

Entgasung in der Getränkeindustrie

VarioSpin – Schlüsseltechnologie für die effektive und produktschonende Abfüllung

Die Neuentwicklung im Bereich der Vakuumentgasung für Säfte und Getränke mit dessen Funktionalitätsbeschreibung wurde in der Vergangenheit bereits beschrieben. Mittlerweile hat sich diese Entwicklung am Markt erfolgreich platziert und ermöglicht dem Anwender eine schonende, sichere und störungsfreie Produktion und Füllung qualitativ hochwertiger Getränke. Im Laufe der Inbetriebnahmen und der Produktionsüberwachungen der neuen Anlagen sind interessante Ergebnisse entstanden, die in diesem Artikel vorgestellt werden.

Thermodynamische Grundlagen der Entgasung

Der mögliche Gasgehalt in einer Flüssigkeit ist definiert nach Gleichung 1, die durch die temperaturabhängige, gasspezifische Henrykonstante λ – auch als Löslichkeitskoeffizient bezeichnet – und dem Partialdruck des Gases p beschrieben ist.

$$m_{Gas} = \lambda_{Gas} \times p_{Gas} \quad (\text{Gleichung 1})$$

Der Gasanteil für Sauerstoff berechnet sich, bei im Verhältnis zur Wasserdampftabelle anteiligem Luftdruck, aus dem Sauerstoffanteil mit einem 20,9 prozentigen Anteil.

$$m_{O_2} = \lambda_{O_2} \times p_{Luft} \times 0,209 \text{ bar} \quad (\text{Gleichung 2})$$

Die maximal mögliche Entgasung in einem System setzt sich aus dem Partialdruck des Gases multipliziert mit dem Löslichkeitskoeffizienten λ in Abhängigkeit von der Flüssigkeitstemperatur und einem anlagenspezifischen Gasaustauschwirkungsgrad ϵ zusammen.

$$m_{Gasverlust} = (m_{Gasvorbelastung} - p_{Gas} \times \lambda_{Gas}) \times \epsilon \quad (\text{Gleichung 3})$$

Die theoretische Grundlage für jeden Entgasungsprozess ist das in Gleichung 4 beschriebene Gesetz von Dalton. Demnach setzt sich der Gesamtdruck aus der Summe aller vorkommenden Gase mit deren Partialdrücken zusammen. Der jeweilige Entgasungseffekt basiert auf der Verschiebung der Partialdrücke in Richtung der erwünschten Gase – im Falle einer vollständigen Entgasung, durch Druckabsenkung oder Temperaturerhöhung, in Richtung des Wasserdampfes.

$$p_{gesamt} = p_{Dampf} + p_{Sauerstoff} + p_{Stickstoff} \quad (\text{Gleichung 4})$$

Demnach ergeben sich die in Abbildung 2 aufgelisteten druck- und temperaturspezifischen Gasbelastungen.



Abbildung 1: Produktentgaser integriert in eine thermische Produktbehandlung zur Heißabfüllung von Säften

Die jeweiligen Schnittpunkte der Betriebsparameter mit der Sättigungskurve beschreiben auch den maximal möglichen Entgasungswert einer einstufigen Vakuumentgasung bei einem Entgasungswirkungsgrad von 100 Prozent. Dieser ist nur in der Theorie erreichbar und beschreibt den absoluten Gleichgewichtszustand zwischen Gas- und Flüssigkeitsphase.

Der Anteil an ebenfalls in der Flüssigkeit gelöstem Stickstoff errechnet sich näherungsweise nach dem Löslichkeitsverhältnis von zwei Dritteln aus dem doppelten Sauerstoffvolumen. Die Partialdrücke verhalten sich dabei wie die Volumenprozent.

Gründe für eine Produktentgasung

Im Wesentlichen gibt es drei Gründe die eine Produktentgasung notwendig machen. Zum Ersten ist in vielen Fällen die Gasbeladung durch den Herstellprozess so hoch, dass es zu Füllproblemen kommt. Dies macht sich durch Übersäumen der Flaschen am Füller und damit in geringen Füllgeschwindigkeiten bemerkbar. Insbesondere bei Hotfill-Systemen kommt es bei einer nicht integrierten Entgasung aufgrund der hohen Fülltemperaturen und der dabei niedrigen Löslichkeit der einzelnen Gase zu erheblichen Problemen. Die bei Eintritt in die thermische Behandlung gesättigte Flüssigkeit hat erst nach dem Druckabbau vor dem Füller die Möglichkeit, die überschüssige Gasbeladung abzuschneiden. Dies geschieht dann im Füllerbehälter, während des Füllprozesses oder nach einer Stickstoffdosage unter erheblicher Schaumbildung.

Zum Zweiten ist die oxidative Beeinträchtigung durch den gelösten Sauerstoff ein weiterer Grund für eine Entgasung. Am Beispiel der Ascorbinsäure kommt es spontan zur irreversiblen Hydrolyse der Dehydroascorbinsäure, wodurch Diketogulonsäure entsteht. Das Vitamin wird dadurch zerstört. Zur Oxidation von 11 mg Ascorbinsäure ist nach den Molgewichten lediglich eine Sauerstoffmenge von 1 g erforderlich. Neben der Zerstörung von Vitaminen und antioxidativen Reaktanzen machen sich die Oxidationsreaktionen zudem in einer unerwünschten Verfärbung der Produkte bemerkbar.

Als dritter Grund für eine Entgasung ist das unerwünschte Aufschwimmen von festen Bestandteilen wie Fasern, Pulpe oder Fruchtstückchen in der Flasche zu nennen. Gerade beim derzeitig sich rasch verbreitenden Trend der immer höheren Anteile ganzer Stückchen, Sacs oder Fruchtfasern im Getränkbekommt das Qualitätskriterium einer homogenen Produktdarstellung in der Flasche eine immer größere Bedeutung.

Messtechnik

Zur Beurteilung des Entgasungsprozesses ist es wichtig, einerseits den gesamten Herstellprozess zu betrachten und neben dem Sauerstoffgehalt den erheblich höheren Stickstoffgehalt im Getränk nicht außer Acht zu lassen. Für diesen

gibt es derzeit keine praxistaugliche und etablierte Messtechnik, wodurch der Prozess immer am messbaren gelösten Sauerstoff beurteilt wird.

Jede Messtechnik misst den gelösten Gasgehalt in der Flüssigkeit, gibt allerdings keinen Einblick in den Gehalt ungelöster feiner Gasbläschen im Getränk. Gerade diese bereiten aber im Füllprozess die beschriebenen Schwierigkeiten. Ein niedriger Sauerstoffwert, gemessen nach der Druckentlastung am Füllereinlauf, kann trotzdem zu erheblichen Füllproblemen führen, da sich die gerade gelösten Gase in der Flüssigkeit nicht gemessen werden.

Zur Beurteilung des Entgasungseffektes beziehungsweise des Restsauerstoffgehaltes hat es sich in der Praxis etabliert, am Füllereinlauf oder direkt nach der Produktentgasung zu messen. Zur Messung hat sich ein optisches Messprinzip bewährt, welches auf dem Effekt der dynamischen Lumineszenzlöschung durch molekularen Sauerstoff basiert. Es überzeugt durch seine schnelle Anpassung an schwankende Sauerstoffwerte, seine leichte Kalibrierung, Wartungsarmut und sein einfaches Handling. Alle hier vorgestellten Sauerstoffwerte wurden mit dem Oxytec System der Firma Centec gemessen.

Wie bereits beschrieben verhalten sich viele der verarbeiteten Produkte oxidativ und zehren in Abhängigkeit von der Produkttemperatur den gelösten Sauerstoff auf. Demnach bedeutet ein niedriger Sauerstoffwert am Ende des Prozesses nicht immer einen niedrigen Gasgehalt in der Flüssigkeit.

Um diesen zu ermitteln, muss der Sauerstoffgehalt im kalten Zustand nach der Produktherstellung im Sirupraum gemessen werden. Diesen Volumenanteil verdoppelt ergibt näherungsweise den im Getränk enthaltenen, nicht durch Oxidation beeinflussbaren Stickstoffanteil. Eine zweite Messung am Einlauf des Entgasers (ca. 60°C) gibt Aufschluss über eine



Roland Feilner

Dipl. Ing. Lebensmitteltechnologie, Fachspezialist für Prozesstechnik, Krones AG, Neutraubling

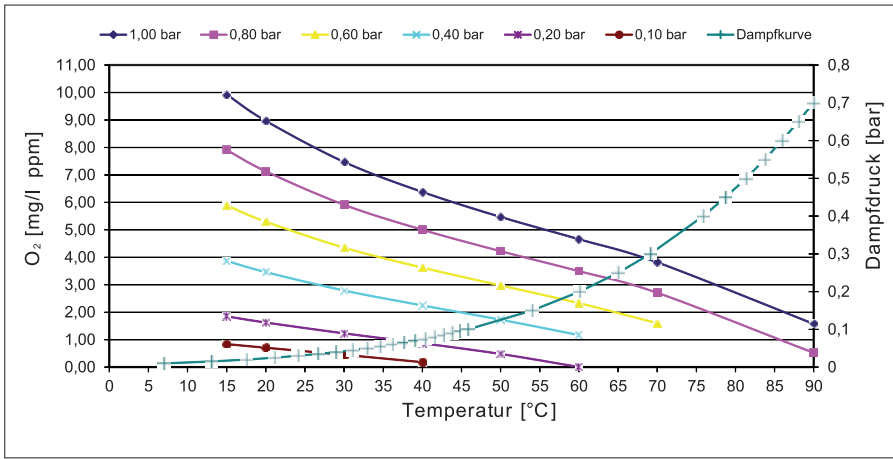


Abbildung 2: Löslichkeitskurven von Sauerstoff in Wasser in Abhängigkeit vom Prozessdruck und Temperatur



Abbildung 3: Aufgeschwommene Orangenzellen in der Flasche durch ungenügende Produktentgasung

oxidative Reduktion während der ersten Pasteurisationsstufe. Eine dritte Messung am Entgaserauslauf und die Differenz der Messwerte mit der Einlaufmessung erlauben den Entgasungswirkungsgrad und damit die Effizienz der Anlage bei den jeweiligen Produkten und den eingestellten Parametern zu ermitteln. Wichtig ist dabei die richtige Wahl der Bezugsgröße.

Aus Tabelle 1 wird der Entlüftungsanteil aufgrund des Temperaturanstieges deutlich, dessen Sättigung (4,7 mg/l) sich allein nach einer Entspannung auf Atmosphärendruck einstellt. Die eigentliche Entgasung der noch gelösten Gase wird durch den angelegten Unterdruck (300 mbar absolut) und damit der Reduktion der anteiligen Partialdrücke in Abhängigkeit vom Wirkungsgrad der Anlage, bis wiederum maximal auf die jeweilige Sättigung (0,59 mg/l bei 60 °C und 300 mbar), in diesem Beispiel auf 0,8 mg/l, reduziert. Um die weitere Oxidation der zweiten Pasteurisationsstufe bis zum Füller zu ermitteln, ist eine vierte Messung am Füllereinlauf nötig.

Angepasster Entgasungsprozess

Eine Produktentgasung grenzt sich klar von den übrigen am Markt etablierten Entgasungssystemen ab, die sich vornehmlich auf die Reduktion von Sauerstoff aus Prozesswasser beschränken. Im Gegensatz zu den komplexen, oft zum Schäumen neigenden und mit festen Bestandteilen beinhaltenden Säften, kann Wasser sehr viel einfacher gehandhabt werden. Demnach kommen strippgasunterstützte Prozesse nicht infrage, da eine vollständige Entgasung gefordert wird. Auch die dort eingesetzten Packungskolonnen zur Generierung einer langen Kontaktzeit und Oberfläche sind aus hygienischen Gründen nicht möglich.

Membranentgasungen sind aufgrund der viskosen Produkteigenschaften und durch die verschiedenen Inhaltsstoffe bis hin zu stückigen Bestandteilen nicht möglich. Auch das feine Zerstäuben oder Verrieseln ist durch die starke Schaument-

Tabelle 1: Gasbeladung entlang der Getränkeherstellungsstationen

Entgasungsleistung 95% bis zur O ₂ -Sättigung 0,59 mg/l							
Sirupraum 15° C		Entgasereinlauf 60° C		Entgaserauslauf 60° C		Füllereinlauf 20° C	
O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂	O ₂	N ₂
10,1 mg/l	16,6 mg/l	4,7 mg/l	8,5 mg/l	0,8 mg/l	1,4 mg/l	0,4 mg/l	1,4 mg/l
↓ Entlüftung/Oxidation		↑ Entgasung		↓ Oxidation/Entlüftung			



Abbildung 4: Dralleinlaufdüse mit integrierter Absaugung zur optimalen Produktverteilung



Abbildung 5: Scharfe Schaumgrenze bei einer stark zum Schäumen neigenden Erdbeersaftproduktion

wicklung und im Falle einer Dispersion nicht möglich. Durch das Fehlen dieser Möglichkeiten, die alle dazu dienen, die Kontaktzeit und die Phasengrenzfläche zum Gasaustausch zu vergrößern, ist es auch nicht möglich, unter wirtschaftlich und praktisch sinnvollen Gegebenheiten derartige Entgasungsleistungen wie bei einer reinen Wasserentgasung zu erreichen. Diese erreichen Werte, je nach Verfahren bis unter 0,02 ppm Restsauerstoff, allerdings dann immer mit entsprechender Anreicherung des genutzten Strippgases CO₂.

Gase im Herstellprozess von Getränken und Säften und deren Beeinflussung der Produkte und deren Verarbeitung ist stark vom Zustand des Gases abhängig. Gelöste Gase bei entsprechendem Druck und Temperatur beeinflussen die Produktqualität durch Oxidation. Ungelöste Gase, also freie Gasbläschen, beeinflussen primär den Füllprozess. Je nach Anforderung der Abfüller kommen zwei Verfahren zur Reduktion der Gase zum Einsatz.

Gelöste Gase in Kombination mit einer Kaltabfüllung lassen sich über den Herstellprozess nur über eine Vakuumentgasung unter den Sättigungsanteil bei Abfülltemperatur reduzieren. Auch die oxidative Beeinflussung über den Pasteurisationsschritt wird dadurch reduziert. Ungelöste Gase wie sie beispielsweise bei einem Heißfüllprozess nach der Druckentlastung im Füllereinflauf auftreten, lassen sich sehr gut mit einer Entlüftungseinheit ohne Vakuumstufe entfernen.

Bei der Heißabfüllung tritt aufgrund der Löslichkeitsdifferenz zwischen den im Normalfall bei 60 bis 65 °C eingebundenen Entgasern und der Abfülltemperatur bei 90 bis 95 °C immer eine Entbindung statt, die sich durch ein Überschäumen des Füllerbehälters oder der gefüllten Flaschen negativ auswirkt. Demnach ist in diesem Fall eine effektiv ausgestattete Entlüftung vor dem Füllereinflauf eine wirkungsvolle und kostengünstigere Lösung zur Vakuumentgasung, insbesondere wenn der oxidative Einfluss auf die Produkte nicht im Vordergrund steht.

Allein durch die Entlüftung lässt sich bei 90 °C Fülltemperatur nach der Gleichung 1 eine Reduktion bis auf eine Sauerstoffsättigung von 1,57 mg/l erreichen. Bei einer vorgeschalteten Vakuumentgasung bei 60 °C (Tabelle 1) beträgt der noch zu entlüftende Gesamtgasgehalt bei einer Fülltemperatur von 90 °C je nach Oxidation in der Erhitzerstufe immerhin noch bis zu 2,2 mg/l.

Dralleinlauf statt Ringspaltdüse

Wichtig bei allen Prozessen ist die Ausbildung einer möglichst großen und turbulenten Oberfläche bei gleichzeitig geringen Schichtdicken, um die Diffusionswege der Gase möglichst

gering zu halten. Herkömmliche Entgasungssysteme nutzen dazu vorwiegend eine Ringspaltdüse, die das Getränk im oberen Drittel des Behälters an die Wandung verteilt. Bei dieser Verteilung bleibt ein erheblicher Teil der Tankoberfläche ungenutzt und es kommt durch das Auftreffen des Produktrahles an die Behälterzarge zum ungewollten Aufschäumen.

Zudem ist es in der Praxis üblich aufgrund unterschiedlicher Flaschengrößen und damit Füllleistungen und durch Produktionsstörungen, die Produktionsleistung um bis zu 50 Prozent zu reduzieren. Die Folge sind bei nicht geregelten Ringspaltdüsen unterschiedliche Verteilungsbilder bzw. bei geregelten Einlaufvorrichtungen Verschleiß an den bewegten Teilen.

Als Lösung dieser Defizite hat sich der neu entwickelte Dralleinlauf bewährt. Er ermöglicht einerseits eine sofortige Ausbildung eines gleichmäßigen Produktfilmes beim Eintritt in den Behälter und zum anderen eine Anpassung des Volumenstromes um über 50 Prozent ohne bewegte Teile. Die Ausnutzung der Behälteroberfläche inklusive Deckel erlaubt es, die Behälter in ihrem Volumen um über ein Drittel zu reduzieren. Zudem kann auf zusätzliche Einbauten wie Spritzdüsen zur Reinigung verzichtet werden, da über den Produktweg alle Oberflächen erreicht werden können.

Die nach dem Gesetz von Bernoulli entstehenden dynamischen Druckverhältnisse bei höheren Volumenströmen und damit Geschwindigkeiten in den Düsenkanälen verschieben die Partialdruckverhältnisse zugunsten der Entgasung. Dadurch wird es möglich, die Entgasungsleistung über die Leistungsanpassung der Volumenströme nahezu konstant zu halten. Diese verringert sich bei herkömmlichen Entgasern mit zunehmendem Volumenstrom aufgrund der schlechteren Oberflächenverhältnisse.

Diese Einlaufeffekte beeinflussen sowohl die Entgasung wie auch eine reine Entlüftung positiv. Der sich an diese Einbringung anschließende dünne, turbulente Rieselfilm ermöglicht es den Gasbläschen, sich aus der Flüssigkeit herauszulösen.

Diese Blasenabscheidung ist stark von den jeweiligen Produkteigenschaften wie der Oberflächenspannung und Viskosität abhängig. So gibt es Produkte, die bereits kurz nach Einlauf in den Behälter vollständig entgast sind (beispielsweise Wasser). Es gibt aber auch Produkte, die erst während der Verweilzeit im Fallfilm die Bläschen ausbilden, diese sich aufgrund des Unterdruckes vergrößern und dann erst austreten (beispielsweise Milch).

Bei einer dritten Gruppe – diese beinhaltet die Mehrheit der Produkte – lösen sich die Bläschen nicht aus dem Film und werden mit in den Füllstand am Behälterboden eingeschlagen. In diesem Fall ist es wichtig, dass einerseits das Einschlagen nicht zu tief erfolgt und zum anderen die

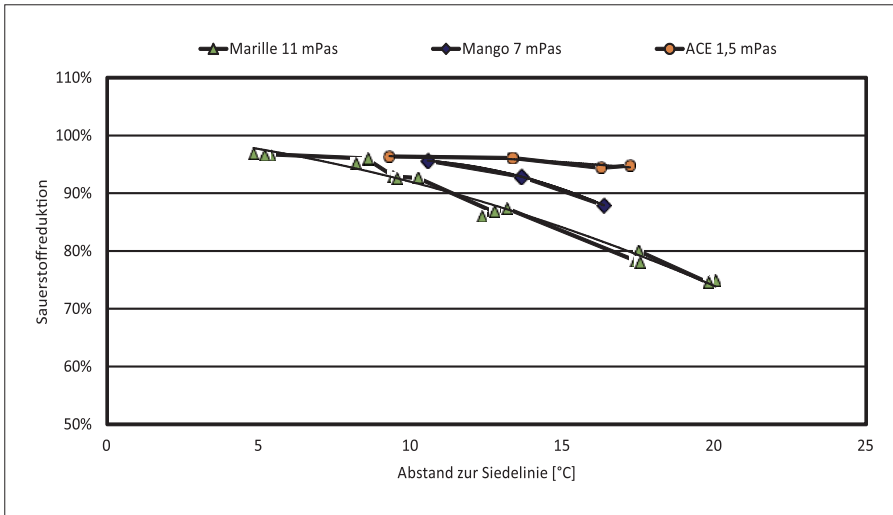


Abbildung 6: Entgasungseffekt in Abhängigkeit vom Abstand zur Siedelinie (Unterdruck bei entsprechender Temperatur)



Abbildung 8: Schaumentwicklung durch Ringspaltdüse mit schlecht eingestellter Produkteinbringung und senkrechtes Auftreffen des Fallfilmes auf den Füllstand

Absauggeschwindigkeit des Produktstromes diese nicht mitreißen kann, da sonst nach der Druckerhöhung eine erneute Lösung des Gases stattfindet und der Entgasungseffekt gegen Null rangiert. Beides wird erreicht durch einen speziell konisch geformten Auslauf mit entsprechendem Durchmesser. Die Umlenkung der Zarge in den konischen Teil verringert die Fallgeschwindigkeit und damit das zu tiefe Einschlagen der gelösten Bläschen. In Abbildung 5 ist das Schaumverhalten einer stark zum Schäumen neigenden Erdbeersaftproduktion zu sehen. Der Füllstand und damit der Einschlagpunkt für die bläschenbehaftete Flüssigkeit befindet sich dabei nur knapp über dem Schauglas.

Der richtige Durchmesser auf Blasenabscheidungshöhe ermöglicht den Austritt der nach dem Stokschens Gesetz mit entsprechender Geschwindigkeit auftreibender Teilchen.

$$v_{Gas} = \frac{d^2 \times (\rho_{Gas} - \rho_{Fluid}) \times g}{18 \times \eta} > v_{Fluid} = \frac{Volumenstrom}{\frac{d_{Tank}^2 \times \pi}{4}} \quad (\text{Gleichung 5})$$

Der im Entgasungsprozess angelegte Unterdruck ist nötig, um nach den Löslichkeitsgesetzen die Gase aus der Flüssigkeit abtrennen zu können. Der Druck im Behälter ist nach dem Daltonschen Gesetz beschrieben, die Summe aller dort vorkommenden Gase mit deren Partialdrücken.

Erniedrigt sich nun der Druck im Behälter, erhöht sich bei entsprechend konstanter Entgasungstemperatur nach der Wasserdampftabelle der Anteil des Dampfpartialdruckes. Um dieses Verhältnis sinkt der Anteil der übrigen Gase im Behälter, was den eigentlichen Entgasungseffekt beschreibt.

Für die Regelung der Entgasungsleistung gibt es demnach folgende Möglichkeiten. Es kann, wie in der Praxis am häufigsten, aufgrund der fest eingestellten Erhitzeremperaturen eingesetzt, der Druck oder die Einlauftemperatur angepasst werden.

Eine weitere Möglichkeit ist die Regelung des Vakuumpdruckes auf eine durch die Verdunstung hervorgerufene Temperaturdifferenz zwischen Ein- und Auslauf. Diese ist allerdings nur dann geeignet, wenn in Druckbereichen nahe dem Siedepunkt entgast wird, da nur dort eine ausreichende Verdunstung stattfindet, die auch eine messbare Temperaturdifferenz für die Regelung ermöglicht.

Durch die thermodynamischen Zusammenhänge aus Druck und Temperatur wird in der Praxis oft von einer Temperaturdifferenz zur Siedelinie gesprochen, sprich wie weit ist der Betriebspunkt nach der Wasserdampftafel vom Sieden entfernt. Diese Entfernung beschreibt maßgeblich die Entgasung und wird vorwiegend vom Schaumverhalten des Produktes limitiert.

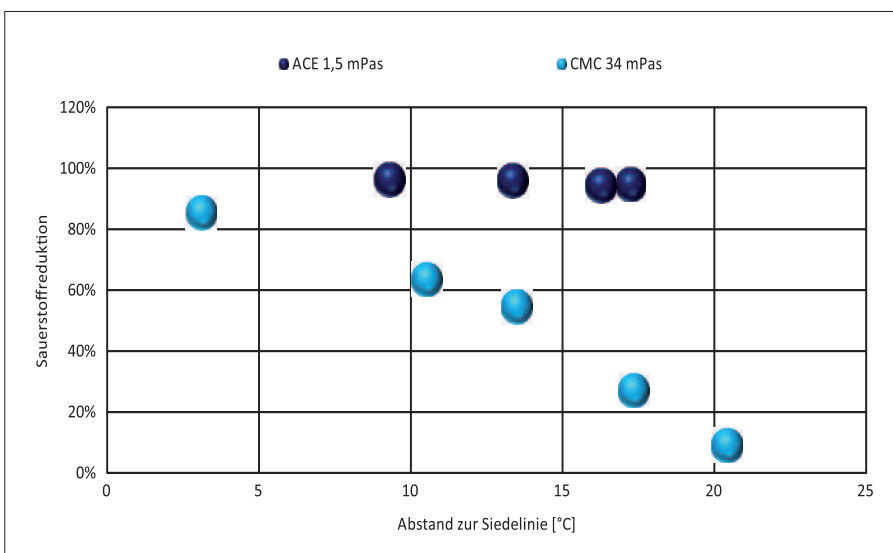


Abbildung 7: Entgasungseffekt in Abhängigkeit von der Viskosität



Abbildung 9: Vollständige Aroma- und Wasserdampfkondensation der verdunsteten Dämpfe

Entgasungsleistung

In der Getränkeherstellung gibt es drei Hauptparameter, die das Austreiben von gelöstem Gas beeinflussen. Der bereits angesprochene von Unterdruck und Temperatur bestimmte Betriebspunkt „Abstand zur Siedelinie“ hat, wie schon in der Theorie beschrieben, direkten Zusammenhang mit dem Reduktionsvermögen der Anlage. Versuche mit verschiedenen Produkten zeigen ebenfalls dieses in Abbildung 6 dargestellte Verhalten.

Zudem bewirkt der angelegte Unterdruck nach dem idealen Gasgesetz einen Volumenzuwachs der gelösten Gasbläschen, was zu einer größeren Auftriebsgeschwindigkeit und damit zu einer Abscheidung von noch kleineren Bläschen führt.

Die Entgasungsleistung kann jedoch nie über die jeweiligen in Abbildung 2 dargestellten Gleichgewichtszustände hinausgehen. Diese sind in der Praxis mit leistungsverringenden Parametern wie Verweilzeiten, Blasenauftiegszeiten, Diffusionswegen und Oberflächenspannungen behaftet.

Maßgeblich für die Auftriebsgeschwindigkeit der Bläschen entscheidend ist der Dichteunterschied zwischen Gas und Produkt und noch viel entscheidender ist die Produktviskosität. Nach Gleichung 5 wird deutlich, dass je höher die dynamische Viskosität bei entsprechender Scherkraft und Entgasungstemperatur ist, desto langsamer sind die Auftriebsgeschwindigkeit und damit die Entgasungsleistung. Die Mehrzahl der zu entgasenden Produkte rangieren bei Werten zwischen 1 mPas und 30 mPas bei 20 °C bzw. bei 0,5 und 20 mPas bei 60 °C Entgasungstemperatur. Die standardisierten Produktentgaser sind auf diese Parameter in ihrer Tankdimension ausgelegt.

Abbildung 7 zeigt die direkte Abhängigkeit dieses Parameters. Neben der Beeinflussung des Wärmeübergangs bei der thermischen Produktbehandlung hat die Viskosität, mit der auch in den meisten Fällen eine erhöhte Dichte einhergeht, unmittelbaren Einfluss auf die Ausscheidung der gelösten Gasbläschen.

Als dritter wichtiger Punkt ist die ausgebildete Flüssigkeitsoberfläche zu nennen. Bei einer einfachen Wasserentgasung kann diese durch Packungskolonnen, Rieselapparaturen oder durch Versprühen beeinflusst werden. Dies ist bei einer Produktentgasung aufgrund der oft enthaltenen Fruchtbestandteile und wegen der Schaumentstehung nicht möglich. Gerade im Fall einer eingesetzten Ringspaldüse mit ihrer nicht nutzbaren oberen Tankfläche führt dies zu erheblichen Tankgrößen. Die bereits angesprochenen Druckverhältnisse kompensieren das mit steigendem Volumenstrom schlechter werdende Oberflächenverhältnis und ermöglichen über die Leistungsanpassung konstant hohe Entgasungswerte.

Schaumentwicklung

Das Schäumen von Produkten stellt den limitierenden Effekt bei der Produktherstellung dar. Einerseits ist der Schaum beim Füllen einer der Gründe für das Entgasen, andererseits bestimmt er im Entgaser den möglichen Abstand zur Siedelinie respektive dem vertretbaren Unterdruck im System. Dieser muss produktspezifisch angepasst werden, um ein unkontrollierbares Übersäumen zu verhindern. Der auf diese Weise entstehende Schaum entsteht rein aus dem Bezug Temperatur und Unterdruck. Ähnlich wie das Aufschäumen von Milch kurz vor Erreichen des Siedepunktes kommt es bei einigen Produkten zu einem ähnlichen Verhalten.

Ein weiterer Grund für eine Schaumentwicklung ist die Scherkraftwirkung durch konstruktive Gegebenheiten. Bei herkömmlichen Entgasern, die mit einer Ringspaldüse zur Produkteinbringung ausgestattet sind, kommt es bei schlecht

eingestellter oder nicht vorhandener Regelung durch das Aufprasseln des Produktes an die Zarge zur starken Schaumentwicklung.

Auch hohes Schaumentwicklungspotenzial hat das senkrechte Einschlagen des Fallfilmes in den Füllstand. Neben dem bereits erwähnten tiefen Einschlagen der gelösten Bläschen wird die Schaumentwicklung dadurch gefördert.

Beide Effekte sind in der Neuentwicklung durch die Dralldüse und die kegelförmige Umlenkung minimiert, wodurch kleinere Tanks realisiert werden können, da der Schaum nicht durch hohe Zargen kompensiert werden muss. Auch können geringere Vakuumdrücke und damit ein geringerer Abstand zur Siedelinie und dadurch höhere Entgasungswerte realisiert werden.

Aromaverluste

Durch das Annähern an die Siedelinie beim Entgasungsprozess kommt es zu einer zunehmenden Verdunstung von Wasserdampf. Mit diesem Verdunstungsprozess käme es zu einer Austreibung dieser erwünschten Substanzen und zu einer Aufkonzentrierung der Getränke, wenn diese nicht wieder in einer Aromarückgewinnung kondensiert würden.

Die Dämpfe werden deshalb einer auf die jeweiligen thermodynamischen Parameter angepassten Kondensationsstufe zugeführt (Abbildung 9), dort kondensiert und über eine Querschnittsverengung zurück in den ablaufenden Produktstrom gesaugt. Entscheidender Parameter für die Verdunstung ist die verdampfte Wassermenge und die meist unbekanntere relative Flüchtigkeit der Aromen. Die davon abhängige Reduktion lässt sich nach Gleichung 6 mit der Ausgangskonzentration x_2 , der verdampften Wassermenge D_N und der relativen Flüchtigkeit K berechnen.

Tabelle 2: Volumenübersicht der verschiedenen Entgaserbaugrößen

Produktionsleistung/Baugröße [m³/h]	7,5 - 15	15 - 30	30 - 45	45 - 60
Volumen Produktion [Liter]	87	200	305	420
Volumen An,- Abfahren [Liter]	48	88	168	290

$$x_{ent} = \frac{x_0}{1 + D_N(K_{i_{ent}} - 1)} \quad (\text{Gleichung 6})$$

Zur vollständigen Kondensation sind die jeweiligen Kondensationspunkte der Vielzahl an Aromastoffen durch das Kühlmittel (Minimum 10 °C) zu unterschreiten. Nur dann kann eine ausreichende Rückgewinnung der Aromen gewährleistet werden. Insbesondere dann, wenn schaumunempfindliche Produkte mit einem geringen Abstand zur Siedelinie und damit hoher Verdunstungsziffer entgast werden. Abbildung 6 und Abbildung 7 zeigen einen nahezu identisch hohen Wert in der Entgasungsleistung bis zu einer Entfernung von 15 °C zur Siedelinie. Dies macht deutlich, dass die hohe Effizienz des Entgasers durch die gezeigten konstruktiven Umsetzungen auch auf diesen Punkt einen positiven Einfluss hat und einen Betriebspunkt nahe dem Siedepunkt nicht zwingend erfordert.

Mischphasen

Die unüberschaubare Anzahl an verschiedenen Produkten und die nachfrageorientierte „just in time“-Produktion erfordert viele Sortenwechsel, die erhebliche Mischphasen mit Verlusten bzw. Aufwand zur Rückgewinnung beim An- und Abfahren verursachen. Gerade in einem von der restlichen

Anlage hydraulisch entkoppelten System, wie im Entgasungsbehälter, wird die Mischphase durch das Füllstandsvolumen bestimmt.

Durch die Ausnutzung der gesamten Tankinnenoberfläche zur Entgasung und durch die schaumreduzierte Konstruktion sind kleine Tanks möglich. Neben den ohnehin geringen Flüssigkeitsvoluminas während der Produktion kann durch eine optimale NPSH-Auslegung der auslaufseitigen Produktpumpe ein weiteres Absenken des Füllstandes und damit eine Reduktion von bis zu 50 Prozent der Mischphasen realisiert werden.

Tabelle 2 zeigt eine Übersicht der Volumenverhältnisse über die verschiedenen Entgaserbaugrößen.

Fazit und Zusammenfassung

Um eine für die jeweilige Anforderung an das Produkt und den Herstellprozess optimale Gestaltung des Entgasungsprozesses zu ermöglichen, ist es eine Grundvoraussetzung, diesen detailliert zu kennen und den Prozess dahingehend anzupassen.

Die Unterscheidung und der entsprechende Einsatz zwischen einem Entlüftungsprozess, der alleinig aus der Löslichkeit heraus resultierenden Gasmenge und des eigentlichen Entgasungsprozesses durch gezielte Reduktion der gebundenen Gase durch eine Vakuumatmosphäre sind entscheidend für eine effektive Produktabfüllung. Ist die Entfernung der unerwünschten Gase nicht ausreichend, ist der Wirkungsgrad der gesamten Produktherstellung stark geschmälert, wodurch der Entgasungsprozess zum limitierenden Schritt in der Abfülllinie wird. Dabei ist nicht nur der oxidative Sauerstoff die entscheidende Messgröße, sondern der mit dem doppelten Sauerstoffvolumen einhergehende Stickstoffanteil, der nur aufwendig gemessen werden kann. Demnach ist ein womöglich durch Oxidation hervorgerufener, am Füllereinlauf gemessener niedriger Sauerstoffwert kein Garant für eine problemlose Füllung, da immer noch eine große Menge an Gasen in der Flüssigkeit enthalten sein kann.

Neben der fülltechnischen Aufgabenstellung ist für hochwertige Produkte, die oxidative Beeinträchtigung des Luftsauerstoffs durch den Entgasungsschritt zu eliminieren. Optisch wertet der Entgaser eine abgefüllte Dispersion auf, die zu keinem Aufschwimmen der festen Bestandteile wie Pulpen, Fasern oder ganzen Fruchtstückchen neigt.

Entscheidend bei der Entgasungstechnologie ist das schaumreduzierte Handling, wodurch die Entgasungsleistung durch realisierbare tiefere Vakuumdrücke effektiver wird und die optimale Nutzung der Entgasungsfläche, wodurch die Behältergröße und damit die Mischphasen verkleinert werden können. Beides wird durch ein neuartiges, tottraumfreies Dralleinlaufsystem und eine angepasste konische Tankgeometrie erreicht.

Die Tiefe des Vakuumdruckes und damit der Abstand zur Siedelinie und die Kühlmitteltemperatur des Kondensators sind im Hinblick auf die Aromaverluste gezielt anzupassen, da sonst mit erheblichen Aromaverlusten zu rechnen ist. □