

PLANUNGS- UND BETRIEBSERFAHRUNGEN BEI SOLAREN KÜHLSYSTEMEN MIT GESCHLOSSENEN SORPTIONSKÄLTEANLAGEN

Dipl.-Ing. Jan Albers
Institut für Erhaltung und Modernisierung von Bauwerken e.V. an der TU Berlin
Salzufer 14, 10587 Berlin
Tel.: 0049(0)30/399 21 -733; Fax.: -851
E-Mail: albers@iemb.de Internet: <http://www.iemb.de>

1 Einleitung

Ein großer Vorteil von Anlagensystemen zur solar gestützten Kälteerzeugung¹ ist es, dass der Energiebedarf im Sommer nahezu zeitgleich mit hohen Globalstrahlungswerten auftritt. Dadurch können hohe solare Deckungsraten ohne aufwendige Speicherkonzepte erzielt werden. Da die Stillstandszeiten der Solaranlage im Sommer bei geringem Heiz- bzw. Warmwasserbedarf durch den zusätzlichen Wärmeverbrauch in der Kälteanlage vermieden werden, besteht für SAC-Systeme eine geringere Notwendigkeit zur Begrenzung der Kollektorfläche, die bei TWW-Anlage aus energetischen und wirtschaftlichen Gründen sinnvoll ist. Gleichzeitig ist bei Sicherstellung einer ausreichend hohen solaren Deckungsrate eine Verringerung der CO₂-Emissionen im Vergleich zur konventionellen Kälteerzeugung realisierbar.

Neben diesen systemtechnischen Vorteilen ergeben sich auch strukturelle Vorteile, die vor allem im Verwaltungsbau zum Tragen kommen. Bedingt durch einen geringen Wärmebedarf resultieren hier die CO₂-Emissionen vor allem aus dem Strombedarf. Dies wird durch den Einsatz von Kompressionskälteanlagen noch verstärkt. Durch thermisch getriebene Kälteverfahren kommt es dagegen zu einer Vergleichmäßigung von Wärme- und Strombedarf. Der Spitzenstrombedarf kann dadurch merklich reduziert und dem Ausfall der Stromversorgung (wie z.B. im Sommer 2003 in Italien geschehen) vorgebeugt werden.

Allerdings zeichnen sich SAC-Systeme im Vergleich zur konventionellen Kälteerzeugung derzeit noch durch eine höhere Komplexität aus, die bei der Regelungs- und Systemplanung berücksichtigt werden sollte. Hierzu werden im Beitrag Hinweise gegeben.

2 Besonderheiten bei der Planung von solaren Kühlsystemen

2.1 Systembeschreibung

In Tabelle 1 sind die Kenngrößen von drei solar gestützten Sorptionskältesystemen zusammengefasst, die im Rahmen des Hauptstadtumzuges von Bonn nach Berlin geplant wurden. Eine detaillierte Systembeschreibung findet sich z.B. in [Albers, 2003]. In den Abbildungen 1 bis 3 sind daher lediglich die Systemkonfigurationen dargestellt.

Es bedeuten: BPA Bundespresseamt,
BMVBW Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen
UBA Umweltbundesamt.

¹ kurz: SAC-System (von Solar Assisted Cooling System)

Tabelle 1 Systemkenngrößen für solar gestützte Sorptionskältesysteme bei den umzugsbedingten Bundesbaumaßnahmen.

	BPA	BMVBW	UBA
Sorptionskälteanlage - Typ - Auslegungsleistung	Absorption 2 x WFC10 2 x 44 kW	Absorption 2 x WFC10 2 x 42 kW	Adsorption 1 x NAK 20/70 1 x 70 kW
Kollektoren - Absorberfläche - Bruttofläche	Vakuumröhren- kollektoren - 240 m ² - 348 m ²	Hochleistungs- flachkollektoren - 209 m ² - 229 m ²	Vakuumröhren- kollektoren - 354 m ² - 513 m ²
Heizwasserspeicher	1.500 l	6.000 l	22.500 l
Kaltwasserspeicher	ohne	500 l	10.000 l
Backup-System	thermisch, Fernwärme	elektrisch, KKM und Eisspeicher	thermisch, Fernwärme oder elektrisch, KKM
Planungswerte			
Solare Heizwärme - für Heizung - für Kälteerzeugung	40 MWh/a 75 MWh/a	76 MWh/a	46 MWh/a 109 MWh/a
Solare Kälteerzeugung	52 MWh/a	49 MWh/a	73 MWh/a

Bei allen drei Anlagen kommt ein geschlossenes Kälteverfahren mit marktverfügbaren Ad- oder Absorptionskälteanlagen zum Einsatz. Im Gegensatz zu offenen Verfahren, bei denen die Kühllasten allein durch Konditionierung der Zuluft abgeführt werden, wird bei geschlossenen Verfahren zunächst Kaltwasser erzeugt, welches dann in herkömmlichen RLT-Anlagen oder Schwerkraftkühlsystemen sowie durch Kühldecken oder Betonkernaktivierungen etc. zur Kühllastabfuhr verwendet werden kann. Eine genauere Beschreibung der unterschiedlichen Verfahren findet sich z.B. in [Henning, 2003].

2.2 Systemauslegung

Grundsätzlich müssen zunächst alle Maßnahmen zur Verminderung des Energiebedarfs ausgeschöpft werden. Erst im Anschluss daran ist der Einsatz eines SAC-Systems sinnvoll. Vorrangiges Ziel ist es dabei, gegenüber einer konventionellen Vergleichsvariante den Primärenergieaufwand zu reduzieren. Dazu ist i.A. eine solare Mindestdeckungsrate sicherzustellen (siehe Henning, 2003). Die Auslegung des Solarkollektorfeldes und der Wärme- bzw. Kältespeicher sollte daher auf den Kälteenergiebedarf des Verbrauchers und nicht auf den Heizleistungsbedarf der Ab- bzw. Adsorptionskälteanlage erfolgen.

Im Umweltbundesamt (UBA) wurden z.B. die Kühllasten des Gebäudes soweit reduziert, dass lediglich der EDV-Bereich und Besprechungsräume sowie ein Hörsaal wegen unvermeidlicher innerer Lasten gekühlt werden müssen. Hieraus resultiert jedoch ein ganzjähriger Kältebedarf, der zunächst im Widerspruch zu der Annahme steht, dass bei solaren Kühlsystemen ein synchroner Verlauf von solarer Einstrahlung und Kältebedarf vorliegen muss.

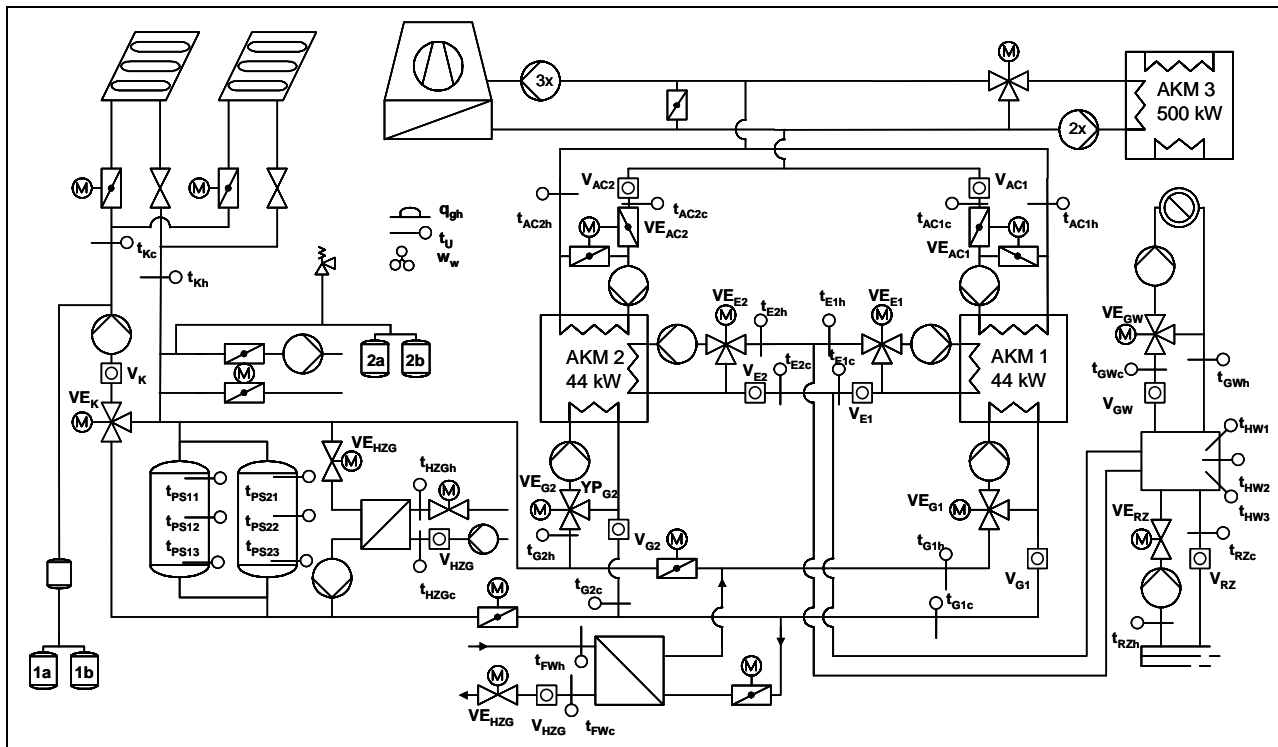


Abb. 1 – Systemkonfiguration im BPA

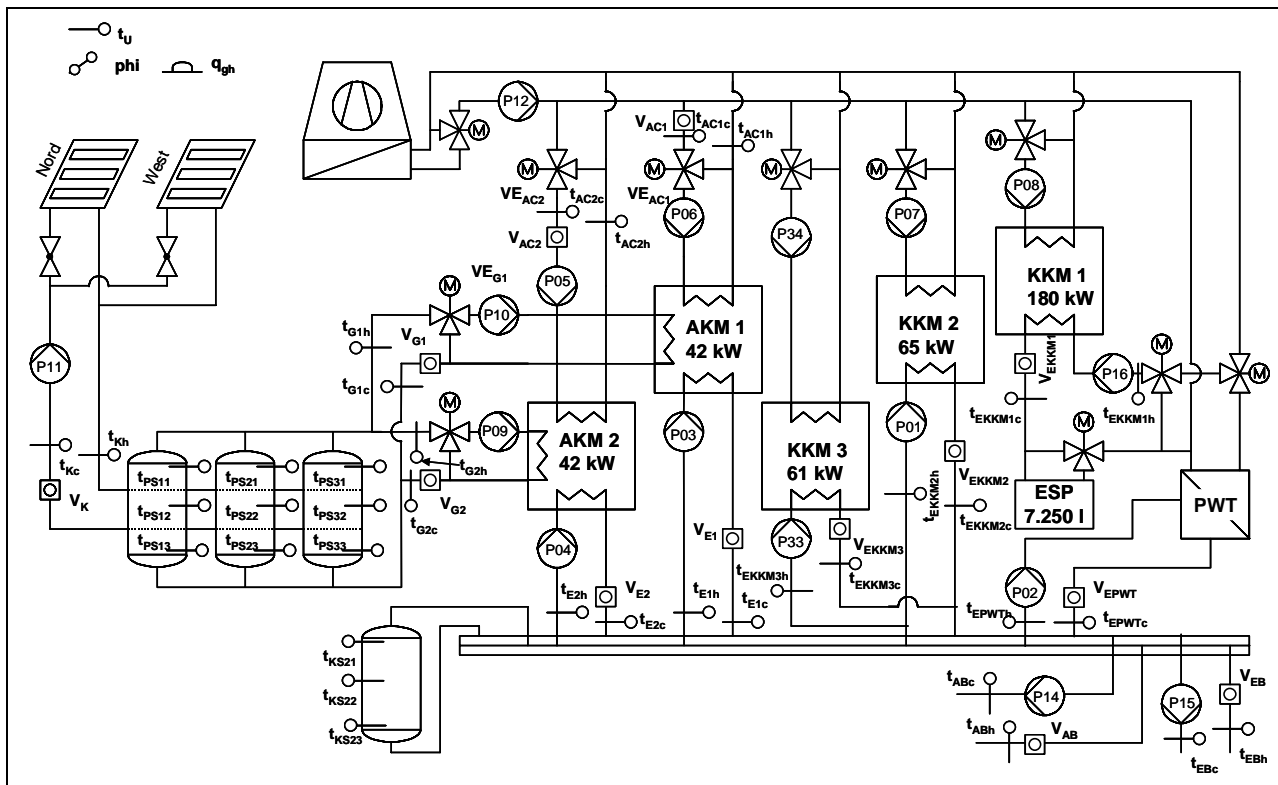


Abb. 2 – Systemkonfiguration im BMVBW

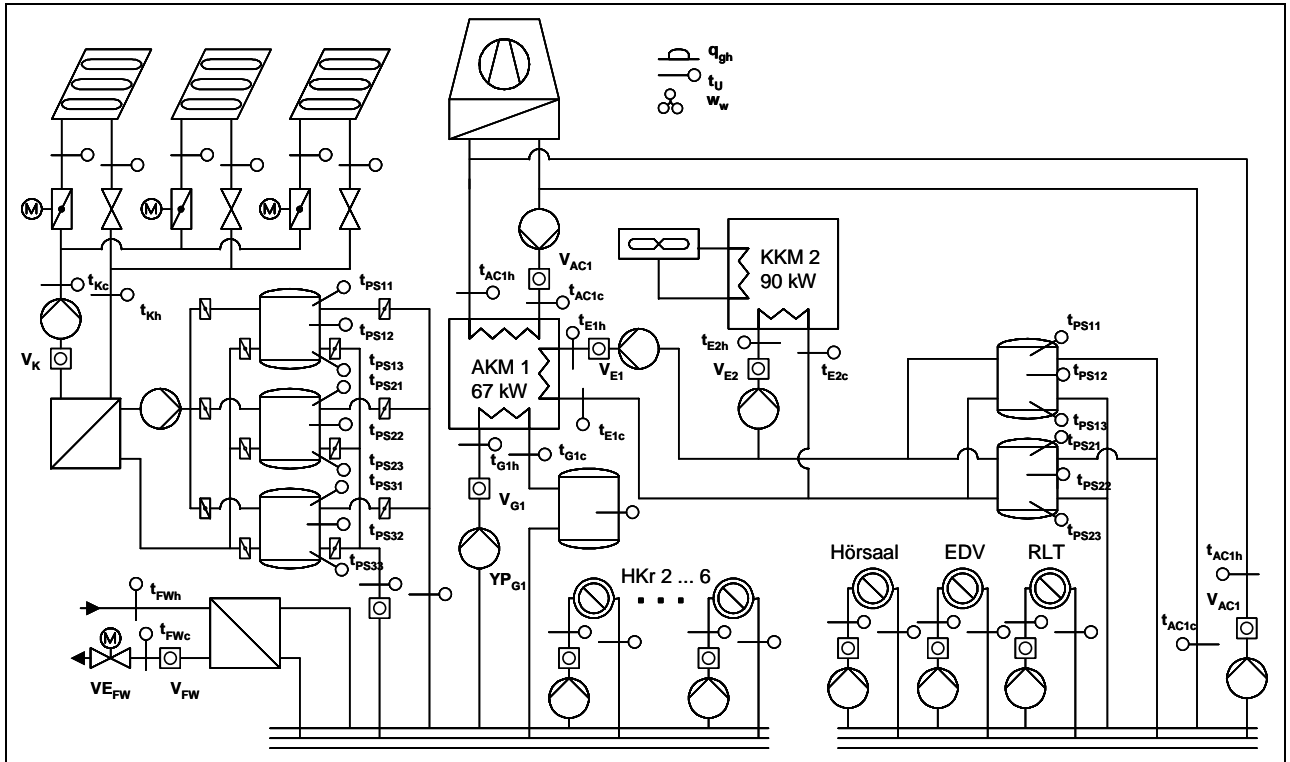


Abb. 3 – Systemkonfiguration im UBA

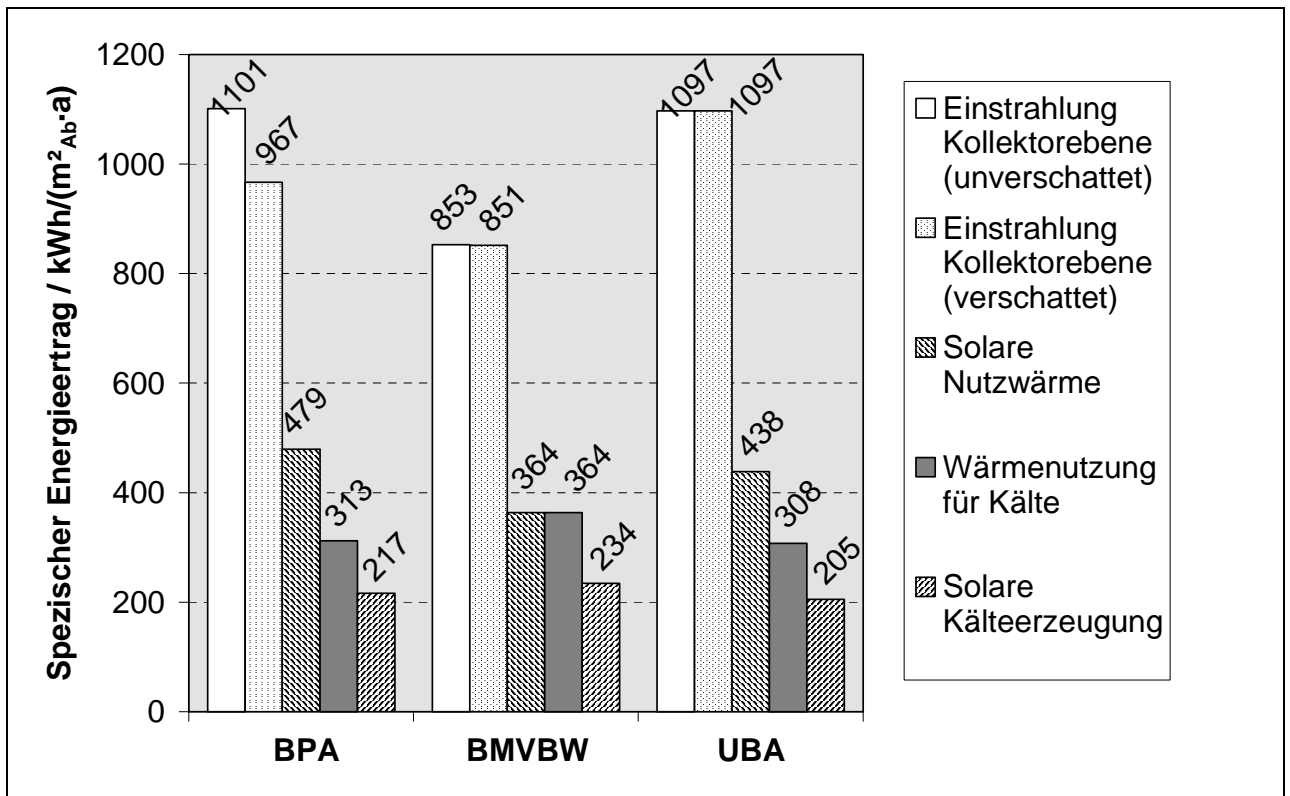


Abb. 4 – Spezifische Jahres-Energiekennwerte.

Durch eine Jahres-Simulation konnte gezeigt werden, dass es durch Ausnutzung eines Freikühlbetriebs des Kühlturms in der kalten (und strahlungsarmen) Jahreszeit trotzdem gelingt, eine solare Deckungsrate des verbleibenden Kältebedarfs von ca. 50% zu erreichen. Auch unter Berücksichtigung des erhöhten Elektroenergiebedarfs für den Kühlturbetrieb ergibt sich damit eine CO₂-Einsparung von ca. 13.000 kg/a bzw. 36% gegenüber einer Versorgung allein aus Kompressionskälteanlagen. Zusammenfassend sind in Abb. 4 die geplanten jährlichen spezifischen Energieerträge alle drei Systeme gegenübergestellt.

Die im Jahr 2003 gemessenen Werte im BMVBW und BPA liegen jedoch z.T. erheblich unter diesen Erwartungswerten. So ergab sich z.B. im BMVBW ein Kollektorertrag (solare Nutzwärme) von nur 32 MWh/a (d.h. 155 kWh/(m²_{Ab}·a)). Die daraus solar erzeugte Kälteenergie betrug mit 8 MWh/a nur 17% des Erwartungswertes. Im nächsten Abschnitt soll daher auf wesentliche Ursachen für diese Mindererträge eingegangen werden.

Es muss jedoch auch berücksichtigt werden, dass durch die bisher verfügbaren Planungswerkzeuge eine korrekte Systemabbildung nicht immer gewährleistet ist. Dies gilt auch für dynamischen Simulationsprogramme, wenn Teillastverhalten und/oder Regelung nicht hinreichend genau berücksichtigt werden bzw. in einer frühen Planungsphase z.T. auch noch nicht bekannt sind.

Durch eine Befragung von sieben Anlagenbetreibern von SAC-Systemen bzw. der begleitenden Forschungseinrichtungen ergab sich, dass wegen der Verwendung von unterschiedlichen Auslegungswerkzeugen, die jeweils mit unterschiedlichen Randbedingungen und Komponentenmodellen verwendet wurden, eine belastbare Bewertung von gemessenen Ertragsdaten bezüglich der prognostizierten Erwartungswerte schwierig ist (Tabelle 2). Die bisher festgestellten Mindererträge sind dadurch im Allgemeinen nicht eindeutig den Planungswerkzeugen bzw. dem Anlagenbetrieb zuzuordnen.

Tabelle 2 Eingeschränkte Bewertungsmöglichkeiten von Mindererträgen durch uneinheitliche Verwendung von Planungswerkzeugen

SAC-Anlage	1	2	3	4	5	6	7
Planungs- werkzeug	Excel	DOE	TRNSYS	Ohne	TRNSYS	Nicht bekannt	nach DIN
Planung vs. Realität	Nicht zu bewerten	um Faktor 2-3 geringer	Nicht bekannt	Nicht möglich	um Faktor 3 geringer	Nicht bekannt	Nicht bekannt

Zumindest für die beiden SAC-Systeme im BMVBW und BPA (Anlage 1 und 2) liegt eine Hauptursache der Mindererträge in der nicht ausreichenden Berücksichtigung des Teillastverhaltens der Absorptionskälteanlagen vor. So wurde z.B. für einen Sommermonat im BMVBW ein *durchschnittlicher* COP von 0,70 mit einem dynamischen Simulationsprogramm berechnet, obwohl nach Herstellerunterlagen für die maximale Antriebstemperaturen von 95°C bei einer geplanten Kühl- bzw. Kaltwassertemperatur von 31° bzw. 12°C ein maximaler COP von 0,72 möglich ist. Dieser Wert ist jedoch bei täglichem An- und Abfahren der Absorptionskälteanlage nicht erreichbar, insbesondere weil nicht gleich zu Tagesbeginn 95°C zur Verfügung stehen. Ein Teil der jetzt

messtechnisch erfassten Mindererträge gegenüber den Erwartungswerten ist daher nicht einem Fehlbetrieb der Anlage zuzuordnen, sondern dem Planungswerkzeug.

Aus diesem Grund wird im Rahmen des internationalen Forschungsprojektes der IEA TASK25 "Solar air conditioning of buildings" ein Design-Tool entwickelt, mit dem verschiedene solare Kühlsysteme unter einheitlichen Bedingungen bei unterschiedlichen Last- und Klimabedingungen verglichen werden können. Mit dem Design-Tool können wesentliche technische und wirtschaftliche Kenngrößen auf Basis einer stündlichen Jahres-Simulation berechnet werden, wobei auch dem Teillastverhalten der verschiedenen Komponenten ausreichend Rechnung getragen wird (siehe Beitrag von W. Streicher in diesem Tagungsband).

3 Betriebserfahrungen

Für die Auswertung von Betriebsergebnissen wurden in allen drei Anlagen umfangreiche Datenerfassungssysteme, vor allem zur Ermittlung der thermischen Energieströme eingerichtet. Die Wärmemengenzähler (WMZ) sind derart angeordnet, dass sowohl für den Heizwasser- als auch für den Kaltwasserkreislauf vollständige Energiebilanzen ermittelt werden können (siehe Abb. 1 bis 3). Ebenso werden alle zu- und abgeführten Wärmeströme der Sorptionskälteanlagen erfasst. Damit ist es auch möglich, die thermischen Verluste und das dynamische Verhalten des Systems messtechnisch zu erfassen (und nicht aus annahmebehafteten Berechnungen ableiten zu müssen). Neben den Volumenströmen und Temperaturen, sowie den daraus in Wärmemengenzählern berechneten Leistungen, werden zeitgleich die wesentlichen Stellgrößen bzw. Rückantworten der Regelorgane erfasst. Insgesamt werden in beiden Liegenschaften von jeweils ca. 100 Datenpunkten für jede Minute die Mittelwerte gespeichert. Die Inbetriebnahme im UBA wird erst im Jahr 2005 erfolgen, so dass dieses System im weiteren nicht mehr betrachtet wird.

3.1 Bundespresseamt (BPA)

Im BPA resultieren die bisher festgestellten Mindererträge im wesentlichen aus der reduzierten Leistungsfähigkeit des Kollektorfeldes, die in der Übergangszeit durch gegenseitige Verschattung der Absorberstreifen und im Sommer durch eine ungleichmäßige Durchströmung einzelner Kollektorgruppen verursacht wird.

Ein Teil des Kollektorfeldes befindet sich dadurch zeitweise in sogenannter „partieller Stagnation“ [Albers, 2004]. Durch eine geringe flächenspezifische Durchströmung einzelner Kollektorgruppen oder -röhren ist der Temperaturhub ab einer bestimmten Solareinstrahlung so hoch, dass der Wärmeträger die Siedetemperatur erreicht und verdampft. Da der dampfförmige Wärmeträger im Kollektor verbleibt, steht die vom Kollektor erbrachte Verdampfungsleistung (z.B. durch Rückkondensation) nicht für die Kälteerzeugung zur Verfügung. Gleichzeitig erfolgt durch die Dampfbildung eine Verdrängung des flüssigen Wärmeträgers aus dem Kollektor. Durch die Dampfausbreitung können weitere Kollektoren in die Stagnation getrieben werden. Auch nach Ende des Verdampfungsprozesses kann daher aus diesen Kollektoren keine Wärmeabfuhr mehr erfolgen. Die betroffenen Kollektoren sind gewissermaßen „ausgeschaltet“ und die Leistungsfähigkeit des Kollektorfeldes entsprechend reduziert.

Insbesondere für SAC-Systeme ist daher auf eine gleichmäßige Durchströmung und eine nicht zu große Anzahl in Reihe verschalteter Absorberflächen sicherzustellen. Man beachte jedoch, dass es für eine gleichmäßige Durchströmung einerseits vorteilhaft ist, wenn die Druckverluste der Kollektorstränge gegenüber den Druckverlusten der

Sammelleitungen nicht zu gering sind (d.h. eine Mindestanzahl sollte nicht unterschritten werden, siehe z.B. [Remmers, 2001]). Andererseits ist die Anzahl nach oben - durch den vom Systemdruck abhängigen maximal mögliche Temperaturhub - begrenzt. Für solare Kühlsysteme sollten daher hohe spezifische Durchflussraten und hohe Anlagendrucke erreichbar sein.

Tabelle 3 fasst weitere Betriebsprobleme aus 2003 zusammen, auf die hier nicht näher eingegangen wird. Sie tragen in deutlich geringerem Umfang zu den Mindererträgen bei.

Tabelle 3 Technische Probleme beim SAC-System im BPA in 2003

Beschreibung	Zeitraum in 2003	Auswirkung
Austausch des Wärmeträgermediums im Kollektorkreislauf mit umfangreichen Spülvorgängen um Rückstände aus den Kollektorröhren zu entfernen.	24.04. – 12.06.	Solare Kälteerzeugung nicht möglich
Motorantriebe der Kühlwasserklappen zur Regelung der Kühlwassereintrittstemperatur defekt.	27.05. – 31.12.	Reduzierter Effektivität der Absorptionskälteanlagen (COP) und dadurch verminderter Anteil an solarer Kälteerzeugung
Fehlendes Kühlwasser wegen unterdimensionierter Kühlwassernachspeisung. Dadurch auch Entlüftungsprobleme im Kühlwasserkreis	23.07. – 13.08.	Solare Kälteerzeugung nicht möglich
Partielle Stagnation in mehreren Kollektorgruppen	Gesamte Kühlperiode	Reduzierte Heizleistung des Kollektorfeldes

3.2 Bundesministerium für Verkehr, Bau- und Wohnungswesen (BMVBW)

Im Gegensatz zum BPA wurde im BMVBW kein Regelventil auf der Kaltwasserseite der Absorptionskälteanlagen vorgesehen (Abb. 5 rechts). Andererseits soll aber im BMVBW eine Kaltwassertemperatur von 12°C eingehalten werden. Wird diese Temperatur von den solar betriebenen Absorptionskälteanlagen nicht erreicht, werden die Kompressionskältemaschinen sukzessive als Back-up System dazugeschaltet.

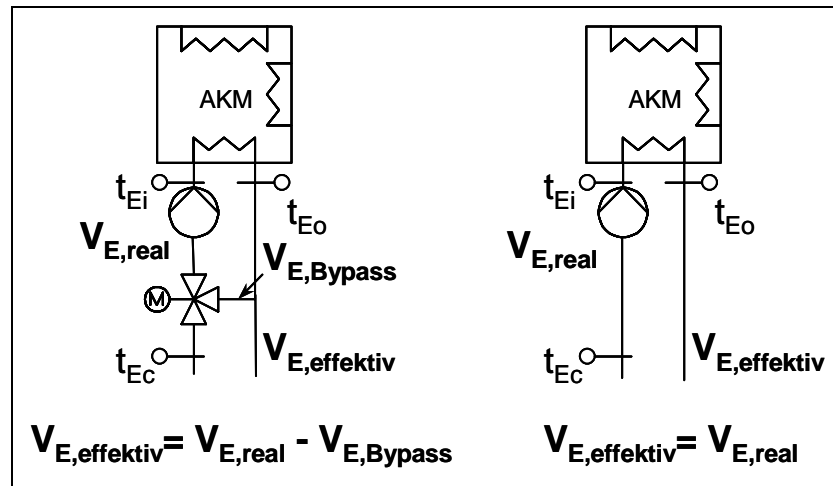


Abb. 5 – AKA-Anbindung mit und ohne Kaltwasserregelventil.

Wegen der fehlenden Kaltwasserventile muss auch im Teillastbetrieb der Absorptionskälteanlagen immer der gesamte, von der Pumpe geförderte Kaltwasservolumenstrom ($V_{E,real}$) von der Verbraucherrücklaufstemperatur (t_{Eh}) auf den Sollwert gekühlt werden. Bei vorgegebener konstanter Kühlwassertemperatur (im BMVBW $t_{ACi,soll} = 31^{\circ}\text{C}$) ist damit auch die notwendige Antriebstemperatur (t_{Gi}) eindeutig vorgegeben. Aus den Teillastkennlinien der Absorptionskälteanlage ließt man z.B. ab, dass sich mit einer Rücklaufstemperatur von $t_{Eh} = t_{Ei} = 16,5^{\circ}\text{C}$ eine Kälteleistung von

$$(1) Q_{E1,soll} = V_{E,real} \rho c_p (t_{Ei} - t_{Eo,soll}) = 6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot (16,5 - 12) \text{ K} = 31 \text{ kW}$$

ergibt und damit zum Erreichen von $t_{Eo} = t_{Eo,soll} = 12^{\circ}\text{C}$ eine Antriebstemperatur von $t_{Gi} = 88^{\circ}\text{C}$ notwendig wäre. Abb. 6 verdeutlicht diesen Zusammenhang für verschiedene Kaltwassertemperaturen am Beispiel der im BMVBW und BPA eingesetzten Absorptionskälteanlage vom Typ YAZAKI WFC-10.

Ist diese Antriebstemperatur nicht vorhanden (sondern z.B. nur 81°C), kann der Kaltwassersollwert ohne Kaltwasserregelventil nicht eingehalten werden *und* die im Verdampfer umgesetzte Leistung ist geringer, z.B.

$$(2) Q_{E2} = 6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot (16,5 - 13,5) \text{ K} = 24 \text{ kW}$$

Das Nicht-Einhalten des Sollwertes hat im BMVBW einen Taktbetrieb der Absorptionskälteanlagen zur Folge, da in Abständen von ca. 20 Minuten, eine Kompressionskältemaschine zugeschaltet wird. Da diese (ebenso wie die Absorptionskälteanlagen) direkt mit dem Verteiler verbunden ist (und nicht mit dem Speicher), kommt es nach kurzer Betriebszeit zu einer raschen Abnahme der Kaltwassereintrittstemperatur in die Absorptionskälteanlagen.

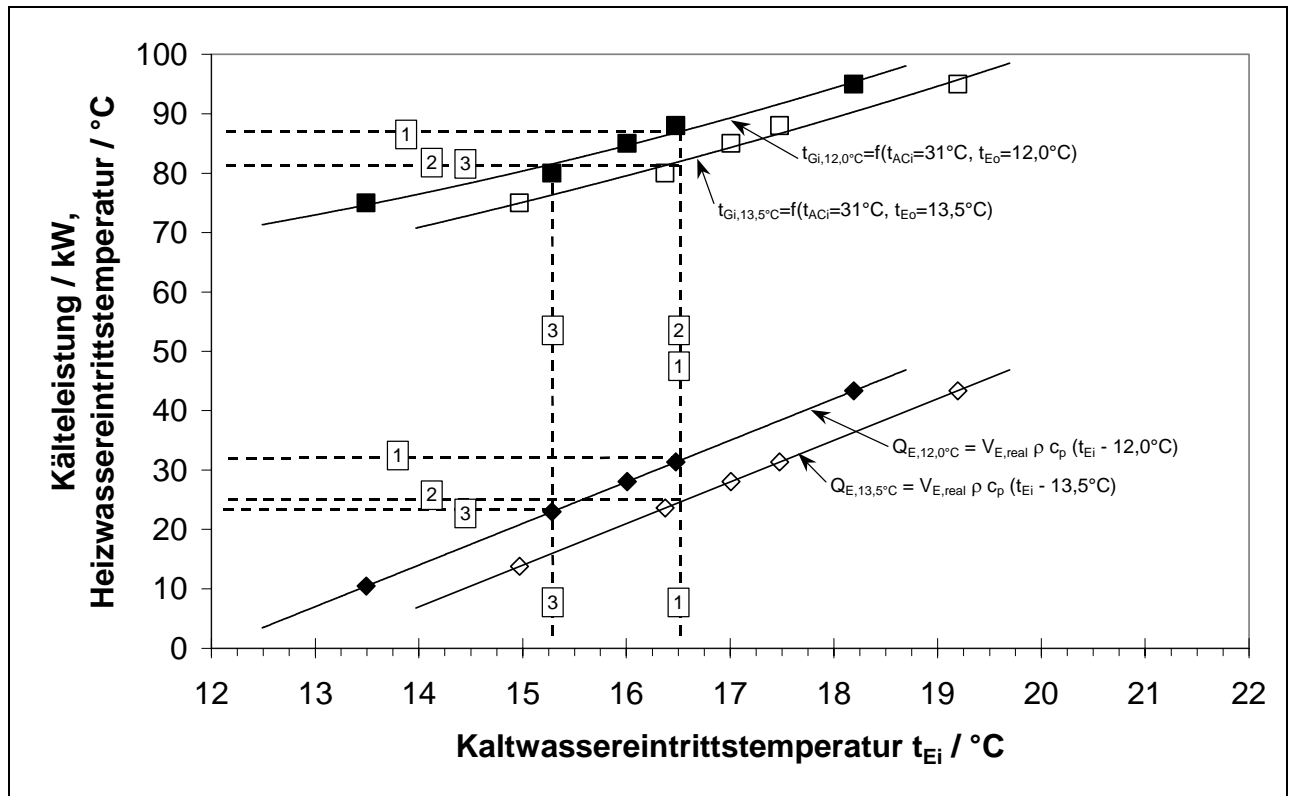


Abb. 6 – Einhaltung des Kaltwassersollwertes bei nicht ausreichender Heizwassertemperatur durch Beimischung

Da die Verdampferleistung der Absorptionskälteanlagen nur verzögert reduziert werden kann, ergeben sich kurzzeitig so tiefe Kaltwasseraustrittstemperaturen, dass der anlageninterne Kaltwassersensor einen Schaltbefehl zum vollständigen Schließen des Heizwasserventils erzeugt. Die solare Kälteerzeugung ist somit unterbrochen, obwohl die Kollektoren weiterhin ausreichend hohe Antriebstemperaturen für die Absorptionskälteanlagen liefern. Während der kurzzeitigen Betriebsunterbrechung kommt es ansonsten zum Rückfluss von bereits ausgetriebenem Kältemittel, wodurch der mittlere COP vermindert wird.

Mit einem Kaltwassermischventil könnte der Anlagenbetrieb jedoch gleichmäßig und damit die anteilige solare Kälteerzeugung deutlich effizienter betrieben werden. Der effektive, zum Verbraucher gelangende Volumenstrom ($V_{E,effektiv}$) wird durch das Ventil soweit reduziert, dass sich durch die Beimischung eine derart niedrige Verdampfer Eintrittstemperatur ($t_{Ei,3}$) ergibt, mit der auch bei einer verfügbaren Heizwassertemperatur von 81°C der Kaltwassersollwert erreicht wird. Im Verdampfer wird dann zwar trotzdem nicht die erforderliche Leistung von $Q_{E1,soll} = 31 \text{ kW}$ umgesetzt, sondern nur

$$(3) \quad Q_{E3} = 6 \text{ m}^3/\text{h} \cdot 1000 \text{ kg/m}^3 \cdot 4,18 \text{ kJ/kgK} \cdot (15,3 - 12) \text{ K} = 23 \text{ kW}$$

aber es wird zumindest der Kaltwassersollwert eingehalten. Dies ist z.B. dann notwendig, wenn durch Taupunktunterschreitung in einer RLT-Anlage entfeuchtet werden soll.

Im BMVBW würde das Ventil ein Zuschalten der KKM zwar nicht verhindern, da weiterhin eine Lastunterdeckung vorliegt, jedoch würde es den Taktbetrieb, durch Öffnen (d.h. vergrößern des effektiven, zum Verbraucher gelangenden Volumenstroms) bei sinkendem

t_{Eh} nach KKM-Zuschaltung vermeiden. Hierzu sind Ventile mit kurzen Stellzeiten notwendig, mit denen die dynamischen Temperaturverläufe beherrscht werden können. Anlagentechnisch einfacher ist es, die Kälteerzeugungseinheiten (AKA+KKM) nicht direkt mit dem Kälteverteiler zu verbinden, sondern zunächst in einen gemeinsamen Speicher einspeisen zu lassen. Aus diesem Kältespeicher werden dann die Verbraucher über einen Kälteverteiler versorgt (siehe Abb. 3). Aufgrund der gedämpften Temperaturänderung im Kaltwasserspeicher lässt sich die (mittlere) Speichertemperatur außerdem als gutes Kriterium für die Zu- und Abschaltung der KKM verwenden.

Tabelle 4 fasst weitere Betriebsprobleme im Jahr 2003 zusammen, auf die hier nicht näher eingegangen wird, da sie auf einfache Fehlfunktionen zurückzuführen sind.

Tabelle 4 Technische Probleme beim SAC-System im BMVBW in 2003

Beschreibung	Zeitraum in 2003	Auswirkung
Regelungssystem startet Absorptionskälteanlagen nicht trotz ausreichend hohe Speichertemperaturen	24.03. – 02.06.	Solare Kälteerzeugung nicht möglich
Kristallisation einer Absorptionskälteanlage wegen defektem Heizwasserventil bei gleichzeitig eingeschalteter Kaltwasserpumpe	17.04. – 07.05.	Solare Kälteerzeugung nicht möglich
Zirkulationspumpe im Kühlwasserkreislauf defekt.	26.07. – 04.08.	Reduzierter Effektivität der Absorptionskälteanlagen (COP) und dadurch verminderter Anteil an solarer Kälteerzeugung
Große Temperatur und Volumenstromschwankungen im Kaltwasser- und Kühlwasserkreislauf	Gesamte Kühlperiode	

4 Zusammenfassung

Die bisherigen Planungs- und Betriebsergebnisse haben gezeigt, dass durch solare Kühlsysteme mit geschlossenen Kältekreisläufen hohe jährliche solare Deckungsraten und hohe CO₂-Einsparungen möglich sind. Andererseits ergaben sich im Betriebsjahr 2003 deutliche Abweichungen zu den Erwartungswerten. Diese können z.T. auf bisher nicht ausreichend genaue Planungswerkzeuge zurückgeführt werden. Mindestens von gleicher Größenordnung sind aber die Ertragseinbußen durch 'kleine Fehler mit großer Wirkung'. Hierzu zählen die komplexeren Regelungsaufgaben – insbesondere, wenn ein effizienter Teillastbetrieb angestrebt wird. Aber auch grundlegende Zusammenhänge bei der Kollektorfeldplanung müssen bei SAC-Systemen besonders beachtet werden.

Die Ermittlung der optimalen Grenzen zwischen möglicher Effektivitätssteigerung durch verbesserte Regelung bzw. Anlagenauslegung und der Praxistauglichkeit, stellt letztendlich die Herausforderung dar, die durch messtechnische Begleitung von zukünftigen Demonstrationsvorhaben untersucht werden kann.

5 Literatur

Albers J., (2003), Solar gestützte Sorptionskältesysteme bei den umzugsbedingten Bundesbaumaßnahmen – Systemdarstellung. In: KI Luft- und Kältetechnik, Nr. 8, S. 339-343

Albers J., (2004), Partielle Stagnation in einem Kollektorfeld zur solar gestützten Kälteerzeugung. In: Thermische Solarenergie, Tagungsband 14. OTTI-Symposium (2004) in Druck.

Henning H.-M. et al. (2003), Solar assisted air-conditioning in buildings – A handbook for planers, Springer-Verlag Wien ISBN 3-211-00647-8.

Remmers K.-H., (2001), Große Solaranlagen – Einstieg in Planung und Praxis, Solarpraxis AG, Berlin ISBN 3-934595-06-5.