



Doctoral Thesis

Acoustic characterization of particulate systems principles, applications, and a new model for concentrated dispersions

Author(s):

Hipp, Alexander K.

Publication Date:

2002

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-004324690> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH Nr. 14279

**Acoustic Characterization of
Particulate Systems**
Principles, Applications, and a
New Model for Concentrated Dispersions

A dissertation submitted to the
Swiss Federal Institute of Technology Zurich (ETH)
for the degree of
Doctor of Technical Sciences

presented by
Alexander K. Hipp
Dipl.-Ing. Universität Stuttgart
M. Sc. University of Wisconsin at Madison
born March 2, 1971
Stuttgart, Germany

accepted on the recommendation of
Prof. Dr. M. Morbidelli, examiner
Dr. Giuseppe Storti, co-examiner
Dr. Robert Jack, co-examiner

Zurich 2001

Abstract

Disperse systems play an important role in research and technological development in the chemical industry. A key property of disperse systems, such as suspensions and emulsions, is the size distribution of the particulate phase. To allow for a fast, nondestructive, and nonintrusive assessment of this property, the present work evaluates a new method for the determination of the particle size distribution using the characteristic attenuation of ultrasonic waves.

First, the classical theoretical framework for the description of acoustic waves in dilute suspensions and emulsions is reviewed in detail. This approach yields robust and reliable results for all systems under investigation. The only exception are low density-contrast polymer latexes, where the influence of the macromolecular structure and other factors are not yet fully understood.

The second part of this work deals with concentrated suspensions and emulsions. These systems exhibit a nonlinear concentration effect, which, contrary to first expectations, is found not to be due to multiple scattering. Instead, an extension of the classical theory to particle interactions permits a proper representation of this phenomenon. This leads to a comprehensive model that can be applied to much higher particle concentrations than the original framework. This work concludes with an example of an in-situ and on-line use of acoustic particle sizing, indicating an important industrial application of this technique.

Zusammenfassung

Disperse Systeme spielen eine wichtige Rolle in der Forschung und der technischen Entwicklung der chemischen Industrie. Eine Haupteigenschaft disperser Systeme (wie beispielsweise Suspensionen und Emulsionen) ist die Grössenverteilung der inneren Phase. Um eine schnelle, zerstörungs- und berührungsfreie Messung dieser Grösse zu ermöglichen, befasst sich die vorliegende Arbeit mit einer neuen Methode zur Bestimmung der Partikelgrössenverteilung aufgrund der charakteristischen Dämpfung von Ultraschallwellen.

Die Arbeit befasst sich zunächst detailliert mit der klassischen Theorie zur Beschreibung von Schallwellen in niedrig konzentrierten Suspensionen und Emulsionen. Dieser Ansatz liefert zuverlässige Ergebnisse für alle untersuchten Stoffsysteme. Die einzige Ausnahme sind Polymerlatexes mit einem geringem Dichteunterschied zwischen den beiden Phasen, wo unter anderem der Einfluss der makromolekularen Struktur noch nicht vollständig geklärt ist.

Der zweite Teil befasst sich mit konzentrierten Suspensionen und Emulsionen. Diese weisen einen nichtlinearen Konzentrationseffekt auf, welcher entgegen den ersten Erwartungen nicht auf Mehrfachstreuungen zurückgeführt werden kann. Eine Erweiterung der klassischen Theorie auf Partikel-Wechselwirkungen erlaubt jedoch eine adäquate Beschreibung dieses Phänomens. Die vorliegende Arbeit führt damit auf ein Modell zur Analyse wesentlich höher konzentrierter Systeme als dies bisher möglich war. Am Ende dieser Arbeit folgt ein Beispiel für einen In-Situ- und On-Line-Einsatz akustischer Partikelgrößenbestimmung, womit eine wichtige industrielle Anwendung dieser Technologie aufgezeigt werden soll.

Résumé

Les systèmes dispersés jouent un rôle important dans la recherche et le développement technologique dans l'industrie chimique. Une propriété principale des systèmes dispersés, tels que les suspensions et les émulsions, est la distribution de taille de la phase dispersée. Afin de permettre l'évaluation rapide de cette propriété sans aucune altération du système, ce travail évalue une nouvelle méthode pour la détermination de la distribution de taille des particules par l'atténuation caractéristique des ondes ultrasoniques.

Les bases théoriques décrites en détail en première partie décrivent le comportement d'ondes acoustiques dans les systèmes dispersés dilués. Cette approche permet des prédictions fiables pour tous les systèmes étudiés, à l'exception des latex de polymères à faible contraste de densité. Pour ces systèmes, l'influence de la structure macromoléculaire et d'autres phénomènes parasites n'a pas encore été clairement identifiée.

La seconde partie de cette étude est consacrée aux systèmes concentrés. Il a en effet été observé que dans de telles conditions, la contribution de la concentration de particules n'est pas linéaire. Il est montré que cet effet n'est pas dû à la diffraction multiple. En approfondissant la théorie des interactions entre particules, il a été possible de tenir compte de ce phénomène permettant la mise au point d'un modèle convenant aussi bien aux suspensions qu'aux émulsions, et ce, à des concentrations plus élevées qu'avec le modèle conventionnel. Cette étude conclut enfin sur un exemple d'utilisation de la spectroscopie ultrasonique permettant de suivre des procédés en temps réel et in-situ, d'un intérêt certain pour des applications industrielles de mesure de taille de particule.