

Wärmeabwurf aus einer solarthermisch getriebenen LiBr-H₂O Absorptionskältemaschine durch gepulstes Besprühen eines Trockenkühlers mit Wasser

Paul Gantenbein, Reto Helfenberger, Elimar Frank
Oberseestr. 10 , CH-8640 Rapperswil
Tel.: +41 (0)55 222 48 21, Fax: +41 (0)55 222 48 44
E-Mail: paul.gantenbein@solarenergy.ch
Internet: www.solarenergy.ch

Einleitung

Der steigende Bedarf an klimatisierten Arbeits- und Wohnräumen führt zu einem erhöhten Energieverbrauch. Solarthermisch angetriebene Absorptionskältemaschinen reduzieren im Vergleich zu konventionellen Kühlmaschinen den elektrischen Energiebedarf. Die aus den Maschinen bei mittlerer Temperatur abzuführende Wärmeenergie kann je nach lokalen klimatischen Bedingungen mit verschiedenen Methoden realisiert werden.

Mit einem offenen Kühlturm ist aus wärmetechnischer Sicht ein sehr effizienter Wärmeabwurf durch die Verdampfung von Wasser aus dem Kühlfluid des Maschine-Kühlkreislaufes in den Luftstrom realisierbar [1]. Das Kühlwasser kann theoretisch bis auf den Kühlgrenzabstand die Kühlgrenztemperatur des Umgebungsklimas erreichen. Da die Leistung der Absorptionskältemaschine mit sinkender Kühlmitteltemperatur steigt, ist eine möglichst tiefe Fluidtemperatur anzustreben, solange keine Kristallisation auftritt. Die verdampfte Wassermenge muss dem System im Kühlturmsumpf wieder zugeführt werden. Der sich anreichernde Kalk und die Ansammlung von Staub müssen über regelmässige Ausschwemmung abgeführt werden [2]. Die im Kühlturmsumpf wachsenden Algen und Legionellen bedingen weitere periodisch anfallende Service-Massnahmen am Wärmeabwurfssystem mit Bioziden und/oder Chemikalien. Nebst der Reduktion des elektrischen Energieverbrauchs sollte auch der für den Wärmeabwurf benötigte Wasserverbrauch möglichst weit reduziert werden.

Bei einem Trockenkühler erfolgt der Wärmeabwurf über einen Luft-Wasser-Wärmeübertrager mit erzwungener Luftströmung (Ventilatoren). In einem zum Hybridkühler ausgebauten Trockenkühler [3] wird zusätzlich der effiziente Kühleffekt der Wasserverdampfung genutzt, und bei entsprechender Dosierung kann gleichzeitig der Wasserverbrauch reduziert werden. Dazu wurde am Institut für Solartechnik SPF in Rapperswil an einer für die Kühlung einer Maschinenhalle verwendeten solar-

thermisch getriebenen LiBr-H₂O-Absorptionskältemaschine parallel zum offenen Kühlturm ein Trockenkühler installiert, der mit einem Düsen-Sprühsystem ausgerüstet wurde. Über ein Magnetventil in der Sammelrohrleitung wird ein gepulstes Besprühen der Wärmetauscher-Lamellen realisiert. Im vorliegenden Beitrag wird der Versuchsaufbau und die Durchführung der Experimente beschrieben und anhand dessen gezeigt, dass bei entsprechenden Betriebsbedingungen die Kühlmittel-Rücklauf Temperatur zur Absorber-Kondensator-Einheit der Absorptionskühlmaschine reduziert und jener aus dem offenen Kühlturm angenähert werden kann. Der offene Kühlturm und der Trockenkühler dienen dabei als Referenzen im Wärmeabwurfssystem, mit denen die erzielten Ergebnisse systematisch verglichen werden.

Aufbau des Wärmeabwurfsystems

Fig. 1 zeigt eine vereinfachte schematische Darstellung der Wärmeabwurfssysteme mit offenem Kühlturm und Hybridkühler. Bei den Untersuchungen konnte wahlweise eines der beiden Konzepte betrieben werden. Die Ventilatoren der beiden Aussenkühler sind drehzahl geregelt, die Kühlmittelumwälzpumpe hat eine konstante Fördermenge. Für die Messdatenerfassung wurde der Logger der Kühlmaschine eingebunden.

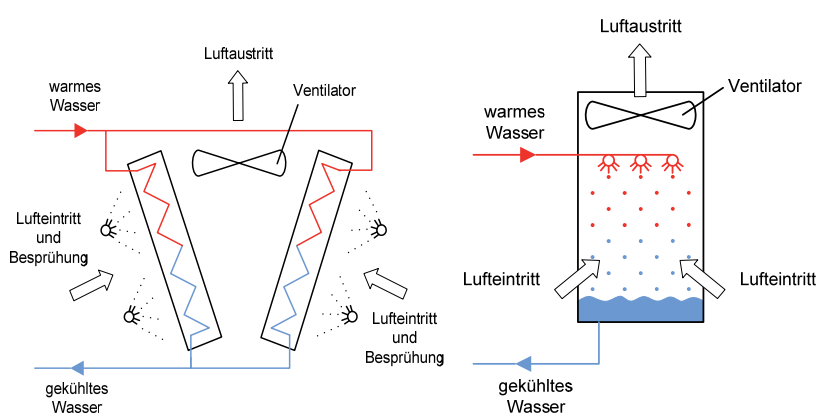


Fig. 1: Schematische Darstellung eines Hybridkühlers (Trockenkühler mit Sprühdüsen, links) und eines offenen Kühlturms (rechts). Im offenen Kühlturm sind das Kühlwasser und die Umgebungsluft im Gegenstrom.

Wahl und Position sowie Ansteuerung der Düsen

Die Wärmeabfuhr aus der Absorber-Kondensator-Einheit an die Umgebung ist direkt proportional zur Wärmeaustauschfläche und damit der mit Wasser benetzten Wärmetauscheroberfläche. Eine optimale geometrische Positionierung der Sprühdüsen bezüglich des Wärmetauschers und der Luftströmungsrichtung beeinflusst die Wirksamkeit positiv. Aus Kostengründen eignen sich Vollkreisdüsen mit einem kegelförmigen Sprühvolumen (vgl. Fig. 2). Allerdings hat eine Vollkreisdüse eine kreisförmige Aufprallfläche, welche vollständig mit Tropfen bedeckt wird. Dieses Spritzbild wird hauptsächlich durch den Einbau von speziellen Wirbelkörpern erreicht, um das Wasser in eine kontrollierte Strömung zu versetzen, bevor es aus der Düse austritt.

Fig. 2 und 3 zeigen eine Abbildung des Sprühvolumens der eingesetzten Nebeldüse und deren Platzierung am Trockenkühler. Tabelle 1 enthält Angaben zur Grösse der besprühten Fläche in Funktion des Düsenabstandes. In der Schlauchzuführung für das Sprühwasser ist ein Magnetventil zur Steuerung der Wasserzufuhr. Die Sprühwasserventil-Steuerung erfolgt über einen direkt in die Austrittsrohrleitung des Hybridkühlers integrierten Temperatursensor.

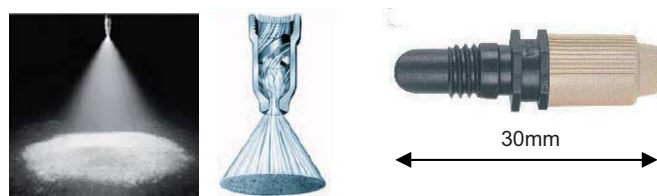


Fig. 2: Sprühkegel einer Vollkreisdüse (links) und Bild der verwendeten Gardena-Nebeldüse Typ 1371-29 (rechts).

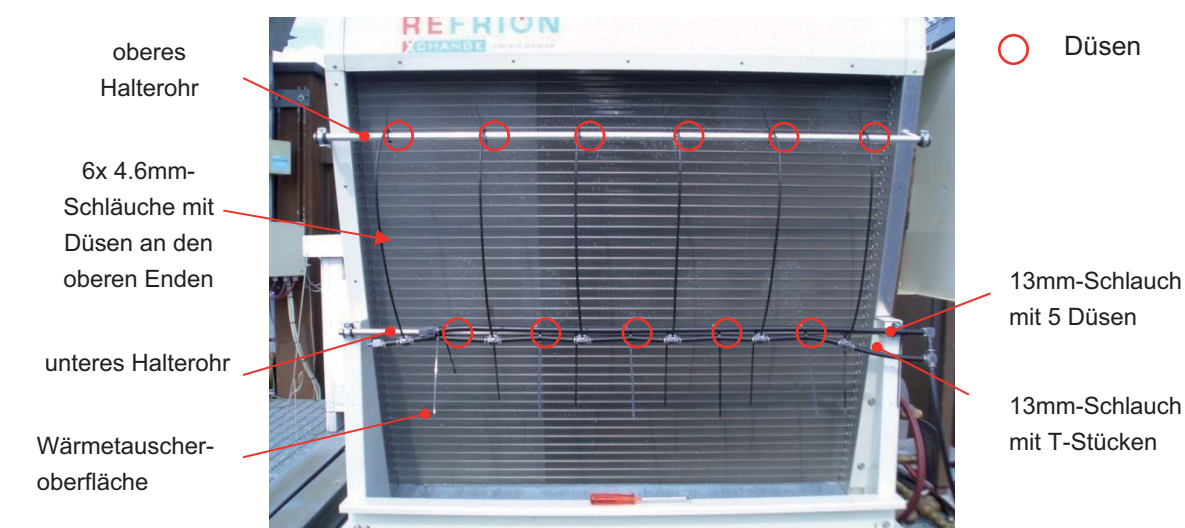


Fig. 3: Positionierung der Sprühdüsen am Trockenkühler. Auf jeder Seite sind 11 Düsen installiert. Das Besprühen erfolgt in Strömungsrichtung der Luft.

Tab. 1: Durchmesser der Sprühfläche in Funktion des Düsenabstandes von der besprühten Oberfläche (Nebeldüse: Gardena Typ 1371-29).

Abstand [cm]	10	15	20	25
Durchmesser [cm]	15	20	25	30

Wasserverbrauch des Sprühsystems

Mit den insgesamt 22 auf beiden Seiten des Trockenkühlers installierten Düsen werden bei einer Ventilöffnungs/schliessperiode von (5/140) Sekunden respektive (5/312) Sekunden Wassermengen von 16.5l/h bzw. 7.5l/h Wasser versprüht (Fig. 5). Bei einer Versuchsvariante mit (3/88) Sekunden beträgt der Wasserverbrauch 15.7l/h. Diese Werte liegen im Bereich von einem Viertel bis der Hälfte des Wasserverbrauchs bei Betrieb mit dem offenen Kühlturm.

Messergebnisse

Die Rückkühlleitung des Aussenkühlers hängt von den lokalen klimatischen Bedingungen wie Lufttemperatur T_{amb} und Luftfeuchte rh ab (vgl. Fig. 4).

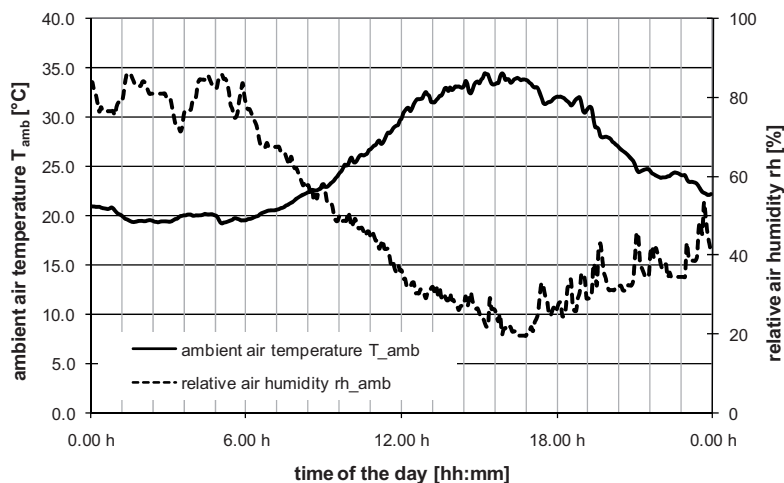


Fig. 4: Aussenlufttemperatur T_{amb} [°C] und Luftfeuchte rh [%] am 24. Mai 2009 (Sommerzeit) am Standort Rapperswil (CH). Der Temperaturverlauf ist bei sonnigem Wetter und damit bevorzugtem Kühlbedarf vergleichbar mit einer Winkelfunktion. Der niedrigste Wert wird am Morgen vor Sonnenaufgang erreicht.

Eine niedrige Eintrittstemperatur T_{ACc} des Kühlmittels in die Absorber-Kondensator-Einheit der AKM bewirkt zwar einen höheren Wirkungsgrad [4, 5], ist aber durch die Gefahr der Kristallisation beschränkt. In Fig. 5 ist die Kühlwassertemperatur T_{ACc} als Funktion der Umgebungstemperatur T_{amb} aufgetragen. Zum Vergleich dient T_{ACc} aus dem offenen Kühlturm. Mit zunehmender Sprühwassermenge sinkt die Temperatur des Kühlmittels und erreicht bei niedrigen T_{amb} jene aus dem offenen Kühlturm, wobei in Falle der geringsten Sprühwassermenge von 7.5l/h eine Temperaturdifferenz von rund $\Delta T=6K$ resultiert. Wird die Kühlmitteltemperatur bezüglich der relativen Luftfeuchte verglichen, so ist wiederum jene bei der höheren Sprühwassermenge näher der Kühlwassertemperatur aus dem offenen Kühlturm, da in dieser Situation mehr Sprühwasser zur Verdunstungskühlung beiträgt (vgl. Fig 6). Der zeitliche und geometrische Temperaturverlauf an der Oberfläche des Hybridkühlers wurde mit einer Infrarotkamera gemessen, wodurch deutliche Temperaturunterschiede auf der Wärmeübertrager-Oberfläche erkennbar wurden. Die tiefsten Temperaturen liegen bei 19.5°C und sind in Zentrum der mit Wasser besprühten Fläche. Die höchsten Temperaturen liegen über 27°C und treten an Orten ohne Sprühwasserbenetzung auf.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Der Wärmeabwurf einer solarthermisch getriebenen LiBr-H₂O Absorptionskältemaschine wurde durch gepulstes besprühen eines Trockenkühlers realisiert. Es konnte experimentell gezeigt werden, dass je nach versprühter Wassermenge geringe Abweichungen der Fluidtemperatur des Wärmeabwurfs aus dem Hybridkühler gegenüber jener aus dem offenen Kühlturm erreicht werden können. Das geschlos-

sene System des Hybridkühlers bietet jedoch Vorteile bezüglich veränderter Verschmutzung und Verkalkung des Kühlkreislaufs sowie eine Reduktion des Wasserverbrauchs. Durch eine Anpassung der Regelparameter kann der Systemwirkungsgrad erhöht werden [5].

Danksagung

Diese Arbeiten wurden mit der Finanzierung der HSR Hochschule für Technik Rapperswil und des Schweizer Bundesamts für Energie (BFE) durchgeführt.

Literatur

- [1] ASHRAE Handbook 2004, HVAC Systems and Equipment, Cooling Towers.
- [2] G. A. Babcock. Maintaining Cooling Towers – Because Temperature Matters. ASHRAE Journal March 2005, 46-51.
- [3] F. K. Moore. Dry Cooling Towers. Advances in Heat Transfer, Volume 12, 1976, Pages 1-75.
- [4] P. Kohlenbach, S. Medel y Molero, Ch. Schweigler, M. Harm, J. Albers, A. Kühn, St. Pertersen. Weiterentwicklung und Feldtest einer kompakten 10kW H₂O-LiBr Absorptionskälteanlage. Drittes Symposium Solares Kühlen in der Praxis, Tagungsband 2004, p 145.
- [5] A. Kühn, M. Mittermaier, F. Ziegler. Operational results of a 10kW absorption chiller with focus on external and internal volume flow rates. OTTI, 2nd International Conference Solar Air-Conditioning, Tarragona Spain, 2007.

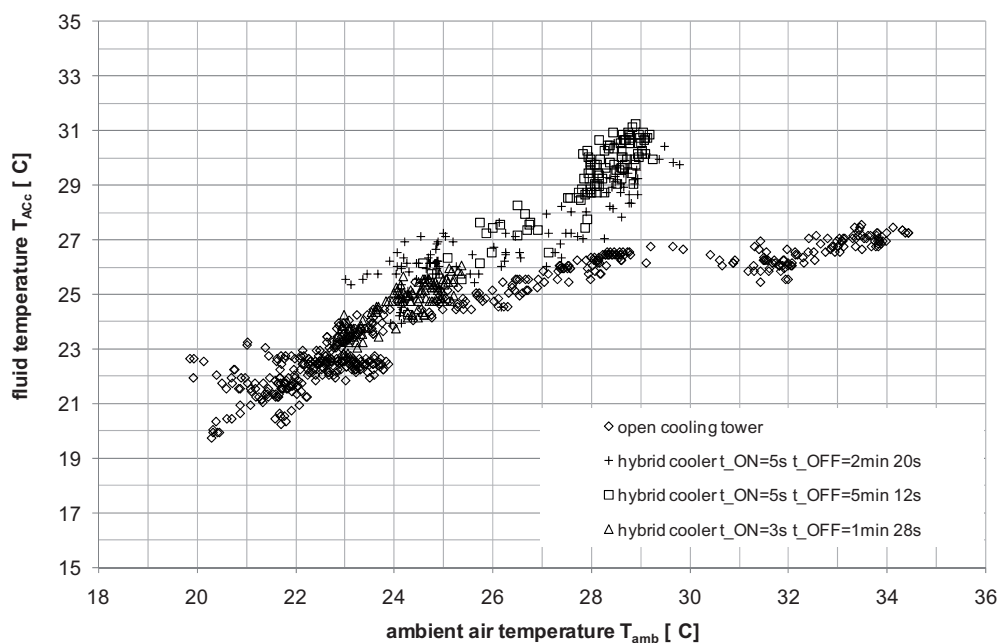


Fig. 5: Temperatur T_{ACc} des Kühlwassers beim Eintritt in die Absorber-Kondensator-Einheit der LiBr-H₂O Absorptionskühlmaschine in Funktion der Aussentemperatur T_{amb} . Zum Vergleich ist die Temperatur T_{ACc} des offenen Kühlturms mit in das Diagramm eingezeichnet. [t_{ON}=5s - 5s Spray-Zeit - t_{OFF}=2min20s - keine Besprühung.

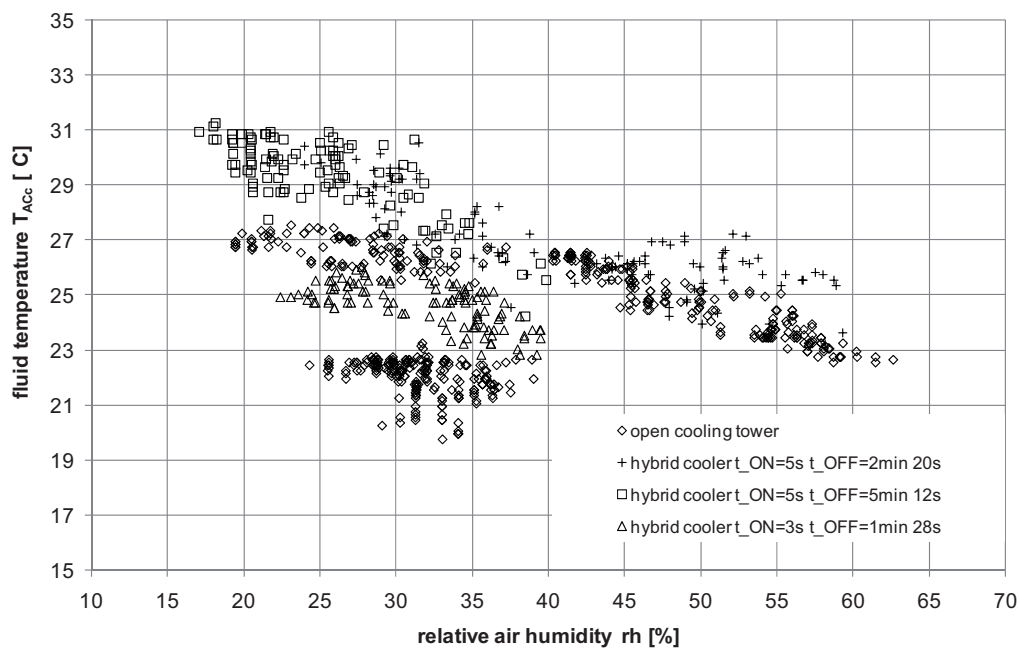


Fig. 6: Temperatur T_{ACC} des Kühlwassers beim Eintritt in die Absorber-Kondensator-Einheit der LiBr-H₂O Absorptionskühlmaschine in Funktion der Luftfeuchte rh . Zum Vergleich ist die Temperatur T_{ACC} des offenen Kühlturms mit in das Diagramm eingezeichnet; t_{ON} & t_{OFF} siehe Fig. 5.

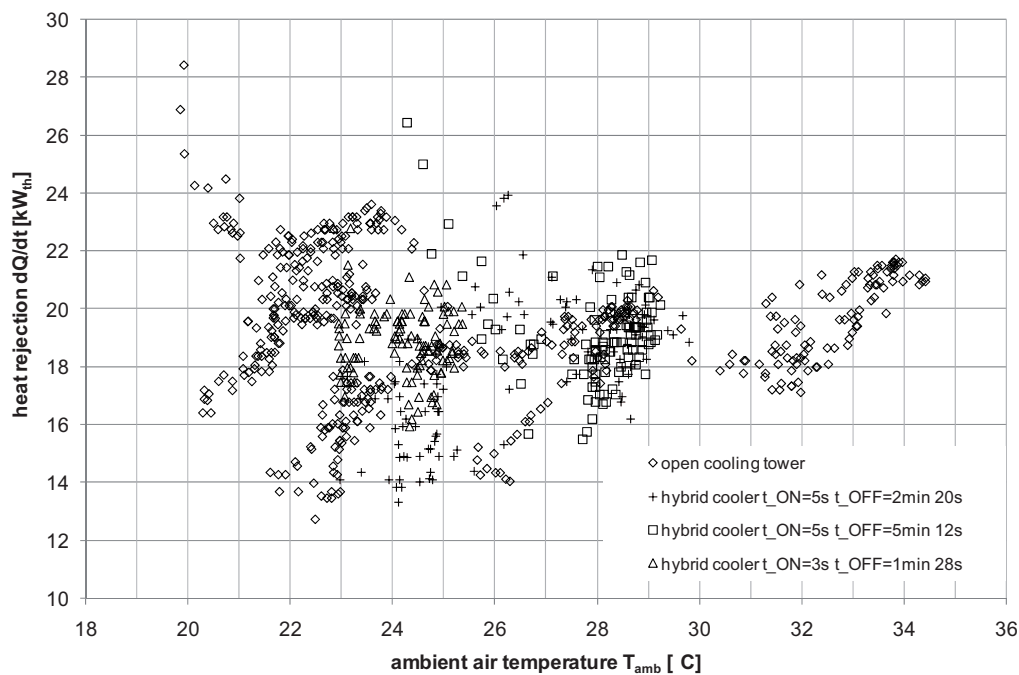


Fig. 7: Wärmeabwurfleistung dQ/dt über den mit Wasser gepulst besprühten Hybridkühler in Funktion der Aussentemperatur T_{amb} . Zum Vergleich ist die Leistung des offenen Kühlturms mit in das Diagramm eingezeichnet; t_{ON} & t_{OFF} siehe Fig. 5.