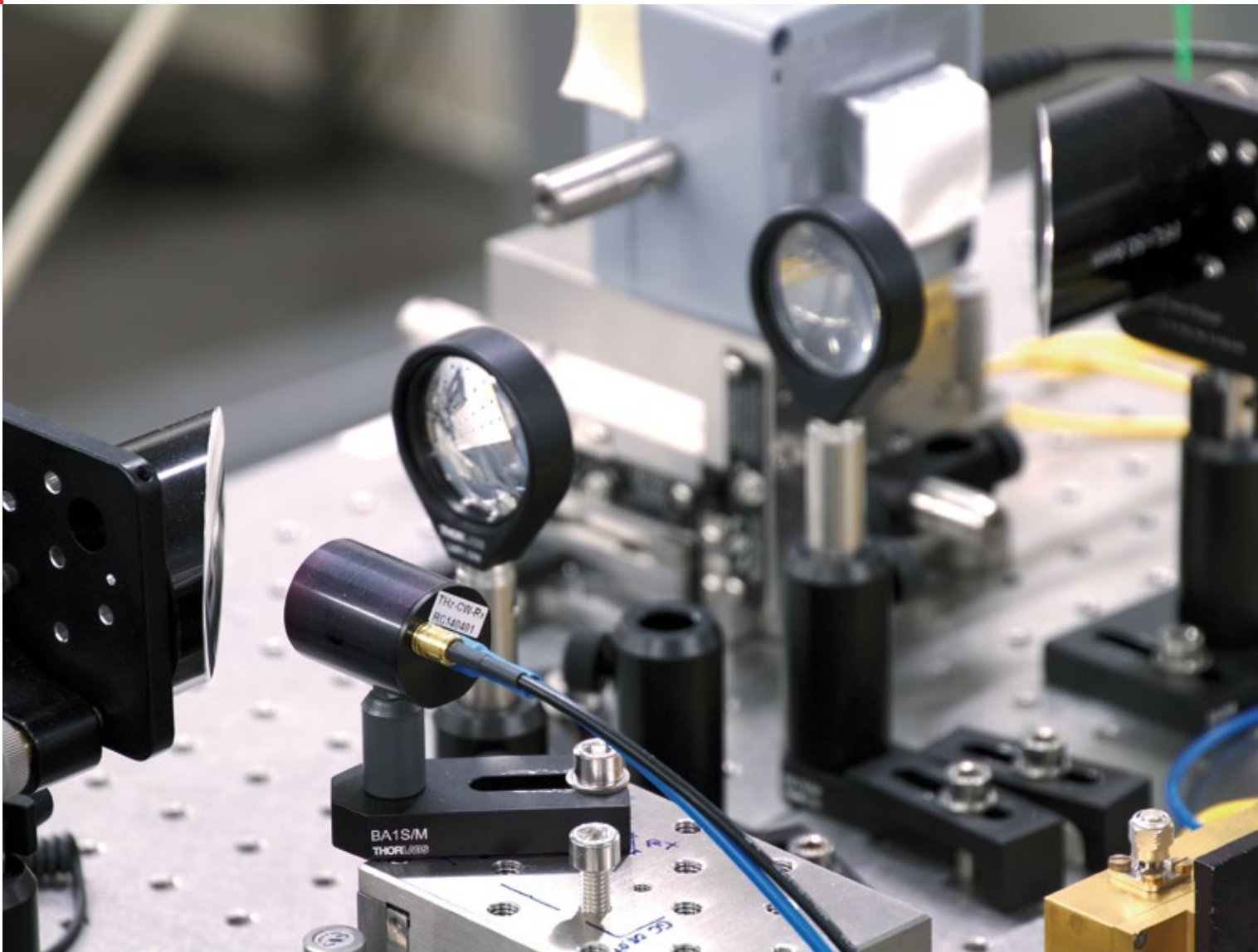


LOEWE

ABSCHLUSSBERICHT



**LOEWE-Schwerpunkt
STT – Sensors Towards Terahertz**

Inhalt

- 2 Statement des Koordinators
- 3 Projektinhalte
- 3 Wissenschaftlich-technische Ausgangslage
- 3 Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen
- 5 Erreichte Strukturentwicklung
- 5 Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld
- 6 Wichtigste Meilensteine des Projekts
- 7 Weitere Informationsmöglichkeiten
- 7 Zahlen und Fakten
- 8 Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute
- 9 Impressum

Der LOEWE-Schwerpunkt Sensors Towards Terahertz wurde am 1. Januar 2013 etabliert und über knapp vier Jahre mit insgesamt 4,9 Mio. Euro gefördert.

Terahertz-Wellen liegen im Frequenzbereich zwischen Mikrowellen und Infrarotwellen. Sie durchdringen gegenüber Infrarotwellen viele Materialien mit höherer Auflösung als Mikrowellen und ermöglichen somit eine Identifizierung beziehungsweise berührungslose Untersuchung von Werkstoffen oder biologischem Gewebe. Der LOEWE-Schwerpunkt zielt auf eine grundsätzliche Erforschung neuartiger Terahertz-Technologien und Sensor-konzepte. Diese ermöglichen, beispielsweise bestimmte Bindungsprozesse (Antikörper-Antigene) mittels spektraler Signatur zu identifizieren oder mittels bildgebender Verfahren Defekte im Inneren oder an den Grenzflächen eines Werkstoffes detektieren zu können, ohne diesen zu zerstören.

Im Rahmen der knapp vierjährigen Förderung konnten unter anderem Analyseverfahren für die Biologie, neuartige Quellen und Detektoren sowie eine Terahertz-Kamera für Echtzeitaufnahmen entwickelt werden. Der Erfolg der Arbeiten schlug sich in zahlreichen Projektförderungen im Bereich der Terahertz-Basistechnologien und der Sensorik nieder.

Der LOEWE-Schwerpunkt Sensors Towards Terahertz wurde federführend von der Technischen Universität Darmstadt in Kooperation mit der Goethe-Universität Frankfurt betrieben.



Prof. Dr.-Ing. Rolf Jakoby
Koordinator des LOEWE-Schwerpunktes Sensors Towards Terahertz
Technische Universität Darmstadt





Im Rahmen von STT eingerichtetes Terahertz-Labor mit Aufbauten zur Spektroskopie von ca. 0,5 bis über 4 THz. Diese erlauben die Entwicklung neuer Quellen, Detektoren und Sensorkonzepte.

Projekthinhalte

Wissenschaftlich-technische Ausgangslage

Sensoren sind aus dem heutigen Leben nicht mehr wegzudenken: In jedem noch so kleinen technischen Gerät sind zahlreiche Sensoren eingebaut, wie Lage- und Berührungssensoren in Mobiltelefonen, Gasensensoren in Automobilen und Verbrennungsanlagen, die Schadstoffe detektieren, oder Schritt- und Pulssensoren in Armbanduhren. Jedoch erfordern viele Anwendungen, insbesondere im Bereich der Umweltsensorik und Bioanalytik sowie der Echtzeit-Prozessüberwachung, neue innovative Sensorprinzipien und -konzepte.

Der Stand der THz-Forschung war zu Projektbeginn durch eine hohe Dynamik hinsichtlich der Technologie und der Erschließung neuer Anwendungsfelder gekennzeichnet. Dies hat sich nicht geändert, doch das Feld ist gereift.

Primäres Ziel des Vorhabens war die Etablierung eines interdisziplinären Forschungsschwerpunktes für neuartige Sensortechnologien im Terahertz-Frequenzbereich zwischen 0,1 THz und mehreren 10 THz auf Basis der Wechselwirkung der elektromagnetischen Felder von Sensorstrukturen mit den zu untersuchenden Materialien/Stoffen oder mit biologischem Gewebe.



Für das Terahertz-Kompetenzzentrum angeschaffte Quellen für Terahertz-Wellen bis zu 500 GHz. Sie werden für die Entwicklung einer Vielzahl von Komponenten wie Schaltern oder Biosensoren verwendet.

Im Rahmen des LOEWE-Projekts erreichte Erkenntnisse und getätigte Entwicklungen

Wissenschaftliches Ziel und Aufgabe des Schwerpunkts Sensors Towards Terahertz (STT) war die anwendungsorientierte Grundlagenforschung im Bereich der THz-Sensorik, der THz-Sensorsystemtechnik und der THz-Technologie. Hierfür wurden verschiedene Sensorkonzepte erarbeitet, erprobt und in Demonstratoren umgesetzt.

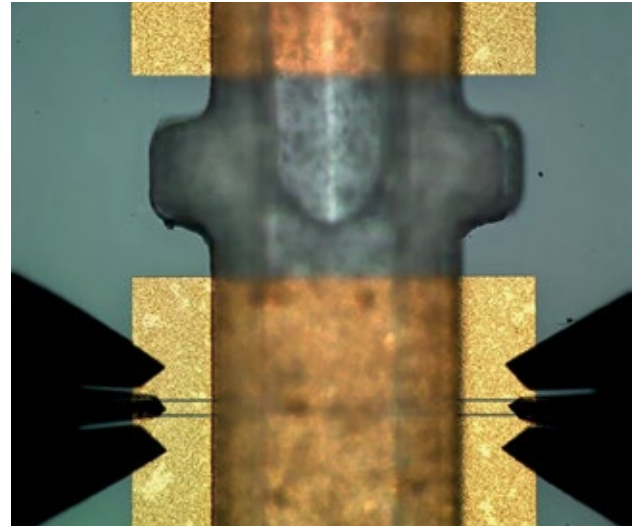
Im Bereich der Biosensorik wurde ein Lab-On-Chip entwickelt, mit dem sich flüssige Proben (z. B. Lösungen) in situ mit Terahertz-Wellen untersuchen lassen. Dies ist durch die geringe Größe der Proben gleichzeitig Herausforderung und ein erreichenswertes

Ziel, denn in vielen Anwendungsbereichen liegen Proben nur in kleinsten Mengen vor. Die Integration von Quellen und Empfängern im Lab-On-Chip ermöglicht darüber hinaus in Zukunft verhältnismäßig kostengünstige und qualitativ hochwertige Anwendungen z. B. in medizinischen oder biotechnologischen Bereichen. Dies ist entscheidend, da die biologische, medizinische und chemische Analytik unter hohem Kosten- und Effizienzdruck steht.

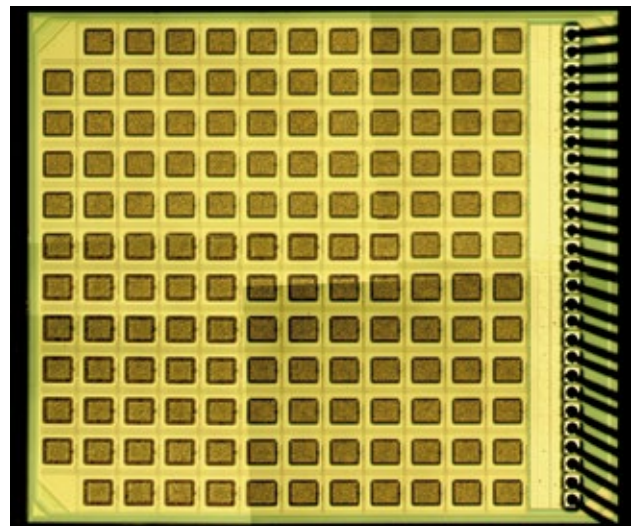
Mithilfe der im Rahmen des Projektes entwickelten Terahertz-Kamera konnten in speziellen Reaktionsanordnungen Gase nachgewiesen werden. Ihre Adsorption, also das „Klebenbleiben“ an speziell präparierten Oberflächen oder komplexen Materialien wie Wäldern aus Kohlenstoffnanoröhrchen, kann mit Terahertz-Wellen durch eine Änderung der Absorptionseigenschaften, also letztlich der „Farbe“, nachgewiesen werden. Hier bietet die Terahertz-Technik neue Wege bei der Erkennung von Gasen, wie beispielsweise von Schadstoffen oder Giften, aber auch von Reaktionsprodukten, durch deren Erkennung chemische Prozesse besser gesteuert werden können.

Auch außerhalb der Sensorik bringt die Terahertz-Kamera neue Impulse: Durch die verwendete Basistechnik CMOS, die auch bei Produkten im Massenmarkt Anwendung findet, können bildgebende Verfahren in Zukunft deutlich günstiger werden. Auch wurden Aufnahmen mit für den Terahertz-Bereich außergewöhnlichen Auflösungen, also Pixel-Zahlen, erstellt. Die CMOS-Technologie erlaubt große Detektorchips und somit eine hohe örtliche Auflösung des Terahertz-Bildes.

Ein wesentlicher Schritt bei der Integration und Verkleinerung von Terahertz-Systemen ist mit der Stabilisierung spezieller Laser, sogenannter VCSEL (*vertical cavity surface-emitting laser*) gelungen. Durch sie kann nun ein komplettes Terahertz-System von Quelle zum Empfänger auf wenigen Quadratzentimetern integriert werden. Die hohe Güte und Abstimmbandbreite der neuen Technik ist ein entscheidendes Merkmal. Zur Zeit sind Terahertz-Systeme große, sehr teure Apparaturen. VCSEL erlauben hier die Entwicklung von kleineren und günstigeren Systemen,



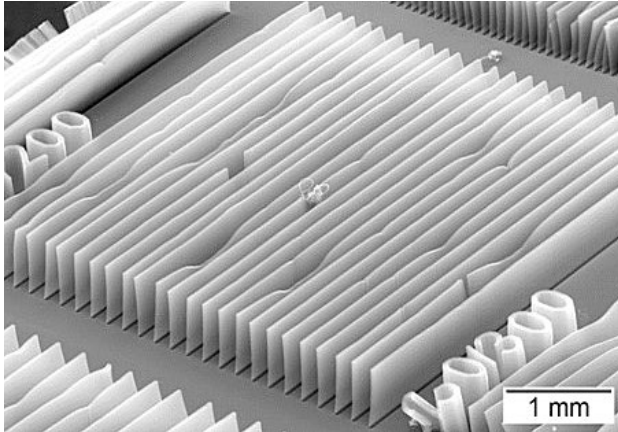
Vorrichtung von wenigen Millimetern Größe, zur Vermessung von flüssigen Proben, um Rückschlüsse zum Beispiel auf die Konzentration einer Lösung zu ziehen.



Chip mit einem Feld aus Terahertz-Detektoren. Zum Einsatz kommt ein Verfahren, das auf herkömmlicher z. B. bei Digitalkameras eingesetzter CMOS-Technik basiert, wobei sich das Detektorprinzip von dem in herkömmlichen Kameras unterscheidet. Diese Chips können z. B. in bildgebenden Verfahren eingesetzt werden.

mit denen Terahertz-Technik Einzug in viele Bereiche der Industrie halten kann.

Ein Terahertz-Tomograph ermöglicht den zerstörungsfreien Blick in Teile aus Materialien, die durch ihre Zusammensetzung in Röntgentomographen nahezu unsichtbar sind. Und auch im Bereich der Telekommunikation konnte die Steuerung von Terahertz-Wellen in Hohlleitern durch Flüssigkristalle und mikromechanische Schalter demonstriert werden. Es ist schwierig, die konkreten Anwendungen der erarbeiteten Konzepte abzuschätzen. Die eingangs genannten Demonstratoren jedenfalls werden in erfolgreichen Folgeprojekten auf europäischer, auf Bundes- und Landesebene weiterentwickelt.



Vertikal angeordnete Kohlenstoffnanoröhrchen (VA-CNT) die durch Adsorption von Gasen ihre spektralen Eigenschaften im THz-Bereich ändern; sie verändern gewissermaßen ihre Farbe.

Die interdisziplinäre Ausrichtung des Schwerpunktes entlang der Schnittlinien zwischen angewandter Physik, Elektrotechnik, Medizin- und Biotechnologie und Mikrotechnologie hat ein breites Spektrum an Anwendungen hervorgebracht und zahlreiche erfolgreich eingeworbene Folgeprojekte ermöglicht. Besonders zu erwähnen sind hier mehrere große DFG-Sachbeihilfen, das DFG-Schwerpunktprogramm „ESSENCE“ sowie ein von einem durch den Schwerpunkt Sensors Towards Terahertz berufenen Juniorprofessor gewonnenes Programm „Pho-T-lyze“ des European Research Councils mit Mitteln in Höhe von 1,5 Millionen Euro über eine 10jährige Laufzeit.

Erreichte Strukturentwicklung

Im Rahmen des LOEWE-Schwerpunktes STT konnte an der TU Darmstadt in Kooperation mit der Goethe-Universität Frankfurt ein Kompetenzzentrum für die Forschung und Entwicklung von elektromagnetischen Sensoren im Frequenzbereich von wenigen Hz über den in STT adressierten Frequenzbereich zwischen 100 GHz und 10 THz bis hin zur optischen Messtechnik erfolgreich aufgebaut und etabliert werden. Dem LOEWE-Schwerpunkt kommt dabei eine zentrale Rolle zu. Neben der Schaffung von zwei neuen Professuren auf dem Gebiet der THz-Sensoren und THz-Systemtechnik konnte durch die über einen Großgerä-

teantrag eingeworbenen Drittmittel die vektorielle Netzwerkanalyse bis zu 500 GHz grundlegend ausgebaut werden. Den beiden neuen Professuren werden bis Ende 2015 aus Mitteln der TU Darmstadt beschaffte THz-Aufbauten zur Verfügung stehen: insbesondere ein bereits angeschafftes CW-THz System (0,1 – 2,7 THz) von TOPTICA Photonics AG und ein in der Beschaffung befindliches gepulstes THz-System (0,1 – 4,7 THz) von Menlo Systems GmbH. Der LOEWE-Schwerpunkt STT trägt damit maßgeblich zu einer nachhaltigen und stetigen Forschungsaktivität auf dem Bereich der elektromagnetischen Sensorik bei.

Die TU Darmstadt und die Goethe-Universität Frankfurt bekennen sich explizit zu dem Ziel, mit den Aktivitäten in Zusammenhang mit STT die hessische Wissenschaftslandschaft nachhaltig auszubauen und zu stärken. Dies wurde durch die erfolgreiche Einwerbung verschiedener mit dem Feld der THz-Forschung verbundenen Projekte nachhaltig erreicht.

Erreichte Bedeutung/Stellung im Themen-/Forschungsfeld

Der LOEWE-Schwerpunkt Sensors Towards Terahertz hat durch seine interdisziplinäre Ausrichtung die Vernetzung der beteiligten Arbeitsgruppen in neue Themengebiete gefördert. Durch ihn konnte wertvolle Forschungsinfrastruktur im Rhein-Main-Gebiet geschaffen werden und so eine langfristige Wirkung im Bereich der Sensorik sichergestellt werden. Um den Schwerpunkt sind Kooperationen mit europäischen und internationalen Universitäten entweder gänzlich neu entstanden oder deutlich vertieft worden. Von der jährlich unterstützten und 2015 vom Schwerpunkt gesponserten International Travelling Summer School (ITSS) on Microwaves and Lightwaves konnten Doktorandinnen und Doktoranden sowie Studierende profitieren.

Aus dem Schwerpunkt sind verschiedene langfristig angelegte Forschungsprojekte im Bereich der (Bio-)Sensorik und der Terahertz-Technologie hervorgegangen, deren Wirkung weit über das Ende der LOEWE-Förderung hinausreichen wird.

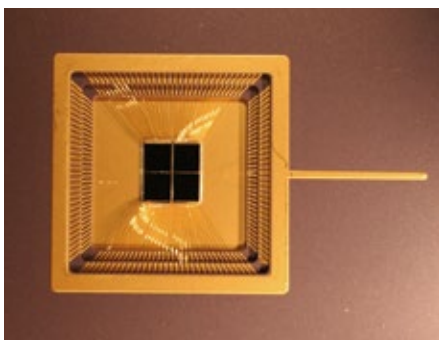
Wichtigste Meilensteine des Projekts



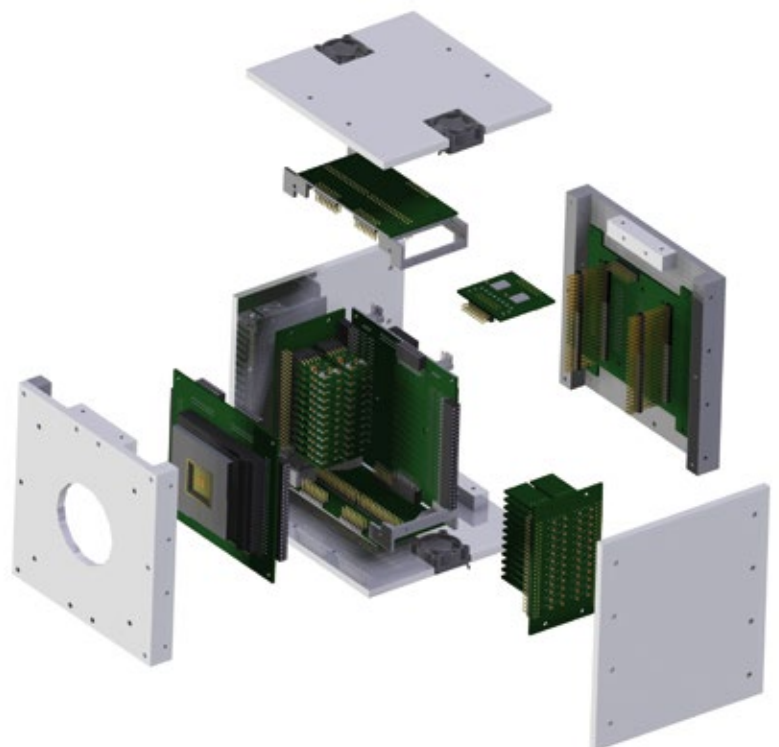
Das 2014 in Betrieb genommene Terahertz-Technologiezentrum in Darmstadt mit Messeinrichtungen für die Forschung vom Mikrowellen- bis in den Terahertzbereich.



Internationaler wissenschaftlicher Austausch mit Unterstützung des LOEWE-Schwerpunktes Sensors Towards Terahertz bei der International Travelling Summer School 2015 in Madrid.



CMOS-Chip und Aufbau mit Elektronik (z. B. Verstärker) für die 2015 vorgestellte Terahertz-Kamera der Goethe-Universität Frankfurt.



Weitere Informationsmöglichkeiten

- www.stt.tu-darmstadt.de

Homepage des LOEWE-Schwerpunkts Sensors Towards Terahertz

Zahlen und Fakten

Förderzeitraum	01.01.2013 – 31.12.2016	Bemerkungen
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte LOEWE-Mittel	4.876.148 Euro	
bis Ende des Förderzeitraums verausgabte Drittmittel	5.358.956 Euro	
eingeworbene Drittmittel	5.146.400 Euro	bis Ende 2020
Anzahl der beteiligten Personen	11 ProfessorInnen 22 wissenschaftliche MitarbeiterInnen 2 techn.-administrative MitarbeiterInnen	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums abgeschlossenen Promotionen	10	
Anzahl an Veröffentlichungen in Fachzeitschriften innerhalb des Förderzeitraums	25	Zusätzlich eine Buchveröffentlichung
Anzahl an Konferenzbeiträgen innerhalb des Förderzeitraums	10	
Anzahl an innerhalb des Förderzeitraums zugeteilten Patenten	2	

Kurzvorstellung der beteiligten Hochschulen und außeruniversitären Forschungsinstitute

Technische Universität Darmstadt

www.tu-darmstadt.de

Die TU Darmstadt ist die einzige Technische Universität in Hessen. Mit ihren über 110 Studiengängen, fast 27.000 Studierenden, über 300 Professorinnen und Professoren und einem Jahresetat von über 450 Millionen Euro trägt die TU Darmstadt mit Pionierleistungen und mit herausragender Forschung und Lehre zur Lösung drängender Zukunftsfragen bei. Die TU Darmstadt konzentriert sich auf ausgewählte, hoch relevante Problemfelder. Technik steht an der TU Darmstadt im Fokus aller Disziplinen. Naturwissenschaften sowie Sozial- und Geisteswissenschaften arbeiten dabei mit den Ingenieurwissenschaften eng zusammen.



TECHNISCHE
UNIVERSITÄT
DARMSTADT

Goethe-Universität Frankfurt

www.uni-frankfurt.de

Die Goethe-Universität Frankfurt ist Bürger- und Stiftungsuniversität. Sie bietet 170 Studiengänge an, zählt über 46.000 Studierende und über 500 Professorinnen und Professoren und verfügt über einen Jahresetat von über 600 Millionen Euro. 1914 von BürgerInnen für BürgerInnen gegründet, hat sie seit 2008 als autonome Stiftungsuniversität an diese Tradition wieder angeknüpft. Ihrer wechselvollen Geschichte kritisch verpflichtet, ist sie geleitet von den Ideen der Europäischen Aufklärung, der Demokratie und der Rechtsstaatlichkeit und wendet sich gegen Rassismus, Nationalismus und Antisemitismus. Die Goethe-Universität ist ein Ort argumentativer Auseinandersetzung; Forschung und Lehre stehen in gesellschaftlicher Verantwortung.



HESSEN



Das Forschungsförderungsprogramm LOEWE ist eine Förderinitiative des Hessischen Ministeriums für Wissenschaft und Kunst.

Impressum

Herausgeber:

Hessisches Ministerium für Wissenschaft und Kunst
Rheinstraße 23 – 25
65185 Wiesbaden

Inhalt:

LOEWE-Schwerpunkt STT – Sensors Towards Terahertz

Redaktion:

LOEWE-Geschäftsstelle im
Hessischen Ministerium für Wissenschaft und Kunst

Layout:

Christiane Freitag, Idstein

Fotos:

LOEWE-Schwerpunkt STT – Sensors Towards Terahertz
Titel, S. 3: © C. Weickhmann; S. 4 Abb. 1: © AG Krozer, GU Frankfurt;
S. 4 Abb. 2 und S. 6 Abb. 3: © AG Roskos, GU Frankfurt;
S. 5: © AG Schneider, TU Darmstadt; S. 6 Abb. 1: © AG Jakoby,
TU Darmstadt, Abb. 2: © Universidad Carlos III, Madrid