Der ZfP-Copilot – Ein Multi-Agenten-System zur Unterstützung und Automatisierung von Prozessen in der zerstörungsfreien Prüfung

Hannes BEHNEN [1], Jonas WERHEID[1], Pia Carina PICKMANN[1], Sylwia OLBRYCH[1], Jan-Henrik WOLTERSMANN[1], Lucky-Aubrey ADAM[1], Amon GÖPPERT[1], Anas ABDELRAZEQ[1], Robert H. SCHMITT[1,2]

[1] Lehrstuhl für Informations-, Qualitäts- und Sensorsysteme in der Produktion (IQS), WZL | RWTH Aachen University, Aachen, Deutschland, hannes.behnen@wzl-iqs.rwth-aachen.de, jonas.werheid@wzl-iqs.rwth-aachen.de

[2] Fraunhofer-Institut für Produktionstechnologie IPT, Aachen, Deutschland, robert.schmitt@ipt.fraunhofer.de

Kurzfassung

Die Zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) steht vor Herausforderungen: die Planung, Durchführung, Auswertung und Dokumentation von Prüfprozessen sind primär manuelle Vorgänge, die von Experten durchgeführt werden. Diese Fachkräfte verfügen über ein breites Domänenwissen, etwa im Hinblick auf Normen und Standards oder der Auswertung von Prüfdaten, z. B. aus der Röntgen-Computertomographie (CT). Vor dem Hintergrund des sich anbahnenden Fachkräftemangels und eines stetig wachsenden Kostendrucks bei gleichbleibenden oder verschärften Anforderungen besteht ein Bedarf nach Lösungen zur Effizienzsteigerung und Vereinfachung des Zugangs zu Domänenwissen. Das vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) öffentlich geförderte Verbundprojekt GenAI4ZfP untersucht das Potenzial neuer KI-Technologien, insbesondere von generativer KI und KI-Agenten-Systemen, um diese Herausforderungen zu adressieren. Im Rahmen des Projekts wird ein Multi-Agenten-System, der ZfP-Copilot, entwickelt, der als Chatbot-Oberfläche zur Verfügung gestellt wird. Der ZfP-Copilot ist in der Lage, Anwender bei der Prüfplanung durch Informationsabfrage aus Normen und Standards des Konsortialpartners Deutsches Institut für Normung (DIN e. V.) zu unterstützen. Im Hinblick auf die Prüfauswertung verfügt der Copilot über Zugang zu generischen, trainingsfreien Foundation-Modell-basierten Bildverarbeitungspipelines, die in 2D-Kamerabildern und 3D-CT-Messungen Defekte detektieren können. Darüber hinaus können automatisiert Prüfreports durch agentische Interaktion mit Prüfberichtsvorlagen generiert werden. Die Sprachmodelle, die die Anwender-Anfragen bearbeiten, sind dabei über eine standardisierte Schnittstelle, dem Model-Context-

© 2026 The Authors. License CC BY 4.0

Media and Publishing Partner

Protocol (MCP), mit spezialisierten Werkzeugen, etwa zur Bildanalyse verbunden. Dadurch kann eine einfache Integrierbarkeit sowie eine hohe Modularität sichergestellt werden. Initiale industrielle Testversuche konnten das Potenzial des Copiloten nachweisen und Weiterentwicklungsimpulse für die spezialisierten Werkzeuge aufzeigen.

Keywords: Multi-Agenten-System, Retrieval-Augmented Generation, Vision Foundation Models, Multimodale KI

Der ZfP-Copilot – Ein Multi-Agenten-System zur Unterstützung und Automatisierung von Prozessen in der zerstörungsfreien Prüfung

Hannes Behnen, Jonas Werheid, Pia Carina Pickmann, Sylwia Olbrych, Jan-Henrik Woltersmann, Lucky-Aubrey Adam, Amon Göppert, Anas Abdelrazeq, Robert H. Schmitt
E-Mail: hannes.behnen@wzl-iqs.rwth-aachen.de, jonas.werheid@wzl-iqs.rwth-aachen.de

Einführung

Die zerstörungsfreie Prüfung (ZfP) ist geprägt von der engen Arbeit mit Normen und Standards, einem hohen Bedarf an Fachwissen sowie großen Dokumentationsaufwänden in den Phasen der Planung, Durchführung und Analyse sowie Dokumentation von ZfP-Versuchen (s. Abbildung 1).

Vor dem Hintergrund von Herausforderungen wie dem Fachkräftemangel und einem stetig höherem Kostendruck bei gleichbleibender oder erhöhter Komplexität besteht ein Bedarf nach intelligenten digitalen Werkzeugen, die ZfP-Personal bei der Durchführung ihrer Aufgaben unterstützen. **Generative KI** und **Agenten-Systeme** bieten neue Möglichkeiten, Arbeitsabläufe zu vereinfachen, Wissen anwendergerecht bereitzustellen und Datenanalyseaufgaben generalistisch umzusetzen.

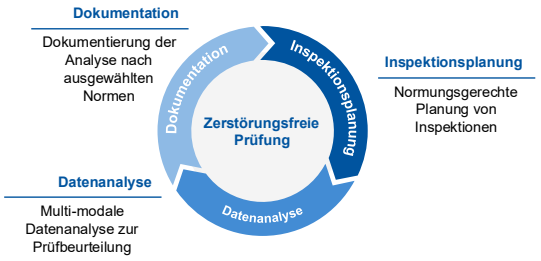

Abbildung 1: Allgemeiner Ablauf der zerstörungsfreien Prüfung

Der ZfP-Copilot

Der ZfP-Copilot ist ein Multi-Agenten-System mit spezialisierten KI-Agenten, die über Zugriff zu Werkzeugen verfügen und autonom mit ihnen interagieren können (s. Abbildung 2). Das System wird Anwendern über eine grafische Benutzeroberfläche und einen Chatbot verfügbar gemacht. Die Designspezifikationen wurden im Rahmen strukturierter Unternehmensbefragungen erfasst. Wissen aus Normen und Standards des Deutschen Instituts für Normung (DIN e.V.) werden im **Planung-Agent** über semantische Informationsabfragen extrahiert und mit Referenzen für kontextverankerte Entscheidungen ausgegeben (RAG). Der **Analyse-Agent** ist in der Lage, für einen gegebenen Anwendungsfall auf Basis weniger defektfreier Beispieldaten Defekte in ungesehenen Bilddaten durch Foundation-Model-Pipelines zu detektieren. Ergebnisse einer Prüfung werden über den **Dokumentation-Agent** automatisiert in Prüfberichtsvorlagen überführt. Darüber hinaus ist der ZfP-Copilot in der Lage, allgemeine ZfP-Wissensfragen über den **ZfP-Wissen-Agent** mithilfe von RAG zu beantworten. Die spezialisierten Agents werden über einen **Orchestrator** koordiniert, der Nutzeranfragen gemäß ihrer Intention klassifiziert und weiterleitet.

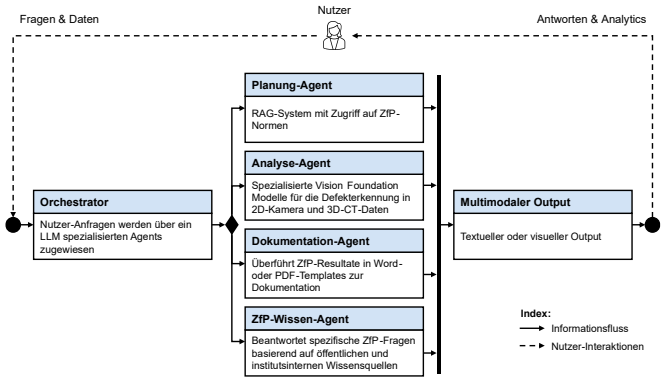

Abbildung 2: Schematische Darstellung der Multi-Agenten-Architektur des ZfP-Copiloten basierend auf einem UML-2-Aktivitätendiagramm

Um eine möglichst hohe Modularität zu gewährleisten, kommuniziert der Copilot über eine standardisierte Schnittstelle, dem **Model-Context-Protocol (MCP),** mit Werkzeugen wie den Normen-Datenbanken oder den Prüfberichtsvorlagen. Dadurch ist der Copilot beliebig um individuelle MCP-Server erweiterbar. Technisch ist der Copilot primär mithilfe der Langchain-Bibliothek in Python umgesetzt und nutzt mittelgroße, europäische, Open-Weight-Sprachmodelle. Der Copilot wird mittelfristig als containerisierte Lösung veröffentlicht, die so mit geringen GPU-Ressourcen selbst betrieben werden kann.

Validierung

Im Rahmen zweier Anwenderbefragungen wurde ein erster Prototyp des Copiloten durch zehn Fragen mit einer fünfstufigen Likert-Skala sowie einer offenen Frage zu allgemeinem Feedback bewertet (s. Abbildung 3). In Summe wurden neun Anwender befragt, die vornehmlich aus der Domäne der 3D-Koordinatenmesstechnik stammen. Insgesamt wurde der Copilot als positiv wahrgenommen und hat die Erwartungen der Anwender grundsätzlich erfüllt. Insbesondere die Glaubwürdigkeit und Nachvollziehbarkeit der Antworten sowie die Interaktion in natürlicher Sprache mit multi-modalen Daten wurden als positiv wahrgenommen. Die Nutzerbefragungen zeigen jedoch, dass die Funktionalität für eine Effizienzsteigerung noch nicht ausreichend ist. Verbesserungspotenziale wurden dahingehend ausgemacht, dass sich das System an externe Inspektions- und Analyse-Software anbinden lassen muss, die Wissensbasis erweitert werden muss, um die breiten Anfragen aus der ZfP beantworten zu können sowie die Bildverarbeitungsmodelle in ihrer Robustheit verbessert werden müssen. Dieses Anwenderfeedback fließt in die nächsten Entwicklungsstufen des ZfP-Copiloten ein.

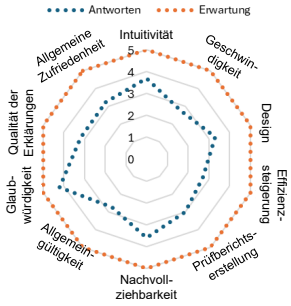

Abbildung 3: Ergebnisse der ersten Anwenderbefragungen für n=9 auf einer Skala von 1 (stimme überhaupt nicht zu) bis 5 (stimme vollumfänglich zu)

Ausblick

Ergänzend zu den bisherigen Entwicklungen soll die Leistungsfähigkeit des ZfP-Copiloten in diversen Aspekten verbessert werden:

- **Reduktion der Datenanforderungen**: Durch die Nutzung synthetischer Daten sollen die Ansätze zur Defektdetektion bereits bei kleineren Datenmengen genutzt werden können und so die Einstiegshürden weiter reduziert werden.
- **Ausweitung auf Röntgen-Computertomografie-(CT-)Daten**: Neben zweidimensionalen Bildern sollen Ansätze entworfen werden, die Porositäten in 3D-CT-Daten erkennen und lokalisieren können.
- **Optimierung der Informationsabfragen**: Um möglichst optimalen Kontext für die Sprachmodelle bereitzustellen, soll die Datengrundlage erweitert und in Form von Wissensgraphen bereitgestellt werden, sodass auch komplexere Anfragen über Multi-Hop-Reasoning beantwortet werden können.
- **Ausgeweitete Nutzerstudien:** Für eine zielgerichtete Weiterentwicklung sollen zusätzliche Nutzerstudien durchgeführt werden.

Diese Arbeit wird vom Bundesministerium für Forschung, Technologie und Raumfahrt (BMFTR) im Rahmen des Projekts GenAI4ZfP (FKZ 01MK25005E) gefördert.