

# Kontinuierliche inline Feuchtigkeitsmessung zur Verbesserung der Produktqualität, Verringerung von Müll und Energieverbrauch

21.09.2022

## Vortragender

### **M.Sc. Lukas Lischke**

Produktmanager - Sensors & Measurement Department

- Studium der Elektrotechnik an der TU München mit Schwerpunkt Hochfrequenztechnik 2011-2017
- Seit 2019 zunächst als Hardwareentwickler für Satelitenbasisstationsequipment bei Work Microwave GmbH tätig
- Ab 2021 Wechsel in die Sensorikproduktgruppe als Systems- & Vertriebsingenieur
- Seit 2022 Produktmanager für den Fachbereich Sensorik und Messtechnik



lukas.lischke@  
work-microwave.com

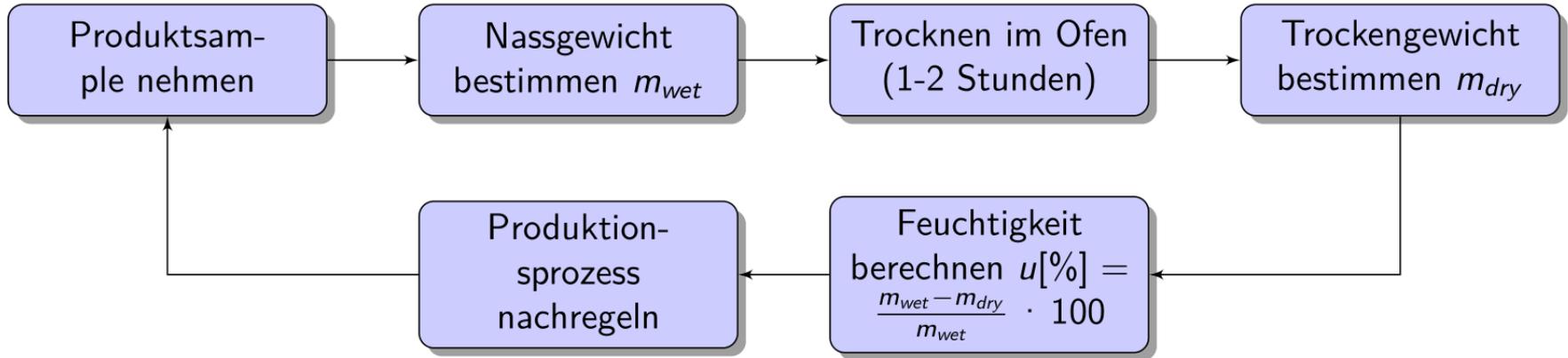


# Herausforderungen im Produktionsprozess

- **Formungsprozess**
  - Uniformität der Pressung / Kleberauftrags
- **Färbeprozess**
  - Gleichmäßige Farbannahme nur bei gleichmäßiger Grundfeuchte
- **Waschprozess**
  - Gleichmäßige durchgehende Durchfeuchtung wünschenswert
- **Trocknungsprozess**
  - Großer Energiebedarf um Feuchtigkeit zu reduzieren
- **Lagerung**
  - Zu hohe Restfeuchtigkeit reduziert Produktlebenszeit



## Gravimetrische Probenauswertung mittels Verdampfungswage



### Konsequenzen

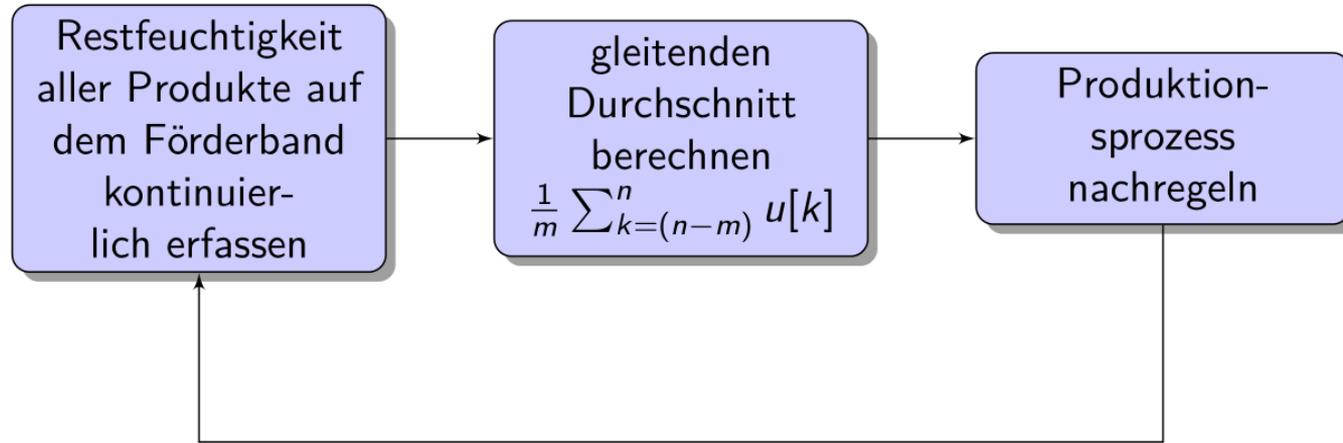
- manueller Prozess
- zeitaufwändig - Messzeit beträgt bis zu 2 Stunden
- nur Stichprobentests möglich
- Probe ist nach Messung zerstört



- Manueller Test
  - Etwa alle 2h Probenahme sinnvoll realisierbar
  - Lange Durchführungsdauer von bis zu 2h
  - Prozessfeedback ggf. erst wieder in 4h
  - Probenahme zerstört diesen Abschnitt des Produkts
- Daher werden oft andere Materialparameter herangezogen
  - Fühlen / Sichtkontrolle / Kameras bei Färbeprozessen
- Oder es erfolgt gar keine regelmäßige Kontrolle
  - Verlass auf gleichbleiben der Prozessparameter

**Großes Potential für Einsparungen & Qualitätsverbesserungen**

## Kontinuierliche Inline Feuchtigkeitsmessung



### Gewünschte Vorteile

- automatischer Prozess
- instantane zerstörungsfreie Messung
- 100% Inline Monitoring
- direkte Prozessregelung



## Technologievergleich

### Verdampfungswage

- + Anwendbar für beliebige Materialien
- + Sehr genaue Messung
- Nicht Inline-fähig und langsam
- **Probe wird zerstört**

### NIR

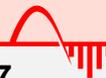
- + Schnell & inlinefähig
- + Berührungslos, einfache Montage
- Nur Oberflächenfeuchte
- Farbabhängig
- Produktspezifische Kalibrierung

### Mikrowellenresonanz

- + Sehr schnell & inlinefähig
- + Volumenfeuchtemessung
- + **berührungslos, zerstörungsfrei**
- + **Dichte- & Abstandskompensiert**
- Produktspezifische Kalibrierung

### Kapazitiv

- + Schnell, günstig & inlinefähig
- + Volumenfeuchtemessung
- Dichte und Abstand als Störgrößen
- Produktkontakt erforderlich
- Produktspezifische Kalibrierung

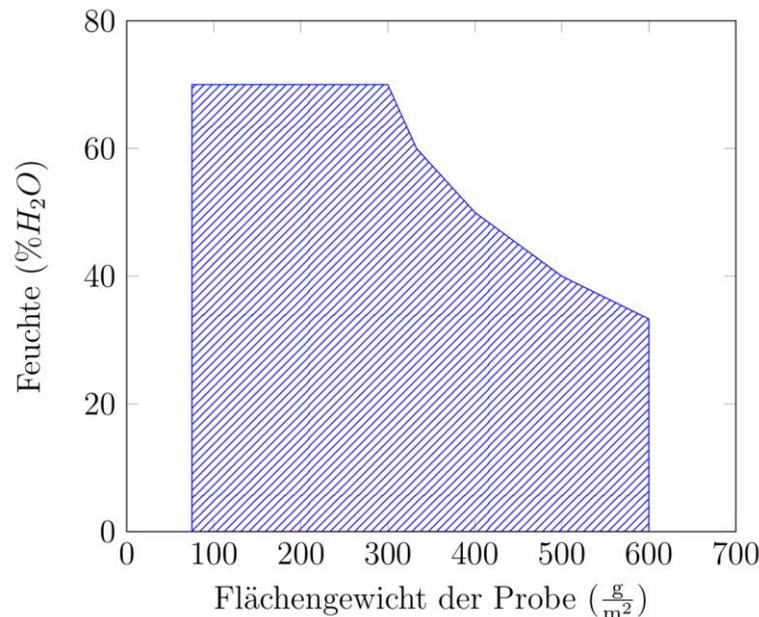


## Beispielhafte Spezifikation **SR-105**

- Untere Grenze des Flächengewichts  $75 \text{ g/m}^2$
- Obere Grenze des Flächengewichts  $600 \text{ g/m}^2$
- Messung der Feuchte bis zu 70 %
- Messbereich des Wassergehalts bis  $200 \text{ g/m}^2$
- Auflösung der Feuchte 0,1 %

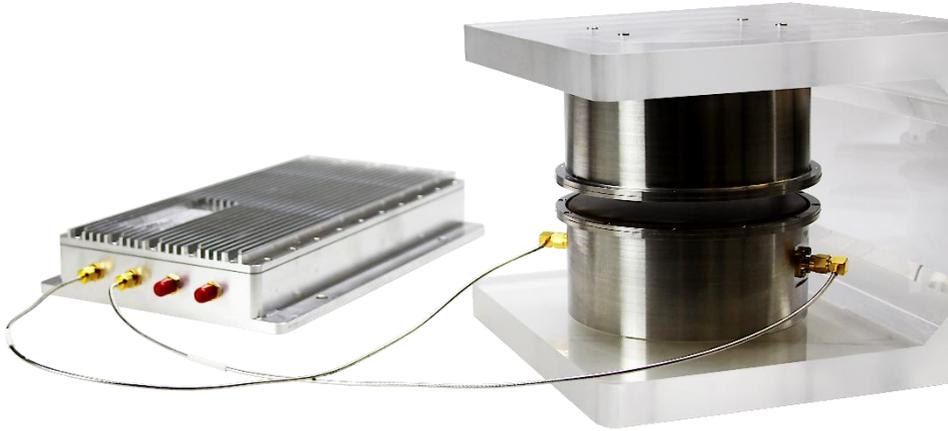
Labormessung einer Probe mit Feuchte < 10 %  
und leichtem Material

- Erzielbare Auflösung des Wassergehalts bis zu  $15 \text{ mg/m}^2$  bei Material mit  $75 \text{ g/m}^2$
- Entspricht einer Auflösung der Feuchte von 0,02 %



## Messsysteme

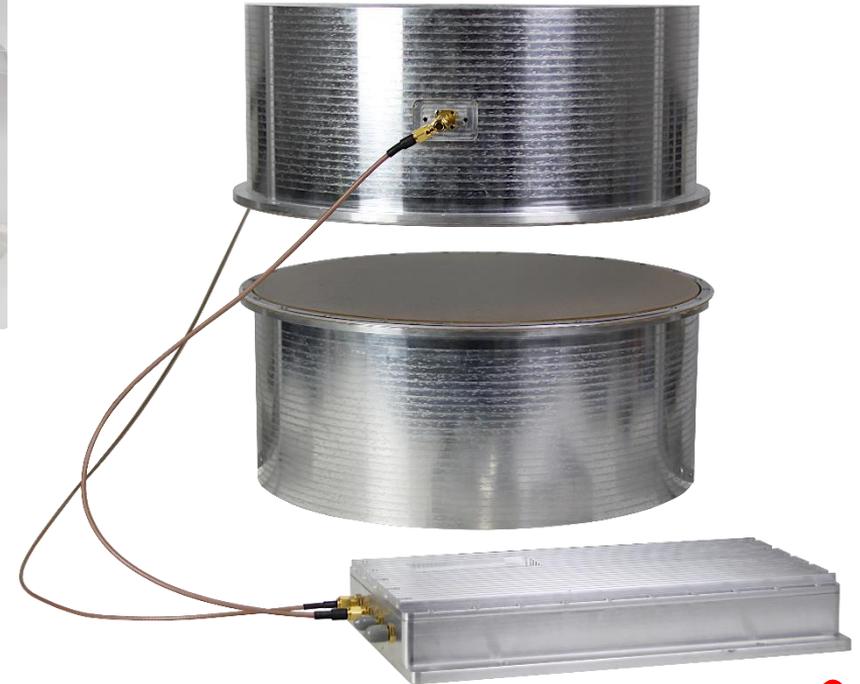
### SR-105



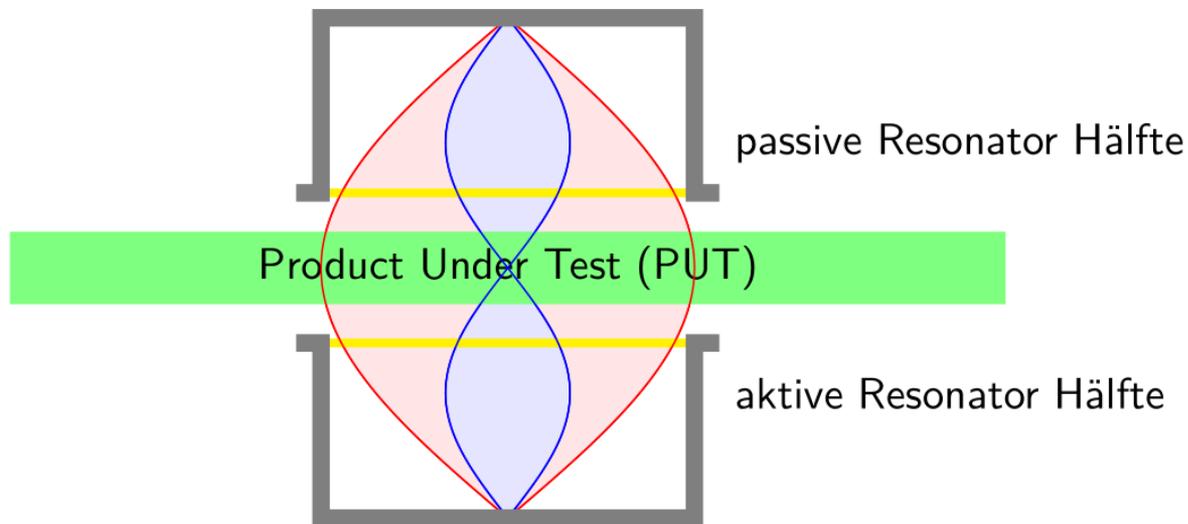
Maximaler Messspalt:

- 13mm – SR-105
- 60mm – SR-300
- >1m – T- & R-Serie

### SR-300



## Mikrowellenresonanzmethode Messprinzip



**Figure:** Erste (rot) und zweite (blau) Resonanzmode in einem geteilten Resonator mit PUT (grün)

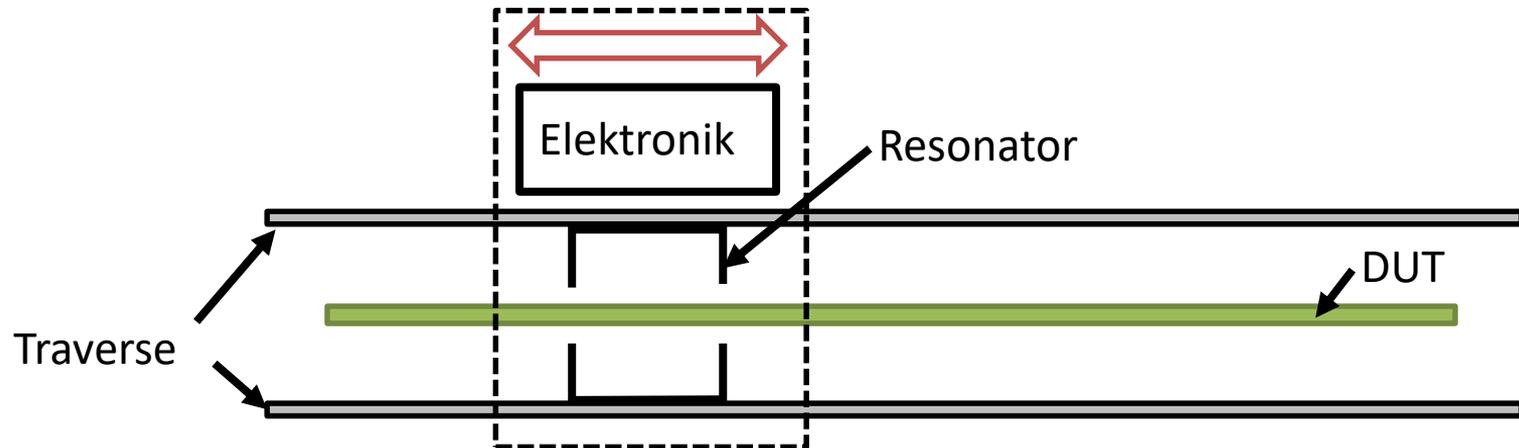
Die Moden in einem geteilten Resonator eignen sich für:

- die Messung der dielektrischen Materialparameter eines PUT in der Grundmode
- die Messung des Halbschalenabstands in der zweiten Harmonischen



## Messsystem für breite Warenbahnen

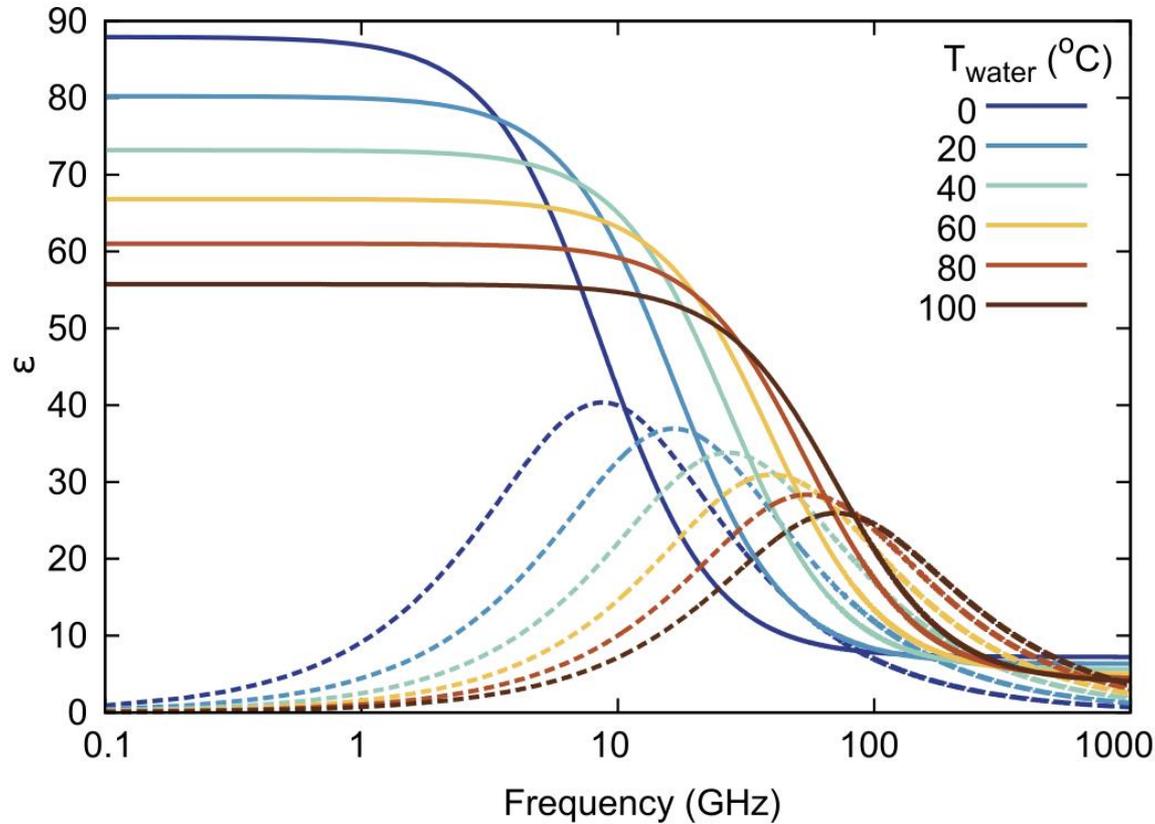
- Oftmals mehrere Meter breite Warenbahnen
- Messbreite des Sensors circa 10-30 cm je nach Typ
- Traversieren des Sensors zur Messung der gesamten Breite
- Gleichlauf beider Hälften muss gewährleistet sein



# Physikalische Grundlage der Mikrowellenmessung

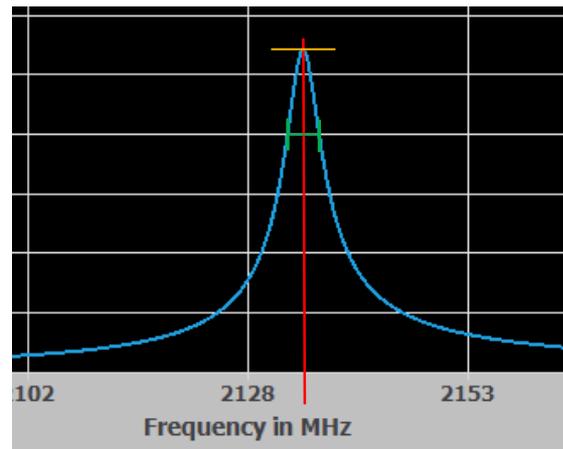
Material	Dielektrizitätszahl $\epsilon_r$
Glas	5-10
Papier	3.7
Plexiglas	3.4
Petroleum	2.1
Ethanol	25.8
Eis	16 (-20°C)
Wasser	88 (0°C)
	81 (18°C)
	73.4 (40°C)
Wasserdampf	1.026 (110°C, 105Pa)
BaTiO <sub>3</sub>	10 <sup>2</sup> -10 <sup>3</sup>

# Physikalische Grundlage der Mikrowellenmessung



## Mikrowellenresonanzmethode Messprinzip

- Auswertung der Übertragungsfunktion des Resonators
- Quadratische Näherung der Amplitudenform um das Maximum
- Resultat:
  - Approximation der Kurvengleichung
  - Resonanzfrequenz
  - Amplitude
  - Güte des Resonators

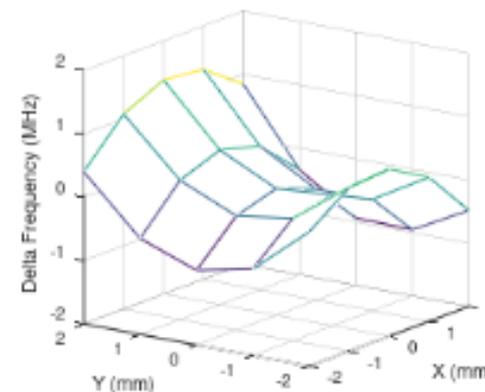
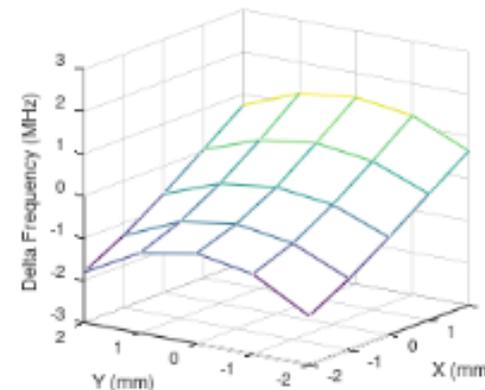


Ermöglicht durch digitalen Ansatz!



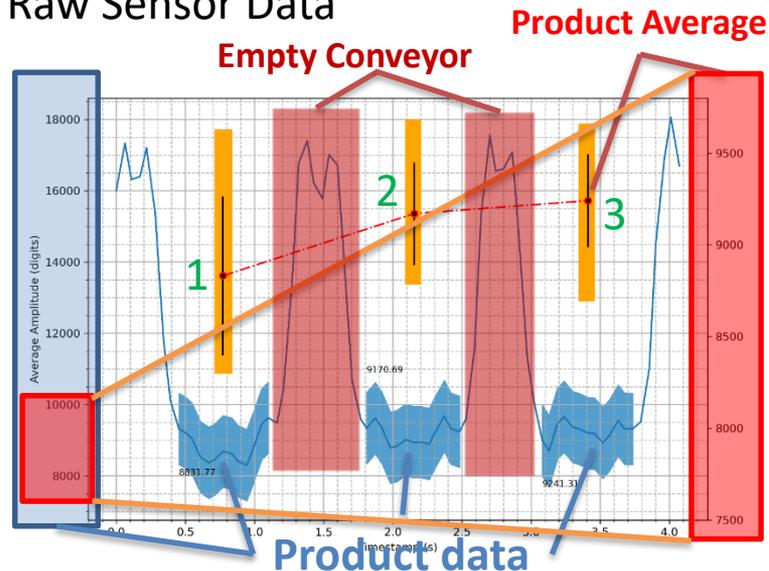
## Mikrowellenresonanzmethode Messprinzip

- Erfassung mehrerer Parameter:
  - Resonanzfrequenz
  - Güte des Resonators
- Ermöglicht Kompensation von:
  - Produktdichteschwankungen
  - Halbschalenabstandsschwankung
- Geringer Einfluss eines X-Y Versatzes

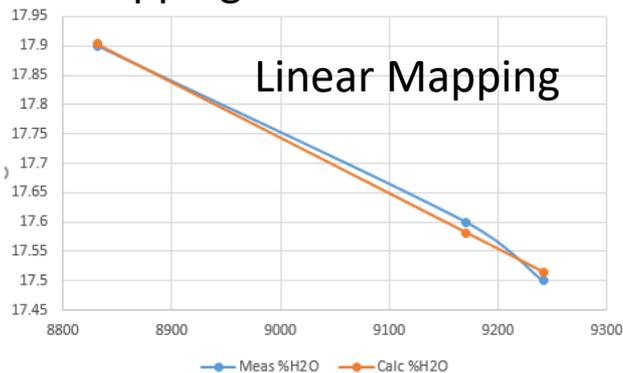


# Mikrowellenmessung - Produktkalibrierung

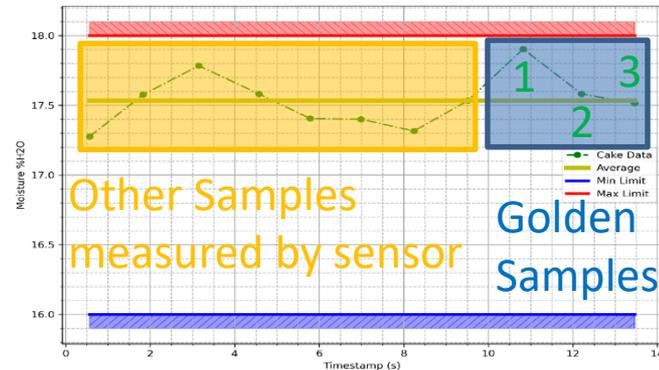
## Raw Sensor Data



## Mapping Error < 0.02 %H2O



## Calculated Moisture Data



CONTRÔLE DES PRODUITS FINIS A J+1											Date de contrôle : 25.11.21	Co
L	Recette Marque	Grammage	Lot	DLUO	Heure	Marquage pochon	poids/ hauteur	Aw (%)	Poids coupelle vide	Poids produit	Poids coupelle après étuve	
N°1									25,8754	5,1968	30,1425	17,9
N°2		BFG							25,3777	5,060	29,5340	17,6
N°3		Cigra 14							25,7846	5,13379	30,1885	17,5

# Zusammenfassung

## Das untersuchte Messsystem ermöglicht

- eine instantane Messung
- eine zerstörungsfreie Messung
- eine Produktdichtekompensation
- 100% Inline Monitoring
- eine direkte Prozessregelung
- bei Bedarf eine Einzelproduktsortierung

## Das untersuchte Messsystem erfordert

- Präzision bei der Montage
- eine reproduzierbare Probenführung
- eine Produkttemperaturüberwachung
- eine Resonatortemperaturüberwachung
- gute Kompensationsalgorithmen
- ein produktspezifisches Kalibriermodell



# Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!

## Sales Contact:

Thomas Wiesner

## WORK Microwave GmbH

Rudolf-Diesel-Ring 2

83607 Holzkirchen

Germany

Tel: +49 8024 6408-201

Fax: +49 8024 6408-40

Mail: [sales@work-microwave.com](mailto:sales@work-microwave.com)



## Technical Contact:

Lukas Lischke

Mail:

[lukas.lischke@](mailto:lukas.lischke@work-microwave.com)

[work-microwave.com](mailto:lukas.lischke@work-microwave.com)

