

Entwicklung eines Planungstools zur standardisierten Auslegung thermischer/ solarer Kühlsysteme

Katrin Spiegel^{*}, Uli Jakob

SolarNext AG, Nordstrasse 10, 83253 Rimsting

*Tel +49 8051 6888 400, Fax +49 8051 6888 490, katrin.spiegel@solarnext.de,
www.solarnext.de

1. Einleitung

Solare bzw. thermische Kühlung gewinnt in den letzten Jahren immer mehr an Bedeutung. Vor allem die guten zeitlichen und örtlichen Übereinstimmungen von Angebot der benötigten Antriebsenergie der Kältemaschine und der Nachfrage des Kühlbedarfs spielen dabei eine große Rolle.

Thermisch angetriebene Adsorptions- bzw. Absorptionskältemaschinen sind bei Planung und Auslegung durch ihre Vielzahl von Einflussfaktoren charakterisiert. Ein Planungstool soll helfen mittels Standardisierung diese Einflussfaktoren zu verringern. Dabei werden wichtige projektabhängige Randbedingungen gezielt abgefragt und vereinfachen somit dem Planer die Auslegung.

1.1 Komplexität und Einflussfaktoren konventioneller Kühlsysteme

Herkömmliche Kompressionskältemaschinen bestehen einerseits aus einem Kaltwasserkreislauf, welcher dem zu klimatisierenden Raum, durch seine niedrigen Temperaturen von üblicherweise 5°C bis 15°C, Wärme entzieht und andererseits aus einem Rückkühlkreis, mit einem üblichen Temperaturniveau von 25°C bis 40°C, über den die entzogene Wärme, auf einem höheren Druckniveau, an die Umgebung wieder abgegeben werden kann. Die Temperaturspreizung dieser Kreise wird direkt durch die aufgewendete Energie des Kompressors bestimmt. Je größer der elektrische Energieaufwand, desto größer die Temperaturdifferenz zwischen Kaltwasser- und Rückkühltemperatur. Anhand dieser Einflussfaktoren ergibt sich für den Auslegungsfall somit ein wirtschaftliches Optimum der Kompressionskältemaschine.

1.2 Komplexität und Einflussfaktoren thermischer/ solarer Kühlsysteme

An Stelle der elektrischen Kompression bei konventionellen Kältemaschinen, werden die Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen thermisch durch einen

Heißwasserkreis, in der Regel mit einem Temperaturniveau von 65°C bis 105°C angetrieben. Dabei wird die Temperaturspreizung von Kaltwasser- und Rückkühltemperatur in erster Linie nicht durch die Antriebsleistung sondern durch das Temperaturniveau des Heißwasserkreises bestimmt. Je höher die Heißwassertemperatur, desto größer die Temperaturdifferenz von Kaltwasser- und Rückkühltemperatur.

Um diese Temperaturdifferenz zu vergrößern, kann jedoch die Heißwassertemperatur nicht unbegrenzt erhöht werden. Jede Kältemaschine hat abhängig von seinem Arbeitsstoffpaar einen unterschiedlichen Heißwassertemperaturbereich, bei welchem diese Idealerweise zu betreiben ist. So liegt dieser Temperaturbereich bei den Absorbern zwischen 70°C und 105°C und bei den Adsorbern etwas niedriger bei 65°C bis 90°C. Die Adsorptionskältemaschine chillii® ISC7 kann hingegen mit Heißwassertemperaturen von 45°C bis 75°C betrieben werden. Auch die Rückkühl- und Kaltwassertemperaturen haben einen arbeitsstoffpaarabhängigen Temperaturbereich, so können beispielsweise Absorber in der Regel wesentlich niedrigere Kaltwassertemperaturen bereitstellen.

Aufgrund von höheren Investitionskosten der Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen und einer erhöhten Komplexität durch den Einfluss der thermischen Antriebsenergie, ist eine genaue Auslegung bei thermischen Kühlsystemen besonders wichtig.

2. Planungstool

Um die Vielzahl von Einflussfaktoren berücksichtigen zu können und einen schnellen Überblick über die Leistungen von thermischen Kältemaschinen zu erhalten wurde bei der SolarNext ein Planungstool zur Auslegung von chillii® Cooling Kits entwickelt.

Die Auslegung thermisch bzw. solarbetriebener Kältemaschinen erfolgt in Abhängigkeit eines vorgegebenen Standorts. Für diesen müssen je nach Auslegungsfall Außenluft- und Feuchtkugeltemperaturen sowie solare Einstrahlung bekannt sein. Wird die Antriebsenergie durch Fernwärme, BHKW oder andere Heißwasserquellen bereitgestellt, oder erfolgt die Rückkühlung beispielsweise durch Grundwasser oder Erdreich, so müssen weitere Daten über diese Wärmequellen bzw. Wärmesenken zu Verfügung stehen.

2.1 Wetterdatenbank

Um die Auslegung eines thermischen Kühlsystems möglichst benutzerfreundlich zu gestalten, wurden, für verschiedene Standorte europäischer Länder typische Wetterdaten, Temperaturen eines typisch heißen Sommertages, recherchiert und im

Planungstool hinterlegt. Stehen keine passenden Wetterdaten für einen Auslegungsfall zu Verfügung, besteht auch die Möglichkeit, Wetterdaten manuell einzugeben. Abbildung 1 zeigt die Eingabemaske des Planungstools für die Standortwahl (linkes Bild).

2.2 Rückkühlung

Für Adsorptions- und Absorptionskältemaschinen kleiner Leistung, wird die Wärmeabgabe an die Umgebung meist über einen Nasskühlturm oder einen trockenen Rückkühler abgeführt (Jakob et. al., 2008). Da bei hohen Außenlufttemperaturen die trockene Rückkühlung für thermisch angetriebenen Kältemaschinen oft an ihre Grenzen stößt, gibt es die Möglichkeit den trockenen Rückkühler mit einer Besprühlanze auszustatten. Bei hohen Außenlufttemperaturen werden dabei die Lamellen des trockenen Rückkühlers benetzt und die Rückkühltemperatur der Kältemaschine nimmt auf Grund der Verdunstung des Wassers ab.

The image displays three sequential screenshots of the 'Auslegung chillii® Cooling Kit' software interface, showing the input mask for site selection and cooling system configuration.

Screenshot 1: Standortwahl (Location Selection)

- 1. Bitte wählen Sie ein Land: Deutschland
- 2. Bitte wählen Sie eine Stadt: Regensburg
- Standort und Auslegungstemperaturen:
 - Außenlufttemperatur: 31,7
 - Feuchtkugeltemperatur: 22,1
 - Temperatur für Besprühung: 24,7
 - Geografische Breite: 49,02
 - Geografische Länge: 12,12

Screenshot 2: Rückkühlung (Cooling Type Selection)

- 1. Bitte wählen Sie die Rückkühlungsart:
 - Alle Rückkühler
 - Auswahl Rückkühler beschränken
 - Sonstige Rückkühlung (Eintrittstemperatur chiller: 24 °C)
- Auswahl Rückkühler:
 - Nasser Rückkühler:
 - Automatische Größenwahl
 - EWK_036/06 (Axima)
 - EWK_064/09 (Axima)
 - Trockener Rückkühler:
 - kleiner Rückkühler (5 K)
 - großer Rückkühler (3 K)
 - Besprühter Rückkühler:
 - kleiner Rückkühler (5 K)
 - großer Rückkühler (3 K)

Screenshot 3: Kältemaschine (Chiller Selection and Settings)

- 1. Auswahl Kältemaschine:
 - Alle Kältemaschinen auswählen
 - Auswahl beschränken:
 - Adsorber:
 - ISC 7
 - ISC 10
 - STC 8
 - STC 15
 - Absorber:
 - PSC 12
 - WFC 18
- 2. Benötigte Kälteleistung: 10 kW
- 3. Temperaturbereich Heißwasser:
 - Untere Grenze:
 - minimale Heißwassertemperatur
 - untere Heißwassertemperatur: 75 °C
 - Obere Grenze:
 - maximale Heißwassertemperatur
 - obere Heißwassertemperatur: 85 °C
- 4. Kaltwassersolltemperatur:
 - mit Entfeuchtung (Maschinenabhängig 6°C bis 12°C)
 - ohne Entfeuchtung (15°C)
 - beliebige Kaltwassertemperatur (6°C bis 15°C): 12 °C
 - Tieftemperatur (-3°C bis -7°C): -5 °C

Abbildung 1: Eingabemaske des chillii® Planungstools (Quellen: SolarNext)

Durch geeignete Modelle zweier Nasskühltürme der Firma Axima mit unterschiedlicher Baugröße, können durch das Planungstool die Rückkühltemperaturen und die Rückkühlleistung, aber auch die Baugröße des Nasskühlturms in Abhängigkeit der standortspezifischen Außenluft- und Feuchtkugeltemperaturen sowie der Massenströme und Leistungen der Kältemaschinen, angegeben werden. Auch für Trockenrückkühler mit und ohne Besprühung wurden Modelle entwickelt. Die Berechnung der Eintrittstemperatur in die Kältemaschine erfolgt dabei mit einer festen Temperaturdifferenz von wahlweise 3°C oder 5°C zur Außenluft- bzw. Feuchtkugeltemperatur.

In manchen Anwendungen besteht die Möglichkeit über das Grundwasser, einen Swimming Pool oder das Erdreich rückzukühlen. Für diese Fälle kann im Planungstool die Eintrittstemperatur der Rückkühlung in die Kältemaschine selbst abgeschätzt und als sonstige Rückkühlung in die Eingabemaske des Planungstools eingegeben werden (siehe Abbildung 1, mittleres Bild).

2.3 Sorptionskältemaschinen

Der eigentliche Kern des Planungstool ist die Kältemaschine selbst. In Abbildung 2 ist das Produktportfolio der Adsorptions- (chillii® ISC7, chillii® STC8, chillii® ISC10 und chillii® STC15) und Absorptionskältemaschinen (chillii® PSC12, chillii® WFC18) der SolarNext dargestellt (Jakob, 2008).



Abbildung 2: Produktportfolio SolarNext

Im Planungstool sind Modelle aller chillii® Kältemaschinen hinterlegt. Temperatur- und Leistungsdaten von den Herstellern, aber auch Messwerte der SolarNext wurden in den Modellen der Kältemaschinen mit berücksichtigt. Durch die Eingabe der benötigte Kälteleistung und Kaltwassertemperatur kann der Auslegungsfall berechnet

werden. Des Weiteren besteht die Möglichkeit den Heißwassertemperaturbereich einzuschränken (siehe Abbildung 1, rechtes Bild).

3. Ergebnisse Planungstool

Sind alle Parameter eingegeben, so lässt sich schnell eine passende Kältemaschine ermitteln. Als Ergebnis werden Leistungen, Massenströme, Ein- und Austrittstemperaturen aber auch Druckverluste und der thermische COP der Kältemaschine angegeben. Ein Beispielergebnis für Regensburg mit der Wasser/Lithiumbromid Absorptionskältemaschine chillii® WFC18 ist in Abbildung 3 dargestellt. Die benötigte Kälteleistung beträgt 20 kW bzw. 10 kW. Im ersten Auslegungsfall mit 20 kW Kälteleistung muss die Temperatur des Heißwassers etwa 93°C betragen, um die Kälteleistung an dem heißen Auslegungstag bereitstellen zu können. Wird nur eine Kälteleistung von 10 kW benötigt so würde eine Heißwassertemperatur von ca. 75°C genügen.

The image shows two screenshots of the 'chillii® WFC18' software interface. Each screenshot displays a table of technical parameters for the absorption chiller. The left screenshot shows results for a 20 kW cooling capacity, while the right screenshot shows results for a 10 kW cooling capacity. Both screenshots include a 'Heißwasservolumenstromreduktion' (Hot water volume flow reduction) control set to 100% and an 'OK' button.

chillii® WFC18			
	Kaltwasser	Rückkühlung	Heißwasser
Eintrittstemperatur [°C]	13,2	29,7	93,2
Austrittstemperatur [°C]	7	34,5	86,9
Massenstrom [l/h]	2772	9180	4320
Druckverlust [bar]	0,51	0,46	0,87
Leistung [kW]	20	51,7	31,7
COP	0,63		
Rückkühlungsart	mit EWK 036/06		
Heißwasservolumenstromreduktion 100 OK			

chillii® WFC18			
	Kaltwasser	Rückkühlung	Heißwasser
Eintrittstemperatur [°C]	10,1	30,1	74,7
Austrittstemperatur [°C]	7	32,3	72,1
Massenstrom [l/h]	2772	9180	4320
Druckverlust [bar]	0,51	0,46	0,87
Leistung [kW]	10	23,2	13,2
COP	0,76		
Rückkühlungsart	mit EWK 036/06		
Heißwasservolumenstromreduktion 100 OK			

Abbildung 3: Beispielergebnis für die chillii® WFC18 (Quellen: SolarNext)

Um die Druckverluste und somit den elektrischen Energieverbrauch zu senken, kann des Weiteren bei der chillii® WFC18 der Volumenstrom des Heißwasserkreises verringert werden. Das Planungstool berechnet dann automatisch die sich reduzierenden Druckverluste und Leistungen.

4. Auswahl chillii® Cooling Kits

Zwar sind die oben beschriebenen Ergebnisse hilfreich und ermöglichen eine schnelle Auslegung. Ein Planer muss sich dennoch in die Thematik der thermischen Kühlung gut einarbeiten. Um auch diesen Aufwand so gering wie möglich zu halten, wurden bei der SolarNext standardisierte chillii® Cooling Kits entwickelt.

Nachdem mit dem Planungstool der Standort gewählt, aber auch projektspezifische Angaben gemacht wurden, wird das passende Cooling Kit, welches unter anderem die Kältemaschine, den Rückkühler, den chillii® System Controller, die Pumpen, und Ventile enthält, ausgewählt.

Zukünftig werden komplette Solarsysteme als Solar Packages in das Auslegungstool implementiert. Die Größe des Kollektorfeldes ergibt sich dann mittels Iteration aus typischen Einstrahlungswerten und im Kontext mit den anderen Komponenten des chillii® Cooling Kits. Dafür werden noch Komponenten wie Pumpen oder Wärmespeicher in das Planungstool integriert. Eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung rundet zukünftig das Planungstool ab, um durch Variation der Auslegungsparameter die geeignete Wahl bzgl. des Gesamtsystems bestehend aus chillii® Cooling Kit und Solar Package treffen zu können.

5. Zusammenfassung

Die Auslegung thermischer bzw. solarer Kühlsysteme ist durch die drei hydraulischen Kreise, Nieder- Mittel- und Hochtemperaturkreis schwieriger als bei herkömmlichen Kompressionskältemaschinen. Das Planungstool hilft durch die Angabe des Standorts, der Rückkühlung und der Kälteleistung bzw. -anwendung, diese Komplexität zu vereinfachen.

Durch das Planungstool kann eine Projektanfrage schnell bearbeitet und beantwortet werden. Der Planer erhält sehr schnell einen Überblick über das Produktangebot. Wichtige Angaben wie Druckverluste, Massenströme, Temperaturniveaus und Leistungen stehen ohne großen Planungsaufwand zur Verfügung.

Das Planungstool zeigt, dass es möglich ist den Planungsaufwand für die thermischen/solaren Kühlsysteme zu verringern, dadurch Kosten zu sparen und die Wirtschaftlichkeit dieser Systeme zu verbessern.

6. Literatur

JAKOB, U. (2008). „Solare Klimatisierung und Kälteerzeugung aus Sicht eines Systemanbieters“. Tagungsband DBU Workshop Kälte aus Wärme, Zentrum für Umweltkommunikation der Deutschen Bundesstiftung Umwelt, Osnabrück, 02.-03.12.2008.

JAKOB, U., HUBER, M., SPIEGEL; K. (2008). „Effizienz der Rückkühlung solarer Kühlungssysteme als Kriterium für die Kollektorwahl“. Tagungsband 18. Symposium Thermische Solarenergie. Ostbayerisches Technologie-Transfer-Institut e.V. (OTTI), Bad Staffelstein. Seite 224-229, 23.-25.04.2008.