



Technische Universität München

TUM School of Life Sciences Weihenstephan

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Thomas Becker



Innovative Sensorkonzepte zur Dichtemessung und Strukturanalyse in der Bäckerei

Weihenstephaner Institut für Getreideforschung (WIG)

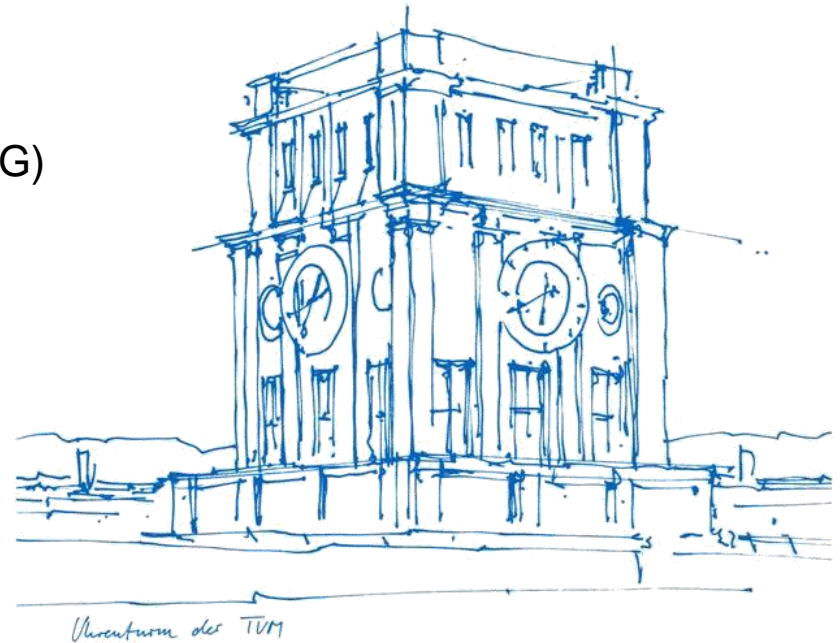
Automatisierungstagung

Metzenmacher, M.

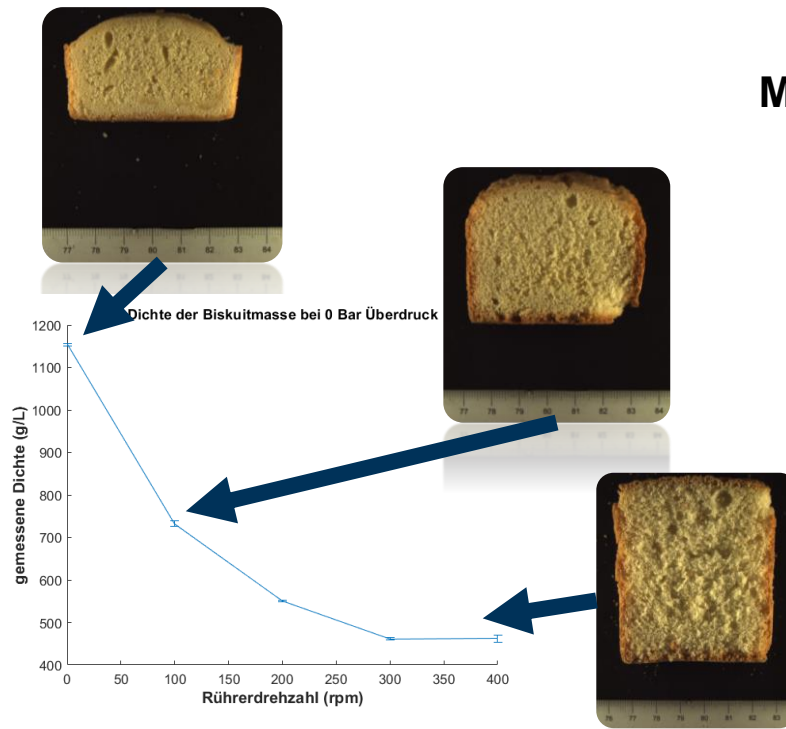
Geier, D.

Becker, T.

Freising, 28.03.2019



- Lufteintrag hat einen großen Einfluss auf die Textur der getreidebasierten Schäume
 - Verarbeitbarkeit der Masse wird dadurch beeinflusst
 - Die Qualität der thermisch fixierten Produkte ist stark abhängig von der Schaumstruktur der rohen Masse
 - Auch bei gleicher Dichte können unterschiedliche Schaumstrukturen entstehen

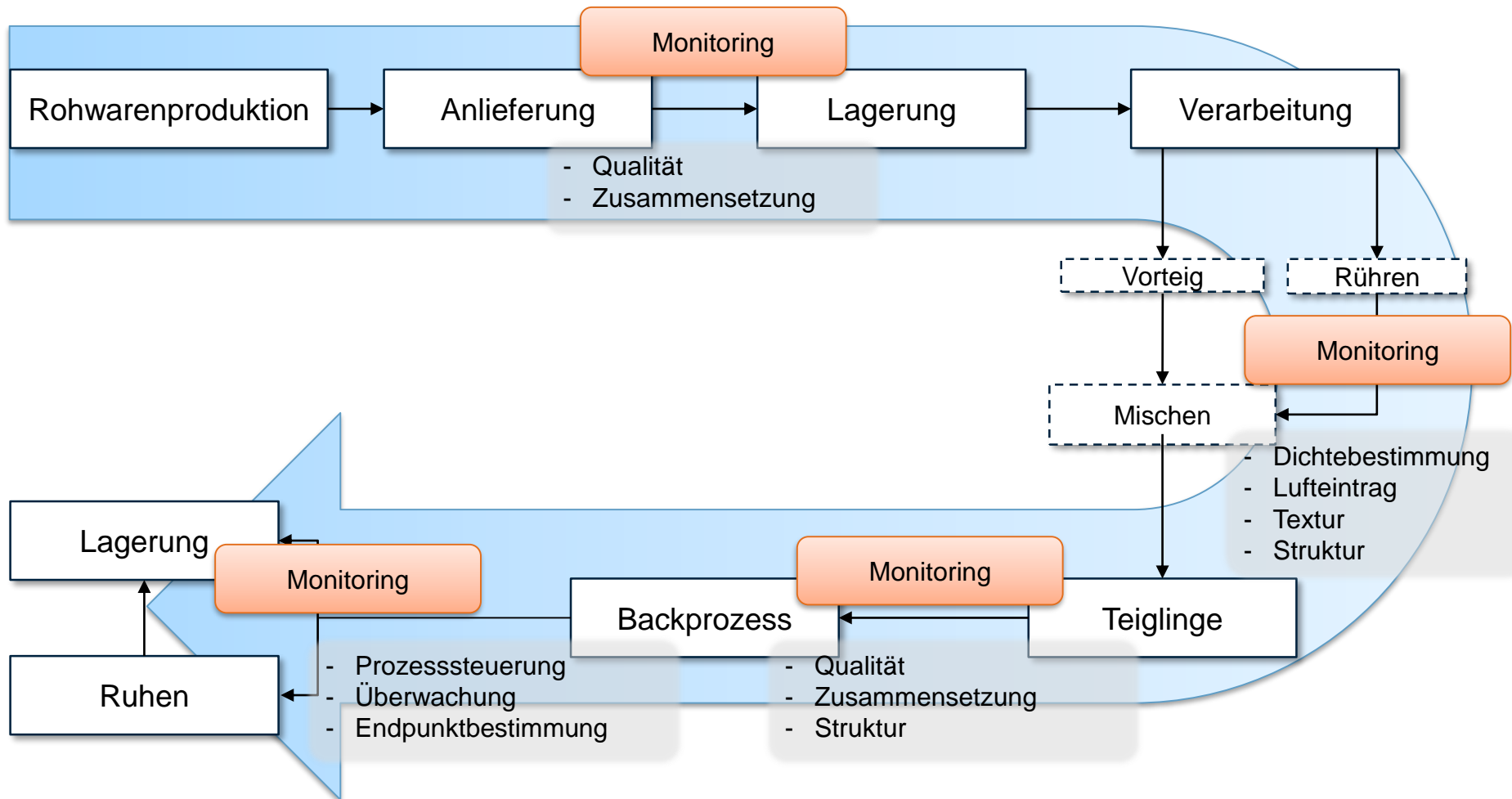


Methoden zur Bestimmung der Schaumstruktur

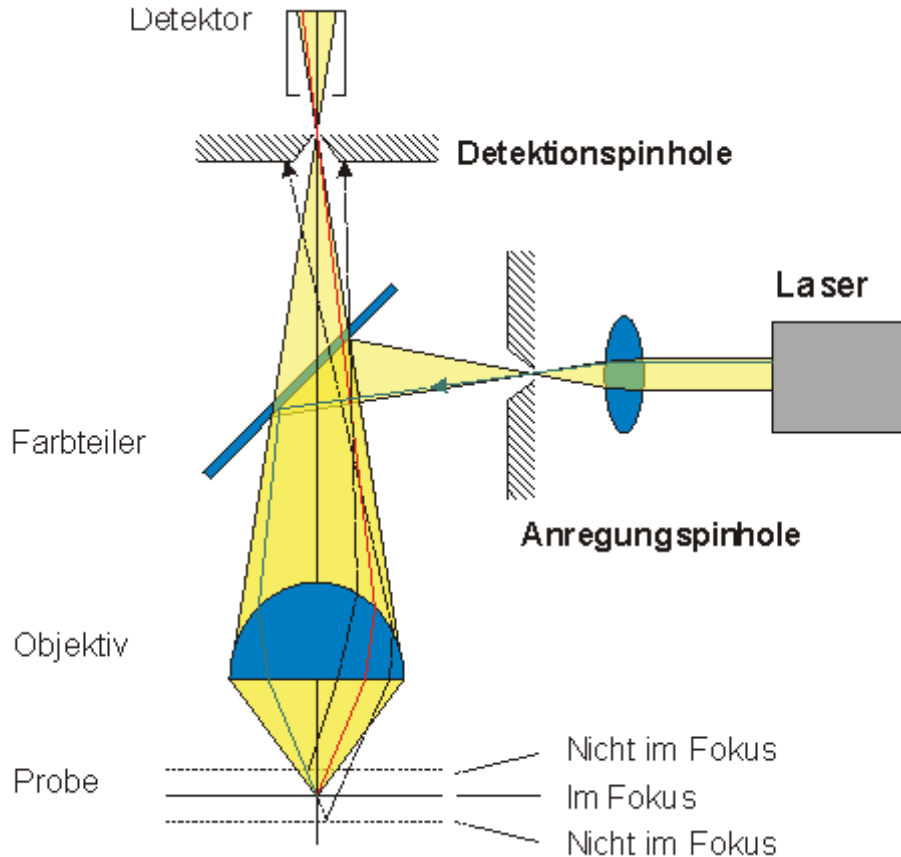
- Laser-Scanning-Mikroskopie (CLSM)
- Computertomographie (CT)
- Visuell und haptisch (Fachpersonal)

- Tomographie
- Laser-Doppler-Vibrometer
- Ultraschall

Problemstellung – Einsatzgebiete für innovative Sensorkonzepte



Offline-Methoden



- Über ein Scan-System wird der Laser Zeile für Zeile über das Präparat geleitet
- Das Fluoreszenzlicht wird von einem Detektor (Photomultiplier) aufgefangen
- Proteine, Stärke und Fette werden mit speziellen Fluoreszenzfarbstoffen (NileBlue und Rhodamin B) angefärbt
- Gaseinschlüsse können damit eindeutig von anderen Bestandteilen differenziert werden können.

Abb.1: Funktionsprinzip @ www.uni-oldenburg.de

01 Probenvorbereitung

Herstellung der Modellschäume
Anfärbung der Probe mit Rohamin B und NileBlue



02

Messung

Messung mit CLSM;



03 Datenverarbeitung

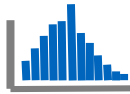
Bildverarbeitung



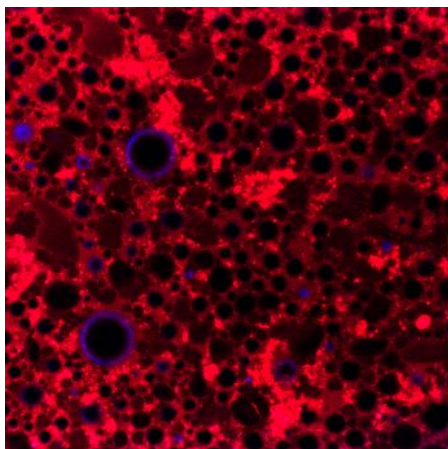
04

Ergebnisse

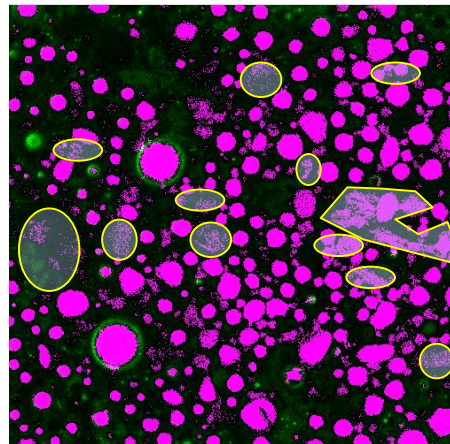
Porengrößenverteilung,
Porenanteil



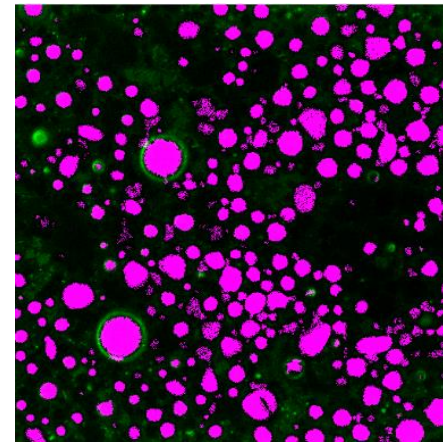
3.1 Einlesen der CLSM-Aufnahme



3.2 Segmentierung der Blasen



3.3 Elimination von Rauschen



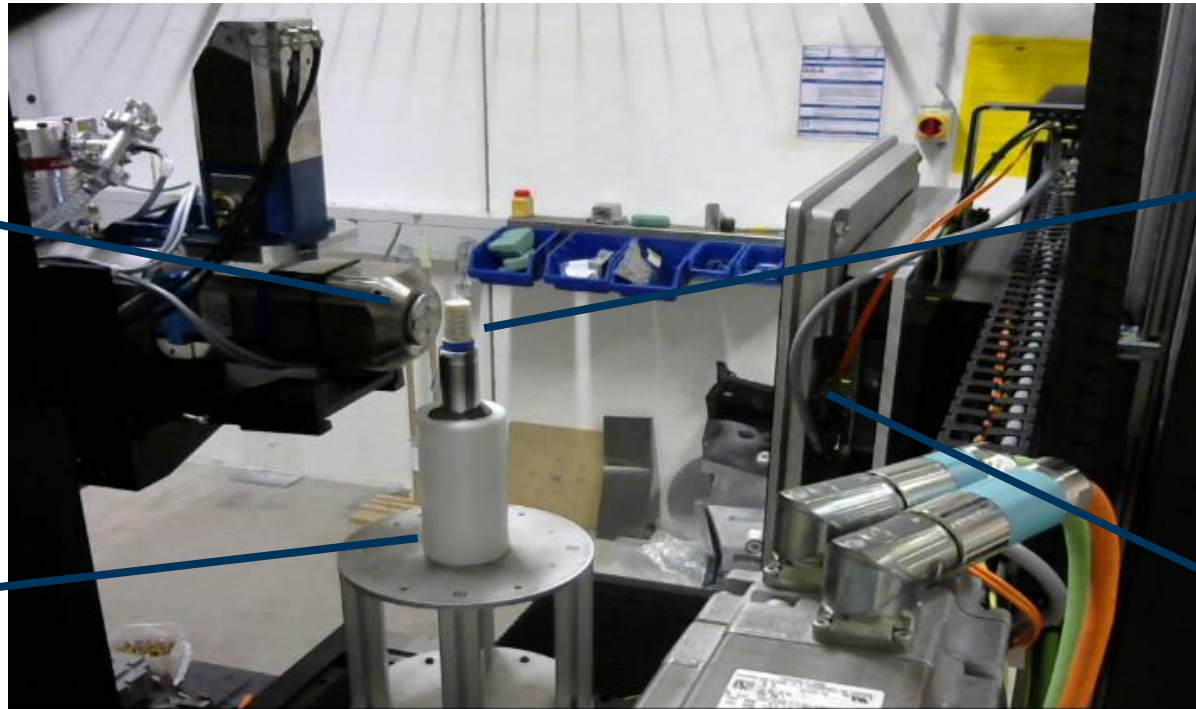
3.4 Merkmalsextraktion

- Bestimmung der charakteristischen Merkmale (Flächen) unter Verwendung des Kalibrationsmaßstabes
- Bestimmung vom Porenanteil:

$$\frac{\text{Pixel}_{\text{Blasen}}}{\text{Gesamtpixel}} * 100\%$$

Offline-Methoden – Computertomographie (CT)

Absorptionsprofile eines Objekts werden in der Computertomographie aus vielen Richtungen erstellt und ein 3D-Modell rekonstruiert.



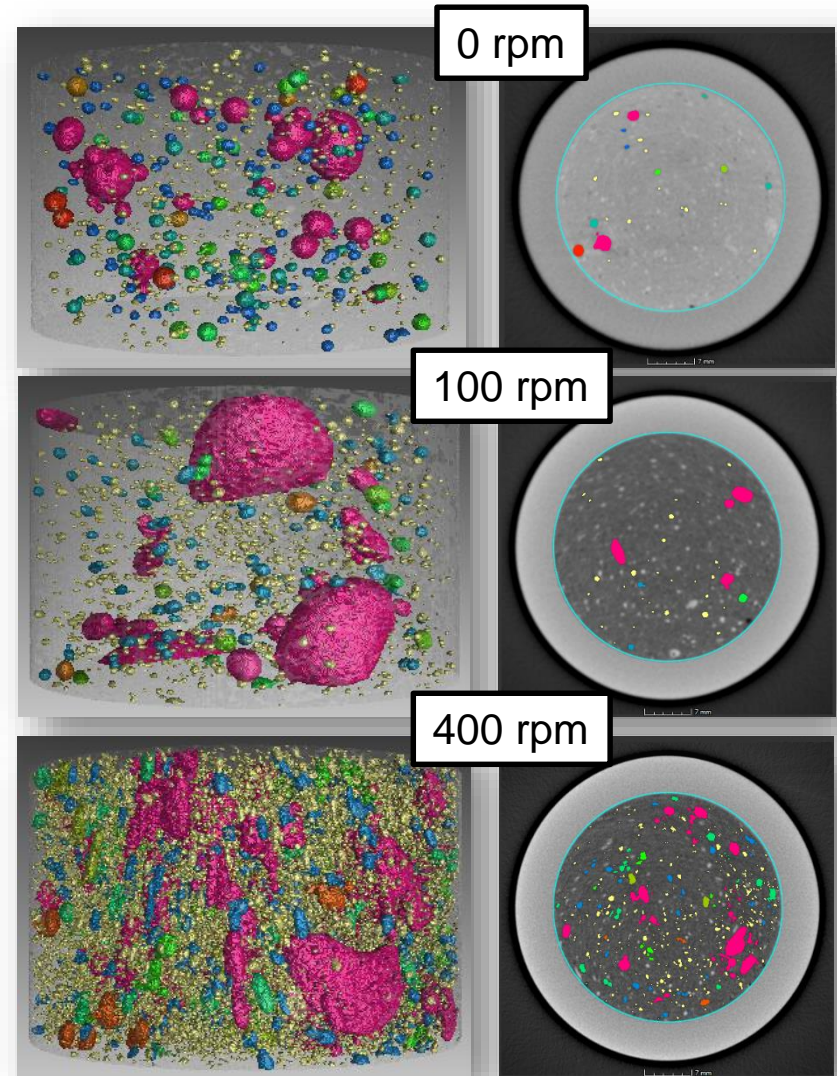
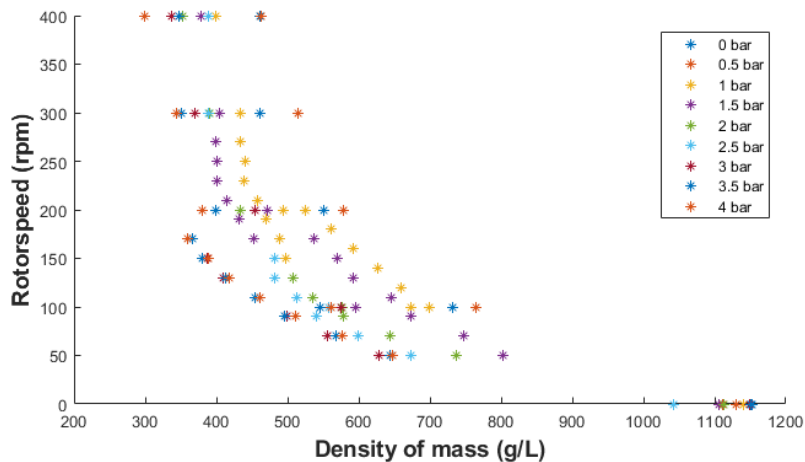
Röntgenquelle

Objekt

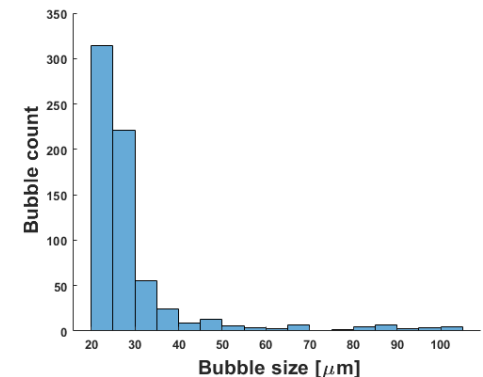
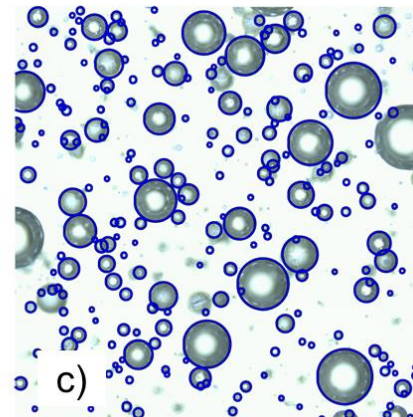
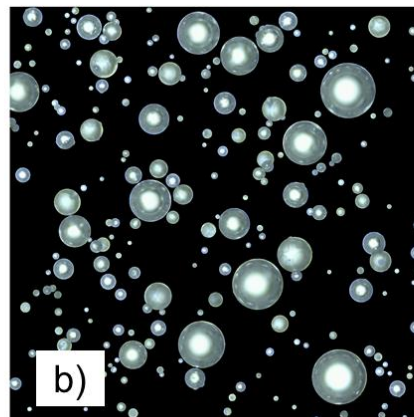
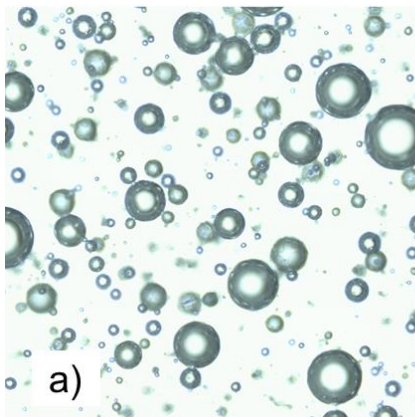
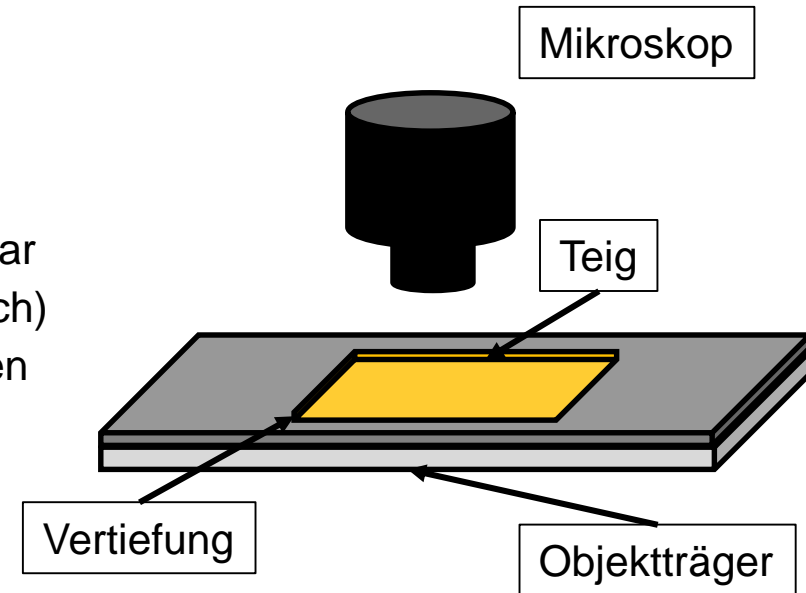
Drehachse

Detektor

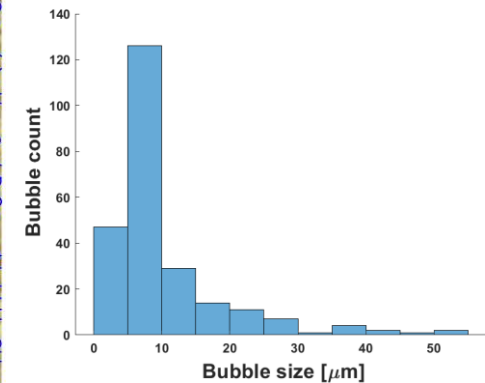
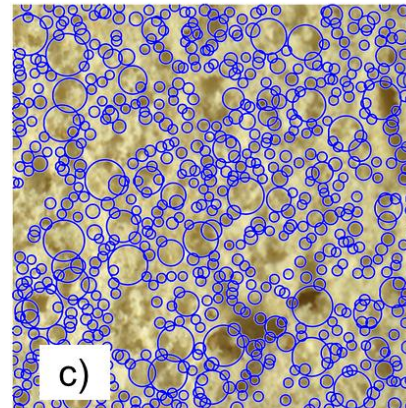
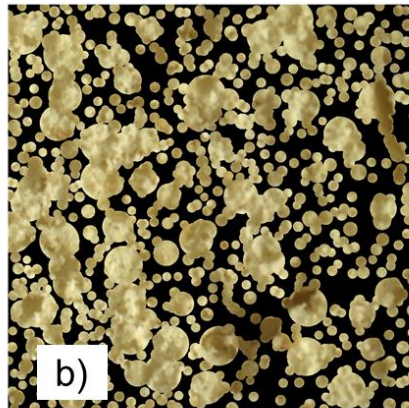
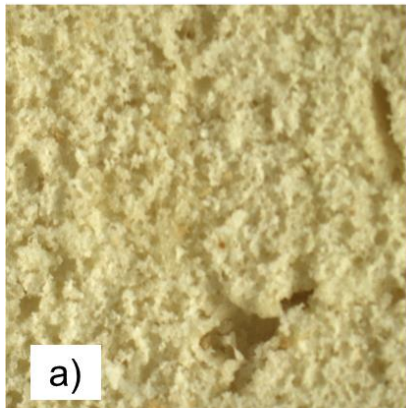
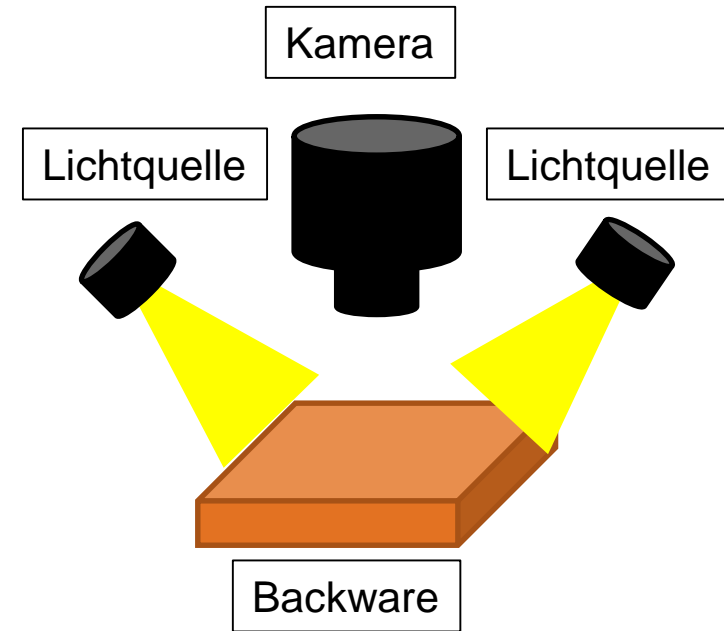
- Blasengröße und Verteilung kann in Biskuitmassen sichtbar und auswertbar gemacht werden
- Gleiche Dichten können durch Variation der Prozessparametern mit unterschiedlichen Blasengrößenverteilungen erzeugt werden



- Für die Analyse des Teiges wird dieser auf einem Objektträger ausgestrichen
- Die Schichtdicke wird durch eine Vertiefung festgelegt
- Die Blasen werden durch das Anschneiden sichtbar
- Durch die Auswahl geeigneter Objektive (1000-fach) können auch kleine Blasenradien detektiert werden



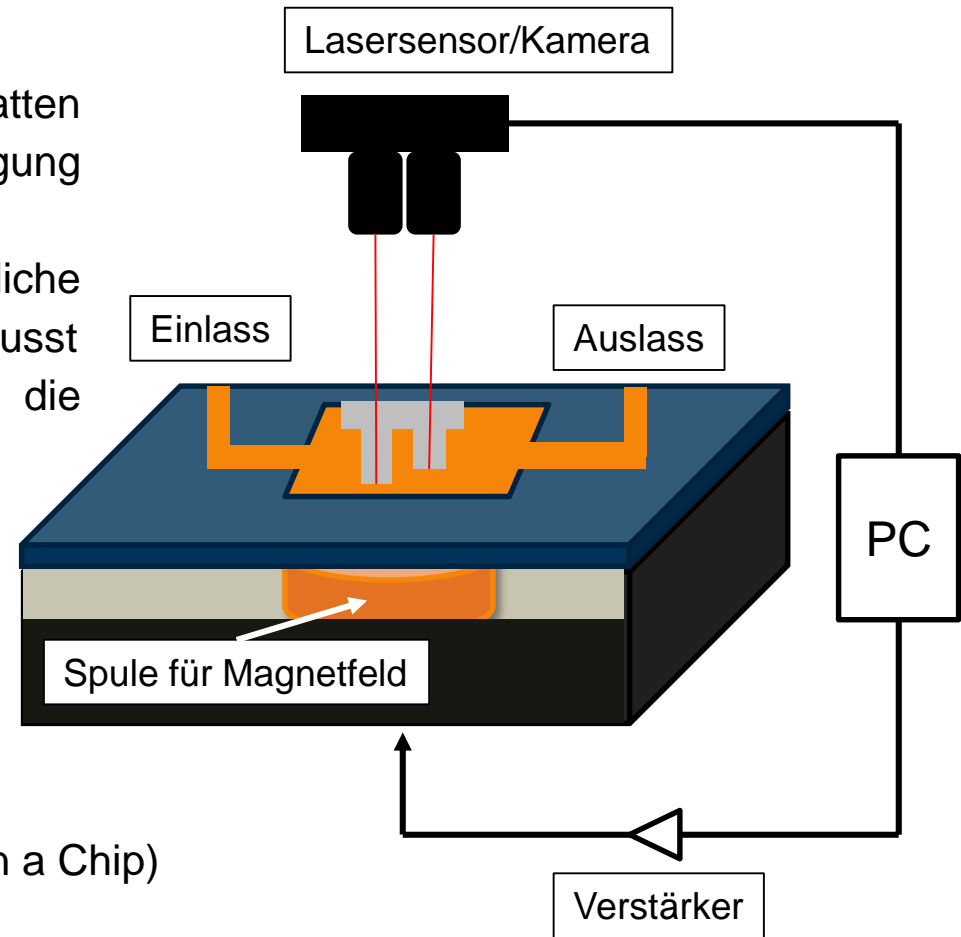
- Für die Analyse der Backwaren werden diese angeschnitten
- Die Poren werden durch das Anschneiden sichtbar
- Durch geeignete Beleuchtung können Poren detektiert werden
- Durch die Auswahl geeigneter Objektive können auch kleinere Porenradien detektiert werden



Online-Methoden

Mechanismus

- Unterschiedlich lange (verbundene) Platten werden mittels Magnetfeld in Schwingung versetzt
- Die Schwingung wird durch unterschiedliche Dichten/Viskosität der Flüssigkeit beeinflusst
- Die Frequenzänderung kann durch die Kamera aufgezeichnet werden



Einsatzgebiete

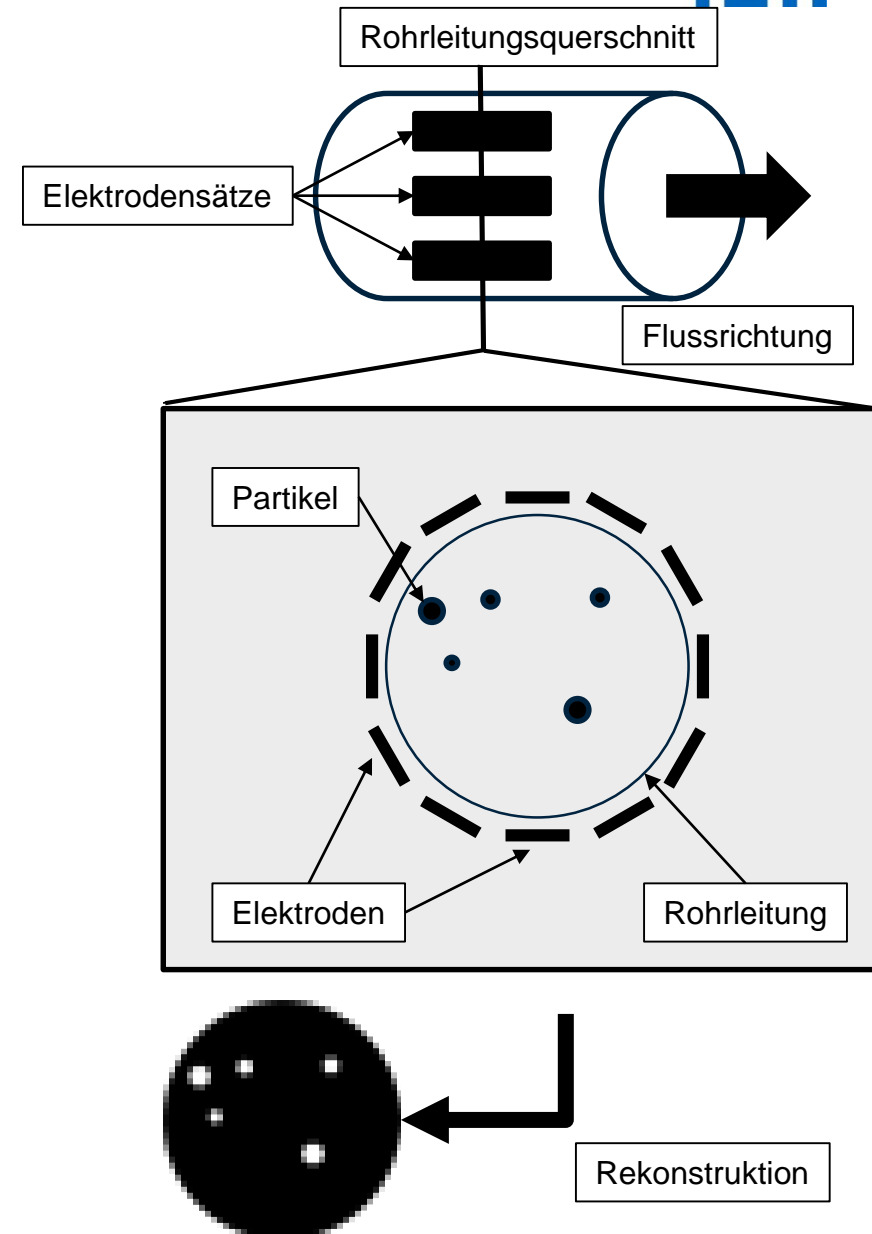
- Messung von Dichte und Viskosität
- Auch für kleine Mengen geeignet (Lab on a Chip)

Mechanismus

- Messung der Kapazitätswerte zwischen Elektrodensätzen
- Auswertung der Permittivität und Konvertierung als 2-D Bildrekonstruktion

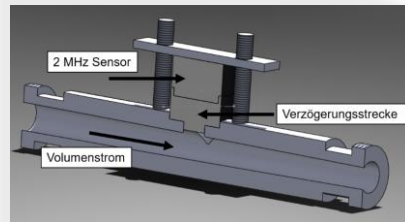
Einsatzgebiete

- Überwachung von Massen und deren Zusammensetzung
- Detektion von größeren Partikeln in Suspensionen
- Ermitteln von Feststoffkonzentrationen



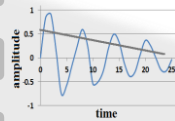
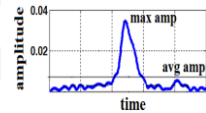
Ultraschallsensor

Prozesszugang

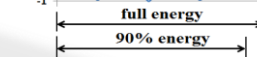


Daten-generierung

Modellierung



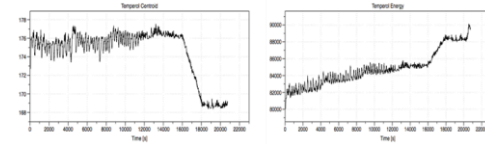
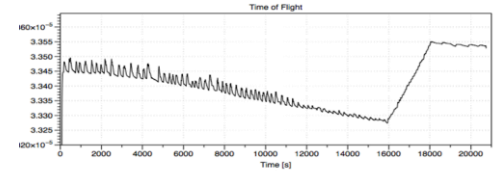
$$C_t = \frac{\sum_{n=1}^N n * (x(n))^2}{\sum_{n=1}^N (x(n))^2}$$



$$\sum_{n=1}^{n_{rf}} |x(n)|^2 = 0.9 * \sum_{n=1}^N |x(n)|^2$$

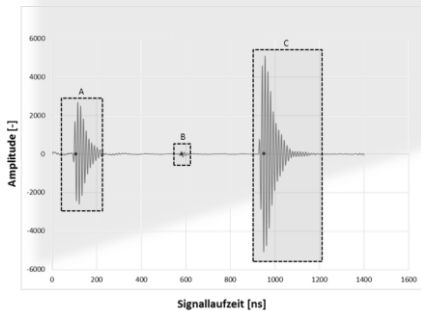
Feature-Erzeugung

Steuerung

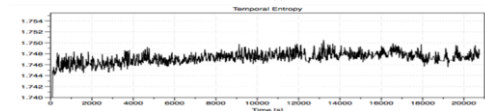
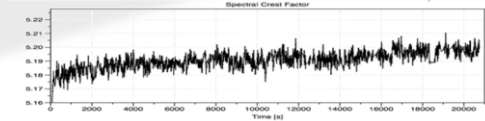
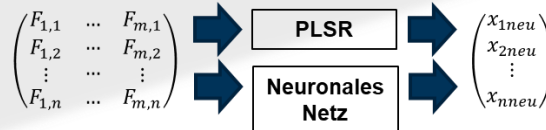


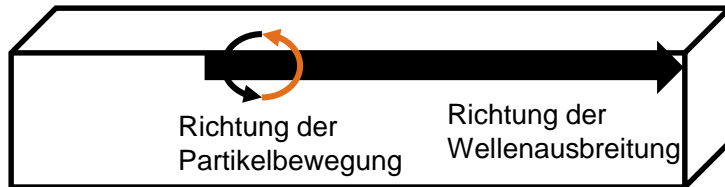
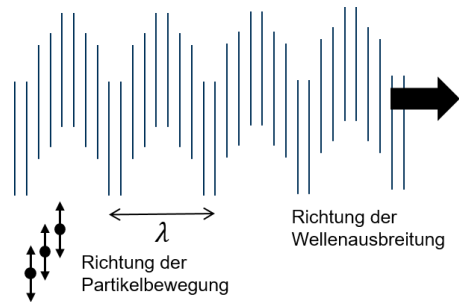
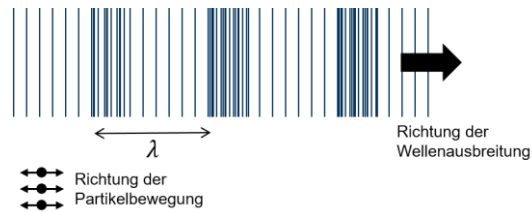
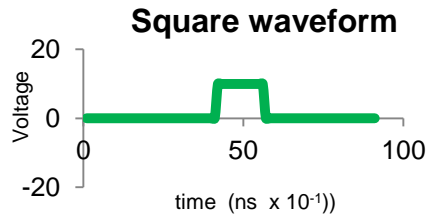
Prozess-steuerung

Rohsignal

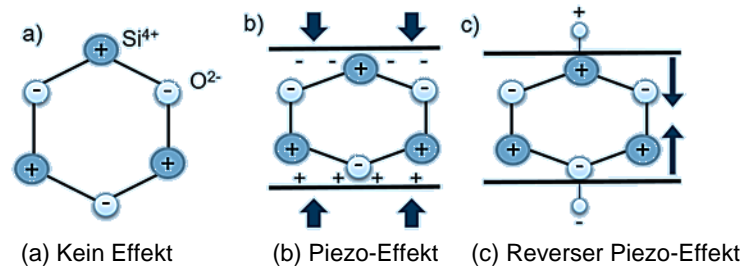
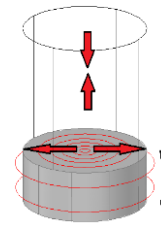


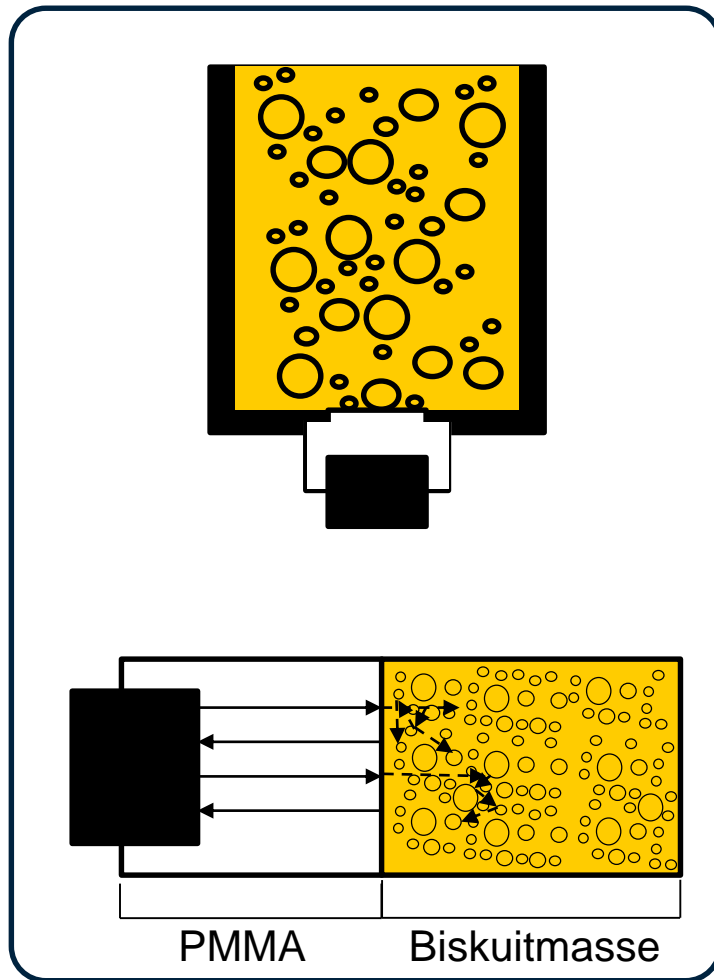
Modell-entwicklung





- Ultraschall-Transducer wandeln durch den piezoelektrischen Effekt elektrische Energie in mechanische Energie um
- Die erzeugten Druckwellen können durch das Auftreffen auf einen Transducer wieder in elektrische Energie umgewandelt werden
- Longitudinalwellen sind entscheidend für die Messung in getreidebasierten Schäumen
- Ultraschall beginnt ab 20 kHz





- Messung des Impedanz-Unterschiedes zwischen PMMA und Biskuitmasse
- Durch die Veränderung der Gasblasenverteilung ändert sich die Dichte und damit auch die Schallgeschwindigkeit in der Biskuitmasse

$$Z = \rho * c$$

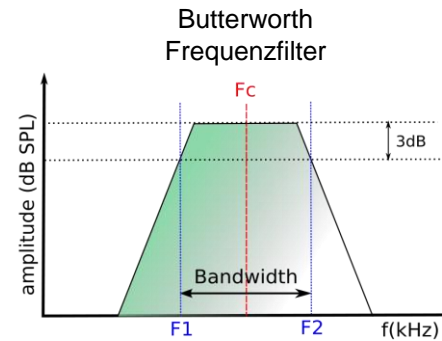
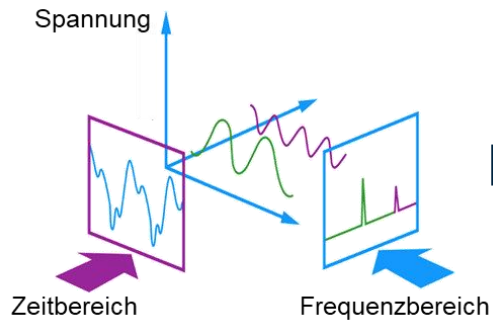
*Schallkennimpedanz = Dichte * Schallgeschwindigkeit*

$$r = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_1 + Z_2}$$

$$\text{Reflexionsfaktor} = \frac{\text{Differenz der Impedanz}}{\text{Summe der Impedanz}}$$

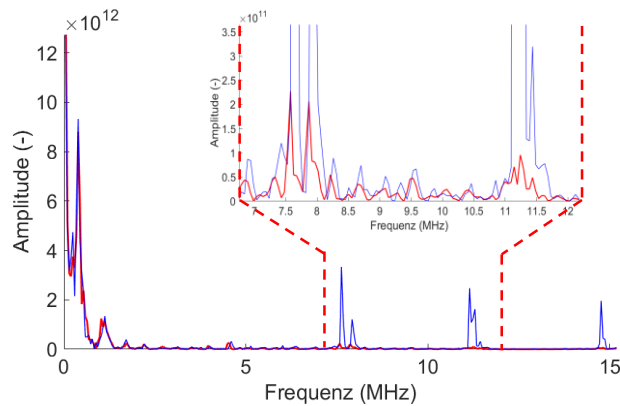
- Die Impedanz der Biskuitmasse hängt direkt von der Dichte und der Schaumstruktur ab
- Die Biskuitmasse muss bei dieser Methode nicht durchschallt werden

Rohsignal

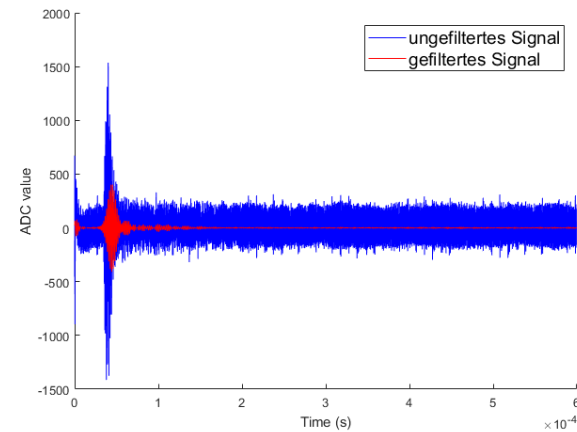


FFT

Frequenzdomäne

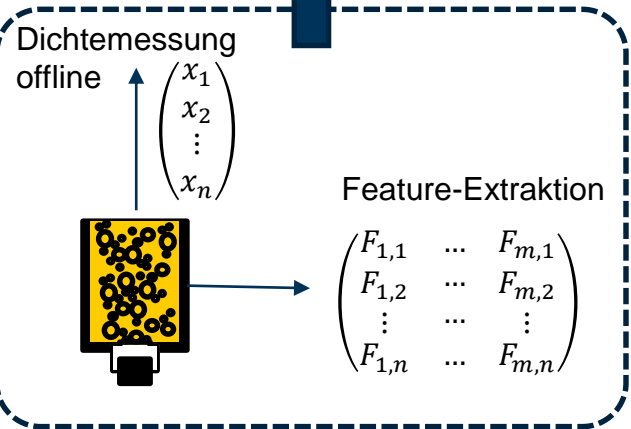
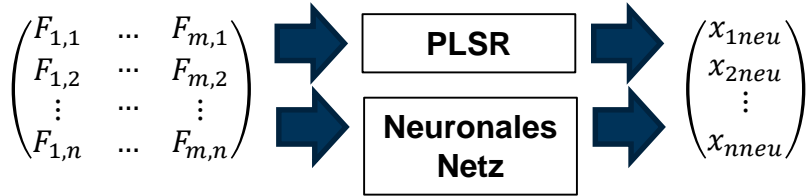


Zeitdomäne

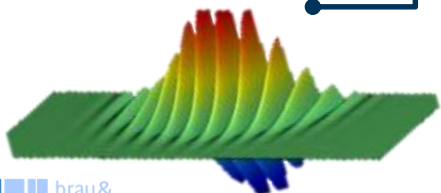


Feature Analyse

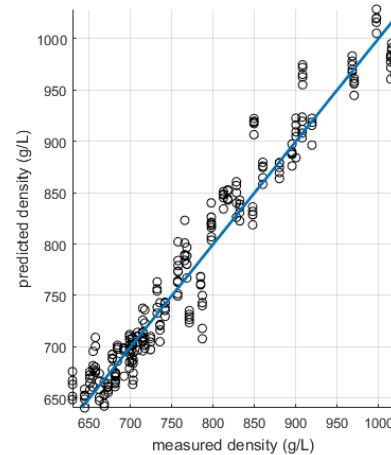




Datengenerierung

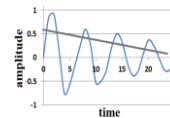


- Prozessevaluierung
- Modellevaluierung



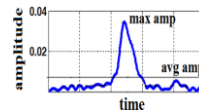
Vergleich gemessener vs. durch das Modell ermittelte Dichte

Modellentwicklung

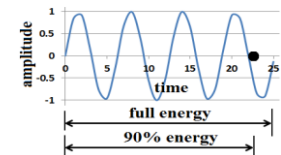


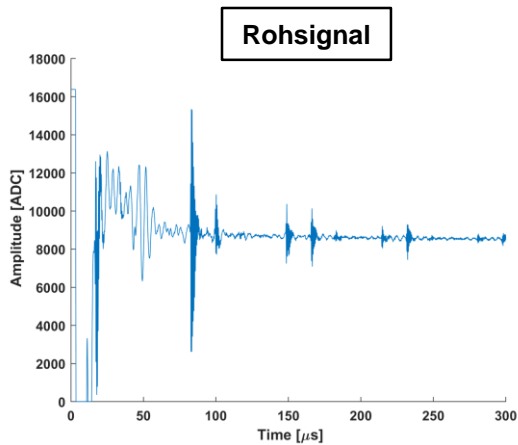
$$C_t = \frac{\sum_{n=1}^N n * (x(n))^2}{\sum_{n=1}^N (x(n))^2}$$

Feature-Erzeugung

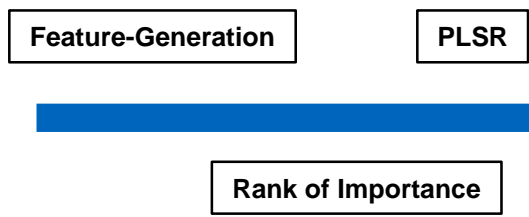
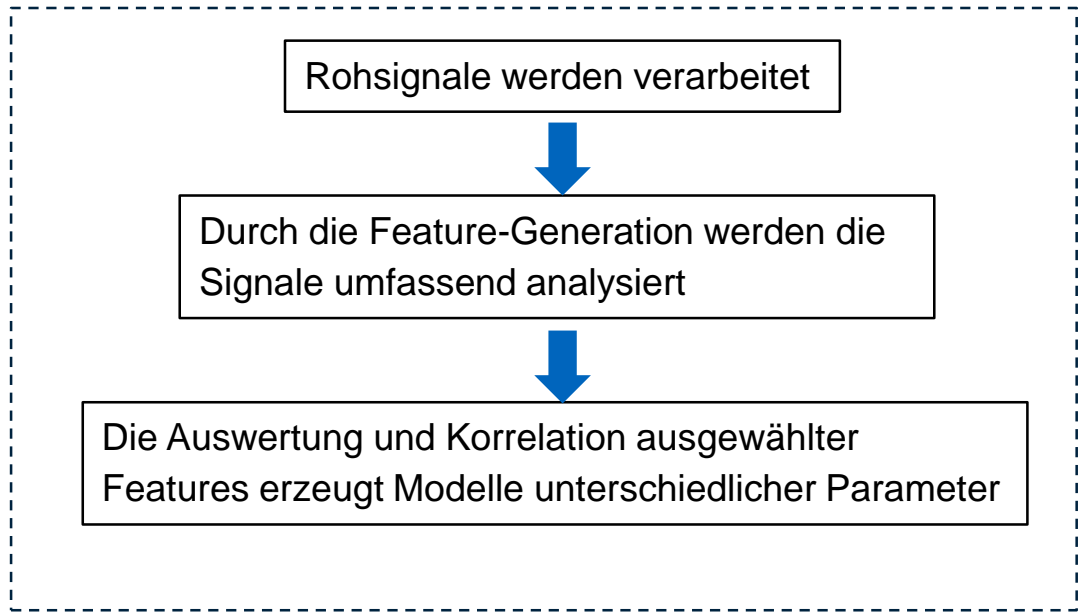
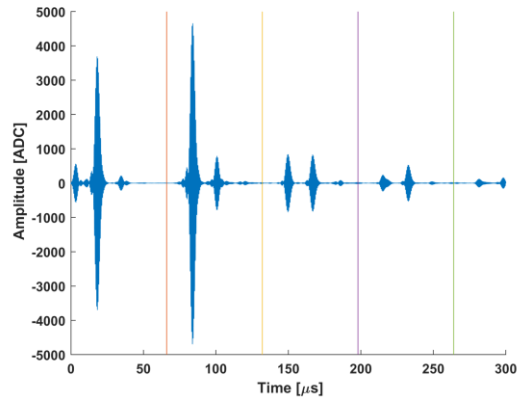


$$\sum_{n=1}^{n_{rf}} |x(n)|^2 = 0.9 * \sum_{n=1}^N |x(n)|^2$$

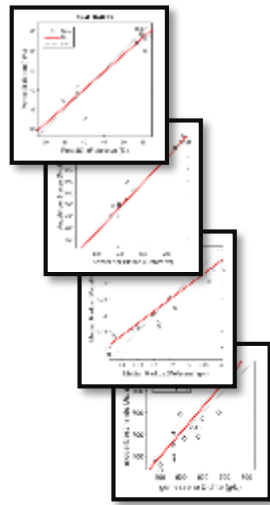




**Butterworth-Filter
(2 MHz)**



- Dichte
- Porosität
- Blasenanzahl
- Blasengröße



- Die Dichte und Struktur von Backwaren kann durch Offlinemethoden gut bestimmt werden, jedoch kann damit nicht direkt in den Prozess eingegriffen werden
- Die hohe optische Dichte von Massen und Teigen erschwert die Analyse mittels optischer Sensoren
- Bei der vorgestellten Inline-Ultraschallmethode ist eine Durchschallung nicht nötig, wodurch die Strukturparameter auch bei optisch dichten Medien korreliert werden können

Outlook:

- Durch Korrelationen der Ultraschallsignale mit optischen Verfahren kann die Charakterisierung der Schaumstruktur noch erweitert werden



Herzlichen Dank ...

... für Ihre Aufmerksamkeit

... ein Projekt der *Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF)*

gefördert durch/via



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 142-148, 53175 Bonn, wird/wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Lehrstuhl für Brau- und Getränketechnologie
Wissenschaftszentrum Weihenstephan
Technische Universität München
Weihenstephaner Steig 20
D-85354 Freising

Tel.: +49 8161 71 3261
Fax: +49 8161 71 3883
E-Mail: verwaltung@bgt.wzw.tum.de
bgt.wzw.tum.de