

# Schlussbericht des Verbundprojektes EMMI



Titel des Projektes:

**Empathische Mensch-Maschine-Interaktion zur Erhöhung der Akzeptanz des Automatisierten Fahrens**

Akronym: **EMMI**

Teilvorhaben: **Intelligenter Visueller Assistent**

**Projektpartner:**

Charamel GmbH  
Aachener-Str. 60-62  
D 50674 Köln

Fon: +49 (0) 221-33664-0

[www.charamel.com](http://www.charamel.com)

**Autor / Ansprechpartner:**

Norbert Helff  
[helff@charamel.com](mailto:helff@charamel.com)

**Förderkennzeichen:**

19A20008D

**Bewilligungszeitraum:**

01. September 2020 – 31. Dezember 2023

**Zuwendungsempfänger:**

Charamel GmbH

**Datum Schlussbericht:**

28.06.2024

**Hinweis:**

Das diesem Bericht zugrunde liegende Vorhaben wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) unter dem Förderkennzeichen 19A20008D gefördert. Die Verantwortung für den Inhalt dieser Veröffentlichung liegt beim Autor.



Bundesministerium  
für Wirtschaft  
und Klimaschutz

# I Kurze Darstellung

## 1 Aufgabenstellung

Das Ziel des Verbundprojektes/ Fachprogramms EMMI war die Entwicklung und Erforschung von empathischer Mensch-Maschine-Interaktion zur Verbesserung der Akzeptanz und des Vertrauens in das automatisierte Fahren. Hierzu wurde ein neuartiges System entwickelt, das mithilfe von Sensoren, Sprachsteuerung und psychischer Signalerkennung eine empathische Interaktion ermöglicht, um Vertrauen aufzubauen.

Die Kernaufgabe von Charamel im Teilvorhaben Intelligenter Visueller Assistent war die Erstellung eines 3D-Echtzeit-Avatars für das Assistenzsystem mit sozio-emotionalen Fähigkeiten für die Interaktion mit Nutzern von automatisierten Fahrzeugen. Dies bezog sich sowohl auf die technische und kreative Darstellung, als auch auf die sozioemotionale Interaktion.

## 2 Durchführungsvoraussetzungen des Vorhabens/aktueller Stand

Charamel ist ein führender Anbieter von echtzeitanimierten und interaktiven 3D-Avataren im Bereich Mensch-Maschine-Interaktion (MMI) und verfügt über das konzeptuelle und technische Know-how zur Erreichung der im Forschungsantrag festgeschriebenen Projektziele. Die Durchführung des Teilvorhabens profitierte unter anderem auch aus Beziehungen einiger Partner durch vorangegangene Kunden oder Forschungsprojekte. Charamel kooperierte im Vorfeld mit der Firma Cerence in Kundenprojekten und mit dem DFKI in verschiedenen Forschungsthemen. Die im Vorfeld geführten Gespräche mit allen Partnern ließen auf ein großes inhaltliches, konzeptionelles und technisches Verständnis rückschließen. Dies waren notwendige Voraussetzungen für die Durchführung des Vorhabens. Dennoch waren die technischen Herausforderungen für die Realisierung des Projektes groß.

## 3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Die einzelnen Aufgaben im Projekt wurde von allen Projektpartnern in der Antragsphase gemeinschaftlich gründlich geplant und entsprechend zugewiesen. Neben dem Arbeitspaket 8 übernahm Charamel auch die Planung und Koordination des technischen 3D-Assistenzsystems (Demonstrator Online-Studie und HMI-Prüfstand) inkl. der Schnittstellen zu den Softwarekomponenten der Partner aus AP 2. Dies erfolgte in permanenter Abstimmung.

Das Ziel des AP 8 war die Erstellung und Erforschung eines ganzheitlichen Visualisierungsansatzes für das Assistenzsystem zur Steigerung des Vertrauens in die automatisierte Fahrzeugführung. Hierfür entwickelte Charamel auf Basis eines 3D-Echtzeit-Avatars ein sozio-emotionales Assistenzsystem. In den ersten Arbeitsschritten wurden verschiedene charakteristische Avatare beschrieben und

Designvorlagen erstellt. Die ersten Erkenntnisse aus den experimentellen Visualisierungstests mit dem „Mockup-Avatar“ führten zur Verfeinerung des Visualisierungskonzeptes für die zukünftigen 3D-Avatar-Modelle. Das erste 3D-Modell wurde erstellt und für eine einwandfreie Darstellung (Animationsfreiheitsgrade) optimiert. Die Entwicklung umfasst ein Rohdatenmodell inkl. einer Skeletstruktur (Verwendung vom Biped-Knochen-System). Im Anschluss wurden die entsprechenden Texturen designt bzw. aus Vorlagen extrahiert. Der Avatar wurde finalisiert durch die Entwicklung entsprechender Morphtargets (Facerig) für die mimische Animation und eine Zuweisung der Geometrie an das Biped-Knochen-System (Skinning). Ferner wurde für die Avatar-Verhaltensmodellierung eine viel dynamischere Ansteuerung des Gesichtes entwickelt, die dem Avatar mehr „Humanität“ verleiht und die Sprachausgabe emotionaler unterstützt.

Neben der Erstellung des 3D-Assistenten unterlag Charamel die Planung und Realisierung einer speziellen Websocket-Serverlösung für den softwareseitigen Datenaustausch unter den Softwarekomponenten der jeweiligen Partner Cerence, CanControls und DFKI aus AP 2.6. Dabei fungiert der von Charamel entwickelte Kommunikations-Server als Vermittler zwischen den von den Partnern angeschlossenen Software-Clients, die sternförmig an den Server angebunden wurden. Der Server entscheidet nach vordefinierten Regeln welcher Client welche Commands verarbeitet. Hierdurch wurden der Sprachassistent von Cerence, die Erkennungssoftware von CanControls und die Software VuppetMaster für die Vertrauensregulierung vom DFKI mit der Animationssoftware von Charamel vernetzt. Der Kommunikations-Server wurde so entwickelt, dass er sowohl in der Cloud, als auch auf einem stand-alone Rechner im Fahrzeug funktioniert. Für die Präsentation bzw. Darstellung der Kommunikation und des sensorgestützten Verhaltens musste Charamel die eigene Avatar-Animationssoftware VuppetMaster weiterentwickeln. Diese fokussierte sich auf die präzise Steuerung der Gesichtsmimik (Emotionen) und eine schnellere Reaktionszeit (Animation) durch eine verbesserte bidirektionale Kommunikation. Zusätzlich wurde ein neuartiger, parallelisierter Verarbeitungsprozess für Steuerdaten entwickelt und in einer speziell von Charamel erstellten Behaviour-Engine integriert, um ein komplexeres Verhaltensmuster des 3D-Charakters darzustellen. Die Programmierungen wurden kontinuierlich basierend auf den Ergebnissen von Testreihen während des gesamten Projektzeitraums durchgeführt. Diese Programmierleistungen waren die technischen Voraussetzungen für die Erstellung des Demonstrators. Das Ergebnis dieser Entwicklungen führte zu einer deutlich situativeren Animation des 3D-Avatars in Bezug auf Eingaben und Reaktionen sowie einer emotionaleren Animation gegenüber den Probanden (User).

Die bereits erforschten und identifizierten fahrzeugspezifischen Interaktionsmuster hinsichtlich der Verhaltensregeln für den Avatar wurden im ersten Schritt auf das neue Szenarien-Set für die Onlinestudie und den HMI-Prüfstand angepasst bzw. neu erstellt. Neben der Modellierung des (re)aktiven Interaktionsverhaltens wurde die Reaktionsgeschwindigkeit gemeinschaftlich mit dem DFKI verbessert. Auf Basis der durchgeführten Online-Studie wurden ferner die Aspekte „Wärme“ und „Kompetenz“ (Vertrauen) des Avatars weiteren Verbesserungen unterzogen. In Abstimmung mit dem DFKI wurde die regulative Animation des Avatars für soziale Signale hinsichtlich einer besseren Vertrauensregulation neu gruppiert und feingranularer abgestimmt. Des Weiteren wurde im Demonstrator für den HMI-Prüfstand eine neuartige Basis für die abgestimmten Kopf- und

Augenbewegungen programmiert, da in der Onlinebefragung keine Kamerasignale vorhanden waren, die die bisherige erarbeitete Verhaltensregel des Avatars (z.B. Blickrichtung) gesteuert hatten.

## 4 Wissenschaftlicher und technischer Stand bei Projektstart

Zum Projektstart waren einfache Cartoon-Avatare bereits für teilautomatisierte Fahrzeuge entwickelt und in einer einfachen, zumeist in einer abstrakten Interaktion mit Insassen im Einsatz. Ein Beispiel ist hier zum einen der Avatar „Nomi“ vom chinesischen Hersteller Nio's mit einer minimalistischen Darstellung von Gesichtsemotionen und Symbolen auf Bildschirmen im ES8 und ES6. Zum anderen der cartoonartige Vollkörper-Avatar im Manga-Style in holografischer Form des Xiaomi, der oben auf dem Armaturenbrett des T77 integriert ist. Daher war eine neue Generation der Mensch-Maschine-Interaktion für automatisierte Fahrzeuge notwendig, ein grafisches Design für 3D-Avatare zu finden, was sowohl die Ernsthaftigkeit der technischen Repräsentanten des Assistenz-Systems verkörpert, als auch ein sympathisches Vertrauen aufbauen kann. Für eine modellbasierte Ansteuerung durch den 3D-Avatar bedarf es neben dem Wissen, wie in sozial-emotionalen Situationen gehandelt werden kann, einer Analyse der sozialen Kommunikationssignale, um adäquate Reaktionen zur Laufzeit auswählen zu können. Eine Validierung mittels interpretierter Sensorwerte beziehungsweise standardisierter Analyse der Transkription vom Gesagtem zur Laufzeit gab es vor dem Start des Projektes noch nicht. Auch die animationstechnische Umsetzung von nonverbalen Verhalten des Avatares im Kontext automatisierter Fahrzeuge muss für die psychologische Unterstützung für sozial interaktive Avatare erfolgen, die bis dato nicht existierten.

## 5 Angabe bekannter Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte, die für die Durchführung des Vorhabens benutzt wurden

Außer der Nutzung eigener Softwaresysteme wurden keine weiteren bekannten Konstruktionen, Verfahren und Schutzrechte verwendet.

## 6 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Während der Projektlaufzeit erhielten wir über unseren Partner DFKI aus anderen Forschungsprojekten im Bereich autonomes Fahren (BMBF-Projekt React, HyReal und HyLear) Anfragen hinsichtlich wissenschaftlichen und technischen Austausches. Diese Projekte nutzen zum einen die vom DFKI in EMMI entwickelten Beschreibungen von sozialen Signalen und den modellierten Verfahren „Sicherheit und Vertrauen“, um eine maschinelle Vorhersage von Fußgängerpfaden zu verfeinern. Zum anderen unterstützte Charamel mit Know-how im Bereich der Animationssteuerung von Sozio-Emotionalen Avataren.

# II Eingehende Darstellung

## 1 Erzielte Ergebnisse

Das Ziel des Verbundprojektes EMMI war die Erforschung eines sozio-emotionalen Assistenzsystems zum Vertrauensaufbau für automatisierte Fahrfunktionen.

Im Teilprojekt „Intelligenter Visueller Assistent“ entwickelte und untersuchte Charamel ein sozio-emotionales Assistenzsystem auf Basis eines 3D-Echtzeit-Avatars. Hierbei wurden neben der 3D-Visualisierung auch verschiedene Hard- und Softwaresysteme zu einem Demonstrator zusammengeführt. Der iterative Entwicklungsprozess ermöglichte eine kontinuierliche Überprüfung der Funktionsweise technischer Komponenten und der Verständlichkeit der Darstellung im automatisierten Fahrzeug.

Durch intensive Forschung im Bereich der vertrauensrelevanten Szenarien wurde im Bereich Passanten versus Fahrzeuginsassen/-führer eine Forschungslücke identifiziert, die speziell im Bereich der zwischenmenschlichen, emotionalen Komponente des Vertrauens in das automatisierte Fahren von erheblicher Bedeutung ist. Die identifizierten Szenarien fußen auf einem „Meet across the street“ Szenario, bei welchem Passanten auf zwei unterschiedlichen Straßenseiten miteinander interagieren, sodass eine Überquerung der Straße wahrscheinlich ist. Für das automatisierte System handelt es sich dabei entsprechend um eine schwer identifizierbare Situation, welche sich in Forschungsergebnissen des DFKI für Insassen des Fahrzeugs jedoch als stark vertrauensrelevant erwiesen hat.

In gemeinsamen Absprachen mit dem Projektträger hat das Konsortium in dem Kontext entschieden, den Projektbaustein, welcher speziell die zwischenmenschliche, empathische Kommunikation zum Gegenstand hat, den Charakter und die Interaktionslogik des AP8, speziell auf dieses neue Szenarien-Set anzuwenden.

Demzufolge wurde ein entsprechendes ergänzendes Szenarien-Set ausgearbeitet und aufgebaut, welches zuerst in einer Onlinestudie untersucht wurde. Die Studienergebnisse unterstützen die enorme Bedeutung dieses neuen Szenariensets („Meet across the street“).

Aufgrund der unterschiedlichen Schwerpunkte der verschiedenen Szenariensets im Forschungsvorhaben und deren technischen Realisierung, ist die Integration des ergänzenden Szenariensets in die Gesamtstudie im hochdynamischen Fahrsimulator nicht sinnvoll und aus technischer Sicht sehr aufwendig. Im Sinne des Erreichens des Forschungsziels, Steigerung des Vertrauens und Beachtung der Wirtschaftlichkeit und Sparsamkeit wird daher auf diese Simulation verzichtet. Zur abschließenden Evaluation wird stattdessen eine Studie mit Nutzenden in dem entwickelten HMI-Prüfstand durchgeführt und so die Wirksamkeit des empathischen Assistenten untersucht.

Die oben beschriebene neue Ausrichtung führte zu inhaltlichen Anpassungen, aber nicht zu Veränderungen an den geplanten Arbeitsaufgaben bzw. Arbeitspaketen. Im Folgenden werden die

erzielten Ergebnisse in den jeweiligen Arbeitspaketen zusammengefasst aufgeführt. Die Einzelleistungen gliederten sich in den Arbeitspakete wie folgt:

<b>Arbeitspakete Charamel</b>	
<b>AP 8</b>	<b>Applikationsentwicklung mit virtuellem Assistenten</b>
8.1	Visualisierungskonzept für das Assistenzsystem
8.2	Erstellung der 3D-Datenmodelle von Avataren
8.3	Integration und Evaluierung verschiedener Visualisierungskonzepte
8.4	Adaption des Verhaltens des Avatars mithilfe des hybriden Nutzermodells
8.5	Minimierung der Abweichung des non-verbale Nutzerhaltens zu dem Verhalten des Avatars
<b>Mitarbeit in anderen Arbeitspaketen (unter anderer Leitung)</b>	
<b>AP2</b>	<b>Erfassung des Nutzerverhaltens und des Nutzerzustands</b>
2.3	Hardware- und Softwareentwicklung zur auditiven Erfassung des Nutzerverhaltens und des Nutzerzustands
2.6	Systemoptimierung
<b>AP4</b>	<b>Agile Entwicklung der multimodalen Mensch-Maschine-Interaktion</b>
4.1	Anforderungsermittlung hinsichtlich Visualisierung und Interaktion der MMI
<b>AP5</b>	<b>Visuelle Mensch-Maschine-Schnittstelle</b>
5.3	Schnittstelle zum Benutzer- und Avatarverhaltensmodell
<b>AP7</b>	<b>Verbale und auditive Schnittstelle des intelligenten Assistenten</b>
7.2	Entwicklung geeigneter Interaktionsformen zur Beeinflussung des Vertrauens des Nutzers

## 1.1 In AP 8 - Applikationsentwicklung mit virtuellem Assistenten

Das von Charamel geleitete und durchgeführte Arbeitspaket 8 gliederte sich in 5 Teilschritte.

### 1.1.1 AP 8.1 Visualisierungskonzept für das Assistenzsystem

In enger Abstimmung mit dem im Arbeitspaket 1, theoretischen Rahmenwerks zur Akzeptanz des automatisierten Fahrens, wurden im Arbeitspaket 8.1 verschiedene charakteristische Avatare beschrieben und erste Visualisierungskonzepte in Form von Skizzen angefertigt. Da die Erkenntnisse für die endgültige Festlegung eines visuellen Konzepts als nicht ausreichend befunden wurden, weil

der Einfluss der technischen Funktionalität des Avatars von vielen Projektpartnern nicht bewertet werden konnte, war ein Zwischenschritt vor der endgültigen konzeptionellen Erstellung vereinbart worden. Hierfür entwickelte Charamel nach damaligem aktuellem Sachstand in der Konzeptionsphase und den vorhandenen Erkenntnissen aus den anderen Arbeitspakete einen „Mockup-3D-Avatar“ für die ersten Visualisierungstests. Dieser Schritt ermöglicht es, in einer frühen Phase auch Erkenntnisse für die visuelle Akzeptanz zu erlangen und zusätzlich erste rudimentäre psychologische Tests hinsichtlich des Vertrauens durchzuführen. In mehreren Iterationsschritten, gemeinschaftlich mit den Partnern, wurden die Vorlagen für einen 3D-Avatar ausgearbeitet. Somit konnte auch eine Vorlage für den Projektpartner im Bereich der Softwareentwicklungen in einer frühen Phase zur Verfügung gestellt werden. Die Ausarbeitung des Visualisierungskonzeptes für ein Assistenzsystem wurde inhaltlich und grafisch nach Gewinnung neuer Erkenntnisse über den Projektzeitraum laufend angepasst.

Das **Ergebnis** dieses Arbeitspakets war die vollständige Erstellung einer grafischen und animationstechnischen Vorlage. Es gestaltete sich schwierig in der Konzeptphase, den Grad der semirealen Darstellung des 3D-Avatar in Abhängigkeit zum Informations- und Vertrauensaufbau zu finden.

#### 1.1.2 AP 8.2 - Erstellung der 3D-Datenmodelle von Avataren

Mit dem entwickelten Mockup-Avatar aus AP 8.1 wurde ein funktionsfähiger 3D-Avatar für den Demonstrator aufgebaut. Hierfür wurden verschiedene 3D-Modell modelliert, um unterschiedliche Animationsverfahren testen zu können. Die Entwicklung umfasste ein Rohdatenmodell inkl. einer Skeletstruktur (Verwendung vom Biped-Knochen-System). Im Anschluss wurden die entsprechenden Texturen designt bzw. aus Vorlagen extrahiert inkl. Entfaltung der Geometrie (Unwrap) zur Texturgestaltung. Der Avatar wurde finalisiert durch die Entwicklung entsprechender Morphtargets (Facerig) für die mimische Animation mit anschließender Zuweisung der Geometrie an das Biped-Knochen-System (Skinning). Ferner wurde für die Avatar-Verhaltensmodellierung eine neuartige dynamischere Ansteuerung der Gesichtsmimik entwickelt, die dem Avatar mehr „Humanität“ verleiht. Diese Entwicklung wurde auf 5 ausgewählten Basisemotionen angewandt, die für das Projekt EMMI ausgesucht wurden. Hierbei handelte es sich um Freude, Interesse/Neugier, Überraschung, Furcht, Traurigkeit/Schuld, sowie ferner um eine emotionale Unterstützung bei der Sprachausgabe. Hierauf aufbauend wurden die Animationsübergänge für Mimik sowie die Lippenbewegungen für die Sprachausgabe bei paralleler Ansteuerung synchronisiert bzw. optimiert.

Die wichtigsten **Ergebnisse** dieses Arbeitspakets sind zum einen die Entwicklung eines 3D-Avatares für den Einsatz als Assistenzsystem. Zum anderen die Entwicklung einer speziellen Kombination aus mehreren Animationsverfahren für das Gesicht, wodurch der 3D-Avatar eine vielschichtige Anzahl von Emotionen mit der Gestik darstellen kann. Es entstanden durch diese kreativen Entwicklungen emotionale Reaktionen, die auf die emotionalen Verhaltensweisen bzw. Befindlichkeiten eingehen können, um somit Vertrauen darzustellen bzw. aufbauen zu können.

### 1.1.3 AP 8.3 - Integration und Evaluierung verschiedener Visualisierungskonzepte

In diesem Arbeitspaket erfolgt die Integration des 3D-Modells aus AP 8.2 in die Charamel eigene Echtzeitanimationssoftware „VuppetMaster“ und die softwaretechnische Herstellung der Animationsansteuerung. Im Weiteren erfolgte die Programmierung eines neuartigen parallelisierten Verarbeitungsprozesses von Steuerdaten in einer extra aufgebauten Behaviour-Engine (für AP 8.4) zur Darstellung eines vielschichtigen Verhaltensmusters für Charaktere. Die Programmierungen erfolgten kontinuierlich nach Auswertungen von Testreihen über den Projektzeitraum.

Durch die in AP 2.3 und 2.6 vorzeitige Realisierung einer speziellen Lösung für einen softwareseitigen Datenaustausch der Systeme der Partner, wurde die Priorität für die Schnittstellenprogrammierung sowie Anpassungsprogrammierung der VuppetMaster Software ebenfalls vorgezogen. Realisiert wurde hierbei das Sprachinterface für die Spracherkennung und Sprachgenerierung mit dem technischen Partner Cerence; des Weiteren die entsprechende Schnittstelle mit VisualSceneMaker für die sozio-emotionale Ansteuerung mit dem Partner DFKI.

Diese o.g. Entwicklungen erfolgten zuerst für das Realfahrzeug, wurden aber auf Grund der Änderung auf das neue Szenarienset („Meet across the street“) auf die beiden neuen Visualisierungskonzepte „Onlinestudie“ und „HMI-Prüfstand“ angepasst.



*Abbildung 1: Links: Kritische Situation mit einem Fußgänger an einem Fußgängerüberweg während der Fahrsimulation am Beispiel der Agentenbedingung.*

Für die Onlinestudie entwickelte Charamel aus dem bereits entwickelten Assistenzsystem eine spezielle Web-Applikation mit allen Funktionen, ausgenommen der Kameraerfassung. Auf einer speziellen Webseite ist die Sicht durch eine stilistische Windschutzscheibe zu erkennen, in deren Hintergrund spezielle Videos von Realfahrten gezeigt werden, um eine Autofahrt zu simulieren. Der

Avatar agiert optisch vor der Windschutzscheibe mit dem Probanden, abgestimmt auf die jeweils gezeigte Situation. Vorteil dieser hauptsächlich mit dem DFKI entwickelten Lösung ist die räumlich unabhängige Durchführung der Studie, die zum einen eine schnellere Erkenntnis hinsichtlich der möglichen kritischen Fahrsituationen erbringt und zum anderen die entsprechenden Sicherheitsanforderungen von Seiten IKA und DFKI während der Corona-Pandemie erfüllte.

Die bereits in der Onlinestudie erforschten Verhaltensregeln für den Avatar wurden im zweiten Schritt auf das neue Szenarien-Set HMI-Prüfstand übertragen und mit den bereits identifizierten fahrzeugspezifischen Interaktionsmustern kombiniert.



*Abbildung 2: Set Aufbau HMI-Prüfstand mit realem Fahrzeug*

Der HMI-Prüfstand war eine Sitzkisteninstallation bzw. später ein stehendes Fahrzeug, wo im Sichtbereich auf einem großen Monitor die gleichen speziellen Videos von Realfahrten aus der Onlinestudie abliefen.

Das **Ergebnis** aus der Kombination der 3D-Animations-Software in Verbindung mit den Erkennungsdaten der Sensorik führte zu einer viel situativeren Animation des 3D-Avatars hinsichtlich Eingaben bzw. Reaktionen der Nutzer. Die beiden entwickelten Szenarien-Sets „Onlinestudie“ und HMI-Prüfstand ermöglichten die Evaluation mit Probanden durch das DFKI.

#### 1.1.4 AP 8.4 Adaption des Verhaltens des Avatars mithilfe des hybriden Nutzermodells

Mit den Partnern CanControls, Cerence, ika und DFKI wurden aufbauend auf den Erkenntnissen in AP1 und den in AP 4.1 ermittelten Anforderungen an das MMI-System aus Nutzersicht die ersten Szenarien ermittelt. Dazu wurden relevante Fahrsituationen systematisch untersucht und gemeinschaftlich vier Szenarien für die Interaktion des 3D-Avatars mit dem Nutzer festgelegt. Diese umfassen: eine Begrüßung, einen technischen Fehler des autonomen Fahrzeugs, eine unübersichtliche Fahrsituation sowie Person(en) an oder auf der Fahrbahn. Diese Szenarien wurden entsprechend in AP 4.1 beschrieben und auf technische Machbarkeit überprüft.



Abbildung 3: HMI-Prüfstand mit realem Fahrzeug - „unübersichtliche Fahrsituation - Baustelle“

Aufbauend auf den Vorarbeiten wurden die identifizierten fahrzeugspezifischen Interaktionsmuster hinsichtlich möglicher Verhaltensregeln für den Avatar erforscht. Hieraus resultierte die gemeinschaftliche Realisierung mit dem DFKI hinsichtlich Animationen für die kommunikative und emotionale Interaktion sowie die automatisierte Steuerung aktiver sozialer Signale (inklusive Posen und Gesten) hinsichtlich einer Vertrauensregulation. Für die parallele Ansteuerung war eine neue bidirektionale Software-Schnittstelle zwischen der Behaviour-Engine (AP 8.2) und dem VisualSceneMaker notwendig, um die erweiterte Ansteuerung zu gewährleisten. Dies führte zu einem menschenähnlicheren Animationsansatz für das Gesicht beim 3D-Avatar, als Basis für den Aufbau eines vertrauensfördernden Verhaltens.

Durch den Wechsel zum Szenarienset („Meet across the street“) musste das Nutzermodell hinsichtlich der Onlinestudie neu angepasst werden. Auf Basis der durchgeführten Onlinestudie wurden ferner die Aspekte „Wärme“ und „Kompetenz“ (Vertrauen) des Avatars verstärkt Anpassungen bzw. Verbesserungen unterzogen. In Abstimmung mit dem DFKI wurde die regulative Animation des Avatars für soziale Signale hinsichtlich einer besseren Vertrauensregulation neu gruppiert und feingranularer abgestimmt.

Das **Ergebnis** war die empirische Visualisierung der Verhaltensmodellierung durch den virtuellen 3D-Avatar im automatisierten Fahrzeug und der Erkenntnisgewinn in der Erstellung eines theoretischen Modells für die interaktive Vertrauensmodellierung durch die Zusammenarbeit mit dem DFKI. Dies war ein wesentlicher Know-how-Gewinn für Charamel.

#### 1.1.5 AP 8.5 Minimierung der Abweichung des non-verbalen Nutzerverhaltens zu dem Verhalten des Avatars

Damit der Avatar in der Lage ist, sich dem non-verbalen Verhalten des Nutzers anzupassen, mussten neue Animations-Algorithmen des Avatars entwickelt werden. Dazu wurden die Verhaltensmodelle des 3D-Avatars durch prozedural lernende Mimikry-Modelle von Seiten des DFKI entsprechend erweitert und von Charamel in entsprechende Animationsverfahren übertragen. Auf diese Weise entsteht ein ganzheitlicher Ansatz, bei dem das Avatar-Verhalten zu der aktiven und passiven Sprachkomponente passt.

Des Weiteren wurde im Demonstrator für den HMI-Prüfstand eine neuartige Basis für die abgestimmten Kopf- und Augenbewegungen programmiert, da im Gegensatz zur Onlinebefragung die Kamerasignale zur Nutzererkennung vorhanden waren, die die erarbeitete Verhaltensregel des Avatars (z.B. Blickrichtung) zusätzlich beeinflussten. Erweitert wurde die non-verbale Interaktion mit (re)aktiven Modellierungen für das Interaktionsverhalten sowie die Verbesserung der Reaktionsgeschwindigkeit gemeinschaftlich mit dem DFKI. In Abstimmung mit dem DFKI wurden ferner die Aspekte „Wärme“ und „Kompetenz“ (Vertrauen) hinsichtlich eines non-verbalen Nutzerverhaltens angepasst und Verbesserungen unterzogen.

Die **Ergebnisse** liegen in erster Linie in der Erkenntnisgewinnung der Umsetzung von non-verbalem Nutzerverhalten auf Basis einer Gesprächshandlung und Kameraerkennung, insbesondere im Bereich einer direkten Face-to-Face Kommunikation. Basierend auf den aktiven und passiven Verhaltensmustern und in Kombination mit einem psychologischen Modell von Seiten des DFKIs wurde für den 3D-Avatar eine entsprechend hohe Interaktionsqualität erreicht. Weitere wichtige Ergebnisse für Charamel liegen in der Klassifizierung von Emotionen und deren Umsetzung in Animationen.

## 1.2 Mitarbeit in anderen Arbeitspaketen unter anderer Leitung

Detaillierte Ergebnisse in den anderen Arbeitspaketen unter anderer Leitung.

### 1.2.1 AP 2 Hardware- und Softwareentwicklung zur auditiven Erfassung des Nutzerverhaltens und des Nutzerzustands (AP 2.3) und Softwareoptimierung (AP 2.6)

Auf Grund der unterschiedlich ausgeprägten Vorstellungen hinsichtlich der softwaretechnischen Notwendigkeiten bei den einzelnen Projektpartnern wurde gegenüber der ursprünglichen Planung von Seiten Charamel vorzeitig mit AP 2.3 und AP 2.6 begonnen. Charamel plante und realisierte hier in Absprache mit den technischen Partnern Cerence, CanControls und DFKI eine spezielle Websocket Serverlösung für einen softwareseitigen Datenaustausch unter den beteiligten Softwarekomponenten der jeweiligen Partner. Dabei fungiert der von Charamel entwickelte Kommunikations-Server als Vermittler zwischen den von den Partnern angeschlossenen Software-Clients. Die Clients sind sternförmig an den Server angebunden, wobei die Messages und die Commands in einem speziell definierten JSON Format übermittelt werden. Nach vordefinierten Regeln wird entschieden welcher Client welche Commands erhält. Der Kommunikations-Server wurde so entwickelt, dass er sowohl in der Cloud, als auch auf einem stand-alone Rechner im Fahrzeug funktioniert. Dieser Entwicklungsansatz war von Vorteil, da die Entscheidung hinsichtlich einer Onlinestudie leichter umsetzbar war.

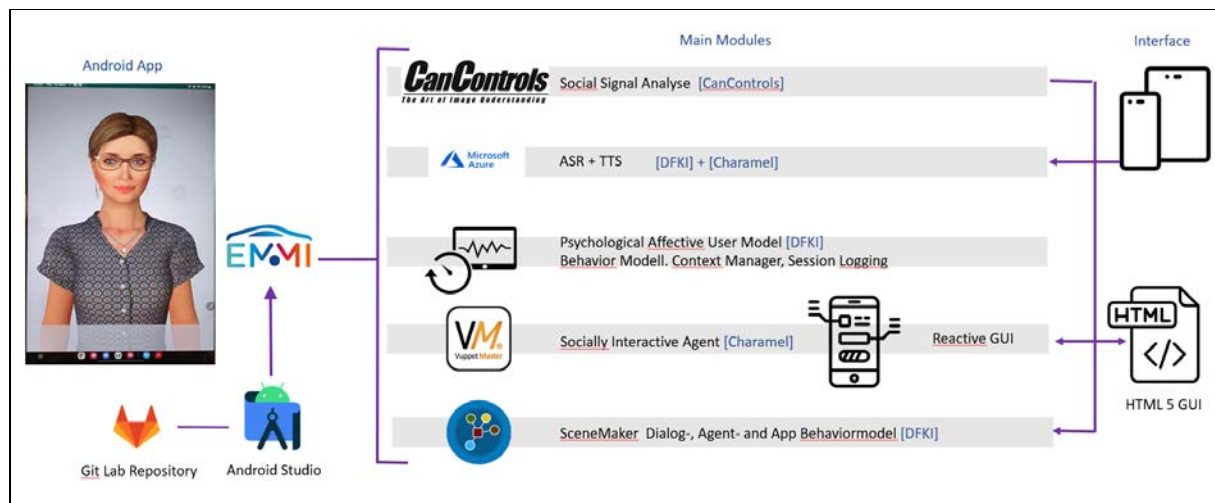


Abbildung 4: Softwaremodule für EMMI Demonstrator Online und HMI-Prüfstand

Das **Ergebnis** aus der Kombination der Softwaresysteme ist die Basisentwicklung des Demonstrators und somit das Erreichen des vierten Meilensteins.

### 1.2.2 AP 4: Anforderungsermittlung hinsichtlich Visualisierung und Interaktion der MMI (AP4.1)

Mit den Partnern CanControls, Cerence, ika und DFKI wurden aufbauend auf den AP1 Erkenntnissen die Anforderungen an das MMI-System aus Nutzersicht ermittelt. Dazu wurden relevante Fahrsituationen systematisch untersucht und gemeinschaftlich vier Szenarien für die Interaktion des 3D-Avatars mit dem Nutzer festgelegt. Diese umfassen: eine Begrüßung, einen technischen Fehler des autonomen Fahrzeugs, eine unübersichtliche Fahrsituation sowie eine Person an oder auf der

Fahrbahn. Diese Szenarien wurden entsprechend beschrieben und auf technische Machbarkeit im Fahrsimulator überprüft.

Das **Ergebnis** erbrachte die Erkenntnis, dass die Interaktion im Szenario „Person an oder auf der Fahrbahn“ in der Realfahrt und im Fahrsimulator nicht realisiert werden konnten. Aus diesem Grund wurde das neue Szenarienset („Meet across the street“) entwickelt.

### 1.2.3 AP 5: Schnittstelle zum Benutzer- und Avatarverhaltensmodell (5.3)

Die Analyse der Darstellungsmöglichkeiten für den Avatar in der Windschutzscheibe, insbesondere hinsichtlich transparenter Screens, wurde mit dem Partner Saint-Gobain durchgeführt. Es wurden verschiedene grafische Lösungen des 3D-Avatars zur Steigerung der Darstellungsqualität im Black-Print Bereich der Windschutzscheibe entwickelt. Neben der Darstellung wurden auch Tests der Blickrichtung des Nutzers mit dem Assistenzsystem durchgeführt und optimiert. Des Weiteren wurde die Darstellung im Übergang zum transparenten Screen getestet.

Es konnte das **Ergebnis** erzielt werden der Verbesserung der Darstellungsqualität von einem 3D-Avatar in der Windschutzscheibe, insbesondere hinsichtlich Black-Print Screen, erarbeitet mit dem Partner Saint-Gobain und per Video aufgezeichnet. Eine Umsetzung ist in der Zukunft möglich.

### 1.2.4 AP 7: Entwicklung geeigneter Interaktionsformen zur Beeinflussung des Vertrauens des Nutzers (7.2)

Gemeinsam mit dem Partner Cerence wurde eine dedizierte Schnittstelle (AP 2) entwickelt, über die die Ergebnisse der Generierung multimodaler Interaktionsmuster mit den sprachlichen Ressourcen ausgetauscht werden. In diesem Arbeitspaket wurde neben der Herstellung der Lippensynchronität ein zusätzliches Modul für eine synchrone Gestik und Mimik zum Dialog entwickelt. In einer dritten Entwicklungsstufe wurden die emotionalen Sprachsignale von Seiten Cerence mit der Behaviour-Engine von Charamel synchronisiert und sowohl die Sprach-Animation als auch die Attention-Animationen jeweils gruppiert.

Das **Ergebnis** für Charamel lag hauptsächlich in einer filigranen Lippensynchronität auf Basis eines Dialoges, inkl. einer hierauf abgestimmten Gestik und Mimik. Dies steigerte erheblich das emotionale Avatar-Verhalten in Bezug zum Dialog.

## 2 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Projektarbeit

Das Vorhaben wurde im Rahmen der zur Verfügung gestellten Mittel fast ausschließlich durch eigenes Personal realisiert. Für einzelne Projektarbeiten wurden seitens Charamel Leistungen Dritter in Anspruch genommen, für die intern keine oder nur begrenzte Ressourcen zur Verfügung standen.

### 3 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit

Das Gesamtsystem EMMI (Demonstrator HMI) hat das Potential im Bereich autonomer Assistenzsysteme mit sozialen Fähigkeiten für den automatisierten Verkehr (individueller oder öffentlicher) ganz oder in Teilen zum Einsatz zu kommen. Ein Zeithorizont ist schwierig anzugeben, weil die Entwicklung von der Basisentwicklung automatisierten Fahrens abhängig ist.

Aber besonders die Teilentwicklung von Seiten Charamel im Bereich der Vertrauensbildung bei 3D-Assistenz-Systemen findet im medizinischen (psychologischen) Bereich hohe Beachtung, insbesondere für Systeme zur interaktiven Therapieassistenz in verschiedenen Bereichen, Anamnese-Simulationen oder Schulungssystemen. Diese Anfragen erfolgen in erster Linie von Universitäten, aber auch von medizintechnischen Softwareherstellern.

Des Weiteren fließen die technischen, grafischen und die Forschungsergebnisse einer empathischen Steuerung eines 3D-Assistenz-Systems in aktuelle Kundenprojekte ein. Ebenso sind Visualisierungsergebnisse in unserem E-Learning-Baukasten integriert worden, um in interaktiven Lernszenarien mit nunmehr empathischen 3D-Trainern zu schulen.

Die grundlegenden Arbeiten an der Gestaltung virtueller Agenten zur Unterstützung von Vertrauen und autonomen Systemen erlauben weitergehende Forschung. Auch aus dem wissenschaftlichen Bereich gibt es entsprechende Anfragen zur Nutzung des 3D-Assistenzsystems.

### 4 Außerhalb des Projektkontextes bekannt gewordener Fortschritt

Es gibt Forschungen von einzelnen Fahrzeugherstellern oder Systemlieferanten die an 3D-Avataren für die Kommunikation im Bereich teilautomatisierte Fahrzeuge forschen und bereits einfache Entwicklungen einsetzen. Ein Beispiel ist hier zum einen der Avatar „Nomi“ vom chinesischen Hersteller Nio's mit einer minimalistischen Darstellung von Gesichtsemotionen und Symbolen auf Bildschirmen im ES8 und ES6. Zum anderen der cartoonartige Vollkörper-Avatar im Manga-Style in holografischer Form des Xiaomi, der oben auf dem Armaturenbrett des T77 integriert ist. Diese Darstellungen verkörpern aber noch nicht realistische und sozio-emotionale Generationen der Mensch-Maschine-Interaktion für automatisierte Fahrzeuge. Dennoch ist der Trend zu erkennen, dass die asiatischen Fahrzeughersteller das Thema 3D-Assistenz-Systems besonders fokussieren.

### 5 Erfolgte und geplante Veröffentlichungen

Neben Präsentationen vor Kunden wurde das EMMI Projekt auf folgenden Kanälen öffentlich bekanntgegeben:

- wiederkehrend im Newsletter von Charamel (ca. 22.000 Empfänger) über den Projektzeitraum
- LinkedIn und Unternehmens-Homepage

Charamel unterstütze nachfolgende Veröffentlichungen des DFKIs:

- Hilpert, B., Gebhard, P., & Schneeberger, T. (2021, March). Employing Virtual Agents for Building Trust in Driving Automation: A Qualitative Pilot Study. In *Workshop on Robo-Identity: Artificial identity and multi embodiment at the 16th International Conference on Human-Robot Interaction (HRI'21)*.
- . Muscholl, N., Klusch, M., Gebhard, P., & Schneeberger, T. (2021, March). EMIDAS: explainable social interaction-based pedestrian intention detection across street. In *Proceedings of the 36th Annual ACM Symposium on Applied Computing* (pp. 107-115).
- Muscholl, N., Poibrenski, A., Klusch, M., & Gebhard, P. (2020, December). Simp3: Social interaction-based multi-pedestrian path prediction by self-driving cars. In *2020 IEEE Symposium Series on Computational Intelligence (SSCI)* (pp. 2731-2738). IEEE.
-

## Berichtsblatt

<b>1. ISBN oder ISSN</b>	<b>2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung)</b> Schlussbericht
<b>3. Titel</b> EMMI - Empathische Mensch-Maschine-Interaktion zur Erhöhung der Akzeptanz des Automatisierten Fahrens Teilvorhaben: Intelligenter Visueller Assistent	
<b>4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)]</b> Helff, Norbert	<b>5. Abschlussdatum des Vorhabens</b> 31.12.2023
	<b>6. Veröffentlichungsdatum</b> 28.06.2024
	<b>7. Form der Publikation</b> Sonstiges
<b>8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse)</b> Charamel GmbH Subbelrather Str. 13 D 50672 Köln	<b>9. Ber.-Nr. Durchführende Institution</b>
	<b>10. Förderkennzeichen</b> 19A20008D
	<b>11. Seitenzahl</b>
<b>12. Fördernde Institution (Name, Adresse)</b> Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) D 11044 Bonn	<b>13. Literaturangaben</b>
	<b>14. Tabellen</b>
	<b>15. Abbildungen</b>
<b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>	
<b>17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum)</b>	
<b>18. Kurzfassung</b> Das Ziel des Fachprogramms EMMI war die Entwicklung und Erforschung von empathischer Mensch-Maschine-Interaktion zur Verbesserung der Akzeptanz und des Vertrauens in das automatisierte Fahren. Hierzu wurde ein neuartiges System entwickelt, das mithilfe von Sensoren, Sprachsteuerung und psychische Signalerkennung eine empathische Interaktion ermöglicht, um Vertrauen aufzubauen.  Die Kernaufgabe von Charamel im Teilvorhaben Intelligenter Visueller Assistent war die Erstellung eines 3D Avatar-basiertes Assistenzsystem mit sozio-emotionalen Fähigkeiten für die Interaktion mit Nutzern von automatisierten Fahrzeugen. Dies bezog sich sowohl auf die technische und kreative Darstellung, als auch auf die sozioemotionale Interaktion.	
<b>19. Schlagwörter</b> 3D-Avatare, Charakter, Echtzeit, Animation, Tracking, Mensch-Maschine-Interaktion, Digitaler Assistent, Interaktionssystem, Vertrauen, automatisiertes Fahren	
<b>20. Verlag</b>	<b>21. Preis</b>

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2369703-4

## Document control sheet

<b>1. ISBN or ISSN</b>	<b>2. type of document (e.g. report, publication)</b> Veröffentlichung (Publikation)		
<b>3. title</b> EMMI - Empathic human-machine interaction to increase the acceptance of automated driving Sub-project: Intelligent Visual Assistant			
<b>4. author(s) (family name, first name(s))</b>	<b>5. end of project</b> 31.12.2023		
	<b>6. publication date</b> 28.06.2023		
	<b>7. form of publication</b> Sonstiges		
<b>8. performing organization(s) name, address</b> Charamel GmbH Subbelrather 13 50672 Köln	<b>9. originators report no.</b>		
	<b>10. reference no.</b> 19A20008D		
	<b>11. no. of pages</b>		
<b>12. sponsoring agency (name, address)</b> Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) D 11044 Bonn	<b>13. no. of references</b>		
	<b>14. no. of tables</b>		
	<b>15. no. of figures</b>		
<b>16. DOI (Digital Object Identifier)</b>			
<b>17. presented at (title, place, date)</b>			
<b>18. abstract</b> The aim of the EMMI specialist program was to develop and research empathic human-machine interaction to improve acceptance of and trust in automated driving. To this end, a new type of system was developed that uses sensors, voice control and psychic signal recognition to enable empathic interaction in order to build trust.  Charamel's core task in the Intelligent Visual Assistant sub-project was to create a 3D avatar-based assistance system with socio-emotional capabilities for interacting with users of automated vehicles. This related to both technical and creative visualization as well as socio-emotional interaction.			
<b>19. keywords</b> Avatars, Character, Real Time, Animation, Tracking, Human Machine, Digital Assistant, Interaction System, Artificial Intelligence, Ambient Intelligence, Automated driving, Application Training, Emotion, Socio-emotional			
<b>20. publisher</b>			<b>21. price</b>

Nicht änderbare Endfassung mit der Kennung 2369706-3