



Karlsruher
Forschungsfabrik®

KI-integrierte Produktion

Etablierte Prozesse optimieren,
unreife Prozesse ertüchtigen



Die Karlsruher Forschungsfabrik ist eine Initiative
des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT) und der Fraunhofer-Gesellschaft.



Inhalt

Seite	4	Beste Entfaltungsmöglichkeiten für neue Produkte und Prozesse
Seite	6	Die Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion
Seite	8	Unreife Prozesse und ihre Ertüchtigung
Seite	10	Wandlungsfähige Produktion
Seite	12	Digitalisierung und KI
Seite	14	Architektur und Gestaltung
Seite	16	Kooperationsmodelle
Seite	17	Schaeffler Hub for Advanced Research
Seite	18	Karlsruher Innovations-Ökosystem
Seite	19	Stimmen aus der Industrie
Seite	20	Entstehung der Karlsruher Forschungsfabrik
Seite	22	Ansprechpartner

Beste Entfaltungsmöglichkeiten für neue Produkte und Prozesse

Wissenschaft und Industrie gemeinsam zum Erfolg



*Prof. Dr.-Ing. habil.
Reimund Neugebauer,
Präsident der Fraunhofer-
Gesellschaft e.V.*

Deutschlands wirtschaftlicher Erfolg und der Wohlstand seiner Bevölkerung beruhen zu einem beträchtlichen Teil darauf, die Weltmärkte mit innovativen Produkten und Technologien zu beliefern. Es gilt, diese Fähigkeit zu bewahren, zu stärken und auszubauen, um auch langfristig im internationalen Wettbewerb bestehen zu können.

Mit der Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion leisten die Fraunhofer-Gesellschaft und das Karlsruher Institut für Technologie KIT einen wichtigen Beitrag, die Spitzenstellung des Industriestandorts Deutschlands zu festigen: Hier treffen neueste Erkenntnisse aus dem Gebiet der Künstlichen Intelligenz und des Machine Learning mit klassischen Ingenieurwissenschaften zusammen, um das Zukunftsthema »Intelligente Produktion« praxisnah zu erforschen. Das Ziel ist, neueste wissenschaftliche Erkenntnisse in Anwendungsgebieten wie dem Leichtbau oder der Produktion von Batterie- und Brennstoffzellen schnell und effizient in den Markt zu überführen.

Dazu entwickeln und erproben Wissenschaft und Industrie gemeinsam neue Methoden, um Fertigungsprozesse zu optimieren. Mit Verfahren des Machine Learning und der Künstlichen Intelligenz analysiert die bereits in Betrieb befindliche Fertigungsanlage qualitätsbezogene Daten und

»lernt«, welche Parameter gute Ergebnisse produzieren. Dadurch wird die Time-to-Market deutlich verkürzt und es Unternehmen ermöglicht, wesentlich früher auf ihren Zielmärkten präsent und erfolgreich zu sein.

Die beteiligten Fraunhofer-Institute ICT und IOSB bringen ihre Stärken auf den Gebieten der Werkstoff-, Fertigungs- und Verfahrenstechnik sowie in der Automatisierungs-, Sensor- und Informationstechnik ein. Durch die enge Zusammenarbeit zwischen universitärer und außer-universitärer Forschung mit der Industrie entsteht in der Forschungsfabrik ein erfolgreiches Zusammenspiel unterschiedlicher Kompetenzen. Durch diesen Schulterschluss zwischen Forschung und Wirtschaft wird es gelingen, den Transfer von innovativen Produkten zu beschleunigen und so die Position Deutschlands in dem zukunftsorientierten Technologiefeld »Intelligente Produktion« abzusichern.



Exzellente Wissenschaft erfordert den Dialog mit unterschiedlichsten Partnern. Zur Lösung der globalen Herausforderungen der Menschheit leistet das Karlsruher Institut für Technologie (KIT) – »Die Forschungsuniversität in der Helmholtz-Gemeinschaft« maßgebliche Beiträge in den Feldern Energie, Mobilität und Information. Das KIT steht für Forschung, Lehre und Innovation auf Spitzenniveau. Der Brückenschlag zwischen Erkenntnis und Anwendung zum gesellschaftlichen Nutzen und wirtschaftlichen Wohlstand ist unser Kompass.

Mit der Karlsruher Forschungsfabrik schaffen das KIT und die Fraunhofer-Gesellschaft eine einzigartige Möglichkeit, gemeinsam mit Unternehmen an realen Prozessen das Zukunftsthema KI-integrierte Produktion praxisnah zu erforschen. Möglich macht dies die umfassende interdisziplinäre Expertise der Partner: Forschende aus dem Maschinenbau, der Prozess- und Automatisierungstechnik und der Informatik bringen ihre Erfahrungen ein und entwickeln gemeinsam Lösungen.

In der Forschungsfabrik erforschen und erproben die Beteiligten neue Produktionsprozesse schon in einem frühen Stadium. Sie entwickeln Methoden, Komponenten und Anlagen, um den Reifegrad der Produktionslösungen schnell zu steigern und sie nach kurzer Zeit in die industrielle Anwendung zu überführen. So entstehen für Produktionsunternehmen sowie den Maschinen- und Anlagenbau große Chancen. Durch Sensorik, eine intelligente Datenauswertung und eine sich selbst optimierende Parametrierung können auch unreife Prozesse vom ersten Tag an effizient betrieben werden – vergleichbar mit einer Software, die während des Betriebs durch Updates weiter verbessert wird. Das wbk Institut für Produktionstechnik des KIT bringt seine Stärken in den Themen elektrische Antriebe, Batterie und Brennstoffzelle, Leichtbaufertigung sowie Werkzeugmaschinen und Mechatronik ein.

Die Karlsruher Forschungsfabrik ist eine Blaupause für einen gemeinsamen Erfolg von Wissenschaft und



Prof. Dr.-Ing. Holger Hanselka, Präsident des Karlsruher Instituts für Technologie (KIT)

Wirtschaft. Durch die enge Kooperation mit der Industrie schaffen die Partner einen Schmelztiegel innovativer Lösungen für produktionstechnische Unternehmen. Innovation bedeutet, die Zukunft zu denken. Das ist am KIT eine Kernkompetenz. Damit ist das KIT und sein produktionstechnisches Institut wbk ein verlässlicher Partner der Politik und Teil der Zukunftsfähigkeit des Wirtschaftsstandorts Deutschlands.



*Prof. Dr.-Ing. habil.
Jürgen Beyerer, Institutsvorstand
Fraunhofer IOSB*



*Prof. Dr.-Ing.
Jürgen Fleischer, Institutsvorstand
Institut für Produktionstechnik (wbk) am KIT*



*Prof. Dr.-Ing.
Frank Henning, Institutsvorstand
Fraunhofer ICT*

Die Karlsruher Forschungsfabrik für KI-integrierte Produktion

Etablierte Prozesse verbessern, unreife Prozesse ertüchtigen

Gerade der hohe Anteil verarbeitender Industrie hat Deutschland maßgeblich geholfen, die letzten Krisen vergleichsweise gut zu bewältigen. Damit wir erfolgreich bleiben, müssen wir den digitalen Wandel aktiv gestalten und selbst das Heft in die Hand nehmen. Genau darauf zielen unsere Aktivitäten: Unsere starke industrielle Basis in Deutschland zu erhalten und zu stärken.

Mit Industrie 4.0 verfügt Deutschland über einen Exportschlager – aber die damit einhergehenden Möglichkeiten sind noch lange nicht ausgeschöpft. Durch immer volatilere Märkte, zunehmende Individualisierung und der Berücksichtigung von Prinzipien der Kreislaufwirtschaft und Nachhaltigkeit sind Unternehmen gezwungen, neue Prozesse und Technologien einzusetzen, ohne dass diese im Vorfeld vollständig erprobt oder beherrscht werden. Der Einsatz von datengetriebenen Verfahren ermöglicht ein kontinuierliches und schnelles Erlernen des erforderlichen Prozesswissens; jedes zu produzierende Produkt ermöglicht

gleichzeitig ein Experiment, das zu einem besseren Prozessverständnis beiträgt. Voraussetzung für den effektiven Einsatz von Künstlicher Intelligenz (KI) und Maschinellem Lernen (ML) ist, dass die Spitzenforschung auf diesem Gebiet und die klassischen Ingenieurdisziplinen zusammenwachsen und so die Unterschiede in Methoden und Vorgehensweisen überbrücken.

Die Karlsruher Forschungsfabrik ist für diese Aufgaben konzipiert: Ein Angebot ist die langfristige und zielgerichtete Kooperation von Unternehmen mit der Karlsruher Forschungsfabrik. Auf 5.000 m² Produktionsfläche mit modernster Infrastruktur setzen wir gemeinsam mit Industriepartnern industriennahe KI-Projekte um – mit dem Ziel, etablierte Prozesse zu optimieren und »unreife«, nicht vollständig verstandene Prozesse schnell produktiv nutzbar zu machen.

Die Initiatoren der Karlsruher Forschungsfabrik arbeiten selbst schon interdisziplinär: Hier bündeln Experten der Werk-

Daten und Fakten zur Karlsruher Forschungsfabrik:

Erbaut:	Juni 2019 bis Juni 2021
Bauherren:	Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.
Fläche:	Rund 5.000 m ² in drei Hallen Rechenzentrum mit Software Defined Datacenter (SDDC) Vordefinierte Projektfelder mit Werkbank, Werkzeug und jeweils eigenem Netzwerkschicht.
Gesamtbaukosten:	20,5 Mio. Euro brutto

stoff- und Verfahrenstechnik (Fraunhofer ICT), der Fertigungs- und Produktionstechnik (wbk Institut für Produktionstechnik des KIT) sowie der Informationstechnik und industrienaher KI (Fraunhofer IOSB) ihre Kompetenzen. Die Industriepartner profitieren von der Ausstattung, vorhandenen Lösungsbausteinen, in denen viele zeitraubende Entwicklungen vorgedacht und schnell einsatzfähig sind, sowie von der Nähe zu qualifiziertem Personal der KI- und ML-Spitzenforschung bei Fraunhofer und dem KIT. Drei Anwendungsdomänen stehen dabei im Fokus:

Industrie 4.0

Im Kontext von Industrie 4.0 adressiert die Karlsruher Forschungsfabrik ganz selbstverständlich die vollständige Vernetzung der Fertigungsprozesse sowie der Echtzeitverarbeitung und Nutzung aller verfügbaren Daten, die in den betrachteten Fertigungsteilprozessen anfallen. Die Arbeiten zu Industrie 4.0 bilden damit die Basis zur Entwicklung effizient

funktionierender Anlagen und Prozesse in den beiden Anwendungsgebieten unreifer Prozesse. Die durchgängige Vernetzung von den Anlagen bis in die Cloud ermöglicht eine ganzheitliche Betrachtung von Prozessen und damit auch deren weitere Verbesserung.

Leichtbau

Der Leichtbau gehört zu den wichtigsten Zukunftstechnologien im Fahrzeug- und Maschinenbau. Zur Königsdisziplin entwickelt sich dabei der hybride Leichtbau. Darunter wird die Kombination von verschiedenen Werkstoffen verstanden, die im Verbund die besten Gesamteigenschaften für ein betrachtetes System hervorbringen, nach dem Motto: »Das richtige Material an der richtigen Stelle«. Die Karlsruher Forschungsfabrik hat u. a. die Aufgabe, gemeinsam mit Industriepartnern grundlagen- und anwendungsorientierte Forschung auf dem Gebiet des faserverbundbezogenen hybriden Leichtbaus zu betreiben, speziell um die zur Verarbeitung erforderlichen Fertigungsprozesse schnell marktreif zu machen.

Elektromobilität

Dem Einsatz von Batterien auf Basis der Li-Ionen Technologie kommt eine besondere Bedeutung zu, denn keine andere Speichertechnologie hat sich in den letzten 15 Jahren nur näherungsweise mit vergleichbaren Wachstumsraten entwickelt. Der Markt der modernen Hochleistungsbatterien wird heute von der Li-Ionen Technologie dominiert, deren theoretische Energiedichte in derselben Größenordnung wie die fossiler Energieträger liegt. Ein vielversprechender Einsatzbereich moderner Hochleistungsbatterien ist die Elektromobilität. Allerdings sind zur effizienten und industriellen Serienherstellung von Batteriesystemen neue Fertigungsprozesse und -verfahren zu entwickeln, die dann schnell in industrielle Fabriken einziehen können. Ebenso wird das fertigungsge- rechte Systemdesign inkl. performanter Kühlung benötigt, um die Entwicklungen auf Zellebene in einem assemblierten Batteriesystem zusammenzuführen. Dies sind weitere Aufgaben der Karlsruher Forschungsfabrik.

Unreife Prozesse und ihre Ertüchtigung

Heute setzen produzierende Unternehmen Künstliche Intelligenz (KI) und Maschinelles Lernen (ML) ein, um unerwünschtes Verhalten von Maschinen oder Komponenten in der Produktion zu erkennen und Produktionsstillstände zu vermeiden. Manche entwickeln bereits Modelle zur Vorhersage der Qualität und nutzen sie, um Prozessparameter zur Laufzeit zu verbessern. KI kann aber auch dabei unterstützen, neue Fertigungsverfahren schnell zur industriellen Reife zu bringen. Angesichts der aktuellen Herausforderungen, z. B. Marktschwankungen oder einer immer höheren Zahl von Produktvarianten, können Ingenieure Produktionsprozesse kaum noch vorab vollständig auspezifizieren. Früher wurden diese Prozesse aufwändig entwickelt und daraus Anlagen abgeleitet, diese Anlagen geplant, konfiguriert, zusammengebaut und in Betrieb genommen. Heute laufen diese Schritte teilweise parallel ab. Als »Unreife Prozesse« bezeichnen wir Fertigungsverfahren, die noch nicht vollständig verstanden sind,

weil sie entweder neue Technologien einsetzen, neue Werkstoffe verarbeiten oder komplexe Wechselwirkungen zwischen Eingangsmaterial, Prozesszustand und externen Einflussgrößen auftreten. Die Idee hinter der KI-basierten schnellen Reifmachung ist es, den Prozess schon in einem sehr frühen Stadium in einem industriellen Maßstab umzusetzen und Produkte zu fertigen. Eingangs höhere Ausschussraten werden in Kauf genommen, wenn dadurch schnell ausreichende Daten zur nachfolgenden Prozessoptimierung entstehen. Mittels (Über-)Instrumentierung durch erweiterte Sensorik und Aktuatorik wird der Prozess zunächst für maschinelle Lernverfahren zugänglich gemacht. Die mit den Daten trainierten KI-Modelle ermöglichen es Ingenieuren und Data Scientists die Produktion zu beobachten und darauf aufbauend eine adaptive Prozessregelung zu entwickeln. So kann der Markt schon viel früher mit neuen Produkten bedient werden. Mit der erheblich kürzeren Time-to-Market können



Zielmärkte mit neuen Produkten schon bedient werden, bevor die Fertigungsprozesse bezüglich Herstellkosten optimiert sind, z. B. in der Fertigung von Batteriezellen oder -modulen, der automatisierten Elektromotorenfertigung oder bei der Herstellung von Brennstoffzellen.

Intelligente Batteriezellproduktion

Die Batteriezellfertigung ist energie- und ressourcenintensiv. Weil teure Elemente wie Cobalt verarbeitet werden, muss der Produktionsanlauf schnell und die Serienfertigung robust sein; dies minimiert auch den Ausschuss. Diese Ziele verfolgt das vom Bundesministerium für Bildung und Forschung geförderte InZePro-Forschungscluster. Dabei sollen Anlagen- und Steuerungstechnik mit Methoden der Künstlichen Intelligenz befähigt werden, anhand ausgewählter Sensordaten ihre Prozessparameter so zu optimieren, dass schnell eine gleichbleibend gute Prozessqualität erreicht wird.

In der Karlsruher Forschungsfabrik werden die InZePro-Projekte In-QuZell, InTeAn, InteKal, ReFlexBat, DataBatt und IntelliPast bearbeitet. Weiterhin bearbeiten wir das Projekt AgiloBat2, ebenfalls Teil des InZePro-Clusters, in der Karlsruher Forschungsfabrik. Hier wird ein neuartiges Produktionssystem zur hochflexiblen, vollautomatisierten Zellfertigung in Microenvironments als Prototyp aufgebaut. Dabei fließen die Erkenntnisse zu den einzelnen Prozessschritten aus den InZePro-Projekten in die Qualitätssicherung des Anlagenprototyps ein.

Additiv-subtraktiver FFF-Prozess mit Inline-Prozessregelung für hochintegrierte Kunststoffbauteile

Bereits in der ersten Förderphase des »InnovationsCampus – Mobilität der Zukunft« (ICM) standen die Additive Fertigung und emissionsfreie Antriebe als wichtige Schlüsseltechnologien einer zukunftsfähigen und nachhaltigen Mobilität im Fokus. Im Rahmen von zwei neuen Projekten wird ein

aus der ersten Förderphase stammender Fused Filament Fabrication (FFF) Prozess weiterentwickelt: Dazu wird ein additiv-subtraktiver Prozess mit Inline-Prozessregelung zur automatisierten Herstellung von Kunststoffbauteilen mit integrierten Funktionselementen (Sensoren, Metall- und Kunststoffinserts) entwickelt, um eine flexible und wirtschaftliche Fertigung von hochintegrierten Bauteilen zu ermöglichen. Im Projekt AddiMoT ergänzen wir den FFF-Prozess mit Roboter für Handhabungsoperationen um einen Fräsprozess, um Fertigungsungenauigkeiten vor der Integration der Inserts zu beseitigen. Das Ziel ist die Integration von Temperatur- und piezobasierten Schwingungssensoren in die Struktur einer Transversalflussmaschine, um eine kontinuierliche Zustandsüberwachung der Betriebsbedingungen zu ermöglichen. Im Schwesterprojekt FLINK wird die benötigte Steuerungsarchitektur zur flexiblen Einbindung von Zusatzmodulen weiterentwickelt sowie eine bildbasierte Inline-Prozessregelung umgesetzt.

Wandlungsfähige Produktion

Wandlungsfähigkeit erlaubt es produzierenden Unternehmen, sich schnell und effizient an Änderungen am Markt, in der Lieferkette oder in der Produktion anzupassen. In umfangreichen Forschungsarbeiten haben Wissenschaftler Wandlungsbefähiger definiert [1], die für Hardware (Fabriken, Produktionslinien, Maschinen und deren Komponenten) und Software gleichermaßen anwendbar sind: Universell einsetzbare Hard- und Software erfordert frei programmierbare Kinematiken und Bibliotheken von instanzierbaren Fertigungs- und Automatisierungskomponenten, die schnell für geänderte oder neue Fertigungsaufgaben kombiniert und konfiguriert werden können. Hohe Variantenvielfalt und sich schnell ändernde Kapazitätsanforderungen zwingen dazu, hochspezialisierte und -produktive durch universelle Ausrüstungen zu ersetzen. Sie lassen sich leichter skalieren und reduzieren letztlich Fixkosten, die bei schwankendem Absatz und evtl. resultierenden Stillständen nicht gedeckt werden könnten.

Fabriken mit mobilen Ausrüstungen (Maschinen oder Materialflusssysteme) verzichten auf feste Einbauten im Hallenboden oder einer fest installierten Materialflussebene, erfordern jedoch Lokalisierung und Verfolgung von Werkstücken, Ausrüstungen und Transportsystemen. Modularität benötigt Auto-Identifikation, -Konfiguration und -Aktualisierung von Produktionsanlagen nach dem PLUGandWORK-Prinzip. Damit können Module schnell umgebaut, neu angeordnet oder auch skaliert werden, entsprechend den sich ändernden Fertigungsaufgaben.

Wandlungsfähige Hardware mit standardisierten mechanischen Schnittstellen ist vielerorts schon in Betrieb. Auf Seiten der Software ist Wandlungsfähigkeit vielfach noch zu realisieren, z. B. durch standardisierte Services. Maschinenlesbare Modellierung und Konfiguration auf eingebetteten Systemen in Maschinen und Komponenten ersetzt Programmierung [2]. Maschine-zu-Maschine-

Kommunikation zwischen Geräten auf der Feldebene und Kommunikation zwischen Feldebene und Systemen auf der MES-Ebene liefern jederzeit aktuelle Statusinformationen für Geräte und Bediener. Gemeinsame Informationsmodelle bilden die semantische Basis für Datenzugriff und -austausch.

Wertstromkinematik – Produktionssysteme neu gedacht

Industrie 4.0 steht für die Innovationsfähigkeit und Kreativität von Forschung und Industrie. Zur vollen Ausschöpfung des Potentials von Industrie 4.0 müssen die Produktionsmaschinen und -systeme der Zukunft grundlegend neu gedacht werden. Mit der Wertstromkinematik (WSK) gehen wir diese Herausforderungen systematisch und interdisziplinär an: Unsere Vision ist es, den Aufbau einer Produktion vollständig mit baugleichen, universell einsetzbaren Roboterkinematiken zu realisieren.

Deren Aufgaben umfassen die in der Industrierobotik üblichen



Vollautomatisierte Produktionszelle zur Herstellung hybrider Thermoplast-Strukturbauteile (MoPaHyb Projekt). Das Transferzentrum »Hybrider Leichtbau« am Fraunhofer ICT steht mehrere Jahre für Schulungen zur Verfügung.

Handhabungsaufgaben und zusätzlich Fertigungs- und Montageprozesse sowie die Qualitätssicherung. Die vielfältigen Anforderungen der Produktionstechnik bewältigt die WSK mithilfe der intelligenten Kooperation und Kopplung der eingesetzten Roboterkinematiken. Die Reduzierung oder sogar der Verzicht auf teure, wenig flexible Spezialmaschinen innerhalb eines Wertstroms erhöht die Flexibilität der Produktionskette stark und erleichtert eine Umstellung auf andere Endprodukte enorm.

Im Rahmen des Exzellenzuniversitäts-Vorhabens KIT Future Fields wurde die Initiative Wertstromkinematik mit einem Projektbudget von 1,8 Millionen Euro gestartet, an dem zehn weitere Institute des KIT und der Hochschule Karlsruhe arbeiten. Erste Ergebnisse der Initiative und der aktuelle Entwicklungsstand des Demonstrators können bereits jetzt in der Forschungsfabrik begutachtet werden.

Projektbeispiel MoPaHyb (Modulare und rekonfigurierbare Produktionsanlage für hochbelastbare Hybridbauteile)

Die »Multi-Material-Bauweise« ist ein vielversprechender Ansatz für strukturelle Leichtbauanwendungen und damit zur Erreichung der Klimaziele. Schwankende Losgrößen, Variantenvielfalt und die damit verbundenen Anlageninvestitionen für einzelne Produkte erschweren jedoch die ökonomische Fertigung und damit die Serieneinführung.

In dem vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) geförderten Projekt MoPaHyb entwickelten vierzehn Partner aus Industrie und Forschung eine modulare und rekonfigurierbare Produktionsanlage mit PLUGandWORK-Steuerungsarchitektur, die leicht an ein breites Spektrum verschiedener hybrider Bauteile angepasst werden kann. Kern dieser Steuerungsarchitektur bildet das Basismodul als Leitsteuerung, mit dem Produktionsmodule über einheitliche Kommunikations-

Protokolle und -Schnittstellen verbunden werden. Konfiguration, Inbetriebnahme und Rekonfiguration erfolgt über einen sogenannten Modulbaukasten, der den Prozess des Anlagenengineerings deutlich verkürzt und damit wirtschaftlich attraktiv macht. Zur Demonstration des neuen Anlagen- und Steuerungskonzepts wurde eine Referenzproduktionsanlage am Fraunhofer ICT in Pfinztal aufgebaut, die innovative Leichtbautechnologien, wie das thermoplastische Tapelegen oder den Langfaser-Direktspritzguss umfasst. Das wbk führt das Konzept der modularen, rekonfigurierbaren Anlagensteuerung an einer Demonstrations- und Schulungsanlage in der Karlsruher Forschungsfabrik fort.

Referenzen

- [1] Wiendahl, H.-P. et. al.: *Changeable manufacturing – classification, design and operation. Annals of the CIRP 56/2/2007, pp.783-803.*
- [2] Hong, Xuan-Luu et al. *Fähigkeitsmodell für die Sensor-/Aktor-Rekonfiguration. atp magazin, [S. 1.], v. 61, n. 9, p. 64-71, Sept. 2019.*

Digitalisierung und KI



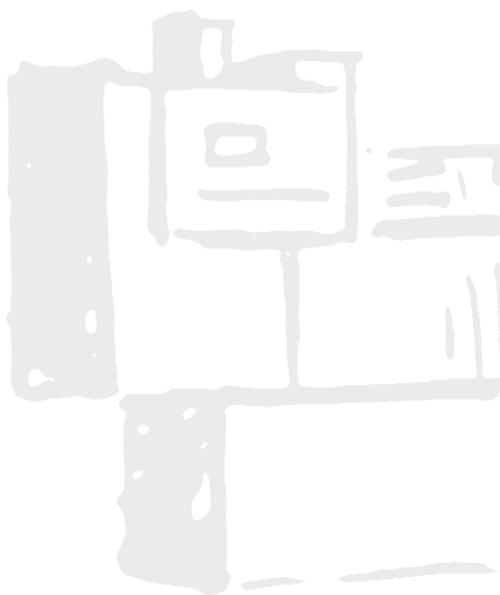
Die verarbeitende Industrie in Deutschland und ihre Fabrik-ausrüster stehen zunehmend im internationalen Wettbewerb – mit dem bekannten Druck hinsichtlich Kosten bzw. Preis, Zeit und Qualität. Darüber hinaus stellt die Digitalisierung das Ökosystem der Industrierausrüstung vor disruptive und zeitgleiche Herausforderungen im Hinblick auf den Wandel von Produkten zu Produkt-Service-Systemen (PSS) und auf die digitale Evolution konventioneller Produkte, Prozesse und Services. Klassische Fertigung und Montage verschmilzt mit Digitalisierung; dies schafft Raum für datenbasierte Services und Geschäftsmodelle, die das bestehende Geschäft der deutschen Industrie ergänzen. Diese Konvergenz zeigt ganz deutlich: Allein hochproduktive und zuverlässige Maschinen und Anlagen zu liefern, wird zukünftig als Differenzierungsmerkmal und Basis des Geschäftserfolgs von Produktionstechnik-Lieferanten nicht mehr ausreichen. Es vollzieht sich ein Paradigmenwechsel

vom Produktfokus zum Fokus auf nutzenbasierte Mehrwerte.

Traditionelle Organisationen, ihre Geschäftsmodelle und Arbeitsformen sind fundamental herausgefordert:

Erst der gemeinsame Einsatz vorhandener industrieller Exzellenz mit fortschrittlichen Technologien wie dem Internet der Dinge, Dienste und Daten, dem Cloud und Edge Computing oder vor allem der Künstlichen Intelligenz zu einem integrierten cyber-physischen Ökosystem wird den Weg in eine vernetzte Produktionswelt ebnen. Eine der wichtigsten Aufgaben ist es, heute einen offenen und förderierten Datenraum für morgen zu schaffen, in dem eine beliebig skalierbare Anzahl an Unternehmen in vertrauensvollen Geschäftsbeziehungen barrierefrei interagieren können.

Die Akteure der Karlsruher Forschungsfabrik und ihre F&E-Arbeiten legen die Grundlagen für den zukünftigen Geschäftserfolg der deutschen produzierenden Industrie.





Im Projekt AutoInspect werden beliebige Prüfbjekte automatisiert inspiziert, die Ergebnisse der Sensorik fusioniert und auf einen gemeinsamen Digitalen Zwilling referenziert.

Intelligente Maschinenkomponenten zur Realisierung von autonomen Produktionsmaschinen

Autonome Produktionsanlagen erfordern intelligente Maschinenkomponenten. Die Maschinenelemente müssen in der Lage sein, Daten zu senden, die ihren Zustand abbilden. Aus diesen Daten werden dann mit ML-Verfahren Muster extrahiert, die auf den Zustand der Komponenten schließen lassen. Intelligente Maschinenkomponenten erfordern Expertise bezüglich Maschinenverhalten, Sensorintegration, Kommunikationstechnik und Maschinellen Lernen.

Wegen des oftmals eingeschränkten Bauraums sind in intelligente Maschinenelemente kostengünstige und minimalinvasive Sensorsysteme zu integrieren. Die ML-Algorithmen sollten in der Lage sein, aus den Sensordaten möglichst effizient charakteristische Merkmale zu identifizieren. Auch die Robustheit der Systeme in unterschiedlichen Produktionsumgebungen ist relevant, da die Modelle in einem möglichst

großen Anwendungsbereich eingesetzt werden sollen. Dritter relevanter Aspekt ist die laufende Optimierung der Modelle im Betrieb. Diese Herausforderungen bilden den Rahmen der Forschung an intelligenten Maschinenkomponenten.

AgiloDrive2: Agile Produktionssysteme und modulare Produktbaukästen für elektrische Traktionsmotoren

Im aktuellen Jahrzehnt ist von einem stetig steigenden Absatz elektrifizierter Mobilitätslösungen auszugehen. Der elektrische Traktionsmotor nimmt dabei eine leistungs- und effizienzbestimmende Rolle ein und muss bei geringen Kosten in höchster Qualität und Leistungsdichte produziert werden. Volatile Märkte und Rahmenbedingungen führen jedoch zu einer großen Unsicherheit hinsichtlich der zu erwartenden Stückzahlen und eingesetzten Technologien. Das Investitionsrisiko in starre Produktionssysteme ist also hoch. Im Vorhaben AgiloDrive2 wird

ein agiler Produkt- und Produktionsbaukasten entwickelt, der kostensenkende Skaleneffekte zukünftig durch eine datenbasierte Adaption des Systems über verschiedene Produktbaureihen und Technologien ermöglicht. So wird die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Automobilindustrie nachhaltig gestärkt, weil die Elektromobilität technisch und wirtschaftlich in die Energiewende integriert wird. Die 18 Partner des von der Schaeffler Technologies AG koordinierten Forschungsvorhabens werden durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz bis 2024 mit insgesamt 16,4 Millionen Euro gefördert.



Architektur und Gestaltung

Heinle, Wischer und Partner, Freie Architekten

Um die Kooperation zwischen der Fraunhofer-Gesellschaft und dem Karlsruher Institut für Technologie (KIT) auszubauen, wurde auf dem Campus Ost des KIT Karlsruhe im Sommer 2021, nach zweijähriger Bauzeit, ein gemeinsamer Forschungskomplex von den beteiligten Instituten in Betrieb genommen.

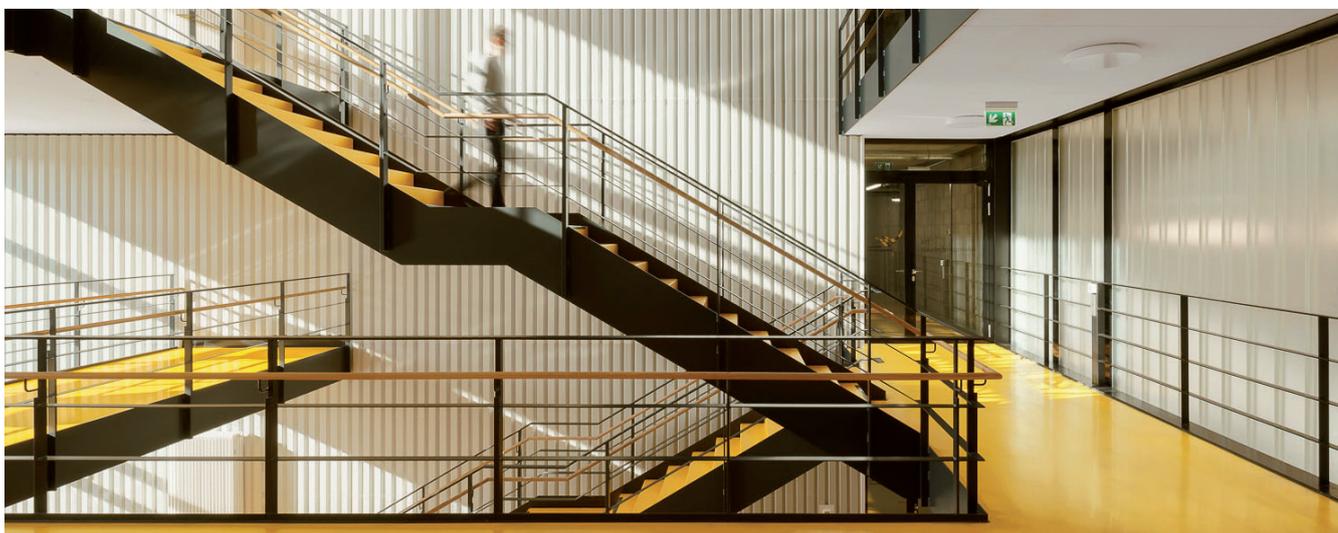
Die Positionierung des Baukörpers auf dem vorgesehenen Baufeld resultierte zum einen aus den städtebaulichen Vorgaben einer Vorstudie und zum anderen aus einem schützenswerten Baumbestand auf dem ehemaligen Kasernengelände. Zusammen mit den Bestandsbauten schließt der Forschungsneubau die vorhandene städtebauliche Kante

des Campus ab und definiert im Nordosten die, der zukünftigen Bauabschnitte.

Die Forschungsfabrik gliedert sich in zwei deutlich ablesbare Gebäudeteile, die eingeschossige Leichtbauhalle des KIT und die zweigeschossige E-Mobilitätshalle der Fraunhofer-Gesellschaft. Beide Bereiche wurden jeweils um ein eingestelltes Zwischengeschoss ergänzt. Die Industriehallen samt Nebenräumen wurden in einem L-Winkel zueinander angeordnet und sind durch ein Foyer miteinander verbunden. Um eine bauliche Trennung in zwei separate Institutsgebäude ohne großen Aufwand umsetzen zu können, wurden im Foyer entsprechende

konstruktive Maßnahmen berücksichtigt.

Das Erschließungs- und Grundrisskonzept ist klar strukturiert. Im Zentrum der beiden Gebäude fungiert das Foyer zum einen als verbindendes Element zwischen den Kooperationspartnern, zum anderen dient es als Ort der Kommunikation und Präsentation. Gleichzeitig werden über das dreigeschossige Foyer alle Ebenen der zwei Gebäudeteile erschlossen. Seine zentrale Position wird durch die prägnante Gestaltung hervorgehoben. Die Farbgebung des melonengelben Fußbodens, die Industrieverglasung und die, in das Innere gezogene Fassadenverkleidung, unterstreichen



den industriellen Charakter des Forschungskomplexes.

Über das Foyer werden im Obergeschoss die Aufenthaltsräume erreicht. Die zusätzlichen infrastrukturellen Räume für das KIT und die Halle Industrie 4.0 der Fraunhofer-Gesellschaft werden ebenfalls über das Obergeschoss erschlossen. Der offene Wartungsgang im 1. Obergeschoss des KIT dient nicht allein der Erschließung der angegliederten Räume. Er bietet Besuchern und Mitarbeitern die Möglichkeit von oben in die Halle zu blicken und Fertigungsprozesse zu beobachten und zu überprüfen. Büroräume, die Lüftungszentrale, Umkleiden sowie notwendige technische Räume ergänzen das Raumprogramm.

Beide Hallen sind analog aufgebaut. Sowohl in der Leichtbauhalle des KIT als auch in der E-Mobilitätshalle der Fraunhofer-Gesellschaft wurden flexible Maschinenaufstellplätze sowie eine Spange mit notwendiger Infrastruktur realisiert.

Das Konzept für die Fassade sieht zwei Ebenen vor.

Die erste Ebene mit den Industrieglasbändern zur Belichtung der Hallenbereiche und der Pfosten-Riegel-Fassade des Foyers bildet den Raumabschluss und sorgt durch die Dämmung auf den geschlossenen Stahlbetonflächen für den notwendigen Wärmeschutz. Alle Bauteile dieser Ebene haben einen tiefschwarzen Farbton erhalten.

Die zweite Ebene, mit einer hinterlüfteten Fassade aus weißen, gelochten Trapezblechen, legt sich komplett über die erste Ebene, fasst die einzelnen Gebäudeteile der Hallenbereiche optisch zusammen und erzeugt damit ein homogenes Gesamtbild. Im Foyer schaffen die großflächigen Glaselemente Sichtbezüge nach innen und außen und unterstreichen seinen Charakter als verbindendes Element zwischen den beiden Gebäudeteilen.



*Dipl.-Ing. Till Behnke,
Architekt*



*Dipl.-Ing. Elke Fichter,
Architektin*

Kooperationsmodelle

Industry on Campus und Embedded Scientists

Innovationskraft braucht Freiraum – und genau diesen Raum bieten die drei Institute mit der Karlsruher Forschungsfabrik. Im Team von Wissenschaftlern, Entwicklern und Praktikern aus Partnerunternehmen entstehen marktreife neue Produkte und Dienstleistungen. So ergibt sich für Unternehmen durch eine Beteiligung in der Karlsruher Forschungsfabrik konkreter und berechenbarer Nutzen: Das gemeinsame Team nutzt die Infrastruktur der Forschungsfabrik, die mit der Grundlagenkompetenz der Forschung und dem neuesten Stand der Wissenschaft bereits eingerichtet ist oder auf den Anwendungsfall zugeschnitten wird. Konzeptionen, Spezifikationen, Implementierungen, Tests und Verbesserungen finden in einer praxisnahen Umgebung statt. Ideen können agil und effizient umgesetzt werden und Rückkopplungsschleifen bleiben kurz.

Um nachhaltig Innovation in den realen Betrieb zu bringen, ist ein agiler Handlungsrahmen von Vorteil, in dem eine gemeinsame

Vision verfolgt und der Weg dahin individuell angepasst werden kann. Durch die enge Zusammenarbeit mit den Experten in der Karlsruher Forschungsfabrik – von Beginn der Konzeption bis zur Umsetzung – wirken die Mitarbeiter von Partnerunternehmen gleichzeitig als Know-how-Multiplikatoren an ihrem Stammsitz. So eignen sie sich die fachlichen Kompetenzen für Innovationen an, ohne dazu die nötige Infrastruktur und das Expertenwissen vorab bereitstellen zu müssen. Beim Aufbau von Prototypen und Hardware hilft unsere hauseigene Werkstatt. So erreichen wir schnell erste anfassbare greifbare Ergebnisse.

Das Angebot in der Forschungsfabrik richtet sich speziell an Fabrikbetreiber, Systemintegratoren, Maschinen- und Anlagenhersteller sowie an Anbieter von Automatisierungskomponenten: Wir gehen davon aus, dass in Zukunft für den Geschäftserfolg die konsequente Digitalisierung aller Prozessschritte im Sinne »Digitaler Zwillinge« erforderlich

ist. Dazu bedarf es konkreter Lösungen für neue Prozesse, Anlagen und deren Regelung, standardbasierte Automatisierungskonzepte, datenbasierte Services bis hin zur neuen Nutzungskonzepten.

Schon jetzt helfen wir beispielsweise Maschinenherstellern dabei, datenbasierte Services zu entwickeln und sie GAIA-X-konform bereit zu stellen: auf Basis offener Standards und unabhängig von großen Cloud-Anbietern.

Zur Einbindung von Doktoranden haben KIT und Fraunhofer jeweils eigene Modelle, so dass stabile und verlässliche Rahmenbedingungen für längerfristige Kooperationen gelten.

Sprechen Sie uns auf konkrete Aufgabenstellungen an!

Schaeffler Hub for Advanced Research

Industry on Campus am KIT-Campus Ost

Die Transformation hin zur Elektromobilität ist eine tiefgreifende Herausforderung für die deutsche Automobilindustrie. Sie erfordert einen schnellen Wandel der automobilen Wertschöpfungsketten. Um die internationale Wettbewerbsfähigkeit der deutschen Entwicklungs- und Produktionsstandorte langfristig zu erhalten, müssen Automobilhersteller und -zulieferer schnell innovative Technologien für den elektrischen Antriebsstrang entwickeln und diese zielgerichtet in die industrielle Anwendung transferieren.

Mit dem Schaeffler Hub for Advanced Research (SHARE) am KIT hat der Automobil- und Industriezulieferer Schaeffler hierfür bereits im Jahr 2012 eine wichtige Grundlage geschaffen: Durch die langfristige Zusammenarbeit nach dem Modell »Company on Campus« und die Präsenz auf dem KIT-Campus Ost werden unter anderem Forschungsthemen wie »Elektrische Antriebe« und »Energiespeicher« frühzeitig bearbeitet. Elektrische Antriebe sowie die zugehörige Leistungselektronik sind der Schlüssel für

Antriebskonzepte zukünftiger Fahrzeuge. Der steigende Anteil regenerativer Energien und sinkende Herstellungskosten für Batterien und Brennstoffzellen eröffnen ein enormes Potenzial zur Weiterentwicklung elektrischer Antriebssysteme. Das SHARE ist dabei ein Kooperationsbüro, das als »Hub« eine eng vernetzte Zusammenarbeit zwischen Schaeffler und dem KIT ermöglicht – mit dem Ziel, die Ergebnisse innovativer Forschungsarbeiten kurzfristig in Serienentwicklungen und -anwendungen zu übertragen. »Dieses Modell ist das erste dieser Art bei Schaeffler und der Erfolg hat uns veranlasst, weitere Kooperationen in Deutschland, USA, Singapur und China zu betreiben«, so Dr. Ralf Stopp, Leiter des SHARE am KIT. Die Karlsruher Forschungsfabrik ergänzt die bestehende Infrastruktur um eine anwendungsorientierte Forschungsumgebung für Produktionstechnologien der Elektromobilität und Methoden der Künstlichen Intelligenz. So wird es in Zukunft möglich, innovative Lösungsansätze gemeinsam mit dem wbk Institut für Produktionstechnik des KIT sowie



Dr. Ralf Stopp,
Leiter SHARE am KIT

den Fraunhofer-Instituten ICT und IOSB praktisch zu erproben und schnell zu industrialisieren. Über die Zusammenarbeit am KIT-Campus Ost hinaus besteht zwischen Schaeffler und dem KIT eine lange und erfolgreiche Zusammenarbeit in Kooperationen und Förderprojekten – derzeit unter anderem im BMWK-Projekt AgiloDrive2. »Auf die Variantenvielfalt sowie die Volatilität der Stückzahlen reagieren wir mit einer agilen Produktionsweise, die wir im Projekt gemeinsam erarbeiten und validieren wollen«, sagt Thomas Pfund, Leiter Geschäftsbereich E-Motoren bei Schaeffler.

Die Schaeffler Gruppe und das SHARE am KIT freuen sich auf eine Fortsetzung der guten Zusammenarbeit!

SCHAEFFLER



*Dr. Peter Körte, Chief
Technology & Strategy
Officer, Siemens*



*Franz-Josef Menzl, Vice
President Technology and
Innovation & CTO-Factory
Automation, Siemens*

Die immer volatileren Märkte stellen unsere Kunden vor immer neue Herausforderungen, auf die sie schnell und flexibel reagieren müssen, um wettbewerbsfähig zu bleiben.

Die Karlsruher Forschungsfabrik bietet eine moderne Produktions-, Entwicklungs- und Testumgebung, in welcher wir gemeinsam und auf Augenhöhe – mit dem wbk Institut für Produktionstechnik (KIT), Fraunhofer IOSB und Fraunhofer ICT sowie verschiedenen industriellen Partnern – solche Herausforderungen meistern werden.

Um die Anforderungen unserer Kunden an eine moderne Produk-

Karlsruher Innovations-Ökosystem

Wie können etablierte Prozesse verbessert und unreife Prozesse schnell und erfolgreich industrialisiert werden?

tion immer besser zu verstehen, verbinden wir in der Forschungsfabrik Karlsruhe anwendungsorientierte Forschung und Grundlagenforschung. Wir erforschen, entwickeln und realisieren hier jene KI-basierten Produktionstechnologien, die in den Produktionsprozessen von morgen Benchmark sein werden. Bereits heute ist Siemens Digital Industry Kooperationspartner der Karlsruher Forschungsfabrik und bringt konkrete Herausforderungen aus den operativen Siemens-Geschäftseinheiten ein. Franz-Josef Menzl, CTO Digital Industry Factory Automation, begleitet die Kooperationen über die letzten Jahre und kann detaillierte Einblicke geben: »Im Application Center IIoT EDGE werden Lösungen und neue Businessmodelle erforscht. Dabei nutzen wir die Cloud- und Edge-Plattform für kleine und mittlere Unternehmen (KMUs).

Zusätzlich wollen wir im »Innovation Center Batteries« gemeinsam Prozessketten mittels KI weiter automatisieren. Es geht uns darum, eine nachhaltige und umweltfreundliche Batterie-Produktion voranzutrei-

ben. Beispielsweise wollen wir im Recyclingprozess die Batteriepacks erst analysieren und dann automatisch aufbereiten, um sie nachhaltig und umweltfreundlich in den Kreislauf zurückzuführen.«

Die industrielle Implementierung sowie die Verbindung von Grundlagen- und angewandter Forschung ist unsere Stärke und unser größtes Potential. Um die Kooperation weiter zu stärken, ist die Karlsruher Forschungsfabrik bereits fester Bestandteil des Siemens Research and Innovation Ecosystems. Hauptfokus ist dabei – neben Forschungsoperationen – der kontinuierliche Dialog zwischen Forschern, Nachwuchswissenschaftlern, Startups und KMUs.

Wir freuen uns auf eine enge und partnerschaftliche Zusammenarbeit!

SIEMENS

Stimmen aus der Industrie

»Für die Entwicklung der digitalen Plattform EVORIS, dem neuen Branchenstandard zur Digitalisierung von Holzwerkstoffanlagen, haben wir uns für die Bereiche Maschinelles Lernen und KI-gestützte Anomalieerkennung das Team des IOSB an Bord geholt. Durch die langjährige Zusammenarbeit mit Fraunhofer konnten wir das Know-how unserer Experten mit den neuesten wissenschaftlichen Erkenntnissen und Herangehensweisen des IOSB kombinieren und eine einzigartige und fortschrittliche Software-Lösung für unsere Kunden schaffen.«

Jürgen Woll, Vice President Automation, Dieffenbacher GmbH Maschinen- und Anlagenbau

DIEFFENBACHER

»Das IOSB ist eines der Fraunhofer-Institute, mit denen wir in den Themen ›Produktionsnahe IT‹ und ›Künstliche Intelligenz‹ seit geraumer Zeit innovativ und partnerschaftlich zusammenarbeiten.«

Dr. Sebastian Ritz, Geschäftsführer, German Edge Cloud GmbH & Co. KG



»Als Sondermaschinenbauer beschäftigen wir uns mit dem Thema Industrie 4.0 bereits seit mehreren Jahren und sehen die intelligente Vernetzung als wichtige und notwendige Ergänzung zu unserem restlichen Portfolio, um die Produktivität unserer Kunden zu steigern. Wir erwarten, dass die Forschungsfabrik einen Industrie 4.0-Schub für die Technologieregion Karlsruhe bringt.«

Steve Büchner, Vertriebsingenieur, Wickert Maschinenbau GmbH

WICKERT
hydraulic presses

»Arburg und das wbk Institut für Produktionstechnik sind seit mehreren Jahren eng verbunden. Spannende Themen, wie die Weiterentwicklung des ARBURG Kunststoff-Freiformens zur Integration von Verstärkungsfasern, stehen im Mittelpunkt unserer Partnerschaft. Gemeinsam arbeiten wir in der Karlsruher Forschungsfabrik an Lösungen, die unsere Maschinen- und Anlagen schon heute positiv verändern. Den engen Austausch zwischen Industrie und Wissenschaft sehen wir dabei als großen Gewinn für beide Seiten.«

Guido Frohnhaus, Geschäftsführer Technik, ARBURG GmbH + Co KG

ARBURG

»SCHUNK ist seit Jahren partnerschaftlich mit dem wbk Institut für Produktionstechnik verbunden. In gemeinsamen Forschungsprojekten konnten wir zahlreiche digitale Bausteine für verschiedenste Bereiche der Produktionstechnik realisieren: vom Robotersystem-Konfigurator über ein Industrie-4.0-Nachrüstkit für Bestandsanlagen bis hin zu einer Plattform für Fabrikautomatisierung. Fachkompetenz gepaart mit Anwendungsnähe machen das wbk Institut für Produktionstechnik für uns zum idealen Partner. Als weltweiter Kompetenzführer für Greifsysteme und Spanntechnik beabsichtigen wir mit den Lösungen, die in der Kooperation mit dem wbk entstehen, einen signifikanten Mehrwert für unsere Kunden zu generieren.«

Timo Gessmann, Chief Technology Officer, SCHUNK GmbH & Co. KG Spann- und Greiftechnik



Entstehung der Karlsruher Forschungsfabrik



23. Oktober 2018:
Das Baugrundstück ist vorbereitet

2018



20. Dezember 2018:
Spatenstich



25. Juli 2019:
Grundsteinlegung



19. September 2019:
Fertigstellung der Säulen



21. Juli 2020:
Anlieferung der Klimageräte

2022



26. November 2020:
Vorbereitung der Fassade

Die ersten Überlegungen und Dokumente zur Forschungsfabrik stammen aus dem Jahr 2011. Wir bedanken uns bei allen Partnern aus Politik, Industrie, Verbänden und Wissenschaft, die uns auf dem Weg bis zur Eröffnung wohlwollend unterstützt haben.

Ansprechpartner

Fraunhofer IOSB



*Dr.-Ing. Olaf Sauer,
Stellvertreter
des Institutsleiters
Tel.: +49 170 5717261
olaf.sauer@iosb.fraunhofer.de*



*Dr.-Ing. Julius Pfrommer,
Wissenschaftlicher Leiter
Künstliche Intelligenz
und Maschinelles Lernen
Tel.: +49 151 15406932
julius.pfrommer@iosb.fraunhofer.de*

wbk Institut für Produktionstechnik des KIT

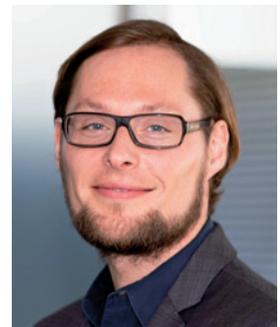


*Marco Friedmann, M.Sc.
Gruppenleiter
Leichtbaufertigung
Tel.: +49 1523 9502574
marco.friedmann@kit.edu*

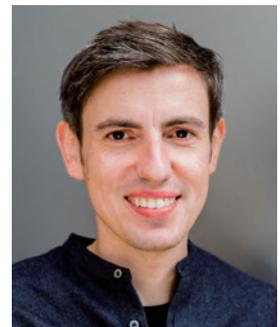


*Felix Wirth, M.Sc.
Gruppenleiter
Elektrische Antriebe
Tel.: +49 1523 9502630
felix.wirth@kit.edu*

Fraunhofer ICT



*Dr.-Ing. Tobias Joppich,
Produktbereichsleiter (stv.)
Polymer Engineering
Tel.: +49 172 3919174
tobias.joppich@ict.fraunhofer.de*



*Dr.-Ing. Stefan Heß,
Gruppenleiter
Test und Validierung
Neue Antriebssysteme
Tel.: +49 721 91503836
stefan.hess@ict.fraunhofer.de*

Impressum

Karlsruher Forschungsfabrik
KI-integrierte Produktion
Etablierte Prozesse verbessern, unreife Prozesse ertüchtigen

© 2022 Fraunhofer-Gesellschaft zur Förderung der angewandten Forschung e. V.

Herausgeber:
Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB
Fraunhoferstr. 1, 76131 Karlsruhe
Institutsleiter: Prof. Dr.-Ing. habil. Jürgen Beyerer

Coverfoto: © wbk
Fotos Innenteil: S. 3, 5, 14: © Daniel Vieser, Architekturfotografie;
S. 5, 9, 13: © Fraunhofer IOSB/indigo; S. 20, 21: © Olaf Sauer, S. 20: © KIT
Layout: Atelier Friedemann Bruns, 76133 Karlsruhe
Illustrationen: Atelier Friedemann Bruns, 76133 Karlsruhe
Druckerei: Stork Druckerei GmbH, 76646 Bruchsal

Nachdruck, auch auszugsweise, nur mit vollständiger Quellenangabe
und nach Rücksprache mit dem Herausgeber.
Belegexemplare werden erbeten.

Die Karlsruher Forschungsfabrik wird gefördert von:

