

# Materialanalyse mit SAMMI - Anwendungen und Möglichkeiten

Matthias DEMMING\*, Ralf BRAUNS\*, Sabine GÜTGEMANN\*, Sven HEINEN\*, Dirk NÜBLER\*, Thomas LÜTZ\*\*

\* Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR, Wachtberg

\*\* Hochschule Bonn-Rhein-Sieg, Sankt Augustin

**Kurzfassung.** In diesem Paper wird das abbildende Millimeterwellen-Radarsystem SAMMI<sup>®</sup> (Stand Alone MilliMeter wave Imager) des Fraunhofer-Institutes für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR vorgestellt. SAMMI ist ein CW System welches bei einer Messfrequenz von 78 GHz die Proben in Transmission vermisst. Durch ein Endlosband wird ein kontinuierlicher Materialstrom sichergestellt, wobei ein DIN A4 Blatt innerhalb von 20 s durchleuchtet wird. SAMMI besitzt die Größe eines durchschnittlichen Laserdruckers wodurch es leicht zu transportieren und in wenigen Minuten einsatzbereit ist. Die mittels SAMMI erfassten Messdaten, können bereits während der Datenerfassung mit verschiedenen bereits vorinstallierten Verfahren aufbereitet und analysiert werden. Zu den integrierten Algorithmen in SAMMI<sup>®</sup> gehören unter anderen Verfahren zum 2D-Phase Unwrapping-, Cluster- und Rekonstruktions-Algorithmen zur Berechnung der Materialparameter. Die offene Softwareschnittstelle erlaubt auch die Implementierung eigener Verfahren auf der mitgelieferten Computer-Hardware. Mit den integrierten Algorithmen bietet SAMMI<sup>®</sup> eine Vielzahl an Möglichkeiten um z.B. Verunreinigungen in Materialien zu detektieren oder Schwankungen im Fertigungsprozess frühzeitig zu identifizieren. Desweiteren ist SAMMI<sup>®</sup> eine optimale Ausbildungsplattform in den Bereichen der industriellen Bildverarbeitung mittels Hochfrequenzsensoren. Insbesondere können Verfahren für unterschiedliche Anwendungen getestet bzw. für Anwendungen weiterentwickelt werden. Es werden konkrete Beispiele aus dem Bereich der Qualitätssicherung erläutert und Möglichkeiten des Gerätes und der Millimeterwellen-Technologie für die zerstörungsfreie Prüfung in Detail beschrieben.

## Einführung

Die Sicherstellung einer gleichbleibenden Qualität sowie die Vermeidung von fehlerhaften oder verunreinigten Produkten ist eine Schlüsselherausforderung für die moderne Qualitätssicherung. Neben der Vermeidung finanzieller Verluste steht der Schutz des eigenen Images genauso im Vordergrund, wie der Schutz des Kunden. Durch den Einsatz moderner Hochfrequenzsysteme können dabei nicht nur Fehler im Produkt aufgespürt und visualisiert werden, es lässt sich dadurch auch lückenlos der komplette Fertigungsvorgang überwachen. Heutige optische Messmethoden bieten in der Regel nur eine oberflächige Bestimmung der Materialien, da sie nicht durch opake Materialien dringen können. Durchdringende Verfahren wie beispielsweise Röntgen oder Radar besitzen die Möglichkeit, die Materialien in der Tiefe aufzulösen. Im Gegensatz zu Röntgen nutzen die Radarverfahren dabei nicht nur den Abschwächungskoeffizienten im Medium, sondern



durch die Phasenmessung auch die Laufzeit des Signals durch den Probekörper. Dadurch ist es möglich, zwischen Materialien mit sehr ähnlichen Dämpfungswerten zu unterscheiden.

Schon heute ist die zerstörungsfreie und berührungslose Prüfung in der Industrie ein wichtiger Bestandteil der Qualitätskontrolle, die in der Regel durch Röntgenstrahlung oder optischen Sensoren realisiert wird. Dies bietet jedoch nicht für alle Anwendungen die geeignetste Lösung. Denn optische Sensoren können keine opaken Materialien durchdringen und sind somit nicht geeignet verpackte Produkte zu überprüfen. Mit Hilfe von Röntgenstrahlung können zwar opake Verpackungen durchstrahlt werden, jedoch sind bei vielen Verunreinigungen die Dämpfungswerte sehr dicht am eigentlichen Produkt, wodurch eine Detektion aufgrund des zu geringen Kontrasts schwierig oder gar nicht möglich ist. Für die Radarsysteme sind auch die meisten Verpackungsmaterialien durchlässig, soweit diese nicht elektrisch leitend sind. Der größte Vorteil des Radarverfahrens ist jedoch die Phasenmessung, wodurch eine höhere Sensibilität entsteht, als bei den aktuellen Röntgensystemen. Dadurch besitzen die meisten Verunreinigungen einen signifikanten Kontrast zu dem eigentlichen Produkt, wodurch diese leicht zu detektieren sind.

In diesem Paper wird ein Hochfrequenzsystem (SAMMI<sup>®</sup>) und eine Softwareumgebung (SAFE) vorgestellt, die am Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR entwickelt wurden und mit denen eine Qualitäts- und Prozesskontrolle möglich ist. Anschließend werden verschiedene Anwendungsmöglichkeiten dargestellt.

## 1. Stand Alone MilliMeterwave Imager (SAMMI<sup>®</sup>)

Hochfrequenz-Abbildungssysteme sind bisher teuer und groß, weshalb sich das Fraunhofer-Institut für Hochfrequenzphysik und Radartechnik FHR die neuesten Entwicklungen auf dem kommerziellen Markt zur nutze gemacht hat, um ein günstiges und kompaktes Hochfrequenz-Abbildungssystem zu entwickeln. SAMMI<sup>®</sup> (Abbildung 1) steht dabei für Stand Alone Millimeterwave Imager und besitzt die Größe eines Laserdruckers.

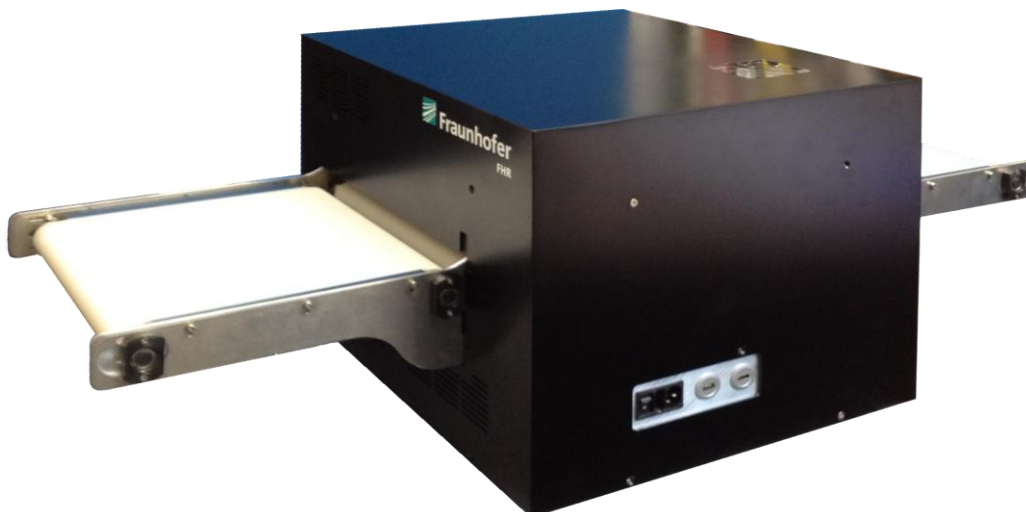


Abbildung 1: Stand Alone MilliMeterwave Imager (SAMMI<sup>®</sup>)

Das System basiert komplett auf kommerzielle erhältliche Millimeterwellen-Komponenten, wodurch das Abbildungssystem günstig ist (Abbildung 2).

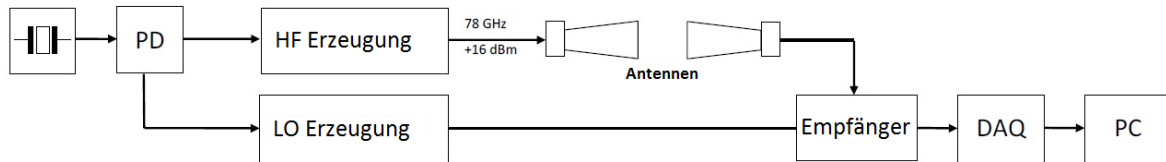


Abbildung 2: Schematische Darstellung der HF- Erzeugung und Detektion von SAMMI<sup>®</sup>

Ein lokaler Oszillator erzeugt eine LO-Frequenz von 1 GHz, die zur Stabilisierung des Sende- und Empfangszweiges genutzt wird, damit eine Amplituden und Phasen stabile Messung realisiert werden kann. SAMMI<sup>®</sup> erzeugt dabei im Sendezweig eine Frequenz von 78 GHz mit einer Sendeleistung von + 16 dBm, was nur ein Bruchteil der Sendeleistung eines mobilen Telefons entspricht. Im Empfänger wird das Signal herunter gemischt und durch eine Datenerfassung (DAQ) aufgenommen. Anschließend werden die Amplituden und Phasen Informationen der jeweiligen Messung an einem PC oder einer externen Schnittstelle weitergeleitet [1].

Integriert in SAMMI<sup>®</sup> sind zwei rotierende Scheiben, auf denen die Sende- und Empfangsantenne (Abbildung 3) angebracht sind. Durch diese rotierenden Scheiben und einem Endlosband, wird ein kontinuierlicher Materialstrom sichergestellt, der von SAMMI<sup>®</sup> durchleuchtet und damit untersucht werden kann. Dabei kann aktuell ein DIN A4 Blatt innerhalb von 20 s durchleuchtet werden.

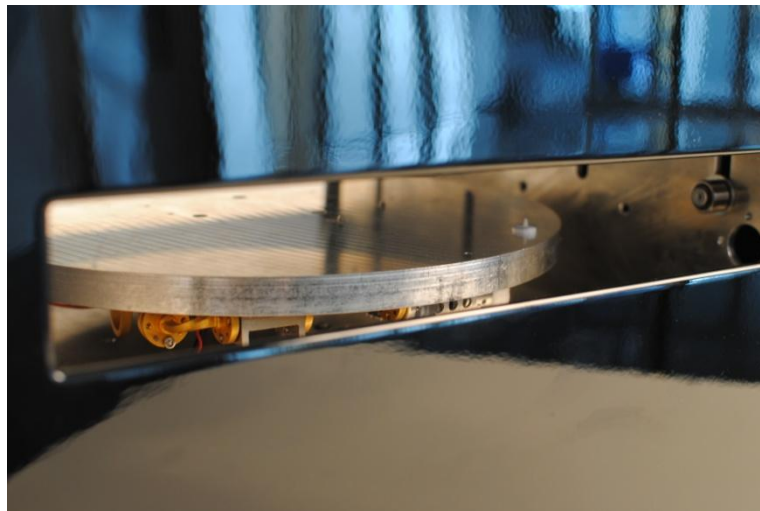


Abbildung 3: Empfängerscheibe von SAMMI<sup>®</sup>

Das Messsystem SAMMI<sup>®</sup> soll zukünftig nicht nur auf einer Frequenz arbeiten, sondern mit einer Frequenzbandbreite ausgestattet werden. Damit wird es möglich, ein 3D Bild der Probe durch SAMMI<sup>®</sup> zu erstellen und die einzelnen Schichten einer mehrschichtigen Probe zu untersuchen. Die dritte Dimension wird durch die Entfernungsauflösung realisiert, die durch die Frequenzbandbreite zustande kommt.

## 2. Software for Application and Feasibility Studies (SAFE)

Zusätzlich zu dem Messsystem SAMMI<sup>®</sup> entstand am Fraunhofer FHR auch die Software für Anwendungen und Machbarkeitsstudien, die SAFE genannt wird (Abbildung 4). SAFE ist dabei eine Ansammlung verschiedenster Algorithmen und Verfahren, die im Laufe der Zeit am Fraunhofer FHR entwickelt und benutzt wurden. So enthält SAFE z.B.:

- die Aufnahmen der Messdaten für den Millimeterwellen- und THz-Bereich und die Präsentation dieser Ergebnisse im Zeit- und Frequenzbereich in bis zu 3

## Dimensionen

- die Aufnahme der Messdaten eines Messobjektes als Messreihe über einen längeren Zeitraum mit der Eingabemöglichkeit von zusätzlichen Informationen wie z.B. Gewicht oder Feuchtigkeit und der dazugehörigen Darstellung der Ergebnisse über den gemessenen Zeitraum
- die verschiedensten integrierte Algorithmen, z.B. für:
  - die Bildverarbeitung, wie z.B. 2D Filter
  - die Bildnachbearbeitung wie z.B. das entfernen unwichtiger Messbereiche
  - das Clustern von 2D Bildern [2]
  - das 2D entfalten der Phase (2D Phase Unwrapping) [3]
  - die Rekonstruktion der Dicke und der Permittivität von ein und mehrschichtigen Objekten [4]

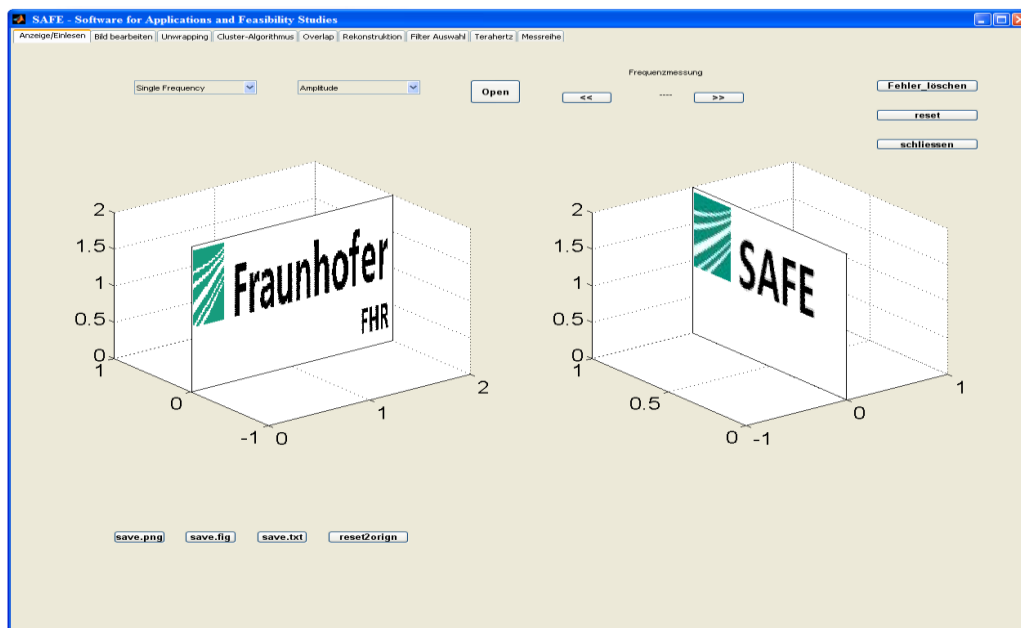


Abbildung 4: Software for Applications and Feasibility Studies (SAFE)

Mit Hilfe dieser Software können nicht nur die verschiedenen Messdaten aufgenommen und dargestellt werden, sondern auch weiterverarbeitet werden. Neben gängigen Bildverarbeitungsalgorithmen sind auch ein paar spezielle Algorithmen zur Identifikation und Klassifikation von Materialien in der Software enthalten. So können mit Hilfe der Cluster-Algorithmen unterschiedliche Materialien automatisch anhand deren Eigenschaften separiert werden. Mit Hilfe eines Rekonstruktionsverfahrens das ebenfalls integriert ist, können anschließend die Dicken und die Permittivitäten der einzelnen Materialien bestimmt werden.

### 3. Anwendungen und Möglichkeiten von SAMMI<sup>®</sup> und SAFE

Wird das Messsystem SAMMI<sup>®</sup> mit der Software SAFE kombiniert, entsteht ein leistungsfähiges Messsystem zur Qualitätskontrolle im Hochfrequenzbereich. Die Anwendungsgebiete für die Qualitätskontrolle in der Industrie sind groß und wachsen stetig. So haben bisherige Arbeiten am Fraunhofer FHR gezeigt, dass gerade im Bereich der Prozessüberwachung, der Bauwerks- und Materialüberwachung und der Sicherheitsüberwachung ein großes Potenzial für die Hochfrequenz-Messsysteme wie SAMMI<sup>®</sup> gibt.

### 3.1 Prozessüberwachung in der Industrie

Mit SAMMI<sup>®</sup> und SAFE können nicht nur Verunreinigungen im Herstellungsprozess detektiert werden, sondern wie Abbildung 5 auch zeigt, das Fehlen von Produkten in der Produktion erkannt werden.

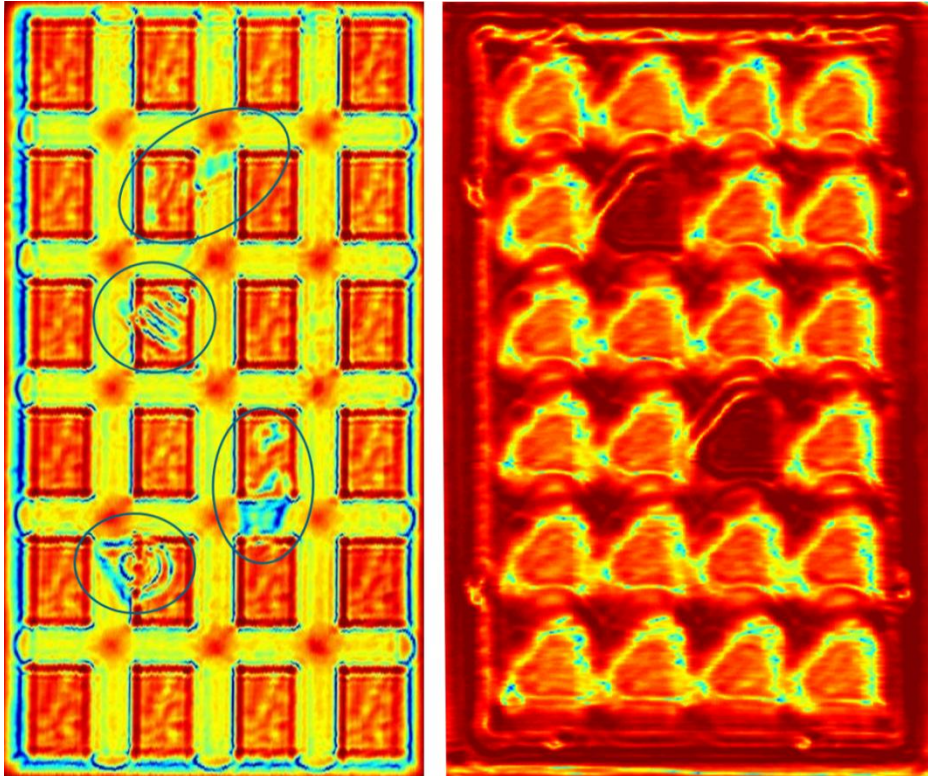


Abbildung 5: Detektion von Verunreinigungen (links: Schokolade mit Verunreinigungen aus Kunststoff, Glas und Metall) und fehlenden Produkten (rechts: fehlende Schokolade) im Herstellungsprozess

Zusätzlich lassen sich Schwankungen in den Materialeigenschaften als eindeutiges Indiz für Abweichungen im Fertigungsprozess erkennen. Durch genaue Kenntnis des Fertigungsprozesses und dazugehörigen Kalibrationen, können abweichende Mischungsverhältnisse, genauso wie zu hohe oder zu niedrige Temperaturen, oder zu viel oder zu wenig Druck während der Fertigung nachgewiesen werden. Dabei ist der große Vorteil von SAMMI<sup>®</sup>, dass dieses auch durch optisch intransparente Materialien erkannt werden können. Für Hochfrequenz-Messsysteme die auch tiefenaufgelöst arbeiten, bieten sich eine Reihe weiterer Anwendungsmöglichkeiten im Bereich der Prozesskontrolle. So können z.B. die Herstellung mehrschichtiger Produkte überwacht werden, in dem die Dicken und die Permittivitäten der einzelnen Schichten überwacht und nachgesteuert werden. In der Abbildung 6 werden drei rekonstruierte Schichten mit deren Permittivitäten angezeigt, die durch eine Hochfrequenzmessung rekonstruiert wurden. Dabei werden in dieser Abbildung nur die Grenzschichten der einzelnen übereinanderliegenden Schichten dargestellt.

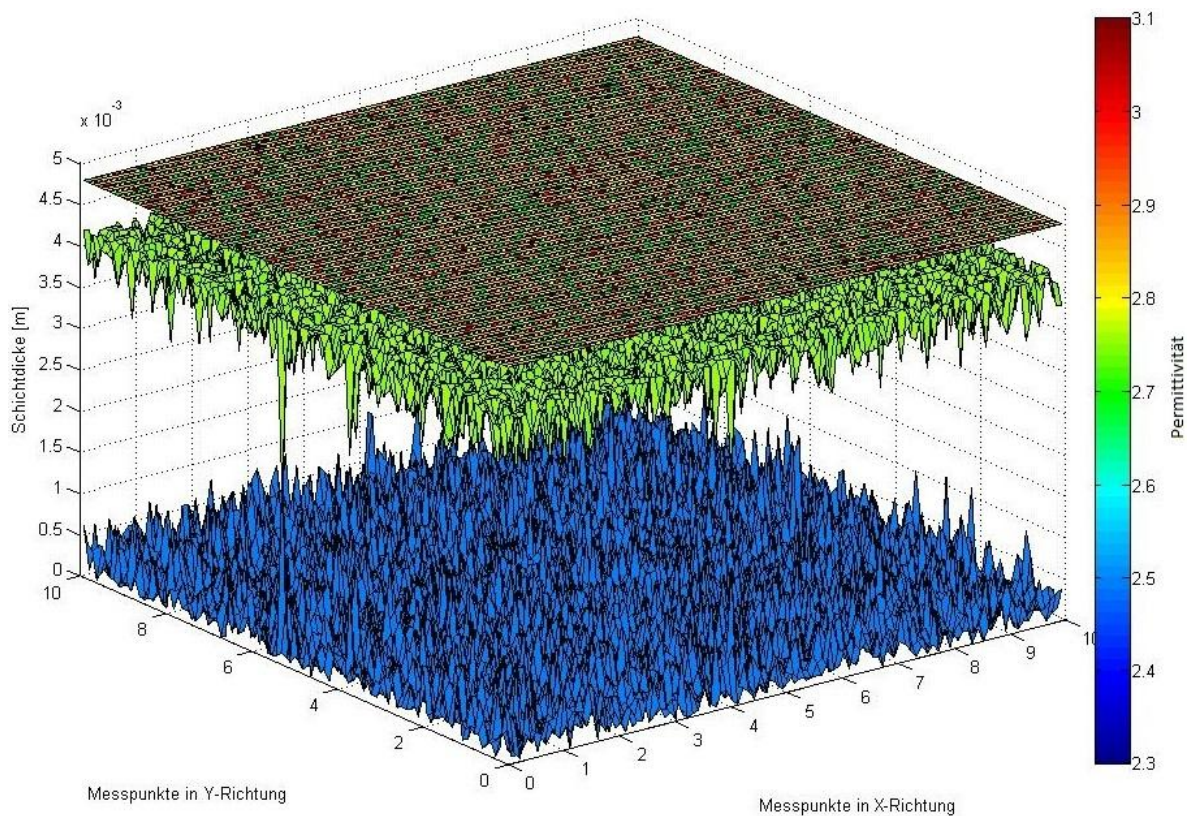


Abbildung 6: Rekonstruierte Dicke und Permittivität der drei Schichten einer dreischichtigen Struktur

### 3.2 Bauwerks- und Materialüberwachung

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist die Bauwerks- und Materialüberwachung, das zunehmend an Bedeutung gewinnt. So können z.B. Objekte innerhalb von Wänden oder Brücken genauso erkannt werden, wie die Feuchtigkeit der Materialien rekonstruiert werden können. Die Bestimmung des Feuchtegehaltes von Materialien gewinnt dabei immer mehr an Bedeutung, da dadurch nicht nur Kosten gespart werden, sondern auch Personenschäden vermieden werden. In der Abbildung 7 ist die Feuchtigkeit eines Betonziegels über mehreren Tagen zu erkennen, die mittels SAMMI<sup>®</sup> aufgenommen wurde.

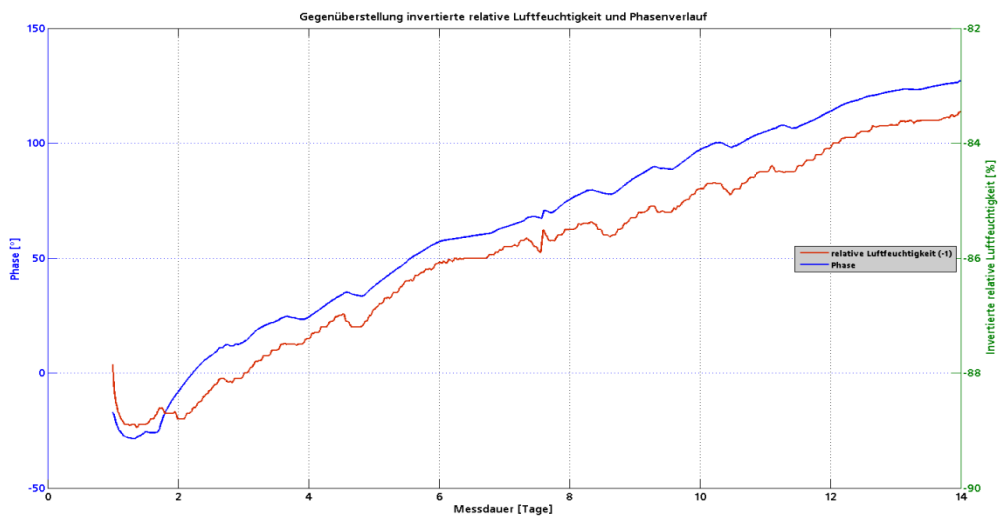


Abbildung 7: Feuchtigkeitsverlauf über mehrere Tagen von Betonziegel, dargestellt durch die gemessene Phase

### 3.3 Sicherheitsüberwachung

Durch immer größer werdende Bedrohungen für unsere Sicherheit gewinnt die Hochfrequenz-Messtechnik auch im Bereich der Sicherheitsüberwachung immer mehr an Bedeutung. Der Vorteil von SAMMI<sup>®</sup> bei Sicherheitsanwendungen liegt zum einen in der Transparenz der meisten Materialien für diesen Frequenzbereich, zum anderen in der zusätzlichen Phasenmessung. Denn dadurch lassen sich nicht nur metallische, sondern besonders nicht metallische Gegenstände sehr gut erkennen. In dem linken Bild der Abbildung 8 ist ersichtlich, das SAMMI<sup>®</sup> dank der Phasen-Messung so sensitiv ist, dass sogar der Adressaufkleber des Briefes neben dem Plastikmesser zu erkennen ist. Wird ein System verwendet, das zusätzlich noch tiefenaufgelöst arbeitet, können zusätzlich die Materialien durch die Rekonstruktion der Permittivität identifiziert werden. So wurde in einer Studie am Fraunhofer FHR [4] gezeigt, dass zwischen PVC und Schwarzpulver in einem optisch intransparenten Geschenk unterschieden werden kann. Das Ergebnis wird auch in der rechten Abbildung 8 gezeigt. Somit ist mit SAMMI<sup>®</sup> eine Sicherheitsüberprüfung von Briefen und Paketen problemlos realisierbar. Mit einem größeren System, das ebenfalls am Fraunhofer FHR entwickelt wurde, können auch Koffer und Taschen auf gefährliche Substanzen aus sicherer Entfernung überprüft werden.

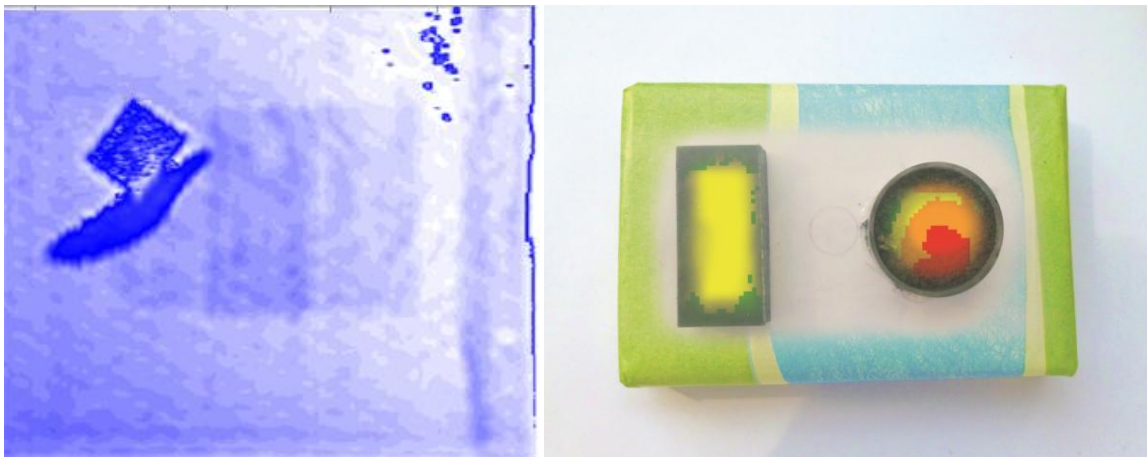


Abbildung 8: Detektion eines Plastikmessers und des Adressaufklebers bei einem Brief (linkes Bild) und die Detektion von PVC (links) und Schwarzpulver (rechts) in einem Geschenk (rechtes Bild)

## 4. Zusammenfassung

Es wurde ein Hochfrequenz-Abbildungsmesssystem namens SAMMI<sup>®</sup> vorgestellt, das am Fraunhofer FHR entwickelt und gefertigt wurde. SAMMI<sup>®</sup> kann einen kontinuierlichen Materialstrom überwachen, in dem es bildgebend bei 78 GHz mit einer Transmissionsmessung arbeitet. In Verbindung mit der ebenfalls vorgestellten Software SAFE ist SAMMI<sup>®</sup> ein leistungsstarkes Messsystem zur Qualitätskontrolle. Anschließend wurden in diesem Paper konkrete Beispiele aus dem Bereich der Qualitätssicherung vorgestellt und Möglichkeiten des Gerätes und der Millimeterwellen-Technologie für die zerstörungsfreie Prüfung in Detail beschrieben.

## Referenzen

- [1] C. Krebs, P. Warok, S. Heinen, R. Brauns, A. Hommes, S.Kose, W. Teichrib, S. Gütgemann, *The development of a compact Millimeter Wave Scanning System*, IRMMW 2011, Houston
- [2] P.N. Tan, M. Steinbach, V. Kumar, *Introduction to Data Mining*, Addison-Wesley, 2005

- [3] D.C Ghiglia, M. D. Pritt, *Two-Dimensional Phase Unwrapping: Theory, Algorithms and Software*, New York (USA), 1998
- [4] M. Demming, J. Rubart, D. Nüßler, C. Krebs, B. Derouiche, I. Weinreich, *Characterisation of Material based on Phase and Amplitude Information of High Frequency Measurements*, Future Security 2010, Berlin