Schlussbericht

der

Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft

über das Förderprojekt

KIZAM

Künstliche Intelligenz im Ziele- und Anforderungsmanagement

öffentlich

Autoren:

Dr. Dorin Aiteanu
Vanessa Niedermeier
Julian Chander
Mathias Deuser
Patrick Gruessenbeck
Dr. Dirk Fleischer

Datum:

13.12.2024

Gefördert durch

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.

Förderkennzeichen: 19I21029A
Laufzeit: 01.07.2021 – 30.09.2024

i. A.

_____

Technische Projektleitung BMW
Dr. Dirk Fleischer

i. A.

_____

Administrative Projektleitung BMW
Dr. Dorin Aiteanu

Vorgabe Projekt-Träger Hr. Frenzel (im KIZAM-Abschlusstreffen 03.09.2024): 20 Seiten

Inhaltsübersicht

I KURZE DARSTELLUNG 4

1. Aufgabenstellung 4

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde 4

3. Planung und Ablauf des Vorhabens 5

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und zu Ende des Projekts. 6

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder Firmen außerhalb des Verbundprojektes 8

II EINGEHENDE DARSTELLUNG 9

1. Erzielte Ergebnisse 9

AP0 – Bestimmung der Use-Cases und Bereitstellung von Anforderungsdaten. 9

AP1 – Analyse der Anforderungen 10

AP2 Systematisierung der Anforderungen & AP-3 Systematisierung der Zusammenhänge 12

AP4 – Validierung der Erkenntnisse 18

Technische Umsetzung Backend 18

Technische Umsetzung Frontend 20

AP5 – Bewertung und Erfolgskontrolle 27

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 34

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 34

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten 34

4. Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Ergebnisverwertung 35

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten 35

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit 35

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen 36

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse 37

III ANHANG 39

Abbildungsverzeichnis 39

Tabellenverzeichnis 40

I KURZE DARSTELLUNG

1. Aufgabenstellung

Die Aufgabenstellung beschreibt den Beitrag der Projektergebnisse zu den förderungsspezifischen Zielen auf Basis des Antrags und des Förderaufrufs.

Das KIZAM Forschungsprojekt ordnet sich über die Aspekte Einsatz von KI, neuartige Entwicklung von Fahrzeugen insbesondere auch im Anforderungsmanagement, dem Startpunkt der Fahrzeugentwicklung. in die förderungs-spezifischen Ziele des BMWi-Programms Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien ein.

Ziel des Projekts KIZAM ist es, den Einsatz von KI-Methoden im AM der Fahrzeugentwicklung zu erforschen, um maschinenlesbare, optimierte und durchgängige Anforderungen in der Fahrzeugentwicklung verfügbar zu machen. Dies geschieht mithilfe angepasster Softwarelösungen und KI-Algorithmen, die auf bestehenden Systemen und Lösungen aufbauen und bei erfolgreichem Projektverlauf schnell und einfach adaptiert werden können. Darüber hinaus erlaubt der Einsatz der KI im AM auch den schnellen und effizienten Abgleich aller relevanten Anforderungsdaten und erkennt Wechselwirkungen auch über Anforderungsebenen, Prozessschnittstellen und Systemgrenzen hinweg, was die Qualität des Anforderungskatalogs deutlich erhöht.

Erste Erfolge in der Nutzung von NLP-Technologien bei BMW zeigen ein großes Potenzial. Um dieses Potenzial auszuschöpfen, müssen die bestehenden Systeme so angepasst werden, dass eine durchgängig Maschinen verarbeitbare Datenbasis zur Verfügung steht. Hier besteht die Herausforderung, dass einzelne Systeme zum Beispiel aufgrund ihrer Komplexität oder der Vertraulichkeit der Daten nur mit hohem technischem Aufwand anzubinden sind. Um alle relevanten Kategorien von Anforderungen abzudecken, werden verschiedene Use-Cases untersucht

-

2. Voraussetzungen, unter denen das Vorhaben durchgeführt wurde

Das Fördervorhaben KIZAM wurde in einem bewährten Verbund aus Automobilhersteller, Komponentenlieferanten und institutioneller Forschung realisiert (siehe Abbildung 1). Die Arbeiten wurden in einem umfassenden, interdisziplinären Ansatz durchgeführt, der Spezialisten aller notwendigen Teilarbeitsgebiete zusammenführte um in gemeinsamen Entwicklungsteam koordiniert die entsprechenden Aufgaben zu bearbeiten.

3. Planung und Ablauf des Vorhabens

Der Projektplanung hat ein wiederholtes Durchlaufen der Arbeitspakete vorgesehen, die auch umgesetzt wurde. Von Meilenstein zu Meilenstein vertiefen sich die Ergebnisse der Arbeitspakete. Von der Verlängerung (kostenneutral) des Projekts profitieren neben der für die Projektzielerreichung essenziellen Validierung der Eignung des Prototyps mit Hilfe ausgewählter Nutzer bei Schaeffler/BMW auch zukünftige Forschungsvorhaben und industrielle Umsetzungen maßgeblich.

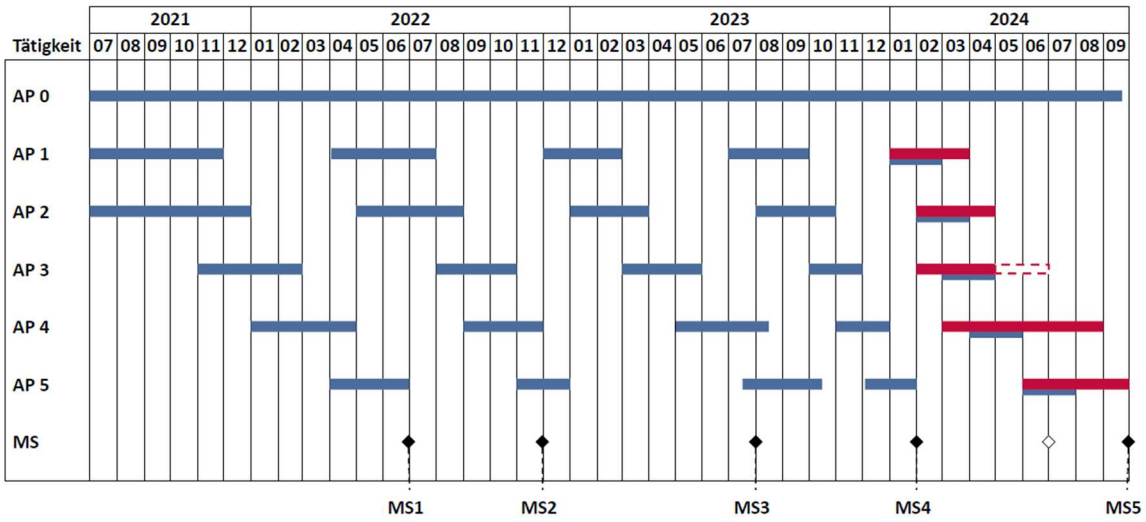


Abbildung 3: Zeitliche Planung des Projektes KIZAM mit markierten Arbeitsumfängen in den einzelnen AP

MS 1 = "Grundlegend assistierte Anforderungsprüfung"
MS 2 = "Teilautomatisierte Anforderungsprüfung"
MS 3 = "Hochautomatisierte Anforderungsprüfung"
MS 4 = "Vollautomatisierte Anforderungsprüfung"
MS 5 = "Intelligente Anforderungsprüfung"

BMW verantwortet in dem KIZAM Forschungsprojekt die Arbeitspakete / Umfänge:

Tabelle 1 BMW verantwortete Arbeitspakete und Arbeitsinhalte

Arbeitspakete	Arbeitsinhalte
AP 0 – Definition der Randbedingungen	Auswahl und Festlegung von Use-Cases und den jeweiligen Zielsetzungen incl. von Datensätzen von Anforderungen (Rohdaten) und

	einer IT-Umgebung für Prototyp in der BMW-IT
AP 5 – Bewertung und Erfolgskontrolle	Potenzialermittlung, Transferplanung und Kosten/Nutzenanalyse anhand der festgelegten Use-Cases

AP1 und AP2 verlaufen parallel mit hoher Abstimmung. KI-gestützt findet dabei der Transfer der Inhalte von AP1 zu AP2 statt, genauso wie innerhalb von AP2, AP3 und die Anwendung in AP4. Der Transfer vom und in das Realsystem stellt dabei einen hohen Realitätsbezug der Forschung sicher.

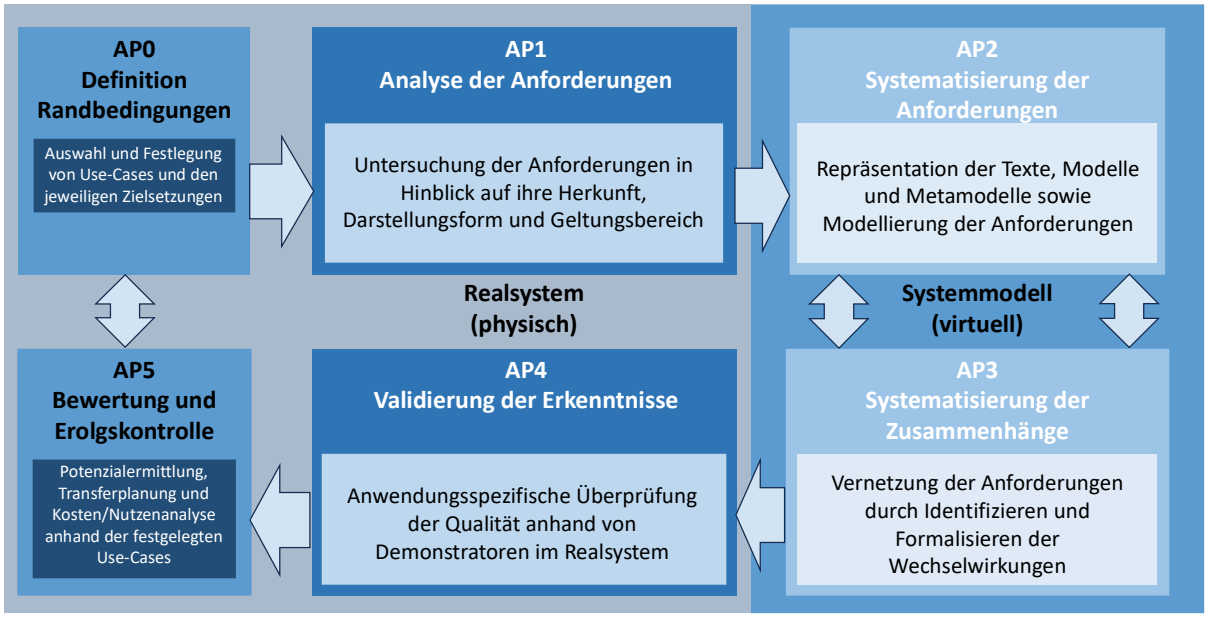


Abbildung 1 Darstellung des Projektablaufs und der einzelnen Arbeitspakete sowie ihrer Zusammenhänge

4. Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn und zu Ende des Projekts.

Zum Zeitpunkt der Antragsstellung für das Förderprojekt KIZAM standen keine KI-gestützten Lösungen zur Prüfung von Anforderungen zur Verfügung. Nicht seitens Providern von Anforderungs-Lifecycle-Management-Systemen (ALM) wie z.B. Codebeamer (Fa.Intland, heute PTC) oder Polarion (Fa. Siemens), noch seitens spezialisierter komplementärer Sofware-Anbieter in Form von KI-gestützten Adapter-Lösungen für ALM Tools.

Seit dem Start des Projekts KIZAM hat die Entwicklung im Bereich der generativen künstlichen Intelligenz (KI) bedeutende Fortschritte gemacht, die insbesondere für die von KIZAM untersuchten Anwendungsfälle von hoher Relevanz sind. Die rasante Entwicklung der Sprachmodelle verbessert deren Fähigkeiten wiederholt schneller, als die Vorgängermodelle in diesem Projekt trainiert werden konnten. Die Industrie hat das enorme Potenzial zur Produktivitätssteigerung durch den Einsatz leistungsfähiger Large Language Models (LLMs) wie OpenAI, LLaMA und anderen schnell erkannt. Nahezu alle größeren Unternehmen haben Machbarkeitsstudien und MVPs durchgeführt, um das Potenzial dieser Technologie besser einschätzen zu können. Dank der einfachen Zugänglichkeit der LLM-Basistechnologien über offene APIs oder Open-Source-Plattformen konnten viele dieser Projekte rasch eine grundsätzliche Machbarkeit bestätigen.

Die verbreitetsten Anwendungsfälle umfassen:

- Qualitätsanalyse einzelner Anforderungen nach formalen Kriterien
- Qualitätsanalyse einzelner Anforderungen nach inhaltlichen Kriterien
- Dekomposition von Anforderungen
- Zusammenfassung von Anforderungen
- Dokumentenvergleich

Trotz dieser ersten Erfolge gibt es derzeit nahezu keine kommerziell eingesetzten Lösungen. Dies liegt vor allem daran, dass bei den Machbarkeitsstudien wesentliche Anforderungen für den professionellen Einsatz unberücksichtigt blieben, die sich im Nachhinein als schwer überwindbar erwiesen haben: Datensicherheit, Skalierbarkeit, Verlässlichkeit und Qualität. Besonders im Hinblick auf die Qualität gibt es große Enttäuschungen. Analysen sind oft unspezifisch, zu lang oder schlichtweg fehlerhaft. Die Ableitung von Modellen aus Anforderungen funktioniert derzeit lediglich bei sehr einfachen Anforderungen, die jedoch in der Praxis kaum Relevanz haben.

Um diese Herausforderungen zu überwinden, sind mehrere Faktoren entscheidend:

- Ein bisher seltenes tiefgehendes Architekturwissen über die Konstruktion leistungsfähiger KI-Systeme
- Zugang zu umfangreichen und relevanten Datenmengen für das Training von LLMs, die speziell auf bestimmte Anwendungsfälle und Domänen zugeschnitten sind. Unternehmen sind jedoch zögerlich, ihre Daten freizugeben.
- Eine umfangreiche Erprobung und Anpassung im produktiven Industrieumfeld. Derzeit liefern untrainierte Lösungen Qualitätsniveaus, die nicht für den produktiven Einsatz geeignet sind.

Diese Herausforderungen haben dazu geführt, dass sich im aktuellen Marktumfeld folgende Tendenzen beobachten lassen:

1. Eine Vielzahl von Start-ups, (Re-Use Company, Semurai, Spread.ai, IQNox, etc.), Beratungsunternehmen (Accenture, IAV, HCL, NTT Data, ITK, etc.) und internen Abteilungen versucht, durch einfache OpenAI-API-Anbindungen, gepaart mit Prompt-Optimierung und Retrieval-Augmented Generation (RAG), isolierte Anwendungsfälle zu lösen. Diese scheitern jedoch häufig an den oben genannten Problemen.

2. Große Softwarehersteller konzentrieren sich auf generische und skalierbare Lösungen wie GitHub Copilot, die in isolierten Bereichen auch ohne spezifisches Training gute Ergebnisse liefern. Allerdings scheint dies nicht auf den spezifischen, qualitätssensitiven Bereich des Anforderungsmanagements und der modellbasierten Entwicklung anwendbar zu sein, weshalb es hier noch keine überzeugenden Lösungen gibt.

Ein Vergleich der KIZAM Projekt Ergebnisse gegenüber ersten kommerziellen Lösungen (z.B. Raiqon AI) ist leider nicht möglich, da keine Ergebnisse öffentlich zugänglich sind. Dies kann im Rahmen des KIMBA Forschungsprojekts angegangen werden. Damit sind nach unserer Kenntnis diese Ergebnisse die ersten öffentlich verfügbaren.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt, dass verschiedene Anbieter eigene "Schätzungen" bezüglich der erzielbaren Produktivitätsgewinne veröffentlichen. Diese Abschätzungen liegen bei >10% über den gesamten Entwicklungsprozess, 35% - 40% im Bereich Anforderungsqualitätssicherung, 40% - 60% bei der Anforderungserstellung, 40% - 50% bei der Testerstellung und bis zu 80% bei Übersetzungstätigkeiten. Die Werte sind in höchstem Maße von den jeweiligen Use-Cases und Datenqualitäten abhängig und - solange nicht anwenderseitig oder unabhängig bestätigt - derzeit noch mit großer Vorsicht zu genießen.

5. Zusammenarbeit mit anderen Stellen oder Firmen außerhalb des Verbundprojektes

Über die Laufzeit des Förderprojektes wurden folgende Drittfirmen beauftragt:

- Aleph Alpha GmbH, Grenzhöfer Weg 36, 69123 Heidelberg
- CSE Aachen GmbH, Campus-Boulevard 79, 52074 Aachen
- HABO Engineering GmbH & Co. KG, Am Anger 26, 83233 Bernau am Chiemsee
- Intland Software GmbH Schelmenwasenstr. 37 70567 Stuttgart, später PTC
- MaibornWolff GmbH, Theresienhöhe 12, 80339 München,
- PTC Parametric Technology GmbH, Edisonstr. 8, 85716 Unterschleissheim
- Rumpe Information and Digitalisation Technologies GmbH, Schönauer Friede 80, 52072 Aachen
- The unbelievable Machine Company GmbH, Grolmanstrasse 40, 10623 Berlin

II EINGEHENDE DARSTELLUNG

1. Erzielte Ergebnisse

AP0 – Bestimmung der Use-Cases und Bereitstellung von Anforderungsdaten.

In der Forschungsarbeit wurden unterschiedliche Use-Cases berücksichtigt mit dem Ziel, einerseits eine Streuung über verschiedene Domänen eines OEMs und deren Unterschiedlichkeit zu haben und andererseits, um übergreifend über die verschiedenen Use-Cases die in KIZAM gewonnenen Erkenntnisse zu bestätigen, und so weit wie möglich eine Allgemeingültigkeit abzuleiten.

Gegenüber der Vorhabensbeschreibung (VHB) wurde die Auswahl der Use-Cases Menge angepasst. Der Use-Case Hochvoltspeicher (HVS) wurde nicht umsetzt, aufgrund äußerst hoher Belastung der verantwortlichen BMW-Anforderungsexperten. Der Use-Case Sitzmechanik wurde durch den Use-Case Exterieur Leuchten (Licht) ersetzt. Bei der Prozessaufnahme im Use-Case Sitzmechanik zeigte sich, dass die zu adressierende Herausforderung nicht durch die in KIZAM zu untersuchenden Methoden bearbeitet werden können. Vorgreifend auf nachfolgende Kapitel kann schon hier festgehalten werden, dass durch die Reduzierung von sechs auf fünf Use-Cases keine deutlich negativen Auswirkungen zu erkennen waren.

Die Datenbereitstellung von Use-Case spezifischen „Rohdaten“ (BMW-Anforderungsdaten im Gegensatz zu weiterverarbeiteten oder auch veredelten Daten) als weiterer Inhalt von AP 0 erfolgte über die Use-Case-Owner in ihrer Rolle als Kundenvertreter innerhalb der KIZAM-Projektmannschaft. Gegenüber einer zentralen Bereitstellung der Daten war immer wieder der Vorteil der Detailkenntnis von Use-Case und Pain Point (=User Story) entscheidend für die geeignete Datenauswahl, oder auch Vorselektion von Daten gegenüber den Anforderungen der Entwickler der technischen Lösungsansätze (TLA).

Wesentlich zum Thema Datenbereitstellung war auch die im Projekt erarbeitete Arbeitsorganisation und IT-Infrastruktur-Aufstellung. So konnte für die Hochschulen ein Arbeiten mit streng vertraulichen Daten ermöglicht werden. Die strengen Auflagen für Compliance und Datensicherheit eines großen Unternehmens in Verbindung mit den entsprechende aufgebauten IT-Infra-Strukturen konnten erfüllt werden. Als Lösung bewährt, hat sich das Aufsetzen einer „Sonder-Arbeitsumgebung“ für Forschung & KIZAM Konsortialpartner innerhalb der BMW-IT, flankiert mit Sonderregelungen, die von dem üblichen Vorgehen zur Zusammenarbeit von BMW mit externen Partnern deutlich abweicht. Diesen Weg zu erarbeiten hat in den ersten anderthalb Jahren Projektarbeit erheblichstem Aufwand erfordert. Die konsequente Verfolgung des Zielanspruchs „Arbeiten mit Produktivdaten“ anstelle einer Abweichung zu „Arbeiten mit vereinfachten oder synthetischen Daten“ erweist sich als

äußerst vorteilhaft. Dies wird dadurch evident, dass die Ergebnisse des KIZAM-Projekts innerhalb kürzester Zeit nach Projektabschluss in eine produktive Umgebung bei BMW implementiert wurden. Die in KIZAM gewählte Vorgehensweise kann für andere Forschungsprojekte als Beispiel dienen und helfen die Zeitaufwände abzuschätzen, die bei der Entwicklung innovativer Methoden entstehen

AP1 – Analyse der Anforderungen

Methodik zur Identifikation von KI-Anwendungsszenarien im Anforderungsmanagementprozesses

Innerhalb des Arbeitspakets wurde eine verwendungsneutrale Methodik zur Analyse eines Anforderungsmanagementprozesses zwecks Identifikation und Detaillierung von KI-Anwendungsszenarien entwickelt. Der erfolgreiche Einsatz von KI im Anforderungsmanagement setzt sowohl technologische als auch organisatorische Voraussetzungen voraus, die sicherstellen, dass die KI-Technologien effektiv und effizient integriert werden. Kernbestandteile sind im Folgenden am Beispiel des Projekts KIZAM dargestellt. Es wurde zunächst eine Prozessanalyse des Anforderungsmanagementprozesses in jedem Use-Case durchgeführt. Innerhalb von interaktiven Workshopformaten wurde dazu zunächst eine Modellierung der Anforderungsmanagementprozesse in den definierten Use-Cases vorgenommen. Dazu wurde die grafische Spezifikationssprache Business Process Model and Notation (BPMN) genutzt. Besonderer Bedeutung wurde dabei der Erfassung von Informationsflüssen und Anforderungsartefakten im Prozessablauf beigemessen. Abbildung 1 zeigt eine exemplarische BPMN-Modellierung. Jeder aufgenommene Prozessschritt hat eine Kennung zur eindeutigen Identifikation erhalten und konnte auf diese Weise im weiteren Verlauf bewertet werden.

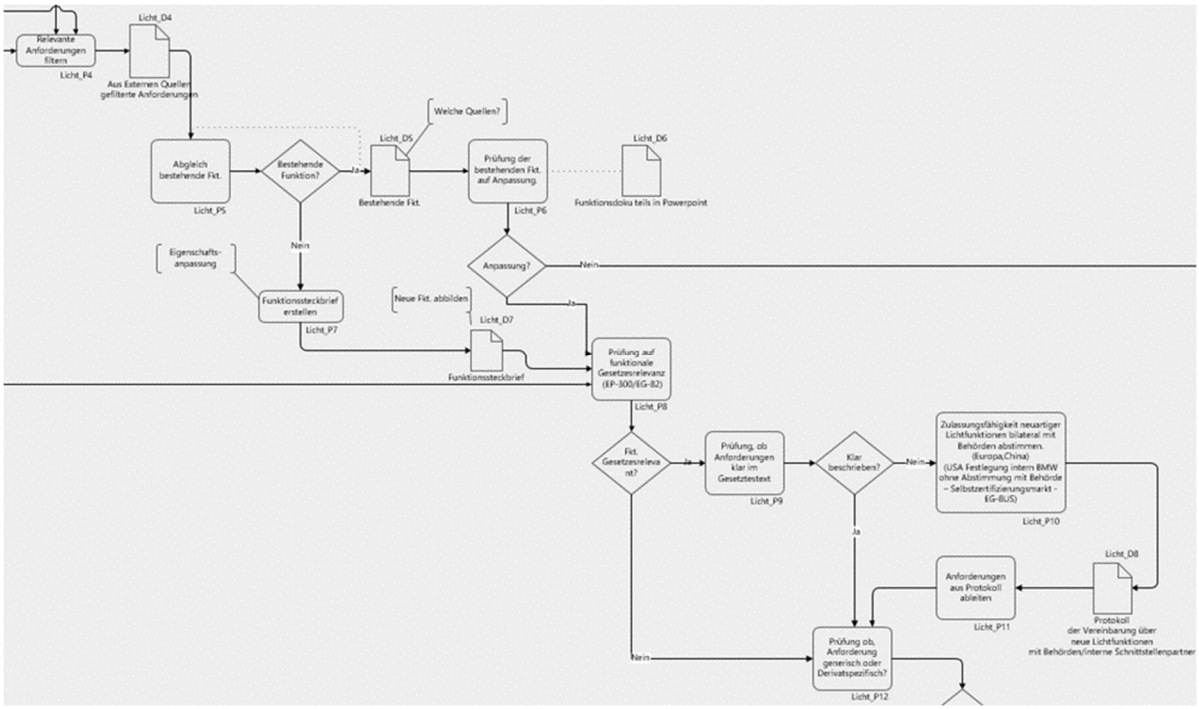


Abbildung 2 Auszug - BPMN Modellierung Use-Case Licht

Mit Hilfe der BPMN-Modellierung wurden Prozessschritte identifiziert, die Verbesserungspotential durch die Integration einer KI-Unterstützung haben. Ferner wurde eine strukturierte Literaturrecherche (SLR) (Webster & Watson, 2002) durchgeführt, um Kriterien für einen KI-Einsatz zur Unterstützung eines Prozessschrittes im Ziele- und Anforderungsmanagement zu identifizieren. Dazu wurden zunächst Kriterien für die funktionale Eignung von KI zur Unterstützung eines Prozessschritts identifiziert (s. Abbildung 3).

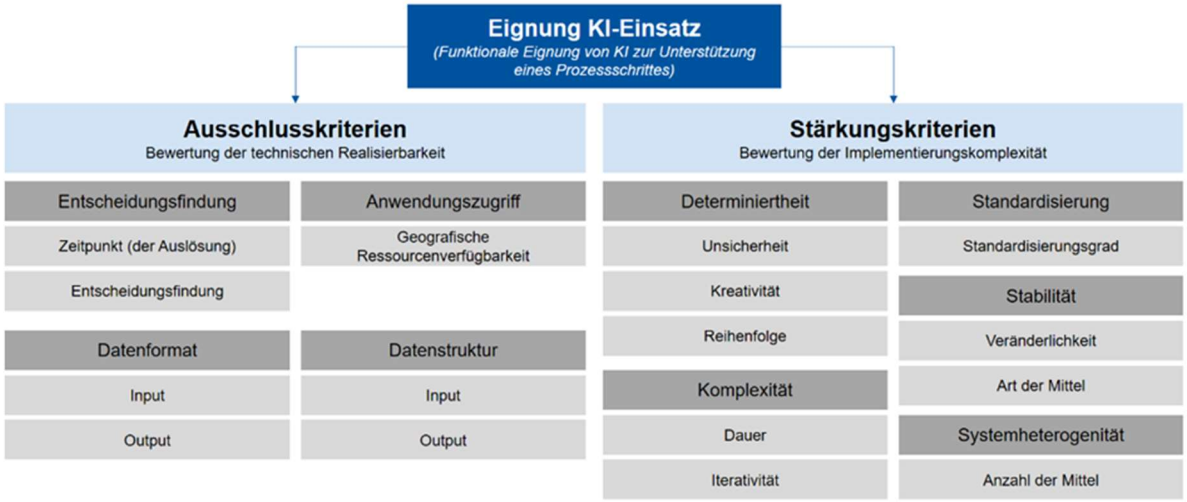


Abbildung 3 Kernergebnisse SLR - Kriterien zur Eignung eines KI-Einsatzes

Auf Basis einer Balanced Scorecard kann anschließend eine Strategy Map (Kaplan & Norton, 2004) entlang der Dimensionen strategische Bedeutung und Verbesserungswürdigkeit erstellt werden, um Hotspots für die mögliche Integration von

KI-Tools im Anforderungsmanagementprozess zu identifizieren und visuell darzustellen. Exemplarisch stellt Abbildung 4 dieses Vorgehen dar.

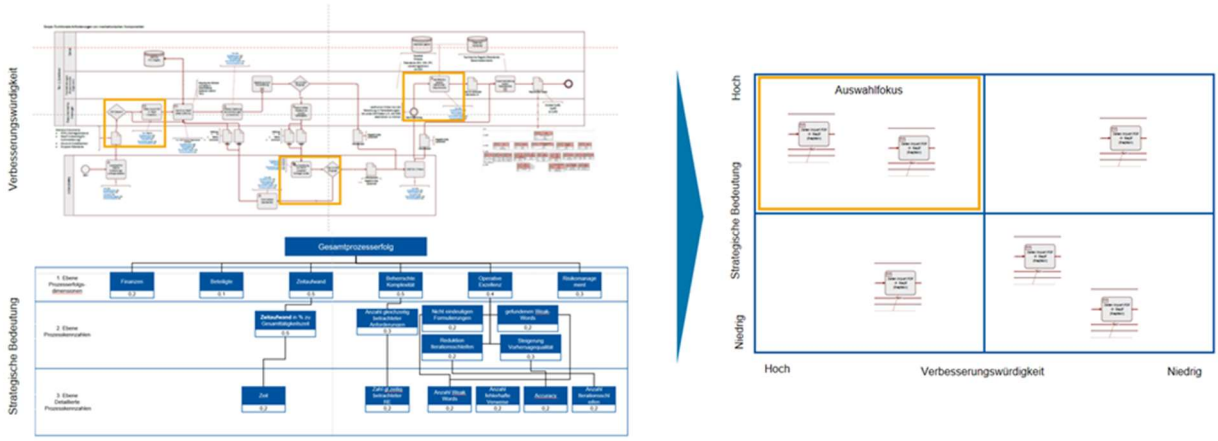


Abbildung 4 Identifikation von Hotspots für Verbesserungsinitiativen durch KI-Einsatz

Zu den identifizierten Hotspots wurden anschließend User Stories (Cohn, 2004) erstellt, um die Prozessschritte weiter zu detaillieren und ein tiefes Verständnis zu gewährleisten. Die User Story ist als eine allgemeine Erklärung eines Features, die aus der Sicht des Endbenutzers verfasst wurde zu verstehen. Der Zweck der User Story ist folglich zu explizieren, wie eine einzelne Aufgabe dem Kunden (hier Anforderungsingenieur) einen bestimmten Wert liefert. Sie stellt die Anforderungen des Kunden an die zu entwickelnde Lösung dar.

AP2 Systematisierung der Anforderungen & AP-3 Systematisierung der Zusammenhänge

TLA 1 Suchen & Finden

Der technische Lösungsansatz „Suchen & Finden“ ermöglicht es, im Kontext stehende Anforderungen (bspw. inhaltlich/semantisch) anhand definierter Suchkriterien aus einem festgelegten Suchraum auszugeben. Der Suchraum stellte im KIZAM-Kontext die Menge der natürlich sprachlichen Anforderungen der BMW Group dar.

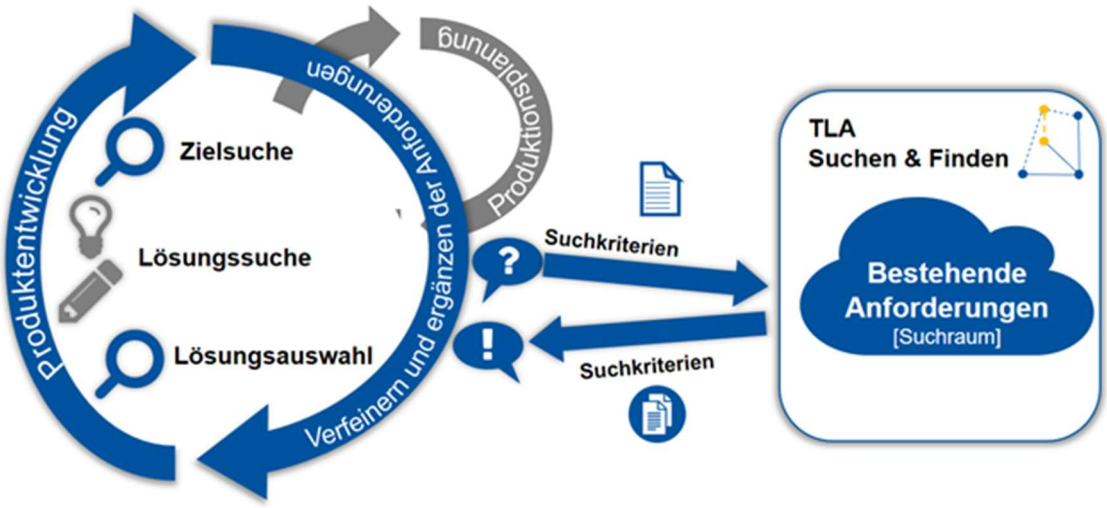
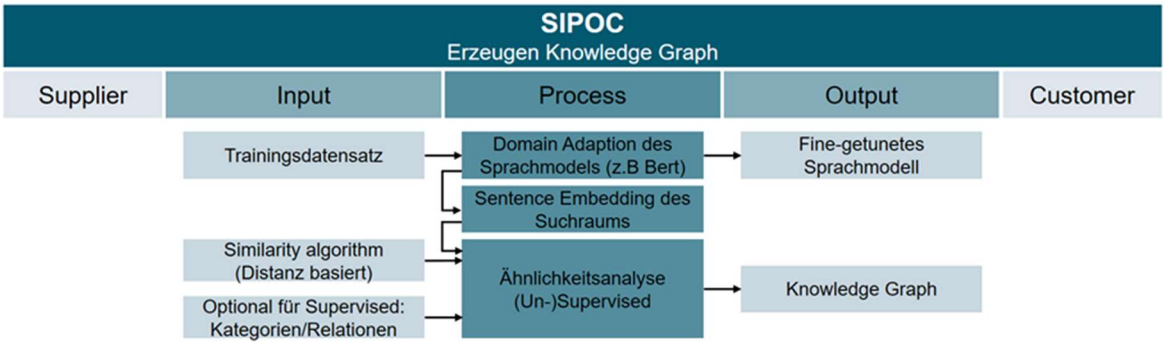


Abbildung 5 Konzept des TLAs Suchen & Finden

Die Ausgangssituation lässt sich abschließend anhand der Formulierung einer User Story aus Sicht des Anforderungsingenieurs spezifizieren:

1. „Als Anforderungsmanager möchte ich Anforderungen finden, die thematisch mit einem Schlagwort / einer initialen Anforderung vernetzt sind und Teil eines Komponentenlastenheftes sind.“
2. „Als Anforderungsmanager möchte ich Anforderungen finden, die thematisch mit einem Schlagwort / einer initialen Anforderung vernetzt sind und Teil eines übergeordneten Lastenheftes / nebengeordneten Lastenheftes sind.“

Im Gegensatz zu einer reinen, nicht kontextbezogenen Stichwortsuche nach einzelnen Worten oder Wortfragmenten („Strg-F“), nutzt der Technische Lösungsansatz (TLA) Suchen & Finden mittels Sentence-/Word Embedding ein Sprachmodell. Hierzu stellen alle Elemente im Suchraum die Embeddings dar. Der Vergleich der Embeddings basiert auf einer Bewertungsmetrik. Die Suche wurde mittels eines Knowledge Graph realisiert, wobei der Graph als Erweiterung des Embedding Space dient. Der Vorteil des TLAs S&F besteht in der schnelleren Suche mit optimierten Graph-Einstiegspunkten durch Embedding Vergleiche. Der Prozess zur Erstellung eines Knowledge Graphen, als eine Systematik, anhand der Informationen gesucht und miteinander verknüpft werden, lässt sich anhand einer SIPOC Analyse verdeutlichen.



3.

Abbildung 6 SIPOC Analyse TLA Suchen & Finden

Ebenfalls wurde eine Pipeline auf Basis der Nutzung einer Architektur für wissensbasierte Systeme entwickelt. Diese Pipeline ist in der folgenden Abbildung 7 dargestellt.

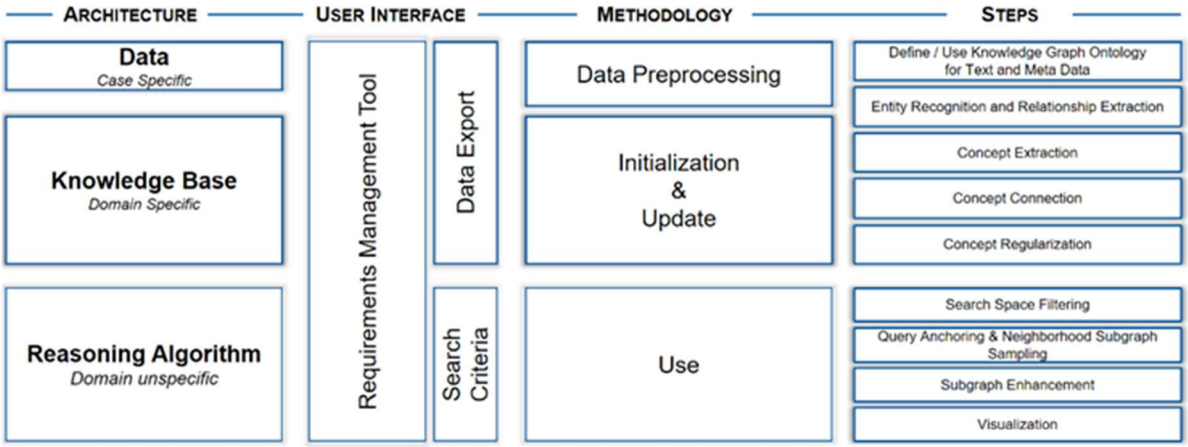


Abbildung 7 Pipeline für wissensbasierte Systeme im KIZAM Kontext

Der Aufbau, die Darstellung und Anwendung des TLA Suchen & Finden basiert dabei auf den beiden Elementen des Knowledge Graph und Concept Map. Der Knowledge Graph wird im KIZAM Kontext dazu verwendet, wie zuvor dargestellt, eine maschinenlesbare Datenbank für Fakten (Triples) darzustellen. Er bildet in Form der Bereitstellung eines definierten Schemas an möglichen Klassen von Knoten („Entities“) und Kanten („Relations“) eine maschinengetriebene Anwendung eines semantischen Verständnisses.

Die Concept Map ist ein für Menschen gedachtes Kommunikationsmittel und beinhaltet freiwählbare und kontextabhängige Knoten („Concepts“) und „Relations“. Die Map ermöglicht Menschen einfach komplexe Themen zu verstehen und kann sowohl manuell als auch automatisiert aufgebaut werden.

Im Folgenden wird der Aufbau des TLAs Suchen und Finden detaillierter beschrieben.

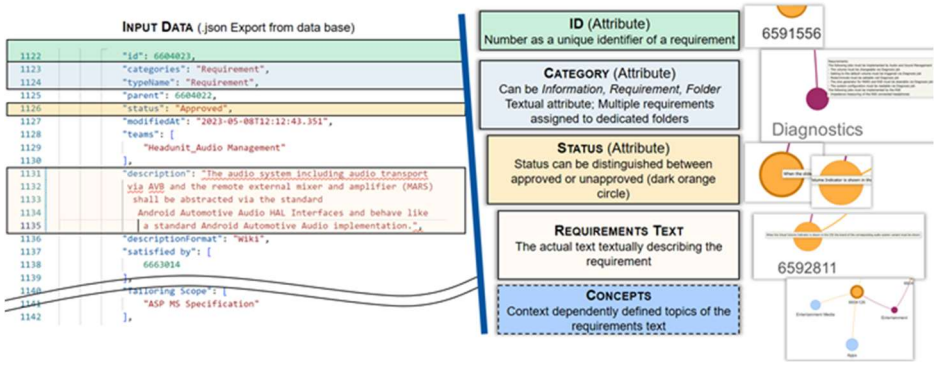


Abbildung 8 Data & Initialization

Innerhalb der Phase Data & Initialization wird eine ID als Attribut in Form einer Nummer, die als eindeutiger Identifikator einer Anforderung fungiert, angelegt. Innerhalb der Rubrik Category werden Attribute angegeben, die die Anforderung spezifizieren. Hier können die Angaben Information, Anforderung, Ordner oder textuelles Attribut hinterlegt werden. Die Rubrik Status kann als Attribut Auskunft darüber erteilen, ob eine Anforderung bestätigt oder nichtbestätigt ist. Die Rubrik Requirements Text gibt den textuellen Inhalt der Anforderung an. Abschließend definiert die Rubrik Concepts den Kontext der Anforderung, in Abhängigkeit des Themas und des Anforderungstextes.

Die GUI, als Interface für die Suchoperation, ist in der folgenden Abbildung 9 dargestellt und systematisiert.

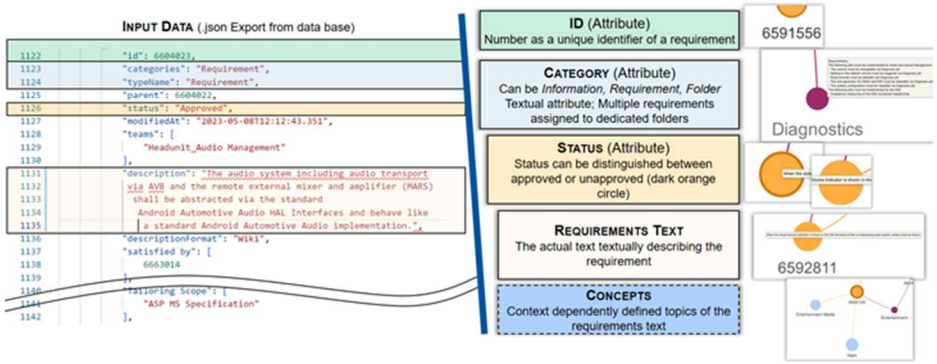


Abbildung 9 GUI - TLA Suchen & Finden

Der entwickelte Graph lokalisiert den Suchbegriff in der Wissensdatenbank mithilfe semantischer Abhängigkeiten. Dazu werden Concept Maps und Knowledge Graphen überlagert dargestellt, um Interdependenzen zu visualisieren und den Anforderungsingenieur im Entwicklungsprozess zu unterstützen.

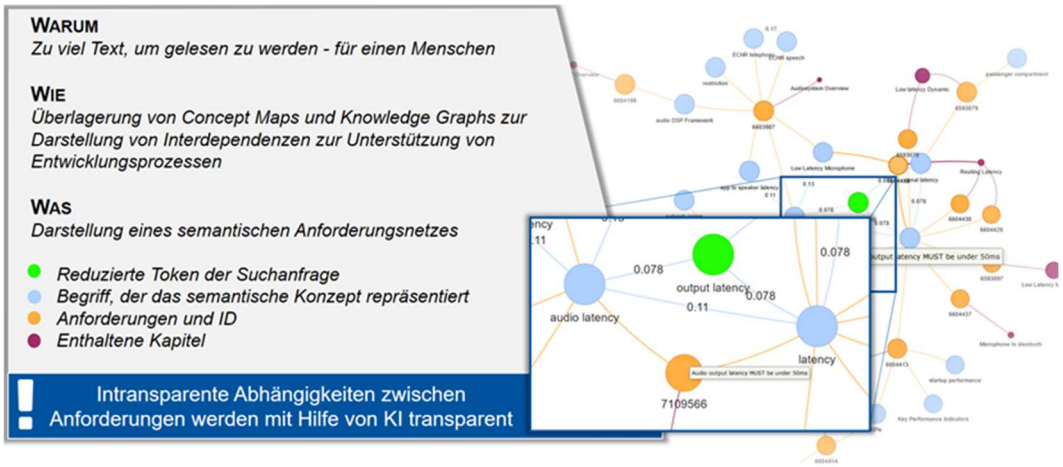


Abbildung 10 Konzept und Anwendung des TLAs Suchen & Finden

TLA 2 Formalisieren & Prüfen

Im Rahmen des TLA Formalisieren & Prüfen wurde eine End-to-End-Toolchain entwickelt, welche auf Basis einer gegebenen Anforderungsspezifikation eine automatisierte Prüfung hinsichtlich Konsistenz und Redundanzfreiheit dieser durchführt. Die Methodik der entwickelten Toolchain wird in Abbildung 11 dargestellt und umfasst drei Hauptkomponenten.

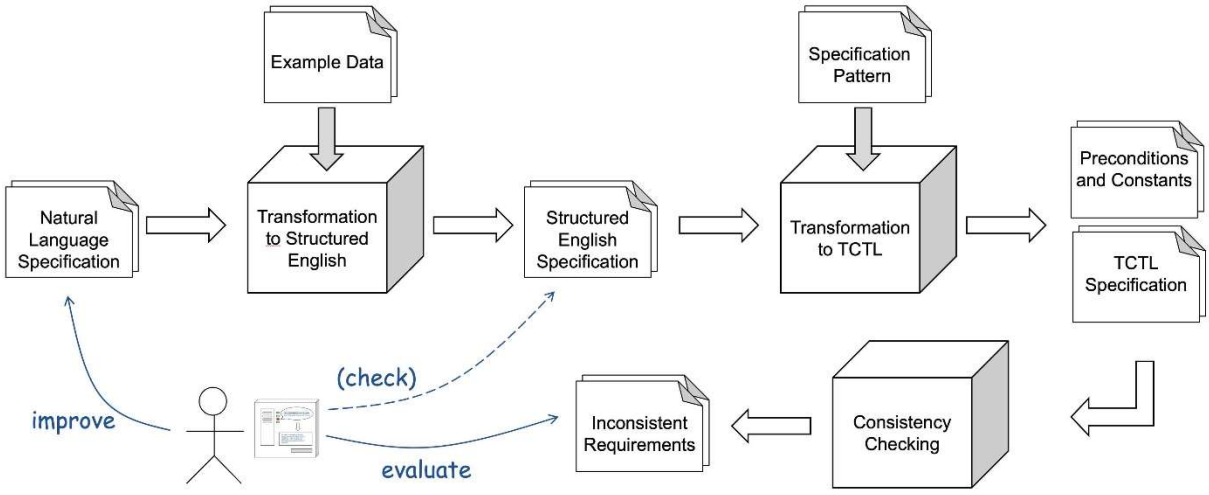


Abbildung 11 Übersicht des TLAs Formalisieren & Prüfen

Die erste Komponente, "Transformation in Structured English", übersetzt die in natürlicher Sprache vorliegende Anforderungsspezifikation in die Patternsprache Structured English. Im Rahmen dieses Transformationsschrittes findet eine neu entwickelte KI basierte Formalisierungsmethode Anwendung. Für die Übersetzung wird das Sprachmodell GPT-4 von OpenAI verwendet. Die entwickelte Übersetzungsmethodik macht sich hierbei besonders die Few-Shot-Lernfähigkeiten von LLMs zunutze und unterteilt zudem den Übersetzungsprozess in drei aufeinanderfolgende Schritte, welche eine Anforderung in natürlicher Sprache interativ in Structured Englisch transformieren. Die Realisierung dieser Transformation

erfordert die Bereitstellung von Beispieldaten, welche die einzelnen Transformationsschritte sowie die zu übersetzenden Anforderungen in natürlicher Sprache und Structured English umfassen. Zu diesem Zweck wurde ein Datensatz generiert, der die Anforderungsstrukturen und deren Übersetzungsschritte bereithält.

Die zweite Komponente, "Transformation in TCTL", kodiert die resultierende Spezifikation in Structured English in TCTL-Formeln und extrahiert die Vorbedingungen und Konstanten der Anforderungen. Die Generierung der TCTL-Formeln erfolgt durch eine automatisierte Sprachtransformation von Structured English zu TCTL.

Die dritte Komponente, „Konsistenzprüfung“, überprüft die Konsistenz und Redundanzfreiheit der logischen Formeln, indem Szenarien aus den Voraussetzungen generiert werden. Szenarien sind Mengen von Formeln, die aus der Spezifikation abgeleitet werden. Jedes Szenario repräsentiert mögliche Situationen, die gemäß der Spezifikation auftreten können, und wird ebenfalls in TCTL-Logik kodiert. Die TCTL-Spezifikation wird anschließend gegen jedes Szenario geprüft. Dazu werden das aktuelle Szenario und die TCTL-Spezifikation in ein SMT-Skript transformiert, das von einem Solver auf Inkonsistenzen und Redundanzen geprüft werden kann. Somit identifiziert und liefert der Konsistenzprüfungsprozess bestehende Inkonsistenzen und Redundanzen.

Im Falle von gefundenen Inkonsistenzen oder Redundanzen korrigiert der Benutzer in einem iterativen Verfahren die Inkonsistenzen in der ursprünglichen Anforderungsspezifikation in natürlicher Sprache oder in der Spezifikation in Strukturiertem Englisch und führt die Prüfung erneut durch.

TLA 3 MBSE

Im TLA „MBSE“ wurde untersucht, wie Systemmodelle genutzt werden können, um Anforderungskonflikte im Systemkontext modellbasiert zu identifizieren und durch Variationen von Lösungsansätzen zu beheben. Darüber hinaus wurde ein systematischer Ansatz entwickelt, der aufzeigt, wie Anforderungstexte durch die Zerlegung in Satzbausteine schrittweise in MBSE-Systemmodelle überführt werden können.

Im Rahmen des TLAs wurden Demonstrator-Systemmodelle für die Use-Cases Exterieur Leuchten und Türen erstellt, die unter Verwendung der entwickelten methodischen Ansätze durchgängig von den Anforderungen bis hin zu den relevanten Systemelementen modelliert wurden. Diese Modelle dienten zur Überprüfung der Anforderungserfüllung. Dabei konnte gezeigt werden, dass die grundlegenden Wechselwirkungen erfolgreich abgebildet wurden, was eine Grundlage für weiterführende Analysen der Auswirkungen schuf.

Im Verlauf des Projekts wurde die Modellierung von Anforderungsketten, Lösungsvarianten und regionsspezifischen Regularien weiter vertieft. Besonders im Use-Case Exterieur Leuchten wurden regions- und variantenspezifische

Anforderungen modelliert, die sich auf unterschiedliche Märkte und regulatorische Vorgaben beziehen. Dies verdeutlicht, wie Anforderungen in Abhängigkeit von regionalen Normen angepasst und in das Systemmodell integriert werden können.

Für den Use-Case Exterieur Leuchten wurde ein Algorithmus entwickelt, der Farbwertanteile in Scheinwerfern überprüft. Dieser Algorithmus validiert die Einhaltung von Farbraumvorgaben gemäß den Anforderungen der UN-ECE-R48 und ermöglicht eine virtuelle Überprüfung dieser Anforderungen.

Darüber hinaus wurde ein Verfahren zur systematischen Validierung geometrischer Anforderungen erarbeitet. Dazu zählen beispielsweise Abstands- und Abstrahlwinkelvorgaben für Scheinwerfer, die anhand von CAD-Modellen geprüft werden. Dies schafft eine direkte Verbindung zwischen geometrischen Anforderungen und der Systemimplementierung

AP4 – Validierung der Erkenntnisse

Technische Umsetzung Backend

TLA, Widget

Die Schnittstellen über REST-API zwischen Codebeamer, Widget und Backend wurden zwischen Lösch &Partner und dem SE für den TLA „Formalisieren & Prüfen“ und dem WZL für den TLA “Suchen und Finden” durchgesprochen und spezifiziert. Das folgende Bild veranschaulicht, welche Informationen zwischen Frontend und Backend des Widgets ausgetauscht werden und wo sich die Schnittstellen (Endpoints) der TLAs befinden:

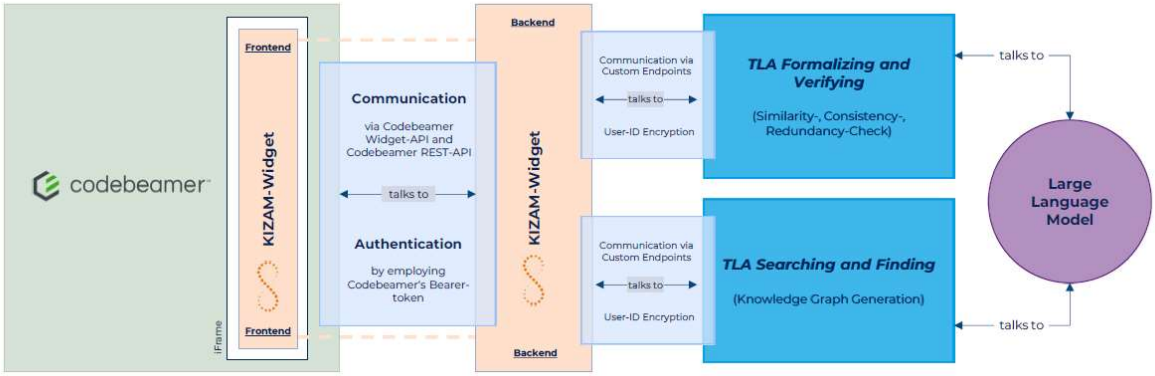


Abbildung 12 Gesamtübersicht KIZAM Front- und Backend

Widget, industrielle Randbedingungen (Datensicherheit und Zugriffsrechte), IT-technische Infrastruktur und Compliance

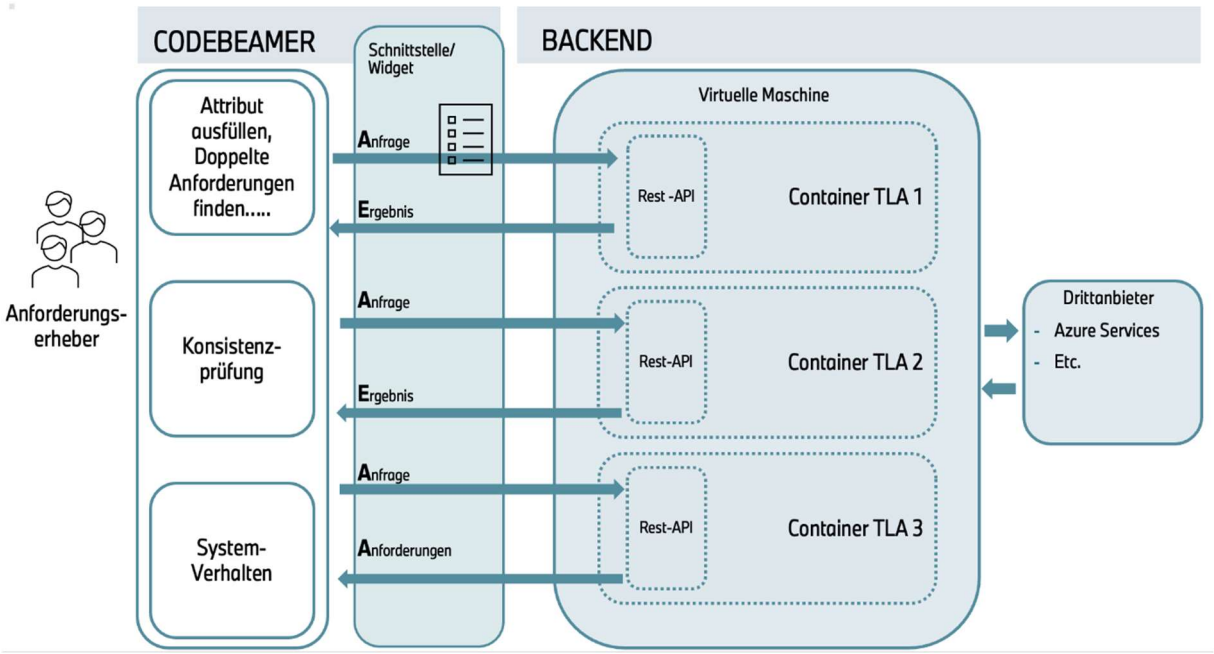


Abbildung 13 Architekturbild Gesamtdeployment Azure openAI, AWS, Codebeamer Test

In der Backend-Architektur wird auf eine hochmoderne und skalierbare Infrastruktur gesetzt, die auf einer Amazon Web Services (AWS) Elastic Compute Cloud (EC2) Instanz basiert. Die EC2-Instanz ist in einem privaten Virtual Private Cloud (VPC) Netzwerk von BMW implementiert, um die Sicherheit und Isolation der Ressourcen zu gewährleisten. Innerhalb dieser EC2-Instanz werden zwei Docker-Container betrieben, in denen unsere speziell entwickelten TLA-Applikationen laufen.

Die TLA-Applikationen kommunizieren über definierte Application Programming Interfaces (APIs) mit externen Systemen, um eine reibungslose und effiziente Funktionsweise sicherzustellen. Eines dieser externen Systeme ist Codebeamer Darüber hinaus interagieren die TLA-Applikationen mit einem separaten Azure Cloud Room, um auf fortschrittliche Sprachmodelle von OpenAI zuzugreifen. Dieser Aspekt der Architektur ermöglicht es, dass unsere Anwendungen von den neuesten Erkenntnissen und Fähigkeiten im Bereich der künstlichen Intelligenz profitieren, insbesondere von den Sprachverarbeitungsfähigkeiten, die für die Interaktion mit Benutzern und die Verarbeitung natürlicher Sprache von entscheidender Bedeutung sind.
Die Verwendung von APIs als Kommunikationsmittel zwischen den Diensten gewährleistet eine hohe Modularität und Flexibilität der Systemarchitektur. Dadurch können Änderungen oder Erweiterungen an einem Teil des Systems vorgenommen werden, ohne die restliche Architektur zu beeinträchtigen. Diese Herangehensweise sorgt für eine zukunftssichere und erweiterbare Backend-Architektur, die den Anforderungen eines dynamischen Forschungsumfelds gerecht wird.

Technische Umsetzung Frontend

Die Grundfunktionalitäten des Widgets wurden mithilfe von Java Standard Library (*widget prototype development*) umgesetzt. Das Frontend wurde mit HTML, CSS und Javascript realisiert. Später wurde mit BMW das passende Framework für das Widget besprochen. Da das Widget zuerst in Java Standard Library programmiert worden war, war es notwendig, verschiedene Frameworks (Angular, Micronaut, Quarkus, Java Standard Library) in Betracht zu ziehen. Die Auswahl des passenden Frameworks hat gravierende Auswirkungen auf Kosten, Performance, Skalierbarkeit. Für komplexe User Interfaces ist eine Frontend-Framework wie Angular erforderlich. Im Falle der KIZAM-UI zeigte sich, dass Quarkus (mit einfacher HTML, CSS, JavaScript) ausreichend war. Die Entscheidung fiel letztlich auf ein *lightweight widget* in Quarkus. Am Aussehen hatte sich nichts geändert, aber im Hintergrund hat ein *refactoring* des Widgets stattgefunden. Als Verortung für das Widget-Frontend in Codebeamer wurde das Wiki-Dashboard ausgewählt. Die Schaltfläche mit Tooltip “Add widget” zeigt, wie das Widget für das KIZAM-Projekt letztendlich für die User sichtbar und nutzbar gemacht wurde:

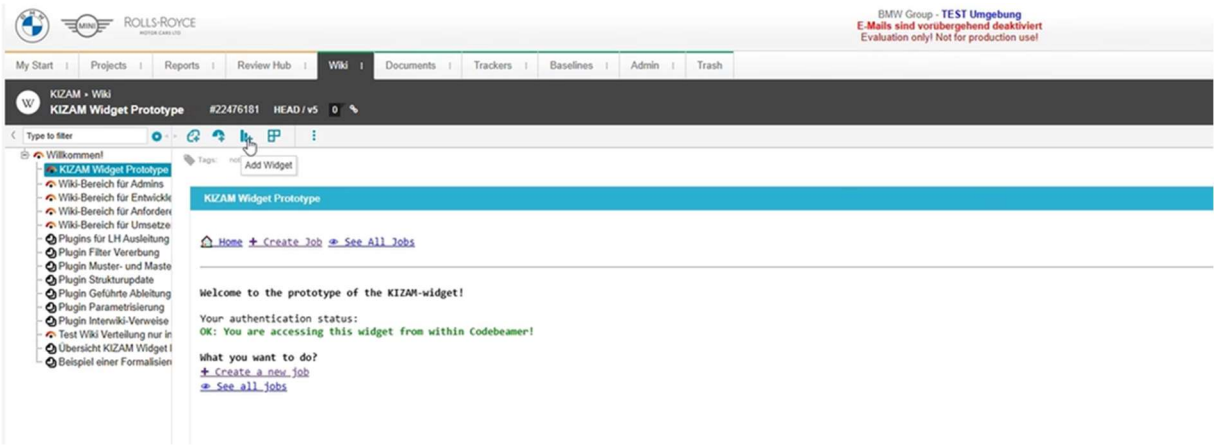


Abbildung 14 Das Widget im Wiki-Dashboard des KIZAM-Projekts in Codebeamer

AP 4 – nachträglich erweitertes Widget

Als vorbereitender Schritt für die technische Implementierung der KIZAM-Lösungen im Produktivsystem wurde RELYZE - eine bestehende BMW-eigene Anwendung (vorerst ohne KI) - im ersten Halbjahr 2023 von Lösch & Partner-DevOps über eine Widget-Schnittstelle in der BMW-TEST-Umgebung an das Tool Codebeamer angebunden. Die RELYZE-Integration über das sogenannte „RELYZE-Widget“ diente als Vorlage und Ausgangspunkt für die Integration der KIZAM-TLAs.

Da das RELYZE-Widget vollumfänglich vom Hersteller des Tools Codebeamer, der Firma PTC programmiert worden war, war vorerst eine eingehende Untersuchung der Integrationsschnittstelle in Bezug auf Datenfluss zwischen Software, API, Backend-API sowie auf den von PTC zur Verfügung gestellten Code erforderlich. Für KIZAM

wurde der Datenfluss und die Kommunikation zwischen den einzelnen Komponenten wie im Bild dargestellt festgelegt:

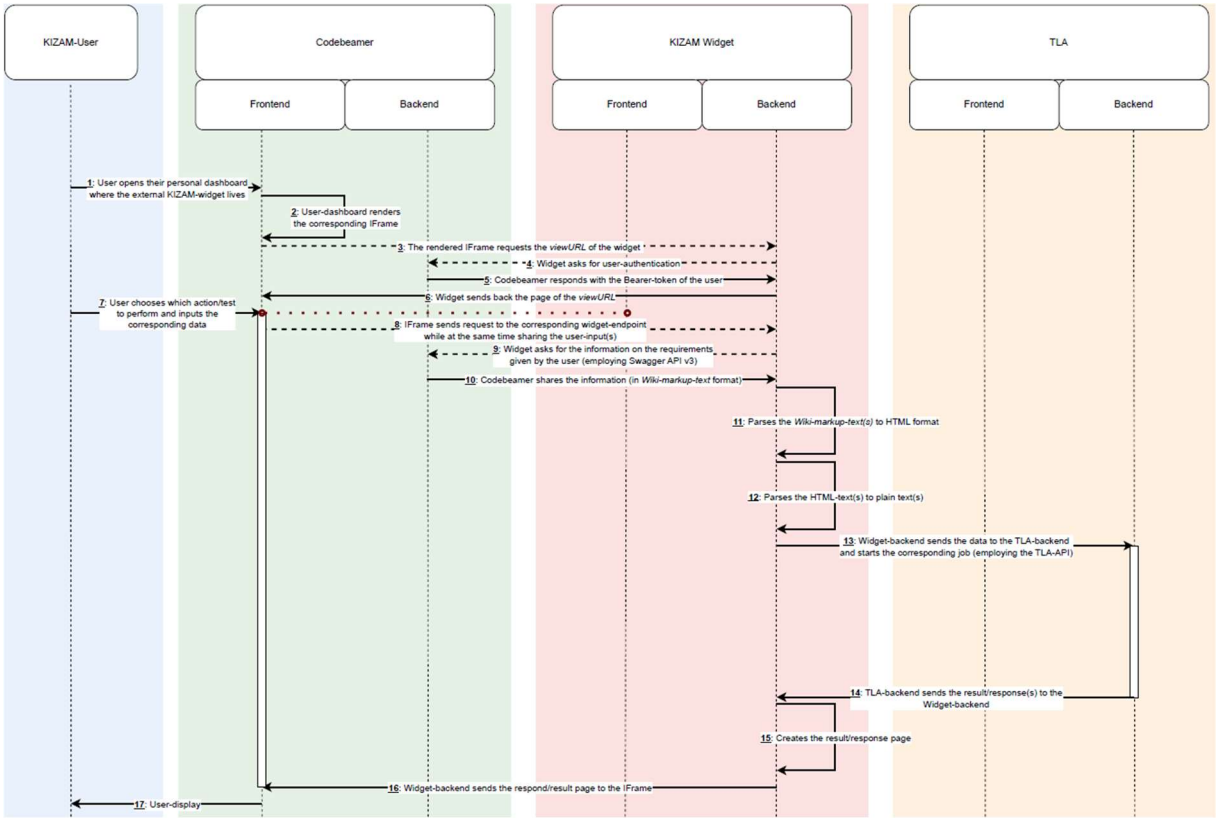


Abbildung 15 Sequenzdiagramm für die Interaktion zwischen Benutzer, Codebeamer, Widget, TLA

Die Schnittstellen (REST-API) zwischen Software-Widget-Backend und dem TLA „Formalisieren & Prüfen“ wurden zwischen den verschiedenen Stakeholdern vereinbart, geführt von Lösch&Partner. Diese Vereinbarungen umfassten Input und Output für die folgenden Einzelfunktionalitäten:

- Prüfung auf Konsistenz,
- Prüfung auf Ähnlichkeit,
- Prüfung auf Redundanz,
- Anfrage nach Formalisierung nach Structured English,
- Korrektur von Formalisierungen in Structured English.

TLA Formalisieren und Prüfen

Inputs und Outputs

Der TLA *Formalisieren und Prüfen* hat fünf verschiedene Funktionalitäten bzw. Schnittstellen:

Summary	Input	Output	Bemerkung
Prüfung auf Konsistenz *Gibt es Widersprüche in einer Menge von Anforderungen?*	Eine Menge M von Anforderungen	Eine Teilmenge $S \subseteq M$ von inkonsistenten Anforderungen	Der User *sollte* die Anforderungen der Ergebnismenge S korrigieren und dann nochmal eine neue Inkonsistenz-Prüfung durchführen. Es ist geplant, dass der TLA zusätzlich auch ein (menschlich verständliches) Gegenbeispiel liefert, das die Inkonsistenz der Menge S zeigt.
Prüfung auf Ähnlichkeit *Wie ähnlich ist eine Anforderung zu den Anforderungen einer Menge?*	Eine Anforderung A und eine Menge M von Anforderungen	Nach Ähnlichkeit sortierte Liste der Anforderungen aus M	Die Ähnlichkeit wird hier als eine Zahl zwischen 0 und 1 dargestellt, wobei die Zahl 0 keine Ähnlichkeit bedeutet. Man kann hier einen Threshold einführen, um die Anzahl der zurückgegebenen Anforderungen einzugrenzen; zum Beispiel alles, was unter $0,3$ ist, wird nicht ausgegeben. Nach der Durchführung dieser Prüfung muss der User trotzdem nochmal die ähnlichsten Anforderungen analysieren, um die Ähnlichkeit menschlich zu bestätigen.

Abbildung 16 Vereinbarungen bzgl. Input und Output für die Prüfung auf Konsistenz und Ähnlichkeit

Resümees aus Evaluationsdurchlauf

Resümee TLA Suchen und Finden:

Als Testfall wurde die Zuordnung von externen Softwareanforderungen eines alternativen Betriebssystems für ein Steuergerät im Mediensystem genutzt. Durch die implementierte Lösung ist es möglich, im Anforderungsmanagementsystem in der Sammlung der internen Anforderungen grafisch unterstützt nach ähnlichen und zusammenhängenden Anforderungen zu suchen.

Funktion des TLA Suchen & Finden

Anforderungsmanager müssen mit einer hohen Zahl (mehrere Tausend) von Anforderungen umgehen können. Für den Umgang mit diesen Mengen sind individuelle Methoden etabliert. Der in KIZAM entwickelte TLA Suchen & Finden (S&F) soll Anforderungsmanager hier im Prozess gezielt entlasten. S&F ermöglicht es, alle für diesen Use-Case in Codebeamer hinterlegten Anforderungen (ca. 2.500 Einzelanforderungen) gleichzeitig in den Betrachtungsprozess miteinzubeziehen. Basierend auf einem Set von untersuchten Anforderungen wird eine visuelle erkundbare Oberfläche erzeugt, die sinngemäße Zusammenhänge zwischen Anforderungen aufzeigt. Im Zuge der Evaluation ergab sich keine Limitierung der betrachtbaren Anforderungsanzahl durch den TLA.

Funktion des TLA Formalisieren & Prüfen

Anforderungsmanager müssen für eine hohe Konsistenz und Qualität der Anforderungen ihrer betreuten Entwicklungsumfänge Rechnung tragen. Der TLA

Formalisieren & Prüfen (F&P) soll bei der Suche nach Ähnlichkeiten zwischen Anforderungen und bei der Suche von Inkonsistenzen und Redundanzen unterstützen und damit Anforderungsmanager bei einer qualitätsentscheidenden Tätigkeit unterstützen.

Zum Zeitpunkt der Evaluation war die Funktionalität des TLAs F&P nicht uneingeschränkt für alle Anforderungen gegeben. So waren Anforderungen mit Sonderzeichen nicht parsbar, synonyme Anforderungen wurden darüber hinaus nicht als redundant erkannt.

Methode zur Evaluation des TLA Suchen & Finden und Formalisieren & Prüfen

Die Evaluation des Widgets, das S&F und F&P in der Codebeamer Umgebung abbildet, und der damit dargestellten Funktionsumfänge geschah in einem A/B-Vergleich (A – Aufgabe ohne Widget / B – Aufgabe mit Widget) im Erstkontakt. Die Fachexpertinnen seitens BMW und Schaeffler (folgend Anforderungsmanager) wurden hierzu von den Use-Case-Ownern dazu aufgefordert, die Prozessschritte durchzuführen, in denen das Widget unterstützen soll. Hierzu wurde von den Use-Case-Ownern ein vorbereitetes Set an Anforderungen zur Verfügung gestellt.

Ergebnisse

Die Ergebnisse der Evaluation sind auf den nächsten Abbildungen (49-53) dargestellt. Zu einigen Bewertungen sind aussagekräftige Zitate aus den Interviews ergänzt. Das Gesamtergebnis stellt einen kumulierten Gesamteindruck der Bewertung des TLA im Use-Case dar. Nach einer Betrachtung der einzelnen Use-Cases in den entwickelten Dashboards erfolgt eine übergreifende Bewertung des TLA.

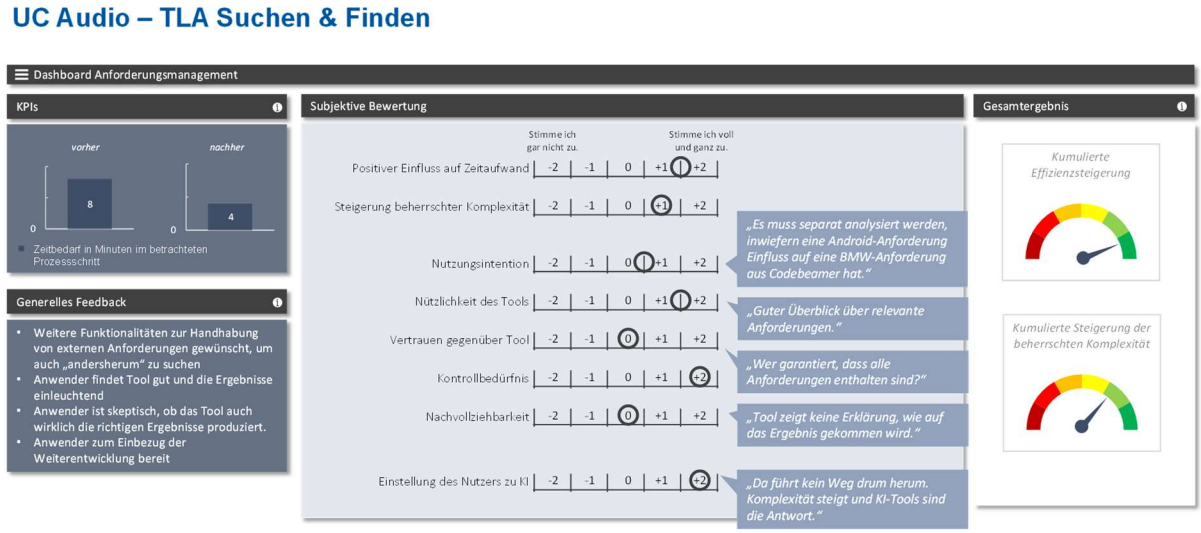


Abbildung 17: Evaluationsdashboard zum Use-Case Audio

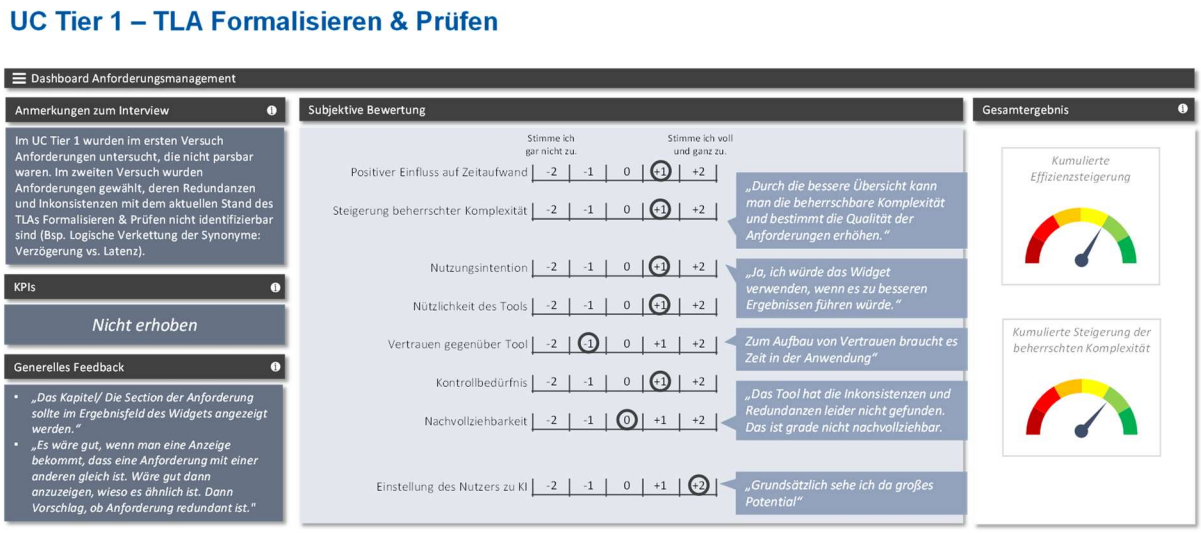


Abbildung 18: Evaluationsdashboard zum Use-Case Tier 1

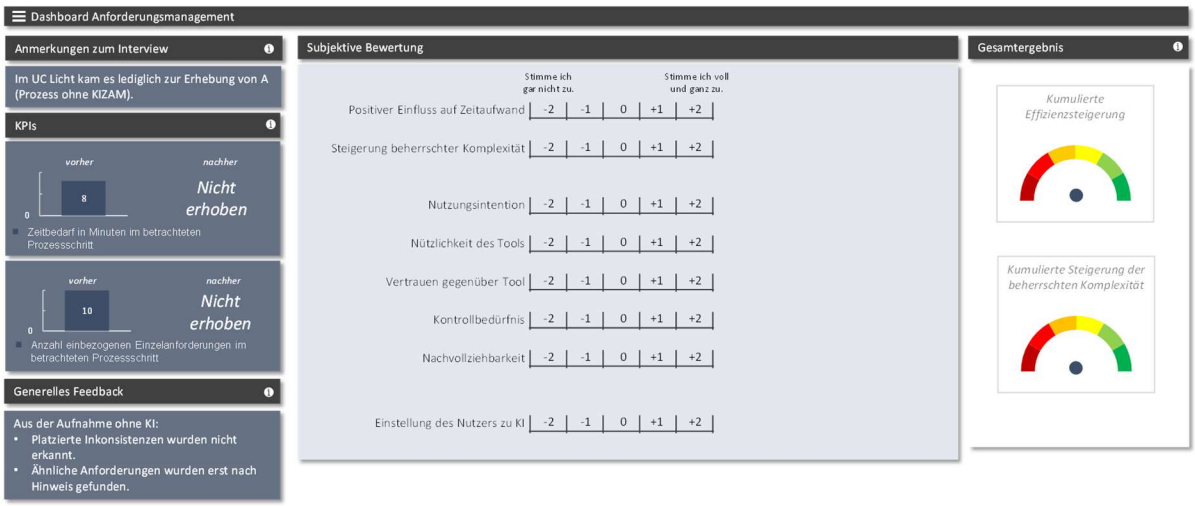


Abbildung 19: Evaluationsdashboard zum Use-Case Licht

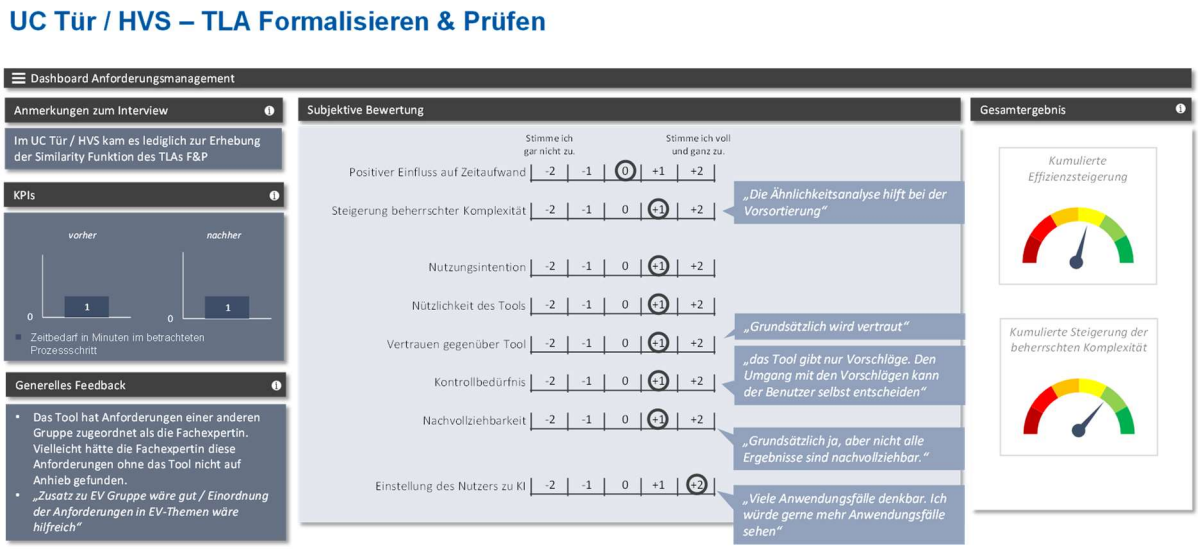


Abbildung 20: Evaluationsdashboard zum Use-Case Tür / HVS

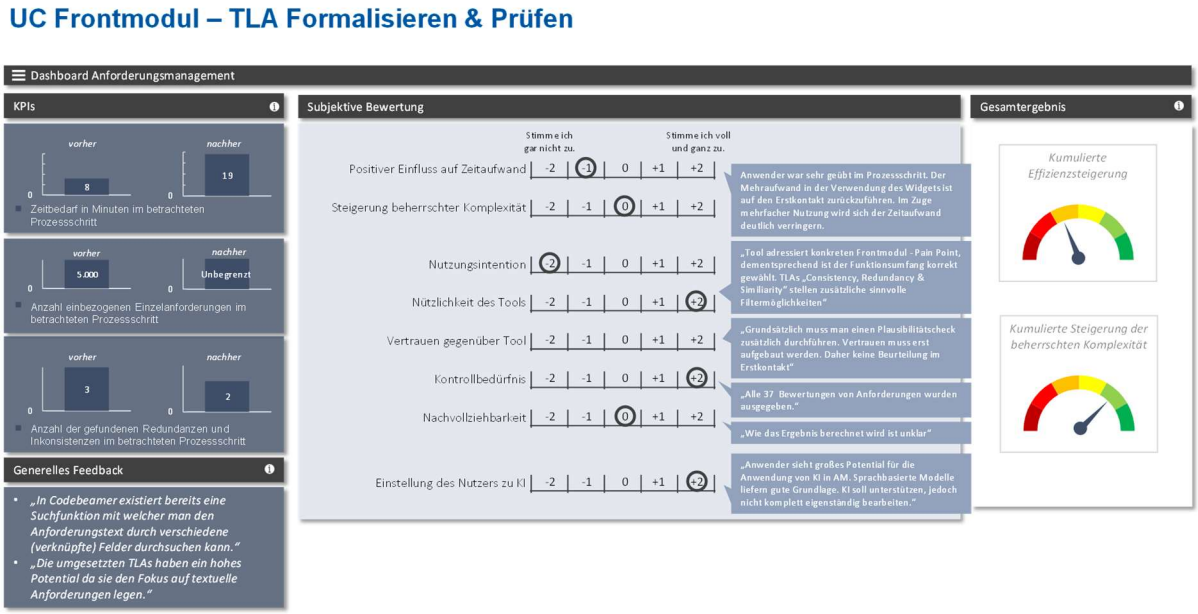


Abbildung 21: Evaluationsdashboard zum Use-Case Frontmodul

Gesamtresümee TLA Suchen & Finden

KPIs & Kennzahlen

Durch den TLA Suchen & Finden konnte der Grad der beherrschbaren Komplexität erhöht werden.

Außerdem wurde die für den betrachteten Prozessschritt im Use-Case Audio benötigte Zeit durch den TLA S&F auf die Hälfte reduziert.

Subjektivbewertung

In der subjektiven Bewertung der Anwendung des TLAs im Erstkontakt konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

Es gibt eine leicht positive Bewertung bzgl. der Nutzungsintention. Es werden vom Fachexperten weitere Funktionsumfänge für den TLA gewünscht. Hier: Einbezug von Android Anforderungen im Tracker.

Die Nützlichkeit des Tools wurde stark positiv bewertet. Das Tool gibt einen guten Überblick über möglich relevante Anforderungen. Die erzeugte Auflistung ergibt Sinn. Eine Kapitelzuordnung und eine Reduktion der im Graphen dargestellten Anforderungen wird gewünscht.

Das Vertrauen gegenüber dem Tool wird neutral bewertet. Es wurden teils andere Ergebnisse erwartet. Es herrscht eine Unsicherheit bzgl. der vollumfänglichen Darstellung relevanter Anforderungen.

Das Bedürfnis nach Kontrolle wird stark positiv bewertet. Die Bedienbarkeit des Widgets und die Integration in Codebeamer wird hervorgehoben.

Die Nachvollziehbarkeit des Tools wird neutral bewertet. Eine Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse ist für den Fachexperten aufgrund fehlender Erklärung zur Vorgehensweise nicht gegeben.

Die Einstellung des Fachexperten zur Anwendung von künstlicher Intelligenz im Anforderungsmanagement ist sehr positiv. Um KI führe kein Weg herum, es müsse genutzt werden. Die KI-Tools seien eine Antwort auf die steigende Komplexität.

Gesamtresümee TLA Formalisieren & Prüfen

KPIs & Kennzahlen

Im Erstkontakt ohne Schulung oder Einweisung zwischen Anforderungsmanager und Widget konnte der Zeitaufwand bei der Suche nach Ähnlichkeiten (Similarity) und der Prüfung auf Inkonsistenzen und Redundanzen durch den TLA Formalisieren & Prüfen vorerst nicht reduziert werden. Aufgrund der hohen Relevanz der Erfassung einer hohen Anzahl von Anforderungen sind bereits strukturierte Vorgehensweisen der Anforderungsmanager etabliert, diese entsprechend geübt. Bei mehrfacher Nutzung wird eine Reduktion der Durchlaufzeit erwartet.

Einer Steigerung der Qualität durch den TLA F&P stimmten die Anforderungsmanager eher nicht zu. Es konnten durch F&P automatisiert Redundanzen und Inkonsistenzen in einem Anforderungsset aufgefunden werden. Eine manuelle Suche nach diesen Mängeln ergab eine höhere Erfolgsquote beim Auffinden von Mängeln als die automatisierte Suche.

Die Möglichkeit, durch den TLA F&P eine unbegrenzte Anzahl an Anforderungen gleichzeitig in den Prozess miteinzubeziehen, wurde begrüßt und kann die beherrschbare Komplexität erhöhen. Der implementierte TLA hilft durch den „Similarity-Check“ bei der Vorsortierung.

Subjektivbewertung

In der subjektiven Bewertung der Anwendung des TLAs im Erstkontakt konnten folgende Ergebnisse erzielt werden:

Bei der Frage nach der Nutzungsintention kam es durch die Anforderungsmanager zu einer neutralen Bewertung. Einschränkungen in der Intention entstanden durch den Bedarf nach besseren Ergebnissen und die Existenz bereits bestehender Funktionen, mit denen eine systematische Betrachtung eines Anforderungssets möglich ist. Außerdem kam der Wunsch nach einer thematischen Gruppierung durch den TLA auf.

Die Nützlichkeit des Tools wurde von den Anforderungsmanager einvernehmlich bestätigt. Sie stimmten der Nützlichkeit (teils voll und ganz) zu. Das Tool betrachte konkrete Pain Points der Anforderungsmanager und adressiere diese entsprechend sinnvoll. Es kam der Wunsch nach weiteren Funktionen auf (Anzeige des Kapitels der Anforderung).

Bezüglich des Vertrauens gegenüber dem Tool erfolgte durch die Anforderungsmanager eine inhomogene, durchschnittlich neutrale Bewertung. Zwar existiere grundsätzliches Vertrauen, jedoch wurden bekannte Redundanzen und Inkonsistenzen in Tests nicht aufgefunden. Dies führt zu einem gemischten Bild. Das Vertrauen ergebe sich über eine längere Zeit der Nutzung und sei im Erstkontakt schwer einschätzbar.

Der Frage nach der Erfüllung des Kontrollbedürfnisses stimmten die Anforderungsmanager (voll und ganz) zu. Die positive Bewertung beruhe auf der Form der Implementierung, dass das Widget auf Basis einer Bewertung aller betrachteten Anforderung lediglich Vorschläge gebe und die Handlung Anforderungsmanager vorbehalten bleibe.

Die Nachvollziehbarkeit des Widgets wurde neutral bewertet, da die Bewertung für alle Anforderungen sichtbar ist, gleichermaßen jedoch Ungewissheit darüber herrscht, wie das konkrete Ergebnis zustande gekommen ist. Es kam in der Anwendung mit den Fachexperten vereinzelt zu nicht nachvollziehbaren Ergebnissen in der Untersuchung von Redundanzen und Inkonsistenzen.

Die Anforderungsmanager sind der Anwendung von künstlicher Intelligenz im Anforderungsmanagement gegenüber voll und ganz aufgeschlossen.

AP5 – Bewertung und Erfolgskontrolle

Thema & Motivation

Motivation für diese Forschungsarbeiten war und ist die Unterstützung des Anforderungserstellers. Der Anforderungsersteller muss in kurzer Zeit eine hohe Anzahl von Anforderungen überblicken, die Anforderungen inhaltlich zuordnen können, und sie auf Konsistenz und Widerspruch prüfen können. Weil sich Anforderungen geändert haben, oder weil neue Anforderungen notwendig erscheinen.

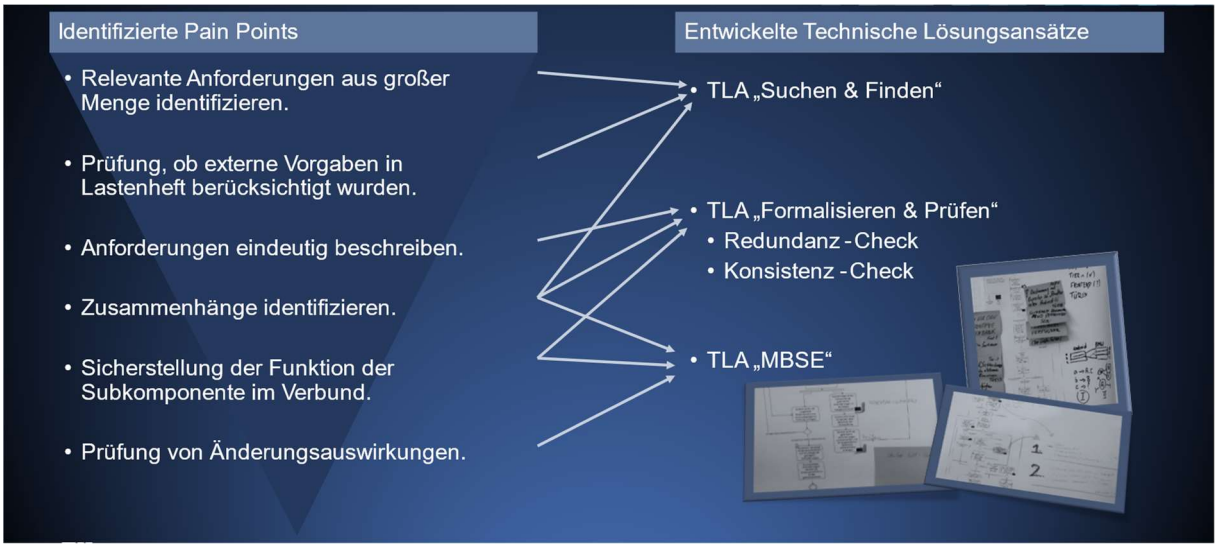


Abbildung 22 Benötigte Unterstützung für den Anforderungsingenieur und Zuordnung zu den technischen Lösungsansätzen.

Zusammenfassend lässt sich festhalten, dass die zurückgemeldete Unterstützung des Anforderungsingenieurs für die Paint Points je nach TLA bei der Evaluation variierten. Die Unterstützung der Pain Points durch den TLA Suchen & Finden wurde als deutlich stärker empfunden als durch den TLA Formalisieren & Prüfen (TLA F&P).

Die Unterstützung durch den TLA MBSE ist außerhalb der Bewertung durch den Anforderungsersteller, da der TLA allein vorbereitender Natur war, und (bewusst) in diesem Projekt noch keinen direkten Nutzen oder Unterstützung für den Anforderungsersteller erzeugt

Insgesamt ergibt sich damit eine Einordnung in der folgenden Art:

TLA Suchen & Finden

Mit den vorhandenen Prototypen konnten sehr gut einzelne Anforderungen eines Anforderungssets 1 (hier Google Android Anforderungen für Android Nutzer) vollständig gegen ein großes Anforderungsset 2 (hier BMW Android Anforderungen Audio des zentralen Fahrzeugrechners BMW) verglichen werden, und wie gewünscht ähnliche Anforderungen zur Verfügung gestellt werden. Die räumliche Darstellung der Anforderungen mittels Knowledge-Graph wurde dabei als sehr hilfreich empfunden.

Verbesserungspotential: Ein Suchen & Finden auch „andersherum“ zu ermöglichen, im Detail zu einer BMW Anforderung die ähnlichen Anforderungen des Android Anforderungs-Sets zu identifizieren. Dazu benötigt es Forschungsarbeiten zu einem geeigneten Preprocessing, dass fehlende Metadaten und sprachliche Unterschiedlichkeiten – wie hier am Beispiel der Google Android Audio Anforderungen- per KI ergänzt und sprachliche unterschiedliche Bezeichnungen für gleichen Inhalte übersetzt werden können.

TLA Formalisieren & Prüfen

Mit dem vorhandenen Protoypen konnten – ergänzend zu den Zielen in der Vorhabensbeschreibung – sehr gut relevante Anforderungen aus einer großen Menge von Anforderungen (aus bis zu 10.000 Einzel-Anforderungen) identifiziert und per Liste und Similarity Index für den Anforderungsingenieur zur Verfügung gestellt werden. Weiterhin liegt die Formalisierungsquote bei 80-90%.

Verbesserungspotential: Das Prüfen auf Redundanz und Konsistenz via dem hier verfolgten technischen Lösungsansatz „Formalisieren & Prüfen“ erfordert auf dem Weg zu einem produktiv nutzbaren Tool für den Anforderungsersteller Forschungsarbeiten zu einem geeigneten Preprocessing der zu prüfenden Anforderungen. Eine intelligente automatisierte Vorauswahl der zu prüfenden Anforderungen und das Bündeln in themenspezifischen Anforderungssets verbessert das Analyseergebnis und führt so zu einer Zeitersparnis durch zusätzliche Automatisierung.

Die im Projekt entwickelte domänenspezifische Sprache (DSL) kann durch Erweiterungen zusätzliche Anforderungstypen abdecken, die nicht den zugrundeliegenden Standardpattern entsprechen. Dazu gehören zum Beispiel die Übersetzung nicht DSL-fähiger Sonderzeichen oder auch die Identifikation und Ersetzung synonyme Elemente der Anforderungen via Preprocessing in identische Begriffe als Grundlage für einen sinnvollen Solver-Einsatz. Ein weiteres Verbesserungspotential ist die Erforschung alternativer technischer Lösungsansätze für Redundanz- & Konsistenz-Checks.

Prototyp

Sehr positiv ausgewirkt hat sich auch das das Beharren auf einen Prototypen der direkt aus der ALM Software – in diesem Falle Codebeamer – angesprochen wird. Bei allen Widrigkeiten des Anschließens und dem Implementieren und Debuggen der Sub-Pipelines hat genau diese Vorgehensweise ein sehr klares Ergebnis erzeugt im Hinblick auf eine spätere Industrialisierung. Erst die Industrialisierung macht aus dem Wissen einen Vorteil für den Standort Deutschland. Nachteilig war die Verfügbarkeit & Betrieb des Prototyps „erst“ im letzten Jahr (Antragskonform) der Projektarbeit, dass hierdurch die Nutzenbewertung und das Aufdecken von Fehlern z.T. erst kurz vor Projetende erfolgte.

Verbesserungspotentiale: Eine zeitliche Verfügbarkeit des Protoypen schon im ersten Projektjahr, oder besser noch nach 6 Monaten mit einem ersten MVP, der - parallel zu der kontinuierlichen Bewertung durch den Anforderungsingenieur alle 6 Monate - wächst, erscheint als äußerst hilfreich. Auch ist der Bedienkomfort in Zeiten von CHAT GPT und anderen LLM mit einfacher Prompt- und Input-Technologie das Maß der Dinge, und wird von Anforderungsingenieuren erwartet.

Vertrauen gegenüber den Ergebnissen des Prototyps / des Tools

Die Nachvollziehbarkeit der Ergebnisse des Tools, und damit der KI Ergebnisse wurde als neutral bewertet. Dieses Bedürfnis muss durch das Tool erfüllt werden. Bei der industriellen Verwendung beschränkt sich der Experte auf eine stichpunktartige Prüfung zu Beginn. Es ist zu erwarten, dass eine konstante Prüfung aller Ausgaben durch den Anforderungsmanager die gewünschte Reduktion des Arbeitsaufwands übersteigt.

Verbesserungspotential:

Wesentliches Element einer vertrauenswürdigen Software bzw. KI-LLM-Ergebnissen ist die Erklärbarkeit. Eine Erklärbarkeit der KI-Ergebnisse in den Prototypen / in die Software einzubauen ist damit für die Zukunft ein wesentlicher Erfolgsfaktor. Dies kann z.B. in Form einer Ampeldarstellung rot/gelb/grün erfolgen, deren Logik auf Schwellenwerten einer Accuracy Bewertung basiert.

Einstellung des Nutzers gegenüber dem Einsatz von KI.

Die Bereitschaft zur Nutzung von KI zur Unterstützung der Arbeit wurde von allen Anforderungsingenieuren durchgängig als äußerst positiv bewertet. Dies zeigt das mit Verfügbarkeit geeigneter Prototypen und Tools das Potential schnell gehoben werden kann, ohne das längerfristige Change Prozesse benötigt werden.

Verbesserungspotential:

Keine. Die Situation ist bestmöglich. Tools werden sehr schnell angenommen.

Ergebnisse über den Anspruch der Vorhabensbeschreibung (VHB) hinaus

Auf den Prototypen, genauer gesagt auf das Widget, aufgesetzt wurde eine weitere Funktionalität. Diese geht über die Vorhabensbeschreibung hinaus. Die Zusatzfunktionalität ermöglicht eine automatisierte Anforderungsüberprüfung. Ziel der Zusatzfunktionalität ist die Prüfung großer Anforderungsmengen, ohne das Prüfjobs einzeln von Hand gestartet werden müssen, und ohne, dass die Serverinstanz (ALM Tool Codebeamer) zu Zeiten hoher Belastung Zusatzbelastungen durch Prüfjobs erhält.

Die automatisierte Anforderungsprüfung hat per Q3 2024 den Leistungstest für die Umsetzung in der Produktiv-Umgebung Codebeamer bestanden. Dazu wurde die Betriebssicherheit der Entwicklung hinsichtlich stabilen Betriebs und Qualität der Ergebnisse geprüft. Anhand von knapp 1 Mio. Einzelanforderungen der Integrations-Umgebung Codebeamer geprüft.

Bei Schaeffler sind die Erkenntnisse aus dem KIZAM-Projekt in die Digitalisierungs-Roadmaps für das Anforderungsmanagement eingeflossen und werden mit+ Partnern industriell umgesetzt und produktiv ausgerollt.

Die Erfolgskontrolle anhand der VHB-KPI-Zielerreichungs-Sicht zeigt eine ähnliche Nutzen-/Zielerreichungsbewertung (Tabelle 2 Festgelegte KPI zu quantifizierbaren

Wirkungen der Projektergebnisse und die Güte der Zielerreichung. (grün: Ziel erreicht, grau: nicht bewertbar, gelb: mit Maßnahmen erreichbar, siehe Potentiale)). Während bei einigen KPIs die Ziele nicht erreicht wurden, wurde bei anderen KPIs die Ziele stark übererfüllt. Der gegenüber der VHB zusätzliche und neue KPI „Automatisierte Anforderungsprüfung“ liefert einen weiteren Beitrag zu „an anderer Stelle wurden die KPIs übererfüllt“. Für die KPIs die aufgrund nicht vorhandener Nulllinie nicht bewertbar waren ist das Lessons Learned, eine Nulllinie mit Hilfe einer Rohdaten-Menge zu erarbeiten, und mit der gleichen Rohdaten Menge und Qualität fortlaufend den KPI-Fortschritt zu prüfen.

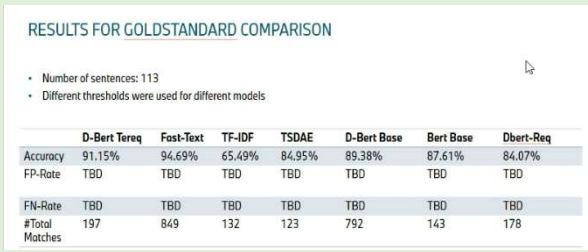
Summa Summarum werden die Projektziele erreicht, wenn auch mit leichten Einbußen

- 7 KPI erreicht oder übererfüllt (grüne Tabellenzeilen)
- 2 noch nicht erreicht (siehe „Ausblick auf Verbesserungspotentiale“),
- 2 nicht bewertbar (graue Tabellenzeilen).

Das Verbesserungspotential zu heben, erscheint äußerst sinnvoll und hilfreich für die Arbeit von Automobil-Unternehmen (siehe Kapitel Ausblick auf die Verbesserungspotentiale).

Tabelle 2 Festgelegte KPI zu quantifizierbaren Wirkungen der Projektergebnisse und die Güte der Zielerreichung. (grün: Ziel erreicht, grau: nicht bewertbar, gelb: mit Maßnahmen erreichbar, siehe Potentiale)

KPI	Ist-Wert	Soll-Wert	Soll-Wert
	TRL	Wert [%]	TRL [Level]
Zeitaufwand des Konstrukteurs für das Anforderungsmanagement 1. Mit dem TLA Suchen & Finden wurden 50% erreicht. 2. Mit dem TLA Formalisieren & Prüfen deutlich weniger.	Bis zu 50%.	50%	n.a.
Steigerung der beherrschten Komplexität durch höhere Zahl von Einzelanforderungen im Betrachtungsumfang des Konstrukteurs Zum Teil deutlich über 200% 1. RELYZE Fähigkeit der (formalen) Einzelanforderungsprüfung gesteigert von 200-2000EA im Juli 2021 auf 36.000 EA zu Juli 2024 2. Inhaltliche Prüfung: keine erhebliche Steigerung. 3. Anzahl in RELYZE gleichzeitig prüfbarer Lastenhefte gesteigert von 3LH/10MB (2021) auf 10LH/30MB (2024)	n.a. %.	200%	n.a.
Neu und zusätzliche zur VHB: Automatisierte formale Anforderungsprüfung (direkt aus Codebeamer, Prüfung ermöglicht durch KIZAM Widget 1. gesteigert von Null (0/2021) auf 725.000 EA in Integrationsumgebung 1 und 223.000 in Integrationsumgebung 2. Von einem TRL 2 auf einen TRL 7 2. gleichzeitige Entlastung der Codebeamer Server Betriebslast durch Verlagerung der Prüfungen in die „Nachtschicht“ 3. TRL 7 Level erreicht	2		7
Reduzierung der nicht eindeutigen Formulierungen zur Steigerung der Qualität 1. siehe Week words	n.a.	50%	n.a. -
Erhöhung der Anzahl maschinell geprüfter Lastenhefte ○ 2021: "653.678" ○ 2022: "1.105.634" (LH-Freigabe KF1) ○ 2023: "1.486.436" ○ 2024: "637.958“ (Jan-Juni, noch ohne LH Welle HJ 2 aus KF2	6	100%	7
Steigerung der pro Lastenheft gefundenen Weak-Words - Auf TRL Level erreicht, - „gefühlt auch auf prozentualer Steigerung erreicht (Differenzierung RELYZE in „bedingte Weak Words“ (im Kontext i.o.) und starke Weak Words (nicht i.o.)., Nicht gemessen, da in 2021 keine Nulllinie als Referenzwert ermittelt wurde, und ein Rückbau der Software hierfür nicht sinnvoll erscheint.	6	≥115 %	7

	Reduzierung der durch NLP gefundenen „false negative“ Ergebnisse für die Identifikation von unklaren, nicht Lastenheft-konformen Anforderungen - Fehlende Baseline aus 07/2021 lässt leider keinen Vergleich zu. Hilfsweise beschreibbar durch Steigerung der Vorhersagequalität der Semantik (siehe unten)	5	50%	7
	Steigerung der gefundenen fehlerhaften Verweise (z. B. auf ungültige Dokumente) - Nicht bewertbar aufgrund Änderung von Umfeld (Datenbank (z.B. TEREG etc.) und geänderten Spielregeln zu „welche Arten Dokumenten sind als Referenz anzuziehen, sowie der Art „wie zu referenzieren“ ist.	3	200%	7
	Steigerung der Vorhersagequalität der Semantik (accuracy) - Beispiel RELYZE: Wechsel Sprachmodell TFIDF 65% auf Distil-BERT 04/2023 89,4% - 	3	110%	6
	Anzahl maschinell identifizierter Zusammenhänge und Widersprüche zwischen Anforderungen - Geringe Steigerung, TRL 7 wurde nicht erreicht.	2		…7
	Anzahl Nutzer (NEU): - Steigerung der Nutzer-Anzahl von 121 in 2021 auf 844 in 2024. Auf die ersten 5 Monate des jeweiligen Jahres (RELYZE).	n.a.	300%	n.a.

2. Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises können dem beigefügten Erfolgskontrollbericht entnommen werden.

3. Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Die aus dem Förderprojekt KIZAM gewonnen Ergebnisse, das Know-how und die entwickelten Arbeitsweise – speziell auch zur Forschungsarbeit mit Hochschulen zu BMW-Anforderungs-Produktiv-Daten der Klassifizierung „streng vertraulich“ haben einen wesentlichen Schritt zu der KI-gestützten Anforderungs-Prüfung und perspektivisch der Prüfung der Anforderungen auf Erfüllung durch Testergebnisse – firmenintern und auch Compliance relevant extern – sowie der KI-gestützten Anforderungs-Formulierung aufgebaut. Damit leistet das Förderprojekt KIZAM einen Beitrag zum langfristigen Erhalt der Wettbewerbsfähigkeit der BMW AG im Bereich der Entwicklung von komplexen Anforderungen und deren Erfüllung und damit der hohen Kundenwertigkeit der BMW Fahrzeuge.

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten

Aktuell erfolgt eine Industrielle Umsetzung der Einzelanforderungsanalyse. Auf Basis des mit KIZAM entwickelten Widgets erfolgt eine automatisierte Anforderungsprüfung in der BMW Produktivumgebung für die Anforderungen in Codebeamer. Mit Hilfe des Widgets werden Anforderungen aus Codebeamer übernommen und via des BMW KI-Tools RELYZE auf formale Qualität geprüft. Aufgrund der vor dieser industriellen Umsetzung durchgeführten Tests ist zu erwarten, dass alle Einzelanforderungen der PLM (Product Lifecycle Management)-Produktiv-Instanz von Codebeamer geprüft werden können. Dies sind deutlich über 2 Mio. Einzelanforderungen zu Ende 2024.

Über die Umsetzung der Einzelanforderungsanalyse hinaus sind weitere umfassende Initiativen im Bereich Erforschung und Entwicklung von Anwendungsszenarien künstlicher Intelligenz im Anforderungsmanagement geplant, und teilweise schon in der Umsetzung. Ein Beispiel hierfür ist das Forschungsprojekt KIMBA, mit einem Start im September 2024. Details zu weiteren BMW internen Initiativen und Projekten bitte ich an dieser Stelle im Sinne der Geheimhaltung zu entschuldigen.

In Summe ist die Einschätzung, das diese Initiativen einen hohen Beitrag zur Effizienzverbesserung im Anforderungsmanagement erbringen wird.

4. Wissenschaftliche, technische und wirtschaftliche Ergebnisverwertung

Projektergebnisse und Verwertung bei BMW

Die Projektergebnisse für BMW wurden schon in AP-5 Ergebnisse und Erfolgskontrolle beschrieben. Deshalb sei an dieser Stelle auf Kapitel 5 verwiesen.

Die Verwertung der Ergebnisse bei BMW wurde schon in dem Kapitel „wirtschaftliche Erfolgsaussichten“ beschrieben. Deshalb sei an dieser Stelle auf den vorherigen Absatz „wirtschaftliche Erfolgsaussichten“ verwiesen.

Wissenschaftliche und/oder technische Erfolgsaussichten

Wirtschaftliche Erfolgsaussichten:

Die Industrielle Umsetzung über BMW hinaus in der Automobilbranche insgesamt, und auch in anderen Industrien wie z.B. Maschinenbau, Medizintechnik oder auch Luftfahrt wurde durch Vorträge und Veröffentlichungen angestoßen. Die Detaillierung erfolgt in Kapitel 6.

Die im KIZAM-Projekt erarbeiteten Ansätze und insbesondere die aufgezeigten Effizienzpotenziale haben eine Reihe von Umsetzungs- und Folgeaktivitäten ausgelöst. Die konstruktive und zielorientierte Zusammenarbeit in einer so schnelllebigen und innovativen Technologie wurde als sehr gewinnbringend bewertet und wird in weiteren Forschungsprojekten aufgegriffen.

Aktuell wird intern diskutiert, ob die Zulieferer in die Infrastruktur zur Verwendung der Anforderungen eingebunden werden können und damit ebenfalls am Tool-Ergebnis partizipieren

Wissenschaftliche Erfolgsaussichten:

Auch über die Projektlaufzeit hinaus sind weitere Initiativen im Bereich Erforschung und Entwicklung von Anwendungsszenarien künstlicher Intelligenz im Anforderungsmanagement, in Lehrveranstaltungen und in Forschungs- und Industrieprojekten geplant.

Wissenschaftliche und wirtschaftliche Anschlussfähigkeit

Die beschriebenen Verbesserungspotentiale zeitnah aufzugreifen, und durch entsprechende Forschungsarbeiten die Voraussetzungen für eine möglichst baldige industrielle Umsetzung zu schaffen ist aus Sicht der Autoren von größter Bedeutung.

Dazu wurde das Forschungsprojekt „Künstliche Intelligenz für SystemModell-Bildung und Anforderungen“ (KIMBA) formuliert eingereicht und bewilligt mit Start zum 1. September 2024. Es andressiert die oben genannten Verbesserungspotentiale, und nutzt zusätzlich die KIZAM Vorleistungen zu MBSE für eine automatisierte ModellBildung. Die MBSE-Modelle ermöglichen die frühzeitige Prüfung der Schlüssigkeit von Anforderungen und deren Durchgängigkeit zu den Funktionen und den Produktlösungen, und liefert so frühzeitige Prüfergebnisse, deutlich vor Prüfergebnissen der klassischen Absicherung über Hardware. Die Not, die hier adressiert wird, ist der Mangel an Kapazität der Funktionsverantwortlichen zum Aufbau solcher Modelle, die auf diesem Weg deutlich reduziert werden, soll. Per Zuwendungsbescheid vom 28.08.2024. wurde das Projekt gestartet.

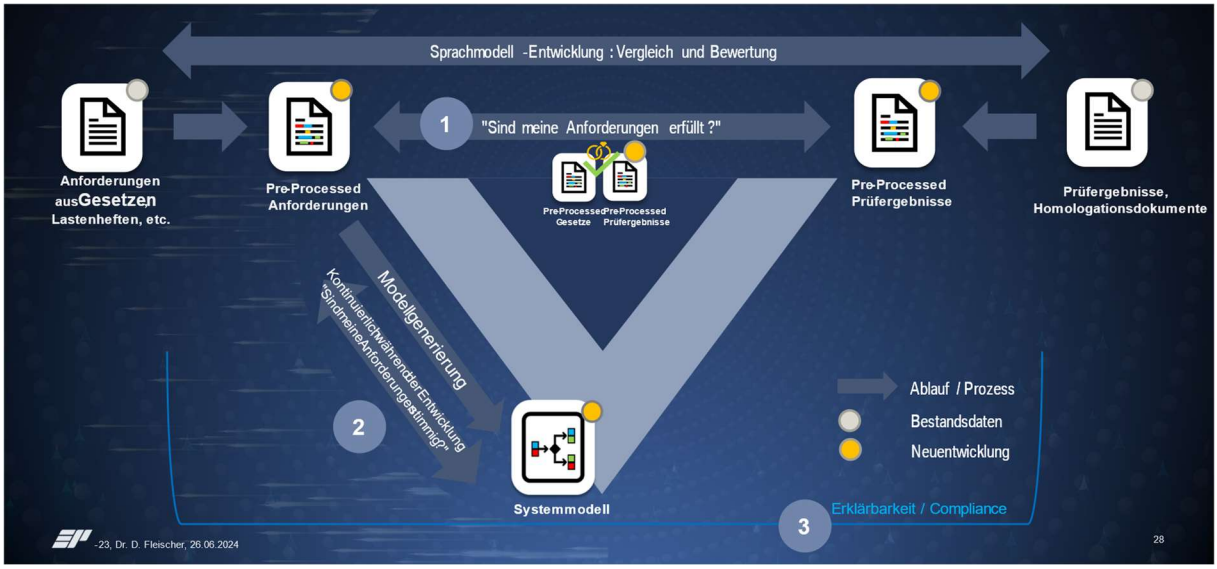


Abbildung 23 Forschungsprojekt KIMBA mit drei Streams.

An dieser Stelle dieser Stelle bedanken sich die Autoren noch einmal ausdrücklich für die Unterstützung seitens des Referats „Industrialisierung und Digitalisierung“ des Bundeswirtschaftsministeriums und des der Projektträgers TUEV Consulting

5. Während der Durchführung des Vorhabens bekannt gewordener Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Wie schon im vorherigen Kapitel „Stand der Technik zu Ende des Projekts“ beschrieben ist ein Vergleich der KIZAM Projekt Ergebnisse gegenüber ersten kommerziellen Lösungen (z.B. Raiqon AI) leider nicht möglich, da keine Ergebnisse öffentlich zugänglich sind. Dies kann im Rahmen des KIMBA Forschungsprojekts angegangen werden. Damit sind nach unserer Kenntnis diese hier dargestellten KIMBA Ergebnisse die ersten öffentlich verfügbaren.

Der Vollständigkeit halber sei erwähnt (siehe auch Kapitel „Stand der Technik zu Ende des Projekts“), dass verschiedene Anbieter eigene "Schätzungen" bezüglich der erzielbaren Produktivitätsgewinne veröffentlichen. Diese Abschätzungen liegen bei >10% über den gesamten Entwicklungsprozess, 35% - 40% im Bereich Anforderungsqualitätssicherung, 40% - 60% bei der Anforderungserstellung, 40% - 50% bei der Testerstellung und bis zu 80% bei Übersetzungstätigkeiten. Die Werte sind in höchstem Maße von den jeweiligen Use-Cases und Datenqualitäten abhängig und - solange nicht anwenderseitig oder unabhängig bestätigt - derzeit noch mit großer Vorsicht zu genießen.

6. Erfolgte oder geplante Veröffentlichungen der Ergebnisse

Nachfolgende Veröffentlichungen der Ergebnisse erfolgten während des Projektverlaufs:

Riesener, M.; Kuhn, M.; Schümmelfeder, S.; Xiao, D.; Norheim, J.; Rebentisch, E. “Active Learning with Pre-trained Language Models for Named Entity Recognition in Requirements Engineering” (CIRP Design 2024)

Riesener, M.; Slawik, V.; Holtmann, T.; Frölian, S.; Kuhn, M.; Schuh, G. “Data Based Analysis of Requirements in Product Development Represented in Graph Based Semantic Requirement Nets” (IEEM 2023)

Burggräf., P.; Bergweiler, G.; Fiedler, F.; Slawik, V.; Recker, J. “Conceptualization Of The Use Of Artificial Intelligence For Interdependencies Analysis In Requirements Engineering” (CPSL 2022)

Dehn, S., Jacobs, G., Zerwas, T. et al. On identifying possible artificial intelligence applications in requirements engineering processes. Forsch Ingenieurwes 87, 497–506 (2023).
https://doi.org/10.1007/s10010-023-00657-8

Zerwas, T., Jacobs, G., Brand, L. et al. Customer-centric and function-oriented development of mechatronic systems. Forsch Ingenieurwes 87, 507–519 (2023).
https://doi.org/10.1007/s10010-023-00658-7

Bertram, V., Kausch, H., Kusmenko, E., Nqiri, H., Rumpe, B., Venhoff, C. Leveraging Natural Language Processing for a Consistency Checking Toolchain of Automotive Requirements. IEEE 31st International Conference on Requirements Engineering (RE), 212-222, (2023).
https://www.se-rwth.de/publications/Leveraging-Natural-Language-Processing-for-a-Consistency-Checking-Toolchain-of-Automotive-Requirements.pdf

Bertram, V., Boß, M., Kusmenko, E., Nachmann, I., Rumpe, B., Trotta, D., Wachtmeister, L. Neural Language Models and Few-Shot Learning for Systematic Requirements Processing in MDSE. International Conference on Software Language Engineering (SLE), 260-265, (2022)

https://www.se-rwth.de/publications/Neural-Language-Models-and-Few-Shot-Learning-for-Systematic-Requirements-Processing-in-MDSE.pdf

Korten, M., Hötter, M.: Einsatz künstlicher Intelligenz im Anforderungsmanagement. In ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift Heft ATZ9-2024 - 23.08.2024

Der Abschlussbericht zu diesem Projekt wird in der Technischen Informationsbibliothek Hannover und der Bibliothek des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz zur Verfügung gestellt.

III ANHANG

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1 Darstellung des Projektablaufs und der einzelnen Arbeitspakete sowie ihrer Zusammenhänge 6

Abbildung 2 Auszug - BPMN Modellierung Use-Case Licht 11

Abbildung 3 Kernergebnisse SLR - Kriterien zur Eignung eines KI-Einsatzes 11

Abbildung 4 Identifikation von Hotspots für Verbesserungsinitiativen durch KI-Einsatz 12

Abbildung 5 Konzept des TLAs Suchen & Finden 13

Abbildung 6 SIPOC Analyse TLA Suchen & Finden 14

Abbildung 7 Pipeline für wissensbasierte Systeme im KIZAM Kontext 14

Abbildung 8 Data & Initialization 15

Abbildung 9 GUI - TLA Suchen & Finden 15

Abbildung 10 Konzept und Anwendung des TLAs Suchen & Finden 16

Abbildung 11 Übersicht des TLAs Formalisieren & Prüfen 16

Abbildung 12 Gesamtübersicht KIZAM Front- und Backend 18

Abbildung 13 Architekturbild Gesamtdeployment Azure openAI, AWS, Codebeamer Test 19

Abbildung 14 Das Widget im Wiki-Dashboard des KIZAM-Projekts in Codebeamer 20

Abbildung 15 Sequenzdiagramm für die Interaktion zwischen Benutzer, Codebeamer, Widget, TLA 21

Abbildung 16 Vereinbarungen bzgl. Input und Output für die Prüfung auf Konsistenz und Ähnlichkeit 22

Abbildung 17: Evaluationsdashboard zum Use-Case Audio 23

Abbildung 18: Evaluationsdashboard zum Use-Case Tier 1 24

Abbildung 19: Evaluationsdashboard zum Use-Case Licht 24

Abbildung 20: Evaluationsdashboard zum Use-Case Tür / HVS 25

Abbildung 21: Evaluationsdashboard zum Use-Case Frontmodul 25

Abbildung 22 Benötigte Unterstützung für den Anforderungsingenieur und Zuordnung zu den technischen Lösungsansätzen 28

Abbildung 23 Forschungsprojekt KIMBA mit drei Streams. 36

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 BMW verantwortete Arbeitspakete und Arbeitsinhalte 5

Tabelle 2 Festgelegte KPI zu quantifizierbaren Wirkungen der Projektergebnisse und die Güte der Zielerreichung. (grün: Ziel erreicht, grau: nicht bewertbar, gelb: mit Maßnahmen erreichbar, siehe Potentiale)..... 31

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) BMW Schlussbericht

3. Titel

KIZAM - Künstliche Intelligenz im Ziele- und Anforderungsmanagement

4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.09.2024
Dr. Dirk Fleischer	6. Veröffentlichungsdatum 31.03.2025
	7. Form der Publikation

8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft 80788 München	10. Förderkennzeichen 19I21029A
	11. Seitenzahl 40

12. Fördernde Institution (Name, Adresse)	13. Literaturangaben 8
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 10115 Berlin	14. Tabellen 2
	15. Abbildungen 23

16. Zusätzliche Angaben

keine

17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)

18. Kurzfassung

Das Forschungsprojekt KIZAM hat erfolgreich innovative Ansätze entwickelt, um das Anforderungsmanagement (AM) in der Fahrzeugentwicklung durch den Einsatz künstlicher Intelligenz (KI) zu optimieren. Im Fokus standen drei technische Lösungsansätze: Formalisieren und Prüfen, Suchen und Finden sowie Model-Based Systems Engineering (MBSE). Im Rahmen von Formalisieren und Prüfen wurden Methoden zur strukturierten und maschinell überprüfbaren Formalisierung natürlicher Anforderungen entwickelt. Der Ansatz Suchen und Finden ermöglichte mithilfe von Knowledge Graphs eine verbesserte Wissensrepräsentation und die effiziente Identifikation relevanter Informationen. MBSE untersuchte modellbasierte Methoden, um Zusammenhänge zwischen Anforderungen und Systemstrukturen zu analysieren und Konflikte zu lösen.
Die erarbeiteten Algorithmen und Softwarelösungen wurden in Demonstratoren integriert, validiert und erwiesen sich als praxistauglich für die Optimierung des Anforderungsprozesses. Trotz Herausforderungen, insbesondere bei der Systemintegration des Softwareprototypen in eine BMW Produktivumgebung und Nutzerakzeptanz, leistete das Projekt einen wichtigen Beitrag zur Effizienzsteigerung und Qualitätsverbesserung im AM der Fahrzeugentwicklung.

19. Schlagwörter
Anforderungsmanagement, Fahrzeugentwicklung, Künstliche Intelligenz, KI, LLM DSL, Knowledgegraph, semantische Netzwerke, Wissensrepräsentation, MBSE, Software Protoyp, OEM, Automobil, Konsistenzprüfung, Redundanzprüfung, digitale Prozessunterstützung, Requirements Management, Produktentwicklungsprozess

20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) BMW final report

3. title

KIZAM - Künstliche Intelligenz im Ziele- und Anforderungsmanagement

4. author(s) (family name, first name(s))	5. end of project 30.09.2024
Dr. Dirk Fleischer	6. publication date 31.03.2025
	7. form of publication
8. performing organization(s) (name, address)	9. originator's report no.
Bayerische Motoren Werke Aktiengesellschaft 80788 München	10. reference no. 19I21029A
	11. no. of pages 40
12. sponsoring agency (name, address)	13. no. of references 8
Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 10115 Berlin	14. no. of tables 2
	15. no. of figures 23

16. supplementary notes

none

17. presented at (title, place, date)

18. abstract

The research project KIZAM has successfully developed solutions for optimizing the Requirements Management (RM) in the vehicles development using Artificial Intelligence (AI): for formalization and verification, for searching and finding if knowledge, as also for model-Based Systems engineering (MBSE). While optimizing the formalization and verification, methods were developed for structured and automatic verification of natural requirements. The usage of Knowledge Graphs in search and find allowed an improved representation of knowledge and an efficient identification of relevant information. MBSE was used for researching of model-based methods to analyze contextual links between requirements and system structures and to solve conflicts between them. The developed algorithms and software solutions were integrated and validated in demonstrators and have been proved as practical for optimization of the requirements process. Despite challenges, especially on system integration of software prototypes into a BMW productive environment and on the user acceptance, the process achieved an important contribution on efficiency improvement and quality optimization of RM in the vehicle development.

19. keywords
Requirements management, vehicle development, artificial intelligence, AI, LLM DSL, knowledge graph, semantic networks, knowledge representation, MBSE, software prototype, OEM, automotive, consistency check, redundancy check, digital process support, requirements management, product development process

20. publisher	21. price