
Sachbericht AgiloDrive2 – Teil I: Kurzbericht

Zuwendungsempfänger:

Carl Zeiss Industrielle Messtechnik GmbH

Förderkennzeichen:

13IK003C

Förderrahmen:

„Zukunftsinvestitionen Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie“ in der Förderrichtlinie „Digitalisierung der Fahrzeughersteller und Zulieferindustrie“ des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz

Titel des Vorhabens:

Verbundprojekt: Agile Produktionssysteme und modulare Produktbaukästen für elektrische Traktionsmotoren (AgiloDrive2)
Teilvorhaben: Geometrische Messlösungen für die agile Produktion elektrischer Traktionsmotoren

Projektleiter:

Dr.-Ing. Henning Mansel

Tel.: +49 7364 20 3347

E-Mail: henning.mansel@zeiss.com

Laufzeit des Vorhabens von: 01.11.2021

bis: 30.04.2025

In den kommenden Jahren ist von einem steigenden Absatz elektrifizierter Mobilitätslösungen auszugehen, woraus eine tiefgreifende Transformation der automobilen Wertschöpfungsketten resultiert. Der elektrische Traktionsmotor nimmt dabei eine leistungs- und effizienzbestimmende Rolle im Antriebsstrang ein und muss bei geringen Kosten in höchster Qualität und Leistungsdichte produziert werden. Volatile Märkte sowie wirtschaftliche und rechtliche Rahmenbedingungen führen jedoch zu einer hohen Unsicherheit hinsichtlich der zu erwartenden Stückzahlen und eingesetzten Technologien, weshalb das Investitionsrisiko in hochproduktive aber starre Produktionssysteme als hoch einzustufen ist. Im Verbundprojekt AgiloDrive2 wurde daher die Entwicklung und Implementierung eines agilen Produkt- und Produktionsbaukastens für elektrische Traktionsmotoren fokussiert, der die gesamte Prozesskette von der Auslegung über die Produktion bis hin zur End-of-Line-Prüfung abdeckt. Im Folgenden wird zu dem von ZEISS bearbeiteten Arbeitspaket 2.15 berichtet.

1. Aufgabenstellung

Ziel des AP 2.15 war die Entwicklung und Implementierung modularer At- bzw. In-line-Messmodule für die Erfassung geometrischer Qualitätsmerkmale entlang der Prozessketten des agilen Produktionssystems. Hierbei sollten drei Technologie-Demonstratoren aufgebaut werden, welche es ermöglichen sollten, Merkmale einer speziellen Komponente an einem festgelegten Punkt innerhalb der Prozesskette zu prüfen und darüber hinaus auch die Merkmalsprüfung montierter Baugruppen in unterschiedlichen Fertigungszuständen im Sinne einer Mehrfachnutzung flexibel messtechnisch zu bewerten.

2. Ablauf des Vorhabens

Im Rahmen des Arbeitspaketes wurden drei verschiedene Messmodule untersucht. Diese Messmodule adressieren prototypisch jeweils eine oder mehrere zentrale Herausforderungen der geometrischen Messtechnik innerhalb des AgiloDrive2-Produktbaukastens anhand spezifischer Bauteilfamilien und Fertigungszustände. Die Module innerhalb des AP 2.15 waren:

- Modul 1 zur geometrischen Prüfung der Stator- und Rotorbaugruppen
- Modul 2 zur geometrischen 2D/3D Prüfung der Konturen von Hairpin-Steckspulen
- Modul 3 zur At-line Computer-Tomographie-Prüfung geschweißter Kontaktierstellen

Die Messmodule wurden je nach Stand der Technik mit unterschiedlichem Fokus auf die Teilaspekte Hardware, Software und Anwendungstechnik beleuchtet.

In Modul 1 wurden gemeinsam erarbeitete Best-Practices für die agile und skalierbare Prüfung der Stator- und Rotorbaugruppen praxisgerecht umgesetzt. Die Arbeiten umfassten die korrekte Auswahl der Sensorik und die effiziente Programmierung der Messaufgaben aus dem AgiloDrive2-Produktbaukasten. Die anwendungstechnische Entwicklung des Modul 1 wurde in Oberkochen bei ZEISS begonnen und im Februar 2024 zu SCHAEFFLER nach Bühl transferiert. Hier wurde die Erprobung und Evaluierung der erarbeiteten Ergebnisse an Vorserienbauteilen des AgiloDirve2-Produktbaukastens durchgeführt.

Sachbericht AgiloDrive2 – Teil I: Kurzbericht

Das Streifenlicht-Projektionsverfahren wurde als technologische Basis für das Modul 2 zur geometrischen 2D/3D Prüfung der Konturen von Hairpin-Steckspulen festgelegt. Das Modul 2 wurde in 2024 bei ZEISS in Braunschweig fertig gestellt und im Sommer 2024 bei SCHAEFFLER in Bühl installiert und in Betrieb genommen.

Das Modul 3 wurde in 2023 bei ZEISS in Oberkochen fertig gestellt und verblieb für die Validierungsuntersuchungen in der verbleibenden Projektlaufzeit bei ZEISS.

3. Wesentliche Ergebnisse

Das Messmodul 3 wird hardwareseitig von einem industriellen Computertomographen dargestellt. Durch die Nutzung eines neuartigen Detektors konnten im Rahmen des Projekts AgiloDrive2 die Messzeiten des Moduls bei gleichbleibender Scanqualität gegenüber dem Stand der Technik bei Projektbeginn deutlich gesenkt werden bzw. die Voxel-Auflösung bei gleichbleibender Scanzeit deutlich gesteigert werden.

Die Softwarekomponente des Messmoduls zur At-line Computer-Tomographie-Prüfung geschweißter Kontaktierstellen wurde während der Projektlaufzeit deutlich weiterentwickelt. Das Messmodul zur At-line Computer-Tomographie-Prüfung geschweißter Kontaktierstellen wurde für die Porendetektion in den geschweißten Kontaktierstellen der Hairpin Statoren entwickelt. Die Softwarekomponente konnte während der Projektlaufzeit durch die Nutzung von Algorithmen des maschinellen Lernens weiterentwickelt werden.

Gemeinsam mit dem KIT wurde im AgiloDrive2 Projekt die zerstörungsfreie Messung der Isolationsschichtdicke der Hairpin-Steckspulen untersucht. Da der Kupferdraht, aus dem die Hairpins bestehen, bereits als Endlos-/Rollenware beim Drahthersteller mit Isolationslack beschichtet wird, ist dieser Isolationslack auch den Einflüssen des Biegeprozesses bei der Formgebung der Hairpins ausgesetzt. Eine ganzflächig sicher gestellte minimale Schichtstärke des Isolationslacks ist im Elektromotor sicherheits- und funktionskritisch. Eine Unterschreitung der vorgegebenen Isolationslackdicke könnte zu Kurzschlüssen im Stator und dadurch zu einem Defekt des Motors führen.

Die Isolationsschichtdicke von Hairpin-Steckspulen wird nach dem Stand der Technik durch die mikroskopische Untersuchung metallurgischer Schliffbilder quantifiziert. Diese Methode ist sehr zeit- und kostenintensiv und birgt den Nachteil, dass die Lage der Schnittebene im Material prozessbedingt nicht exakt positioniert werden kann. Hierdurch ist die Vergleichbarkeit von Schliffbildern verschiedener Individuen desselben Hairpin-Modells ggfs. nicht gegeben.

Oberkochen, den 31.07.2025

Ort und Datum

Stempel, rechtsverbindliche Unterschrift