

SCHLUSSBERICHT

SaMoA

| | |
|-------------------------|---|
| Datum | 21.05.2025 |
| Zuwendungsempfänger: | Fraunhofer-Institut für Gießerei-, Composite- und Verarbeitungstechnik IGCV |
| Förderkennzeichen: | 03VP09291 |
| Vorhabensbezeichnung: | Selbst-adaptive M onitoring- A nwendungen |
| Laufzeit des Vorhabens: | 01.09.2021 – 31.12.2024 |
| Projektpartner: | Universität Augsburg, Universität Stuttgart |

Verfasser: Andreas Margraf, Christian Linder

Inhalt

| | |
|---|----|
| I. Teil - Kurzdarstellung..... | 3 |
| A. Aufgabenstellung..... | 3 |
| B. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde..... | 3 |
| C. Ablauf des Vorhabens | 3 |
| D. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen..... | 4 |
| II. Teil - Eingehende Darstellung | 5 |
| A. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse..... | 5 |
| 1. AP 0: Steuerung und Überwachung | 5 |
| 2. AP 1: Spezifikation..... | 5 |
| 3. AP 2: Implementierung des Algorithmus und Softwareentwicklung..... | 6 |
| 4. AP 3: Technologiedemonstration | 11 |
| 5. AP 4: Validierung des Systems / Lessons learnt..... | 12 |
| 6. AP 5: Öffentlichkeitsarbeit | 16 |
| B. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises..... | 19 |
| C. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit | 19 |
| D. Verwertbarkeit der Ergebnisse | 19 |
| E. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen | 20 |
| F. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse | 20 |

I. Teil - Kurzdarstellung

A. Aufgabenstellung

Im Validierungsvorhaben "Selbst-adaptives Monitoring-System für industrielle Anwendungen" (SaMoA) soll ein flexibles, selbstadaptives Monitoring-System, das sich dynamisch an unterschiedliche Anforderungen in der Produktion anpassen kann, entwickelt werden. Während die Entwicklung solcher Systeme in herkömmlichen Anwendungen oft fundiertes Expertenwissen und Erfahrung erfordert, soll SaMoA diesen Prozess durch die Einführung einer automatisierten Methodik erleichtern. Das System soll eine breitere Anwendbarkeit in unterschiedlichen industriellen Szenarien ermöglichen. Bestehende Technologien und Verfahren sollen im Vorhaben weiterentwickelt und in praxisrelevante Anwendungen überführt werden.

B. Wissenschaftlicher und technischer Stand, an den angeknüpft wurde

In der Bearbeitung von SaMoA wird auf bestehende Technologien und wissenschaftliche Erkenntnisse zurückgegriffen. Ein zentraler Bestandteil des Projekts ist die Nutzung von Cartesian Genetic Programming (CGP), das sich in der industriellen Bildverarbeitung bereits in mehreren Forschungsprojekten bewährt hat. CGP ermöglicht eine automatische Anpassung der Bildverarbeitungsparameter, was zu einer effizienteren und flexibleren Lösung für die Qualitätskontrolle führt. Im Vergleich zu neuronalen Netzen bietet CGP bedeutende Vorteile. Die Ergebnisse aus der Findungsphase zeigten, dass der Einsatz von evolutionären Algorithmen wie CGP den Trainingsaufwand für Bildverarbeitungssysteme erheblich verringern kann und nachvollziehbare Lösungen liefert. Diese Effizienzsteigerung macht CGP zu einer attraktiven Alternative zu herkömmlichen neuronalen Netzen, da es eine schnellere Anpassung und Implementierung in industriellen Anwendungen ermöglicht.

Das Projekt integriert zudem die vom Institut für Flugzeugbau (IFB) der Universität Stuttgart entwickelte Software-Technologie Design-Compiler 43 (DC43), um die Problemstellung mithilfe von Fragebögen abzuleiten, die Eingaben in ein Objektdiagramm zu überführen und die verschiedenen Schnittstellen zu kombinieren. Dies ermöglicht die Formulierung eines Gesamtkonzepts basierend auf Sensoren, Beleuchtung, Rechenarchitektur und Field-Programmable-Gate-Array-Design (FPGA-Design). Hierbei spielt zudem die Expertise des IFB im Bereich FPGA-Design eine Rolle.

C. Ablauf des Vorhabens

Das Projekt ist in sechs Arbeitspakete (AP) unterteilt. In AP1 wurde die Spezifikation erstellt, wobei sich herausstellte, dass die ursprünglich geplanten technischen Lösungen angepasst werden mussten. Eine umfassende Analyse führte zur Entscheidung, die aufwendige 3D-Modellierung zugunsten nutzerfokussierter Problembeschreibungen aufzugeben. Dies betraf insbesondere die Arbeitspakete AP 2.6 und AP 4.2.2. Statt komplexer 3D-Renderings wurde ein Ansatz gewählt, der auf der Erfassung und Analyse von Nutzeranforderungen basiert. Diese Informationen fließen in die Gestaltung einer flexiblen Systemarchitektur ein, die durch den Einsatz von Fragebögen und Standardmethoden der Datenaufbereitung umgesetzt wird.

Die Implementierung und Software-Entwicklung (AP2) wurde durch die Herausforderungen der Chipkrise und die daraus resultierenden verlängerten Lieferzeiten beeinflusst. Diese externen Faktoren führten zu Verzögerungen, die eine kostenneutrale Laufzeitverlängerung erforderlich machten. Aufgrund dieser Umstände wurden die Meilensteine leicht verschoben: Der Meilenstein 2 zur Implementierung des Systems endete im ersten Quartal 2024, Meilenstein 3 zur Erreichung der Ziel-Fitness wurde im dritten Quartal 2024 erreicht, und Meilenstein 4 zur Validierung des Systems wurde im vierten Quartal 2024 abgeschlossen. Durch diese Verschiebungen endete das Projekt schließlich am 31.12.2024. Trotz der Herausforderungen wurden alle gesetzten Ziele erreicht.

D. Wesentliche Ergebnisse und Zusammenarbeit mit anderen Forschungseinrichtungen

Die wesentlichen Ergebnisse des Projekts umfassen die Entwicklung und Implementierung einer selbst-adaptiven Monitoring-Lösung, die im Rahmen von Technologiedemonstrationen präsentiert wurde. Das Fraunhofer IGCV spielte eine zentrale Rolle, indem es die Validierungsaspekte, den Datenaustausch und die Qualitätskriterien definierte, um die Lösung an Industriestandards anzupassen. Im Rahmen der Softwareentwicklung entwickelte das IGCV eine C#-Implementierung für die Bildverarbeitungsanwendung und arbeitete eng mit der Universität Augsburg zusammen, um den Algorithmus weiter zu optimieren. Gemeinsam wurde eine zusätzliche Implementierung entwickelt, die den Algorithmus mit Signal- und Zeitreihendaten verknüpft.

Das Fraunhofer IGCV stellte zudem die notwendige Serverinfrastruktur bereit und entwickelte benutzerfreundliche grafische Benutzeroberflächen (GUIs) für die Module. Diese umfassten eine GUI für die Bildverarbeitung mit CGP, eine codebasierte Konsolenanwendung für die Signalverarbeitung sowie eine Offline-GUI für die Nutzung des Teststands. Außerdem wurde eine Webanwendung auf Basis von LimeSurvey entworfen, die die Nutzung eines Fragebogens mit abgeschlossener modellbasierter Entwurfsoptimierung in DC43 ermöglichte. Eine zusätzliche Schnittstellenintegration wurde für den DC43-Entwurf zur FPGA-Auslegung vom IFB realisiert.

Im Rahmen der Technologiedemonstration baute das Fraunhofer IGCV einen mobilen Demonstrator auf und entwickelte diesen schrittweise weiter. In enger Abstimmung mit den Projektpartnern wurden Daten vorbereitet und umfassende Experimente zur Evaluierung der Technologie durchgeführt. Die Öffentlichkeitsarbeit umfasste Veröffentlichungen und die Teilnahme an Veranstaltungen wie der Eröffnung der Halle 43 in Augsburg, der Automatica 2023 und der Hannover Messe 2024, was die Sichtbarkeit des Projekts erhöhte und den Austausch mit potenziellen Nutzern förderte.

Die Zusammenarbeit mit der Universität Augsburg und der Universität Stuttgart wurde durch wöchentliche Regeltermine und halbjährliche Projekttreffen an den Standorten der Projektpartner gestärkt. Der kontinuierliche Austausch mit dem Projektbeirat und konstruktive Gespräche mit Mentoren wie Prof. Dr. Markus Till und Prof. Dr. Gregor Schiele trugen zur Weiterentwicklung bei. Neue Partnerschaften, etwa mit Intel und der Basler AG, wurden etabliert. Insgesamt schließt das Projekt eine wichtige technologische Lücke in der Qualitätssicherung und unterstreicht das kommerzielle Potenzial der entwickelten Lösung. Bei den Veranstaltungen wurde der Demonstrator und die Ergebnisse sehr positiv vom industriellen Publikum aufgenommen.

II. Teil - Eingehende Darstellung

A. Verwendung der Zuwendung und erzielte Ergebnisse

Im Rahmen des Projektes SaMoA wurden sechs Arbeitspakete bearbeitet. In Abbildung 1 sind die einzelnen Arbeitspakete visualisiert.

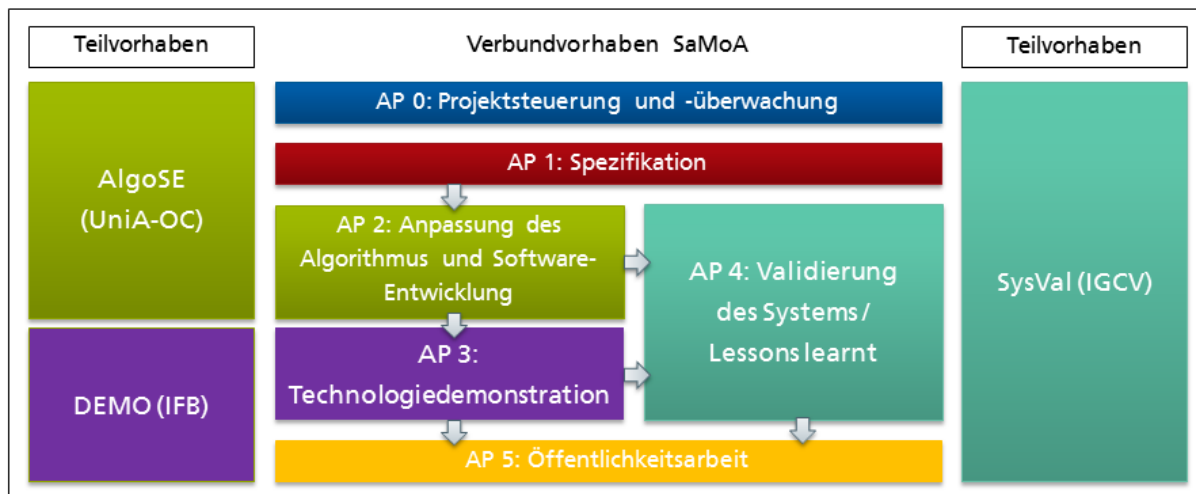


Abbildung 1: Arbeitspakete im Rahmen von SaMoA.

1. AP 0: Steuerung und Überwachung

Das Arbeitspaket 0 wurde vom Fraunhofer IGCV verantwortet. Es wurden Themen zur Projektsteuerung und -überwachung behandelt. Als Konsortialführer übernahm das IGCV die zentrale Rolle bei der Organisation und Koordination der Abstimmungs- und Projekttreffen sowie bei der Abwicklung der rechtlichen Vereinbarungen. Darüber hinaus ist das IGCV für die Kommunikation innerhalb des Konsortiums und mit externen Stakeholdern verantwortlich und koordinierte die Dokumentation des Projektfortschritts.

Im Berichtszeitraum wurden halbjährlich Projekttreffen an den Standorten der Forschungseinrichtungen erfolgreich organisiert und durchgeführt. Darüber hinaus fanden regelmäßige, wöchentliche virtuelle Sprint-Meetings mit den Projektpartnern statt, um den kontinuierlichen Projektfortschritt zu überwachen. Zur Unterstützung der technischen Umsetzung wurde die notwendige IT-Infrastruktur inklusive Cloud-Ressourcen und Code-Verwaltung bereitgestellt.

Die Koordination der Gespräche mit den Unternehmen des Industriebeirats und den fachlichen Mentoren wurde ebenfalls organisiert und durchgeführt. Die Zusammenarbeit zwischen den Partnern und der Konsortialführung war durchweg kooperativ, was zu einem reibungslosen Projektfortschritt beitrug.

2. AP 1: Spezifikation

Im Arbeitspaket 1 wurde das Gesamtkonzept von SaMoA durch das Fraunhofer IGCV weiterentwickelt und in regelmäßigen Jour-Fixe-Treffen mit den Projektpartnern diskutiert. Ein zentrales Element dabei war die Zerlegung der Inspektionsaufgabe in Teilprobleme, die als Grundlage für

nachfolgende Optimierungsaufgaben dienen. In Abbildung 2 ist die vorgenommene Problemzerlegung dargestellt, die als Grundlage für die weitere Bearbeitung dienen.

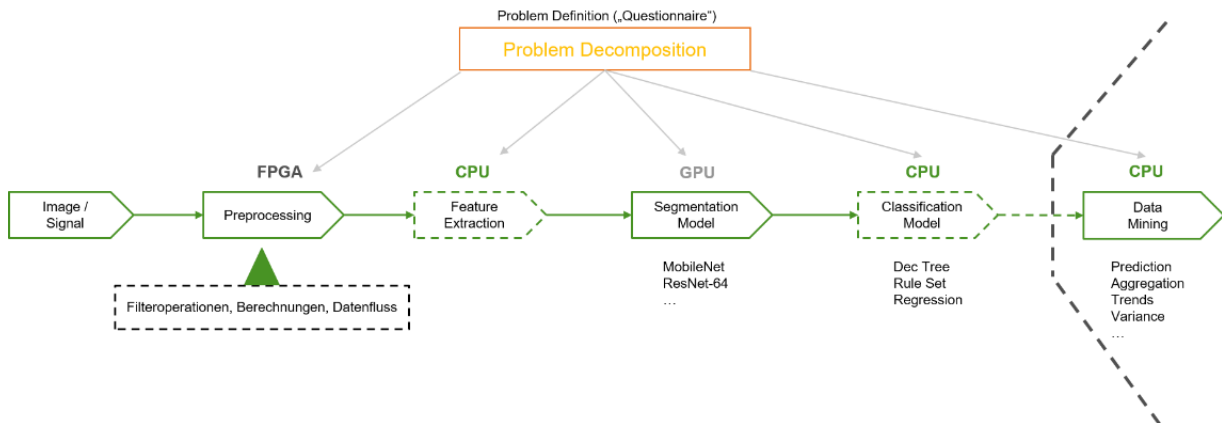


Abbildung 2: Problemzerlegung und Wirkungsbereich von SaMoA.

Ein wichtiger Aspekt der Spezifikationsphase war die problemspezifische Erfassung von Aufgabenstellungen im Bereich der Monitoringsysteme. Im Rahmen des Projekts wurde festgestellt, dass die Befragung der Anwender eine zentrale Rolle für die weitere Designarbeit von Qualitätssicherungssystemen, insbesondere Bildverarbeitungs- und Signalverarbeitungssystemen, spielt. Für die Konzeption und Entwicklung von Bildverarbeitungssystemen oder optischen Messsystemen existieren Leitfäden zur Anforderungsspezifikation des VDMA und Richtlinien für optische Technologien des VDI/VDE 2632 Blatt 2. Diese Dokumente dienen der verarbeitenden und produzierenden Industrie als Leitfaden und Grundlage für die Vergabe von Aufträgen.

Zur Eingrenzung des Anwendungsbereichs von SaMoA hat das Fraunhofer IGCV relevante Systeme und Parameter für adaptive Monitoringsysteme zusammengetragen. Diese beinhalten Aspekte wie Auflösung, Arbeitsabstand, Abmessung des Prüfobjekts, vorhandene Muster (Golden Sample), Bauraum, Geschwindigkeit, Taktrate, Materialparameter und Schnittstellen zu internen Systemen. Ein Fokus wurde daraufgelegt, die Use-Cases für Testdaten zu priorisieren und die Systemgrenzen des Projekts festzulegen.

AP1.1 Validierungskennzahlen erfassen

Zusätzlich wurden Validierungskennzahlen definiert. Die Kennzahlen umfassen Wirtschaftlichkeit, Personalaufwand, Dokumentationsumfang und -qualität, Rechenleistung, Detektionsgüte, Technologie-Reifegrad-Erreichung (TRL = 3), Zeiteinsparung, Eindeutigkeit der Aufgabenstellung, Vernetzungsgrad eines Entscheidungsbaums, Time to Production, Zuverlässigkeit, Flexibilität und Wartbarkeit. Diese Parameter bieten eine umfassende Grundlage zur Bewertung der entwickelten Monitoring-Lösung in Bezug auf Effizienz, Qualität und Anpassungsfähigkeit.

3. AP 2: Implementierung des Algorithmus und Softwareentwicklung

Im Rahmen des Arbeitspakets 2 wurden umfassende Implementierungsarbeiten durchgeführt, um die Software von SaMoA zu realisieren. Die Schwerpunkte des Fraunhofer IGCVs lagen auf der

serverseitigen Konzeption, der Entwicklung des Clients, der Integration des Algorithmus, der Implementierung der Serveranwendung und der Erweiterung der GUI.

AP 2.1: Konzeption der Software serverseitig

Die serverseitige Konzeption umfasste die Spezifikation der Architektur und die Modellerstellung für die serverseitige Anwendung. Die grundlegende Struktur der Software wurde festgelegt. Dabei dient eine zentrale Datenbank auf Basis von apache XAMPP als gemeinsame Schnittstelle. Die Datenbank läuft auf einer zentralen Workstation des Fraunhofer IGCV und wird von Webanwendungen wie cpg_agent über eine REST-API angesprochen, die die Ausführung von Algorithmen in einem eigenen Thread ermöglicht. Abbildung 3 visualisiert die Verknüpfung der Komponenten.

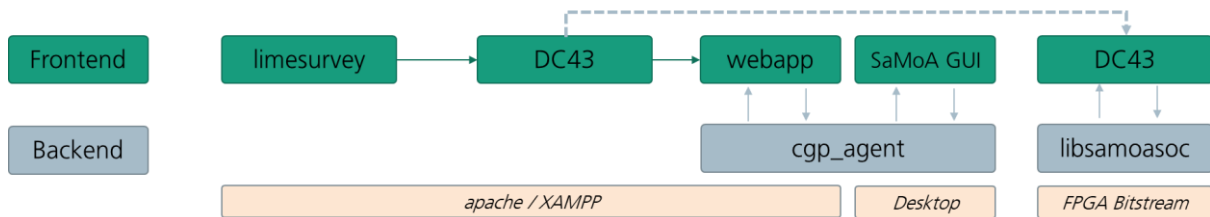


Abbildung 3: Architektur von SaMoA.

AP 2.2: Konzeption des Clients

Im Arbeitspaket 2.2 konzentrierte sich das Fraunhofer IGCV auf die Entwicklung der Client-Software für die SaMoA-Monitoring-Lösung. Ziel war es, eine benutzerfreundliche und effiziente Anwendung mit intuitiver Oberfläche zu schaffen, die es Nutzern ermöglicht, Daten einfach einzugeben und automatisierte Ergebnisse liefert. Ein wesentlicher Bestandteil der Entwicklung war die Schnittstellenbeschreibung, die eine nahtlose Interaktion mit den Backend-Systemen und den Daten-Verarbeitungs-Frameworks ermöglicht. Dies gewährleistet, dass die Frontend-Anwendung effizient mit den serverseitigen Komponenten kommunizieren kann.

In Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart wurde ein graphbasiertes Systemmodell entwickelt. Dieses Modell dient als Verbindung zwischen den Nutzeranforderungen und der technischen Umsetzung, insbesondere im Hinblick auf die DC43-Konfiguration. Es ermöglicht die automatisierte Erfassung von Anforderungen und deren Integration in die Systemarchitektur. Über regelbasierte Modelltransformationen werden die Sensorik, das Programm und die Rechenarchitektur abgeleitet. Fraunhofer IGCV fokussierte sich hierbei auf die Detaillierung der Kamerasensorik. Ein weiterer Aspekt war die Implementierung einer Online-Datenbankschnittstelle. Diese Schnittstelle erlaubt es, Systemkomponenten dynamisch zu integrieren und direkt in die Modellgenerierung einzubinden. Dadurch wird die Möglichkeit geschaffen, Anpassungen und Bestellungen direkt über das System abzuwickeln, was insbesondere für die Vertriebs- und Bestellprozesse von Vorteil ist. Die Kommunikation der Schnittstellen ist in Abbildung 4 visualisiert.

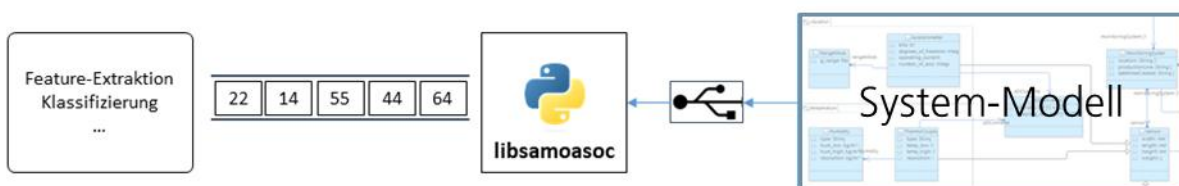


Abbildung 4: Kommunikation zwischen SaMoA-System-Modell (rechts) und Mikrocontroller/FPGA (mitte rechts) mit Datenübertragung zur Weiterverarbeitung (links) über die Bibliothek libsamoasoc, visualisiert als Datenfluss.

Die Client-Software wurde so konzipiert, dass sie eine flexible und leistungsfähige Lösung bietet, die sich nahtlos in bestehende Systeme integrieren lässt. Diese Entwicklung ermöglicht eine Nutzung der SaMoA-Lösung in verschiedenen Anwendungsszenarien.

Mit dem Aufkommen von großen Sprachmodellen (LLMs), angestoßen durch die Einführung von ChatGPT, haben Chatbots zunehmend an Bedeutung in der Nutzerkommunikation gewonnen. Seit 2023 stellt die Fraunhofer-Gesellschaft ein internes, DSGVO-konformes Chat-GPT-Modell namens "FhGenie" bereit. Verschiedene Experimente wurden durchgeführt, um mittels Prompt-Engineering eine Erweiterung für Nutzerbefragungen zu entwickeln. Auch Open-Source-Alternativen wie "Dolly", die auf lokalen Servern betrieben werden können und somit weniger datenschutzrechtliche Bedenken aufwerfen, wurden erprobt. Diese Tests zeigten, dass Textverarbeitung im Grunde möglich ist, wobei die kleinere Version (2K) Einschränkungen im Textverständnis aufweist. FhGenie bietet dagegen eine Vielzahl von Möglichkeiten. Dennoch bleibt die Herausforderung bestehen, dass für den Betrieb eine umfangreiche Server-Infrastruktur erforderlich ist, welche nur von großen Organisationen wie Fraunhofer finanziell und personell getragen werden kann. Trotz dieser Hürden zeigt sich, dass die aktuelle Entwicklung eine schnelle Integration eines leistungsfähigen Chatbots ermöglicht, der die SaMoA-Lösung benutzerfreundlicher und effizienter machen könnte.

AP 2.3: Spezifikation des Algorithmus

Die Zusammenarbeit mit der Universität Augsburg war entscheidend für die Spezifikation, Performance-Evaluierung und Optimierung des Projekts. Vor allem auf Seiten der Universität Augsburg wurden diese Aufgaben intensiv bearbeitet, während das Fraunhofer IGCV theoretische Arbeiten durchführte. In diesem Zusammenhang hat sich das IGCV mit dem Aspekt beschäftigt, die benötigte Bildanzahl zur effektiven Lösung spezifischer optischer Qualitätssicherungsprobleme zu bestimmen. Dies ist ein entscheidender Aspekt bei der Anwendung von Monitoringsystemen und eine Abschätzung über die benötigte Datenanzahl wird in der Regel vor der Implementierung der Lösung benötigt. Die erste Literaturrecherche lieferte keine eindeutigen Ergebnisse, weshalb das Fraunhofer IGCV eine Studie durchführte, um den Zusammenhang zwischen benötigter Datenmenge für unterschiedliche Problemstellungen zu untersuchen.

Neben echten Daten aus Open-Source-Datensätzen wurde zusätzlich der Einsatz von synthetischen Daten untersucht. Um die synthetischen Daten zu erzeugen, wurden Ansätze auf Basis von Generative Adversarial Networks (GANs) betrachtet. Ein GAN-Ansatz mit einem Generator basierend auf der U-Net Architektur und einem Diskriminator basierend auf einem Convolutional Neural Network (CNN) erzeugte die besten Ergebnisse. Das Training der Ansätze zur Erzeugung von synthetischen Daten erfolgte mit dem Datensatz von Maguire et al. 2018¹. Beispielergebnisse sind in Abbildung 5 dargestellt.

¹ Maguire, M., Dorafshan, S., & Thomas, R. J. (2018). SDNET2018: A concrete crack image dataset for machine learning applications. Utah State University. <https://doi.org/10.15142/T3TD19>



Abbildung 5: Erzeugte synthetische Daten im Vergleich zu echten Bildern. Originalbilder stammen aus dem SDNET2018-Datensatz von Maguire et al. 2018².

Für die öffentlichen Datensätze kamen unter anderem Mvtec-Datensätze wie screw, capsule oder bottle und KolektorSDD zum Einsatz. Verschiedene Komplexitätsmetriken wie Fehlergröße und Varianz wurden ermittelt, auf deren Basis ein Prognosemodell entwickelt und trainiert wurde. Dieses Modell prognostiziert die Genauigkeit, die mit einer bestimmten Anzahl an Daten erreicht werden kann. Zusätzlich werden die Komplexitätsmetriken als Parameter hinzugefügt, um eine Einschätzung der Datenkomplexität zu ermöglichen. Nach dem Training kann das Prognosemodell verwendet werden, um die benötigte Datenmenge abzuschätzen. Abbildung 6 visualisiert die Ergebnisse des verwendeten Prognosemodells Random Forest, das einen mittleren absoluten Fehler (MAE) von etwa 13% erreichte.

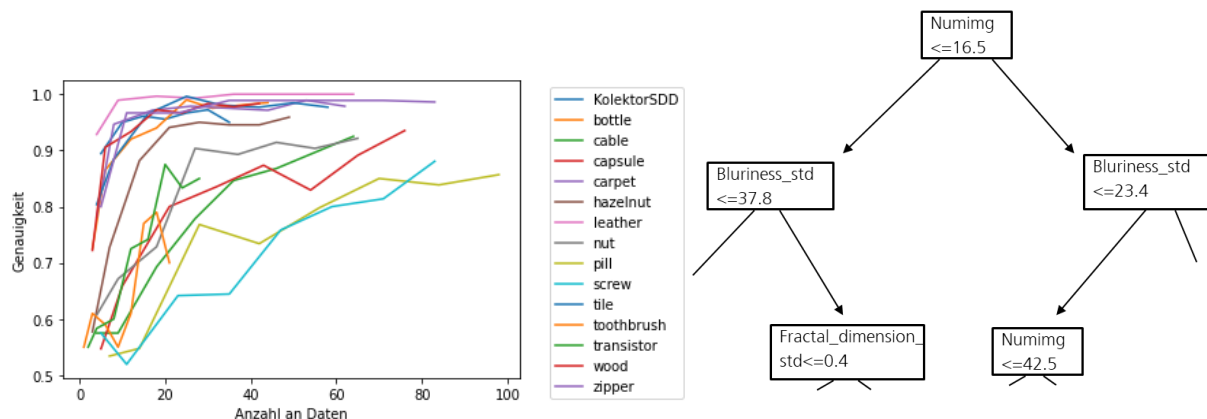


Abbildung 6: Zusammenhang zwischen Genauigkeit und der Anzahl an Trainingsdaten (links), Ausschnitt aus dem Entscheidungsbaum zur Komplexitätsanalyse (rechts).

AP 2.4: Implementierung der Server-Anwendung

Im Rahmen des AP 2.4 Implementierung der Server-Anwendung beschäftigte sich das Fraunhofer IGCV mit der Server-Core Installation und Konfiguration.

AP 2.4.1: Server-Core Installation und Konfiguration

Die Server-Core Installation und Konfiguration beinhaltete die Auswahl der Betriebsumgebung und die Installation der Systeme für DevOps und MLOps. Dafür wurden unter anderem CI/CD-

² Maguire, M., Dorafshan, S., & Thomas, R. J. (2018). SDNET2018: A concrete crack image dataset for machine learning applications. Utah State University. <https://doi.org/10.15142/T3TD19>

Pipelines konfiguriert und eine Experimentverwaltung auf Basis von Sacred umgesetzt. Die Datenformate für den Austausch der Pipelines wurden definiert und eine Schnittstellenintegration auf der Server-Plattform wurde umgesetzt. Eine GUI für das Backend wurde entworfen und implementiert. Des Weiteren wurde der Fragebogen, welcher mit der Software LimeSurvey ausgeführt wird, eingebunden und Unit-Tests erstellt, um eine hohe Code-Qualität zu gewährleisten. Die entwickelte Server-Anwendung dient neben internen Experimenten, auch als Plattform für den CGP-Optimierungsalgorithmus, der auf einem dedizierten Server ausgeführt wird. Der Server beherbergt zudem eine Webanwendung und wird als Trainingsumgebung für Vergleichsalgorithmen genutzt. Im Rahmen einer Studie wurden hier verschiedene Modelle evaluiert und die für das Training benötigte Datenmenge bestimmt. Die gewonnenen Erkenntnisse und Strukturen wurden den Partnern bei Bedarf zur Verfügung gestellt.

AP 2.5: Implementierung und Integration des Algorithmus

Es wurde ein gemeinsames Gitlab-Repository erstellt auf das alle Partner zugreifen können. Dadurch kann die Pipeline-Generierung sowohl auf den Servern des Fraunhofer IGCV als auch lokal auf den Systemen der Partner ausgeführt werden.

AP 2.5.2: GUI-Entwicklung

Im Arbeitspaket 2.5.2 wurde die grafische Benutzeroberfläche (GUI) der SaMoA-Monitoring-Lösung entwickelt und schrittweise erweitert. Die Entwicklung erfolgte in enger Zusammenarbeit mit der Universität Augsburg. Die GUI umfasst mehrere Interaktionswege, darunter eine webbasierte Anwendung auf Basis von Python Django, HTML5 und CSS, die es ermöglicht, Trainings mit dem CGP-Algorithmus zu starten und Parameter zu konfigurieren. Diese Web-GUI zeigt Standardparameter und den Fortschritt des Trainings an.

Für öffentliche Veranstaltungen wurde eine Python-basierte Anwendung entwickelt. Fraunhofer IGCV entwickelte hierfür hauptsächlich die Interaktion mit der Bildverarbeitung, die Schnittstellenintegration und die Bildanzeige mit Live-Wiedergabe. In der Anwendung kommt ein interaktiver Fragebogen auf Basis von LimeSurvey zum Einsatz, um die Problemspezifikation des Anwenders für die Systemkonfiguration zu erfassen. Die Parameter aus dem Fragebogen werden anschließend mithilfe eines PHP-Skripts an das DC43-Modell übermittelt und die Transformation des Modells generiert daraufhin eine Systemlösung für das Problem, indem eine Konfiguration für die Kamera, den Algorithmus und die FPGA-Datenverarbeitung erzeugt wird. Durch diese Entwicklungen entstand eine flexible und benutzerfreundliche GUI, die sowohl für den praktischen Einsatz als auch für Präsentationen geeignet ist. Die enge Abstimmung mit den Projektpartnern sorgte dafür, dass die GUI optimal auf die Bedürfnisse der Nutzer zugeschnitten wurde. Abbildung 7 zeigt Ausschnitte aus der GUI.



Abbildung 7: Startseite für SaMoA und verlinkte Oberflächen des Umfragetools.

4. AP 3: Technologiedemonstration

AP 3.1: Testreihen für die Bildverarbeitung

In diesem Unterpaket wurden industrierelevante Datensätze zusammengestellt. In Zusammenarbeit mit dem IFB hat das Fraunhofer IGCV einen repräsentativen Benchmark-Datensatz aufgebaut. Neben den öffentlich zugänglichen Datensätzen wurden auch Echtwelt-Daten des Fraunhofer IGCV in die Analyse einbezogen. Insgesamt wurden 39 verschiedene Datensätze gesammelt, die eine breite Auswahl industrieller Anwendungen abdecken. Abbildung 8 zeigt beispielhaft Bilder aus den unterschiedlichen Datensätzen.

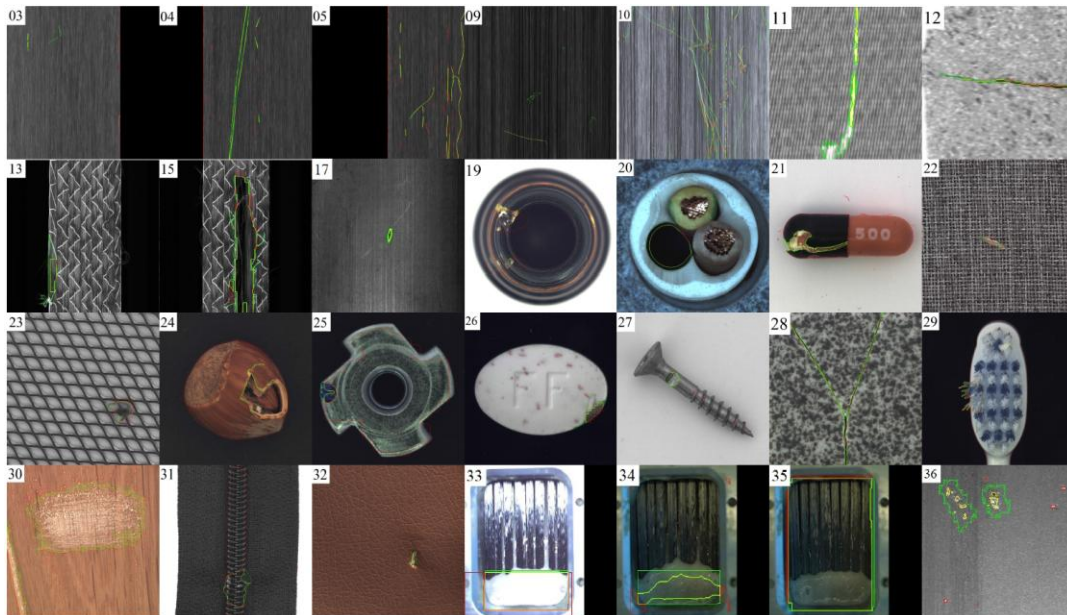


Abbildung 8: Überblick von industriellen Defekten in verschiedenen Datensätzen.

AP 3.2: Aufbau des Prüfstandes

Im Rahmen von AP3.2 wurde ein Prüfstand entwickelt, um die Selbstadaptivität von Monitoring-Lösungen praxisnah darzustellen. Eine rein softwarebasierte Lösung ist hierbei unzureichend, da dadurch das volle Potenzial der Technologie nicht ausreichend verdeutlicht wird. Ziel war es daher, einen Prüfstand zu schaffen, der konkrete Anwendungsfälle adressiert und die entwickelten Technologien und Algorithmen einem breiten Publikum demonstriert.

Der Prüfstand wurde im Laufe des Projekts aufgebaut und schrittweise weiterentwickelt. Zunächst wurde ein Aufbau mit variabler Beleuchtungssituation umgesetzt. Dieser erste Entwurf, der bei der KI Summer School präsentiert wurde, umfasst eine Kamera sowie verschiebbare und positionierbare Beleuchtungen, um unterschiedliche Beleuchtungssituationen zu simulieren. Verschiedene CFK-Materialien und metallische Gegenstände dienten dabei als Prüfobjekte. Im linken Teil von Abbildung 9 ist der Prüfstand zu sehen.

In einem weiteren Schritt wurde die Integration eines Spenders und Auffangbehälters evaluiert, um Materialien wie Schüttgut oder recycelte Carbonfasern (rCF) effektiv zu testen (siehe Abbildung 9, mitte). Diese Erweiterung ermöglicht es, den Materialfluss realitätsnah zu simulieren und die Anwendungsmöglichkeiten des Prüfstands zu erweitern. Aufgrund teilweise geänderter Anforderungen bei öffentlichen Auftritten wurde im letzten Entwicklungsschritt jedoch auf einen mobileren Teststand mit Drehteller umgeschwenkt (siehe Abbildung 9, rechts). Diese kompaktere

Variante erfüllt die neuen Anforderungen für Demonstrationen und Präsentationen. Der Drehteller erlaubt die kontinuierliche Aufnahme von beweglichen Teilen und erhöht die Flexibilität des Systems. Trotz der Überarbeitung ist der Teststand weiterhin für Schüttgut und rCF geeignet, sodass die bisherigen Anwendungsmöglichkeiten erhalten bleiben. So können Kleinteile wie metallische Komponenten (z. B. Schrauben) sowie Proben aus verschiedenen industriellen Qualitätssicherungsszenarien, darunter Vliese oder Sandproben, untersucht werden.

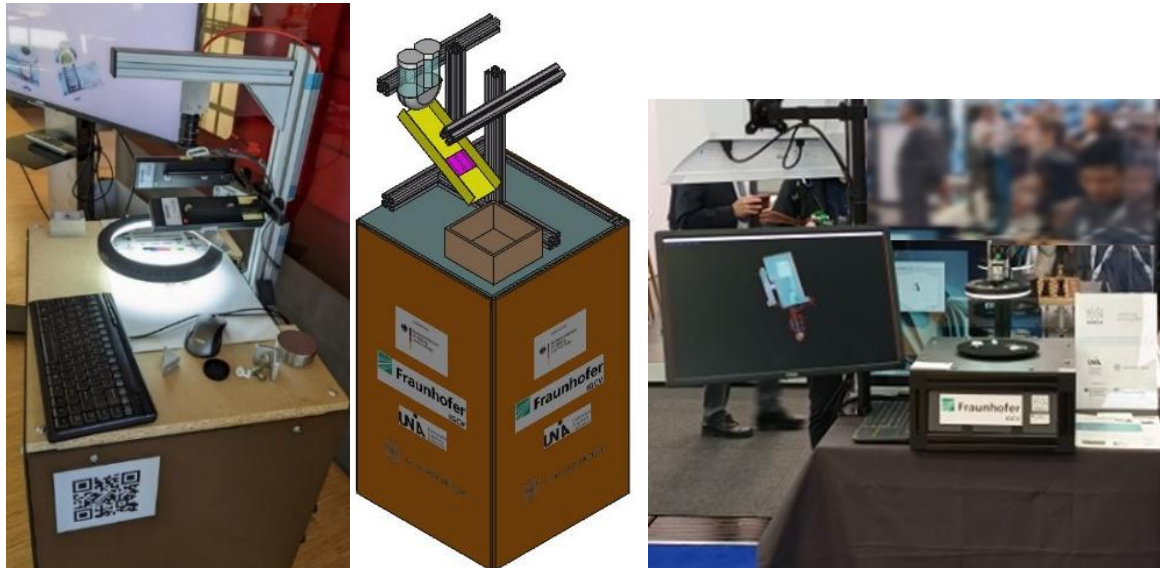


Abbildung 9: Evolution des Teststands, beginnend mit der variablen Beleuchtungssituation (links), Erweiterung mit Spender und Auffangbehälter (mitte) bis zur aktuellen Variante mit Drehteller (rechts).

AP 3.4: Überprüfung der generierten Pipelines

In diesem Unterpaket wurden die Tests des FPGA bzw. eingebetteten Systeme, federführend durch das IFB, durchgeführt, wobei der Schwerpunkt auf der Überprüfung der generierten Pipelines lag. Die Zusammenarbeit zwischen den Partnern und Fraunhofer IGCV führte zu erfolgreichen Experimenten, deren Ergebnisse auf internationalen Konferenzen wie MODELWARDS 2023, ACSOS 2023 und ECTA 2023 präsentiert wurden.

5. AP 4: Validierung des Systems / Lessons learnt

Ein Teil der Entwicklungsarbeit konzentrierte sich auf die Konsolidierung des Datenflusses zwischen den Teilprojekten der Partner. Der entwickelte Datenfluss zwischen den Modulen ist in Abbildung 10 dargestellt. Dabei wird der Nutzer im ersten Schritt durch einen Fragebogen geleitet, um sein Problem bestmöglich zu beschreiben. Anschließend werden technische Parameter anhand des regelbasierten Modells abgeleitet. Die Anforderungen werden durch eine modellbasierte Analyse und Graph-Transformation in einen Lösungsgraph übersetzt. Die Ergebnisse des Lösungsgraphen werden schlussendlich verwendet, um das Modell zu bestimmen, die Komponenten des Kamerasystems abzuleiten und die Auslegung des FPGA zu konfigurieren. Zudem wurde in AP 4 die Validierung durchgeführt, um die Stabilität des Systems zu bewerten. Zu diesem Zweck wurden die Datenübertragungen von Sensoren, wie Kameraaufbauten, sowie von Sensorikkomponenten, wie Mikrocontroller mit Wägezellen und Vibrationsaufnehmern, getestet und adaptiert.

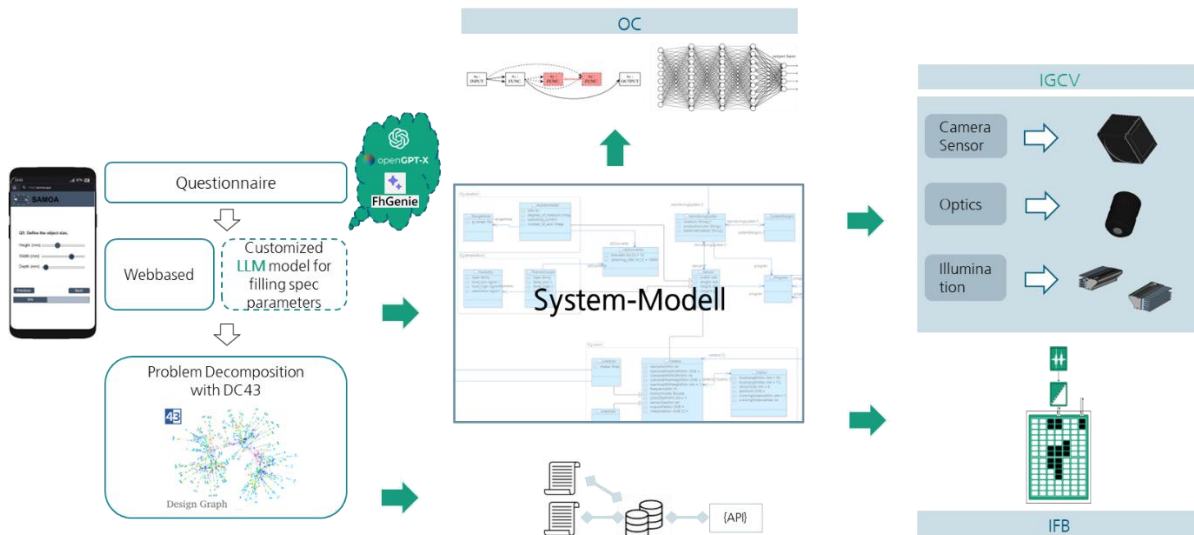


Abbildung 10: Datenfluss zwischen den Modulen und Teilkomponenten des Projekts SaMoA. Anforderungen werden im Fragebogen erfasst (links), Anforderungen gehen in das regelbasierte System-Modell (mitte) und die DC43 Ergebnisse werden im letzten Schritt weiterverarbeitet (Modellbestimmung mitte oben, Kamerasystembestimmung rechts oben und FPGA-Konfiguration rechts unten).

AP 4.1: Bereitstellung der virtuellen Maschinen

Der Fokus in AP 4.1 lag auf der Bereitstellung der virtuellen Maschinen für das Projekt. Das Fraunhofer IGCV hat hierfür Azure-Cloud-Ressourcen zur Verfügung gestellt, um Docker Container mit gekapselten Anwendungen zu starten. Mit Hilfe von Terraform-basiertem Scripting können Anwendungen gestartet und über eine URL zugänglich gemacht werden. Dadurch kann die Rechenleistung beliebig erhöht werden, während bei der Verwendung derselben Ressourcen (Anzahl der CPU- oder GPU-Kerne) die Vergleichbarkeit von Rechenzeit und Leistung erhalten bleibt.

AP 4.2 Generierung von Demonstrator-Daten

Das Fraunhofer IGCV unterstützte die Universität Augsburg im Rahmen des Arbeitspakets 4.2 bei der Datenbereitstellung und der Pipelineoptimierung.

AP 4.2.1: Datenbereitstellung und Pipelineoptimierung

Im Rahmen der Validierung wurden 36 Datensätze aus 23 industriellen Anwendungsszenarien ausgewählt, um das entwickelte System und die Algorithmen zu testen. Die Segmentierung der Regions of Interest (ROI) lieferte Fitnesswerte für den Matthews-Korrelationskoeffizienten (MCC) im Bereich von 0,2 bis 0,9. Diese starken Unterschiede deuten auf die variierende Komplexität der Aufgaben hin, wobei Randfälle auf unvollständige Annotationen und Fehlern in den Labels hindeuten. Abbildung 11 zeigt die Ergebnisse der einzelnen Datensätze, wobei die durchschnittlichen MCC-Fitnesswerte während des Trainings durch blaue und die entsprechende Standardabweichung durch schwarze Balken dargestellt werden.

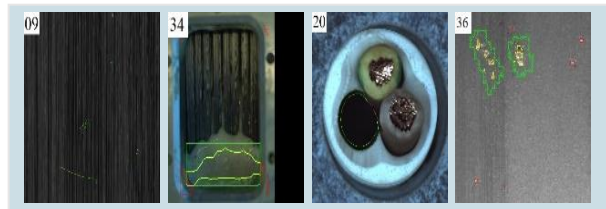
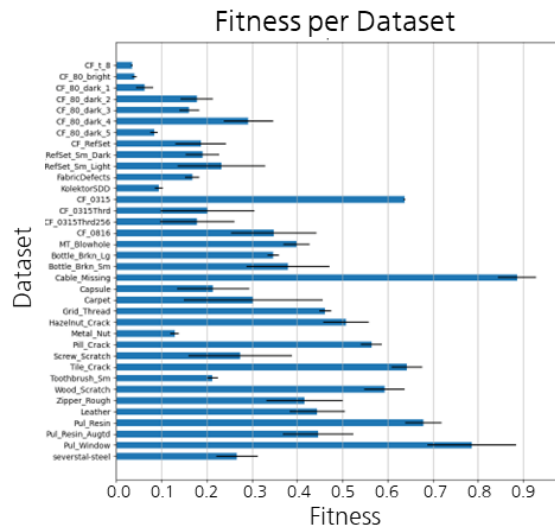


Abbildung 11: Übersicht über alle durchgeführten Durchläufe auf Datensätzen (links); die blauen Balken zeigen den durchschnittlichen MCC-Fitnesswert während des Trainings über alle wiederholten Durchläufe auf den entsprechenden Datensätzen an, der schwarze Balken zeigt die Standardabweichung an und Beispielergebnisse der Segmentierung (rechts).

Ein Teil der Untersuchung lag auf der Bestimmung des Zusammenhangs zwischen Datensatzkomplexität und Fitness. Die Komplexität der Bilder wurde durch verschiedene Metriken gemessen. Die Histogramm-Entropie und die JPEG-Komplexität zeigten die höchste Korrelation zur Fitness auf. Eine hohe Korrelation auf den Labels wurde zudem zwischen der Kantendichte und der Anzahl der Superpixel beobachtet. Abbildung 12 zeigt Ausschnitte aus den Ergebnissen und visualisiert die Unterschiede in der Komplexität für die verschiedenen Datensätze. Dabei deutet ein größerer Wert auf höhere Komplexität hin.

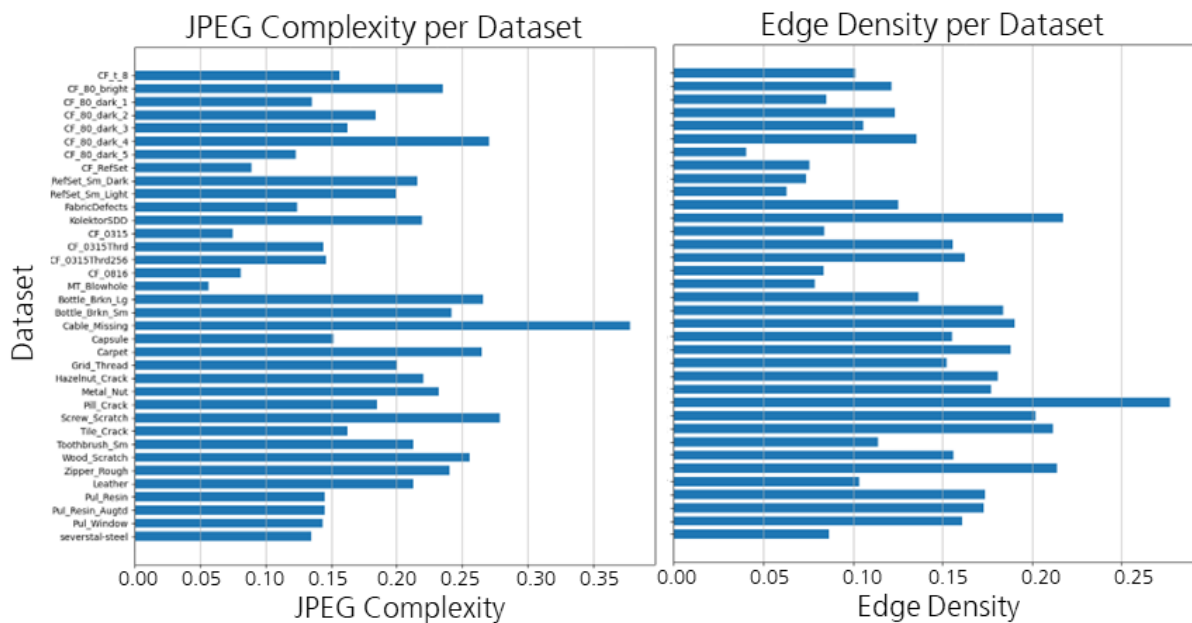


Abbildung 12: Statistischer Vergleich von Komplexitätsmetriken auf Basis gesamter Einzelbilder und der sog. Regions of Interest innerhalb der Bilder.

Zusätzlich wurden Experimente mit Signalverlaufsdaten durchgeführt, um die algorithmische Qualität von CGP für Signale zu bewerten. Abbildung 13 visualisiert die Ergebnisse und zeigt die Anzahl der Nodes pro Experiment und die erreichte Fitness, sowie die Häufigkeit der verwendeten

Filter. Die Ergebnisse zeigen, dass die maximale Höhe der Node-Anzahl trotz kleiner Schwankungen in der Dimension durch die Höhe des Directed Acyclic Graphs (DG) begrenzt werden. Die Experimente dauerten in der Regel zwischen 25 und 30,5 Stunden, wobei die Dauer von der Dimension der verwendeten Pipeline abhängig ist. Bestimmte Operatoren, wie MovingVariance, MovingAvg und DifferenceFromAvg führten zu besonders hohen Fitnesswerten, was zeigt, dass eine automatisierte Anpassung an die Signaldaten vorgenommen wird.

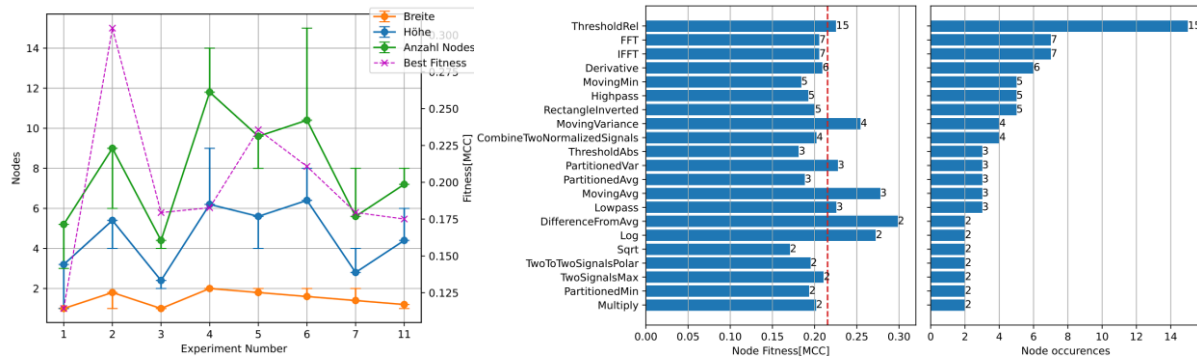


Abbildung 13: Anzahl der Nodes pro Experiment und erreichte Fitness (links) und Häufigkeit der gewählten Filter (rechts).

AP 4.4 Bewertung der Zielerreichung

In AP 4.4 beschäftigte sich das Fraunhofer IGCV mit der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung.

AP 4.4.2: Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Im Rahmen der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung wurden die Kosten-Nutzen-Aspekte unseres entwickelten Algorithmus im Vergleich zu klassischen Arbeitsmethoden evaluiert. Die quantitative Analyse zeigte, dass der entwickelte Algorithmus ausgeführt in der Cloud im Vergleich zur herkömmlichen Arbeitsweise kostengünstiger ist.

In der klassischen Arbeitsweise sind für die Implementierung und Validierung umfassende Mitarbeiterressourcen erforderlich. Tabelle 1 zeigt die erhobenen Kennzahlen für die Aufgaben und Zeitschätzung zur Umsetzung einer Monitoring-Lösung. Die Gesamtstundenzahl beträgt für die niedrigste Zeitschätzung 22 Stunden, für die mittlere Zeitschätzung 38 und für die höchste Zeitschätzung 54 Stunden. In Abbildung 14 sind die Gesamtkosten für die Zeitschätzungen und ausgewählten Berufsgruppen, die für die Ausführung und Entwicklung einer Monitorlösung gebraucht werden, dargestellt.

Die Grafiken verdeutlichen, dass bei der herkömmlichen Arbeitsweise die Kosten je nach Berufsgruppe und Zeitschätzung stark variieren. Beispielsweise belaufen sich die Kosten für die Berufsgruppe Senior Software Engineer bei der mittleren Zeitschätzung von 38 Stunden auf 434,00 €. Bei der höchsten Schätzung von 54 Stunden steigen diese Kosten auf 620,00 €. Ähnlich verhält es sich bei den anderen Berufsgruppen wie Software Developer und Machine Learning Engineer.

Im Gegensatz dazu zeigt die Ausführung unseres Algorithmus in der Cloud, welches beispielhaft anhand der AWS Cloud dargestellt wird, ein konstant niedriges Kostenniveau. Die Bereitstellungskosten in der AWS Cloud betragen 11,46 € für die benötigte Rechenleistung. Es wird davon ausgegangen, dass noch zusätzlich ca. 10 Stunden für die Anpassung des entwickelten Algorithmus an die Problemstellung benötigt wird. Nichtsdestotrotz bleiben die Gesamtkosten durch die reduzierte Arbeitszeit und die günstige Cloud-Nutzung deutlich unter den Kosten der traditionellen Methoden.

Diese Analyse verdeutlicht, dass das entwickelte System nicht nur bei der mittleren und hohen Zeitschätzung, sondern auch bei der niedrigsten Zeitschätzung eine kosteneffiziente Lösung darstellt. Durch die erheblichen Einsparungen bei den Mitarbeiterkosten wird die Wirtschaftlichkeit der entwickelten Lösung unterstrichen.

Tabelle 1: Aufgaben und Zeitschätzung für die Umsetzung einer Monitoring-Lösung ohne den entwickelten Ansatz.

| Task | Schätzung | Niedrigste | Mittel | Höchste |
|-----------------------------|---------------------|------------|-----------|-----------|
| Aufgabenanalyse | 2-4 Stunden | 2 | 3 | 4 |
| Recherche zu Lösungswegen | 2-6 Stunden | 2 | 4 | 6 |
| Pipeline-Entwurf | 4-8 Stunden | 4 | 6 | 8 |
| Implementierung | 8-20 Stunden | 8 | 14 | 20 |
| Test / Validierung | 4-10 Stunden | 4 | 7 | 10 |
| Dokumentation / Integration | 2-6 Stunden | 2 | 4 | 6 |

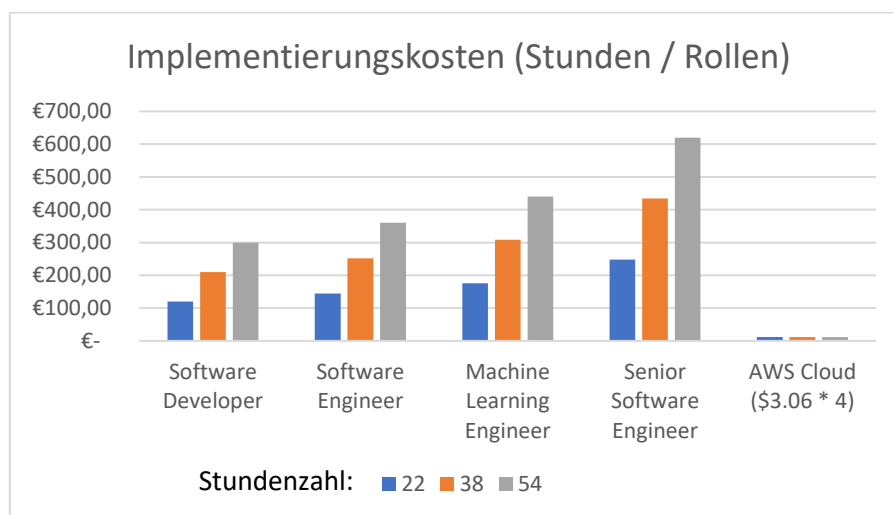


Abbildung 14: Implementierungskosten für unterschiedliche Berufsgruppen und Stundenschätzungen.

6. AP 5: Öffentlichkeitsarbeit

AP 5.1 Publikation und Diskussion der Ergebnisse

Im Bereich der Öffentlichkeitsarbeit lag der Fokus auf der Verbreitung und Diskussion der Projektergebnisse. Hierfür wurde eine Webseite eingerichtet und kontinuierlich mit neuen Erkenntnissen und Ergebnissen ergänzt. Die Projektwebseite ist unter der folgenden URL erreichbar: <https://www.uni-augsburg.de/de/fakultaet/fai/informatik/prof/oc/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/samoa/>. Zudem wurden die Projektergebnisse auf verschiedenen Veranstaltungen, wie der KI Summer School, der Automatica 2023, der Eröffnung der Halle 43 und der Hannover Messe 2024, einem breiten Publikum präsentiert. Eindrücke von den Veranstaltungen sind in den Abbildungen Abbildung 15, Abbildung 16, Abbildung 17 und Abbildung 18 zu sehen. Diese Events

boten wertvolle Gelegenheiten, um Feedback zu sammeln und neue Kontakte zu potenziellen Interessenten zu knüpfen.



Abbildung 15: KI Summer School am Fraunhofer IGCV (07/2022).



Abbildung 16: Automatica 2023 in München (06/2023).



Abbildung 17: Präsentation des Projekts SaMoA in der Halle 43 (05/2023).



Abbildung 18: Hannover Messe 2024 (04/2024).

AP 5.2 Berichte und Veröffentlichungen

Das Konsortium hat mehrere Berichte erstellt und wissenschaftliche Arbeiten veröffentlicht. Dazu gehören Beiträge wie "Model-driven optimisation of monitoring system configurations for batch production" bei der MODELSWARD 2023 sowie "Filter evolution using Cartesian genetic programming for time series anomaly detection" auf der ECTA 2023 und "Evolving processing pipelines for industrial imaging with cartesian genetic programming" auf der ACSOS 2023. Diese Publikationen unterstreichen die wissenschaftliche Relevanz und den Fortschritt des Projekts.

Projekttreffen

Es fanden regelmäßige Projekttreffen statt, die im Abstand von sechs Monaten abgehalten wurden und in der Regel an den Standorten der Partner durchgeführt wurden. Diese Treffen ermöglichten es den Partnern, Ergebnisse zu präsentieren, sich über den Fortschritt auszutauschen und kritisches Feedback zu erhalten. Diese Praxis wurde konsequent fortgeführt, um den reibungslosen Ablauf der Teilprojekte zu gewährleisten und den Fokus auf die übergeordneten Projektziele zu richten.

Jour-Fixe und Sprint-Meetings

Um die Zusammenarbeit zu intensivieren, organisierte das Fraunhofer IGCV regelmäßige virtuelle Jour-Fixe und Sprint-Meetings. Diese Treffen fanden in der Regel wöchentlich statt und hatten eine Dauer von 30 Minuten. Zusätzlich wurden bei Bedarf, z. B. für die Ausarbeitung von Details, separate Termine durchgeführt.

Abstimmung mit Projektbeirat

Der Austausch mit dem Projektbeirat und den Industriepartnern wurde kontinuierlich fortgesetzt. Die Treffen verliefen sehr produktiv. Neue Verbindungen, wie zu Intel und der Basler AG, wurden etabliert. Auch die konstruktiven Gespräche mit den Mentoren, darunter Prof. Dr. Markus Till und Prof. Dr. Gregor Schiele, trugen zur Weiterentwicklung und Förderung der SaMoA-Technologie bei. Die gewonnenen Erkenntnisse und Kontakte wurden genutzt, um die Industrietauglichkeit des Projekts auszubauen.

B. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die Gesamtkosten für die Durchführung des Vorhabens (Projektzeitraum 01.09.2021 bis 31.12.2024) haben sich auf ca. 468.971€ belaufen gegenüber der beantragten 475.024€. Davon wurden ca. 98,6% der Zuwendungsmittel zur Deckung des Personalaufwandes und ca. 1,2% der Mittel für Reisekosten eingesetzt. Des Weiteren sind geringfügige Kosten (ca. 776€) für sonstige unmittelbare Vorhabenkosten angefallen.

C. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die im Projekt geleistete Arbeit ist von hoher wirtschaftlicher und technologischer Relevanz. Die entwickelten Methoden und Verfahren zur selbst-adaptiven Erzeugung von Filter-Pipelines und einer Systemauslegung ermöglichen eine weitgehende Automatisierung zuvor manuell durchgeführter Schritte. Durch den Einsatz evolutionärer Algorithmen konnten neue Verfahren zur Optimierung von Bildverarbeitungsalgorithmen entwickelt werden, die selbst bei komplexen Aufgaben effiziente Lösungen finden. Dies schließt eine essenzielle Lücke und eröffnet neue Möglichkeiten für den Einsatz selbst-adaptiver Monitoring-Systeme in industriellen Anwendungen. Durch den intensiven Austausch mit Industrievertretern, Mentoren und dem Industriebeirat wurde das große wirtschaftliche Interesse bestätigt. Zudem wurden zahlreiche Transfergebiete identifiziert, die ein breites Anwendungsspektrum der entwickelten Lösung ermöglichen. Die entwickelte Technologie wurde erfolgreich an einem Demonstrator erprobt und der Öffentlichkeit zugänglich gemacht.

D. Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die Ergebnisse des Projekts SaMoA sollen für verschiedene Verwertungsziele genutzt werden:

- Erhöhung der Expertise in selbst-adaptiven Systemen für die industrielle Bildverarbeitung und adaptive Qualitätskontrolle.
- Anpassung des Teststands und der Software für den Einsatz im industriellen Maßstab oder für kommerzielle Zwecke.
- Steigerung der Effizienz bei der Abwicklung von Industriaufträgen intern am Fraunhofer IGCV.
- Einrichtung einer serverbasierten Lösung zur Nutzung und Verbreitung von Forschungs- und Validierungsergebnissen, insbesondere für Marketing und Projektakquise.
- Erweiterung der Anwendungsmöglichkeiten durch Integration zusätzlicher Schnittstellen.

Da es sich beim Fraunhofer IGCV um eine Forschungseinrichtung handelt, besteht keine unmittelbare wirtschaftliche Verwertungsmöglichkeit der Projektergebnisse in Form von Produkten. Das Fraunhofer IGCV plant jedoch, die Forschungsergebnisse kommerziell zu nutzen, indem eng mit Integratoren, Anlagenherstellern und potenziellen Endnutzern zusammengearbeitet wird. So sollen maßgeschneiderte Lösungen entwickelt und die Technologie erfolgreich am Markt etabliert werden. Im Projektverlauf wurden verschiedene Plattformen genutzt, um Industrieunternehmen anzusprechen und die Möglichkeit zur Kommerzialisierung der Technologie zu schaffen. Dazu gehörten Konferenzbeiträge, Fachvorträge und Teilnahmen an Veranstaltungen wie der Eröffnung der Halle 43 in Augsburg und der Automatica 2023 in München. Die Projekt-Webseite wurde kontinuierlich aktualisiert, um die Sichtbarkeit zu erhöhen. Zusätzlich liegt der Fokus

des Fraunhofer IGCV auf dem Kompetenzzuwachs und der Erweiterung neuer Anwendungs- und Forschungsgebiete im Bereich selbst-adaptiver Systeme für die industrielle Bildverarbeitung.

Die wissenschaftliche Verwertung der Ergebnisse erfolgt durch Veröffentlichungen auf Fachkonferenzen und die Fortführung der Aktivitäten zur Entwicklung selbst-adaptiver Monitoring-Systeme. Die gewonnenen Erkenntnisse werden genutzt, um neue Forschungsprojekte zu initiieren und Industriekooperationen aufzubauen, was zur Schaffung neuer Doktorandenstellen und zur Förderung des wissenschaftlichen Nachwuchses beiträgt. Insgesamt bieten die Ergebnisse des Projekts SaMoA ein großes Potenzial für zukünftige Verwertungsmöglichkeiten und stärken die Position des Fraunhofer IGCV im Bereich selbst-adaptiver Monitoring-Anwendungen.

E. Fortschritte auf dem Gebiet des Vorhabens bei anderen Stellen

Die Marktlage hat sich nicht grundlegend zur Antragszeit verändert. Im Laufe des Projekts sind Technologien wie Large Language Models (LLMs), wie GPT-4 und Gemini, aufgekommen. Eine grundsätzliche Integration dieser neuen Werkzeuge wurde im Projekt erwogen, berührt jedoch nicht die Kernziele des Demonstrators. Auch die Weiterentwicklungen der großen Cloud-Anbieter wie Google Cloud, Amazon AWS und Microsoft Azure haben keinen direkten Einfluss auf die Projektergebnisse. Obwohl diese Anbieter ihre Funktionen erweitert haben, konnte ein Konzept, das direkt mit dem Forschungsvorhaben SaMoA konkurriert, weiterhin nicht identifiziert werden.

Die Rückmeldungen aus den Gesprächen mit dem Projektbeirat und Industriebeirat haben dem Konsortium bestätigt, dass die im Projekt verfolgten Ziele eine bestehende technologische Lücke schließen. Es wurde kein anderes Vorhaben gefunden, das einen vergleichbaren Ansatz verfolgt oder ähnliche Ergebnisse erzielt.

F. Erfolgte und geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Das Vorhaben wurde der interessierten Öffentlichkeit und dem Fachpublikum im Rahmen folgender Veranstaltungen präsentiert:

- Projektwebseite auf den Servern der Universität Augsburg: <https://www.uni-augsburg.de/de/fakultaet/fai/informatik/prof/oc/forschung/aktuelle-forschungsprojekte/sa-moa/>
- KI Summer School am 14.07.2022
- Ausstellung bei der Eröffnung der Halle43 des KI-Produktionsnetzwerk Augsburg im Mai 2023
- Ausstellung des Projekts auf der Automatica 2023 auf der Messe München auf dem Gemeinschaftsstand der Bayern Innovativ GmbH und des KI-Produktionsnetzwerk Augsburg vom 24.06. bis 27.06.2023
- Ausstellung des Projekts auf der Hannover Messe 2024 bei Bayern Innovativ und des KI-Produktionsnetzwerk Augsburg vom 22.04. bis 26.04.2024
- Veröffentlichung und Präsentation von "Model-driven optimisation of monitoring system configurations for batch production" auf der MODELSWARD 2023 in Lissabon, Portugal unter virtueller Teilnahme

- Veröffentlichung und Präsentation von "Filter evolution using Cartesian genetic programming for time series anomaly detection" auf der ECTA 2023 in Rom unter virtueller Teilnahme
- Veröffentlichung und Präsentation „Evolving processing pipelines for industrial imaging with cartesian genetic programming“ auf der ACSOS 2023 in Toronto, Kanada