

Kribbeln auf der Zunge

Welcher technische Aufwand ist beim Karbonisieren wirtschaftlich?

Neben alkoholfreien Erfrischungsgetränken werden insbesondere Bier, Perl- und Schaumwein sowie entsprechende Mischgetränke mit CO₂ versetzt oder karbonisiert. Das gewollte Lösen anderer Gase, wie z. B. Sauerstoff oder Stickstoff in Getränken findet nur vereinzelt statt. Einige Karbonisieranlagen sind prinzipbedingt ausschließlich zum Lösen von CO₂ geeignet, andere Karbonisierungen können auch andere Gase lösen bzw. sind hierfür nachrüstbar. Bei den nachfolgenden Betrachtungen soll hierauf jedoch nur am Rande eingegangen werden.

Grundlagen

Die Mengen an CO₂, die gelöst werden sollen, sind unterschiedlich hoch. Alkoholfreie Erfrischungsgetränke enthalten üblicherweise fünf bis neun g/l CO₂. Weine werden teilweise, ebenso wie „stille“ Wässer, mit etwa 2,5 g/l karbonisiert. CO₂-Gehalte unterhalb drei g/l bewirken nicht das typische CO₂-Kribbeln auf der Zunge, sondern verbessern zum einen die biologische Haltbarkeit und erzeugen zum anderen einen Frischeindruck. Das Lösen von Gasen ist abhängig von:

Raimund Kalinowski

Jahrgang 1957, gelernter Brauer und Mälzer, Diplom-Braumeister, Inbetriebnahmeingenieur im Mälzereianlagenbau, 1. Braumeister bei Okanagan Spring brewery, Leiter Qualitätssicherung Produktion bei Coca-Cola GmbH, Leiter der Brau- und Maschinentechnischen Abteilung der VLB-Berlin, Leiter AFG bei Tuchenhagen, seit Frühjahr 2001 Prokurist und Leiter des Anlagenbaus der Nocado-Gruppe.



Inline-Karbonisierung als Bestandteil eines Inline Mixers.

- Zusammensetzung und Inhaltsstoffe der Flüssigkeit,
- Temperatur,
- Druck,
- Oberfläche und
- Zeit.

Üblicherweise wird nicht gasfreies, destilliertes Wasser karbonisiert. Im einfachsten Fall wird Tafel- oder Mineralwasser karbonisiert. Je nach Menge und Art des Salzes ändert sich der Sättigungsdruck. Mit steigendem Zuckergehalt (bei z. B. Limonaden) nimmt der Sättigungsdruck zu. Es gibt somit keinen „Wert für Mineralwasser“ oder für Limonaden, Bier etc.. Alle verwendeten Formeln sind fehlerbehaftet und stimmen nur unter einem einzigen Schnittpunkt der zahlreichen, möglichen Einflußfaktoren, das gleichbedeutend damit ist, daß sie real niemals stimmen können. Das heißt für die Praxis, daß man bei allen auf den Sättigungsdruck basierenden Meßverfahren üblicherweise nicht den CO₂-Gehalt sondern das Äquivalent eines Meßwertes zu einer Referenzflüssigkeit unter Referenzbedingungen bestimmt. Obwohl dieser Fehler relativ groß sein kann, ist die Meßmethode trotzdem praxisgerechter als eine wesentlich genauere naßchemische Bestimmung. Wenn man z. B. zwei Limonaden absolut gleich herstellt, die eine aber mit Saccharose und die andere z. B. mit Aspartam süßt und beide auf einen CO₂-Gehalt einstellt, der einem Sättigungsdruck bei reinem Wasser von

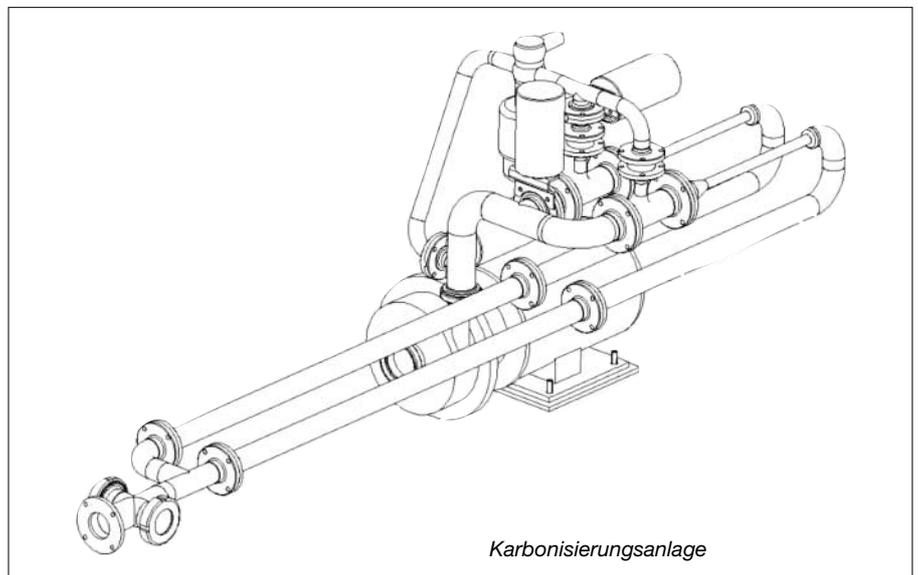
7,5 g/l entspricht, „spart“ man bei der zuckerhaltigen Limonade etwa 15 Prozent CO₂, da ja bei gleichem CO₂-Gehalt der Sättigungsdruck höher wäre oder für den gleichen Sättigungsdruck weniger CO₂ gelöst werden muß. Obwohl die zuckerhaltige Limonade bei gleichem Sättigungsdruck weniger CO₂ enthält stimmt der „Kribbeleindruck“ auf der Zunge mit den identischen Meßwerten überein.

„Sniften“

Dies stimmt aber nur, so lange nicht andere Gase die Karbonisierung und die Messung stören. Wenn z. B. in einer abgefüllten Flasche der Sättigungsdruck gemessen wird muß die Luft im Flaschenhals vor der Messung entfernt werden. Dieses Entfernen der Luft im Flaschenhals nennt man „sniften“, je nach Referenzmethode wird einmal oder zweimal gesniftet. Unterläßt man das sniften, wird die Luft mit erfaßt und täuscht durch die geringere Löslichkeit und eine damit verbundene höhere Druckanzeige einen höheren CO₂-Gehalt als bei korrekter Messung vor. Wenn nun ein zu karbonisierendes Getränk nicht ausreichend entgast ist, steigt der Sättigungsdruck des Gasgemisches CO₂ + Restgas (meist Luft) im Getränk an. Damit verbunden sind dann höhere Karbonisier- und Abfülldrücke, und daraus folgend höhere Gasmengen zum Vorspannen für Puffertank und Füller und eine geringere Abfüll-

leistung, sofern sie nicht anders, z. B. durch niedrigere Temperaturen oder eine entsprechende Kapazitätsreserve des Füllers, ausgeglichen werden kann. Da die Löslichkeit vom Absolutdruck abhängt, ist es absolut unsinnig, Meßgeräte mit Manometern auszustatten die den Relativdruck messen. Das Sniften geschieht meistens nach „Gefühl“, und wenn dann per Hand geschüttelt wird, kann der Meßfehler über 10 Prozent betragen, deshalb sollte man zum Vergleich das Getränk regelmäßig sensorisch beurteilen.

Karbonisierungen sind häufig in Mixern, welche die Verfahrensabschnitte Entgasen, Mischen und Karbonisieren in einem Apparat zusammenfassen, integriert. Einzel-Karbonisierungen haben häufig mit den Schnittstellen und damit verbundenen schwankenden Temperaturen, extremen, kurzfristigen Durchflußänderungen und beträchtlichen Mengen von Fremdgasen, insbesondere mit gelöster Luft zu kämpfen. Es ist auch möglich, daß die zugeführten Getränke bereits einen meßbaren Anteil an gelöstem Kohlendioxyd enthalten. Wenn vorhandene Karbonisierungen aus Qualitätsgründen ausgewechselt werden sollen, sollte zunächst das Umfeld genau betrachtet werden, denn stark schwankende CO₂-Gehalte haben häufig ihre Ursache im Umfeld der Karbonisierung.



Karbonisierungsanlage

Die technischen Lösungen

Der einfachste und älteste Apparat ist sicherlich der mit Gas vorgespannte Tank. An der Grenzschicht zwischen der Flüssigkeit und dem Gas findet ein Gasaustausch gemäß der Partialdrücke statt, d. h. das Gas wird von der Flüssigkeit aufgenommen und direkt gelöst. In Abhängigkeit vom Getränk und von der Temperatur wird der Druck gewählt und geregelt. Das System arbeitet weitgehend unab-

hängig von einer eventuellen Vorkarbonisierung und auch von anderen gelösten Fremdgasen, wie z. B. Luft bzw. Sauerstoff in den üblicherweise vorkommenden Mengen. Es wird selbst von starken Volumenstromschwankungen kaum beeinflusst und entspricht weitgehend der üblichen Referenz-Meßmethode, bei der der Sättigungsdruck bestimmt wird und dem Gasgehalt einer Referenzflüssigkeit (meist Wasser) bei gleichem Sättigungsdruck gleichgesetzt wird.

Da ein Gasaustausch entsprechend den Partialdrücken stattfindet, würde sich das Gas im Tank mit der Zeit mit denen in der Flüssigkeit vorher gelösten Gasen anreichern. Dieses verhindert man, indem man einen Teil des Gases ständig ersetzt. Häufig werden diese Systeme mit einer Druckentgasung kombiniert, so daß das zu ersetzende Gas aus dem Tank in einer vorgeschalteten Druckentgasungsstufe genutzt werden kann. Man findet diese Karbonisierungen deshalb fast ausschließlich als Bestandteil von Mixern. Bei hohen gewünschten Gehalten an gelösten Gasen arbeiten die tankbasierten Systeme mit guter Genauigkeit. Durch die Konstruktion benötigen sie eine aufwendigere Spülung oder Reinigung bei Produktwechseln, haben durch den steten Gasverbrauch höhere Betriebskosten und sind nur unzureichend auf niedrige Gasgehalte einzustellen. Bei sehr niedrigen Gasgehalten müßte der Tankinnendruck nahe oder sogar unter dem atmosphärischen Druck liegen. Dies ist theoretisch zwar möglich, aber sicherlich nicht wirtschaftlich praktikabel.

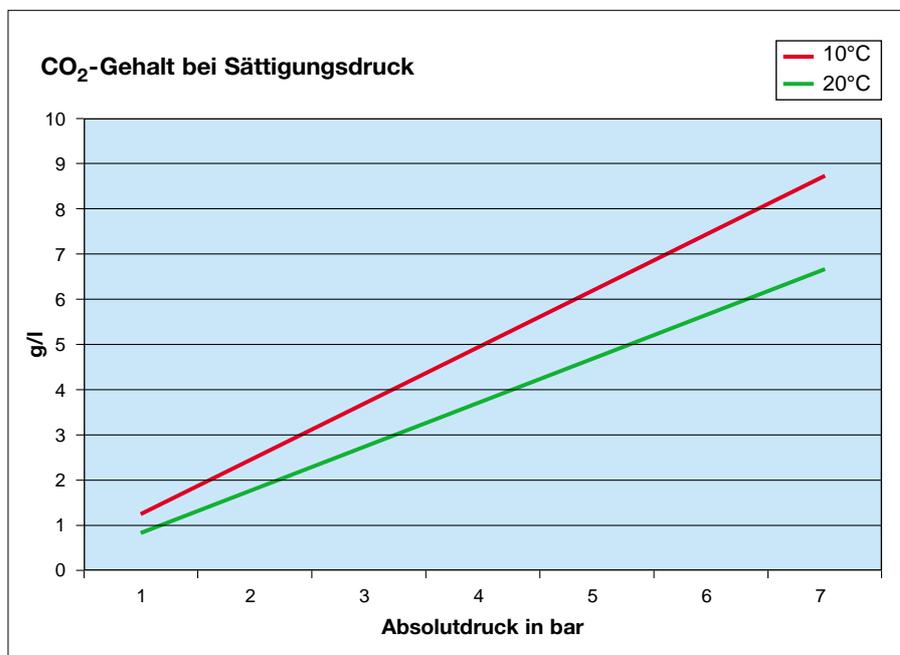
In-line Systeme mit statischen Mixern

In-line Systeme sind meist mit statischen Mixern ausgerüstet. Das Gas wird dem Flüssigkeitsstrom im berechneten Verhältnis zugegeben. In statischen Mixern werden die Gasblasen zerschlagen, um die Grenzfläche zwischen Gas und Flüssigkeit heraufzusetzen. Gasblasen haben die Neigung, sich nach kurzer „Reisezeit“ zu größeren Blasen wieder zusammenzuschließen, deshalb sind mehrere statische Mischer hintereinander geschaltet, um bis zur weitgehend vollständigen Lösung kleinste Blasen mit möglichst großer Grenzschicht zu gewährleisten.

Die Probleme bei diesen Systemen sind im wesentlichen:

- bei schwankenden Durchflüssen ändern sich die Druckverhältnisse, die Wirkungsweise der statischen Mischer und auch der Anteil des nicht gelösten Gases,
- am Anfang der Anlage herrscht das höchste Konzentrationsgefälle und der höchste Druck bei der größtmöglichen Grenzfläche, das heißt beim Durchlauf durch die Anlage werden die Voraussetzungen für eine vollständige Lösung immer ungünstiger.

Der Druck im System sollte auch am Austritt noch deutlich über dem Sättigungsdruck liegen, um den Anteil nicht gelösten Gases zu minimieren. Bei kleinen und mittleren Gasgehalten arbeiten diese Systeme sehr gut. Bei hohen Gaskonzentrationen wären



deutliche höhere Systemdrücke oder erweiterte Lösungsstrecken wünschenswert, sie sind aus wirtschaftlichen Überlegungen heraus aber nicht sinnvoll, da bei geringeren Betriebskosten und dann vergleichbaren Investitionskosten bessere Systeme verfügbar sind. Der große Vorteil dieser Anlagen ist, daß sie in bestimmten Grenzen von Temperaturveränderungen nur wenig beeinflusst werden und als In-line System sehr einfach und schnell zu reinigen sind.

Gleichmäßigere Anströmung mit Umwälzleitung

Um eine gleichmäßigere Anströmung der statischen Mischer zu erzeugen, hat ein Hersteller von Karbonisierungen eine Umwälzleitung installiert. Das heißt: Strömung durch die statischen Mischer = Umwälzleistung + Anlagenleistung. Wenn die Umwälzleistung groß genug gewählt wird, hat die absolute Schwankung der Anlagenleistung einen relativ geringen Einfluß auf die Strömung durch die statischen Mischer. Ein Großteil des Produktes passiert die Anlage mehrfach, dadurch können bei noch vertretbarem Aufwand auch mittelhohe bis hohe CO₂-Gehalte mit recht guten Ergebnissen erzielt werden. Ein anderer Hersteller hat eine scheinbar geniale Idee erfolgreich in die Praxis umgesetzt: Am Austritt der Lösestrecke werden die ungelösten Gasblasen über einen Hydrozyklon abgetrennt und am Eintritt wieder zugegeben. Dadurch wird eine Lösung erreicht, die theoretisch vollkommen unabhängig ist von Druck, Temperatur und Durchfluß sowie vom spezifischen Löslichkeitsvermögen und selbst bei Prozedrücken nur wenig oberhalb des Sättigungsdruckes am Ausgang funktionieren muß. Das scheinbar geniale an diesem System ist, daß sämtliche Gase und auch

Gasgemische theoretisch vollständig gelöst werden. Da immer, selbst am Austritt der statischen Mischer eine große Grenzfläche vorliegt, kann die Anzahl und der damit verbundene Druckverlust der statischen Mischer deutlich reduziert werden. In der Praxis haben sich bei diesem System zwei Haupt-Nachteile gezeigt: Die Lösung erfolgt unspezifisch und unabhängig vom Löslichkeitsvermögen des zugeführten Gases weitgehend vollständig, d. h. Verunreinigungen im zugeführten Gas werden praktisch vollständig gelöst, da selbst bei schlechtem Löslichkeitsvermögen die ungelösten Gase abgetrennt werden und so oft zirkulieren, bis sie vollständig gelöst sind.

Düsensysteme

Düsensysteme sind fast so alt wie tankbasierte Systeme. Die gebräuchlichen Systeme sind häufig nicht CIP-fähig und müssen manuell gereinigt werden. Die Geräuschentwicklung stellt häufig ein ernstzunehmendes Problem dar, falls der Mixer mit einer derartigen Karbonisierung in der Abfüllhalle steht. Da das Düsensystem das zugeführte Gas nahezu auf Molekulargröße in der Flüssigkeit verteilen kann, kann es das Gas (CO₂) sehr schnell und entsprechend dem Löslichkeitsvermögen praktisch vollständig lösen. Hierbei darf jedoch eine Mindestströmungsgeschwindigkeit nicht unterschritten werden, da sonst das Düsensystem wirkungslos wird. Der Einfluß von Druck, Temperatur und Löslichkeitsvermögen ist relativ gering, da das CO₂ proportional zudosiert wird und, sofern der Systemdruck am Austritt ausreichend hoch ist, das CO₂ nahezu vollständig gelöst wird. Fremdgase stören das System nicht, wobei selbstverständlich der Systemdruck beim Vorhandensein von Fremdgasen entsprechend höher eingestellt

werden muß. Konstruktiv war es über lange Zeit nicht möglich, funktionsfähige Düsensysteme für größere Durchflußmengen zu realisieren, so daß bis zu zehn parallel geschaltete Düsen lange Zeit den Stand der Technik bestimmten. Nun ist vor wenigen Jahren eine Düse entwickelt worden, die die Vorteile des Düsenprinzips voll anwendet, jedoch für Durchflußleistungen von 20 bis 2000 hl/h in einer einzelnen Düse bereits physisch gebaut wurde, die voll CIP-fähig und, von vielen unbemerkt, inzwischen über 400 mal im Einsatz ist.

Bei sehr großen Leistungsbereichen, wenn z. B. eine Anlage 0,2 l Flaschen ebenso wie 2,0 l Flaschen füllen soll, ist es beim Düsensystem sinnvoll, den Strom je nach Abfülleistung auf einen oder zwei Ströme zu verteilen. Um den Systemdruck zu reduzieren, kann es ferner insbesondere bei stark schwankenden Leistungsbereichen sinnvoll sein, den Düsen statische Mischer nachzuschalten. Um systembedingte Fehler der Proportionalregelung in In-line-Systemen auszuschließen, ist es wie bei der inline Mischung sinnvoll, hier eine Fuzzy-Logik einzusetzen.

Schlußfolgerungen

Wenn ein einzelnes System allen anderen in allen Punkten überlegen wäre, würde es die anderen Systeme in Kürze nicht mehr geben. Sicherlich ist es für die meisten Anwender nicht notwendig, ihre vorhandenen Karbonisierungen aus qualitativen Gründen auszuwechseln, sofern nicht neue Produkte (niedrige CO₂-Gehalte) dies verlangen. Kürzere Umstellzeiten und weniger Produktverluste können insbesondere in Verbindung mit einer deutlichen CO₂-Einsparung aus rein wirtschaftlichen Gründen eine Neuanschaffung rechtfertigen. Die Möglichkeit, andere Gase wie Sauerstoff, Stickstoff oder Argon zu lösen, haben die meisten heute installierten Anlagen nicht und können auch damit nicht nachgerüstet werden. Somit ist für Anwender, die planen, andere Gase als CO₂ zu lösen, der optimale Zeitpunkt, auch die Wirtschaftlichkeit der vorhandenen Karbonisierung auf den Prüfstand zu stellen. In-line-Karbonisierungen haben normalerweise geringere Betriebskosten als tankbasierte Systeme. Selbstverständlich muß der CO₂-Verbrauch eventueller Puffertanks berücksichtigt werden. Wobei Puffertanks in In-Line-Anlagen bei den meisten alkoholfreien Erfrischungsgetränken ohne Qualitätsbedenken mit Sterilluft oder Stickstoff (aus Lufttrennungsanlagen) beaufschlagt werden können, was die Betriebskosten deutlich senken kann.

Zusammenfassung

Ein Verständnis der physikalischen Grundlagen ist der Ausgangspunkt für die wirtschaftlich richtige Auswahl der Karbonisierung. Wenige Produktwechsel, geringe Betriebsstunden und ausschließlich hochkarbonisierte Getränke sprechen für einfache, tankbasierte Systeme. Bei geringen CO₂-Gehalten, insbesondere bei sehr gleichmäßigen Leistungen, wie sie z. B. beim Karbonisieren von Bier während der Filtration vorkommen, reichen In-Line-Systeme mit statischen Mischern und Proportionalregelung häufig aus. Bei anspruchsvolleren Aufgabenstellungen, insbesondere, um ein großes Spektrum von CO₂-Gehalten und Durchflußleistungen abdecken zu können, sind Düsen oder Kombinationen von Düsen und statischen Mischern häufig die wirtschaftlichste Lösung. Die Wirtschaftlichkeit von In-Line-Karbonisierungen verbessert sich weiter, wenn Puffertanks nicht mit CO₂ sondern mit Sterilluft oder Stickstoff aus vor Ort installierten Lufttrennungsanlagen beaufschlagt werden. □