



RUMBA – Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger	CanControls GmbH
Förderkennzeichen	19A120007C
Vorhabenbezeichnung	„Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ des BMWK Verbundprojekt „Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen – RUMBA“
Teilvorhaben	Nutzerzustandserkennung, Übernahmebereitschaft und Motion Sickness
Laufzeit des Vorhabens	01. September 2020 bis 30. Juni 2024
Version	v1.0

Gefördert durch:



aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Autoren (A-Z)

Nachname, Vorname

Sielski, Michael

Name der Institution

CanControls GmbH

Ergebnisverbreitung

- Öffentlich
- BMWK
- Projektträger
- Projektpartner

Dateiname 2024-10-11_RUMBA_Schlussbericht_CanControls.docx

Seitenzahl 19

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	7
2	Kurzdarstellung zu Projektrahmen und Ablauf	7
2.1	Zusammenfassung der RUMBA-Projektidee, sowie der Gesamtzielsetzung und Aufgabenstellung	7
2.1.1	Projektidee	7
2.1.2	Aufgabenstellung und Arbeitspakete	8
2.2	Voraussetzungen des Vorhabens	14
2.3	Planung und Ablauf des Vorhabens	15
2.4	Beitrag der CanControls GmbH – Wissenschaftlich-technischer Stand und Aufgabenstellung	15
2.5	Zusammenarbeit mit anderen Stellen.....	18
3	Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse.....	18
3.1	AP4 – Realisierung der Konzepte und Systemintegration	18
3.1.1	UAP 4.3 - Realisierung Hardware Aufbau und Ausrüstung	18
3.1.2	UAP 4.6 - Realisierung Innenraum	19
3.1.1	Einsatz des EyeTrackers „Pupil Invisible“	20
3.2	AP5 - Evaluation der Konzepte bezüglich Fahrsicherheit und User Experience	21
3.2.1	UAP 5.2 – Evaluierung Innenräume / UAP 5.3 – Evaluierung Anzeigen und Bedienelemente.....	21
3.2.1.1	Kriterien zur Bewertung der Sensorplatzierung	21
3.2.1.2	Kamerapositionen	23
3.2.1.3	Übersicht Konzeptbewertungen	23
3.2.2	UAP 5.6 – Konzeptevaluation und Datenerhebung Schwerpunkt Motion Sickness	25
3.3	AP6 - Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung	25
3.3.1	AP6.1 Identifikation und Definition von relevanten Anwendungsfällen und Nutzerzuständen	25
3.3.1.1	Anwendungsfälle.....	25
3.3.2	UAP6.2 Konzeptionierung einer Multi-Sensor Innenraumbeobachtung.....	31
3.3.2.1	Konzept für Innenraumbeobachtung	32
3.3.3	UAP6.3 Entwicklung von Verfahren zur Innenraummerkmalsextraktion.....	34
3.3.3.1	Gesichtsmerkmale	34
3.3.3.2	Szenenanalyse	39
3.3.3.3	Vitalparameter.....	41
3.3.4	UAP6.4 Aufbereitung von Versuchsdaten.....	43
3.3.4.1	Videoaufnahmen (NIR und Thermal).....	43
3.3.4.2	Software für manuelles Auszeichnen	43

3.3.5	UAP6.5 Entwicklung von Verfahren zur Schätzung der Übernahmebereitschaft	45
3.3.5.1	Ansätze.....	45
3.3.5.2	Daten aus Studien	45
3.3.5.3	Ergebnisse.....	45
3.3.6	UAP 6.7 Entwicklung von Verfahren zur Schätzung von Motion Sickness	48
3.3.6.1	Ansätze.....	48
3.3.6.2	Daten aus Studien	50
3.3.6.3	Ergebnisse.....	51
3.4	Verweise.....	58
4	Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse	60
5	Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen	60
6	Erfolgte oder geplante Ergebnisverbreitung	60
7	Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises.....	60
8	Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit.....	61

Abbildungs- und Tabellenverzeichnis

Abbildung 1 Facetten und Einflussgrößen der User Experience	8
Abbildung 2 Ansatz eines gemeinsamen Anforderungs- und Lösungsraums für Pkw und Lkw Innenräume mit inneren und äußeren Einflussfaktoren.....	9
Abbildung 3 Arbeitspakete im Überblick	10
Abbildung 4: Planung CanControls Sitzkiste.....	19
Abbildung 5: l.: Realisierte CanControls Sitzkiste, r.: Virtuelle Repräsentation Sitzkiste	19
Abbildung 6: Einbindung Microsoft Kinect Azure	20
Abbildung 7: Pupil Invisible Brille mit Smartphone zur Aufzeichnung und individuellem 3D Ausdruck mit Motion Capture Kugeln	20
Abbildung 8: Infrarotkamera mit Sensor Leopard Imaging OV2311	31
Abbildung 9: Microsoft Kinect Azure	32
Abbildung 10: Thermalkamera Seek Micro Core	32
Abbildung 11: Gewählte Kamerapositionen	33
Abbildung 12: Simulierte Ansichten der untersuchten Fahrerkeras (links: IC, mitte CM, rechts CS)	33
Abbildung 13: Simulierte Ansichten der untersuchten Insassenkeras (links CS, rechts CM)	33
Abbildung 14: Beispielaufnahmen aus dem Referenzdatensatz zur Evaluation der Kopfposen-Bestimmung	34
Abbildung 15: Verfügbarkeit der Kopfpose in Abhängigkeit des Pitch (auf/ab Neigung) und des Yaw (links/rechts Drehung) Winkels des Kopfes für das FaceTracking ohne (links) und mit ergänzendem Tracking (rechts).....	35
Abbildung 16 Landmarken des Mundes vorher (links) und mit erweitertem Modell (rechts)	35
Abbildung 17: Virtuelle Repräsentation des erkannten Kopfes in der Sitzkiste und Plots von Signalen der Kopfpose, Augenöffnung und Blinzeln in der Offline-Prozessierung.....	36
Abbildung 18 Blickrichtung mittels Regressors auf Bildmerkmalen	36
Abbildung 19 Blickrichtung mittels CNN mit Berücksichtigung der Kopfpose	36
Abbildung 20 Blickrichtung mittels CNN ohne Berücksichtigung der Kopfpose	37
Abbildung 21: Augensegmentierung per CNN	38
Abbildung 22: Erkennung hochgezogener Augenbrauen.....	39
Abbildung 23: Trainingsaufnahmen der Microsoft Kinect Azure.....	40
Abbildung 24: Visualisierung der Merkmalsextraktion inklusive erkannter Körperpose im Bild	40
Abbildung 25: Visualisierung der 3D Repräsentation der Körperpose im Virtual Showroom	40
Abbildung 26: Tests der Objekterkennung mittels YOLOv3 Architektur	41
Abbildung 27: FaceTracking auf dem Thermalbild.....	42

Abbildung 28: Schätzung der Atemfrequenz auf Basis des Thermalbildes	42
Abbildung 29: Virtuelle Repräsentation des erkannten Kopfes in der Sitzkiste und Plots von Signalen der Kopfpose, Augenöffnung und Blinzeln in der Offline-Prozessierung.....	43
Abbildung 30: Software zum Markieren von zeitlichen Ereignissen in Videodaten.....	44
Abbildung 31: Aufbau des Kernmodule für die Ausführung der Schätzung der Übernahmebereitschaft	45
Abbildung 32: Konfusionsmatrix der KSS Schätzung des Submodells	46
Abbildung 33: Konfusionsmatrizen der NASA-TLX Skalenwerte.....	47
Abbildung 34: Aus dem Modelltraining resultierende Gewichtung der Eingangsmerkmale	48
Abbildung 35: Grobe Struktur eines Recurrent Neural Networks	49
Abbildung 36: Aufbau des Kernmodule für die Ausführung der Schätzung der Motion Sickness	50
Abbildung 37: Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf den Daten der Studie WIVW 2021b (Gurtstraffer)	51
Abbildung 38: Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf den Daten der Studie WIVW 2021b (Gurtstraffer) (inkl. Thermaldaten)	52
Abbildung 39: Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf den Daten der Studie Bosch 2021b (Visuelle Gegenmaßnahme)	53
Abbildung 40 Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf den Daten der Studie Bosch 2021b (Visuelle Gegenmaßnahme) (inkl. Thermaldaten)	53
Abbildung 41 Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf den Daten der Studie BoschAS 2022 (Yaw Shaping Strategies).....	54
Abbildung 42 Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf den Daten der Studie BoschAS 2022 (Yaw Shaping Strategies) (inkl. Thermaldaten).....	55
Abbildung 43: Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf allen Daten der Studien WIVW 2021b, Bosch 2021b und BoschAS 2022.....	56
Abbildung 44 Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf allen Daten der Studien WIVW 2021b, Bosch 2021b und BoschAS 2022.....	56
Abbildung 45: Aus dem Modelltraining resultierende Gewichtung der Eingangsmerkmale	58

Abkürzungen

RUMBA	Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen
-------	--

1 Zusammenfassung

Der vorliegende Schlussbericht zum BMWK-geförderten Projekt RUMBA („Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen“) fasst den Beitrag der CanControls GmbH zusammen.

Der Bericht ist wie folgt gegliedert: Das nachfolgende Kapitel enthält eine Kurzdarstellung zu Projektrahmen und Ablauf gem. NKBF 98, Anlage 2, Teil I. Es besteht aus einer kurzen Einführung in die RUMBA-Projektidee, sowie einer Einleitung zu Zielsetzung und Aufgabenstellung des gesamten Projekts. Darauf folgen Informationen zu Voraussetzungen und Ablauf des Projekts. Im Anschluss werden der Stand der Technik, sowie die partnerspezifischen Aufgabenschwerpunkte der CanControls GmbH nach Arbeitspaketen gegliedert dargestellt.

Die daran anschließenden Kapitel enthalten eine ausführliche Darstellung gem. NKBF 98, Anlage 2, Teil II. Dort werden die von der CanControls GmbH durchgeführten Arbeiten und erzielten Ergebnisse, gegliedert nach den Arbeitspaketen und Komponenten, im Detail beschrieben. Im Schlussteil des Berichtes werden die wichtigsten Positionen zum zahlenmäßigen Nachweis, Informationen zum Verwertungsplan und den Erfolgsaussichten, sowie zu durchgeführten Maßnahmen zur Ergebnisverbreitung zusammengefasst.

2 Kurzdarstellung zu Projektrahmen und Ablauf

2.1 Zusammenfassung der RUMBA-Projektidee, sowie der Gesamtzielsetzung und Aufgabenstellung

2.1.1 Projektidee

Das Akronym RUMBA steht für „Realisierung einer positiven User Experience mittels benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen“ und markiert damit den Kern des Projekts.

Seit Jahrzehnten haben sich weder das Innenraumdesign von Fahrzeugen noch das grundsätzliche Interaktionskonzept zwischen Fahrer und Fahrzeug stark verändert. Beim vollautomatisierten Fahren (SAE L4) nimmt der Fahrer die Rolle eines Passagiers ein, wodurch ein Wandel der Nutzerbedürfnisse erfolgt. Diese Veränderung und die Verfügbarkeit von neuen Technologien sind der Ausgangspunkt für das Forschungsvorhaben RUMBA. Im Kontext des vollautomatisierten Fahrens analysiert RUMBA die veränderten Nutzerbedürfnisse, entwickelte adaptive Innenraum- und Interaktionskonzepte und implementiert neue Ansätze der Fahrzeugführung und -regelung, um das Nutzererleben positiv zu gestalten. Im Mittelpunkt der Forschung standen sieben Handlungsstränge:

- Anzeige- und Bedienkonzept für SAE L4
- Alternative Fahrzeugführung
- Innenraum- und Interaktionskonzepte
- Komfortables automatisiertes Fahren
- Reduktion von Motion Sickness
- Schlafen
- Nutzerzustandserkennung

Die Forschung in RUMBA erfolgte interdisziplinär und übergreifend für die Fahrzeugklassen Pkw und Lkw, wodurch die Chance von gemeinsamen Anforderungs- und Lösungsräumen genutzt wird. Die kontinuierliche Evaluierung der Konzepte gemäß des nutzerzentrierten Entwicklungsprozesses (DIN EN ISO 9241-210) erfolgte in Bezug auf die User und Customer Experience, insbesondere hinsichtlich Ergonomie, Raumgefühl & -wirkung, Fahrkomfort, Insassenkomfort, Wohlbefinden, Kontrollierbarkeit und Systemvertrauen.

Im RUMBA-Projekt wurden das vollautomatisierte Fahren (SAE Level 4) inkl. der Transition zum manuellen Fahren betrachtet. Beim vollautomatisierten Fahren (SAE-Level 4) gibt der Fahrer die Fahraufgabe und die Verantwortung vollständig an das System ab. In kritischen Situationen übernimmt das System die Aufgabe der Rückfallebene und strebt automatisch eine „minimal risk condition“ an. Die Rolle des Fahrers wandelt sich mehr zu der eines Passagiers, wodurch sich neue Möglichkeiten der Beschäftigung eröffnen. RUMBA schränkt sich weder bezüglich der Dauer der vollautomatisierten Fahrt noch bezüglich des Straßenszenarios (Autobahn, Landstraße, Stadt) ein.

2.1.2 Aufgabenstellung und Arbeitspakete

Das zentrale Arbeitsziel des Fördervorhabens war die Konzeptionierung und prototypische Realisierung eines nutzergerechten, komfortablen und sicheren Innenraums. Die Untersuchung erfolgte auf Basis einer vollautomatisierten Fahrt (SAE L4) mit den Transitionen als Schlüsselszenarien. Die sechs Facetten der User Experience nach Engeln u. Engeln (Engeln & Engeln, 2015) dienen als Grundlage zur Evaluierung. Die Konzepte wurden mit Fokus auf Ergonomie, Raumgefühl & -wirkung, Fahrkomfort, Insassenkomfort, Wohlbefinden, Übernahmequalität, Effizienz und Systemvertrauen untersucht (siehe Abbildung 1). Herausforderungen lagen in der Betrachtung der grundlegend unterschiedlichen Aufgaben (manuelles Fahren, Transitionen, fahrfremde Tätigkeiten), die den Fahrer im automatisierten Fahrzeug erwarten und für die eine gesamtheitlich positive User Experience zu erzielen ist.

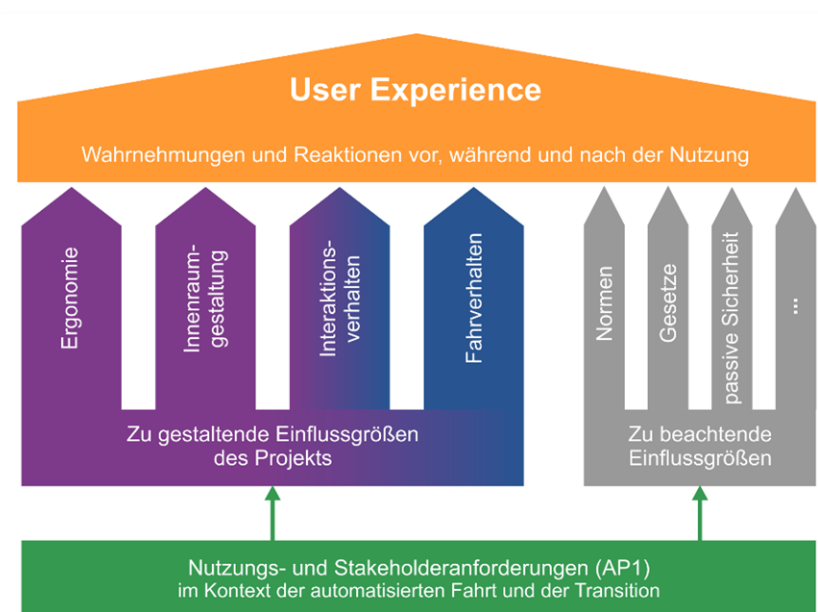


Abbildung 1 Facetten und Einflussgrößen der User Experience

Neue Möglichkeiten der Innenraumgestaltung bei höherer Automatisierung ergeben sich sowohl für den Pkw als auch für den Lkw. Diese unterscheiden sich in einzelnen Use Cases. Allerdings besteht z. B. in der Fahrergruppe der Berufsfahrer ein gemeinsames Interesse in der Benutzung des frei gestaltbaren Innenraums für produktive Tätigkeiten. Auf Basis der Gemeinsamkeiten besteht die Möglichkeit einer Fusion aus Pkw- und Lkw-Aspekten zu einem gemeinsamen Anforderungs- und Lösungsraum sowie eines Evaluationsmethodensets für den Innenraum (siehe Abbildung 2).

Betrachtete Elemente des Fahrzeuginnenraums sind die im Projekt fokussierten Bestandteile HMI, Bedienelemente und Sitzposition. Aus Nutzerperspektive kann der **Innenraum** als ein geschlossenes System mit dem Fahrverhalten als externe Einflussgröße betrachtet werden.

Das Zusammenspiel mit dem **Fahrverhalten** ist in vielerlei Hinsicht von großer Bedeutung für den Insassenkomfort, denn Komfort setzt sich aus einer Vielzahl an Einzelfaktoren zusammen. Neben der traditionellen Bedeutung von Fahrkomfort im Fahrwerkkontext, spielt beim automatisierten Fahren die Fahrstrategie und das Verhalten im Straßenverkehr eine zunehmende Rolle für Akzeptanz und Sicherheit. Darüber hinaus beeinflussen

die Sitzposition, die Ausübung von fahrfremden Tätigkeiten als auch Informationen zur Automatisierung sowie dem Fahrscenario den Komfort maßgeblich. Im ungünstigsten Fall können Unwohlsein und ein reduziertes Sicherheitsgefühl auftreten.

Im Zuge der durch die L4-Automatisierung veränderten Rolle des Insassen und der Innenraumgestaltung entstehen neue Herausforderungen und Anforderungen für die Fahrerzustandserkennung. Lag der bisherige Fokus eher auf den sicherheitsrelevanten Zuständen, wie Ablenkung und Müdigkeit, werden zunehmend neue Aspekte der Sicherheit (z. B. Schlafen, „Out of Position“) als auch des Komforts und Diskomforts (z. B. Emotionen, Wohlbefinden, Reiseübelkeit) relevant. In RUMBA wurde neben den kamerabasierten Verfahren alternative Sensorik zur Erfassung des **Nutzerzustands** eingesetzt. Aus den Sensordaten wurden unter anderem Nutzermodelle zur Schätzung der Übernahmefähigkeit, des Komforts und des Diskomforts in Form von Reiseübelkeit entwickelt, welche mit den subjektiven Bewertungen der Fahrer korrelieren.

Zur erfolgreichen Bearbeitung des Forschungsvorhabens war die Erreichung von weiteren Arbeitszielen aus den Bereichen Anforderungsanalyse, Gestaltung Innenraum und Fahrverhalten sowie der Nutzerzustandserkennung notwendig.

- Ziel 1:** Psychologische Erkenntnisse zu den für automatisiertes Fahren relevanten Nutzerbedürfnissen und -anforderungen, die als Basis für die Lösungsentwicklung und deren Evaluation dienen. Spezifizierung der Nutzeranforderungen an vollautomatisierte Systeme bzgl. Innenraumgestaltung, Interaktionskonzepte, Fahrdynamik und Fahrerzustandserkennung
- Ziel 2:** Gestaltung eines vom Nutzer akzeptierten, verkehrssicheren Fahrzeuginnenraums für SAE-Level 4 Systeme, in dem eine positive User Experience während der L4 Fahrt erzeugt wird, indem eine für den Nutzer sinnvolle Zeitnutzung ermöglicht wird.
- Ziel 3:** Hohes Sicherheits- und Komfortempfinden sowie positives Raumgefühl in unterschiedlichen Automatisierungslevels mit unterschiedlichen Sitzpositionen und Nutzerkonfigurationen.
- Ziel 4:** Steigerung des Fahrkomforts durch sichere und komfortable Auslegung des automatisierten Fahrverhaltens unter Berücksichtigung der Interaktion zwischen Fahr- und Nutzerverhalten.
- Ziel 5:** Entwicklung und Realisierung von benutzerfreundlichen Bedienelementen zur Fahrzeugführung sowie zur ergonomischen und komfortablen Bedienung während der automatisierten Fahrt
- Ziel 6:** Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung zur Schätzung von Fahrkomfort, Motion Sickness, Übernahmebereitschaft und Fahrsicherheit

INSASSENKOMFORT

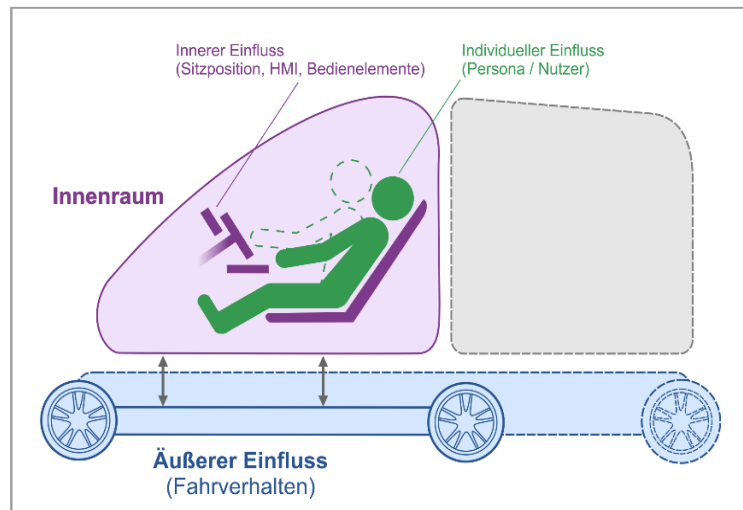


Abbildung 2 Ansatz eines gemeinsamen Anforderungs- und Lösungsraums für Pkw und Lkw Innenräume mit inneren und äußeren Einflussfaktoren

Ziel 7: Definition und Entwicklung von neuen Methoden zur Evaluierung von Innenräumen mit ggf. abgestimmten Fahrverhalten im Kontext des vollautomatisierten Fahrens.

Um diese Ziele zu erreichen, wurde das Projektvorhaben RUMBA in sechs inhaltliche Arbeitspakete (AP1-6) und ein administratives Arbeitspaket (AP7) unterteilt. Die Arbeitspakete, die den direkten Nutzerinput erzeugen, bspw. durch Nutzerstudien, sind in grün dargestellt (siehe Abbildung 3). Die beiden Kernarbeitspakete AP2 und AP3 sind entsprechend ihrer Zuordnung im Ansatz eines gemeinsamen Anforderungs- und Lösungsraums für Pkw und Lkw Innenräume mit inneren und äußeren Einflussfaktoren (siehe Abbildung 2) farblich hervorgehoben.

Das gesamte Projekt baut auf die Erkenntnisse von AP1 auf, in dem die (Nutzer-)Anforderungen aus verschiedenen Perspektiven ermittelt wurden. Auf Basis der Anforderungsanalyse wurden in AP2 Konzepte für den Innenraum und in AP3 für das Fahrverhalten entwickelt. Diese beiden Arbeitspakete sind eng miteinander verknüpft, da die Konzeptionierung neuer Fahrstrategien auf die Ausgestaltung des Innenraums (z. B. Sitzposition oder ausgeführte Nebentätigkeit der Insassen) zu überprüfen war. Die Konzepte aus AP2 und AP3 wurden in AP4 realisiert und in AP5 mit Endnutzern evaluiert. Somit sind AP4 und AP5 jeweils abhängig von den vorhergehenden Arbeitspaketen. Die Fahrerzustandserkennung stellte sowohl ein Entwicklungsobjekt als auch eine Messmethode dar. Daher besitzt AP6 Schnittstellen zu AP 1 bis 5. Die gesamte Entwicklung in RUMBA fand nutzerzentriert statt. Daher fand der Ablauf von Anforderungsanalyse bis zur Konzeptevaluation kontinuierlich statt. Dies spiegelt sich in den drei Iterationsschleifen des Entwicklungsprozesses wider. AP7 stellt das Projektmanagement dar, welches über die gesamte Laufzeit kontinuierlich zu gewährleisten war.

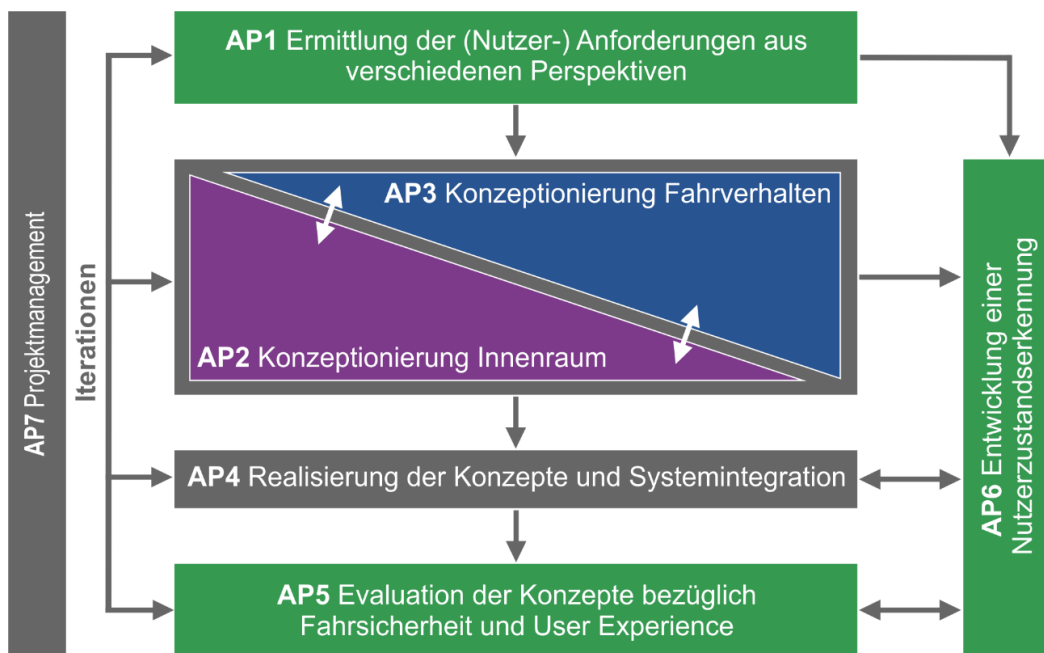


Abbildung 3 Arbeitspakete im Überblick

AP1 Ermittlung der (Nutzer-) Anforderungen aus verschiedenen Perspektiven

Die Anforderungsanalyse (AP1) stellt die Basis für die weiteren Arbeitspakete dar. Zu Beginn des Arbeitspakets wurde das verfügbare Wissen aus den Bereichen Nutzeranforderungen und User Experience, Übernahme inkl. fahrfremde Tätigkeiten, Fahrzeuginnenraum, Ergonomie, Bedienelement, Dis-/Komfort inkl. Motion Sickness und Fahrerzustand aufbereitet und dem Konsortium zur Verfügung gestellt. Ein wichtiger Bestandteil der Aufbereitung stellt die Analyse von aktuellen Technologietrends

dar, welche einen entscheidenden Einfluss auf das Projekt hatte. Des Weiteren umfasst AP1 die Ermittlung der Anforderungen aus Sicht der Endnutzer und anderen Kunden/Stakeholdern sowie Experten. Es wurden mit Hilfe von empirischen Nutzer- und Expertenstudien sowie anschließenden Workshops die genauen Bedürfnisse beim vollautomatisierten Fahren ermittelt. Hierbei lag ein Schwerpunkt auf der Analyse der zukünftigen Fahrerschaft und der Nutzungsszenarien. Vor allem im Kontext des vollautomatisierten Fahrens im Lkw sind größere Veränderungen wahrscheinlich. Methodisch bestand die Herausforderung in der Analyse der Auswirkung von aktuell nicht verfügbaren Technologien. Als Ergebnisse dieses Arbeitspakets lagen identifizierte Handlungsfelder für die Konzeption neuer Innenräume (AP2) und des Fahrverhaltens (AP3) vor.

AP2 Konzeptionierung Innenraum

In AP2 erfolgte die Konzeptionierung eines neuartigen Innenraums für vollautomatisierte Fahrzeuge zur Erfüllung der Nutzeranforderungen aus AP1. Insbesondere Positionierung, Lage und Haltung der Insassen wurden unter Berücksichtigung von Sitzkomfort und Sicherheit bei zeitlich limitierter Übernahme der Fahraufgabe neu konzipiert. Ein weiterer Schwerpunkt innerhalb von AP2 lag in der Gestaltung eines ganzheitlichen und nutzerzentrierten Bedienkonzeptes. Dieses umfasst einerseits die Bedienung von Infotainment und Automation, aber auch neue Möglichkeiten zur Fahrzeugführung. Es ist davon auszugehen, dass klassische Interaktionskonzepte bei einer Neugestaltung des Innenraums nicht mehr anwendbar sind. In enger Verzahnung mit AP3 erfolgte die Auslegung eines abgestimmten Informationskonzeptes unter Berücksichtigung der Zielgruppe, der Tätigkeit im Innenraum und der Fahrdynamik zur Optimierung von Sicherheit und Komfort.

AP3 Konzeptionierung Fahrverhalten

Das Fahrverhalten wurde in AP3 konzeptioniert. In einem ersten Schritt wurden entscheidende Fahrscenarien definiert. Auf Basis von AP1 werden Schlüsse für ein zügiges, sicheres und komfortables Fahren abgeleitet. Als Referenz dienten Fahrten von professionellen Chauffeuren, welche aufgezeichnet und analysiert wurden. Basierend auf den Erkenntnissen wurden (einhergehend mit AP5) die Einflussfaktoren und Wechselwirkungen zwischen Fahrstrategie/ -stil und Trajektorienplanung/ -regelung auf das wahrgenommene Sicherheitsempfinden, den Komfort und die Akzeptanz analysiert. Die Ergebnisse fließen in die Konzeptionierung des Fahrverhaltens ein. Im Rahmen des Projekts bezieht sich AP 3 (Fahrverhalten) ausschließlich auf den Bereich Pkw.

AP4 Realisierung der Konzepte und Systemintegration

In einem iterativen Prozess wurden die Konzepte realisiert (AP4) und evaluiert (AP5). In Anlehnung an den nutzerzentrierten Entwicklungsprozess wurden frühe Konzeptstände mit Nutzern diskutiert, bevor aufwendige Prototypen realisiert wurden. Im Rahmen vom AP4 wurden die unterschiedlichen Prototypen und Demonstratoren realisiert und für die anschließende Evaluierung im AP5 zur Verfügung gestellt. In Abhängigkeit der zu untersuchenden Fragestellung wurden die Konzepte beispielsweise mit Hilfe von Paper Prototypes, Virtual Reality (VR), Mockups, Simulatoren und Realfahrzeugen in erlebbare Demonstratoren umgesetzt.

Versuchsfahrzeuge:

- Bosch baute ein Versuchsfahrzeug (Golf VII Variant) auf, welches in der Lage ist auf dem Prüfgelände eine vollautomatisierte Fahrt SAE L4 auszuführen. Hierfür wurde das Fahrzeug mit entsprechenden Umfeldsensoren, Steuergeräten und Messtechnik ausgestattet. Für die Durchführung von Nutzerstudien wurden diverse HMI-Elemente sowie eine Doppelpedalanlage integriert. In dem Versuchsfahrzeug wurden Maßnahmen zur Reduktion von Motion Sickness sowie zur Steigerung des Fahrkomforts umgesetzt.
 - Bosch-AS baute ein Versuchsfahrzeug (eGolf) mit Steer-by-Wire-Technologie und alternativen Bedienelementen zur Fahrzeugführung (Quer und Längsführung) auf. Für die Hauptstudie wurden Sensoren zur Messung von Manövrierbarkeit eingebaut.
-

Um die beiden Studien im Fahrsimulator mit alternativen Bedienelementen zu ermöglichen (UniS2023a und WIVW2023a), wurden HW- und SW-Komponenten zur Verfügung gestellt und integriert.

Für mehrere Vorstudien wurden unterschiedlich HW und SW Konzepte (Form und Größe, Längsführung, SW Funktionen und deren Applikationsvariante) entwickelt und iterativ in das Fahrzeug integriert.

Für die im dynamischen Fahrsimulator durchgeführte Studie zu alternativen Gierstrategien, wurde eine vollständige automatisierte Fahrsimulation von Bosch-AS zur Verfügung gestellt.

- Seitens der AUDI AG wurden zwei der Innenraumkonzepte, „Racoon“ und „ShareOne“, in einen dynamischen Versuchsträger überführt (Q8 e-tron). Dabei wurden Verbesserungen, die sich aus den Anmerkungen der Studien ergaben, adaptiert und vorgenommen. Zusätzlich wurden die Interieurelemente auf Basis der neuen Sitzposition ergonomisch untersucht und neue Zielwerte erarbeitet. Der Versuchsträger war ein Rechtslenker mit funktionalem Lenkrad und Pedalerie auf der rechten Seite. Das Fahrzeug wurde als Wizard-of-Oz-Fahrzeug benutzt, bei dem die Steuerung des Fahrzeugs beim Versuchsleiter vorne rechts verblieb. Die Sitzposition der Proband_Innen auf dem linken Vordersitz war von zentraler Bedeutung. Der Verfahrensweg der Sitz-Längsverstellung wurde deutlich vergrößert, um zu untersuchen, welche Stellung in den jeweiligen Use Cases eingenommen werden konnte. Von hohem Interesse war, wie weit sich die Probanden nach hinten fahren und ob zukünftig die Sitzanforderungen angepasst werden müssen. Der Proband_Innen-Sitz verfügte über eine Vielzahl an Einstellungsmöglichkeiten, um den Diskomfort zu reduzieren. Zusätzlich waren wegfahrbare, inaktive Pedalerie und ein wegfahrbares, kapazitives Lenkrad vorhanden. Insgesamt wurden Änderungen an Lenkrad und Pedalerie vorgenommen, um die aus der Sitzkiste ermittelten Anforderungen zu erfüllen. Eine elektrisch verstellbare Mittelkonsole rundete die Ausstattung ab.“.
- CARIAD nutzt ein Versuchsfahrzeug (AUDI Q8), welches in der Lage ist auf ausgewählten Strecken an den Entwicklungsstandorten eine automatisierte Fahrt umzusetzen, wofür das Fahrzeug mit zusätzlichen Sensoren, Messtechnik und leistungsfähiger Rechenhardware ausgestattet ist. Für die Umsetzung der neuen Ansätze in der Verhaltensplanung und der HMI-Konzepte sowie deren Erprobung im Rahmen von Nutzerstudien wurde ein bestehendes Grundsystem um neue Schnittstellen und Softwarekomponenten erweitert und zusätzliche Hardware für die Umsetzung der Anzeigekonzepte an den Sitzplätzen der Probanden integriert.
- Die HdM baute den Fahrgastraum einer Mercedes V-Klasse (Leihgabe von Bosch) mit Hilfe der DMTMD GbR und Bosch zu einem Wizard of Oz Fahrzeug um. Die Fahrersitzreihe ist baulich vom Fahrgastraum abgetrennt und von dort nicht einsehbar. Der Fahrgastraum simuliert einen Fahrzeuginnenraum eines automatisiert fahrenden Viersitzers. Er ist flexibel umgestaltbar, so dass zwischen einem klassischen Innenraum (ähnlich wie aktuelle Fahrzeuginnenräume) und einem innovativen Innenraum zur Förderung sozialer Interaktion gewechselt werden kann, dessen Mehrwert z. B. für die User Experience in der Nutzerevaluation vergleichend zum klassischen Innenraum untersucht wurde. Anhand der Ergebnisse wurde der innovative Innenraum mit Hilfe der HdM-internen Schreinerei und der Invensity GmbH zur parallelen Förderung sozialer Interaktion und individueller Beschäftigung weiterentwickelt und auf der Abschlusspräsentation des Projektes vorgestellt.

Simulatoren

- Der Fokus seitens der AUDI AG aufgebauten Sitzkiste war die Realisierung eines ganzheitlichen Innenraumkonzepts. Dabei wurden Anforderungen aus der Nutzungsanalyse und fahrfremde Tätigkeiten berücksichtigt. Potenzielle Nutzer bevorzugten L4-Systeme für Autobahn- und Urlaubsfahrten, was durch den Aufbau simulativ nachgestellt werden konnte. Die Sitzkiste ermöglichte drei verschiedene Interieurkonzepte und berücksichtigte relevante Kontaktpunkte. Sie basierte auf einer Grundplatte mit Hartschaumelementen und verwendete Serienkompo-
-

zenten wie Motorhaube und Lenkrad. Zusätzlich bot sie eine elektrisch verstellbare Mittelkonsole, verschiedene Displayhöhen und kapazitive Sensoren für den manuellen Modus. Durch den Einsatz von Serienkomponenten wird der Eindruck einer realistischen Abbildung verstärkt und der Fahreindruck in den Studien wirkte deutlich authentischer.

- Die Universität Stuttgart baute im Projekt eine völlig neuen Fahrsimulator zur Evaluation von digitalen 3D Fahrzeuginnenräumen auf. Der Fahrsimulator besteht aus einer aufwändigen, statischen Sitzkiste mit elektrisch verstellbarem Sitz und Lenkrad. Um Transitionsszenarien während einer automatisierten Fahrt darstellen zu können, sind erweiterbare Verstellbereiche für Sitz und Lenkrad, sowie eine Verdrehung des Sitzes umgesetzt. Die Darstellung der zu untersuchenden VR-Prototypen innerhalb einer Fahrsimulation erfolgt über ein HMD. Im Verlauf des Projektes wurde sowohl die verwendete Fahrsimulationssoftware, als auch die HMD-Technologie angepasst, sodass die Immersion gesteigert werden konnte. Zuletzt können Probanden in einem Mixed-Reality Studiendesign verschiedene Designs erleben und bewerten.
- Weiterhin wurde, der am IKTD vorhandene, Ergonomieprüfstand mit Fahrsimulation für die Untersuchung neuartiger Use-Cases im Kontext der Automatisierung umgebaut. Die Umbauten beinhalten eine neue Sitzanlage, sowie eine modulare Instrumententafel und Türverkleidungen. Der Umbau ermöglicht die Evaluation vielfältiger Nutzungsszenarien mit neuen HMI-Konzepten im Zusammenspiel mit flexiblen Sitzpositionen.
- Die HdM baute im Projekt einen statischen Fahrsimulator in Zusammenarbeit mit der Universität Stuttgart IAT und der Marvin Bosch & Felix Spiegel Malix GbR auf. Im Simulator werden Fahrzeuginnenraum sowie Anzeige- und Bedienelemente für je zwei Personen (Fahrerplatz und Beifahrerplatz) simuliert. Der Innenraum ist flexibel umgestaltbar, sodass zwischen einem klassischen Innenraum (ähnlich wie aktuelle Fahrzeuginnenräume) und einem hier prototypisch dargestellten, innovativen Innenraum zur Förderung individueller Beschäftigung gewechselt werden kann, dessen Mehrwert z. B. für die User Experience in der Nutzerevaluation vergleichend zum klassischen Innenraum untersucht wurde.

VR-Prototypen

- Die MAN Truck & Bus SE erstellte zur Evaluation der Konzepte VR-Prototypen für die Kabinenkonzepte Hub Manuell, Bus und Hotel. Die Probanden können sich so frei in der Kabine bewegen und unterschiedliche Innenraumelemente bedienen (z.B. Öffnen Nasszelle oder Stauraumfächer, Aus-/Einfahren von Tischen/Bildschirmen).
- Die studiokurbos GmbH entwickelte einen VR-Prototyp zur Evaluierung des entworfenen Interieur- und Exterieur-Designs basierend auf den in diesem Projekt erstellten Konzepten. Probanden können sich in diesem Design frei bewegen und verschiedene Innenraumelemente bedienen. Ziel der VR-Simulation ist es, die gesammelten Ergebnisse repräsentativ zu veranschaulichen.
- Die Universität Stuttgart erstellte für die Evaluation verschiedener subjektiver Eindrücke verschiedene, holistische, digitale 3D-Fahrzeuginnenräume. Zum einen wurden Fahrzeuginnenräume auf Basis vorhandener, realer 3D-Polygonmodell von Pkw weiterentwickelt. Hier wurde insbesondere das HMI in verschiedenen Varianten angepasst. Zum Anderen wurde ein parametrisches, abstrahiertes CAD-Innenraummodell entwickelt, das direkt mit Maßkonzeptparametern gefüttert werden kann, um sich daraufhin seinen grundlegenden Kabinenausprägung zu morphen. Damit konnten Einzelaspekte wie die Frontscheibenausprägung während der automatisierten Fahrt untersucht werden. Weiterhin wurden in enger Kooperation mit studiokurbos Innenraumkonfigurationen des von ihnen erstellten Konzeptinnenraums entwickelt und evaluiert.

Sitzkisten

- CanControls errichtete eine Sitzkiste mit 4 Sitzplätzen zur Erstellung von Probeaufnahmen unter Laborbedingungen für die Nutzerzustandserkennung mittels der in der Projektlaufzeit zusammengestellten Innenraumsensorik.
- Die MAN Truck & Bus SE erstellte für die abschließende Evaluation des Konzepts Hub Manuell einen modularen Prüfstand. In diesem können unterschiedliche Varianten des Konzepts dargestellt werden (kleine Kabine, große Kabine mit und ohne Fenstern). Im modularen Prüfstand sind Dashboard, Sitz, Lenkrad und Pedalerie dargestellt.

AP5 Evaluation der Konzepte bezüglich Fahrsicherheit und User Experience

In AP5 erfolgte in einem iterativen Prozess die Evaluierung der realisierten Konzepte mit den Nutzern. Situativ wurden Einzel- und Teilaspekte in unterschiedlichen empirischen Studien untersucht. Die Erkenntnisse der Entwicklung wurden zurückgespiegelt sowie mit den Anforderungen aus AP1 abgeglichen. Hierbei unterschieden sich die Evaluierungsstudien im Detaillierungsgrad der Prototypen, der Forschungsfrage, den Nutzungsgruppen, dem Nutzungsszenario und den Untersuchungsmethoden. Die Iterationen verfolgen das Ziel die User Experience, insbesondere Ergonomie, Raumgefühl & -wirkung, Fahrkomfort, Insassenkomfort, Wohlbefinden, Übernahmequalität, Effizienz und Systemvertrauen zu optimieren. Eine Herausforderung bestand hierbei in der Auswahl und der Anpassung geeigneter Methoden für das jeweilige Untersuchungsziel.

AP6 Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung

Die Nutzerzustandserkennung (AP6) wurde parallel zum Innenraum und zum Fahrverhalten entwickelt. Sie ist wichtiger Bestandteil der Transition sowie Messmethode im Kontext von Insassenkomfort und Übernahmefähigkeit. Auf Basis der Erkenntnisse aus AP1 wurden für die Nutzerzustandserkennung relevante Use Cases unter Berücksichtigung der Ergonomie, legislativer Randbedingungen sowie passiver Sicherheit definiert. Die Entwicklung neuer Innenraumkonzepte (AP2) und Nutzungsszenarien beeinflusste die Konzepte der Innenraumbeobachtung. Im Rahmen vom AP6 wurden klassische Video basierte Kameras zusammen mit Thermalkameras, physiologischen und neurophysiologischen Sensoren zur Verbesserung der Messung des Nutzerzustands bzw. als Referenz eingesetzt. Der Schwerpunkt lag auf der Entwicklung von Schätzern für den Fahrkomfort, Motion Sickness und der Übernahmefähigkeit. Die notwendigen subjektiven und objektiven Daten wurden in Studien im AP5 generiert.

AP7 – Projektmanagement

RUMBA war ein Forschungsvorhaben mit einem nutzerzentrierten Entwicklungsprozess. Die Vorgehensweise im Verlauf des Projekts hing von den Zwischenergebnissen ab und ließ sich daher zum Projektstart noch nicht bis ins Detail planen. Bedingt durch den ständigen Durchlauf der Phasen Konzeptionierung, Realisierung, Frühevaluation und Evaluation herrschte im Projekt eine starke Vernetzung der Arbeitspakete sowie der Projektpartner untereinander, sodass ein intensives Projektmanagement in enger Abstimmung mit den AP-Verantwortlichen notwendig war. Die Vorgehensweise hing in vielen Situationen von den Zwischenergebnissen, beispielsweise aus den Studien, ab und erforderte eine dynamische Projektplanung. Neben der Organisation der üblichen Meilensteintreffen und der Abschlusspräsentation mit dem Projektpartner und dem Projektträger wurden auch quartalsweise Treffen des Konsortiums und zahlreiche Workshops durchgeführt.

2.2 Voraussetzungen des Vorhabens

Das Projekt RUMBA wurde in einem Verbund aus Automobilherstellern, Zulieferern, öffentlichen Einrichtungen, Forschungseinrichtungen und KMUs bearbeitet. Das Gesamtvolumen betrug 21,7 Mio €, mit einer Fördersumme des BMWK- von bis zu 10,4 Mio €.

Die Projektkoordination von RUMBA oblag der Robert Bosch GmbH. Die Projektpartner waren:

- AUDI AG (AUDI)

- CanControls GmbH (CanControls)
- CARIAD SE (CARIAD)
- Hochschule der Medien Stuttgart (HdM)
- MAN Truck & Bus SE (MAN)
- Optik Haptik Prototyping GmbH (OHP)
- Robert Bosch Automotive Steering GmbH (Bosch-AS)
- Spiegel Institut Mannheim GmbH (Spiegel)
- Studiokurbos GmbH (Kurbos)
- Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Technisches Design (UniS)
- Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften GmbH (WIVW)



2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens

Das Projekt startete am 01.09.2020 und endete inklusive einer viermonatigen Verlängerung nach einer Laufzeit von 46 Monaten am 30.06.2024.

Das Projekt RUMBA war, wie in Kapitel 2.1.2 erläutert, in sieben Arbeitspakete gegliedert. Zeitlich wurden weiterhin folgende Projektphasen unterschieden:

- Anforderungsanalyse (09/2020 – 06/2021)
- Iterationsschleife I (06/2021 – 06/2022)
- Iterationsschleife II (06/2022 – 06/2023)
- Iterationsschleife III (06/2023 – 06/2024)

Die Zeitplanung wurde dabei ohne größere Abweichungen eingehalten und der Projektfortschritt in den zugehörigen Berichten dokumentiert. Die Zwischenpräsentation des Projektes fand am 21.10.2022 sowie die Abschlusspräsentation am 24.04.2024 auf dem Forschungscampus der Robert Bosch GmbH in Renningen statt.

2.4 Beitrag der CanControls GmbH – Wissenschaftlich-technischer Stand und Aufgabenstellung

Der wissenschaftlich-technische Stand, an den die CanControls GmbH zu Projektbeginn anknüpft, basiert unter anderem auf bestehenden Arbeiten im Bereich der Fahrerzustandserkennung. Fokus dieser Vorarbeiten liegt auf der Zustandserkennung während manueller, teil- oder hochautomatisierter Fahrt mit teils serienaher und serienferner Sensorik. Dadurch liegen Vorerfahrungen sowohl in dem Aufbau eines Systems zur Fahrer- und Insassenbeobachtung, als auch der Entwicklung neuartiger zu erkennender Nutzermerkmale selbst vor.

Neben internen Vorarbeiten bei CanControls umfasst der Stand der Wissenschaft und Technik weiterhin Erkenntnisse aus öffentlich geförderten Projekten, die einen früheren Startzeitpunkt als RUMBA besitzen und sich mit anknüpfenden Themen auseinandersetzen. Daraus resultieren, unter anderem unter CanControls-Beteiligung, gewinnbringende Forschungsergebnisse für die Nutzerzustandserkennung des teil-/hochautomatisierten Fahrens, die RUMBA als Ausgangsbasis dienen und gleichzeitig weiteren Forschungs- und Innovationsbedarf für die in RUMBA behandelten Themengebiete aufzeigen.

Insbesondere die folgenden öffentlich geförderten Projekte sind für RUMBA relevant:

- EU: InteractIVe (2010-2013)
- BMWi: UR:BAN (2012-2016)
- BMBF: InCarIn (2014-2017)
- EU: AdaptIVe (2014-2017)
- BMWi: Ko-HAF (2015-2018)
- BMWi: PEGASUS (2016-2019)
- BMWi: TANGO (2016-2019)
- EU: InterACT (2017-2020)
- BMWi: @CITY (2017-2022)

Die detaillierte Abgrenzung von RUMBA gegenüber diesen Projekten ist in der Vorhabenbeschreibung der Verbundpartner genauer dargelegt. Insbesondere die Konzeptionierung von neuen Innenräumen in enger Abstimmung mit dem Fahrverhalten für vollautomatisierte Fahrfunktionen (SAE L4) bei Berücksichtigung des Nutzerzustands ist in bisherigen Forschungsprojekten kaum adressiert und daher an dieser Stelle hervorzuheben.

Die Vorgängerprojekte fokussieren tendenziell auf die technische Realisierung der automatisierten Fahrfunktion mit entsprechender Lokalisierung, Umfelderkennung und Trajektorienplanung/-regelung. Analysen von Nutzungsszenarien für das vollautomatisierte Fahren und den damit verbundenen Auswirkungen und Anforderungen an den Innenraum inkl. Anzeige- und Bedienkonzepten sind bisher nicht vorhanden. Im Kontext SAE L4 wandelt sich der Schwerpunkt im Fahrverhalten zunehmend hin zu Komfort und Sicherheit. Entsprechend wird für RUMBA ein hoher Forschungsbedarf für die Herausforderungen in der Gestaltung von innovativen Innenräumen identifiziert, die zu einem komfortablen, sicheren und zügigen Fahrverhalten und somit zur Steigerung der User- und Customer Experience führen.

Die CanControls GmbH engagiert sich in den zu ihren Kernkompetenzen passenden Arbeitspaketen 4, 5, 6 und 7, um diesen Forschungsbedarf in Kooperation mit den Projektpartnern zu decken. Als Partner mit Schwerpunkt der Insassenbeobachtung übernimmt die CanControls GmbH die Leitung des Arbeitspaketes 6 „Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung“. Die nachfolgende Übersicht fasst die Aufgabenschwerpunkte von CanControls in den jeweiligen RUMBA-Arbeitspaketen zusammen:

AP4 – Realisierung der Konzepte und Systemintegration

Der Hauptschwerpunkt von CanControls in AP4 liegt bei der Inbetriebnahme der Multi-Sensor Innenraumbeobachtung. Dazu gehört die Ansteuerung mittels geeigneter Software und die Kalibrierung der Sensorik.

Im UAP4.3 realisiert CanControls die Konzepte der Multi-Sensor Innenraumbeobachtung aus UAP 6.2 in den Versuchsträgern. Dies umfasst die Integration und Kalibrierung in sowohl dem Laboraufbau, den Simulatoren als auch den Realfahrzeugen.

Im UAP 4.6 realisiert die CanControls die Software zur Ansteuerung und Aufzeichnung der Multi-Sensor Innenraumbeobachtung für die Nutzerzustandserkennung in AP6. Die Herausforderung liegt in Synchronisierung unterschiedlicher Sensoren und ausfallsicheren Anfertigung von Aufnahmen, da sie die Grundlage für die Entwicklungsarbeit im AP6 bilden.

AP5 - Evaluation der Konzepte bezüglich Fahrsicherheit und User Experience

In AP5 liegt der Schwerpunkt von CanControls bei der theoretischen Bewertung der Konzepte bzgl. ihrer Eignung für die Nutzerzustandserkennung. Betrachtet werden hierbei die neu entwickelten Innenraumkonzepte, Bedienelemente und das Studiendesign zur Datenerhebung mit Schwerpunkt Motion Sickness und Übernahmebereitschaft.

In UAP 5.2 nimmt die CanControls eine Bewertung der Innenraumkonzepte, in UAP 5.3 der Anzeigen und Bedienelemente und in UAP 5.6 der Studienplanung zur Datenerhebung vor, unter Berücksichtigung der Anforderungen an die Innenraumsensorik und Einschätzung der Eignung für die insassenspezifische Merkmalsextraktion. Daraus wird je Innenraumkonzept eine Einschätzung bzgl. ihrer Eignung für die Schätzer des Fahrkomforts, der Übernahmebereitschaft und der Motion Sickness herausgearbeitet.

Die Bearbeitung der UAPs 5.2, 5.3 und 5.6 erfolgt in enger Abstimmung mit Bosch, da auch die Arbeiten an der Entwicklung der Nutzerzustandserkennung im AP6 in enger Zusammenarbeit erfolgt.

AP6 - Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung

Schwerpunkt von CanControls innerhalb von AP6 liegt auf der Entwicklung der Merkmalsextraktion (UAP 6.3) und von Verfahren zur Schätzung der Motion Sickness (UAP 6.7) und Übernahmebereitschaft (UAP 6.5) auf Basis Insassenmerkmalen (UAP 6.2/6.3). Im Rahmen des APs werden die in AP5 aufgezeichneten Versuchsdaten aufbereitet (UAP 6.4), um Verfahren zur Schätzung der Motion Sickness und Übernahmebereitschaft zu entwickeln.

In UAP 6.1 werden relevante Nutzerzustände und Use Cases definiert, um geeignete Sensorik und Sensorpositionen sowie Studienszenarien für die Datenaufzeichnung herauszuarbeiten.

In UAP 6.2 konzipiert CanControls in Zusammenarbeit mit Bosch eine Multi-Sensor Innenraumbeobachtung durch Einschätzung ihrer Eignung bzgl. der Use Cases aus UAP 6.1 und einer Simulation ihrer möglichen Verbauorte.

In UAP 6.3 führt CanControls eine Neu- und Weiterentwicklung von Verfahren zur kamerabasierten Bestimmung von personenspezifischen Merkmalen durch. Dies umfasst Gesichts- und Körpermerkmale sowie Vitalparameter.

In UAP 6.4 führt CanControls eine Datenaufbereitung der Versuchsdaten aus Studien zu Trainingsdaten für die Entwicklungsarbeit in UAP 6.5 und 6.7 durch. Zu diesem Zweck werden Studiendaten geprüft, ausgezeichnet und dafür passende Tools neu- und weiterentwickelt.

In UAP 6.5 entwickelt CanControls ein Verfahren zur Schätzung der Übernahmebereitschaft basierend auf den Innenraummerkmalen aus UAP 6.3. Dazu gehört die anschließende Evaluation mittels der aufbereiteten Studiendaten aus UAP 6.4.

In UAP 6.7 entwickelt CanControls ein Verfahren zur Schätzung der Motion Sickness basierend auf den Innenraummerkmalen aus UAP 6.3. Dazu gehört die anschließende Evaluation mittels der aufbereiteten Studiendaten aus UAP 6.4.

Die CanControls GmbH übernimmt die Leitung des AP6.

AP7- Projektmanagement

CanControls übernimmt im Forschungsprojekt RUMBA die Leitung des AP6 und somit die Koordination und Organisation der Zusammenarbeit die teilnehmenden Partner.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit zwischen CanControls und anderen Stellen erfolgt im Rahmen von RUMBA auf zahlreichen Ebenen:

Insbesondere innerhalb und zwischen den Arbeitspaketen findet eine intensive Zusammenarbeit statt. In zahlreichen Arbeitsgruppen, Quartalstreffen, gemeinschaftlich koordinierten Nutzerstudien und Demonstrationen werden die Projektinhalte gemeinsam mit den Verbundpartnern erfolgreich bearbeitet und dokumentiert.

Im Rahmen der Ergebnisverbreitung und -sicherung findet weiterhin ein Austausch mit dem BMWK-geförderten Projekt KARLI statt. Eine gegenseitige Beteiligung bei Halbzeit- und Abschlussevents fördert die Zusammenarbeit und den Wissenstransfer. Als vorteilhaft stellt sich dabei die große Überschneidung bei den Projektpartnern heraus.

In Zusammenarbeit mit einem Automobilhersteller werden Echtzeitanwendungen der entwickelten Schätzer aus AP6 in zukünftigen Versuchsreihen untersucht und evaluiert.

Schließlich findet CanControls-intern ein Austausch zu RUMBA mit anderen Projekten statt, insbesondere im Rahmen von Abstimmungen mit weiteren öffentlich geförderten Projekten mit CanControls-Beteiligung (z.B. mit den BMWK-geförderten Projekten EMMI und KAI oder mit dem vom BMBF geförderten Projekt DrAlve) zu RUMBA-relevanten Themen.

3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Wie im vorangehenden Kapitel erläutert, bearbeitet die CanControls GmbH innerhalb der Arbeitspakete 4, 5, 6 und 7 von RUMBA Aufgaben und verfolgt Projektziele. Dieses Kapitel dient einerseits der Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten und Beiträge, und andererseits der inhaltlichen Schilderung der erreichten Ergebnisse. Beiträge und Koordinationsaufwände von CanControls im Rahmen der Arbeits- und Unterarbeitspaketleitung sind in dieser inhaltlichen Zusammenfassung nicht enthalten. Die Gliederung des Kapitels folgt dabei der oben beschriebenen, groben Unterteilung nach Arbeitspaketen.

3.1 AP4 – Realisierung der Konzepte und Systemintegration

3.1.1 UAP 4.3 - Realisierung Hardware Aufbau und Ausrüstung

Die gewählte Sensorik (UAP 6.2) wurde in einer Sitzkiste an den entsprechend favorisierten Positionen befestigt. Der Aufbau der Sitzkiste sowie der Sensorik dient dem Testen von Aufnahmesoftware, um Studien, bei denen Videoaufzeichnungen angefertigt werden sollen, vorzubereiten, sowie um intern Trainings- und Evaluationsdaten für Prototypen von Algorithmen (UAP 6.3, UAP 6.5, UAP 6.7) zu erstellen.

Die Sitzkiste ist in der Vorhabensbeschreibung unter AP4 in der Tabelle der „geplanten Demonstratoren“ gelistet.

Die Sitzkiste wurde wie in Abbildung 4 dargestellt für 4 Sitze und mit Aluminiumprofilen konzipiert und umgesetzt.

CanControls Sitzkiste

Kameras:

- ▲ : LI-2311 NIR Kamera
- ★ : Seek Thermalkamera
- : Microsoft Kinect Azure

Kameras Spezifikationen:

	Ort	Beschreibung	FOV
▲	1 * LI-2311	Rückspiegel 'Simple' OMS (Optional)	110°
■	Kinect Azure	Rückspiegel Depth / Color / IR OMS	110°
▲	1 * LI-2311	Frontal DMS	60°
★	1 * Seek	Frontal Nah zur Infrarotkamera	61°

Abbildung 4: Planung CanControls Sitzkiste

In Abbildung 5 links ist die realisierte Sitzkiste dargestellt sowie rechts eine virtuelle Repräsentation in unserer Software.

Die Aluminiumprofile dienen der flexiblen Anordnung von Kameras, um so die Gegebenheiten von unterschiedlichen Fahrzeugen oder Simulatoren nachstellen zu können, die im Verlaufe von RUMBA in Probandenstudien bei Partnern eingesetzt werden.

Die virtuelle Repräsentation erfüllt zum einen den Zweck der Plausibilitätsprüfung, ob die Kamerapositionen korrekt erfasst und die Position der durch die Algorithmen aus UAP 6.3. im Videobild erfasste Person korrekt lokalisiert wird.



Abbildung 5: l.: Realisierte CanControls Sitzkiste, r.: Virtuelle Repräsentation Sitzkiste

3.1.2 UAP 4.6 - Realisierung Innenraum

Um die in UAP 6.2 gewählte Sensorik zu nutzen, wurde eine Software zur Aufzeichnung der Kamerabilder erstellt, welche die NIR und Temperaturbilder der SEEK Thermalkamera aufzeichnet und ihre Hardware-spezifischen Register ansteuern kann um weitere Kontrolle über Beleuchtungs- und Belichtungseinstellungen zu erhalten.

Ein weiterer Sensor, die Tiefenkamera Microsoft Kinect Azure, wurde in das CanControls Framework eingebunden, um Trainingsdaten für die Körperposenschätzung aufzuzeichnen. In Abbildung 6 sieht

man die Ausgaben der unterschiedlichen Sensoren: Farbkamera (u. r.), Infrarotkamera (o. r.), Tiefendaten (o. m.) und eine sich daraus ergebende Punktwolke (u. l.).

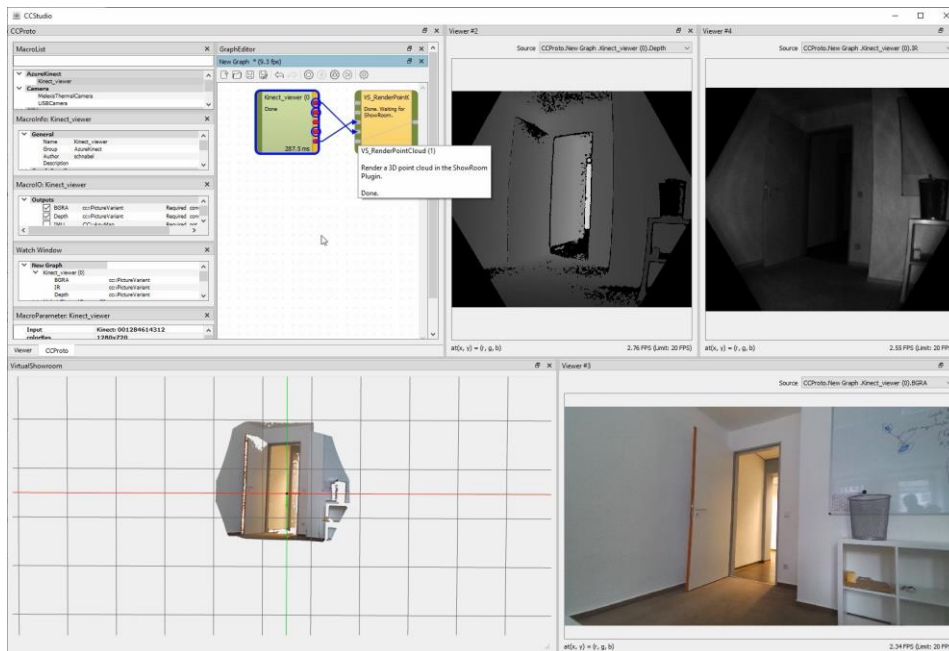


Abbildung 6: Einbindung Microsoft Kinect Azure

3.1.1 Einsatz des EyeTrackers „Pupil Invisible“

Weiter wurde der EyeTracker Pupil Invisible angeschafft, welcher dazu dient, Referenzdaten zur Blickrichtung und Beschleunigung am Kopf zu erfassen, siehe Abbildung 7.



Abbildung 7: Pupil Invisible Brille mit Smartphone zur Aufzeichnung und individuellem 3D Ausdruck mit Motion Capture Kugeln

Bei der Pupil Invisible handelt es sich um einen Brillenrahmen ohne Gläser, welche mit zwei auf die Augen gerichteten Kameras sowie einer nach vorn gerichteten Weltkamera ausgestattet ist. Zusätzlich beinhaltet es eine Sensoreinheit, welche Beschleunigungsdaten erfasst und ein per Kabel angebundenes Smartphone, welches die Video- und Sensordaten aufzeichnet und darauf die Blickrichtung berechnet.

Es wurde intern mittels 3D-Printings ein spezielles Target gefertigt, welches auf Basis von 6 im nahen Infrarot gut reflektierenden Kugeln dazu dient, hochpräzise die Kopfpose (Position und Translation) der Testperson exakt zu bestimmen.

Dadurch eignet sich dieses System dazu, Trainings- und Evaluationsdaten für Blickrichtung und Kopfposenbestimmung bei Probandenstudien zu erfassen.

3.2 AP5 - Evaluation der Konzepte bezüglich Fahrsicherheit und User Experience

3.2.1 UAP 5.2 – Evaluierung Innenräume / UAP 5.3 – Evaluierung Anzeigen und Bedienelemente

Ziel der Nutzerzustandserkennung ist eine möglichst lückenlose Erfassung der Personen im Fahrzeug mit hoher Güte der zu schätzenden Größen. Eine grundlegende Bedingung, die dafür erfüllt werden muss, ist die Auswahl, Platzierung und Ausrichtung der zugehörigen Sensorik. Je nach Innenraumkonzept herrschen hier unterschiedliche Voraussetzungen sowie Bewegungsfreiheiten bzw. Sitzverstellmöglichkeiten.

In den UAPs 5.2 und 5.3 haben CanControls und Bosch gemeinsam eine **Bewertung der Innenraumkonzepte** (inklusive der Anzeigen und Bedienelemente) in Bezug auf die Nutzerzustandserkennung vorgenommen auf Basis der vom Konsortium im AP2 erstellten 15 Innenraumkonzepte.

Dabei wurden Anforderungen an die Innenraumsensorik in Form von Kriterien zur Bewertung ausgearbeitet, je Innenraumkonzept mögliche Sensorplatzierungen diskutiert und bzgl. ihrer Eignung für die Merkmalsextraktion bewertet. Da die Schätzerentwicklung unterschiedliche Abhängigkeiten von den Eingangsmerkmalen haben, konnte so aufbauend auf den Bewertungen eine abschließende Bewertung der Eignung der Innenraumkonzepte für die Schätzer vorgenommen werden.

3.2.1.1 Kriterien zur Bewertung der Sensorplatzierung

Nachfolgend werden die Kriterien zur Bewertung einer Sensorplatzierung je Innenraumkonzept knapp erläutert.

Sichtfeld Gesichts-Kamera

Grundlegend für die Erfassung von Gesichtsmerkmalen der Personen im Fahrzeug ist die Sichtbarkeit des Gesichts im Kamerabild. Um eine möglichst hohe Verfügbarkeit der Gesichtsmerkmale zu erreichen befindet sich die Gesichts-Kamera idealerweise frontal bzw. mittig und leicht unterhalb vor dem Gesicht der zu betrachtenden Person. Das Sichtfeld sollte dabei den üblichen Bewegungsbereich des Kopfes abdecken.

Sichtfeld Körper-Kamera

In Fahrzeuginnenräumen ist die Sichtbarkeit des Körpers für Kamerasensoren auf Grund des beschränkten Platzes meist nur teils gegeben. In dem gegebenen Kontext ist die Interaktion mit dem Fahrzeug und die Körperhaltung von Interesse. Daher ist eine Ausrichtung der Körper-Kamera vorzuziehen, bei der der Oberkörper, Kopf, Arme und Hände im Sichtfeld sind.

Anzahl Sensoren

Je nach Bewegungsfreiheit bzw. Sitzverstellmöglichkeiten werden zusätzliche Sensoren (pro Person) benötigt. Eine höhere Anzahl an Sensoren hat neben erhöhten Kosten den Nachteil, dass bei Nutzung gleicher Wellenlängen der aktiven Beleuchtung von NIR-Kameras auch auf eine Synchronisierung geachtet werden muss um unerwünschte Interferenzen zu vermeiden. Dies gilt auch bei Nutzung Sensoren unterschiedlicher Art (NIR vs. Time-of-Flight).

Stabilität der Sensorplatzierung

Um die durch die Nutzerzustandserkennung bestimmte räumlichen Merkmale in Kontext zum Fahrzeug und evtl. der Fahrzeugfahrtrichtung setzen zu können, ist die Kenntnis über den Ort und die Ausrichtung des Kamerasensors unabdingbar. Ein fester Verbauort erleichtert die Kalibrierung bzw. ein beweglicher Verbauort erfordert zusätzliche Informationen des Fahrzeuges, falls vorhanden, oder sogar eine Online-Kalibrierung. Im Falle der Kameraplatzierung auf einem Beweglichen Fahrzeugteil besteht immer das Risiko einer ungenauen extrinsischen Kalibrierung, so dass die Güte der räumlichen Merkmale potentiell verringert ist.

Verdeckungsrisiko

Je nach Sensorplatzierung besteht ein unterschiedlich hohes Risiko für Verdeckungen. Eine klassische Kameraposition ist das Kombiinstrument oder die Lenkstange, jedoch besteht hier durchgehend die Gefahr der Verdeckung des Sichtfeldes durch das Lenkrad bzw. der Hände auf dem Lenkrad.

Hintergrund

Wird ein Kamerasensor mit Belichtungsregelung bzw. Beleuchtungsregelung verwendet, muss auch der Hintergrund der zu betrachtenden Personen berücksichtigt werden. Die Kameraregelung beachtet einen bestimmten Bildbereich, bspw. die Bildmitte oder den Bereich um das Gesicht der betrachteten Person, und steuert die Belichtungszeit bzw. die Beleuchtungszeit, um eine möglichst hohe Bildqualität zu erreichen. Im Falle eines statischen Hintergrundes arbeitet die Regelung anhand der äußeren Lichtverhältnisse und wird gute Ergebnisse erreichen. Ist bspw. ein großes Fenster im Hintergrund, gibt es möglicherweise stark wechselnde Helligkeitsverhältnisse hinter der im Fahrzeug sitzenden Person oder sogar direkte Sonneneinstrahlung, was sich negativ auf die Bildqualität auswirkt.

Entfernung

Die Entfernung, der, insbesondere Gesichts-Kamera, spielt für die Qualität der zu bestimmenden Merkmale eine wichtige Rolle. Über die Wahl des Sensors lässt sich zwar eine höhere Auflösung erreichen, jedoch ist dies auch eine Kostenfrage.

Über die Optik lässt sich ein geeigneter Arbeitsbereich finden, in dem der Bewegungsbereich des Kopfes für eine gewisse Entfernung hochauflösend erfasst werden kann. Je nach Bewegungsfreiheit in Richtung der optischen Achse der Kamera verlässt die zu betrachtende Person den optimalen Bereich.

Ist die Entfernung zu hoch, führt dies bei weitwinkligen Objektiven verstärkt zu einer verringerten Auflösung von Detailinformationen des Gesichts. Dies ist insbesondere für die Bestimmung der Blickrichtung kritisch, da für die Erfassung von Auge, Pupille und Augenöffnung kleine Änderungen große Auswirkungen auf das Ergebnis haben.

Ist die Entfernung zu gering, wird das Gesicht den Sichtbereich der Kamera bei Bewegung verlassen, so dass die Verfügbarkeit verringert ist.

3.2.1.2 Kamerapositionen

Basierend auf der Auswahl an Innenraumkonzepten, wurden folgende Kandidaten an Kamerapositionen gewählt:

- I) Kombiinstrument
- II) Innenspiegel
- III) A Säule
- IV) Dachhimmel (180°)
- V) Tisch (zwischen Sitzreihen)
- VI) Zentraler Bildschirm (CID)

3.2.1.3 Übersicht Konzeptbewertungen

Bewertung Kameraposition

Eignung einer Kameraposition in Hinsicht auf das Kriterium per Farbe grob geschätzt. Eine Höhere Punktzahl bedeutet eine bessere Bewertung.

Farbskala:

- 0/5 Dunkelrot
- 1/5 Hellrot
- 2/5 Orange
- 3/5 Gelb
- 4/5 Hellgrün
- 5/5 Dunkelgrün

Sitzpositionen:



: Sitzend, 1. Reihe in Fahrtrichtung



: Liegeposition



: Gedreht, 1. Sitzreihe entgegen Fahrtrichtung

Tabelle 1: Bewertung Kamerapositionen

	Sicht Gesicht			Sicht Körper			Stabilität	Verdeckung	Hintergrund	Entfernung
I Kombi	5	0	0	4	0	0	5	2	5	5
II Spiegel	4	3	0	4	4	0	5	5	3	4
III A Säule	4	3	0	4	4	0	5	5	3	4
IV Dach	2	5	2	4	5	4	5	5	5	5
V Tisch	0	0	4	0	0	4	2	2	5	5
VI CID	4	0	0	4	0	0	5	5	3	4

Kameraauswahl für Innenraumkonzepte

Kamerapositionen, welche im Innenraumkonzept Verwendung finden könnten, sind per grüner Eintragung markiert.

	Cam I	Cam II	Cam III	Cam IV	Cam V	Cam VI	Kritische Faktoren
3.1 Greenhouse	■	■	■	■	■	■	Verstellbarer Sitz
3.2 Alternative HMI	■	■	■	■	■	■	Sitzdrehung Liegeposition
3.3 ASD	■	■	■	■	■	■	Videobasierte Hands-on-Wheel
3.4 Integration Bedienelement	■	■	■	■	■	■	Bewegungsfreiheit
3.5 Design Gesamtinnenraum	■	■	■	■	■	■	Sichtschutz Cocoon Sitzdrehung
3.6 Visuelle Unterstützung	■	■	■	■	■	■	Verdeckung (Kombi/Lenkstock)
3.7 Bewegter Sitz	■	■	■	■	■	■	-
3.8 Scheibenwurzeldisplay	■	■	■	■	■	■	Eyes on Road
3.9 Innenraumgestaltung Schlafen	■	■	■	■	■	■	Liegeposition Sichtschutz
3.10 Gurtstraffer	■	■	■	■	■	■	-
3.11 Akustische Unterstützung	■	■	■	■	■	■	-
3.12 Gesamtinnenraum	■	■	■	■	■	■	Liegeposition Sitzdrehung
3.13 Hub Modell	■	■	■	■	■	■	-
3.14 Hotel	■	■	■	■	■	■	-
3.15 Bus	■	■	■	■	■	■	Sitzdrehung

Gesamtbewertung Innenraumkonzepte bzgl. Eignung für Schätzer

Kombinierte Bewertung der Innenraumkonzepte basierend auf den jeweils gewählten Kamerapositionen und damit einhergehenden Einschränkungen der Merkmalsgüte bezogen auf die Schätzung der Motion Sickness, des Fahrkomforts bzw. die Übernahmebereitschaft.

Eine Höhere Punktzahl bedeutet eine bessere Bewertung. Farbskala:

- 0/5 Dunkelrot
- 1/5 Hellrot
- 2/5 Orange
- 3/5 Gelb
- 4/5 Hellgrün
- 5/5 Dunkelgrün

	Motion Sickness	Fahrkomfort	Übernahmebereitschaft	Kritische Faktoren
3.1 Greenhouse	4	4	4	Verstellbarer Sitz
3.2 Alternative HMI	3	3	4	Sitzdrehung Liegeposition
3.3 ASD	4	4	3	Videobasierte Hands-on-Wheel
3.4 Integration Bedienelement	4	4	3	Bewegungsfreiheit

3.5 Design Gesamtinnenraum	3	3	4	Sichtschutz Cocoon Sitzdrehung
3.6 Visuelle Unterstützung	4	3	4	Verdeckung (Kombi/Lenkstock)
3.7 Bewegter Sitz	3	3	3	-
3.8 Scheibenwurzeldisplay	4	3	3	Eyes on Road
3.9 Innenraumgestaltung Schlafen	3	3	4	Liegeposition Sichtschutz
3.10 Gurtstraffer	3	3	3	-
3.11 Akustische Unterstützung	3	3	3	-
3.12 Gesamtinnenraum	3	3	4	Liegeposition Sitzdrehung
3.13 Hub Modell	3	3	3	-
3.14 Hotel	3	3	3	-
3.15 Bus	3	3	3	Sitzdrehung

3.2.2 UAP 5.6 – Konzeptevaluation und Datenerhebung Schwerpunkt Motion Sickness

Das Studiendesign und der Aufbau der Datenerhebung der Studien WIVW2021b, Bosch2021b, Bosch2022 mit Schwerpunkt Motion Sickness fanden im Austausch mit WIVW bzw. Bosch statt. Dabei wurden Anforderungen an die Sensorplatzierung und Auswahl berücksichtigt, um eine Merkmalsextraktion möglichst hoher Güte zu ermöglichen. Die Einschätzung der Eignung der Innenraumsensorik folgt den Kriterien aus Kapitel 3.2.1, entsprechend den Erkenntnissen aus UAP 5.2 und UAP 5.3 für die Innenraumkonzepte Gurtstraffer (Studie WIVW2021b), visuelle und akustische Unterstützung (Studie Bosch2021b).

3.3 AP6 - Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung

Die kamerabasierte Nutzerzustandserkennung im Fahrzeug ist eine innovative Technologie, die mittels künstlicher Intelligenz (KI) und Bildverarbeitung den Zustand und die Aktivitäten der Insassen eines Fahrzeugs analysiert und interpretiert. Diese Technologie ermöglicht eine Vielzahl von Anwendungen im Bereich der Fahrzeugsicherheit und des Komforts.

3.3.1 AP6.1 Identifikation und Definition von relevanten Anwendungsfällen und Nutzerzuständen

Die Entwicklung einer kamerabasierten Nutzerzustandserkennung im Fahrzeug sowie der Aufbau geeigneter Sensorik muss angepasst an die zu beobachtenden Anwendungsfälle sowie in Abhängigkeit der zu erkennenden Nutzerzuständen stattfinden.

Im Projekt RUMBA liegt der Fokus auf der Schätzung des Insassenzustandes in autonomen Fahrzeugen hinsichtlich des Fahrkomforts, der Übernahmefähigkeit und der Motion Sickness.

3.3.1.1 Anwendungsfälle

Nachfolgenden sind ausgearbeitete Anwendungsfälle sowie zugehörige aus Expertenstudien (AP1) von Projektpartnern abgeleitete Themen gelistet, die Einfluss auf die Entwicklung Nutzerzustandserkennung haben.

Nebenaufgaben

Wird die Fahraufgabe vom Fahrzeug übernommen, ergibt sich die Möglichkeit sich mit fahrfremden Tätigkeiten zu beschäftigen. Der Frage, welche dies am häufigsten im PKW sein könnten, sind Audi und Studiokurbos nachgegangen. Die von den Studienteilnehmern genannten fahrfremden Tätigkeiten sind in Tabelle 2 zusammengetragen und nach Häufigkeit absteigend sortiert. Audi führte eine qualitative Studie mit 16 Teilnehmern durch, Studiokurbos eine Online Umfrage, bei der nach kurzen und langen Fahrten für die Anwendungsfälle "Erholung" und "Produktiv" unterschieden wurde.

Insgesamt zeigt sich, dass die Nutzung elektronischer Geräte (Smartphone, Tablet, Notebook) zum Zwecke der Unterhaltung oder zum Arbeiten die beliebteste fahrfremde Tätigkeit darstellt. Auf Fahrten, die nicht produktiv genutzt werden sollen, stellt sich auch die Entspannung/Erholung, eventuell schlafend, als eine sehr beliebte fahrfremde Tätigkeit heraus. Die Möglichkeit während der Fahrt zu essen spielt eher eine untergeordnete Rolle.

Diese Erkenntnisse decken sich mit denen anderer Untersuchungen zu Nebenaufgaben bei manueller oder automatisierter Fahrt. Neben der Interaktion mit Passagieren ist bspw. auch bei manueller Fahrt die Interaktion mit Mobilgeräten sehr häufig zu beobachten (Dingus, et al., 2016).

Auch bei Fahrten in teilautomatisierten Fahrzeugen (SAE Level 2) ist eine Zunahme der Interaktion mit Mobilgeräten zu beobachten (Llaneras, Salinger, & Green, 2013, de Winter, Happee, Martens, & Stanton, 2014). In einer Realfahrtstudie auf einer Teststrecke wurde von Omae und Kollegen (2005) ebenfalls über die Beschäftigung mit elektronischen Geräten (Laptop) berichtet, aber auch das Schlafen während der Fahrt. In Befragungen im Kontext des Förderprojekts TANGO ergab sich speziell für Lkw-Fahrer der Wunsch nach vermehrter sozialer Interaktion während langer Fahrten, welchem ebenfalls durch die Nutzung von entsprechenden Smartphone Apps entsprochen werden kann.

Tabelle 2: Fahrfremde Tätigkeiten während der automatisierten Fahrt

Audi (16 Teilnehmer)	Studiokurbos (Erholung)	Studiokurbos (Produktiv)
Entertainment (14)	Musik / Film	An Smartphone/Tablet arbeiten
Erholung (12)	Digitale Kommunikation	An PC/Notebook arbeiten
Digitale Kommunikation (9)	Entspannen / Schlafen	Telefonieren/Videokonferenz
Interaktion mit Mitfahrern (9)	Essen / Trinken	Lesen
Organisieren (8)		Notizen / Skizzen (analog)
Arbeiten (7)		Präsentation üben
Essen und Trinken (6)		Handwerkliche Arbeit (Stricken)

Erste Erkenntnisse aus einer Fahrstudie im Realverkehr (Bosch2021a), deuten darauf hin, dass eine vom Passagier durchgeführte Nebenaufgabe einen Einfluss auf das Komfortempfinden haben kann. Der Einfluss kann hier sowohl positiv als auch negativ sein. Beispielsweise kann eine durchgeführte visuelle Nebenaufgabe die Wahrnehmung von komfortrelevanten visuellen Eindrücken reduzieren (z. B. das visuell wahrnehmbare Pendeln in der Spur). Ein negativer Einfluss kann sich dann ergeben, wenn z. B. während der Fahrt auftretende Querkräfte eine manuelle Aufgabe erschweren (z. B. das Tippen auf dem Smartphone). Dies zeigt, dass insbesondere ein Erkennen der von den Insassen durchgeführten Nebenaufgaben zur Optimierung des Fahrkomforts relevant sein kann.

Gegenstände

Die Erkennung von Gegenständen im Fahrzeug kann aus verschiedenen Gründen wichtig sein. Zum einen aus der im vorherigen Abschnitt erläuterten Relevanz einer Schätzung von Nebenaufgaben der Insassen und zum anderen, unabhängig davon, aus Gründen der Sicherheit, z. B. der aktiven Sicherheit (zur Schätzung der Übernahmefähigkeit) sowie der passiven Sicherheit (Blockierung der Airbags). Studiokurbos führte in diesem Zusammenhang eine Online Umfrage durch, bei der nach kurzen und langen Fahrten für die Anwendungsfälle "Erholung" und "Produktiv" unterschieden wurde. Die Nennungen der Gegenstände durch die Studienteilnehmer sind nach ihrer Häufigkeit absteigend sortiert.

Es zeigt sich, dass das Smartphone unabhängig vom Anwendungsszenario hier der beliebteste Gegenstand ist, wohingegen es bei den anderen Gegenständen je nach Use-Case stark unterschiedlich häufige Nennungen gibt. Für produktive Fahrten werden Arbeitsmittel und Kommunikationsutensilien bevorzugt, wohingegen bei einer Freizeit- oder Erholungsfahrt Nahrungsmittel, Medien zur Unterhaltung oder Kissen u. ä. bevorzugt werden.

Tabelle 3: Nutzung Gegenstände während der Automation

Studiokurbos (Erholung)	Studiokurbos (Produktiv)
Smartphone	Smartphone
Getränk / Essen	PC / Notebook
Tablet / Buch	Schreibunterlagen
Kissen	Tablet
Kopfhörer	Kopfhörer
Notebook	Buch / Zeitung
Schreibunterlagen	Tastatur / Maus

Fahrtstrecke

In einer Online Befragung zur quantitativen Gewichtung von Nutzertypen und Szenarien automatisierten Fahrens in Auftrag gegeben von Audi durchgeführt durch die doUX GmbH im Rahmen von RUMBA wurden Anfang 2021 in einer repräsentativen Umfrage 1022 Teilnehmer zu Ihrem Fahrverhalten und Erfahrung mit Assistenzsystemen, sowie zur theoretischen Präferenz der Nutzung von Automation befragt.

Überwiegend nutzen die Teilnehmer ihr Fahrzeug 5-mal pro Woche und Innerorts. Erfahrungen mit fortgeschrittene Assistenzsysteme sind wenig verbreitet. Die meisten Teilnehmer fahren etwa 5.000 km bis 15.000 km pro Jahr. Für die Nutzung automatisierten Fahrens sind folgende Szenarien in der Umfrage als besonders attraktiv gewählt worden:

Tabelle 4: Attraktive Szenarios für die Nutzung von automatisiertem Fahren

Rang	Szenario
1	Lange Urlaubsfahrt
2	Nachts auf der Autobahn
3	Wildwechsel beachten
4	Einparken und rangieren
5	Stau auf der Autobahn

6	Unbekannte Landstraße befahren
7	Aufpassen bei Dunkelheit
8	Gegenverkehr abwarten
9	Auffahrendem Fahrzeug Platz machen
10	Überholen Autobahnstelle

Weiter haben die Teilnehmer überwiegend angegeben, dass sie allem für Strecken ab 100km und der Streckentyp Autobahn vor allem als attraktiv für automatisiertes Fahren halten.

Sitzposition und Sitzausrichtung

Erste Erkenntnisse einer Realfahrtstudie (Bosch2021a) zeigen einen möglichen Zusammenhang zwischen der Sitzposition im Fahrzeug (Vordersitze oder hintere Sitzreihe) und der Empfindung von Fahrkomfort. Angenommener Wirkmechanismus ist die Sichteinschränkung auf den hinteren Plätzen, die eine Wahrnehmung von komfortrelevanten visuellen Reizen und der Fahrsituation einschränkt. Eine genaue Erfassung der Insassentätigkeiten mittels Innenraumbesichtigung scheint also insbesondere auf den Vordersitzen von hoher Relevanz zu sein.

Die Übernahmefähigkeit verringert sich in Abhängigkeit der Sitzposition signifikant (Cao, Tang, & Sun, 2020). Insbesondere gedrehte Sitze, auch wenn diese um weniger als 180° gedreht sind verringert das Bewusstsein für das aktuelle Verkehrsgeschehen und erhöht die Zeit bis zur Übernahme.

Nach §35a der StVZO gibt es jedoch aktuell gesetzliche Einschränkungen bzgl. der Autositze, Sicherheitsgurte und Rückhaltesysteme. Im Allgemeinen wird dort in Artikel 1 festgelegt, dass „der Sitz des Fahrzeugführers und sein Betätigungsraum sowie die Einrichtungen zum Führen des Fahrzeugs müssen so angeordnet und beschaffen sein, dass das Fahrzeug – auch bei angelegtem Sicherheitsgurt oder Verwendung eines anderen Rückhaltesystems – sicher geführt werden kann“ (StVZO, 2023). Eine spezielle Berücksichtigung für hochautomatisierte Fahrzeuge findet sich hier bislang nicht.

Hinterachslenkung

Um die seitlichen Beschleunigungskräfte in Kurvenfahrten und bei Überholmanövern auf die Passagiere gering zu halten, kann eine Hinterachslenkung eingesetzt werden. Hintergrund ist die Annahme, dass ein erhöhtes Komfortempfinden und dadurch auch eine geringere Motion Sickness zu erwarten ist.

In der im Rahmen von RUMBA durchgeführten Studie von Bosch AS im dynamischen Simulator am FKFS in Stuttgart zeigte sich jedoch, dass der Effekt auf das allgemeine Komfortempfinden bei konventioneller Kurvenfahrt bzw. Überholmanövern nicht signifikant verändert gegenüber der Verwendung einer Hinterachslenkung ist. Berücksichtigen muss man hier jedoch, dass Probanden ausgewählt wurden, die keine besondere Anfälligkeit für Simulator- bzw. Motion Sickness haben.

Schlafen

Das Würzburger Institut für Verkehrswissenschaften (WIVW GmbH) führte Anfang 2021 eine Online Befragung, Interviews und Gespräche mit Fokusgruppen zum Thema Schlaf im automatisierten Fahrzeug durch. Im Fokus der Online Befragung stand die Nutzungsintention von Schlaf bei vollautomatisierter Fahrt. Bevorzugt werden Fahrten mit Mindestdauer 77 Minuten insbesondere auf der Autobahn bei Stau, auf einer Bundesstraße oder auf einer geraden Landstraße. Als besonders populäre

Szenarien ergaben sich die Urlaubsfahrt gefolgt von Ausflügen, beruflichen Fahrten und dem Arbeitsweg.

Die durchgeführten Interviews dienten einem tiefergehenden Verständnis der Zielgruppe, welche eine Nutzungsintention von Schlaf bei vollautomatisierter Fahrt haben. Der Wunsch zu schlafen war vor allem an die nachfolgenden Anwendungsfälle geknüpft:

- Pendeln: 30-45 Minuten Fahrt; Fröhmorgens / spätnachmittags
- Besuch von Freunden / Familie: 1-5 Stunden Fahrt; Spätabends (Wochenende)
- Urlaub: 8-10 Stunden Fahrt; nachts

In den Fokusgruppengesprächen wurden Anforderungen an die Innenraumgestaltung bzgl. komfortablen Schlafens während der vollautomatisierten Fahrt erörtert. Die Erkenntnisse wurden in die Bereiche Sitz und äußere Einflüsse eingeteilt.

Der Sitz solle die Möglichkeit zur Stabilisierung von Kopf, Armen und Beinen bieten sowie eine möglichst waagerechte Position zum Zurücklehnen bieten. Zusätzlich wurde der Wunsch nach einem Kissen oder einer Decke geäußert.

Äußere Einflüsse sollen weitestgehend gedämmt werden, insbesondere helles Licht, Geräusche und Temperaturunterschiede. Die Fahrkabine solle eine abgeschlossene Einheit nach Außen darstellen, jedoch auch je nach Fahrsituation einen Sichtschutz zu fremden Mitfahrern bieten. Das Fahrverhalten spiele ebenfalls als äußerer Einfluss eine wichtige Rolle für die Schlafintention. Tendenziell sollen Beschleunigungen orthogonal zur Fahrtrichtung möglichst kaum wahrnehmbar sein sowie in Fahrtrichtung von Kurvenfahrten verzögert stattfinden.

Eine für den Schlaf häufig gewünschte weit zurückgelehnte Sitzposition, die dem Liegen nahekommt, ist jedoch problematisch für die Fahrsicherheit. Die aktuellen Sicherheitsgurtsysteme sind nicht auf eine derartige Sitzposition ausgelegt und so erhöht sich hier insbesondere die Gefahr für ein Submarining (Richardson, Donlon, Chastain, & Shaw, 2019).

Auch in Projektexternen Untersuchungen wurde der Wunsch nach einer Möglichkeit, während der automatisierten Fahrt zu schlafen bestätigt. So wurde im Rahmen des Förderprojekts TANGO der Wunsch von Lkw-Fahrern geäußert, sich während der automatisierten Fahrphase auszuruhen. Auch ein *Powernap* zur Erhöhung der Aufmerksamkeit bei längeren Fahrten wurde in der Wissenschaft diskutiert (Hirsch, 2017).

Ob das Schlafen während der (hoch-) automatisierten Fahrt mit Fahrsicherheit und Gesetzgebung vereinbar ist, ist noch unklar. Von Seiten des Gesetzgebers sind Regelungen für SAE Level 4 für das Jahr 2022 angekündigt (BMVI, 2021). Dieser Automatisierungslevel erwartet per Definition keine Überwachung des Fahrers mehr über das Fahrgeschehen und ermöglicht einen *Safe-Stop*, falls der Fahrer bei Systemgrenzen übernehmen sollte, sodass der Fahrer bei aktiver Automatisierung praktisch Passagier ist. Der Gesetzentwurf regelt die Pflichten der am Betrieb von Kraftfahrzeugen mit autonomer Fahrfunktion beteiligten Personen (Bundesregierung, 2021). Darin wird dem Fahrzeughalter die Aufgabe der technischen Aufsicht zugeordnet, welche regelt, dass auf gewisse Situationen, teils unverzüglich, reagiert werden müsse. Ob dies mit einem schlafenden Fahrer möglich ist, ist zum Teil Gegenstand der Forschung (Hirsch, 2017).

Alternatives Bedienelement

Während einer hochautomatisierten Fahrt wird die Fahraufgabe vom Fahrzeug übernommen, so dass dies nicht mehr die zentrale Tätigkeit des Fahrers darstellt. Wird die konventionelle Steuerung über

Lenkrad und Pedale durch alternative Bedienelemente abgelöst, ergeben sich neue Gestaltungsmöglichkeiten für den Innenraum.

Zum Vergleich von einer konventionellen Lenkung per Lenkrad und einem alternativen Bedienelement führte Bosch-AS 2019 eine Probandenstudie durch, bei der der NASA Task Load Index (NASA-TLX) für die Auswertung verwendet wurde (NASA, 1986). Eine Bevorzugung von Lenkrad oder alternativem Bedienelement ergab sich als vom auszuführenden Manöver abhängig. Im Mittel schnitt das Alternative Bedienelement bezogen auf die körperliche Anforderung und Anstrengung besser ab als das Lenkrad. Daher wäre für zukünftige hochautomatische Fahrzeuge ein alternatives Bedienelement zur Steuerung des Fahrzeugs denkbar.

Erfahrungen aus im Rahmen von RUMBA von Bosch-AS durchgeführten Probandenstudien zur Form und Gestaltung von alternativen Bedienelementen Anfang 2021 zeigen, dass dieses bei geeigneter Form intuitiv nutzbar ist und überwiegend eine Aufteilung auf zwei Einheiten bevorzugt wird.

Kinetose

Diels und Bos schätzen das Auftreten und den Grad von Kinetose in hoch- oder vollautomatischen Fahrzeugen als höher ein, da im Allgemeinen das Empfinden dieser bei passiven Insassen stärker ist als beim aktiven Fahrer (Diels & Bos, 2016).

Sie unterscheiden drei für die Motion Sickness relevante Arten von Szenarios:

- Transition vom aktiven Fahrer zum passiven Bewacher oder Insassen
- Beschäftigung mit fahrfremden Tätigkeiten
- Entgegen der Fahrtrichtung gedrehte Sitzposition

Als induzierender Faktor für Kinetose gilt der visuell vestibuläre Konflikt (engl. Visual-Vestibular Conflict), bei dem die visuelle Wahrnehmung nicht der empfundenen Bewegungen entspricht. Dies tritt insbesondere bei eingeschränkter Sicht nach außen oder einer visuell ablenkenden fahrfremden Tätigkeit wie dem Blick auf ein Display auf. Dieser Effekt wird vor allem von Beschleunigungen verursacht. Bei konstanter Reisegeschwindigkeit wird die Wahrscheinlichkeit von Motion Sickness als geringer eingeschätzt.

Sie weisen weiter darauf hin, dass Motion Sickness nicht nur an sich unangenehm ist, zwar keine ernstesten Gesundheitsprobleme verursacht, allerdings einen erheblichen Einfluss auf die Ausführung von physisch oder kognitiv Aufgaben hat.

Fazit

Das allgemeine Fahrscenario, das in RUMBA betrachtet wird ist die Hochautomatisierung SAE Level 4. Dadurch ergeben sich Freiheiten für die Insassen, insbesondere für die Person, die sonst das Fahrzeug manuell führen würde. Für die Fahrerbeobachtung stehen in RUMBA die Themen Motion Sickness, Fahrkomfort und Übernahmefähigkeit im Fokus, daher sind Szenarien bezogen auf diese Bereiche für das Studiendesign relevant.

Berücksichtigt werden sollen daher fahrfremde Tätigkeiten, die dann im Fahrzeug möglich werden inklusive dazugehöriger Gegenstände, mit denen interagiert werden kann. Veränderte Innenraumkonzepte, die zu gedrehten oder zurückgelehnten Sitzen sowie alternativen Bedienelementen statt eines Lenkrads führen können, sollen ebenfalls betrachtet werden. Im Hinblick auf Fahrscenarien ist es besonders interessant unterschiedliche Fahrzeugbeschleunigungen zu untersuchen, während die Insassen fahrfremden Tätigkeiten nachgehen im Hinblick auf Motion Sickness und Fahrkomfort bzw.

Schlafsznarien und einer anschließenden manuellen Übernahme im Hinblick auf die Übernahmefähigkeit.

3.3.2 UAP6.2 Konzeptionierung einer Multi-Sensor Innenraumbeobachtung

Die Sensorik der Innenraumbeobachtung liefert die Eingangsdaten für die kamerabasierte Nutzerzustandserkennung und ist daher ein kritischer Bestandteil der gesamten Verarbeitungskette.

Zunächst wurde gesammelt, welche Sensorarten sinnvoll sind, da je nach Sensorart unterschiedliche Informationen verarbeitet bzw. Algorithmen angewandt werden können.

Anschließend wurden unterschiedliche Modelle miteinander verglichen und abgewogen, welche Sensoren schließlich zum Einsatz kommen. Nach der Entscheidung wurden mittels Simulation und Labor-Testaufbau geeignete Sensorpositionen zur Beobachtung der ausgearbeiteten Anwendungsfälle (UAP 6.1) ausgearbeitet.

Als Ergebnis wurden für die Aufzeichnung von Studiendaten wurden Farb-, Thermal-, NIR- und Tiefenkameras verwendet.

NIR Kamera

Kameras im nahen Infrarot (850 – 980nm) werden im Automobilinnenraum genutzt, da sie mit Hilfe nicht-sichtbarer zusätzlicher Beleuchtungseinheiten auch bei fehlendem Sonnenlicht ausreichend ausgeleuchtete Bilder der zu beobachtenden Person liefern können.

Tabelle 5: NIR Kamera

Kamera	Auflösung	Blickwinkel	Bilder pro Sek.	NIR Wellenlänge	Vorteile	Nachteile
Leopard Imaging OV2311	1600 x 1300	50° / 110°	60 Hz	940 nm	Hohe Bildqualität und Auflösung; Industrienah	-



Abbildung 8: Infrarotkamera mit Sensor Leopard Imaging OV2311

Farb- und Tiefenkamera

Die Tiefenkamera lieferte 3D Informationen aus ihrem Sichtfeld, so dass präzise bestimmt werden konnte, wo sich Insassen aufhalten und auch wie ihre Körperhaltung ist. Die gewählte Tiefenkamera liefert auch ein Farbbild mittels registrierter RGB-Kamera.

Tabelle 6: Tiefenkamera

Kamera	Auflösung	Blickwinkel	Bilder pro Sek.	Arbeitsbereich	NIR Wellenlänge	Vorteile	Nachteile
Microsoft Kinect Azure	1024 x 1024	75° / 120°	30 Hz	0,25m – 5,46m	850 nm	Integrierte 90° 4K RGB Kamera; Idealer Arbeitsbereich	Für die Innenanwendung konzipiert



Abbildung 9: Microsoft Kinect Azure

Thermalkamera

Die Thermalkamera konnte dazu genutzt werden, die Gesichts- und Nasentemperatur sowie die Atemfrequenz zu messen.

Tabelle 7: Thermalkamera Seek Micro Core

Kamera	Auflösung	Blickwinkel	Bilder pro Sek.	Vorteile	Nachteile
Seek Micro Core	200 x 150	61°	9 Hz	Hohe Auflösung; Einfache Anbindung (Windows);	

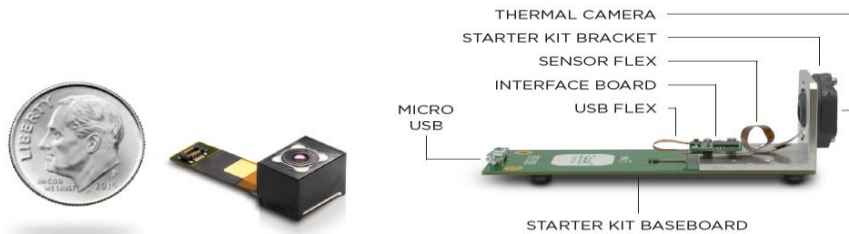


Abbildung 10: Thermalkamera Seek Micro Core

3.3.2.1 Konzept für Innenraumbeobachtung

Auf Basis der gesammelten Anwendungsfälle in Abschnitt 3.3.1 **Fehler! Verweisquelle konnte nicht gefunden werden.** und gewählter Sensorik, siehe Abschnitt 3.3.2, wurden folgende Kamerapositionen (siehe Abbildung 11) für die Studienaufnahmen gewählt:

- Instrument Cluster (IC)
- Central Mirror (CM)
- Center Stack (CS)

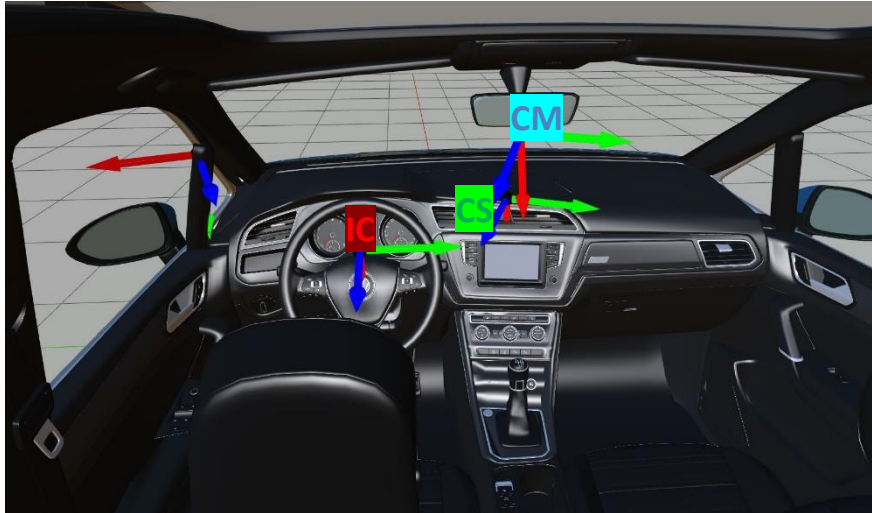


Abbildung 11: Gewählte Kamerapositionen

Die Blickbereiche der NIR-Kamera wurden mit schmalwinkligem (Abbildung 12) und weitwinkligem Objektiv (Abbildung 13) wurden von den gewählten Kamerapositionen für ein typisches Fahrzeug simuliert, um Vor- und Nachteile je Studie abzuwägen.



Abbildung 12: Simulierte Ansichten der untersuchten Fahrerkeras (links: IC, mitte CM, rechts CS)



Abbildung 13: Simulierte Ansichten der untersuchten Insassenkeras (links CS, rechts CM)

Als Fahrerkamera wurde eine Position möglichst mittig vor dem Fahrer unterhalb des Kopfes bevorzugt, da diese Position den größten Rotationsbereich des Kopfes abdeckt und während der Ausführungen von fahrfremden Tätigkeiten bei geneigtem Kopf eine Erfassung des Blicks zulässt. Somit war die Position Instrument Cluster zu bevorzugen.

Da es keine allgemeingültige optimale Kameraposition gibt, fand die Wahl der Einbauposition in Abhängig des Anwendungsfalls statt. Die Position Rückspiegel bietet Vorteile für den Blick auf die hintere Sitzreihe und auf das Gesicht, wohingegen die Kameraposition auf der Mittelkonsole einen besseren Blick auf den Oberkörper und die Hände am Bedienelement bietet.

3.3.3 UAP6.3 Entwicklung von Verfahren zur Innenraummerkmalsextraktion

Die Merkmalsextraktion bildet die Grundlage der Nutzerzustandserkennung. Hier werden Merkmale auf Basis der Kamerabilder über die Insassen extrahiert und nachfolgenden Interpretationsstufen zur Verfügung gestellt. So empfangen die Schätzer der Übernahmebereitschaft, des Fahrkomforts und der Motion Sickness diese Informationen als Eingangsdaten.

Nachfolgend werden die (Weiter-) Entwicklungen der Algorithmen zur Merkmalsextraktion beschrieben.

3.3.3.1 Gesichtsmerkmale

FaceTracking

Das SW-Modul „FaceTracking“, welches die Basis für viele weitere Merkmale ist, wurde um einen Trackingansatz erweitert, der die Verfügbarkeit bei starker Kopfpotation erhöht. Diese tritt in alltäglichen Fahrsituationen häufig auf, beispielweise bei der Ausführung eines Schulterblicks aber auch in zukünftigen Situationen des autonomen Fahrens, beispielweise wenn der Sitz zur Entspannung zurückgelehnt wird.

Zur Bewertung dieses erweiterten Trackingansatzes wurde ein passives 3D-Markersystem entworfen und gefertigt. Dieses besteht aus sechs Infrarotbereich reflektierenden Kugeln, die mittels kurzer Ausleger und einer Halterung auf dem Kopf des Probanden befestigt werden (siehe Abbildung 14). Durch video-basiertes Tracking der reflektierenden Kugeln und Einbezug der bekannten 3D-Geometrie konnte ein Referenzdatensatz „Kopfpose“ erhoben werden. Der Datensatz enthält sowohl Aufzeichnungen der Probanden mit und ohne Brille sowie mit und ohne Gesichtsmaske (FFP2).

Die Auswertung der Verfügbarkeit (siehe Abbildung 15) zeigte, dass insbesondere bei Betrachtung der Randfälle, also starker Kopfpotation des Yaw-Winkels (links/rechts Drehung), die Verfügbarkeit signifikant zugenommen hat.

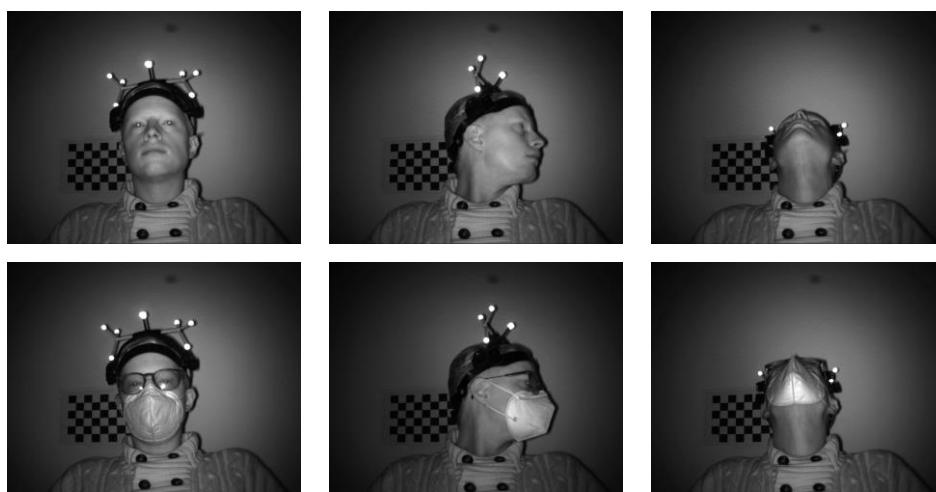


Abbildung 14: Beispielaufnahmen aus dem Referenzdatensatz zur Evaluation der Kopfposen-Bestimmung

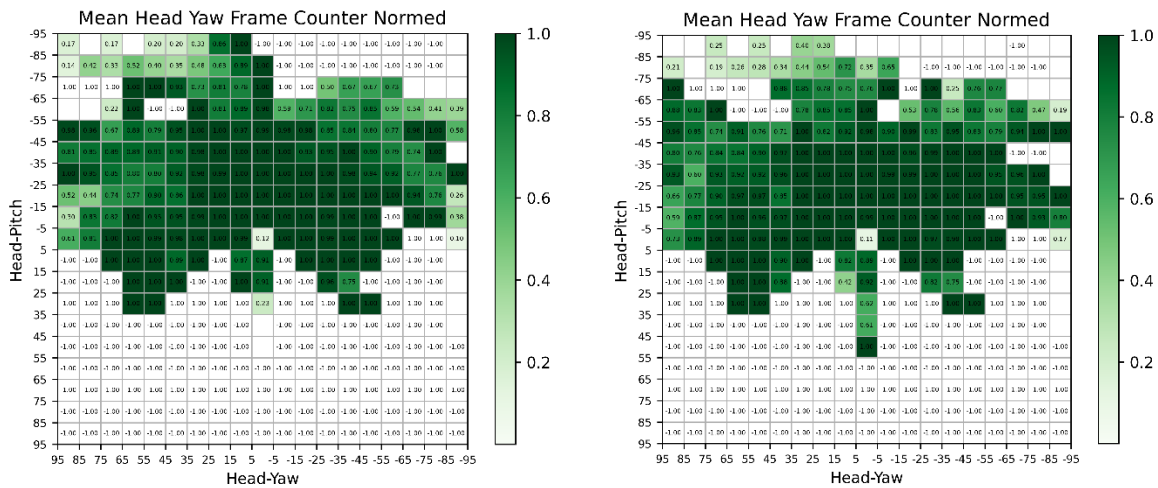


Abbildung 15: Verfügbarkeit der Kopfpose in Abhängigkeit des Pitch (auf/ab Neigung) und des Yaw (links/rechts Drehung) Winkels des Kopfes für das FaceTracking ohne (links) und mit ergänzendem Tracking (rechts)

Mundöffnung

Das Facetracking wurde um ein separates Mundmodell erweitert, wie dies bereits für die Augen der Fall ist, um die Öffnungsbewegung unabhängig betrachten zu können. In Ausnahmefällen konnte es zur Fehldetektion der Lippenposition kommen, siehe Abbildung 16 links, was durch das neue Mundmodell unwahrscheinlicher wird.

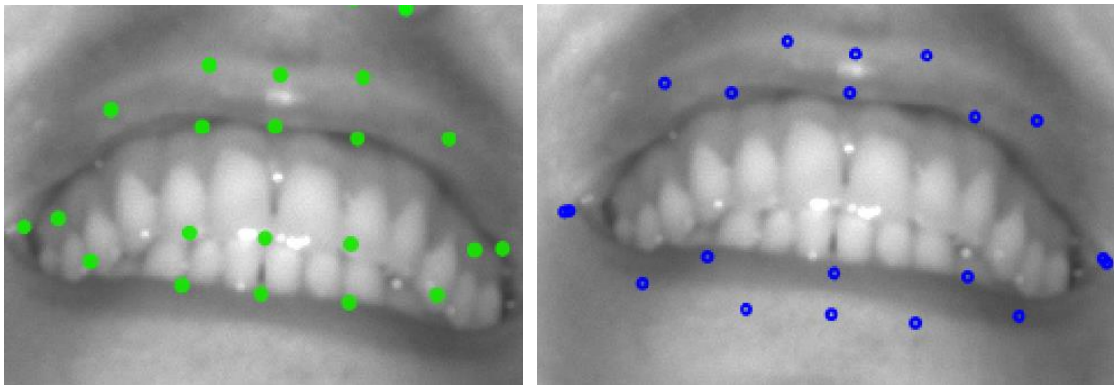


Abbildung 16 Landmarken des Mundes vorher (links) und mit erweitertem Modell (rechts)

Blickrichtung

Für die Weiterentwicklung der Blickrichtungsbestimmung wurde eine Sitzkiste um präzise ausgemessene Markierungen zur Aufzeichnung von Referenzdaten erweitert (siehe Abbildung 17).

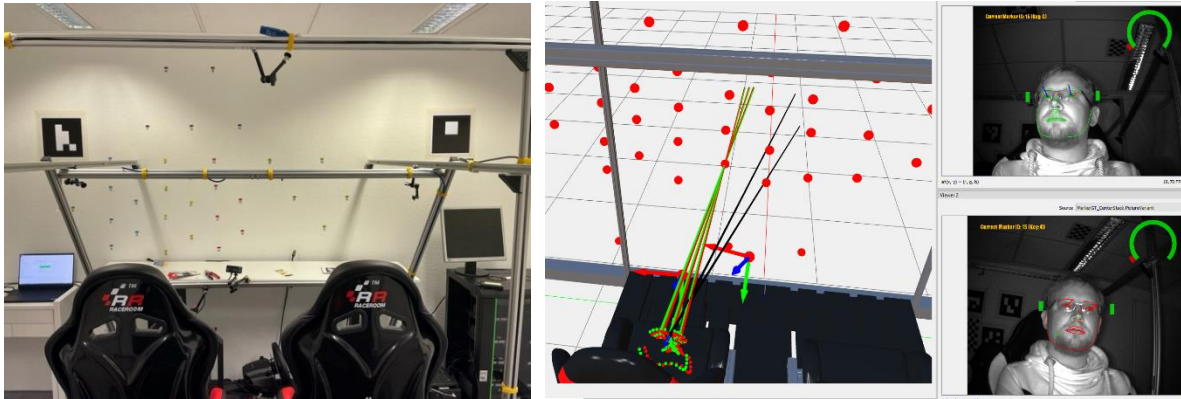


Abbildung 17: Virtuelle Repräsentation des erkannten Kopfes in der Sitzkiste und Plots von Signalen der Kopfpose, Augenöffnung und Blinzeln in der Offline-Prozessierung

Auf Basis dieser Referenzdaten, konnten folgende drei Ansätze trainiert und evaluiert werden:

- Regressor auf Bildmerkmalen
- CNN bei Berücksichtigung der Kopfposenschätzung
- CNN ohne Berücksichtigung der Kopfposenschätzung

Ansatz 1: Diese Methode verwendet Bildmerkmale der Augenregion. Es wurden darauf in Abhängigkeit der Kopfpose Regressoren trainiert:



Abbildung 18 Blickrichtung mittels Regressors auf Bildmerkmalen

Ansatz 2: In dieser Methode wurde ein CNN auf dem Ausschnitt der Augenregion trainiert, welches direkt die Blickrichtung schätzt. Als zusätzlicher Eingabewert ging die geschätzte Kopfpose des Face-Trackers ein, da die Augenregion je nach Kopfpose bei gleichem Blickwinkel unterschiedlich erscheint:

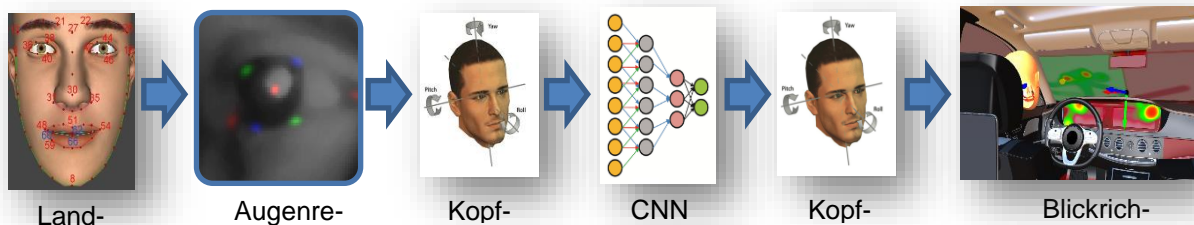


Abbildung 19 Blickrichtung mittels CNN mit Berücksichtigung der Kopfpose

Ansatz 3: Diese Methode ähnelt Ansatz 2, jedoch wurde auf den Eingang der Kopfpose verzichtet, um zu untersuchen, wie sich der Einfluss dieser Eingangsgröße auf die geschätzte Blickrichtung auswirkt: Evaluiert wurde die Blickrichtung über eine Zonendetektion. Dabei wird die Position des Kopfes in Kombination mit der Blickrichtung zu einem Sichtstrahl verbunden, der auf virtuellen Zonen im Fahrzeug trifft (z. B. die Windschutzscheibe, das Handschuhfach oder der Tacho).

In der Evaluation der drei Ansätze ergab sich, dass alle Ansätze für die Frontalansicht des Gesichts sehr gute Ergebnisse erzielen. Je weiter der Kopf der Probanden gedreht ist, desto stärker zeigte sich jedoch, dass die Kopfpose als Eingangsgröße für das CNN von Bedeutung ist.

Insgesamt zeigt die Konfusionsmatrix der Zonenzuordnung in Ansatz 2 die besten Ergebnisse. Daher wird die Auswertung der Videodaten aus den Studien der Partner in der ersten Iteration auf Basis des Ansatzes 2 stattfinden.

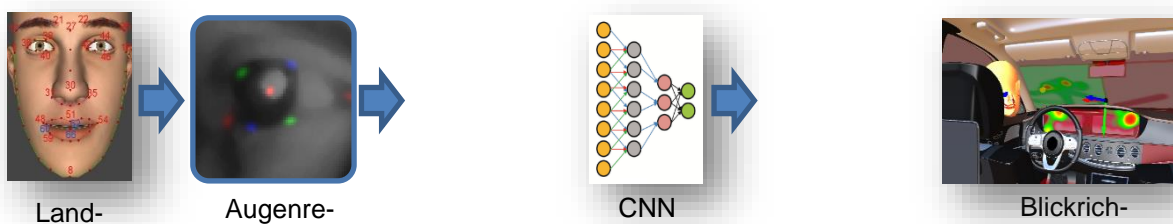


Abbildung 20 Blickrichtung mittels CNN ohne Berücksichtigung der Kopfpose

Segmentierung der Augenregion

Das Verhalten der Größenveränderung der Pupille enthält Informationen über den Zustand des Menschen. Um diese nachzuvollziehen, wurde ein Convolutional Neural Network trainiert, welches Augenbilder in die Regionen Sklera, Iris und Pupille unterteilen kann. Dies funktioniert insbesondere auf Bildern der Augenkamera der Pupil Labs Gazetracking sehr gut, ist aber auch bei einem Remote Face Tracking möglich, hier allerdings aufgrund der niedrigeren FPS und Auflösung mit Qualitätseinbußen. Dazu wurden zunächst synthetische Trainingsdaten erzeugt, mit Hilfe derer ein erstes Modell trainiert werden konnte. Dieses Modell wurde auf weiteren realen Aufnahmen angewendet, um eine Vorsegmentierung der Aufnahmen zu erstellen, so dass das manuelle Auszeichnen vereinfacht werden konnte.

Schließlich ergab sich bei der Bewertung des mit synthetischen und realen trainierten Modell folgende Konfusionsmatrix:

Tabelle 8: Konfusionsmatrix Augensegmentierung

Test					
Referenz		Keine Region	Iris	Pupille	Sklera
	Keine Region	69777	2346	594	3813
	Iris	32	2456	254	73
	Pupille	0	127	1247	0
	Sklera	236	907	58	3435

Die Ergebnisse sind bereits vielversprechend. Durch ein einfaches Erweitern der realen Trainingsdaten werden sich die Statistiken weiter verbessern. Der Vorteil an diesem Iterativen Verfahren ist, dass neue, reale Trainingsdaten sich mit Hilfe des zuletzt trainierten Modells wieder vorsegmentieren lassen, so dass die händische Korrektur mit zunehmend geringerem Aufwand einhergeht.

In Abbildung 21 ist die Segmentierung des Auges auf einer Remote-Kamera dargestellt. Hier sieht man im unteren Teil das gesamte Kamerabild sowie mit hellgrünen Linien eingezeichnet das Ergebnis des Face Trackers und in den beiden oberen Bildern die Ausschnitte der Augenregionen mit farblich dargestellten segmentierten Augenregionen.

Die eingezeichneten blauen sowie roten Kreise stellen das Ergebnis eines nachfolgenden Schrittes dar, in dem die Fläche der Iris bzw. Pupille genutzt wird, um eine Ellipse zu schätzen, um so auf den jeweiligen Radius zu schließen.

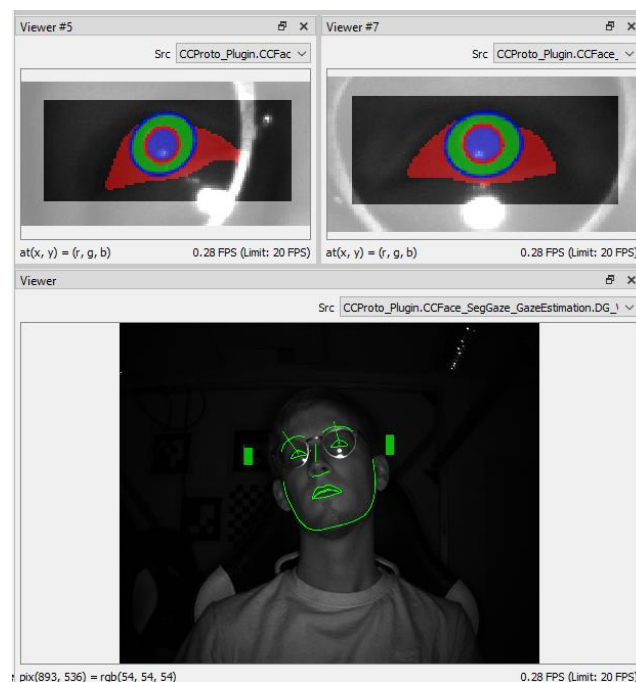


Abbildung 21: Augensegmentierung per CNN

Emotionen

Die Erkennung der Basisemotion erwies sich als relevantes Merkmal für die Schätzer der Motion Sickness. Die Erkennung der Basisemotionen kann durch die Erkennung der zugehörigen Action Units (Ekman, 1978) unterstützt werden.

Spezifisch sind für die Unterscheidung von den Emotionen „Neutral“ und „Ekel“ die Action Units „Augenbrauen Hochziehen“ (siehe Abbildung 22), „Nase Hochziehen“ und „Augenbrauen Zusammenziehen“ wichtig, für die Schätzer auf Basis der Gesichtsverformung trainiert wurden.



Abbildung 22: Erkennung hochgezogener Augenbrauen

3.3.3.2 Szenenanalyse

Körperpose

Die Merkmalsextraktion bzgl. der Körperpose wurde um eine 3D Schätzung erweitert, so dass nicht nur die Position der markanten Gelenkpunkte in Bildkoordinaten lokalisiert werden können, sondern auch eine Schätzung ihrer innerhalb des Fahrzeugs in 3D-Koordinaten ausgegeben wird.

Für das Training eines Verfahrens zur Schätzung der 3D Körperpose wurden Referenzaufnahmen mittels der Kamera Microsoft Kinect Azure angefertigt, siehe Abbildung 23. Die Körperposen wurden mittels bestehender Algorithmen prozessiert und händisch nachgebessert und verlässliche Referenzdaten für ein Training zu erhalten.

In Abbildung 24 und Abbildung 25 sind Visualisierungen der gefundenen Körperposen im Bild einer weitwinkligen NIR Kamera dargestellt.

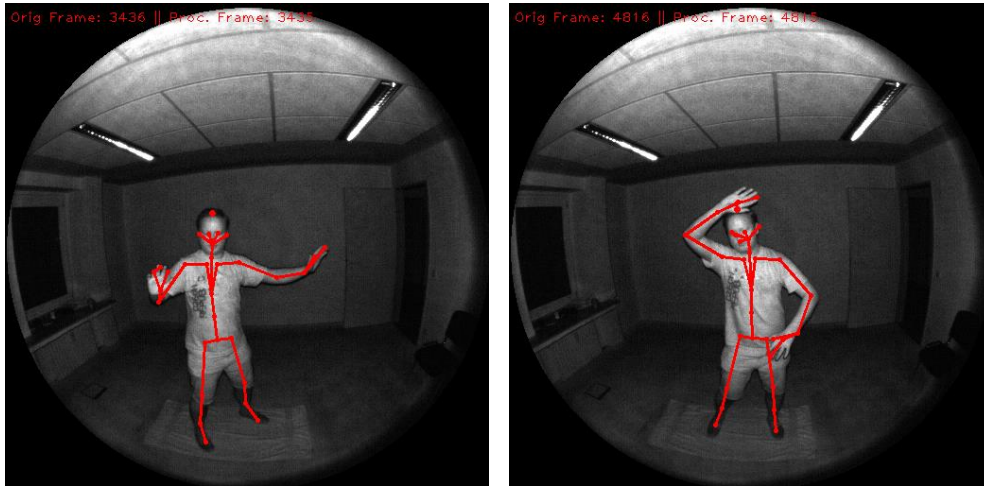


Abbildung 23: Trainingsaufnahmen der Microsoft Kinect Azure

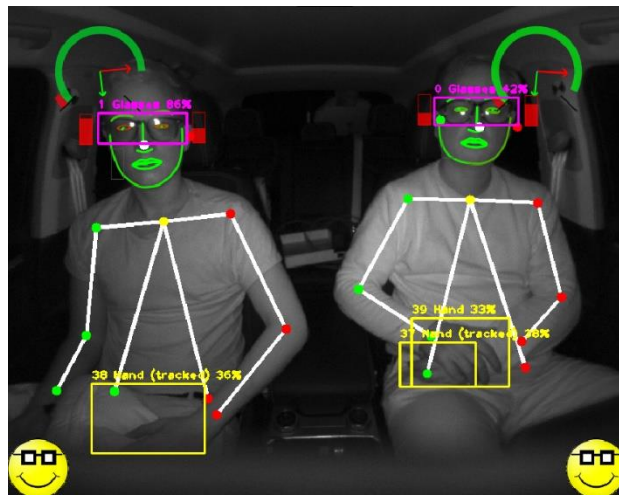


Abbildung 24: Visualisierung der Merkmalsextraktion inklusive erkannter Körperpose im Bild



Abbildung 25: Visualisierung der 3D Repräsentation der Körperpose im Virtual Showroom

Objekterkennung

Für die Objekterkennung wurde als Basisarchitektur die YOLO (You Only Look Once) gewählt, (Redmond & Farhadi, 2018). Diese Architektur hat den Vorteil, dass sie zum einen zur Evaluation dem Stand der Technik entspricht, und gleichzeitig weniger Ressourcen benötigt, so dass eine Industrieanwendung realistisch erscheint. Tests mit typischen Gegenständen, die im Fahrzeug vorzufinden sind, wurden auf den Testaufnahmen durchgeführt (siehe Abbildung 26).



Abbildung 26: Tests der Objekterkennung mittels YOLOv3 Architektur

3.3.3.3 Vitalparameter

FaceTracking auf dem Thermalbild

Das FaceTracking auf der Ausgabe der Thermalkamera bildet die Basis für die Extraktion weiterer Merkmale wie bspw. die Schätzung der Atemfrequenz.

Es wurden Aufnahmen von Gesichtern mit und ohne Gesichtsmaske annotiert, um weitere Trainings- und Evaluationsdaten zu erhalten. Der Fokus lag im Gegensatz zum Sammeln von Trainingsdaten, die bei nicht frontal zur Kamera ausgerichteten Gesichtern beinhalten.

Durch die Verwendung von diesen zusätzlichen Daten wurde ein FaceTracker für Thermalbilder trainiert werden, welcher eine höhere Verfügbarkeit erreicht, was für eine kontinuierliche Merkmalsextraktion mittels Thermalkamera jedoch entscheidend ist.

Beispielbilder inklusive Visualisierung des FaceTracking Ergebnisses sind für eine frontale sowie seitliche Ansicht eines Gesichts in Abbildung 16 dargestellt.

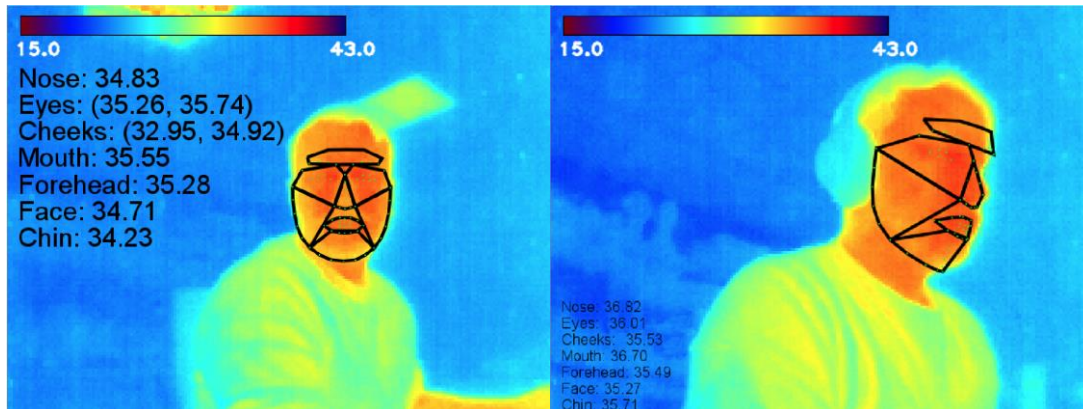


Abbildung 27: FaceTracking auf dem Thermalbild

Atemfrequenz mittels Thermalkamera

Die Schätzung der Atemfrequenz wurde als Prototyp umgesetzt. Es wird ein kleiner Bereich unterhalb der Nase als zu betrachtende Region ausgewählt (Region of Interest, ROI), um den Verlauf der Temperaturwerte über die Zeit zu betrachten. Dieses Signal wird geglättet und kann anschließend unter gutmütigen Bedingungen bereits zur Berechnung der Atemfrequenz genutzt werden.

In Abbildung 28 sind vier Teilschritte dieses Prozesses visualisiert. Oben links ist das Thermalbild mit aufgezeichneten Gesichtsländern des FaceTrackers dargestellt. Rechts daneben sieht man das Thermalbild als Graustufenbild mit rot markierter Region unterhalb der Nase. Unten links ist eine Vergrößerung dieser ROI dargestellt. Rechts daneben finden sich die ausgewerteten Temperaturverläufe der ROI, das rohe (rot) und geglättete (blau) Temperatursignal über die Zeit, die Höhepunkte der geglätteten Temperaturkurve als Peaks (schwarz) sowie die aktuelle Atemfrequenz pro Minute (grün), welche über die Abstände der schwarzen Kurve bestimmt wird.

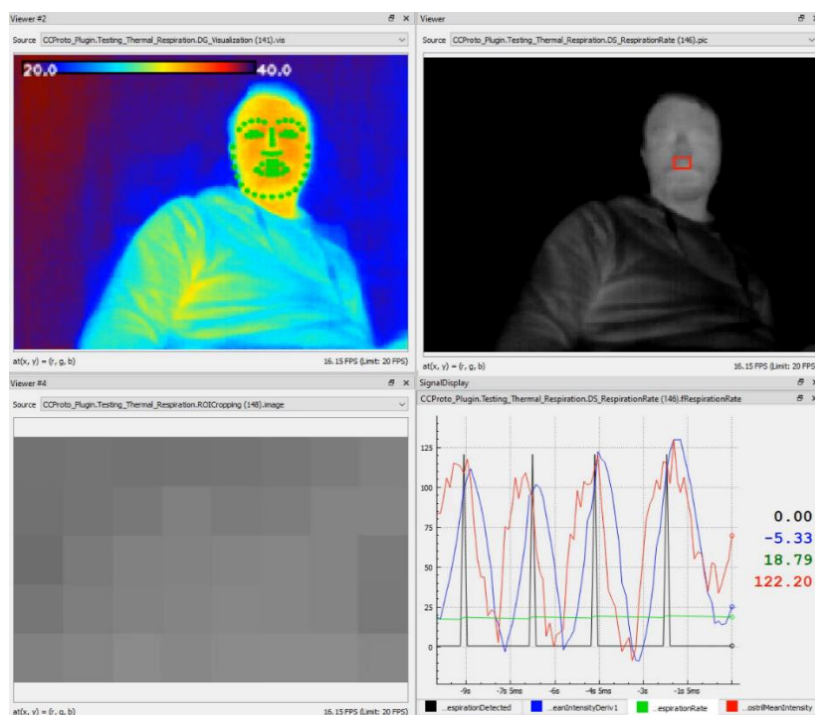


Abbildung 28: Schätzung der Atemfrequenz auf Basis des Thermalbildes

3.3.4 UAP6.4 Aufbereitung von Versuchsdaten

3.3.4.1 Videoaufnahmen (NIR und Thermal)

Während der Probandenstudien zu den Themen Übernahme, Fahrkomfort und Motion Sickness wurden die Teilnehmer mittels einer NIR-Kamera und größtenteils mittels einer Thermalkamera gefilmt. Dieses Bildmaterial wurde mittels der Verfahren der Merkmalsextraktion anschließend offline prozessiert, um abstrakte Insassenmerkmale als Eingangsdaten für das Training der Schätzer zu erhalten.

Zu diesem Zweck wurde eine Software mit den jeweils zum Zeitpunkt der Auswertung aktuellen Version der Algorithmen zusammengestellt. Diese Software erstellt Ausgabedaten, die der mit den Partnern geteilten Signaldefinition entspricht.

Abbildung 29 zeigt einen Screenshot von Visualisierungen dieser Software, die zur Plausibilitätsprüfung während der Verarbeitung genutzt wurden.

Eine Zuordnung der aufgezeichneten Daten erfolgte tabellarisch anhand der Aufzeichnungsreihenfolge bzw. anhand der aufgezeichneten Zeitinformationen. Eine Bereinigung der aufgezeichneten Daten (z. B. Ausschluss von Daten) erfolgte dabei händisch aufgrund der Notizen der Experimentalleitung, sowie nach stichprobenartiger Prüfung von Kameravideos geleitet durch eine Analyse einfacher Merkmalsstatistiken (z. B. durchschnittliche Signalverfügbarkeit).

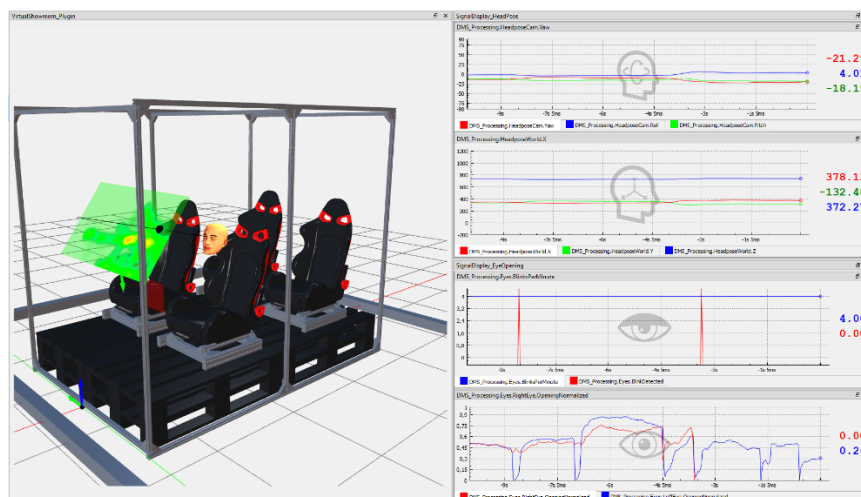


Abbildung 29: Virtuelle Repräsentation des erkannten Kopfes in der Sitzkiste und Plots von Signalen der Kopfpose, Augenöffnung und Blinzeln in der Offline-Prozessierung

3.3.4.2 Software für manuelles Auszeichnen

Auszeichnen von Ereignissen

Im Projektzeitraum wurde eine Software erstellt, die zur Erstellung von manuellen Referenzdaten genutzt wird, um Ereignisse in Videodaten zu markieren.

Diese Software kann vielfältig zur Erstellung von Referenzdaten zu Trainings- und Evaluationszwecken für die Entwicklung von Algorithmen genutzt werden. Beispielsweise können Lidschlagereignisse zeitlich exakt markiert werden und/oder Videobereiche annotiert werden, in denen der Fahrer das Fahrgeschehen beobachtet oder aber mit einer Leseaufgabe beschäftigt ist.

Ein Screenshot der Software ist in der folgenden Abbildung zu sehen:

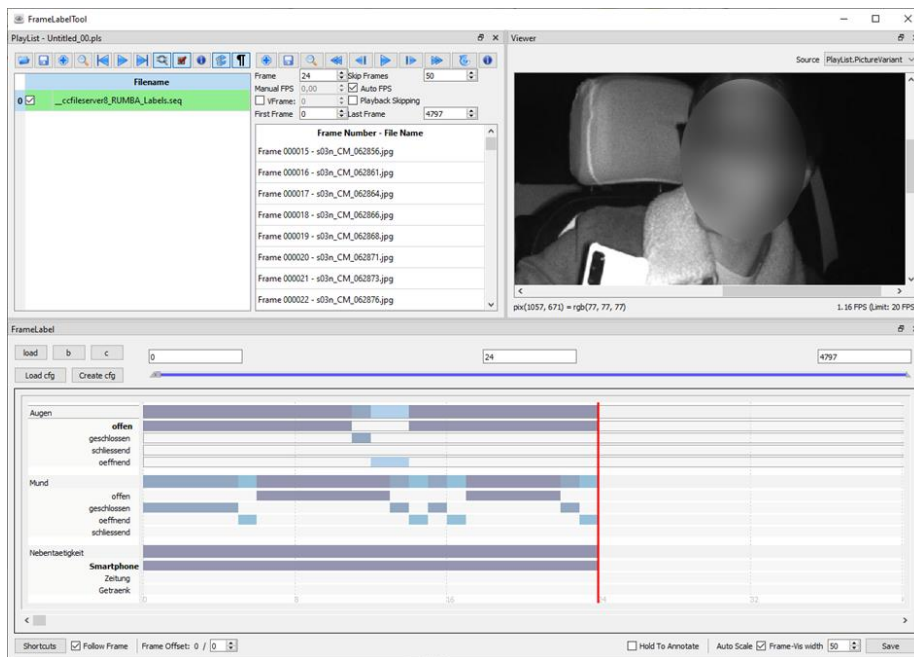
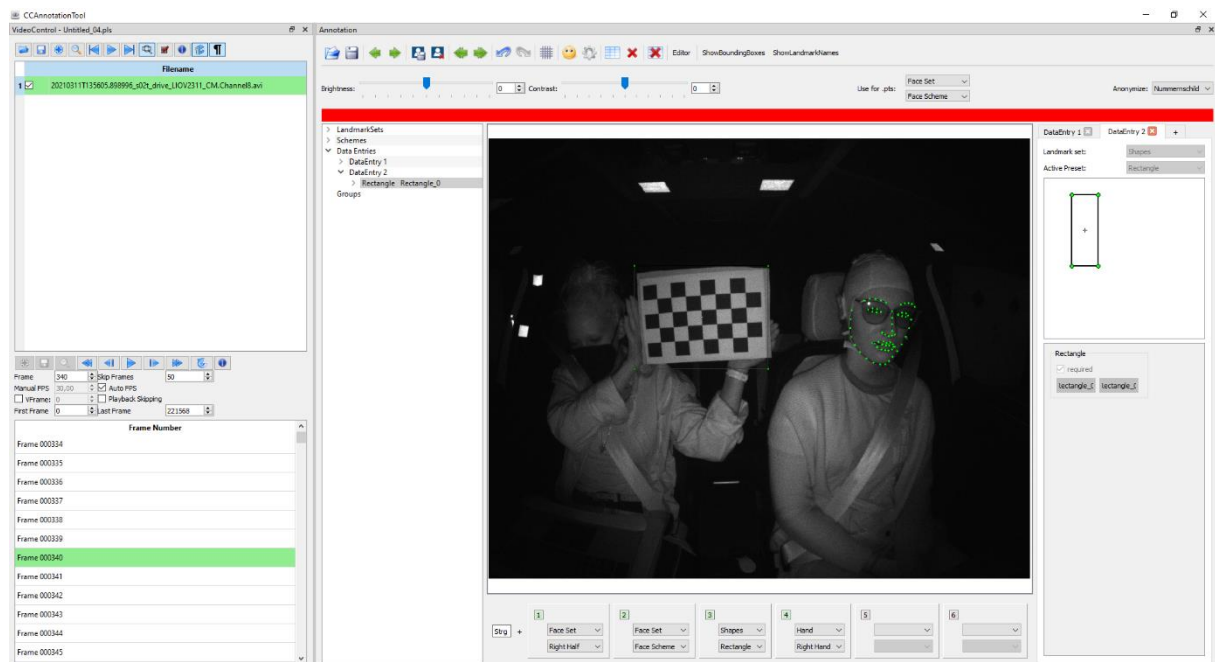


Abbildung 30: Software zum Markieren von zeitlichen Ereignissen in Videodaten

Auszeichnen von Bildinhalten

Im Projektzeitraum wurde die existierende Software, die zur Erstellung von manuellen Referenzdaten genutzt wird, um zusätzliche Funktionen erweitert. Hinzugekommen sind die Möglichkeit mehrere Instanzen von unterschiedlichen Auszeichnungsarten pro Bild zu markieren. So können auch Landmarkensätze für Hände oder Oberkörper definieren und unabhängig voneinander im Bild setzen. Neben Landmarken lassen sich nun auch Rechtecke für die Markierung von bspw. Gegenständen einfügen oder Ellipsen um die Pupillen zu markieren.

Ein Screenshot der Software ist in der folgenden Abbildung zu sehen:



3.3.5 UAP6.5 Entwicklung von Verfahren zur Schätzung der Übernahmbereitschaft

Die Übernahmbereitschaft lässt sich nicht durch einen einzelnen Indikator bestimmen und stellt daher eine multidimensionale Zielgröße dar. Konkret werden als Zielgrößen die subjektive Selbsteinschätzung der Probanden bzgl. des NASA Task Load Index (TLX) (Hart, 1986), der Karolinska Sleepiness Scale (KSS) (Shahid, 2012) und der Situation Awareness Rating Technique Skala (SART) (Selcon, 1990), verwendet.

3.3.5.1 Ansätze

Für die Entwicklung der Verfahren zur Schätzung der Übernahmbereitschaft wurde im Projektverlauf auf die Ergebnisse und Aufnahmen von Probandenstudien zurückgegriffen.

Die extrahierten Insassenmerkmale wurden als Eingangsgrößen sowie Referenzdaten der Studien als Zielgrößen zu verwenden. Mittels dieser Datengrundlage wurden Neural Networks trainiert, um die Zielgrößen anhand der eingehenden Beobachtungen zu schätzen. Abbildung 31 zeigt schematisch den Ansatz zur Ausführung der Schätzung der Übernahmbereitschaft:

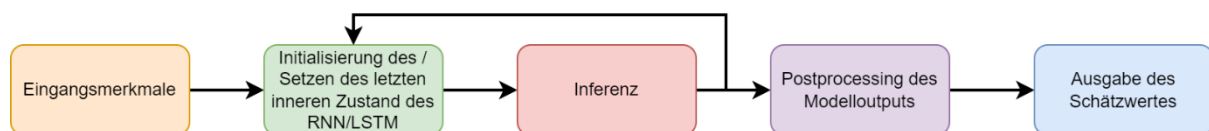


Abbildung 31: Aufbau des Kernmoduls für die Ausführung der Schätzung der Übernahmbereitschaft

Bei dem gewählten Verfahren handelt es sich um den gleichen Ansatz wie für die Schätzung der Motion Sickness, da es abstrahiert ähnliche Problemstellungen sind. Der gewählte Ansatz ermöglicht eine Zielgrößenschätzung unter Berücksichtigung vergangener Eingangsgrößen und erlaubt teilweise eine Schätzung der zukünftigen Entwicklung (Prognose).

3.3.5.2 Daten aus Studien

Es wurden Daten aus der Studie WIVW 2023 Schlaf 2 verwendet, da das WIVW unterschiedliche Aspekte im Studiendesign und Messgrößen bei der Datenerhebung berücksichtigt hat. Insbesondere wurden Self-Ratings der NASA-TLX Größen sowie der KSS in Zusammenhang mit der Übernahmaufgabe erfasst.

Die Bestandteile der Übernahmbereitschaft dieses Modells sind somit folgende Selbsteinschätzungen der Probanden:

- KSS (Müdigkeit)
- NASA-TLX:
 - Mentale Beanspruchung
 - Physische Beanspruchung
 - Zeitliche Beanspruchung
 - Eigene Leistung
 - Anstrengung
 - Frustration

3.3.5.3 Ergebnisse

Zu den als Bestandteile der Übernahmbereitschaft bestimmten Zielgrößen wurde eine Auswertung des trainierten Modells auf einem Validierungsdatensatz erstellt, welcher nicht teil der Trainingsdaten

war. Die Auswertung sind in den Plots der Konfusionsmatrizen in Abbildung 32 und Abbildung 33 dargestellt.

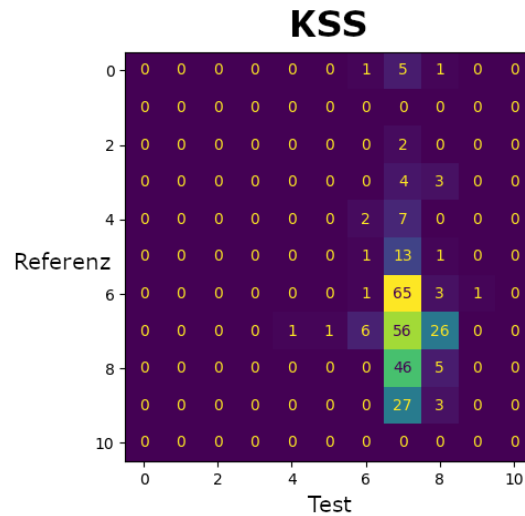


Abbildung 32: Konfusionsmatrix der KSS Schätzung des Submodells

KSS (Abbildung 32)

Die Schätzung des KSS Wertes im betrachteten Datensatz liefert ein eher einheitliches Bild, es werden vor allem hohe Werte geschätzt, was jedoch auch daran liegt, dass die Probanden im größten Teil der Studie schlafdepriviert teilnehmen sollten bzw. auch schlafen durften und ihre KSS-Selbsteinschätzung von den Phasen vor und nach dem Schlaf stammt.

Um hier ein ausgewogeneres Ergebnis zu erhalten müssten weitere Stichproben hinzugezogen werden in denen Probanden nicht bereits einen hohen KSS Wert angeben.

NASA-TLX (Abbildung 33)

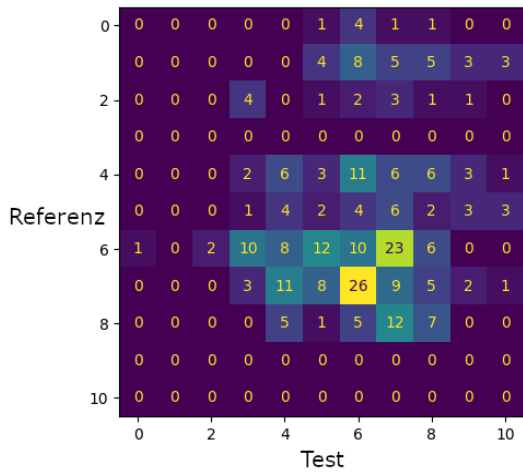
Die sechs Dimensionen der NASA-TLX Skala geben ein recht breites Spektrum an Selbsteinschätzungen der Probanden wider. Die groben Formen der Konfusion Matrizen zeigen jedoch auch hier, dass weitere Arbeit nötig ist, um Ergebnisse mit einer höheren Präzision erhalten.

Insbesondere die Größe „Mentale Beanspruchung“ ist ein interessanter Faktor für die Übernahmebereitschaft, weist jedoch die höchste Streuung zwischen Schätzwerten und Referenzwerten auf.

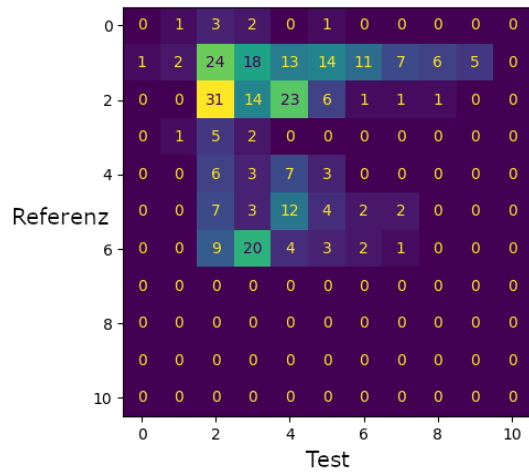
Die Größen „Körperliche Beanspruchung“, „Eigene Leistung“ und „Anstrengung“ ließen sich grob in zwei Cluster aufteilen, jedoch war das Modell noch nicht in der Lage diese Trennung zu erkennen. Es wurden zumeist alle Beobachtungen eher einem Cluster zugeordnet.

Die Größen „Zeitliche Beanspruchung“ und „Frustration“ fallen insgesamt eher niedrig aus, welches die Schätzwerte des Modells in etwa nachahmen.

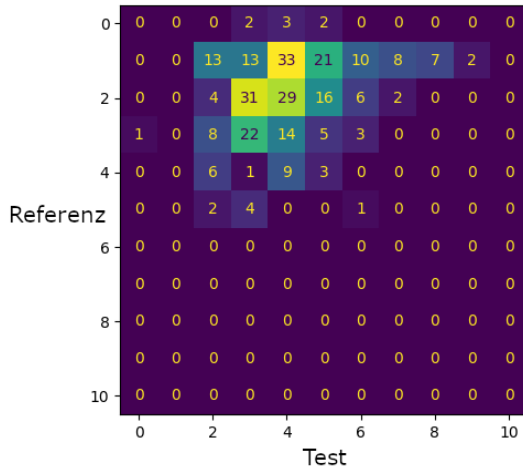
NASA - Mentale Beanspruchung



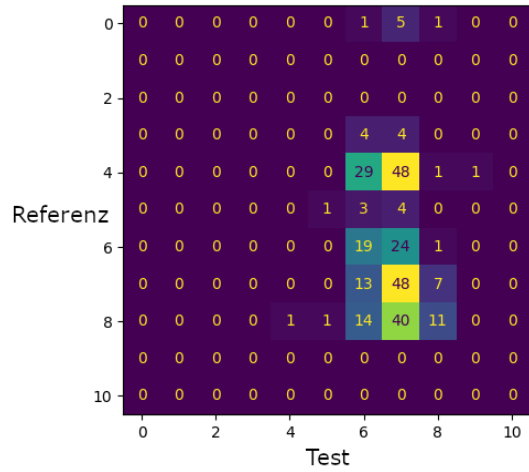
NASA - Körperliche Beanspruchung



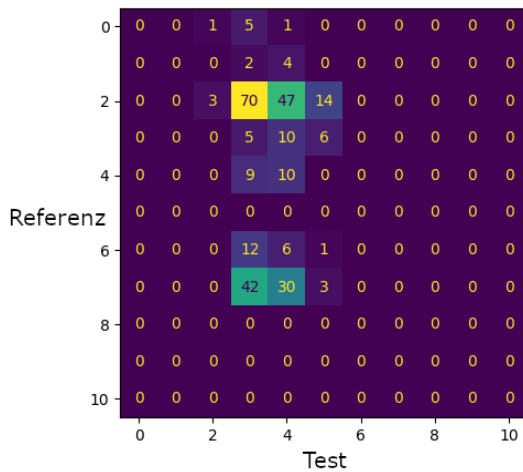
NASA - Zeitliche Beanspruchung



NASA - Eigene Leistung



NASA - Anstrengung



NASA - Frustration

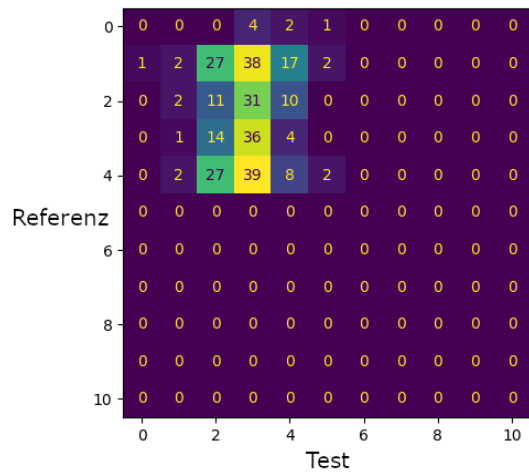


Abbildung 33: Konfusionsmatrizen der NASA-TLX Skalenwerte

Fazit

Insgesamt zeigt sich, dass in Ansätzen eine Nachverfolgung der Zielgrößen zu erkennen ist, jedoch weitere Forschungsarbeit an der Netzwerkarchitektur des Modells nötig ist, um ausreichend viele Freiheitsgrade zu bieten sowie eine tiefgehende Analyse des Trainingsdatensatzes, um sicherzustellen, dass ein breites Spektrum an Referenzdaten bei valider Eingangsmerkmalen vorhanden ist.

Relevanz der Eingangsmerkmale

Die Eingangsstufe des Modells nimmt die Eingangsmerkmale der Merkmalsextraktion entgegen und führt eine Art Merkmalsraumreduktion durch. Da diese Stufe Teil des Gesamtmodells ist, welche einen minimalen Fehler bei Erreichung der Zielgrößen anstrebt, ergibt sich eine ideale Gewichtung je Eingangsmerkmal bzgl. ihrer Relevanz für die Schätzung dieser Größen. Das Ergebnis zusammengefasst in Merkmalsgruppen ist in Abbildung 34 dargestellt.

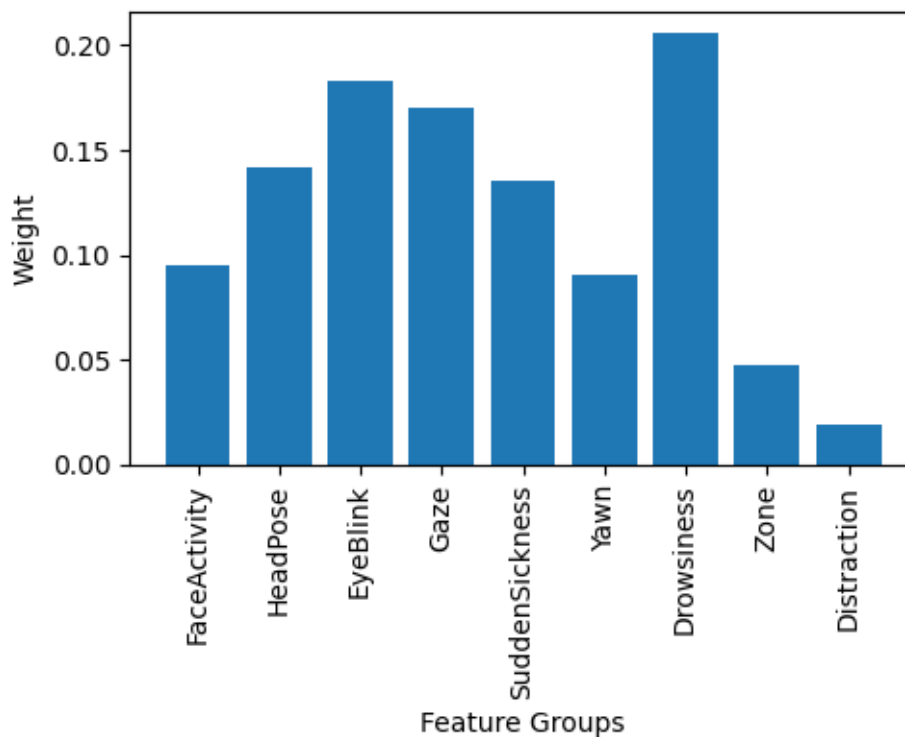


Abbildung 34: Aus dem Modelltraining resultierende Gewichtung der Eingangsmerkmale

3.3.6 UAP 6.7 Entwicklung von Verfahren zur Schätzung von Motion Sickness

3.3.6.1 Ansätze

Für die Entwicklung der Verfahren zur Schätzung der Motion Sickness wurde im Projektverlauf auf die Ergebnisse und Aufnahmen von Probandenstudien zurückgegriffen.

Die extrahierten Insassenmerkmale wurden als Eingangsgrößen sowie Referenzdaten der Studien als Zielgrößen zu verwenden. Mittels dieser Datengrundlage wurden Recurrent Neural Networks trainiert, um die Zielgrößen anhand der eingehenden Beobachtungen zu schätzen. Nachfolgend werden die Ergebnisse der Literaturrecherche nach geeigneten Ansätzen beschrieben.

LSTM Recurrent Neural Network

Bei Recurrent Neural Networks (RNN) handelt es sich um ein neuronales Netz zur Regression auf einer Zeitreihe unter Verwendung von Long Short-Term Memory (LSTM, langes Kurzzeitgedächtnis) (Hochreiter & Schmidhuber, 1997).

Das Ziel ist die Prädiktion einer Zielgröße auf Basis einer Zeitreihe von Eingangsdaten. Das LSTM stellt somit eine Einheit dar, welche in die Architektur eines Neuronales Netzes eingebaut wird, um einen internen Zustand zu halten. Die LSTM Einheit lernt während des Trainings Gewichte, die zur Verarbeitung einer Zeitreihe an Eingangsdaten passen, beinhaltet allerdings auch eine Speichereinheit, welche sich durch die Einspeisung von Eingangsdaten verändert, so dass die Ausgabe des Netzes nicht nur auf einen Eingang zurückzuführen ist, sondern ähnlich wie bei einem Tracking Ansatz auch von den vorherigen Eingängen abhängt (Rekursion).

In Abbildung 35 wird die grobe Architektur eines Recurrent Neural Networks dargestellt. Dabei stellt x die Eingangsgröße und h die Ausgabe dar. Der Block A bezeichnet die Einheit des Neuronales Netzes. Ab dem zweiten Eingang erhält das Neuronale Netz nicht nur x , sondern auch den internen Zustand des vorherigen Zeitschrittes als Eingang. Dadurch ist die Ausgabe des Neuronales Netzes nicht mehr nur vom Eingang, sondern auch vom vorherigen Zustand abhängig.

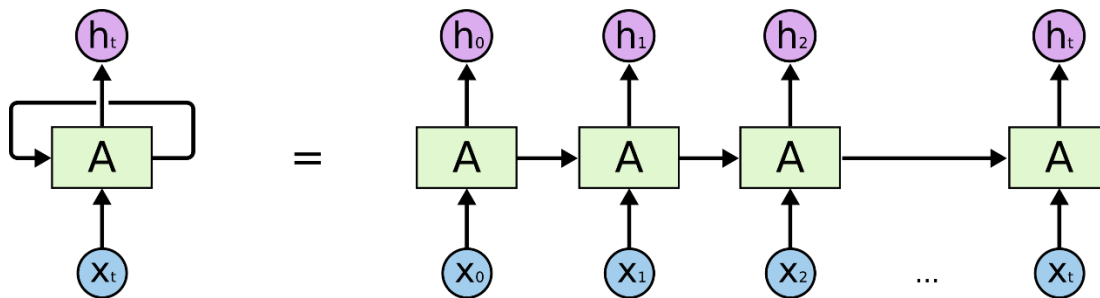


Abbildung 35: Grobe Struktur eines Recurrent Neural Networks

Ein Nachteil dieser Struktur ist, dass sie aufgrund ihrer mathematischen Eigenschaften für sehr lange Eingangssequenzen instabil wird. Da wir im Rahmen des vorliegenden Projektes mit langen Videoaufzeichnungen arbeiten werden, um den Zustand der Fahrerin bzw. des Fahrers zu schätzen, kommen klassische RNNs nicht in Frage. Der Einsatz von LSTM Einheiten stabilisiert die inneren Zustandsgrößen numerisch auch für große Eingangssequenzen und lässt somit eine Modellierung zu.

Attention Modell zur Zeitreihen Modellierung

Als nächster Schritt nach den *Recurrent Neural Networks* unter Verwendung von Long short-term Memory Einheiten wird die Entwicklung der Transformer Netzwerke gezählt (Song, Rajan, Thiagarajan, & Spanias, 2017). Diese Encoder-Decoder Netze beinhalten Attention (deutsch: Aufmerksamkeit) Blöcke (Vasawani, Shazeer, Parmar, Uszkoreit, & Jones, 2017). In diesen wird für jeden bisherigen Eingang jede Ausgabe erneut als gewichtete Summe berechnet. Die Gewichte der Summe werden im Trainingsprozess eingelernt.

Durch diesen Mechanismus sind *Transformer Netzwerke* beispielsweise für Übersetzungen sehr gut geeignet, da sie den ganzen Satz berücksichtigen und nicht nur einzelne Worte.

Für die Anwendung des Schätzers der Motion Sickness bzw. von Übernahmefähigkeit ist es interessant, das Verhalten von Transformern zu untersuchen, da diese einen großen Zusammenhang gleichzeitig betrachten und laut Literatur generischere Ergebnisse liefern.

Optimierte Architektur eines Transformer Netzes zur Verarbeitung von Zeitreihen

In (Li, et al., 2020) wird eine Transformer Architektur vorgestellt, welche auf die Verarbeitung von variabel, langen temporalen Eingangsdaten optimiert ist. Klassische Transformer Netzwerke sind bei langen Eingabesequenzen sehr ressourcenhungrig, da die Ausgabe alle vorherigen Eingänge betrachtet und die Komplexität somit exponentiell steigt.

In der Veröffentlichung (Li, et al., 2020) wurde eine Architektur vorgestellt, in der der Speicherbedarf der Anwendung des Netzes drastisch verringert ist. Hierzu werden mehrere „Attention Blöcke“ semantisch getrennt auf unterschiedliche Bereiche angewandt. Im Sinne einer Übersetzungsaufgabe könnte dies beispielsweise bedeuten, dass ein Attention Block sich mit dem Vokabular und ein anderer mit der Grammatik oder Konjugation beschäftigt, um am Ende ein gewichtetes Gesamtergebnis zu erhalten.

Temporal Fusion Transformers

Bei dem Ansatz der Temporal Fusion Transformers (Lim, Arik, Leoff, & Pfister, 2020) liegt das Augenmerk stärker auf der Prädiktion der Zielgröße anhand vorangegangener Beobachtungen und bekannten Eingängen, die noch in der Zukunft liegen. Dieser Ansatz verbindet somit Eingangsgrößen, welche unterschiedlichen zeitlichen Horizonten entspringen, und kombiniert sie zu einer gemeinsamen Schätzung der Zielgröße.

Im Sinne der Insassenzustandsschätzung ist diese Art von Ansatz interessant, da ein Fahrzeug bei vollautomatisierter Fahrt teilweise vorhersagbares Fahrverhalten als Eingangsgröße liefern kann.

Gewählter Ansatz

Gewählt wurde der Ansatz LSTM der Recurrent Neural Networks, da dieser potenziell durch die geringe Laufzeit in kürzerer Zeit als Produkt auf weniger leistungsfähiger Hardware realisiert werden kann.

Abbildung 36 zeigt schematisch den Ansatz zur Ausführung der Schätzung von Motion Sickness:

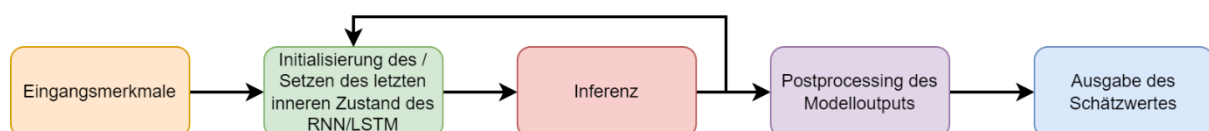


Abbildung 36: Aufbau des Kernmodule für die Ausführung der Schätzung der Motion Sickness

Bei dem gewählten Verfahren handelt es sich um einen Ansatz, welcher eine Zielgrößenschätzung unter Berücksichtigung vergangener Eingangsgrößen ermöglicht und teilweise eine Schätzung der zukünftigen Entwicklung (Prognose) erlaubt.

3.3.6.2 Daten aus Studien

Für die Entwicklung der Verfahren zur Schätzung der Motion Sickness wurden die Studiendaten der WIVW 2021b (Gurtstraffer als Gegenmaßnahme von Motion Sickness), Bosch 2021b (Visuelle Gegenmaßnahme gegen Motion Sickness) und BoschAS 2022 (Yaw Shaping Strategies) einzeln und gemeinsam ausgewertet. Insbesondere wurde beim Training des Schätzers auf Basis der WIVW 2021b Daten der Thermaldatensatz hinzugezogen.

3.3.6.3 Ergebnisse

Die Ergebnisse sind je Studie, die eine Datengrundlage bildet, gemeinsam über alle Studien und als Fazit aufgeteilt.

Motion Sickness Schätzer auf WIVW 2021b (Gurtstraffer)

Durch das Training des Schätzers auf Basis der aus den Videoaufnahmen extrahierten Merkmalen ergab sich folgendes:

Die wesentlichen Merkmale sind:

- Blick auf Zone
- Sekundenschlaf & Müdigkeit
- Emotionen: Ekel
- Blinzelnverhalten
- Blickrichtung
- Mundöffnungsverhalten
- Kopfposition und -rotation (pitch, yaw)
- Thermal: Atemfrequenz

Im Vergleich zum trainierten Schätzer ohne Einbeziehen der Thermaldaten ist das Ergebnis nun verbessert worden, da eine kontinuierlichere Schätzung der Motion Sickness Werte erfolgt und nicht eine Unterscheidung in 2 Bereiche (keine bzw. moderate Motion Sickness), siehe Abbildung 37.

In Abbildung 38 sind Beispielverläufe der echten Motion Sickness und des Schätzwertes über eine gesamte Fahrt einer Versuchsperson aus dem Testdatensatz abgebildet.

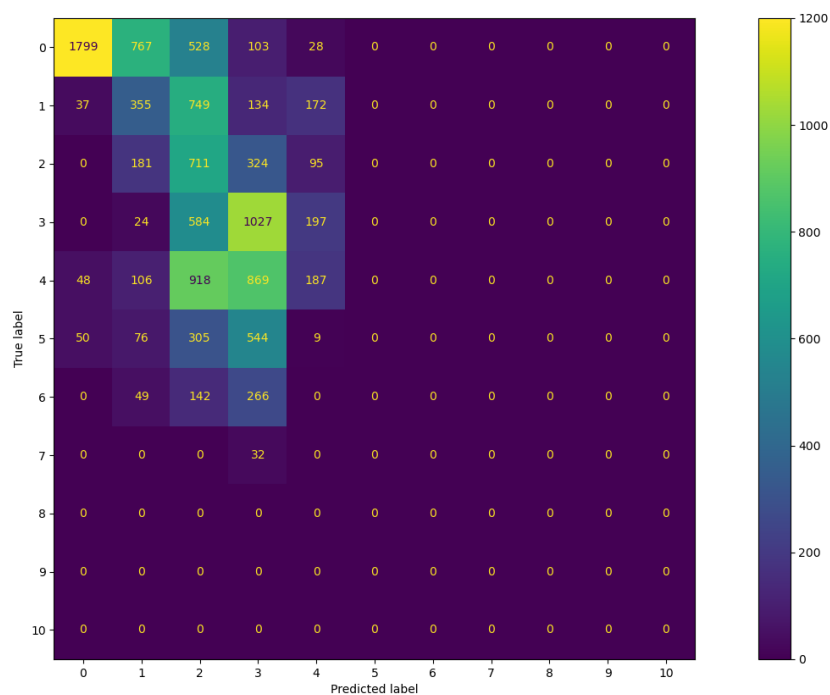


Abbildung 37: Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf den Daten der Studie WIVW 2021b (Gurtstraffer)

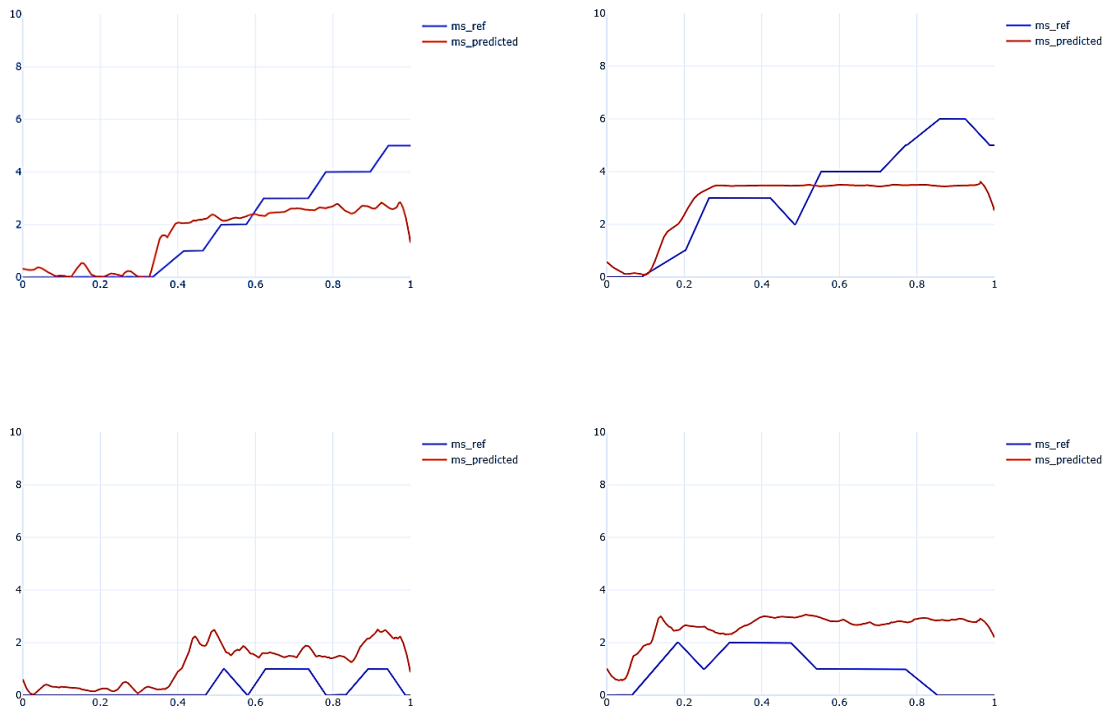


Abbildung 38: Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf den Daten der Studie WIVW 2021b (Gurtstraffer) (inkl. Thermaldaten)

Motion Sickness Schätzer auf Bosch 2021b (Visuelle Gegenmaßnahme)

Durch das Training des Schätzers auf Basis der aus den Videoaufnahmen extrahierten Merkmalen ergaben sich folgende wesentliche Merkmale:

- Blick auf Zone
- Müdigkeit
- Emotionen: Valenz
- Blinzelnverhalten
- Blickrichtung
- Mundöffnungsverhalten
- Kopfposition und -rotation
- Thermal: Gesichtstemperatur

Die Konfusionsmatrix zeigt ein vielversprechendes Ergebnis, da die Hauptdiagonale die meisten Einträge verbucht, d.h. es gibt eine vergleichsweise hohe Korrelation zwischen Referenzwert und geschätztem Motion Sickness Wert, siehe Abbildung 39.

In Abbildung 40 sind Beispielverläufe der echten Motion Sickness und des Schätzwertes über eine gesamte Fahrt einer Versuchsperson aus dem Testdatensatz abgebildet.

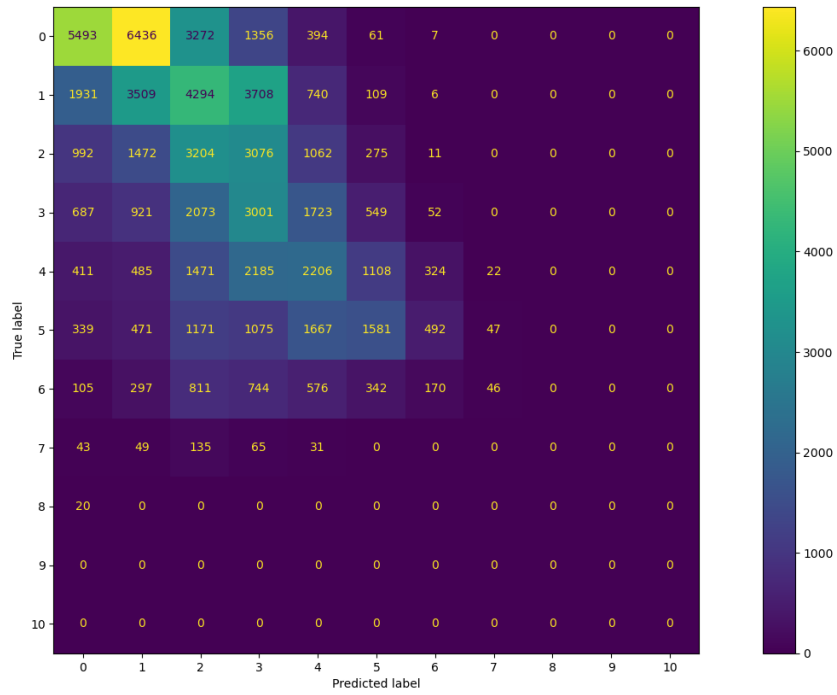


Abbildung 39: Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf den Daten der Studie Bosch 2021b (Visuelle Gegenmaßnahme)



Abbildung 40 Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf den Daten der Studie Bosch 2021b (Visuelle Gegenmaßnahme) (inkl. Thermaldaten)

Motion Sickness Schätzer auf Bosch AS 2022 (Yaw Shaping Strategies)

Durch das Training des Schätzers auf Basis der aus den Videoaufnahmen extrahierten Merkmalen ergab sich folgende wesentliche Merkmale:

- Blick auf Zone
- Müdigkeit mittels Augenöffnung
- Emotionen: Angst, Traurigkeit
- Blinzelnverhalten
- Blickrichtung
- Kopfposition und -rotation
- Thermal: Gesichtstemperatur, Atemfrequenz

In dieser Studie waren vor allem Probanden rekrutiert worden, die eine geringe Anfälligkeit für Motion Sickness haben. Bei 23 von 36 Probanden traten keinerlei Kinetosesymptome auf, siehe Abbildung 41. In Abbildung 42 sind Beispielverläufe der echten Motion Sickness und des Schätzwertes über eine gesamte Fahrt einer Versuchsperson aus dem Testdatensatz abgebildet.

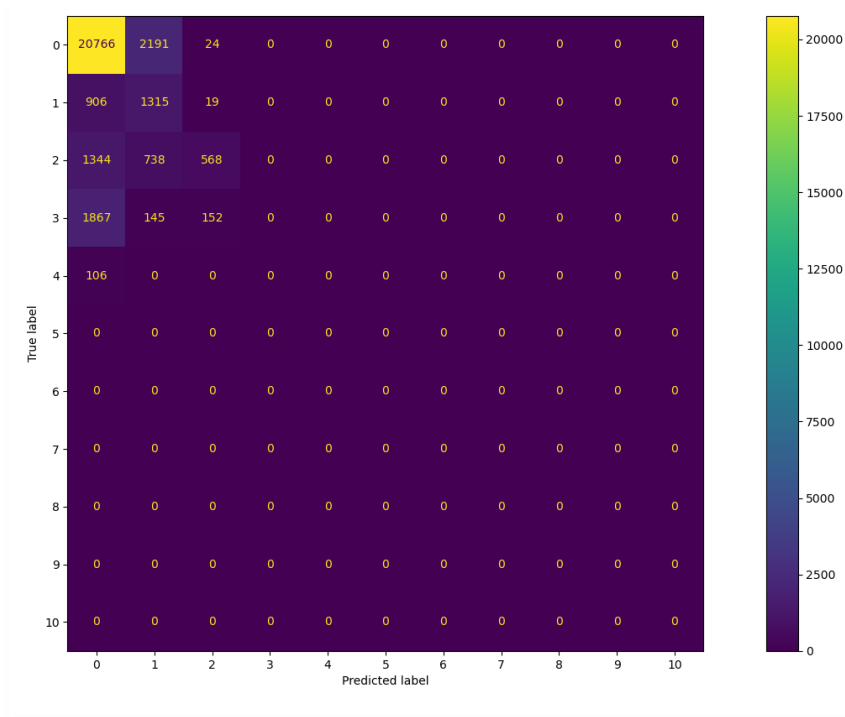


Abbildung 41 Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf den Daten der Studie BoschAS 2022 (Yaw Shaping Strategies)

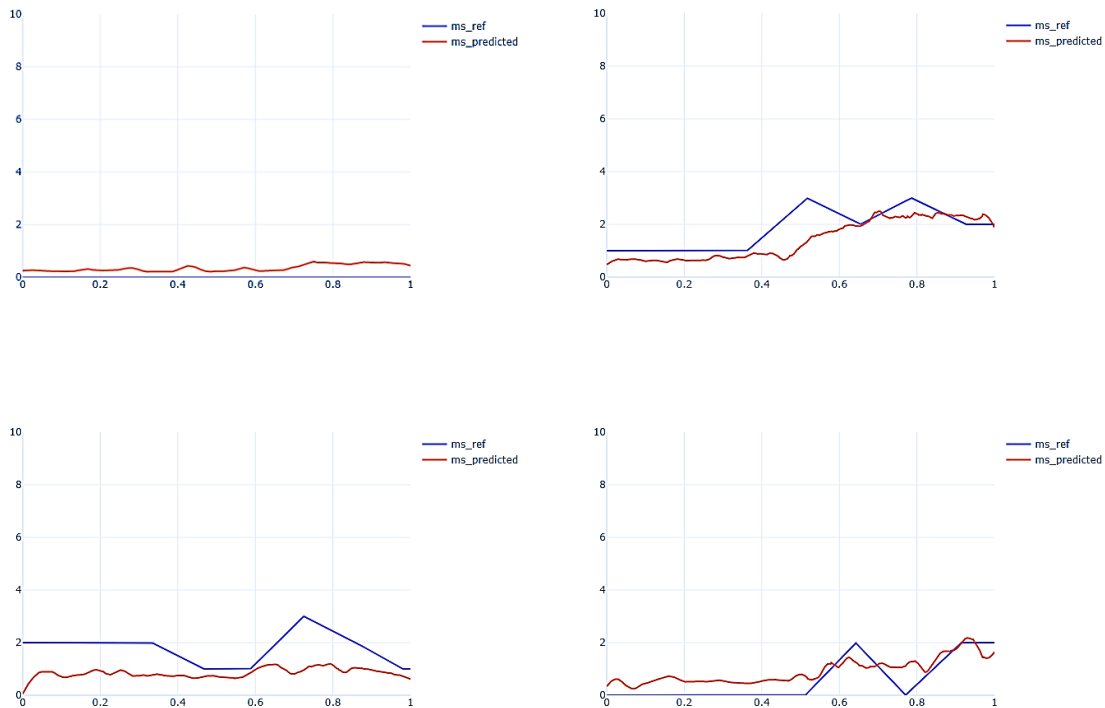


Abbildung 42 Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf den Daten der Studie BoschAS 2022 (Yaw Shaping Strategies) (inkl. Thermaldaten)

Motion Sickness Schätzer gemeinsam trainiert

Durch das Training des Schätzers auf Basis der aus allen Videoaufnahmen extrahierten Merkmalen ergaben sich folgende wesentliche Merkmale:

- Blick auf Windschutzscheibe
- Müdigkeit (Gesichtsaktivität)
- Emotionen: Arousal Level
- Blinzelnverhalten
- Blickrichtung
- Mundöffnungsverhalten
- Kopfposition und -rotatio
- Thermal: Gesichtstemperatur, Atemfrequenz

Eine eindeutiges Konvergenzverhalten des Trainings zu einem klaren Ziel ergab sich bei Verwendung aller Trainingsdaten zu einem gemeinsamen Schätzer für die Motion Sickness leider nicht, siehe Abbildung 43. Der gewählte Ansatz (LSTM) kann mit den gegebenen Merkmalen das Verhalten in den Datensätzen noch nicht ausreichend erklären.

In Abbildung 44 sind Beispielverläufe der echten Motion Sickness und des Schätzwertes über eine gesamte Fahrt einer Versuchsperson aus dem Testdatensatz abgebildet.

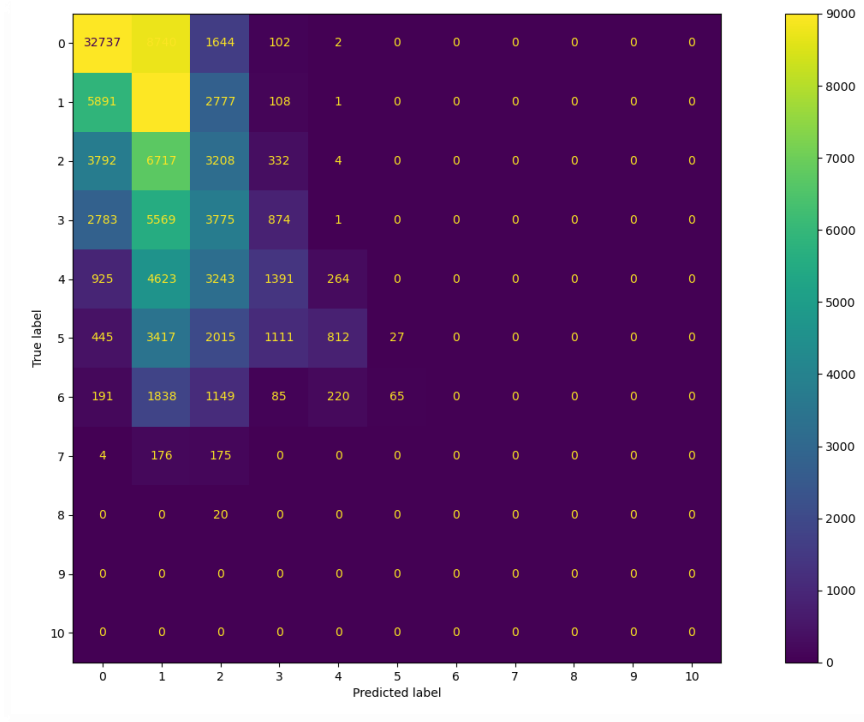


Abbildung 43: Konfusionsmatrix der Motion Sickness Schätzung auf allen Daten der Studien WIVW 2021b, Bosch 2021b und BoschAS 2022

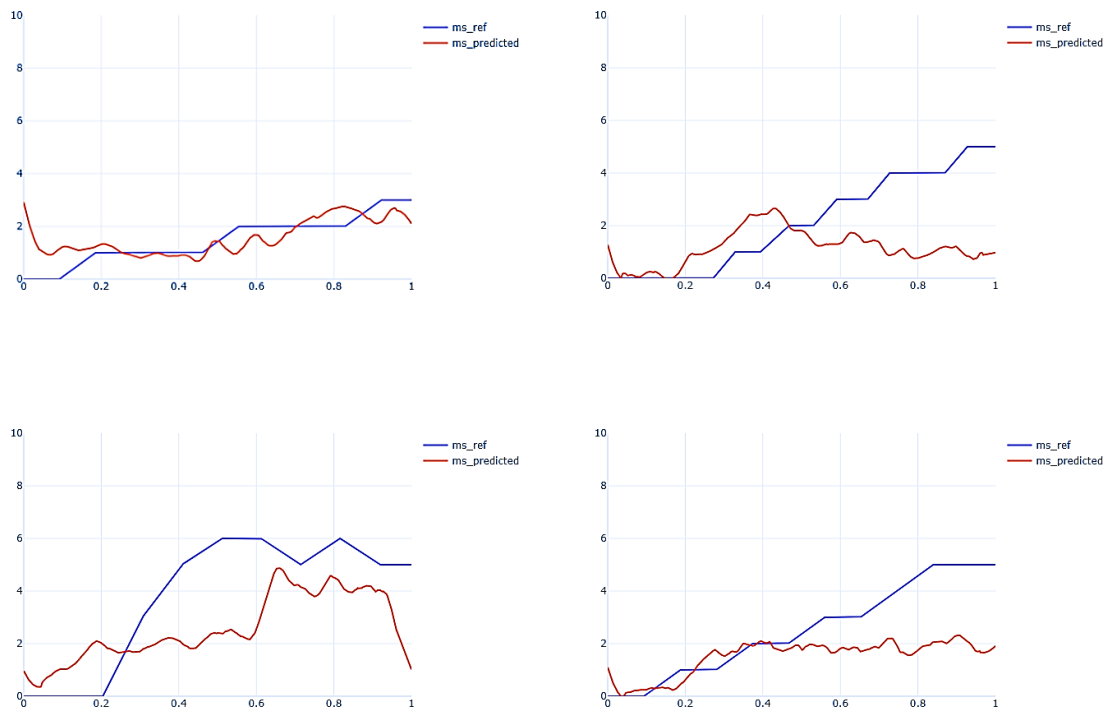


Abbildung 44 Vergleich von Motion Sickness Referenzwert (blau) und Schätzung durch das LSTM (rot) auf allen Daten der Studien WIVW 2021b, Bosch 2021b und BoschAS 2022

Diskussion: Wesentliche Merkmale

Die wesentlichen Merkmale in den pro Studie trainierten Schätzern weisen große Gemeinsamkeiten, jedoch auch Unterschiede auf. Insbesondere unterschieden sie sich in Bezug auf:

- **Emotionen:**
Der Ansatz der Emotionsdetektion wurde hauptsächlich auf frontalen Gesichtsbildern trainiert. Es besteht der Verdacht eines Bias der Emotionserkennung, der abhängig von der Kopfpose zur Kamera ist. Dieser Aspekt muss separat untersucht werden oder ein Schätzer ohne Emotionen als Eingangsmerkmale testweise evaluiert werden.
- **Relevanz der Dimension der Kopfposition/-rotation:**
Die Studien hatten für sich eine recht eingeschränkte Bewegungsfreiheit des Kopfes der Probanden, da diese häufig die Anweisung hatten, das Fahrgeschehen zu verfolgen oder einer Leseaufgabe nachzugehen. Daher ist die Variation pro Datensatz bzgl. der Kopfbewegung recht gering und entsprechend ist die Relevanz der einzelnen Dimensionen der Kopfpose unterschiedlich wichtig.
- **Thermal: Gesichtstemperatur:**
Die Gesichtstemperatur war nur beim Training des Schätzers auf Basis der Daten der Studie WIVW 2021b nicht von hoher Relevanz. Nach Sichtung des Videomaterials fiel auf, dass die Eye-Tracking Brille, welche die Probanden während der Studie trugen, sich während der Aufnahmen erhitzte und somit die Werte der Gesichtstemperatur teilweise verfälschten.

Laufzeitanalyse

Für die Auswertung der Laufzeit der Motion Sickness Schätzung wurden die Aufnahmen der FKFS Motion Sickness Studie prozessiert. Die Durchschnittswerte sind in Tabelle 9 aufgeführt. Die Bezeichnungen der Module beziehen sich auf die des Ansatzes in Abbildung 36.

Tabelle 9: Laufzeit des Motion Sickness Schätzer Prototypen

Modul	Durchschnittliche Laufzeit
Eingangsmerkmale	0,14 ms
Initialisierung/Setzen des Inneren Zustands	0,13 ms
Inferenz	3,34 ms
Postprocessing	0,05 ms
Ausgabe des Schätzwertes	0,07 ms

Es zeigt sich, dass im Wesentlichen nur die Inferenz, d.h. die Anwendung des Modells, eine relevante Laufzeit erreicht. Diese liegt jedoch mit 3,34 Millisekunden deutlich in einem Bereich, welcher eine Echtzeit-Lauffähigkeit zulässt.

Bei üblichen Laufzeiten für Bildverarbeitungssoftware im Automobilbereich von 30 bis 60 prozessierten Bildern pro Sekunde, bedeutet dies etwa 17 bis 33 Millisekunden Abstand zwischen zwei Eingangsbildern. Natürlich sollte nicht vernachlässigt werden, dass in dieser Zeit auch andere Algorithmen und Modelle laufen müssen, jedoch zeigt sich durch diese Untersuchung, dass der gewählte Ansatz durchaus geeignet ist für den produktiven Einsatz.

Relevanz der Eingangsmerkmale

Die Eingangsstufe des Modells nimmt die Eingangsmerkmale der Merkmalsextraktion entgegen und führt eine Art Merkmalsraumreduktion durch. Da diese Stufe Teil des Gesamtmodells ist, welche einen minimalen Fehler bei Erreichung der Zielgrößen anstrebt, ergibt sich eine ideale Gewichtung je Eingangsmerkmal bzgl. ihrer Relevanz für die Schätzung dieser Größen. Das Ergebnis zusammengefasst in Merkmalsgruppen ist in Abbildung 45 dargestellt.

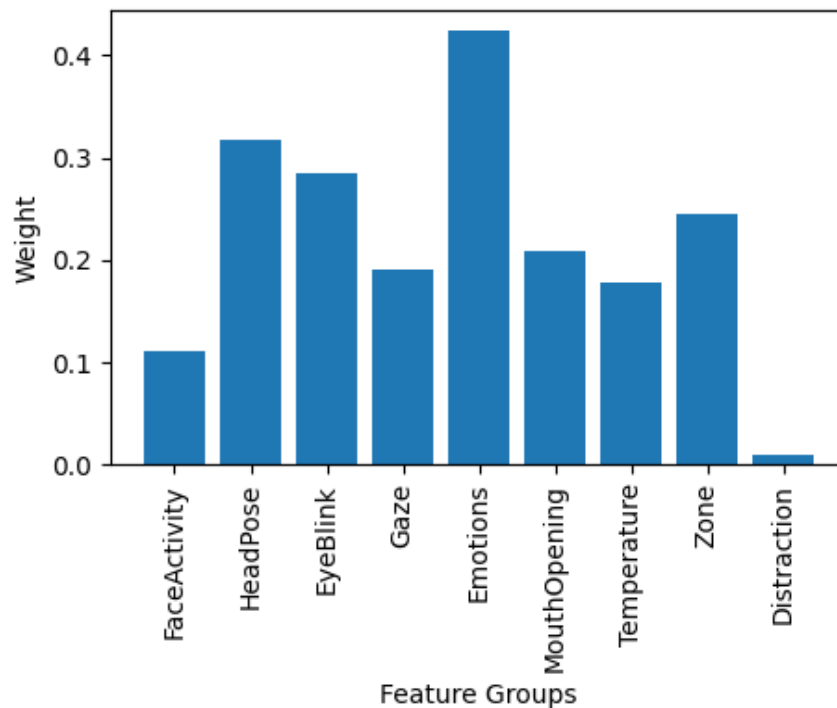


Abbildung 45: Aus dem Modelltraining resultierende Gewichtung der Eingangsmerkmale

3.4 Verweise

BMVI. (06. Juli 2021). *Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur*. Von <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html> abgerufen

Bundesregierung. (06. Juli 2021). *Gesetz zum autonomen Fahren*. Von https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile abgerufen

Cao, S., Tang, P., & Sun, X. (2020). Driver Take-Over Reaction in Autonomous Vehicles with Rotatable Seats.

Diels, C., & Bos, J. (03 2016). Self-driving carsickness. *Applied Ergonomics*, S. 374-382. doi:10.1016/j.apergo.2015.09.009

Dingus, T. A., Guo, F., Lee, S., Antin, J. F., Perez, M., Buchanan-King, M., & Hankey, J. (2016). Driver crash risk factors and prevalence evaluation using naturalistic driving data. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 113(10), 2636-2641.

Ekman, F. (1978). *Facial Action Coding System: A Technique for the Measurement of Facial Movement*. Palo Alto, California.

- Engeln, A., & Engeln, C. (2015). Customer Experience und kundenzentrierte Angebotsentwicklung. Was gehört dazu? In A. Baetzgen (Hrsg.), *Brand Experience. An jedem Touchpoint auf den Punkt begeistern* (S. 253-273). Stuttgart: Schäffer Pöschel.
- Hart, S. G. (1986). NASA task load index (TLX).
- Hastie, Tibshirani, & Friedman. (2008). Elements of Statistical Learning. Stanford University.
- Hirsch, M. (2017). Untersuchung der Autofahrleistung nach einem Powernap. *Masterarbeit*. Katholische Universität Eichstätt-Ingolstadt.
- Hochreiter, S., & Schmidhuber, J. (1997). Long short-term Memory.
- International Organization for Standardization. (2010). *ISO 9241-210:2010: Ergonomics of human-system interaction, Part 210: Human-centered design for interactive systems* .
- Li, S., Jin, X., Xuan, Y., Zhou, X., Chen, W., Wang, Y.-X., & Yan, X. (2020). Enhancing the Locality and Breaking the Memory Bottleneck of Transformer on Time Series Forecasting.
- Lim, B., Arik, S., Leoff, N., & Pfister, T. (2020). Temporal Fusion Transformers for Interpretable Multi-horizon Time Series Forecasting.
- Martín Abadi, P. B. (2015). TensorFlow: Large-Scale Machine Learning on Heterogeneous Systems. <https://www.tensorflow.org/>.
- Minge, M., & Riedel, L. (2013). meCUE – Ein modularer Fragebogen zur Erfassung des Nutzungserlebens. In S. Boll, S. Maass, & R. Malaka (Hrsg.), *Mensch & Computer 2013 – Tagungsband* (S. 89-98). München: De Gruyter Oldenbourg.
- NASA. (1986). *NASA Task Load Index (TLX)*. Moffet Field, California: Human Research Performance Group, Ames Research Center.
- Omae, M., Hashimoto, N., Sugamoto, T., & Shimizu, H. (2005). Measurement of driver's reaction time to failure of steering controller during automatic driving. *Review of automotive engineering*, 26(2), 213-215.
- Redmond, J., & Farhadi, A. (2018). YOLOv3: An Incremental Improvement. *CoRR*.
- Richardson, R., Donlon, J. P., Chastain, K., & Shaw, G. (2019). Test Methodology for Evaluating the Reclined Seating Environment with Human Surrogates. *Enhanced Safety of Vehicles*. Netherlands, Eindhoven.
- Schmid, M., & Maier, T. (2017). *Technisches Interface Design*. Berlin: Springer Vieweg.
- Selcon, S. J. (1990). Evaluation of the situational awareness rating technique (SART) as a tool for aircrew systems design.
- Shahid, A. W. (2012). Karolinska sleepiness scale (KSS).
- Song, H., Rajan, D., Thiagarajan, J., & Spanias, A. (2017). Attend and Diagnose: Clinical Time Series Analysis using Attention Model.
- StVZO. (19. 06 2023). Von Bundesministerium der Justiz: https://www.gesetze-im-internet.de/stvzo_2012/BJNR067910012.html abgerufen
- Vasawani, A., Shazeer, N., Parmar, N., Uszkoreit, J., & Jones, L. (2017). Attention is All You Need.
-

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Technisch-wissenschaftlicher und strategischer Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse durch Übernahme der Forschungs- und Umsetzungsergebnisse ins Produktportfolio von CanControls GmbH.

- Erhöhung der Qualität und Verfügbarkeit der Merkmale der Nutzerzustandserkennung.
- Rückkopplung von Teilen der Entwicklungsergebnisse in bisherige Entwicklungen und Produkte des Unternehmens.
- Entwicklung neuer Verfahren zur Vitalparameterbestimmung und Zustandsbeschreibung der Fahrzeuginsassen, die strategisch von OEMs zukünftig nachgefragt werden, da sie perspektivisch Teil des Euro NCAP (European New Car Assessment Programme) sein werden.
- Einstieg in das wachsende Marktfeld der videobasierten Verhaltensanalyse, welches zunehmend durch automatisiert fahrender Fahrzeuge an Bedeutung gewinnt. Das Fahrzeug muss im Bilde über den Zustand der Passagiere sein, um eine Fahrzeugkontrollübergabe durchführen zu können. In diesem Bereich spielen die Erkennung der Übernahmefähigkeit und der Motion Sickness eine wichtige Rolle.

5 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Neben dem fachlichen Austausch mit den anderen Verbundpartnern wird auch der Fortschritt von Wissenschaft und Technik außerhalb von RUMBA während der Projektlaufzeit kontinuierlich beobachtet und analysiert. Dies geschieht einerseits im Rahmen von CanControls-internen Meetings zum Austausch über wissenschaftlichen Themen und andererseits durch die Verfolgung der wissenschaftlichen Literatur.

6 Erfolge oder geplante Ergebnisverbreitung

Die Internetpräsenz des Projekts enthält eine Sammlung von Projektinhalten, die z.T. unter Beteiligung von CanControls für RUMBA entstehen. So sind dort beispielsweise alle Vorträge und Poster verfügbar, die bei den Zwischen- und Abschlusspräsentationen gezeigt werden.

- **RUMBA Halbzeitpräsentation, Renningen**
Präsentationen und Poster
<https://projekt-rumba.de/halbzeitveranstaltung-2022/>
- **RUMBA Abschlusspräsentation, Renningen**
Präsentationen und Poster
<https://projekt-rumba.de/rumba-abschlussveranstaltung/>

7 Wichtigste Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Es gibt folgende drei Positionen des zahlenmäßigen Nachweises:

- Personal: Die Personalkosten sind der mit Abstand wichtigste Posten. Es wurden nicht alle Mittel ausgeschöpft, da ursprünglich konkret eingeplante Mitarbeiter teilweise in Elternzeit waren.
 - Reisekosten: Die Reisekosten fielen weitaus geringer aus als geplant, da viele Meetings Online stattfanden auf Grund der Corona-Pandemie.
 - Abschreibungen: Es wurden geringfügig weniger Kosten für abschreibungsfähige Ausgaben verwendet als ursprünglich veranschlagt.
-

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Das Projekt verlief entlang der im Projektantrag formulierten Planung. Die Ziele konnten mit Hilfe der beantragten Mittel erreicht werden. Absolut notwendig und grundlegend für den Erfolg des Teilvorhabens der CanControls war die Datenaufzeichnung für die Entwicklung der bildverarbeitenden Algorithmen und Machine Learning Verfahren.

Dazu war die Auswahl und der Aufbau der Sensorik in Versuchsträgern unabdingbar, sowie die vorherige Analyse der geeigneten Sensoren und Einbauorte.

Mit Hilfe der Probandenstudien der Projektpartner konnten somit Studiendaten mittels dieser Sensorik gesammelt werden.

Die Videoaufzeichnungen mussten anschließend begutachtet, sortiert, synchronisiert und in Zusammenhang mit Referenzdaten gebracht werden bzw. Referenzdaten auf Ihnen manuell ausgezeichnet werden, um Trainingsdaten für die darauf aufbauende Entwicklungsarbeit zu erhalten.

Die Schätzer der Motion Sickness und Übernahmebereitschaft basieren auf diesen Trainingsdaten und den mit Hilfe von bildbasierten Algorithmen prozessierten Informationen.

Alle Beiträge der CanControls in diesem Vorhaben zielten auf die Realisierung dieser Verfahren ab, ermöglichten die Demonstration der Bildverarbeitung auf den Halbzeit- und Abschlussevents und gaben darüber hinaus Empfehlungen, wie eine geeignete Multi-Sensor Innenraumbesichtigung in einem Innenraum eines Teil- oder Hochautomatisierten Fahrzeugs aufgebaut werden kann.

Berichtsblatt

1. ISBN oder ISSN	2. Berichtsart (Schlussbericht oder Veröffentlichung) Schlussbericht
3. Titel RUMBA – Realisierung einer positiven User Experience mittels benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen (Schlussbericht CanControls GmbH)	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Sielski, Michael	5. Abschlussdatum des Vorhabens Juni 2024
	6. Veröffentlichungsdatum 11.10.2024
	7. Form der Publikation Dokument
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) CanControls GmbH Markt 45 52062 Aachen	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19A120007C
	11. Seitenzahl 61
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 26
	14. Tabellen
	15. Abbildungen 45
16. Zusätzliche Angaben	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) Projekträger Mobilität und Verkehrstechnologien, Am Grauen Stein, 51105 Köln 11.10.2024	
18. Kurzfassung Der vorliegende Schlussbericht zum Projekt RUMBA ("Realisierung einer positiven User Experience mittels benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen") gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK), fasst den Beitrag der CanControls GmbH zusammen. Das Projekt RUMBA zielte auf eine Verbesserung der User und Customer Experience durch die Gestaltung innovativer Innenraumkonzepte mit einem abgestimmtem Fahrverhalten ab. Entlang der sieben Handlungssträngen Anzeige- und Bedienkonzept für SAE L4, Alternative Fahrzeugführung, Innenraum- und Interaktionskonzepte, komfortables automatisiertes Fahren, Reduktion von Motion Sickness, Schlafen und Nutzerzustandserkennung forschte das Konsortium an Lösungen für den Pkw und Lkw Bereich. Das Projekt RUMBA war in sieben Arbeitspakete gegliedert, die in enger Zusammenarbeit der Verbundpartner aus Industrie, akademischer Forschung und KMUs bearbeitet wurden. Die Arbeitspakete orientierten sich hierbei an dem nutzerzentrierten Entwicklungsprozess, welcher im Projekt konsequent verfolgt wurde. In einem iterativen Vorgehen wurden die unterschiedlichen Konzeptreifegrade in empirischen Studien evaluiert. Dieser Bericht beschreibt die von der CanControls GmbH in allen acht Arbeitspaketen geleisteten Beiträge zur Bewältigung der Herausforderungen in RUMBA und ergänzt den RUMBA-Gesamtbericht der Verbundpartner.	
19. Schlagwörter Nutzerzustandserkennung, Übernahmebereitschaft, Motion Sickness	
20. Verlag	21. Preis