

Bedarfsgerechte Unterstützung

Flexible Assistenz für variantenreiche manuelle Montageaufgaben

Bei einem Hersteller von Hydraulikventilen erhöht sich die Fehlerquote, je mehr unterschiedliche Varianten an einem Arbeitsplatz montiert werden. Um die Fehlerhäufigkeit zu reduzieren, entwickelte das Fraunhofer IFF flexible Technologien für die Montageassistenz und -prüfung. Das System unterstützt den Nutzer und trägt so zur langfristigen Erhaltung seiner Leistungsfähigkeit bei.

Matthias Hauptvogel, Ralf Warnemünde, Wolfgang Bausch und Dirk Berndt

Der demografische Wandel und eine schrumpfende Gesamtbevölkerung beeinflussen das Arbeitskräftepotential am Wirtschaftsstandort Deutschland. Gleichzeitig steht die industrielle Produktion vor wachsenden Herausforderungen durch eine zunehmende Indi-

vidualisierung und Vielfalt der herzustellenden Produkte.

Bei industriellen Montageprozessen ist das wachsende Maß an erforderlicher Flexibilität oft nur durch eine teilautomatisierte oder gar manuelle Montage wirtschaftlich umsetzbar. Die Komplexität und Varian-

tenvielfalt stellt bei der manuellen Montage jedoch sehr hohe Anforderungen an die kognitive Leistungsfähigkeit und Belastbarkeit der Mitarbeitenden.

Dieses hohe Maß an erforderlicher Konzentration und Verantwortung für ein fehlerfreies Montageergebnis führt zu hohen Arbeitsbelastungen. Dazu muss berücksichtigt werden, dass sich menschliche Faktoren wie Tagesform, Ablenkung oder Ermüdung negativ auf die Qualität des Arbeitsergebnisses auswirken können. Deshalb sollen die Mitarbeitenden bei ihren Tätigkeiten durch optische Assistenz- und Prüfsysteme am Arbeitsplatz bedarfsgerecht unterstützt und entlastet werden [1].

Mit Anzahl der Ventil-Varianten erhöhte sich die Fehlerquote

Die Firma Parker Hannifin montiert in einem manuellen Prozess an ihrem Standort in Oberndorf am Neckar Industrie-Hydraulikventile. Nach Abschluss der Montage werden die Ventile in einem Prüfstand einer Prüfung unterzogen, um mögliche Fehler aufzudecken und die Qualität der Produkte vor der Auslieferung sicherzustellen. Es wurde festgestellt, dass sich die Fehlerquote erhöht, je mehr unterschiedliche Va-



Bild 1. An einem Demonstrator-Arbeitsplatz zur Ventilmontage werden flexible Technologien für die Montageassistenz und -prüfung erprobt. © Fraunhofer IFF

rianten an einem Arbeitsplatz montiert werden. Typische Fehler sind vergessene, falsch positionierte und verwechselte Bauteile.

Um die Fehlerhäufigkeit zu reduzieren, wurden im Rahmen des BMBF-geförderten Forschungsprojekts 3D-Montageassistent (FKZ: 03ZZ0441C) durch das Fraunhofer IFF flexible Technologien für die Montageassistentenz und -prüfung entwickelt und beispielhaft für einen der Arbeitsplätze zur Ventilmontage realisiert und erprobt (Bild 1).

Es existieren acht Grundtypen des Hydraulik-Ventils, aus denen sich theoretisch 55 000 verschiedene Varianten mit unterschiedlichen Funktionen und Einsatzzwecken ableiten und montieren lassen. Die Varianten unterscheiden sich u.a. durch die Anzahl möglicher Positionen oder die Eingangsspannung, was beispielsweise durch die Verwendung unterschiedlicher Kolben oder Spulen erreicht wird.

Die Ventile erfüllen die spezifizierte Funktionalität nur dann korrekt, wenn auch wirklich alle Komponenten entsprechend der Vorgabe verbaut sind. Zur Identifizierung besonders kritischer Bauteile und Arbeitsschritte wurde eine Prozess-FMEA (Fehlermöglichkeits- und -einflussanalyse) durchgeführt. Aus dieser Analyse konnten Montageschritte bestimmt werden, die Potential aufweisen, um ihre Fehleranfälligkeit durch Assistenz- oder Prüffunktionalitäten gezielt zu reduzieren.

Digitaler Zwilling ermöglicht Assistenz für alle gültigen Varianten

Für die acht Ventil-Grundtypen lagen schon zu Projektbeginn CAD-Modell-Daten vor. Die zahlreichen Varianten ergeben sich durch Austausch bestimmter Komponenten. Die vollständigen Modell-Daten für all diese Varianten existierten jedoch nicht und mussten aus den Modellen der Grundtypen abgeleitet werden. Dafür wurde ein Varianten-Konfigurator entwickelt, der eine regelbasierte Erstellung der CAD-Modelle aller Varianten ausgehend von der Typenbezeichnung ermöglicht. Dadurch war es möglich, automatisiert und flexibel die exakten CAD-Modelle für alle gültigen Varianten der Hydraulikventile nach Bedarf zu erzeugen.

Auf Basis der CAD-Modelle der konkreten Varianten konnten die Montageabläufe und Arbeitsanweisungen, die bislang nur

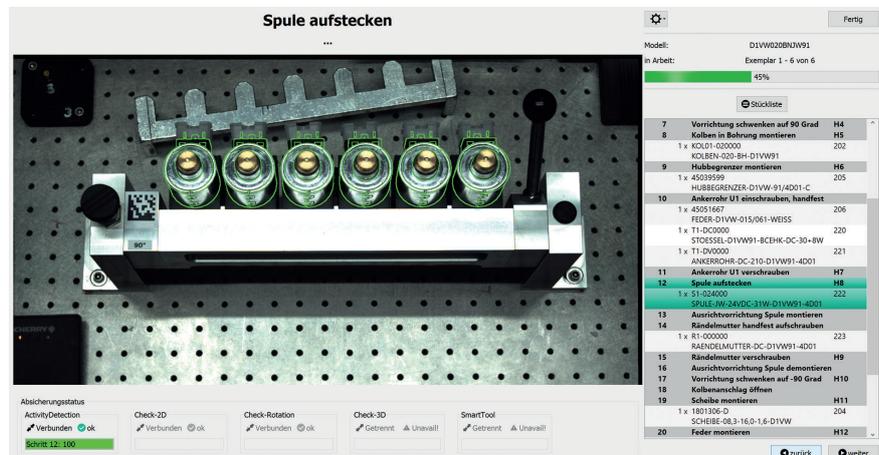


Bild 2. Mit einer Kamera werden Live-Bilder von den Ventilen auf der Montagevorrichtung aufgenommen und den Nutzern mit darin eingblendeten Augmented-Reality-Informationen angezeigt. © Fraunhofer IFF

für die Grundtypen existierten, automatisiert auf alle vorhandenen Varianten angepasst werden. Damit konnte eine wichtige Grundlage für flexible Assistenz- und Prüftechnologien geschaffen werden: ein digitaler Zwilling, der die Assistenz für alle gültigen Varianten ermöglicht.

Als zentrale Assistenztechnologien wurden Augmented-Reality-Visualisierungen (AR) und interaktive 3D-Modell-Darstellungen eingesetzt, die durch weitere Assistenz-Module ergänzt wurden und zusätzliche Informationen zum Montageprozess bereitstellen. Die Erzeugung der Assistenzinhalte erfolgt automatisch nach Einscannen des Bauauftrags-Codes mit einem Barcode-Scanner für die im Auftrag spezifizierte Ventil-Variante.

Für die AR-Ansicht wurde über dem Montagearbeitsplatz eine Übersichtskamera installiert, die auf die im Bau befindlichen Ventile auf der Montagevorrichtung gerichtet ist. Das aufgenommene Kamera-Livebild wird dem Mitarbeitenden am Bildschirm angezeigt. In das Kamerabild werden Zusatzinformationen in Form von Schablonen eingeblendet (Augmented Reality) (Bild 2). Dies können die Zielposition der Montagevorrichtung oder die Position hinzuzufügender Bauteile sein, die als Bauteilkonturen lagegerecht in das Kamerabild integriert werden [2]. Damit die AR-Informationen an der korrekten Position angezeigt werden, muss die Kamera vorab kalibriert werden. Die eingeblendeten Informationen werden für jeden Montageschritt aktualisiert, so dass sie dem Nutzer bedarfsgerecht Hilfestellung geben.

Die CAD-Ansicht bietet dem Nutzer die

Möglichkeit, den Montagevorgang virtuell zu durchlaufen, wobei schrittweise durch den Montagevorgang navigiert werden kann. Der jeweilige Bauzustand wird dabei in einer interaktiven virtuellen 3D-CAD-Ansicht dargestellt. Der Nutzer hat die Wahl, sich das Modell der fertigen Baugruppe, des aktuellen Baufortschritts oder der neu hinzuzufügenden Bauteile des aktuellen Schritts anzuzeigen. Wird die Anzeige des Baufortschritts ausgewählt, werden Bauteile, die im aktuellen Schritt montiert werden müssen, farblich hervorgehoben.

Zusätzlich stehen den Mitarbeitenden weitere Assistenzfunktionalitäten zur Verfügung. So können sie bei Bedarf auf die komplette Stückliste, eine Schritt-für-Schritt-Anleitung und eine grafische Darstellung der für den aktuellen Arbeitsschritt benötigten Bauteile zurückgreifen.

Optische Prüfung des aktuellen Montagezustands

Zur Prozessabsicherung kamen verschiedene Prüfmodalitäten zum Einsatz. Im Fokus standen dabei optische 2D-Prüfverfahren, die gezielt durch sensorische Erfassung von Werkzeugdaten und 3D-Messverfahren ergänzt wurden. Durch diese Kombination konnten alle im Rahmen der Prozess-FMEA identifizierten kritischen Schritte mit einem geeigneten Prüfverfahren abgesichert werden.

Für die optische 2D-Prüfung des aktuellen Montagezustands werden zwei Prüfkameras eingesetzt, die von oben die Ventil-Baugruppen beobachten und die besonders kritischen Arbeitsschritte der Montage der Hubbegrenzer, Scheiben und Fe-

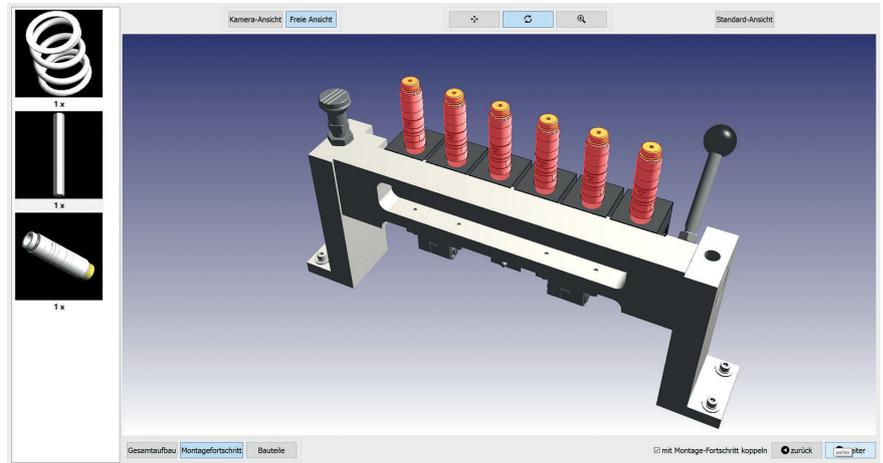


Bild 3. Interaktive CAD-Darstellung des Montagefortschritts © Fraunhofer IFF

INFORMATION & SERVICE

LITERATUR

- 1 Schenk, M.; Haase, T.; Berndt, D.; Fischer, E.: Adaptive Assistenzsysteme als Antwort auf komplexe Produktionsprozesse und heterogene Belegschaften(2019), S. 107–125. In: Dieter Spath und Birgit Spanner-Ulmer (Hg.): Agilität und Diversität: Der Schlüssel für Innovation und gute Arbeit. Weiterbildung und Lernen fördern. Berlin: Gito (Schriftenreihe der Wissenschaftlichen Gesellschaft für Arbeits- und Betriebsorganisation (WGAB) e.V.)
- 2 Berndt, D.; Sauer, S.; Dunker, T.: Übereinandergelegt. Digitale Modelle ermöglichen Montageassistenz und -prüfung bei kleinen Losgrößen und hoher Variantenvielfalt. In: Inspect 6/2019, S. 54–56, Wiley-VCH GmbH, Weinheim
- 3 Berndt, D.; Sauer, S.: Angepasste Assistenz. Unterstützung der Montage komplexer Baugruppen durch digitale Assistenz- und Prüfsysteme. In: Inspect 2/2018, S.56–58, Wiley-VCH GmbH, Weinheim

AUTOREN

M. Eng. Matthias Hauptvogel ist wissenschaftlicher Mitarbeiter in der Abteilung „Fertigungsmesstechnik und digitale Assistenzsysteme“ am Fraunhofer-Institut für Fabrikbetrieb und -automatisierung IFF in Magdeburg.

Dipl.-Ing. Ralf Warnemünde ist stellv. Abteilungsleiter „Fertigungsmesstechnik und digitale Assistenzsysteme“ ebendort.

Dr.-Ing. Dirk Berndt ist Abteilungsleiter „Fertigungsmesstechnik und digitale Assistenzsysteme“ und stellv. Institutsleiter ebendort.

Dipl.-Wirt.-Ing. (FH) Wolfgang Bausch ist Division EHS und Quality Manager der Parker Hannifin Industrial Systems Division Europe (ISDE) in Kaarst.

KONTAKT

Dr.-Ing. Dirk Berndt
dirk.berndt@iff.fraunhofer.de

dern absichern. Die optische Prüfung erfolgt unter Verwendung eines modellgestützten Ansatzes. Dabei wird der aktuelle Bauzustand am CAD-Modell nachgestellt und durch eine Messsimulation werden synthetische Kamerabilder als Soll-Vorlage für den Prüfvergleich erzeugt [3] (Bild 3).

Für eine perspektivisch identische Abbildung realer und simulierter Bilder müssen die Prüfkameras intrinsisch und extrinsisch kalibriert und identische Parameter für die Simulation verwendet werden. Die Messdatensimulation umfasst jeweils die Bauzustände des aktuellen und des vorangegangenen Bauschritts. In den Simulationen werden jeweils Kanten als Prüfmerkmale für die jeweilige Szene und die entsprechenden Bauteile erzeugt. Die eigentliche Prüfung erfolgt anhand eines Kantenvergleichs. Daraus wird auf Vorhandensein und Richtigkeit eines verbauten Teils geschlossen.

Zur Erweiterung der Prozessabsicherung wurde eine Kommunikationsschnittstelle entwickelt, über die zusätzliche Zustandsinformationen von externen Quellen abgefragt werden können. Damit konnten Daten der verwendeten Werkzeuge (Drehmoment des Schraubers) abgerufen werden, wodurch sichergestellt ist, dass Verschraubungen mit den korrekten Parametern erfolgen. Außerdem erfolgte über die Kommunikationsschnittstelle die Anbindung eines Handlungserkennungssystems, das vom Projektpartner ZBS Ilmenau entwickelt wurde und auf Basis eines Hand-Trackings zur Erfassung der Tätigkeiten auf dem Arbeitsplatz (z. B. Griff in die richtige Kiste) dient.

Assistenzsystem leitet Nutzer durch den Montageprozess

Das entwickelte Assistenz- und Prüfsystem leitet den Nutzer schrittweise durch den Montageprozess, erkennt Montagefehler, dokumentiert die Prüfergebnisse und erfasst den aktuellen Fortschritt über die Prozessabsicherungsmethoden. Dadurch kann die kognitive Belastung der Mitarbeitenden reduziert werden. Sie erhalten eine bedarfsgerechte Assistenz und werden in ihrer Tätigkeit unterstützt, was zur langfristigen Erhaltung ihrer Leistungsfähigkeit beiträgt.

Das Assistenzsystem ist so gestaltet, dass bei erfolgreicher Prüfung eines Arbeitsschritts automatisch zur nächsten Arbeitsanweisung weitergesprungen wird. Eine manuelle Weiterschaltung durch den Nutzer ist somit nicht notwendig, die Konzentration kann auf den eigentlichen Montageprozess gerichtet bleiben.

Ein weiterer Effekt ist, dass durch die optische Prüfung während der Montage das abschließende Prüfprogramm der Ventile im Prüfstand deutlich reduziert werden oder sogar vollständig entfallen kann. Das ermöglicht die Schonung personeller und zeitlicher Ressourcen und eine schnellere Bereitstellung der fertig montierten Baugruppen.

An das Thema anschließende Forschungsvorhaben des Fraunhofer IFF beschäftigen sich mit der lernförderlichen Gestaltung von Assistenzsystemen. Ziel ist, dass Assistenzsysteme fähigkeitsverstärkend und motivierend wirken und somit einen Beitrag zum Lernen während der Ausübung der Tätigkeit leisten. ■