

Hochfrequenzsensoren in der Lebensmittelkontrolle

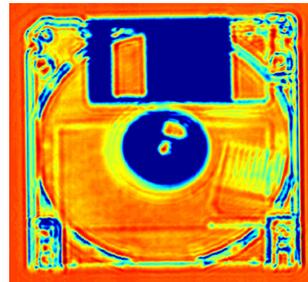
Dirk Nüßler
Team Millimeterwellen und Terahertzsensoren
Abteilung für Millimeterwellenradar und Höchstfrequenzsensoren
Fraunhoferinstitut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik

© Fraunhofer FHR

 Fraunhofer
FHR

Warum Qualitätssicherung mit Hochfrequenzsystemen ?

- Technologische Lücke bei den sonst üblichen Systemen auf Basis von Röntgen, optischen Sensoren oder Metalldetektoren
- Keine gefährliche Strahlung
- Eigenschaften, die Merkmale erschließen, die andere Sensoren bisher nicht erfassen können
- Bildgebende Verfahren möglich
- Neue Halbleitertechnologie, neue Frequenzbereiche, gut geeignet für den Nahbereich
- Höchstfrequenzsysteme zur Materialanalyse in wenigen Jahren zur Produktreife ausbaubar



Diskette bei 260 GHz

© Fraunhofer FHR

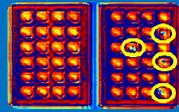
 Fraunhofer
FHR

Anwendungsgebiete für Hochfrequenzsystem



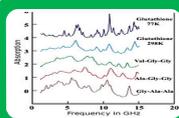
Scanner zur industriellen Qualitätssicherung

- Charakterisierung von radarwirksamen Tarnmaterialien
- Überwachung von Fertigungsketten in der Industrie
- Musterprüfung zur Sicherung von Fertigungsstandards



Detektion von Verunreinigungen

- Nichtmetallische Verunreinigungen
- Überwachung von verpackten Produkten
- Vermeidung von Fehlerpackungen



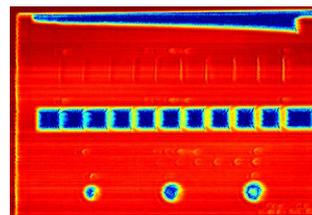
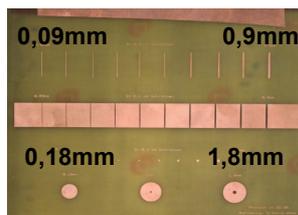
THz Scanner

- Überwachung der Konzentration von Inhaltsstoffen
- Detektion von Abweichungen
- Kontrolle des Fertigungsprozesses

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Auflösung eine Frage der Frequenz und des Verfahrens



- Der Frequenzbereich zwischen 10 GHz – 800 GHz ist von besonderen Interesse.
- Aktuell sind Verstärker bis 600 GHz verfügbar.

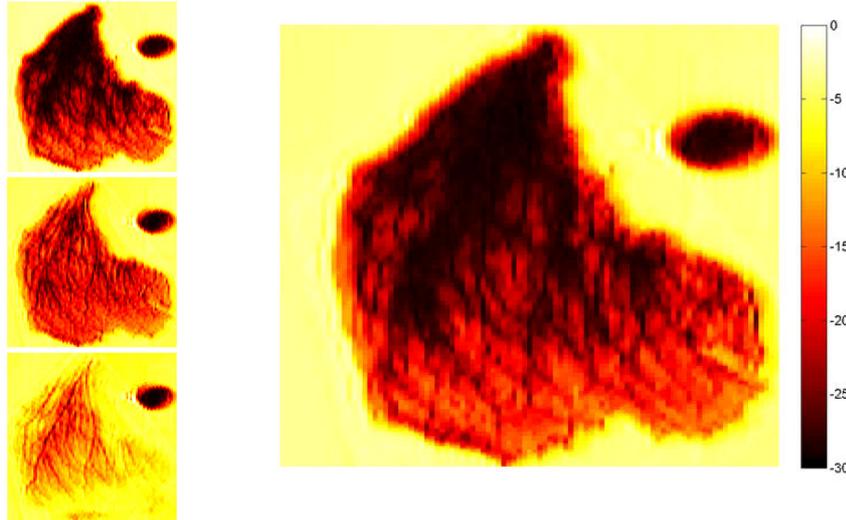


<http://www.com.dtu.dk>

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Beobachtung von zeitlichen Veränderungen



© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Absorptionsmechanismen durch Wasser

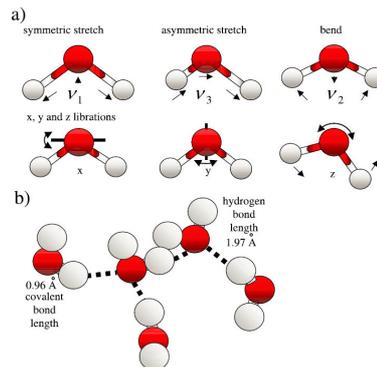
The change in low-energy vibrational states

The change in the high-energy rotational states

Classical electromagnetic wave description for

interaction with collections of molecules, in terms of:

Polarization and conductivity (complex permittivity)
Refractive index and absorption coefficient



- (a) The main vibration modes in water.
(b) A schematic diagram to illustrate the differences between intra- and inter-molecular bonding in water.

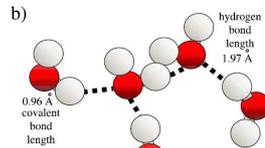
© E. Pickwell and V. P. Wallace
2006 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **39** R301

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

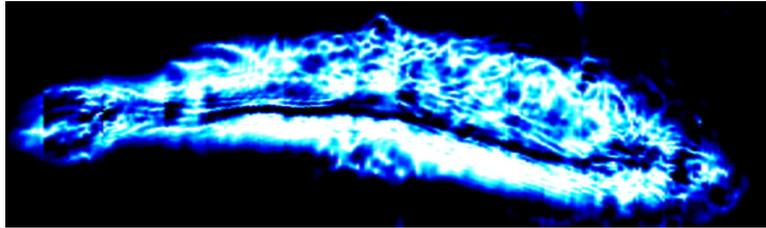
Die Integration in den Produktprozess ist relevant

Wann wird der Fisch transparent?



© E. Pickwell and V. P. Wallace
2006 *J. Phys. D: Appl. Phys.* **39** R301

Ein hoher Wassergehalt in einer Struktur oder Gewebe führt zu einem hohen Absorptionskoeffizienten. Friert man die Probe ein wird das Gewebe wieder transparent.

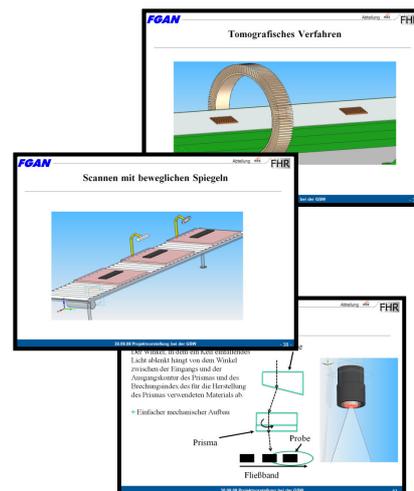


© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Konzepte für eine In-Line Kontrolle

- Aufbau von Demostraßen nach Industriestandards
 - Stückgut
 - Schüttgut
 - Bandwaren
- Einbindung von HF Sensoren und optischen Sensoren zur Analyse von Materialproben auf der Bandstraßen
- Einbindung der Sensoren in die SPS Steuerung der Bandstraßen
- Analyse von verschiedenen Messgeometrien für die optimale Einbindung der Sensoren in die Bandstraßen



© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Geeignete Radarverfahren (Reflexion) mit Arraytechnologie

Auflösung in Entfernung durch frequenzmodulierte Pulse (1,5 mm bei 100 GHz Bandbreite, noch nicht machbar)

$$\delta r = \frac{c}{2b}$$

Auflösung in Richtung der Bandbewegung durch das SAR-Verfahren

(1,5 mm bei 100 GHz Trägerfrequenz, 60 Grad Sektor)

$$\delta x = \frac{\lambda}{4 \sin(\varphi/2)}$$

Auflösung quer zum Band durch Beamforming (3 mm bei 100 GHz Trägerfrequenz, 60 Grad Sektor)

$$\delta y = \frac{\lambda}{2 \sin(\vartheta/2)}$$

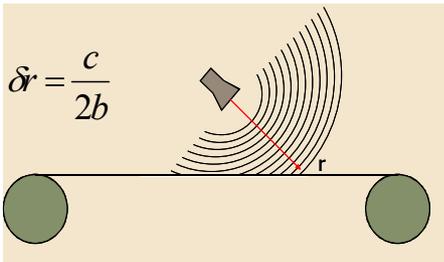
(Näherungsformeln!)

c	Lichtgeschwindigkeit
b	Bandbreite
λ	Wellenlänge
φ	Aspektwinkelbereich
ϑ	Winkelbereich, unter dem das Array vom Streuzentrum gesehen wird

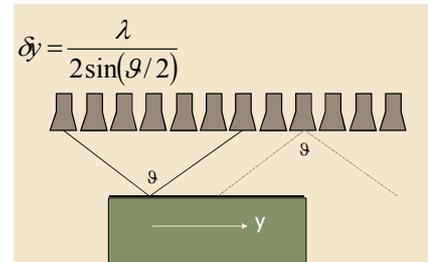
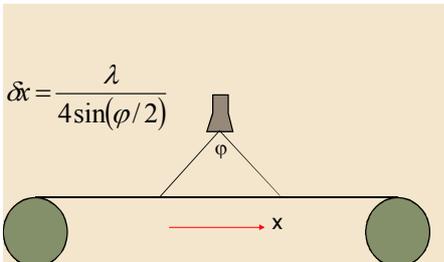
© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Auflösung in drei Dimensionen



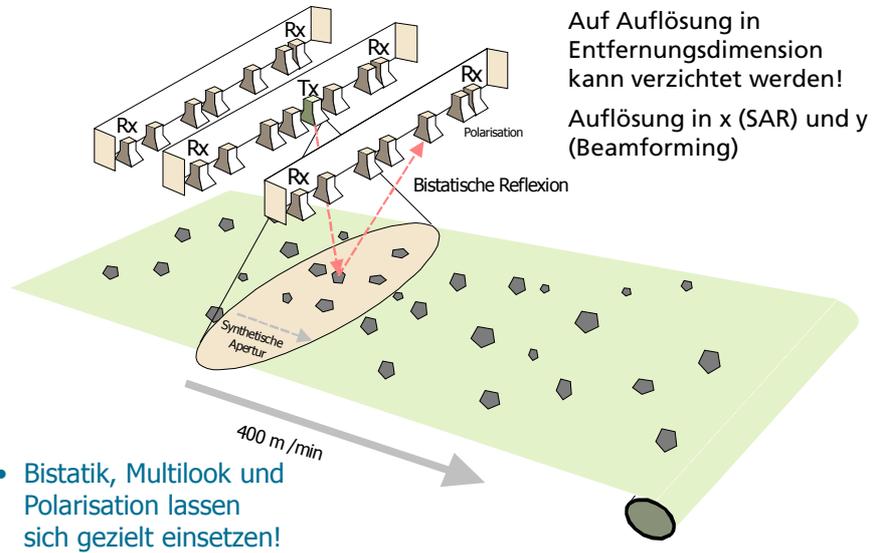
Für bistatischen Betrieb sind die Formeln komplizierter!



© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

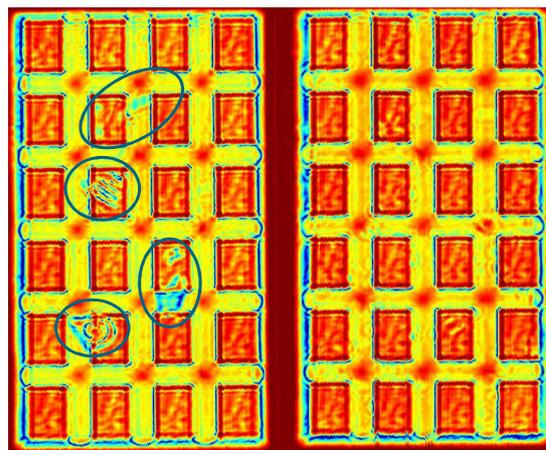
Radar mit Linear-Arrays



© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Qualitätssicherung / Lebensmittelkontrolle



Auffinden von Verunreinigungen durch

- Glas
- Kunststoffe
- Folien
- Metalle

Erkennung von Schwankungen im Produktionsprozess

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Beispiele zu Testmessungen

Verunreinigungen in Schokolade (gemessen bei 260 GHz)

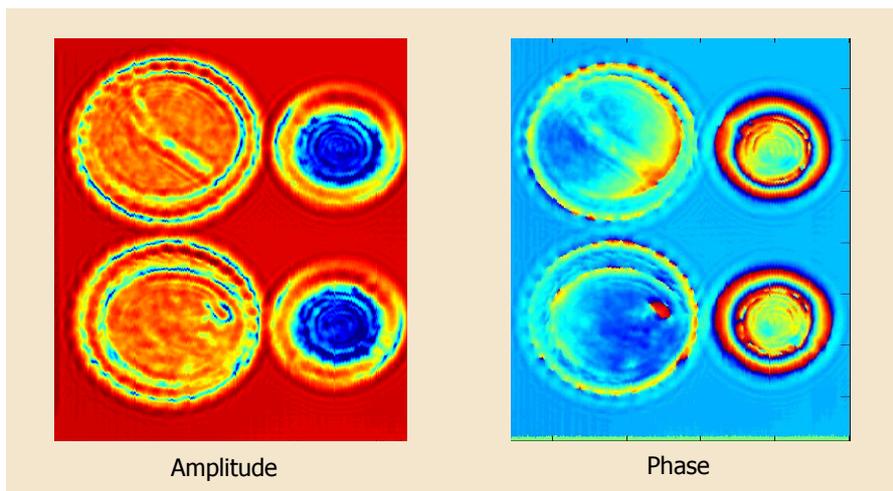


**Messungen bei 260 GHz in Transmission
mit und ohne Glassplitter**

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Verunreinigungen in Schokolade (gemessen bei 260 GHz)

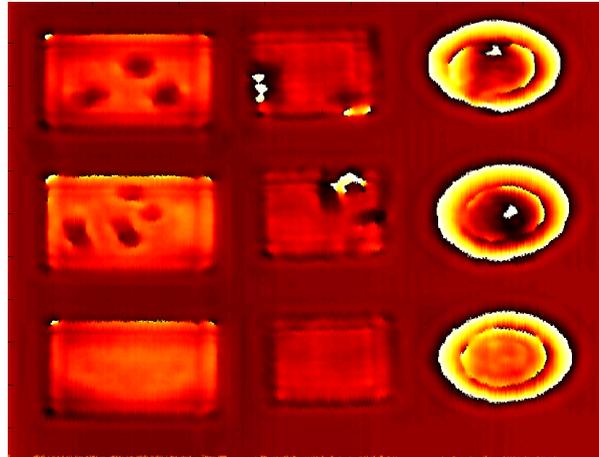


-> Die Phase ist eine wertvolle Messgröße mit zusätzlichem Informationsgehalt

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

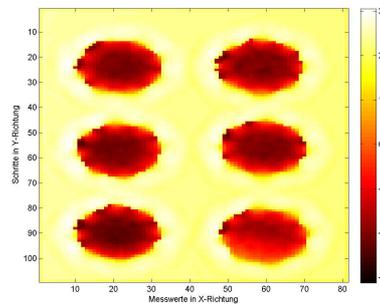
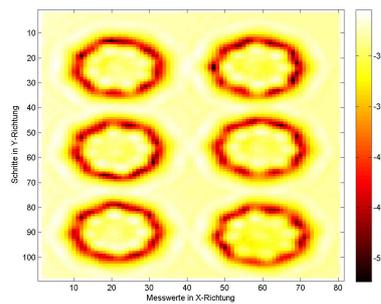
Übergang Amplitude-Phase bei 77 GHz



© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Kontrolle der Füllung von Pralinen



© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Verpackte Produkte

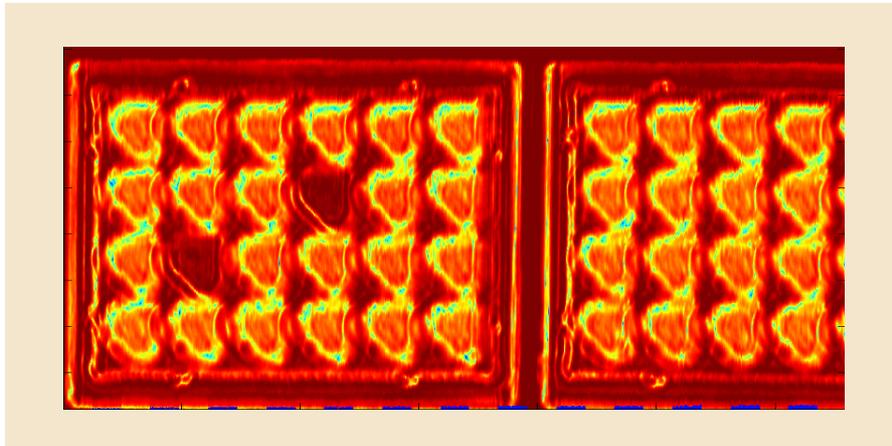


Bild einer 260 GHz Transmissions-Messung am verpackten Produkt

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

Qualitätssicherung in Produktionsstraßen

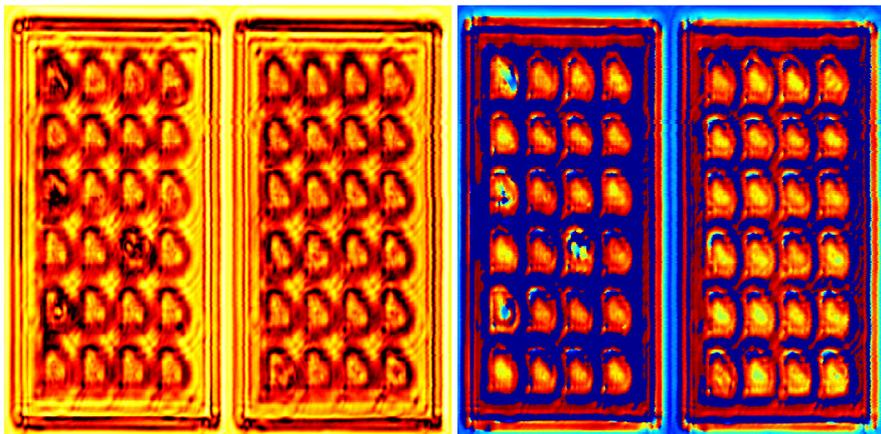


Bild verpackter Produkte bei 110 GHz
Gemessen wurde die Amplitude und die Phase

© Fraunhofer FHR

Fraunhofer
FHR

SAMMI Stand Alone MilliMetre Wave Imager

Technische Daten

- CW-System bei 78 GHz
- Scanbereich 300 mm * 300 mm
- Gewicht < 30 kg
- Scanzeit < 45 sec
- Einfache Integration von verschiedenen Messfrequenzen
- Einfaches Handling



© Fraunhofer FHR

 **Fraunhofer**
FHR

Zusammenfassung

mmW- und sub-mmW-Technologie bietet neue Möglichkeiten der Produktkontrolle.

Beispiele der Materialanalyse, erzielt mit langsamen mechanischen Scanverfahren zeigen charakteristische Eigenschaften, die nicht deckungsgleich mit denen anderer Sensorik sind.

Phase (und Polarisation) sind wichtige Merkmale bei der Materialanalyse.

Die erforderliche Sensorkonfiguration hängt von der Aufgabenstellung ab.

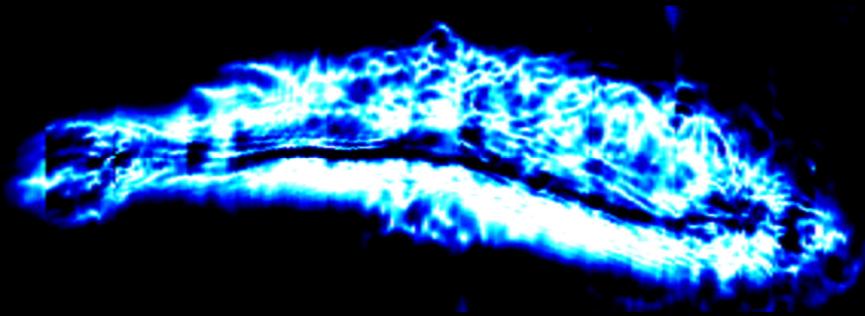
Realzeitliche Verfahren für die Anwendungen in Produktionsstraßen wurden skizziert. Dabei zeigt sich, dass hohe Bandgeschwindigkeiten realisierbar sind

Die größte Herausforderung aktuell ist das Erreichen von Auflösungen im zehntel Millimeterwellenbereich.

© Fraunhofer FHR

 **Fraunhofer**
FHR

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit!



Fisch bei 170 GHz