

## Nanotechnologien

### Thematische Einordnung und Abgrenzung

**Nanotechnologie**<sup>1</sup> wird zunehmend als die Zukunftstechnologie schlechthin verstanden. Sie erschließt uns die Welt der „allerkleinsten“ Dinge. Die prinzipiellen Anwendungsmöglichkeiten dieser Technologie sind immens und die künftigen Fortschritte der Nanotechnologie entscheiden mit über die Entwicklung weiterer zukunftsträchtiger Branchen. Nicht von ungefähr wurde unlängst seitens der Bundesregierung z.B. die "Nano-Initiative - Aktionsplan 2010" im Rahmen der High-Tech-Strategie für Deutschland vorgestellt [BMBF06].

Eine allgemein und international akzeptierte Definition zur Nanotechnologie gibt es nicht [vgl. ITAS04]. Als praktikable Definition gilt die im Rahmen der erwähnten *Nano-Initiative – Aktionsplan 2010* vorgestellte Formulierung [vgl. a. BMBF06, S. 11]: Nanotechnologie beschreibt die Untersuchung, Anwendung und Herstellung von Strukturen, molekularen Materialien und Systemen mit einer Dimension oder Fertigungstoleranz typischerweise unterhalb von 100 Nanometern. Allein aus der Nanoskaligkeit der Systemkomponenten resultieren dabei neue Funktionalitäten und Eigenschaften zur Verbesserung bestehender oder Entwicklung neuer Produkte und Anwendungsoptionen.

**Materialien** mit funktionalen Strukturen im tiefen Nanometerbereich (< 100 nm) weisen häufig völlig neuartige physikalische bzw. chemische Eigenschaften auf. Damit lassen sich neue Funktionsmaterialien entwickeln, wie sie auf mikro- oder gar makroskopischer Skala nicht existieren. Beispiele hierfür sind die Farb- und Benetzungseigenschaften nanostrukturierter Oberflächen (so genannter Lotuseffekt<sup>2</sup>, optische Metamaterialien mit sog. lefthand-Eigenschaften<sup>3</sup>, mesoskopische<sup>4</sup> elektronische Effekte in nanoskaligen Festkörpern, optisch-plasmonische Resonanzen<sup>5</sup> in metallischen Nanostrukturen oder lichtemittierendes nanoporöses Silizium.

So vielfältig die nanobasierten Phänomene in Physik, Chemie und Biologie sind (und ständig werden weitere "Nano-Effekte" entdeckt), so breit gefächert sind die darauf aufbauenden Systemlösungen mit ihren qualitativ vollkommen neuen technischen Konzepten. Von daher wird deutlich, dass nanostrukturelle Materialien das Tor zu bisher ungeahnten und heute noch bei weitem nicht absehbaren Anwendungs- und Einsatzmöglichkeiten in zahlreichen Branchen öffnen. Auf der anderen Seite spiegelt sich die Vielfalt nanofunktionaler Materialien auch in dem breiten Spektrum an Technologien zur Herstellung der Nanostrukturen wider. [MIT07]

<sup>1</sup> Nanotechnologie ist ein Oberbegriff für unterschiedlichste Arten der Analyse und Bearbeitung von Materialien, denen eines gemeinsam ist: Ihre Größendimension beträgt ein bis einhundert Nanometer (ein Nanometer ist ein millionstel Millimeter). Die Nanotechnologie nutzt die besonderen Eigenschaften, die für viele Nanostrukturen charakteristisch sind. Die mechanischen, optischen, magnetischen, elektrischen und chemischen Eigenschaften dieser kleinsten Strukturen hängen nicht allein von der Art des Ausgangsmaterials ab, sondern in besonderer Weise von ihrer Größe und Gestalt. Voraussetzung für die Nanotechnologie ist die Entdeckung der Arbeitsmöglichkeiten mit einzelnen Bausteinen der Materie sowie das damit zunehmende Verständnis der Selbstorganisation dieser Bausteine. [BMBF06]

<sup>2</sup> Lotuseffekt: geringe Benetzbarkeit von Oberflächen (wie z.B. bei Lotuspflanze); spezielle Oberflächenstrukturen führen zu reduzierten Adhäsionskräften („Anhangskräften“), so dass z.B. Schmutzpartikel nicht haften.

<sup>3</sup> Metamaterialien: künstlich hergestellte Materialien mit ungewöhnlichen Eigenschaften, wie negativer Brechzahl (=physikalische Größe der Optik, kennzeichnet die Brechung einer elektromagnetischen Welle beim Übergang zwischen zwei Medien); eine mögliche Anwendung wäre die Herstellung von Linsen mit höherem Auflösungsvermögen als bei Linsen mit gewöhnlichen optischen Werkstoffen. (vgl. <http://de.wikipedia.org>)

<sup>4</sup> mesoskopisch beschreibt per Definition den Dimensionsbereich 10nm -100nm

<sup>5</sup> Kollektive Anregungen von freien Elektronen in Metallen zu Plasmaschwingungen gegen die Ionenrümpfe werden in der Festkörperphysik als Plasmonen bezeichnet. (vgl. <http://de.wikipedia.org>).

Der Begriff "Nanotechnologien" umfasst daher sowohl **Techniken zur gezielten Erzeugung** intrinsischer<sup>6</sup> nanoskaliger Strukturen während der Materialherstellung, Technologien zur ultrapräzisen Bearbeitung von Materialien, zur Erzeugung von Nanoschichten sowie zur nachträglichen Aufprägung von Nanostrukturen im Volumen bzw. auf der Oberfläche von Materialien.

Darüber hinaus werden die **Anwendungen** dieser Nanostrukturen z. B. in der Optik (Nanooptik [IOF07]), in der Elektronik (Nanoelektronik), in der Sensorik (Nanosensorik), in der Analytik (Nanoanalytik) oder in der Antriebstechnik (Nanopositionier- und Messtechnik [SFB622]) unter dem Begriff Nanotechnologien zusammengefasst. Häufig werden in diesem Zusammenhang auch die Begriffe Nanobauteile/Nanodevices<sup>7</sup> sowie Nanotools<sup>8</sup> verwendet.

Nanotechnologien schaffen die Grundlagen z.B. für:

- *immer kleinere Datenspeicher mit immer größerer Speicherkapazität (derzeitige Video-DVD's nutzen bspw. 50nm dicke Aluminium-Schichten auf Polycarbonat-Substraten);*
- *hochwirksame Filter zur Abwasserbehandlung oder Grundwasseraufbereitung (in Thüringen z.B. Nanofiltrationsanlage, entwickelt durch das Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V. [HITK07]);*
- *variabel sonnendurchlässige, photovoltaische Fenster-Oberflächen [PRO06];*
- *künstliche Gelenke, die durch organische Nanooberflächen für den menschlichen Körper verträglicher sind [Kö07];*
- *effiziente Leuchtstoffe, die in modernen Lichtquellen zum Einsatz kommen [in Thüringen z.B. LWB07];*
- *die Erhöhung der Packungsdichte in elektronischen Schaltkreisen einschließlich des Übergangs zur Quantenelektronik (z. B. Institut für Photonische Technologien e. V., Jena;*
- *Antriebe mit einer Positioniergenauigkeit von bis zu einem Nanometer (z. B. PI Ceramic GmbH, Lederhose; TETRA Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH, Ilmenau) sowie*
- *die genaue Analyse von Vorgängen z. B. in lebenden Zellen (z. B. Carl Zeiss MicroImaging GmbH, Jena; SCL-Sensor.Tech GmbH, Ilmenau).*

---

<sup>6</sup> Intrinsisch bedeutet „von innen her kommend“. „Intrinsische Eigenschaften gehören zum Gegenstand selbst und machen ihn zu dem, was er ist.“ [<http://de.wikipedia.org>]

<sup>7</sup> Nanodevices sind Nanostrukturen, die z. T. im molekularen Bereich bestimmte Funktionen, z. B. als miniaturisiertes elektronisches Bauelement, erfüllen.

<sup>8</sup> Als Nanotools werden u.a. Systeme bezeichnet, die für die Herstellung von Nanostrukturen und nanotechnologischen Bausteinen, für deren Manipulation und Test eingesetzt werden (z. B. Mikrobiegebalken, Spitzen im Nanometerbereich).

## Trends national und international

### ▪ Anwendungsfelder

Die nachfolgende Abbildung vermittelt einen Eindruck vom immensen Potential der Nanotechnologien und den aktuellen Anwendungstrends in solchen wichtigen Branchen wie Medizin, Optik oder im Automotive-Bereich.

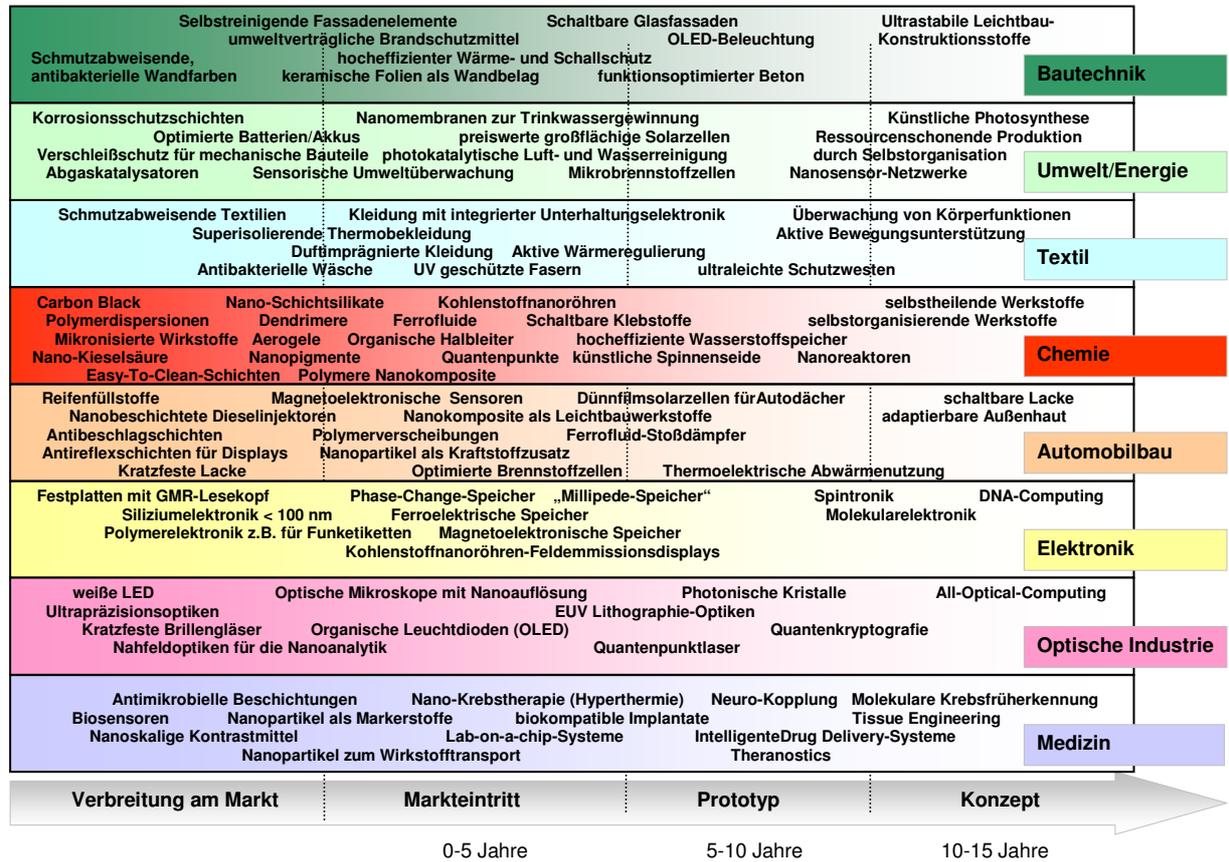


Abb. 1 Beispiele für Anwendungsoptionen und Reifegrad nanotechnologischer Entwicklungen in verschiedenen Wirtschaftsbranchen (VDI TZ GmbH) vgl. [BMBF06]

## ▪ Wesentliche Chancen und Risiken für Unternehmen bei der Anwendung der Nanotechnologien

Nach einer aktuellen Stärken-Schwächen-Analyse der Commerzbank [vgl. COB] ergibt sich folgendes Bild:

Vorteile / Chancen	Nachteile / Risiken
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steigende Nachfrage nach Nanotechnologie in den nächsten Jahren: als Querschnittstechnologie existieren Anwendungsmöglichkeiten in fast jedem Zweig des Produzierenden Gewerbes</li> <li>- Verbesserung bestehender Produkteigenschaften hinsichtlich Materialbeschaffenheit und Qualität durch Einsatz von Nanomaterialien</li> <li>- Gut etablierte industriespezifische Wertschöpfungsketten und Netzwerke</li> <li>- Inanspruchnahme staatlicher Fördermittel</li> <li>- Gute Forschungsinfrastruktur, z.B. neues Studienfach Nanoengineering</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Herstellung: teure Produktionsprozesse und noch nicht adaptiertes Preis-/Leistungsverhältnis</li> <li>- Ethische und gesundheitliche Bedenken auf Konsumentenseite: Mangel an allgemein gültigen Qualitätsstandards</li> <li>- Lang andauernder Prozess bei der Überführung nanotechnologischer Forschungsergebnisse in fertige Produkte, z.T. anwendungsferne Forschung</li> <li>- Forschungsergebnisse werden insgesamt zu wenig kommerziell genutzt</li> <li>- Noch hoher bürokratischer Aufwand bei der Neugründung von Nanotechnologie-Unternehmen</li> </ul>

Abb. 2 Wesentliche Vor- und Nachteile für Unternehmen bei der Anwendung der Nanotechnologie

## ▪ Akteure in Deutschland

In diesem Zusammenhang sind insbesondere die vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) zum Teil bereits seit 1998 geförderten Kompetenzzentren (CCN) zu nennen:

- *Ultradünne funktionale Schichten (Dresden)*
- *Nanomaterialien: Funktionalität durch Chemie ( Saarbrücken)*
- *Ultrapräzise Oberflächenbearbeitung (Braunschweig)*
- *Nanobioanalytik ( Münster)*
- *HanseNanoTec (Hamburg)*
- *Nanoanalytik (München)*
- *Nanostrukturen in der Optoelektronik NanOp (Berlin)*
- *NanoBioTech (Kaiserslautern)*
- *NanoMat (Karlsruhe).*

Neben den oben genannten Kompetenzzentren existieren auch spezielle Forschergruppen, wie beispielsweise der DFG-Sonderforschungsbereich SFB 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ an der TU Ilmenau [vgl. SFB622]. Dieser Bereich bestimmt den internationalen Stand: Die Messauflösung der in Ilmenau entwickelten Nanopositionier- und Nanomessmaschine konnte von 1,24 auf aktuell 0,1 Nanometer verringert werden.

Zu den Akteuren im Bereich der Nanotechnologie in Deutschland zählen auch einige hundert Industrie-Unternehmen. In zahlreichen Großunternehmen (z.B. BASF, Bayer, Carl Zeiss, Daimler Chrysler, Infineon, Schott, SIEMENS) gehören Themenbereiche der Nanotechnologie zu den FuE-Inhalten. Nahezu alle großen Chemie-Konzerne beschäftigen sich auch mit der Herstellung nanoskaliger Materialien. Daher ist Deutschland insbesondere auf dem Gebiet der Nanochemie/Nanomaterialien weltweit führend.

## ▪ Marktpotenzial

Nach Analysen von BBC Research [vgl. BBC06] beträgt die erwartete jährliche Steigerung des weltweiten Umsatzes (durchschnittliches jährliches Wachstum in %) im Zeitraum 2006-2011 für:

- |   |        |
|---|--------|
| ▪ <i>Nanomaterialien</i>                                    | 15,5%  |
| ▪ <i>Nanodevices</i> <sup>9</sup>                           | 11,0%  |
| ▪ <i>Nanotools</i> <sup>10</sup> (Kommerzielle Anwendungen) | 18,2%. |

Aktuell werden folgende für die Zukunft des Standorts Deutschland wichtigen Themenfelder diskutiert:

- *Reproduzierbare Beschichtungsprozesse - Präzise Fertigung durch modellbasierte Steuerung und Regelung*
- *Digitale Fabrik im Bereich der Oberflächentechnik - Realitätsgetreue Prozesssimulation inkl. Material- und Bauteilkriterien*
- *Schaltbare Schichten - Reversible Eigenschaftsänderungen durch äußere Signale*
- *Selbstheilende Schichten - Aktive oder passive Regeneration von Schichtschädigungen*
- *Aktive Schichten - Umwandlung von äußeren Stoff- und Energieströmen*
- *Schmutzabweisende Oberflächen - Erleichterung von Reinigungsprozessen bzw. Selbstreinigung*
- *Multifunktionsschichten - Hybride Materialien mit komplexer Morphologie (v.a. Nanopartikel-modifizierung)*
- *Markenschutz - Kostengünstige Sicherheitsmerkmale durch Oberflächentechniken*
- *Schnelle Degradationsprüfung - Frühzeitige Erkennung von Korrosionsprozessen*

Von der Nanotechnologie können gerade die für Deutschland wichtigen Branchen Automobilbau, Maschinenbau, Chemie, Elektronik, Medizintechnik und optische Industrie profitieren (vgl. Abb. 1).

In den kommenden Jahren sollen die Nanotechnologien verstärkt auf den Teilgebieten Nanomaterialien, Mikro-Nano-Systemintegration, organische Leuchtdioden und Produktionstechnik gefördert werden. Laut Bundesregierung sollen die Anwendungen für den Umwelt- und Ressourcenschutz (z. B. Photovoltaik, Lackproduktion) ebenfalls ausgebaut werden. [vgl. BR07]

## Situation in Thüringen

### ▪ Allgemeine Einschätzung

In der Außenwahrnehmung wird Thüringen hinsichtlich der im Land erreichten Ergebnisse auf dem Gebiet „Nanotechnologie“ noch unterschätzt. Eine Ursache liegt sicher darin, dass in der Vergangenheit die kleinen innovativen Unternehmen zunächst ihre „Hausaufgaben“ gemacht haben: Entwicklung einer soliden technologischen Basis, z.T. verbunden mit der Einreichung von Schutzrechtsanmeldungen.

Zunehmend sind Vermarktungsaktivitäten zu beobachten, die zum einen die Kompetenzen in der Herstellung von nanoskaligen Materialien verdeutlichen – zum anderen auch die Tendenzen aufzeigen, sich in die gesamte Wertschöpfungskette einzubringen.

<sup>9</sup> Nanodevices sind Nanostrukturen, die z. T. im molekularen Bereich bestimmte Funktionen, z. B. als miniaturisiertes elektronisches Bauelement, erfüllen.

<sup>10</sup> Als Nanotools werden u.a. Systeme bezeichnet, die für die Herstellung von Nanostrukturen und nanotechnologischen Bausteinen, für deren Manipulation und Test eingesetzt werden (z. B. Mikrobiegebalken, Spitzen im Nanometerbereich).

## ▪ Kompetenzfelder Thüringer Einrichtungen und Unternehmen

Mit koordinativer Unterstützung durch die THÜRINGEN innovativ GmbH vereint die Plattform „MiT – Material innovativ Thüringen“ die materialseitig engagierten Akteure Thüringens [MiT07]. In diesem Rahmen arbeitet auch die Arbeitsgruppe „Nanotechnologien“, nach deren aktuellem Thesenpapier [MiT07a] sich die forschungs- wie auch fertigungsbezogenen Kompetenzfelder von Thüringer Einrichtungen und Unternehmen beispielhaft benennen lassen:

### Bereich Herstellung

- Herstellung von Nanopartikeln für optische, chemische und biologische/biomedizinische Anwendungen bzw. Sensorik (z.B. Chemiewerk Bad Köstritz GmbH; Friedrich-Schiller-Universität Jena; IBU-tec GmbH, Weimar; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; Leuchtstoffwerk Breitung GmbH; INNOVENT e.V., Jena; VitraBio GmbH, Steinach),
- Erzeugung definierter nanoskaliger Strukturzustände in Gläsern, Polymeren und Keramiken (z.B. Wachstumskern fanimat nano, Hermsdorf; Friedrich-Schiller-Universität Jena; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena),
- Physikalisch/chemisch basierte Abscheidung und Strukturierung dünner Schichten und Schichtsysteme mit Dicken bis in den tiefsten Nanometerbereich ( $\leq 1$  nm) (z.B. Institut für Photonische Technologien e.V., Jena),
- Generierung von metallischen und/oder dielektrischen<sup>11</sup> 2D- und 3D-Nanostrukturen für optische bzw. elektronische Funktionselemente (z.B. Fraunhofer-Institut für Angewandte Polymerforschung IAP, Potsdam; Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; TU Ilmenau, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN)),
- Kostengünstige Verfahren zur Herstellung von Nano- und Mikrostrukturen mit dem Potential zur Automatisierung (z.B. Fresnel Optics GmbH, Apolda; JENOPTIK Polymer Systems GmbH, Triptis; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; TU Ilmenau, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN)).

### Bereich Verarbeitung

- Verarbeitung von Nanopartikeln zu funktionalen Dickschichtsystemen (FH Jena, Wachstumskern fanimat nano, Hermsdorf; INNOVENT e.V., Jena),
- Verarbeitung von Nanopartikeln für optische, chemische und biologische/biomedizinische Anwendungen bzw. Sensorik. (z.B. Friedrich-Schiller-Universität Jena; Gefo Folienbetrieb GmbH, Gera; GRAFE Advanced Polymers GmbH, Blankenhain; Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V.; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; SCHOTT Lithotec AG, Jena; VIA electronic GmbH, Hermsdorf; UST Umweltsensortechnik GmbH, Geschwenda; INNOVENT e.V., Jena).

### Bereich Anwendung (Beispiele)

- Einsatz von Nanopartikeln für optische, chemische und biologische/biomedizinische Anwendungen bzw. Sensorik (z.B. Analytik Jena AG; GRAFE Advanced Polymers GmbH, Blankenhain; Friedrich-Schiller-Universität Jena; Hermsdorfer Institut für Technische Keramik e.V.; INNOVENT e.V., Jena; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; Leuchtstoffwerk Breitung GmbH; SCHOTT Lithotec AG, Jena; Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK), Rudolstadt; TU Ilmenau, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN)),
- Einsatz von Nanopartikel in mikromechanischen/mikrofluidischen Systemen (z.B. Friedrich-Schiller-Universität, Jena; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; TU Ilmenau, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN)),

<sup>11</sup> Strukturen, in denen die Ladungsträger nicht frei beweglich sind und die durch ein äußeres elektrisches Feld polarisiert werden. Dielektrika können leerer Raum (Vakuum) oder auch alle Volumina sein, die von elektrisch nicht leitenden Stoffen ausgefüllt sind (vgl. <http://de.wikipedia.org>)

- Einsatz der Nanopositionier- und Nanomesstechnik für unterschiedliche Messaufgaben und Positionieraufgaben: (SIOS Messtechnik GmbH, Ilmenau; TETRA - Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH, Ilmenau; PI Ceramic GmbH, Lederhose),
- Einsatz von Nanostrukturen, z. B. als Mikrobiegebalken in der Analytik (SCL-Sensor.Tech GmbH, Ilmenau).

### **Bereich Dienstleistungen**

- Standarduntersuchungsverfahren (z.B. XRD<sup>12</sup>, Elektronenmikroskopie, AFM<sup>13</sup>),
- spezielle Untersuchungsverfahren mit fachlicher Expertise (u.a. TEM<sup>14</sup>, Nano-Messtechnik, Nanoanalytik, TERS<sup>15</sup>) (z.B. Friedrich-Schiller-Universität Jena; Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; TU Ilmenau, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN); IGWV - Innovations- und Gründerlabor für neue Werkstoffe und Verfahren, Jena),
- Beratungsleistungen zum Design/Realisierung mikrooptischer, mikrofluidischer Applikationen, Nanopositioniertechnik, Nanosensorik, (z.B. Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena; Institut für Photonische Technologien e.V., Jena; TU Ilmenau, Zentrum für Mikro- und Nanotechnologien (ZMN); Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH, Ilmenau; microfluidic ChipShop GmbH, Jena; Gesellschaft zur Förderung von Medizin, Bio- und Umwelttechnologien e.V., Jena; Wachstumskern VERDIAN, Ilmenau; DFG-Sonderforschungsbereich SFB 622 „Nanopositionier- und Nanomessmaschinen“ an der TU Ilmenau),
- Beratungsleistungen zur Anwendung der Bildverarbeitung in der Nanotechnik (z. B. NEMO-Netzwerk VisQuaNet, Jena, Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung (GBS) mbH, Ilmenau),
- Entwicklungen zum Einsatz von Nanotechnologien in der Biotechnologie (z. B. JenLab GmbH, Jena).

### ▪ **Lokalisationsschwerpunkte**

Lokalisationsschwerpunkte bilden im Bereich der Forschung insbesondere die Hochschulstandorte Jena und Ilmenau (s. Abb. 3). Entsprechende Industrieunternehmen sind in der Folge (verfügbare Arbeitskräfte, Forschungsinfrastruktur) auch in diesen Regionen schwerpunktmäßig situiert. Hinzuzuzählen ist in diesem Fall noch der Raum Hermsdorf/Gera (vgl. Abb. 4). Die Lokalisationsschwerpunkte befinden sich entlang der Autobahnen A4 und A71.

---

<sup>12</sup> XRD: Gruppenüberschrift für röntgendiffraktometrische Untersuchungsmethoden

<sup>13</sup> AFM: Atomkraftmikroskopie bzw. SPM (scanning probe microscopy)

<sup>14</sup> TEM: Transmissionselektronenmikroskopie

<sup>15</sup> TERS: Tip-enhanced Raman Spectroscopy – eine Kombination aus "Oberflächenverstärkter Raman-Streuung" (SERS - surface enhanced raman scattering) und Atomkraftmikroskopie



## Überblick: Ausgewählte Akteure in Thüringen

### ▪ Universitäten und Hochschulen

Folgende Universitäten und Hochschulen betreiben insbesondere Grundlagenforschung zur Thematik Nanotechnologien (alphabetisch):

Einrichtung	Ort	Kompetenzen hinsichtlich Nanotechnologien
<b>Bauhaus-Universität Weimar</b>	Weimar	Materialentwicklung, Materialcharakterisierung mit Fokus Baustoffsektor
<b>FH Jena</b>	Jena	Materialentwicklung, Materialcharakterisierung mit Fokus magnetischer Werkstoffe Untersuchungen zum dynamischen Verhalten von Nanopositionier- und Nanomessmaschinen
<b>Friedrich-Schiller-Universität Jena</b>	Jena	Materialentwicklung, Materialcharakterisierung
<b>TU Ilmenau</b>	Ilmenau	Materialentwicklung, Materialcharakterisierung mit Fokus Solar und Bioanalytik Herstellung und Charakterisierung von Hetero- und Nanostrukturen zur Realisierung von neuartigen Bauelementkonzepten für die Nanoelektronik und -sensorik. Nano- und pikofluidische Systeme für die Biomedizintechnik Sonderforschungsbereich Nanopositionier- und Nanomessmaschinen

### ▪ Außeruniversitäre Forschungseinrichtungen

Angewandte Forschung betreiben folgende außeruniversitäre Forschungseinrichtungen:

Einrichtung	Ort	Kompetenzen hinsichtlich Nanotechnologien
<b>Fraunhofer-Institut für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF, Jena</b>	Jena	Optische Hochleistungsschichten Aufbau- und Verbindungstechniken
<b>Leibniz Institut für Naturstoff-Forschung und Infektionsbiologie e.V. Hans-Knöll-Institut (HKI)</b>	Jena	Naturstoff-Forschung / pharmakologisch relevante Wirkstoffe und Synthesewege einschließlich Nachweisverfahren
<b>Institut für Bioprocess- und Analysenmesstechnik e. V.</b>	Heilbad Heiligenstadt	Charakterisierung und Funktionalisierung von Biomaterialien Wechselwirkungen zwischen technischen und biologischen Komponenten
<b>Institut für Mikroelektronik- und Mechatronik-Systeme gGmbH</b>	Ilmenau	Entwicklung, Analyse und Test von Präzisionsantrieben Forschungen zur Erweiterung der Einsatzgrenzen der Technologien der Mikroelektronik
<b>Institut für Photonische Technologien e.V.</b>	Jena	Anwendungen „Photonischer Technologien“: Photonische Instrumentierung; Nanobiophotonik, Mikrofluidik, Laserdiagnostik, Quantendetektion

## ▪ Wirtschaftsnahе Forschungseinrichtungen

Folgende wirtschaftsnahе Forschungseinrichtungen leisten wesentliche Beiträge der angewandten Forschung zur Thematik Nanotechnologien (alphabetisch):

Einrichtung	Ort	Kompetenzen hinsichtlich Nanotechnologien
<b>Gesellschaft für Fertigungstechnik und Entwicklung e.V.</b>	Schmalkalden	Entwicklung und Bewertung von Verschleißschutz-/ Hartstoffschichten
<b>Hermisdorfer Institut für Technische Keramik e.V.</b>	Hermisdorf	Technische Keramik <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neue keramische Materialien</li> <li>▪ Keramische Schichten</li> <li>▪ Oxidkeramik</li> <li>▪ Magnetwerkstoffe</li> <li>▪ Verbundwerkstoffe</li> </ul>
<b>INNOVENT e.V.</b>	Jena	Oberflächenbeschichtung/-veredlung <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Oberflächenfunktionalisierung</li> <li>▪ Oberflächenaktivierung</li> <li>▪ Verbundmaterialien</li> <li>▪ Dünnschichttechnik</li> <li>▪ Primer/Haftvermittler</li> <li>▪ Kompositentwicklung</li> </ul> Magnetische Materialien <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Magnetische/optische Strukturen</li> <li>▪ Kristallzüchtung/LPE</li> <li>▪ Magnetische Ortung</li> </ul> Biomaterialien Oberflächen-/Werkstoffanalytik
<b>CiS Institut für Mikrosensorik GmbH</b>	Erfurt	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Optische in-situ-Messmodule für die Mikroverfahrenstechnik</li> <li>▪ Mikrosystementwicklung und -design</li> <li>▪ Festkörperanalytik und Partikelmessung</li> </ul>
<b>Thüringisches Institut für Textil- und Kunststoff-Forschung e.V. (TITK)</b>	Rudolstadt	Werkstoff Forschung auf Basis organischer Funktions- und Konstruktionswerkstoffe <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Neue Polymere Materialien und Composites</li> <li>▪ Synthetische Funktionsmaterialien (Technische Textilien, Polymeranwendungen, Mikrostrukturing polymerer Materialien)</li> <li>▪ polymere Verbundwerkstoffe (Polymermischungen, Faser- und Additive, Nanomaterialien)</li> <li>▪ Material- und chemische Analytik sowie Service</li> </ul>
<b>Textilforschungsinstitut Thüringen-Vogtland e.V.</b>	Greiz	Textile Strukturen <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elektrisch leitfähige Textilien</li> <li>▪ Textile Verbundwerkstoffe</li> <li>▪ Oberflächenmodifizierungen</li> <li>▪ Elektrolumineszenz in Textilien</li> <li>▪ Integration von Mikrobauelementen in Textilien</li> </ul> Textilien mit sensorischen Eigenschaften unter Einsatz Nanomaterialien

## ▪ Netzwerke

Nachfolgende Netzwerke beschäftigen sich u.a. mit Nanotechnologien:

Netzwerk	Ort	Kompetenzen hinsichtlich Nanotechnologien
<b>Wachstumskern fanimat nano</b>		Nanopartikeltechnologien → Anwendungsüberführung (Komponenten und Systemprodukte) <ul style="list-style-type: none"> <li>- Material- u. Schichtentwicklung</li> <li>- Pulverherstellung – u. Formgebung</li> <li>- Gradierte Oberflächen</li> </ul>
<b>Wachstumskern VERDIAN</b>		Entwicklung von Direktantrieben auf der Grundlage neuer <ul style="list-style-type: none"> <li>- Entwurfswerkzeuge,</li> <li>- Funktionsstrukturen,</li> <li>- Magnetwerkstoffe und</li> <li>- Fertigungstechnologien</li> </ul>

## ▪ Unternehmen

Die nachfolgenden Unternehmen bieten Produkte bzw. Dienstleistungen auf der Basis von Nanotechnologien bzw. von Applikationen an:

Unternehmen	Ort	Kompetenzen hinsichtlich Nanotechnologien
<b>Analytik Jena AG</b>	Jena	Nanoanalytik
<b>aspheron GmbH</b>	Jena	Ultrapräzisionsbearbeitung
<b>Carl Zeiss SMS GmbH</b>	Jena	Nanostrukturtechnik
<b>Carl Zeiss Microimaging GmbH</b>	Jena	Nanoanalytik
<b>CLONDIAG® chip technologies</b>	Jena	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten, Nanosensorik
<b>Chemiewerk Bad Köstritz GmbH</b>	Bad Köstritz	Nanomaterial
<b>Dyomics GmbH</b>	Jena	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten, Nanosensorik
<b>Fresnel Optics GmbH</b>	Apolda	Nanostrukturtechnik, Nanooptik
<b>Gesellschaft für Bild- und Signalverarbeitung (GBS) mbH</b>	Ilmenau	Bildverarbeitung in der Nanotechnik
<b>Gefo Folienbetrieb GmbH</b>	Gera	Nanomaterial
<b>Gesellschaft zur Förderung von Medizin, Bio- und Umwelttechnologien e. V.</b>	Jena	Nanoschichten
<b>GOT mbH Jena</b>	Jena	Nanoschichten
<b>GRAFE Advanced Polymers GmbH</b>	Blankenhain	Nanomaterial
<b>H-O-T Vertriebs- u. Logistikcenter GmbH &amp; Co. KG</b>	Schmölln-Nitzschka	Nanoschichten
<b>IBU-tec GmbH</b>	Weimar	Nanomaterial
<b>inocermic Gesellschaft für innovative Keramik mbH</b>	Hermsdorf	Nanomaterial
<b>inopor GmbH</b>	Hermsdorf	Nanomaterial, Nanostrukturtechnik
<b>JENAer Meßtechnik GmbH</b>	Jena	Nanosensorik
<b>JenLab GmbH</b>	Jena	Nanomaterial
<b>JENOPIK Laser, Optik, Systeme GmbH</b>	Jena	Nanoschichten, Nanooptik
<b>JENOPIK Polymer Systems GmbH</b>	Triptis	Nanostrukturtechnik, Nanooptik
<b>LAYERTEC - optische Beschichtungen GmbH</b>	Mellingen	Nanoschichten
<b>Leuchtstoffwerk Breitung GmbH</b>	Breitungen	Nanomaterial

Fortsetzung

Unternehmen	Ort	Kompetenzen hinsichtlich Nanotechnologien
<b>LPKF Motion &amp; Control GmbH</b>	Suhl	Nanomess- und Positioniersysteme
<b>microfluidic ChipShop GmbH</b>	Jena	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten
<b>Micro-Hybrid Electronic GmbH</b>	Hermsdorf	Nanomaterial
<b>ML&amp;C GmbH</b>	Jena	Nanostrukturtechnik
<b>mso jena Mikroschichtoptik GmbH</b>	Jena	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten
<b>Nanolay AG</b>	Ilmenau	Ultrapräzisionsbearbeitung
<b>PI Ceramic GmbH</b>	Lederhose	Nanomess- und Positioniersysteme
<b>piezosystem jena GmbH</b>	Jena	Nanomess- und Positioniersysteme
<b>Quantifoil Micro Tools GmbH</b>	Jena	Nanomaterial, Nanostrukturtechnik
<b>Rauschert GmbH</b>	Veilsdorf	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten
<b>SCHOTT Lithotec AG</b>	Jena	Nanomaterial, Ultrapräzisionsbearbeitung
<b>SCL-Sensor.Tech GmbH</b>	Ilmenau	Nanostrukturtechnik, Nanosensorik
<b>Siegert Thinfilm Technology GmbH</b>	Hermsdorf	Nanomaterial
<b>SIOS Meßtechnik GmbH</b>	Ilmenau	Nanomess- und Positioniersysteme
<b>Supracon AG</b>	Jena	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten, Ultrapräzisionsbearbeitung
<b>SurA Chemicals GmbH</b>	Jena	Nanoschichten
<b>SURA Instruments GmbH</b>	Jena	Nanomaterial, Ultrapräzisionsbearbeitung
<b>TETRA - Gesellschaft für Sensorik, Robotik und Automation mbH</b>	Ilmenau	Nanomess- und Positioniersysteme, Nanosensorik, Nanooptik
<b>UST Umweltsensortechnik GmbH</b>	Geschwenda	Nanoschichten
<b>VIA electronic GmbH</b>	Hermsdorf	Nanomaterial
<b>Vistec Electron Beam GmbH</b>	Jena	Nanostrukturtechnik, Nanoschichten, Ultrapräzisionsbearbeitung
<b>VitraBio GmbH</b>	Steinach	Nanomaterial
<b>X-FAB</b>	Erfurt	Nanoanalytik

## Quellen

- [BMBF06]** Bundesministerium für Bildung und Forschung, Nano-Initiative – Aktionsplan 2010; [http://www.bmbf.de/pub/nano\\_initiative\\_aktionsplan\\_2010.pdf](http://www.bmbf.de/pub/nano_initiative_aktionsplan_2010.pdf)
- [BR07]** Bundesregierung Deutschland; Innovationsstrategien, 2007: <http://www.ideen-zuenden.de/de/236.php>
- [COB]** COMMERZBANK, Zentraler Stab Risikocontrolling, branchen-spezial Nanotechnologie, Frankfurt am Main, 2007
- [Kö07]** Königsee Implantate und Instrumente zur Osteosynthese GmbH, Firmeninformationen, <http://www.koenigsee-implantate.de/>, Juni 2007
- [IB07]** IBU-tec GmbH & Co. KG, Firmeninformationen, <http://www.ibu-tec.de>, Juni 2007
- LEG Thüringen mbH**, Firmendatenbank des Branchen-Informationsdienstes (BID), Erfurt, 2007
- [LWB07]** Leuchtstoffwerk Breitung GmbH, Firmeninformationen, <http://www.leuchtstoffwerk.com/>, Juni 2007
- [ITAS04]** BMBF, Referat „Strategie, Planung und Forschungs koordinierung“ Innovations- und Technikanalyse zur Nanotechnologie, 2004; <http://www.itas.fzk.de/tatup/042/diet04a.htm>
- [PRO06]** I. Fackler; Produktion – Problem und Lösung, 06/2006: Können neue Werkstoffe die Energieprobleme dieses Jahrhunderts lösen? Sowohl wachsender Energiebedarf als auch CO<sub>2</sub>-Emissionen machen Energie teuer. <http://www.produktion.de/article/a66a1a4b8d6.html>
- [HITK07]** TU Dresden; Prüfung einer Prototypanlage zur Nanofiltration von Grundwasser; [http://www.tu-dresden.de/fghhisi/src/index.php?id=903&language=de&session\\_id=none&sortby=1](http://www.tu-dresden.de/fghhisi/src/index.php?id=903&language=de&session_id=none&sortby=1)
- [HITK05]** <http://www.thueringen.de/imperia/md/content/tmwta/publikationen/technologie/wirtschaftsnaheforschung2005.pdf>
- [IOF07]** [http://www.iof.fraunhofer.de/departments/micro-optics/advanced-microoptics/index\\_d.html](http://www.iof.fraunhofer.de/departments/micro-optics/advanced-microoptics/index_d.html)
- [BBC06]** BCC Research, Market Research Report NAN031B "Nanotechnology: A Realistic Market Assessment; ISBN 1-59623-205-6; July 2006
- [Mit07]** THÜRINGEN innovativ GmbH, Realisierung Plattform Thüringer Materialakteure; 2007 <http://www.thueringen-innovativ.de>, Juni 2007
- [Mit07a]** Thesenpapier der Arbeitsgruppe Nanotechnologien der Plattform „Material innovativ Thüringen“ (MIT), Erfurt, Januar 2007
- [SFB622]** TU Ilmenau, Sonderforschungsbereich 622, <http://www4.tu-ilmenau.de/sfb622/VORSTELL/einfuehrung.htm>

Die Kartendarstellungen wurden mit Hilfe des Geografischen Informationssystems RegioGraph der GfK MACON AG Waghäusel erstellt.

## Impressum

Alle Angaben nach bestem Wissen, jedoch ohne Gewähr für Vollständigkeit und Richtigkeit.

Rückfragen oder Anregungen an:

LEG Thüringen mbH  
Abteilung Akquisition, Technologie und internationale Kontakte  
Mainzerhofstr. 12  
99084 Erfurt

Dr. oec. Ralf Zeißig  
**ralf.zeissig@leg-thueringen.de**

(Allgemeine Fragen, Firmendaten)

Herr Dr. rer. nat. habil. Wolfgang Seeber/Herr Dr.-Ing. Frank Lindemann  
**w.seeber@leg-thueringen.de/ f.lindemann@leg-thueringen.de**

(Nanotechnologien, Forschung/Applikationen)

Nachdruck nur mit Quellenangabe gestattet. Beleg erbeten.