

Abschlussbericht

KAI



Gefördert durch:

Bundesministerium
für Wirtschaft
und Klimaschutzaufgrund eines Beschlusses
des Deutschen BundestagesFinanziert von der
Europäischen Union
NextGenerationEU

Förderprogramm	Ein Vorhaben des Themenfeldes „Künstliche Intelligenz als Schlüsseltechnologie für das Fahrzeug der Zukunft“ des BMWi Fachprogramms „Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“
Akronym und Titel	KAI - <u>K</u> I-gestützter <u>A</u> ssistent zur <u>I</u> nterieurentwicklung
Zuwendungsempfänger	RWTH Aachen University Institut für Kraftfahrzeuge (ika)
Förderkennzeichen	19A21022E
Laufzeit	01.06.2021 bis 30.11.2024
Partnerspezifischer Projektleiter	Claus Bertram Bonerz Steinbachstraße 7, 52074 Aachen +49 241 80 26717 claus.bonerz@ika.rwth-aachen.de
Berichtszeitraum	01.06.2021 – 30.11.2024

Inhaltsverzeichnis

Einleitung	4
I. Kurzdarstellung	4
I.1 AUFGABENSTELLUNG	5
I.2 PLANUNG UND ABLAUF DES VORHABENS	5
I.3 WISSENSCHAFTLICHER UND TECHNISCHER STAND ZU BEGINN DES VORHABENS	6
I.4 ZUSAMMENARBEIT MIT ANDEREN STELLEN	7
II. Eingehende Darstellung	7
II.1 AP1 ANFORDERUNGEN DURCH DEN PEP	7
AP1.1	7
AP1.3	7
II.2 AP2 NUTZERVERHALTEN & SAE 4 INNENRÄUME	8
AP 2.1	8
AP 2.2	8
AP 2.3	9
AP 2.4	11
AP 2.5	13
II.3 AP3 MENSCHMODELL	13
AP3.1	13
AP3.3	13
II.4 AP4 BASIS PACKAGEMODELLIERER	13
AP4.1	13
AP 4.2	14
AP4.3	15
II.5 AP5 INNENRAUMOPTIMIERER	18
AP5.1	18
AP5.2	19
AP5.3	20
II.6 AP6 TECHNISCHE KI-BASIERTE VORBEWERTUNG	20
II.7 AP7 MENSCHBEZOGENE KI-BASIERTE VORBEWERTUNG	20
AP7.1	21
AP7.2	21
AP7.3	22
AP7.4	24
II.8 AP8: PRODUKTENTWICKLUNG, EVALUATION & AKZEPTANZ	24
AP8.1	24
AP8.3	25
AP8.5	25
AP8.7	25
II.9 AP9 PROJEKTMANAGEMENT & VERÖFFENTLICHUNG	27
AP9.3	27
II.10 DARSTELLUNG DER WICHTIGSTEN POSITIONEN DES ZAHLENMÄßIGEN NACHWEISES	28
II.11 NOTWENDIGKEIT UND ANGEMESSENHEIT DER GELEISTETEN ARBEIT	29
II.12 BEKANNT GEWORDENER FORTSCHRITT	30
II.13 VERÖFFENTLICHUNGEN	30

Abbildungsverzeichnis

<i>Abbildung 1: Übersicht der ursprünglichen Projektplanung und der finalen Durchführung inkl. der Meilensteine und AP-Dauern</i>	6
<i>Abbildung 2: Innenansicht des EMU mit Fluchtweg</i>	12
<i>Abbildung 3: Innenansicht des EMU in einer Tätigkeit</i>	12
<i>Abbildung 4: EMU in einer weiteren Tätigkeit</i>	12
<i>Abbildung 5: Darstellung der Parametervektoren</i>	14
<i>Abbildung 6: Prototypische Umsetzung des Packagemodellierers in VBA</i>	15
<i>Abbildung 7: Packagemodellierer in Python</i>	16
<i>Abbildung 8: Ausschnitt des Endstands des Modellierers in Python</i>	17
<i>Abbildung 9: Finaler Stand des CAD-Modells. Hier drei exemplarische Beispiele der Variabilität</i>	17
<i>Abbildung 10: Kopplung des CAD-Modells mit dem EMU</i>	18
<i>Abbildung 11: Ansicht der graphischen Oberfläche mit einem Fahrzeugmodell. Links werden Bauteile manipuliert. Rechts werden Bewertung und Optimierung gesteuert.</i>	19
<i>Abbildung 12: Funktionsweise des Innenraumoptimierers und des genetischen Algorithmus zur Anpassung, Bewertung und Optimierung komplexer Fahrinnenräume</i>	19
<i>Abbildung 13: Bewertungssystematik in Graphendarstellung</i>	22
<i>Abbildung 14: Umsetzung des Graphenmodells</i>	23
<i>Abbildung 15: Darstellung der Posenschätzung anhand einfacher Collider im KAI-Tool</i>	24
<i>Abbildung 16: Evaluation der Systemperformanz des KAI-Tools</i>	25
<i>Abbildung 17: Abbildung der entstandenen Veröffentlichungen und Lehrleistungen. HW=Hilfs-Wissenschaftler, L=Lehrveranstaltung, A-D=Promotionen, BA=Bachelorarbeiten, MA=Masterarbeiten, PA=Projektarbeiten, P=Veröffentlichungen</i>	28

Einleitung

I. Kurzdarstellung

Das Projekt KAI wurde vom Projektkonsortium im Jahr 2020 initiiert und 2021 gestartet. Der Grundtreiber des Projekts besteht in der Herausforderung, den Entwicklungsprozess und die daran beteiligten Personen mit Blick auf die Veränderungen durch das hochautomatisierte Fahren zu unterstützen. Das Ziel ist die Entwicklung eines KI-Assistenten zur Interieurentwicklung.

Das hochautomatisierte Fahren (SAE-Level 4) stellt eine disruptive Änderung in der Automobilindustrie dar. Die Zeit, die die Insassen bisher im Fahrzeug verbrachten, waren teils durch die Fahraufgabe beeinflusst. Der Fahrer konnte sich nur der Fahraufgabe widmen. Durch SAE-Level 4 wird nun der Fahrer zum Mitfahrer, da das Fahrzeug in seiner Operational Design Domain (ODD) die Fahraufgabe voll übernimmt. Damit Fahrer und Insassen diese nun von Fahrzeit zu Freizeit gewandelte Zeit gut nutzen können, erwarten sie, dass sie die Zeit mit sinnvollen Tätigkeiten nutzen können. Diese fahrfremden Tätigkeiten stellen neue Anforderungen, deren Erfüllung der KI-gestützte Assistent zur Interieurentwicklung (KAI) unterstützen soll.

Das Projekt begann mit der Gestaltung eines gemeinsamen Zielbilds, wodurch alle Partner das gleiche Verständnis vom Projekt erringen konnten und die finalen Fragen zur Umsetzung des Projekts geklärt wurden. Von dieser Basis aus starteten die Arbeiten zum Produktentwicklungsprozess (PEP). Hier wurden Pain-Points des PEP identifiziert und analysiert, an welchen Stellen in der Konzeption KAI am besten angreifen kann.

Zum Verständnis der fahrfremden Tätigkeiten, der damit verbundenen neuen Nutzeranforderungen und Posen der Insassen wurden Studien durchgeführt. Das ika führte hierbei eine Online-Studie, Co-Creation und Nutzerstudien durch. In ihnen konnte fahrfremde Tätigkeiten ermittelt und die Basis für die weitere Projektbearbeitung gelegt werden. Die Nutzerstudien wurden in einem Mock-Up, dem Evolutions-Mock-Up (EMU) durchgeführt. Die Besonderheit war, dass die Studien unter dynamischen Bedingungen im hochdynamischen Fahrsimulator des ika stattfanden. Hierzu musste das Konsortium in kurzer Zeit die Anforderungen definieren und das EMU umsetzen, da es die Ausgangsbasis für die reproduzierbaren Innenraumbedingungen war, die für die Nutzerstudien benötigt wurden.

Im Folgenden wurde das Menschmodell von RAMSIS angepasst, um neue Anforderungen zu berücksichtigen. Gleichzeitig stellte es Anforderungen an KAI. Im Rahmen der AP 4,5,6 und 7 wurde ein Pagemodellierer, Bewertungsmodule und ein Optimierer entwickelt, umgesetzt und in AP 8 evaluiert. Über den in AP4 entwickelten Pagemodellierer kann ein Fahrzeug- und Eigenschaftensmodell erstellt werden, das bewertet werden kann. Die Bewertung kann technisch oder menschenbezogen ausfallen. In AP 6 wurde die technische Bewertung entwickelt, in AP 7 die menschenbezogene Bewertung. Durch die Bewertungsmodule ist es möglich, das erzeugte Interieurkonzept unter verschiedenen Kriterien zu bewerten und später zu optimieren. Hierzu dient der in AP5 entwickelte Optimierer. Eine übergeordnete Datenbank für Interieurkomponenten dient als Single-Source of Truth für die Erstellung der Komponenten in KAI.

Im Rahmen des Projektes wurde KAI konzipiert, seine Module entwickelt und getestet und zum Gesamtsystem zusammengesetzt. Dieser Prozess erfolgte iterativ und in enger, interdisziplinärer Abstimmung der Partner und Arbeitspakete. Das Training des Gesamtsystems war ein weiterer wichtiger Baustein. Das Projekt stand zum einen vor der Herausforderung, die physischen Grundlagen bereitzustellen, um Studien durchzuführen, deren Wissensgewinn zum Training des KAI verwendet wurde, als auch die digitalen Grundlagen bereitzustellen in Form von synthetischen Trainingsdaten.

Hier wurde RAMSIS intensiv genutzt, um KAI zu trainieren.

Das Ergebnis ist ein funktionsfähiges KI-Tool. Dieses wurde im Zuge des Testplans evaluiert. Das KI-Tool KAI zeigt die Konvergenz der Optimierung und erzeugt sinngemäße Interieurs. Des Weiteren konnte in einer weiteren Nutzerstudie gezeigt werden, dass die gestalteten Ergebnisse von möglichen Nutzern angenommen werden.

Das im Projekt erstellte Softwaretool stellt durch eine neue Konzeptions-, Bewertungs- und Optimierungsmethode erfolgreich eine Möglichkeit zur Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses dar und kann bei einer weiteren Steigerung des TRL Levels wertvolle Beiträge für OEM und Zulieferer leisten. Außerdem konnte umfangreiches Wissen über Nutzeranforderungen in hochautomatisierten Fahrzeugen (u.a. erste Untersuchungen zu fahrfremden Tätigkeiten in einem dynamischen Fahrsimulator) gewonnen werden. Hervorzuheben ist der interdisziplinäre Gewinn durch das Projekt. Hierdurch wurde es möglich, vom OEM bis zum Zulieferer und von der Industrie bis zur Forschung erfolgreich gemeinschaftliche Entwicklungs- und Forschungsleistungen zu erbringen. Das Projekt KAI steht somit exemplarisch für einen innovativen Ansatz in der Automobilentwicklung: Es verbindet technologische Fortschritte mit einem tiefen Verständnis für menschliche Bedürfnisse und trägt dazu bei, zukunftsfähige Lösungen für eine automatisierte Mobilität zu schaffen.

I.1 Aufgabenstellung

Im Rahmen des Projektes KAI verfolgte das ika mehrere Ziele, die die Aufgabenstellung aus Perspektive des ika definierten. Die Perspektiven betreffen die Forschung, Lehre und Transfer.

Im Rahmen der Forschung waren folgende Zielstellungen von besonderem Interesse:

- Aggregation von vorhandenem Wissen zu Use-Cases beim hochautomatisierten Fahren
- Erweiterung und Vertiefung des Wissens zu Nutzungsfällen des hochautomatisierten Fahrens
- Erweiterung der Methodenkompetenz im Bereich der Fahrzeug- und Packagekonzeption
- Erweiterung der Methodenkompetenz im Bereich der KI-Methoden für Fahrzeugkonzepte

Im Bereich der Lehre wurden folgende Ziele verfolgt:

- Weiterbildung des Wissens und Einbezug von Studierenden in die Thematik durch Abschlussarbeiten
- Vermittlung von Erkenntnissen im Rahmen von Lehrveranstaltungen

Im Bereich des Transfers bestanden die Ziele aus:

- Aufbau eines langfristig nutzbaren KI-Tools
- Anforderungen von OEM- und TIER-Seiten an Prozesse und Methoden zu sammeln
- Gewonnenes Wissen im Rahmen von Folgeprojekten anwenden und erweitern

I.2 Planung und Ablauf des Vorhabens

Im Verlauf der KAI-Projektbearbeitung ergaben sich im Vergleich zur Ursprungsplanung Änderungen. Diese betrafen den zeitlichen Ablauf und Umwidmungen. Das Projekt wurde am 01.06.2021 begonnen. Aufgrund diverser Unvorhersehbarkeiten wurde die Projektlaufzeit verlängert. Die Gründe hierzu wurden in den Zwischenberichten ausführlich dargelegt. Hauptgründe lagen in den geltenden Regelungen der Corona-Pandemie. Aus diesen Gründen wurde das Projekt kostenneutral

bis zum 30.11.2024 verlängert. Das ika hatte hierzu beim Projektträger um eine kostenneutrale Verlängerung im März 2024 gebeten, die am 24.04.2024 durch den Projektträger bestätigt wurde. Der Bearbeitungszeitraum des Projekts erstreckte sich somit vom 01.06.2021 bis zum 30.11.2024.

Im Rahmen der Projektbearbeitung ergab sich das finale Gantt-Chart in **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** Hierbei ist die finale Durchführung der ursprünglichen Planung gegenübergestellt.

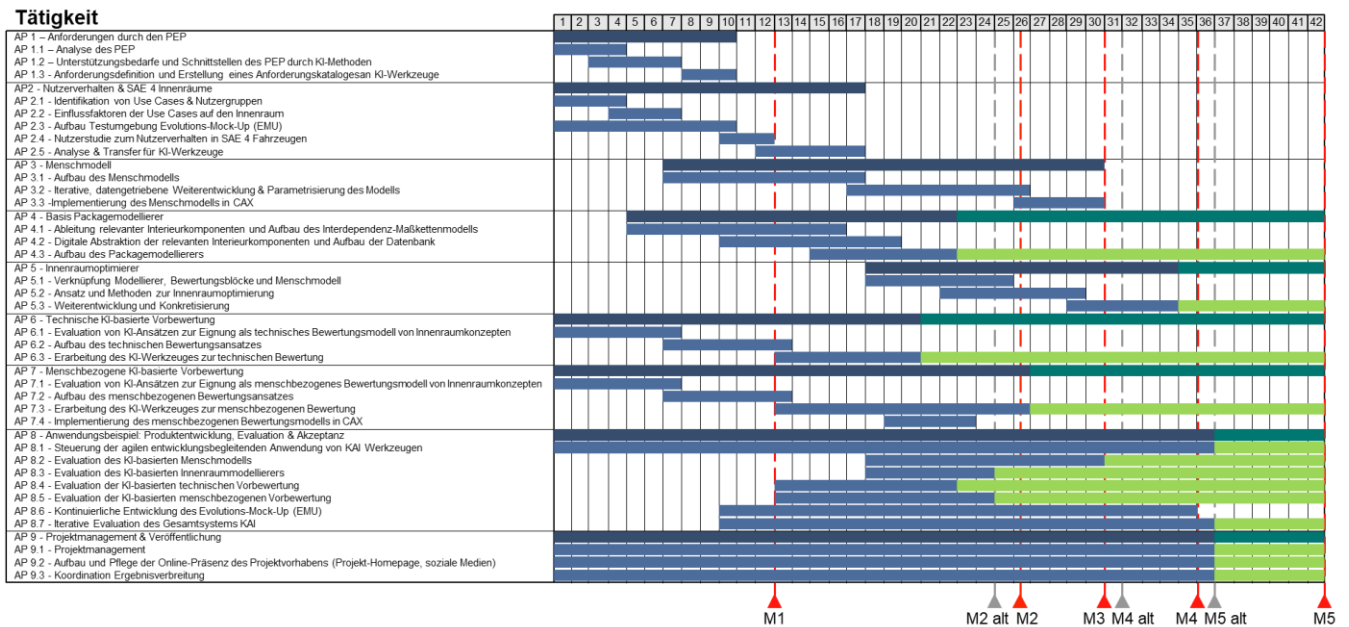


Abbildung 1: Übersicht der ursprünglichen Projektplanung und der finalen Durchführung inkl. der Meilensteine und AP-Dauern.

1.3 Wissenschaftlicher und technischer Stand zu Beginn des Vorhabens

Zum Zeitpunkt des Beginns des Vorhabens herrschte in der Automobilforschung und -industrie ein fragmentiertes Bild hinsichtlich der Innenräume hochautomatisierter Fahrzeuge. Zwar gab es erste Projekte zur Übernahmefähigkeit des Fahrers oder zum Vertrauen in die Automatisierung, aber es fehlte an fundierten und erprobten Erkenntnissen zu Innenraumkonzepten für längere Fahrten ab SAE-Level 4. Hierzu wurde im Zuge von AP2 des Projekts KAI eine tiefgehende Literaturrecherche durchgeführt. Gleichzeitig war für die frühe Fahrzeugentwicklung eine parametrisierte Packagebeschreibung etabliert, zum Beispiel über das Parametrische Maßkonzept Tool (PMKT) oder CAD-Programme wie CATIA V5, die in Kombination mit Ergonomie-Tools wichtige Anforderungen früh prüften. Trotzdem blieb der ganzheitliche Einsatz künstlicher Intelligenz auf Teilbereiche wie die Komponentenentwicklung beschränkt, sodass in der Packagekonzeption für vollautomatisierte Fahrzeuge sowie in der breiteren Untersuchung neuer Freiheitsgrade im Interieur keine bekannten KI-basierten Methoden genutzt wurden. Kurzkalkulationen oder Ähnlichkeitsanalysen boten zwar erste Kostenschätzungen oder Bewertungen von Gewicht, doch fehlten verlässliche Daten für radikal neue Konzepte. Probandenstudien wie Car Clinics oder Virtual-Reality-Ergonomieprüfstände waren zudem zeit- und ressourcenintensiv und fanden oft zu spät im Entwicklungsprozess statt, um flexible Anpassungen zu ermöglichen. Deswegen bestand dringender Bedarf an einer Methodik, die Menschmodelle für verschiedene Aktivitäten einbezieht und eine ganzheitliche KI-gestützte Bewertung bereits in frühen Phasen erlaubt. Genau hier setzte das Vorhaben KAI an, indem es bislang getrennte Ansätze zusammenführte, Forschungslücken identifizierte und die systematische Integration von KI in die Innenraum- und Packageentwicklung vorantrieb.

I.4 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit mit allen Partnern verlief professionell und vorbildlich. Mit brose und soft trim seating wurden gemeinschaftlich die Anforderungen an das Evolutions-Mock-Up (EMU) definiert. Zum Betrieb des Mock-Ups wurden Schulungen am EMU durch brose durchgeführt. Es gab einen sehr engen, intensiven Austausch zwischen brose und ika. Mit Humanetics wurden gemeinsam Anforderungen an die Packagemodellierung und Bewertung definiert. Gemeinsam mit CanControls wurden Studiendesigns entworfen und Möglichkeiten mit dem DFKI zur Erfassung von Posen erörtert. Mit Sekurit und Performance Plastics wurde intensiv zum Produktentwicklungsprozess und der Bewertung gearbeitet. Mit Sekurit wurden die Fragen des EMU-Dachs erörtert und definiert. Mit dem DFKI wurde ein stetiger intensiver Austausch gestaltet. Dies betraf die methodische Planung der Softwareteile und auch die Studiengestaltung. Vor allem während der Entwicklung des Optimierungstools und der Bewertungen kam es zu mehreren SCRUM-Meetings pro Woche und einer kollaborativen Entwicklung des Softwaretools. Dies führt dazu, dass es zu einem intensiven Wissensaustausch gekommen ist und die Technologie von beiden Instituten auch noch nach Projektende verwendet werden kann. Durch die Expertise der einzelnen Partner wurde ein sehr starkes und innovatives Konsortium geschaffen, das Industrie und Wissenschaft vernetzte und zu erfolgreichen gemeinschaftlichen Leistungen über die gesamte Projektdauer führte.

II. Eingehende Darstellung

In den folgenden Abschnitten werden die durchgeführten Arbeiten und Ergebnisse des Projekts KAI zusammengefasst. Die erhaltenen Fördermittel wurden gezielt eingesetzt, um die technologischen und wissenschaftlichen Ziele zu erreichen. Dieser Abschnitt gibt einen Überblick über die Arbeitspakete, die angewandte Methode und die daraus resultierenden spezifischen Ergebnisse.

II.1 AP1 Anforderungen durch den PEP

Das Ziel von AP1 bestand darin, das Anwendungspotenzial KI-basierter Werkzeuge innerhalb des Produktentwicklungsprozesses (PEP) zu identifizieren und zu bewerten. Im Zuge dessen wurden die Schnittstellen von KAI zum Konzeptionsprozess (KP) im PEP analysiert und die daraus resultierenden prozesseitigen Anforderungen an KAI abgeleitet.

AP1.1

Das AP 1.1 konzentrierte sich auf die Prozessstrukturen in der Fahrzeugentwicklung, mit einem besonderen Fokus auf die Innenraumentwicklung. Das ika trug ihm bekannte Prozessstrukturen bei, die aus bestehenden und abgeschlossenen Forschungsprojekten stammen. Dazu ergänzend erfolgte eine Literaturrecherche zu allgemeinen Produktentstehungsprozessen (PEP), ihren Phasen und den in der Konzeption angewendeten Methoden und Standards. Darüber hinaus wurden Austauschmaße wie SAE und GCIE durch umfassende Literaturrecherche erfasst und im generischen Produktentwicklungsprozess (PEP) verortet. Es wurde ein generischer PEP entwickelt, wobei einwirkende Einflussfaktoren gesammelt und nach ihrer Wichtigkeit eingeordnet wurden.

AP1.3

In AP 1.3 unterstützte das ika die Erstellung eines Anforderungskatalogs. Hierzu wurden Schnittstellen aus der Perspektive der AP 3, 4, 5 und 7 beigetragen. Zusätzlich wurden auch Schnittstellen zum Tool-Nutzer definiert. Hierzu wurden unterschiedliche Anwendungsfälle des Tools entwickelt und in einer User-Story beschrieben. Es wurden die Nutzergruppen Einsteiger, Erfahrene und Experten beschrieben. Hierdurch konnten Anforderungen sowohl auf systemischer Ebene des Tools als auch aus der Sicht des Tool-Nutzers beigetragen werden.

II.2 AP2 Nutzerverhalten & SAE 4 Innenräume

AP2 hatte zum Ziel, Erkenntnisse über das Nutzerverhalten im Innenraum hochautomatisierter Fahrzeuge zu erzeugen und damit eine Datenbasis für die weiteren Arbeitspakete auszubilden. Im Zuge dessen wurden vom ika drei der fünf Arbeitspakete geleitet.

AP 2.1

Im Rahmen des AP 2.1 verfolgte das ika vier zentrale Ziele:

- Aggregation von vorhandenem Wissen
- Klassifizierung von Use Cases/Szenarien und Nutzergruppen
- Analyse von Interdependenzen
- Auswahl relevanter Use-Cases/ Szenarien und Nutzergruppen

Im Rahmen der Aggregation des vorhandenen Wissens wurden gemeinsam mit dem restlichen Konsortium zunächst relevante Begriffe definiert. Im Rahmen des Projektes KAI wurden die Begriffe Use Case und Szenario nachfolgend synonym verwendet. Zudem wurde festgelegt, dass die Szenarien maßgeblich durch die Ausführung von Aktivitäten (Non-Driving-Related-Activities, NDRAs) beschrieben werden. Aufgrund der hohen Relevanz dieser Aktivitäten wurde außerdem eine Liste mit potenziellen NDRAs angelegt, die sowohl auf aktueller Literatur als auch auf vorhandener Expertise und Kreativmethoden basierte. Im Rahmen der Literaturlerarbeit wurde an dieser Stelle weiterer Forschungsbedarf identifiziert, der im AP 2.2 mit Hilfe einer qualitativen Nutzerbefragung durch das ika bearbeitet wurde. Neben den NDRAs wurden auch die potenziellen Nutzergruppen im Rahmen des AP 2.1 betrachtet. Hier konnten keine Besonderheiten des SAE-Levels 4 im Vergleich zu heute etablierten SAE-Niveaus festgestellt werden, die eine Einschränkung der Nutzergruppen rechtfertigen würden. Aus diesem Grund wurde sich für eine ganzheitliche Betrachtung entschieden. Eine Liste mit Beschreibung heutiger stereotyper PKW-Nutzer wurde erstellt. Zur Analyse der Interdependenzen wurden die erfassten NDRAs in thematische Hauptgruppen zusammengefasst, wobei diese Gruppen bereits teilweise als übergeordnete Szenarien interpretiert werden konnten. Für jede NDRA wurden „Stellteile“ ermittelt, d.h. die notwendigen Komponenten oder Mittel (fahrzeuggebunden oder mobil), die zur Ausführung der Aktivität erforderlich sind. Zudem wurden weitere Bedarfsdimensionen, wie beispielsweise Zeit, Raum, Privatsphäre, Bewegung, beteiligte Personen und Haltungen festgehalten, um weitere Abhängigkeiten zwischen NDRAs zu identifizieren. Um die Gesamtheit der möglichen Szenarien und NDRAs für die nachfolgenden Studien zu reduzieren, wurden diese mit verschiedenen Wegezwecken aus den Studien der „Mobilität in Deutschland“ aus den Jahren 2002, 2008 und 2017 kombiniert. Aus diesen wurden spezifisch die Wegezwecke „Freizeit“ und „Arbeitsweg“ ausgewählt, um eine thematische Varianz abzubilden. Die Arbeiten in AP 2.1 dienten als Ausgangsbasis für die weiteren Tätigkeiten in den nachfolgenden Teilarbeitspaketen.

AP 2.2

Das Ziel von AP 2.2 bestand darin, auf Basis der in AP 2.1 gewonnenen Erkenntnisse diejenigen Einflussfaktoren zu ermitteln, die das Interieur von SAE L4 Fahrzeugen prägen. Gleichzeitig diente diese Analyse dazu, die Auswahl an NDRAs gezielt einzuschränken. Für die Identifikation der relevanten Einflussfaktoren kam ein zweistufiger Ansatz zum Einsatz. Zum einen wurde die Fachliteratur systematisch ausgewertet und zum anderen erfolgte eine empirische Nutzerbefragung. Die Literaturrecherche lieferte Einblicke in menschliche sowie technische Aspekte, die im Rahmen der SAE-Normen betrachtet werden. Zwar wurde eine direkte Betrachtung legislativer Vorgaben zunächst bewusst ausgeklammert, da der Fokus auf der Nutzerzentrierung lag, doch werden diese indirekt

durch die herangezogenen SAE-Standards und somit auch durch den aktuellen Stand der Technik berücksichtigt.

Um darüber hinaus auch menschliche Bedürfnisse zu identifizieren, wurde eine Nutzerbefragung durchgeführt. Diese sollte erfassen, welche Anforderungen Nutzende in spezifischen Szenarien und bei Durchführung von entsprechenden NDRAs an das Fahrzeuginterieur haben. Aufgrund der Covid-19-bedingten Kontaktminimierung wurden online semistrukturierte Interviews mit $n = 30$ Personen durchgeführt. Die Befragung gliederte sich dabei in zwei Teile. Im ersten Teil wurden die Ergebnisse aus AP 2.1 verwendet, indem den Versuchspersonen eine Liste mit vorselektierten NDRAs präsentiert wurde. Für diese sollten sie jeweils angeben, ob sie sich eine Ausführung dieser Aktivität vorstellen können und wenn ja, wie sie die Häufigkeit, Relevanz und Durchführungswahrscheinlichkeit dieser Aktivität einschätzen. Diese differenzierte Erhebung ermöglichte es, neben bloßen Nennungshäufigkeiten auch spezifische Relevanzen und Durchführungswahrscheinlichkeiten für insgesamt neun NDRAs zu bestimmen. Im zweiten, etwas freieren Interviewteil äußerten die Versuchspersonen, welche NDRAs sie in den Szenarien „Arbeitsweg“ und „Freizeitweg“ ausführen möchten und wie das Fahrzeuginterieur optimal gestaltet sein sollte, um diese Aktivitäten zu unterstützen. Die Ergebnisse der Interviews spiegeln die Erkenntnisse aus der bestehenden Literatur wider. Darüber hinaus zeigen die Daten auch, dass die gewünschten NDRAs sich in Abhängigkeit des Wegezweckes unterscheiden. Die gewonnenen Ergebnisse flossen direkt in die Co-Creation-Studie in AP 2.3 ein und bilden darüber hinaus die Basis für mehrere Veröffentlichungen zu Nutzerbedürfnissen und den Einflussfaktoren bei der Gestaltung von SAE-L4-Innenräumen.

AP 2.3

Im Rahmen des AP 2.3 unterstützte das ika bei der Definition des EMU und führte dazu eine Co-Creation mit $n = 30$ Versuchspersonen durch. Darüber hinaus fand im Rahmen des AP 2.3 der Aufbau der Simulationsumgebung sowie die Integration des EMUs in den hochdynamischen Fahrsimulator (HDFS) des ika als Vorbereitung auf die Nutzerstudie statt. Ziel der Co-Creation war zum einen die Ermittlung geometrischer Anforderungen an das EMU, um die NDRA-abhängige Sitzorchestrierung (programmierte Umsetzung durch den Partner brose) zu ermöglichen. Zum anderen sollten Daten zu Art, Anordnung, Anzahl und Relevanz von Innenraumkomponenten, von klassischen Elementen wie Sitzen bis hin zu unkonventionellen Komponenten (z. B. induktive Ladegeräte, integrierte Kaffeemaschinen), die in AP 4 und AP 7 weiterverwendet werden sollen, generiert werden. Dazu sollten sich die Versuchspersonen in einen aus der MiD (Mobilität in Deutschland) abgeleiteten Wegzweck (Arbeits- oder Freizeitweg) hineinversetzen und innerhalb eines definierten Sitzbereichs (realisiert durch eine prototypische Sitzkiste) ein Fahrzeuginterieur so gestalten, dass eine vorgegebene Aktivität (z. B. Arbeiten am Laptop, Entspannen, Lesen, Unterhalten) optimal möglich ist. Dazu konnten die Versuchspersonen aus einem Pool aus realen Objekten (z. B. Sitze, Tische), Dummy-Gegenständen (z. B. Displays, die Dimensionen repräsentieren) und Post-it's frei wählen und die gewählten Objekte in der Umgebung platzieren. Die Ergebnisse zeigen unter anderem, dass für die NDRA „Entspannen“ meist zwei Sitze in zwei Fahrzeughälften (links/rechts) angeordnet wurden. Diese waren primär in Fahrtrichtung orientiert, jedoch mit variabler Längsposition. Für die NDRA „Sich Unterhalten“ fanden sich überwiegend vier Sitze, die nahezu identisch positioniert und zueinander ausgerichtet sind, um eine kommunikative Anordnung zu gewährleisten. Auf Basis dieser Ergebnisse konnten, unter Berücksichtigung der EMU-Einschränkungen, automatisch ansteuerbare Sitzanordnungen abgeleitet werden. Diese Co-Creation-Arbeit liefert somit nicht nur konkrete geometrische Anforderungen für die Gestaltung des Fahrzeuginterieurs, sondern auch essenzielle Daten, die für die Weiterentwicklung und Umsetzung in den folgenden Projektabschnitten genutzt werden sollen.

Neben den aus der Co-Creation abgeleiteten Interieuransforderungen wurden auch sicherheits- und funktionsrelevante Vorgaben für das EMU und die nachfolgenden Nutzerstudien definiert. Da das EMU im HDFS des ika eingesetzt wird und der Aufbau gemeinsam mit den Partnern Brose, Sekurit und CanControls erfolgte, war eine enge Abstimmung und Schnittstellendefinition auf Hardware- und Softwareseite von großer Bedeutung. Neben den projektrelevanten Randbedingungen für die Entwicklung des EMU, liefert auch die besondere Testumgebung des HDFS gewisse Gestaltungsmerkmale, denn der Einsatz des HDFS ermöglicht es Fahrscenarien reproduzierbar und realitätsnah zu simulieren. So kann das Verhalten von Fahrern ohne spezielles Fahrsicherheitstraining in ausgewählten Szenarien unter realistischen Bedingungen untersucht werden. Die Ermittlung relevanter Kenngrößen wird dabei individuell an das jeweilige Manöver angepasst. Durch die sieben Freiheitsgrade des Hexapods, die laterale Schiene und Beschleunigungen von bis zu 12 m/s^2 erhält der Fahrer eine entsprechende Rückmeldung der Fahrdynamik. Die 360° -Projektion sorgt für ein realistisches visuelles Feedback. Darüber hinaus können automatisierte Funktionen und Assistenzsysteme simuliert werden, für die es noch keine Straßenzulassung oder die notwendige Hardware gibt.

Aufgrund seines besonderen Aufbaus, seiner hohen Dynamik und des zu erreichenden Immersionslevels ergeben sich spezifische Anforderungen bezüglich Platzbedarfes, Leistungsbedarfs, geometrischer Parameter und Sicherheitscharakteristiken. Nach erfolgreicher Entwicklung und Umsetzung des EMUs wurde es in die Hard- und Software-Toolkette des HDFS integriert und dessen Funktionalität mittels iterativer Abstimmungsfahrten mit den Partnern validiert.

Jede Nutzerstudie stellt individuelle Forschungsfragen, die spezifische technische Anforderungen an den HDFS stellen. Um eine bestmögliche Immersion zu gewährleisten, wurden für jede Nutzerstudie wichtige Vorbereitungsschritte durchgeführt. Dabei mussten die einzelnen Teilkomponenten aufeinander abgestimmt und parametrisiert werden. Diese gliedern sich hier in folgende Punkte:

- EMU: Abstimmung und Anpassung der Hard- und Software im und am EMU. Dies betrifft die Sitzkonfigurationen, das Tachometer und die technische Umsetzung der Nebenaufgaben.
- Statische Simulationsumgebung: Darstellung und Implementierung der Streckenelemente wie Straßentyp, Fahrstreifen und Beschilderung. Dies betrifft zusätzlich die Gestaltung der simulierten Umgebung und das entsprechende Rendering.
- Dynamische Simulationsumgebung: In die statische Simulationsumgebung wurden dynamische Elemente ergänzt, sodass spezifisch interagierende Verkehrsteilnehmer abgebildet werden können. Das Verhalten der Verkehrsteilnehmer wurde so implementiert, dass die aus dem Studiendesign hervorgehenden Szenarien untersucht werden können. Dies bezieht sich auf zunehmende und abnehmende Verkehrsdichten sowie Einscher- und Bremsmanöver.
- Automatisierte Fahrfunktion: Das EMU verfügt über einen Automatisierungsgrad nach SAE-Level 4, der in diesem Fall durch ein ACC, eine Fahrspurzentrierung und einen automatischen Spurwechselassistenten gewährleistet wird. Abhängig von der Nutzerstudie werden hier spezifische Trajektorienwechsel, sowie Beschleunigungscharakteristiken definiert.
- Bewegungssystem: Abhängig vom Studiendesign und der im Szenario auftretenden Fahrdynamik wird ein Bewegungsalgorithmus für den HDFS implementiert und parametrisiert. Der Fokus lag dabei vor allem auf der Abbildung von Fahrbahnunebenheiten durch Vertikalanregungen sowie der Fahrdynamik bzw. Trajektorie beim Spurwechsel.
- Datenlogging: Alle relevanten Daten der Fahrzeugdynamik, des Simulatorverhaltens, der Simulationsumgebung und der Nebenaufgabe werden entsprechend den Anforderungen der Nutzerstudie aufgezeichnet.

AP 2.4

Der Fokus des AP 2.4 stellte die Durchführung einer Nutzerstudie im HDFS dar. Die in Zusammenarbeit mit AP7 formulierte Forschungsfrage dieser Nutzerstudie lautete: „Wie kann ein Innenraum geometrisch so gestaltet werden, dass er durch die Nutzung für fahrfremde Tätigkeiten optimal genutzt werden kann?“ Zur Beantwortung dieser Frage wurden als menschenbezogene Bewertungskriterien die Nutzbarkeit (wie effektiv die gewonnene Zeit während einer Aktivität genutzt werden kann), der Komfort und das Sicherheitsempfinden herangezogen. Darüber hinaus wurde die Nutzungsin-tention als wesentlicher Indikator für die Akzeptanz erhoben. Dabei spielte insbesondere die Einstellung der Sitze eine zentrale Rolle, da deren Verstellmöglichkeiten erheblichen Einfluss auf das Raumkonzept haben. Für den Use-Case „Sich Unterhalten“ ergaben die Ergebnisse der Co-Creation aus AP 2.3 eine starke Präferenz für eine vis-à-vis Anordnung der Sitze, wodurch der Freiheitsgrad der Sitzrotation als unabhängige Variable definiert wurde. Demgegenüber zeigte sich im Use-Case „Sich Entspannen“ eine klare Tendenz zu einer konventionellen, in Fahrtrichtung orientierten Sitzanordnung, ergänzt durch Liege- und Relaxpositionen, die jedoch einen hohen Flächenbedarf mit sich bringen. Eine Expertenstudie zur Reduktion der drei unabhängigen Variablen (Sitzlehnenneigung, Sitzauflagenneigung und Beinauflage) ergab, dass mit zunehmender Sitzlehnenneigung eine steilere Sitzauflage gewünscht wird, sodass man die Variablen auf zwei Hauptparameter reduzieren konnte. Ziel der Studie war es, den Einfluss dieser geometrisch relevanten Stellgrößen auf das Fahrzeuginterieur und auf die Nutzerempfindung zu untersuchen und zu klären, ob die neuen Freiheitsgrade Vorteile bieten, sowie welcher Verstellbereich notwendig ist. Zur Umsetzung eines experimentellen Versuchsdesigns entschied das ika sich für eine systematische Variation der Sitzeinstellungen, die anschließend von den Versuchspersonen auf einer Likert-Skala bewertet wurden. Das Versuchsdesign basierte auf den Vorarbeiten aus AP 2 und orientierte sich an zwei Use Cases, die aus der MiD (Mobilität in Deutschland) abgeleitet wurden: Für den Use-Case „Sich Unterhalten“ während eines Freizeitweges variierte man systematisch die Sitzrotation des Fahrersitzes (0°, 30°, 60°, 90°, 120°, 150° und 180°), auf dem die Versuchsperson Platz nahm. Die Anordnung der vier Sitze wurde hier so modifiziert, dass drei Sitze zueinander ausgerichtet standen, während der Beifahrersitz weit vorne positioniert wurde. Die Versuchspersonen hatten dabei die Aufgabe, sich mit einer instruierten Person auf dem rechten Rücksitz zu unterhalten. Im Use-Case „Sich Entspannen“ auf einem Arbeitsweg wurden die vorderen Sitze so angeordnet, dass eine liegende Haltung ermöglicht wurde, wobei der Proband in acht unterschiedlichen Sitzkonfigurationen – resultierend aus der Kombination von vier Torsowinkeln und zwei Zuständen der Beinauflage – seine Entspannung beurteilte.

Ein besonderer Schwerpunkt bei der Durchführung der Nutzerstudie lag in der Gewährleistung der Sicherheit der Versuchspersonen. Da das prototypische EMU nicht über die üblichen seitlichen Ausgänge, sondern ausschließlich über einen Haupteingang am Heck verfügte, wurden zusätzliche Notausgänge an beiden Fahrzeugseiten sowie seitliche Scheiben, die im Notfall per Druck auf rot markierte Knöpfe eigenständig nach außen gedrückt werden können, eingebaut (Abbildung 2). Diese Maßnahmen wurden in Abstimmung mit der Abteilung für Arbeits- und Strahlenschutz der RWTH Aachen entwickelt und in einem entsprechenden Betriebskonzept zusammengefasst, das die Versuchspersonen vor Studienbeginn in die sichere Nutzung des EMU einwies.



Abbildung 2: Innenansicht des EMU mit Fluchtweg

Die experimentelle Testung erfolgte in einem strukturierten Ablauf. Nach der Begrüßung und dem Unterzeichnen der notwendigen Dokumente erhielten die Versuchspersonen eine Einweisung in den Ablauf und in die sichere Nutzung des EMU. Nach einer kurzen Eingewöhnungsphase am hochdynamischen Fahrsimulator wechselten dreiminütige Fahrten in vorgegebenen Sitzpositionen mit Befragungsphasen zu den subjektiven Bewertungen (wie (Dis-)Komfort, wahrgenommene Sicherheit, Nutzbarkeit, Vertrauen und Nutzungsintention) ab, wobei die Reihenfolge der Sitzpositionen randomisiert wurde, um Reihenfolgeeffekte zu minimieren (Abbildung 3, Abbildung 4). Insgesamt nahmen 35 Personen an der Studie teil, wovon 17 den Use-Case „Sich Unterhalten“ und 18 den Use-Case „Sich Entspannen“ durchliefen.



Abbildung 3: Innenansicht des EMU in einer Tätigkeit



Abbildung 4: EMU in einer weiteren Tätigkeit

Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse, dass im Use Case „Sich Unterhalten“ die subjektiven Bewertungen in Bezug auf allgemeinen Komfort, wahrgenommene Sicherheit, Nutzbarkeit und Nutzungsintention je nach Sitzrotation variieren. Während rückwärts ausgerichtete Sitzpositionen als komfortabler und besonders für Konversationen geeignet empfunden werden, ist die subjektiv wahrgenommene Sicherheit bei nach vorne orientierten Sitzpositionen am höchsten. Dies liegt vermutlich daran, dass eine nach vorne gerichtete Sitzposition den Versuchspersonen den besten Überblick über den Straßenverkehr ermöglicht und somit ein gesteigertes Sicherheitsgefühl vermittelt. Im Use Case „Sich Entspannen“ zeigte sich hingegen, dass der Torsowinkel keinen signifikanten Einfluss auf Komfort und Nutzbarkeit hat, jedoch die wahrgenommene Sicherheit und Nutzungsintention beeinflusst. Die Versuchspersonen bevorzugten in diesem Szenario eine zurückgelehnte Position, um zu entspannen, während sie in dieser Haltung ein geringeres Sicherheitsgefühl verspüren, da der Überblick über den Verkehr eingeschränkt ist. Insgesamt verdeutlichen die Ergebnisse, dass ein Kompromiss zwischen den unterschiedlichen Nutzerbedürfnissen gefunden werden muss, da dieser entscheidend die Akzeptanz und Nutzungsintention automatisierter Fahrzeuge beeinflusst.

Die Erkenntnisse des AP2.4 wurden auf einer internationalen Konferenz veröffentlicht. Die Daten

und Erkenntnisse haben einen hohen Neuheitsgrad. Die Ergebnisse wurden mit den assoziierten Partnern diskutiert und stießen auf hohes Interesse. Hierdurch konnten Sekundärprojekte abgeleitet werden. Auch die assoziierten Partner sahen weiteren Forschungsbedarf und bestärkten weitere Untersuchungen im Feld der FFTs und der Innenraumauslegung für hochautomatisierte Fahrzeuge.

AP 2.5

Im Rahmen des AP 2.5 stand das ika bezüglich der Beratung der psychologischen Studiendaten und latenten Konstrukte zur Verfügung. Die Daten wurden durch AP2.4 bereitgestellt und in AP2.5, wenn nötig, erklärt und Rückfragen geklärt.

II.3 AP3 Menschmodell

Aufgrund der hohen Vernetzung mit der menschbezogenen Bewertung ergaben sich zwischen AP3 und AP7 einige Schnittstellen. Daher stand das ika in diesem AP beratend im Austausch mit Humanetics, CanControls und DFKI.

AP3.1

Zuerst wurden die in Ramsis umzusetzenden Funktionalitäten definiert. Diese resultierten aus den angeforderten Bewertungskriterien. Das ika hat in beratender Funktion in AP3.1 in enger Abstimmung mit DFKI und Humanetics die Verwertbarkeit des Menschmodells für das Softwaretool KAI sichergestellt.

AP3.3

Die Visualisierung des Menschmodells wurde in AP3.3 und AP7.4 behandelt. Hierzu wurde sichergestellt, dass die in AP7.4 beispielhaft dargestellten Collider kompatibel mit CAX-Systemen sicherstellen. Die durch das neuronale Netz prädierten Gelenkpunkte lassen sich in ein CAX-System übertragen und basierend auf dem Posture Preference Rating farblich markieren. Auch eine Visualisierung der Bewertungskriterien des Optimierungsergebnisses ist über die dargestellten Schnittstellen mithilfe von RAMSIS möglich.

II.4 AP4 Basis Packagemodellierer

AP 4 hatte zum Ziel, den Packagemodellierer zu definieren, zu entwickeln und umzusetzen. Hierzu wurden drei Unterarbeitspakete genutzt. Das AP war stark vernetzt mit den vorangegangenen und nachfolgenden AP. Es wurde ein interdisziplinärer, iterativer Ansatz zur AP-Bearbeitung über alle beteiligten Projektpartner gewählt.

AP4.1

Das Ziel von AP 4.1 lag darin, die Grundlagen für den Packagemodellierer zu schaffen. Hierzu wurden Innenraumkomponenten und Maßketten ermittelt und aufgestellt und ihre Abhängigkeiten untereinander analysiert. Dem AP kam somit eine zentrale Bedeutung zu, da es gemeinsam mit AP4.2 den methodischen Ablauf des Packagemodellierers definiert.

Zunächst wurden die Ergebnisse der AP1 und 2 ausgewertet. Insbesondere die Co-Creation wurde hierbei maßgeblich als Ausgangsbasis herangezogen. Hierüber konnten Informationen über die in den fahrfremden Tätigkeiten benötigten Innenraumkomponenten abgeleitet werden. Die Informationen umfassten den Typ der Komponente, die Gestalt und die Position im Fahrzeug. Zusätzlich konnten Häufigkeiten und Relevanzen ermittelt werden. Auf dieser Basis konnte im weiteren Verlauf von AP4 die Abstrahierung dieser Komponenten erfolgen. Ergebnisse waren den fahrfremden Tätigkeiten zugeordnete Listen über die verwendbaren Innenraumkomponenten im Rahmen des Packagemodellierers.

In diesem Unterpaket wurden auch die Maßketten genauer betrachtet. Hierzu wurden zunächst die SAE und GCIE-Maße die benötigt werden ermittelt und analysiert. Als Ergebnis konnten 79 initiale Parameter ermittelt werden, die der Packagemodellierer benötigt, um ein Modell aufbauen zu können. Durch den iterativen Entwicklungsansatz innerhalb von AP4 wurde die benötigte Menge an Parametern vergrößert. Zudem mussten eigene Parameter eingeführt werden. Hierzu wurden Untersuchungen bezüglich der Nomenklatur durchgeführt und eine mit der SAE komplementär kompatible Nomenklatur aufgebaut.

Auf dieser Basis konnten die Zusammenhänge der Maße analysiert und Maßketten aufgebaut werden. Die Maßketten dienen zur Ermittlung einzelner Maße oder auch der Prüfung der Maße auf Plausibilität. Die Aufgestellten Maßketten wurden bezüglich Ihrer Abhängigkeiten analysiert und geprüft. Um dies zu tun, wurde eine prototypische Umsetzung der Maßketten in rein mathematischer Betrachtung in Excel-VBA aufgebaut. Hierüber erfolgte der Proof-of-Concept der Ketten.

Im Rahmen der Maßkettenbetrachtung wurde unterschieden in das Fahrzeugmodell und das Eigenschaftensmodell. Ersteres beschreibt eine klassisch package-fokussierte Modellbildung. Zweiteres verfolgt die Modellierung weiterer Fahrzeugeigenschaften. Die Notwendigkeit dieser Unterscheidung kam durch die Module zur Bewertung. Diese enge Abstimmung mit anderen AP führte zu der Einführung des Parametervektors. Es wurde ein Konzept erstellt, wie welche Daten des Packages als Vektor dargestellt werden können. Dieser Vektor stellt eine Austauschliste an Daten dar, die zur weiteren Datenverarbeitung im Gesamtsystem KAI benötigt wird. Zum besseren Verständnis des Datenflusses wurde hierzu der Parametervektor in unterschiedliche Sektionen unterteilt, die im Nutzungsablauf des Gesamtsystems KAI verortete werden konnten. Abbildung 5 zeigt die einzelnen Teile des Vektors über die Nutzung des Gesamtsystems KAI.

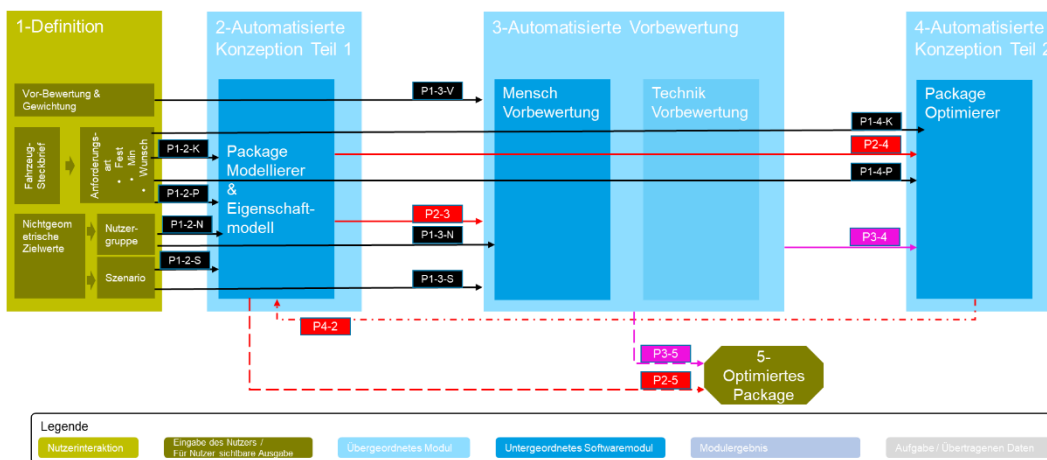


Abbildung 5: Darstellung der Parametervektoren

AP 4.2

In AP 4.2 wurden die Innenraumkomponenten genauer betrachtet, um sie in einer Datenbank und in CAD zu hinterlegen. Zur Bildung von Grundlageninformationen über in bestehenden Fahrzeugen verfügbare Innenraumkomponenten wurden Referenzfahrzeuge in CAD untersucht. Hierzu wurde ein CAD-Tool aufgebaut, das die einheitliche Vermessung der Komponenten erlaubte. Parallel hierzu wurden die Referenzfahrzeuge auch bezüglich der benötigten SAE-Parameter vermessen.

Im weiteren Verlauf wurde eine Abstraktionsmethode für die Innenraumkomponenten erstellt. Zuerst wurden die Komponenten nach Typenunterschieden und in Länge, Breite und Höhe beschrieben. Hierdurch ist ein geringer Detaillierungsgrad möglich. Im weiteren Verlauf wurde überprüft, inwiefern eine Detaillierung erfolgen kann. Es wurden verschiedene Konzepte erarbeitet und getestet. Das

finale Konzept basiert auf einer quaderförmigen Repräsentation der Komponente. Der Vorteil hierin liegt im prozessgerechten Detaillierungsgrad. Zu Beginn können Komponenten grob abgeschätzt nur als Quader dargestellt werden. Für den weiteren Detaillierungsprozess können Komponenten in Subsysteme untergliedert werden, die als Quader dargestellt sind. Somit ändert sich die Gestalt der Gesamtkomponente. Über diese Art der Voxelung ist eine genauere Package-Darstellung möglich.

Im Rahmen der Zusammenarbeit mit anderen AP wurden weitere Anforderungen an die Darstellung der Innenraumkomponenten gestellt. Hierbei war insbesondere die Interaktionsfähigkeit der Komponenten mit RAMSIS von großer Bedeutung. Hierzu wurde eine Methode zur Findung von Interaktionspunkten definiert und angewendet. Hierdurch kann RAMSIS den Blick auf die Innenraumkomponenten richten oder diese auch greifen. Im Rahmen dessen wurden auch Trainingsdaten für RAMSIS erzeugt. Hierbei wurde auf die Trennung der Innenraumkomponenten in den General-Package-Ansatz und den Specific-Package-Ansatz unterschieden. Dieser wurde genutzt, um Variationen des Interieurs für einen automatisierten RAMSIS zu erzeugen.

AP4.3

Dieses AP betrachtete den Aufbau und die Umsetzung des Packagemodellierers. Im Rahmen dessen wurde auf die methodische Definition des Modellierers aus der vorangegangenen AP des AP 4 zurückgegriffen. Das Vorgehen wurde in zwei Bereiche unterteilt. Die Erstellung der Softwareteile und die Erstellung des CAD-Teils.

Im Rahmen der Softwareerstellung wurde in einem ersten Schritt die prototypische Prüfung aus Excel-VBA erweitert und zu einem Programm mit grafischer Benutzeroberfläche weiterentwickelt. Abbildung 6 zeigt einen exemplarischen Ausschnitt aus diesem Programm. Es wurde ein voll funktionsfähiges Programm geschrieben, dessen Ergebnis der geometrische Parametervektor für das CAD-Modell ist.

The screenshot shows a software window titled "Position des Lenkrads und der Mittelkonsole" with a close button (X) in the top right corner. The window is divided into two main sections: "Lenkrad" and "Mittelkonsole".

Lenkrad Section:

- Buttons: "Vorschlag laden" (top right)
- Parameters:
 - Lenkraddurchmesser: W9, input field, in mm
 - Durchmesser des Lenkradkranzes (Griffdicke): W9-RIM, input field, in mm
 - Transversaler Abstand Fahrzeugmittenebene bis Lenkradmittlepunkt: W7, input field, in mm
 - Lenkradwinkel (Lenkradebene zu Senkrechten): A18, input field, in deg
 - Longitudinaler Abstand AHP zu Lenkradmittlepunkt: L11, input field, in mm
 - Vertikaler Abstand AHP zu Lenkradmittlepunkt: H17, input field, in mm
- Checkbox: Mittelkonsole hinzufügen

Mittelkonsole Section:

- Buttons: "Vorschlag laden" (top right)
- Parameters:
 - Longitudinaler Abstand Vorderradachse bis Vorderkante der Mittelkonsole: L94, input field, in mm
 - Longitudinale Länge der Mittelkonsole: L95, input field, in mm
 - Transversale Breite der Mittelkonsole: W95, input field, in mm
 - Vertikale Höhe der Mittelkonsole ab AHP: H95, input field, in mm

Bottom Buttons: "Abbrechen", "Parameter generieren", "Weitere Parameter"

Abbildung 6: Prototypische Umsetzung des Packagemodellierers in VBA

Im folgenden iterativen Prozess und der Betrachtung aller Module KAIs als Gesamtsystem wurde die on Excel-VAB bestehende Programmierung in Python überführt. Hierbei wurden im Rahmen des iterativen Vorgehens fortwährend Aktualisierungen eingebracht.

Im Rahmen dessen wurde der Packagemodellierer als Teils des Gesamtsystems betrachtet. Das fertig umgesetzte Programm eröffnet zunächst die Option auf einem Bestandsfahrzeug und somit bestehenden Parametervektor aufzubauen, oder ein neues Fahrzeug von Grund auf zu modellieren. Hierzu wurden die Angaben für das Fahrzeugmodell und Eigenschaftenmodell gleichzeitig abgefragt. Zunächst wird das Fahrzeugsegment angegeben, gefolgt vom SAE-Level und den Sitzplätzen. Daraufhin erfolgt die Angabe der SAE-Maße. Hierbei wird aufgrund der Komplexität der Sitz gesondert definiert. Auswahl und Positionierung der Innenraumkomponenten erfolgt ebenfalls zweistufig. In einer ersten Stufe werden die Komponenten auf Basis der Datenbank ausgewählt, um dann platziert zu werden. Hierbei kann der Packagemodellierer auch Kollisionen zwischen den Innenraumkomponenten erkennen und auflösen. Dies wird in einer vereinfachten Ansicht auch grafisch repräsentiert, um dem Anwender ein direktes Feedback zu geben. Ebenfalls prüft der Packagemodellierer, ob alle Komponenten im Fahrzeug liegen. Die manuelle Positionierung der Komponenten wird durch einen Kollisionswarner ergänzt. Abbildung 7 zeigt einen iterativen Zwischenschritt des Eingabeteils des Packagemodellierers und Abbildung 8 den finalen Stand.

The screenshot displays the 'KAI - Eingabemaske' application window, which is divided into several sections for configuring a vehicle package. The main window has tabs for 'Grundangaben', 'SAE-Maße', 'Nutzergruppen', 'Menschbezogene Bewertung', and 'Technikbewertung'. The 'Grundangaben' tab is active, showing fields for 'Fahrzeugklasse / -kategorie' (set to 'Kleinwagen'), 'SAE Level' (set to '1'), and 'Anzahl der Insassen / Sitzplätze' (set to '1'). Below these are checkboxes for 'Zu berücksichtigende NDRAs' (Such Unterhalten, Lesen, Entspannen, Arbeiten am Laptop). A 'Komponentenliste' table allows selecting components with 'add' buttons. The 'Ausgewählte Komponenten' area is currently empty. To the right, three detailed views show dropdown menus for 'Fahrzeugklasse / -kategorie' (listing options like Kleinwagen, Kompaktklasse, Mittelklasse, Oberklasse, Luxusklasse, Mini-SUV, Midsize-SUV, Fullsize-SUV, MPV), 'SAE Level' (1-5), and 'Anzahl der Insassen / Sitzplätze' (1-8).

Abbildung 7: Packagemodellierer in Python

Name	Beschreibung	<input type="checkbox"/> Fest	Minimum	Festwert	Maximum	Einheit
L103	Gesamtfahrzeuglänge (...)	<input type="checkbox"/>	1500.0	3567	6500.0	mm
L101	Radstand (...)	<input type="checkbox"/>	1300.0	2442	4800.0	mm
W103	Gesamtfahrzeugbreite (...)	<input type="checkbox"/>	1000.0	1721	2600.0	mm
H101	Gesamtfahrzeughöhe (...)	<input type="checkbox"/>	1500.0	1483	4000.0	mm
L104	Vorderer Fahrzeugüberhang (...)	<input type="checkbox"/>	100.0	587	400.0	mm
L53-1	Horizontaler Abstand AHP zu SgRP-1 (...)	<input type="checkbox"/>	456.0	997	1049.1	mm
W20-1	SgRP-1 Y-Koordinate (...)	<input type="checkbox"/>	220.0	378	940.0	mm
H30-1	Vertikaler Abstand AHP zu SgRP-1 (...)	<input type="checkbox"/>	127.0	381	566.0	mm

Abbildung 8: Ausschnitt des Endstands des Modellierers in Python

Auch das generische CAD-Modell für den Packagemodellierer wurde definiert und aufgebaut. Hierzu wurde in CATIA V5 ein Gesamtfahrzeugmodell mit Fokus auf das Interieur entwickelt. Die Herausforderung bestand darin, ein zum einen detailliertes Modell zu erzeugen, das zum anderen so updatestabil ist, dass es eine große Varianz an Fahrzeugtypen abbilden kann. Hierzu wurde das Fahrzeug und das Interieur in unterschiedliche Bereiche zerlegt und als Bauteile und Baugruppen zu einem Zusammenbau gefügt. Eine besondere Herausforderung stellte das Sitzmodell dar. Im Rahmen des CAD-Modells wurden weitere Maßketten und logische Bezüge ermittelt und definiert, um den automatischen updatestabilen Aufbau des Modells sicherzustellen. Das Modell kann durch Einlesen des Parametervektors gestaltet werden. Abbildung 9 zeigt das finale Ergebnis des CAD-Modells für unterschiedliche Gesamtfahrzeuge.

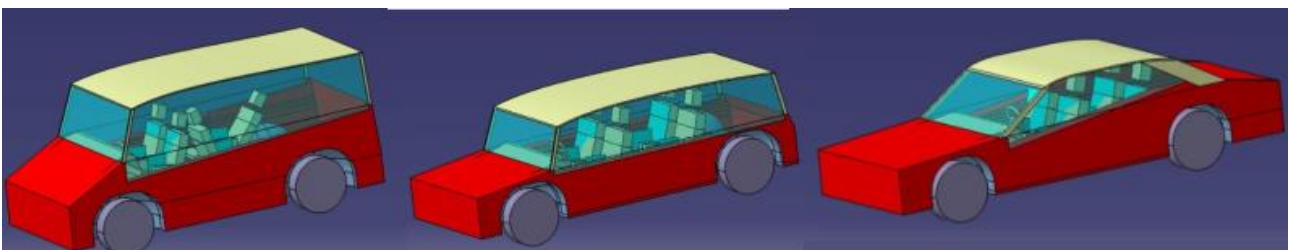


Abbildung 9: Finaler Stand des CAD-Modells. Hier drei exemplarische Beispiele der Variabilität.

Zur weiteren Untersuchung wurde ebenfalls versucht die CAx-Umgebung auf VR im Mock-Up, das in AP 2 erstellt wurde, zu beziehen. Hierzu wurde im Mock-Up eine VR-Umgebung aufgebaut. Hierdurch konnten zusammen mit dem Mock-Up die Packagemodelle in VR überlagert werden. Dieser Strang wurde als weiterer Entwicklungsstrang als sehr wertvoll erachtet. Er soll im Rahmen eines Folgeprojektes Betrachtungsfokus sein. Abbildung 10 zeigt eine Überlagerung der VR-Darstellung mit dem Mock-Up.



Abbildung 10: Kopplung des CAD-Modells mit dem EMU

II.5 AP5 Innenraumoptimierer

AP5 hatte zum Ziel, den Optimierungszyklus des Automated Designs durch die Umsetzung des Interieuroptimierungsmoduls zu schließen. Das Ziel des Innenraumoptimierers ist es, ein Package eines Interieurs hinsichtlich der menschenbezogenen sowie technischen Kriterien in der in AP6 und AP7 abgebildeten Bewertung zu optimieren und damit ein sich im Spannungsfeld der Nutzererfahrung, des Packages und wirtschaftlicher Faktoren bewegendes verbessertes Fahrzeugkonzept zu erstellen. Dazu werden im Packagemodellierer erzeugte Innenräume mithilfe eines genetischen Algorithmus variiert. Die Arbeiten in AP5 waren in drei Unterarbeitspakete gegliedert, deren Inhalte im Folgenden wiedergegeben werden. Sämtliche Arbeiten in AP 5, 6 und 7 erfolgten in enger Abstimmung mit dem DFKI in mehreren kurzen SCRUM-Meetings pro Woche.

AP5.1

Die Verknüpfung des Modellierers, der Bewertung, des Menschmodells, der Datenbank und der Optimierung wurde zu Beginn des Projekts softwarearchitektonisch konzipiert. Die Vernetzung der einzelnen Blöcke geschieht in Python. Zur Darstellung des Zusammenspiels ist eine grobe Ablaufskizze des Zusammenspiels der verschiedenen Module anhand des finalen Resultats wie folgt dargestellt: Zunächst wird der Benutzer durch die Definition Package geführt. Anschließend wird das Fahrzeug geladen und die zusammenfassende graphische Oberfläche (sog. Car-Configurator) angezeigt (Abbildung 11). In dieser Oberfläche kann der Benutzer sich das vorzeitige Ergebnis aus der Definition, die Bewertungsergebnisse hinsichtlich menschenbezogener oder technisch-wirtschaftlicher Faktoren und die Optimierungsergebnisse anzeigen lassen und ggfls. manipulieren, um den Designprozess zu steuern. Die Detailinformationen der Bauteile (z.B. Dimensionen, Kosten, etc.) werden dabei kontinuierlich aus einer Datenbank ausgelesen (siehe AP 7).

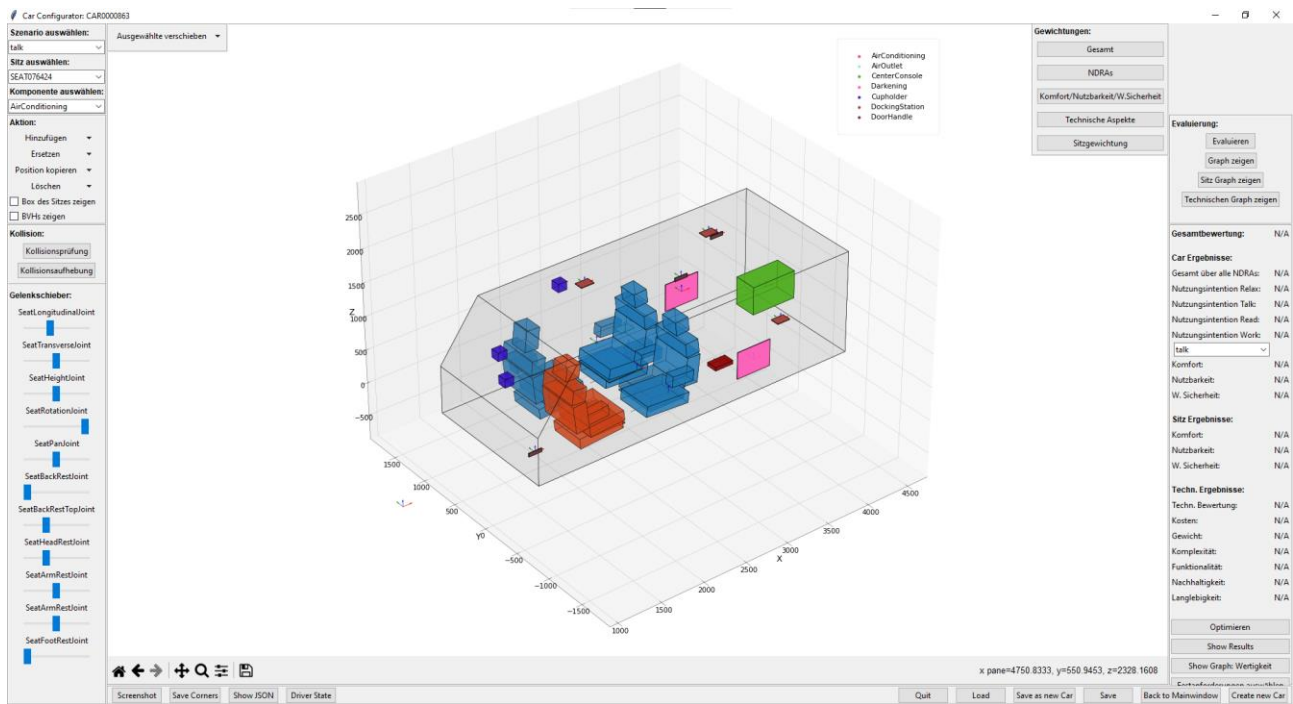


Abbildung 11: Ansicht der graphischen Oberfläche mit einem Fahrzeugmodell. Links werden Bauteile manipuliert. Rechts werden Bewertung und Optimierung gesteuert.

Sobald die Optimierung vom Benutzer angestoßen wird, wird ein genetische Algorithmus gestartet. Nach der Initialisierung wird die Optimierungsschleife durchlaufen, welche aus Mutation, Crossover und Selektion besteht (siehe **Abbildung 12** **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.**).

AP5.2

Im Zuge von AP5.2 wurden mehrere Ansätze zur Optimierung diskutiert. Die Abbildung eines Mechanismus nahe dem Automated Design (wie hier im Projekt) sieht eine Optimierung am Ende der Schleife vor. Aufgrund des aus harten Randbedingungen resultierenden sehr un stetigen Verhaltens eines Fahrzeuginterieurs in der Bewertung wurde von einem Gradientenverfahren o.ä. abgesehen. Stattdessen wurde auf genetische Optimierungsverfahren fokussiert. Diese lieferten mit implementierten Crossover- und Mutation Methoden eine ausreichende Konvergenz des komplexen Interieurs. Das Vorgehen ist in **Abbildung 12** dargestellt.

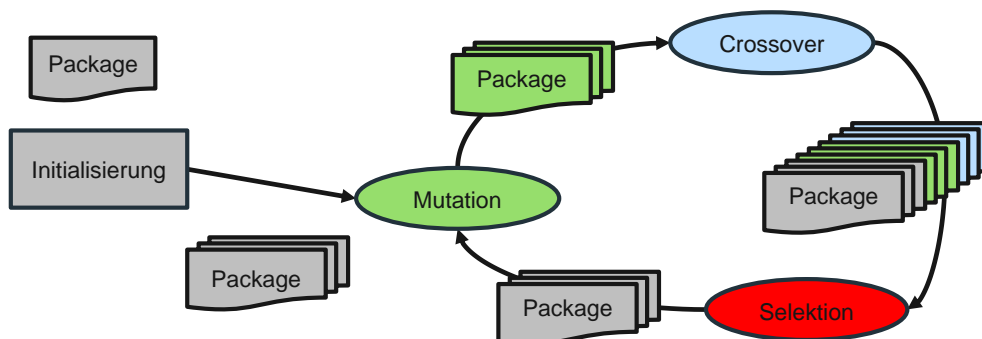


Abbildung 12: Funktionsweise des Innenraumoptimierers und des genetischen Algorithmus zur Anpassung, Bewertung und Optimierung komplexer Fahrinnenräume

Zu Beginn wird ein genetischer Algorithmus eingesetzt, um Fahrzeugkonfigurationen zu optimieren und lokale Minima zu vermeiden. Dabei werden in einem ersten Schritt (Initialisierung) erweiterte Ausgangsvarianten erzeugt, in denen verschiedene Individuen generiert und variiert werden. Anschließend folgt die Mutationsphase, in der mehrere Mutationsoperatoren auf diese Individuen angewendet werden, um unterschiedliche Fahrzeugkonfigurationen zu erzeugen. Dies umfasst unter anderem die Anpassung grundlegender SAE-Parameter wie Länge, Breite und Höhe, das Hinzufügen, Entfernen, Austauschen und Verschieben globaler Komponenten (beispielsweise Mittelkonsole oder Fahrzustandsanzeige), die Variation sitzspezifischer Komponenten (etwa Luftauslässe oder Fensterheber), die Veränderung einzelner Sitzkomponenten wie Rückenlehnen und Verstelleinheiten sowie die Anpassung der Sitzeinstellungen (etwa Neigungswinkel der Rückenlehne oder Längs- und Querverstellung). In einem anschließenden Crossover-Schritt werden Teile der Konfigurationen zweier Individuen ausgetauscht, beispielsweise durch das Ersetzen einzelner Sitze oder globaler Komponenten, um daraus zwei neue Individuen zu erhalten. Zur Auswahl (Selektion) werden die generierten Individuen mithilfe technischer (siehe AP 6) und menschenbezogener (siehe AP 7) Kriterien bewertet, sodass sich aus deren Fitness die besten Individuen für die nächste Generation ergeben, während alle übrigen Individuen entfernt werden. Auf diese Weise entsteht eine probabilistische Optimierung, die dank der Berücksichtigung komplexer Datentypen (variable Anzahl an Komponenten und Sitzen) sehr flexibel einsetzbar ist. Die Wirksamkeit dieses Verfahrens wurde in verschiedenen Szenarien evaluiert, wobei eine gezielte Gewichtung der Kostenfunktionen ermöglicht, entweder Kosten, Gewicht und Nachhaltigkeitskriterien zu priorisieren oder die Nutzungsintention sowie das Sicherheitsempfinden verstärkt zu berücksichtigen. Die Konzeption und Umsetzung entstand in enger Zusammenarbeit mit dem DFKI.

AP5.3

Für das vorgestellte Verfahren wurde ein umfassender Testplan aufgestellt, der die wesentliche Funktionalität des Optimierers überprüft. Dieser Testplan umfasst zum einen die Prüfung der Optimierung im Hinblick auf einzelne Funktionen des Modells (insbesondere die Erreichbarkeitsoptimierung), um sicherzustellen, dass der Algorithmus unterschiedliche Anforderungen erfolgreich bewältigen kann. Zum anderen wird auch eine Optimierung für die verschiedenen latenten Konstrukte untersucht, sodass sichergestellt wird, dass sowohl technische als auch nutzerzentrierte Ziele in den Fahrzeugkonfigurationen umgesetzt werden können. In Zusammenarbeit mit dem DFKI wurden Anpassungsvorschläge erarbeitet und umgesetzt. Resultate des Optimierers sind in AP8.5 dargestellt.

II.6 AP6 Technische KI-basierte Vorbewertung

Zur Gewährleistung einer reibungslosen Kompatibilität im Programmablauf erfolgte eine enge Abstimmung mit den an AP6 beteiligten Partnern. Dabei wurde das in AP7 entwickelte Bewertungsschema in AP6 übernommen.

II.7 AP7 Menschbezogene KI-basierte Vorbewertung

Das Ziel von AP7 war die Entwicklung der Evaluierung des in AP4 entwickelten Package-Modells unter Berücksichtigung menschenbezogener Bewertungsdimensionen. Die im Zuge des Projektes KAI umgesetzte Optimierungsstrecke erzeugt eine Reihe von Anforderungen an das Bewertungssystem, die im Zuge der Entwicklung bedacht werden mussten. Gleichmaßen definierte AP7 Anforderungen an die verschiedenen Studiendesigns, das Menschmodell in AP3 sowie das Package-Modell in AP4. Es greift die Forschungsfrage aus AP2 direkt auf: „Wie kann ein Innenraum geometrisch so gestaltet werden, dass er durch die Nutzung für fahrfremde Tätigkeiten optimal genutzt werden kann?“ Das Bewertungsmodul in AP7 hat die Aufgabe, eine Bewertung eines Interieurs durch den Nutzer bestmöglich zu prognostizieren.

In diesem AP spiegelt sich die hohe Interdisziplinarität des Konsortiums wider, da im Zuge einer algorithmisierten Bewertung (Informatik) latente nutzerbezogene Konstrukte (Psychologie) auf Basis eines digitalen Modells eines Interieurs (Ingenieursdisziplinen) prognostiziert werden. Außerdem ist zu betonen, dass ein komplettes Fahrzeuginterieur eine sehr komplexe Struktur aufweist, die für die Bewertung systematisiert werden musste.

Im Zuge des Projektes ergab sich die Fragestellung nach der Systematik zur Generierung von Anforderungen an ein Fahrzeuginterieur (Fragestellung 1), der Systematik hinter der Modellierung des Fahrzeuginterieurs (Fragestellung 2) und der Systematik der Bewertung (Fragestellung 3).

AP7.1

In AP7.1 wurden erste Konzepte zur menschbezogenen Bewertung erarbeitet. Dabei stellte sich zuerst die Fragen nach den Bewertungskriterien:

- Fragestellung 1: Was sind entscheidende Faktoren und Bewertungskriterien die das Empfinden im Fahrzeug während einer fahrfremden Tätigkeit beschreiben und welche Anforderungen ergeben sich daraus?

Die sich aus der Zusammenarbeit mit AP2 ergebenden Konstrukte der Nutzungsintention, der Nutzbarkeit, des Komforts und des Sicherheitsempfindens wurden auf die Bewertung übertragen. Die Nutzungsintention stellt in dem vorgeschlagenen Bewertungsansatz das Resultat der anderen Konstrukte dar. Im weiteren Verlauf wurde aus dem Spektrum an Ergebnissen der verschiedenen Studien und der Literatur kundennahe Anforderungen in technische Anforderungen heruntergebrochen, um diese auf technischer Basis bewertbar zu machen. Die Arbeiten führten zu einem Dokument mit gesammelten menschbezogenen Bewertungsdimensionen, welches als Grundlage für die weitere Bearbeitung in AP7.2 diente.

Ebenfalls wurden in AP7.1 erste Konzepte für eine KI-Implementierung des Bewertungsansatzes besprochen. Aufgrund der hohen Komplexität des Bewertungsgegenstands „Fahrzeuginterieur“ kam es hier vermehrt zu interdisziplinären Absprachen.

AP7.2

AP7.2 begann mit der Abstimmung der Forschungsfrage für die Nutzerstudie im hochdynamischen Fahrsimulator (AP2.4). Die Ergebnisse dieser Studie sollten direkt in die menschbezogene Bewertungsfunktion des KAI einfließen. Zur Definition der unabhängigen Variablen des Studiendesigns und damit der Basis der zu bewertenden Merkmale musste zuerst folgende Fragestellung beantwortet werden:

- Fragestellung 2: Auf welchen technischen Merkmalen eines Interieurs basierend kann man valide Aussagen für die Bewertung treffen und wie werden diese strukturiert?

Zur Beantwortung dieser Forschungsfrage wurden die verschiedenen Bestandteile eines Fahrzeuginterieurs hinsichtlich der Funktionen und Eigenschaften analysiert und abstrahiert. Es wurden verschiedene Wirkketten zwischen Interieurparametern und Bewertungskriterien identifiziert und auf Basis dessen Methoden zur Modellierung evaluiert.

Die Eigenschaften, welche für eine Bewertung wesentlich sind (geometrische, funktionale, qualitative) sowie Bezüge zu anderen Bauteilen und Randbedingungen (notwendige Erreichbarkeit oder Sichtbarkeit einer Komponente) wurden im Anschluss in der Datenbank der Komponenten abgebildet, aus welcher sich der Packagemodellierer und der Optimierer speist. Besonders hohe Detailtiefe wurde hierbei im Sitz erzeugt.

Nach der Festlegung der Modellierung des Interieurs und der wesentlichen Optimierungsgrößen stellte sich im Folgenden die Frage nach der Systematik hinter der Bewertung:

- Fragestellung 3: Wie kann das Datenmodell eines Fahrzeugs algorithmisch hinsichtlich nutzerrelevanter und technisch-wirtschaftlicher Kriterien bewertet werden?

Aufgrund der allgemeinen Anwendbarkeit der Methode und der hohen Transfertiefe von Kundenbedürfnissen in technische Anforderungen beruht die implementierte Systematik hinter der Bewertung auf einem Soll-Ist-Abgleich. Anforderungen (Soll) aus den Nutzungsszenarien werden durch das digitale Interieurmodell (Ist) auf Basis des Package- und Eigenschaftenmodells zu einem Grad erfüllt. Der Abgleich geschieht ähnlich einer Nutzwertanalyse oder eines House of Quality aus dem Quality Function Deployment über eine individuell gewichtete Aggregation von Teilerfüllungsgraden und lässt sich in einem Graphen abbilden (Abbildung 13).

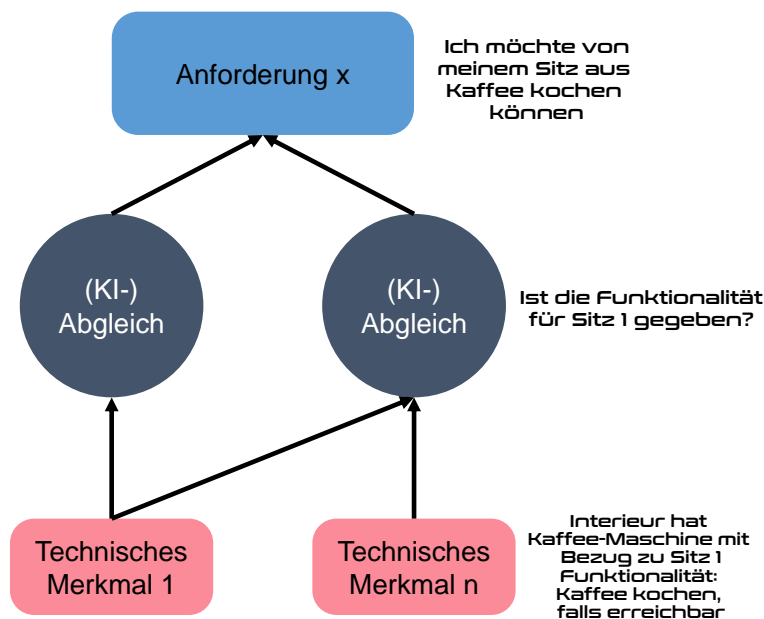


Abbildung 13: Bewertungssystematik in Graphendarstellung

Der Graph beschreibt hierbei die Abhängigkeiten zwischen den Funktionalitäten und Qualitäten einer Komponente hin zur Anforderungserfüllung in der Bewertung. Die verschiedenen Graphen (jeweils einer pro Sitz und einer pro Interieur) werden zusammengeführt und in einen numerischen Wert überführt. In den Knoten findet die Berechnung der Werte statt, welche über die Kanten gewichtet und zusammengeführt werden. Die Umsetzung und nähere Beschreibung des Graphen ist im Zuge der Implementierung in AP7.3 dargestellt.

AP7.3

Der Fokus in AP7.3 lag in der Implementierung der vorgestellten Konzepte. Zur Beschreibung der Implementierung sollen hierbei der Aufbau des Graphenmodells zur Aggregation der Bewertung und die Synthese des RAMSIS-Modells und die Integration in den Bewertungsansatz dargestellt werden:

Auf Basis einer tabellarischen Aufstellung von Anforderungen, die an ein Interieur gestellt werden können, wurden mehrere Graphen aufgebaut, die die Durchgängigkeit einer Anforderung von der Nutzungsintention als wesentliche Zielgröße bis hin zu mehreren technischen Anforderung beschreiben. Ein Beispiel ist in Abbildung 14 gegeben.

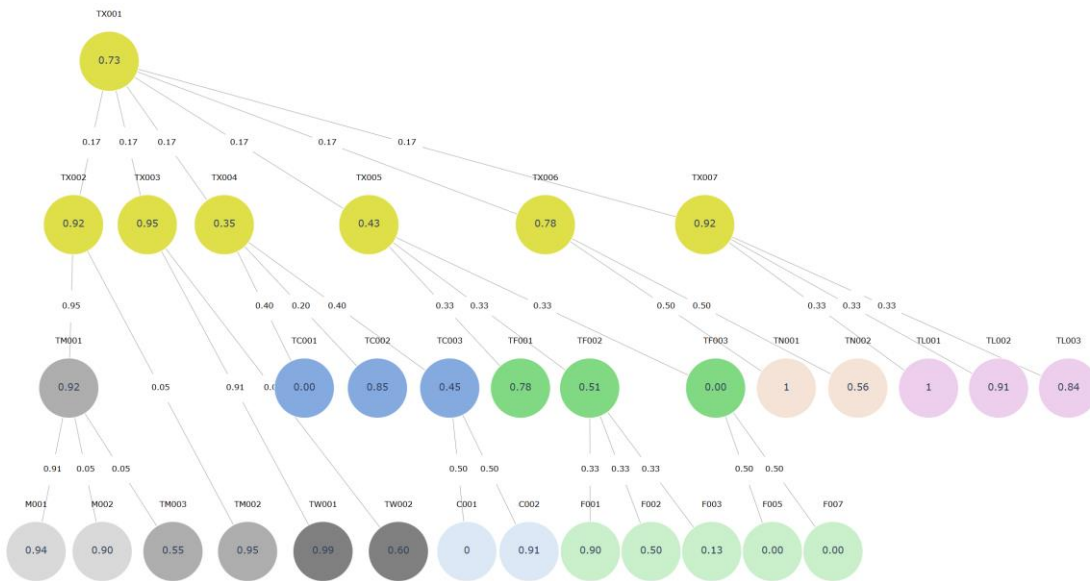


Abbildung 14: Umsetzungsgraphenmodell

Die oberste Ebene beschreibt den Erfüllungsgrad der Nutzungsintention, die zweite Ebene beschreibt die Erfüllungsgrade von Komfort, Sicherheitsempfinden und Nutzbarkeit. Die dritte Ebene sammelt Nutzeranforderungen, die in Komfort, Sicherheitsempfinden und Nutzbarkeit einzahlen. Die vierte Ebene beschreibt konkrete technische Anforderungen, die mit den Merkmalen des digitalen Modells abgeglichen werden.

Für den Abgleich zwischen den Merkmalen und Anforderungen wurden verschiedene Methoden implementiert. Die Verfügbarkeit von Funktionalität in einem Interieur ist über einen String-Abgleich von Anforderung aus dem Graphen und Funktionalität einer platzierten Komponente umgesetzt. Die Anforderungen an eine Qualität (bspw. Gewicht oder Materialität) von Komponenten ist in einem Knoten des Graphens individuell programmierbar, da hier meist physikalische Größen und deren Zusammenspiel den Anforderungserfüllungsgrad definieren. So können Komponenten mit unterschiedlichen Funktionalitäten oder Qualitäten (bspw. Basis Sitz mit geringem Funktionsumfang und geringwertiger Materialität gegenüber Premiumsitz mit hohem Funktionsumfang und hochwertiger Materialität) platziert, bewertet und optimiert werden.

Die Erkenntnisse aus den umfassenden Studien und Workshops wurden als Anforderungen an ein Interieur integriert. Die Ergebnisse der Co-Creation wurden nicht nur in Form von natürlichsprachlichen Anforderungen sondern auch in einem neuronalen Netzwerk verwertet, welches die Instanz des aktuell vorhandenen Interieurs mit den gewünschten Interieurlayouts aus der Co-Creation abgleicht.

Ein neuronales Netzwerk wurde in enger Zusammenarbeit mit DFKI und Humanetics entwickelt, um die relevanten Ergonomiemerkmale eines Innenraums schnell zu bewerten. Zwar kann das Menschmodell RAMSIS plausible Posen auf Basis von Experimentdaten prognostizieren, benötigt dafür jedoch zu viel Rechenzeit für eine direkte Einbindung in den Optimierungsprozess. Daher diente RAMSIS als Datengenerator, dessen Ergebnisse genutzt werden, um ein Vorhersagemodell in Form eines neuronalen Netzes zu trainieren, das die RAMSIS-Bewertungen während der Optimierung effizient nachbildet. Die Trainingsdaten stammen aus dem Packagemodellierer und gewährleisten eine umfassende Grundlage für unterschiedliche Sitz- und Bewertungskonfigurationen. Das neuronale Netz ist dazu in der Lage, die Pose eines Insassen und ein dazugehöriges Posture-Preference-

Rating sowie die Erreichbarkeit einer Komponente zu prognostizieren. Die Bewertung durch das neuronale Netzwerk findet ähnlich zu den anderen Anforderungsabgleichen in einem der dargestellten Knoten des Graphen statt und wird in die Gesamtbewertung mitaufgenommen. So wurde in Summe eine sehr umfangreiche Bewertung eines Fahrzeuginterieurs abgebildet.

AP7.4

In AP7.4 wurden Konzepte zur Darstellung der Ergebnisse entwickelt, wobei eine Visualisierung innerhalb von CAX angestrebt wird. Die Schnittstellenanforderungen wurden bei der Implementierung berücksichtigt.

Die Posenschätzung wurde über einfache Collider in die Visualisierung mitaufgenommen (Abbildung 15). Die Darstellung ermöglicht eine einfache Validierung der Pose und bedarf nur geringer Rechenkapazität.

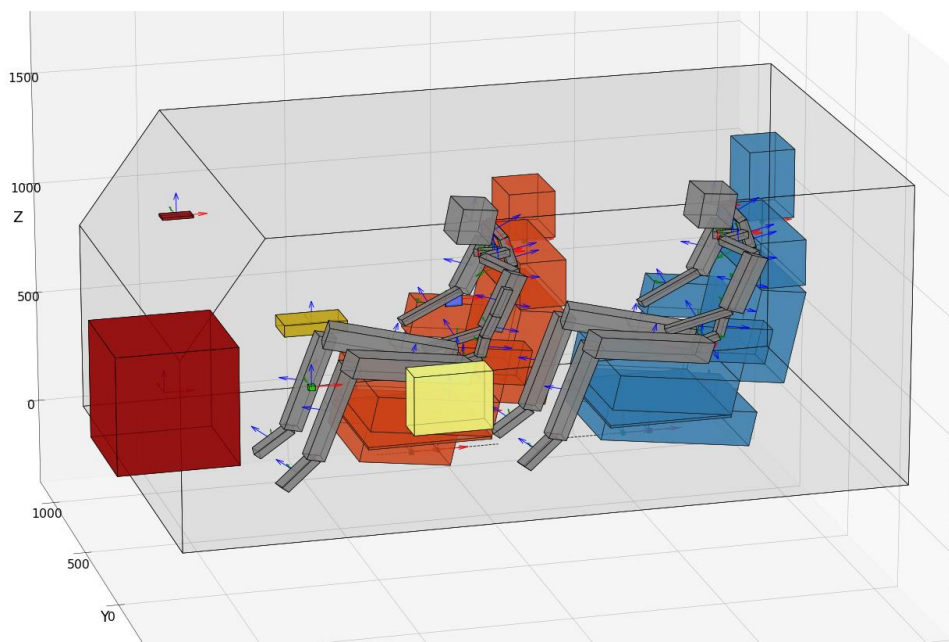


Abbildung 15: Darstellung der Posenschätzung anhand einfacher Collider im KAI-Tool

Die zur Verfügung stehenden Daten können exportiert und in ein CAD-Modell importiert werden.

II.8 AP8: Produktentwicklung, Evaluation & Akzeptanz

Ziel des AP8 war die Validierung des Softwaretools KAI sowie der grundlegenden Module.

AP8.1

Im Rahmen von AP8.1 wirkte das ika an mehreren Stellen. Zum einen war das ika stark in der Findung des Gesamtbilds und der Vision zu Projektbeginn eingebunden. Hierbei war dieses Vorgehen besonders lohnend, da ein gemeinsames Projektverständnis geschaffen werden konnte und das Projekt operativ strukturiert wurde, sodass alle Partner dasselbe Ziel verfolgten. Des Weiteren nahm das ika im Rahmen von AP 8.1 an Terminen zur Koordination des EMU teil. Zwar war das ika nicht am Bau des EMU beteiligt, jedoch der einsetzende Partner und somit Anforderungsgeber der. Des Weiteren wurde im Rahmen von AP 8.1 die Steuerung der Entwicklungsschritte des Gesamtsoftwaresystems KAI vom ika gestaltet. Viele der vernetzenden und abstimmenden interdisziplinären Arbeiten wurden direkt in den betreffenden AP ohne offizielle Nennung von AP8.1 durchgeführt.

AP8.3

Das AP8.3 ist gekoppelt an AP4. Durch die iterative Bearbeitung des AP4 wurde AP8.3 auch iterative bearbeitet. Im Rahmen dessen wurden Evaluierungskonzepte für den Packagemodellierer entworfen und neue SAE-Maße identifiziert und die Nomenklatur aus AP4 weiter überarbeitet. Die Maßketten wurden ebenfalls auf Basis iterativer Test angepasst. Das Ziel war durch kleinere Evaluationsabschnitte die Funktionsfähigkeit nachzuweisen und die Finalisierung des Packagemodellierers im Rahmen von AP4 zu gewährleisten. Zum Abschluss wurden in einer statischen Nutzerstudie zwei mit dem Packagemodellierer erzeugten Konzepte im EMU nachgebildet. Hierbei wurden die Probanden bezüglich der Nutzbarkeit des Innenraums für die jeweilige fahrfremde Tätigkeit auf, die es ausgelegt war, befragt. Hierbei wurde bestätigt, dass die mit dem Packagemodellierer entwickelten Konzepte auch in der Realität nutzbar sind. Das Ziel für Untersuchungen in Folgeprojekten ist es, dieses Vorgehen mit VR zu koppeln, um eine höhere Immersion erhalten zu können.

AP8.5

AP8.5 legte den Fokus auf die Evaluation der KI-basierten menschbezogenen Vorbewertung und unmittelbar damit verbunden der Gesamtp Performanz des Systems KAI. Das Ergebnis der Kombination der in AP 5, 6 und 7 erzeugten Methoden spiegelt sich in dem in Abbildung 16 dargestellten Evaluationsbeispiel des Systems für das Nutzungsszenario Entspannen wider. Auf Basis einer suboptimalen Initialisierung mit einer geringen Anzahl von Komponenten (1) außerhalb der Reichweite wurde die Optimierung des Interieurmodells mit unterschiedlichen Zielen gestartet.

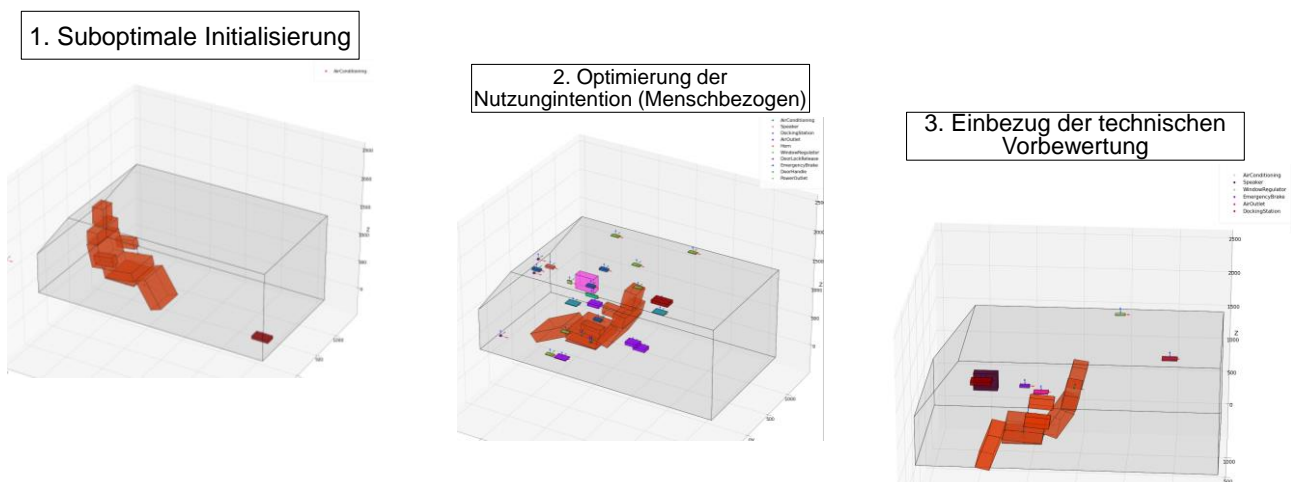


Abbildung 16: Evaluation der Systemperformanz des KAI-Tools

Das Resultat einer Optimierung der Nutzungsintention (2) zeigt auf, dass sich der Sitz in eine nutzungsgerechtere Sitzposition bewegt hat. Darüber hinaus wurde die Umgebung des Sitzes mit Komponenten angereichert, die für den Insassen in diesem Nutzungsszenario einen Mehrwert darstellen. In (3) sehen wir das Resultat einer weiteren auf (2) aufbauenden Optimierung unter Einbezug der technisch-wirtschaftlichen Bewertung. Erkennbar ist die deutliche Reduzierung der Komponentenanzahl auf ein effizientes Maß. Das Tool ist somit dazu in der Lage, die wesentlichen technisch-wirtschaftlichen Faktoren eines Interieurs abzubilden, zu bewerten und zu optimieren.

AP8.7

Der Fokus des ika lag in AP 8.7 auf der Durchführung zweier Nutzerstudien, die auf den Erkenntnissen der in AP 2.4 durchgeführten ersten Nutzerstudien aufbauten. Die Ergebnisse der ersten Nutzerstudie zeigten zum einen Präferenzen hinsichtlich der Sitzpositionen für die Szenarien „Sich Unterhalten“ und „Entspannen“ auf. Zum anderen verdeutlichten sie aber auch den Zielkonflikt

zwischen unterschiedlichen Nutzerbedürfnissen (Nutzbarkeit vs. wahrgenommene Sicherheit), der bei der Auslegung von Interieurskonzepten für zukünftige SAE L4 Fahrzeuge beachtet werden muss. Für diesen Zweck sollten im Rahmen des AP 8.7 weitere empirische Erkenntnisse gewonnen werden.

Die Fragestellung der zweiten Nutzerstudie, die ebenfalls im HDFS des ika mit $n = 45$ Versuchspersonen durchgeführt wurde, leitete sich ebenfalls aus den Ergebnissen der ersten Nutzerstudie (AP 2.4) ab. In dieser gab die Mehrheit der Versuchspersonen an, dass ihre Bewertung der getesteten Sitzpositionen im Zusammenhang mit dem Fahrzenario steht und sie eine Änderung dieser Bewertung in Abhängigkeit der Fahrdynamik und Kritikalität eines Fahrzenarios erwarten. Folglich hatte die Nutzerstudie zum Ziel, das Ausmaß der wahrgenommenen Sicherheit in Abhängigkeit verschiedener Querdynamiken näher zu untersuchen. Dazu wurde zunächst auf Basis aktueller Literatur und mit Hilfe einer Onlinestudie ein neues Messinstrument (Fragebogen) zur Erfassung der subjektiv wahrgenommenen Verunsicherung entwickelt, welches in der Nutzerstudie Anwendung fand. Im Rahmen der Nutzerstudie erlebten die Versuchspersonen automatisierte Fahrten (SAE-Level 4) auf einer dreispurigen Autobahn mit einer Grundgeschwindigkeit von 120 km/h, wobei in dieser Studie der Fokus auf den Freizeitweg gelegt wurde. Analog zur ersten Nutzerstudie (AP 2.4) saßen die Versuchspersonen dabei auf dem Fahrersitz, während eine weitere Person, die durch die Versuchsführung instruiert wurde, auf dem Rücksitz Platz nahm. Über die gesamte Fahrt hinweg hatten die Versuchspersonen die Aufgabe, sich während der Fahrt als fahrfremde Tätigkeit mit dem zweiten Insassen zu unterhalten. Im Vergleich zur ersten Studie wurden hier zusätzliche dynamische Fahrsituationen sowie weitere abhängige Variablen einbezogen. Das Studiendesign wurde als 3x3 Mixed Design umgesetzt. Als Zwischensubjektfaktor wurde die Sitzrotation des Fahrersitzes (0° in Fahrtrichtung, 90° ins Fahrzeuginnere, 180° entgegen der Fahrtrichtung) und als Innersubjektfaktor die Fahrdynamik (1 m/s^2 , $2,5 \text{ m/s}^2$, 4 m/s^2) in randomisierter Reihenfolge variiert. Die Probanden absolvierten jeweils drei automatisierte Autobahnfahrten im Simulator, die etwa 10 Minuten dauerten und in drei Abschnitte unterteilt waren. In der ersten Situation (Einscherer 1) führte das Egofahrzeug ein Bremsmanöver (ca. $3,5 \text{ m/s}^2$) aufgrund eines seitlich einscherenden Fahrzeugs durch. Anschließend erfolgte ein Distraktor in Form einer Geschwindigkeitsreduzierung auf 80 km/h mit variierenden Ursachen und schließlich eine zweite Fahrsituation (Einscherer 2), bei der aufgrund eines weiteren Einscherers das Egofahrzeug einen dynamischen Fahrstreifenwechsel nach links durchführte, bei dem die Dynamik variiert wurde. Zur Erfassung der Reaktionen wurde einerseits das Blickverhalten der Probanden mittels Eyetracking (Tobii Pro Glasses 3) über den gesamten Fahrtverlauf aufgezeichnet, und andererseits wurden im Anschluss an den zweiten Einscherer subjektive Daten zu Kritikalität, wahrgenommener Sicherheit, Komfort und Nutzbarkeit der jeweiligen Sitzposition erhoben.

Zusammenfassend bestätigen die Ergebnisse die Erkenntnisse aus der ersten Nutzerstudie hinsichtlich der subjektiven Empfindung der einzelnen Sitzpositionen. Zudem zeigte sich, dass die Dynamiken einen signifikanten Einfluss auf die Bewertung der Sitzpositionen hat. Die explorativen Ergebnisse, die mit Hilfe des neu entwickelten Fragebogens erzielt wurden, geben zudem erste Hinweise darauf, dass die Dynamik mit der Sitzposition hinsichtlich der subjektiven Bewertung interagiert. Die Daten geben darüber hinaus einen Hinweis darauf, dass der Visus und die Möglichkeit, die Fahrumgebung zu überwachen, eine große Relevanz für die subjektiv empfundene Sicherheit haben, sowohl im positiven als wie auch im negativen Sinne.

Um diese Erkenntnisse zu überprüfen, wurde abschließend eine dritte Nutzerstudie mit $n = 64$ Versuchspersonen im HDFS des ika durchgeführt. Diese Studie widmete sich der Fragestellung, inwie-

fern visuelle Aufmerksamkeit einen Einfluss auf die subjektive Bewertung verschiedener Sitzpositionen in unterschiedlichen Fahrsituationen hat. Dazu wurde aufbauend auf dem Versuchsdesign der zweiten Nutzerstudie ein 2x2x3 Mixed Design realisiert. Dabei wurden der Zwischensubjektfaktor Nebenaufgabe (SuRT vs. 1-back) und die Innersubjektfaktoren Sitzrotation (0° vs. 180°) und Querdynamik (1 m/s², 2,5 m/s², 4 m/s²) randomisiert variiert. Im Rahmen der Studie nahmen die Versuchspersonen auf dem Fahrersitz Platz und absolvierten sechs automatisierte Fahrten. Eine Fahrt dauerte jeweils etwa drei Minuten und folgten einem festen Ablauf: Das Fahrzeug startete in der rechten Spur mit 130 km/h, nach 90 s wurde die Nebenaufgabe (SuRT oder 1-back) freigeschaltet und durch die Versuchspersonen bearbeitet. Anschließend erfolgte ein Spurwechsel in die mittlere und dann in die linke Spur als Reaktion auf das Einscheren eines weiteren Fahrzeugs von der rechten Spur. Nach weiteren 30 s wechselte das Fahrzeug zurück auf die rechte Spur, die Versuchspersonen beendeten die Nebenaufgabe und das Fahrzeug hielt auf der Standstreifen. Dieser Ablauf wurde sechs Mal mit variierenden Sitzpositionen und lateralen Dynamiken in zufälliger Reihenfolge durchgeführt. Nach jeder Fahrt fand ein Interview statt. Während der gesamten Fahrt wurde das Blickverhalten der Versuchspersonen über Eyetracking (Tobii Pro Glasses 3) erfasst. Zudem wurden mit Hilfe von Interviews Subjektivdaten zu den Konstrukten wahrgenommene Sicherheit, Vertrauen und Kritikalität erhoben. Zusammenfassend zeigten die Ergebnisse auch in der dritten Nutzerstudie eine hohe inhaltliche Übereinstimmung mit den Erkenntnissen und Erwartungen basierend auf den ersten beiden Nutzerstudien. Es zeigten sich Effekte der Nebenaufgabe, also des Ausmaßes der visuellen Aufmerksamkeit auf die subjektive Bewertung der Sitzposition. Diese Ergebnisse verstärken die Relevanz der Betrachtung von NDRAs bei der Ausgestaltung von Innenraumkonfigurationen beim automatisierten Fahren und können dazu beitragen, den bereits in der ersten Nutzerstudie gefundenen Zielkonflikt zwischen Nutzbarkeit und wahrgenommener Sicherheit aufzulösen.

II.9 AP9 Projektmanagement & Veröffentlichung

In AP9 wurden die Projektmanagementaufwände abgeleistet und die Ergebnisse des Projekts disseminiert.

AP9.3

Hierbei verfolgte das ika eine mehrteilige Strategie, um die Projekterfolge in mehreren Ebenen einbringen zu können. Zum einen wurden über regelmäßige Social-Media-Posting Studierende und Industriepartner über das Projekt und den Fortschritt informiert. Ein weiterer Veröffentlichungsstrang war das Nutzen von Industriekonferenzen. So konnte das ika zum Beispiel 2023 in Böblingen auf der RedCabin Tagung einen Workshop leiten. In diesem wurden Informationen aus dem Projekt genutzt, um sie dem Fachpublikum der Industrie vorzustellen. Weiteres Beispiel ist die Fachtagung Fahrzeugsitze, in der das ika zwei Vorträge zu den Entwicklungen und Erkenntnissen aus KAI 2023 veröffentlichen konnte. Ferner gab es Veröffentlichungen auf wissenschaftlichen Konferenzen. Hierbei veröffentlichte das ika beispielsweise auf der TSME-ICoME 2022, auf der AHFE 2023 und auf der IHSED 2024. Es handelt sich hierbei um internationale Veröffentlichungen. Durch diesen Ansatz versuchte das ika die Ergebnisse breit in der Öffentlichkeit zu streuen. Die Veröffentlichungen sind vollumfänglich in II.13 beschrieben.

Abbildung 17 fasst die durch KAI erstellten Veröffentlichungen und Lehrevorhaben zusammen. Der Multiplikator durch Studierende wird hierbei als besonders wertvoll erachtet. Durch ihn wird gewährleistet, dass der gewonnene Wissensschatz auch nachfolgenden Forschungsgenerationen am ika zur Verfügung steht.

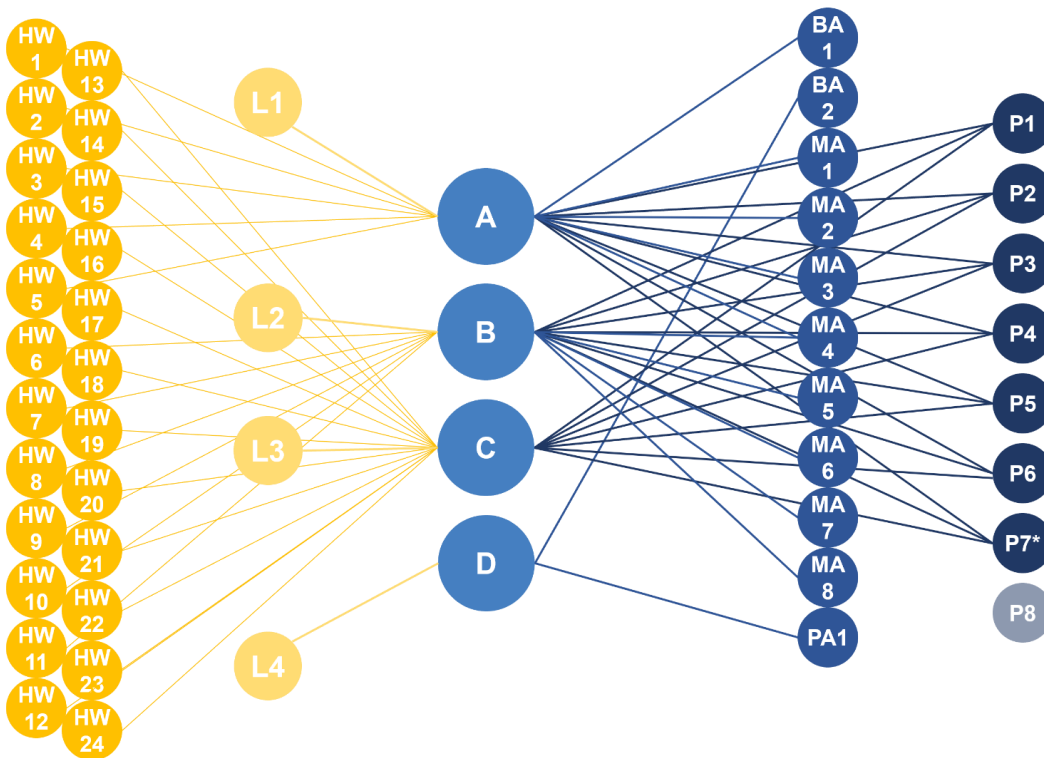


Abbildung 17: Abbildung der entstandenen Veröffentlichungen und Lehrleistungen. HW=Hilfs-Wissenschaftler, L=Lehrveranstaltung, A-D=Promotionen, BA=Bachelorarbeiten, MA=Masterarbeiten, PA=Projektarbeiten, P=Veröffentlichungen

II.10 Darstellung der wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die wichtigste Position des zahlenmäßigen Nachweises stellen die Personalmittel dar. Hierunter fallen die Tätigkeiten der beteiligten Wissenschaftler, der nicht wissenschaftlichen Angestellten sowie der beteiligten studentischen Mitarbeiter zusammen. Aufgrund der hohen Komplexität der dem Projekt zugrundeliegenden Fragestellung, setzte das ika zur Projektbearbeitung ein Kernteam aus erfahrenen und neuen Mitarbeitenden ein. Das Kernteam bestand aus drei Bereichen des ika: Fahrzeugkonzepte, Fahrzeugintelligenz und Verkehrspsychologie & Akzeptanz. Es wurde aus jedem Bereich eine Hauptperson gestellt, die über die gesamte Projektdauer verfügbar war. Ohne die Unterstützung der verschiedenen Kollegen, Kolleginnen und Studierenden wäre die Projektdurchführung nicht in dem erfolgten Maße möglich gewesen. Die Erreichung aller Projektziele ist der Beteiligung der Kollegen und Kolleginnen zuzuschreiben.

Im Rahmen des Projektes kam auch zu Veränderungen der vielfältigen Tätigkeiten, die zur Projektplanungsphase nicht absehbar waren. Aus diesem Grund bat das ika am 23.04.2024 um eine Umwidmung von Mitteln beim Projektträger. Dieser bestätigte die Umwidmung am 26.06.2024.

Im Rahmen des Projekts wurden sehr umfangreiche Nutzerstudien durchgeführt, die einen hohen Personalaufwand erforderten und insbesondere durch studentische Hilfskräfte unterstützt wurden. Darüber hinaus stellte sich bei der Umsetzung des KAI Tools aufgrund seiner Komplexität heraus, dass ein deutlich größerer Einsatz von studentischen Hilfskräften nötig war als ursprünglich geplant. Da sich die Arbeiten in hohem Maße auf personelle Unterstützung konzentrierten, wurden im Gegenzug weniger finanzielle Mittel für teurere Anschaffungen (Kostenposition 0850: „Gegenstände von mehr als 800/410/400 €“) benötigt. Stattdessen konnte auf bestehende Infrastruktur und Ressourcen zurückgegriffen werden, um die Projektschritte erfolgreich umzusetzen. Diese Umwidmung der ursprünglich für kostenintensive Anschaffungen vorgesehenen Mittel trug so zu einer sinnvollen

Ressourcennutzung bei, förderte direkt den Projekterfolg und ließ sich ohne relevante negative Auswirkungen realisieren.

Im Verlauf der finalen Projektbearbeitung kam es zu weiteren Verschiebungen in den Kostenkategorien, die im Schlussverwendungsnachweis angegeben sind. Alle Verschiebungen waren geringer als 20% von den im Gesamtfinanzierungsplan genannten und geplanten Kosten. Im Rahmen der finalen Nutzerstudien kam es zu erhöhten Aufwänden in der Kategorie 0817, weswegen diese einen um 4,50% erhöhten Bedarf im Vergleich zum Gesamtfinanzierungsplan hatte. Mit den Studien einhergehend und durch die intensiven Arbeiten an der Softwareumsetzung wies die Kategorie 0822 einen um 13,05% im Vergleich zum Gesamtfinanzierungsplan erhöhten Bedarf auf. Durch die Studie benötigte Vergaben von Aufträgen der Kategorie 0835 wiesen leichte Überhöhungen im Vergleich zum Gesamtfinanzierungsplan von 1,01% auf. Im Rahmen der Studien fielen Anschaffungen an, die der Kategorie 0843 zuzuordnen waren. Daher wurde diese Kategorie um 5,96% im Vergleich zum Gesamtfinanzierungsplan überschritten. Durch die Möglichkeit, eine weitere Veröffentlichung vor Ort präsentieren zu können, wurde die Kostenkategorie 0846 überschritten. Im Vergleich zum Gesamtfinanzierungsplan wurden 4,47% mehr abgerufen als ursprünglich geplant. Die erhöhten Ausgaben in den genannten Kategorien konnten vollständig durch Einsparungen in den Kategorien 0812, 0831 und 0850 gedeckt werden. Durch die Veränderungen in den Kostenkategorien wurde die erfolgreiche Projektbearbeitung gewährleistet und die geplanten Projektziele erreicht. Somit ist das Gesamtbudget des Gesamtfinanzierungsplans zu 98,88% genutzt worden und wurde nicht überzogen.

II.11 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Neben dem physikalischen Evolutions-Mockup (EMU) und den durchgeführten Studien wurde vor allem das Softwaretool KAI entwickelt, das Konstrukteur*innen bei Design-Entscheidungen unterstützt und die Auswirkungen fahrfremder Tätigkeiten auf neue Fahrzeugkonzepte transparent macht. Dies erforderte ein interdisziplinäres Team und die Zusammenarbeit verschiedener Unternehmen und Forschungseinrichtungen.

Die erzielten Ergebnisse tragen zur weitergehenden Digitalisierung des Produktentwicklungsprozesses bei und unterstützen das langfristige Ziel, Fahrzeuge als „Digitale Zwillinge“ über den gesamten Lebenszyklus abzubilden. Die Projektmittel des ika wurden effizient genutzt, um Forschung und Entwicklung zu bündeln und die Qualität der Ergebnisse auch bei Verzögerung einzelner Ergebnisse zu gewährleisten. Verwertbarkeit

Aus Sicht des ika bilden die Projektergebnisse eine solide Grundlage für sowohl wirtschaftliche Anwendungen als auch weiterführende Forschung. Das Projekt KAI bietet eine wertvolle Kombination aus praxisnaher Forschung und industriellem Nutzen mit hohem Verwertungspotential: Die entwickelten Lösungen haben großes Potenzial im Automotive-Bereich, insbesondere für die aktuell so relevante Beschleunigung des Produktentwicklungsprozesses. Das physikalische EMU könnte zeitnah in industrielle Prozesse integriert werden. Die neuen Erkenntnisse zum Nutzungsverhalten in autonomen Fahrzeugen liefern wertvolle Impulse für Fahrzeughersteller und Zulieferer. Für das Softwaretool KAI sind aufgrund der hohen Komplexität weitere F&E-Schritte nötig, bevor eine Marktreife erreicht werden kann, jedoch ist auch das hier zu hebende Potential bewiesen und sehr hoch einzustufen. Die Inhalte werden im Zuge der Dissertationen weiter vorangetrieben. Somit ist die Fortführung der entwickelten Technologien sowohl in wissenschaftlichen als auch in wirtschaftlichen Kontexten gewährleistet.

Dank physikalischer Versuchsaufbauten und digitaler Prototypen bestehen mehrere Anknüpfungspunkte für zukünftige Kooperationen. Die Methoden des Softwaretools KAI eröffnen vielfältige For-

schungsperspektiven: von der detaillierten Beschreibung digitaler Assets in einer weiter ausgearbeiteten Datenbank im Sinne der Verwaltungsschale (AAS) bis hin zur Implementierung innovativer KI-Ansätze zur Steigerung der Immersion des virtuellen Modells oder zur Erweiterung der Optimierung auf andere Domänen. Durch die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Ingenieur*innen, KI-Forscher*innen und Psycholog*innen entstehen neuartige Fragestellungen, die weit über klassische Fahrzeugentwicklung hinausgehen und das Potential haben, die Digitalisierung der Produktentwicklung erheblich zu beschleunigen und damit Produktentwicklungszyklen zu verkürzen. Es existiert eine Grundlage an Ideen für zukünftige Verbundforschungsprojekte. Eine Anschlussförderung würde eine stärkere Verwertung der Projektergebnisse von KAI sicherstellen. Es wurden bereits mehrere Versuche für Folgeprojekte gestartet, diese allerdings – unter anderem wegen der haushaltspolitischen Hindernisse der letzten Jahre – ohne Erfolg.

II.12 Bekannt gewordener Fortschritt

In den letzten Jahren hat KI signifikante Fortschritte in der Produktentwicklung erzielt. Maschinelles Lernen ermöglicht die Optimierung von Designprozessen, indem es Simulationen durchführt, die nicht nur die besten Designlösungen auswählen, sondern auch potenzielle Probleme frühzeitig identifizieren können. Darüber hinaus kommen generative Designtechniken zum Einsatz, bei denen KI-Systeme automatisch innovative Designs erstellen können, die sowohl funktionale als auch ästhetische Anforderungen erfüllen. In der Fertigung spielt vorausschauende Wartung eine entscheidende Rolle: Sie steigert die Effizienz erheblich, indem sie potenzielle Ausfälle frühzeitig erkennt und so kostspielige Produktionsunterbrechungen vermeidet. Dies führt zu einer höheren Verfügbarkeit von Maschinen und einer besseren Ressourcennutzung.

Besonders deutlich wurde der Fortschritt von KI beim Aufstieg großer Sprachmodelle (LLMs). Diese Modelle haben sich als Schlüsseltechnologie etabliert und das öffentliche Bewusstsein für die Leistungsfähigkeit und die Anwendungsmöglichkeiten von KI geprägt. Erste Experimente mit generativen Modellen zur Erstellung von Bildern zukünftiger Fahrzeuginnenräume zeigten jedoch erhebliche Mängel, wie überlappende Geometrie und inkonsistente Designs, was einen erhöhten Forschungs- und Entwicklungsaufwand erforderte, um diese Technologien effektiver zu nutzen.

Zusätzlich haben Initiativen wie die Plattform Industrie 4.0 und die Industrial Digital Twin Association die Verwaltungsschale (AAS) weiterentwickelt, um Herstellern bei der Bereitstellung benötigter Informationen zu helfen. Diese Standardisierung könnte den Austausch von Daten zwischen verschiedenen Akteuren in der Wertschöpfungskette erleichtern. Während des Projekts bestanden hinsichtlich der Konsortialpartner noch Bedenken hinsichtlich IP-Schutz ihrer Komponenten und Preisgabe von Verhandlungsinformationen. Für zukünftige Projekte könnte die AAS hier eine Lösung darstellen.

II.13 Veröffentlichungen

Die im Rahmen des Projekts KAI am ika entstandenen Veröffentlichungen sind wie folgt aufgeführt. Es ist eine weitere Veröffentlichung des Konzeptes von Optimierer und Bewertungsfunktionen von IKA und DFKI geplant.

- User-Interaction Experiments for the Design of Interiors for SAE-Level 4 Automated Vehicles | ika | Konferenzbeitrag & Paper: TSME-ICoME 2022 | AP2 | Co-Creation Studie
- Nutzerzentrierte Innenräume – Welche Implikationen haben neue Nutzungsszenarien beim hochautomatisierten Fahren auf den Innenraum | ika | Konferenzbeitrag: Fachtagung Fahrzeugsitze 2023 | AP2, 4 | Nutzerbedürfnisse und Packagemodellierer

- Von Fahrtzeit zu Freizeit: Ein Vorgehen zur subjektiven Bewertung neuartiger Sitzpositionen | ika | Konferenzbeitrag: Fachtagung Fahrzeugsitze 2023 | AP2, 5 | Nutzerbedürfnisse und Optimierer
- Converting Driving Time to Leisure: Subjective Evaluation of Innovative Seating Positions | ika | Konferenzbeitrag & Paper: AHFE 2023 | AP2 | Nutzerstudien & Nutzerbedürfnisse
- Implikationen fahrfremder Tätigkeiten auf neue Interieurs: ein modulares Konzeptionstool | ika | Fachzeitschrift: ATZ 2023 | AP4, 5, 7 | Gesamtsystem KAI, Packagemodellierer, menschenbezogene Bewertung und Optimierer
- From Driving to Quality Time: Deriving User Requirements for Interiors of Highly Automated Vehicles | ika | Konferenzbeitrag & Paper: IHSED 2024 | AP2 | Co-Creation Studie
- AI-supported Package Development based on RAMSIS-generated Training Data | ika & DFKI | Konferenzbeitrag: RAMSIS User Conference Europe 2024 | AP2, 3, 4, 5, 7, 8 | Gesamtsystem KAI und Nutzung der RAMSIS Trainingsdaten
- TBD: Optimierung von Fahrzeuginnenräumen auf Basis automatisierter Bewertungsfunktionen. Tbd. | ika & DFKI | tbd. 2025 | AP5 6, 7 |