

# Ein Fall für Sensoren: Steifschlagen von Rahm

Viele Industrien arbeiten zunehmend an einer Echtzeitüberwachung ihrer Prozesse, so dass sie die Messgrößen gleich als Regelgrößen nutzen können. Auch die Lebensmittelindustrie ist daran interessiert. Denn schlechte Lebensmittelqualität ist auch schlecht fürs Geschäft.

Das das Steifschlagen von Rahm ein interessanter Fall für die Sensorik sein kann, ist nicht allen bekannt. Aber in dem alltäglichen Prozess stecken komplexe Vorgänge: zum Beispiel ein Phasenübergang von einer Emulsion in einen Schaum. Schlägt man Rahm zu kurz, ist er nicht bestmöglich stabilisiert, wird er zu lange geschlagen, so verbuttert er – für den Konsumenten sensorisch wahrnehmbar.

Eine Prozessüberwachung kann die Qualität von Produkten optimieren, die Impedanzspektroskopie kann hier ein vielversprechendes Werkzeug sein, um diesen Anspruch zu erfüllen. Bereits seit einigen Jahren wird dieses Messverfahren genutzt, um über die Bestimmung des frequenzabhängigen Widerstands eine Charakterisierung von Lebensmitteln zu erreichen. Bisher wurden jedoch nur makroskopische Volumina analysiert und auch nur Prozesse untersucht, welche keine oder sehr langsame zeitliche Änderungen zeigten.

## Schlagzustand schnell messen

Untersuchungen der Forscher der Berner Fachhochschule (BFH) zeigten nun aber, dass wohl selbst komplexe dynamische Vorgänge auf lokaler, mikroskopischer Ebene mittels Impedanzspektroskopie untersucht werden können – eben anhand des Steifschlagens von Rahm. Bei diesem Schlagprozess wird der zweiphasigen Emulsion, bestehend aus Wasser und Milchfett, eine dritte Komponente (Luft) beigefügt. Weil

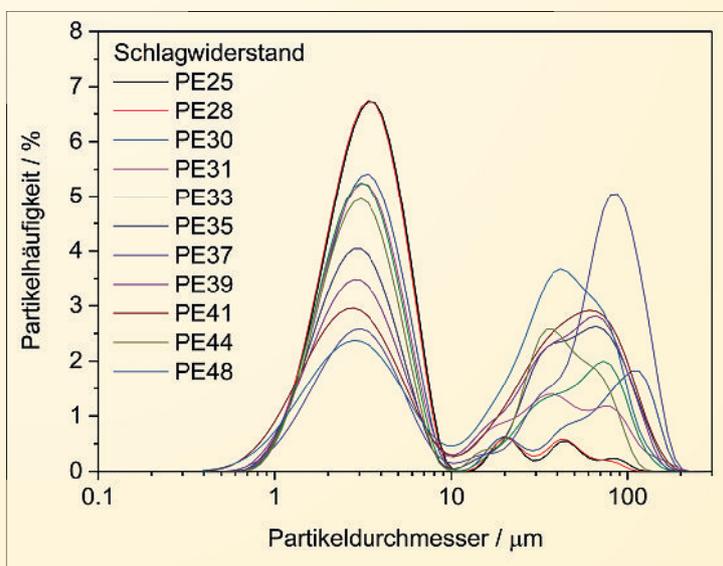


Abbildung 1: Häufigkeit und Durchmesser der Fettpartikel für unterschiedliche PE-Werte. (Bilder: zVg)

das Ausgangsmaterial nicht immer gleich ist und zum Beispiel über das Alter auch der pH-Wert sich ändern kann, erschwert dies das Einstellen der optimalen Schlagparameter erheblich. Zwar kann man den Zustand des Systems über die Messung der Partikelgrößenverteilung oder des Overruns in Kombination mit Festigkeitsmessungen bestimmen, aber einerseits sind derartige Messungen zeitlich aufwändig und können andererseits nur nach Beendigung des Prozesses durchgeführt werden. Die Resultate eignen sich dementsprechend nicht als Messgröße zur Prozesssteuerung.

Das Forscherteam der BFH zeigt nun aber, dass mittels lokaler (dies bedeutet, die Probenvolumina betragen nur ein paar Kubikmikrometer) Impedanzspektroskopie der Schlagzustand des Rahms innerhalb von wenigen 10 Sekunden gemessen werden kann, und dass sich das gemessene

Verhalten der elektrischen Größen mit den Resultaten der Partikelmessungen deckt.

Der in einem gewöhnlichen Laden eingekaufte Schlagrahm wurde mit einer Schlagmaschine geschlagen und gleichzeitig das Drehmoment gemessen. Als Grösse für den Zustand der Probe liefert das Gerät einen so genannten PE-Wert. Dieser Wert ist ein Mass für den Widerstand, welcher das Rührwerk beim Schlagprozess erfährt. Anhand des PE-Werts kann die Entwicklung des flüssigen Rahms zu einem Schaum grob nachvollzogen werden. Ein maxi-

males Drehmoment und damit maximaler PE-Wert wird erreicht, wenn der Rahm durch Ausbildung einer Fettschaumstruktur die höchste Festigkeit erreicht. Sobald dieser Fettschaum durch weiteres Schlagen zu kleinsten Butterflocken agglomeriert, setzt seine Zerstörung ein und der PE-Wert sinkt wieder. Aufgrund unterschiedlicher Rahmqualitäten werden die PE-Werte normalerweise relativ zueinander betrachtet.

## Vergleich mit etablierter Methode

Für 12 unterschiedliche Zustände (PE-Werte zwischen 25 und 48) wurden Rahmproben nun mittels Impedanzspektroskopie gemessen. Als Vergleich dazu wurden dieselben Proben mit einer etablierten Methode zur Charakterisierung von Rahm, der Messung der Grösse und der Häufigkeit der Fettpartikel im Rahm, verglichen. Abbildung 1 zeigt die Ergebnisse der Parti-

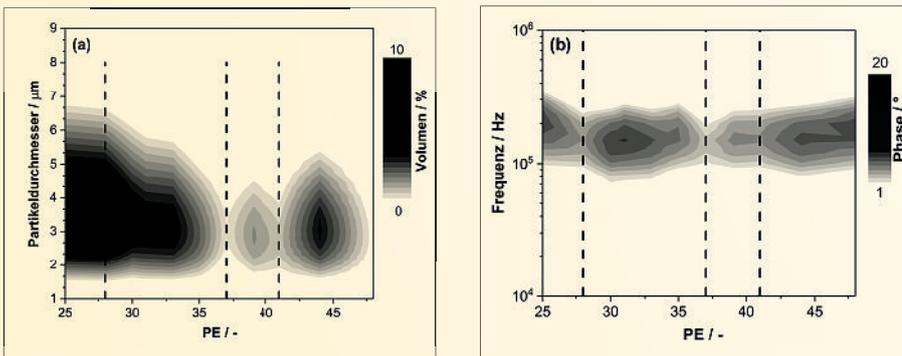


Abbildung 2: Partikelverteilung aus Lichtstreuexperimenten (a) und Phasensignal aus den Messungen mit lokaler Impedanzspektroskopie (b) für unterschiedliche PE-Werte. Die vertikalen gestrichelten Linien zeigen PE-Werte mit signifikanten Änderungen im Zustand des Rahms.

kelmessungen für die 12 verschiedenen Zustände (repräsentiert durch die PE-Werte). Es fällt auf, dass für Partikeldurchmesser kleiner 10 Mikrometer eine stetige Abnahme der Häufigkeit von Partikeln mit einer Grösse von 3 bis 4 Mikrometer zu beobachten ist. Partikeldurchmesser grösser 10 Mikrometer repräsentieren Agglomerate von Fettpartikeln. Dieser Teil der Messdaten wird methodisch bedingt nicht in die Auswertung einbezogen.

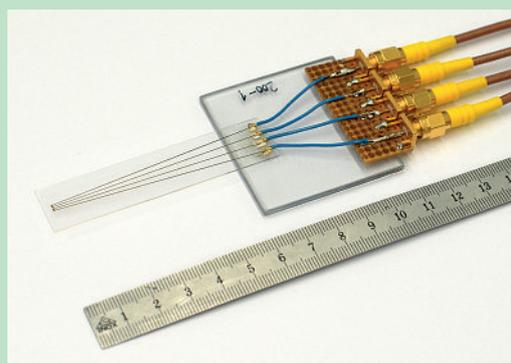
Im linken Teil der Abbildung 2 sind dieselben Messdaten (für Durchmesser bis 10 Mikrometer) in einer Graustufenabbildung gezeigt. Auf der Abszisse sind die PE-Werte, auf der Ordinate die Partikeldurchmesser aufgetragen. Die Häufigkeit wird durch die Graustufenskala dargestellt. Der rechte Teil in Abbildung 2 zeigt die entsprechenden Resultate von Messungen der lokalen Impedanz. Auf der Abszisse sind wiederum die PE-Werte angegeben, auf der

## LOKALE IMPEDANZSPEKTROSKOPIE

Bei der Impedanzspektroskopie – die Impedanz ist der Wechselstromwiderstand – wird über einen definierten Frequenzbereich, dem Frequenzspektrum, das Verhältnis von Spannung und Strom in Abhängigkeit der Frequenz des Wechselstroms gemessen. Als Ergebnis erhält man die frequenzabhängige Amplitude der Impedanz sowie die Phase zwischen Strom und Spannung.

Um lokale Vorgänge mittels Impedanzspektroskopie beobachten

zu können, müssen die Messelektroden in einem kleinen Volumen konzentriert sein. Eine Möglichkeit ist, dafür planare Mikroelektroden zu benutzen. Die Elektroden bestehen aus einer Au-Schicht mit einer Dicke von rund 130 Nanometern auf einem Glassubstrat. Als Haftvermittler zwischen Au und dem Glassubstrat wirkt eine 2–3 Nanometer dünne Ti-Schicht. Beide Schichten wurden flächig mittels Elektronenstrahl-Verdampfen aufgebracht, die Elektroden wurden anschliessend mittels UV-Lithographie und nasschemischen Prozessen strukturiert. Die Zuleitungen zu den Elektroden wurden abschliessend mit Polyimid-Folien passiviert. Die resultierenden Elektrodenflächen haben eine Oberfläche von 0,5 mm auf 0,5 mm und einen Abstand von 0,4 mm zueinander. Für die Impedanzmessungen wurden 48 Einzelfrequenzen logarithmisch zwischen 20 Hz und 1 MHz aufgeteilt.



Labor-Messaufbau mit planaren Mikroelektroden vor dem Passivierungsschritt.

## DAS PROJEKTTEAM

Die vorliegende Arbeit ist eine Zusammenarbeit des Institutes ALPS der BFH-TI und des Forschungsfelds Lebensmittelverarbeitung der Hochschule für Agrar-, Forst- und Lebensmittelwissenschaften HAFL der Berner Fachhochschule. Das Projektteam bestand aus Michael Held und Patrick Schwaller von ALPS sowie Markus Vaihinger und Christoph Denkel von der HAFL. Die Arbeiten wurden finanziell von der armasuisse W+T unterstützt.

Ordinate die gemessenen Frequenzen. Die Graustufen repräsentieren unterschiedliche Werte für das gemessene Phasensignal. Wie mit den vertikalen gestrichelten Linien angedeutet, zeigen sich sowohl in der Partikelverteilung, als auch beim Phasensignal, bei sehr ähnlichen PE-Werten signifikante Änderungen.

### Integration in Produktionsprozesse?

Dies illustriert, dass mittels lokaler Impedanzspektroskopie prinzipiell unterschiedliche Zustände im Übergang von der Emulsion (flüssiger Rahm) in einen Schaum (geschlagener Rahm) und strukturelle Veränderungen innerhalb des Schaums verfolgen kann. Im Unterschied zu Lichtstreu-Messungen zur Bestimmung der Partikelverteilung ist die Messdauer bei der Impedanzspektroskopie deutlich kürzer (hier: wenige 10 Sekunden). Zudem können die für die Messung notwendigen planaren Mikroelektroden grundsätzlich in Behälter mit den Schlagwerken integriert werden. Sobald die relevanten Frequenzbereiche eingeschränkt werden können, sind Messzeiten im Sekundenbereich denkbar. Mit solch kurzen Messzeiten wäre also eine Integration in Produktionsprozesse grundsätzlich möglich. ■

Dr. Patrick Schwaller,  
Bernere Fachhochschule (BFH)

Dr. Patrick Schwaller ist Physiker und Professor für Oberflächenphysik am Department Technik und Informatik der Berner Fachhochschule (BFH-TI) und Leiter des Forschungsinstitutes für Applied Laser, Photonics and Surface Technologies ALPS an der BFH TI.