

Schlüsselwörter: Absorptionskältemaschine · Betrieb · charakteristische Gleichung · effektive Wärmeübertragung

Dieser Artikel soll den Praxisnachweis für die Anwendung der charakteristischen Gleichung zur Parameteridentifikation liefern. Anhand eines Vergleichs von zwei baugleichen einstufigen H₂O-LiBr-Absorptionskältemaschinen (Zentrale Kälteversorgung Chemnitz) wird der Einfluss der externen Volumenströme von Kalt-, Kühl- und Heißwasser auf die Kälteleistung unter Verwendung der charakteristischen Gleichung untersucht. Die Parameter der charakteristischen Gleichung können zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit herangezogen werden.

Comparison of two identical in construction H₂O-LiBr-Absorption chillers using the characteristic equation

Keywords: absorption chiller · characteristic equation · effective heat transfer · operation

This article shall give the practical verification of using the characteristic equation for parameter identification. With the comparison of two identical in construction single effect H₂O-LiBr-Absorption chillers (Central cold water supply of Chemnitz) the influence of external flow rates concerning chilled water, recooling water and hot water on the cooling capacity using the characteristic equation will be analysed. The parameters of the characteristic equation can be consulted to evaluate the performance.

Autoren



Dipl.-Ing. Falk Neumann (links),
Dr.-Ing. Thorsten Urbaneck (Mitte),
Prof. Dr.-Ing. habil. Bernd Platzer (rechts),
TU Chemnitz, Fakultät für Maschinenbau



Dipl.-Ing. Ulf Uhlig (links),
Dipl.-Ing. Thomas Göschel (rechts),
eins energie in sachsen GmbH & Co. KG,
Chemnitz

Vergleich von zwei baugleichen Absorptionskältemaschinen mithilfe der charakteristischen Gleichung

1 Einleitung

Bei der Analyse des Betriebsverhaltens von Absorptionskältemaschinen (AbKM) steht man oft vor dem Problem, dass für die Simulationen oder für die Funktionskontrolle benötigte Parameter (z.B. Kennwerte der Wärmeübertrager) unbekannt sind. Nach der in [1] vorgestellten Anwendungsmöglichkeit der charakteristischen Gleichung zur Ermittlung effektiv wirkender Wärmeübertragungsvermögen soll dieser Artikel den Nachweis der Praxistauglichkeit dieser Methode liefern. Mit dem Vergleich von zwei baugleichen einstufigen H₂O-LiBr-Absorptionskältemaschinen wird speziell der Volumeneinfluss der externen Kreisläufe auf die charakteristische Gerade gezeigt.

Die beiden untersuchten einstufigen H₂O-LiBr-Absorptionskältemaschinen (Abb. 1, Tab. 1) sind Bestandteil der Zentralen Kälteversorgung in Chemnitz. Das 2007 mit einem Kaltwasserspeicher (oberirdischer Tank) erweiterte Fernkältesystem lieferte im Rahmen eines Monitoringprogrammes

Nennkälteleistung	1800 kW
COP	0,65
Kältemittel	H ₂ O
Lösungsmittel	LiBr
Kaltwassertemp.	13/5 °C
Kühlwassertemp.	27/37 °C
Heißwassertemp.	120/100 °C

Tabelle 1: Auslegungsdaten der baugleichen H₂O-LiBr-AbKM der Firma Carrier [2]

[2] unter anderem die Betriebsdaten der Absorptionskältemaschinen. Die dafür benötigte Messtechnik wurde maschinenextern im Kaltwasser-, Kühlwasser- und Heißwasserkreislauf installiert (Abb. 2). Im Vorfeld dieser Analyse fanden bereits detaillierte Untersuchungen zum Betriebsverhalten der Kältemaschinen [3, 4, 5] statt.



1 Einstufige H₂O-LiBr-AbKM der Firma Carrier Typ 16 JH 065 (vgl. mit Tab. 1), Zentrale Kälteversorgung Chemnitz



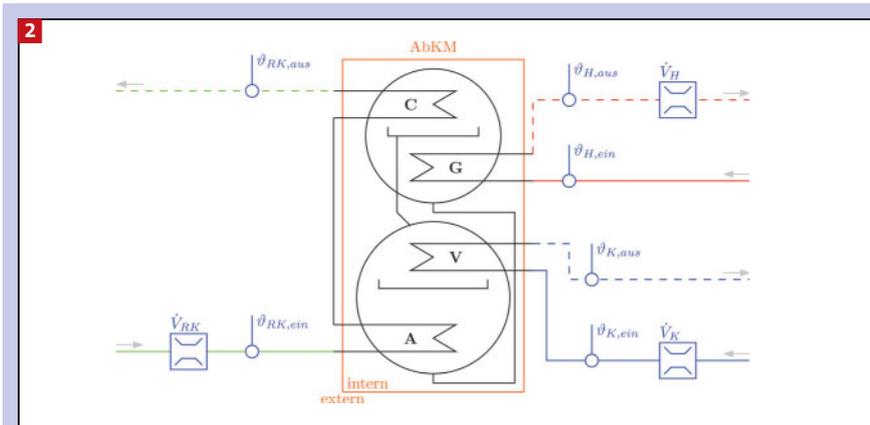
KI Kälte · Luft ·
Klimatechnik
INGENIEURWISSEN IN FORSCHUNG UND PRAXIS



Entdecken Sie weitere interessante
Artikel und News zum Thema auf
ki-portal.de!

Hier klicken & informieren!





2 Stark vereinfachtes Schaltschema der untersuchten AbKM, Kaltwasser-, Kühlwasser- und Heißwasseranschlüsse inklusive Messtechnik

2 Kältemaschinenvergleich

Für die in der Zentralen Kälteversorgung Chemnitz zum Einsatz kommenden Kältemaschinen existieren folgende Betriebs-situationen:

- Kältemaschinen ohne Kältespeicherbetrieb,
- Kältemaschinen mit Kältespeicher-Beladung,
- Kältemaschinen mit Kältespeicher-Entladung.

Bei den Untersuchungen bezüglich der zwei baugleichen Absorptionskältemaschinen der Firma Carrier fiel die Auswahl der Messdaten auf den Einzelbetrieb der beiden Absorptionskältemaschinen. Das heißt, jeweils eine der beiden Absorptionskältemaschinen war in Betrieb (mit bzw. ohne Kältespeicher), alle anderen nicht untersuchten Kältemaschinen befanden sich in den Betrachtungszeiträumen außer Betrieb. Im Zuge der Datenanalyse und -auswertung benötigte man außerdem eine Filterung der Messwerte nach stationären Betriebszu-

ständen. Damit wird versucht, die Speicherwirkung der Kältemaschine zu unterdrücken.

Die Abb. 3 und Abb. 4 zeigen die anhand von Messdaten regressiv ermittelten charakteristischen Geraden für AbKM1 und AbKM2. Sie stellen die einzelnen gemessenen Kälteleistungen \dot{Q}_K als Funktion der charakteristischen Temperaturdifferenz $\Delta\Delta\vartheta$ dar, welche sich nach

$$\Delta\Delta\vartheta = (\bar{\vartheta}_H - \bar{\vartheta}_{RK,A}) - (\bar{\vartheta}_{RK,C} - \bar{\vartheta}_K) \cdot B \quad (1)$$

aus den mittleren externen Temperaturen unter Berücksichtigung des Dühring-Faktors B [6, 7] ergibt. Der Dühring-Faktor wurde für die beiden AbKM mit $B = 1,18$ angenommen.

Eine Variation der externen Volumenströme nimmt Einfluss auf den Wärmedurchgangskoeffizienten k, der in das Wärmeübertragungsvermögen kA der vier Hauptwärmeübertrager eingeht, wobei die wärmeübertragende Fläche A konstant bleibt. Die Änderung dieser Apparate-Kenn-

werte hat wiederum Einfluss auf den Anstieg bzw. den Steigungsparameter

$$s_V = \left[\frac{G_V}{(kA)_{G,eff}} + \frac{A_V}{(kA)_{A,eff}} + B \cdot \left(\frac{C_V}{(kA)_{C,eff}} + \frac{1}{(kA)_{V,eff}} \right) \right]^{-1} \quad (2)$$

mit den Enthalpiekoeffizienten (G_V, A_V, C_V) und auf die Verschiebung des Schnittpunktes mit der Achse bzw. den Verlustparameter

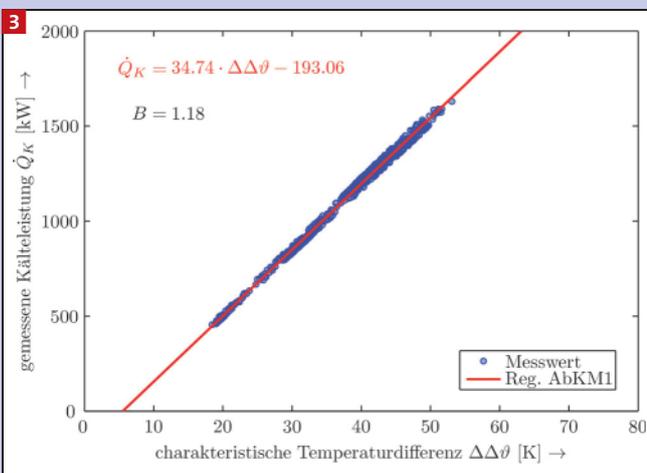
$$\Delta\Delta\vartheta_{min,V} = \left(\frac{\dot{Q}_{G,x}}{(kA)_{G,eff}} + \frac{\dot{Q}_{A,x}}{(kA)_{A,eff}} \right) \quad (3)$$

der charakteristischen Geraden (vgl. mit [1, 8]). Für die zwei untersuchten baugleichen Absorptionskältemaschinen wurden die in Tab. 2 aufgeführten externen Volumenströme auf der Kalt-, Kühl- und Heißwasserseite gemessen (Abb. 2). Weiterhin wird zunächst angenommen, dass die internen Verhältnisse bei beiden Maschinen identisch sind (z. B. Kältemittelfüllmenge, Drücke, Konzentrationen). Dabei ist zu erkennen, dass der Betrieb von AbKM2 mit geringeren Volumenströmen als bei AbKM1 erfolgte. Aus diesem Grund verläuft die charakteristische Gerade der AbKM2 flacher, als die der AbKM1 (Abb. 3 und 4). Mittels linearer Regression der vorhandenen Messdaten können die folgenden Geradengleichungen

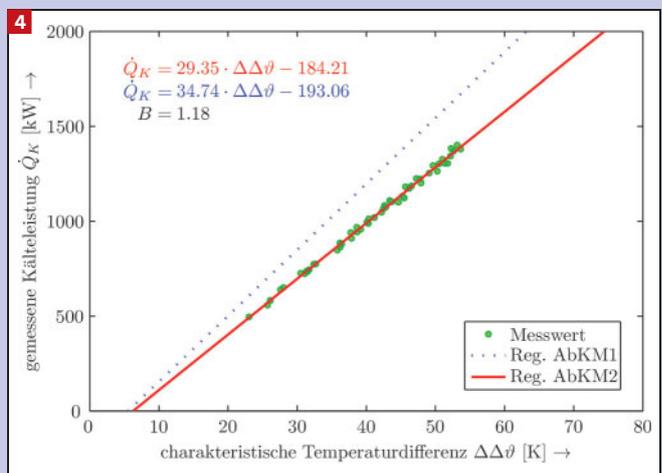
$$\dot{Q}_{K1} = 34,74 \cdot \Delta\Delta\vartheta - 193,06 \quad (4)$$

$$\dot{Q}_{K2} = 29,35 \cdot \Delta\Delta\vartheta - 184,21 \quad (5)$$

für die beiden Absorptionskältemaschinen berechnet werden. Daraus lassen sich nun die in Tab. 3 aufgetragenen charakteristischen Parameter (Anstieg, Verschiebung) herleiten (vgl. mit [1]). Im Anschluss daran erfolgt nach der in [1] vorgestellten Metho-



3 AbKM1, lineare Regression, gemessene Kälteleistung als Funktion der charakteristischen Temperaturdifferenz



4 AbKM2, lineare Regression, gemessene Kälteleistung als Funktion der charakteristischen Temperaturdifferenz

\dot{V}_j	Einheit	Verdampfer	Kondensator	Absorber	Generator
j		K	RK,C	RK,A	H
Auslegung	[m ³ /h]	194,4	386,7	386,7	118,8
AbKM1	[m ³ /h]	190...196	388...402	388...402	105...135
rel. Abweichung zur Auslegung	[%]	97,7...100,8	100,3...104,0	100,3...104,0	88,4...113,6
AbKM2	[m ³ /h]	180...190	372...386	372...386	75...105
rel. Abweichung zur Auslegung	[%]	92,6...97,7	96,2...99,8	96,2...99,8	63,1...88,4

Tabelle 2: Gemessene externe Volumenströme der baugleichen H₂O-LiBr-AbKM der Firma Carrier

	s_v [kW/K]	$\Delta\Delta\vartheta_{\min,v}$ [K]
AbKM1	34,74	-5,56
AbKM2	29,35	-6,28

Tabelle 3: Berechnete charakteristische Parameter der baugleichen H₂O-LiBr-AbKM der Firma Carrier

de die Berechnung der effektiv wirkenden Wärmeübertragungsvermögen. Die Enthalpiekoeffizienten können dabei mit $G_v = 1,04$, $A_v = 1,00$, und $C_v = 1,07$ (vgl. mit [7, 8]) angenommen werden. Bei einem COP von 0,65 betragen die Verlustleistungen $\dot{Q}_{G,x}$ und $\dot{Q}_{A,x}$ maximal 630kW, wobei $\dot{Q}_{G,x} \approx -\dot{Q}_{A,x}$ gilt. In Tab. 4 sind die

$(ka)_{i,eff}$	Einheit	Verdampfer	Kondensator	Absorber	Generator
i		V	C	A	G
AbKM1	[kW/K]	266,9	188,8	239,9	77,0
AbKM2	[kW/K]	222,0	157,1	197,0	66,5
$\frac{AbKM2}{AbKM1}$	[-]	0,8317	0,8321	0,8212	0,8636
$\Delta(ka)_{i,eff}$	[kW/K]	44,9	31,7	42,9	10,5

Tabelle 4: Berechnete effektive Wärmeübertragungsvermögen der baugleichen H₂O-LiBr-AbKM der Firma Carrier

Abkürzungsverzeichnis

lateinische Buchstaben

Symbol	Beschreibung	Einheit
A	(wärmeübertragende) Fläche	[m ²]
A_v	Enthalpiekoeffizient für den Absorber	[-]
B	Dürring-Faktor	[-]
C_v	Enthalpiekoeffizient für den Kondensator	[-]
G_v	Enthalpiekoeffizient für den Generator	[-]
k	Wärmedurchgangskoeffizient	[W/(m ² K)]
ka	Wärmeübertragungsvermögen	[kW/K]
\dot{Q}	Wärmeleistung	[kW]
s_v	Steigungsparameter der charakteristischen Gleichung	[kW/K]
\dot{V}	Volumenstrom	[m ³ /h]

griechische Buchstaben

Symbol	Beschreibung	Einheit
$\Delta\Delta\vartheta$	charakteristische Temperaturdifferenz	[K]
$\Delta\Delta\vartheta_{\min,v}$	Verlustparameter der charakteristischen Gleichung	[K]
ξ_m	mittlerer Massenanteil	[-]

Ergebnisse für die jeweiligen vier Hauptwärmeübertrager Verdampfer, Absorber, Kondensator und Generator zusammengefasst. Wegen des Betriebes von AbKM2 mit niedrigeren externen Volumenströmen sind hier die Apparate-Kennwerte $(ka)_{i,eff}$ ($i = V, A, C, G$) kleiner als bei AbKM1. Das bedeutet, dass mit der geringeren Wärmeübertragung von AbKM2 eine höhere charakteristische Temperaturdifferenz benötigt wird, um das Leistungsniveau der AbKM1 zu erreichen. Im konkreten Fall müsste man die AbKM2 mit einem $\Delta\Delta\vartheta_2 = 67,61K$ betreiben, damit die Kälteleistung analog der AbKM1 auf $\dot{Q}_k = 1800kW$ bei $\Delta\Delta\vartheta_1 = 57,37K$ steigt.

3 Zusammenfassung

Die in [8] bereits vorgestellten Auswirkungen der externen Volumenstromänderung können mit dieser Analyse bestätigt werden. Für den Betrieb von zwei baugleichen AbKM ergeben sich bei unterschiedlichen Volumenströmen auch unterschiedliche charakteristische Geraden (Regressionsgeraden) und damit einhergehend entsprechend andere charakteristische Parameter. Diese Anwendung zeigt, dass eine Verringerung der externen Volumenströme geringere effektive Wärmeübertragungsvermögen $((ka)_{i,eff})$ der jeweiligen Hauptwärmeübertrager nach sich zieht. Trotz der getroffenen Aussagen besteht jedoch eine gewisse Unsicherheit bezüglich eventuell unterschiedlicher Konzentrationen (mittlerer Massenanteil ξ_m) des verwendeten Arbeitsstoffpaares der beiden AbKM, welche die Berücksichtigung verschiedener Dürring-Faktoren (B) notwendig machen würde. Die gezeigte Methode kann man zum Monitoring einsetzen, um die Leistungsfähigkeit der Kältemaschinen zu überwachen. In der Praxis existieren viele Probleme (Eindringen von Ga-

Abkürzungen und Indizes

Symbol	Beschreibung
A	Absorber
AbKM	Absorptionskältemaschine
C	Kondensator
COP	coefficient of performance
eff	effektiv
G	Generator
H	Heißwasserseite
K	Kaltwasserseite
RK	Kühlwasserseite
V	Verdampfer
x	Unterscheidungsmerkmal von $i = A, G$

sen bzw. Verlust des Vakuums, Verschmutzung der Wärmeübertrager – insbesondere auf der Kühlwasserseite, schlechte Hydraulik, ungünstige Betriebsituationen – Rückkühlbedingungen), die darüber indentifiziert werden können.

Danksagung

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Arbeit unter dem Kennzeichen 0327357B/C gefördert. Besonderer Dank gilt auch dem Projektträger Jülich für die Unterstützung des Vorhabens. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

Literatur

- [1] Neumann, F. et al.: Parameterbestimmung mit der charakteristischen Gleichung. *Kl Kälte – Luft – Klimatechnik* 46 (2010) 11, S. 18 – 21
- [2] Urbaneck, T.: *Internetseite zum Projektvorhaben. 2005-2010*
http://www-user.tu-chemnitz.de/~tur/ks2/pilotpr_ks.htm – TU Chemnitz, Stadtwerke Chemnitz AG
- [3] Urbaneck, T.; Barthel, U.; Uhlig, U.; Göschel, T.: Fernkältesystem Chemnitz, Analyse des Systembetriebs (Teil 1). *Klima Kälte Aktuell*. 28 (2009) 4. Gütersloh: Bauverlag BV, 2009,
- [4] Urbaneck, T.; Barthel, U.; Uhlig, U.; Göschel, T.: Fernkältesystem Chemnitz, Analyse des Systembetriebs (Teil 2). In: *Klima Kälte Aktuell*. 28 (2009) 5, S. 38–42. Gütersloh: Bauverlag BV
- [5] Urbaneck, T. et al.: Technische Universität Chemnitz, Fakultät Maschinenbau, Professur Technische Thermodynamik (Hrsg.); Stadtwerke Chemnitz AG (Hrsg.): *Pilotprojekt zur Optimierung von großen Versorgungssystemen auf Basis der Kraft-Wärme-Kälte-Kopplung mittels Kältespeicherung*. Forschungsbericht. (2010)
- [6] Dühning, E.: *Neue Grundgesetze zur rationellen Physik und Chemie*. Leipzig: Fues's Verlag, 1878
- [7] Ziegler, F.: Sorptionswärmepumpen: Beschreibung des Betriebsverhaltens durch eine charakteristische Gleichung. In: Staudt, R. (Hrsg.): *Technische Sorptionsprozesse*. Fortschritt-Berichte VDI, Reihe 3, Verfahrenstechnik, Nr. 554. Düsseldorf: VDI Verlag, (1998) S. 259–279
- [8] Ziegler, F.; Albers, J.: Einfluss variabler Volumenströme auf charakteristische Gleichungen für Absorptionskälteanlagen. In: *Kl Kälte Luft Klimatechnik* 45 (2009), S. 18–22