

Peter Maier-Laxhuber
Ralf Schmidt
Andreas Becky
Reiner Wörz

Für die Kühlung von Bier wurden selbstkühlende Fässer entwickelt, die Zeolith/Wasser-Technologie als besonders umweltfreundliche Kühltechnik beinhalten. Nach Gebrauch werden die Mehrwegfässer in der Brauerei reaktiviert.

An application of the zeolite/water adsorption technology for beer cooling

A reusable self-chilling keg (CoolKeg) with an integrated cooling technique based on zeolite/water adsorption technology has been developed. Over 20.000 self cooled party-kegs have been manufactured in 2001 for the home consumer market in Germany. The CoolKeg is a 20 l party-keg which provides chilled (7 °C) beer within 45 minutes.

Keywords: Zeolite, CoolKeg, adsorption, desorption, sorption cooling technique

Die Anwendung der Zeolith/Wasser-Technologie zur Bierkühlung

Die Zeolith/Wasser Adsorptionstechnologie kann zur Bereitstellung und verlustlosen Speicherung von Kälte und/oder Wärme eingesetzt werden ([1], [2], [3]). Sie arbeitet nur mit den natürlichen Stoffen Wasser und Zeolith und ist daher in höchstem Maße umweltverträglich; zum Antrieb benötigt sie lediglich Wärme. Im folgenden wird die Zeolith-Technologie als integrierte Kältetechnik im selbstkühlenden Bierfass (CoolKeg) vorgestellt. Mit dieser Technologie ist es erstmals möglich, stromlos, jederzeit und an jedem Ort frisch gezapftes kühles Bier zu genießen. Seit Mitte 2001 sind die ersten 20.000 CoolKegs bei der Tucher Brauerei Nürnberg erfolgreich im Einsatz. Spezielle Weiterentwicklungen des selbstkühlenden Bierfasses mit erhöhten Kühlleistungen, z. B. zum Einsatz in tropischen Regionen sind abgeschlossen.

Grundlagen der Zeolith/Wasser-Technologie Zeolith

Die Bezeichnung Zeolith geht auf die beobachteten Eigenschaften dieser Mineralien zurück, die beim Erhitzen sehr viel Wasser abgeben und scheinbar sieden [4]. Sie werden daher als Siedesteine bezeichnet (griechisch: Zeolithe, von ζειν »sieden« und λίθος »Stein«). Der Name Zeolith wurde inzwischen zu einer Sammelbezeichnung für kristalline Metall-Alumo-Silikate, die gekennzeichnet sind durch große innere Oberflächen von 800...1200 m²/g, starke elektrostatische Felder im Kristallgitter und durch ein spezifisches Schüttgewicht von ca. 750 kg/m³.

Es sind heute ca. 40 natürliche und über 150 synthetische Zeolithe bekannt. Die wichtigste Eigenschaft einiger Zeolithe besteht darin, reversibel dehydratisiert werden zu können. Sie unterliegen dabei selbst bei mehreren Tausend Zyklen keiner Strukturänderung des Gittergerüsts, solange Druck und Temperaturen gewisse Grenzwerte nicht überschreiten. Die heutige großtechnische Produktion beruht auf der Verwendung als kostengünstiger Wasserweichmacher in Wa-

schmitteln (Ionenaustauscher), wovon mit steigender Tendenz zur Zeit weltweit ca. 1,2 Mio. t/a hergestellt werden.

Zeolithe sind ungiftig, unbrennbar, kommen in großen Mengen in der Natur vor und sind daher a priori umweltverträglich.

Über die Einbringung von synthetisch produziertem Zeolith in die Umwelt haben sich vor mehr als 20 Jahren im Vorfeld des Einsatzes als Phosphatersatz in Waschmitteln bereits das Umweltbundesamt wie auch das Bundesumweltministerium positiv geäußert: Zeolith A trägt nicht zur Eutrophierung der Gewässer bei, ist nicht toxisch gegenüber Mensch, Tier und aquatischen Organismen, bewirkt keine Schwermetallmobilisierung aus aquatischen Sedimenten, ist aus Kläranlagen eliminierbar und verursacht keine Beeinträchtigung der Trinkwasserqualität [5].

Die Sorptionschritte Adsorption

Zeolith hat die Eigenschaft, polare Moleküle – also z.B. Wasserdampf – anzusaugen und unter Wärmeabgabe in seine Struktur, die durch große innere Hohlräume gekennzeichnet ist, einzubinden (adsorbieren).

Erfolgt ein solcher Adsorptionsprozess (Bild 1) im luftleeren Raum und wird der Dampf von einer Wasseroberfläche in einem Verdampferbehälter abgesaugt, so kühlt sich aufgrund der hohen Verdampfungswärme der Rest des Wassers so stark ab, dass es sogar zu Eis gefriert. Befindet sich zwischen den beiden Behältern ein Ventil, kann die Kälte- bzw. Wärmeerzeugung für unbegrenzt lange Zeit unterbrochen werden, ohne dass Energie verloren geht. Der erste Teilprozess dieser Energiewandlung läuft so lange, bis der Zeolith mit Wasser gesättigt ist.

Desorption

Anschließend wird in einem zweiten Teilschritt (Bild 2) durch Erhitzung des Zeoliths das zuvor adsorbierte Wasser dampfförmig wieder ausgetrieben und im Verdampfer kondensiert. Wird das Ventil anschließend geschlossen, so kann nach

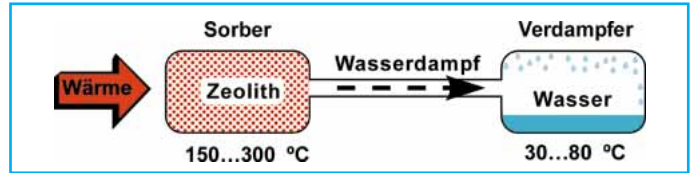
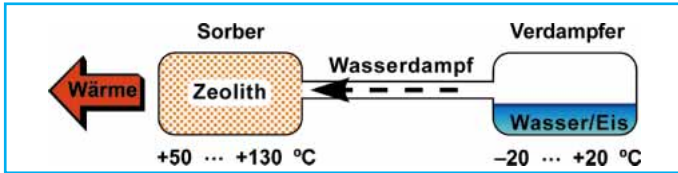


Bild 1: Adsorptionsprozess

Bild 2: Desorptionsprozess

beliebig langer Zeit durch Öffnen des Ventils der Prozess der Kälteerzeugung wieder in Gang gesetzt werden.

Anforderungen an ein selbstkühlendes Bierfass

Für die Entwicklung des serienreifen selbstkühlenden Bierfasses waren die folgenden Anforderungen wesentlich:

- Keine Änderungen an der Bierblase (wegen Reinigung, Befüllung, allgemeine Akzeptanz bei Brauern und Verbraucher)
- Einfaches Zapfen ohne weitere Hilfsmittel durch beigelegten Einweg-Zapfhahn
- Einhalten aller relevanten Normvorschriften für Bierfässer (insbesondere Fass-Durchmesser und Zapfmuffen mit Zapffitting, Berstsicherheit, Beulsteifigkeit, etc.)
- Mindestens 100-fache Wiederbefüllbarkeit der Fässer
- Fässer müssen auf allen gängigen Reinigungs- und Befüllstraßen ohne Umbaumaßnahmen verwendbar sein
- Regenerationsstation für mindestens 60 Fässer pro Stunde kontinuierlich arbeitend
- Keine Lüftungsschlitze oder Öffnungen am Fass wegen Verschmutzungsgefahr
- Kurze Wartezeit vom Start des Kühlprozesses bis zum Zapfbeginn
- Minimale Zapfzeit für ein 20 l Partyfass: 3 Stunden; maximal 24 Stunden
- Keine zusätzlichen Hilfsmittel (Strom, Wasser etc.) beim Konsumenten
- Keinerlei Gefahrenpotenzial für Konsument und Brauereipersonal bei unsachgemäßer Behandlung
- Eigenständiges Erscheinungsbild

Das Entwicklungsergebnis dieses umfangreichen Pflichtenheftes ist in Bild 3 dargestellt; die wichtigsten Spezifikationen und Daten zum 20,5 l Bierfass enthält Tab. 1.

Von innen nach außen aufgezählt besteht das selbstkühlende Bierfass aus den folgenden Bestandteilen:

- Bierblase für 20,5 Liter Bier, gefertigt von einem Hersteller mit Fertigungskompetenz für Bierblasen. Die Blase entspricht allen Anforderungen der Brauerei-Technik

- Verdampfer in der Ausgestaltung als von außen um die Bierblase gewickelter Docht, der das Wasser im unteren Bereich der Bierblase aufsaugt und verteilt
- Verdampfermantel mit einem von außen zu betätigendem Rückschlag-Ventil zur Absperrung von Verdampfer und Adsorber
- Adsorber wird durch ein umlaufendes Lochblech nach innen und durch Fassaußenwand nach außen begrenzt.

Das Bierfass enthält demnach einen integrierten Kühler, der aus einem Sorber mit ca. 5 kg Zeolith, einer absperrbaren Dampfleitung und einem Wasserreservoir von etwa einem Liter innerhalb des Verdampfers besteht.

Desorptionsprozess in der Brauerei

In der Brauerei werden die CoolKegs auf den Standard-Reinigungs- und Befüllanlagen gereinigt. Hierzu wird Reinigungs- und Spülflüssigkeit in das auf dem Kopf stehende Fass geleitet und wieder abgelassen. Danach werden die Partyfässer mit kaltem Bier befüllt und durch einen gasbefeuerten Umluftofen (Bilder 4 u. 5) geschickt, wo sie bei ca. 350 °C Umlufttemperatur regeneriert werden. Der beim Erhitzen des Zeoliths desorbierte Wasserdampf strömt in den Verdampfer und kondensiert an der Fassblase. Das Bier nimmt die Kondensationswärme auf und erwärmt sich. Da Bier bei relativ niedrigen Temperaturen von 5 bis 10°C abgefüllt wird ist die Erwärmung auf ca. 45 °C durch den Regenerationsprozess moderat und für die Bierqualität ohne Einfluss.

Mit dem Austritt der Partyfässer aus dem Regenerationsofen ist die Wärmezufuhr in das Zeolithbett und damit die Desorption von weiterem Wasserdampf beendet. Das desorbierte Wasser befindet sich nun in flüssiger Form im Verdampfer. Die Dampfleitung wird durch das selbsttätig ausgeführte Rückschlagventil abgesperrt. Nun werden die Partyfässer mit Wasser abgeduscht, wodurch die Temperatur des Fassmantels rasch absinkt. Danach werden die Fässer etikettiert.

Zeolith und Bier kühlen sich über die äußeren Fasswände während der anschließenden Lagerung der Fässer auf Umgebungstemperatur ab. Hier hilft auch der sogenannte „heat-pipe“ Effekt. Wenn das Bier wärmer ist als die äußeren Oberflächen – hier der Deckel - des CoolKegs, verdampft Wasser aus dem feuchten warmen Docht und kondensiert innen am oberen Fassdeckel, wodurch Wärme sehr effektiv aus dem Bier an den Deckel übertragen wird. Der „heat-pipe“-Prozess dauert solange an bis die Biertemperatur gleich der Fassdeckeltemperatur ist.

Kühlprozess beim Zapfen

Zur Einleitung der Bierkühlung im Fass öffnet der Konsument das interne Dampfventil über die außen liegende Ventilbetätigung. Wasserdampf kann nunmehr vom Verdampfer an der Bierblase in den Zeolith-Sorber im Fassaußenmantel strömen. Der Zeolith erwärmt sich. Die verdampfende Wassermenge im

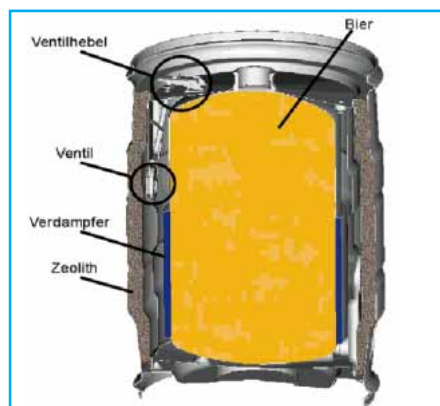


Bild 3: CoolKeg-Aufbau



Bild 4: Gasbefuertes Regenerationsofen zur Reaktivierung von 60 CoolKegs pro Stunde

Adsorptionsstoffpaarung	Zeolith/Wasser	
Füllmenge Zeolith	5.1	kg
Füllmenge Wasser	1.0	kg
Bierfüllung	20.5	Liter
Gesamtgewicht (incl. Bier)	41	kg
Kühlzeit vor dem Zapfen	30 -45	min
Kürzeste Zapfperiode	170	min
Längste Zapfperiode	24	h
Max. Bieranfangstemperatur	26	°C
Min. Zapftemperatur	3	°C
Maximale Zeolithtemperatur	90	°C
Lagerzeit (wg. Bier)	9	Monate
Regenerationstemperatur	350	°C
Regenerationszeit	50	min
Regenerationsofen (gasbefeuert)	60	Fässer/h
CoolKegs im Umlauf	20.500	
Erster Lizenznehmer	Cool-System	Nürnberg
Erste Brauerei	Tucher Bräu	Nürnberg
Hersteller	Fa. Müller	Rhein- felden

Verdampfer kühlt sich und das die Verdampferwand (Fassblase) berührende Bier ab. Die Abkühlgeschwindigkeit liegt bei ca. 0,5 K/min, d.h. bei 22 °C Ausgangstemperatur kann etwa 40 min nach dem Öffnen des Ventils das erste Bier mit ca. 7 °C gezapft werden. Abgekühlt wird immer nur das Bier, das sich in dem Bereich der Fassblase befindet der von dem Verdampfer (Bild 3) umschlossen wird. Das darüber liegende Biervolumen bleibt nahe der Ausgangstemperatur. Man erreicht so eine schnellere Abkühlung der unteren Biermenge, die zuerst gezapft wird. Die obere Biermenge wird erst gekühlt, wenn sie durch Zapfen der bereits gekühlten unteren Biermenge in den Bereich des Verdampfers absinkt. Die gesamte Biermenge (20 l) lässt sich innerhalb von 2,5 Stunden gekühlt zapfen.

Bei geringer Wärmezufuhr (seltenes Zapfen) wächst eine Eisschicht im Verdampfer, die bei sehr großer Wärmezufuhr (häufiges Zapfen) wieder abschmilzt. Durch die natürliche Eisbildung im Verdampfer wird die Wärmeübertragung vom Bier in den



Bild 5: Teilansicht des Regenerationsofens während des Betriebs

Verdampfer reduziert, so dass das Bier nicht unter 0°C abkühlt und im Regelfall bei 3 bis 5°C verbleibt. Das einmal abgekühlte Bier wird durch das herrschende Vakuum mindestens 24 h kühl gehalten.

Eine typische Abkühlkurve für das Bier im selbstkühlenden Partyfass ist in Bild 6 dargestellt. Die mittlere effektive Kühlleistung des Systems während der gesamten Zapfzeit beträgt etwa 120 Watt, wobei in den ersten Minuten des Kühlprozesses Kühlleistungen von über 1000 Watt erzeugt werden! Damit ist es erstmals gelungen eine effiziente stromlose Kühlung in ein Bierfass zu integrieren, die allen Kundenwünschen bzgl. Kühlleistung und convenience entspricht und damit seit langer Zeit die erste echte Gebindeinnovation darstellt.

Ausblick

Ausgehend von dem 20 l Partyfass wurden inzwischen weitere Gebindegrößen mit integrierter Zeolith-Kühltechnik entwickelt, die zukünftig am Markt erhältlich sein werden. Es handelt sich hierbei um 15,5 l, 12,5 l und 8,5 l Bierfässer, wobei auch sogenannte „Tropic“-Versionen mit erhöhter Kühlleistung für höhere Außentemperaturen inzwischen erfolgreich getestet worden sind. Damit stehen für den weltweiten Einsatz marktgerechte Versionen des selbstkühlenden Fasses bereit.

Neben dem Anwendungsfeld Bierkühlung sind die Weinkühlung und die Kühlung von alkoholfreien Getränken weitere interessante Einsatzfelder für diese Art der Produktkühlung. Auch selbstküh-

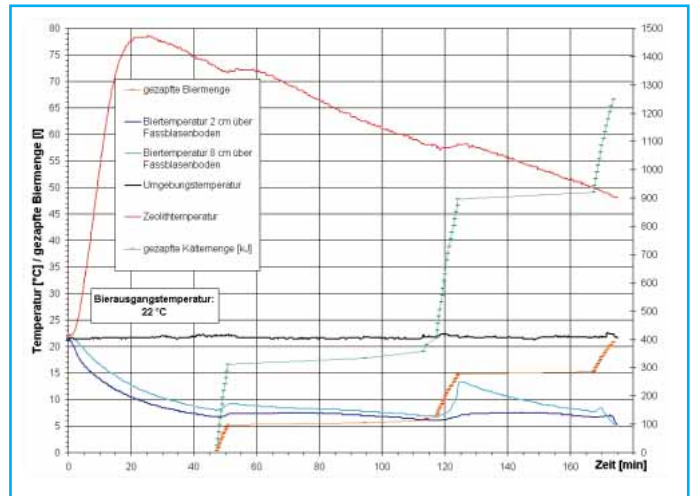


Bild 6: Typische Messung der Abkühlung von 20,5 l Bier (22°C Ausgangstemperatur) im CoolKeg

Tabelle 1: Spezifikationen und wichtige Daten zum CoolKeg

lende Milchkannen für die Aufrechterhaltung der Kühlkette in Entwicklungsländern sind auf der Basis integrierter Zeolith-Kühltechnik in der Entwicklung.

Daneben sind selbstkühlende Gebinde noch für den Einsatz als Chemikalien-, und Pharmazeutikacontainer und Behälter für Biotechnologievor- und -endprodukte sowie als Gefahrgutcontainer geeignet. Die Kühltemperaturen können dann unter - 20 °C liegen.

Literatur

- [1] Maier-Laxhuber, P.: Sorptionswärmepumpen und Sorptionspeicher mit dem Stoffpaar Zeolith-H₂O, Dissertation, LMU München 1983
- [2] Cube / Steimle / Lotz / Kunis (Hrsg.) Lehrbuch der Kältetechnik Band 1-2, 4. Auflage, Heidelberg: C.F.Müller Verlag 1997
- [3] Homepage der Zeo-Tech GmbH: www.zeotech.de
- [4] Puppe, L.: Molekularsiebe, in Ullmanns Enzyklopädie der technischen Chemie, Bd. 17, 4. Auflage, Weinheim: Verlag Chemie 1978
- [5] Bundestags-Enquete-Kommission, Sachverständige: Ökobilanz/Produktlinienanalyse am Beispiel des FCKW-Ersatzstoffes R 134a und anderer Ersatzstoffe bzw. -technologien, Zusammenstellung der Experten-Stellungnahmen zum Fragenkatalog für die öffentliche Anhörung am 3. 12. 1992, Bundestags-Enquete-Kommission/Schutz des Menschen und der Umwelt, Bonn 1992

Schlüsselwörter

Zeolith
CoolKeg
Adsorption
Desorption
Kühltechnik
Sorptionsstechnik