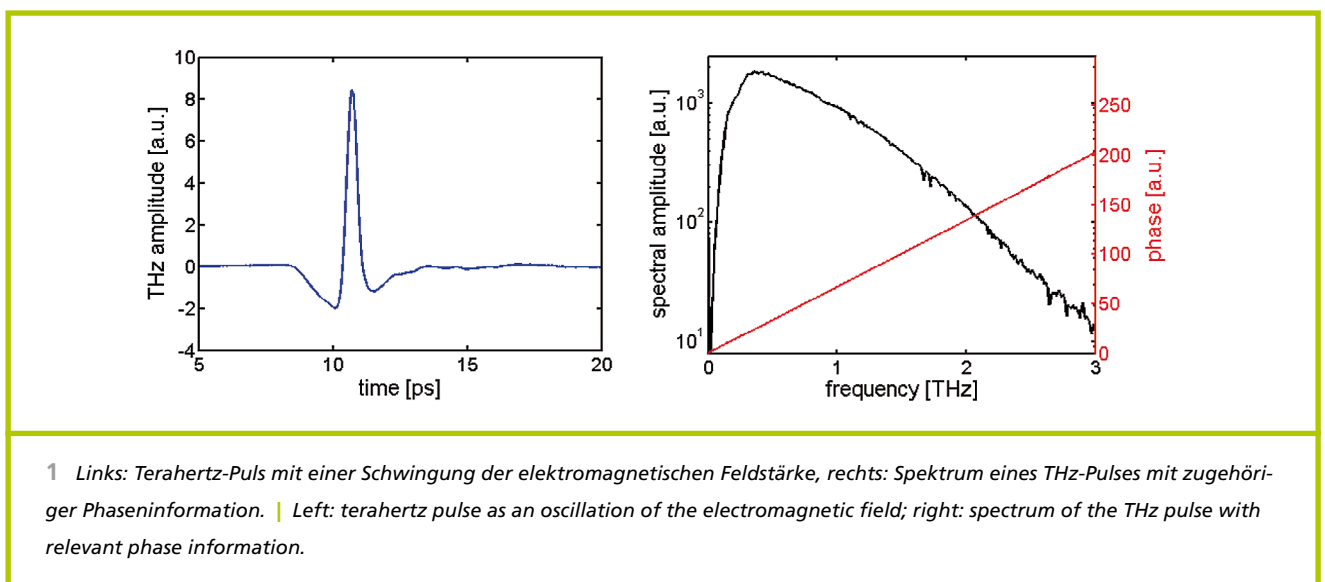


THz-TOMOGRAPHIE FÜR DIE RÄUMLICHE IDENTIFIKATION CHEMISCHER SUBSTANZEN

THz TOMOGRAPHY FOR THE SPATIAL IDENTIFICATION OF CHEMICAL SUBSTANCES

Terahertz (THz)-Strahlung (30 μm bis 3 mm, 10^{11} bis 10^{13} Hz) ist elektromagnetische Strahlung im Frequenzband zwischen Mikrowellen- und Infrarot-Strahlung. Sie durchdringt die meisten Kunststoffe, Keramiken, Papier, Kleidung und trockene Hölzer. Bezüglich Wasser besitzt THz-Strahlung eine hohe Sensitivität, ebenso für viele organische Substanzen (wie z. B. Medikamente, Drogen, Sprengstoffe), die anhand ihrer charakteristischen Absorptionsspektren im THz-Bereich identifiziert werden können.

Terahertz (THz) radiation (30 μm till 3 mm, 10^{11} till 10^{13} Hz) is electromagnetic radiation in the frequency range between the microwave and infrared band. THz radiation penetrates the majority of plastics, ceramics, paper, clothing, and dry wood. It is highly sensitive to water as well as many organic substances (e. g. medication, illicit drugs, explosives) which can be identified by their characteristic absorption spectra in the THz range.



Dies eröffnet ganz neue Anwendungen auf den Gebieten der Sicherheitstechnik, der Qualitätskontrolle, Produktionsüberwachung und Identifikation, wie beispielsweise in der Lebensmittel- oder Chemisch-Pharmazeutischen Industrie [1].

Ein Forschungsschwerpunkt des Fraunhofer IOF ist die Tomographie mit ultrakurzen THz-Pulsen. Dabei handelt es sich um ein bildgebendes Verfahren, welches die räumliche Verteilung einer physikalischen Größe innerhalb eines Körpers visualisiert. Durch die kohärente Messung von ultrakurzen THz-Pulsen können im Vergleich zur Tomographie mit Röntgenstrahlung nicht nur die Informationen der Absorption für Rekonstruktionsrechnungen verwendet werden, sondern auch Phasen- und spektrale Informationen der THz-Pulse (Abb. 1) [2]. Nur wenige Algorithmen können seitens der Computer-Tomographie mit Röntgenstrahlung für die THz-Tomographie verwendet werden.

Für die Verwertung von zusätzlichen Informationen wie Phase und Spektrum müssen neue Algorithmen und Verwertungsstrategien erforscht werden. Dem Fraunhofer IOF ist es erstmalig gelungen, die kompletten spektralen Informationen der tomographischen Messdaten zu verarbeiten und anhand dieser verdeckte Substanzen innerhalb eines Körpers nicht nur zerstörungsfrei zu lokalisieren, sondern auch zu identifizieren [3].

Abbildung 2 zeigt einen Probekörper aus Styropor, der mit Glukose- und Laktose-Pulver gefüllt wurde.

This allows completely new applications in the fields of security industry, quality control, production monitoring, and identification, such as in the food, chemical, or pharmaceutical industries [1].

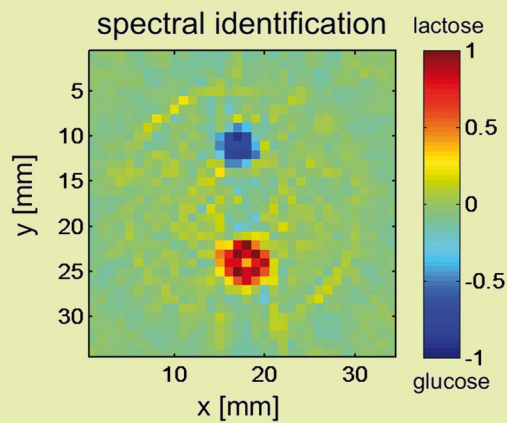
One focus of the Fraunhofer IOF is tomography with ultra-short THz pulses. The matter of our concern is an imaging technique which visualizes the spatial distribution of a physical quantity within a body. By the coherent measurement of one THz pulse, it is possible to detect not only amplitude information but also the phase and spectra (see Fig. 1) [2]. X-ray tomography reconstruction gives information about absorption data that is obtained from amplitude values, whereas THz tomography allows new attractive applications due to additional information about the phase and spectrum of THz pulses. The computer tomography with X-rays uses just a few algorithms for the THz tomography.

New algorithms and reconstruction strategies must be developed to utilize both phase and spectrum information. The Fraunhofer IOF succeeded not only in processing complete spectral information of the tomographic measurement and non-distractive localization of substances hidden in the sample, but also in identifying the substance itself [3].

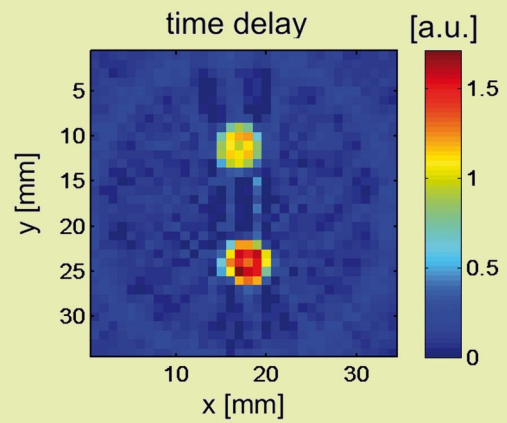
Figure 2 shows an example of a polystyrene sample filled with glucose and lactose powder.

2 Präparierter Probekörper für die tomographische Messung einer Schicht.

2 Sample prepared for the tomographic measurement of a layer.



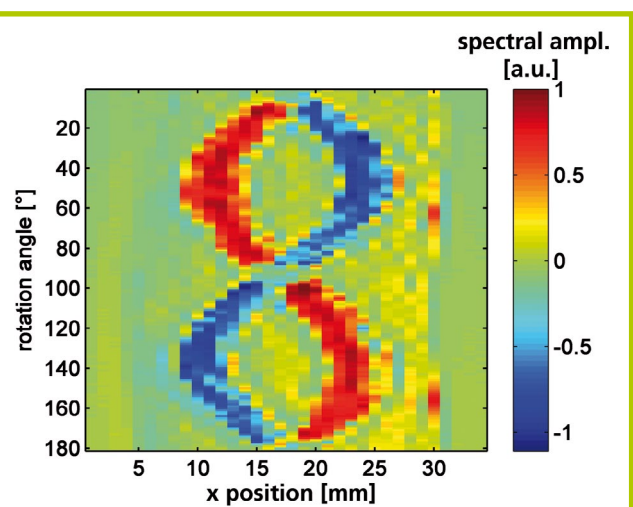
4a



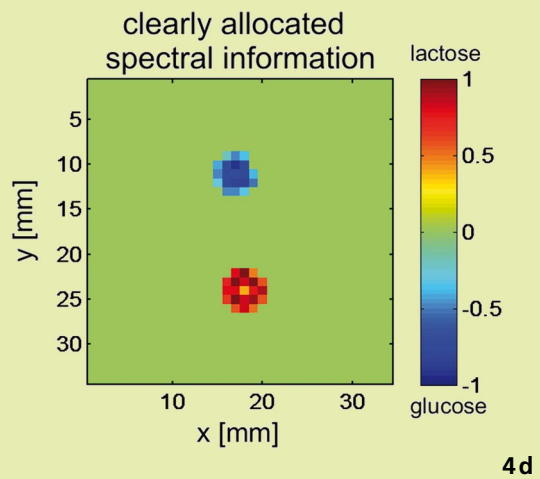
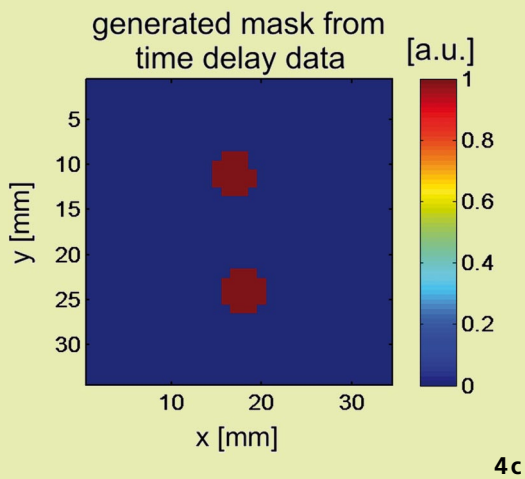
4b

Die Ergebnisse der tomographischen Messung einer Schicht der Probe über dem Rotationswinkel ergeben die in Abb. 3 gezeigte Zuordnung (Sinogram). Jedem einzelnen Bildpunkt kann ein Spektrum zugeordnet werden, das sich mit einer Datenbank vergleichen lässt. Im Ergebnis entsteht ein Wahrscheinlichkeitswert, der eine Aussage über die Zugehörigkeit von Substanzen trifft. Hierbei steht der Wert von »1« für eine 100-prozentige Übereinstimmungswahrscheinlichkeit mit der Substanz Laktose und »-1« für eine 100-prozentige Übereinstimmung mit Glukose. Die Umrechnung dieser in einem Sinogram vorliegenden Projektionsdaten erfolgt mit speziellen Transformations-Algorithmen. Das Ergebnis ist in Abb. 4a dargestellt und präsentiert die rekonstruierte Schicht des Probekörpers mit eindeutiger Lokalisation und Identifikation der Substanzen Laktose und Glukose. Mittels geeigneter Masken (Abb. 4c), die beispielsweise aus Phaseninformationen gewonnen werden können (Abb. 4b), ist eine Filterung von Rekonstruktionsfehlern, die sich aus Rechenalgorithmen ergeben, realisierbar (Abb. 4d).

The result of the tomographic measurement of one sample layer at a rotation angle is arranged in a sinogram (presented on Fig. 3). A spectrum, which can be compared to a database, can be assigned to every single pixel. The result is a probability value that determines the affiliation of a substance. The value of 1 hereby corresponds with 100 % matching probability to lactose and -1 with 100 % matching probability to glucose. Processing the projection data into a sinogram can be realized with special transformation algorithms. The result shown in Fig. 4a presents a reconstructed sample layer with clear localization and identification of lactose and glucose substances. Reconstruction errors that arise from the processing algorithm (Fig. 4d) can be filtered out with appropriate masks (Fig. 4c) determinable from the phase information (Fig. 4b).



3 *Spektrales Sinogram einer Schicht der Polystyrol-Probe. | Spectral sinogram of a polystyrene sample layer.*



Literatur/References

- [1] Riehemann, S.; Pradarutti, B.; Notni, G.: Kompakte THz-Imaging Systeme unter Nutzung von fs-Faserlasern, *Optik und Photonik*, Vol. 1 (2007) S. 39–43.
- [2] Pradarutti, B.; Matthäus, G.; Riehemann, S.; Notni, G.; Nolte, S.; Tünnermann, A.: Advanced analysis concepts for terahertz time domain imaging, *Opt. Commun.* Vol. 279 (2007) S. 248–254.
- [3] Brahm, A.; Kunz, M.; Riehemann, S.; Notni, G.; Tünnermann, A.: Volumetric spectral analysis of materials using terahertz-tomography techniques, *Appl. Phys. B*. Vol. 100 (2010) S. 151–158.

AUTHORS

Anika Brahm^{1,2}

Martin Kunz^{1,3}

Stefan Riehemann¹

Gunther Notni¹

Andreas Tünnermann^{1,2}

¹ Fraunhofer IOF

² Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena

³ Institut für Physik, Technische
Universität Ilmenau

CONTACT

Dr. Gunther Notni

Phone +49 3641 807-217

gunther.notni@iof.fraunhofer.de

M. Eng. Anika Brahm

Phone +49 3641 807-237

anika.brahm@iof.fraunhofer.de

4 *Rekonstruktion einer Schicht der Polystyrol-Probe: a) Originalrekonstruktion, b) Phaseninformation, c) generierte Maske für eine Filterung, d) gefilterte Rekonstruktion.*

4 *Reconstruction of a polystyrene sample layer: a) original reconstruction, b) phase information, c) generated mask for the filtering, d) filtered reconstruction.*