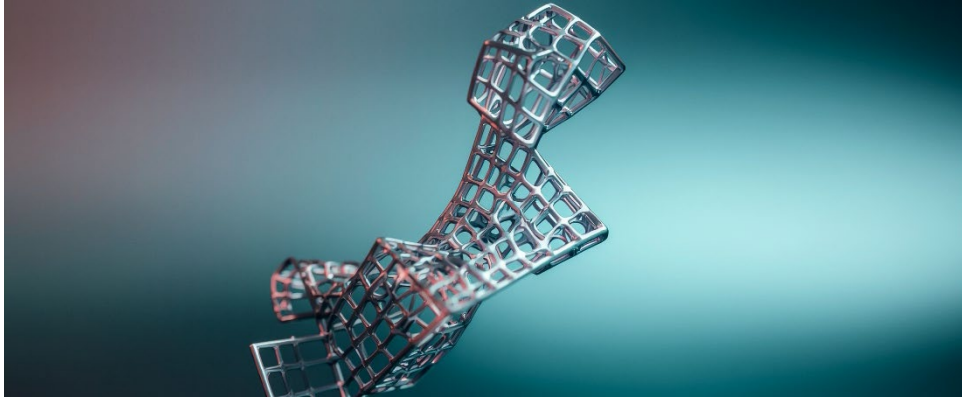




© KI generiertes Bild, erstellt mit Adobe Firefly

Technologie Factsheet

August 2026

Seite 1 | 3

4D-Druck

Additive Fertigung wird adaptiv

1. Definition und Beschreibung

4D-Druck erweitert den klassischen 3D-Druck um die Fähigkeit gedruckter Bauteile, ihre Form, mechanischen Eigenschaften oder Funktion nach der Herstellung als Reaktion auf äußere Reize gezielt zu verändern. Die adaptive Funktion ist dabei bereits in der Materialstruktur und Konstruktion des Bauteils programmiert.

2. Entwicklungsziele

- Integration adaptiver Funktionen direkt in das Material
- Einsatz smarter Werkstoffe wie Formgedächtnispolymere, Flüssigkristall-Elastomere und Hydrogele
- Multimaterial- und architekturgetriebene Designs (Origami-, Kirigami- und auxetische Strukturen)
- Lokale Programmierung unterschiedlicher Materialeigenschaften während des Druckprozesses
- Zunehmender Einsatz künstlicher Intelligenz für Materialdesign und Prozessoptimierung

3. Nutzen, Anwendungen und Branchen

Hauptnutzen:

- Adaptive und selbstverändernde Bauteile
- Reduzierung mechanischer Komponenten und Aktoren
- Höhere Funktionsintegration und Ressourceneffizienz

- Potenzial für selbstheilende und rekonfigurierbare Systeme

Mögliche Beispielanwendungen:

- Selbstentfaltende Stents und implantierbare Medizintechnik
- Stimulus-responsive Wirkstofftransportsysteme
- Entfaltbare Raumfahrtstrukturen und adaptive Satellitenkomponenten
- Soft-Robotik und intelligente Greifsysteme
- Smarte Textilien
- Klimaadaptive Fassaden und selbstassemblierende Bauelemente
- Flexible Sensoren sowie Energiespeicher
- Branchen: Medizintechnik, Luft- und Raumfahrt, Materialwissenschaft, Bauwesen

Technologie Factsheet

August 2026

Seite 2 | 3

4. Wesentliche Forschungsfortschritte

- Fortschritte bei Formgedächtnispolymeren, Flüssigkristall-Elastomeren und Multimaterialsystemen
- Kombination von Materialchemie und intelligenter Strukturarchitektur
- Entwicklung komplexer reversibler und mehrstufiger Formänderungen
- Ferngesteuerte Aktivierung durch Licht, Magnetfelder oder Wärme
- KI-gestützte Materialentwicklung und prädiktive Simulation

5. Reifegrad

Technologiereife: Abhängig vom Anwendungsgebiet liegt das Technology Readiness Level (TRL) derzeit zwischen 3 (Proof-of-Concept) und 6 (Prototyp in relevanter Umgebung).

Marktreife: Funktionsfähige Demonstratoren insbesondere in Biomedizin und Materialwissenschaft; eine breite industrielle Nutzung steht noch aus.

Zeithorizont für breitere Anwendung: 5–15 Jahre, abhängig von Materialentwicklung, Standardisierung und Skalierbarkeit.

6. Fazit

Der 4D-Druck **entwickelt die additive Fertigung zu einer adaptiven Produktionstechnologie** weiter. Durch intelligente Materialien und programmierbare Strukturen entstehen Bauteile, die sich selbstständig an veränderte Bedingungen anpassen können. Trotz bestehender Herausforderungen bei Materialeigenschaften, Standardisierung und industrieller Skalierung besitzt die Technologie erhebliches Potenzial für ressourceneffiziente, multifunktionale Produkte. Unternehmen, die früh Kompetenzen in smarten Werkstoffen, Multimaterialdesign und Prozessintegration aufbauen, können sich langfristig Wettbewerbsvorteile in einem zukünftigen Schlüsseltechnologiefeld sichern.

Corporate Technology Foresight

Die zentrale Forschungsfrage der Gruppe »Corporate Technology Foresight« lautet: Wie lassen sich technologische Entwicklungen frühzeitig identifizieren, fundiert bewerten und so aufbereiten, dass Unternehmen daraus belastbare strategische Handlungsoptionen ableiten können?

Methodisch stützt sich die Forschungsgruppe auf ein breites Portfolio aus der Zukunfts- und Innovationsforschung. Diese Methoden machen Technologieentwicklungen in Forschung und Markt systematisch sichtbar und binden explizit auch unternehmensrelevante Umfeldfaktoren ein

Technologie Factsheet

August 2026

Seite 3 | 3

Das Fraunhofer FKIE entwickelt Technologien und Prozesse mit dem Ziel, existenzbedrohende Risiken frühzeitig zu erkennen, zu minimieren und beherrschbar zu machen. Daran arbeiten insgesamt elf Forschungsabteilungen an Standorten in Wachtberg, Bonn, Euskirchen, Leipzig und Aachen, die über unterschiedliche, sich ergänzende Kernkompetenzen verfügen und so systemische Lösungen liefern können. Das Institut deckt dabei sämtliche Domänen der gesamtstaatlichen Verteidigung und Sicherheit ab – sei es zu Land, in der Luft, zur See, unter Wasser, im Cyberspace oder im Weltall.

Kontakt

Ansprechpersonen

Dr. Anna Schulte-Loosen

Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE

Forschungsgruppenleiterin

[E-Mail senden](#)

Dr. Diana Freudendahl

Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE

Forschungsgruppenleiterin

[E-Mail senden](#)

Dr. Margret Weißbach

Fraunhofer-Institut für Kommunikation, Informationsverarbeitung und Ergonomie FKIE

Autorin

[E-Mail senden](#)

www.fkie.fraunhofer.de

