

Diss. ETH No 11865

# **Influences of Continuous Whipping Process Parameters on Foam Structure and Stability**

A dissertation submitted to the  
SWISS FEDERAL INSTITUTE OF TECHNOLOGY  
ZURICH

for the degree of Doctor of Technical Sciences

presented by  
William Hanselmann  
Dipl. Lm-Ing. ETH  
born April 14, 1966  
citizen of Sennwald (SG)

accepted on the recommendation of  
Prof. Dr.-Ing. E. Windhab, examiner  
Prof. Dr.-Ing. W. Bauer, co-examiner

Zurich 1996

## **INFLUENCES OF PROCESS PARAMETERS ON FOAM STRUCTURE AND STABILITY**

Food foams are found in a large variety, especially dessert foams are very popular. Foams are thermodynamically unstable. Therefore, it is difficult to produce food foams with a shelf life of several weeks. So far, improvements in foam stability were always achieved by changing the recipe. In the industrial production process, parameters were generally kept constant for any product.

There are only a few, rather empirical publications, about the influence of process parameters on foam structure and stability. The whipping process itself is not well studied yet. Furthermore, there are only a few inaccurate papers about the rheological behaviour of foams in pipes.

The aim of this study was to describe physically the whipping process itself. Moreover, the general relationships between process parameters and the resulting foam structure and stability were investigated. Furthermore, the rheological behaviour of foam in pipes, especially under pressure, was another point of the research activities. Finally, the influence of pH and protein concentration on foam structure and stability was also investigated.

Within the whole study, a commercially available whey protein isolate was used. Depending on the trials, guar gum was added as stabiliser to increase the bulk viscosity.

Based on the Newton/Reynolds characteristics, new equations for the laminar and turbulent flow field for calculating the maximum bubble size could be achieved. Moreover, a strong influence of the mechanical power input on the bubble size could be observed. A higher foam stability and a more structured foam were achieved by smaller gas bubbles. It could be shown, that the average surface of a foam is a more useful tool for structural explanations than just the gas bubble diameter. Blow-by, a serious problem in foam industry, is not only caused by a too high gas supply, but depends also on the bulk viscosity, the residence time and the mechanical power input. There are correlations found between the mechanical power input, the residence time and the feeding flow and the stability and structure of foams. A heat treatment in the whipping head leads to a higher stability of foams caused by protein denaturation.

The slip velocity of a foam in process pipe flow was directly measured for the first time. The shear rates of foams in pipes were corrected by the wall slip velocity, the expansion of the foam and finally by its non-Newtonian flow behaviour. Moreover, foam rheology under controlled pressure was performed.

Research in the field of food process engineering has to include the influence of ingredient factors as well. Within this study, pH and concentration were changed. At pH 5, a firmer and more stable foam was created than at pH 7. A continuous increase of protein concentration at pH 7 leads to a higher foam stability, whereas at pH 5, a certain optimum in concentration was observed. Furthermore, it could be shown, that the denatured protein particles around their isoelectric point are preferably adsorbed at the bubble surface. This leads to a firmer and stronger interfacial film and consequently to a more stable foam.

## **EINFLUSS VON PROZESSPARAMETER AUF DIE SCHAUMSTRUKTUR UND - STABILITÄT**

Lebensmittelschäume kommen in verschiedenen Variationen vor. Vor allem Dessertschäume erfreuen sich einer grossen Beliebtheit. Schäume sind jedoch thermodynamisch instabil, was sich negativ auf deren Haltbarkeit auswirkt. In der Vergangenheit wurde die Schaumstabilität stets durch Veränderungen der Rezeptur verbessert. Die Prozessparameter wurden hingegen meist konstant gehalten.

Es sind nur wenige, meist empirische Arbeiten, über den Aufschlagprozess veröffentlicht. Keine umfassenden Arbeiten liegen zur Korrelation von Aufschlagprozessparametern und Apparategeometrie sowie Schaumeigenschaften vor. Ferner wurden bislang bei der rheologischen Charakterisierung sowie beim Strömungsverhalten (z.B. in Rohren) von Schaumsystemen häufig der Wirklichkeit nicht entsprechende Vereinfachungen getroffen.

Ziel der vorliegenden Arbeit war es, den Aufschlagprozess physikalisch zu beschreiben. Dabei sollte der Einfluss einzelner Prozessparameter auf Schaumstruktur und -stabilität untersucht werden. Das rheologische Verhalten von Schäumen war ferner so genau wie möglich zu beschreiben. Dabei sollten Kompressibilität, Wandgleitverhalten und das nicht Newtonische Fließverhalten berücksichtigt werden.

Es wurde für alle Versuche ein kommerzielles Molkenproteinisolat verwendet. In einigen Versuchsdurchführungen wurde Guar als Dickungsmittel beigemischt.

Basierend auf der Newton/Reynolds Charakteristik wurden zwei neue Gleichungen für die Berechnung des maximalen Blasendurchmessers im laminaren und turbulenten Bereich der Strömung im Aufschlagkopf hergeleitet. Eine bessere Schaumstabilität und Strukturierung wurde bei Schäumen mit kleinen Blasen erzielt.

Luftdurchschlag, ein häufiges Problem bei der industriellen Herstellung von Schäumen kann nicht nur auf einen zu hohen Gasanteil zurückgeführt werden, sondern hängt auch vom mechanischen Leistungseintrag und der Verweilzeit im Aufschlagkopf aber auch von der Rheologie der aufzuschlagenden Lösung ab.

Durch eine Erhitzung des Schaumes während des Aufschlags wurde eine verbesserte Stabilität erreicht. Dies ist auf eine Denaturierung der Molkenproteine und damit deren stärkerer Vernetzung zurückzuführen.

Zum ersten Mal wurden die Wandgleitgeschwindigkeiten von Schäumen in Rohren direkt gemessen. Die wahre Wandschergeschwindigkeit wurde damit gleitkorrigiert. Weiter wurden Kompressibilität und die Nicht Newtonizität in die Berechnung einbezogen. Darüberhinaus wurde die Druckabhängigkeit der Viskosität von Schäumen quantifiziert.

Für die verfahrenstechnische Handhabung des kontinuierlichen Schaumaufschlags spielt die rezepturbedingte Aufschlagfähigkeit des Stoffsystems eine wichtige Rolle für die resultierende Schaumqualität. Darum wurden in der vorliegenden Arbeit auch Schaumstabilität und -struktur bei verschiedenen pH Werten und Proteinkonzentrationen untersucht. Proteinlösungen nahe dem isoelektrischen Punkt ergaben eine bessere Schaumstabilität und Festigkeit. In diesem Zusammenhang konnte gezeigt werden, dass denaturierte Proteinpartikeln am isoelektrischen Punkt verstärkt in den Film eingebaut wurden.