



Boris Pradarutti



Claudia Brückner



Stefan Riehemann



Gunther Notni



Gabor Matthaues¹



Stefan Nolte¹

THz-Strahlung (0,1 THz – 10 THz) durchdringt Papier, trockenes Holz und die meisten Kunststoffe und besitzt eine hohe Sensitivität bezüglich Wasser. Zudem existieren viele Rotationsübergänge von interessanten Molekülen, so z. B. von organischen Substanzen, Medikamenten und illegalen Drogen, die man mit THz-Strahlung identifizieren und detektieren kann. Um die bestehenden Laborsysteme für den THz-Bereich in industrietaugliche Systeme für Sicherheits- und Qualitätsmanagement zu überführen, ist eine Optimierung der Systeme hinsichtlich Leistungsübertragung, Abbildungsqualität und Kompaktheit erforderlich.

Basis des Systems ist ein in Zusammenarbeit mit dem Institut für Angewandte Physik (IAP) entwickelter Femtosekunden-Faserlaser. Dieser Laser setzt sowohl in Robustheit, Ausgangsleistung und Kompaktheit neue Maßstäbe /1/. Das hierauf aufbauende THz-Ultrakurzpulssystem wurde bereits in /2/ beschrieben. Zur bildgebenden Darstellung werden Proben in einem fokussierten THz-Strahl abgerastert und vermessen. Auftretende Vielfachpulse werden durch selbst entwickelte Algorithmen getrennt und auf Amplitude, Phasenlage und Spektrum hin analysiert.

Die Auswertung der Absorption ermöglicht die Untersuchung von Kleidung, geschlossenen Paketen und Briefumschlägen auf Drogen und Waffen (Abb. 1). Materialien mit sehr geringem Brechungsindexunterschied weisen in der relativen Phasenlage der ultrakurzen Pulse einen hohen Kontrast auf (Abb. 2). Es lassen sich sowohl Fehlstellen in Proben als auch Dichteschwankungen mit hoher Genauigkeit überprüfen. Durch spezielle Messverfahren konnte die Messzeit für solche Proben um bis zu zwei Größenordnungen verringert werden.

Zur Optimierung von Leistungsübertragung und Abbildungsqualität wird klassisches Ray-Tracing durch wellenoptische Propagationmethoden ergänzt. Abbildung 3 zeigt ein mit ZEMAX optimiertes Systemdesign zum Durchrastern von Testobjekten. Das System ist als doppeltes Gaußstrahlteleskop ausgeführt. Dadurch ist der Gaußsche Strahlradius an der Stelle des Testobjekts, welches sich im Zwischenfokus des Systems befindet, und an der Stelle des Detektors frequenzunabhängig. Durch Verwendung höherer Asphärenkoeffizienten konnte eine beugungsbegrenzte Abbildung realisiert werden. Die Linsen wurden durch Ultrapräzisionsdrehen aus Zeonex®, das im THz-Bereich einen frequenzunabhängigen Brechungsindex besitzt, hergestellt.

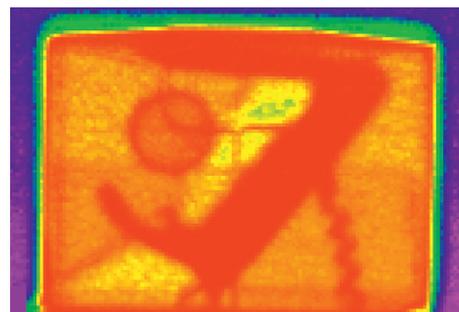
Gefördert im Rahmen der internen Programme der FhG (MAVO 813907).

Literatur:

- /1/ Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Röser, F.; Liem, A.; Höfer, S.; Zellmer, H.; Nolte, S.; Limpert, J.: The renaissance and bright future of fibre lasers, *J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys.* 38, 681 (2005).
- /2/ Pradarutti, B.; Brückner, C.; Riehemann, S.; Notni, G.; Matthaues, G.; Nolte, S.: Systemtechnische Grundlagen für THz-Imaging Systeme, Jahresbericht Fraunhofer IOF (2005).

Abb. 1: Taschenmesser und Aspirin®-Tablette in einem geschlossenen Paket (Falschfarbendarstellung der THz-Absorption).

Fig. 1: Penknife and Aspirin® pill in a closed parcel (false color representation of THz absorption).



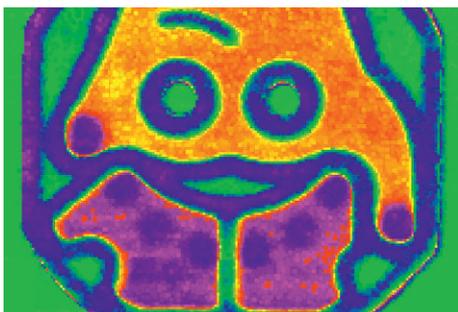
¹ Friedrich-Schiller-Universität Jena, Institut für Angewandte Physik

THz radiation penetrates paper, dry wood and plastics and possesses a high sensitivity to water. Many interesting molecules have rotational transitions e.g. organic substances, pharmaceuticals and drugs, which can be identified and detected by THz radiation. To improve existing laboratory systems to industrial-suited table-top devices for security and quality management applications, optimization with respect to power transmission, image quality and compactness is required.

The basis of the THz system is a femtosecond fiber laser amplifier developed in cooperation with the Institute of Applied Physics (IAP) /1/. This laser sets new standards in robustness, power and compactness. The THz system based on this laser has already been described (see /2/). For imaging, the samples are scanned in a focused THz beam. The resulting multiple pulses are separated and analyzed by self developed algorithms with respect to amplitude, phase and spectra. The analysis of absorption offers possibilities to investigate cloth, closed parcels and envelopes for the detection of drugs or weapons (see Fig. 1).

Abb. 2:
Polystyrolvorlage zum Metallguss
(Falschfarbendarstellung der THz-
Ultraschortpulsphase).

Fig. 2:
Polysterene pattern for iron cast (false color
representation of THz ultrashortpulse phase).



Materials with a low refractive index difference show high contrast in the relative phase of the ultrashort pulses (see Fig. 2). Both imperfections and density inhomogeneities can be identified with high accuracy. Due to special measurement methods the scan time for such samples can be reduced by two orders of magnitudes.

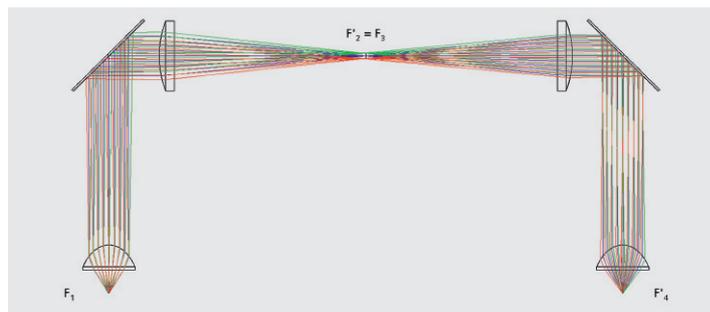
For the optimization of power transmission and image quality, classical ray tracing is supplemented by wave optical propagation methods. Fig. 3 shows a system design for sample scanning optimized by ZEMAX. The system is designed as double Gaussian beam telescope. Therefore the Gaussian beam radius at the place of the sample in the intermediate focus and at the detector position is frequency independent. By using higher aspheric coefficients a diffraction limited image can be realized.

The lenses are produced by single-point diamond turning out of ZEONEX®, which has a frequency independent refractive index for THz wavelengths.

Supported by the FhG internal program (MAVO 813907).

Abb. 3:
Design eines doppelten Gaußstrahlteleskops in ZEMAX.

Fig. 3:
Design of a double Gaussian beam telescope in ZEMAX.



References

- /1/ Tünnermann, A.; Schreiber, T.; Röser, F.; Liem, A.; Höfer, S.; Zellmer, H.; Nolte, S.; Limpert, J.: The renaissance and bright future of fibre lasers, J. Phys. B: At. Mol. Opt. Phys. 38, 681 (2005).
- /2/ Pradarutti, B.; Brückner, C.; Riehemann, S.; Notni, G.; Matthaeus, G.; Nolte, S.: Systemtechnische Grundlagen für THz-Imaging Systeme, Jahresbericht Fraunhofer IOF (2005).