

Sachbericht zum Verwendungsnachweis

Verbundprojekt

Generalisierung von menschenzentrierten KI-Applikationen für die
Produktionsoptimierung (GeMeKI)



in der Fördermaßnahme

Lernende Produktionstechnik – Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) in der Produktion
(ProLern)

Autor(en)

Karsten Esser

karsten.esser@miele.com

Miele & Cie. KG, Technology Center Drives,
Roitzheimer Str. 110, 53879 Euskirchen

Projektlaufzeit: 01.08.2021 – 31.12.2024

Erstellungsdatum: 10.06.2025

Projektpartner

aiXbrain GmbH (aiXbrain)
CHIRON Group SE (Chiron)
Franz Pauli GmbH & Co. KG (bis 31.05.2024) (Pauli)
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT (IPT)
meastream GmbH (meastream)
Miele & Cie. KG (Miele)
MT Analytics GmbH (MTA)
Siemens AG (Siemens)
Innomotics GmbH – Business Unit Spindle Technology (WEISS)
(Betriebsübergang WEISS Spindeltechnologie GmbH zum 05.04.2024)
Werkzeugmaschinenlabor WZL der RWTH Aachen University (WZL)
XENON Automatisierungstechnik GmbH (XENON)
YOUSE GmbH (YOUSE)

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (BMBF) im Programm „Zukunft der Wertschöpfung – Forschung zu Produktion, Dienstleistung und Arbeit“ (Förderkennzeichen 02P20A112) gefördert und vom Projektträger Karlsruhe (PTKA) betreut. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt bei den Autoren.

GEFÖRDERT VOM



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Inhaltsverzeichnis

I.	Teil I Kurzfassung	3
I.1	Aufgabenstellung	3
I.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens.....	3
I.3	Wesentliche Ergebnisse im Überblick.....	4
II.	Teil II Eingehende Darstellung	5
II.1	Motivation und Aufgabenstellung	5
II.2	Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens	6
II.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	8
II.4	Erzielte Ergebnisse	12
II.5	Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen	14
II.6	Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse.....	14
II.7	Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes....	15
II.8	Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc.	15
II.9	Literaturverzeichnis	15

I. Teil I Kurzfassung

I.1 Aufgabenstellung

Im Forschungsprojekt GeMeKI stellte Miele & Cie. KG (im Folgenden mit Miele bezeichnet) im Anwendungsfeld Fügen den Use Case einer teilautomatisierten Fertigung, bei der die Klebung eines Kugellagers in ein Kunststofflagerschild im Fokus des Montageprozesses steht.

Aktuelle Prüfverfahren zur Bewertung der Klebeverbindungen beruhen auf zerstörenden Prüfmethode, wodurch eine wirtschaftliche Überprüfung nur auf Stichprobenbasis ablaufen kann. Optische Untersuchungen der Klebstoffverbindungen, die mit Hilfe von Methoden des Maschinellen Lernens (ML) ausgewertet werden, weisen hohe Zuverlässigkeit bei der Fehlererkennung auf und ermöglichen dadurch eine stetige Überwachung des Klebprozesses. Hierdurch sollte auf die zerstörende Prüfung verzichtet werden. Dies führt direkt zu Senkung der Ausschusskosten und erhöht die Produktionsleistung, da die aufwändige Prüfung nicht mehr durchgeführt werden muss.

Ein wichtiger Punkt für Miele ist die menschenzentrierte Sicht im Forschungsprojekt. Neben den genannten technischen Aspekten führen die Mitarbeitenden den Prozess aus. Es werden qualitätsrelevante Entscheidungen im Serienbetrieb getroffen. Die Einführung eines KI-Systems stellt Miele vor die Herausforderung der Mitarbeiterakzeptanz. Ängste und Sorgen der Mitarbeitenden müssen systematisch analysiert und Lösungen entwickelt werden.

I.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Zu Beginn des Forschungsprojektes GeMeKI war eine halbautomatisierte Fertigungsanlage zur Produktion von Staubsaugergebläsen in Betrieb. Über ein Förderband werden Bauteile und Baugruppen auf Werkstückträgern zu unterschiedlichen Montageplätzen transportiert. Für das Themenfeld Fügen steht der Arbeitsplatz 2 „Kleben Kugellager in Lagerschild“ im Fokus.



An diesem Arbeitsplatz werden Rotoren mit aufgedrückten Kugellagern manuell in eine Klebestation eingelegt und Klebstoff wird appliziert. Anschließend wird die entstandene Kleberaube durch den Mitarbeitenden bewertet. Hierbei kommt es im Wesentlichen auf die Klebstoffmenge und die Verteilung auf dem Kugellageraußenring an.

Der Arbeitsplatz kann entsprechend der Anforderungen an die Qualitätsbewertung nur durch geschultes Personal erfolgen. Auch der Drei-Schicht-Betrieb, sowie eine hohe Ausbringungsmenge von bis zu 800 Gebläsen pro Schicht beeinflussen eine gleichbleibende Aufmerksamkeit des Mitarbeitenden. Durch den Einsatz eines KI-Systems sollen die Mitarbeitenden Unterstützung in ihrem Arbeitsumfeld erhalten.

Ein wichtiger Sachstand zu Beginn des Forschungsprojektes ist im Umgang mit KI-Systemen durch die Mitarbeitenden festzuhalten. Im Fertigungsumfeld werden bei Miele am Standort in Euskirchen keine KI-Systeme eingesetzt. Für die Mitarbeitenden ist GeMeKI der erste Berührungspunkt mit einem KI-System.

I.3 Wesentliche Ergebnisse im Überblick

Im Zuge des Forschungsprojektes wurde eine Zeilenbildkamera zur Aufnahme der Kleberaube installiert. Die entstandenen Fotos wurden durch die Mitarbeitenden bewertet und gelabelt. Dies stellt die Grundlage des KI-Systems dar.

Anhand der Kleberaube-Fotos und den entsprechenden Labels wurde die KI trainiert Fehler in der Geometrie der Kleberaube zu entdecken. Für sich allein gesehen, ist diese Funktion Stand der Technik bei marktüblichen industriellen Kamerasystemen. Das entwickelte KI-System geht in der Zielsetzung einen Schritt weiter. Neben Informationen zu einer fehlerhaften Kleberaube, wurde durch die Mitarbeitenden der Grund und die Abstellmaßnahme gelabelt. Mit diesen Informationen sollte die KI den Mitarbeitenden nicht nur anzeigen, dass die Klebstoffapplikation bei einem Teil unzureichend gut ist, sie sollte darüber hinaus Empfehlungen zur Maßnahmeneinleitung geben. Diese Funktionalität konnte, während der GeMeKI-Laufzeit nicht im Fertigungsumfeld erprobt werden.

In der menschenzentrierten Sicht des Projektes konnte festgestellt werden, dass die Kommunikation und die frühzeitige Einbeziehung der Mitarbeitenden einen starken Einfluss auf die Akzeptanz zur Einführung eines KI-Systems haben. Die anfängliche Skepsis und Angst um den Verlust von Arbeitsplätzen wichen einer Motivation und Offenheit für das Projekt. Durch die Workshops und Mitarbeiterinterviews wurde die Neugier der Mitarbeitenden geweckt. Ein Vorteil in der Vorgehensweise des Forschungsprojektes war die Einbindung eines unabhängigen Vermittlers, wie die Firma YOUSE.

II. Teil II Eingehende Darstellung

II.1 Motivation und Aufgabenstellung

Im Fertigungsprozess der Staubsaugergebläse ist ein zentraler Qualitätsaspekt die Klebung des Kugellagers in einem Kunststofflagerschild. Im Betrieb des Gebläses bei circa 40.000 Umdrehungen pro Minute führt eine schlechte Klebung zu Frühausfällen beim Endkunden oder zu Geräuschauffälligkeiten beim Staubsaugen.

Aus diesem Grund werden in der Serienfertigung diverse Kontrollen zur Absicherung der Produktqualität durchgeführt. Hierbei handelt es sich zum einen um eine Sichtkontrolle während der Montage, zum anderen werden regelmäßig Auspressversuche des Kugellagers durchgeführt. Diese Auspressversuche sind eine zerstörende Prüfung, bei der die Auspresskraft ermittelt wird. Nach dem Auspressen können die Bauteile nicht weiterverwendet werden, sie sind dann Ausschuss.

Darüber hinaus konnte Miele feststellen, dass der Arbeitsplatz zur Bewertung der Kleberaube in einem Dreischichtbetrieb bei einer Ausbringungsmenge von mehr als 800 Teilen pro Schicht, anstrengend für die Mitarbeitenden ist. Somit wurde das System der Jobrotation eingeführt, was wiederum dazu führt, dass viele Mitarbeitenden auf den Arbeitsplatz angelernt werden müssen. Der Anlernprozess ist komplex und zeitintensiv. Eine smarte Lösung war zu Beginn des Forschungsprojektes nicht ersichtlich.

Es ergeben sich somit vier primäre Problemlagen, die Miele dazu bewogen am GeMeKI-Projekt teilzunehmen:

- Absicherung der Produktqualität im Dreischichtbetrieb
- Reduzierung der Ausschusskosten durch die zerstörende Prüfung
- Steigerung der Produktivität durch Wegfall der zeitintensiven Prüfung
- Verkürzung des Anlernprozesses neuer Mitarbeitenden an diesem Arbeitsplatz

Mit dieser Motivation ergibt sich folgende Aufgabenstellung für Miele im GeMeKI Forschungsprojekt: Die Entwicklung eines KI gestützten Systems, welches den Mitarbeitenden am Arbeitsplatz „Klebstoff applizieren“ unterstützt, so dass eine gleichbleibende Produktqualität erzeugt wird, um auf die zerstörende Prüfung verzichten zu können. Durch Einsatz einer KI-Lösung soll vermieden werden, dass eine Prozessüberwachung im Detail auskonstruiert werden muss. Vielmehr soll die KI selbstständig aus den Erfahrungen der Mitarbeitenden lernen und diese anschließend in der Prozessüberwachung unterstützen. Anzulernende Mitarbeitende werden zukünftig durch das KI-System unterstützt und nicht dauerhaft durch einen Kollegen. Zuletzt ist für Miele wichtig, dass im GeMeKI-Projekt der Mitarbeitende im Zentrum der Betrachtung steht. Deshalb ist die frühzeitige und qualifizierte Einbindung der Mitarbeitenden wichtig. Das Thema Akzeptanz hat einen hohen Stellenwert, denn ohne die Akzeptanz der Menschen, die das KI-System anlernen, wird das Ergebnis nicht optimal werden.

Aus dieser Aufgabenstellung ergibt sich folgende Partnerstruktur für dieses Forschungsprojekt. Zur Integration von Sensoren und Kameras, sowie der Sammlung von Daten aber auch bei der Programmierung des User-Interfaces arbeitet Miele zusammen mit dem WZL der RWTH Aachen. Bereits zu Beginn des Forschungsprojektes bezüglich Mitarbeiterakzeptanz, aber vor allem ab dem Zeitpunkt der Implementierung des User Interfaces wird auf die Kompetenz der Firma YOUSE zurückgegriffen. Die Firma Aixbrain kümmert sich im Anschluss an die Erschließung aller notwendigen Daten um die Gestaltung der KI. Während der gesamten Projektlaufzeit wird der Bau eines Demonstrators, welcher den Miele Kernprozess darstellt durch die Firma Xenon durchgeführt.

II.2 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Die Bewertung einer Klebstoffraupe auf einem Kugellager ist nicht trivial, dennoch mit Hilfe von Kamera- oder Lasersystemen möglich. Die Herausforderung ist die Synchronisation eines Kamerasystems mit der Drehung des Kugellageraußenrings während oder nach der Klebstoffapplizierung. Der Außenring muss hierzu gedreht werden, damit eine 360 Grad Bewertung stattfinden kann. Anschließend findet auf dem Kamerasystem die Bewertung der Klebstoffraupe anhand der Ermittlung der Breite und Höhe statt. Es können auch Fehlstellen in der Kleberaupe erkannt werden.

Miele hat auf die Implementierung eines derartigen Kamera- oder Lasersystems verzichtet, da dies einhergeht mit einer hohen Investitionssumme. Darüber hinaus ist der Arbeitsplatz so gestaltet, dass trotz Kamerasystem ein Mitarbeitender die Bauteile zuführen muss. Eine Automatisierung der Fertigungsprozesse war nicht geplant. Somit hat der Mitarbeitende im Ablauf ausreichend Zeit, die Bewertung der Klebstoffraupe manuell durchzuführen.

Die Bewertung fand somit durch eine manuelle optische 100% Kontrolle statt. Hierzu wurden Mitarbeiter anhand von Fotos mit Gut- und Schlechteilen geschult und anschließend durch einen erfahrenen Kollegen mehrere Wochen an dem Arbeitsplatz begleitet. Herausfordernd für manuelle optische Kontrollen sind vor allem Nachtschichten, in denen die Konzentration temporär nachlassen kann. Aus diesem Grund wurde neben der optischen Prüfung eine Ausdrückkontrolle des Kugellagers implementiert, bei der die Auspresskraft ermittelt wird. Zur Durchführung der Prüfung musste der Mitarbeitende mithilfe einer Kraftmessdose an einer Handhebelpresse ein Kugellager aus einem Lagerschild ausdrücken. Während der Prüfung kam es zum Produktionsstillstand an der Anlage und die verwendeten Bauteile wurden anschließend verschrottet.

Bezogen auf das GeMeKI-Projekt gibt es weitere technische Voraussetzungen, die bei Miele zu Beginn der Projektlaufzeit gegeben waren.

Die Steuerung des Transferbandes, auf dem die Bauteile auf Werkstückträgern transportiert werden, war mit einer OPC-UA Schnittstelle angebunden. Somit konnte

der Gesamtprozess digital abgebildet werden. Zeitstempel von Stationen, in denen sich eine Baugruppe befand, wurden bereits abgespeichert. Eine Rückverfolgung war somit möglich.

Darüber hinaus waren in der Fertigungslinie zwei Produktionsanlagen vorhanden, die direkt und indirekt die Produktqualität prüfen. Zum einen ist dies eine Wuchtmaschine, in der die Unwucht der gefertigten Gebläse bewertet und korrigiert wird. Zum anderen ist eine Elektrisch-/Hydraulische- sowie eine Schwingungsprüfung implementiert worden. In beiden Anlagen hätten die Auswirkungen einer schlechten Klebung erkannt werden können. Bezüglich der Korrelation von Klebung zu den Ergebnissen aus den Prüfständen gab es bei Projektbeginn keine Untersuchungen durch Miele. Da die Prüfstandsdaten bereits in einer SQL-Datenbank zu der entsprechenden Seriennummer des Gebläses erfasst wurden, wäre eine Korrelationsanalyse in diesem Projekt sinnvoll und einfach zu realisieren gewesen. Dennoch kann man festhalten, dass der Kern des Projektes in der direkten Bewertung der Kleberaube zu sehen war.

Obwohl eine gute Rückverfolgbarkeit der Bauteile auf dem Transferband gegeben war, stellte das Materialhandling der Rotoren rund um die Klebestation die größte Hürde dar. In dem Prozess, wie er vor dem Projekt gestaltet war, konnte auf eine Rückverfolgbarkeit der Rotoren verzichtet werden. Es gab keine Prozess- oder Prüfdaten, die man einem Endprodukt hätte zuweisen wollen. Somit legte ein Mitarbeitende einen Rotor in die Klebestation ein, aktivierte den Prozess und entnahm anschließend das Teil. Daraufhin wurde der Rotor an das Transferband übergeben. Erst jetzt floss der Rotor in die gegebene Rückverfolgbarkeit von Bauteilen ein. Durch die Aufnahme der Kleberaube-Bilder, bevor der Rotor digital getrackt wurde, war eine Zuordnung der Bilddaten zu der Seriennummer der Gebläse nicht eindeutig möglich. Dies ist durch das manuelle Materialhandling der Mitarbeitenden begründet, welches in der Regel in derselben Reihenfolge stattfand, Rotoren aber auch vertauscht werden konnten.

Bezüglich der menschenzentrierten Sichtweise im GeMeKI-Projekt verfügen die Führungskräfte bei Miele über weitreichende Schulungen im Themenschwerpunkt Mitarbeiterführung. Auch das Führen in Veränderungsprozessen wird bei Miele-Führungskräften trainiert.

Bei der Einführung neuer Technologien zeigt ein Rückblick in die Vergangenheit, dass der Mensch im Implementierungsprozess unbewusst eine niedrigere Priorität erhält als die Technik. Auch wenn Meinungen der Mitarbeitenden abgefragt werden, so ist das dauerhafte Darlegen von Projektfortschritten und Einholen von Feedbacks kein Standard. Vor allem im Hinblick auf die Einführung eines KI-Systems, stellt dies ein Defizit dar, welchem wir durch Einbindung der Fa. YOUSE entgegenwirken wollen.

II.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Bezogen auf das Feld der Mitarbeiterakzeptanz wurden von Beginn an Workshops der Mitarbeitenden mit der Firma YOUSE durchgeführt. Diese fanden sowohl digital als auch in Präsenz im Miele Werk in Euskirchen statt. Die Workshops fanden mit Ausschluss von Führungskräften statt, was für eine offene Atmosphäre sorgte. Details zu den Ergebnissen der Akzeptanzstudie sind im Sachbericht der Fa. YOUSE.

Herausfordernd für ein Produktionsunternehmen mit verketteten Anlagen ist die Freistellung einzelner Mitarbeitenden für Interviews. Hierzu bedarf es einer guten Planung, so dass die Stückzahl als Output an Gebläsen trotzdem erreicht wird.

Das Feedback der Mitarbeitenden zum Vorgehen der Firma YOUSE kann als sehr positiv betrachtet werden. Hier kommt schnell der Wunsch auf, bei jedem Projekt ein solches Vorgehen zu wählen. Zusammenfassend kann man sagen, dass es erstrebenswert ist, Mitarbeitende am Shopfloor von Beginn an in neue Projekte einzubeziehen und regelmäßig den Sachstand zu kommunizieren und Ideen und Meinungen einzuholen. Im Rahmen eines Forschungsprojektes lässt sich dieses Vorgehen umsetzen und die notwendigen Personen können für Interviews von den wertschöpfenden Tätigkeiten freigestellt werden. In dem Rahmen ist es auch möglich Produktionsanlagen anzuhalten oder die Produktion zu verlangsamen, um Analysen durchzuführen. Inwieweit dieses Vorgehen außerhalb eines Forschungsprojektes künftig umzusetzen ist, bleibt offen.

Zur Einführung eines KI-Systems sind einige technische Voraussetzung zu erfüllen und in der Produktion zu implementieren. Damit diese Maßnahmen definiert, geplant und umgesetzt werden können, wurden alle oben genannten Konsortialpartner bei einem vor Ort Termin in Euskirchen, sowie über zahlreiche digitale Treffen über den Prozess und die Datenstrukturen aufgeschlaut. Abläufe wurden im Detail untersucht und Datenflüsse dargestellt. Reale Produktionsabläufe erwiesen sich an entscheidenden Stellen als different von der Theorie. So arbeiten Mitarbeiter unterschiedlich am gleichen Arbeitsplatz. Die Reihenfolge des Materialtransportes kann personenspezifisch abweichen, was in der Datenkonsistenz zu Problemen führen wird.

Das Ergebnis der ersten Phase im GeMeKI Projekt war die Konzentration des Teams auf die Applizierung der Klebstoffraupe. Hier ist der größte Hebel auf die Produktqualität zu finden. Geringe Klebstoffmengen führen direkt zu einer verringerten Klebekraft im Gebläse. Weitere Faktoren, wie die Menge des notwendigen Aktivators, die Aushärtezeit oder das Aktivieren des Klebstoffes über die Zuführung von Wärme sind nicht zu vernachlässigen, jedoch erst im weiteren Projektverlauf zu betrachten. Leider konnten diese Aspekte in der Projektlaufzeit nicht betrachtet werden, da die Betrachtung der reinen Klebstoffraupe ausreichende Herausforderungen mit sich brachte.

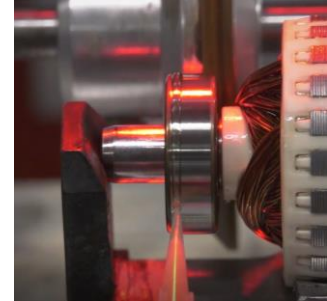
Zur optischen Darstellung der Klebstoffraupe kam eine Zeilenkamera zum Einsatz. Diese Kamera erzeugt in einstellbaren Frequenzen Bilder einer Zeile, die am Aufnahmeende zu einem zweidimensionalen Foto zusammengesetzt werden. Hierdurch kann die Klebstoffraupe beim Aufbringen auf den sich drehenden Außenring des Kugellagers in einem Foto dargestellt werden.



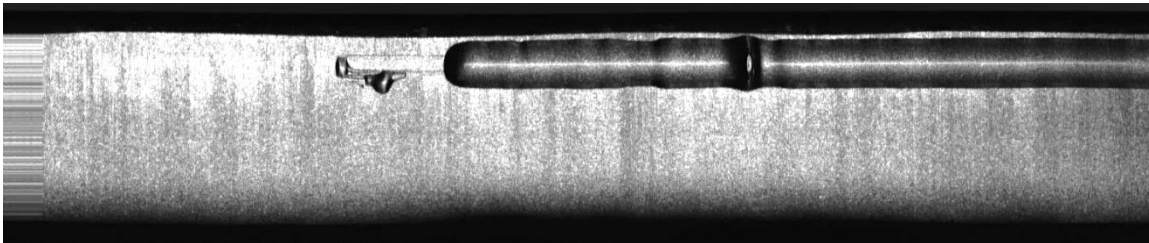
¹ Zeilenkamera



² Installation



³ Klebstoff aufbringen



⁴ Foto Klebstoffraupe

Die Einbindung dieser Kameratechnologie in die laufende Serienfertigung stellte die größte Herausforderung im GeMeKI Projekt bezogen auf den Use Case Fügen dar. Letztendlich resultiert hieraus ein so großer Zeitverzug, dass das KI-System zum Ende der Projektlaufzeit nicht mehr im Serienbetrieb getestet werden konnte.

Die Gründe für die Probleme sind vielfältig.

- Die Position der Kamera muss sehr exakt eingestellt werden. Erste Versuche mit einem angeschraubten Stativ erwiesen sich als instabil. Eine leichte Berührung durch den Mitarbeitenden sorgte für eine Verstellung des Kamerafokus.
- Die korrekte Position des Kamerafokus zu finden ist aufwändig und nahezu unmöglich für die Mitarbeitenden. Aus diesem Grund wurden zwei Maßnahmen umgesetzt
 - Konstruktion, Herstellung und Installation einer festen Halterung, auf der die Kamera festgeschraubt wurde. Hierdurch wird die dauerhafte Position der Kamera im Winkel und Abstand zum Kugellageraußenring sichergestellt

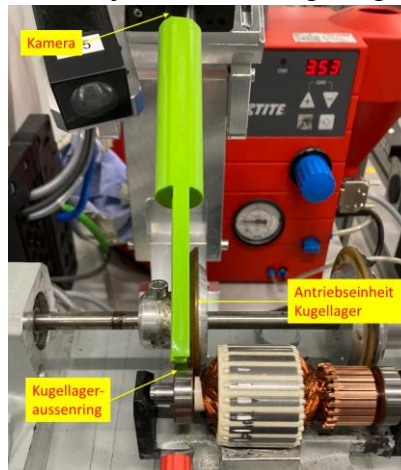
¹ Bild einer Zeilenkamera, wie sie im Projekt zum Einsatz kam

² Bild der Installation der Zeilenkamera in der Anlage

³ Bild der Applizierung einer Klebstoffraupe

⁴ Bild einer Klebstoffraupe nach dem Applizieren, resultierend aus der Zeilenkamera

- Konstruktion und Herstellung eines Hilfsmittels zur Einstellung der korrekten Entfernung von Objektiv zum Kugellageraußenring



⁵ Positionierung Kamera

- Da es sich um einen manuellen Be- und Entladeprozess handelt, mussten die Greifwege der Mitarbeitenden berücksichtigt werden. Hierdurch konnte nicht jede beliebige Position der Kamera verwendet werden.
- Für eine gleichbleibende Bildqualität ist eine gute Beleuchtung notwendig. Hier zeigt sich, dass eine starke Beleuchtung positiv für das Bildergebnis ist, jedoch zu starken Reflexionen führt und die Mitarbeitenden gestört werden.



⁶ Reflexionen einer intensiven Beleuchtung

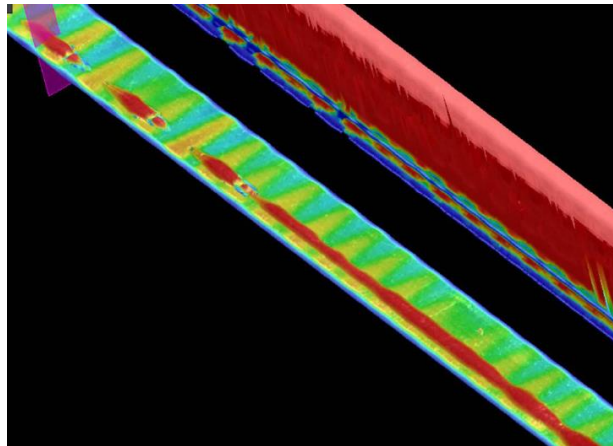
- Neben der Intensität der Beleuchtung stellt auch der Aufttrittswinkel des Lichtes eine wesentliche Rolle bezogen auf die Bildqualität

Trotz intensiver Arbeiten Maßnahmen zur Steigerung der Bildqualität, konnte bis zum Ende der Projektlaufzeit kein gleichbleibendes Ergebnis in der Bilderzeugung erzielt werden. Für die Verarbeitung der Bilder durch die KI war die Bildqualität schließlich ausreichend.

⁵ Positionierung Kamera und Anwendung Hilfsmittel (grünes 3D-Druckteil)

⁶ Störende Reflexionen aufgrund zu starker Beleuchtung

Rückblickend lässt sich festhalten, dass der Einsatz einer Zeilenkamera in einem automatisierten Produktionsumfeld möglich ist. Dies zeigen auch die Ergebnisse aus dem Demonstratorbau bei Firma Xenon. Bei manuellen Prozessen sollten andere Bilderzeugende Technologien zum Einsatz kommen. Folgende Aufnahme der Klebstoffraupe mit einem Lasersystem zeigt deutlich bessere Ergebnisse, die unabhängig von oben genannten Umgebungseinflüssen sind.



⁷ Aufnahme der Klebstoffraupe mit einem Lasersystem

Während der Projektlaufzeit hat dies das Team im Use Case Fügen bewusst gegen das Umschwenken auf eine laserbasierte Bilderzeugung entschieden. Begründet ist dies in den wesentlich höheren Anschaffungskosten, die mit dem Budgetrahmen nicht abbildbar waren. Darüber hinaus konnten im Demonstratorbau gute Ergebnisse mit der vorgestellten Zeilenkamera erzeugt werden. Da die Firma Xenon mit dem Aufbau des Demonstrators weit fortgeschritten war, wäre das Umschwenken auf ein Lasersystem in der geplanten Projektlaufzeit nicht mehr möglich gewesen.

Parallel zu der Implementierung und Optimierung des Kamerasystems arbeitete Miele an der Rückverfolgbarkeit von Bauteilen im Produktionsablauf. Begründet ist dies in der Tatsache, dass das Kleberaupenbilder nicht eindeutig einem Gebläse zugeordnet werden konnten. Durch das manuelle Handling der Rotoren von den Mitarbeitenden war nicht sichergestellt, welches Kleberaupenbild zu welchem Gebläse zugeordnet wurde. Erst ab dem Verbau des Rotors in dem Gebläse war ein durchgängiges Baugruppentracing sichergestellt.

Innerhalb der Projektlaufzeit sollte jeder Rotor mit einem Data-Matrix-Code (DMC) versehen werden. Über diesen DMC erhält jeder Rotor eine eindeutige Seriennummer, zu der die Kleberaupenbilder zugeordnet werden können. Nach dem Verbau des Rotors im Gebläse, wird der DMC gescannt und mit der eindeutigen Seriennummer des Gebläses verknüpft. Somit kann anhand des Gebläses das dazugehörige Bild und dessen Label ermittelt und ausgewertet werden.

⁷ Aufnahme der Klebstoffraupe mit einem Lasersystem



⁸ Bild des DMC auf der Stirnseite der Ankerwelle des Rotors

Ein wichtiges Arbeitspaket im Berichtszeitraum war der Aufbau des Datendemonstrators an der Fertigungslinie. Hierbei stand das Ziel im Fokus alle Datenquellen zu erschließen und die Datenhaltung so zu gestalten, dass diese einheitlich ist. Es wurde ein Konzept erarbeitet, wie und wo Prozessdaten abgespeichert werden.

Zusammengefasst kann man erklären, dass ein einheitliches Datenformat für diverse Prozessdaten gefunden wurde. Die Speicherung der Daten erfolgt zukünftig in der Azure Cloud.

Dieser Zielzustand wurde erst spät in der Projektlaufzeit erreicht. Zwischenzeitlich wurden für den weiteren Ablauf im Projekt Daten auf einer OPC UA Schnittstelle bereitgestellt und durch das WZL über eine VPN-Verbindung abgegriffen. Diese temporäre Lösung wurde notwendig, damit die noch nicht vorhandene Datenerfassung über Cloud nicht zum Job Stopper im Forschungsprojekt wird. Bis zum Ende der Projektlaufzeit konnten Daten über diesen Weg bereitgestellt werden.

Die Erwartung über den Datendemonstrator linienspezifische Merkmale, wie beispielsweise die Aushärtezeit, in die Betrachtung einzubeziehen oder Prüfstandsdaten mit den Informationen aus dem Klebprozess (Bilddaten) zu verknüpfen, konnte in GeMeKI nicht realisiert werden. Trotz der Bereitstellung der Daten in der Cloud fehlte zum einen die Rückverfolgbarkeit der Bilddaten zum Endprodukt, aber auch die notwendige Projektlaufzeit. Zum Ende des Projektes konnte lediglich die Aufnahme der Klebstoffraupe und dessen Labeling durch den Mitarbeitenden umgesetzt werden.

II.4 Erzielte Ergebnisse

Entsprechend der Vorhabenbeschreibung von GeMeKI hat Miele folgende Ziele für sich definiert. Anhand dieser wird im Folgenden ein Abgleich mit dem Resultat aus dem GeMeKI Projekt gezogen.

Ziele für Miele laut Vorhabenbeschreibung:

⁸ Bild des DMC auf der Stirnseite der Ankerwelle des Rotors

Firma / Institut	Miele	Zeithorizont nach GeMeKI
Marktpositionierung	Erhalt der Differenzierung von Miele Geräten im Wettbewerb durch Aufrechterhaltung der Qualitätsführerschaft bei elektrischen Antrieben	langfristig
Wirtschaftliche Weiterentwicklung	Übertragung der Ergebnisse aus dem Demonstrator inklusive der Mensch-KI-Schnittstellen und der KI-Applikation auf eine Produktionslinie. Dies resultiert in einem robusteren Prozess. Übertragung der Ergebnisse auf weitere Klebelinien und somit eine vergleichbare Reduktion der Produktionskosten.	2 Jahre innerhalb von 4 Jahren
Umsatzsteigerung	Da das Werk in Euskirchen Teil der internen Wertschöpfungskette der Miele KG ist, ist ein Einfluss des Projektes auf den Umsatz der Miele KG nicht seriös abbildbar. Entsprechend werden hier direkt OEE-Parameter zur Einschätzung der wirtschaftlichen Auswirkung angegeben. Diese sind: 10 % weniger Ausschuss innerhalb eines Klebprozesses eines Beispielproduktes 0,1 % Produktionssteigerung durch Reduktion der zerstörenden Stichprobenprüfungen für den Klebprozess von 1/500 auf 1/1000 Teilen.	2 Jahre
Stellenaufbau	Sicherung des Miele Technologiecenters in Euskirchen mit 500 Mitarbeiter:innen sowie der belieferten 6 Werke.	langfristig

Die beiden messbaren Ziele sind zum einen eine Reduktion des Ausschusses innerhalb des Klebprozesses um 10%, sowie die Produktionssteigerung von 0,1% durch die Reduzierung der Prüffrequenz in der zerstörenden Prüfung.

Beide Ziele konnten während der Laufzeit des GeMeKI-Projektes nicht verifiziert werden. Als Begründung ist anzuführen, dass das fertige KI-System nicht im Serienprozess getestet werden konnte. Während des Projektes konnte ein User-Interface erstellt werden, welches im Serienprozess zum Labeln von Klebprozessen eingesetzt wurde. Auf diesen Labels und den aufgenommenen Kleberaupenbildern konnte das Anlernen der KI stattfinden. Die Implementierung der KI-Daten in das User Interface fand jedoch so spät im Projektzeitraum statt, dass eine Anwendung durch die Mitarbeitenden im Serienprozess nicht mehr möglich war.

Ein Vergleich der Ausschuss- und Leistungsdaten der Produktionsanlage vor und nach Einführung des KI-Systems ist deshalb nicht möglich. Es liegen keine Kennzahlen nach der Implementierung vor.

Unabhängig davon, dass keine mengenmäßige Verifizierung der Kennzahlen möglich war, ist Miele vom Nutzen der Anwendung überzeugt. Die Realisierung der Einsparung ist nach subjektiver Einschätzung weiterhin gegeben.

Der Aufbau des KI-Systems mit dem entwickelten User Interface zählt auf das Ziel der wirtschaftlichen Weiterentwicklung ein. Die Übertragung des Systems auf andere Fertigungslinien, an denen ein Klebprozess stattfindet, ist gegeben. Auch wenn die Bilderstellung bei jedem Anwendungsfall neu betrachtet werden muss, so ist der Ablauf zum Labeln gut durchdacht und ohne Einschränkungen übertragbar. Die Anpassungsmöglichkeit des KI-Modells kann durch Miele nicht bewertet werden, die vorangestellte Aussage betrifft die Anwendbarkeit zum Labeln durch die Mitarbeitenden.

Neben den Zielen in der Vorhabenbeschreibung wurde während des GeMeKI-Projektes klar, welche Möglichkeiten ein KI-System noch bieten kann. Die Prozessdaten im Klebprozess inklusive der vorhandenen Bilddateien, sowie die Labeldaten der Mitarbeitenden können KI-basiert mit den bereits vorliegend Prüfstandsdaten verknüpft werden. Weitere Parameter, wie die Aushärtezeit oder die Heizzeit nach dem Fügen, können analysiert werden.

Mithilfe eines KI-Systems können die Daten in Zusammenhang gesetzt und Korrelationen erkannt werden. Aus den Ergebnissen können Prozessexperten Maßnahmen entwickeln, um die Taktzeit zu optimieren oder die Produktqualität zu erhöhen. Bislang bedarf eine Optimierung aufwändigen Versuchen und Analysen. Dies kann durch den Einsatz einer KI verbessert werden. Auch dieser Anwendungsfall ist stark menschenzentriert, unterstützt den Prozessoptimierer und passt zur GeMeKI Sichtweise.

II.5 Darstellung des während des Vorhabens bekannt gewordenen Fortschritts auf diesem Gebiet bei anderen Stellen

Der bekannt gewordene Fortschritt auf diesem Gebiet wurde durch Miele nicht bei anderen Stellen dargestellt.

II.6 Voraussichtlicher Nutzen, insbesondere die Verwertbarkeit der Ergebnisse

Ein entscheidender Nutzen für Miele ist in der menschenzentrierten Betrachtung während des Projektes zu sehen. Die Zusammenarbeit mit der Firma YOUSE zeigt, wie wichtig die frühzeitige Einbindung der Mitarbeitenden im Veränderungsprozess ist. Vor allem mit Blick auf KI-Systeme wurden die Mitarbeitenden und die Führungskräfte abgeholt und von Beginn an beteiligt.

Die Akzeptanzstudie macht deutlich, was den Mitarbeitenden wichtig ist und wo ihre Ängste bezüglich eines KI-Systems liegen. In folgenden Projekten werden die Ergebnisse aus GeMeKI, welche durch die Firma YOUSE erarbeitet und zusammengefasst wurden, Berücksichtigung finden.

Auch auf der technischen Seite sind einige Ergebnisse von großem Nutzen. So ist der Aufbau des User Interfaces zum Labeln von Eingaben gut für zukünftige Projekte zu verwenden. Der benutzerfreundliche Aufbau der Software, sowie der abgefragte Informationsgehalt der Label sind eine sehr gute Vorlage.

Bezüglich Kamerasystemen zur Analyse einer Klebstoffraupe lässt sich aus dem GeMeKI-Projekt ableiten, dass man zukünftig bei einem ähnlichen Aufbau der Produktionsanlage auf ein Lasermesssystem anstatt auf optische Technologien vertrauen sollte. Diese sind unabhängiger von Umgebungseinflüssen und liefern somit vergleichbare Ergebnisse.

II.7 Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes

Durch Miele fand keine Zusammenarbeit mit anderen Stellen außerhalb des Verbundprojektes statt.

II.8 Veröffentlichungen, Vorträge Referate, etc.

Miele hat keine Veröffentlichungen, Vorträge, Referate, etc. durchgeführt.

II.9 Literaturverzeichnis