 3: Menerga

luftseitig der Zuluftstrang mit den Messstellen AU und ZU (Bild 3), wärmeseitig der Verbrauch jeweils für das Nachheizregister und den Desorber und elektrisch jeweils der Verbrauch für den Absorber/Desorber-Betrieb sowie den Betrieb der gesamten Lüftungseinheit.

Behaglichkeit

Insgesamt stellt die LiquiSorp-Anlage ganzjährig einen sehr guten thermischen Komfort zur Verfügung. Für die Bewertung wurden hier die Abluftzustände stellvertretend für die tatsächlichen Raumluftzustände herangezogen. Betrachtet man die Diagramme in Bild 4, so sind die Behaglichkeitsfelder aufgrund der vielen Datenpunkte kaum zu erkennen. Dabei befinden sich nahezu alle x,T-Wertepaare sowohl für den Sommer- als auch den Winterbetrieb in der Komfortzone. Die Ablufttemperaturen liegen hier zwischen 22 °C und 25 °C und die relative Feuchte der Abluft zwischen 20 % und 65 %. Da das sorptionsgestützte Klimagerät als Teil-Klimaanlage ohne Befeuchtung installiert wurde, fällt lediglich an trockenen Wintertagen die Luftfeuchtigkeit etwas zu gering aus.

Ressourcenverbrauch

Die LiquiSorp-Anlage benötigt zum Heizen, Kühlen und Entfeuchten der Luft eine Wärme-, Strom- und Wasserversorgung. Dabei wird die Wärme im Sommer für die Regeneration der Sole im Desorber und im Winter für die Luft-

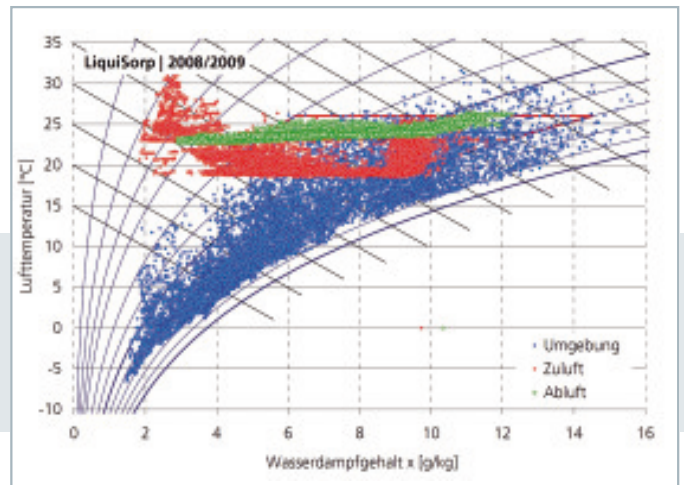
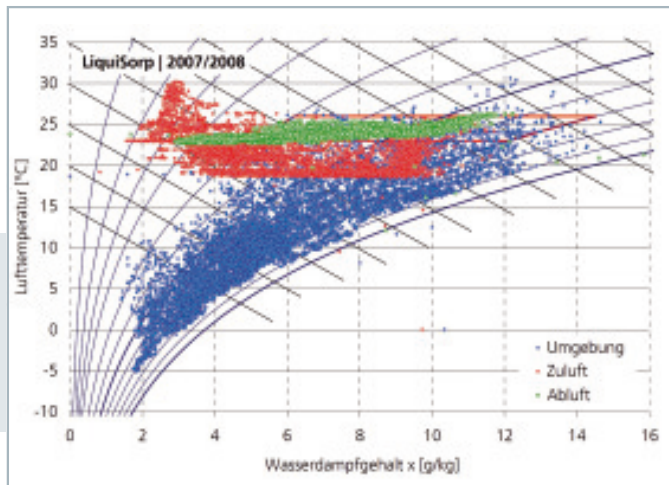


Bild 4

Die Außen-, Zu- und Abluftzustände des sorptionsgestützten Klimagerätes als Stundenmittelwerte im h,x-Diagramm

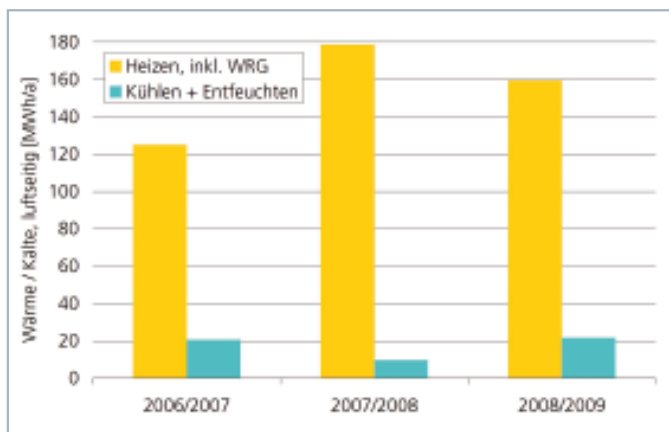


Bild 5

Die jährlich benötigte Wärmemenge und die abgeführte Kälteenergie

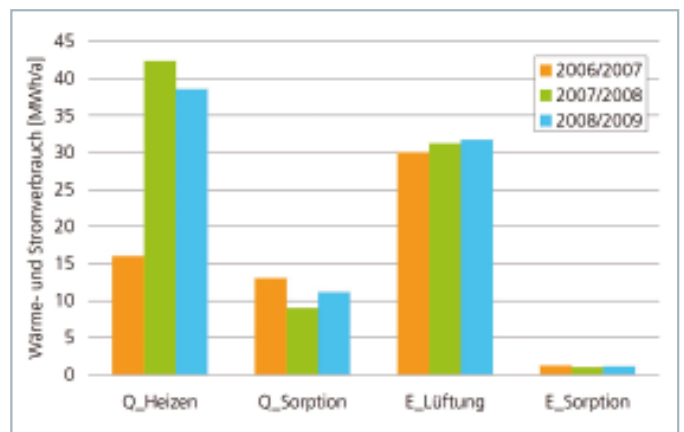


Bild 6

Der jährliche Fernwärme- und Stromverbrauch für Heizung, Lüftung und Sorption

Energieeffizienz

erwärmung verwendet. Strom wird ganzjährig für die Ventilatoren, Pumpen, Klappen und die Mess- und Regelungstechnik gebraucht. Wasser wird nur im Sommer für die „adiabate“ Verdunstungskühlung der Abluft benötigt. Hier werden die arme Sole im Solekreis des Absorbers und gleichzeitig auch die Zuluft indirekt gekühlt.

Im Rahmen der Untersuchung wurden für die einzelnen Betriebsjahre der tatsächliche Ressourcenverbrauch und die dadurch bereit gestellte Heiz- bzw. Kühlenergie bilanziert (Bilder 5 und 6). Dabei ist zu beachten, dass ein Großteil der benötigten Wärme über die Wärmerückgewinnung des Klimagerätes gedeckt wurde. Der Wasserverbrauch lag im Betriebsjahr 2006/2007 bei 139 m³, im Jahr 2007/2008 aufgrund des geringeren Kältebedarfs bei 66 m³ und 2008/2009 bei 112 m³.

Auf Basis der Jahresbilanzen für den Ressourcenverbrauch wurden die wesentlichen Kennzahlen für die Effizienz des sorptionsgestützten Klimagerätes ermittelt. Die thermische Jahresarbeitszahl $COP_{desicant}$ liegt hier bei 1,5. Damit arbeitet die LiquiSorp-Anlage primär energetisch deutlich effizienter als konventionelle Anlagen auf Basis von Kompressionskältemaschinen. Im Kühlfall werden $6,7 l_{Wasser}/\Delta h$ eingesetzt. Der spezifische Stromaufwand für den Sorptionsteil liegt bei $0,05 kW_{elektrosich}/\Delta h$ und die Regeneratorleistung beträgt $1,18 kW_{therm}$ pro kg/h Entfeuchtungsleistung.

Zur Bewertung der Lüftungseffizienz der Klimaanlage wurde die Anlagenstromkennzahl SFP (specific fan power) als Quotient des Stromverbrauchs und des geförderten Luftvolumens herangezogen. Diese variiert entsprechend der jeweiligen Betriebsart und beträgt bei freier Kühlung 0,42 Wh/m³, im Heizfall 0,56 Wh/m³ und bei Kühlung und Entfeuchtung 1,02 Wh/m³. Im Jahresmittel

Tabelle 1

Leistungsdaten für den Kühlbetrieb der LiquiSorp-Anlage

	2006/2007	2007/2008	2008/2009	
$COP_{desicant}$	1,58	1,09	1,95	Nutzen/Aufwand
Wasserbedarf	6,75	7,77	5,19	l/kWh Kühlung
Hilfsenergie	0,06	0,10	0,05	kWh/kWh Kühlung + Entfeuchtung

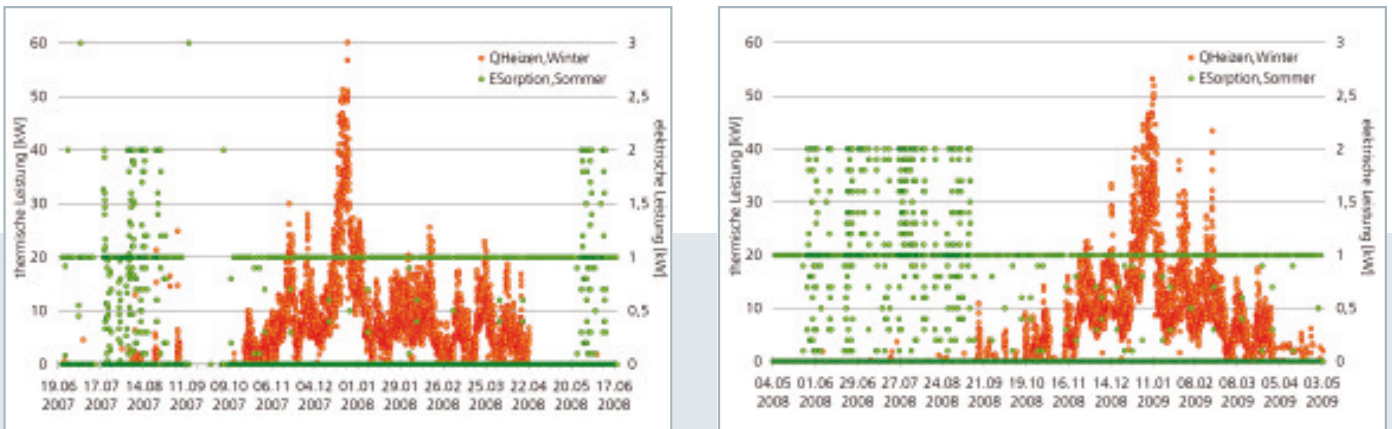


Bild 7

Die thermische und elektrische Leistungsaufnahme über 2 Jahre. Dargestellt werden die mittleren Stundenwerte als Verdichtung der 10 Minuten-Mittelwerte

liegt die Anlagenstromkennzahl bei 0,58 Wh/m³. Der Wärmerückgewinnungsgrad der LiquiSorp-Anlage beträgt 87,2 % (Tabelle 1).

Bei der Planung eines sorptionsgestützten Klimagerätes sind die Spitzenleistungen für die Dimensionierung des Elektro- und Wärmeanschlusses besonders relevant (Bild 7). Diese haben maßgeblichen Einfluss auf Kosten und Umfang der benötigten Anlagenperipherie. Der Spitzenwert der elektrischen Aufnahmeleistung in einem typischen Sommer liegt für den Sorptionsbetrieb bei 2 kW. Dabei beträgt die elektrische Anschlussleistung aller hierfür benötigten Komponenten etwa 3,7 kW. Unter gleichen Bedingungen hätte eine konventionelle Kälteanlage hier eine maximale elektrische Leistungsaufnahme von 13,0 gehabt. Die maximale thermische Nachheizleistung betrug im Winter 60,2 kW. Auch dieser Wert liegt erheblich unter dem eines üblichen Klimagerätes mit 193 kW. Dieser große Unterschied resultiert aus dem deutlich höheren Wärmerückgewinnungsgrad.

Vergleich mit konventioneller Anlagentechnik

Abschließend wurden die Leistungsdaten des LiquiSorp-Gerätes mit einer Referenzanlage verglichen. Hier wird sichtbar, welche Energieeinsparung – bei sonst gleichen Randbedingungen von Wetter und Luftbehandlung – im Betrieb tatsächlich realisiert wurde (Bild 8). Das

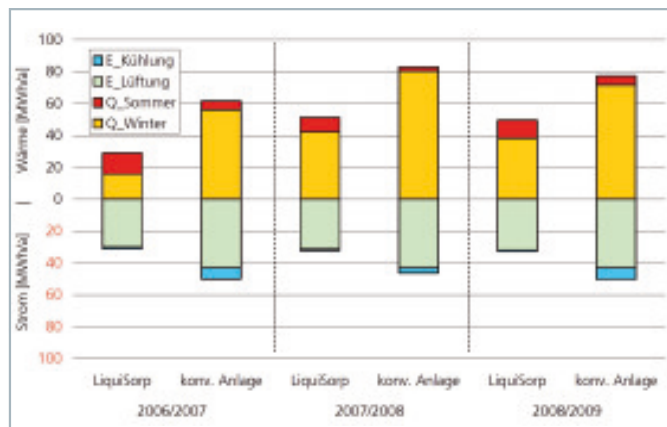


Bild 8

Der Strom- und Wärmeverbrauch des LiquiSorp-Gerätes im Vergleich mit einer konventionellen Klimaanlage

Bilder 4-8: Fraunhofer ISE

sorptionsgestützte Klimagerät verbraucht hier deutlich weniger Heizwärme und Strom, um die gleichen Zuluftkonditionen bereitzustellen. Um den Primärenergieverbrauch für das Gesamtsystem zu bestimmen, wurde ein Primärenergiefaktor von 0,7 für die Fernwärme (Kraft-Wärme-Kopplung) und von 2,7 für den Strom angesetzt. Hieraus ergibt sich eine Primärenergieeinsparung zwischen 40 und über 50 % (Tabelle 2).

Bei der Ausstattung der Vergleichsanlage ist von einem Kreuzstrom-Wärmeübertrager, einer Kompressionskältemaschine (KKM) mit hybridem Rückkühlwerk und einer dem Kühlregister für die Entfeuchtung folgenden Nacherwärmung ausgegangen worden. In Bezug auf die Leistungsmerkmale wurden ein Wärmerückgewinnungsgrad von 55 %, ein SFP von 0,8 (direkt betriebener Ventilator) und eine Jahresarbeitszahl der Kältemaschine von 3,0 inkl. Leistungsverluste und Hilfsantriebe angenommen. Der Wärmeverbrauch für die Nacherwärmung beträgt bei gleichen Zuluftkonditionen 26 % der gesamten sensiblen und latenten Kühlenergie.

Fazit

Die Langzeituntersuchung des Fraunhofer ISE belegt die hohe Energieeffizienz der sorptionsgestützten Klimatisierung im Rahmen des LiquiSorp-Projektes. Für die Kühlung im Sommer konnte hier der Spitzenwert der Stromleistungsaufnahme gegenüber einer konventionellen Kälteanlage um nahezu 75 % von 13 kW auf 3 kW gesenkt werden. Ausschlaggebend dafür war die hohe thermische Jahresarbeitszahl $COP_{desicant}$ von 1,5 im Sorptionsbetrieb bei einer mittleren Regeneratorleistung von 1,18 kW_{therm} pro kg/h Entfeuchtungsleistung. In der Folge betrug der spezifische Stromaufwand für den Sorptionsteil lediglich 0,05 kW pro kWh Nutzkälte. Darüber hinaus konnte aufgrund des hohen Wärmerückgewinnungsgrades von 87,2 % der maximale Wärmebedarf im Winter um 70 % gegenüber konventioneller Technik reduziert werden. Im direkten Vergleich lag die Primärenergieeinsparung so insgesamt bei 40 bis über 50 %.

	2006/2007		2007/2008		2008/2009	
	LiquiSorp	Konv. Anlage	LiquiSorp	Konv. Anlage	LiquiSorp	Konv. Anlage
PEV (MWh/a)	66	145	96	167	90	155
Einsparung (%)	-54		-43		-42	

Tabelle 2

Primärenergieverbrauch (PEV) und Energieeinsparung im Vergleich