

## INDUSTRIE 4.0 – VERNETZTE, ADAPTIVE PRODUKTION

Unser Partner



# INHALT

Das Fraunhofer IPT hat zahlreiche Aspekte der vernetzten, adaptiven Produktion bereits in seinen Forschungs- und Entwicklungsprojekten mit Partnern aus verschiedenen Branchen umgesetzt. Einen Überblick über einige Erfolgsbeispiele stellt diese Broschüre auf den folgenden Seiten vor. Das Fraunhofer IPT berät und unterstützt Sie zu diesen Themen:

## Vernetzung von Technologie- und Prozesswissen

Seite

- Smart Glasses in der Produktion 7
- Datendurchgängigkeit in der CAx-Prozesskette 9
- Maschine-zu-Maschine-Kommunikation 11
- Big Data: Große Datenmengen effizient verarbeiten 13
- Zukunftstechnologien für die Industrie 4.0 15

## Online-/Offline-Adaptivität von Prozessen und Prozessketten

- Produktionskosten durch intelligente Steuerungs-  
algorithmen senken 17
- Flexible Produktionssysteme für die »Losgröße 1« 19
- Selbstoptimierende Produktionsprozesse 21
- Intelligente Sensorik für Werkzeugmaschinen 23

## Tiefgehendes Technologieverständnis für die Hochleistungsproduktion

- Automatisierung in komplexen Produktionsumgebungen 25
- Technologien in Grenzbereichen betreiben 27
- Produkt- und Prozessoptimierung durch Data Mining  
und Predictive Analytics 29

# DIE VIERTE INDUSTRIELLE REVOLUTION

Digitalisierung und Vernetzung der Produktion prägen die sogenannte »Vierte industrielle Revolution«. Schlagworte wie das »Internet der Dinge und Dienste« und »Cyber-physische Produktionssysteme« verheißen eine zunehmende Vernetzung autonomer und selbstoptimierender Produktionsmaschinen mit intelligenten Produkten, die hochgradig individuell gefertigt werden. Noch ist vieles davon Vision. Doch Unternehmen, deren Ziel es ist, im hart umkämpften Wettbewerb auf globalen Märkten zu bestehen, müssen sich schon heute darüber Gedanken machen, welche Rolle sie in der »Industrie 4.0« morgen spielen wollen.

Die Industrie 4.0 erfordert eine ganzheitliche Betrachtung von Produktionssystemen mit allen Prozessketten innerhalb der Produktentstehung. Unter dem Leitgedanken »Vernetzte, adaptive Produktion« entwickelt das Fraunhofer IPT Fertigungsverfahren, die dazugehörigen Produktionsanlagen sowie die entsprechende Messtechnik und vernetzt sämtliche Systembestandteile miteinander.

Mit seinen langjährigen Erfahrungen in den Produktionstechnologien bietet das Fraunhofer IPT Unternehmen eine solide Grundlage für die Digitalisierung von Produktionsprozessen, Maschinen und Anlagen. Ergänzt wird die technologische Expertise um neue Methoden der Produktionsorganisation und der Gestaltung industrieller Softwaresysteme. Das Portfolio des Fraunhofer IPT reicht von der Bewertung und Auslegung von Technologien und Prozessketten über Planungs- und Steuerungskonzepte bis hin zu Regelkreisen der Qualitätsabsicherung.

Produktivität und Effizienz produzierender Unternehmen im internationalen Wettbewerb zu verbessern ist das erklärte Ziel des Fraunhofer IPT. Mit unserer Expertise liefern wir Antworten auf viele drängende Fragen, die sich im Umfeld der Industrie 4.0 in naher Zukunft eröffnen werden.

# INDUSTRIE 4.0



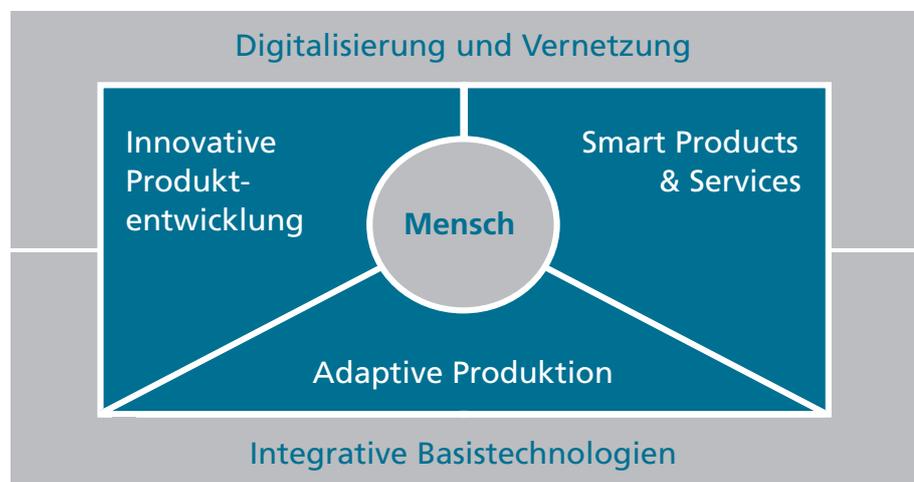
# VERNETZTE, ADAPTIVE PRODUKTION

Vernetzung und Adaptivität in der Produktion bilden eine wichtige Grundlage für die Industrie 4.0. Adaptivität steht hier gleichbedeutend für eine neue Form der Flexibilität von Fertigungsprozessen und Prozessketten, die sich selbstständig anpassen und optimieren. Der Herausforderung, einzelne Schritte wie auch den gesamten Fertigungsablauf virtuell und simulationsgestützt zu planen und anschließend in Maschinen, Anlagen und Softwaresystemen umzusetzen, widmet sich das Fraunhofer IPT in seinen Forschungs- und Entwicklungsprojekten.

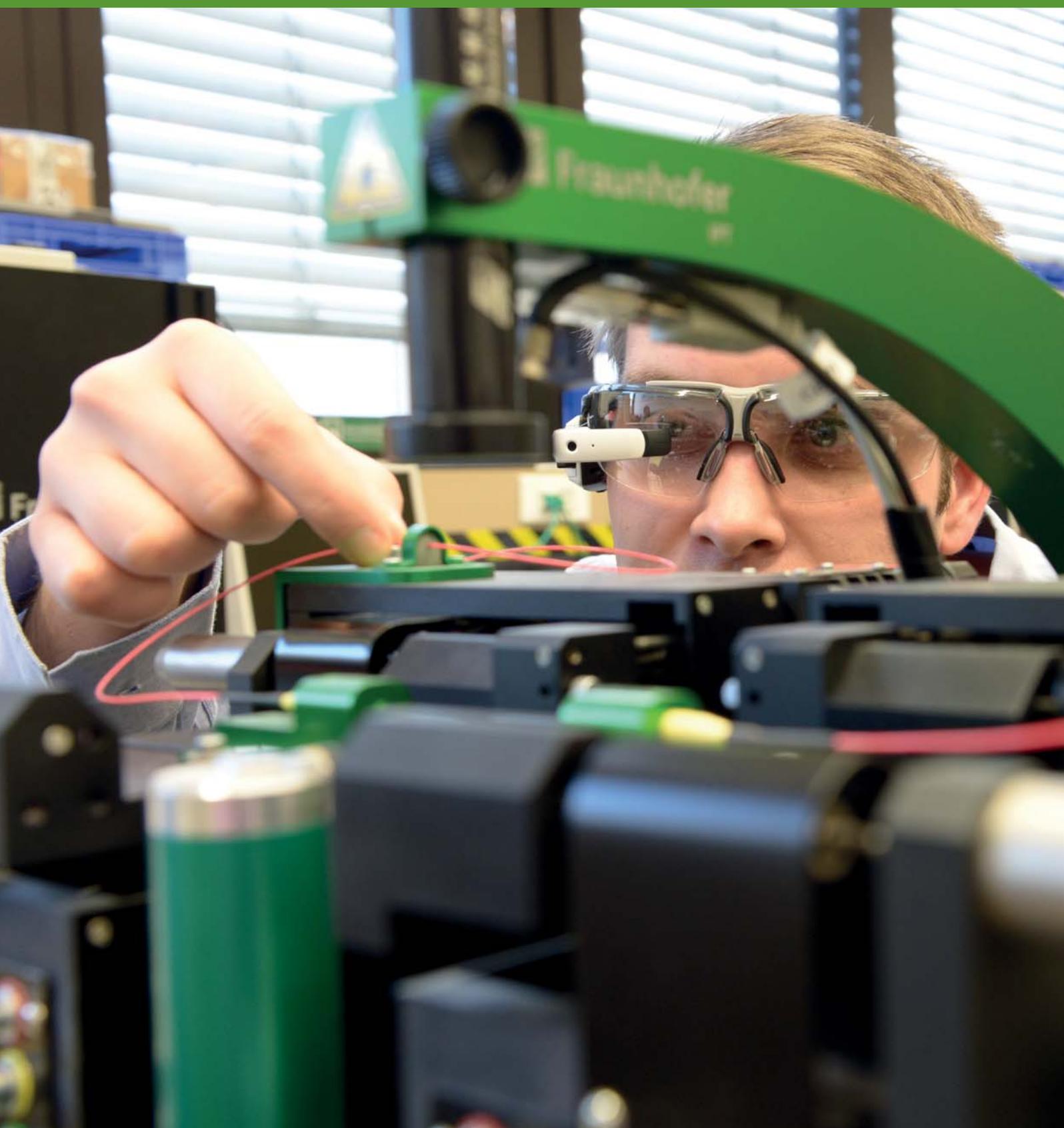
Den Ausgangspunkt dafür bieten die Vernetzung der Anlagen und Softwaresysteme, intelligente Regelungssysteme und Sensorik, mit der sich Technologie- und Prozessinformationen durchgängig erfassen und bereitstellen lassen.

Die erforderliche IT-Infrastruktur, zum Beispiel industrielle Cloud-Konzepte für Smart Services, mit denen wir solche großen Datenmengen auswerten und effizient nutzen können, erschließen wir allein oder gemeinsam mit unseren Kooperationspartnern, etwa aus dem Fraunhofer-Netzwerk und an der RWTH Aachen.

So machen wir aus den Produktionssystemen unserer Kunden hochflexible, vernetzte und anpassungsfähige Einheiten – ganz im Sinne der Industrie 4.0.



# VERNETZUNG VON TECHNOLOGIE- UND PROZESSWISSEN



# SMART GLASSES IN DER PRODUKTION

Während sich Smart Devices wie Tablets und Smartphones im Alltag längst etabliert haben, finden sich diese Technologien im industriellen Umfeld immer noch nicht im gleichen Maße wieder. Und das, obwohl sie vielversprechendes Potenzial für die Qualität, die Produktivität und die Transparenz von Prozessen bieten: So könnten sie beispielsweise Mitarbeiter viel besser als bisher mit Produktionsplanungs- und Qualitätssystemen vernetzen und in ihren Tätigkeiten unterstützen. Die Vision von der fehlerfreien Produktion rückt damit wieder ein Stück näher.

Vor allem sogenannte »Smart Glasses« lassen sich in vielen Fertigungsprozessen einsetzen: Mit ihnen können Mitarbeitern wichtige Informationen unmittelbar am Ort der Wertschöpfung und in Echtzeit bereitgestellt werden, um Durchlaufzeiten und Fehlerraten zu verringern. Auch versetzt die Datenbrille den einzelnen Mitarbeiter in die Lage, Informationen über den Prozess im Sinne einer kontinuierlichen Verbesserung weiterzugeben.

Die bisherigen Erfahrungen zeigen, dass sich Fehlerraten durch den Einsatz von Smart Glasses – je nach Anwendungsfall – um mehr als 50 Prozent senken und Durchlaufzeiten um etwa ein Drittel verkürzen lassen.

Unsere Smart-Glasses-Lösung »oculavis« besteht aus einer App, der Datenbrille selbst und einer webbasierten Umgebung für die Modellierung des Anwendungsszenarios.

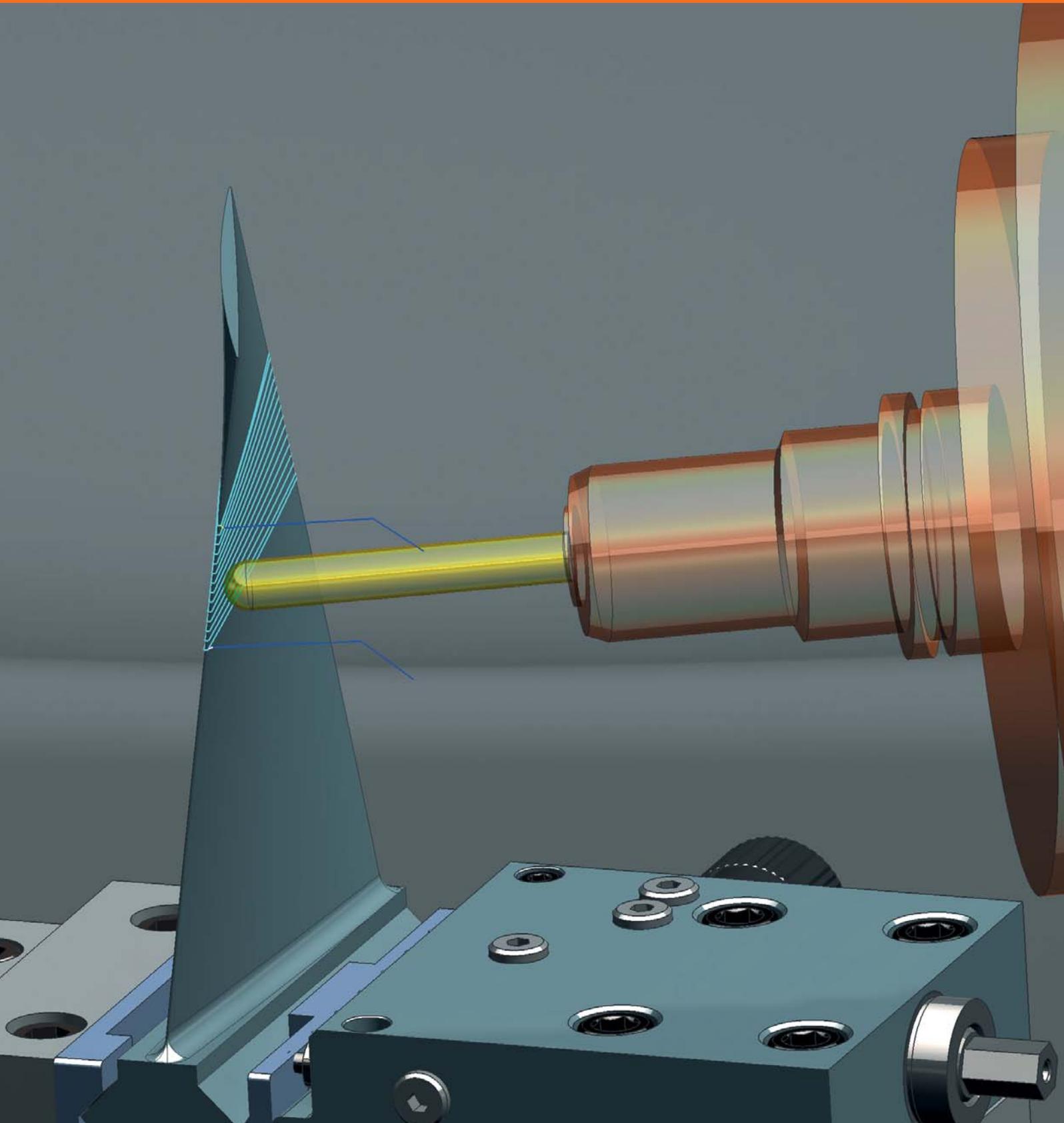
Im Sichtfeld der Brille können die Abläufe detailliert dargestellt und mit Zusatzinformationen wie Bildern, Audio- und Videodaten oder 3D-Modellen angereichert werden. Auf diese Weise lässt sich die Qualität manueller Prozesse deutlich verbessern.

Prozessvarianten werden durch die Software automatisch generiert und können konkreten Aufträgen, etwa anhand von QR-Codes oder NFC-Tags, zugeordnet werden. Darüber hinaus bietet das System die Möglichkeit, Kontext-Informationen wie Zeiten, Fehlerberichte oder Verbesserungsvorschläge zu analysieren, um dann Maßnahmen abzuleiten, die den Prozess verbessern.

»oculavis« haben wir bereits in manuellen Montageprozessen zum Aufbau von Schaltschränken getestet und damit gezeigt, dass sich die Fehlerrate in den Testdurchläufen deutlich reduzieren kann. Das System unterstützt den Monteur und stellt die erforderlichen Informationen individuell und »on-demand« bereit – von Abbildungen der Komponenten-Lagerorte bis hin zu Videos mit Montageanleitungen. Durch eine Anbindung an das Maschinen-Kommunikationsprotokoll OPC Unified Architecture erhält der Anwender bei Bedarf Einblick in umfassende Maschinendaten und Statusinformationen und kann Rückfragen in der Produktion mit der integrierten Videotelefonie schnell klären.

**SCHNELLER UND EFFIZIENTER MIT  
DER DATENBRILLE**

# VERNETZUNG VON TECHNOLOGIE- UND PROZESSWISSEN



# DATENDURCHGÄNGIGKEIT IN DER CAX-PROZESSKETTE

Die computerunterstützte Planung und Auslegung von Fertigungsprozessketten ist im Zeitalter von Industrie 4.0 fast nicht mehr wegzudenken. »CAX« – die komplette Palette computergestützter Planung, Entwicklung, Gestaltung, Fertigung und Qualitätssicherung – hat gerade in der jüngsten Vergangenheit enorm an Flexibilität gewonnen. Ganz im Sinne der »Mass Customization« müssen sich Fertigungsprozessketten dynamisch an Eingaben und Störgrößen anpassen, um das erwünschte Ergebnis zu erzielen. Die wichtigste Voraussetzung für eine durchgehende CAX-gestützte Fertigung in flexiblen Prozessketten ist Datenkonsistenz.

Muss sich beispielsweise eine Reparaturprozesskette individuell an den Schadensfall eines Bauteils anpassen, gelangt die traditionelle CAX-gestützte Programmierung jedoch rasch an ihre Grenzen: Eine manuelle Anpassung der oftmals aufeinander aufbauenden Reparaturprozesse an die jeweiligen Produkte, Schadensfälle und Störgrößen ist aufwändig und die Entwicklung von Spezialsoftware für bestimmte Produkte oder Produktfamilien sprengt schnell den finanziellen Rahmen.

Zur Reparatur komplexer Turbomaschinenkomponenten, die unter anderem in Flugzeugtriebwerken oder Gasturbinen zur Energieerzeugung zum Einsatz kommen, bieten sich additive Verfahren wie das Laserauftragschweißen an. Dafür werden zunächst die verschlissenen und defekten Bereiche der Turbinenschaufeln abgetragen und dann entsprechend der ursprünglichen Sollgeometrie wieder neu aufgebaut. Im Innovationscluster »Adaptive Produktion für Ressourceneffizienz in

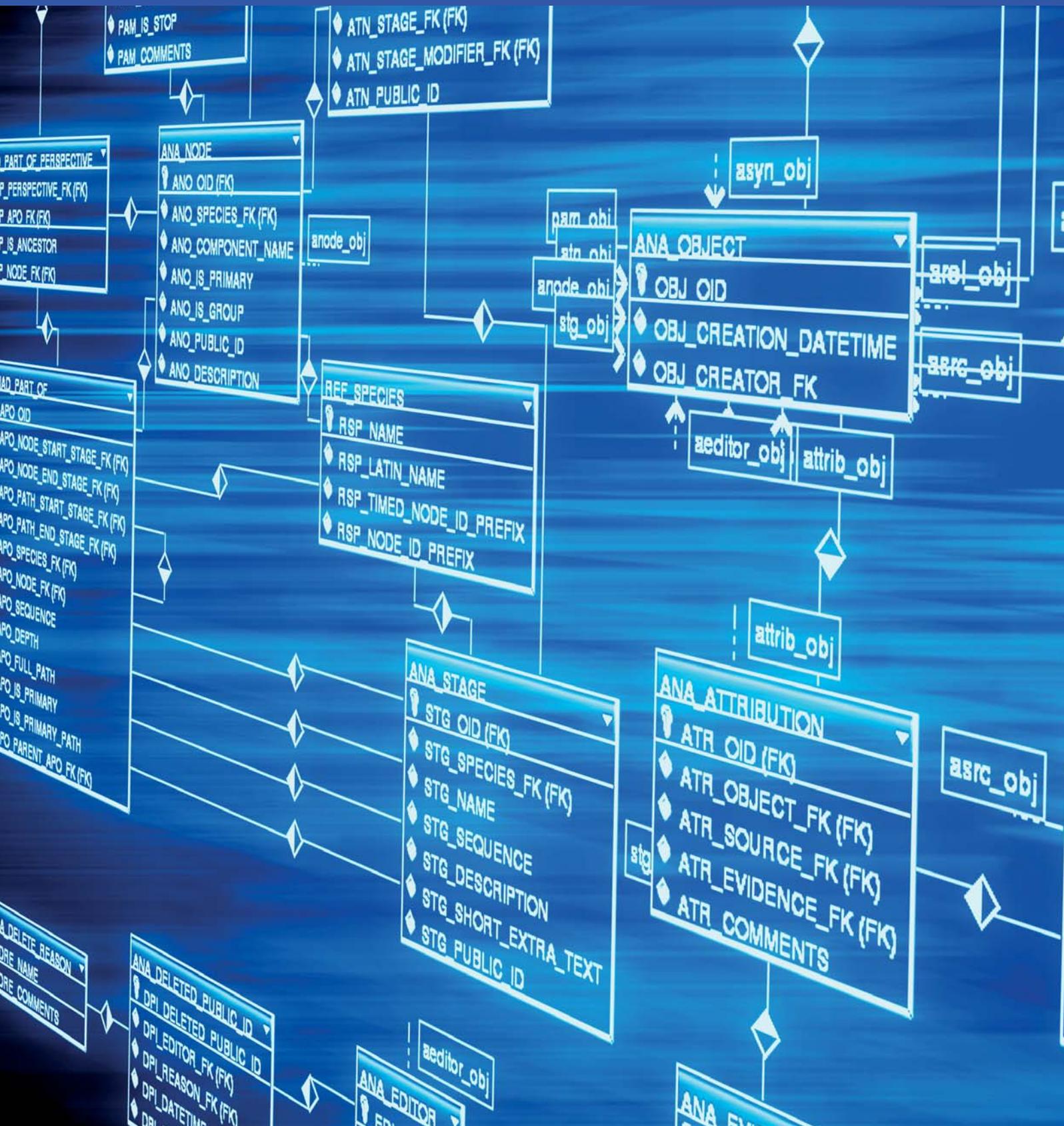
Energie und Mobilität – AdaM«, einem Projekt mit mehr als 20 Partnern, hat das Fraunhofer IPT die Voraussetzungen für eine adaptive Bearbeitung dieser hochkomplexen Bauteile geschaffen und eine durchgängige Bauteil- und Prozessdatenkette für die adaptive Bearbeitung erarbeitet.

In einem Produktdatenmodell wurde dafür zunächst ein digitales Abbild des realen Bauteils erstellt, das alle zusätzlich erforderlichen Fertigungsinformationen enthält. Anhand dieser Daten lässt sich der Fertigungsprozess in einem virtuellen Modell bereits am Arbeitsplatz simulieren, um Informationen über die Eingriffsbedingungen des Fräswerkzeugs zu gewinnen. Das verkürzt die Ramp-up-Dauer und verringert den Aufwand für kostspielige Vorversuche am realen Bauteil.

Das Fraunhofer IPT nutzt für die Planung und Simulation ein eigens im Institut entwickeltes »CAX-Framework«, das mit den entsprechenden Softwaremodulen unterschiedliche Fertigungsprozesse zu durchgängigen computerunterstützten Prozessketten verknüpft. Die workflowbasierte Programmierung bietet dem Anwender eine flexible und benutzerfreundliche Gestaltung der Prozesskette. Ausgehend von dem CAX-Framework können zum Beispiel die Prozesse »Laserauftragschweißen« und »Fräsen« zu einer durchgängigen CAX-Prozesskette verbunden und die Konsistenz der Daten während der gesamten Produktlebensdauer sichergestellt werden. Die Daten werden den verantwortlichen Mitarbeitern anhand eines Product-Lifecycle-Management-Systems (PLM) zur Verfügung gestellt.

**MIT KONSISTENTEN DATEN SCHNELLER ZUM RICHTIGEN PRODUKT**

# VERNETZUNG VON TECHNOLOGIE- UND PROZESSWISSEN



# MASCHINE-ZU-MASCHINE-KOMMUNIKATION

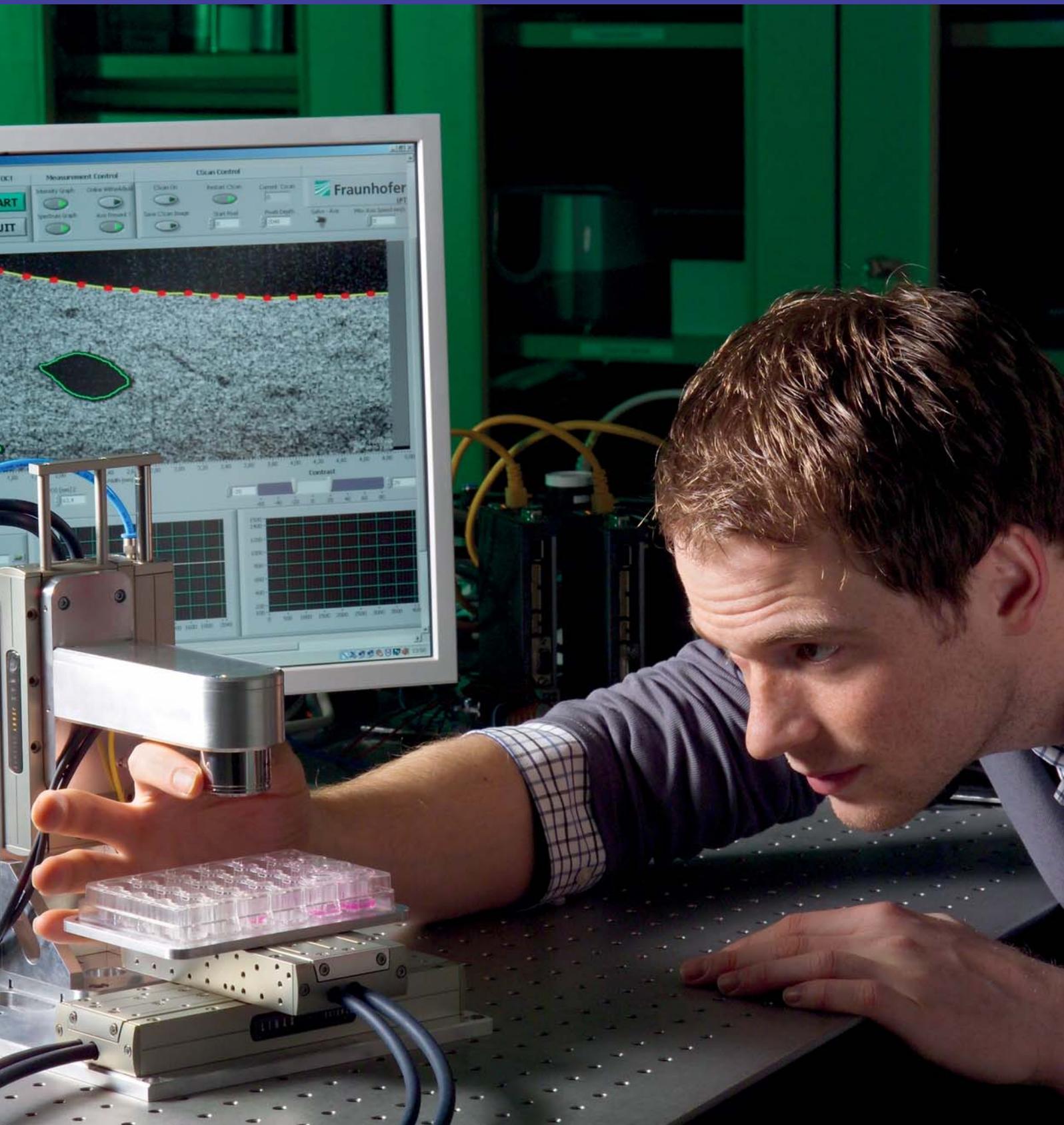
Die industrielle Fertigung erfordert auch heute häufig noch einen enormen manuellen Arbeitsaufwand: Angefangen bei der Erstellung von Maschinenprogrammen über die Parametrierung und das Einrichten von Prozessen und Zyklen bis hin zur manuellen Qualitätskontrolle. Dies verlängert Rüst- und Einrichtungszeiten immens und verlangt nach erfahrenen Maschinenbedienern, die intuitiv Informationen zwischen Prozessschritten transportieren und an Planungssysteme wie MES (Manufacturing Execution Systems) weiterleiten.

Die Verknüpfung verschiedener Prozessschritte, etwa der Vorbearbeitung mit der Bauteilvermessung, läuft bisher in den wenigsten Unternehmen automatisiert ab. Hier fehlen vielfach entsprechende Zyklen zum Datenaustausch zwischen Messsystemen und Werkzeugmaschinen sowie durchgängige Schnittstellen und einheitliche Datenformate. Um die Produktion stärker zu vernetzen und adaptiver zu gestalten, entwickelt das Fraunhofer IPT neue Lösungen für die Maschine-zu-Maschine-Kommunikation (M2M). Ziel ist der automatisierte Informationsaustausch zwischen Planungssystemen, Produktionsmaschinen und Messgeräten, ohne dass dabei ein Mensch regelnd eingreifen muss.

Konsistente Datenformate und standardisierte Schnittstellen wie die OPC Unified Architecture, ein industrielles M2M-Kommunikationsprotokoll, sichern so maschinenübergreifend eine konsequente Vernetzung entlang der gesamten Prozesskette. Die vollständig integrierten Kommunikationslösungen setzen auf industrielle Standards auf und werden durch robuste und bedienerfreundliche Steuerungslösungen für höhere Automatisierungsgrade abgerundet.

So stellte das Fraunhofer IPT beispielsweise im transregionalen Sonderforschungsbereich SFB/TR4 »Prozessketten zur Replikation komplexer Optikkomponenten« eine vollständige Datendurchgängigkeit entlang der Prozesskette für mikrostrukturierte Freiformoptiken her. Die Prozessschritte und die verschiedenen Maschinensysteme der Fertigung, Replikation und Messtechnik wurden dazu durchgängig vernetzt und mit entsprechenden Planungssystemen verbunden.

# VERNETZUNG VON TECHNOLOGIE- UND PROZESSWISSEN



# BIG DATA: GROSSE DATENMENGEN EFFIZIENT VERARBEITEN

Mit der wachsenden Verbreitung von Sensoren und der Vernetzung von Anlagen mit komplexen Softwaresystemen steigt die Datenflut in der Produktion. Schon die bloße Aufzeichnung und strukturierte Ablage solcher Datenmengen sind mit erheblichem Aufwand verbunden. An die Stelle der erhofften Transparenz treten damit zunächst oft eher chaotische Verhältnisse. Erst eine strukturierte Datenverarbeitung bietet die Voraussetzungen, um wirklich relevante Informationen zu extrahieren und Wissen zu gewinnen. Das Fraunhofer IPT erarbeitet deshalb effiziente Konzepte zur schnellen Datenverarbeitung und -auswertung und überführt diese in echtzeitfähige Anwendungen.

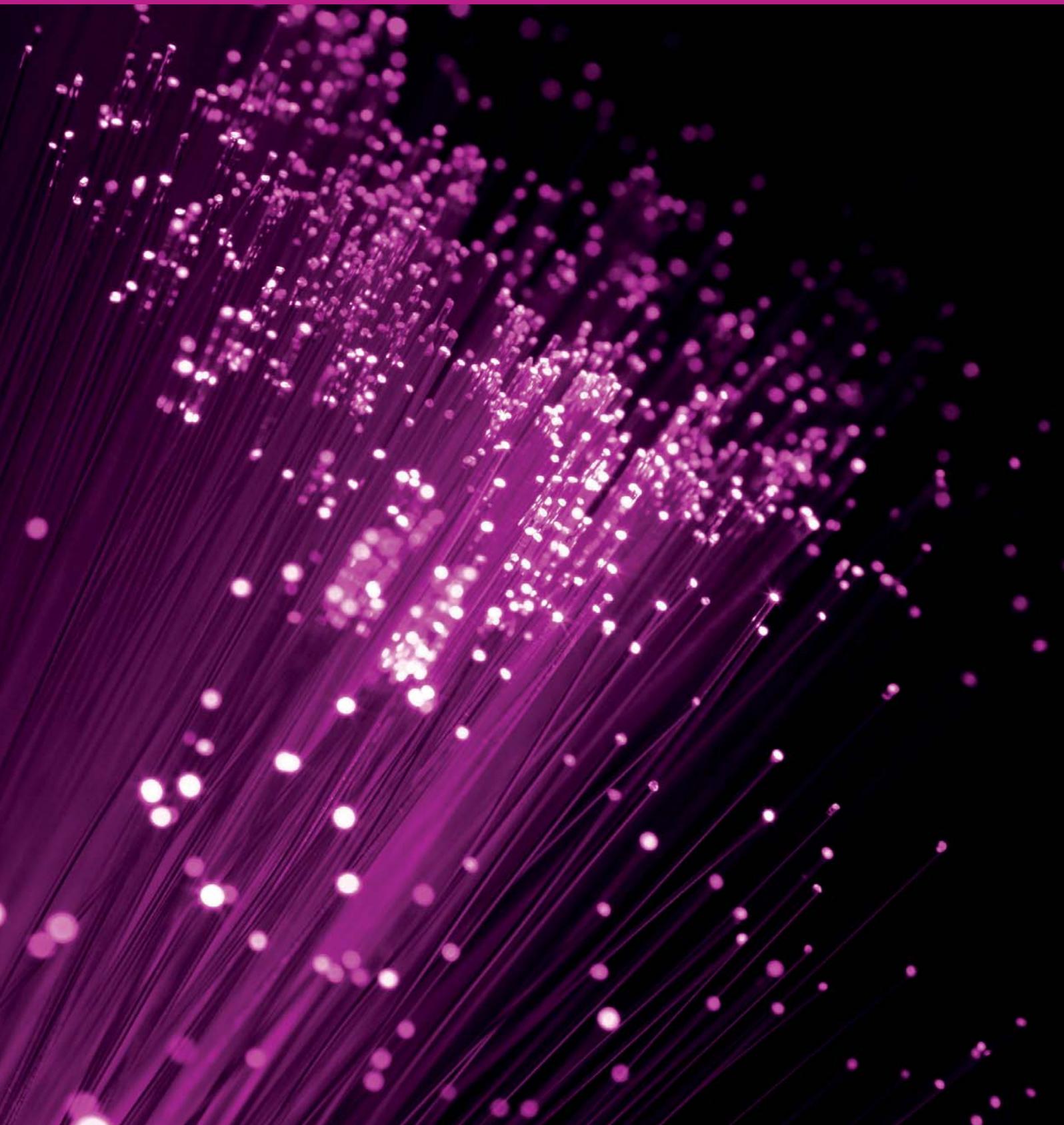
Adaptive optische Systeme für die High-Speed-Mikroskopie sind hier ein gutes Beispiel: Sie eignen sich dafür, in kurzer Zeit relevante Informationen aus umfangreichen Messdaten zu ermitteln. Zur Verarbeitung der großen Datenmengen setzt das Fraunhofer IPT auf die Parallelisierung von Rechenoperationen. Für die Auswertung der Mikroskopiedaten werden dabei die schnellen Prozessoren der Grafikkarte anstelle der Hauptprozessoren herangezogen.

Die Grafikprozessoren können eine Vielzahl von Berechnungen parallel und voneinander unabhängig durchführen. So lassen sich auch große Datenmengen, wie sie bei der Wellenfrontmesstechnik aufgezeichnet werden, in Echtzeit auswerten. Störungen in der Abbildung werden durch adaptive Optiken direkt kompensiert, indem die Abweichungen analysiert und in konkrete Aktoranweisungen umgewandelt werden. Auf diese Weise entstehen zum Beispiel Mikroskopie-Systeme, die sich selbst im laufenden Betrieb korrekt adaptieren.

Weitere Anwendungsfelder für solche umfangreichen Berechnungen sind beispielsweise die Signalverarbeitung in der optischen Kohärenztomographie (OCT) oder der sogenannte »Pyramidal View« zur Ansicht und Analyse großer Bilddaten.

MIT PARALLELEN RECHENOPERATIONEN ZUR DATENANALYSE  
NEUE INFORMATIONEN GEWINNEN

# **VERNETZUNG VON TECHNOLOGIE- UND PROZESSWISSEN**



# ZUKUNFTSTECHNOLOGIEN FÜR DIE INDUSTRIE 4.0

Vor jeder strategischen Planung steht eine systematische Sammlung und Analyse der relevanten Informationen. Dies gilt vor allem für die Einführung geeigneter Technologien, etwa für die Fertigung oder wenn Unternehmen sich intern oder extern stärker vernetzen wollen. Hier die richtige Information zum richtigen Zeitpunkt zu erkennen und aufzuspüren erfordert meist ein geschultes Auge und viel Erfahrungswissen. Vernetzte, community-basierte Vorgehensweisen können dabei von großem Nutzen sein, indem etwa Netzwerkpartner und Experten außerhalb der Organisation in die Suche nach der passenden Technologie und dem richtigen Umgang damit eingebunden werden.

Gezieltes Scanning, Scouting und Monitoring eröffnen neue Handlungsperspektiven, die Unternehmen vor bösen Überraschungen durch konkurrierende Technologien oder Marktteilnehmer schützen können. Risiken durch Substitutionstechnologien oder Chancen, die sich durch wachsende technologische Reifegrade, günstigere Preise oder geringere

Kosten ergeben können, lassen sich schnell und zuverlässig erkennen. Eine solche systematische Vorgehensweise zur Identifikation passgenauer Technologien im Umfeld der Industrie 4.0 hat das Fraunhofer IPT unter anderem bereits in der Transport- und Medizintechnikbranche angewendet: Hier konnten konkrete Geschäftspotenziale einer digitalisierten Produktion für die entsprechenden Unternehmen abgeleitet werden.

Im sogenannten »Industrie-4.0-Audit« bewertet das Fraunhofer IPT den Status quo der Produktion und der zugehörigen Wertschöpfungsstrukturen im Unternehmen mit Blick auf Industrie-4.0-Prinzipien wie Digitalisierung, Vernetzung oder Flexibilität. Unnötiger Verbrauch wertvoller Ressourcen wird dabei ebenso aufgedeckt wie dessen Ursachen. Mit einer systematischen Vorgehensweise zur Identifikation geeigneter Technologien werden bereits während des Audits geeignete Lösungskonzepte abgeleitet, mit denen sich die Produktion adaptiv steuern, optimal vernetzen und dadurch effizienter gestalten lässt.

**GEMEINSAM PASSENDE TECHNOLOGIEN FÜR UNTERNEHMEN  
IN TURBULENTEN MÄRKTEN AUFSPÜREN**

# ONLINE-/OFFLINE-ADAPTIVITÄT VON PROZESSEN UND PROZESSKETTEN



# PRODUKTIONSKOSTEN DURCH INTELLIGENTE STEUERUNGsalgorithmen SENKEN

Eine wachsende Variantenvielfalt oder neue Versorgungskonzepte aus der Energiewirtschaft erfordern es, eine Vielzahl an Informationen schnell und manchmal sogar weltweit bereitzustellen. Klassische Zielkriterien der Produktionsplanung wie Auslastung oder Durchlaufzeiten werden im Zeitalter von Industrie 4.0 um weitere Informationen, etwa zu Zeitrissen oder Energieverbräuchen, ergänzt. Neue Produktionsplanungs- und Regelungskonzepte, die diese Daten berücksichtigen, können spürbar dazu beitragen, die Produktionskosten zu senken.

Das Fraunhofer IPT entwickelt Konzepte, die es erlauben, diese Zieldimensionen zu berücksichtigen. Erst durch die vollständige Verfügbarkeit der entsprechenden Produktionsdaten und die Vernetzung von ERP, Maschinen- und Betriebsdatenerfassung, Energie-Controlling und MES gewinnen Unternehmen eine bisher nie dagewesene Transparenz über ihre Produktionsanlagen und -prozesse.

So erweitert das Fraunhofer IPT beispielsweise im Forschungsprojekt »eMES« gemeinsam mit seinen Partnern die Produktionsplanung und -regelung um eine energieorientierte

Auftragsplanung. In Verbindung mit Smart Grids erlaubt diese selbst bei steigenden Energiekosten noch eine flexible energie- und kosteneffiziente Planung.

Um etwa auf Lastspitzen adäquat reagieren zu können, sind kurze Reaktionszeiten und Regelkreise erforderlich. Betriebs- und Maschinendaten, produktbezogene Stammdaten und maschinenseitige Energiedaten müssen dafür – möglichst in Echtzeit – zur Verfügung stehen. Zu diesem Zweck werden ERP- und maschinennahe Energiemesssysteme mit dem zentralen MES verknüpft und entsprechende Schnittstellen ausgearbeitet. So entsteht Transparenz über den aktuellen Produktionsfortschritt, Kapazitäten und Energieverbrauch. Durch die synchronisierte Kommunikation mit den Energieversorgern können Unternehmen dann kurzfristig Chancen und Risiken direkter Lastmanagement-Eingriffe erkennen und für sich nutzen.

**ENERGIEKOSTEN UND ZEITRISIKEN ALS NEUE ZIELGRÖSSEN DER PRODUKTIONSPLANUNG BERÜCKSICHTIGEN**

# ONLINE-/OFFLINE-ADAPTIVITÄT VON PROZESSEN UND PROZESSKETTEN



# FLEXIBLE PRODUKTIONSSYSTEME FÜR DIE »LOSGRÖSSE 1«

Die Individualisierung von Produkten liegt nicht nur bei Konsumgütern stark im Trend. Personalisierte Produkte gewinnen auch in der modernen Medizin immer mehr an Bedeutung: Die individualisierte Medizin stellt den Patienten in den Mittelpunkt und bietet ihm genau angepasste, aber oft auch komplexe und fast immer entsprechend hochpreisige Medizinprodukte wie Zahnersatz, Exoprothesen oder Osteosynthese-Material. Die wirtschaftliche Herstellung hochindividualisierter Produkte, also »Losgröße 1«, ist daher gerade in der Medizintechnik ein wichtiges Ziel. Die zentrale Herausforderung für die Produktion ist es hier, die industrielle und gleichzeitig kostengünstige Fertigung solcher individuellen Produkte zu ermöglichen.

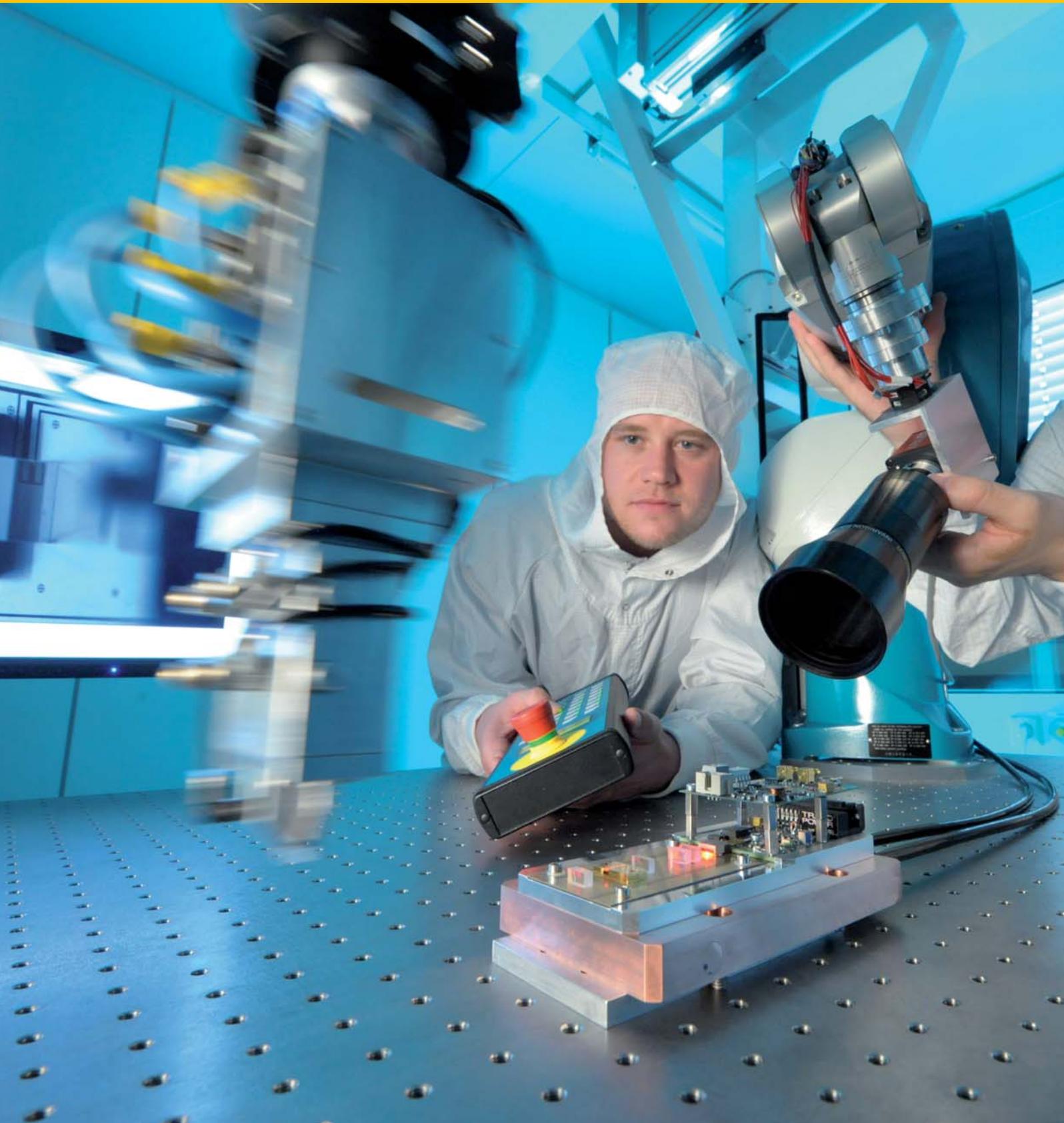
Das Fraunhofer IPT arbeitet an Produktionssystemen, die in Zukunft selbst medizinische Einwegartikel in personalisierter Form kostengünstig und effizient herstellen können. So entwickelt das Fraunhofer IPT beispielsweise im öffentlich geförderten EU-Projekt »OPENMIND« gemeinsam mit acht Projektpartnern ein Produktionssystem, das eine bedarfs-gesteuerte Herstellung individualisierter Führungsdrähte aus Faserverbundkunststoffen (FVK) ermöglicht. Solche Führungsdrähte kommen bei minimalinvasiven Eingriffen zum Einsatz, wenn Katheter zur Diagnose oder Therapie in Blutgefäßen

positioniert werden. Die neuen Führungsdrähte aus FVK können dabei im Gegensatz zu metallischen Drähten auch im Magnetresonanztomografen genutzt werden und eignen sich deshalb auch für strahlungsempfindliche Personen wie Babys oder schwangere Patientinnen. Ziel im Projekt OPENMIND ist es nun, die Lücke zwischen kostengünstiger Massenfertigung und individuell angepasster Einzelfertigung, etwa in Bezug auf besondere mechanische Eigenschaften der Drähte, zu schließen.

Um dieses Ziel zu erreichen, werden bisher getrennte Bearbeitungsschritte nun verkettet und in einem automatisierten Endlosprozess zusammengefasst. Dies steht keineswegs im Widerspruch zu den hohen Qualitätsanforderungen, denn alle relevanten Systemkomponenten arbeiten untereinander vernetzt und sämtliche Prozess- und Produktparameter werden in einer zentralen Datenbank abgelegt.

Auf Grundlage des Prozessmodells und historischer Datensätze werden mit Data Mining Prozessparametersätze für bekannte Produktkonfigurationen laufend optimiert und für neue Produktkonfigurationen abgeleitet. So gelingt eine am akuten Bedarf ausgerichtete adaptive und kostengünstige Produktion bis hin zur »Losgröße 1«.

# ONLINE-/OFFLINE-ADAPTIVITÄT VON PROZESSEN UND PROZESSKETTEN



# SELBSTOPTIMIERENDE PRODUKTIONS- PROZESSE

Selbstoptimierung ist ein zentrales Steuerungsprinzip adaptiver Systeme: Die klassische Prozessregelung wird um autonome Systeme ergänzt, die sich und ihre Zielgrößen selbstständig immer wieder an die aktuellen Gegebenheiten anpassen – bis hin zum Einsatz künstlicher Intelligenz. Echtzeit-Informationen, die laufend in den Prozess zurückgeführt werden, gewährleisten robuste und gleichzeitig flexible Produktionssysteme, selbst in hochdynamischen Fertigungsumgebungen.

Ein Anwendungsfeld, in dem das Fraunhofer IPT selbstoptimierende Systeme entwickelt und erprobt, ist der Exzellenzcluster »Integrative Produktionstechnik für Hochlohnländer«. Hier untersucht das Fraunhofer IPT gemeinsam mit Instituten und Einrichtungen der RWTH Aachen neue Wege, das Einsatz- und Leistungsspektrum geschlossener Regelschleifen durch Prinzipien der künstlichen Intelligenz deutlich zu erweitern. Übergeordnetes Ziel ist es, Maschinen und Anlagen autonomer und intelligenter zu gestalten, um sie flexibler und robuster gegenüber Störeinflüssen zu machen. Die Fähigkeit zur Selbstoptimierung bildet hier die Grundlage für eine reaktionsfähige Automatisierung.

Ein klassisches Einsatzgebiet für die entsprechenden Systeme ist die automatisierte Montage und Justage optischer Komponenten für leistungsfähige Lasersysteme: Dabei ist die hochgenaue Ausrichtung der optischen Komponenten ein entscheidendes Qualitätskriterium. Hier gilt es, höchste Anforderungen an Fertigungs- und Prozesstoleranzen zu

erfüllen. Selbstoptimierende Montagesysteme können dieser Herausforderung begegnen, indem sie Sensordaten anhand von Modellen interpretieren. Dazu ziehen diese Systeme die optischen Eigenschaften wie das Strahlprofil, die optische Leistung oder die Abbildungsqualität heran, werten diese aus und nutzen die Ergebnisse in einer geschlossenen Regelschleife zur Positionskorrektur einzelner Optiken. Das selbstoptimierende System minimiert also nicht nur die Toleranzen der Fertigung, sondern zieht zur Regelung des Montageprozesses die konkrete Funktion des Systems heran. So gelingt es, die Planungsaufwände für komplexe Montageprozesse innerhalb eines dennoch robusten Produktionssystems stark zu vereinfachen.

Gemeinsam mit den Forschungspartnern des Exzellenzclusters wird das Prinzip der selbstoptimierten Regelung von Produktionsprozessen auf eine Vielzahl weiterer Anwendungen übertragen – von der Montage über das Schweißen bis hin zur Optimierung von Webstühlen. Ziel der Forschungsarbeiten ist dabei stets, den Aufwand der erstmaligen Einrichtung der Prozesse deutlich zu reduzieren. Hier konnte eine bisher unerreichte Flexibilität erzielt werden – ein wichtiger Schritt in Richtung der Automation von Kleinserien und in der Herstellung von Einzelstücken. So gewinnen Fertigungsprozesse in starkem Maße an Robustheit und damit auch an Zuverlässigkeit, selbst bei schnell wechselnden Randbedingungen in einem hochflexiblen Fabrikbetrieb.

FLEXIBLE PROZESSREGELUNG FÜR  
ROBUSTE SYSTEME

# ONLINE-/OFFLINE-ADAPTIVITÄT VON PROZESSEN UND PROZESSKETTEN



# INTELLIGENTE SENSORIK FÜR WERKZEUGMASCHINEN

Die Leistungsfähigkeit von Werkzeugmaschinen beruht in starkem Maße auf hochentwickelten elektromechanischen Baugruppen. Intelligente eingebettete Systeme haben hier bisher allerdings noch wenig Einzug gehalten. Der Sensoreinsatz beschränkt sich meist auf grundlegende Sicherheitsfunktionen oder auf die automatische Einmessung von Werkzeug und Werkstück. Dazu dient in der Regel eine zentralisierte Informationsverarbeitung, in der alle Signale gesammelt erfasst und analysiert werden.

Eine adaptive Produktion lässt sich jedoch erst erreichen, wenn autonome sensorgestützte Systeme in Werkzeugmaschinen integriert werden. Denn dann können Maschinen und Anlagen auch bei wechselnden Bedingungen den Produktionsprozess optimal steuern. Durch eine höhere Sensordichte gelingt es schon jetzt, eine breite Informationsbasis zu schaffen, mit der die eingebetteten Systeme prozessregelnde Aufgaben übernehmen können.

So arbeitet das Fraunhofer IPT an intelligenten Sensorensystemen, die relevante Prozess- und Produktinformationen

prozessnah in der Maschine erfassen und Regelungssystemen zur Verfügung stellen können. Eine zentrale Herausforderung ist hier noch die prozessnahe Informationsverarbeitung, also die Überführung der Rohdaten in konkrete Informationen über Prozesskräfte oder Schwingungen.

Im Forschungsprojekt »Sens4Tool« entwickelt das Fraunhofer IPT beispielsweise gemeinsam mit mehreren Industrieunternehmen einen multisensorischen Werkzeughalter, der die Messgrößen Kraft, Momente, Schwingungen und Werkzeugtemperatur direkt im Fertigungsprozess erfasst. Zusätzlich zu den Sensoren wird eine Baugruppe zur Datenverarbeitung in den Werkzeughalter integriert. So lassen sich aus den Rohdaten schon im Werkzeughalter interpretierbare Informationen gewinnen, beispielsweise über Werkzeugverschleiß oder Materialfehler im Bauteil. Auf diese Weise können die erforderlichen Informationen dem übergeordneten Regelungssystem schneller und effizienter bereitgestellt werden.

MASCHINENINTEGRIERTE, ADAPTIVE PROZESSREGELUNG  
MIT DEM MULTISENSORISCHEN WERKZEUGHALTER

# TIEFGEHENDES TECHNOLOGIEVERSTÄNDNIS FÜR DIE HOCHLEISTUNGSPRODUKTION



# AUTOMATISIERUNG IN KOMPLEXEN PRODUKTIONSUMGEBUNGEN

In einigen Industriezweigen und Anwendungsfeldern sind zentrale Steuerungs- und Überwachungseinrichtungen bis hin zu kompletten Leitständen bereits essenzielle Werkzeuge zur Vernetzung von Prozessketten, beispielsweise in der kontinuierlichen Verfahrenstechnik. Die Industrie 4.0 verspricht eine durchgehende Datenerfassung für eine flexible und adaptive Steuerung diskreter und hochautomatisierter Prozessabfolgen auch in komplexen Produktionsumgebungen. Ein Beispiel dafür ist etwa die Kultivierung lebendiger Zellen.

Prozessautomatisierung und -steuerung sind in der Zelltechnologie ein kritisches Unterfangen. Denn Einflussfaktoren wie Zelldichte, Temperatur, Luftfeuchtigkeit und Gaskonzentration, aber auch die stark ausgeprägte genetische Individualität von Zellprodukten verlangen der Prozessführung viel ab: Um diese Komplexität in der automatisierten Produktion zu beherrschen, sind ein hoher Vernetzungsgrad der einzelnen Geräte sowie eine nahtlose Integration der Messtechnik in die Prozesssteuerung wichtige Voraussetzungen.

Im Verbundprojekt »StemCellFactory« hat das Fraunhofer IPT gemeinsam mit Partnern aus Forschung und Industrie eine vollautomatisierte Produktionsplattform zur Produktion von Stammzellen entwickelt. Diese Plattform verfügt über zahlreiche Komponenten der Qualitätssicherung und der Zellprozessierung, die über einen zentralen Leitstand miteinander

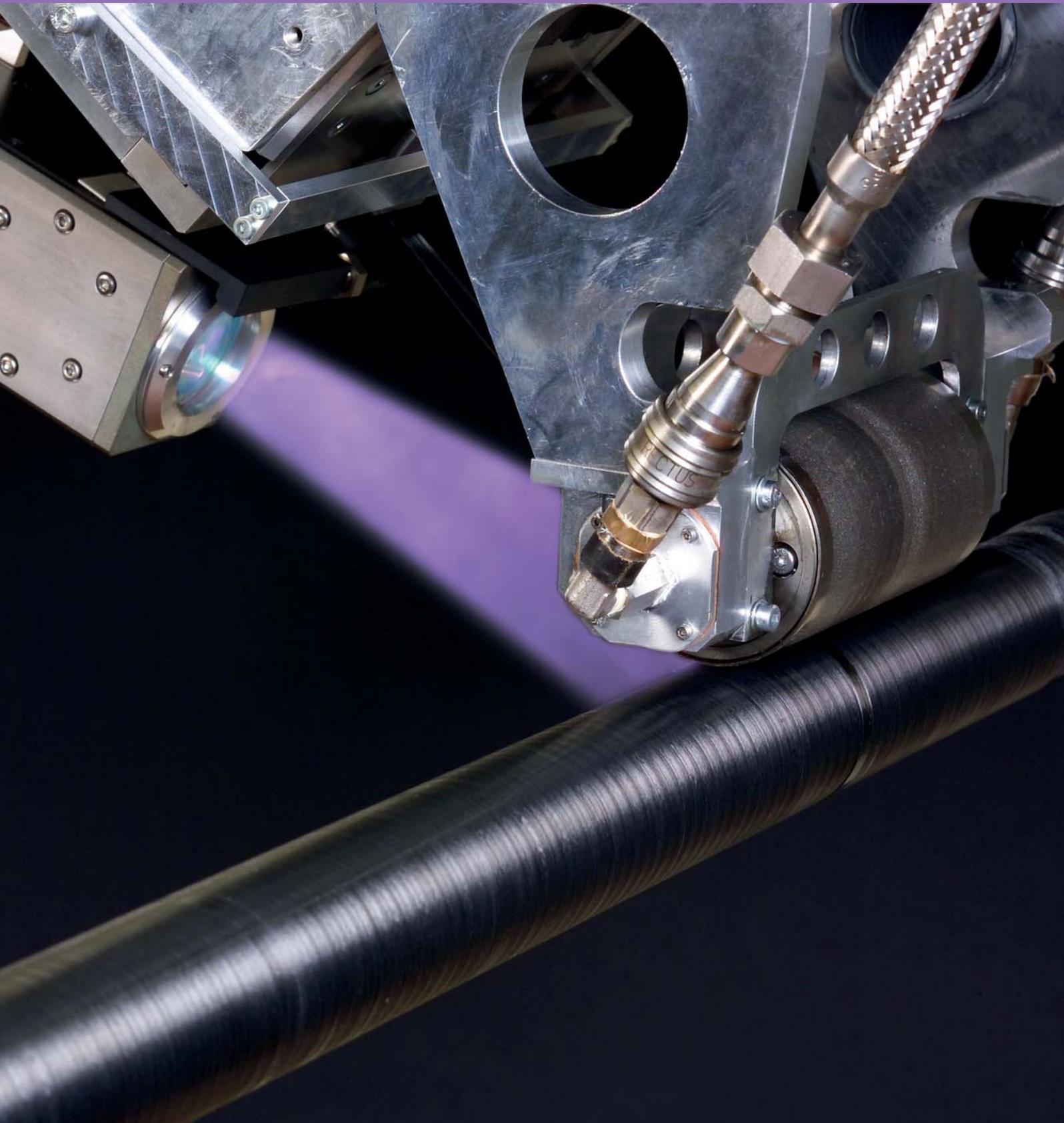
vernetzt sind. Alle Zellkolonien unterliegen kontinuierlichen Messungen, auf deren Basis die Prozessparameter immer wieder automatisch angepasst werden. Der speziell zu diesem Zweck entwickelte Leitstand steuert den gesamten Prozess und überwacht die Geräte und den Materialeinsatz. Bei Unterschreitung von Ressourcen, beispielsweise der Füllstände von Prozessmedien, wird der Anwender automatisch vom System informiert. Die Ressourcenverwaltung der Geräte übernimmt ein automatischer Scheduling-Algorithmus.

Neben den Geräten zur Qualitätssicherung und Prozessierung verfügt die Plattform über verschiedene Grundfunktionalitäten auf Feldebene und über sicherheitsrelevante Systeme, die mit einer speicherprogrammierbaren Steuerung versehen sind. Diese wurde als weiteres Modul in die Produktionsplattform integriert und mit dem Leitstand verbunden. Darüber hinaus verfügt die StemCellFactory über verschiedene Logging-Funktionen, die die Datendurchgängigkeit auf Prozess-, und Geräteebene sicherstellen. Die Daten werden systematisch erfasst, aufbereitet und abgespeichert. Eine anwenderfreundliche Bedienoberfläche zeigt dem Benutzer alle relevanten Daten an und unterstützt die Auswertung.

Die StemCellFactory ist ein Beispiel dafür, wie mit vernetzten, adaptiven Systemen selbst hochindividuelle Produktionsprozesse flexibel und effizient gestaltet werden können.

HOCHINDIVIDUELLE PRODUKTIONSPROZESSE  
SICHER BEHERRSCHEN

# TIEFGEHENDES TECHNOLOGIEVERSTÄNDNIS FÜR DIE HOCHLEISTUNGSPRODUKTION



# TECHNOLOGIEN IN GRENZBEREICHEN BETREIBEN

Mit konsequenter Vernetzung von Software zur Prozesssimulation, Regelungs-, Steuerungs- und Qualitätsüberwachungssystemen lassen sich adaptive Regelungskonzepte für Produktionsanlagen umsetzen. Solche Regelungssysteme greifen idealerweise auf das vorhandene Prozesswissen zurück und erlauben damit eine hochflexible Fertigung. Durch integrierte Prozesssimulationen lassen sich optimale Maschinenparameter ermitteln, auf die Steuerungssysteme zurückgreifen können. Kostspielige Iterationen am realen Bauteil bis die optimalen Prozessparameter erreicht sind, sind dann nicht mehr erforderlich.

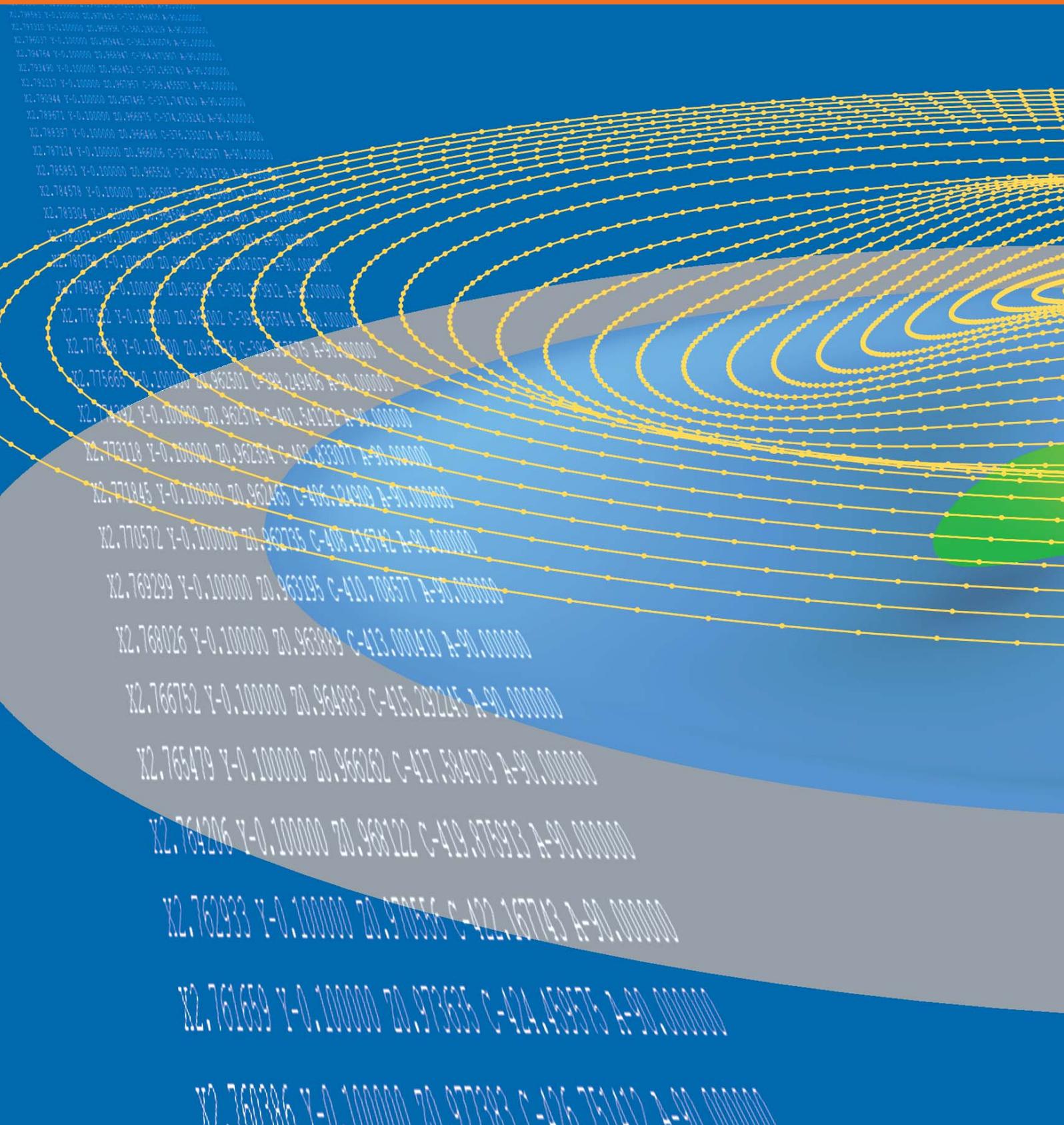
Durch eine ergänzende Online-Qualitätsüberwachung, die mit dem Regelungssystem verknüpft ist, erhält die Steuerung ein direktes Feedback über den laufenden Prozess und den Zustand von Bauteil und Werkzeug. So können Prozesse bis an ihre Grenzen ausgereizt werden, ohne dabei die Bauteilqualität zu gefährden. Die Vernetzung sämtlicher System- und Softwarelösungen anhand geeigneter Schnittstellen und Datenverarbeitung ist dabei eine Grundvoraussetzung. Die Daten müssen dazu kontinuierlich und strukturiert in Datenbanken importiert, sortiert und mit geeigneten Analysemethoden ausgewertet werden.

Für Wickelanlagen zur Herstellung von Bauteilen aus thermoplastischen Faserverbundkunststoffen erarbeitet das Fraunhofer IPT im EU-Forschungsprojekt »AmbliFibre« gemeinsam mit internationalen Partnern beispielhaft solch ein adaptives Regelungskonzept. Die Anlage soll für die hochflexible Fertigung von Rohren für die Öl- und Gasindustrie ebenso geeignet sein wie für die Herstellung von Druckbehältern, die im Automobilbereich zum Einsatz kommen.

Mit einer Simulationssoftware werden dazu bereits in der Maschine die thermischen Charakteristiken in der Prozesszone untersucht und die Wärmeenergie bestimmt, die für das Wickeln erforderlich ist. Hier muss einerseits eine ausreichende Aufschmelzung des Matrixsystems gewährleistet werden, andererseits ist aber zu vermeiden, dass System und Werkstoffe während des Fertigungsprozesses überhitzen. Die Maschinensteuerung kann auf Grundlage der Datenanalyse die Leistung der Wärmequelle regeln und anpassen.

Eine kontinuierliche Überwachung der Wickelqualität stellt sicher, dass sich das Produktionssystem der maximalen Prozessgeschwindigkeit annähern kann, ohne dass die Produktqualität darunter leidet – ein beachtlicher Produktivitätsgewinn.

# TIEFGEHENDES TECHNOLOGIEVERSTÄNDNIS FÜR DIE HOCHLEISTUNGSPRODUKTION



# PRODUKT- UND PROZESSOPTIMIERUNG DURCH DATA MINING UND PREDICTIVE ANALYTICS

Automatisierte Systeme zur Erfassung und Analyse von Maschinen-, Werkzeug- und Qualitätsdaten helfen dabei, die Produkt- und Prozessqualität zu verbessern. Im Kontext von Industrie 4.0 ist hier häufig von der »Single Source Of Truth« die Rede: Alle relevanten Produktionsdaten werden strukturiert und genau einmal abgelegt – völlig ohne Redundanzen. So lässt sich sicherstellen, dass alle Systeme auf dieselben Daten zugreifen und Informationen über Bauteile, Qualität und Prozesse stets aktuell, verlässlich und verbindlich sind. Erst auf dieser Grundlage sind detaillierte und zielführende Datenanalysen möglich.

Das Fraunhofer IPT entwickelt und implementiert solche Technologiedatenbanken und entsprechende Auswertungstools für unterschiedliche Technologien und Fertigungsverfahren. Mit der passenden Software zur Datenanalyse lassen sich Wechselwirkungen und Abhängigkeiten innerhalb der gesamten Herstellungskette aufdecken und Optimierungspotenziale ableiten, wie das Beispiel einer Technologiedatenbank für die replikative Herstellung von Optiken zeigt.

Die Technologiedatenbank für das Blankpressen von Optiken enthält Informationen sämtlicher vor- und nachgelagerter Prozesse, wie der Vorbereitung der Formwerkzeuge durch Zerspanprozesse, Werkzeugbeschichtungen, Qualitätsanalysen an der Optik und des Decoatings der Formwerkzeuge. Dafür

werden alle relevanten Produkt- und Prozessparameter sowie deren Qualitätsindikatoren in der Technologiedatenbank erfasst. Die Informationen sind eindeutig in Form relationaler Datenstrukturen verknüpft und abgelegt – ganz im Sinne einer »Single Source Of Truth«. Ein benutzerfreundliches Frontend erlaubt über Filterfunktionen eine schnelle Abfrage historischer Datensätze. Um Muster und Abhängigkeiten innerhalb der Prozesskette zu identifizieren, werden diese Datensätze anhand einer standardisierten SQL-Datenbank mit einer Data-Mining-Software, zum Beispiel »RapidMiner«, ausgewertet.

So lassen sich mit neuronalen Netzen, Entscheidungsbäumen oder Korrelationsanalysen schließlich optimale Parameter, Prozessbedingungen und Prozessstrategien zur Steigerung der Effizienz der Fertigung und der Produktqualität ableiten und wieder in das System zurückspeisen. Die Technologiedatenbank und die anschließenden Analyseverfahren erlauben es damit, die Produktionsdaten entlang der Prozesskette lückenlos zu erfassen, ganzheitlich zu analysieren und schließlich optimale Prozesseinstellungen abzuleiten. Gegenüber konventionellen Ansätzen wie dem »Design of Experiments« (DoE) steht hier eine deutlich umfangreichere und gründlichere Datengrundlage und -qualität bereit, mit der sich sowohl Prozessabhängigkeiten als auch optimale Parameter identifizieren und analysieren lassen.

TECHNOLOGIEDATENBANKEN ZUR SYSTEMATISCHEN AUSWERTUNG VON PRODUKTIONS DATEN

# ÜBER DAS FRAUNHOFER IPT

Das Fraunhofer IPT vereint langjähriges Wissen und Erfahrung aus allen Gebieten der Produktionstechnik. Unseren Kunden und Projektpartnern bieten wir angewandte Forschung und Entwicklung mit unmittelbar umsetzbaren Ergebnissen. Dabei begreifen wir die Produktion nicht nur in ihren einzelnen Schritten, sondern betrachten bei unserer Arbeit die Gesamtheit ihrer Prozesse und die Verbindungen zwischen den jeweiligen Gliedern der Prozesskette – von der Vor- und Produktentwicklung über die Produktionsvorbereitung und die Fertigung bis zur Montage.

Wir entwickeln und optimieren neue und bestehende Methoden, Technologien und Prozesse für die Produktion der Zukunft. In einer ganzheitlichen Sichtweise betrachten wir die produktionstechnischen Herausforderungen unserer Kunden immer auch im Kontext der dazugehörigen Prozessketten. Auf diese Weise schaffen wir nicht nur hoch spezialisierte Einzeltechnologien, sondern erarbeiten im Auftrag unserer Kunden Systemlösungen für die Produktion. Unsere interdisziplinäre Sicht aus der Perspektive der Industrie versetzt uns dabei in die Lage, Aufgaben auch über die Grenzen eng gesteckter Arbeitsgebiete hinaus zu lösen.

Besonderen Wert legen wir auf den ständigen Austausch mit der Industrie und die Weiterentwicklung unseres Maschinenparks. Damit sichern wir unseren Kunden und Partnern technologische Aktualität für den entscheidenden Vorsprung in der Produktion. Unsere Labore und Maschinenhallen sind auf 3500 m<sup>2</sup> mit modernster Technik ausgestattet. Insgesamt umfasst das Fraunhofer IPT rund 6000 m<sup>2</sup> Fläche.

# KOMPETENZEN UND DIENSTLEISTUNGEN FÜR DIE VERNETZTE, ADAPTIVE PRODUKTION

## Vernetzung von Technologie- und Prozesswissen

- Durchgängige Datenketten in CAD/CAM- sowie PDM-Systemen
- Smart Glasses und Devices zur Steigerung der Produktionsqualität
- Auswahl und Einführung von Produktions-IT-Systemen
- M2M- und P2M-Kommunikationstechniken
- Scanning und Monitoring von Trends in der Industrie 4.0

## Online-/Offline-Adaptivität von Prozessen und Prozessketten

- Selbstoptimierende Produktionssysteme und Regelungskonzepte
- Definition und Implementierung von Datenstrukturen für adaptive Produktionssysteme
- Messtechnik- und Sensorentwicklung
- Adaptive Steuerungs- und Leittechnik
- Entwicklung modularer Softwarearchitekturen für die prozesskettengestützte CAM-Programmierung
- Erweiterte Zielkriterien für Produktionsplanung und Job Scheduling (MES)

## Tiefgehendes Technologieverständnis für die Hochleistungsproduktion

- Data Mining und Predictive Analytics für Produktionsprozesse
- Big Data Handling mittels GPU Processing
- Planung, Bewertung und Auslegung von Technologieketten
- Tiefgehendes Prozessverständnis für Fertigungsprozesse in den Themenfeldern:
  - High Performance Cutting (Drehen, Fräsen, Bohren, Schleifen, Polieren)
  - Glas- und Kunststoff-Optikfertigung
  - Lasermaterialbearbeitung
  - Leichtbautechnologien
  - Rolle-zu-Rolle-Verfahren
  - Automatisierungstechnik
  - Life Sciences und Laborautomatisierung
  - Optische Messtechnik
  - Strukturierungsverfahren

**Fraunhofer-Institut für  
Produktionstechnologie IPT**

Steinbachstraße 17  
52074 Aachen  
Telefon +49 241 8904-0  
Fax +49 241 8904-198  
info@ipt.fraunhofer.de  
www.ipt.fraunhofer.de



**Ihr Kontakt**

Dr.-Ing. Thomas Bergs MBA  
Telefon +49 241 8904-105  
Fax +49 241 8904-6105  
thomas.bergs@ipt.fraunhofer.de