

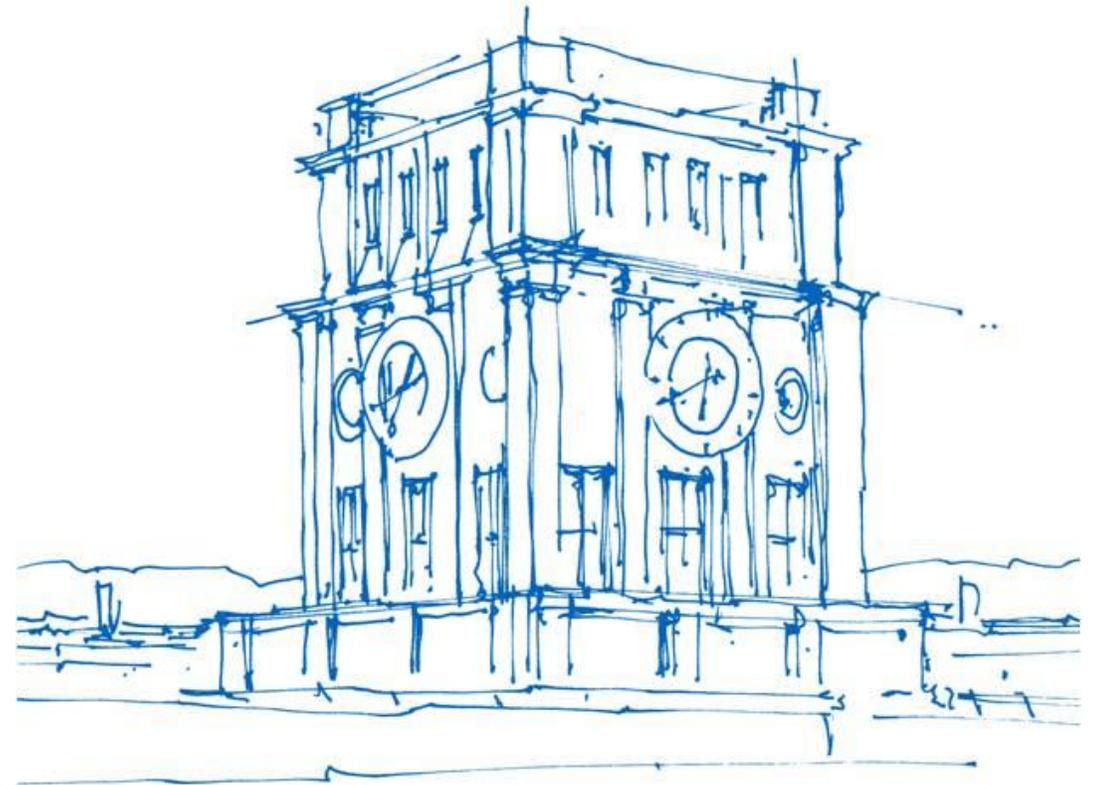
# Prozessintensivierung und Elektrifizierung von Trocknungsprozessen durch Mikrowellen

Prof. Dr.-Ing. Petra Först

Technische Universität München

TUM School of Life Science

Food Process Engineering



*Uhrenturm der TUM*

## **Trocknung in der Lebensmittelverarbeitung**

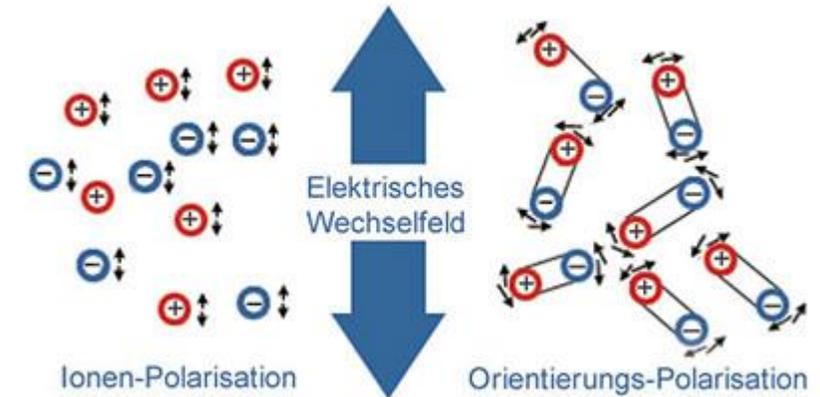
- Erhöht die Lagerstabilität und Haltbarkeit
- Verbessertes Handling
- Erhöht die Verfügbarkeit
  
- Ist sehr energieintensiv (15% - 25% vom Gesamtenergieverbrauch)
- Energieträger meist fossil
  
- Meist thermische Trocknung
- Limitierung des Wärmeeintrags

## **Mikrowellentrocknung als Alternative**

- Keine fossilen Rohstoffe
- Energiesparender Prozess
- Schonender Prozess
- Direkte volumetrische Erwärmung
- Neue Generatoren mit neuen Möglichkeiten (Halbleitergeneratoren)
  
- Inhomogene Erhitzung
- Prozess schwierig zu steuern

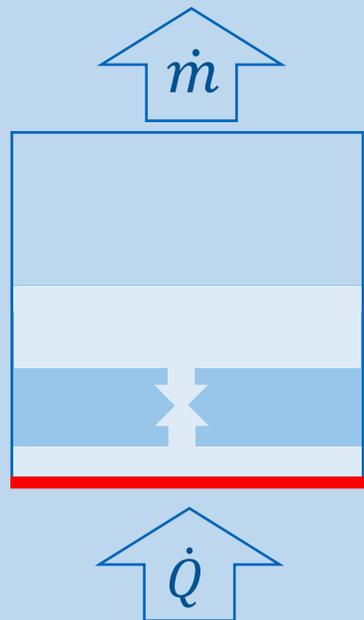
# Grundlagen Mikrowellenerwärmung und Trocknung

- Trocknungsprozesse durch gekoppelten Stoff- und Wärmetransport gekennzeichnet
- Prozesslimitierung kann durch Stoff oder Wärmetransport verursacht sein
- Mikrowelleneintrag dient der Prozessintensivierung für Produkte, bei denen Wärmetransportlimitierung vorliegt

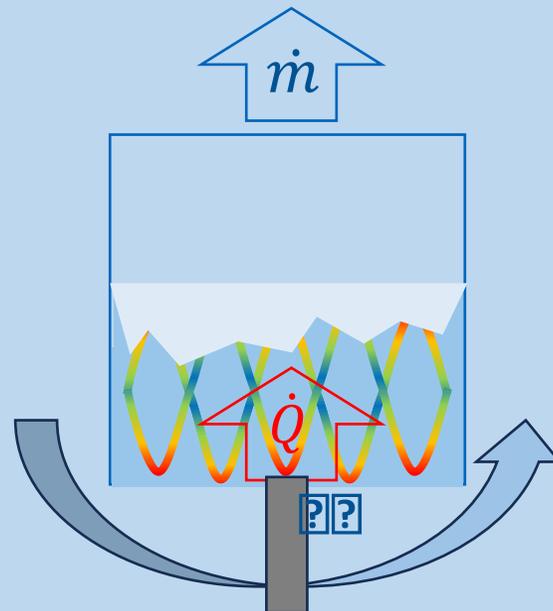


## Trocknung von Flüssigkeiten

Konventionelle  
Gefriertrocknung

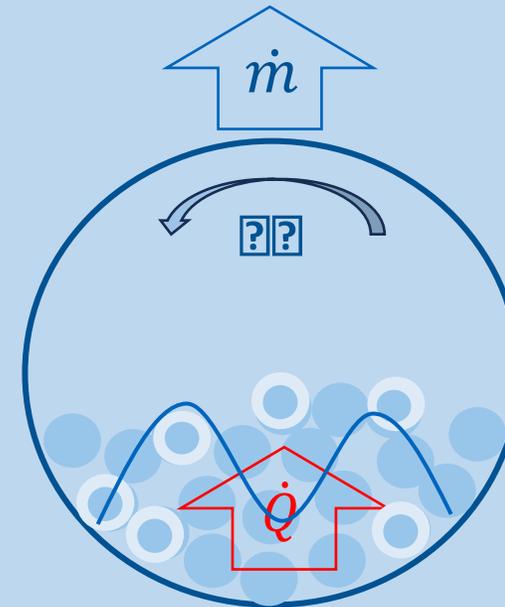


Mikrowellenunterstützte  
Gefriertrocknung

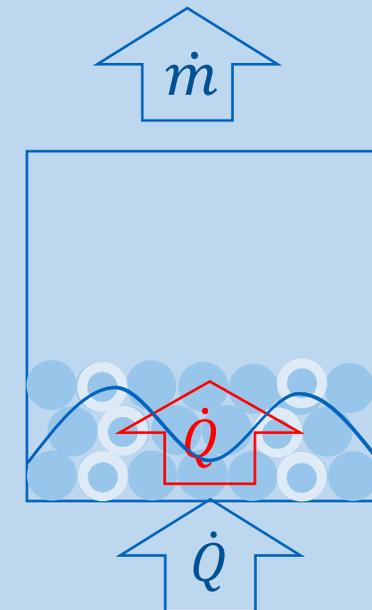


## Trocknung von Schüttgütern

dynamische  
Mikrowellenunterstützte  
Gefriertrocknung



Mikrowellenunterstützte  
Heißlufttrocknung

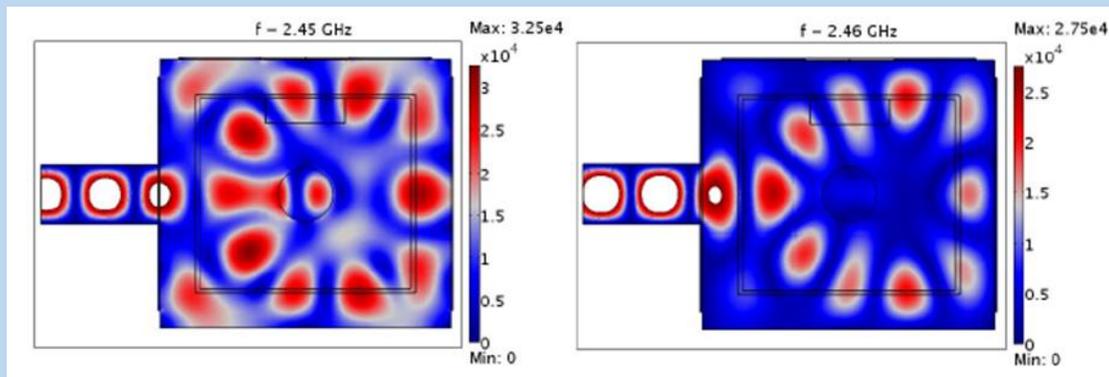


## MW Erzeugung durch Magnetrons



- Nur gepulster Leistungseintrag möglich
- Unkontrollierte Frequenzsprünge
- Breiter Frequenzbereich

5

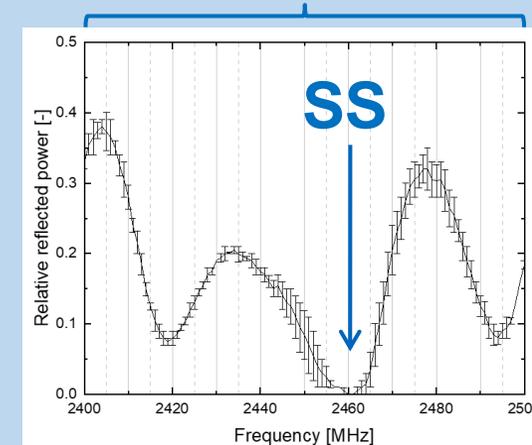


(Monteiro et al. 2011)

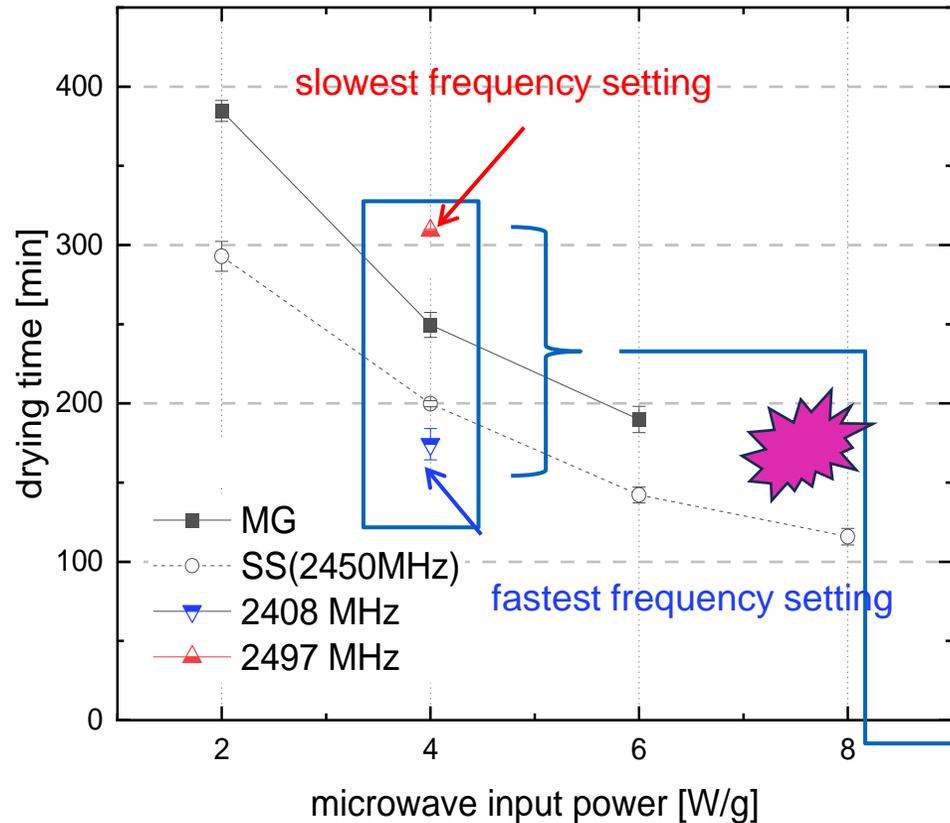
## MW Erzeugung durch Halbleiterelemente

- Stufenlose Leistungsregelung
- Definierte Frequenzeinstellung
- Echtzeitmessung der reflektierten (absorbierten) Mikrowellenleistung
- Möglichkeit der Entwicklung von Steuerungskonzepten

## Magnetron



# Prozessintensivierung durch Halbleitergeneratoren



Modelllebensmittel:  
Maltodextrinschaum (25%) mit  $\beta$ -Galactosidase

Deutlich schnellere Trocknung mit Halbleitergeneratoren möglich

Dadurch Schonung des Produkts

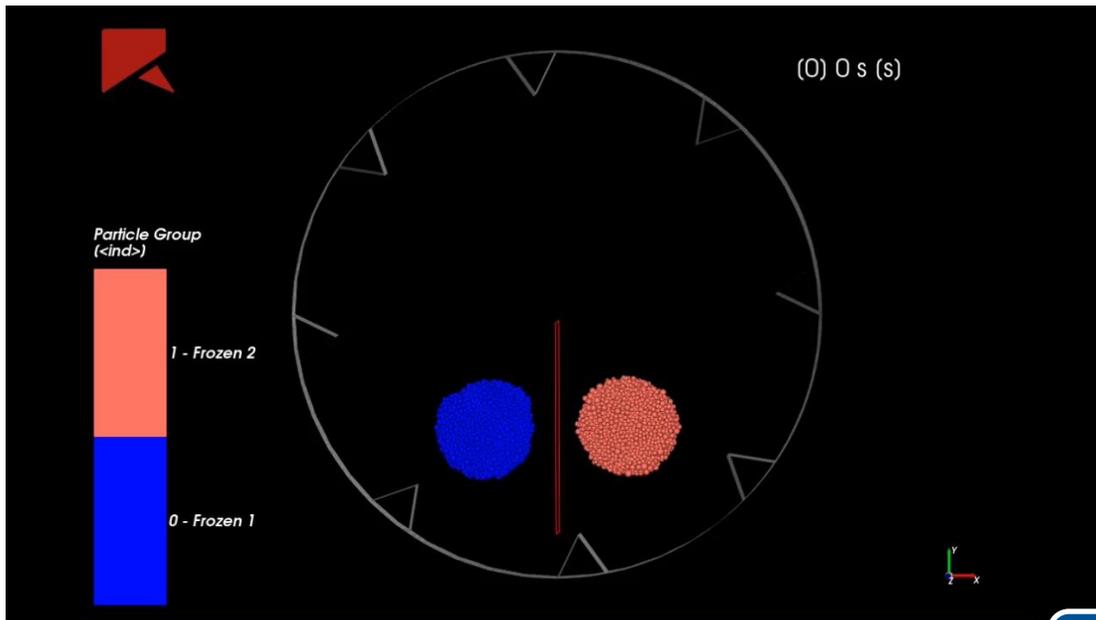
Minimierung der Gefahr der Plasmazündung

Wahl der Anregungsfrequenz hat einen starken Einfluss auf die Trocknungszeit (135 min Zeitunterschied)

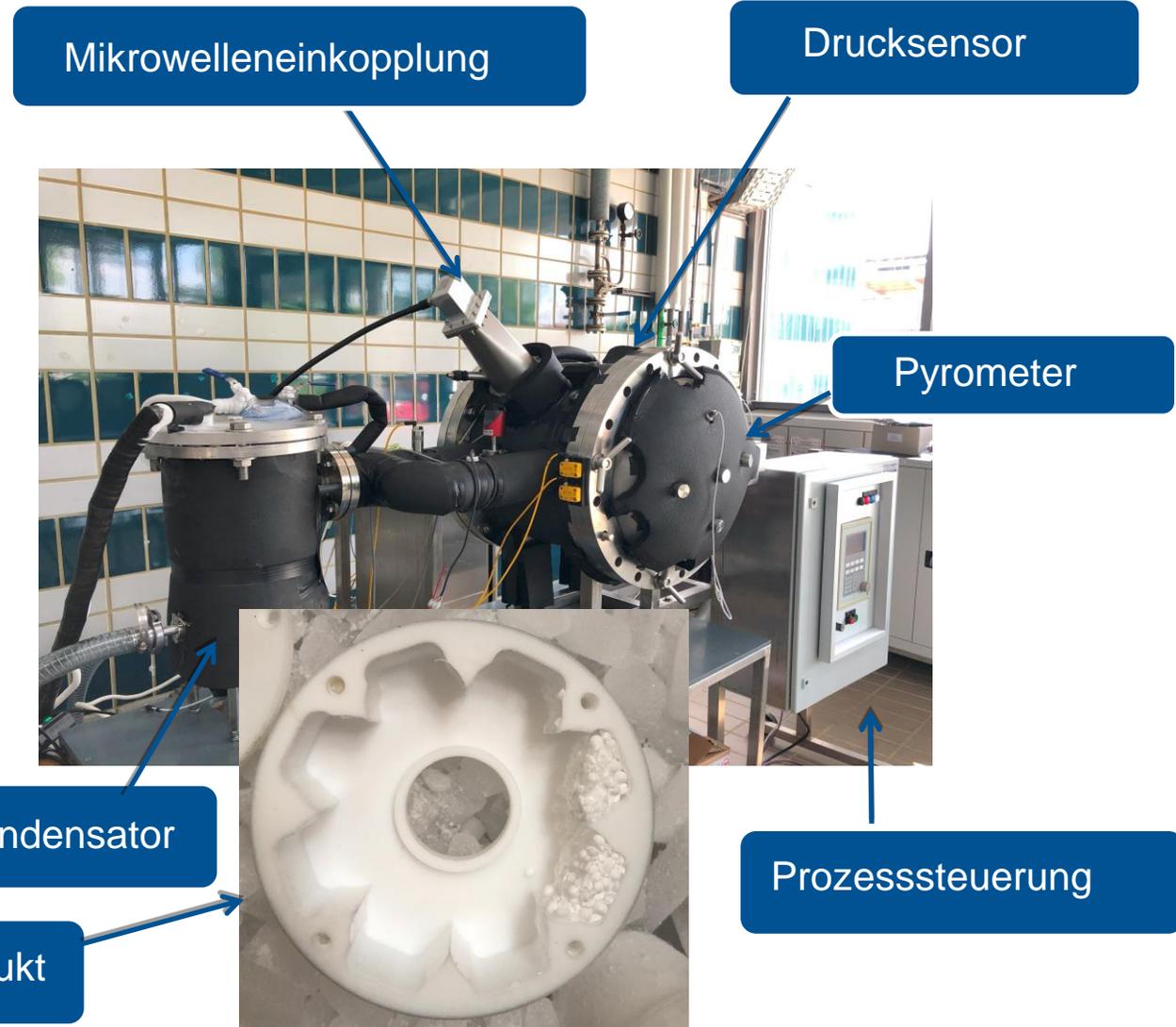


# Prozessintensivierung durch Mischen des Produkts

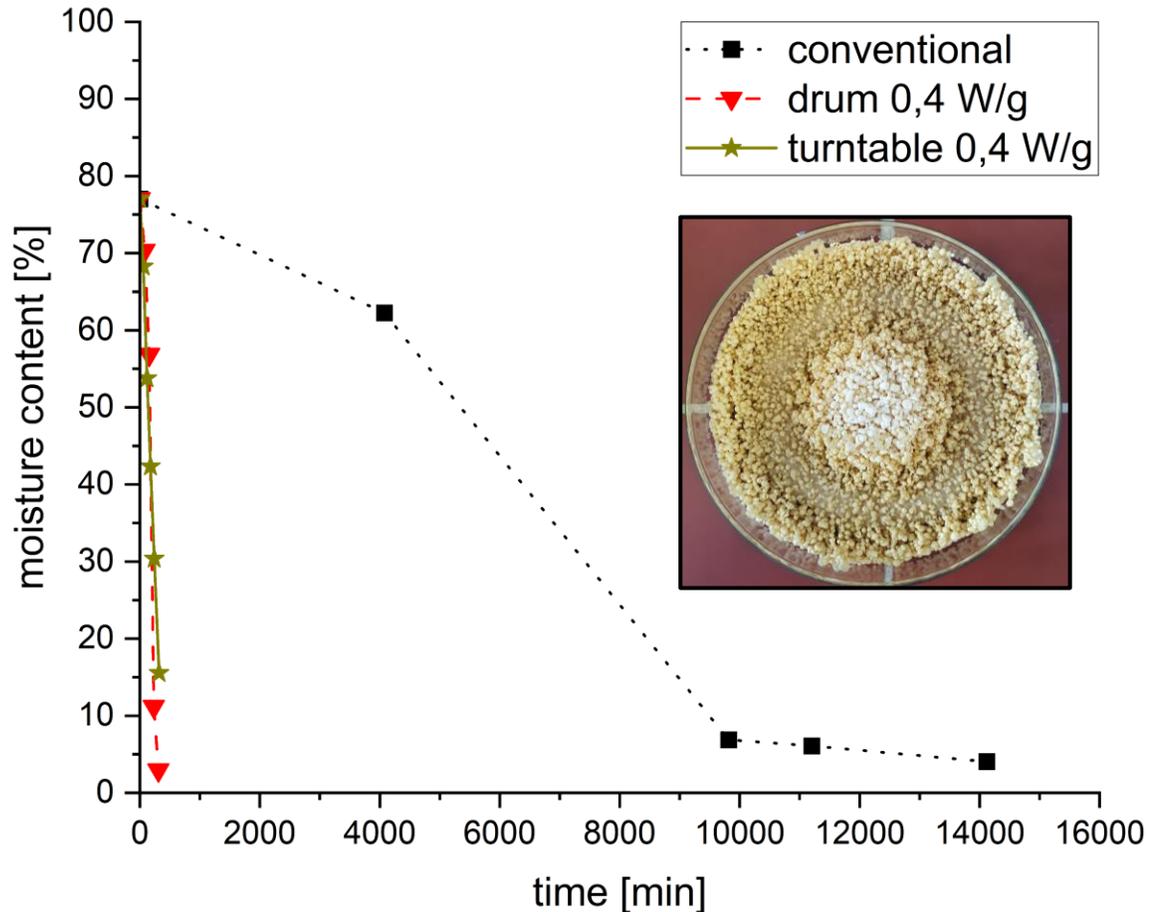
- Produkt: gefrorene Starter- und probiotische Kulturen mit Schutzstoff
- Optimierung des Trommeldesigns mittels DEM Simulation



Nasato, D.; Hilmer, M.; Foerst, P.; Briesen, H. (2023): Parametric study of a rotary freeze dryer. Partec Nürnberg, 2023



# Prozessintensivierung durch Mischen des Produkts



- Starterkultur-Pellets *L. fermentum* in Schutzstofflösung
- **Klassische Gefriertrocknung**
- Stationäres Bett, Füllhöhe 2,4 cm
- Stellflächentemperatur:  $-27^{\circ}\text{C}$
  
- Druck: 10 Pa
  
- **Mikrowellengefriertrocknung:**
- Leistungseintrag Mikrowelle: 200 W
- 500 g Probe
- Drehteller und Trommel ca. 1 rpm



} 0,4 W/g

# In-situ Bildgebung der Mikrowellengefrierdetrocknung

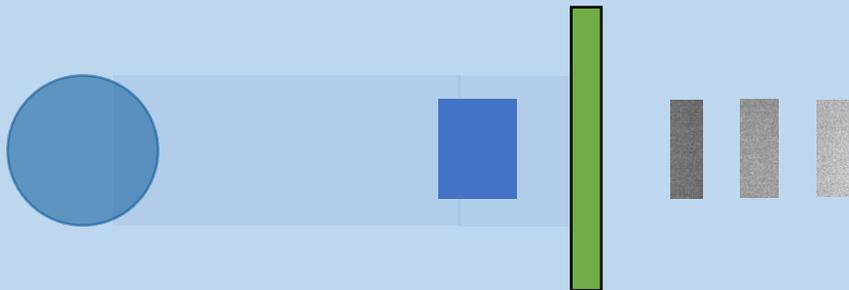
Lambert-Beersches Gesetz

$$I(z) = I_0 * e^{-\int \mu_i * z_i}$$

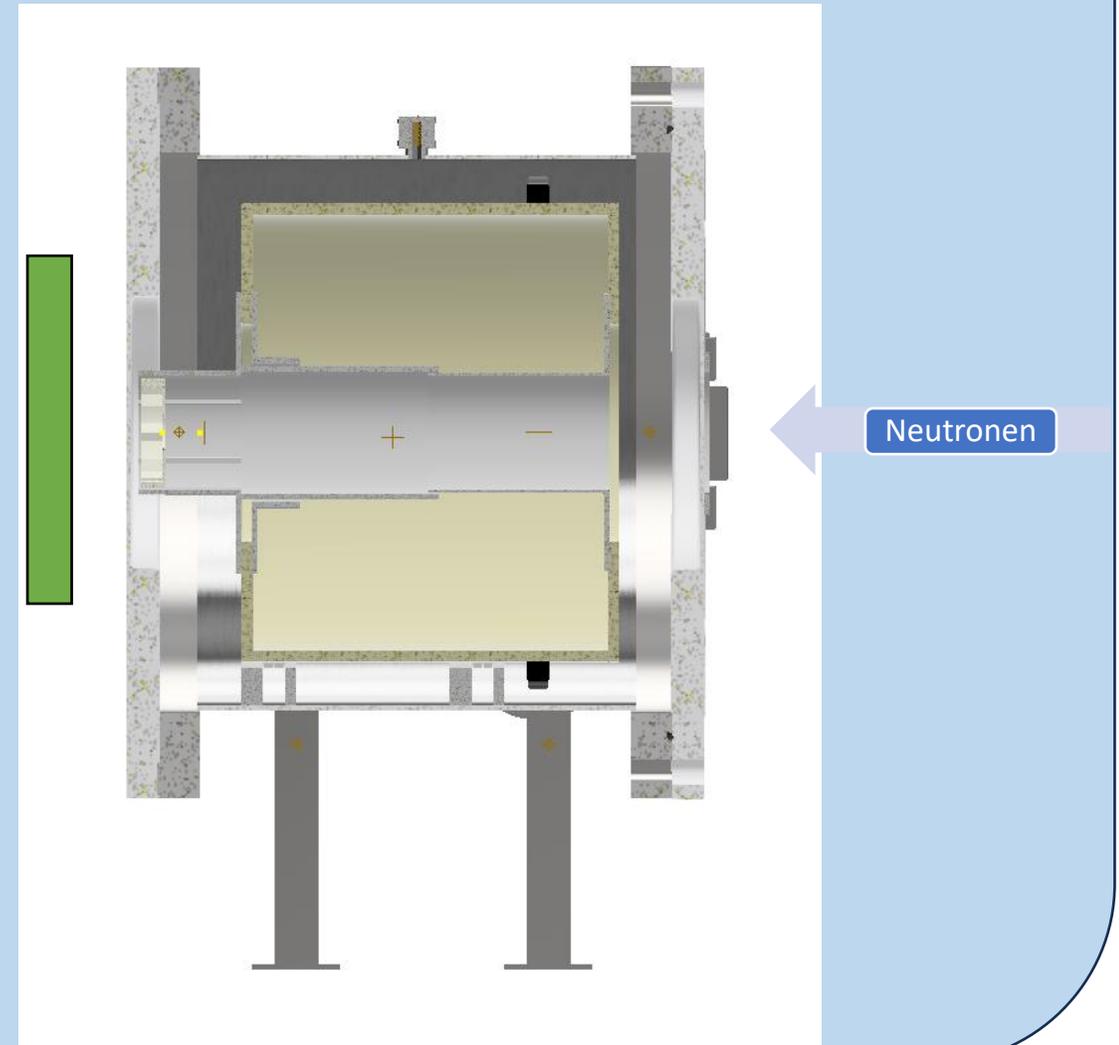
$I_0$ : Strahlintensität

$\mu_i$ : Abschwächungskoeffizient

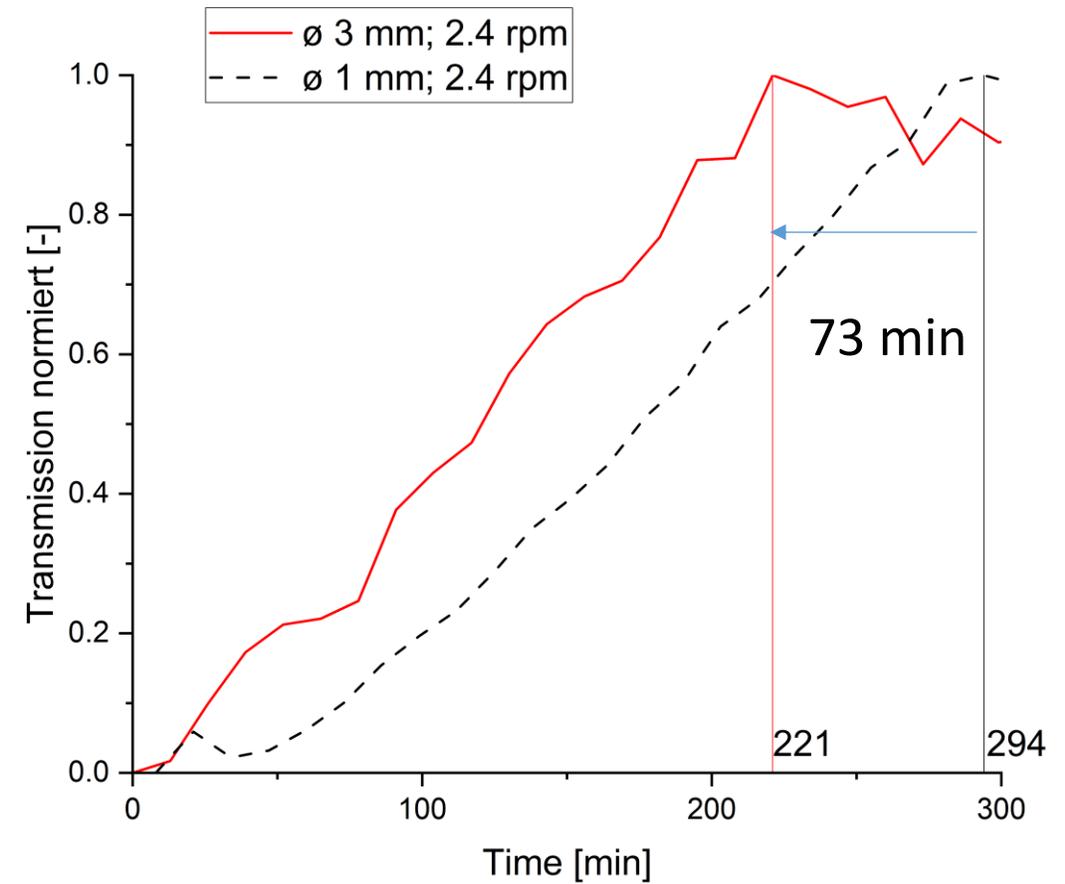
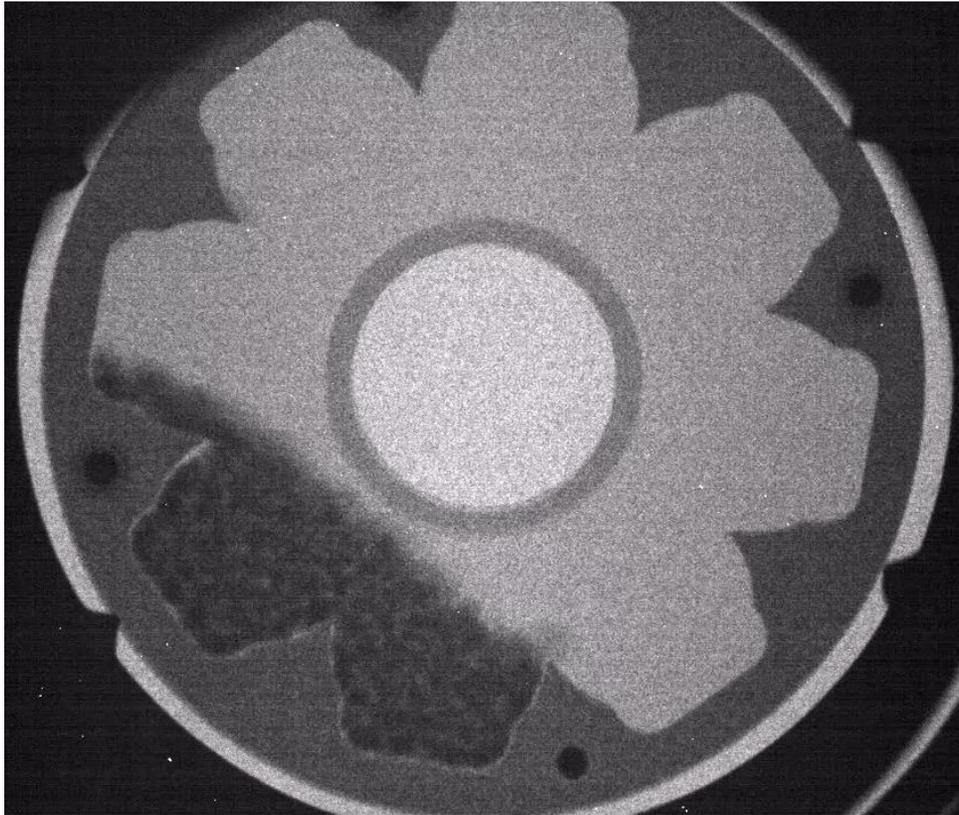
$z_i$ : Materialstärke



Material: gefrorene Maltodextrinpartikel  
1 mm und 3 mm Durchmesser  
Rotationraten 1,2 und 2,4 rpm

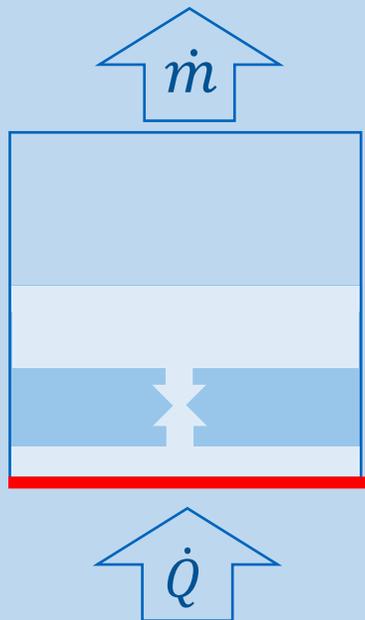


# in-situ Bildgebung der Mikrowellengefrierdrying

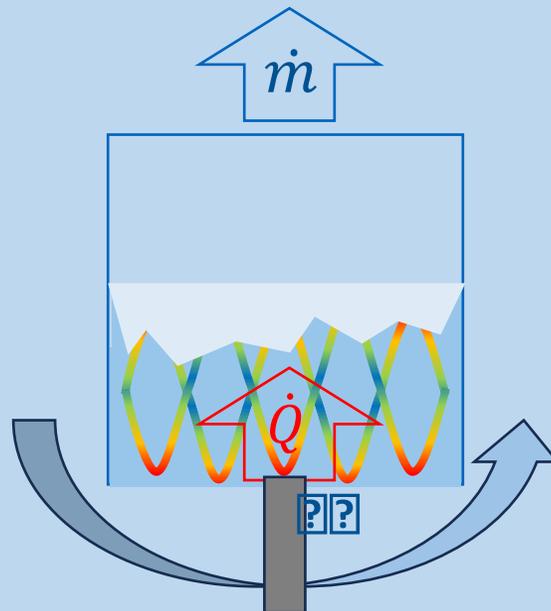


## Trocknung von Flüssigkeiten

Konventionelle  
Gefriertrocknung

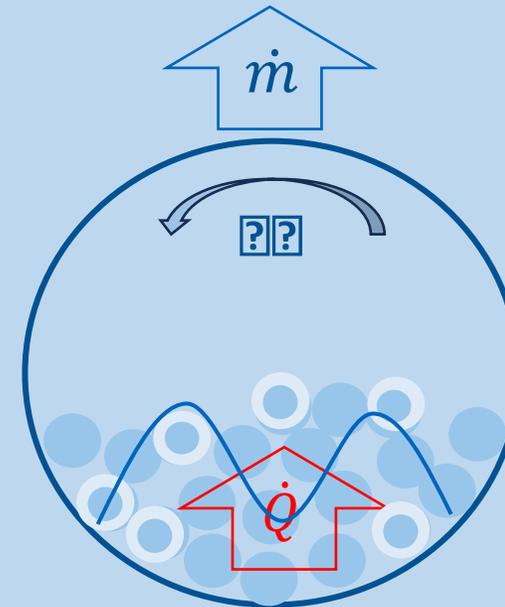


Mikrowellenunterstützte  
Gefriertrocknung

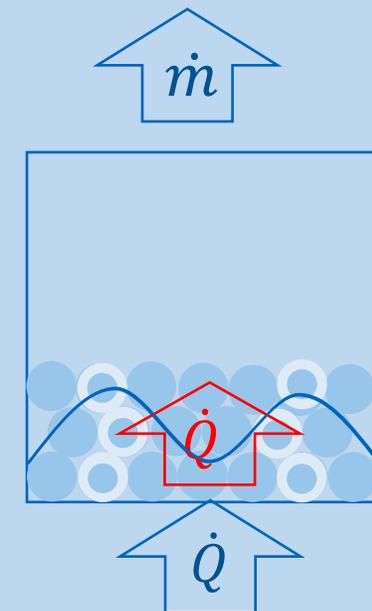


## Trocknung von Schüttgütern

dynamische  
Mikrowellenunterstützte  
Gefriertrocknung



Mikrowellenunterstützte  
Heißlufttrocknung



# Mikrowellenunterstützte Heißlufttrocknung von Hopfen

Hopfentrocknung unmittelbar nach der Ernte

Trocknung mittels Hordendarren oder Bandtrocknern

Wassergehalt: Von 78 – 84 % auf 9 – 10 %

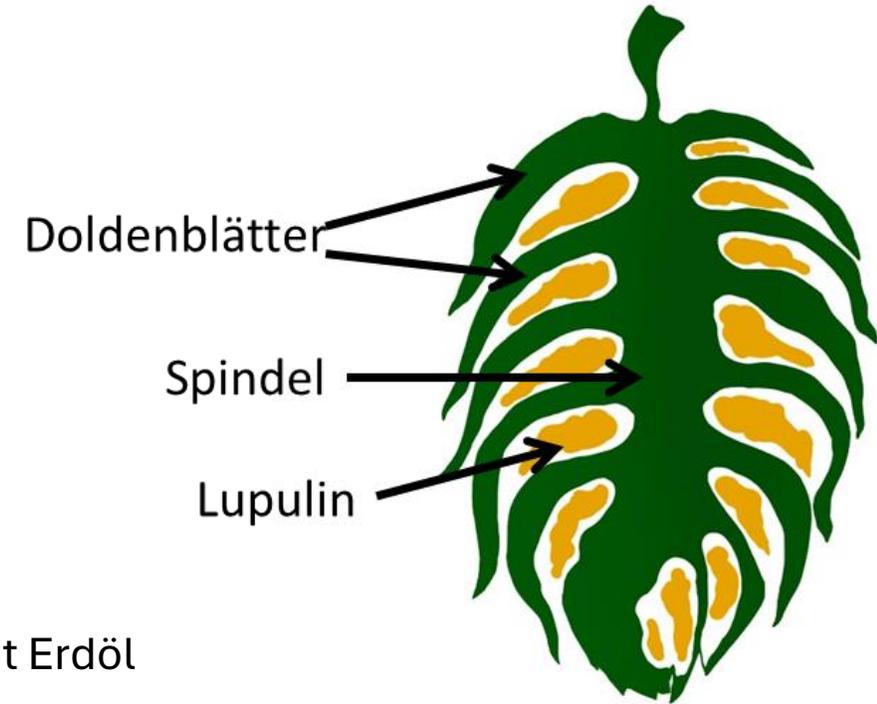
Großer Energieaufwand durch unpassenden Aufbau der Dolde:

Schlechter Wärmetransport in die Spindel

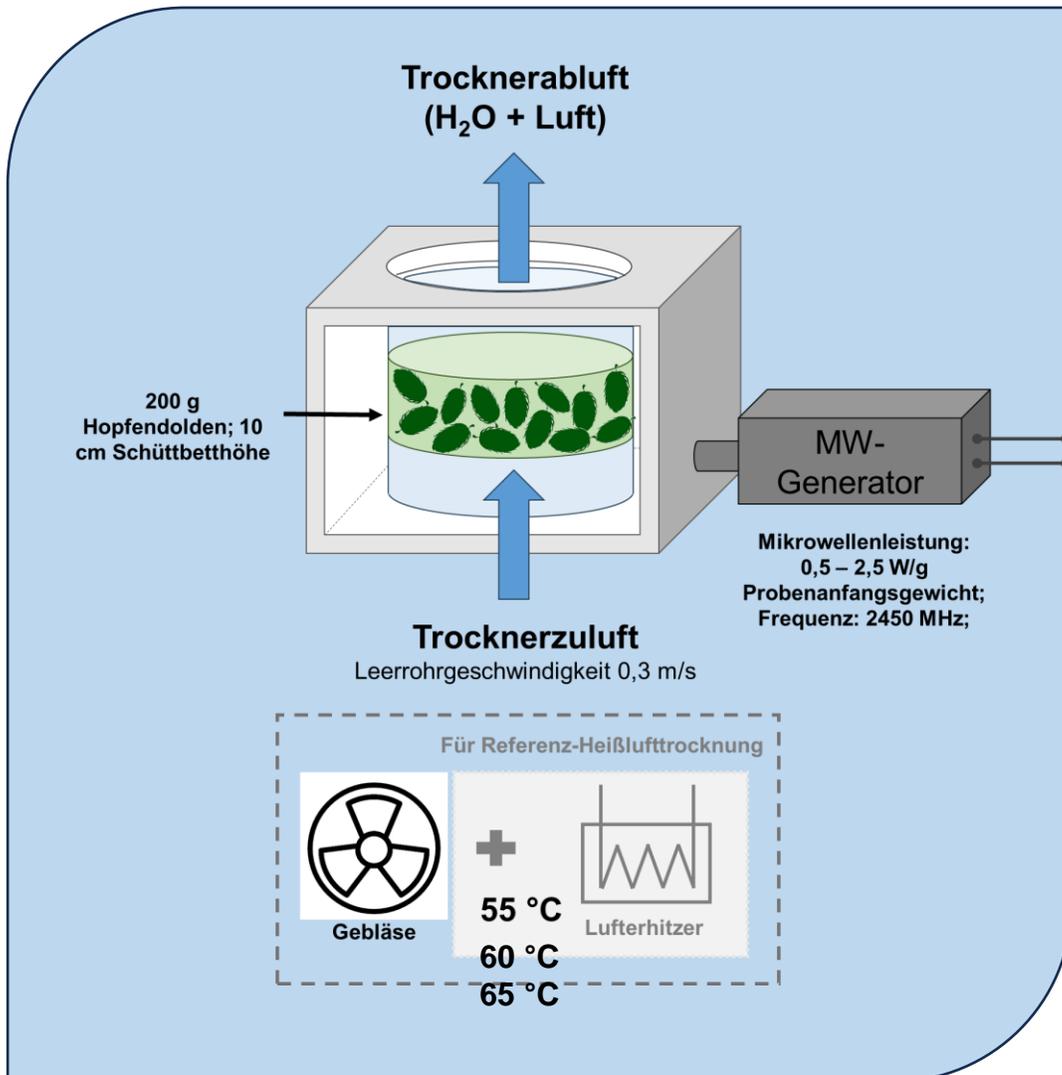
Blätter: große Oberfläche, niedriger Wassergehalt

Spindel: kleine Oberfläche, hoher Wassergehalt

- ☐ Inhomogene Trocknung macht Konditionierung erforderlich
- ☐ Führt zu langen Prozesszeiten und großem Energiebedarf mit Erdöl als Energieträger
- ☐ MW Trocknung durch volumetrischen Wärmeeintrag vorteilhaft



# Mikrowellenunterstützte Heißlufttrocknung von Hopfen



Trocknungsdauer und Trocknungsrate

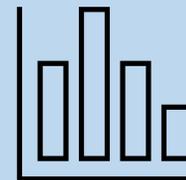


Spezifischer Energiebedarf



Qualitätsparameter

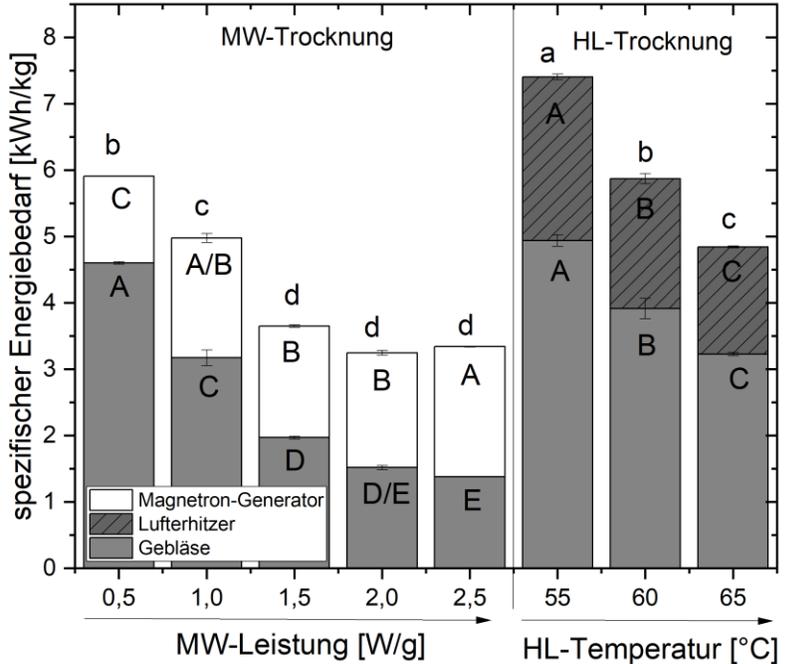
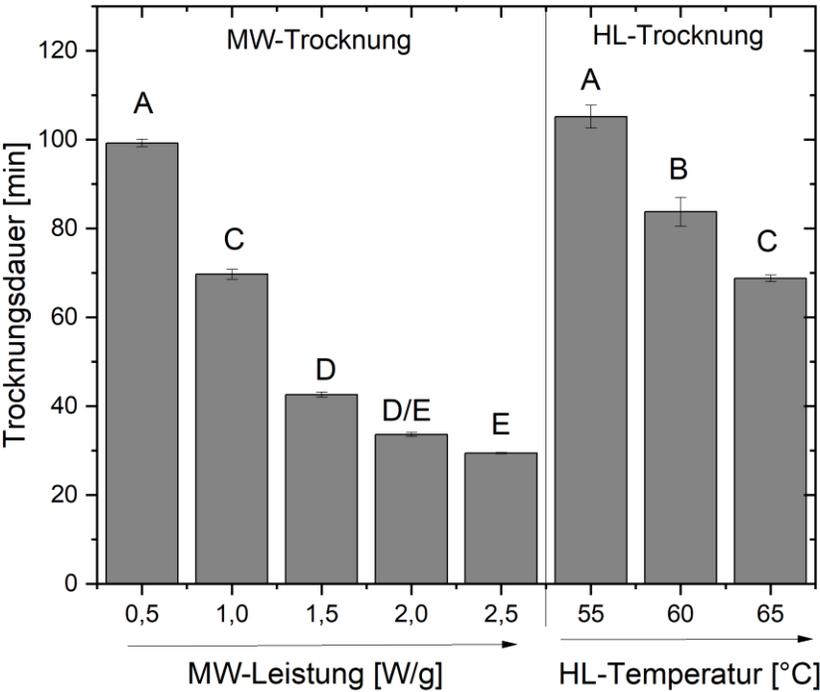
$\alpha$ - und  $\beta$ -Säure mittels HPLC (EBC 7.7)  
Farbe (vorher- /nachher Bilder)



Trocknungskinetik

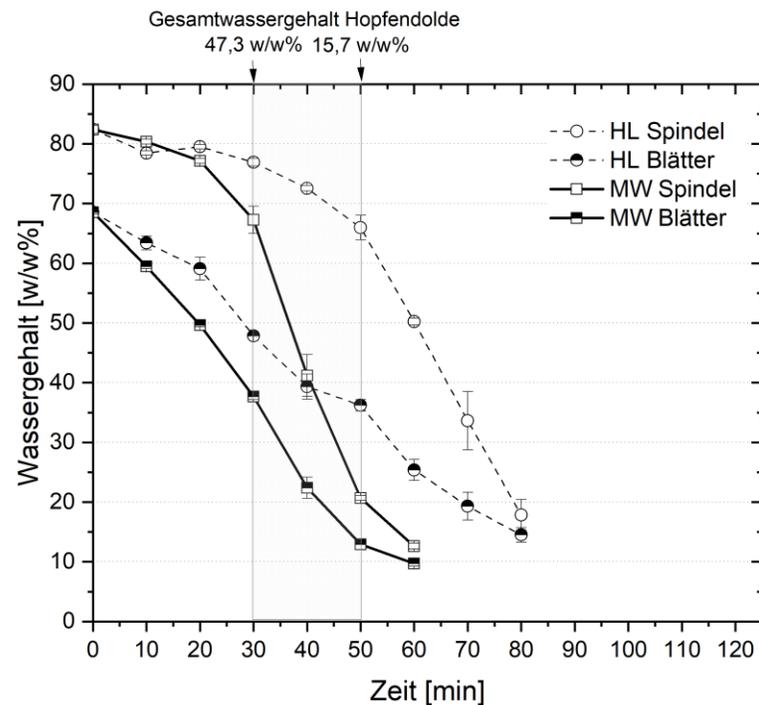
Wassergehaltsunterschiede zwischen  
Blättern und Spindel

# Mikrowellenunterstützte Heißlufttrocknung von Hopfen



# Mikrowellenunterstützte Heißlufttrocknung von Hopfen

65°C HL bzw. MW 1W/g



HL: deutlich verzögerte Trocknung der Spindel  
MW: schnelle Trocknung von Blättern und Spindel

Keine Notwendigkeit der Konditionierung



Möglichkeiten der Prozessintensivierung durch den Einsatz von Mikrowellen

Bessere Steuerbarkeit und Prozessintensivierung durch Halbleitergeneratoren

Durchmischung bei Schüttgütern führt zu einer homogeneren und schnelleren Trocknung

Neue in-situ Bildgebungsmethoden für verbessertes Prozessverständnis

Dank an  
Isabel Kalinke  
Mathias Hilmer  
Benedikt Steinhoff  
Emilia Jackermeier  
Paula Theis



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

Gefördert durch:



Das o. g. IGF-Vorhaben der Forschungsvereinigung Forschungskreis der Ernährungsindustrie e. V. (FEI), Godesberger Allee 125, 53175 Bonn, wird/wurde im Rahmen des Programms zur Förderung der Industriellen Gemeinschaftsforschung (IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages gefördert.

Projektnummer 01IF22205N

Wissenschaftsförderung  
der Deutschen Brauwirtschaft e.V.

