

Schlüsselwörter: Eisbrei · Kristallisation · Eis-
erzeugung · Wärmeübertrager · Thermo-
platte

Eisbrei ist ein umweltfreundlicher Kälte-träger mit hoher Effizienz. Eisbrei findet bisher Anwendung z.B. in Kühl-lagern, Brauereien, Klimaanlage-nen oder Transportwagen. Als Hemmnis von Eisbrei als Kälte-träger sind derzeit in erster Linie noch die hohen Investitions- und Betriebskosten zu nennen. In diesem Aufsatz werden zwei Projekte zur Ent-wicklung von Eisbrei-Generatoren be-schrieben

Production of pumpable ice

Ice Slurry is an environmentally friendly secondary refrigerant. Ice slurry is so far for example used in cold stores, brew-eries, air conditioning systems or trolleys. A disadvantage is the high investment cost for the ice slurry generator. This paper describes two development pro-jects for new ice slurry generators.

Keywords: ice slurry, crystallisation, ice slurry generation, heat exchanger, thermoplate

Als Vortrag gehalten auf der DKV-Tagung 2009 in Berlin

Autor



**Prof. Dr.-Ing. habil.
Michael Kauffeld,**



**Dipl.-Ing. (FH)
Susanne Frank,**
Institut für Kälte-,
Klima- und Umwelt-
technik (IKKU), Hoch-
schule Karlsruhe –
Technik und Wirtschaft



**Dipl.-Ing.
Hubert de Vries,**
VRITHERM, Leinfelden-
Unterachien

Erzeugung von transport-fähigem Eis

1 Einleitung

Der Kälte-träger Eisbrei (Ice Slurry) ist eine Mischung aus Wasser, kleinen Eispartikeln (0,01 – 0,5 mm) und ggf. einer gefrierpunkts-erniedrigenden Substanz, wie z.B. Ethanol, Glykol oder Salz. Eisbrei ist ein umwelt-freundlicher Kälte-träger der durch die im Phasenübergang Eis-Wasser gespeicherte latente Wärme eine bis zu siebenfach höhe-re Energiedichte (bei gleichem Temperatur-geleit) und einen bis zu 50% höheren Wärme-übergang gegenüber reiner Flüssigkeit aufweist. Durch diese Eigenschaften lassen sich die Rohrdimensionen in der Kälteverteil-ung deutlich verringern und die Pumpen-leistung um den Faktor 8 erniedrigen ge-genüber Anlagen mit flüssigen Wasser-Gly-kol-Gemischen als Kälte-träger.

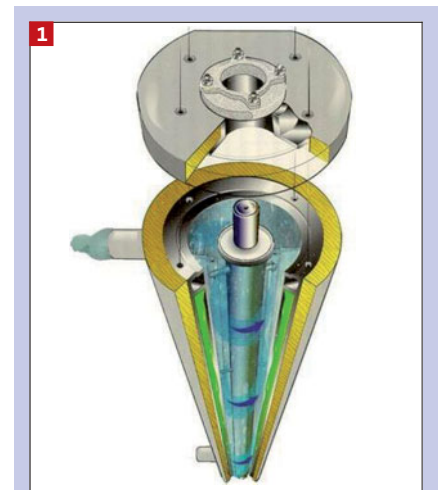
Neben dem Einsatz von Eisbrei als Kälte-träger wird er zur Direktkühlung von Le-bensmitteln eingesetzt, z.B. für fangfrischen Fisch, direkt auf den Fischkuttern, von Ge-müse oder Backlingen, zur Hefekühlung in Brauereien, als Kältespeicher in den Kühl-theken der Supermärkte oder zur Minen-kühlung. Ein weiteres Einsatzgebiet von Eis-brei ist die Speicherung von Kälte zum Ab-bau von elektrischen Spitzenlasten tags-über und Nutzung der tieferen Außentem-peraturen zur Erzeugung der Kälte während der Nachtstunden. Mit Hilfe der o.g. Vorteile des Kälte-trägers Eisbrei kann weiterhin der Einsatz natürlicher Kältemittel weiter an Bedeutung gewinnen. Der Einsatz mancher natürlicher Kältemittel ist aufgrund von Eigenschaften wie Brennbarkeit oder Toxi-zität nur in abgeschlossenen Technikräu-men gewünscht. Die Kälteverteilung kann daher in öffentlichen Gebäuden, wie z.B. Supermärkten nicht direkt mittels des brennbaren oder giftigen Kältemittels er-folgen, es muss ein Kälte-träger in einem Sekundärkreislauf eingesetzt werden. Die Energieübertragung zwischen Kälte-träger und Kältemittel ist verlustbehaftet. Durch den Einsatz von Eisbrei als Kälte-träger mit den o.g. Vorteilen kann der Nachteil durch die Verluste ausgeglichen werden und so-mit können natürliche Kältemittel mehr Einsatzgebiete finden.

Eisbreianlagen werden bisher überwiegend in Japan zur Gebäudeklimatisierung ein-gesetzt, in Kanada im Bereich der Le-bensmittelkühlung und nur vereinzelt in Korea, Südafrika und Europa.

2 Stand der Wissenschaft und Technik

Die im Bereich der Lebensmittelkühlung am häufigsten eingesetzten Eisbreierzeuger sind die Eisbreierzeuger mit schabenden Elementen [1]. Dazu gehören die „Kratzver-dampfer“ (Abb. 1), die „Eisbrei-Erzeuger mit Schleuderstäben“ (Abb. 2) und die „Platten-Eisbreierzeuger mit rotierenden Bürsten“. Dabei wird Wasser/Sole in einem Wärme-übertrager mittels Kältemittel oder Kälte-träger bis zur Kristallisation herunterge-kühlt und die schabenden Elemente tragen die Eiskristalle direkt oder durch die im Was-ser/in der Sole erzeugten Turbulenzen von der Wärmeübertragerfläche ab. Die Haupt-nachteile dieser Art von Eisbreierzeugung sind die hohen Investitionskosten durch die zusätzliche Komponente der Schaber und die hohen Betriebskosten, begründet durch den erhöhten Energieaufwand zur Bewegung des Schabers und den erhöhten Wartungsaufwand durch den Verschleiß der Schaber.

Die „Vakuum-Eis-Methode“, die durch Ab-senkung des Drucks in einem Kreislauf mit Wasser als Kältemittel Eisbrei erzeugt, ist die effizienteste Methode Eisbrei zu er-zeugen [1]. Jedoch hat diese Methode die Nachteile, dass Druckabfälle zum Einen einen sehr hohen Einfluss nehmen, was die Auslegung kritischer und die Kompo-nenten größer macht und aufgrund des großen Volumens des Wasserdampfes bei niedrigeren Temperaturen sind weiterhin die Temperaturen auf die Nähe des Gefrier-



1 Kratzverdampfer (Sunwell) [1]



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!



punkts von Wasser, d.h. 0 °C, begrenzt (Abb. 3).

Die Methode der „Hydro-scraped Eisbrei-Erzeuger“ nutzt den Volumenstrom des Fluids um die Eiskristalle an der Wärmeübertragungsfläche abzutragen [1]. Dazu ist jedoch eine hohe Konzentration von Gefrierpunktsniedrigenden Zusätzen notwendig, weshalb die Eisbrei-Temperatur sehr niedrig wird. Dies ist für viele Anwendungen nicht nutzbar.

Eine weitere Methodengruppe sind die „Direktkontakt Eisbrei-Erzeuger“ (Abb. 4) [1]. Diese Gruppe unterteilt sich in die „Direktkontakt Eisbrei-Erzeuger mit unmischbarem Kältemittel“ und die „Direktkontakt Eisbrei-Erzeuger mit unmischbarem Sekundärkältemittel“. Bei diesen Methoden wird jeweils ein Kältemittel/Kälte-träger direkt mit dem Eisbrei gemischt, um so das Wasser weiter zu unterkühlen

und den Phasenübergang einzuleiten. Dabei besteht jeweils das Problem der Trennung von Kälte-träger und Eisbrei, da immer etwas Kältemittel und damit auch Öl aus den Kältemittelverdichtern in den Eiskristallen eingeschlossen wird, egal wie unmischbar die Kältemittel mit Wasser sind.

Wirbelschicht-Wärmeübertrager werden schon länger für Prozessmedien verwendet, bei denen sich leicht Ablagerungen in den Wärmeübertragern bilden. Durch Klaren wird diese Methode zum ersten Mal zur Eisbrei-Erzeugung genutzt [1]. Diese Methode unterliegt jedoch bisher zu vielen Einschränkungen, vor allem ist eine vertikale Bauart mit einer Mindesthöhe zwingend erforderlich.

Eine weitere energetisch günstige und außerdem die praktikabelste Methode Eisbrei zu erzeugen ist die „Unterkühlungsmethode“ [1]. Diese wurde in Bezug auf Gebäude-

klimatechnik in Japan schon von mehreren Firmen entwickelt. Bei dieser Methode wird reines Wasser mittels eines Sekundärkreislaufs in einem Wärmeübertrager, dem sog. Supercooler auf etwa -2 °C unterkühlt und danach wird im sog. Releaser der Phasenwechsel gezielt eingeleitet. Bei dieser Anordnung ist darauf zu achten, dass der Phasenwechsel nicht vor dem Releaser eintritt, da dieser verfrühte Phasenwechsel zu einer Verblockung der Anlage mit Eispartikeln führt. Da bei unterkühltem Wasser schon eine geringe Störung im System, z.B. ein Eiskeim oder Schmutzpartikel, genügt, um den Phasenwechsel anzuregen, werden Eiskeime im Supercooler peinlichst vermieden. Dazu wird das Wasser vor dem Unterkühler auf 0,5 °C erwärmt, um Eispartikel zu vermeiden und ein Filter zur Vermeidung von Schmutzpartikeln eingebaut.

Die meisten der hier aufgeführten Eisbrei-Erzeugungsverfahren nutzen die sog. heterogene Keimbildung. Die heterogene Keimbildung ist ein Keimbildungsmechanismus, bei dem einem Eiskeim eine fremde Oberfläche zur Verfügung steht um den kritischen Radius, der vor einer stabilen Existenz eines Keims überwunden werden muss, zu reduzieren. Die heterogene Keimbildung ist der sogenannten primären Keimbildung zugeordnet (Abb. 5) der des Weiteren die homogene Keimbildung zugeordnet ist. Bei der homogenen Keimbildung entsteht der Eiskeim direkt aus der reinen Flüssigkeit heraus. Flüssigkeiten für die Eisbrei-Erzeugung sind im Normalfall jedoch nicht rein. Flüssigkeiten werden durch z.B. Kalkpartikel oder andere mit Absicht beigefügte oder unbeabsichtigt vorhandene Zusätze verunreinigt. Daher findet die homogene Keimbildung in der Eisbrei-Erzeugung mit Ausnahme der Unterkühlungsmethode keine Anwendung. Parallel zur primären Keimbildung gibt es die sekundäre Keimbildung. Bei diesem Keimbildungsmechanismus wird die Keimbildung gemäß Nývlt et al. [2] durch arteigene Kristalle, hier Eiskristalle, katalysiert.

3 Problemstellung

Die Eisbrei-Erzeugung ist bisher ineffizient und zu energieintensiv, so dass die deutsche Industrie dem Einsatz von Eisbrei bisher skeptisch gegenübersteht. In Europa waren laut Rivet [3] 2006 in manchen Ländern etwa 5–10 Anlagen im Einsatz. Bis 2009 stieg die Anzahl auf etwa 150 Anlagen in Gesamt Europa an [4]. Dies verdeutlicht, dass Eisbrei als umweltfreundlicher Kälte-träger mit deutlichen energetischen Vorteilen erkannt wird. Der Einsatz von Eisbrei-anlagen ist jedoch aufgrund der oben genannten Nachteile noch immer zögerlich.

2

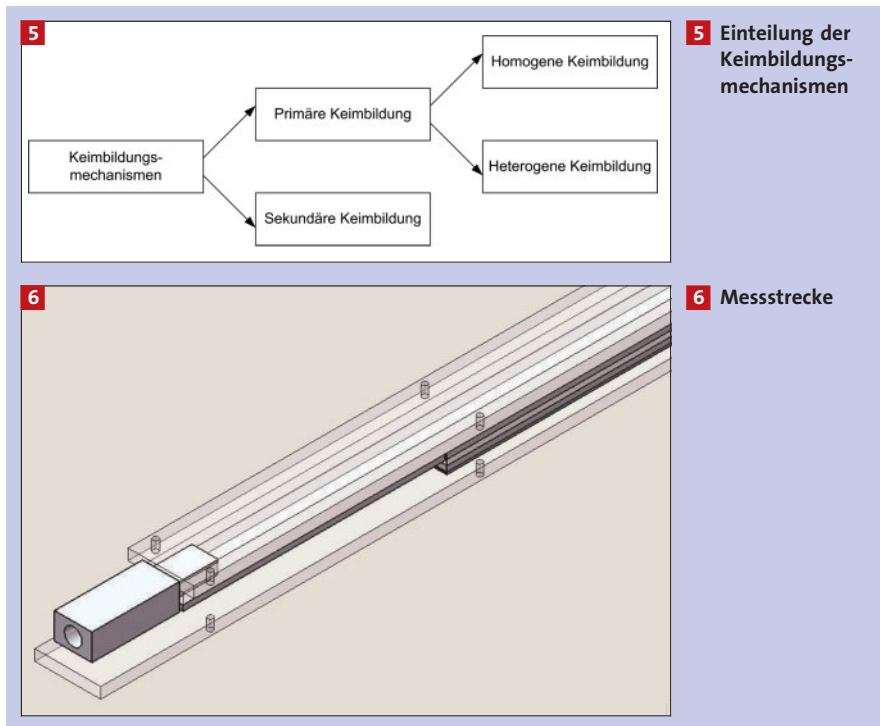
2 Eisbrei-Erzeuger mit Schleuderstäben (Paul Muller Co.) [1]

3

3 Vakuum-Eis-Methode [1]

4

4 Direktkontakt Eisbreigenerator [1]



4 Aktuelle Forschungsvorhaben

Die hier vorgestellten Projekte haben sich zum Ziel gesetzt, neue Eisbreigeneratoren zu entwickeln, die die Nachteile der heutigen Eisbreianlagen reduzieren. Beide vorgestellte Projekte haben das Potenzial die Eisbreierzeugung aufgrund der Reduzierung bewegter Teile in Investition und Betrieb günstiger zu machen und die Zuverlässigkeit zu steigern.

4.1 Entwicklung eines engergetisch optimierten Eisbrei-Generators (3E)

Auf Basis der sekundären Keimbildung wird an der Hochschule Karlsruhe – Technik und Wirtschaft in Kooperation mit dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) und der Firma Vritherm ein Forschungsvorhaben mit dem Ziel der Entwicklung eines zuverlässigen, Investitions- und Betriebskosten optimierten Eisbrei-Generators durchgeführt. Aufgabe der Hochschule Karlsruhe ist hierbei die wissenschaftliche Untersuchung des Kristallisationsverhaltens von Wasser bzw. Wasser-Ethanolgemischen an unterschiedlichen Wärmeübertrageroberflächen. Hierfür wurde die folgende Hypothese aufgestellt: „Es gibt die Möglichkeit mit der passenden Kombination aus Strömungsform, Ethanol- und Eisanteil des Kälte-trägers, Wärmeübertrageroberfläche und Oberflächentemperatur des Wärmeüber-tragers, Kristallwachstum direkt im Kälte-träger ohne Anhaften an der Wärmeüber-trageroberfläche zu erlangen.“

Zur Überprüfung dieser Hypothese wurde ein Prüfstand aufgebaut, der die Ermittlung

der einzelnen Zielgrößen erlaubt. Die Strömungsform wird mittels der Kanalgeometrie und dem Massenstrom errechnet, wobei die Strömung des Eisbreis von laminar bis turbulent regelbar ist. Der Ethanolgehalt im Eisbrei wird mittels einer Dichtemessung bestimmt, für die der Kälte-träger, der auch mit Heat Transfer Fluid (HTF) bezeichnet wird, in reiner Flüssigphase vorliegen muss. Der Eisanteil wird ebenfalls über eine Dichtemessung ermittelt, wobei bei dieser Messung die Gesamtdichte des Eisbreis bestimmt wird. Die Wärmeübertrageroberfläche wird in dem hier vorgestellten Forschungsvorhaben in Material und Oberflächenstruktur variiert. Dafür ist die Messstrecke des Versuchsstandes so konstruiert, dass verschiedene Wärmeübertragerplatten eingesetzt werden können. Die Oberflächenstruktur der einzelnen Wärmeübertragerplatten wird mittels eines Digitalmikroskops näher betrachtet, welches auch eine Messung der Rautiefe zulässt. Die Oberflächentemperatur des Wärmeübertragers wird mittels eines Temperaturprofils über die Messstrecke im Versuchsstand errechnet. Die Messstrecke ist in Abb. 6 dargestellt.

Die Messstrecke hat eine Wärme übertragende Oberfläche von $20 \times 600 \text{ mm}^2$. Die Messstrecke ist so aufgebaut, dass die Messplatte ohne großen Aufwand gewechselt werden kann, um so das Kristallisationsverhalten des Kälte-trägers auf verschiedenen Wärmeübertragermaterialien und -oberflächenstrukturen zu untersuchen. Durch die Messung verschiedener

Temperaturen und die Kenntnis über Wärmeleitfähigkeiten und Abmaße der einzelnen Schichten innerhalb der Messstrecke kann die Temperatur an der Oberfläche des Wärmeübertragers errechnet werden.

An jeder Oberfläche werden vor ihrem Einsatz in der Messstrecke Untersuchungen zur Oberflächenbeschaffenheit durchgeführt. Dabei kommt u.a. ein Digitalmikroskop zum Einsatz, das neben einem hoch aufgelösten Bild der Oberfläche auch die Ermittlung der Oberflächenrauigkeit erlaubt.

Temperatur-Screening

Zur Eingrenzung der zu untersuchenden Wandtemperaturen der Wärmeübertrageroberfläche werden Untersuchungen an einem separaten Prüfstand durchgeführt. Dieser Prüfstand ist in Abb. 7 dargestellt.

Der Prüfstand besteht aus einem gekühlten Behälter mit einer Bodenplatte aus PMMA, einem Rührer und einem sogenannten Kühlfinger. Der Kühlfinger ist ein Rohr-in-Rohr Wärmeübertrager mit einem Thermoelement zur Messung der Oberflächentemperatur. In dem gekühlten Behälter wird ein Kälte-träger auf Schmelztemperatur temperiert. Der Kühlfinger wird mit einem im Temperaturniveau gegenüber der Fluidtemperatur im Behälter erniedrigten Flüssigkeit beaufschlagt. Es wird die Temperaturdifferenz zwischen Wärmeübertrageroberfläche und Schmelztemperatur des Fluids im Behälter ermittelt, bei der die Kristallisation eintritt. Der Kristallisationspunkt ist im Temperatur-Zeit-Diagramm an einem Peak der Oberflächentemperatur auszumachen, der eintritt wenn bei der Kristallisation von Eiskeimen die Schmelzwärme frei wird. Jede Messreihe wird weiterhin mit einer Kamera durch die durchsichtige Bodenplatte hindurch aufgezeichnet. Damit kann der Ort, an dem die Kristallisation zuerst auftritt ermittelt werden.

Auf Basis einer vorab durchgeführten Literaturrecherche zum Thema Oberflächenbeschichtungen sollen im aktuellen Forschungsvorhaben die folgenden Wärmeübertrageroberflächen untersucht werden. Als gut bekannte Wärmeübertragermaterialien werden Kupfer, Aluminium und Edelstahl untersucht, wobei diese jeweils in Anlehnung an die Untersuchungen von Fauchaux 2006 [5] mit unterschiedlichen Oberflächenrauigkeiten präpariert werden. Mit einer schlechten Wärmeleitfähigkeit dafür aber positiven Eigenschaften bezüglich der Eisadhäsion wird ein Kunststoff untersucht werden. In Anlehnung an frühere Untersuchungen am Dänischen Technologischen Institut wird hierfür Polyethylen verwendet. Weiterhin werden Metallplatten

beschichtet. Dazu werden galvanische Beschichtungen und Beschichtungen mit Metall-Resinaten untersucht mit dem Ziel unterschiedliche Oberflächenstrukturen bei gleichen Materialien vergleichen zu können. Außerdem sollen eine Halbkugelstruktur und eine Silikonbeschichtung untersucht werden.

Abgerundet wird das Projekt „3E“ mit dem in Gemeinschaft mit der Firma Vritherm aus Leinfelden-Unterachien realisierten Bau eines Prototypen und der Bewertung der notwendigen Anpassungen zur Vorserienreife.

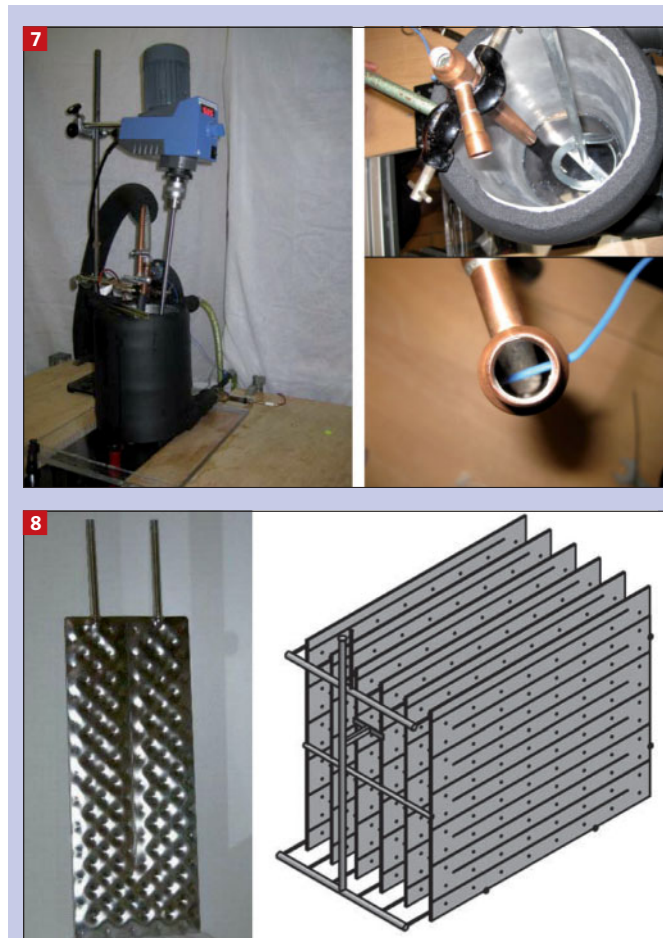
4.2 Eisbreierzeugung mittels Thermoplatte

Eine weitere Methode der Herstellung von pumpfähigem Eis wird von Tom Davies beschrieben [1]. Parallel angeordnete Verdampferplatten werden zyklisch als Verdampfer betrieben und mit Heißgas abgetaut. Auf der Außenseite über die Verdampferplatte rieselndes Wasser friert an der Plattenoberfläche an und wird periodisch abgetaut. Anstelle der von Davies verwendeten Platten kann man hier vorteilhaft die „Thermoplatte“ verwenden.

„Thermoplaten“ wurden um die Jahrhundertwende in der chemischen Industrie angewandt. Die Betriebsresultate und Einsatzmöglichkeiten von anderen bekannten Wärmeübertragern zwangen zu einer weiteren Entwicklung der Thermoplatte. Einige dieser Zwänge sind Effizienzoptimierung, Materialbeständigkeit, Druckbeständigkeit, Reinigbarkeit, Wärmeübertragungsleistung, Flexibilität des Einsatzes. Die ersten Versuchsmuster entstanden durch Verformung von Blechen und nachfolgende Verschweißung. Für die Verformung wurden aufwendig herzustellende Werkzeuge benötigt, um den für das Kältemittel notwendigen Verdampferraum zu schaffen.

Der Erfolg war jedoch begrenzt. Beispiele zeigen den massiven Aufwand der Herstellung solcher Plattenwärmeübertrager (Thermoplaten). Erst die Entwicklung modernerer Widerstandsschweißmethoden änderte diese Situation. Die Materialien wurden nunmehr punkt- später rollnahtgeschweißt. Beides sind Widerstandsschweißverfahren, die einen hohen Energieverbrauch erfordern. Mehrere Jahrzehnte war dieses Verfahren quasi „Stand der Technik“, d.h. die Schweißtechnik bestimmte die Ausführung des sog. Thermoblechs sprich Thermoplatte.

Die Thermodynamik des Wärmeübergangs an und in Thermoplaten wurde stiefmütterlich behandelt. Erst in den 1960er Jahren entstanden Dissertationen über Wärmeübergänge an ebenen Oberflächen. Die



7 Kristallisationsprüfstand, links: Gesamtansicht, rechts oben: Draufsicht mit Rührer und Kühlfinger, rechts unten: Draufsicht Kühlfinger mit Thermoelement

8 Thermoplaten

Thermoplatte jedoch hat eine gewölbte Oberfläche, vielfach spricht man auch von Pillow-Plates. Abb. 8 zeigen die Herstellungs- und Ausführungsmethoden.

Durch die Weiterentwicklung der Laser- und Plasmatechnik entstand eine Schweißmethode, die energiesparend und umweltfreundlich ist sowie eine Schweißung ermöglichte, mit der zusammenschweißte Bleche variabel verformt werden können. Die heutigen Thermoplaten bieten die Möglichkeit, das innere Volumen variabel zu gestalten und die äußere Verformung dem jeweiligen Einsatzzweck anzupassen. Gerade bei der Anwendung von zweiseitigen, verdampfenden Medien bietet somit die Thermoplatte erhebliche Vorteile, da sich das Volumen in der Thermoplatte dem jeweils erforderlichen Volumen anpassen lässt. Erwähnt werden muss, dass die Einsatzmöglichkeiten der Thermoplaten sich vergrößern, die thermodynamischen Eigenschaften jedoch noch nicht untersucht sind. Für die Praxis heißt das, dass beim Einsatz der Thermoplatte experimentelle Erfahrungen erforderlich sind.

Eigenschaften der Thermoplatte sind:

- Thermoplaten sind für hohe Drücke (bis ca. 300 bar) einsetzbar

- die gewölbte Oberfläche optimiert den Wärmeübergang
- Thermoplaten sind bestens geeignet für Zweiphasen-Medien
- Thermoplaten haben durch die variable Volumenausführung eine geringe Kältemittelfüllmenge
- sämtliche Sorten von Edelstahl sind anwendbar
- eine Reinigung entfällt
- der Platzbedarf ist sehr gering
- für die Herstellung wird gegenüber anderen Arten von Wärmeübertragern ein geringerer Energiebedarf benötigt
- Thermoplaten werden bisher bei folgenden Aufgaben eingesetzt:
 - Zur Energieoptimierung beim Betrieb von Speichersystemen. Hier wird der Einsatz von Thermoplaten gezeigt, die für die Vorkühlung des Kühlwassers eingesetzt wurden, damit der Speicher stets mit ca. 0 °C beladen wird und nicht mit der Temperatur des Kühlwassers, welches im Normalfall zwischen + 8 °C und 0 °C hat
 - zur Energierückgewinnung bzw. Optimierung bei der Herstellung von Photovoltaik-Systemen (die Herstellung von Photovoltaik-Bausteinen erfolgt unter

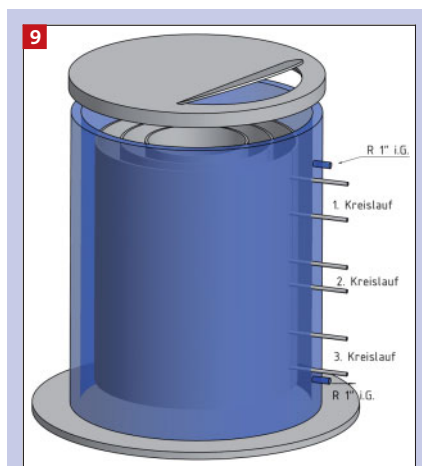
hoher Temperatur im Vakuum). Hier werden Thermoplaten eingesetzt für die anspruchsvolle Kühlung

- bei der Anwendung einer Vulkanisierungsanlage, mit Wärmerückgewinnung
- zum Einfrieren von Blutplasma unter Anwendung von Thermoplaten

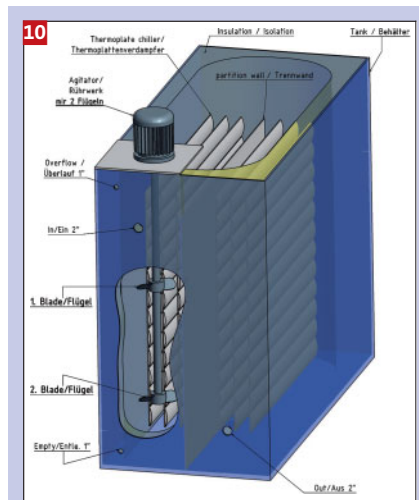
Neu-Entwicklung bei der Eiszerzeugung:

Thermoplaten können auch zur Herstellung von pumpfähigem Eis eingesetzt werden, Abb. 9, 10 und 11. Die Herstellung von pumpfähigem Eis ist ein besonderes Aufgabengebiet der Kältetechnik. Die Anwendung der Thermoplatte bietet die Möglichkeit, Eis-Flüssigkeitsgemische herzustellen, welche mit entsprechenden Pumpen verpumpbar sein können. Die Thermoplatte ermöglicht es, Eis ohne mechanischen Aufwand herzustellen. Dieses mit Thermoplaten erzeugte kontaktlinsenförmige Eis zeichnet sich durch eine hohe Abtauleistung aus. Die Hohlform dieses dünnen Eises ist ideal geeignet für die Kühlung von Lebensmitteln.

Durch die Anwendung der Thermoplatte wird ein sehr dünnes Eis erzeugt, dessen Form von der Wölbung der Thermoplatte bestimmt wird. Durch die Umschaltung des Kältekreislaufes verformt sich die Wölbung auf Grund der Druckunterschiede. Dadurch springt das erzeugte Eis von der Platte ab. Um der speziell für diese Eisherstellung entworfenen Thermoplatte eine funktionelle Lebensdauer zu gewährleisten, wird bei der Umschaltung des Kältekreislaufes die zum Kompressor führende Saug-



9 Ice-O-Matik zur Eisbrei-Erzeugung mittels gebogener Thermoplaten



10 Ice-O-Matik zur Eisbrei-Erzeugung mittels gerader Thermoplaten in einem rechteckigen Behälter



11 Ice-O-Matik zur Eisbrei-Erzeugung mittels gerader Thermoplaten in einem zylindrischen Behälter

leitung während des Prozesses nicht geschlossen. Dadurch baut sich die Druckdifferenz langsam auf- und ab.

5 Zusammenfassung

Eisbrei ist umweltfreundlicher Kälte-träger mit hoher Effizienz. Die Anzahl der Eisbreianlagen weltweit steigt stetig an. Eisbrei findet bisher Anwendung z.B. in Kühl-lagern, Klimaanlage, Brauereien oder Transport-wagen. Als Defizite von Eisbrei als Kälte-träger sind derzeit in erster Linie noch die hohen Investitions- und Betriebskosten zu nennen. Der Eisbreigenerator (in der Regel Kratzverdampfer) ist in der Eisbreianlage noch immer das teuerste Bauteil. Daher haben sich die hier vorgestellten Projekte zum Ziel gesetzt, neue Eisbreigeneratoren zu entwickeln, die die ökonomischen Nachteile von Eisbrei als Kälte-träger reduzieren. Die vorgestellten Projekte, die Untersuchungen zu Eisbreierzeugung mit Impfkristallen in „normalen“ Wärmeübertragern und die Thermoplatte, haben beide das Potenzial die Eisbreierzeugung auf Grund der Reduzierung der bewegten Teile in Investition und Betrieb günstiger zu machen und die Zuverlässigkeit zu steigern.

Literatur

- [1] Kauffeld, M., Kawaji, M., Egolf, P.W. (Hg.): Handbook on ice slurries. Fundamentals and engineering, International Institute of Refrigeration (IIR guides), Paris (2005)
- [2] Nývlt, J.: The Kinetics of industrial crystallization, Elsevier (Chemical engineering monographs, 19), Amsterdam (1985)
- [3] Rivet, P.: Why Applications of Ice Slurry is so low, 7th Conference on Phase-Change Materials and Slurries, International Institute of Refrigeration, Paris (2006) Bd. 4
- [4] Rivet, P.: Ice Slurries – Overview in Europe. 8th IIR Conference on Phase Change Materials and Slurries for Refrigeration and Air Conditioning, International Institute of Refrigeration, Karlsruhe (2009)
- [5] Fauchoux, M.: Contribution à l'étude d'un procédé de cristallisation d'une solution aqueuse en écoulement: application à la production de fluide frigoporteur diphasique, Thèse de doctorat, Université de Nantes (2006)

Dieses Projekt wird gefördert vom BMBF im Rahmen von FHprofUnd 2007 unter Förderkennzeichen 1766X08