

Natürliche Lösung für Umwelt-, Toxizitäts- und Korrosionsprobleme in Heiz- und Kühlsystemen

Kälte- und Wärmeträger auf Betain-Basis

Flüssigkeitstoxizität und Umwelttrisiken in Gebäuden und Industrieanlagen werden immer weniger akzeptiert. Der Ersatz Glykol-basierter Wärmeträger durch Flüssigkeiten auf Salz-Basis oder durch Pflanzenöl scheiterte bislang an technischen Schwierigkeiten. Ein neuer Kälte- und Wärmeträger auf Betain-Basis hat diese Probleme überwunden.

Auf der Suche nach einem nichttoxischen Ersatz für den Wärmeträger Ethylenglykol führte die Fortum Oil an Gas Oy, Finnland, 1995 Reihenuntersuchungen an natürlichen Stoffen durch. Neben den Umwelt- und Toxizitätskriterien wurden auch die thermodynamischen Eigenschaften sowie das Korrosionsverhalten gegenüber Leitungssystemen bewertet.

Mit einem praktisch idealen Erfüllungsgrad schloss Betain, auch Trimethylglycin (TMG) oder Glycinbetain genannt, diese Untersuchungen ab (Bild 1). Das völlig ungiftige Nebenprodukt der Zuckerindustrie wird aus Zuckerrüben (Melasse) [1] gewonnen und in der pharmazeutischen [2], kosmetischen und Lebensmittelindustrie seit vielen Jahren eingesetzt.

In einem F&E-Projekt, in das auch eine vierjährige Feldversuchsphase integriert war, wurde die Betain-Wasser-Lösung zur Verwendung als Wärmeübertrager entwickelt, getestet und die physikalischen

Eigenschaften im denkbaren Anwendungsraum gemessen. Für den ohnehin schon mit natürlichen Korrosionsschutzeigenschaften aufwartenden neuen Wärmeträger wurde zeitgleich auch noch ein Additiv-Paket für verbesserten Korrosionsschutz entwickelt.

Allgemeine Anforderungen an Kälte- und Wärmeträger

Wärmeübertragung ist eine übliche Anforderung in Industrie, Gebäuden und der städtischen Infrastruktur. Während in der Wärmeübertragungstechnik große Fortschritte erzielt wurden, bleibt das Potenzial einer sorgfältigen Wahl des Wärmeübertragungs-Mediums oft ungenutzt. Die Auswahl der richtigen Flüssigkeit ermöglicht jedoch Einsparungen beim Material und den laufenden Betriebs- und Unterhaltungskosten und kann so die Lebenszykluskosten nachhaltig senken.

Die wichtigsten technischen Merkmale einer Wärmeübertragungsflüssigkeit sind Frostschutz (Berstschutz), thermische und mikrobiologische Stabilität sowie physikalische Eigenschaften, die zu guten Wärmetransfer-Eigenschaften führen und daneben minimale Korrosion mit sich bringen. Strengere Gesetze zum Umweltschutz und die öffentliche Meinung verlangen zusätzlich eine hohe Umweltfreundlichkeit und Ungiftigkeit.

Entwicklungsanstrengungen konzentrieren sich daher auf neue Arten von Wärmeübertragungsflüssigkeiten, die diese Anforderungen erfüllen können, sicher in der Handhabung und leicht zu entsorgen bzw. zu recyceln sind. Zusätzlich müssen

sie aber auch über den Produktlebenszyklus bei den Gesamtkosten wettbewerbsfähig sein und dürfen durch ihren Einsatz den Energiebedarf einer Anlage nicht negativ beeinflussen.

Als Alternative sind Flüssigkeiten wie Salzlösungen und Pflanzenöl in Betracht gezogen worden. Technische Schwierigkeiten beschränken jedoch deren Einsatz auf vergleichsweise wenige Anwendungen. Die größten Problemparameter sind „Korrosivität“ und „hohe Viskosität“. Nachfolgend wird die Forschungs- und Entwicklungsarbeit an der „echten“ Alternative Betain beschrieben. Das konkrete Ergebnis mündete bereits in das durch Warenzeichen und Anwendungspatente geschützte Produkt „Thermera“ (Bild 2). Zurzeit läuft die weltweite Markteinführung bzw. -vorbereitung.



Bild 2 Wärmeträger-Warenzeichen Thermera für Betain-Wasser-Lösungen in thermodynamischen Prozessen

Betain: Technische Leistungsforschung

Die technische Leistung wurde durch die Messung mehrerer verschiedener physikalischer Eigenschaften von Betain-Wasser-Lösungen und durch die Durchführung von Feldversuchen in existierenden Kälte-, Klima- und Heizungs-Systemen evaluiert. Die meisten Messungen wurden im oder für das Fortum Technology Center, Porvoo, Finnland durchgeführt.

Frostschutz und Berstschutz

Die grundlegende Funktion einer Wärmeübertragungsflüssigkeit ist Frostschutz. Wegen geringer Umgebungstemperaturen oder niedrigen Betriebstemperaturen erfordern Kälte-, Klima- und Heizungs-Systeme und industrielle Prozesse oft eine Wärmeübertragung unter 0 °C. Im gesamten Betriebstemperaturbereich müssen die Flüssigkeiten den flüssigen Zustand beibehalten und dürfen die Ausrüstung nicht durch Frostaufdehnung beschädigen (Berstschutz).

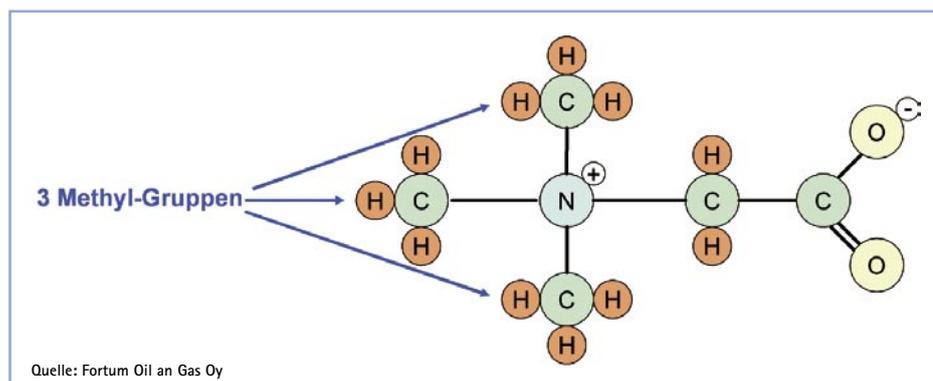


Bild 1 Betain (Trimethylglycin). Quartäre Ammoniumverbindung mit drei Methylgruppen, die mit dem Stickstoffatom eines Glycin-Moleküls verbunden sind

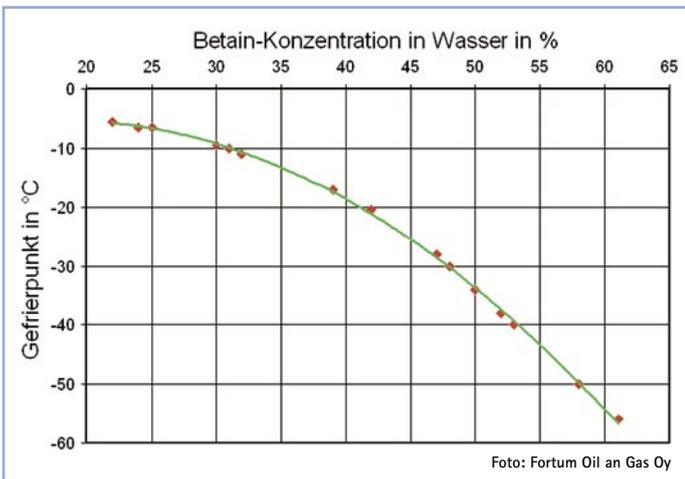


Bild 3 Gefrierpunkt einer Wasser-Betain-Lösung nach Betain-Konzentration

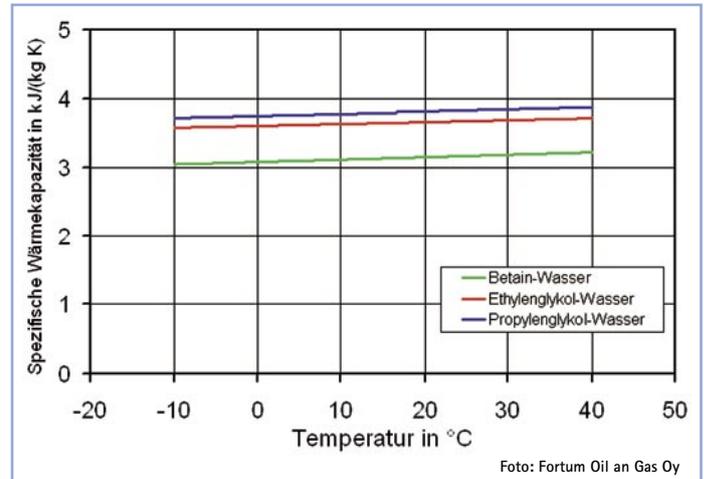
Die Phasenübergangs-Chemie von Wärmeübertragungsflüssigkeiten kann sehr problematisch sein. Der Gefrierpunkt von Wasser ist leicht zu bestimmen. Der Phasenübergang ist klar definiert und erfolgt „schlagartig“. Bei der Verwendung von Frostschutzmitteln wird der Phasenübergang jedoch unscharf – ein instabiler Bereich entsteht. In technischer Hinsicht werden zwei relevante Temperaturpunkte gemessen: der Gefrierpunkt und der Gerinnungspunkt.

Der Gefrierpunkt ist die Temperatur, unter der sich in einer Lösung feste Kristalle bilden. Die Methode, die in dieser Studie zur Gefrierpunktbestimmung verwendet wird, ist ASTM D 2386-97. Dazu wird eine Lösung umgerührt und abgekühlt, bis sich Kristalle bilden. Nachdem sich die ersten Kristalle gebildet haben, wird die Lösung umgerührt und langsam wieder erwärmt. Die Temperatur, bei der alle Kristalle verschwunden sind, wird als Gefrierpunkt der Lösung definiert (Bild 3). Im Gefrierpunkt und mindestens 4 K unterhalb dieses Punktes ist die Flüssigkeit noch funktionsfähig, die Viskosität jedoch steigt rapide an. Dies ist der instabile Bereich, wo eine Kristallisation plötzlich eintreten kann.

Der Gerinnungspunkt ist der zweite relevante Punkt und wurde nach ASTM D 1177-65 bestimmt. Er wird auf gleiche Art wie der Gefrierpunkt ermittelt – jedoch wird die Abkühlung so lang fortgesetzt, bis die Probe einer so genannten Verdickung unterzogen wurde, d. h. die Viskosität ist so stark angestiegen, dass die Lösung nicht mehr pumpfähig ist. Folglich ist der Gerinnungspunkt die Temperatur, unterhalb derer die Flüssigkeit nicht mehr als Wärmeübertragungsflüssigkeit verwendet werden kann. Bei niedrig konzentrierten Betain-Wasser-Lösungen liegt der Gerinnungspunkt ungefähr 4 K, bei hochkonzentrierten Lösungen ungefähr 10 K unterhalb des Gefrierpunktes.

Bei Betain-Wasser-Lösungen erstreckt sich der Berstschutz für Anlagenkomponenten deutlich unter den Gefrier- und Gerin-

Bild 4 Temperaturabhängige spezifische Wärmekapazität einer Betain-Wasser-Lösung verglichen mit herkömmlichen Flüssigkeiten, jeweils eingestellt auf einem Gefrierpunkt von -15°C



nungspunkt der Flüssigkeit. In den Tests ist es nicht gelungen, dauerhafte physikalische Schäden an Rohrleitungen und an Wärmeübertragern herbeizuführen. Der Berstschutz wurde typischerweise 20 bis 30 K unterhalb des Gefrierpunkts geprüft.

Die Wasserlöslichkeit von Betain beträgt 160 g pro 100 g Wasser. Dies bedeutet eine maximale gewichtsanteilige Betain-Konzentration von 61,5 % bei Raumtemperatur. Weil die Löslichkeit mit der Temperatur leicht abnimmt, gilt eine gewichtsanteilige Konzentration von 50 bis 55 % als praktische Grenze für den Einsatz in Wärmetransfersystemen.

Spezifische Wärmekapazität

Die spezifische Wärmekapazität einer Wärmeübertragungsflüssigkeit ist eine der Eigenschaften, die sich auf die Leistung auswirkt. Normalerweise werden die Wärmekapazitätswerte von Flüssigkeiten mit dem Wert von reinem Wasser verglichen (ca. 4,2 kJ/(kg K)). Die meisten Wärmeübertragungsflüssigkeiten haben eine niedrigere Wärmekapazität als Wasser.

Die temperaturabhängige Wärmekapazität von Betain-Wasser-Lösungen liegt im gleichen Bereich herkömmlicher Flüssigkeiten, ist jedoch etwas niedriger als die von Glykolen. Bild 4 zeigt einen Vergleich mit Wärmeübertragungsflüssigkeiten bei

einem Gefrierpunkt von -15 °C haben. Bei dem Vergleich zu Grunde liegenden Flüssigkeiten handelt es sich um die am häufigsten verwendeten herkömmlichen Wassermischungen auf Ethylenglykol- und Propylenglykolbasis.

Kinematische Viskosität

Viskosität ist ein weiteres Schlüsselement bei der Bestimmung der technischen Leistung einer Wärmeübertragungsflüssigkeit. Typischerweise steigt die Viskosität mit sinkender Temperatur, so dass eine Zwangszirkulation der Flüssigkeit energieaufwendiger und der Wärmetransfer weniger effizient wird.

Bild 5 zeigt einen Vergleich der temperaturabhängigen kinematischen Viskosität verschiedener Wärmeübertragungsflüssigkeiten, die auf einen Gefrierpunkt von -15 °C eingestellt wurden. Zwischen den Eigenschaften von Ethylenglykol und Flüssigkeiten auf Betain-Basis besteht eine große Ähnlichkeit. Flüssigkeiten auf der Basis von Propylenglykol weichen von der Gruppe mit einer viel höheren Viskosität ab.

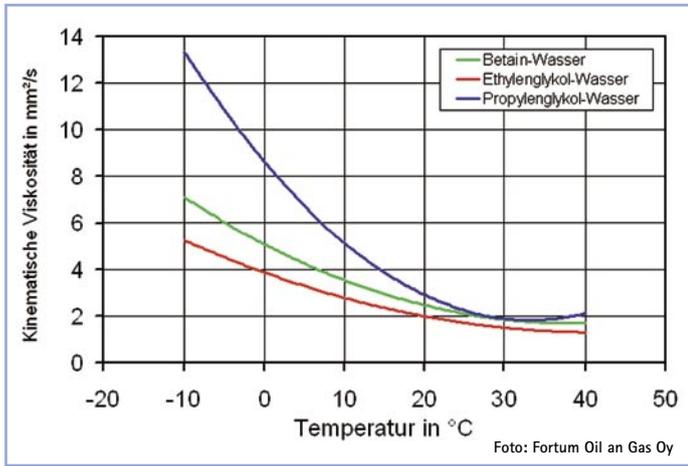


Bild 5 Temperaturabhängige Viskosität einer Betain-Wasser-Lösung verglichen mit herkömmlichen Flüssigkeiten, jeweils eingestellt auf einem Gefrierpunkt von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

ein sehr wichtiger Faktor ist, wird sie von Dimensionierungs-Software oft ignoriert.

Wärmeübertragungseffizienz

Aus Feldversuchen geht hervor, dass die Wärmeübertragungseffizienz von Flüssigkeiten auf Betain-Basis selbst diejenige der am häufigsten verwendeten Flüssigkeiten auf Ethylenglykolbasis übertrifft. Die in Tabelle 1 aufgeführte thermische Effizienz basiert auf einem typischen Wärmerückgewinnungssystem eines realen Bürogebäudes. Sie wurde mit der folgenden Prozedur gemessen:

Wärmeleitfähigkeit und Dichte

Wärmeleitfähigkeit ist eine wichtige Eigenschaft, aber in Flüssigkeiten nur schwer zu messen. Die in Bild 6 dargestellten Ergebnisse basieren auf Gefrierpunkten der Flüssigkeiten von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$. Bild 7 zeigt unter gleichen Bedingungen die Dichte der Flüssigkeiten über der Temperatur.

Bewertung der physikalischen Eigenschaften

Die gemessenen Eigenschaften bieten einen Einblick in die tatsächliche Leistung der Flüssigkeiten in Wärmeübertragungssystemen. Es sei jedoch darauf hingewiesen, dass die Relevanz jeder Eigenschaft von Anwendung zu Anwendung schwankt und manchmal sogar irreführend sein kann. Der Betriebstemperaturbereich und die Fließcharakteristika im jeweiligen System müssen berücksichtigt werden. In Bild 8 wird daher die Reynolds-Zahl für Betain- und herkömmliche Flüssigkeiten in einer definierten Fließumgebung (Rohrströmung bei $d_i = 10\text{ mm}$ und $w = 1\text{ m/s}$) angegeben.

Die Reynolds-Zahl definiert die Qualität des Flusses von einer laminaren (Schicht-) Strömung bis zu einer turbulenten Strömung (große Zahl). Der Fluss im System muss turbulent bleiben, um eine hohe und effiziente Wärmeübertragung zu erzielen. Aus Bild 8 ist ersichtlich, dass eine Betain-Lösung selbst bei niedrigen Temperaturen sehr gute Fließeigenschaften aufweist. Obwohl die Fließdynamik

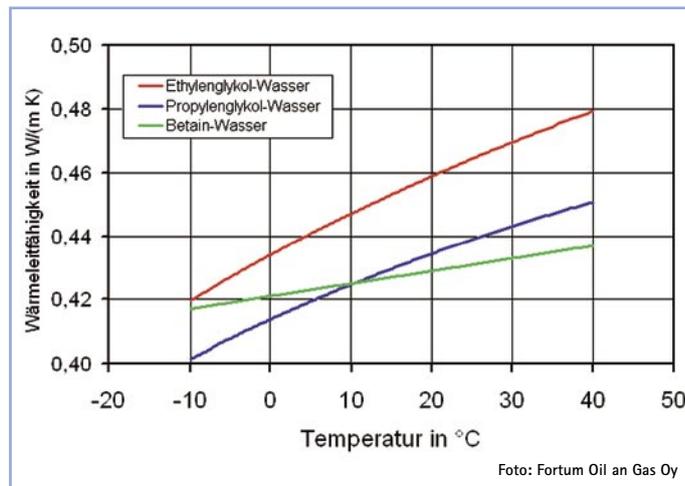


Bild 6 Temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit einer Betain-Wasser-Lösung verglichen mit herkömmlichen Flüssigkeiten, jeweils eingestellt auf einem Gefrierpunkt von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

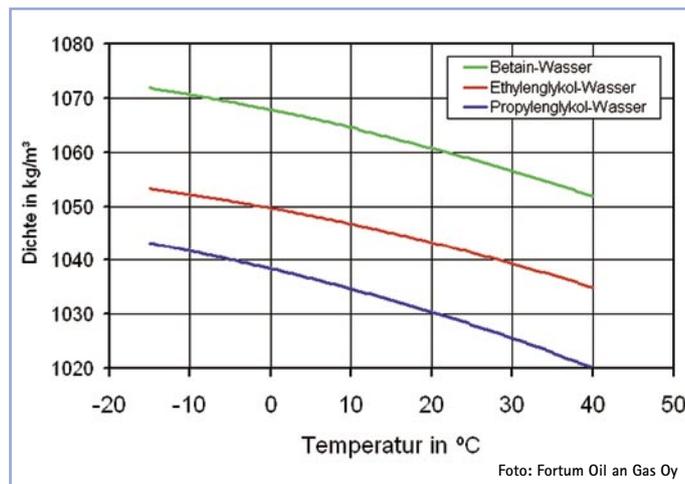


Bild 7 Temperaturabhängige Dichte einer Betain-Wasser-Lösung verglichen mit herkömmlichen Flüssigkeiten, jeweils eingestellt auf einem Gefrierpunkt von $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$

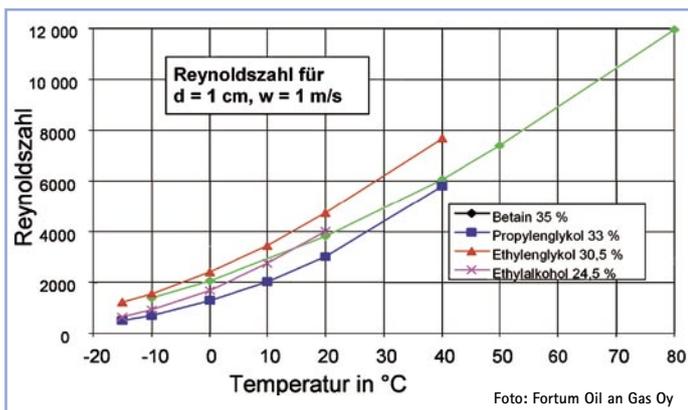


Bild 8 Reynolds-Zahl einer Betain-Wasser-Lösung, verglichen mit herkömmlichen Flüssigkeiten [3]

1. Die vorhandene Flüssigkeit wurde untersucht und als Ethylenglykol mit einem Gefrierpunkt von $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ identifiziert.
2. Die thermischen Effizienzdaten des Systems wurden durch die Messung der Eingangs- und Ausgangstemperatur von Luft und Flüssigkeit über einen längeren Zeitraum ermittelt.
3. Das System wurde entleert und mit einer Betain-Wasser-Flüssigkeit mit einem Gefrierpunkt von ebenfalls $-30\text{ }^{\circ}\text{C}$ befüllt. Die Betriebsparameter wurden nicht verändert (gleicher Durchfluss etc.).

Zirkulierende Flüssigkeit	Gemessene thermische Effizienz
Ethylenglykol-Wasser-Gemisch, -30 °C Frostschutz	28,8 %
Betain-Wasser-Lösung, -30 °C Frostschutz	30,1 %

Quelle: Fortum Oil an Gas Oy

Tabelle 1 Systemeffizienz-Feldversuch: Wärmerückgewinnungssystem eines realen Bürogebäudes

- Die thermischen Effizienzdaten des Systems wurden wieder durch die Messung der Eingangs- und Ausgangstemperatur von Luft und Flüssigkeit über einen längeren Zeitraum ermittelt.
- Aus den erfassten Daten wurde eine Periode mit ähnlichen äußeren klimatischen Bedingungen ausgewählt und die thermische Effizienz des Wärmetransfers von Ausströmluft zur Einströmluft berechnet.

Die Bedeutung der oben angesprochenen Fließcharakteristik wird anhand der Ergebnisse von Tabelle 1 ersichtlich. Zunächst würde man erwarten, dass das Ergebnis zu Gunsten von Ethylenglykol und nicht einer Flüssigkeit auf Betain-Basis ausfällt, wenn man nur die physikalischen Eigenschaften berücksichtigt. In diesem besonderen Vergleich ist die Hauptbetriebstemperatur des Systems jedoch so niedrig, dass die Fließdynamik relevanter als die Wärmekapazitäts-Eigenschaften ist. Dies ist kein generelles physikalisches Phänomen, sondern resultiert aus der Gesamtbetrachtung der physikalischen Eigenschaften. Das Ergebnis unterstreicht die hohe Verantwortung der Planer bei der richtigen Auswahl des optimalen Kälte- und Wärmeträgers, auch bei der nachträglichen Umstellung oder einer anstehenden Neubefüllung.

Betain: Umweltschutz und Sicherheitsforschung

Handhabungs- und Betriebssicherheit sowie Umweltgesichtspunkte erlangen bei der Auswertung der Qualität von Wärmeübertragungsflüssigkeiten immer größere Bedeutung. Betain zeichnet sich in dieser Hinsicht als Naturprodukt besonders aus.

Toxizität

Nachfolgend werden die wesentlichen Toxizitätsmessungen und Studien zusammengefasst. Die meisten basieren auf nicht veröffentlichten Studien, die von 1988 bis 1992 für Cultor Ltd. Finnsugar Bioproducts, dem Betain-Produzenten für diese Studie, erstellt wurden.

Betain kommt in vielen Organismen, einschließlich des menschlichen Körpers, vor. Besonders hohe Anteile sind in einigen Pflanzen, Mikroben und wirbellosen

Wasserlebewesen zu finden. Die bekanntesten Betain-Akkumulatoren gehören zur Familie der Zuckerrübe. Der Betain-Anteil bei Zuckerrüben beträgt im Schnitt ca. 1,9 g/kg. Bei Krustentieren, die normalerweise dem menschlichen Verzehr dienen, variiert die Betain-Konzentration in Muskelfleisch zwischen 1 und 9 g/kg und bei Weichtieren von 6 bis 14 g/kg [4].

Betain wird seit Jahren weit verbreitet als Futtermittel für etliche Tierarten eingesetzt, einschließlich Geflügel, Schweine, Kälber und Fisch und zwar in Konzentrationen von 0,2 bis 15 kg/t Futtermittel. Betain ist in Japan und Korea als Lebensmittel und von der FDA (USA) als Lebensmittelzusatz zugelassen. Betain wird weltweit in Kosmetikprodukten wie Haar- und Hautpflegeprodukten verwendet. Außerdem wird Betain in einigen pharmazeutischen Anwendungen zur menschlichen Behandlung verwendet.

Biologische Abbaubarkeit und Sauerstoffanforderung

Betain kommt als natürlicher Bestandteil in vielen Tieren, Pflanzen und Mikroben vor. Wenn Betain in die Umwelt freigesetzt wird – entweder durch den Tod des Organismus oder als Ausscheidung – wird es als Substrat für mikrobielles Wachstum verfügbar.

Die Fähigkeit zum Abbau von Betain ist sowohl bei anaeroben als auch bei aeroben Mikroorganismen weit verbreitet. Laboruntersuchungen durch Cultor Ltd. Finnsugar Bioproducts haben gezeigt, dass Betain sich in Sandlehmböden aufgrund

Material	Verringerung der Material-Stärke, $\mu\text{m/a}$	Masse-Schwund, mg
Kupfer	0,3	0,2
Fe37	0,3	0,2
Lötzinn	0,3	0,2
Bronze	0,3	0,2
Gusseisen	22	16,5
Aluminium	2,4	1,8
Zink	4,0	3,0

Tests an einem herkömmlichen Überzug, der in der Kälte-, Klima- und Heizungsindustrie als Korrosionsschutz benutzt wird.

Quelle: Fortum Oil an Gas Oy

Tabelle 3 ASTM 1384 Korrosionstest-Ergebnisse für eine 35%ige Betain-Wasser-Lösung

Material	Verringerung der Materialdicke, $\mu\text{m/a}$
Kupfer	1,5 bis 0,5
Karbonstahl Fe52	75 bis 10
Messing	1,5 bis 0,2
Rotbronze	125 bis 2
Gusseisen	0,9 bis 0,2

Die größere Zahl bezeichnet die Korrosionsrate zu Beginn der Tests, und die kleinere Zahl die im Zeitablauf stabilisierte Rate (~ 48 h) [5]

Quelle: Fortum Oil an Gas Oy

Tabelle 2 Korrosionsraten für eine 50%ige Betain-Wasser-Lösung

der Aktivität von Bodenmikroben innerhalb von zwei Wochen vollständig abbaut. Die Mineralisation von Betain hat nach 28 Tagen über 99,6 % betragen, so dass Betain als biologisch leicht abbaubar bezeichnet werden kann [5].

Die biologische Sauerstoffanforderung von technischen Betain-Anhydritkristallen (Reinheit über 97 % in der Trockenmasse) beträgt nach Analysen 1000 mg O/ 1 g Betain. Die analysierten Werte für die chemische Sauerstoffanforderung (COD) liegen etwas höher – bis zu 1300 mg O/ 1 g Betain. Die analysierten Werte für die chemische Sauerstoffanforderung (CODCr) liegen bei etwa 70 bis 100 mg O/ 1 g Betain.

Betain-Wasser-Lösungen bzw. der Kälte- und Wärmeträger Thermera können zur Entsorgung in der Regel in die Kanalisation gegeben werden.

Natürlicher Korrosionsschutz und zusätzliches Additivpaket

Die Korrosionsrate für verschiedene Materialien mit Lösungen auf Betain-Basis wurde gemessen. Die Ergebnisse zeigen, dass die Korrosionsrate bereits ohne zusätzlichen Korrosionsschutz deutlich unter den Werten liegt, die von Ausrüstungsherstellern in der Kälte-, Klima- und Heizungsindustrie akzeptiert werden. Bei Kupfer wird zum Beispiel eine Korrosionsrate von bis zu 2,0 $\mu\text{m/a}$ weitgehend

akzeptiert. Die Korrosionsgeschwindigkeit für reines Wasser war sogar höher.

Weitere Tests wurden gemäß den Anforderungen anderer Branchen durchgeführt. Die Automobilindustrie beispielsweise setzt die Anforderungen viel höher und nutzt standardisierte Testmethoden. Weit verbreitet ist der Test ASTM 1384. Gemäß diesem Verfahren wurde Betain-Flüssigkeit an einem herkömmlichen Überzug getestet, der einen Korrosionsschutz bildete. Die Konzentration der aktiven Bestandteile des Korrosionsschutzpakets betrug zwischen 0,05 und 0,1 %. Die Ergebnisse werden in Tabelle 3 als Reduzierung der Materialstärke und Masseschwund dargestellt.

Es wurden weitere standardisierte Tests durchgeführt, einschließlich des Doppelkammer-Kavitations-Korrosionstests (CEC C-23-T-99), des Heißplatten-Korrosionstests (ASTM D 4340) und des Simulierten Service-Korrosionstests (ASTM D2570-96). Die Flüssigkeit auf Betain-Basis erfüllte dabei die in der Norm AFNOR NFR 15-601 definierten Anforderungen für den Einsatz von Kühlmitteln in Kraftfahrzeugen (Motorkühlung).

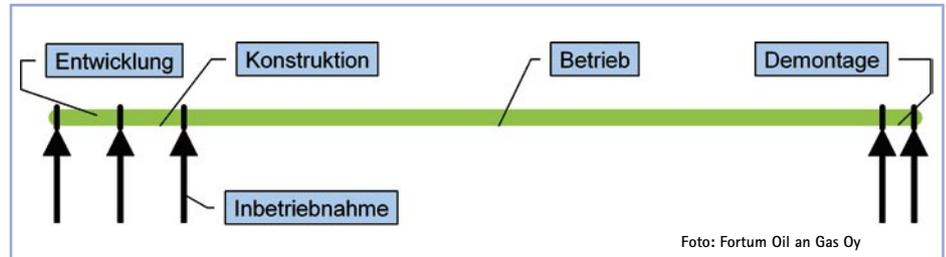


Bild 9 Lebenszyklus eines Kälte-Klima-Heizungs-Systems

Die Anforderungen verschiedener Branchen wurden gründlich studiert. Es wurde festgestellt, dass bei Flüssigkeiten auf Betain-Basis kaum ein Bedarf an Additiven besteht. Additive werden in herkömmlichen Flüssigkeiten hauptsächlich als Korrosionsschutz, pH-Stabilisator und zur Schaumreduzierung sowie als Farb- und Geruchsstoff eingesetzt. Flüssigkeiten auf Betain-Basis haben sich in den Tests so gut bewährt, dass in vielen Anwendungsbereichen überhaupt keine Additive notwendig waren, um die Anforderungen zu erfüllen. Insbesondere bei den Anwendungen der Kälte-, Klima- und Heizungsindustrie wie: Klimatechnik, Wärmerückgewinnung, Wärmepumpen und Wärmeübertragungssysteme mit einer Phasenumwandlung. Nur für die Erfüllung der härtesten Testbedingungen der Automobilindustrie war noch ein zusätzli-

cher Korrosionsschutz erforderlich. Korrosionsschutzmittel werden aber in wesentlich geringeren Konzentrationen benötigt als bei herkömmlichen Flüssigkeiten.

Lebenszykluskosten

Bei der Auswahl einer Wärmeübertragungsflüssigkeit müssen neben den thermodynamischen Eigenschaften, Toxizitätsanforderungen und Umweltbelangen auch die gesamten Opportunitätskosten als Auswahlkriterium berücksichtigt werden. Der Lebenszyklus eines Kälte-Klima-Heizungs-Systems besteht aus fünf Phasen:

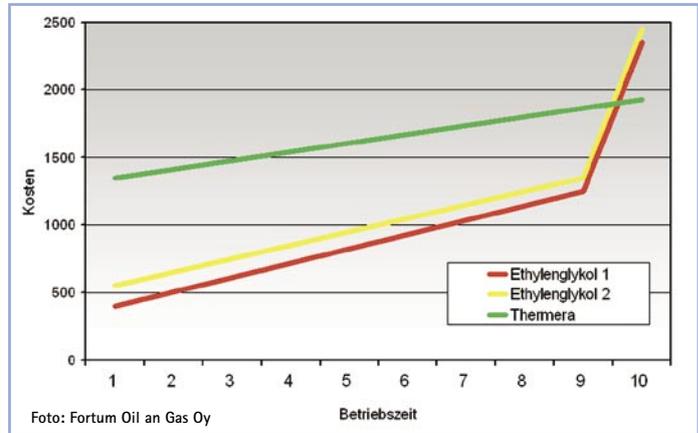
- Entwicklungsphase
- Konstruktionsphase
- Inbetriebnahme- und Abnahmephase
- Betriebsphase
- Demontagephase

In jeder dieser Phasen müssen weit reichende Entscheidungen getroffen werden, die eine Auswirkung auf die Gesamtkosten der Anlage haben. Die Entwicklungsphase ist die vorbestimmende und damit wichtigste Phase im Lebenszyklus eines Kälte-Klima-Heizungs-Systems. In diesem Zeitraum werden die Gesamtkosten einer Anlage weitgehend festgelegt. Es ist daher besonders wichtig, dass alle erforderlichen Komponenten in ihrem Zusammenwirken in diese Kalkulation einfließen.

Für die Auswahl der Wärmeübertragungsflüssigkeit müssen z. B. folgende Parameter berücksichtigt werden:

- Thermodynamische Eigenschaften
- Toxizitätsanforderungen
- Ökologische Anforderungen
- Anschaffungskosten der Wärmeübertragungsflüssigkeit
- Mit der Auswahl der Wärmeübertragungsflüssigkeit verbundene Subventionen für Umweltschutz und Toxizitätsverringering
- Mit der Auswahl der Wärmeübertragungsflüssigkeit verbundener Gewinn gemäß ISO 14 000
- Befüllungs- und Kommissionierungskosten der Wärmeübertragungsflüssigkeit
- Kostenersparnis und Kostensteigerung bei Bauteilen ausgelegt für die ausgewählte Wärmeübertragungsflüssigkeit (Wärmeübertrager, Pumpen, Rohrleitungen etc.)
- Betriebskosten für
 - Energieverbrauch und
 - Wartungskosten für Inhibitoren-Wartung, Konzentrationsänderung, Haltbarkeit der Wärmeübertragungsflüssigkeit (chemische und biologische Stabilität)
- Risiken und Kosten von Anlagendefekten
 - Erforderliche direkte Kosten zur Verhinderung von Undichtigkeiten der Anlage und Freisetzungen in die Umwelt
 - Umweltrisiken und Kosten bei Undichtigkeiten
 - Toxizitätsrisiken und Kosten bei Undichtigkeiten
 - Konzentrationsverluste bei hinausgezögerter Wartung
 - Korrosionsrisiken bei hinausgezögerter Wartung
 - Berstrisiken beim plötzlichen Einfrieren der Anlage
- Demontagekosten
 - Direkte Entsorgungskosten der Wärmeübertragungsflüssigkeit, wie Transportkosten (toxischer Abfall oder nicht) und Entsorgungskosten (professionelle Entsorgung verglichen mit der Abgabe in die Kanalisation)

Bild 10 Indikativer Lebenszykluskosten-Vergleich zwischen herkömmlichen Glykol-Produkten und Thermera



- Entsorgungskosten kontaminierter Anlagenkomponenten
- Entsorgungskosten bzw. Kosten für die Dekontaminierung für den Fall, dass Undichtigkeiten in der Betriebsphase der Anlage aufgetreten sind (Gebäude und/oder Erdreich)

Wegen der hohen Stabilität ist die Lebensdauer der industriellen Betain-Wasser-Lösung Thermera der praktischen Anlagenlebensdauer gleichzusetzen. Ein kostenintensiver Kälteträgeraustausch in der Betriebsphase, wie manchmal bei Glykol-basierten Wärmeträgern erforderlich ist, ist im Normalfall bei Thermera nicht notwendig. Ein indikativer Lebenszykluskosten-Vergleich zwischen den verschiedenen herkömmlichen Glykol-Produkten und Thermera stellt Bild 10 an. Die Kalkulation basiert auf Produktpreisen und Entsorgungskosten in Finnland, die sehr der deutschen Preisstruktur gleichen. Im gezeigten Beispiel aus der Praxis ist ein Glykol-Produkt ungefähr 24 % teurer. In kleinmaßstäblichen Systemen, in denen die Entsorgungskosten der verbrauchten Flüssigkeit ansteigen, kann der Unterschied sogar bis zu 77 % ausmachen.

Schlussfolgerungen

Die physikalischen Eigenschaften und die technische Leistung von Flüssigkeiten auf Betain-Basis entsprechen in vollem Umfang den einschlägigen Industrienormen. Es muss berücksichtigt werden, dass beim System-Design heute ein komplexes Bündel unterschiedlicher physikalischer Eigenschaften die gesamte Leistung einer Flüssigkeit bestimmt. Die verwendete Software sollte alle diese Daten umfassen und sich nicht nur auf traditionelle Annahmen stützen, die auf den Eigenschaften herkömmlicher Flüssigkeiten beruhen. Die technische Leistungsfähigkeit von Flüssigkeiten auf Betain-Basis war in empirischen Tests höher als in der Simulation mit konventionellen Tools.

Betain ist definitiv umwelt- und gesundheitsverträglicher als die am häufigsten verwendeten herkömmlichen Flüssigkeiten. Selbst bei Anwendungen, für die ein kleines Korrosionsschutzpaket erforderlich ist, kann eine Flüssigkeit auf Betain-Basis

noch als ungiftig und umweltverträglich gelten. Betain hat natürliche Korrosionsschutzeigenschaften. In geschlossenen Systemen mit für die Kälte-, Klima- und Heizungsindustrie typischen Temperaturen wird in den meisten Fällen kein Korrosionsschutz benötigt.

Die Lebenszykluskosten von Flüssigkeiten auf Betain-Basis können mit herkömmlichen Glykol-Produkten konkurrieren, wenn die Gesamtkosten einer Anlage berücksichtigt werden und die Anlage für die Verwendung von Flüssigkeiten auf Betain-Basis richtig ausgelegt ist. Bewertet man zudem das Risiko einer Kontamination bei einer Leckage, liegen die Kosten je nach Anlage deutlich niedriger. ←

Literatur

- [1] Beiss, U.: Betain in Zuckerrüben. Zuckerindustrie, 119 (2):1 12 - 117. 1994
- [2] Wilcken, D.E.L., Wilcken, B., Dudman, N.B.P. und Tyrrell, P.A.: Homocystinurie - Die Wirkung von Betain bei der Behandlung von Patienten, die nicht auf Pyridoxin ansprechen. N. Engl. J. Med. 309: 448-453. 1983
- [3] Ilves A.: Wärmeübertragungsflüssigkeiten. Master's Thesis an der Lappeenranta University of Technology. 1996
- [4] Meyers, S.: Aquakulturfutter und Chemoattraktoren. Infofish Marketing Digest, No 1/87. 1987
- [5] BfB Oil research SA, Belgien: Prüfbericht zur biologischen Abbaubarkeit gemäß OECD 301 B, Bericht Nr. FO39962.01.01. 2003



Bernie P. M. Willems ist Projektmanager für den Betain-basierten Wärmeträger Thermera, E-Mail: mail@mtconsult.org, www.thermera.com



Janne Jokinen ist Manager für Neuentwicklungen bei Fortum Oil an Gas Oy, E-Mail: jannem.jokinen@fortum.com, www.fortum.com