

LEITPROJEKT E³-PRODUKTION



NEUE ZIELE

NEUE HORIZONTE

NEUE GIPFEL



FRAUNHOFER-LEITPROJEKT E³-PRODUKTION

Mit einem Anteil von einem Viertel am Bruttoinlandsprodukt zählt das produzierende Gewerbe zu einem der größten Wirtschaftsbereiche. Deutsche Unternehmen punkten mit ihren innovativen Technologien und modernen Maschinen und Anlagen im globalen Wettbewerb. Ohne permanente Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten wäre dies unmöglich. Daher setzt die Fraunhofer-Gesellschaft mit ihren 66 Instituten und Forschungseinrichtungen auf eine enge Kooperation mit der Industrie.

Produktionsforschung hat bei Fraunhofer eine lange Tradition. In Fraunhofer-Verbünden vereinen wir unsere Kompetenzen und geben wegweisende Impulse für die ressourceneffiziente Produktion. Diesen Weg in die Produktion von morgen wollen wir weitergehen. Er heißt E³ – die drei »E« stehen für effiziente Technik, effiziente Fabriken und effizientes Arbeiten. Damit gemeint sind ein modernes und inspirierendes Arbeitsumfeld, eine effiziente und vernetzte Produktionstechnik, eine ganzheitliche Logistik sowie umweltfreundliche Produktionsstätten.

Uns geht es darum, alle Aspekte der Produktion zu berücksichtigen und sie zu einer Vision zusammenzuführen: von der Digitalisierung bzw. Industrie 4.0 über ressourceneffiziente Technologien, nachhaltige Lieferketten bis hin zu optimalen Arbeitsbedingungen und zukunftsfähigen Qualifizierungsprofilen.

Unsere Begeisterung für die Forschung nutzen wir dazu, einen Beitrag zu den wichtigen gesellschaftlichen Aufgaben zu leisten. Gesundheit, Umwelt, Mobilität und Arbeitsplätze: Zu allen Themen haben wir eigene Leitprojekte initiiert.

»E³-Produktion« verbindet die Aspekte Ressourceneffizienz, Standortsicherung und Umweltschutz zu einem Konzept. Mit unseren weiteren Leitprojekten »Seltene Erden«, »Elektromobilität« und »Theranostische Implantate« setzen wir andere Schwerpunkte. Alle Leitprojekte funktionieren nach dem gleichen bewährten Prinzip: Wissenschaftler verschiedener Fraunhofer-Institute arbeiten drei bis vier Jahre fachübergreifend miteinander daran, wissenschaftliche Ideen in Forschungsprojekten zu marktfähigen Lösungen zu entwickeln.

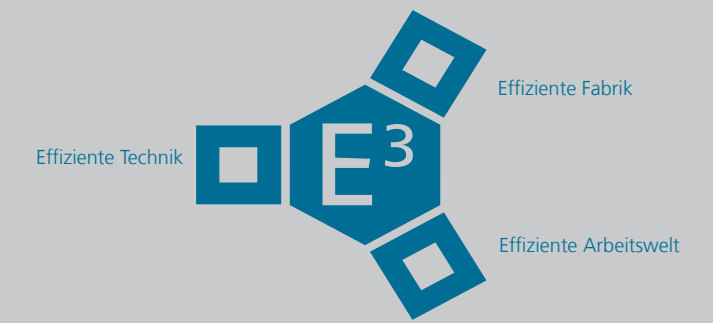
Wir bauen auf die gute Zusammenarbeit mit unseren Partnern aus der Industrie, der Politik und der Wissenschaft. Gemeinsam mit ihnen schlagen wir den E³-Pfad ein und gestalten die Produktionstechnologien und Fabriken effizient, energieoptimiert, nachhaltig und mit den Menschen. Lassen Sie sich mit unserer Broschüre von E³ inspirieren. Wir freuen uns auf Ihre Ideen und Rückmeldungen.

November 2015

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft

DER WEG IST E³

DIE GANZE WELT DER PRODUKTION



E³ STEHT FÜR EFFIZIENTE TECHNIK, EFFIZIENTE FABRIKEN UND EFFIZIENTES ARBEITEN. DAS E³-KONZEPT FÜR DIE ZUKUNFT DER PRODUKTION UMFASST EIN MODERNES UND INSPIRIERENDES ARBEITSUMFELD UND NACHHALTIGE LOGISTIKKONZEPTE EBENSO WIE INNOVATIVE FERTIGUNGSTECHNIK, VERFAHRENSTECHNIK UND INDUSTRIE-4.0-LÖSUNGEN.

Fast jeder zweite deutsche Arbeitsplatz ist mit dem produzierenden Gewerbe verbunden. Um die in Jahrzehnten erarbeitete Vorreiterrolle in der Produktionstechnik in Deutschland zu sichern, sind neue Ideen und innovative Konzepte für die Zukunft gefragt. Mit dem Leitprojekt E³-Produktion gibt die Fraunhofer-Gesellschaft wichtige Antworten. Im Rahmen dieses Leitprojekts arbeiten Fraunhofer-Wissenschaftler an einem Konzept, das synergetisch die Aspekte der Produktion berücksichtigt und sie zu einer Vision zusammenführt. E³ denkt die Welt der Produktion effizient und in den drei Dimensionen Technik, Fabrik und Mensch.

Erstes E: Effiziente Technik – Auf dem besten Weg zum Ziel

Mithilfe ultrakurzer vernetzter Prozessketten sind gemäß dem Motto »weniger ist mehr« enorme Energie- und Ressourceneinsparungen möglich. Dazu sind integrative Technologieansätze und hochentwickelte Modellierungs- und Bewertungsverfahren unerlässlich. Sie erfordern den Einsatz von Informations- und Kommunikationstechnik (IKT) – Industrie 4.0 – und modernsten Fertigungstechniken.

Zweites E: Effiziente Fabrik – Im Einklang mit der Umwelt

Erneuerbare Energien gewinnen bei der Strom- und Wärmeversorgung produzierender Unternehmen zunehmend an Bedeutung. Innovative Versorgungssysteme mit Prognose und

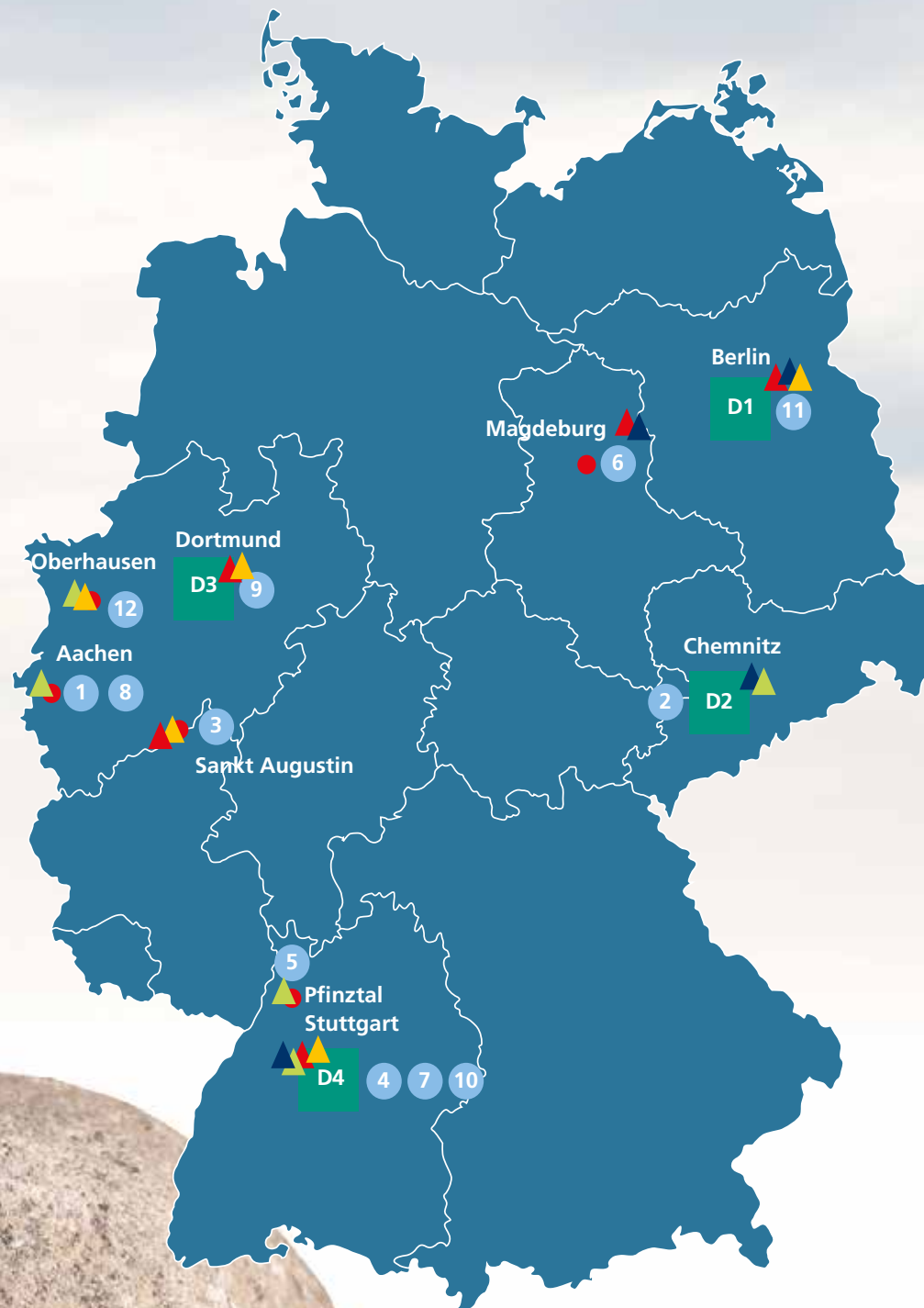
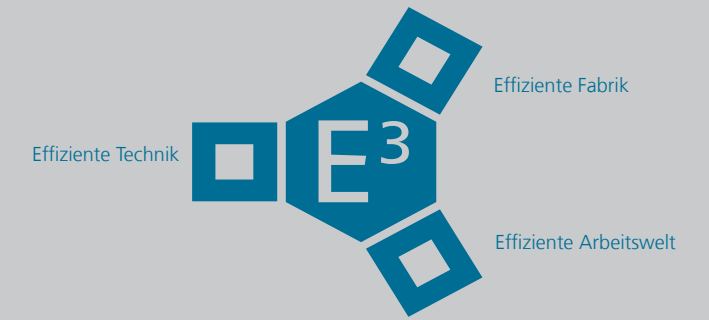
Ressourcenmanagement-Tools müssen mit Verfahrens- und Fertigungsprozessen abgestimmt werden und eine autarke Energieversorgung sicherstellen. Zudem sind optimierte Lieferketten mit nachhaltigen Logistiklösungen essenziell, um Produktionsprozesse umweltfreundlich zu gestalten.

Drittes E: Effiziente Arbeitswelt – Der Mensch gibt die Marschrichtung vor

Eine wettbewerbsfähige Produktion braucht qualifizierte Menschen. Ein modernes, inspirierendes Arbeitsumfeld schafft beste Voraussetzungen, um Fachkräfte für die Produktion zu begeistern. Dabei spielen neue Möglichkeiten der Mensch-Maschine-Kommunikation eine besondere Rolle. Zudem sorgt eine ergonomische und altersgerechte Gestaltung der Arbeitsumgebung dafür, dass der Anteil monotoner und schwerer Arbeit weiter abnimmt.

Das E³-Konzept setzt sich aus den Ergebnissen von Einzelprojekten und Demonstrationsanwendungen im Rahmen des Fraunhofer-Leitprojekts zusammen. Aus diesem integrativen Ansatz entsteht eine Roadmap zur Gestaltung der zukünftigen Produktion. Sie beinhaltet konkrete Lösungsvorschläge und Technologieempfehlungen, zeigt aber auch strategische Forschungsfelder für die Zukunft auf.

DAS FRAUNHOFER NETZWERK E³



FRAUNHOFER-LEITPROJEKTE GEBEN STRATEGISCHE IMPULSE FÜR DIE WIRTSCHAFTLICHE ENTWICKLUNG DEUTSCHLANDS. IM LEITPROJEKT E³-PRODUKTION ARBEITEN ZWÖLF FRAUNHOFER-INSTITUTE IN TECHNOLOGIE- UND QUERSCHNITTSPROJEKTEN SOWIE IN DEMONSTRATIONSVORHABEN ZUSAMMEN.

Folgende Fraunhofer-Institute bündeln im Netzwerk E³-Produktion ihre Kompetenzen:

- 1 Produktionstechnologie IPT
- 2 Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
- 3 Informationstechnik FIT
- 4 Bauphysik IBP
- 5 Chemische Technologie ICT
- 6 Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
- 7 Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB
- 8 Lasertechnik ILT
- 9 Materialfluss und Logistik IML
- 10 Produktionstechnik und Automatisierung IPA
- 11 Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
- 12 Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Die Fraunhofer-Gesellschaft stellt sich mit den Leitprojekten den aktuellen Herausforderungen für die deutsche Industrie. Wissenschaftler verschiedener Fraunhofer-Institute arbeiten drei bis vier Jahre lang fachübergreifend miteinander daran, wissenschaftliche Ideen in Forschungsprojekten zu marktfähigen Lösungen zu entwickeln. Auch Industriepartner sind frühzeitig eingebunden, damit der Bedarf des Marktes immer im Blick bleibt. Unter dem Motto »Mehr Wertschöpfung bei geringerem Ressourceneinsatz« widmet sich das Leitprojekt E³-Produktion der Entwicklung zukunftsfähiger Fertigungstechnologien.

Der Fokus liegt auf drei konzeptionellen Bereichen:

- Konkrete Technologie- und Querschnittsprojekte
- Demonstratoren
- Entwicklung neuer strategischer Ansätze für die Produktionswelt von morgen

E³ – Projekte

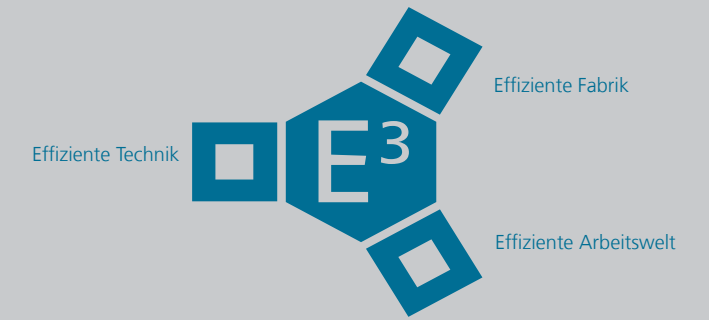
- ▲ Effiziente Technik
- ▲ Effiziente Fabrik
- ▲ Effiziente Arbeitswelt
- ▲ Integrationsprojekte

E³ – Demonstratoren

- D1 Virtuelle Plattform E³-basierte Produktentwicklung
- D2 E³-Forschungsfabrik Ressourceneffiziente Produktion
- D3 Assistenzsysteme für die Produktion
- D4 Mensch-Maschine-Kommunikation

E³ IN AKTION – DIE PROJEKTE

TECHNOLOGIEN UND WERKZEUGE FÜR DIE MODERNE PRODUKTION



DIE PROJEKTSTRUKTUR ORIENTIERT SICH AN DEN DREI »E-ASPEKTEN«. IN 14 EINZELVORHABEN ENTWICKELN WISSENSCHAFTLER ANWENDUNGSNAHE LÖSUNGEN, UM FERTIGUNGSPROZESSE EFFIZIENTER UND INTELLIGENTER ZU GESTALTEN.

▲ Projekte rund um die effiziente Technik

- 1. Prozesskette Gießen**
»Vom Gießen zum Fertigteil«
- 2. Generativer Automobilbau**
»Vom Pulver zum Fertigteil«
- 3. Integrative Fertigungsverfahren**
Direct Sheet Moulding Compounding
- 4. Verzahnte Getriebebauteile**
Ultrakurze und umformbasierte Prozesskette
- 5. Integrierte Verfahrenstechnik**
Ultrakurze verfahrenstechnische Prozesskette
- 6. Bewertungsmodell Prozesskette**
Klassifizierung, Charakterisierung und Bewertung ultrakurzer Prozessketten

▲ Projekte rund um die effiziente Fabrik

- 1. Plusenergie-Fabrik**
Emissionsoptimierte Gestaltung eines Produktionsgebäudes
- 2. Integrales Stoffstrom- und Energiemanagement**
Für Fabriken und Gebäude
- 3. Adaptive Produktionssysteme**
Design und Betrieb von adaptiven Produktionssystemen bei volativem Energieangebot

▲ Projekte rund um die effiziente Arbeitswelt

- 1. Produktions-Tablet**
Logistische Assistenzsysteme zur wissensbasierten Produktionsplanung, -steuerung und -überwachung
- 2. Montage-Assistenzsysteme**
Personalisierbare Assistenzkinematiken und am Körper getragene Hebehilfen

▲ Integrationsprojekte führen die Aspekte Technik, Fabrik und Mensch zusammen

- 1. Produktions-Cloud**
Handels- und Betriebsplattform für Produktions- und Logistikdienste
- 2. Ressourcenoptimiertes Produktdesign**
Effizienz über den gesamten Lebenszyklus
- 3. Nachhaltigkeitskompass SUSPROFIT**
Bewertung von Produktionsprozessen

1

PROZESSKETTE GIESSEN

»VOM GIESSEN ZUM FERTIGTEIL«



Am Beispiel der gießtechnischen Herstellung von Bauteilen aus der Luftfahrt entsteht ein Konzept zur ganzheitlichen Bewertung und zum ressourcenoptimierten Design ultrakurzer Prozessketten.



Als Referenzprodukt dient eine Turbinenschaufel, die aus einer Titaniumaluminid-Legierung besteht. Auf Basis einer detaillierten Aufnahme der gießtechnischen Prozessketten sollen Energie- und Ressourcenbedarfe und signifikante Einflussfaktoren ermittelt werden. Dabei kommen bewährte Methoden aus der Six Sigma Toolbox wie dem Wertstrom zum Einsatz. Sie werden um Aspekte der Ressourceneffizienz erweitert und zu einem Bewertungstool weiterentwickelt, das quantitative Aussagen zum Optimierungspotenzial der Prozesse ermöglichen soll.



Das E³-Prozessketten-Modell ist Ausgangspunkt für die Weiterentwicklung von Analysewerkzeugen zur ressourceneffizienten Gestaltung von Fertigungsprozessen, in denen die Technologien Gießen und spanende Endbearbeitung dominieren.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Dr.-Ing. Kristian Arntz
Telefon: +49 241 8904-121
E-Mail: kristian.arntz@ipt.fraunhofer.de

Nils Klingbeil
Telefon: +49 241 8904-514
E-Mail: nils.klingbeil@ipt.fraunhofer.de



2

GENERATIVER AUTOMOBILBAU

»VOM PULVER ZUM FERTIGTEIL«



Zwei innovative laserbasierte generative Prozesse zur Fertigung von Bauteilen aus der Automobilfertigung stehen zur Verfügung. Eine neu entwickelte Methodik ermöglicht es, sie hinsichtlich ihrer Energie- und Ressourceneffizienz zu bewerten.



Mithilfe der Technologien Laserstrahl-Auftragschweißen und Selective Laser Melting (SLM) soll die Machbarkeit der generativen Fertigung im Bereich des Automobilbaus gezeigt werden. Während das Laserstrahl-Auftragschweißen zur Herstellung eines Kernelements eines Spritzgusswerkzeugs zum Einsatz kommt, dient das SLM zur Fertigung eines Achsschenkels. Im Verlauf der Fertigung werden alle relevanten Ressourcenströme und Prozessinformationen erfasst. Sie fließen in eine Bewertungsmethodik ein, die auch Rückschlüsse auf die Energie- und Ressourceneffizienz insbesondere im Vergleich zu konventionellen Verfahren zulässt.



Die beiden E³-Prozesse eröffnen der generativen Fertigung neue Perspektiven im Automobilbau.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Dr.-Ing. Kristian Arntz
Telefon: +49 241 8904-121
E-Mail: kristian.arntz@ipt.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT

Dr.-Ing. Andres Gasser
Telefon: +49 241 8906-209
E-Mail: andres.gasser@ilt.fraunhofer.de



3

INTEGRATIVE FERTIGUNGSVERFAHREN

DIRECT SHEET MOULDING COMPOUNDING



Ein Direktverfahren – Direct Sheet Moulding Compound (D-SMC) – ermöglicht die Herstellung von Class-A-fähigen automobilen Außenhaut-Bauteilen in kurzen Prozesszeiten.



Die herkömmliche Sheet-Molding-Compound-Prozesskette besteht aus der zentralen Halbzeugherstellung und dem dezentralen Heißpressen. Beide Schritte laufen aufgrund der erforderlichen Materialreife zeitlich und räumlich getrennt ab. Mithilfe einer Direktverarbeitung soll diese Trennung hinfällig werden. Integrierte Prozesse, eine durchgängige Datenerfassung und Materialmodifikationen sollen zu einer beschleunigten Reife führen. So kann das Heißpressen unmittelbar nach der Halbzeugherstellung erfolgen. Eine neu entwickelte Energiebilanzierung ermöglicht eine Effizienzbewertung vor allem auch im Vergleich zum konventionellen Prozess.



Der E³-D-SMC-Prozess steigert die Kosten-, Energie- und Ressourceneffizienz durch den Wegfall von Transport, Lagerung und Wärme- bzw. Kühlschritten.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Chemische Technologie ICT

Christoph Keckl

Telefon: +49 721 4640-797

E-Mail: christoph.keckl@ict.fraunhofer.de

Elisa Seiler

Telefon: +49 721 4640-354

E-Mail: elisa.seiler@ict.fraunhofer.de



4

VERZAHNTE GETRIEBEBauteile

ULTRAKURZE UND UMFORMBASIERTE PROZESSKETTE



Innovative umformbasierte Prozessketten zur Herstellung verzahnter Getriebebohlwellen sparen Zeit, Ressourcen und Energie.



Die herkömmliche Prozesskette soll durch den Einsatz innovativer Verfahren und durch den Wegfall von Fertigungsschritten ressourceneffizienter werden. Mit den Technologien Bohrungsdrücken, Fließpressen, Rundkneten und Verzahnungswalzen gelingt es, die konventionelle Prozesskette um drei Stufen zu verkürzen und den Spanabfall beim Umformen zu vermeiden. Die finalen Bearbeitungsschritte Wärmebehandlung und Hartfeinbearbeitung entsprechen der konventionellen Prozessfolge. Die Bauteil- und Prozessauslegung wird durch eine neu entwickelte Finite-Elemente-Simulation unterstützt.



Die E³-Umformprozesskette bildet die Basis für die Weiterentwicklung von effizienten Herstellverfahren für Powertrain-Bauteile.

Kontakt

Fraunhofer-Institut Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Mike Lahl

Telefon: +49 371 5397-1350

E-Mail: mike.lahl@iwu.fraunhofer.de

Dr.-Ing. Udo Hellfritsch

Telefon: +49 371 5397-1334

E-Mail: udo.hellfritsch@iwu.fraunhofer.de





Ein Membranverfahren zur Proteinhydrolyse sowie ein Festbett-Umlaufreaktor zur Metallrückgewinnung aus Prozessabwässern sind zwei Beispiele für die Umsetzung ultrakurzer integrierter Prozessketten.



Herkömmliche Verfahren zur Proteinhydrolyse laufen im Batchbetrieb ab, sodass Konversion und Produktaufbereitung sequenziell erfolgen. Mit dem E³-Konzept soll es möglich sein, diese beiden Schritte in einem Apparat zusammenzufassen. Grundvoraussetzung für die Prozessintegration ist ein umfassendes Verständnis über sämtliche Teilaspekte des Prozesses.

Daneben werden bei der Metallrückgewinnung aus Prozesswasseraufbereitung die vier Prozessschritte – Rohwasseraufbereitung, Konversion, Auftrennung und Filtrat-Aufbereitung – in einem Schritt zusammengefasst. Basis für die Reaktorauslegung bilden Partikeleigenschaften, Aufwuchsverhalten der Mikroorganismen sowie Fließeigenschaften des Schüttguts.



Die E³-Verfahren zeigen eine Methodik zur effizienten Verfahrensauslegung. Eine entscheidende Rolle spielen multifunktionale Reaktoren und modulare Ansätze.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Prof. Dr.-Ing. Görges Deerberg

Telefon: +49 208 8598-1107

E-Mail: goerge.deerberg@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Dr.-Ing. Ursula Schließmann

Telefon: +49 711 970-4222

E-Mail: ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de



Ein softwaregestütztes Prozessmodell ermöglicht es, industrielle Verfahren zu strukturieren und zu benchmarken.



Das Beschreiben und Systematisieren der Prozessklassen und das Entwickeln von Kennwerten bilden den Ausgangspunkt. Als Datenbasis dienen bewährte Prozessketten aus der Fertigungstechnik. Für die Kennwerte wird eine Bewertungsmethodik entwickelt, die auf dem Vergleich mit Referenzprozessen aufbaut und mehrdimensionale Klassifizierungskriterien berücksichtigt. Beispiele für diese Kennwerte sind Produktionszeit und Kosten sowie Energie- und Materialverbräuche. Das webbasierte Bewertungsmodell wird so anwenderfreundlich aufbereitet, dass durch eine intuitive Nutzerführung eine schnelle Klassifizierung und Zuordnung von Prozessen möglich ist.



Das E³-Bewertungsmodell schafft Transparenz über den Produktionsprozess und kann für ultrakurze Prozessketten weiterentwickelt werden.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Patrik Spalt

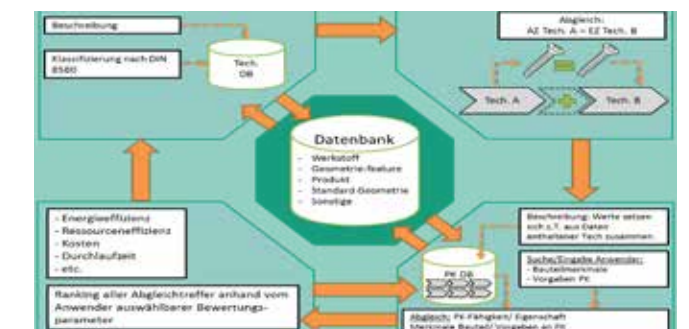
Telefon: +49 711 970-1919

E-Mail: patrik.spalt@ipa.fraunhofer.de

Andreas Kluth

Telefon: +49 711 970-1942

E-Mail: andreas.kluth@ipa.fraunhofer.de



PLUSENERGIE-FABRIK

1 EMISSIONSOPTIMIERTE GESTALTUNG EINES PRODUKTIONSGEBÄUDES



Ein Gewerke-übergreifendes Planungstool ist die Grundvoraussetzung für die Realisierung von energie- und emissionsoptimierten Produktionsstätten. Die Interaktion von Produktionsprozessen, der Gebäudeinfrastruktur und der Gebäudegestaltung ist dabei wesentlich.

In einem ersten Schritt geht es darum, Daten über den energetischen Status von Fabrikgebäuden zu sammeln und eine Typologie zu entwickeln. Mithilfe dieser Typologie soll es möglich sein, Gebäude in Abhängigkeit ihrer Geometrie und Größe, der Stoffströme, der Produktionsprozesse, der Energiebedarfe für Heizen und Kühlen und der Komfortanforderungen zu charakterisieren. Die Daten aus Gebäude, Anlagentechnik und Prozess werden anschließend in einem softwarebasierten Planungstool zusammengeführt. Die typologisierten Produktionsstätten werden in numerischen Modellen zur energetischen Optimierung und Bilanzierung abgebildet.

Die E³-Plusenergie-Fabrik zeigt, wie die Dekarbonisierung von Industriegebäuden funktionieren kann. Sie leistet damit einen wichtigen Beitrag zur erfolgreichen Umsetzung der Energiewende.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Dr.-Ing. Michael Krause
Telefon: +49 561 804-1875
E-Mail: michael.krause@ibp.fraunhofer.de

Jan Kaiser
Telefon: +49 561 804-1872
E-Mail: jan.kaiser@ibp.fraunhofer.de



INTEGRALES STOFFSTROM- UND ENERGIEMANAGEMENT

2 FÜR FABRIKEN UND GEBÄUDE



Ein Energiemanagementsystem schafft die Voraussetzung, um die Energieversorgung eines Produktionsstandorts autark zu gestalten, unternehmensübergreifend zu überwachen und bedarfsgerecht zu steuern.

Kernelement ist die Entwicklung eines integrierten Dynamischen Energiemanagementsystems (DEMS). Das DEMS übernimmt die drei Kernfunktionen Monitoring, Prognose und Steuerung. So ist es möglich, die Leistung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien und den Lastverlauf von Gebäuden zu überwachen. Mit der Prognosefunktion kann die Verfügbarkeit von Speichersystemen sowie die Leistung von Anlagen zur Nutzung erneuerbarer Energien für die nächsten 24 Stunden vorhergesagt werden. Die Anpassung der Produktion entsprechend der prognostizierten Verfügbarkeit erneuerbarer Energien erfolgt durch die Steuerungsfunktion. Produktionsverläufe werden damit so geplant, dass energieintensive Prozesse in Zeiten von hohem Anfall erneuerbarer Energien ablaufen können.

Das E³-Energiemanagementsystem zeigt den Weg in die dezentrale, auf erneuerbaren Energien basierende Energieversorgung produzierender Unternehmen auf.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF

Holger Seidel
Telefon: +49 391 4090-123
E-Mail: holger.seidel@iff.fraunhofer.de



ADAPTIVE PRODUKTIONSSYSTEME

3 DESIGN UND BETRIEB VON ADAPTIVEN PRODUKTIONS- SYSTEMEN BEI VOLATILEM ENERGIEANGEBOT



Ein neue Methodik ermöglicht es, bei begrenztem Ressourcenangebot die Bedarfe eines Produktionsbetriebs effizient zu planen und zu steuern. Die Basis dafür bildet eine Echtzeiterfassung der Verbräuche im Fertigungsprozess und der umgebenden Infrastruktur.

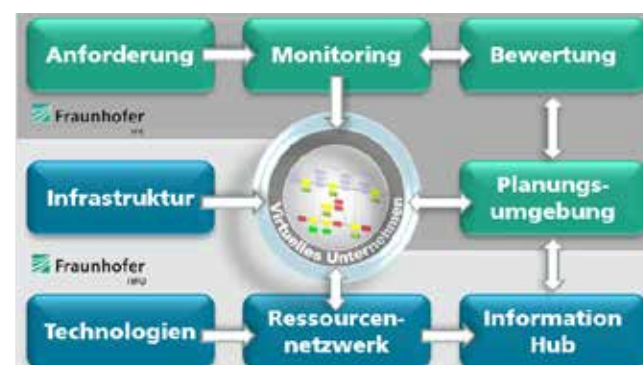
Ein virtuelles Unternehmen mit definierten Prozessen dient als Ausgangspunkt für die Untersuchungen. In einem Versuchsfeld werden diese Prozesse mithilfe ausgewählter Maschinen, die mit umfangreicher Sensorik ausgestattet sind, nachgebildet. In einer Technologiedatenbank sind Versorgungsoptionen durch erneuerbare Energien hinsichtlich ihrer Eignung für eine alternative und adaptive Energieversorgung hinterlegt. Räumliche und zeitliche Verfügbarkeiten sind, als geschlossene Kreisläufe, in einem Ressourcennetzwerk abgebildet. Unternehmensmodell, Verbrauchsdaten, Technologiedatenbank und Ressourcennetzwerk werden zu einem Gesamtansatz zusammengeführt.

Das adaptive E³-Produktionssystem schafft auf der Verbrauchs- und Angebotsseite eine wichtige Voraussetzung dafür, dass Produktionsunternehmen ihre Energieversorgung um erneuerbare Energien erweitern können.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK
Eckhard Hohwieler
Telefon: +49 30 39006-121
E-Mail: eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Enrico Franz
Telefon: +49 371 5397-1514
E-Mail: enrico.franz@iwu.fraunhofer.de



PRODUKTIONS-TABLET

1

LOGISTISCHE ASSISTENZSYSTEME ZUR WISSENSBASIERTEN
PRODUKTIONSPLANUNG, -STEUERUNG UND -ÜBERWACHUNG



Das E³-Produktions-Tablet ermöglicht es, Messdaten aus dem Fertigungsprozess auszuwerten und zu analysieren und somit Produktionsanlagen technisch zu überwachen und zu steuern. Zudem dient es als Planungstool und als E-Learning-Plattform zur optimalen Gestaltung der Produktionslogistik.



Die Entwicklung basiert auf dem Konzept simulations-basierter Logistischer Assistenzsysteme (LAS), die im industriellen Umfeld zur Planung, Steuerung und Überwachung von Lieferketten zum Einsatz kommen. Um das LAS um produktionslogistische Themen zu erweitern, werden ausgewählte Zustands- und Planungsinformationen in ein Fertigungsprozessmodell integriert. Simulationsszenarien und eine Best-Practice-Datenbank unterstützen den Anwender bei der Suche nach der optimalen Fertigungslösung.



Das E³-Produktions-Tablet bildet die optimale Schnittstelle zwischen Mensch und Maschine und stellt damit ein wichtiges Tool für die erfolgreiche Integration von Industrie-4.0-Lösungen in die Fertigung dar.

Kontakt

**Fraunhofer-Institut
für Materialfluss und Logistik IML**
Arnd Ciprina
Telefon: +49 231 9743-243
E-Mail: arnd.ciprina@iml.fraunhofer.de

**Fraunhofer-Institut
für Angewandte Informationstechnik FIT**
Alexander Schneider
Telefon: +49 2241 14-3023
E-Mail: alexander.schneider@fit.fraunhofer.de



MONTAGE-ASSISTENZSYSTEME

2

PERSONALISIERBARE ASSISTENZKINEMATIKEN UND AM
KÖRPER GETRAGENE HEBEHILFEN



Informationstechnische und physische Assistenzsysteme unterstützen die in der Produktion tätigen Menschen. Dazu kommen neu entwickelte am Körper getragene Hebehilfen, Robotersysteme als Partner für manuelle Montagearbeiten sowie personalisierbare Kinematiken zum Einsatz.



Die am Körper getragene Hebehilfe basiert auf hochentwickelten Kinematiken, die nur zwei angetriebene Freiheitsgrade je Arm benötigen. Dieses »Exoskelett« für den Oberkörper wird mit einer auf den Menschen abgestimmten Regelung ausgestattet. Die optische und taktile Sensorik ist für die Entwicklung der roboterbasierten Montageassistenz von entscheidender Bedeutung. Leichtbaukonzepte, intelligente haptische Sensoren und innovative Antriebe sind die Basis für die Assistenzkinematiken.



Die E³-Montageassistenzsysteme mit ihren individuellen und personalisierbaren Funktionalitäten sorgen dafür, dass der Anteil schwerer Arbeit in der Produktion weiter abnimmt.

Kontakt

**Fraunhofer-Institut
für Produktionstechnik und Automatisierung IPA**
Werner Kraus
Telefon: +49 711 970-1049
E-Mail: werner.kraus@ipa.fraunhofer.de

**Fraunhofer-Institut
für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF**
Erik Trostmann
Telefon: +49 391 4090-220
E-Mail: erik.trostmann@iff.fraunhofer.de

**Fraunhofer-Institut
für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK**
Dr.-Ing. Dragoljub Surdilovic
Telefon: +49 30 39006-172
E-Mail: dragoljub.surdilovic@ipk.fraunhofer.de



PRODUKTIONS-CLOUD

1

HANDELS- UND BETRIEBSPLATTFORM FÜR PRODUKTIONS- UND LOGISTIKDIENSTE



Mithilfe einer cloudbasierten Plattform kann der Benutzer IT-Systeme individuell zusammenstellen und sie zur Steuerung und Planung von Produktionsprozessen nutzen.



Die Plattformentwicklung baut auf einem Show-case-Szenario auf. Dafür dient die Fertigungskette für Getriebebauteile aus dem Projekt 4 als Referenzprozess. Die Softwarebasis bilden bestehende Programme der beteiligten Institute: Logistics Mall (IML), LinkSmart Middleware (FIT) und Virtual Fort Knox (IPA). Nach der Plattformkonzeption wird ein Prototyp entwickelt und getestet. Mit den Ergebnissen dieses »Proof of Concept« kann die Implementierung der Plattform erfolgen. Zudem entsteht ein »Software Development Kit«, das den Weg für die Integration weiterer IT-Anwendungen bereitet.



Die E³-Produktions-Cloud ist eine konkrete Industrie-4.0-Lösung, denn sie verbindet IT-Services mit der automatisierten Fertigungsumgebung.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Daniel Schel
Telefon: +49 711 970-1559
E-Mail: daniel.schel@ipa.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Angewandte Informationstechnik FIT

Alexander Schneider
Telefon: +49 224 114-3023
E-Mail: alexander.schneider@fit.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Timo Erler
Telefon: +49 231 9743-485
timo.erler@iml.fraunhofer.de



RESSOURCENOPTIMIERTES PRODUKTDESIGN

2

EFFIZIENZ ÜBER DEN GESAMTEN LEBENSZYKLUS



Die Methode ermöglicht dem Konstrukteur, die Einflüsse des Produktdesigns auf die Ressourceneffizienz über den gesamten Lebenszyklus zu identifizieren und ein Produkt ressourceneffizient zu gestalten.



In einem ersten Schritt werden relevante ökologische Ressourcen für die Bewertung des Produktdesigns identifiziert und konkrete Lebenszyklusindikatoren abgeleitet. Durch die informationstechnische Verknüpfung von Konstruktionsparametern, Produktdatenmanagement und Ökobilanz erfolgt eine anschließende Bewertung, die den Konstrukteur in der Entscheidungsfindung unterstützt und in dessen Arbeitsplatz integriert ist. Eine Evaluierung der Methode erfolgt mithilfe von Demonstratorbauteilen aus anderen Projekten, z.B. der Turbinenschaufel aus Projekt 4.



Die E³-Designmethodik macht Ressourceneffizienz zu einem möglichen Auslegungskriterium und stellt so die Weichen für eine nachhaltige Produktentwicklung.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Bauphysik IBP

Nathanael Ko
Telefon: +49 711 970-3165
E-Mail: nathanael.ko@ibp.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Uwe Rothenburg
Telefon: +49 30 39006-125
E-Mail: uwe.rothenburg@ipk.fraunhofer.de



NACHHALTIGKEITSKOMPASS SUSPROFIT

3

BEWERTUNG VON PRODUKTIONSPROZESSEN



Mithilfe eines Bewertungstools können Unternehmen ermitteln, wie nachhaltig ihre Produktionsabläufe und Produkte sind.



Mittels Stakeholderinteraktion und dem folgenden Interessensausgleich werden gesellschaftlich besser akzeptierte Lösungen, Produkte oder Prozesse entwickelt. Durch Gespräche mit wichtigen Stakeholdern sowie durch die Nutzung von Expertenwissen und Rechercheergebnissen erhält der Unternehmer folgende Ergebnisse: dringliche Handlungsfelder (Hot Spots), Hinweise auf Interessenkonflikte, Realisierbarkeit von Verbesserungsmaßnahmen und Handlungsempfehlungen (Good Practice). Das Tool zur Stakeholderinteraktion wird mit drei Industriepartnern (darunter zwei KMUs) und zwei E³-Projekten getestet und validiert. Um die Ergebnisse zusätzlich als Kommunikationsinstrument zu nutzen, ist die Entwicklung eines Labelkonzepts geplant.



Der E³-Nachhaltigkeitskompass macht eine ganzheitliche Bewertung der Produktion hinsichtlich ihrer wirtschaftlichen, ökologischen und sozialen Leistungsfähigkeit möglich.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Umwelt-, Sicherheits- und Energietechnik UMSICHT

Prof. Dr.-Ing. Gorge Deerberg

Telefon: +49 208 8598-1107

E-Mail: goerge.deerberg@umsicht.fraunhofer.de

Fraunhofer-Institut für Grenzflächen- und Bioverfahrenstechnik IGB

Dr.-Ing. Ursula Schließmann

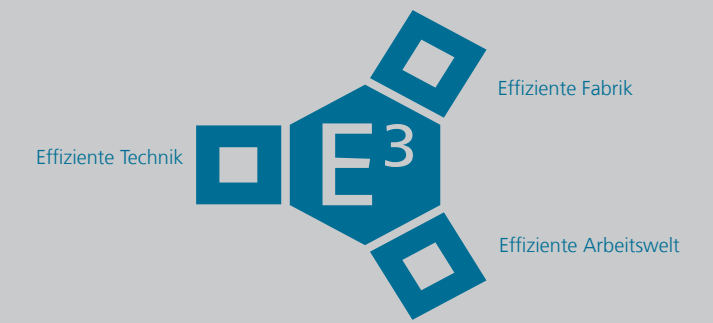
Telefon: +49 711 970-4222

E-Mail: ursula.schliessmann@igb.fraunhofer.de



E³ IN AKTION – DIE DEMONSTRATOREN

DER ANWENDUNG EINEN SCHRITT NÄHER



PRAXISTEST FÜR DIE FORSCHUNGSPROJEKTE: VIER DEMONSTRATOREN ERMÖGLICHEN ES, DIE ERGEBNISSE ZU ÜBERPRÜFEN, MITEINANDER ZU VERNETZEN UND WEITERZUENTWICKELN. SO ENTSTEHEN THEMENPLATTFORMEN, DIE DIE VORAUSSETZUNG FÜR DIE »SYSTEMFORSCHUNG PRODUKTION« SCHAFFEN.

D1 Virtuelle Plattform E³-basierte Produktentwicklung



Der Demonstrator führt Methoden, Modelle und Werkzeuge zur digitalen Unterstützung der Produktentwicklung und der Gestaltung der Produktion auf einer Plattform zusammen. Folgende Projekte sind integriert:

- 2 Generativer Automobilbau
- 5 Integrierte Verfahrenstechnik
- 6 Bewertungsmodell Prozesskette
- 1 Plusenergie-Fabrik
- 3 Adaptive Produktionssysteme
- 2 Ressourcenoptimiertes Produktdesign
- 3 Nachhaltigkeitskompass SUSPROFIT

D2 E³-Forschungsfabrik Ressourceneffiziente Produktion



Die Forschungsfabrik ist gemäß den E³-Grundprinzipien aufgebaut und bildet Beispiel-Prozessketten in einer realen Produktionsumgebung nach. Folgender Projekte sind integriert:

- 1 Prozesskette Gießen
- 4 Verzahnte Getriebebauteile
- 1 Plusenergie-Fabrik
- 2 Integrales Stoffstrom- und Energiemanagement
- 3 Adaptive Produktionssysteme
- 1 Produktionstapet

D3 Assistenzsysteme für die Produktion



Ein reales Szenario im Bereich des Automobilbaus führt eine am Körper getragene Hebehilfe, eine optische Überwachung der Montagequalität sowie eine Mensch-Roboter-Interaktion zu einer Demonstrationsanwendung zusammen. Folgende Projekte sind integriert:

- 3 Integrative Fertigungsverfahren
- 2 Montage-Assistenzsysteme

D4 Mensch-Maschine-Plattform



Mithilfe dieses Demonstrators kann der Nutzer Produktionsprozesse und die Produktionslogistik planen und steuern. Folgende Projekte sind integriert:

- 4 Verzahnte Getriebebauteile
- 1 Produktions-Tablet
- 1 Produktions-Cloud



D1 VIRTUELLE PLATTFORM E³-BASIERTE PRODUKTENTWICKLUNG



Die E³-Engineeringplattform stellt Werkzeuge für die digitale Unterstützung im gesamten Produktionsprozess zur Verfügung.

Auf der virtuellen Demonstratorplattform werden Methoden und Werkzeuge zur Modellierung, Simulation, Planung und Optimierung sowie entsprechende Bibliotheken mit hinterlegten Parametern und Entscheidungskriterien zusammengeführt. Alle Aspekte – das Produkt, die Prozesskette, das Produktionssystem sowie die Produktionsstätte – sind auf der Plattform abgebildet. Ressourceneffizienz spielt immer die entscheidende Rolle: für die Produktauslegung, für die Auswahl von Prozessketten, für ressourcenadaptive Produktionsabläufe und für die Planung einer emissionsneutralen Fabrik. Die Einbindung der Ergebnisse aus den Projekten erfolgt durch Standardsoftware und Webanwendungen.

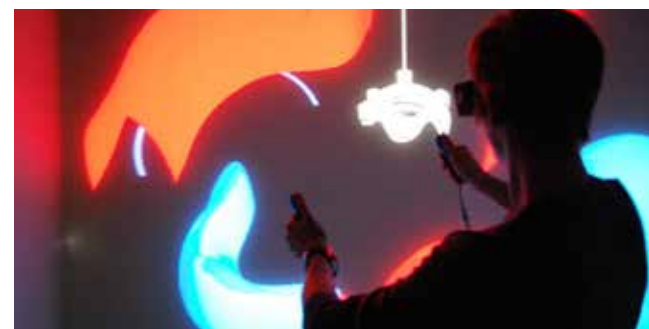
Mithilfe der E³-Engineeringplattform ist es möglich, alle Phasen der Produktion durchgängig ressourceneffizient und nachhaltig zu gestalten – von der Produktentwicklung bis hin zur Fabrikplanung.

Kontakt und Koordination

Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik IPK

Eckhard Hohwieler
Koordinator Demonstrator
Telefon: +49 30 39006-121
E-Mail: eckhard.hohwieler@ipk.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Eckart Uhlmann
Institutsleiter
Telefon: +49 30 39006-101
E-Mail: eckart.uhlmann@ipk.fraunhofer.de



D2 E³-FORSCHUNGSFABRIK RESSOURCENEFFIZIENTE PRODUKTION



Die E³-Forschungsfabrik ist ein Schaufenster für die ressourcenschonende Produktion von morgen. In ihr greifen alle Aspekte des E³-Konzepts ineinander und schaffen sichtbare Innovationen und Lösungen für die Produktion der Zukunft.

Technologische und organisatorisch-methodische Konzepte werden in der E³-Forschungsfabrik zusammengeführt. Dabei spielen die Prozessketten »Powertrain« und »Karosseriebau« ebenso wie das Ressourcen(daten)management eine wichtige Rolle. Durch die Integration von erneuerbaren Energien und Energiespeichern sowie umfangreicher Mess- und Datentechnik können neue Lösungen zur Flexibilisierung der Energieversorgung in der Produktion erprobt werden. Auf Basis informationstechnischer Assistenzsysteme ist es zudem möglich, neues Wissen aus der Fertigung und der Logistik zielgruppengerecht für die Steuerung der Produktion zu nutzen und die Rolle des Menschen in der Smart Factory neu zu denken.

Die E³-Forschungsfabrik ist eine Transferfabrik für die Produktionsstätten der Zukunft, in der innovative Einzellösungen ineinandergreifen.

Kontakt und Koordination

Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU

Enrico Franz
Koordinator Demonstrator
Telefon: +49 371 5397-1514
E-Mail: enrico.franz@iwu.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Institutsleiter, Gesamtkoordinator der E³-Forschungsfabrik
Telefon: +49 371 5397-1349
E-Mail: matthias.putz@iwu.fraunhofer.de



D3 ASSISTENZSYSTEME FÜR DIE PRODUKTION



Die E³-Assistenzsysteme unterstützen den Nutzer durch individualisierbare Hebehilfen, Assistenzkinematiken und optische Qualitätsüberwachung.

Die Untersuchungen konzentrieren sich auf drei Bereiche: Entwicklung von Kinematiken mit nur zwei angetriebenen Freiheitsgraden zur Kosten- und Gewichtsreduktion, Sensorkonzepte zur Erfassung des Benutzerwunschs und Entwicklung eines Leichtbaugrundgerüsts zur Stabilisierung des Oberkörpers. Im Rahmen des Forschungscampus ARENA 2036 entsteht auf einer Fläche von 8.000 Quadratmetern eine reale Testumgebung für die wandlungsfähige Fahrzeugproduktion. Sie dient als Beispielanwendung für die neuen am Körper getragenen Hebehilfen. Deren Vorteile im Hinblick auf eine am Menschen orientierte Produktion können so in einem realen Szenario veranschaulicht werden.

Die E³-Assistenzsysteme erleichtern körperliche Arbeiten und schaffen so eine wichtige Voraussetzung für ein attraktives Arbeitsumfeld in der Produktion.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung IPA

Werner Kraus
Koordinator Demonstrator
Telefon: +49 711 970-1049
E-Mail: werner.kraus@ipa.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Thomas Bauernhansl
Institutsleiter
Telefon: +49 711 970-1101
E-Mail: thomas.bauernhansl@ipa.fraunhofer.de



D4 MENSCH-MASCHINE-KOMMUNIKATION



Als Logistisches Assistenzsystem (LAS) unterstützt das E³-Planungstool den Menschen bei der Planung und Steuerung der Produktionsabläufe.

In laufenden Prozessen filtert das LAS alle notwendigen Daten und simuliert die optimale Produktionsreihenfolge. Reale logistische Events, die an das LAS übermittelt werden, dienen als Datenbasis, um das simulierte Ergebnis mit der realen Welt zu vergleichen. Die Datenübermittlung erfolgt mithilfe von Cyber-Physischen Systemen und der Middleware-Software „linksmart“, die Events direkt von der Maschinensteuerung oder den Sensoren überträgt. Ein LAS bewertet mögliche Produktionsreihen-Folgealternativen und zeigt dem Nutzer die jeweiligen Konsequenzen auf. Der Nutzer interagiert mit dem System durch bedienerfreundliche Endgeräte wie dem Coaster® und dem ProductionsPad, die ihn in die Welt der Industrie 4.0 einbinden.

Das E³-Planungstool verdichtet komplexe Informationen aus dem Fertigungsprozess und verarbeitet sie zu einer wichtigen Entscheidungshilfe in der digitalisierten Produktion.

Kontakt

Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

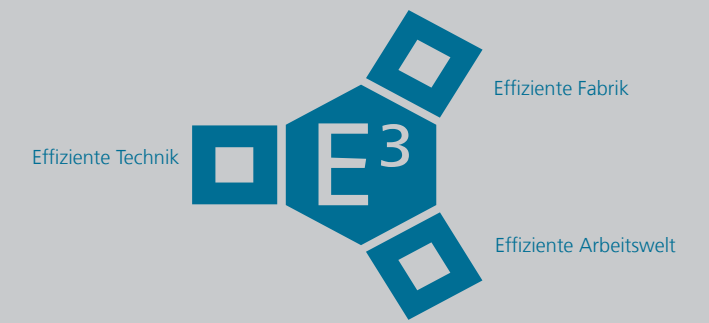
Arnd Ciprina
Koordinator Demonstrator
Telefon: +49 231 9743-243
E-Mail: arnd.ciprina@iml.fraunhofer.de

Prof. Dr.-Ing. Michael ten Hompel
Institutsleiter
Telefon: +49 231 97 43-600
E-Mail: michael.ten.hompel@iml.fraunhofer.de



E³-PERSPEKTIVE

WEGMARKEN ZUR PRODUKTION DER ZUKUNFT



WIE SIEHT DIE VISION VON DER PRODUKTION DER ZUKUNFT AUS?
DIE LAUFENDEN E³-AKTIVITÄTEN LIEFERN BEREITS VIELE WICHTIGE IMPULSE. SIE FLIEßEN IN DIE E³-ROADMAP EIN, DIE AUCH HANDLUNGSFELDER UND FORSCHUNGSBEDARFE AUFZEIGT.

Alle drei E³-Dimensionen – effiziente Technik, effiziente Fabriken und effizientes Arbeiten – sind miteinander vernetzt und werden ganzheitlich betrachtet. Moderne Informationstechnologien verstärken diese Vernetzung, indem sie digitale Anwendungen mit realer (Produktions-)Technik verknüpfen. Das Internet der Dinge oder Industrie 4.0 verbindet Technik, Fabrik und Mensch in einem systematischen Vorgehen, dass zu neuen Ansätzen für die Planung, die Steuerung und die Organisation von Produktionsprozessen und ganzer Wertschöpfungsketten führt.

Für viele Bereiche zeigen die E³-Projekt- und Demonstratorergebnisse bereits Lösungen auf. Aufbauend auf diesen konkreten Arbeiten stehen Untersuchungen zu weiteren Handlungsfeldern und Forschungsbedarfen im Fokus der nächsten E³-Projektphase.

Handlungsfelder und Forschungsbedarfe für die Produktion von morgen

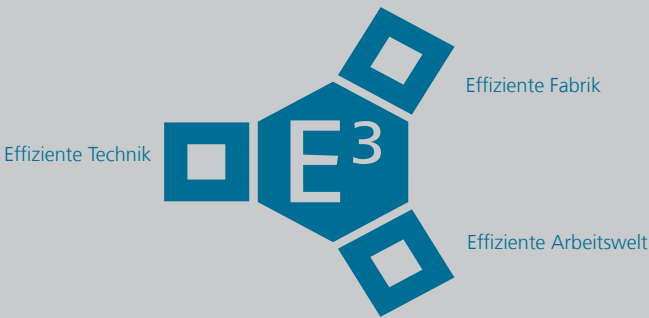
Auch in dieser Phase sind interdisziplinäres Denken und systemisches Herangehen gefragt. Damit ist es möglich, sowohl ingenieurwissenschaftliche als auch soziologische Perspektiven zu berücksichtigen. Denn nur so stoßen die Ideen einer modernen E³-Produktion auch auf Akzeptanz. Der Mensch muss die Marschrichtung vorgeben; seine Bedürfnisse und Fähigkeiten sollten die Leitlinien sein.

Folgende Bereiche stehen im Fokus:

- **Agilität der Produktion:** Eine flexible, dezentrale, individualisierbare und urbane Produktion mit optimierter Infrastruktur und Logistik sowie mit ultrakurzen Prozessketten und hybriden Technologien rückt näher an den Kunden.
- **Industrie 4.0:** Komplexe Lösungen verknüpfen die durch das Internet vernetzte Datenebene mit realen Fabrikabläufen. Arbeitsplätze und Qualifikationsprofile wandeln sich.
- **Management und Organisation:** Management und Belegschaft müssen auf die neue Produktionswelt mit ihren dezentralen Strukturen und neuen Anforderungen an das Personal vorbereitet sein.
- **Energie- und Ressourcenmanagement:** Nachhaltiges Wirtschaften und eine autarke, umweltfreundliche Energie- und Rohstoffversorgung werden zunehmend zum unternehmerischen Erfolgsfaktor.
- **Netzwerke und Wertschöpfungspartnerschaften:** Eine vernetzte und kooperative Produktion erfordert neue Geschäfts- und Partnerschaftsmodelle.
- **Qualität und Standards:** Gesundheitsschutz, Betriebssicherheit und Qualität müssen auch in Zukunft zum Einmal-eins der Produktion gehören.

Die Ergebnisse der Untersuchungen bilden die Basis für die E³-Roadmap in die Produktionswelt von morgen.

PROJEKTORGANISATION UND IMPRESSUM



Projektbeirat

Prof. Dr.-Ing. Reimund Neugebauer
Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft (Vorsitz)

Prof. Dr.-Ing. Gerry Byrne (Sprecher)
University College Dublin

Prof. Dr.-Ing. Fred J.A.M. van Houten
University of Twente Enschede

Prof. Ph.D. Laszlo Monostori
University of Technology and Economics Budapest

Prof. Dr.-Ing. Hubert Walzl
Audi AG

Prof. Dr.-Ing. Hans J. Naumann
Niles-Simmons Industrieanlagen GmbH

Dr.-Ing. Manfred Wittenstein
Wittenstein AG

Prof. Dr. rer. nat. Alexander Michaelis
Fraunhofer-Institut
für Keramische Technologien und Systeme IKTS

Prof. Dr. rer. nat. Andreas Tünnermann
Fraunhofer-Institut
für Angewandte Optik und Feinmechanik IOF

Projektlaufzeit

November 2013 – April 2017

Gesamtkoordination

Prof. Dr.-Ing. Fritz Klocke (Projektleitung)
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz (Projektleitung)
Fraunhofer-Institut für Werkzeugmaschinen und
Umformtechnik IWU

Dr.-Ing. Hendrik Gorzawski
Koordination zur Zentrale der Fraunhofer-Gesellschaft
Fraunhofer-Gesellschaft zur
Förderung der angewandten Forschung e.V.

Axel Demmer (stellvertr. Projektleitung)
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT

Andreas Nettsträter (stellvertr. Projektleitung)
Fraunhofer-Institut für Materialfluss und Logistik IML

Kontakt – Ansprechpartner Projektleitung

Fraunhofer-Institut
für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Prof. Dr.-Ing. Matthias Putz
Reichenhainer Straße 88
09126 Chemnitz

Telefon: +49 371 5397-1349
matthias.putz@iwu.fraunhofer.de

Impressum

Redaktion, Gestaltung und Produktion
Dr.-Ing. Claudia Weise
rubicondo
Agentur für Kommunikation und Projektmanagement

Annegret Esche
Fraunhofer-Institut
für Werkzeugmaschinen und Umformtechnik IWU
Geschäftsstelle E³-Produktion
Telefon +49 371 5397-1380
annegret.esche@iwu.fraunhofer.de

Druck
Verlag Wissenschaftliche Scripten

Bildquellen

Titel, Rückseite: fotolia
Seiten 2, 4, 6, 8–24, 26–30: fotolia
Seite 15 klein: René Maresch
Seite 28 klein: STORZ Medienfabrik GmbH

Alle anderen Abbildungen: © Fraunhofer-Gesellschaft

Bei Abdruck ist die Einwilligung der Fraunhofer-Gesellschaft
erforderlich.

© Fraunhofer-Gesellschaft, München, November 2015