

Die Entstehung von Schaumstrukturen in Backwaren und deren Vorprodukten

Dipl. Ing. Frank Zehle

Vorbemerkung

Grundsätzlich können Schaumstrukturen auf zwei unterschiedlichen Wegen entstehen. Der Unterschied besteht darin, ob die fein verteilte Gasphase in der kontinuierlichen Phase (Dispersionsmittel) entsteht oder ob Gas von außen eingetragen und zerteilt wird. Innerhalb des Herstellungsprozesses von Backwaren werden nicht selten beide Wege beobachtet; allerdings in unterschiedlichen Prozessabschnitten und Intensitäten.

Hinzugefügt werden muss, dass die Herstellung von Biskuit- und Wienermasse nach guter handwerklicher Praxis, deren industriefähige Umsetzung explizite Zielstellung des Vorhabens ist, nahezu immer zweistufig erfolgt. D.h. Wechselbeziehungen der Prozessstufen Verschäumen und Melieren bestimmen die Endqualität des Schaums bzw. der Masse. Genau hier besteht das wesentliche Schwerpunktproblem des Vorhabens. Diese Problematik gilt es bei der theoretischen Analyse zu berücksichtigen.

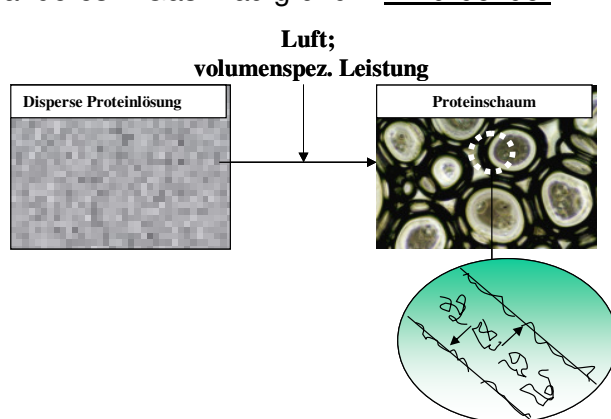
Dispersionsschäume

Biskuit- und Wienermassen sind hinsichtlich der Bildung ihrer Schaummatrix den Dispersionsschäumen zuzuordnen. Durch mechanische Arbeit wird Gas (Luft) in das Dispersionsmittel (Vollei-Zucker-Lösung) eingetragen und dort fein dispergiert. Die Art und Weise des Gaseintrages und die weitere Dispergierung kann sehr unterschiedlich sein und nicht zuletzt entscheidet das Wirkprinzip des jeweiligen Verschäumungsverfahrens über die Qualität des Schaums bzw. der Masse.

Grundsätzlich kann man den „Lebenszyklus“ von Dispersionsschäumen in die Abschnitte Schaumbildung – Schaumstabilisierung – Schaumzerstörung unterteilen. Dabei gilt es jedoch zu beachten, dass der Übergang zwischen diesen Abschnitten fließend ist. Bei der analytischen Betrachtung solcher, ineinander greifender Prozesse wird im Hinblick auf die Beschreibung des Schaumzustandes dem zum Zeitpunkt der Bewertung überwiegenden Prozess Beachtung geschenkt, wenngleich eine gewisse Parallelität der Prozessabschnitte beobachtet wird.

Schaumbildung

Verallgemeinernd kann man den Begriff Schaumbildung so verstehen, dass Luft oder ein anderes Gas aufgrund filmbildender Eigenschaften (durch Schaumbildner) des

**Lösen des Proteins**

Proteinlöslichkeit
Grenzflächenspannung
Viskosität

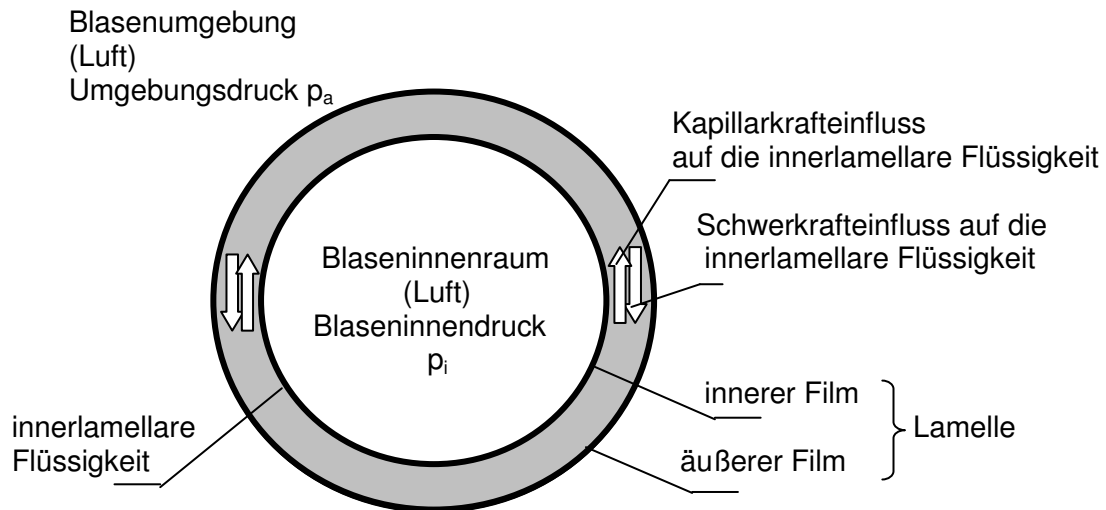
**Proteinauffaltung
Stabilisierung Phasengrenzfläche**

Grenzflächenspannung
Viskosität
Molekülgröße, -Beweglichkeit
Denaturierungszustand
Anteil ungelöster Partikel
Schaumeigenschaften

Dispersionsmittels in diesem dispergiert wird. Der Schaumbildner, im Falle von Biskuit- und Wienermassen handelt es sich dabei um Eiweiße, senkt die Oberflächenspannung der Phasengrenzfläche flüssig/gas und begünstigt so den Eintrag von Luft in das System. Gleichzeitig stellt er sozusagen das Bindeglied zwischen der Flüssig- und Gasphase dar, wie es KAISER modellhaft darstellt.

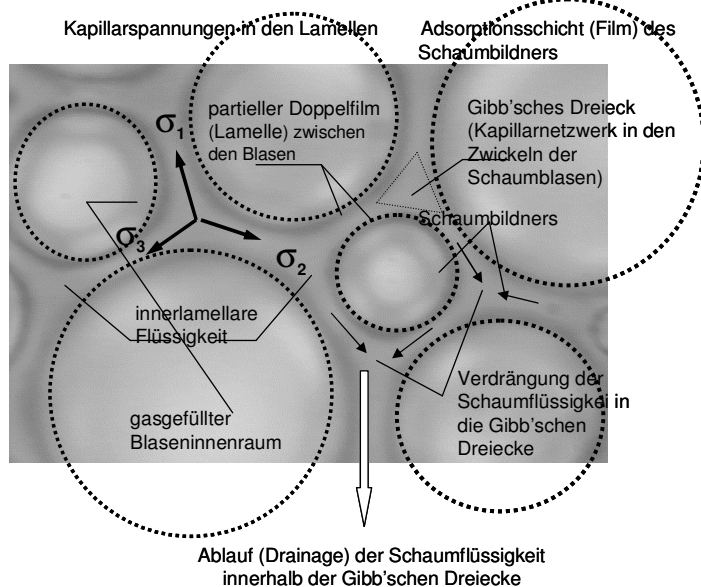
Eine einzeln erzeugte, frei in der Luft befindliche Schaumblase wird durch eine Lamelle mit zwei Grenzflächen (Filmen) gebildet und durch nachfolgendes Bild gekennzeichneten Parameter charakterisiert.

Die Art und Weise des Eintrags von Gas/Luft hängt im Wesentlichen vom Wirkprinzip des dazu verwendeten Verfahrens ab. Im Falle des Einsatzes des Statischen Verschäumungsprinzips geschieht dies durch das Einblasen von Druckluft in die Vollei-Zucker-Lösung kurz vor dem Durchströmen des Dispergierrohres. Hier werden die zunächst groben Lufteinschlüsse durch die Scherung an den Einbauten und durch partielle turbulente Strömungszonen zerteilt und so beim Durchströmen feinst dispergiert.



Schaumstabilisierung

Die komplexen physikalischen Wechselwirkungen in einem realen Kugelschaum (Volleischaum) zeigen, dass die Stabilität dieses System mehr oder weniger ausschließlich von der Stabilität des Dispersionsmittels abhängt. [Kaiser, 2009]. Folglich kommt der Viskosität des Dispersionsmittels eine entscheidende Rolle zu. In nicht stabilisierten, niedrig viskosen Flüssigkeiten steigen nach kurzer Zeit Blasen auf, bei deren Zusammentreffen Koaleszenz eintritt (wachsender Volumenbruch). Der Schaumverband wird zerstört.



Auf der anderen Seite kann eine zu große Viskosität des Dispersionsmittels die Schaumbildung selbst z.T. erheblich beeinträchtigen (z.B. hohe Zuckerdosierungen bei Massen),

so dass selbst bei erheblicher Verschäumungsarbeit keine hinreichende Schaumqualität (Dichte) erreicht werden kann. Ein praktisches Beispiel ist hier die All-in-Verschäumung von Biskuitmassen. Hier reicht das Schaumbildungsvermögen von Ei nicht aus, eine hinreichende Verschäumung der hochviskosen kontinuierlichen Phase (Vollei, Zucker, Mehl, Stärke, Salz) zu gewährleisten. Dies ist nur durch die Zugabe von grenzflächenaktiven Substanzen (Emulatoren) möglich, die zunächst eine Herabsetzung der Oberflächenspannung der Phasengrenzfläche bewirken und diese nachhaltig stabilisieren.

Allerdings zeigt die Darstellung auch, dass die Bläschengröße und ihre Verteilung eine erhebliche Rolle bei der Stabilisierung des Schaums spielen. Je kleiner die Schaumbläschen sind und je gleichmäßiger ihre Größe ist (enge Bläschengrößenverteilung) – je kleiner werden die Gibb'schen Dreiecke. Dies hat zur Folge, dass die Kapillarkräfte zueinander in einem besseren Gleichgewicht stehen und somit Spannungen im gesamten Schaumsystem reduziert werden. Auf diese Weise wird insbesondere der Gewichtskraft, die die Triebkraft der Drainage ist, eine entsprechende Gegenkraft entgegengesetzt – die Schaumstruktur wird stabiler.

Diese Ausführungen machen deutlich, dass die mechanische Stabilität von Kugelschäumen bei weitem nicht alleine auf das Schaumbildungsvermögen des zu verschäumenden Mediums reduziert werden kann, sondern vielmehr die Wechselwirkungen zwischen Schaumbildungs- und Schaumstabilisierungsvorgängen entscheidend sind. Besonders deutlich wird dies beispielsweise beim Verschäumen von Roggenmehlsuspensionen.

Roggenmahlprodukte zeichnen sich durch die Besonderheit aus, dass sie mit Wasser suspendiert gut bis sehr gut verschäumbar sind und einen z.T. sehr stabilen Dispersionsschaum ausbilden. Untersuchungen von ZEHLE ergaben, dass beim Verschäumen von konsistenzgleichen Roggenmehlsuspensionen unter Verwendungen verschiedener Mahlfraktionen eines Roggenmusters hellere Mehle, mit einem vergleichsweise geringen Protein- und Pentosengehalt gegenüber Kleie oder Vollkornmehl, bei niedrigeren Ausgangsviskositäten der Suspensionen zu geringeren Schaumdichten und größeren Schaumstabilitäten führen. Die mikroskopischen Untersuchungen ergaben, dass sich gerade bei helleren Mehlen die dort vorhandene Stärke in der innerlaminaren Flüssigkeit (Schaumflüssigkeit) anordnet und so die Schaummatrix stabilisiert. Folglich kann eine geringere Menge an Schaumbildnern durchaus zu einem besseren Schaum führen, wenn die Schaumflüssigkeit eine hinreichende stabilisierende Funktion erfüllt. Weiterführende Untersuchungen ergaben, dass hier in hohem Maße der Feinheitsgrad des zu verschäumenden Mehles einen schaumstabilisierenden Einfluss ausübt. So konnte beim Einsatz unterschiedlich fein ausgemahlener Vollkornmehle eines Roggenmusters z.T. erhebliche Unterschiede in Schaumdichte und Schaumstabilität festgestellt werden.

Schaumzerstörung

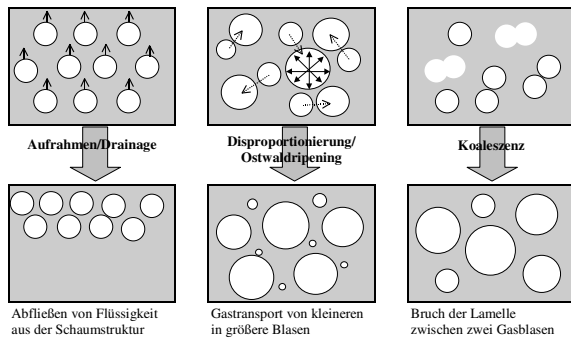
Nach WINHAB gibt es zwei Hauptgründe für die Zerstörung des Schaums:

1. Ablauf der innerlaminaren Flüssigkeit und folglich Brechen der Fluidlamellen
2. Gasdiffusion durch Fluidlamellen

Platzt, z.B. durch zu lange mechanische Beanspruchung (Eintrag von Scherenergie) eine Schaumlamelle, wird sich ausgehend von dieser „Störstelle“ die Schaumzerstörung durch Ablauf der Schaumflüssigkeit fortsetzen. Die Schaummatrix bricht auf.

Eine andere Möglichkeit diese Zerstörungsprozedur zu initiieren, ist das Zusammenfließen verschieden großer Schaumbläschen infolge unterschiedlicher Innendrucke. Kleine Schaumbläschen mit hohem Innendruck wachsen faktisch in größere Schaumbläschen mit niedrigerem Innendruck hinein. Dieser Prozess wird als Oswaldripening bezeichnet und ist sehr gut z.B. bei Tensidschäumen zu beobachten.

Ist die Fluidlamelle gasdurchlässig und ist die Löslichkeitsgrenze des Gases in der Schaumflüssigkeit noch nicht erreicht, können Schaumbläschen verschwinden → eine weitere Störstelle entsteht – mit den bereits erwähnten Folgen. KAISER fasst die Zerfallsprozesse von wässrigen Schäumen folgendermaßen zusammen im nachfolgenden Bild zusammen.



So führen Oswaldreipening und Koaleszenz in jedem Fall zum Ablaufen der innerlaminaren Flüssigkeit.

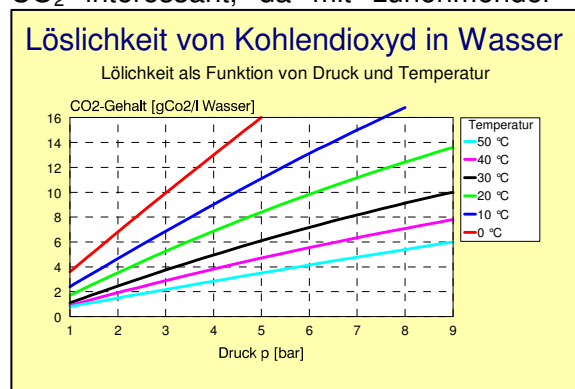
Letztlich verursachen alle Zerfallsprozesse von Schäumen ein Ablaufen der Flüssigkeit aus der Schaumstruktur, wodurch diese weiter zerstört wird. Aus diesem Grund erscheint es zum besseren Verständnis einfacher zu sein, die Schaumzerstörungsprozesse dahingehend zu unterscheiden, wie sie initiiert werden und zwar durch:

- sofortiges Abfließen der innerlaminaren Flüssigkeit mit den Ursachen:
 - o mangelnde Verschäumbarkeit des Dispersionsmittels
 - o ein unzureichender Aufschlag
 - o zu niedrigviskose Schaumflüssigkeit/geringe Stabilisierung
- Oswaldreipening
- Koaleszenz
- Gasdiffusion

Kondensationsschäume

Die Entstehung von Kondensationsschäumen beruht im Wesentlichen auf der Entstehung von Gaskeimen beim Erhitzen des Dispersionsmittels. So gesehen ist die Kondensationsschaumbildung ein wesentlicher Prozess bei der Entstehung von Gebäckkrumen während des Backprozesses.

Im Dispersionsmittel vorhandenes gelöstes Gas kondensiert (thermisch induziert) und führt auf diese Weise zur Bildung zunächst kleinster Gasvolumina im System. Tritt dieser Vorgang an vielen Stellen gleichzeitig auf, entsteht eine Gasblasenverteilung, die bei Erreichen eines ausreichend großen Anteils der Gasphase mit einem mittleren Blasenabstand gleich oder kleiner als des Blasendurchmessers zum Schaum führt. Wichtig bei der Entstehung von Kondensationsschäumen ist, dass die Kondensation immer an so genannten „Störstellen“ (Kondensationskeime, z.B. winzige Luftpinschlüsse im Dispersionsmittel) erfolgt. Eine weitere Voraussetzung bei der Entstehung von Kondensationsschäumen ist das Erreichen des Übersättigungszustandes der im Dispersionsmittel gelösten Gase. Hier ist besonders CO₂ interessant, da mit zunehmender Temperatur (beim Backen) die Löslichkeit im wässrigen Milieu dramatisch abnimmt, wie die nebenstehende Grafik einmal verdeutlicht.



Gleiches gilt prinzipiell natürlich auch für gelösten Sauerstoff (Luft), nur ist hier die im System gelöste Menge meist deutlich geringer.

Folglich spielt die Betrachtung von Aspekten der Kondensationsschaumbildung eher eine untergeordnete Rolle innerhalb des Herstellungsprozesses von Biskuit- und Wienermassen.

Literatur

- Kaiser, H.: Lockere Gebäcke aus Massen, In: Handbuch Backwaren, Behr's Verlag, 6. Akt.-Lfg. 5/99
 Kaiser, H.: Dispersionsschäume als Backwarenprodukte, Schulungsmaterial, TB-Kursreihe der IGV GmbH, 2009
 Zehle, F.: Untersuchung stofflicher und prozessbedingter Einflussfaktoren auf die Schaumbildung und – stabilisierung von Roggenmehlsuspension, Ingenieurarbeit, TU Dresden, 1992