

**KOMM
IN DIE
ZUKUNFT**

JAHRESBERICHT 2023

Editorial

Prof. Dr. Julia C. Arlinghaus, Institutsleiterin des Fraunhofer-Instituts
für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF 4

Unsere Mission 6

Projekte – Highlights

Automation X
Automatisierung für den Menschen – Wie eine Software-Plattform die Basis für eine
menschzentrierte Automatisierungslösungen schafft und wie Software-Tools die Sicherheit
von Robotern erhöhen, das wurde im Projekt SHOP4CF untersucht 8

Net Zero X
Langfristig wettbewerbsfähig – Eine Machbarkeitsstudie für den Logistikdienstleister MOSOLF
zeigt, dass nachhaltige Energieversorgungslösungen dauerhaft kostengünstig sind 12

Digital Twin Family
Kooperation weitergedacht – Unternehmensübergreifende Plattform ermöglicht Informations-
und Wissenstransfer mit digitalen Zwilling einer Produktionsanlage 18

Superhuman Operator
Fehlerfrei bei Stückzahl Eins – Wie mit Augmented Reality die Montage von Spannsystemen
im Sondermaschinenbau unterstützt wird 26

Weitere Projekte 32

Elbfabrik

Die Zukunft hat begonnen 36

Das Institut in Zahlen 38

Kuratorium 39

Die Fraunhofer-Gesellschaft 40

Impressum 41

INHALT



Liebe Leserinnen und Leser,

2023 war ein sehr bewegtes Jahr für das Fraunhofer IFF. Unsere Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler haben viele Forschungsprojekte erfolgreich abgeschlossen und neue auf den Weg gebracht. Für unsere Kunden und Partner – die Industrieunternehmen in Deutschland – haben wir innovative Lösungen entwickelt und in die Anwendung überführt. Das ist unsere Stärke als Fraunhofer IFF: wissenschaftliche Methoden und unsere langjährige Expertise in Technologien und Software gezielt einzusetzen, um die Wertschöpfung im Hochlohnland Deutschland zu halten und für die Zukunft zu sichern.

Lesen Sie auf den folgenden Seiten, welche Forschungsfragen wir in unseren Projekten bearbeitet haben und wie daraus konkrete technische Lösungen für unsere Kunden wurden.

Nach mehreren Jahren Planung und Bauzeit, die während der Corona-Pandemie auch besondere Herausforderungen mit sich brachten, haben wir im Herbst 2023 unsere neue Forschungs- und Demonstrationsfabrik, die Elbfabrik, eröffnet. Ein Meilenstein, der uns sehr stolz macht und von dem wir Ihnen auf diesen Seiten einen kleinen Eindruck vermitteln möchten.

Und schließlich geben wir Ihnen auch einen Einblick in die wichtigsten Zahlen und Fakten unseres Instituts.

Viel Spaß bei der Lektüre unseres Jahresberichts 2023.

Magdeburg, Mai 2024

Ihre
Prof. Dr. Julia C. Arlinghaus

EDITORIAL



In einer sich wandelnden Welt ist es unsere Mission, Industrieunternehmen dabei zu begleiten, langfristig menschenwürdige Arbeitsplätze in Deutschland zu sichern und gleichzeitig einen Beitrag für mehr Nachhaltigkeit und Klimaschutz zu leisten.

Wir betrachten Unternehmen ganzheitlich und im Kontext des jeweiligen Standorts und der gegebenen Rahmenbedingungen. Mit dem Blick auf die digitalisierte, automatisierte und nachhaltige Fabrik der Zukunft sehen wir unseren Forschungsauftrag in vier ineinandergreifenden Themenfeldern.

AUTOMATION X

Die Automatisierung des »Unautomatisierbaren«

Am Hochlohnstandort Deutschland müssen Prozesse in Hinblick auf Effizienz und Sicherheit konsequent automatisiert werden. Dafür entwickeln wir Lösungen auch für bisher »Unautomatisierbares«, wie hochindividuelle Fertigungsprozesse, komplexe Arbeitsabläufe und Umgebungen, in denen Mensch und Roboter eng und ohne Schutzgitter zusammenarbeiten.

Automatisierungslösungen sichern in Zeiten des Fachkräftemangels die Verfügbarkeit ab, insbesondere bei körperlich schweren Arbeiten oder in gefährlichen Arbeitsumgebungen. Autonome Roboter kommen ebenso zum Einsatz wie Sensorik und KI-basierte Sicherheitstechnologien für komplexe Logistikumgebungen. Darüber hinaus setzen wir auf die automatisierte Transparenz und Steuerung von Prozessen.

NET ZERO X

Auf dem Weg zur Circular Economy

Die klimaneutrale Produktion entwickelt sich von der reinen Vision zu einem echten Wettbewerbsvorteil. Dabei denken unsere Forschenden den Net-Zero-Ansatz weit über das Energiemanagement hinaus. Wir betrachten Produktions- und Energieprozesse ganzheitlich und integriert in einem übergreifenden Management. Dabei beziehen wir viele verschiedene Technologien mit ein und finden die individuell beste Lösung für mehr Klimaschutz und Nachhaltigkeit in der Produktion.

Unser Forschungsansatz und erklärtes Ziel ist es, die Circular Economy Wirklichkeit werden zu lassen. Neue Technologien ermöglichen den sparsamen Einsatz und die Wiederverwendung von Ressourcen, schaffen Flexibilitäten auf Erzeuger- und Verbraucherseite und ermöglichen so neue, zukunftsfähige Geschäftsmodelle.

Die klimaneutrale Fabrik ist dabei erst der Anfang auf dem Weg zur Net-Zero-Produktion.

DIGITAL TWIN FAMILY

Das volle Potenzial von Daten nutzen

Oft spricht man von »digitalen Zwillingen«, wenn von Datenmodellen von Industrieanlagen die Rede ist. Digitale Zwillinge können jedoch ganz unterschiedlich ausgeprägt sein: Vom komplexen dreidimensionalen Anlagenmodell über digitalisierte Prozesssimulationen bis hin zu Software- oder Plattformlösungen für den Datenaustausch – zur digitalen Familie gehören viele verschiedene Mitglieder. In welcher Ausprägung ein solches »Familienmitglied« vorliegt, hängt von vielen Faktoren ab: der Höhe des Digitalisierungsgrads im Unternehmen, der Art der Datengenerierung und Aufbereitung und insbesondere von der Nutzung der Daten. Auch spielen die eingesetzten Technologien und Softwarelösungen eine wichtige Rolle.

Am Fraunhofer IFF betrachten wir jede Form des digitalen Zwillingen individuell und forschen an Lösungen für eine effiziente Generierung, sinnvolle Vernetzung und wirtschaftliche Nutzung der Daten in Wertschöpfungskreisläufen. Damit die digitalen Zwillinge ihr volles Potenzial entfalten können, forschen wir daran, diese Daten sicher, vertraulich und effizient – auch über Unternehmens- und Branchengrenzen hinweg auszutauschen.

SUPERHUMAN OPERATOR

Der Mensch im Mittelpunkt der Wertschöpfung

Der Mensch bleibt zentral in der Fabrik. Seine Kreativität und Entscheidungskompetenz aufgrund seines Erfahrungswissens sind unübertroffen. Er bleibt auch in der hochautomatisierten Fabrik der treibende Faktor in der Wertschöpfung.

Der Fachkräftemangel führt jedoch nicht nur zu einer Abwanderung von Arbeitskräften aus der Fabrik in andere Bereiche. Auch lassen sich Arbeitsplätze künftig nur dann langfristig erhalten, wenn sie ein gesundes, motivierendes und menschenwürdiges Umfeld für den Menschen bieten.

Mit unseren Automatisierungs- und Digitalisierungslösungen gestalten wir solche Arbeitsplätze, bei denen der Mensch in seiner Arbeit entlastet und gleichzeitig seine besonderen Stärken gefördert werden.

Unsere digitalen Assistenzlösungen unterstützen bei der täglichen Arbeit und motivieren zum lebenslangen Lernen. Sie ermöglichen den Wissenserhalt und -transfer, damit kein wertvolles Erfahrungswissen mehr verloren geht.

UNSERE MISSION

Automatisierungslösungen sind fester Bestandteil der industriellen Produktion. Oft sind diese Anwendungen aber Insellösungen und eine durchgängige Nutzung der entstehenden Daten ist nicht oder nur unzureichend gegeben. Dabei ist es gerade die Vernetzung von Anlagen und Prozessen, die Industrie 4.0 erst möglich macht. Erweitert man diese Vernetzung von Daten auch über Unternehmensgrenzen hinweg, ergeben sich ganz neue Möglichkeiten für die Industrie in Deutschland und Europa.

Der Mensch spielt eine zentrale Rolle in der Fabrik, seine Kreativität und Flexibilität sind unübertroffen. Die Aufgaben und Entscheidungsräume verändern sich aber so, wie sich auch sein Arbeitsumfeld verändert. Zukünftig wird der Mensch zunehmend von Assistenzlösungen unterstützt werden. Hier gibt es eine große Bandbreite: Von Robotern, die komplexe Arbeitsabläufe vollautomatisch übernehmen über Augmented-Reality-Anwendungen, die zum Beispiel bei Montagevorgängen helfen bis hin zu Softwarelösungen, die riesige Datenmengen verarbeiten und so bei Entscheidungen unterstützen.

Welche Lösungen eingesetzt werden, ist hochindividuell und abhängig vom jeweiligen Unternehmen, seinen Anforderungen, bestehenden Infrastrukturen und vorhandener Anlagentechnik. Hinzu kommt, dass die Fertigung bereits weit vor den Werkstoren beginnt mit Ausgangsmaterial,

das geliefert wird, mit abgestimmten Logistikdienstleistungen und ausgelagerten Service- und Instandhaltungsmaßnahmen. Aus diesem Grund ist es sinnvoll, datengetriebene Lösungen unternehmensübergreifend zu denken und allgemeine Standards für Unternehmen anzustreben.

Hier setzt SHOP4CF (Smart Human Oriented Platform for Connected Factories) an, ein von der EU gefördertes Forschungsprojekt. Rund 20 Partner aus Forschungsorganisationen, Universitäten, Industrie und mittelständische Unternehmen haben in dem Projekt eine Software-Plattform mit unterschiedlichen Komponenten entwickelt. Diese decken ein breites Spektrum industrieller Anforderungen, insbesondere im Kontext einer modernen, flexiblen und datenreichen Fertigung, ab.

»Wir wollen die individuellen Fähigkeiten des Menschen stärken, damit er sie besser in der Fabrik einbringen kann. Damit das gelingt, müssen neue Technologien konsequent auf den Menschen ausgerichtet sein«, sagt Dr. José Saenz Gruppenleiter für Assistenz-, Service- und Industrieroboter in der Abteilung Robotersysteme. Der Wissenschaftler forscht am Fraunhofer IFF an innovativen Roboteranwendungen, insbesondere mit Blick auf die sichere Zusammenarbeit mit dem Menschen.

Monotone und körperlich sehr schwere Arbeit kann vollständig automatisiert werden. Bei komplexeren Tätigkeiten, die Kreativität, eine hohe



Wir wollen die individuellen Fähigkeiten des Menschen stärken, damit er sie besser in der Fabrik einbringen kann. Damit das gelingt, müssen neue Technologien konsequent auf den Menschen ausgerichtet sein.«

Dr. José Saenz,
Fraunhofer IFF

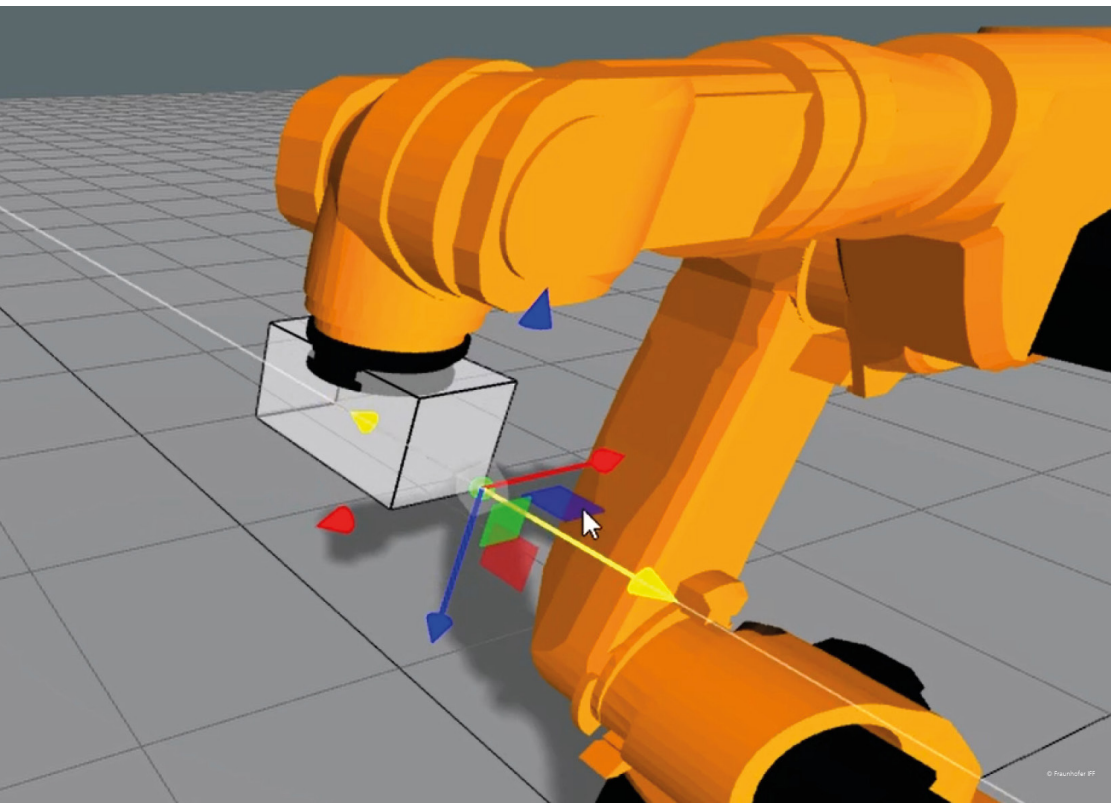


AUTOMATI **FÜR** SIERUNG **DEN MENSCHEN**

WIE EINE SOFTWARE-PLATTFORM DIE BASIS FÜR EINE MENSCHENZENTRIERTE AUTOMATISIERUNGSLÖSUNG SCHAFFT UND WIE SOFTWARE-TOOLS DIE SICHERHEIT VON ROBOTERN ERHÖHEN, DAS WURDE IM PROJEKT SHOP4CF UNTERSUCHT.

Anpassungsfähigkeit oder einen sensiblen Tastsinn erfordern, ist der Mensch absehbar nicht zu ersetzen. Seine Tätigkeit bekommt – unterstützt durch Assistenzlösungen – eine neue Bedeutung in der Fabrik. »Die Produktion von morgen benötigt sowohl maschinelle Ressourcen als auch menschliche Fähigkeiten. Mit den Komponenten der SHOP4CF-Software-Plattform wollen wir beides verbinden und zielen auf die gegenseitige Ergänzung von menschlicher Arbeitskraft und Maschinen ab«, erklärt Saenz.

Das Konsortium hat im Rahmen des Projekts mehr als 30 interoperable Komponenten für die Plattform entwickelt, die in einer neuen, für die Connected Factory entwickelten Architektur zusammengeführt sind. Dazu gehört ein Datenmodell, um den Austausch über verschiedene Fabriken zu ermöglichen. Alle Komponenten bauen darauf und stellen somit die grundlegenden Implementierungsblöcke für Fertigungslösungen bereit, die den Menschen in der Produktion unterstützen. Mit den Komponenten können



zum Beispiel Aufgaben und Ressourcen sowie Prozesskonfigurationen überwacht werden. Auch Genehmigungsstatus und Revisionsverläufe lassen sich abbilden und nachvollziehen. Innerhalb der Systeme sind die Daten nach Aufgaben strukturiert, z.B. einem Teilprozess, einer Aktion oder einem Vorgang, der von einem Akteur im System ausgeführt wird. Jede Aktion ist somit mit einer konkreten Aufgabe verbunden.

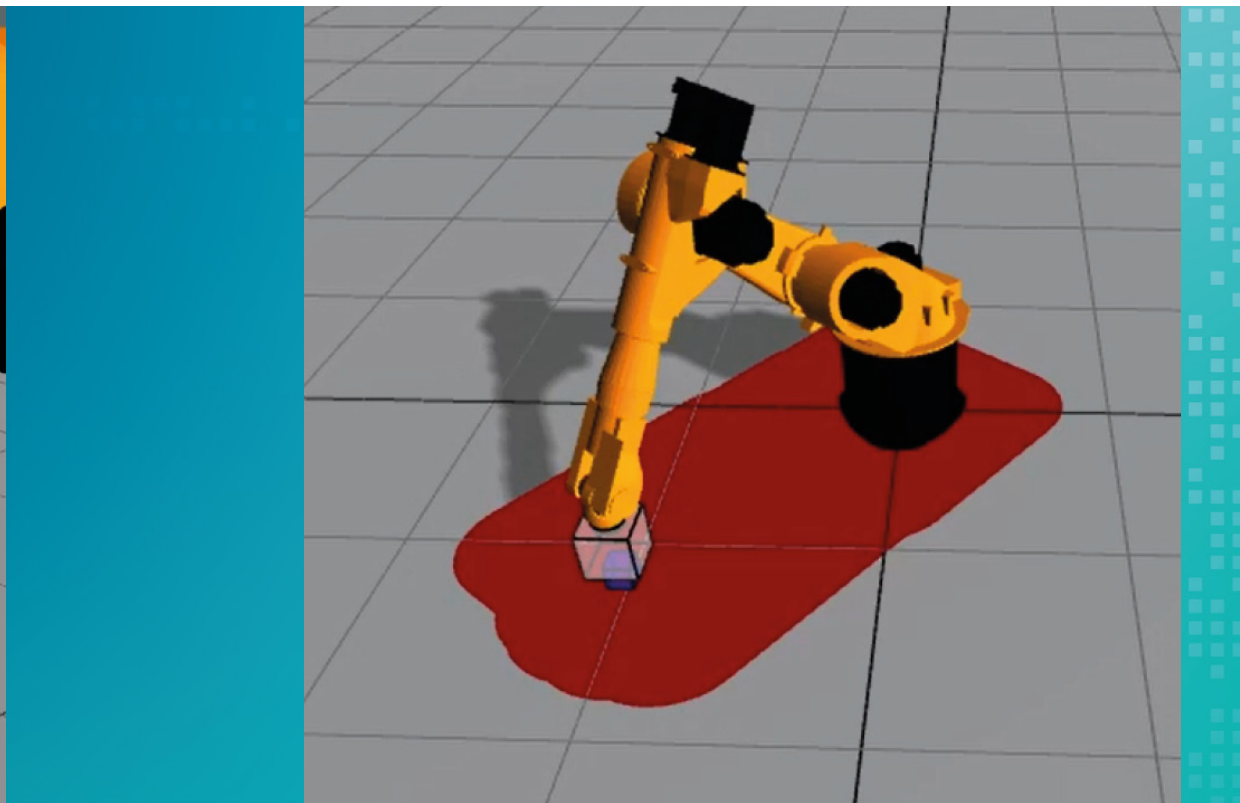
Basis für die Definition der Datenmodelle war die Festlegung der wichtigsten Attribute für alles, was in der Fabrik genutzt wird. Diese wurden dann den verschiedenen Aufgaben in der Fabrik zugeordnet. Die Aufgaben wiederum wurden in Anlagen, Personen und Prozesse unterschieden sowie in Planungs-, Ausführungs- und Analysephase unterteilt.

Ihre Daten erhalten die Software-Komponenten als Import bzw. Export aus verschiedenen Quellen, dem digitalen Zwilling, dem Fabrik-MES oder ganz klassisch über eine manuelle Eingabe.

Als Plug-and-Play-Lösung gedacht, sind diese mit Docker schnell und einfach einsatzbereit. Moderne webbasierte

Anwendungen in mehreren Sprachen erleichtern die intuitive Nutzung. Die Einzelkomponenten sind über verschiedene Lizenzmodalitäten unkompliziert über die RAMP-Plattform (Marktplatz für Robotik und Automatisierung) herunter zu laden.

Vor dem Hintergrund der Menschzentrierung kam den ethischen Aspekten eine besondere Bedeutung zu. Die gesamte Plattform und jede Einzelanwendung wurden unter einem Ethics-by-Design-Ansatz entwickelt. Dabei diskutierte das Konsortium unter anderen Themen wie die Selbstbestimmung und die Würde des Menschen, aber auch Fragen nach Datenhoheit und -verwendung waren zu berücksichtigen. Es wurden einige grundsätzliche Festlegungen getroffen: Der Mensch bleibt die entscheidende und kontrollierende Instanz in jedem Prozessschritt, seine Autonomie und Rechte bleiben jederzeit unangetastet. Daten werden nur soweit unbedingt nötig gesammelt und der Mensch wird in seinem Verhalten niemals exponiert gegenüber anderen Mitarbeitenden. Die Privatsphäre bleibt jederzeit gewahrt. Der Mensch hat das Recht, über jede Gefahr vorher informiert zu werden und die Zusammenarbeit mit dem Assistenzsystem abzulehnen. Auch darf durch die Anwendungen niemand aufgrund



persönlicher Eigenschaften bevor- oder benachteiligt werden.

Zu den ethischen Aspekten gehört auch, dass der Mensch einen Anspruch auf einen gesunden und sicheren Arbeitsplatz hat. Ein wichtiger Teilaspekt dafür ist die Risikobewertung hinsichtlich der eingesetzten Technologie. »Am Fraunhofer IFF haben wir uns insbesondere mit der Risikoanalyse der Roboteranwendungen beschäftigt. Das ist ein ständiges Thema für Unternehmen, die Roboter einsetzen. Bei jeder Änderung zur Roboteranwendung, sei es eine Neu- bzw. Umprogrammierung oder Änderungen vom Aufbau oder der Werkstücke aufgrund einer Produktionsänderung müssen die Risiken für eine Zusammenarbeit mit dem Menschen neu bewertet werden«, erklärt Saenz. Auch Änderungen in der vorgesehenen Art der Interaktion mit Menschen benötigen eine Aktualisierung.

»Mit den Software-Komponenten können Änderungen an Komponenten oder Prozessen innerhalb einer bestimmten Anwendung automatisch erfolgen. Basis dafür ist die Integration in eine vernetzte Fabrikarchitektur. Ob dann eine neue Risikobewertung notwendig wird, kann der Sicherheitsingenieur schnell und einfach feststellen, denn die

Software-Komponente von uns reagiert auf Änderungen in den Prozessen bzw. beim Aufbau der Roboteranwendung und zeigt die passenden Stellen in der Risikobewertung direkt an. Die vorhandenen Daten liefern ihm eine valide Entscheidungsgrundlage«, so der Wissenschaftler weiter.

Die Führung durch den Prozess der Risikobewertung sowie die Dokumentation von Gefahren und Risikominierungsmaßnahmen erfolgen intuitiv. Bei einer geplanten Änderung zur Anwendung werden diese automatisch durch Vergleich mit der vorherigen Konfiguration erkannt und der Sicherheitsingenieur wird darauf aufmerksam gemacht. Alle Aktionen werden im System dokumentiert. Damit werden vorhandene Daten konsequent im Unternehmen genutzt, um eine durchgehende Konformität zu gewährleisten und sicherheitsrelevante Entscheidungen zu vereinfachen.

Um möglichst hohe Akzeptanz zu schaffen, hat das Konsortium während der Projektlaufzeit von Anfang 2020 bis Ende 2023 über offene Ausschreibungen weitere Mitwirkende eingebunden. Entstanden ist eine lebendige und weiterwachsende Community aus Industrieunternehmen, Start-ups und Forschungseinrichtungen.

Die Ergebnisse des Projekts dienen als Grundlage für anwendungsorientierte technische Lösungen und weitere Forschungsfragen. »Die Plattform ist ein wichtiger Schritt in Richtung Standardisierung in den Bereichen kollaborative Robotik, geführte Roboter und Einsatz von IoT-Geräten auf dem Shopfloor. Neben einer engagierten Community ist dies entscheidend, um breite Akzeptanz für derartigen Lösungen in der Industrie zu schaffen«, fasst Dr. José Saenz zusammen.



Weitere Infos:
<https://www.shop4cf.eu>

Förderhinweis:
SHOP4CF wurde von der Europäischen Union gefördert. Forschungs- und Innovationsprogramm Horizont 2020 im Rahmen der Finanzhilfvereinbarung Nr. 873087.



Horizon2020
European Union Funding
for Research & Innovation

LANGFRISTIG WETTBEWERBSFÄHIG

EINE MACHBARKEITSSTUDIE FÜR DEN LOGISTIK-DIENSTLEISTER MOSOLF ZEIGT, DASS NACHHALTIGE ENERGIEVERSORGUNGSLÖSUNGEN DAUERHAFT KOSTENGÜNSTIG SIND



Die Strom- und Gaspreise steigen seit Jahren und spätestens seit dem Ukraine-krieg sind auch Logistikunternehmen großen Preissprüngen und damit Unsicherheiten bei der Planung ihrer Energiekosten ausgesetzt. Nicht nur für diese Unternehmen rücken selbst erzeugte, regenerative Energien stärker in den Fokus. Nachhaltige Logistikdienstleistungen müssen jedoch vor allem wirtschaftlich sein, denn der Markt ist hart umkämpft.

Welche Technologien sind künftig sinnvoll? Sind nachhaltige Energieerzeugungslösungen auch noch wirtschaftlich, wenn der Gaspreis wieder fällt? Und wie sichert man die Verfügbarkeit bei volatilen Energieträgern wie Sonne und Wind? Bevor Investitionen getätigt werden, wie zum Beispiel Standorterweiterung oder -umbau, lohnt erst einmal der Blick in die Zukunft anhand valider Modellrechnungen.

Die MOSOLF Gruppe mit Sitz im baden-württembergischen Kirchheim unter Teck betreibt 41 Logistikstandorte in Europa. Das Familienunternehmen hat sich auf Logistikdienstleistungen für die internationale Automobilindustrie, für Flottenbetreiber sowie den Fahrzeughandel spezialisiert. Neben der Auslieferung von Neufahrzeugen werden z.B. auch Leasing-Rückläufer transportiert. Diese werden zu den dafür ausgerüsteten Mosolf-Standorten gebracht und dort aufbereitet. Sie werden in Waschanlagen gereinigt, Lackierereien bessern Gebrauchsspuren aus. Ein solcher Standort befindet sich zum Beispiel in Ketzin in Brandenburg.

»Unseren Standort in Ketzin müssen wir langfristig wirtschaftlich betreiben können. Da stand für uns schnell die Frage

im Raum, wie wir unsere Energiekosten dauerhaft senken und diese auch für die Zukunft planbar machen können«, sagt Dr. Gregor Tjaden, Geschäftsführer der Mosolf Erneuerbare Energien GmbH.

Am Standort Ketzin befinden sich neben einem großen Pkw-Lagerplatz auch eine Waschanlage, eine Lackiererei sowie Verwaltungsgebäude. »Wir wollen den Standort unabhängig von den schwankenden Strom- und Gaspreisen machen und unseren Strom selbst erzeugen. Dafür brauchen wir belastbare Daten, welche Arten der Energieerzeugung langfristig am kostengünstigsten sind, wenn man die Investitions- und Betriebskosten betrachtet«, so Tjaden weiter.

Hier kommen die Forschenden des Fraunhofer IFF ins Spiel. Sie haben langjährige Expertise darin, wie Unternehmen ihr Energiemanagement so gestalten können, dass aus den Faktoren Wirtschaftlichkeit, Nachhaltigkeit, technologische Innovation und marktbezogene Rahmenbedingungen eine optimale Energieversorgung gestaltet werden kann. Für Mosolf haben die Wissenschaftlerinnen und Wissenschaftler eine Machbarkeitsstudie für den Standort Ketzin erstellt. Diese beinhaltet ein wirtschaftliches Gesamtkonzept mit einem Überblick über alle verfügbaren Technologien, die Einsatzfähigkeit am Standort, Wirtschaftlichkeitsberechnungen sowie mittel- und langfristige Maßnahmen.

»Von konventionellen aber "grün" betriebenen Technologien, wie Gasmotor-BHKW und Gasturbine, über erneuerbare Energien, wie Windkraft und Photovoltaik, bis hin zu Innovationen wie der Wasserstoff-Elektrolyse, haben wir alle am Standort



Unseren Standort in Ketzin müssen wir langfristig wirtschaftlich betreiben können. Da stand für uns schnell die Frage im Raum, wie wir unsere Energiekosten dauerhaft senken und diese auch für die Zukunft planbar machen können.«



Dr. Gregor Tjaden,
Geschäftsführer der Mosolf Erneuerbare Energien GmbH

möglichen Arten der Energieerzeugung geprüft und bewertet. Diese haben wir dann mit weiteren Parametern, wie Lebensdauer, Betriebs- und Instandhaltungskosten, sowie der Preisentwicklung bei benötigten Ressourcen, z.B. regenerativem Gas, zusammengeführt«, beschreibt Dr. Stephan Balischewski, Projektleiter der Machbarkeitsstudie am Fraunhofer IFF, das Vorgehen. Aus einem Portfolio von mehr als 120 Technologien wurden letztlich 13 als für den Standort relevant erachtet und genauer betrachtet.

Auf Basis der energetischen, ökonomischen und ökologischen Rahmenbedingungen wurden dann Bewertungskriterien definiert und Technologiesteckbriefe erstellt.

Das Besondere dabei: Neben einer statischen Prognose mit festen Kennzahlen über die jeweilige Lebensdauer erstellten die Forschenden auch eine dynamische Prognose, bei der die wichtigsten Einflussgrößen variabel betrachtet wurden. Diese enthielt eine Spreizung von jeweils 20 Prozent nach oben und unten bei den Parametern Investitionskosten und Lebensdauer.

Ebenfalls betrachtet wurden die Möglichkeiten des Energiemarkts und die politischen Rahmenbedingungen. Zur Studie gehörten weiterhin ein kurzfristiges und ein langfristiges Maßnahmenpaket auf Basis der ermittelten Analysen und Berechnungen.

Im Ergebnis wurden für die verschiedenen Technologien die Kosten pro Megawattstunde Energie dargestellt, jeweils als statische und dynamische Berechnung. Eine Solarthermielösung mittels Vakuumkollektoren stellte sich dabei als kostengünstigste Variante zur Wärmebereitstellung heraus. Die Großwindkraft ist als weitere erneuerbare Energie ebenfalls wettbewerbsfähig, genauso wie die konventionellen Technologien Gasmotor-BHKW und Dampfturbine. »Wir konnten zeigen, dass eine Energieversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien langfristig absolut konkurrenzfähig ist«, sagt Dr. Stephan Balischewski über das Ergebnis der Studie. »Setzt Mosolf auf diese Lösung, dann macht sich das Unternehmen

unabhängig von den Marktpreisen für Strom und Gas und tut gleichzeitig etwas für den Klimaschutz«, erklärt der Wissenschaftler.

Der eigentliche Stromverbrauch an den Standorten ist dabei noch überschaubar. »Allerdings wird dieser mit der erwarteten Elektrifizierung unserer Autotransporterflotte sowie der Kundenfahrzeuge deutlich steigen«, sagt Dr. Gregor Tjaden und fügt hinzu: »Die Studienergebnisse helfen uns, die richtigen Maßnahmen auch unter sich ändernden Bedingungen zu ergreifen. So können wir den Standort wirtschaftlich und umweltfreundlich betreiben und bauen unseren Wettbewerbsvorsprung aus.«



Wir konnten zeigen, dass eine Energieversorgung auf der Basis erneuerbarer Energien langfristig absolut konkurrenzfähig ist.«

Dr. Stephan Balischewski,
Fraunhofer IFF



Interview

Dr. Jörg Mosolf,
Vorstandsvorsitzender
der MOSOLF SE & Co. KG

Dr. Jörg Mosolf ist Vorstandsvorsitzender der MOSOLF SE & Co. KG. Er ist Logistiker durch und durch. Nach mehreren Ausbildungsstationen und seiner Promotion im Logistikbereich sowie der Arbeit in verschiedenen Logistikunternehmen hat Dr. Mosolf im Jahr 2002 den Vorstandsvorsitz der MOSOLF Gruppe übernommen.

Was unterscheidet Ihr Unternehmen von anderen Logistikdienstleistern?

Dr. Jörg Mosolf:
Die Automobillogistik ist eine sehr kapitalintensive Branche mit einem sehr hohen Spezialisierungsgrad. Unsere Kunden sind die weltweiten Hersteller von Pkw, Vans, leichten und schweren Nutzfahrzeugen sowie die Vertriebsunternehmen der Automobilindustrie. Wir sind ein klassisches Familienunternehmen, das sich seit Jahrzehnten erfolgreich in diesem Markt behauptet. Das gelingt uns, weil wir besonders flexibel sind und schnell reagieren, wenn sich im Markt etwas ändert. Dazu gehört auch, immer einen Schritt voraus zu sein und heute schon das anzupacken, was morgen die ganze Branche verändert.

Können Sie uns Beispiele dafür nennen?

Dr. Jörg Mosolf:
Unser Dienstleistungsangebot orientiert sich am Lebenszyklus von Fahrzeugen, den unterschiedlichen Nutzungsformen in den Vertriebskanälen und sämtlichen hier notwendigen Dienstleistungen in den verschiedenen Geschäftsmodellen. Die vertriebliche Dynamik erfordert dabei stets ein Maximum an Kundenorientierung in Form passender Problemlösungen gepaart mit einer agilen Umsetzung. Die Dekarbonisierung unseres Dienstleistungsportfolios ist ein weiteres zentrales strategisches Ziel, dem wir uns offensiv stellen, denn ca. 20 Prozent der CO₂-Emissionen gehen in Deutschland auf den Verkehrssektor zurück. Wir wechseln im Thema daher in die

Problem-Löser-Rolle und leisten unseren Beitrag in der Bekämpfung des Klimawandels.

Was tun Sie da konkret?

Dr. Jörg Mosolf:
Wir stellen alles auf den Prüfstand, was Auswirkungen auf unseren Carbon Footprint hat. So werden wir in den nächsten Jahren einen großen Teil unsere Flotte auf batterieelektrische Lkw umstellen und prüfen auch, ob sich unsere Standorte klimaneutral betreiben lassen. Auch die Verwendung CO₂-reduzierter Ersatzkraftstoffe wie HVO 100 gehört hierzu, insbesondere für Strecken, auf denen wir heute noch nicht elektrisch operieren können. Für die Fragen unserer künftigen Energieversorgung holen wir uns unterstützende Antworten aus der Wissenschaft, indem wir zum Beispiel Machbarkeitsstudien erstellen lassen. Ziel dahinter ist, unsere Standorte für die Produktion von Energie zu nutzen und damit in der Frage der Energieversorgung immer autonomer zu werden.

Was ist die größte Herausforderung dabei?

Dr. Jörg Mosolf:
Das ist alles mit hohen Kosten verbunden, so dass wir sicherstellen müssen, dass wir Wirtschaftlichkeit und Klimaschutz unter einen Hut bekommen. Nachhaltigkeit ist kein Selbstzweck, hier dürfen sich Klimaschutz und Standortsicherung nicht ausschließen. Insbesondere benötigen wir verlässliche Rahmenbedingungen der Politik, bspw. in der Frage, welche Technologien in welcher Form, wie lange und in welcher Höhe gefördert werden. Zusammenfassend verfolgen wir das Ziel, nachhaltige Logistikdienstleistungen in der Branche zu etablieren und damit unsere Marktposition zu festigen.

KOOPERATION WEITERGEDACHT

*UNTERNEHMENSÜBERGREIFENDE
PLATTFORM ERMÖGLICHT INFOR-
MATIONS- UND WISSENSTRANSFER
MIT DIGITALEM ZWILLING EINER
PRODUKTIONSANLAGE*

Produzierende Unternehmen in Deutschland sind mit einem Anteil von rund einem Viertel der Bruttowertschöpfung eine tragende Säule der Wirtschaft. Doch mit der Globalisierung steigen Wettbewerbs- und Kostendruck. Kunden wünschen sich individuelle Produkte und Nachhaltigkeitsanforderungen im Sinne von Ressourcenschonung und neuen Kreislaufstrategien nehmen zu. All dies bringt Unternehmen in Schwierigkeiten. Sie müssen Produktionsprozesse anpassen und Anlagen auf- oder umrüsten. Gleichzeitig werden ihre Produktionssysteme technisch immer komplexer, die Steuerung sowie Wartung und Instandhaltung werden anspruchsvoller.



Maschinen und Anlagen in Industrieunternehmen werden zunehmend mit Informations- und Kommunikationstechnologien ausgestattet und miteinander vernetzt. Der Digitalisierungsgrad der industriellen Fertigung und der Wertschöpfungsketten steigt weiter stark an. Industrie 4.0 wird Realität und Arbeitsalltag. Unternehmen versprechen sich Optimierungsmöglichkeiten durch die größere verfügbare Menge an Informationen. Die Produktivität einer Anlage steht bei all dem an erster Stelle. Sie sichert die Wertschöpfung und damit die Wettbewerbsfähigkeit und den Erhalt des Standorts.

Der Lebenszyklus einer Produktionsanlage reicht von der Planung über den Bau, die Integration sowie Vernetzung der Anlage und den laufenden Betrieb einschließlich Instandhaltung bis zur schließlichen Ausmusterung und Wiederverwendung der Teile. In den verschiedenen Phasen des Lebenszyklus sind daher ganz unterschiedliche Unternehmen eingebunden. Im besten Fall arbeiten sie Hand in Hand, um die Gesamtanlage effizient zu betreiben und langfristig vor Ausfällen zu schützen. Dazu bedarf es

valider digitaler Modelle sowie weiterer Daten wie Prozess- und Simulationsdaten oder Produktionsparameter.

Dem Informationsmanagement und dem Umgang mit digitalen Daten kommt eine immer größere Bedeutung in Betrieb und Instandhaltung zu. Gleichzeitig sind Anlagenfunktionen und Wirkzusammenhänge immer schwieriger zu erfassen und zu verstehen. Instandhaltungsaufgaben werden oft extern vergeben und ständige Weiterentwicklungen der Anlagen erfordern einen engen Austausch zwischen Hersteller, Betreiber und Serviceanbieter. Der Systemblick auf das Ganze geht verloren, Informationen liegen verteilt und oftmals unvollständig oder veraltet vor. Dieses Problem verstärkt sich im Laufe des Produktlebenszyklus immer weiter.

Ein Lösungsansatz liegt in einer Kooperationsplattform, die eine gemeinsame standardisierte Datenbasis für alle Beteiligten über den gesamten Anlagenlebenszyklus zur Verfügung stellt. Hier setzt das Projekt »NedZ – Gestaltung unternehmensübergreifender Kooperationsnetzwerke



Kooperationen müssen positiv auf den Wertschöpfungsprozess wirken und dabei helfen, die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu erhöhen.«

Stephan Dassow,
Metop GmbH



mit dem digitalen Zwilling« an, das von April 2020 bis zu seinem erfolgreichen Abschluss im März 2023 lief. In diesem wurde ein datenbasiertes Kooperationsnetzwerk zusammen mit mehreren Projektpartnern aus der produzierenden Industrie, der Arbeitswissenschaft und der Forschung aufgebaut. Hier waren die BTU Cottbus-Senftenberg aus arbeitswissenschaftlicher Sicht, SM Calvörde Sondermaschinenbau GmbH & Co. KG als Anwendungspartner im Maschinenbau, die Metop GmbH mit ihrem Blick auf Datensouveränität und Geschäftsmodelle sowie Klesyma GmbH, Rusche-Zubringertechnik und SIS GmbH als weitere Anwendungspartner eingebunden. Die Koordination hatte das Fraunhofer IFF inne.

Ziel war es, Möglichkeiten einer zeitgemäßen Arbeitsweise, auf Basis eines prototypischen digitalen Zwillings einer Produktionsanlage zu unternehmensübergreifenden Kooperationszwecken, aufzuzeigen.



Aspekte der Arbeitsplatzgestaltung, der Entscheidungsmöglichkeiten und der aus der Digitalisierung resultierenden veränderten Belastungs- und Beanspruchungssituationen werden unter anderem auch mit Blick auf demografische Gegebenheiten immer wichtiger.«

Dr.-Ing. Anna-Sophia Henke,
BTU Cottbus-Senftenberg

Alle Projektpartner nutzten diese Kooperationsplattform gemeinsam, stellten Informationen bereit und pflegten diese. Übergeordnetes Ziel war eine Verbesserung des Anlagenbetriebes und damit eine Erhöhung der Wertschöpfung bei den beteiligten Unternehmen.

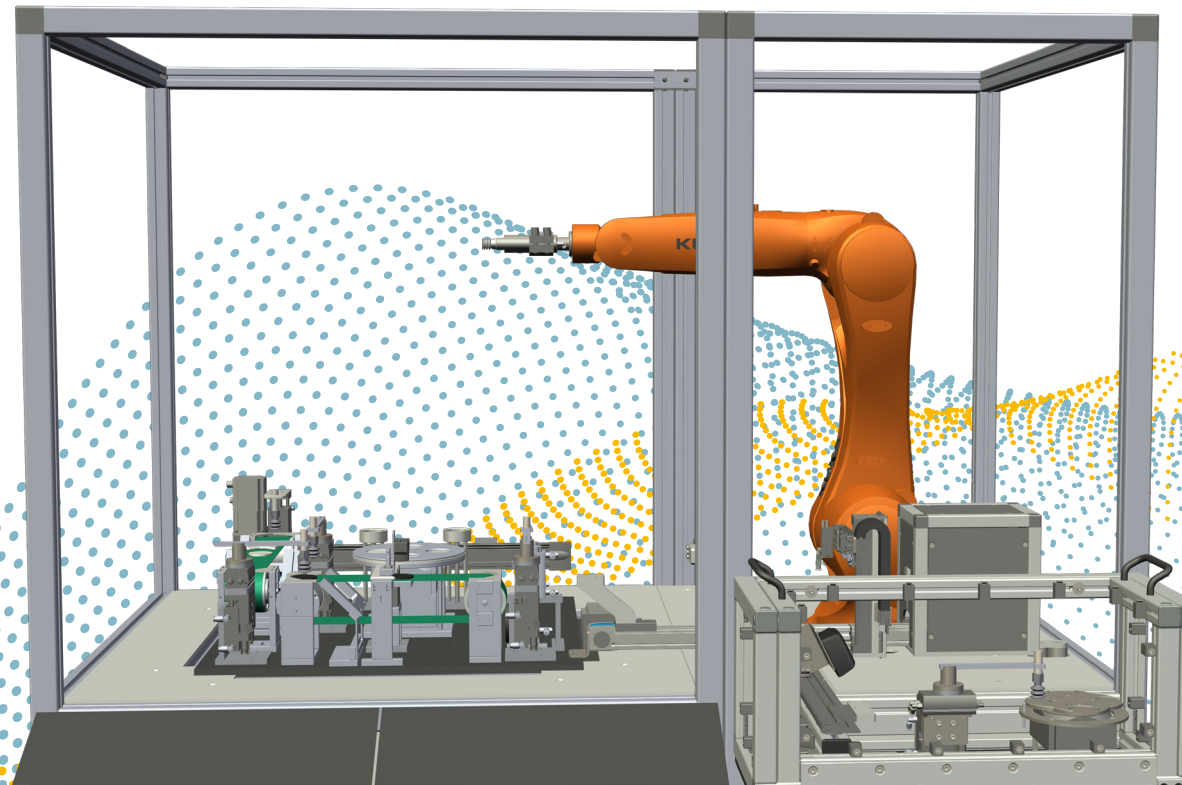
Auf Grundlage dieses Netzwerks haben die Anwendungspartner ein Wertschöpfungssystem beispielhaft entwickelt, das sich auf eine konkrete Produktionsanlage bezieht. Dann wurde der aktuelle Wertschöpfungsprozess analysiert und darauf aufbauend wurden wesentliche Anforderungen, aber auch Hemmnisse für ein datenbasiertes Kooperationsnetzwerk identifiziert. Mit diesen Erkenntnissen konnten Anwendungsfälle ermittelt werden, die praktisch umgesetzt und entsprechend den neuen Anforderungen gestaltet wurden.

Das Kooperationsnetzwerk ist als Unterstützungssystem zu verstehen. Alle Fachkräfte, die damit arbeiten, bekommen eine gemeinsame, globale Sicht auf »ihre« Produktionsanlage. Die Zusammenarbeit wird vereinfacht. Der digitale Zwilling bildet dafür die zentrale Informations- und Arbeitsbasis, welche aus Strukturinformationen und Dokumenten besteht. Außerdem bildet er reale Zustände der Anlage in Echtzeit ab. So können Prozesse

und Dienstleistungen unternehmensübergreifend transparent und flexibel gestaltet werden. Da der Anlagenbetrieb wesentliche Aufgabe in der Wertschöpfung ist, wird auch der digitale Zwilling zum zentralen Bestandteil langfristiger Wirtschaftlichkeit und Innovation. Dieser Teilaspekt wurde im Projekt von der Metop GmbH besonders untersucht. »Wir haben

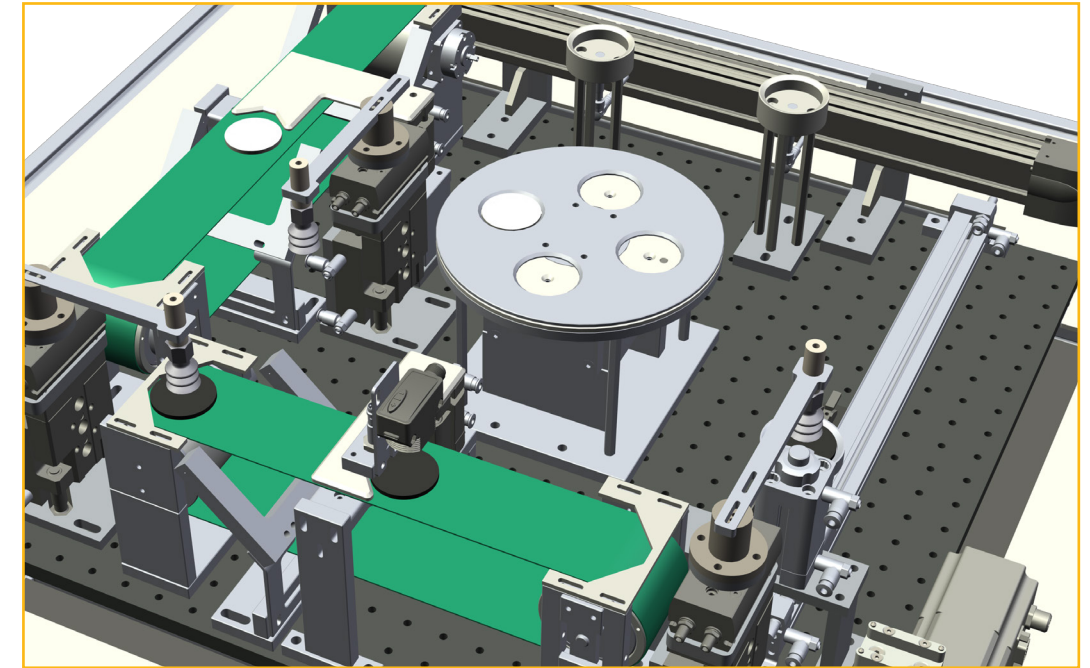
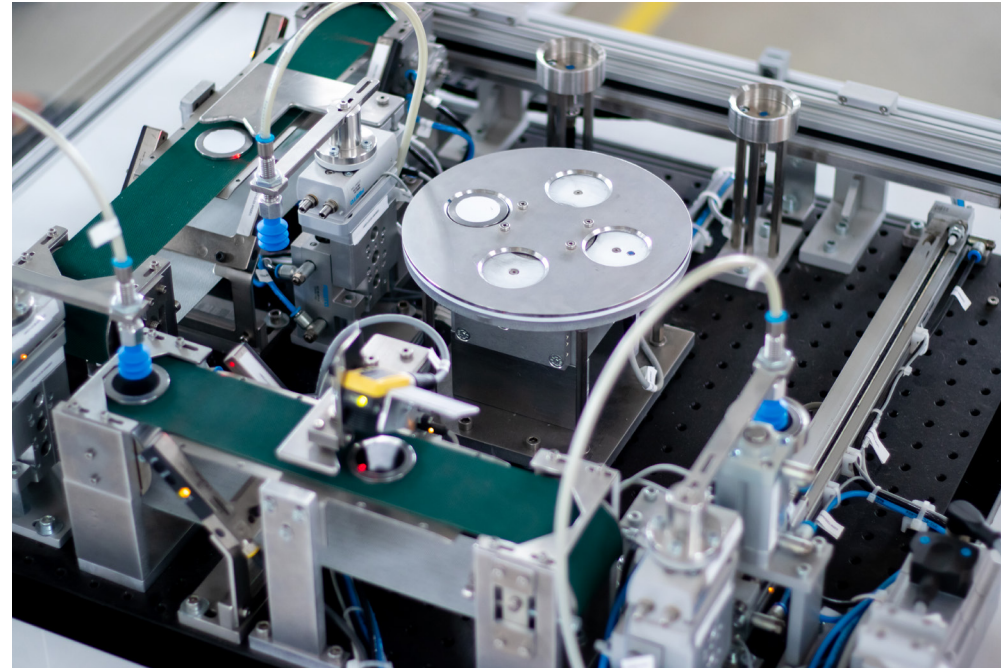
Der digitale Zwilling begleitet Maschinen und Anlagen über ihren gesamten Lebenszeitraum.

den Produktlebenszyklus betrachtet und die Geschäftsmodelle der an der Anlage Beteiligten wie Anlagenbauer und -betreiber sowie Instandhalter auf den Prüfstand gestellt«, erklärt Stephan Dassow, Prokurist und Projektverantwortlicher bei der Metop GmbH. »Wir wollten wissen, welche Auswirkungen welche Kooperationsformen jeweils haben. Denn Kooperationen müssen positiv auf den Wertschöpfungsprozess wirken und dabei helfen, die Wirtschaftlichkeit der Anlage zu erhöhen«, so Dassow weiter. Wichtig dabei war, die Datensouveränität jederzeit sicherzustellen. »Jeder Projektpartner hat selbst entschieden, wer seine Daten sehen kann. Für eine unternehmensübergreifende Kooperation ist so etwas essentiell«, beschreibt Dassow das Vorgehen.



Informationen und Daten sind oft entscheidender Wettbewerbsvorteil, ihr Schutz war daher eine besonders wichtige Anforderung im Projekt NedZ. Aus diesem Grund wurde eine Risikobewertung des digitalen Zwillings durch alle beteiligten Projektpartner durchgeführt. Grundlage dafür waren die Schutzziele der Informationssicherheit: Vertraulichkeit, Integrität und Verfügbarkeit.

Neben neuen Arten der Wertschöpfung entstehen auch neue Formen der Zusammenarbeit und der Arbeitsorganisation. Die Kooperationsplattform wirkt auf Arbeitsprozesse, erfordert neue Digital- und Sozialkompetenzen sowie die Akzeptanz der Beschäftigten. »Wir haben das gesamte Projekt arbeitswissenschaftlich begleitet. Auf der Grundlage der jeweiligen Unternehmensprozesse wurde beispielhaft gezeigt, wie Kooperationsnetzwerke gestaltet werden können. Dabei war es wichtig, mögliche Auswirkungen auf den Arbeitsprozess und die Menschen darin zu berücksichtigen«, sagt Dr. Anna-Sophia Henke, akademische Mitarbeiterin der Forschungsgruppe Arbeitsorganisation und Projektverantwortliche an der BTU Cottbus-Senftenberg. So standen vor allem veränderte Anforderungen und Belastungen für die beteiligten Fachkräfte im Raum. »Aspekte der



Arbeitsplatzgestaltung, der Entscheidungsmöglichkeiten und der aus der Digitalisierung resultierenden veränderten Belastungs- und Beanspruchungssituationen werden unter anderem auch mit Blick auf demografische Gegebenheiten immer wichtiger«, erklärt Henke.

Effiziente Prozesse und ein intuitives Datenhandling setzen eine passende Softwarelösung voraus. »Hierfür haben wir am Fraunhofer IFF eine webbasierte Lösung entwickelt, die all die Anforderungen berücksichtigt«, sagt Torsten Böhme, Projektleiter NedZ am Fraunhofer IFF. Die Daten des digitalen Zwillings wurden zusammengeführt und entsprechend der jeweiligen Zugriffsrechte in einem Frontend für die Beteiligten verfügbar gemacht. Dabei waren Nutzerfreundlichkeit, Steuerbarkeit und Fehlermanagement ebenso wichtig wie der Schutz der Daten vor unbefugtem Zugriff.

Förderhinweis:

Das Forschungsprojekt wird im Rahmen des Programms »Zukunft der Arbeit« (FKZ: 02L18B500ff.) vom Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) und dem Europäischen Sozialfonds (ESF) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut.

Das Projekt NedZ hat soziale und technische Innovationen zusammengebracht und dabei die wesentlichen Aspekte für unternehmensübergreifende Netzwerke berücksichtigt. Langfristig können mit Kooperationsnetzwerken auf Basis digitaler Zwillinge die Arbeitsorganisation im Unternehmen verbessert und Instandhaltungsmaßnahmen von Produktionsanlagen optimiert werden. Darüber hinaus kann ein solches Netzwerk auch Ausgangspunkt für neue datenbasierte Dienstleistungen sein.



Hierfür haben wir am Fraunhofer IFF eine webbasierte Lösung entwickelt, die all die Anforderungen berücksichtigt.«

Torsten Böhme,
Fraunhofer IFF



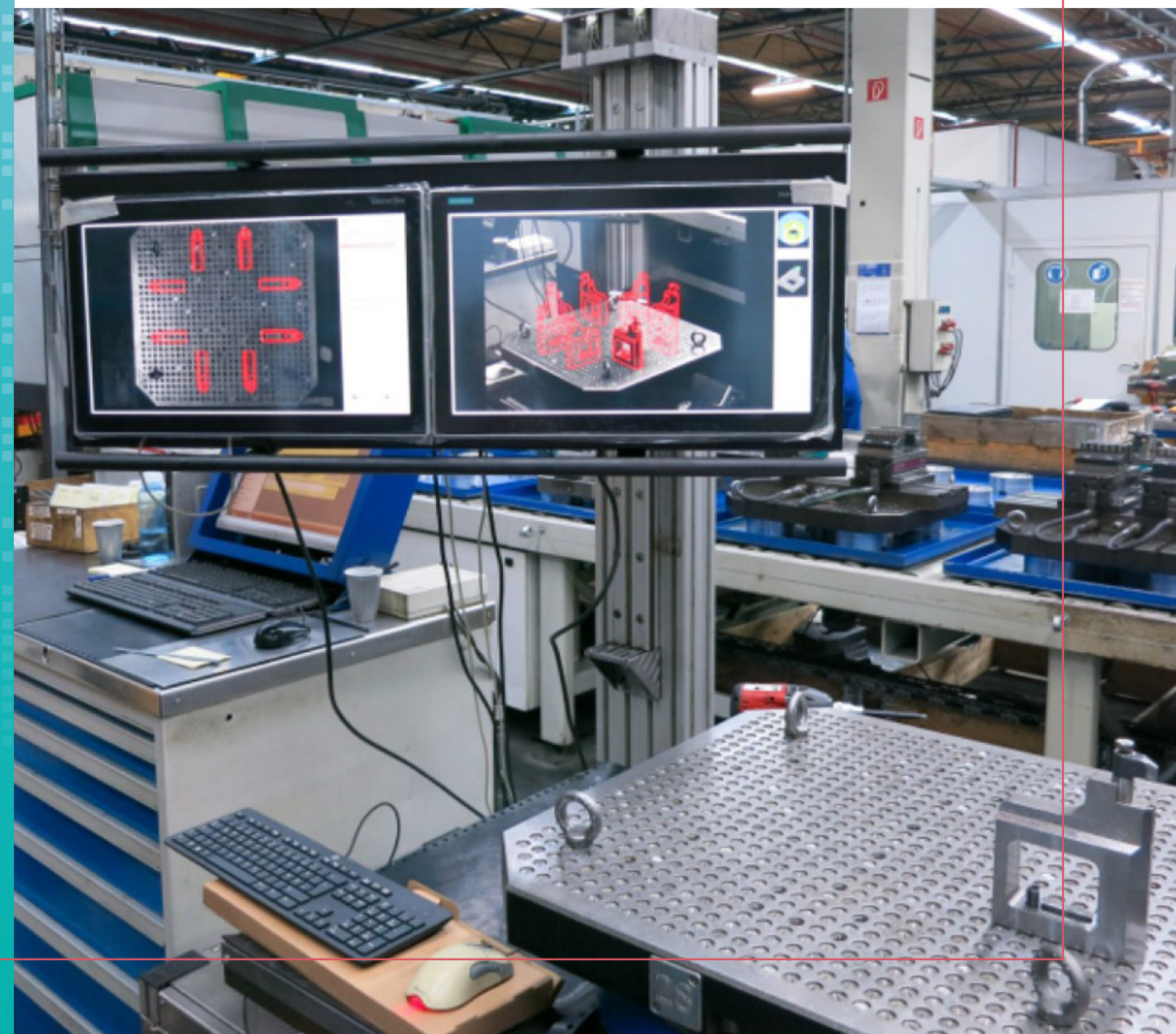
**Zusammen.
Zukunft.
Gestalten.**

FEHLERFREI BEI STÜCKZAHL EINS

*WIE MIT AUGMENTED
REALITY DIE MONTAGE
VON SPANNSYSTEMEN IM
SONDERMASCHINENBAU
UNTERSTÜTZT WIRD*

Holz gilt als nachhaltiger Rohstoff und steigende Einschlags- und Verarbeitungszahlen zeigen, dass er immer beliebter wird. Die Einsatzmöglichkeiten sind vielfältig, besonders intensiv wird der Naturstoff im Bauwesen, zum Beispiel für Fensterrahmen, Türen und Dachkonstruktionen, genutzt. Ein weiterer großer Abnehmer ist die Möbelindustrie, deren Hauptwerkstoff das Holz ist. In beiden Industrien werden große Mengen Massivholz verarbeitet, meist aus Fichte, Kiefer oder Buche.

Bei der Verarbeitung des Massivholzes kommen verkettete Anlagensysteme zum Einsatz. Mit diesen wird das Holz vom Stamm bis zum Endprodukt verarbeitet. Es gibt nur eine Handvoll Unternehmen, die solche riesigen und hochkomplexen Sondermaschinen für die Massivholzverarbeitung bauen können. Eines der weltweit größten hat seinen Stammsitz im baden-württembergischen Tauberbischofsheim. Die Michael Weinig AG baut seit fast 80 Jahren Holzverarbeitungsmaschinen für große Möbelhersteller und die Bauindustrie.



»Ein Anlagensystem besteht aus Tausenden Einzelteilen in vielen Hundert Baugruppen. Es wird für jeden Einsatzzweck individuell gefertigt. Für die Fertigung der einzelnen Baugruppen setzen wir CNC-Maschinen ein«, erklärt Andre Veith, Leitung Prozessmanagement & Infrastruktur / KVP bei der Michael Weing AG.

Für die CNC-Bearbeitung werden Vorrichtungen benötigt, in die zu bearbeitende Bauteile eingespannt werden. Solche Spannsysteme können aus ganz verschiedenen Elementen, wie Anschlägen, Spanneisen, Spannpratzen oder Schraubstöcken, bestehen. Sie werden für jedes Bauteil individuell zusammengestellt und manuell montiert. Diese Spannmittel von ganz unterschiedlicher Größe, Gewicht und Komplexität müssen absolut fehlerfrei und positionsgenau verschraubt werden. »Zwar haben wir von den Vorrichtungsteilen exakte

3D-Modelle, die unsere Mitarbeitenden auf Monitoren sehen, doch beim Zusammenbau sind Wissen und Erfahrung gefragt. Aktuell haben wir bereits alle vorgelagerten Prozesse, wie z.B. virtueller Spannmittelaufbau, CAM-Programmierung, Simulation des realen NC-Codes auf einem digitalen Zwilling, und sämtliche Verwaltungsprozesse der Spannmittel sowie Werkzeuge bereits digitalisiert. Jedoch fehlt uns noch der Übergang aus der "virtuellen" in die "reale" Welt im Vorrichtungsaufbau« so Veith weiter. Trotzdem entstehen menschenverursachte Fehler beim Zusammenbau. Denn es erfolgt kein direkter Abgleich des physischen Vorrichtungsteils mit dem digitalen Modell. So kann es trotz sorgfältiger Arbeit zu Beschädigungen an der CNC-Maschine kommen, wenn die Spannvorrichtung falsch montiert wurde oder das Bauteil falsch eingespannt wird und es damit nicht exakt zum

programmierten Ablauf der Maschine passt. Es kommt zur ungewollten Kollision im Vorschub oder Eilgang. Im schlimmsten Fall ist Maschine so schwer beschädigt, dass sie ganz ausfällt und repariert werden muss. »Ein einziger Stillstand der CNC-Maschine kann schnell mit einem fünfstelligen Betrag zu Buche schlagen«, beschreibt Veith das Problem.

Eine Lösung dafür hatten die Wissenschaftler am Fraunhofer IFF bereits vor einigen Jahren für einen anderen Sondermaschinenhersteller entwickelt. Das Unternehmen Kolbus GmbH & Co. KG stellt im ostwestfälischen Rahden Maschinen zur Buchdeckel- und Packmittelfertigung im Sondermaschinenbau her und stand vor einer ähnlichen Herausforderung wie die Michael Weing AG. Hier ging es ebenfalls um individuelle Montageprozesse für Spannsysteme.

»Wir haben eine technische Lösung entwickelt, bei der das Fachpersonal von einem digitalen Assistenzsystem unterstützt wird. Ein Kamerabild nimmt den Arbeitsbereich auf. Über dieses Bild wird mittels Augmented Reality das 3D-Modell der Baugruppe gelegt. Der Mitarbeitende kann nun in Echtzeit die Lage und Richtigkeit der einzelnen Bauteile bereits bei der Montage überprüfen«, beschreibt Steffen Sauer, Projektleiter am Fraunhofer IFF die technische Lösung. Das System hat eine Abweichungstoleranz von nur 0,3 Millimeter. Jedes Bauteil wird einzeln eingeblendet und bei richtigem Sitz an der Baugruppe quittiert, bevor es zum nächsten Einzelteil weitergeht. Damit werden menschliche Fehler in der Konstruktion der Vorrichtung für die CNC-Maschine nahezu ausgeschlossen. »Seit dem Ersteinsatz bei Kolbus hat es keine menschenverursachten Kollisionen der dortigen CNC-Maschine mehr



Ein Anlagensystem besteht aus Tausenden Einzelteilen in vielen Hundert Baugruppen. Es wird für jeden Einsatzzweck individuell gefertigt. Für die Fertigung der einzelnen Baugruppen setzen wir CNC-Maschinen ein.«

André Veith,
Michael Weing AG



Wir haben eine technische Lösung entwickelt, bei der das Fachpersonal von einem digitalen Assistenzsystem unterstützt wird.«

Steffen Sauer,
Fraunhofer IFF

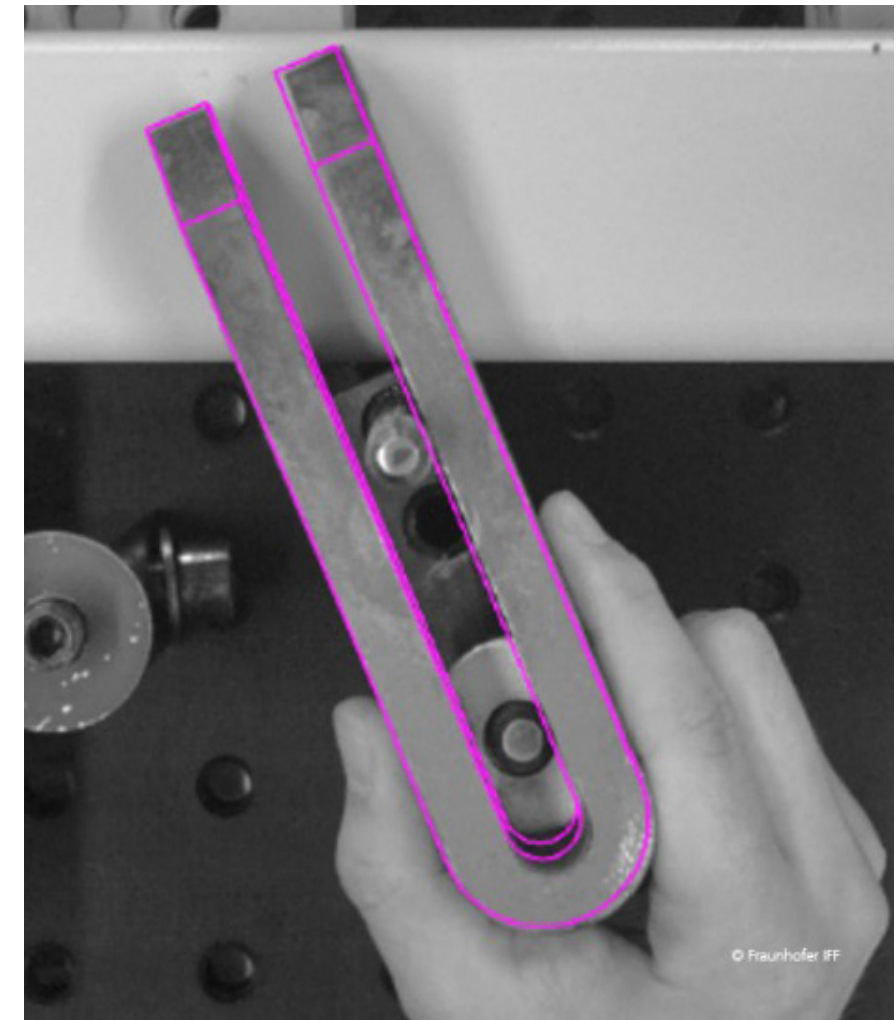
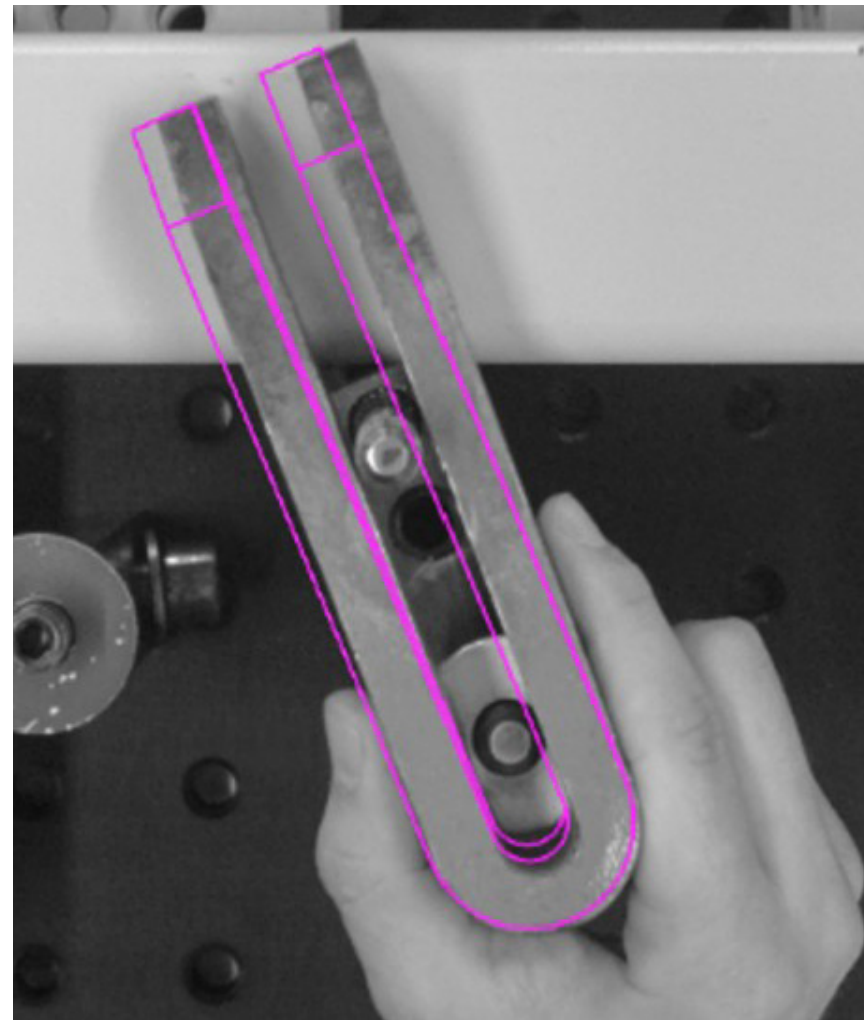
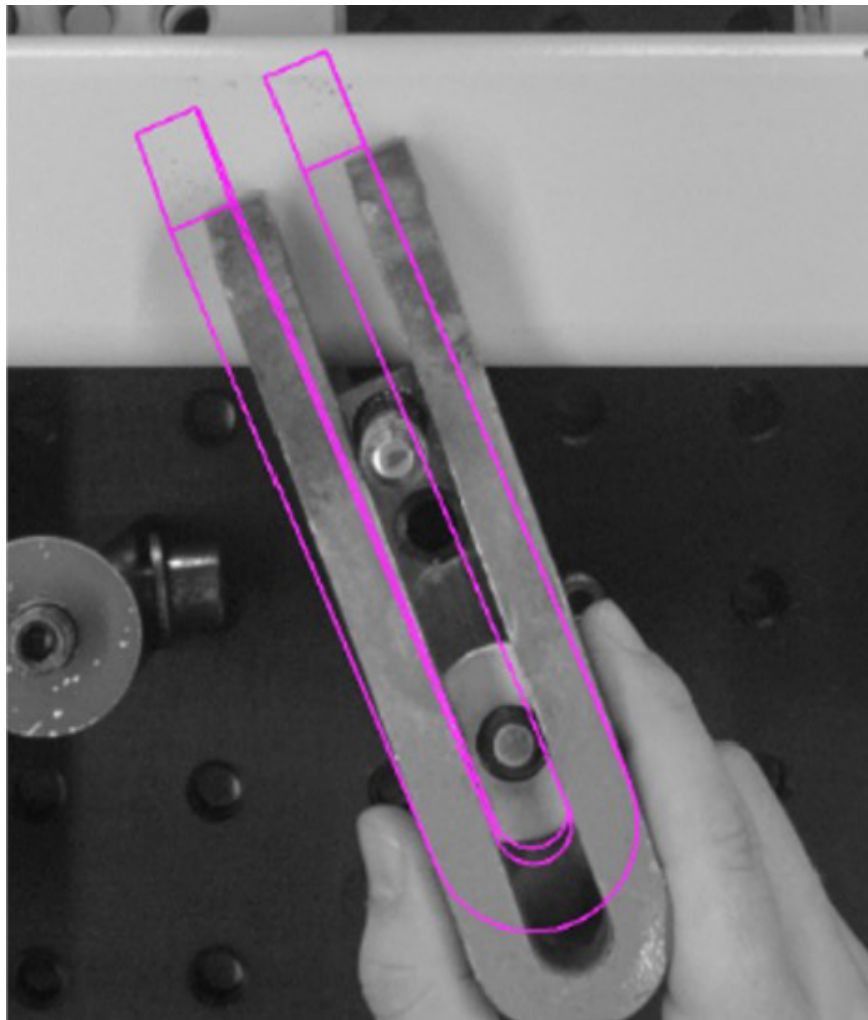


gegeben. Außerdem funktioniert dieses System sehr intuitiv, der Anlernaufwand ist gering«, berichtet Sauer. Diese Vorteile überzeugte die Michael Weing AG, ein solches individuelles Assistenzsystem beim Fraunhofer IFF in Auftrag zu geben.

Kolbus hat zwischenzeitlich so viel Erfahrung mit dem Assistenzsystem gesammelt, dass deren Wissen um die Arbeitsplatzgestaltung mit in die Lösung für die Michael Weing AG eingeflossen ist. »Wir haben ein Joint Venture mit Kolbus aufgesetzt. Sie bringen Praxiserfahrung bei der Arbeitsplatzgestaltung ein und wir entwickeln die passende Software für die Michael Weing AG«, so der IFF-Wissenschaftler weiter.

Besonders produktiv entwickelte sich auch die Zusammenarbeit mit der Fa. Pimpel aus Österreich. Mit der von ihnen

entwickelten Software CHECKitB4 sind sie bei der Michael Weing AG für die CAD/CAM-Datenbereitstellung verantwortlich. In CHECKitB4 können die digitalen Zwillinge (3D Solid inkl. Kinematik-Achsen) von Spanneisen, Spannpratzen und Schraubstöcken als auch Werkzeugmaschinen 1:1 abgebildet werden. Dadurch kann das Werkstücksetup für die jeweilige Maschine sehr einfach erstellt und auf Machbarkeit geprüft werden. Fasziniert von den Möglichkeiten der durchgehenden digitalen Kette von Konstruktion bis Bearbeitung entwickelte Pimpel in enger Abstimmung mit dem Fraunhofer IFF ihre Software weiter. So ist es nun möglich, mit minimalem Vorbereitungsaufwand aus der CAD/CAM-Software die Montageanweisungen zu exportieren und direkt in die Assistenzsoftware zu laden.



Mit dem Assistenzsystem wird der Mensch in der Fertigung befähigt, komplexe Arbeitsabläufe schnell und einfach zu erlernen. Die manuelle Fertigung wird um einen in Echtzeit parallellaufenden digitalen Prozess ergänzt. Damit werden die Vorteile beider Welten – höchst individuelle händische Fertigung und klar definierte, fehlerfreie digitale Prozesse – zusammengeführt. Dem Menschen kommen hier neben der reinen Montage der Bauteilgruppe auch steuernde Aufgaben im Prozessablauf zu. Der Mensch bleibt zentral, trifft die Entscheidungen – und wird durch das Assistenzsystem wirksam unterstützt.

Die assistierte Spannmittelmontage hat noch einen weiteren Vorteil: Bisher muss die Maschine bei der Erstbearbeitung eines Teiles das Bearbeitungsprogramm im Einzelschrittmodus durchlaufen. Dies wird durchgehend von kundigem Fachpersonal überwacht. Ein aufwendiger

Arbeitsschritt, der nicht wertschöpfend und ineffizient ist. Dieses zeitaufwändige Einfahren der CNC-Maschine entfällt nun komplett. Die Maschine kann nach Einbau des Spannsystems sofort mit dem zu bearbeitenden Bauteil bestückt werden. Die Daten werden in Echtzeit aktualisiert und stehen für die nachgelagerten Produktionsprozesse zur Verfügung.

Gerade in hochindividualisierten Montageprozessen wie dem Sondermaschinenbau sind Wissen und Erfahrung der Mitarbeitenden oft ausschlaggebend für den wirtschaftlichen Erfolg eines Unternehmens. Die assistierte Spannmittelmontage hilft dabei, häufig wechselnde Montageprozesse schnell und intuitiv zu lernen. Auch nicht oder gering für diese Aufgabe qualifizierte Mitarbeitende können mithilfe der Assistenz schnell in diese Arbeit eingelernt werden. Das ermöglicht ein breiteres Einsatzgebiet

der Menschen und schafft Flexibilität in der Personalplanung. All dies erhöht die Attraktivität von Fabrikarbeitsplätzen in Zeiten knapper Fachkräfte.

Die assistierte Spannmittelmontage ist bei der Michael Weing AG ein voller Erfolg. »Wir haben zunächst zwei Arbeitsplätze mit dem neuen System ausgestattet. Einen weiteren Arbeitsplatz haben wir als Backup unverändert gelassen«, sagt Andre Veith und fügt hinzu: »Aber jetzt will da keiner mehr arbeiten. Alle wollen nur noch die neue Technologie nutzen. Somit ist klar, dass dies nicht der letzte Arbeitsplatz des IFF im Hause Weing ist, weitere Einsatzmöglichkeiten werden bereits intern erörtert. Aktuell prüfen wir, ob wir die Technologie auch im Maschinenraum bzw. im Bereich der Paletten-Spannung bei Großmaschinen integrieren können.«

Weitere Infos:
<https://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/fertigungsmesstechnik-digitale-assistenzsysteme/werkerassistenz-fuer-montage-spannsysteme.htm>



Automation X



Der öffentliche Raum als Einsatzgebiet für Assistenzroboter stellt Hersteller und Anwender vor besondere Herausforderungen.

In dem Kompetenzcluster rokit erarbeiten Unternehmen und Forschungsinstitute vielseitige Unterstützungsleistungen für diesen Einsatzzweck. Ziel ist es, die Integration dieser Roboter in das öffentliche Umfeld zu erleichtern.

Das Fraunhofer IFF befasst sich dabei mit der Sicherheitsbewertung von Assistenzrobotern. Es entstehen verschiedene Test- und Validierungspraktiken, die in Feldversuchen unter realen Bedingungen getestet und evaluiert werden.

Nach Projektende im September 2025 soll rokit als Anlaufstelle für Assistenzroboter fortbestehen.

Kontakt: Dr. Roland Behrens,
roland.behrens@iff.fraunhofer.de

Net Zero X

Erfolgreicher Strukturwandel in der Kohleregion

Der Kohleausstieg ist eine Chance, die Kohleregionen in ökonomisch und ökologisch erfolgreiche Gebiete zu transformieren. Die beiden Forschungseinrichtungen Fraunhofer IFF und RWTH Aachen unterstützen in dem Projektvorhaben »Wissenschaftlich-technologischer Transfer im Transformationsprozess des Strukturwandels in Sachsen-Anhalt (WIP)« den Technologietransfers im Zuge dieses Wandels.

Mit dem Projekt sollen Kommunen und Gebiete des mitteldeutschen Reviers in Sachsen-Anhalt dabei gestärkt werden, langfristige Entwicklungsstrategien in den Bereichen Energie und Raumplanung zu erstellen und geeignete Projekte zu initiieren, umzusetzen und auszuwerten. Dazu werden Wissen und Vorgehensweisen über ökonomisch sinnvolle und ökologisch nachhaltige Planungs- und Entwicklungsstrategien vermittelt. Durch aktive Vernetzung der Kommunen und Gemeinden untereinander wird der Wissens- und Erfahrungsaustausch gefördert.

Das Projekt ist am 1. Juli 2023 gestartet und läuft noch bis zum 30. Juni 2026.

Kontakt: Andreas Höpfner,
andreas.hoepfner@iff.fraunhofer.de

Gefördert durch:

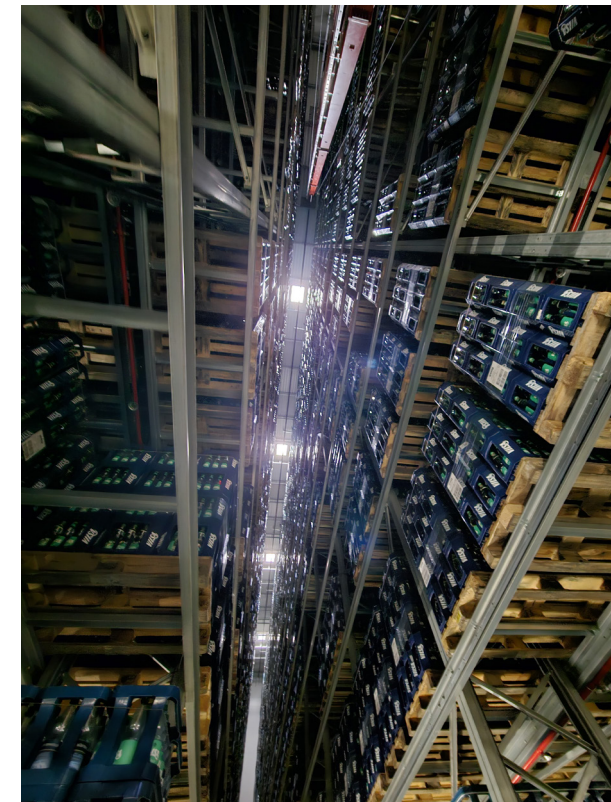


aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages



<https://www.wip-projekt.de>

Automation X



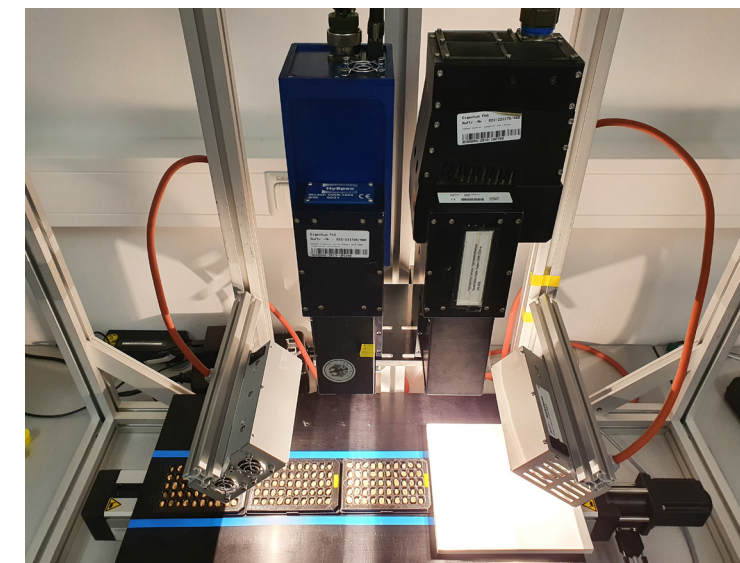
Die VILSA-BRUNNEN Otto Rodekohl GmbH hat ihren Unternehmensstandort im niedersächsischen Bruchhausen-Vilsen um ein neues Hochregellager erweitert. Mit Platz für 46.500 Paletten ist dieses eins der größten in Norddeutschland und ein wichtiger Meilenstein in der über 111-jährigen Unternehmensgeschichte des Getränkeherstellers.

Um in einem stark volatilen und teilweise saisonal geprägten Markt die Kapazitäten dieses Lagers optimal zu nutzen und eine möglichst 100-prozentige Lieferfähigkeit sicherzustellen, hat das Traditionsunternehmen das Fraunhofer IFF beauftragt, Datenanalysen und Prozesssimulationen für die Produktionsplanung und das Lagermanagement durchzuführen und zu untersuchen, wie diese strategisch-taktisch synchronisiert und optimiert werden können.

Das Projekt lief von Oktober bis Dezember 2023.

Kontakt: Thomas Dengler,
thomas.dengler@iff.fraunhofer.de

Digital Twin Family



Die Erfassung der chemischen Zusammensetzung von Objekten hat zahlreiche Anwendungen, wie Qualitätskontrolle von Lebensmitteln, Pflanzengesundheitsbewertung, Fälschungsdetektion und Recycling in der Kreislaufwirtschaft.

Im Forschungsprojekt TiM hat das Fraunhofer IFF zusammen mit der Uni Bielefeld mithilfe spektral-optischer Messverfahren und KI-basierter Datenanalyse, neue Methoden entwickelt, um KI-Modelle zwischen verschiedener Sensor-Hardware zu übertragen. Dies reduziert deutlich die Kosten gegenüber der Erstellung eines neuen KI-Modells für jeden Sensor.

Kontakt: Patrick Menz,
patrick.menz@iff.fraunhofer.de

Förderhinweis:
BMBF Projekt (05M20PBA,
05M20AFA – Desy)

Automation X



Für das chinesische SIASUN Virtual Reality Industrial Technology Research Institute hat das Fraunhofer IFF ein Sensorsystem für die Erkennung von Menschen und deren Gesten entwickelt.

Ein mit dem System ausgestatteter Cobot soll im Besucherzentrum des Instituts den Begleiter der Gäste entlasten. Die mobile Plattform folgt dabei dem Guide per Tracking-System vollständig autonom. Mit seiner kamerabasierten Gestenerkennung kann sich der Cobot entsprechend der Gestik »seines« Menschen bewegen.

Kontakt: Dr. Christian Vogel,
christian.vogel@iff.fraunhofer.de

Digital Twin Family



In den vier Endmontagelinien des Airbus-Werks in Hamburg werden unter anderem die Flügel an den Rumpf verschiedener Flugzeugtypen gefügt. Der Fügeprozess der extrem großen Bauteile erfolgt passgenau mit vielen einzelnen Prüf- und Ausrichtvorgängen. Die vielen einzelnen Messpunkte werden dabei überwiegend manuell von hochqualifizierten Mitarbeitern erfasst. Dies erfordert große Sorgfalt. Die Arbeiten sind mit entsprechendem Zeitaufwand verbunden.

Hier soll Fraunhofer-Technologie in Zukunft Verbesserungen bewirken. In mehreren Einzelprojekten wurde die AirBox in der Anwendung im Werk getestet. Mit ihr sollen Teile des Prozesses der Flügelmontage mittels Sensoren automatisch und in Echtzeit überwacht werden. Die digitalen Daten werden gesammelt, visualisiert und dienen zur Steuerung des Fügeprozesses. Die sensorgestützte Prozessüberwachung ist ergonomischer und spart zudem Zeit.

Kontakt: Dr. Olaf Poenicke,
olaf.poenicke@iff.fraunhofer.de

Automation X



Kampfmittelreste und Minen sind noch lange nach einem Krieg eine erhebliche Gefahr. Allein der Verdacht, dass Landflächen kontaminiert sind, schränkt die Nutzbarkeit der Gebiete, z.B. für Landwirtschaft oder Bebauung, wesentlich ein.

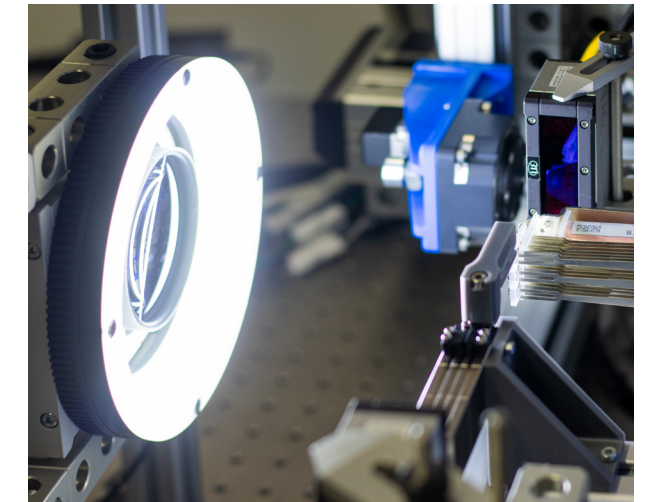
Diese Flächen von nicht explodierten Sprengsätzen und gefährlichen Munitionsresten zu befreien, dauert Jahrzehnte, ist teuer und extrem gefährlich.

Mit der im Projekt AutoDrone UA entwickelten Lösung können große Flächen mit einem Drohnenschwarm abgeflogen und fünfmal schneller analysiert werden, ohne dass bodengeführte Systeme, Minenspürhunde oder der Mensch unmittelbar gefährdet werden.

Die Drohnensteuersoftware wurde vom Fraunhofer IFF entwickelt und dem Kampfmittelräumspezialisten Tauber Geo-Consult für den Einsatz übergeben.

Kontakt: Hon.-Prof. Dr.-Ing. Klaus Richter,
klaus.richter@iff.fraunhofer.de

Automation X



Für die Steuerung des Bahnbetriebs in Deutschland sind über 2500 Stellwerke erforderlich. Davon sind über 1000 als Relaisstellwerke ausgeführt. Die Vorgabe der Fahrwege erfolgt hierbei über Signalrelais.

Diese sicherheitsrelevanten Komponenten werden im Technologiekonzern Thales Group in filigraner Handarbeit gefertigt. Bei deren Herstellung ist hohe Konzentration und absolut fehlerfreies Arbeiten gefordert.

Das Fraunhofer IFF hat eine Machbarkeitsstudie durchgeführt, um zu ermitteln wie die Mitarbeitenden künftig von aufwändigen Qualitätsprüfaufgaben entlastet werden können. Hierzu wurden prototypische Messsysteme entwickelt, die die vorgeschriebenen Prüfaufgaben an Signalrelais automatisiert durchführen können. Hierzu mussten sowohl kamerabasierte als auch feinmechanische Lösungen gefunden werden.

Das Projekt hat eine Laufzeit von rund einem Jahr und endet Mitte 2024.

Kontakt: Silvio Sperling,
silvio.sperling@iff.fraunhofer.de

Digital Twin Family

Prozessanlagen vorausschauend steuern

Die Prozessüberwachung und -regelung von Produktionsanlagen in der Chemie- oder Lebensmittelindustrie steht kontinuierlich vor neuen Herausforderungen um unerwünschte Prozesszustände und Fehlproduktionen zu vermeiden, sowie die Effizienz zu steigern, obwohl die Prozesse der Feststoffverfahrenstechnik seit Jahrzehnten industriell etabliert sind.

Es werden Testreihen auf Versuchsanlagen durchgeführt und diese anschließend basierend auf den Erfahrungen skaliert.

Im Projekt TwinGuide wird der digitale Anlagenzwilling mit (Echtzeit-)Simulationen der im Inneren ablaufenden Prozesse verbunden. Aus dieser Kombination entsteht ein prozessintelligenter digitaler Zwilling, der eine exakte Anpassung von Prozessparametern und eine vorausschauende Prozesssteuerung ermöglicht.

Dieser digitale Zwilling ermöglicht eine schnelle und genaue Abbildung der Prozessabläufe in den Anlagen im großen Maßstab. Prognosen über den weiteren Produktionsverlauf und über das Einhalten von Produktionsanforderungen ermöglichen den ressourceneffizienten Betrieb der Produktionsanlagen.

Kontakt: Dr. Andreas Herzog,
andreas.herzog@iff.fraunhofer.de



<https://www.iff.fraunhofer.de/de/geschaeftsbereiche/energiesysteme-infrastrukturen/twinguide.html>

ELBFABRIK



DIE HAT

Am 14. September 2023 ist im Magdeburger Wissenschaftshafen die Fabrik der Zukunft Wirklichkeit geworden. Das Fraunhofer IFF hat seine neue Forschungs- und Demonstrationsfabrik feierlich eingeweiht.

In der Elbfabrik forschen Partner aus Wirtschaft und Wissenschaft gemeinsam an Lösungen für die Produktion von morgen. Hier werden Spitzentechnologien entwickelt und schnell in die Anwendung überführt.

Mehr als 20 Demonstratoren zeigen, welche Technologien die Produktion der Zukunft möglich machen und wie Prozesse intelligent und vernetzt gesteuert werden.

An der Einweihungsveranstaltung nahmen neben Gästen aus Wirtschaft, Wissenschaft und Politik auch Sachsen-Anhalts Ministerpräsident Dr. Reiner Haseloff, Prof. Sabine Döring, Staatssekretärin im Bundesministerium für Bildung und Forschung, sowie Magdeburgs Oberbürgermeisterin Simone Borris teil.

ZUKUNFT BEGONNEN

Nach dem Festakt folgte die symbolische Eröffnung. Danach konnten sich die rund 500 Gäste selbst ein Bild von der Fabrik der Zukunft machen und die Elbfabrik besichtigen.



www.elbfabrik-magdeburg.de

DAS INSTITUT IN ZAHLEN

Haushalt und Erträge*

Im Jahr 2023 betragen die Ausgaben für den Gesamthaushalt des Fraunhofer IFF 20,1 Millionen Euro. Die externen Gesamterträge beliefen sich auf 11,4 Millionen Euro. Davon fielen 4,2 Millionen Euro auf Wirtschaftserträge.

7,3 Millionen Euro stammten aus öffentlichen, EU und sonstigen Erträgen. Die institutionelle Förderung umfasste 8,7 Millionen Euro. Der Investitionshaushalt des Jahres 2023 betrug 0,5 Millionen Euro.

Personalentwicklung

Zum Stichtag 31. Dezember 2023 beschäftigte das Fraunhofer IFF 202 Mitarbeitende. Die Mehrheit der wissenschaftlichen Mitarbeiterinnen und Mitarbeiter verfügt über einen Abschluss in einer ingenieurwissenschaftlichen Disziplin. Darüber hinaus sind am Institut Absolventinnen und Absolventen der Human- und Wirtschaftswissenschaften, der Mathematik und Physik sowie Kaufleute tätig. Sie alle arbeiten gemeinsam in interdisziplinären Forschungsteams und in der Administration.

Ausbildung und Qualifizierung

Zusätzlich wurde die Forschungsarbeit durch 57 wissenschaftliche Hilfskräfte und 7 Praktikantinnen und Praktikanten unterstützt. Wir freuen uns außerdem, dass wir darüber hinaus 3 Auszubildende betreuen dürfen.

37 Mitarbeitende des Fraunhofer IFF waren als Lehrende und Lehrbeauftragte an Universitäten und Hochschulen tätig. Insgesamt wurden 36 Masterarbeiten sowie 4 erfolgreich abgeschlossene Promotionen betreut. Ferner wurden im Jahr 2023 von den Forscherinnen und Forschern des Instituts 76 wissenschaftliche Beiträge veröffentlicht.

*alle Beträge stark gerundet

KURATORIUM

Das Kuratorium des Fraunhofer IFF steht der Institutsleitung beratend zur Seite und fördert die Kontakte des Instituts zu Organisationen, Institutionen und der Industrie. Ihm gehören Vertreterinnen und Vertreter aus Wissenschaft, Wirtschaft sowie Politik und Verwaltung an. Vorsitzender des Kuratoriums ist Johannes Krafczyk.

Dirk Bartens
Geschäftsführender Gesellschafter,
SBSK GmbH & Co.KG, Daten- und Informationssysteme

Dr. Tilo Bobel
Senior Director (Global Head),
Continuous Improvement, Lean & Automation, Maersk

Dr. Kerstin Höfte
VP R&D and Product Management,
Körber Supply Chain Software GmbH

Abdirahman Ikar
Vice President Global Supply Chain Management,
Pepperl + Fuchs SE

Annett Juhnke
Leitung Personalmanagement,
Avacon AG

Dr. Jochen Köckler
Vorstandsvorsitzender,
Deutsche Messe AG

Johannes Krafczyk
Senior Engagement Manager,
T-Systems International GmbH

Dr.-Ing. E.h. Bernd Liepert
CEO, more_about_robots GmbH

Dr. Georg Mecke

Dr. Ute Redecker

Dr. Nicole Schnittpfeld
Leiterin Kompetenzcenter »Verarbeitung von morgen«,
Post CH AG

Tobias Schlichtmann
Senior Vice President,
Centers of Technical Expertise, Global Engineering
Services BASF SE

Prof. Dr. Manuela Schwartz
Rektorin, Hochschule Magdeburg – Stendal

Prof. Dr.-Ing. habil. Jens Strackeljan
Rektor,
Otto-von-Guericke-Universität Magdeburg

Dr.-Ing. Jürgen Ude
Staatssekretär Stabsstelle für Großinvestitionen,
Strukturwandel, Staatskanzlei und Ministerium
für Kultur des Landes Sachsen-Anhalt

Juliane Wolf
Geschäftsführerin Industrie und Infrastruktur,
Industrie- und Handelskammer Magdeburg

Thomas Wünsch
Staatssekretär,
Ministerium für Wissenschaft, Energie, Klimaschutz
und Umwelt des Landes Sachsen-Anhalt

Tom Wünsche
Referent,
Bundesministerium für Bildung und Forschung

Clemens Zielonka
Leiter acatech Brüssel-Büro,
acatech – Deutsche Akademie der
Technikwissenschaften Brüssel-Büro

Stand: 31. Dezember 2023

DIE FRAUNHOFER-GESELLSCHAFT

Die Fraunhofer-Gesellschaft mit Sitz in Deutschland ist eine der führenden Organisationen für anwendungsorientierte Forschung. Im Innovationsprozess spielt sie eine zentrale Rolle – mit Forschungsschwerpunkten in zukunftsrelevanten Schlüsseltechnologien und dem Transfer von Forschungsergebnissen in die Industrie zur Stärkung unseres Wirtschaftsstandorts und zum Wohle unserer Gesellschaft.

Als wichtige Kundengruppe nutzen insbesondere mittelständische Unternehmen die Expertise und Ressourcen von Fraunhofer, um neue Technologien zu entwickeln und ihre Wettbewerbsfähigkeit zu verstetigen. Seit Jahren zählt Fraunhofer zu den aktivsten Patentanmeldern in Deutschland und Europa. Dazu entwickelt die Forschungsorganisation ein umfangreiches, internationales Patentportfolio in verschiedenen Technologiebereichen, vor allem als Grundlage für den Transfer von Technologien durch Forschungsprojekte, Ausgründungen und Lizenzierung. Fraunhofer-Fachkräfte begleiten die Industriepartner dabei von der Idee bis zur Markteinführung. Darüber hinaus adressiert Fraunhofer gesamtgesellschaftliche Ziele in wichtigen Technologiebereichen durch interdisziplinäre und internationale Kooperationen im konkreten Marktumfeld. Zudem fördert Fraunhofer gesamtgesellschaftliche Missionen in Schlüsseltechnologien durch themenspezifische, interdisziplinäre und internationale Zusammenarbeit, die sich an den Bedürfnissen des Marktes orientiert. Beispiele sind Technologien für den Umbau von Energiesystemen, für die Cybersicherheit oder für Grundlagenmodelle der generativen Künstlichen Intelligenz. Für öffentlich-private Partnerschaften ist Fraunhofer ein attraktiver und etablierter Akteur. Darüber hinaus trägt die Fraunhofer-Gesellschaft maßgeblich zur Stärkung und Zukunftsfähigkeit des Innovationsstandortes Deutschland bei. Durch ihre Aktivitäten entstehen Arbeitsplätze in Deutschland, es erhöhen sich Investitionseffekte in der Wirtschaft und es steigt die gesellschaftliche Akzeptanz moderner Technik. Internationale Kooperationen mit exzellenten Forschungspartnern und Unternehmen weltweit sorgen für einen direkten Austausch mit den einflussreichsten Wissenschafts- und Wirtschaftsräumen.

Die 1949 gegründete Organisation betreibt in Deutschland derzeit 76 Institute und Forschungseinrichtungen. Die gegenwärtig knapp 32 000 Mitarbeitenden, überwiegend mit natur- oder ingenieurwissenschaftlicher Ausbildung, erarbeiten das jährliche Finanzvolumen von 3,4 Mrd. €. Davon fallen 3,0 Mrd. € auf den Bereich Vertragsforschung, der sich in drei Finanzierungssäulen gliedert: Einen Anteil davon erwirtschaftet Fraunhofer mit

Aufträgen aus der Industrie und aus Lizenzerträgen, die sich auf insgesamt 836 Mio. € belaufen. Der hohe Anteil an Wirtschaftserträgen ist das Fraunhofer-Alleinstellungsmerkmal in der deutschen Forschungslandschaft. Die zentrale Bedeutung, die dadurch der direkten Zusammenarbeit mit Wirtschaft und Industrie zukommt, garantiert den stetigen Innovationspush in die Wirtschaft und stärkt die deutsche und europäische Wettbewerbsfähigkeit. Ein weiterer Teil aus dem Bereich Vertragsforschung stammt aus öffentlich finanzierten Forschungsprojekten. Bund und Länder komplettieren die Vertragsforschung durch die Grundfinanzierung. Damit ermöglichen die Zuwendungsgeber, dass die Institute schon heute Problemlösungen entwickeln können, die in einigen Jahren für Wirtschaft und Gesellschaft relevant werden.

Hoch motivierte Mitarbeitende stellen für Fraunhofer den wichtigsten Erfolgsfaktor dar. Daher öffnet die Wissenschaftsorganisation Raum für selbstständiges, gestaltetes und zielorientiertes Arbeiten. Fraunhofer fördert die fachliche und persönliche Entwicklung, um Aufstiegschancen für ihre Mitarbeitenden in Wirtschaft und Gesellschaft zu unterstützen.

Namensgeber der als gemeinnützig anerkannten Fraunhofer-Gesellschaft ist der Münchner Gelehrte Joseph von Fraunhofer (1787–1826). Er war als Forscher, Erfinder und Unternehmer gleichermaßen erfolgreich.

Stand: April 2024



www.fraunhofer.de

IMPRESSUM

Leistungen und Ergebnisse Jahresbericht 2023 des Fraunhofer-Instituts für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF, Magdeburg

Herausgeberin
Prof. Dr. Julia C. Arlinghaus, Institutsleiterin

Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF
Sandtorstraße 22 | 39106 Magdeburg
Telefon +49 391 4090-0 | Fax +49 391 4090-596
ideen@iff.fraunhofer.de | www.iff.fraunhofer.de

ISSN 2192-1768

Redaktion
Anita Fricke

Satz/Layout
Bettina Rohrschneider

Herstellung/Druck
Druckerei Mahnert GmbH, Aschersleben
Gedruckt auf zertifiziertem Papier/Umweltpapier.

Bibliografische Information
Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Bildnachweise

Seite 4 / © Fraunhofer IFF, Jürgen Lösel
Seite 6 / © Fraunhofer IFF
Seite 9 / © Fraunhofer IFF, Viktoria Kühne
Seite 10-11 / © Fraunhofer IFF
Seite 12 / © MOSOLOF Gruppe
Seite 15 / © Thomas Franz
Seite 16 / © Fraunhofer IFF, Andreas Süß
Seite 17 / © MOSOLOF Gruppe
Seite 19 / © Fraunhofer IFF
Seite 20 / © Fraunhofer IFF, Anne Bornkessel
Seite 21 / © Anna-Sophia Henke
Seite 22 / © Fraunhofer IFF
Seite 24 / © Fraunhofer IFF, Viktoria Kühne
Seite 24-25 / © Fraunhofer IFF
Seite 27 / © Fraunhofer IFF
Seite 29 / © Fraunhofer IFF, Viktoria Kühne
Seite 30-31 / © Fraunhofer IFF
Seite 32 / © Human Factors Consult (HFC) GmbH
Seite 33 / v. l. n. r
© Fraunhofer IFF, Marc Kujath
© Fraunhofer IFF, Andreas Herzog
Seite 34 / v. l. n. r
© Fraunhofer IFF, Anne Bornkessel
© Fraunhofer IFF
Seite 35 / © Fraunhofer IFF, Anne Bornkessel
Seite 36-37 / v. l. n. r
© Fraunhofer IFF, Viktoria Kühne

Alle Rechte vorbehalten

© Fraunhofer IFF, Magdeburg 2024

1
0

1
0

1

1
0
1
1
0

1
0
1

0
1