



Dipl.-Ing. Kay Krusche,
Cetetherm Wärmetauscher-
systeme GmbH, Hamburg.



Dr.-Ing. Josef Osthues,
Ernst Flitsch GmbH + Co.,
Fellbach.

In der Kältetechnik kommt eine Vielzahl von Wärmeaustauscherbauarten zum Einsatz. Bedingt durch die hohe spezifische Wärmeübertragungsleistung und die hermetische Bauart setzt man in zunehmendem Maße gelötete Plattenwärmeaustauscher als Verdampfer, Kondensator, Enthitzer, Unterkühler, Zwischenkühler oder inneren Wärmeaustauscher ein. Eine Voraussetzung für den effektiven Einsatz der hier behandelten gelöteten Plattenwärmeaustauscher ist, daß beide an der Wärmeübertragung beteiligten Medien eine hohe Dichte haben. Dieses sind z. B. verdampfende bzw. kondensierende Kältemittel, Wasser, Solen, Glykole, Öle oder Gase unter Überdruck (Heißgas, Druckluft). Der Einsatz des Plattenwärmeaustauschers als Verdampfer bringt einige Besonderheiten mit sich.

Verhalten von Plattenverdampfer, Kältemittelverteiler und Expansionsventil im Kältemittelkreislauf

Kay Krusche, Hamburg, Josef Osthues, Fellbach

Der Plattenverdampfer besteht aus einer Mehrzahl paralleler Kanäle, auf die das zweiphasige Kältemittel, das dem Verdampfer vom Expansionsventil zugeführt wird, gleichmäßig verteilt werden muß. Untersuchungen führten zu einer Systemlösung, die den gesamten Regelkreis Expansionsventil/Kältemittelverteiler/Plattenverdampfer beinhaltet.

Plattenwärmeaustauscher als Verdampfer in einer Kälteanlage

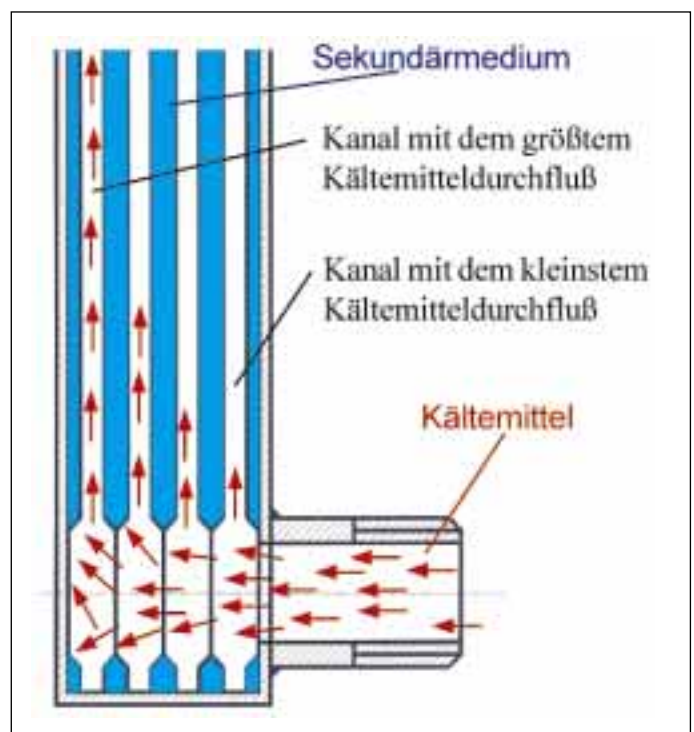
Bei der Auswahl von Verdampfern zur Kühlung der o. g. Medien gewinnt der Plattenwärmeaustauscher zunehmend an Bedeutung. Die wichtigsten Gründe dafür sind:

- hermetische Bauweise zur Vermeidung von Kältemittelverlusten,

- kompakte Bauweise zur Minimierung des Platzbedarfes,
- hohe Wärmeübertragungsleistung,
- geringes kältemittelseitiges Volumen zur Reduzierung der Kältemittelfüllmenge,
- geringe Druckdifferenzen auf der Wärmeträgerseite (wasserseitig) des Verdampfers zur Sicherstellung einer wirtschaftlichen Betriebsweise,
- günstiges Preis-/Leistungsverhältnis.

Sehr häufig ist der Verdampfer einer Kälteanlage das Bauteil, welches die Effizienz der gesamten Anlage bestimmt. Aus diesem Grund kann eine zufriedenstellende Betriebsweise nur durch richtige Auswahl der passenden Verdampferbauart und -größe erreicht werden. Wird in einer Kälteanlage die Verdampfungstemperatur z. B. nur um

Abb. 1 Darstellung der Kältemittelverteilung auf die einzelnen Kanäle bei Plattenverdampfern mit kleiner Plattenanzahl ohne Kältemittelverteiler.



1 bzw. 2 K angehoben, so verbessert sich die Leistungszahl (COP) je nach Betriebsbedingungen zwischen 2 % und 7 %. Dieses Beispiel zeigt deutlich den Einfluß der Verdampfungstemperatur auf die Effizienz der gesamten Kälteanlage.

Aufgrund eines Temperaturgefälles vom Wärmeträger zur Temperatur des verdampfenden Kältemittels wird das Kältemittel vollständig verdampft und zusätzlich geringfügig überhitzt, d. h. am Austritt des Verdampfers befinden sich keine Flüssigkeitstropfen mehr im Kältemittel.

Zur Gewährleistung einer ausreichenden Kältemittelüberhitzung arbeitet der Verdampfer nach dem Gegenstromprinzip.

Funktionsprinzip eines thermostatischen Expansionsventils

Thermostatische Expansionsventile haben zur Aufgabe, die Überhitzung des Kältemittels am Verdampferaustritt zu regeln. Dazu wird vom Expansionsventil die Temperatur und der Druck des Kältemittels am Verdampferausgang (Expansionsventil mit äußerem Druckausgleich) ermittelt. Aus diesen Meßgrößen resultiert eine Stellgröße für den freien Öffnungsquerschnitt des Expansionsventils.

Eine ansteigende Kältemittelüberhitzung am Verdampferausgang hat einen zunehmenden Kältemitteldurchfluß zur Folge, eine kleinere Überhitzung verursacht einen reduzierten Kältemitteldurchfluß. Somit wird dem Verdampfer immer nur so viel Kältemittel zugeführt, wie auch verdampft werden kann. Um seiner Aufgabe gerecht zu werden, benötigt das Expansionsventil ein stabiles Temperatursignal (siehe MSS) am Kältemittelaustritt des Verdampfers.

In Verbindung mit Plattenverdampfern und Kältemittelverteilern ist zu beachten, daß nur thermostatische Expansionsventile mit äußerem Druckausgleich eingesetzt werden dürfen. Äußerer Druckausgleich bedeutet, daß der Druck des Kältemittels nach dem Verdampfer gemessen wird. Expansionsventile mit innerem Druckausgleich arbeiten mit dem Kältemittel-druck am Verdampfereintritt.

Kältemittelverteilung in einem Plattenverdampfer

Zur optimalen Verdampferleistung ist eine gleichmäßige Kältemittelverteilung auf die vorhandenen Kanäle not-

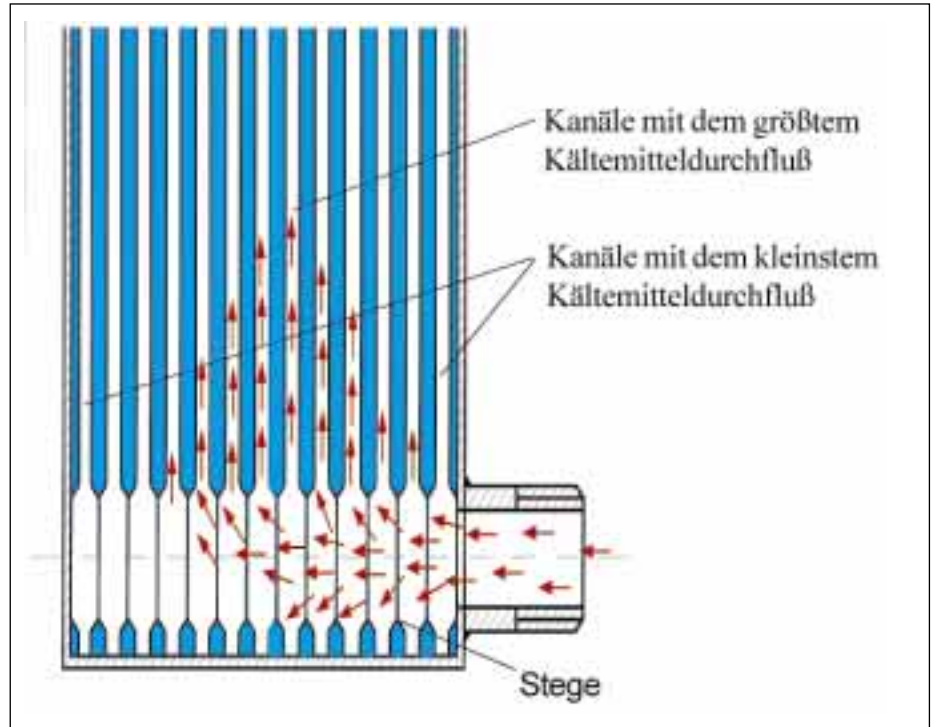


Abb. 2 Darstellung der Kältemittelverteilung auf die einzelnen Kanäle bei Plattenverdampfern mit großer Plattenanzahl ohne Kältemittelverteiler.

wendig. Abb. 1 und 2 zeigen die Problematik der Kältemittelverteilung bei unterschiedlichen Bautiefen der Plattenverdampfer. Dem Plattenverdampfer wird das Kältemittel vom Expansionsventil kommend als Gemisch aus Flüssigkeits- und Dampfanteilen mit relativ hoher Geschwindigkeit zugeführt. Bei Plattenverdampfern mit kleiner Plattenanzahl (Abb. 1) erfolgt, bedingt durch die hohe kinetische Energie der Flüssigkeitsanteile, eine Überversorgung des letzten Kanals mit flüssigem Kältemittel. Bei Plattenverdampfern mit großer Plattenanzahl (Abb. 2) wird der als Freistrahle eintretende Kältemittel-massenstrom an den scharfkantigen Stegen der einzelnen Platten abgeschält. Eine Überversorgung mit Kältemittel tritt nach ca. 20 bis 30 Platten auf. Insbesondere ist ein Transport des flüssigen Kältemittels zu den hinteren Kanälen nicht gewährleistet.

Der Kanal mit dem größten Kältemitteldurchfluß bestimmt das Regelverhalten des Expansionsventils, d. h. nur dieser Kanal wird thermostatisch geregelt. Die restlichen Kanäle sind aufgrund einer zu geringen Kältemittelmenge leistungsmäßig nicht voll ausgenutzt.

Nur durch Einsatz eines speziellen Kältemittelverteilers kann eine gleichmäßige Beaufschlagung der vorhan-

denen Kanäle erreicht werden, so daß die maximal mögliche Kälteleistung zur Verfügung steht.

Der zweistufige Kältemittelverteiler ist so konstruiert, daß das Kältemittel durch ein Sintermetall in den Verdampfer gelangt. Die Porengröße des Sintermetalls ist größer als die Filterfeinheit herkömmlicher Filtertrockner gewählt. Ein Verstopfen ist somit ausgeschlossen. Die Aufgabe des Sintermetalls besteht darin, die hohe kinetische Energie in Einströmrichtung zu vermindern. Im Verteilerrohr selbst (Abb. 3) erfolgt eine weitgehende Trennung in Dampf- und Flüssigkeitsphase. Je eine Bohrungsreihe für die Gas- und die Flüssigphase verteilt das Kältemittel auf die einzelnen parallelen Kanäle. Umfangreiche Untersuchungen haben gezeigt, daß die besten Ergebnisse bei separaten Drosselbohrungen für den Flüssig- und Dampfanteil erzielt werden. Es ergeben sich je nach Applikation in der Regel kleine Bohrungen. Da der Kältemittelverteiler erst im Anschluß an den Lötvorgang eingesetzt wird, besteht nicht die Gefahr, daß sich die Bohrungen durch Kapillarwirkung mit Lot zusetzen. Durch die Wahl eines glatten Verteilerrohres ist es problemlos möglich auch Plattenverdampfer mit großer Plattenanzahl gleichmäßig mit Kältemittel zu ver-

sorgen. Ein Abschälen des Freistrahls oder eine Überversorgung des letzten Kältemittelkanals werden durch diese zweistufige Verteilung ausgeschlossen.

Dadurch kann der Verdampfer mit einer geringeren Überhitzung stabil betrieben werden (siehe MSS). Die Folgen sind eine höhere Kälteleistung und ein stabileres Regelverhalten des gesamten Verdampfersystems.

Einfluß des Kältemittelverteilers auf die MSS – Kennlinie des Plattenverdampfers

Werden Verdampfer mit geringen Überhitzungen betrieben, besteht die Gefahr eines instabilen Überhitzungssignales. Sobald die Kältemittelüberhitzung vergrößert wird, stellt sich wieder eine stabile Überhitzung ein. Der Punkt, wo sich die Überhitzung vom stabilen zum instabilen Zustand ändert, wird allgemein als **Minimal Stabiles Signal (MSS)** bezeichnet.

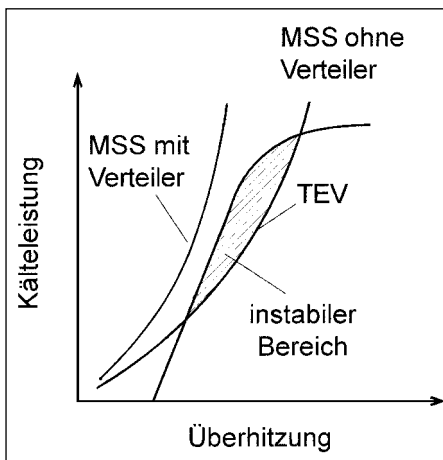


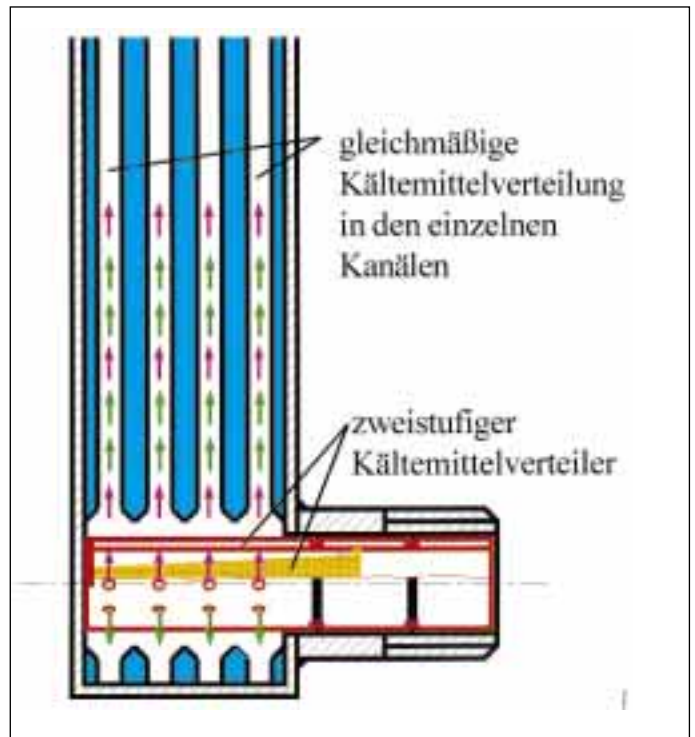
Abb. 4 MSS-Kennlinie eines Plattenverdampfers mit und ohne Kältemittelverteiler.

Mit einer Änderung der Anlagenbedingungen, z. B. der Kälteleistung, ändert sich auch der MSS-Punkt. Die MSS-Linie von Plattenverdampfern befindet sich auf einem relativ hohen Überhitzungsniveau, falls keine besonderen Maßnahmen zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Kältemittelverteilung getroffen werden.

Da das CETETHERM-Verdampfersystem Cetevap einen speziell entwickelten Kältemittelverteiler beinhaltet, kann der Verdampfer mit geringerer Überhitzung stabil betrieben werden. Die Absenkung der minimal erforderlichen Überhitzung ist auf eine gleichmäßige Überhitzung in den einzelnen Kältemittelkanälen zurückzuführen.

In Abb. 4 sind in beispielhafter Form die MSS-Kennlinien eines Verdampfers mit und ohne Kältemittelverteiler dargestellt.

Abb. 3 Zweistufiger Kältemittelverteiler für Plattenverdampfer.



z. B. der Kälteleistung, ändert sich auch der MSS-Punkt.

Die MSS-Linie von Plattenverdampfern befindet sich auf einem relativ hohen Überhitzungsniveau, falls keine besonderen Maßnahmen zur Sicherstellung einer gleichmäßigen Kältemittelverteilung getroffen werden.

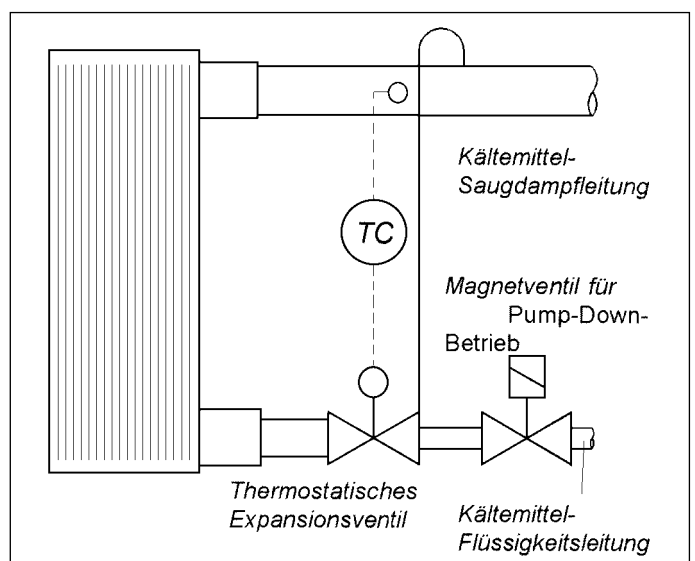
Überhitzungsregelung eines Plattenverdampfers mit einem thermostatischen Expansionsventil

Umfangreiche Untersuchungen am Regelkreis „Expansionsventil/Kältemittelverteiler/Plattenverdampfer“ haben gezeigt, daß das Zeitverhalten der gewählten Thermofüllung des Expansionsventils einen entscheidenden Einfluß auf die Regelgüte hat.

Abb. 5 Schematische Anordnung des thermostatischen Expansionsventils mit äußerem Druckausgleich.

In Verdampfern kleinerer Leistung werden aus diesem Grund Flica-Expansionsventile mit den Kombi-Adsorberfüllungen eingesetzt, die in ihrem Zeitverhalten angepaßt sind. Im Bereich großer Leistung werden Ventile mit gedämpften Gasfüllungen eingesetzt. Bei der Auslegung der Expansionsventile muß der Strömungsdruckverlust des Kältemittelverteilers berücksichtigt werden. Die Betriebsbedingung des Verdampfers, das Kältemittel und der Druckverlust des Verteilers bestimmen

Die Betriebsbedingung des Verdampfers, das Kältemittel und der Druckverlust des Verteilers bestimmen



die Auswahl der Expansionsventile. Bei Einsatz eines Kältemittelverteilers müssen grundsätzlich Expansionsventile mit äußerem Druckausgleich (Abb. 5) eingesetzt werden.

Die Überhitzungseinstellung der eingesetzten Expansionsventile ist so gewählt, daß die Plattenverdampfer in Verbindung mit dem Kältemittelverteiler mit stabiler Überhitzung betrieben werden. Abb. 4 zeigt schematisch, daß bei dieser Überhitzungseinstellung ein Plattenverdampfer ohne Kältemittelverteiler nicht in allen Betriebspunkten stabil betrieben werden könnte.

Einfluß der Kältemittelverteilung auf das Leistungsverhalten eines Plattenverdampfers

Abb. 6 zeigt exemplarisch die Steigerung der relativen Kälteleistungen eines Cetepac 415–60 (Höhe 526 mm, Breite 111 mm, 60 Platten) mit Kältemittelverteiler gegenüber dem Betrieb ohne Kältemittelverteiler. Die dargestellten Messungen wurden mit R 22

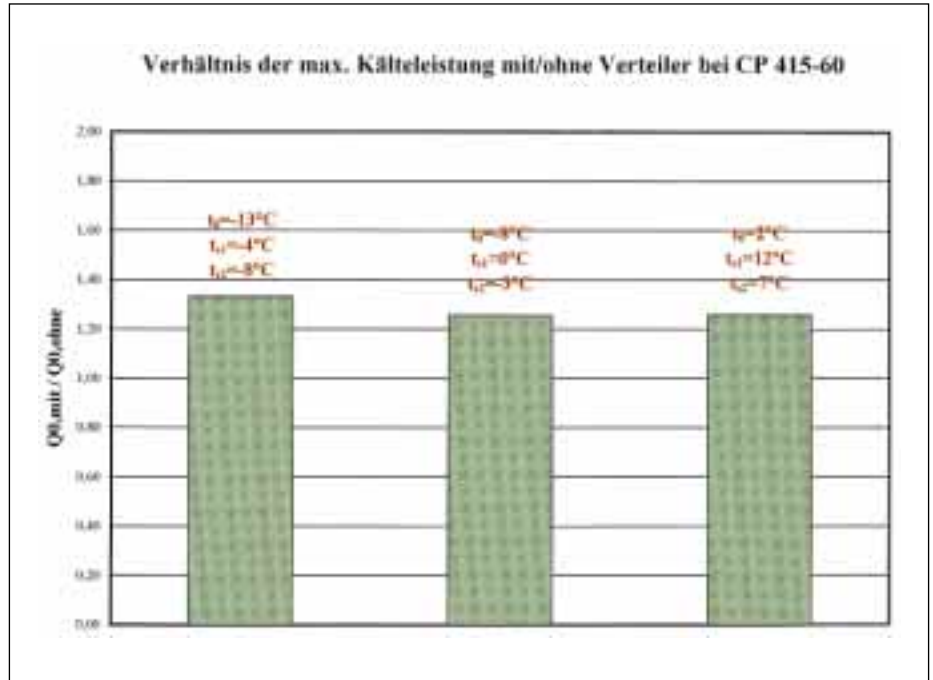


Abb. 6 Leistungssteigerung durch das Cetetherm-Verdampfersystem Cetevap mit Cetepac 415–60 und Flica-Expansionsventil.

und Wasser/Antifrogen N-Mischung durchgeführt. Bei dem Vergleich wurden die Verdampfungstemperatur und die Soleein- und -austrittstemperaturen auf konstante Werte eingestellt. Durchgeführt wurden die Messungen in dem neutralen Prüfinstitut Steinbeis-Transferzentrum „Kälte- Klimatechnik“ in Karlsruhe.

Zusammenfassung

Durch Einbau von geeigneten Kältemittelverteilern und den Einsatz geeigneter Expansionsventile können Plattenverdampfer mit geringerer Kältemittel-

telüberhitzung stabil betrieben werden. Dieser Effekt führt grundsätzlich in Verbindung mit einer guten Auslastung des Plattenverdampfers zu einer Steigerung der Verdampferleistung, bzw. für den praktischen Einsatz bedeutet dieses Verhalten eine Anhebung der Verdampfungstemperatur und damit eine Erhöhung der Anlageneffizienz. In welchem Maße sich der Kältemittelverteiler auf das Verhalten der Kälteanlage auswirkt, muß unter Berücksichtigung der Betriebsbedingungen und der Plattenverdampferbaugröße beurteilt werden.

Durch die dargestellte Systemlösung Plattenverdampfer/Kältemittelverteiler/ Expansionsventil stehen dem Anwender aufeinander abgestimmte Komponenten zur Verfügung.

Die Autoren danken dem Leiter des Steinbeis-Transferzentrums „Kälte- Klimatechnik“ in Karlsruhe, Herrn Prof. Dr.-Ing. J. Reichelt, und seinen Mitarbeitern für die Unterstützung.

Literaturverzeichnis

- [1] Handbuch Kälteanlagen System Cetevap
- [2] Diverse Prüfberichte des Steinbeis-Transferzentrum „Kälte- Klimatechnik“, Karlsruhe Bearbeiter: Bernd Zeitvogel.

Dr. h. c. und 65. Geburtstag: Herzlicher Glückwunsch, Herr Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse

Es besteht erfreulicherweise doppelter Anlaß, Herrn Prof. Dr. Ing. Horst Kruse, Leiter des Institutes für Kältetechnik (IKW) an der Universität Hannover, jetzt zu gratulieren: Am 22. April 1997 wurde Professor Kruse (zeitgleich mit zwei weiteren Wissenschaftlern sowie König Albert II. von Belgien) die Ehrendoktorwürde der belgischen Universität Faculté Polytechnique de Mons verliehen, nur wenige Tage später, am 1. Mai 1997, konnte Professor Kruse auch ein Jubiläum im privaten Kreis der Familie feiern, nämlich seinen 65. Geburtstag. In Würdigung beider Anlässe: Auch von der Gentner-Verlagsleitung sowie von der Redaktion der KK, zu deren Redaktionsbeirat Herr Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse zählt, ein herzlicher Glückwunsch an dieser Stelle. Ist hiermit nun alles vorbei? Wer Prof. Kruse ein wenig näher kennt, braucht nicht zu orakeln, sondern wird sagen: Mitnichten! Wobei die hier gewählte Frage- und Antwortformulierung gemeinhin auf die Erwartung abzielt, daß spätestens mit Erreichen des 65. Lebensjahres das reguläre Berufsleben zugleich seinen Abschluß findet und der sogenannte „wohlverdiente Ruhestand“ für den Geburtstagsjubililar beginnt. Dies trifft auf Prof. Kruse so gewiß nicht zu, allenfalls ist hiervon „nur“

seine Hochschullehrtätigkeit an der Universität Hannover betroffen, wo er bis zum Semesterende (September 1997) den Kältebereich des Institutes für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik (IKW)



Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse, Leiter des Institutes für Kältetechnik (IKW) der Universität Hannover, beging am 1. Mai 1997 seinen 65. Geburtstag. Herzlichen Glückwunsch!

selbstverantwortlich leitet. Um so mehr wird er sich dann verstärkt für die Erfüllung von Forschungs- und

Entwicklungsaufgaben einsetzen können, wie sie jetzt schon durch das Forschungszentrum für Kältetechnik und Wärmepumpen GmbH (FKW) in Hannover und das Forschungszentrum für Kälte- und Umwelttechnik GmbH (FKU) in Berlin, deren geschäftsführender Gesellschafter Prof. Kruse ist, wahrgenommen werden. Hierüber wird in Kürze noch ausführlicher zu berichten sein.

Professor Dr.-Ing. Horst Kruse ist seit 1969 Professor für Kältetechnik und Wärmepumpen und in dieser Funktion an der Universität Hannover tätig. Zu damaliger Zeit wurde der Bereich „Kältetechnik“ in Forschung und Lehre in der Abteilung Maschinenbau der Universität Hannover neu gegründet. Dies veranlaßte Prof. Kruse, neben seiner Lehrtätigkeit sukzessive ein universitäres Forschungsinstitut für Kältetechnik und Wärmepumpen mit dem Hauptschwerpunkt Kältetechnik und Wärmepumpensysteme, Verdichter und Arbeitsflüssigkeiten, insbesondere Kältemittelgemische, an der Universität Hannover aufzubauen. Dies wurde dann schließlich mit Wirkung vom 1. Oktober 1984 in den Fachbereich Maschinenbau der Universität Hannover als Abteilung „Käl-

tetechnik“ des nunmehr eigenständigen Institutes für Kältetechnik und Angewandte Wärmetechnik (IKW) eingegliedert. Ab diesem Zeitpunkt waren sodann in der Abteilung Kältetechnik des IKW unter der Leitung von Prof. Kruse im Mittel 9 wissenschaftliche Mitarbeiter und 3 Mitarbeiter im technischen und Verwaltungsdienst tätig. Die gegenwärtig einzige originäre Forschungs- und Lehrinrichtung auf dem Gebiet der Kältetechnik sollen nach dem Willen des Fach-Dekanats Maschinenbau und politischer Vorgabe durch die Landesregierung Niedersachsen als selbständige universitäre Einrichtung aufgelöst werden und in ein neu zu bildendes Energie-Institut einfließen. Formal geschieht dies allerdings erst im Jahr 2001 mit Beendigung der Lehrtätigkeit von Prof. Dr.-Ing. M. Gietzelt an der Universität Hannover und damit auch nach Auflösung der Abteilung Angewandte Wärmetechnik innerhalb des IKW.

Es sprengt etwas den Rahmen der Geburtstags-Grußadresse in dieser KK, alle Etappen und Verdienste des wissenschaftlichen Wirkens von Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse im einzelnen zu benennen, die Fachwelt weiß dies sicherlich ohnedies ihrerseits zu würdigen. Herausgegriffen sei jedoch, daß Prof. Kruse nicht nur in Deutschland als führender Wissenschaftler auf dem Lehrgebiet der Kältetechnik auf sich aufmerksam machte (u. a. bekleidete er auch das Amt des Dekans des Fachbereiches Maschinenbau für drei Jahre 1980–1983 an der Universität Hannover), auch weltweit gehört er heute noch zu den führenden Wissenschaftlern auf dem Gebiet der Kältetechnik.

Wenn im Mitgliederkreis des DKV, des Deutschen Kälte- und Klimatechnischen Vereins, dessen Vorsitzender Professor Kruse u. a. von 1988 bis 1992 war, gesagt wird, die

„Kältetechnik“ in Deutschland sei eine einzige Familie, so kommen in diesem Zusammenhang einige bekannte „Familien-Mitglieder“ direkt aus der wissenschaftlichen Schmiede IKW in Hannover. So dissertierte z. B. der gegenwärtige DKV-Vorsitzende, Dr.-Ing. Rainer Jakobs, 1980 mit der wissenschaftlichen Arbeit „Die Verwendung von nichtazeotropen Zweistoff-Kältemitteln in Wärmepumpen“ und sein gegenwärtiger Stellvertreter, Dr.-Ing. Harald Kaiser, 1984 mit dem Thema „System- und Verlustanalyse von Kältemittelverdichtern unterschiedlicher Bauart“. Weitere in der Branche bekannte „Hannover-Absolventen“ sind Prof. Dr.-Ing. Holdack-Janssen (Spezialist für Pkw-Klimaanlagen und jetzt Fachhochschullehrer in Wolfenbüttel), Dr.-Ing. Ullrich Quast und Dr.-Ing. Heinz Jürgensen (beide jetzt für die AEG-Haushaltskühlgeräte-Entwicklung tätig), Dr.-Ing. Ullrich Hesse (heute als Senior Associate im Spauschus-Entwicklungsinstitut in der Nähe von Atlanta tätig, vormals Technischer Leiter des FKW), Dr.-Ing. Michael Kauffeld (heute Wissenschaftler am DTI in Århus), Dr.-Ing. Frank Rinne (heute Kühlmöbel-Entwicklung bei Linde), Dr.-Ing. Michael Arnemann (heute Technischer Leiter des FKU) und jüngst Dr.-Ing. Manfred Burke (jetzt Technischer Leiter des FKW); nun die Namensliste von bekannten DKV-Mitgliedern ließe sich wohl noch fortsetzen, insgesamt haben in Hannover unter dem Doktorvater Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse 23 Kältetechniker seit 1975 promoviert. Auch unter Mitwirkung dieser hier genannten zeitweiligen wissenschaftlichen Mitarbeiter-tätigkeit wurden am Institut für Kältetechnik IKW viele wichtige nationale Forschungsvorhaben durchgeführt (Prof. Kruse leitete auch das DKV-Verbundforschungs-

vorhaben der Bundesregierung im Rahmen der forcierten FCKW-Ablösung). Darunter fällt auch die FCKW-Ersatzkältemittel-Eignungsbewertung in sogenannten Altanlagen im Auftrag des Umweltbundesamtes.

Um nur einen Teil der Ehrenämter mit internationaler Reputation zu benennen, so soll erwähnt werden, daß Prof. Kruse seit 1976 Mitglied des Beratenden Komitees für die Internationale Kompressor-Technologie-Konferenz in Purdue ist und ein studentisches Austauschprogramm mit der Purdue-Universität eingerichtet hat. Zur Zeit ist Prof. Kruse Präsident der Kommission B2 (Kältemaschinen) des Internationalen Kälteinstitutes (IIR), Paris, dem 57 Staaten weltweit als Mitglieder angehören. Weiterhin unterhält Prof. Kruse wichtige internationale Kontakte zu ASHRAE in den USA, wo er auch im Gremium für die Kältemittelbewertung („R“-Klassifizierung) tätig ist und Ende Januar auch als ASHRAE-Fellow geehrt wurde. Schließlich ist noch die gegenwärtige Gutachtertätigkeit für die Weltbank zur Bewertung von FCKW- und H-FCKW-Ersatztechnologien bemerkenswert.

Professor Dr.-Ing. Horst Kruse hat während seiner langjährigen wissenschaftlichen Tätigkeit hervorragende Leistungen erbracht und sich in diesem Zusammenhang außergewöhnliche Reputation erworben. Hierauf kann auch die gesamte deutsche Kältetechnik stolz sein. Das weitere Wirken von Prof. Dr.-Ing. Horst Kruse für eben diese „deutsche“ Kältetechnik sollte auch in Zukunft von bemerkenswerten Ergebnissen begleitet sein, hierzu wünscht sicherlich nicht nur die KK dem Geburtstags-Jubililar eine weiterhin erfolgreiche Schaffenskraft und eine gute Gesundheit. P. W.