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

Schlussbericht

Zuwendungsempfänger	MAN Truck & Bus SE
Förderkennzeichen	19A120007A
Vorhabenbezeichnung	„Neue Fahrzeug- und Systemtechnologien“ des BMWK Verbundprojekt „Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen – RUMBA“
Teilvorhaben	Modularer Innenraum Lkw
Laufzeit des Vorhabens	3,5 Jahre, 01. September 2020 bis 30.06.2024
Version	v1.0

Gefördert durch:

Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz

aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages

Autoren (A-Z)

Nachname, Vorname	Name der Institution
Dr. Sprung, Anna Julia	MAN Truck & Bus SE
Mertens geb. Escherle, Svenja	MAN Truck & Bus SE, TU München

Ergebnisverbreitung

X	Öffentlich
X	BMWK
X	Projektträger
	Projektpartner

Dateiname RUMBA_Schlussbericht_MAN.docx

Seitenzahl 70

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 16

2.3 Planung und Ablauf des Vorhabens 17

2.4 Beitrag der MAN Truck & Bus SE – Wissenschaftlich-technischer Stand und Aufgabenstellung 17

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen 20

3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse 21

3.1 AP1 – Ermittlung der (Nutzer-)Anforderungen 21

3.2 Entwicklung (AP2), Realisierung (AP4) & Evaluation (AP5) neuer Innenraumkonzepte 33

3.2.1 Konzept Hub-manuell 39

3.2.2 Konzept Bus 53

3.2.3 Konzept Hotel 58

3.3 Prozesse auf dem Hub (AP5) 63

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse 67

5 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen 67

6 Erfolgte oder geplante Ergebnisverbreitung 67

7 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises 68

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit 69

9 Literatur 69

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 11

Abbildung 4: Ausschnitt des Ablaufs an der Entladestelle (Werksanalyse Automobilhersteller) 22

Abbildung 5: Ausschnitt des Ablaufs an der Beladestelle (Werksanalyse Automobilhersteller) 22

Abbildung 6: Grundlegender Ablauf Logistikzentrum (Werksanalyse Logistikzentrum) 23

Abbildung 7: Fortsetzung grundlegender Ablauf Logistikzentrum (Werksanalyse Logistikzentrum) 23

Abbildung 8: Tätigkeiten bei der Anmeldung auf unterschiedlichen Betriebshöfen 24

Abbildung 9: Erfahrung und Expertise des Expert:innen Panels 25

Abbildung 10: Cluster der Projektionen auf Basis der Ergebnisse aus Delphi-Runde 2 25

Abbildung 11: Erarbeitete Szenarien für automatisierte Lkw 28

Abbildung 12: Auszug der geänderten Tätigkeiten in Szenario 1 28

Abbildung 13: Erarbeitete Personengruppen für Hubs im Jahr 2030. 29

Abbildung 14: Am häufigsten durchgeführte Tätigkeiten Büro und Freizeit. 32

Abbildung 15: Häufigste Bedürfnisse in Büro und Freizeit. 32

Abbildung 16: Bewertungen, ob eine Reise in der Kabine vorstellbar ist. 33

Abbildung 17: Persona Linus Becker 34

Abbildung 18: Persona Agnes Rügle 35

Abbildung 19: Persona Mirko Padutsch 35

Abbildung 20: Persona Roman Elisera 36

Abbildung 21: Persona Miriam Groß & Friends 36

Abbildung 22: Persona Milan Stoica und Kolleg:innen 37

Abbildung 23: Persona Carlos Rickert 37

Abbildung 24: Paper-Prototypes der Kabinenkonzepte 38

Abbildung 25: Paper-Prototyp Kabinenkonzept Hub-manuell 39

Abbildung 26: VR-Prototyp des Konzepts Hub-manuell 42

Abbildung 27: Versuchsablauf VR Evaluation Hub Manuell 43

Abbildung 28: Aufbau VR Evaluation Hub Manuell bei MAN Truck & Bus 43

Abbildung 29: Deskriptive Darstellung und inferenzstatistischer Vergleich affektiver Reaktionen 44

Abbildung 30: Deskriptive Darstellung der Eignungsbewertung. 45

Abbildung 31: Eignung der Kabinenkonzepte für die einzelnen Arbeitsschritte. 45

Abbildung 32: Finale Version des VR-Prototyps Konzept Hub Manuell 47
Abbildung 33: Erweiterung bestehender modularer Prüfstand (links) zur finalen Ausarbeitung (rechts) 48
Abbildung 34: Prüfstand gesamt (links), Tablethalterung, HUD (rechts oben), Fahrerplatz (rechts unten) 48
Abbildung 35: Kabinenvariante der Studie 49
Abbildung 36: Versuchsablauf Evaluation Hub Manuell (MockUp) 50
Abbildung 37: Eignung der Kabine 51
Abbildung 38: Übersicht in der Kabine 51
Abbildung 39: Konzept Hub-Shuttle; Paper Prototype 53
Abbildung 40: Konzept Bus-Extern; Paper Prototype 54
Abbildung 41: (VR-Prototyp Konzept Bus) 57
Abbildung 42: Konzept Büro-Shuttle; Paper Prototype 58
Abbildung 43: Konzept Büro-Extern; Paper Prototype 59
Abbildung 44: Konzept Hotel-Extern; Paper Prototype 59
Abbildung 45: VR-Prototyp Konzept Hotel 61
Abbildung 46: Übersicht der entwickelten Prozesse nach Escherle et. al. 2023 63
Abbildung 47: Job Characteristics Model 64
Abbildung 48: Betrachtete Prozesse mit automatisierten Lkw 66

Tabelle 1 Übersicht über die von MAN durchgeführten Studien in AP1 18
Tabelle 2: Übersicht über die von MAN durchgeführten Studien in AP5 19
Tabelle 3: Digitalisierte und nachhaltige Logistik – Projektionen und Folgerungen 26
Tabelle 4: Erarbeitete Aufgaben für Personen auf Hubs im Jahr 2030. 30
Tabelle 5: Erarbeitete Nutzerbedürfnisse in der Lkw-Kabine im Jahr 2030. 30
Tabelle 6: Erwartete Nutzergruppen der jeweiligen Kabinenkonzepte. 31
Tabelle 7: Übersicht der entwickelten Personas. 33
Tabelle 8: Ergebnisse der Evaluation 40
Tabelle 9: Änderungen nach Evaluation des Paper-Prototyps 41
Tabelle 10: Arbeitsschritte im zukünftigen Arbeitsalltag 49
Tabelle 11: Vergleich Raumgefühl zwischen den Kabinenvarianten 52
Tabelle 12: Verbesserungsvorschläge der Expert:innen der Konzeptevaluation 54
Tabelle 13: Umsetzungsdetails des Konzepts Bus in VR. 56
Tabelle 14: Umsetzungsdetails des Konzepts Hotel in VR. 60
Tabelle 14: Erarbeitete Änderungen der Konzepte Bus und Hotel in VR nach Evaluation 62

Abkürzungen

RUMBA	Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen
ODD	Operational Design Domain
Hub	Logistikzentrum, Umschlagplatz oder Produktionswerk
Hub2Hub	Strecke zwischen zwei Hubs; gewöhnlich mit genormten Strecken

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 MAN Truck & Bus SE 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 MAN Truck & Bus SE nach Arbeitspaketen gegliedert dargestellt.

Die daran anschließenden Kapitel enthalten eine ausführliche Darstellung gem. NKBF 98, Anlage 2, Teil II. Dort werden die von der MAN Truck & Bus SE 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) dienten 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.

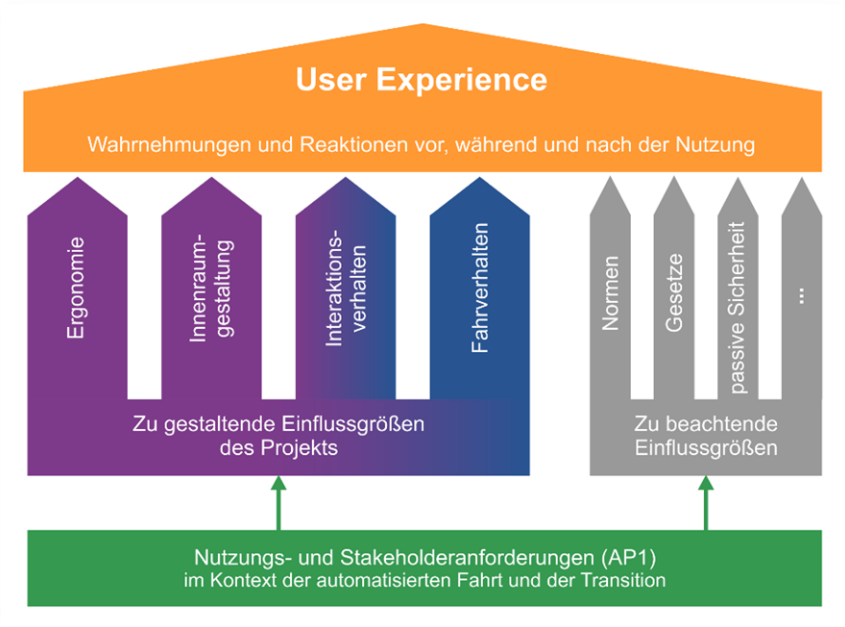

Abbildung 1 Facetten und Einflussgrößen der User Experience

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.

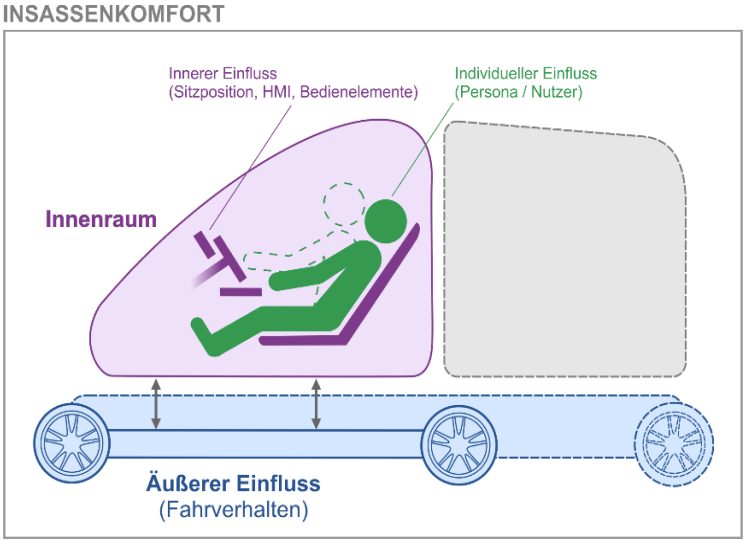

Abbildung 2 Ansatz eines gemeinsamen Anforderungs- und Lösungsraums für Pkw und Lkw Innenräume mit inneren und äußeren Einflussfaktoren

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 Fahrszenario 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 **Nutzer**zustands 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

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.

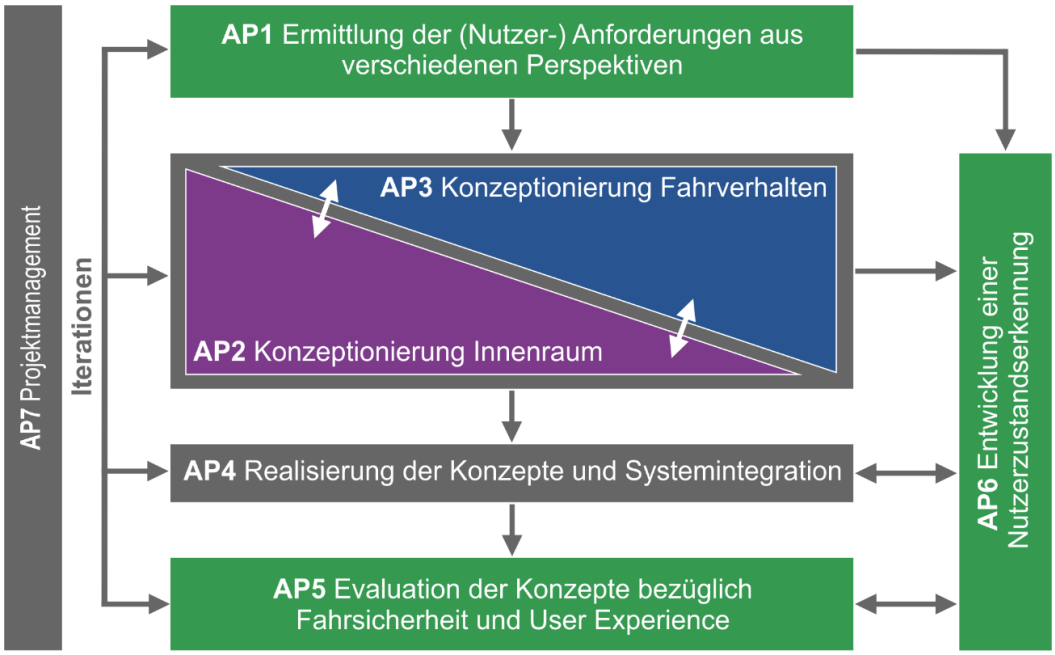

Abbildung 3 Arbeitspakete im Überblick

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 Technologientrends 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 Interaktionenkonzepte 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 Fahrszenarien 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 wahrgenommenen Sicherheitsempfinden, den Komfort und die Akzeptanz analysiert. Die Ergebnisse flossen 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 Versuchleiter vorne rechts verblieb. Die Sitzposition der Proband_Innen auf dem linken Vordersitz war von zentraler Bedeutung. Der Verfahrweg 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, sodass 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 Serienkomponenten 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 erweitere Ververstellbereiche 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 vielfälltiger 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, holisitische, 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, dass 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 Detailierungsgrad 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 quartalswiese 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 MAN Truck & Bus SE – Wissenschaftlich-technischer Stand und Aufgabenstellung

Automatisiertes Fahren bietet der Nutzfahrzeugbranche das Potenzial, aktuellen demografischen und wirtschaftlichen Herausforderungen erfolgreich begegnen zu können (Müller & Voigtländer 2019). Speziell treten hier automatisierte Lkw ab SAE-Level 4 in den Fokus. In SAE-Level 4 kann das automatisierte Fahrsystem innerhalb definierter Systemgrenzen, der Operational Design Domain (ODD; SAE International 2021), die Fahraufgabe komplett übernehmen und sich bei Überschreiten der Systemgrenzen selbstständig in einen risikominimalen Zustand zurückführen. Dadurch ist keine Überwachung des Systems mehr notwendig und es muss sich nicht mehr zwingend eine fahrzeugführende Person im Fahrzeug befinden.

Der Gütertransport im Hub-to-Hub-Verkehr wird dabei als einer der ersten Anwendungsfälle für automatisierte Lkw genannt (Gräter et al. 2022; Hörl et al. 2016). Als Hub gelten dabei z. B. Logistikzenten, Umschlagplätze oder Produktionswerke, welche in der Regel nah an Autobahnen gebaut sind. Auf diese Weise findet der Transport von Hub zu Hub hauptsächlich auf genormten Straßen statt. Im Hub-to-Hub-Verkehr deckt die ODD somit die Strecke zwischen zwei Logistikzentren ab. Zur erfolgreichen Automatisierung des Hub-to-Hub-Transports gehört jedoch mehr, als allein die Entwicklung der automatisierten Fahrfunktionen für die ODD. Um eine Mobilitätswende erfolgreich durchzusetzen, bedarf es einer umfassenden Analyse der bestehenden Technologien, Prozesse, Kontexte sowie der jeweiligen Nutzenden (Hörl et al. 2016; Thüring & Mahlke, 2007). Dabei gilt es beispielsweise zu klären, wie der zukünftige Lieferprozess funktionieren kann, wenn keine fahrzeugführende Person mehr im Fahrzeug ist. Aktuell übernehmen Lkw-Fahrende Tätigkeiten, die über das reine Fahren des Lkws hinausgehen. Beispiele hierfür sind die Anmeldung auf einem Hub, die Dokumentation oder das Entladen des Lkws (Flämig 2016; Inninger et al. 2018; Müller & Voigtländer 2019). Indem sich zukünftig in automatisierten Lkw keine Fahrer:innen mehr befinden müssen, muss für diese Tätigkeiten eine andere Lösung erarbeitet werden. Außerdem wird dadurch die Lkw-Kabine für ihren heutigen Zweck nicht mehr

genutzt und es ist an der Zeit zu untersuchen, wie die Nutzung der Kabinen automatisierter Lkw zukünftig sinnvoll erfolgen kann.

Aus dieser Ausgangssituation ergeben sich folgende Forschungsfragen, die MAN im Projekt RUMBA untersucht:

1. Welche Veränderungen im Logistik-Prozess bringt die Automatisierung von Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr mit sich?
2. Welche Tätigkeiten müssen in Zukunft weiterhin durch den Menschen erfolgen? Wie sehen mögliche Lösungen für die Automatisierung aus?
3. Welche alternativen Tätigkeiten können dabei in die Kabine verlegt werden? Wer sind die zukünftigen Nutzer:innen der Lkw-Kabine?
4. Wie sollte die Kabine für automatisierte Lkw gestaltet sein?

Insbesondere die Konzeptionierung von neuen Innenräumen und die Auswirkung der Automatisierung von Lkw (SAE L4) auf die logistischen Prozesse im Hub-to-Hub-Verkehr ist in bisherigen Forschungsprojekten kaum adressiert und daher an dieser Stelle hervorzuheben. Heruntergebrochen auf die in 2.1.2 vorgestellten Arbeitspakte stellen sich die Schwerpunkte der MAN Truck & Bus SE wie folgt dar:

AP1 - Ermittlung von Anforderungen aus Sicht der Fahrer, der Fuhrunternehmen und anderer Stakeholder

In Arbeitspaket 1 liegt der inhaltliche Schwerpunkt der MAN Truck & Bus SE auf Nutzer- und Expertenstudien, die in Zusammenarbeit mit dem Spiegel Institut durchgeführt wurden. Hierbei wurde zunächst der Ist-Zustand bezüglich der Fahrertätigkeiten und der Prozesse in unterschiedlichen Nutzungsszenarien (z. B. im Hafen, Hub, etc.) rund um den Lkw analysiert. Ebenfalls wurden Trends und Entwicklungen in der Logistik betrachtet, um das zukünftige Logistikumfeld eines automatisierten Lkw besser einschätzen zu können. Auf Basis dieser Erkenntnisse wurden zukünftige Szenarien für automatisierte Lkw entwickelt und die zukünftigen Nutzer:innen der Lkw-Kabine definiert. Dies bildet die Basis für die Konzeptionierung des Innenraums.

Tabelle 1 Übersicht über die von MAN durchgeführten Studien in AP1

MAN2021a	Werksanalysen in zwei Hubs	Analyse
MAN2021b	Delphi-Studie : Zukünftiges Logistik-Umfeld	Expertenstudie
MAN2021c	Fahrertätigkeitskatalog	Synthese der Ergebnisse
MAN2022a	Workshop Nutzungsszenarien	Workshop
MAN2022b	Online Studie Nutzerbedürfnisse	Onlinebefragung
MAN2022c	Workshop Paper-Prototypes	Workshop

AP2 – AP2 Entwicklung neuer Innenraumkonzepte

Der Schwerpunkt in Arbeitspaket 2 liegt seitens der MAN auf der Entwicklung Szenario-spezifischer Innenraumkonzepte für den Lkw. Für die in AP 1 erarbeiteten zukünftigen Szenarios wurden entsprechende Innenraumkonzepte iterativ und nutzerzentriert entwickelt.

AP3 – Konzeptionierung des Fahrverhaltens

Die MAN Truck & Bus SE beteiligte sich in diesem Arbeitspaket nicht.

AP4 – Realisierung der Konzepte und Systemintegration

Der Schwerpunkt von MAN in Arbeitspaket 4 liegt darin die erarbeiteten Innenraumkonzepte für Evaluationen erlebbar zu machen. Hierfür wurden die Szenario-spezifischen Innenraumkonzepte zunächst als Paper-Prototype und anschließend in VR abgebildet und eine ausgewählte Variante in einem modularen Prüfstand realisiert.

AP5 - Evaluation der Konzepte bezüglich Fahrsicherheit und User Experience

Der Arbeitsschwerpunkt in AP5 liegt bei MAN in der Evaluation der erarbeiteten Innenraumkonzepte für den Lkw in unterschiedlichen Realisierungsgraden. So fanden unter anderem Evaluationen mit Paper-Prototypes, Evaluationen in VR, sowie eine Evaluation in einem physischen MockUp statt. Die Evaluationen erfolgten dabei sowohl mit Expert:innen, als auch mit zukünftigen Nutzer:innen der Lkw-Kabine. Die Evaluationen zum Konzept Hub-manuell führte MAN dabei selbst durch. Die Evaluationen zu den Personentransportkonzepten wurden gemeinsam mit dem Spiegel Institut vorbereitet und vom Spiegelinstitut durchgeführt.

Tabelle 2: Übersicht über die von MAN durchgeführten Studien in AP5

MAN2022d	Evaluation Paper-Prototypes mit Expert:innen	Online Interviews
MAN2022e	Expertenbefragung Tourismus	Online Interviews
MAN2022f	VR-Evaluation Hub-manuell	VR
MAN2023a	Expertenworkshops Prozesse auf dem Hub	Online Interviews
MAN2023b	Mock-Up-Evaluation Hub-manuell	Prüfstand
MAN2024	Evaluation Arbeitssituation Be- und Entladepersonal	Interviews

AP6 - Entwicklung einer Nutzerzustandserkennung

Die MAN Truck & Bus SE beteiligte sich in diesem Arbeitspaket nicht.

AP7- Projektmanagement

Die inhaltlichen Schwerpunkte im Projektmanagement liegen bei MAN in organisatorischen Arbeiten, Dokumentation und Präsentation.

2.5 Zusammenarbeit mit anderen Stellen

Die Zusammenarbeit zwischen MAN und anderen Stellen erfolgt im Rahmen von RUMBA auf folgenden Ebenen:

Insbesondere innerhalb und zwischen den Arbeitspaketen fand eine intensive Zusammenarbeit mit den Projektpartnern statt. In zahlreichen Arbeitsgruppen, Quartalstreffen, gemeinschaftlich koordinierten Nutzerstudien und Demonstrationen wurden die Projektinhalte gemeinsam mit den Verbundpartnern erfolgreich bearbeitet und dokumentiert. Vor allem mit dem Projektpartner Spiegel Institut erfolgte eine intensive Zusammenarbeit hinsichtlich der Anforderungsanalyse und Evaluation der Kabinenkonzepte.

In Zusammenarbeit mit der Technischen Universität München (Lehrstuhl für Ergonomie, Prof. Bengler) wurden die Auswirkungen automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr in Form einer Dissertation untersucht. In diesem Kontext wurden auch die unterschiedlichen Kabinenkonzepte entwickelt und evaluiert.

3 Durchgeführte Arbeiten und erreichte Ergebnisse

Wie im vorangehenden Kapitel erläutert, beteiligte sich die MAN Truck & Bus SE in sechs von sieben Arbeitspaketen von RUMBA und verfolgt dabei die Projektziele. Dieses Kapitel dient einerseits der Zusammenfassung der durchgeführten Arbeiten und Beiträge, und andererseits der inhaltlichen Schilderung der erreichten Ergebnisse.

3.1 AP1 – Ermittlung der (Nutzer-)Anforderungen

Im Rahmen von **AP 1.1** erfolgte bei der MAN Truck & Bus SE in Zusammenarbeit mit allen Partnern zunächst eine umfassende Literaturrecherche (AP1.1) zu dem Themen Komfort und Ergonomie, Technologietrends sowie Sicherheit und Unfallforschung. Die Ergebnisse der Literaturrecherche wurde zu OnePagern zusammengefasst und im Konsortium präsentiert.

Das Ziel von **AP 1.2** stellt eine Analyse des Ist-Zustands der Fahrertätigkeiten sowie der damit verbundenen Prozesse um das Fahrzeug in unterschiedlichen Nutzungsszenarien dar. Dies sollte zum einen durch teilnehmende Beobachtungen während der Fahrt erfolgen. Zur Vorbereitung dieser Analysen erarbeitete die MAN Truck & Bus SE zusammen mit dem Spiegel Institut iterativ Beobachtungsprotokolle zur Anwendung vor Ort. Die Durchführung der Fahrten erfolgte im Anschluss durch das Spiegel Institut. Für die Ergebnisse wird daher auf den Ergebnisbericht des Spiegel Instituts verwiesen.

Werks- / Prozessanalysen zur Analyse des Ist-Zustandes der Lkw-Fahrertätigkeiten sowie der damit verbundenen Prozesse um das Fahrzeug (AP1.2)

Neben den teilnehmenden Beobachtungen erfolgten in AP 1.2 bei der MAN Truck & Bus SE sogenannte Werks- und Prozessanalysen für zwei Standorte. Solche Analysen dienen der detaillierten Erfassungen des gesamten Prozesses, den ein Fahrzeug bei der Ladungsabwicklung in einem fest beschriebenen Areal durchlaufen muss. Dabei kann es sich z.B. um Produktionsstätten von Waren oder Warenumschlagsplätze wie Speditionen oder Terminals handeln. Durch die Generierung dieser Daten können im Anschluss Fahrertätigkeiten sowie der damit verbundene Prozess in und um das Fahrzeug in unterschiedlichen Nutzungsszenarien abgebildet werden.

Zur Vorbereitung erfolgte zunächst eine ausführliche Abstimmung mit Experten im Unternehmen, um geeignete Standorte für die Analysen auszuwählen. Dabei wurden u.a. Faktoren wie Ladungsart (Segment), Größe des Standorts und der Anschluss an Infrastruktur in Betracht gezogen. Nach einer Priorisierung und der folgenden Rekrutierung von potentiellen Standorten fiel die Wahl auf den Produktionsstandort eines Automobilherstellers sowie das Logistikzentrum einer großen deutschen Spedition.

Nach einigen Vorab-Interviews, sowie der Dokumentensichtung von Informationen zum Standort, erfolgte am 10.06.2021 eine 1-tägige Analyse bei dem ausgewählten Automobilhersteller. Hierzu wurden im Voraus Beobachtungsprotokolle und Interviewleitfäden erstellt, die spezifisch auf den Standort und die Prozesse vor Ort angepasst wurden. Vor Ort erfolgte dann eine Beobachtung sowie ausführliche Dokumentation der Prozesse inkl. anschließender Interviews mit den Hauptverantwortlichen für die Logistik vor Ort. Ausschnitte der Prozesse und Tätigkeiten sind in Abbildung 4 und Abbildung 5 exemplarisch dargestellt.

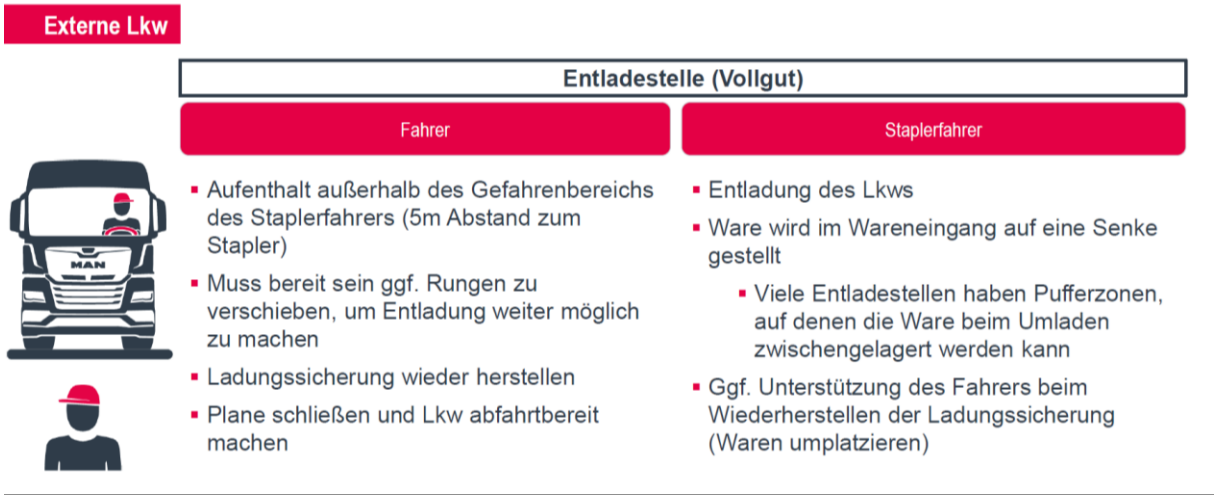

Abbildung 4: Ausschnitt des Ablaufs an der Entladestelle (Werksanalyse Automobilhersteller)

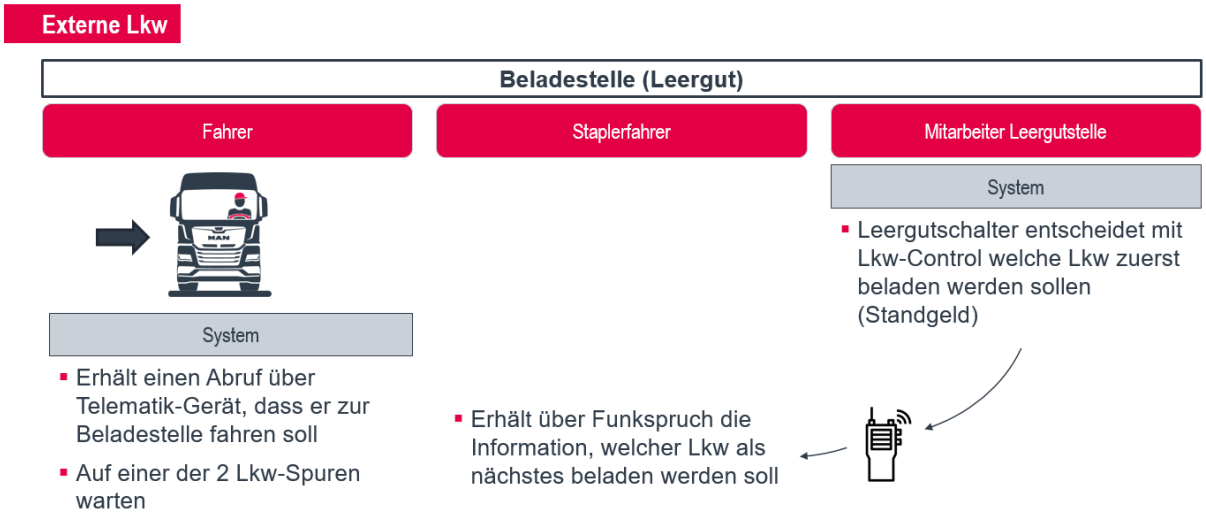

Abbildung 5: Ausschnitt des Ablaufs an der Beladestelle (Werksanalyse Automobilhersteller)

Parallel erfolgte die Vorbereitung der Analyse am Logistikzentrum. Hierzu fand nach einigen Vorgesprächen am 28.05.2021 zunächst eine Vor-Analyse statt, die dem Zweck diente einen ersten Überblick über den Standort und den dort ablaufenden Prozess zu erhalten und somit die Erstellung der für die Hauptanalyse erforderlichen Dokumente zu ermöglichen. Im Anschluss daran erfolgte bei MAN Truck & Bus SE – wie im Falle des Automobilherstellers – die Erarbeitung von Beobachtungsprotokollen und Interviewleitfäden, sowie die Erstellung eines Ablaufplans für die 2-tägige Analyse vor Ort. Zudem erfolgte die Abstimmung mit den Kollegen die Spiegel Instituts, die die Analyse begleiteten. Insgesamt wurden im Rahmen dieser Analyse ca. 15 Interviews geführt. Zudem erfolgte die begleitende Beobachtung von Fahrer: innen, sowie Dispositionsmitarbeiter: innen, Mitarbeiter: innen der Abfertigung, der Kundenbetreuung sowie Lagermitarbeiter und die Geschäftsführung bei ihrer Arbeit. Im Anschluss wurden die einzelnen Tätigkeiten, Abläufe und Hintergründe umfassend protokolliert (in Abbildung 6 und Abbildung 7 beispielhaft dargestellt) und zusätzlich mit Fotos und Videos dokumentiert.

Ablauf

1. Einfahrt auf das Gelände nach rechts (Einbahnstraße)
2. Schranke 2-Spurig, keine Regel wer welche Spur nutzt
   - Fzg **mit Zufahrtsberechtigung** (Chip; i.d.R. Linienfahrzeuge): Schranke öffnet sich automatisch, Tor ist bekannt (immer das gleiche)
     Falls Schranke Chip nicht erkennt, Chip an Säule halten (wird erst noch gebaut)
   - Fzg **ohne Chip** (i.d.R. Nahverkehsfahrzeuge): Klingeln an Säule, Anmeldung gibt Tor-Nummer durch, Schranke wird geöffnet
3. Fahrt zum Tor, rangieren, rückwärts an Laderampe fahren
4. Fahrer steigt aus, läuft mit Frachtpapieren zur Anmeldung
5. Anmeldung mit Nummernschild, Abgabe der Frachtpapiere
   System hat Ladung, etc. gespeichert

Abbildung 6: Grundlegender Ablauf Logistikzentrum (Werksanalyse Logistikzentrum)

Ablauf

5. Anmeldung

Linie

6. Wechselbrücke / Auflieger wird abgestellt
   muss noch durch Stütze / Keile gesichert werden (macht entweder Fahrer oder Verlader)
7. Fahrt zu anderem Tor
8. Beladener Auflieger / Wechselbrücke wird aufgenommen

Nahverkehr

6. Fahrer entladen Fahrzeug selbst
   Scannen die Ladung, haben je nach Subunternehmen einen Hubwagen o.ä. im Lkw
7. Fahrer beladen Fahrzeug selbst
   Scannen die Ladung, haben je nach Subunternehmen einen Hubwagen o.ä. im Lkw

Internationale Fahrt

6. Lkw wird entladen
7. Lkw wird beladen
   Fahrer macht währenddessen Pause (bis 6 Stunden) meist im Lkw, falls noch Lenkzeit übrig ist, kann er auch spontan für kurze spontane Fahrten eingesetzt werden
8. Prüfung der Ladungssicherung
   In manchen Fällen wird Fahrer auch schon beim Beladen mit einbezogen, wenn z.B. in den Lkw belastbare Trennwände eingebaut werden, gegen die man stapeln kann*

Abbildung 7: Fortsetzung grundlegender Ablauf Logistikzentrum (Werksanalyse Logistikzentrum)

Die Ergebnisse dieser von MAN Truck & Bus SE durchgeführten Werksanalysen sowie die Ergebnisse der durch das Spiegel Institut durchgeführten Begleitfahrten wurden nach deren Abschluss von MAN in einem **Fahrertätigkeitskatalog** aggregiert **(AP 1.4)**. Hierbei handelt es sich um eine umfassende tabellarische Auflistung der auszuführenden Tätigkeiten, deren Hintergrund, verwendete Hilfsmittel, Interaktionen mit anderen am Prozess beteiligten Personen, und Verantwortlichkeiten für jeden Tätigkeits- bzw. Streckenabschnitt. Zur besseren Übersicht wurden hierfür Aufgabenmodelle der Fahrer und der Hintergrundprozesse aufgeführt. Zusätzlich sind die Umgebungsmodelle der Fahrer und der Hintergrundprozesse im Fahrertätigkeitskatalog dokumentiert. Weiterhin wurden darin Informationen zu den Benutzergruppen und analysierten Werken sowie eine Beschreibung der Transportwege auf den jeweiligen Geländen festgehalten. Durch diese Darstellungsweise sind die Unterschiede und Gemeinsamkeiten der jeweiligen Analyse-Quellen direkt ersichtlich. Ein Beispiel für die unterschiedlichen Abläufe bei der Anmeldung auf einem Betriebshof ist in Abbildung 8 aufgeführt.

Anmelden	Fahrer 1	Fahrer 2	Fahrer 3
Aufgabe	Anmeldeformular ausfüllen und abgeben	Truckerkarte am Terminal vorhalten	Keine Anmeldung erforderlich (Da morgens schon eine Liste mit allen Umfuhren die abgearbeitet werden müssen erhalten)
Schnittstelle	Mitarbeiter	Terminal	
Informationsübertragung	Schriftliches Anmeldeformular	aus dem LKW an Fenster durch Karte	

Fahrer 1
Muss sich in einem Büro anmelden und hat Kontakt zu Mitarbeitern

Fahrer 2
Meldet sich über ein Selbstbedienungsterminal an und hat keinen Kontakt zu Mitarbeitern

Fahrer 3
Muss sich gar nicht anmelden

Abbildung 8: Tätigkeiten bei der Anmeldung auf unterschiedlichen Betriebshöfen

Delphi-Studie zur Ableitung von möglichen zukünftigen Szenarien (AP 1.3)

Zur Erarbeitung möglicher zukünftiger Szenarien rund um den Lkw erfolgte eine sogenannte Szenariostudie (gem. Delphi-Methode). Bei dieser Studie stand die Untersuchung der zukünftigen Rahmenbedingungen für einen automatisierten Lkw im Jahr 2030 im Fokus (Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023). Es sollte untersucht werden, wie sich unterschiedliche Trends in der Logistik bis zum Einsatzzeitraum der automatisierten Frachtträger entwickeln. Die Frage, die mit dieser Studie beantwortet werden sollte lautete: Wie könnte das direkte Logistikumfeld eines automatisierten Lkw im Jahr 2030 aussehen? Einflussbereiche wie Politik, Geschäftsmodelle, gesellschaftliche Entwicklungen, Digitalisierung, etc. werden dabei betrachtet.

Bei der hier gewählten Delphi-Methode handelt es sich um eine Expertenbefragung, die online mithilfe von zwei aufeinanderfolgenden Fragebögen durchgeführt wird. Im Rahmen der Vorbereitung erfolgte zunächst eine detaillierte Literaturrecherche bezüglich der aktuellen Trends in der Logistik. Auf Basis dieser Literaturrecherche wurden im ersten Schritt 50 Thesen für das Jahr 2030 formuliert. Im Rahmen mehrerer Workshops mit MAN-internen Experten wurden diese Thesen priorisiert, verbessert und letztlich auf 19 Thesen reduziert. Während der Vorbereitung der Befragung erfolgte gleichzeitig die Auswahl und Rekrutierung geeigneter Experten aus unterschiedlichen Branchen, um eine möglichst ganzheitliche Betrachtung des Untersuchungsgegenstands zu erzielen.

Die eigentliche Befragung der Delphi-Methode besteht aus zwei Runden. In der ersten Runde bewerten die Experten anonym und online die verschiedenen Thesen hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit des Eintretens, der Erwünschtheit des Eintretens und der Auswirkung auf das Logistikumfeld des automatisierten Lkws. Zusätzlich geben die Experten eine Begründung für ihre Einschätzung an. Nach der ersten Runde erfolgt eine Zwischenauswertung, sodass jeder Experte in der zweiten Runde einen individuellen Fragebogen erhält. In diesem zweiten Fragebogen werden erneut die bekannten Thesen präsentiert, zusätzlich erhalten die Experten Feedback über ihre eigene Einschätzung und die Einschätzungen und Begründungen der anderen Teilnehmer. Somit haben sie in der zweiten Runde die Möglichkeit ihre Meinung noch zu ändern und die Bewertungen anzupassen. Ziel der Delphi-Methode ist

es einen Konsens zu den einzelnen Thesen zu erlangen. Durch eine Cluster-Analyse werden unterschiedliche Szenarien erstellt und mit Hilfe der Begründungen der Experten zu den einzelnen Thesen ausformuliert.

Insgesamt nahmen von den 30 Expert:innen der ersten Runde 27 erneut an Runde zweit teil, was für ein hohes Interesse an diesem Forschungsthema spricht. Im Durchschnitt hatten die Expert:innen 15,5 Jahre Berufserfahrung (*SD* = 9,68) und schätzten ihre Expertise im Schnitt als „eher hoch“ (*M* = 3,96; *SD*= 0,80) ein. Weitere Charakterisiken des Expert:innen Panels sind Abbildung 6 zu entnehmen.

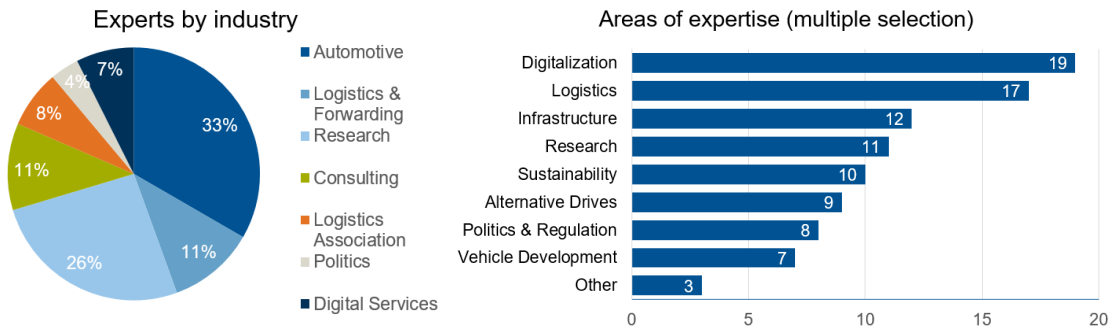

Abbildung 9: Erfahrung und Expertise des Expert:innen Panels

Die Expert:innen bewerteten die 19 Projektionen für das Jahr 2030 hinsichtlich der Wahrscheinlichkeit, der Auswirkung auf das Logistikumfeld und der Erwünschtheit. Zusätzlich gaben sie Begründungen für ihre Wahrscheinlichkeitseinschätzungen ab. Auf Basis der Ergebnisse der Wahrscheinlichkeits- und Auswirkungsbewertung der zweiten Runde wurden vier Cluster identifiziert, welche in Abbildung 10 dargestellt sind. Die jeweiligen Zahlen stehen für die Nummer der Projektion. Bei diesen Clustern handelt es sich um ein erwartetes, ein wahrscheinliches, ein mögliches und ein überraschendes Szenario.

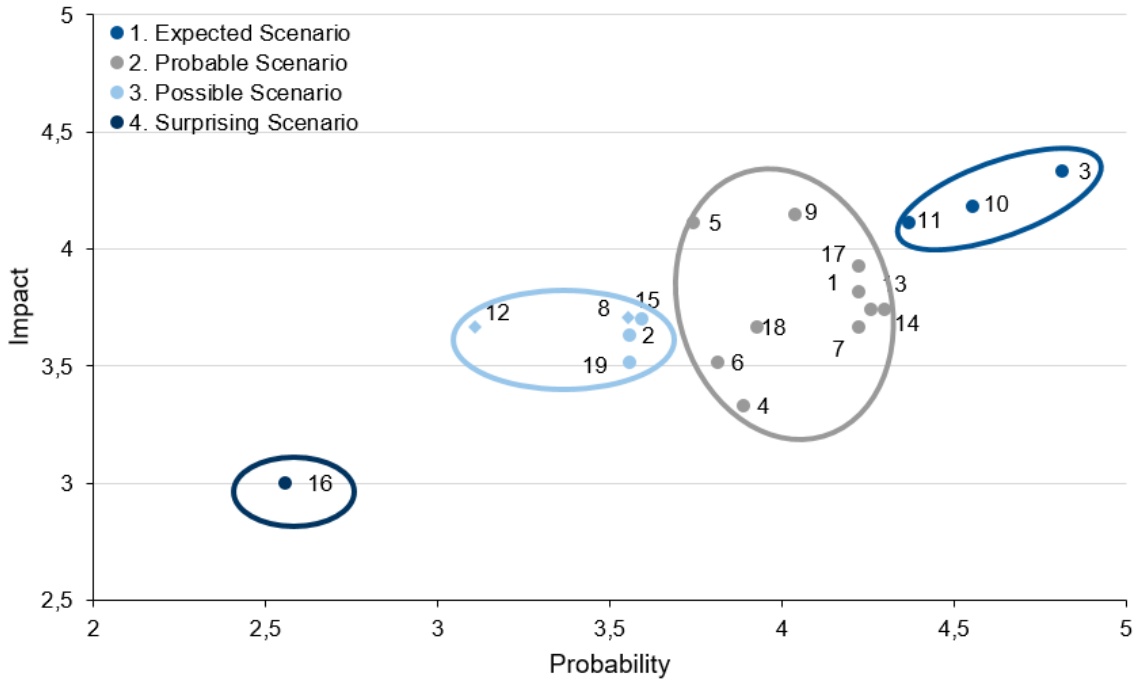

Abbildung 10: Cluster der Projektionen auf Basis der Ergebnisse aus Delphi-Runde 2

Mithilfe dieser Cluster und der 530 Kommentare der Expert:innen zu den einzelnen Projektionen wurden dann im Anschluss Folgerungen für das Jahr 2030 abgeleitet. Diese wurden in Textform ausführlich ausformuliert und beschrieben. Im Folgenden sind in Tabelle 3 die Kurzformen der Schlussfolgerungen beispielhaft für das erwartete Szenario aufgeführt.

Tabelle 3: Digitalisierte und nachhaltige Logistik – Projektionen und Folgerungen

Projektion 3	Im Jahr 2030 gewinnt die soziale und ökologische Nachhaltigkeit durch beispielsweise verbesserte Arbeitsbedingungen und Klimaneutralität zunehmend an Bedeutung für Logistikakteure**.**
Niedrig	System ist zu träge für Priorisierung und Veränderung
Hoch	Politischer Druck, Klimaziele Fachkräftemangel zwingt zur Auseinandersetzung mit sozialen Themen Gesellschaftliche Akzeptanz, Wettbewerbsfähigkeit, Differenzierung
Folgerung für 2030	Der politische und gesellschaftliche Fokus auf ökologische sowie soziale Nachhaltigkeit bewirken einen enormen Druck auf Logistikakteure und OEMs. Zunehmende Regularien, bestehende Klimaziele für 2030 und 2050, aber auch der Fachkräftemangel haben Unternehmen zu einer intensiven Auseinandersetzung mit dem Thema veranlasst. Nachhaltigkeit ist zu einem zunehmenden Differenzierungsmerkmal für Logistikdienstleister geworden und beeinflusst, wie Immobilien, Infrastruktur und Personal aufgestellt werden müssen. Unternehmen, die nicht in diese Richtung denken, bleiben nicht mehr wettbewerbsfähig und verschwinden vom Markt.
Projektion 10	Im Jahr 2030 erfolgt automatisiert eine Erfassung von Transport- und Umfelddaten sowie eine Übermittlung dieser Daten in Echtzeit entlang der gesamten Lieferkette. Dies ermöglicht eine lückenlose Verfolgung von Gütern (Tracking).
Niedrig	Für eine lückenlose Verfolgung noch zu viele kleine, nicht digitalisierte Akteure beteiligt Für Echtzeitübertragung keine ausreichenden Voraussetzungen vorhanden
Hoch	Bereits heute Tracking-Trend und Digitalisierungsfortschritt in Logistik erkennbar Steigende Kundenanforderungen hinsichtlich Transparenz Höhere Verfügbarkeit von Umfeld-Daten, Kommunikationskosten werden sinken
Folgerung für 2030	Steigende Kundenanforderungen hinsichtlich Transparenz, Service und Qualität haben die Bedeutung von Tracking von Waren weiterwachsen lassen. Im Bereich der Digitalisierung wurden große Fortschritte gemacht, sodass die höhere Verfügbarkeit von Umfeld-Daten sowie sinkende Hardware- und Datenübertragungskosten eine weite Verbreitung von automatisierter Verfolgung und Echtzeit-Tracking ermöglichen. An einer lückenlosen Verfolgung in der gesamten Lieferkette wird weiterhin gearbeitet.
Projektion 11	Im Jahr 2030 erfolgt die Koordination der Lkw auf dem Betriebshof automatisiert und digital. Die Be- bzw. Entladeposition, sowie die Route dorthin werden digital an den Lkw übertragen.
Niedrig	Zu viele kleine Firmen beteiligt, keine geschlossenen Systeme Bis 2030 erst Pilotanwendungen zu erwarten
Hoch	Für Logistikzentren und Betriebshöfe mit hohen Standardisierungsgrad pilotiert und geplant Teilweise bereits vorhanden und weitere technische Fortschritte beobachtbar Ist Voraussetzung für die Automatisierung der Transportkette

Folgerung für 2030	Im Zuge des Einsatzes automatisierter Fahrzeuge erfolgt die Koordination von Lkw auf Betriebshöfen für große Logistikzentren und Werke mit hohen Standardisierungsgrad automatisiert und digital. Der technische Fortschritt im Bereich der Digitalisierung hat effiziente Lösungen für automatisierte Routenplanungen in Echtzeit liefern können. Für viele kleine Betriebshöfe dauert die Umsetzung jedoch noch länger, da die automatisierte Koordination von Lkw auf Betriebshöfen eine spezifische Infrastruktur voraussetzt, welche diese noch nicht bieten.

Anmerkungen. Niedrig/Hoch = Beispielhafte Begründungen für hohe/niedrige WS-Bewertungen.

Darüber hinaus führte die MAN Truck & Bus SE Interviews mit drei technischen Experten im Bereich der Automatisierung durch. Ziel dieser Interviews war es herauszufinden, wie die technischen Rahmenbedingungen der Automatisierung im Jahr 2030 aussehen werden. Als grundlegendes Ergebnis dieser Interviews zeigte sich, dass es zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht genau abschätzbar ist, wozu ein automatisierter Lkw im Jahr 2030 technisch fähig sein wird. Ob das Fahrzeug nur auf der Autobahn oder auch auf dem Betriebshof und auf dem Streckenabschnitt zwischen Autobahn und Betriebshof automatisiert fahren kann, steht noch nicht fest. Dadurch müssen im weiteren Projektverlauf alle dieser Möglichkeiten betrachtet und in der Entwicklung der Szenarien berücksichtigt werden.

Synthese Workshops (AP1.4 / AP2.1)

Nachdem all diese Analysen durchgeführt, ausgewertet und aufbereitet wurden, galt es dann, diese Fülle an Informationen zu aggregieren und konkrete Szenarien für automatisierte Lkw in der Zukunft zu entwickeln. Hierfür arbeitete die MAN Truck & Bus SE in Zusammenarbeit mit dem Spiegel Institut einen Syntheseworkshop aus. MAN beteiligte sich hier an der Diskussion und der Vorbereitung der entsprechend benötigten Materialien und Unterlagen. Der Workshop wurde am 08. und 09.11.2021 beim Spiegel Institut in München durchgeführt. Es nahmen Mitarbeiter:innen von MAN, Spiegel Institut und der Uni Stuttgart teil. Im Rahmen dieses Workshops wurden zunächst die gesammelten Informationen der Mitfahrten, Werksanalysen und der Delphi-Studie vorgestellt. Die Tätigkeiten und Abläufe der einzelnen Mitfahrten und Werksanalysen wurden anhand ihrer Umfeldkomplexität (Routen, Regeln) und der Komplexität der Fahrerinteraktionen (manuelle Tätigkeiten + Kommunikation) bewertet und geclustert. Auf Basis dieser Bewertung ergaben sich drei Cluster, auf die jeweils unterschiedliche Mitfahrten und Werksanalysen einzahlen: „Vollautomatisierung möglich“ (Cluster 1), „Between-Hub Automatisierung möglich“ (Cluster 2) und „In-Hub-Automatisierung möglich“ (Cluster 3). Auf Basis dieser Cluster, der technischen Möglichkeiten der Automatisierung, des möglichen Aufenthaltsorts des Nutzers und der zukünftigen Rahmenbedingungen wurden im Workshop 4 Szenarien erarbeitet, die in Abbildung 11 dargestellt sind.

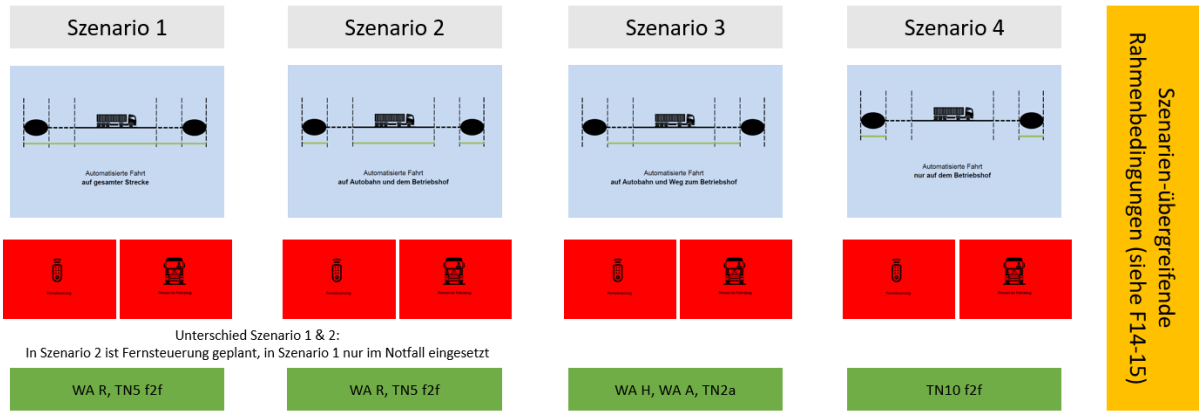

Abbildung 11: Erarbeitete Szenarien für automatisierte Lkw

(WA = Werksanalyse, TN = TeilnehmerIn, f2f = face-to-face-Erhebung, a = App-Erhebung)

Für jedes Szenario wurde dann der Fahrertätigkeitskatalog erneut betrachtet und erarbeitet, welche der heutigen Tätigkeiten und Prozesse unter den zukünftigen Rahmenbedingungen gleichbleiben, geändert werden müssen oder entfallen. Abbildung 12 zeigt eine beispielhafte Darstellung dieser Aufbereitung in Szenario 1.

Aufgaben	Entfällt		Muss geändert werden		Nicht ändern		Bemerkung/Idee	
Allgemeiner Ablauf	Änderungen müssen auf jeden Fall erfolgen, da kein Fahrer mehr vorhanden ist							
Fahrt zum Betriebshof								
Parken	manuelles Parken und Überblick verschaffen	manuelles Parken und Überblick verschaffen	automatische Einfahrt	automatische Einfahrt			Gefahr des Wandalismus, wenn Lkw unbeaufsichtigt steht O	
Anmeldung	Mitarbeiter und persönliche Anmeldung im Büro	Mitarbeiter und persönliche Anmeldung im Büro	digitale Informationsübertragung wo steht der Container	digitale Informationsübertragung bzgl. Abhol- und Abstellort OOO			Anmeldung/Fahrzeugerkennung nötig für Informationsübertragung + Schnittstelle	
				automatische Fahrzeugerkennung			digitale Papiere durch Vernetzung für alle Beteiligten einsehbar	

Abbildung 12: Auszug der geänderten Tätigkeiten in Szenario 1

Diese fundierten Szenarien sowie die Werksanalysen und die Ergebnisse der Delphistudie dienten im Anschluss als Grundlage für einen weiteren Workshop bei der MAN Truck & Bus SE zu den zukünftigen Nutzungsszenarien der Kabine automatisierter Lkw. Aufgrund der hohen Anzahl an Szenarien wurde die Bearbeitung auf zwei Halbtages-Termine aufgeteilt. Die Gruppe der Workshopteilnehmenden setzten sich jeweils aus je einer Person aus den Bereichen Produktstrategie, Spedition / Logistik, Automatisierungstechnik, Design und RUMBA-Projektteam zusammen.

In diesem Workshop wurden unter Berücksichtigung der aktuellen Tätigkeiten **(AP 1.2)** und der zukünftigen Rahmenbedingungen **(AP 1.3)** unterschiedliche Nutzungsmöglichkeiten für die Kabine automatisierter Lkw entwickelt **(AP2.1)**. Die teilnehmenden Expert:innen brachten hierfür die unterschiedlichen Blickwinkel ihrer Kompetenzgebiete mit ein. Im zweiten Schritt wurde definiert welche zukünftige Tätigkeit von welcher Person, bzw. welcher Rolle auszuführen sein wird. Ziel dieses Schritts war es sicher zu stellen, dass der Lieferprozess der Güter auf den Hubs in Zukunft weiterhin gewährleistet ist.

Somit wurden die zukünftigen Nutzer:innen für jedes Nutzungsszenario genau bestimmt und weiterhin erarbeitet, welche Anforderungen, Bedürfnisse und Wünsche diese an die Lkw-Kabine haben.

Folgende **Nutzungsmöglichkeiten für die Kabinen** resultierten aus dem Workshop:

Für Szenario 1 und 2 (Abbildung 11) wurde die Nutzungsmöglichkeit „Keine“ „Büro" und „Freizeit“ entwickelt.

- Keine: Wegfall der Kabine
- Büro: Ein Lkw-Innenraum, in dem man auf der Langstrecke hauptsächlich arbeitet. Nutzer:innen: Speditionsinterne Personen und/oder speditionsexterne Fahrgäste
- Freizeit: Insassen verbringen unterwegs vor allem ihre Freizeit in der Kabine.

  Nutzer:innen: Speditionsinterne Personen und/oder speditionsexterne Fahrgäste

Für Szenario 3 (Abb. 8) wurde das Konzept einer reduzierten Kabine für manuelle Fahrt entwickelt.

- Reduzierte Kabine: Reduzierter Fahrer-Arbeitsplatz für die manuelle Fahrt auf dem Hub. Während der Fahrt zwischen den Hubs ist keine Person im Fahrzeug anwesend. Die Lkw-Kabine ist stark verkleinert, wodurch Platz für weiteren Laderaum geschaffen werden kann oder der Lkw weniger Platz auf der Straße benötigt.

  Nutzer:innen: Lkw-Fahrer auf dem Hub

Bei Szenario 4 handelt es sich um den Sonderfall, dass Gefahrengut, z. B. Chemikalen, transportiert und umgeladen werden und sich die Fahrer:innen auf dem Hub daher nicht in der Nähe des Lkws aufhalten sollen. Da Lkw für Gefahrengut laut Expert:innen-Meinung einer der letzten Use Cases für Automatisierung sein wird, wurde Szenario 4 im weiteren Projektverlauf nicht weiter betrachtet.

Auf welchem Streckenabschnitt sich die identifizierten zukünftigen Nutzer:innengruppen im Lkw befinden ist in Abbildung 13dargestellt.

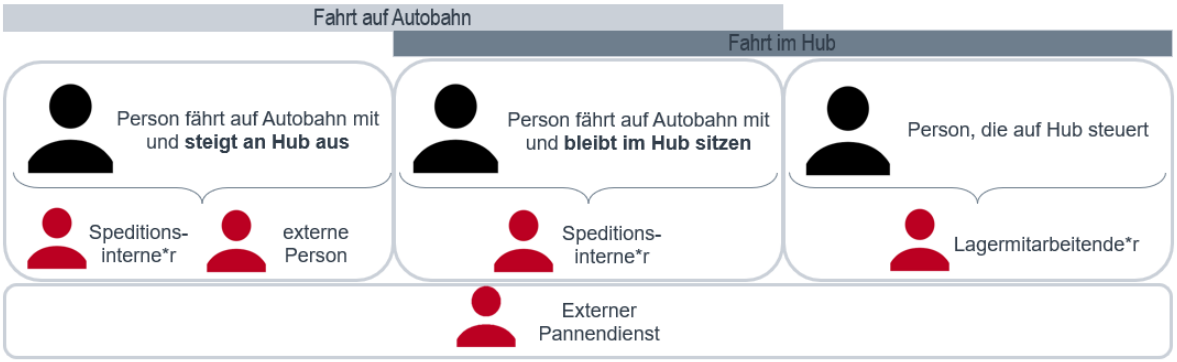

Abbildung 13: Erarbeitete Personengruppen für Hubs im Jahr 2030.

Weiterhin wurde im Workshop ein breites Spektrum an Tätigkeiten identifiziert, die die jeweiligen Personengruppen im zukünftigen Prozess übernehmen können (Tabelle 4).

Tabelle 4: Erarbeitete Aufgaben für Personen auf Hubs im Jahr 2030.

Personen	Aufenthalt	Beispielaufgaben
Personen auf Autobahn	Ausschließlich auf der Autobahn Sowohl Autobahn als auch Hub	Bürotätigkeiten für Spedition Planung von Touren und Logistikprozessen Essen
Person die auf Hub steuert	Ausschließlich auf dem Hub	Steuerung des Fahrzeugs auf dem Hub Beladung des Fahrzeugs Kontrolle der Fracht
Externer Pannendienst	Im Pannenfall ggfs. vor Ort	Zum Lkw fahren Lkw ans Ziel bringen Fernsteuerung des Lkw auf Kurzstrecke

Final wurden in dem Workshop potenzielle Nutzer:innenbedürfnisse und Inhalte für die jeweiligen Kabinenkonzepte diskutiert und zusammengefasst (Tabelle 5).

Tabelle 5: Erarbeitete Nutzerbedürfnisse in der Lkw-Kabine im Jahr 2030.

Kabine	Nutzerbedürfnisse und Kabineninhalte
Vollständige Kabine	Viel Stauraum (Gepäckablagen) TV Internet WC und Waschbecken Sitz
Reduzierte Kabine	Viel Stauraum (Gepäckablagen) Entladeequipment Sitz (Erholungsmöglichkeit) Gute Übersicht Ggf. Steuerungsmöglichkeit manuell / automatisiert
Keine Kabine	Außen-HMI

Durch den Workshop wurden erste Ideen für eine Kabinennutzung generiert, der zukünftige Prozess auf den Hubs strukturiert, sowie erste Nutzerbedürfnisse und künftige Nutzerprofile abgeleitet. Insgesamt wurde eine Grundlage geschaffen, um die Kabinenkonzepte weiter zu konkretisieren. Hierzu sollten im weiteren Schritt Nutzeranforderungen anhand entsprechender Zielgruppen gezielter erhoben werden.

Online-Befragung Nutzerbedürfnisse (AP1.3)

Da im vorausgehenden Workshop als Nutzungsmöglichkeiten der Kabine automatisierter Lkw auch Konzepte zum Personentransport erarbeitet wurden, führte die MAN Truck & Bus in Zusammenarbeit mit dem Spiegel Institut vom 08.04.-12.04.22 eine Online-Befragung zur Erhebung der Nutzungsanforderungen zukünftiger Fahrgäst:innen durch.

Aus den potentiellen Zielgruppen wurden zunächst drei Nutzergruppen zusammengefasst: "Freizeit", "Arbeitende" und "Lkw-Fahrer" (Tabelle 6). Durch Screeningfragen wurde die Teilnehmeranzahl von N = 114 gleichmäßig zwischen den drei Nutzergruppen verteilt (Freizeit: n = 40, Arbeitende: n = 37, Lkw-Fahrer: n = 37). Die Geschlechterverteilung zeigte sich in den Gruppen "Freizeit" (21 weibliche und 19 männliche Teilnehmende) und "Arbeitende" (20 weibliche und 17 männliche Teilnehmende) gleichmäßig verteilt. In der Gruppe "Lkw-Fahrer" waren es 30 männliche und 7 weibliche Teilnehmende.

Tabelle 6: Erwartete Nutzergruppen der jeweiligen Kabinenkonzepte.

Kabine	**Anwendung**	**Bereits existierende Zielgruppe**
Vollständige Kabine	Büro	Reisende mit Flugzeug, (Fern-)Bus oder Bahn die hauptsächlich unterwegs arbeiten
	Bus	Mitarbeitende auf einem Hub
	Freizeit	Reisende mit Flugzeug, (Fern-)Bus oder Bahn die hauptsächlich unterwegs ihre Freizeit verbringen
Reduzierte Kabine	Manuelle Fahrt	Mitarbeitende auf einem Hub oder Lkw-Fahrer die häufig Be- und Entladetätigkeiten durchführen
Keine Kabine	-	-

Die Befragung nach **durchgeführten Aktivitäten** (Abbildung 14) zeigte für Teilnehmende der Gruppen Büro und Freizeit Ausruhen, Musik hören und Lesen als die häufigsten Aktivitäten. Das Spielen von Video- und Gesellschaftsspielen hatte in beiden Gruppen eine geringere Häufigkeit. In der Gruppe Büro zeigten sich mehr Aktivitäten hinsichtlich arbeiten und Nachrichten schreiben. Für die Gruppe Lkw-Fahrer zeigten sich als häufig durchgeführte Tätigkeiten zum Beispiel Reinigungstätigkeiten, Ein- und Aussteigen oder Telefonieren.

In Bezug auf die **Bedürfnisse** zeigt sich in den Gruppen Freizeit und Büro der Bedarf nach Ruhe und Entspannung hoch. In der Gruppe Büro ist zudem der Wunsch nach beruflicher Produktivität vorhanden. In der Gruppe Lkw-Fahrer zeigte sich vor allem der Wunsch nach Ruhe, Entspannung, Essen, schneller Ablage sowie dem schnellen Finden von Gegenständen.

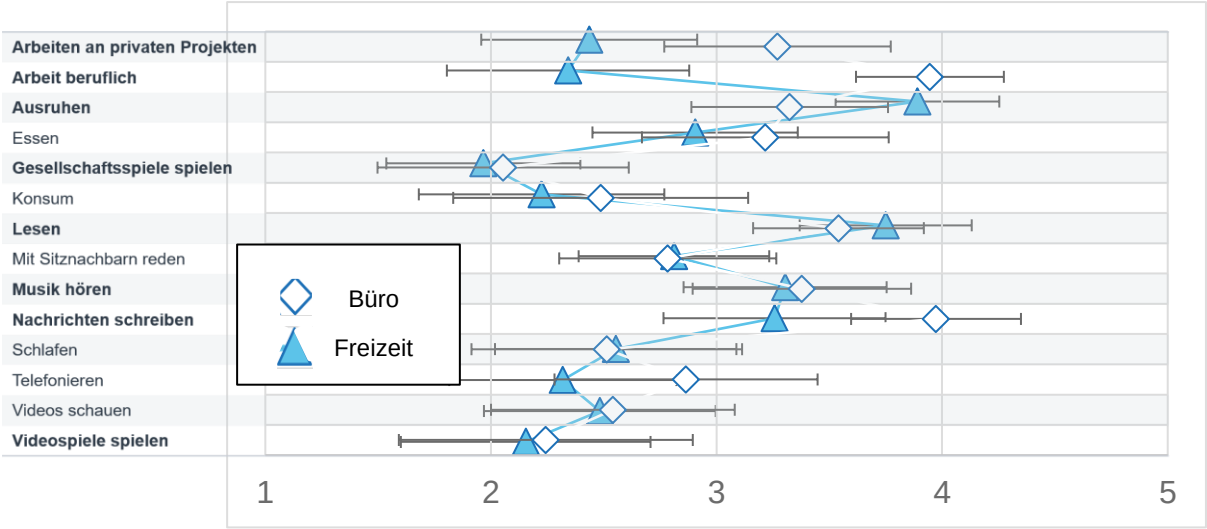

Abbildung 14: Am häufigsten durchgeführte Tätigkeiten Büro und Freizeit.

Bezüglich der Inhalte einer zukünftigen Kabine zeigte sich in den Gruppen Büro und Freizeit die Wichtigkeit von Ablagemöglichkeiten, der Möglichkeit aufzustehen, einer guten Internetverbindung und Beleuchtung, einer geringen Geräuschkulisse sowie der Veränderbarkeit der Sitzposition. In der Gruppe Büro zeigt sich zudem ein höherer Bedarf nach Stromanschlüssen (Abbildung 15). In der Gruppe Lkw-Fahrer zeigte sich erneut eine hohe Wichtigkeit, dass Dinge vom Sitzplatz aus erreichbar sind.

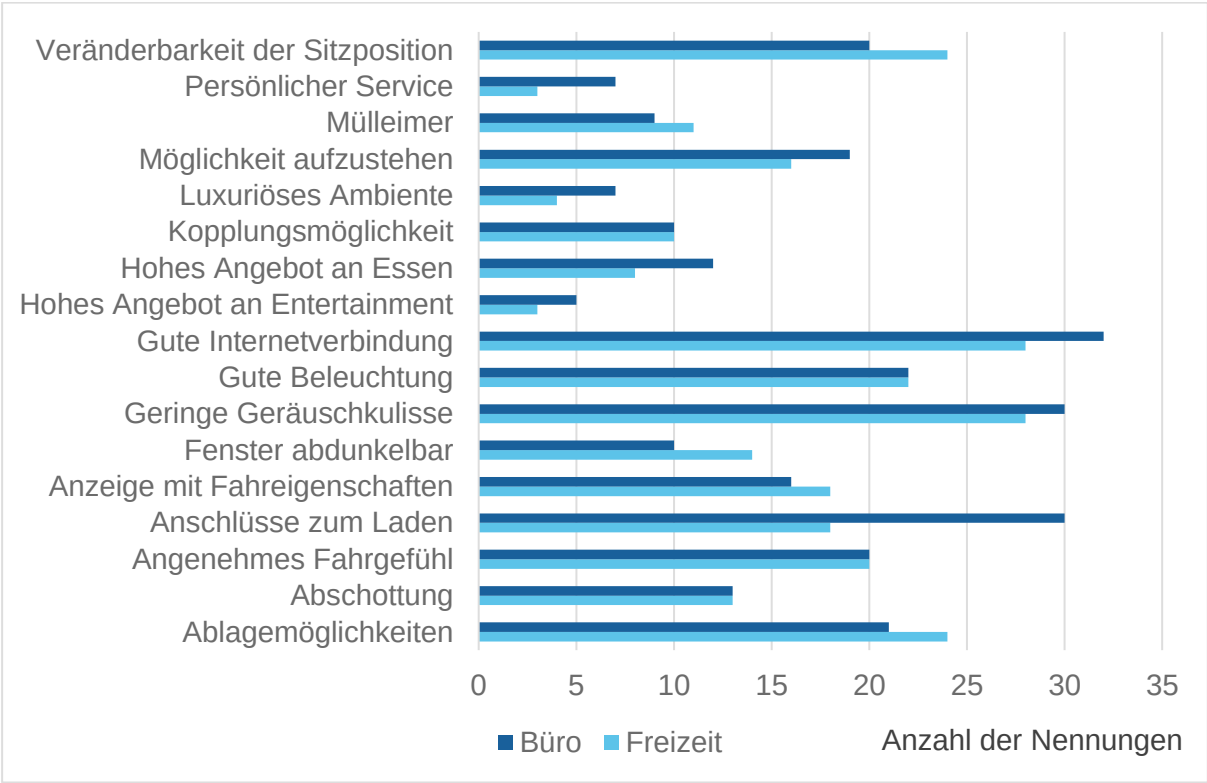

Abbildung 15: Häufigste Bedürfnisse in Büro und Freizeit.

Den Teilnehmenden dieser Online-Befragung wurden die unterschiedlichen Kabinenkonzepte schriftlich vorgestellt. Abschließend sollten sie angeben, ob eine Reise in einer solchen Kabine für sie vorstellbar ist. Die Ergebnisse sind in Abbildung 16 dargestellt.

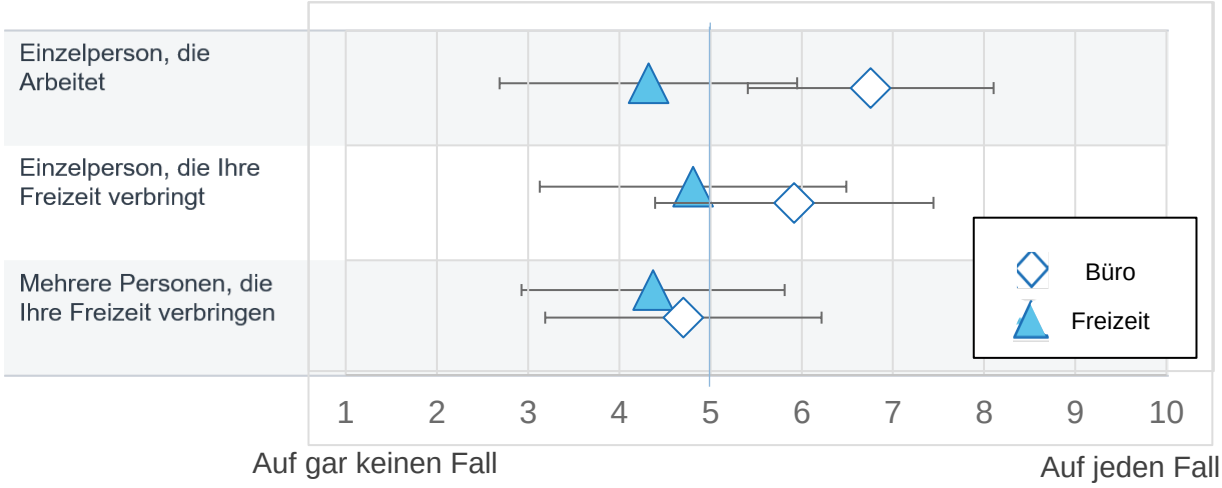

Abbildung 16: Bewertungen, ob eine Reise in der Kabine vorstellbar ist.

Insgesamt kristallisiert sich aus den Untersuchungen ein genereller Bedarf nach Ruhe, Entspannung und Komfort als zentrale Bedürfnisse während einer Reise heraus. Bestimmte Zielgruppen können sich auch vorstellen, während der Fahrt zu arbeiten. Die Ergebnisse geben Hinweise auf Ausstattungsmerkmale mit hoher Nachfrage wie ein WC, genügend Stromanschlüsse oder eine hohe Sitzverstellbarkeit. Bezüglich der zukünftigen Konzepte in Automationslevel 4 zeigte sich weder eine deutliche Zustimmung, noch eine deutliche Ablehnung.

3.2 Entwicklung (AP2), Realisierung (AP4) & Evaluation (AP5) neuer Innenraumkonzepte

Erstellung Personas (AP2.1)

Aus den Ergebnissen der Online-Befragung und des Workshops wurden im Anschluss sieben Personas erstellt (Übersicht siehe Tabelle 7), welche im Folgenden dargestellt sind und alle bis zu diesem Zeitpunkt erhobenen Ergebnisse zusammenfassen. Die Darstellung besteht jeweils aus Charakteristiken der Persona, dem relevanten Szenario, der Tätigkeiten im Kontext der Kabine, sowie Wünsche, Bedürfnisse, genutzte Gegenstände und daraus resultierenden Anforderungen an die Gestaltung der Lkw-Kabine.

Tabelle 7: Übersicht der entwickelten Personas.

Kabine	Verwendung	Persona
Vollständige Kabine	Büro	• Mirko Padutsch (Einzelperson vom Hub) • Agnes Rügle (Externe Geschäftsreisende)
	Bus	• Milan Stolca & Kolleg:innen (Mehre Mitarbeiter:innen des Hubs)

	Freizeit	• Roman Elisera (Externe Einzelperson) • Miriam Groß & Friends (Externe Gruppe)
Reduzierte Kabine	manuelle Fahrt	• Linus Becker (Hubmitarbeiter)
Alle Kabinen		• Carlos Rickert (Wartung der Lkw)

In Abbildung 17 ist die Persona Linus Becker dargestellt. Diese Persona ist für die manuelle Steuerung des Lkws auf dem Hub zuständig.

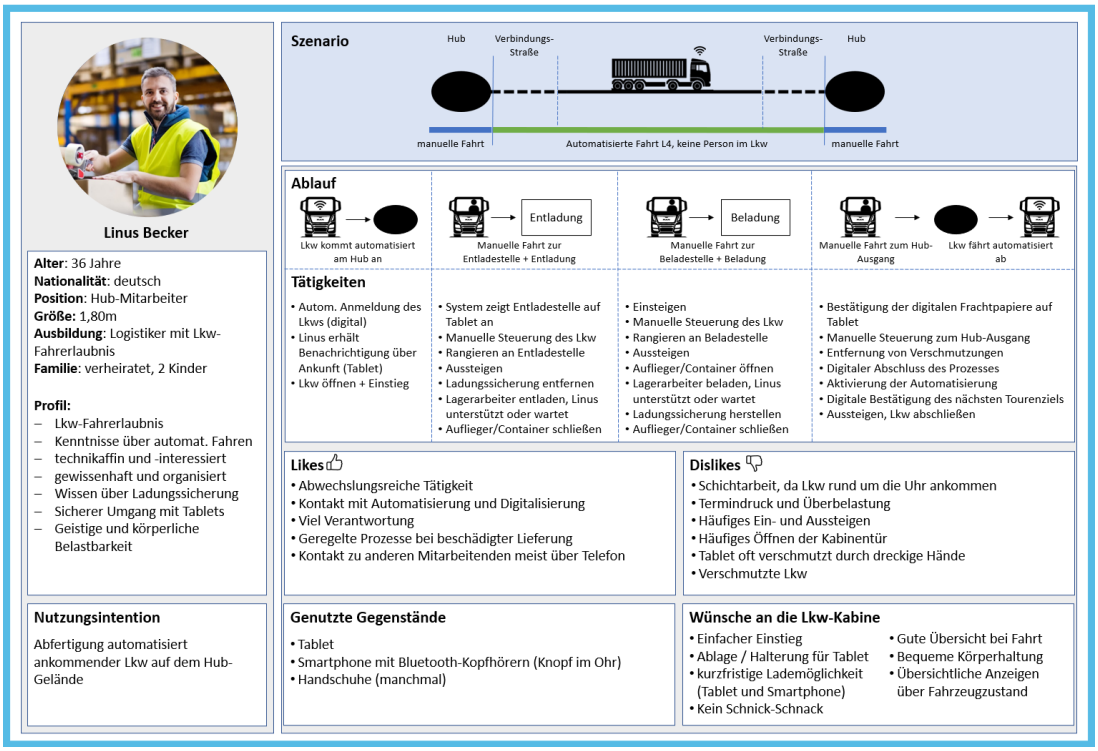

Abbildung 17: Persona Linus Becker

In Abbildung 18 wird die Persona Agnes Rügle vorgestellt, die die Kabine als externe Person zur Mitfahrt zwischen den Hubs zum Arbeiten nutzt.

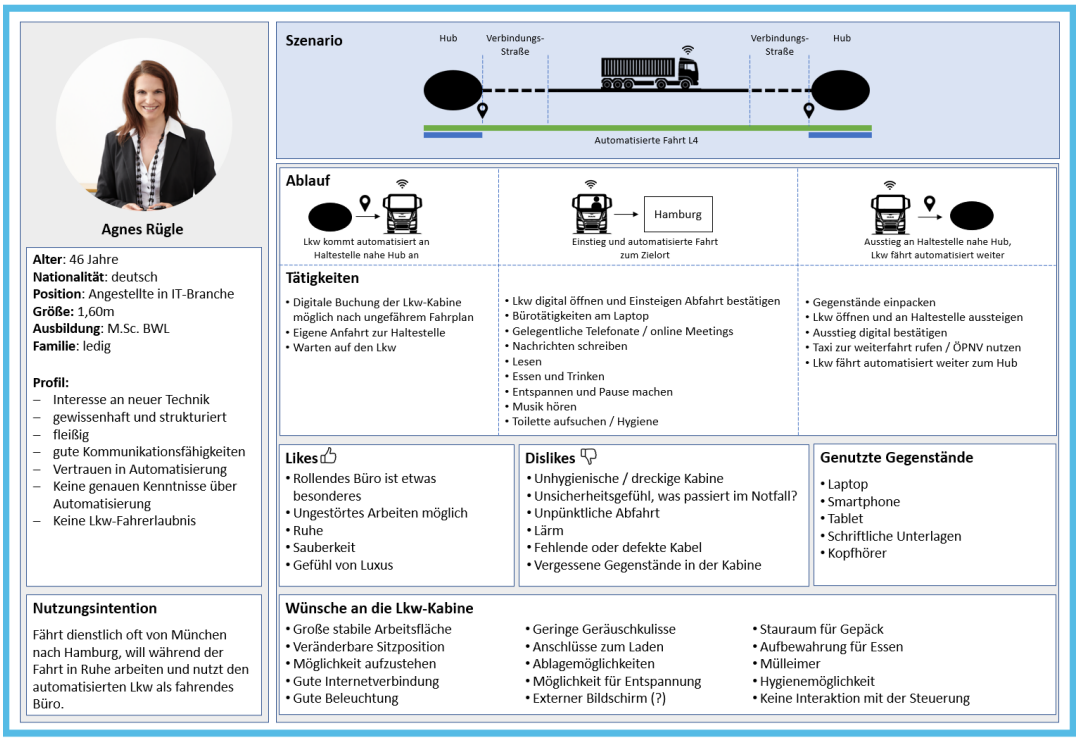

Abbildung 18: Persona Agnes Rügle

Abbildung 19 zeigt die Persona Mirko Padutsch. Diese Persona ist Leiter der Spedition, der den automatisierten Lkw betreibt. Mirko Padutsch nutzt die Kabine, um als interne Person als Passagier von Hub zu Hub mitzufahren und während der Fahrt zu arbeiten.

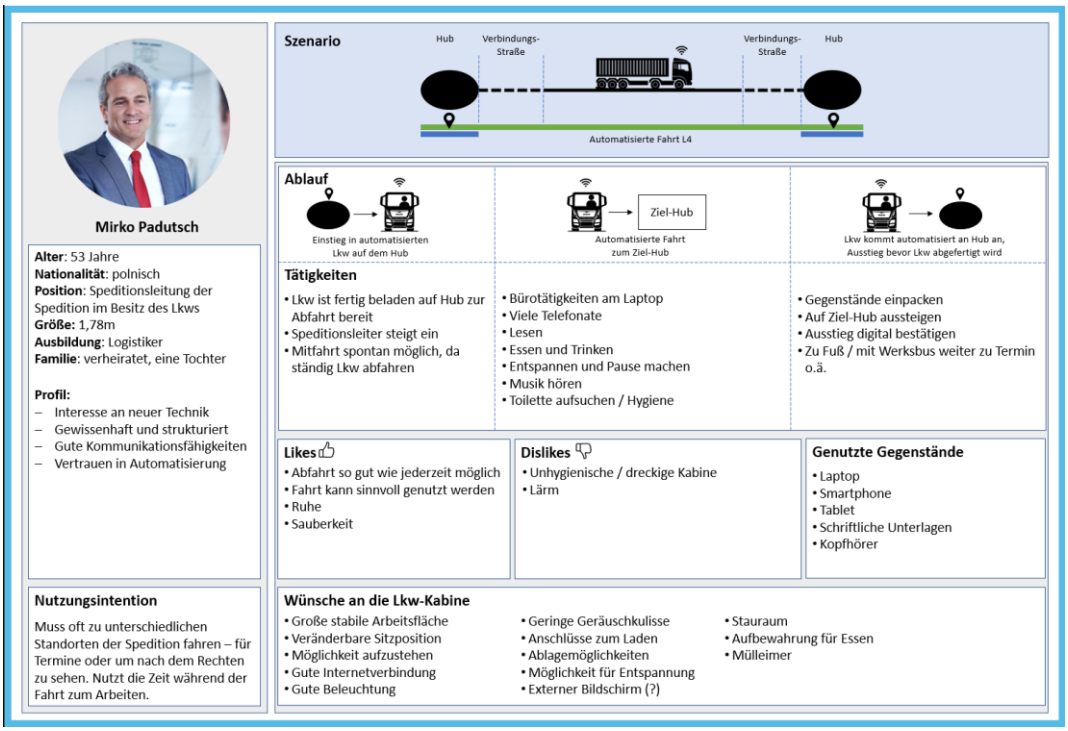

Abbildung 19: Persona Mirko Padutsch

Bei der nächsten Persona handelt es sich um Roman Elisera (Abbildung 20), der als externe Person als Passagier von Hub zu Hub im automatisierten Lkw mitfährt. Er nutzt die Kabine als eine private Reisemöglichkeit mit der Option während der Fahrt verschiedenen Tätigkeiten nachzugehen.

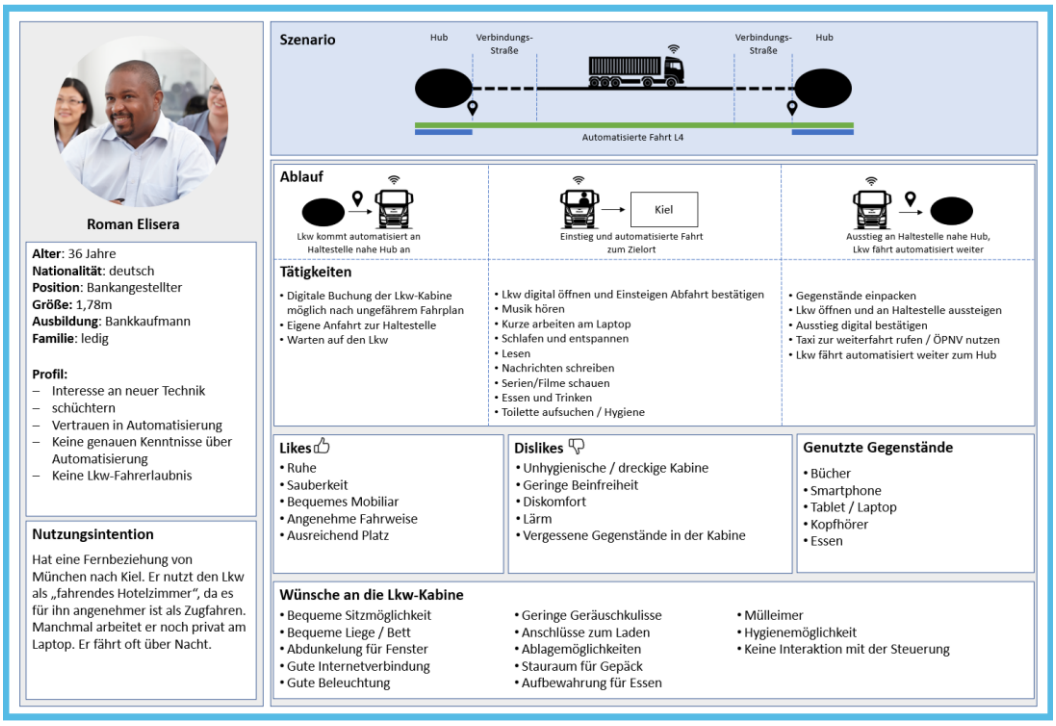

Abbildung 20: Persona Roman Elisera

Abbildung 21 zeigt die Persona Miriam Groß und ihre Freundesgruppe. Sie nutzen die Kabine, um als eine Gruppe in der Lkw-Kabine von Hub zu Hub mitzufahren und dabei ihre Privatsphäre zu genießen.

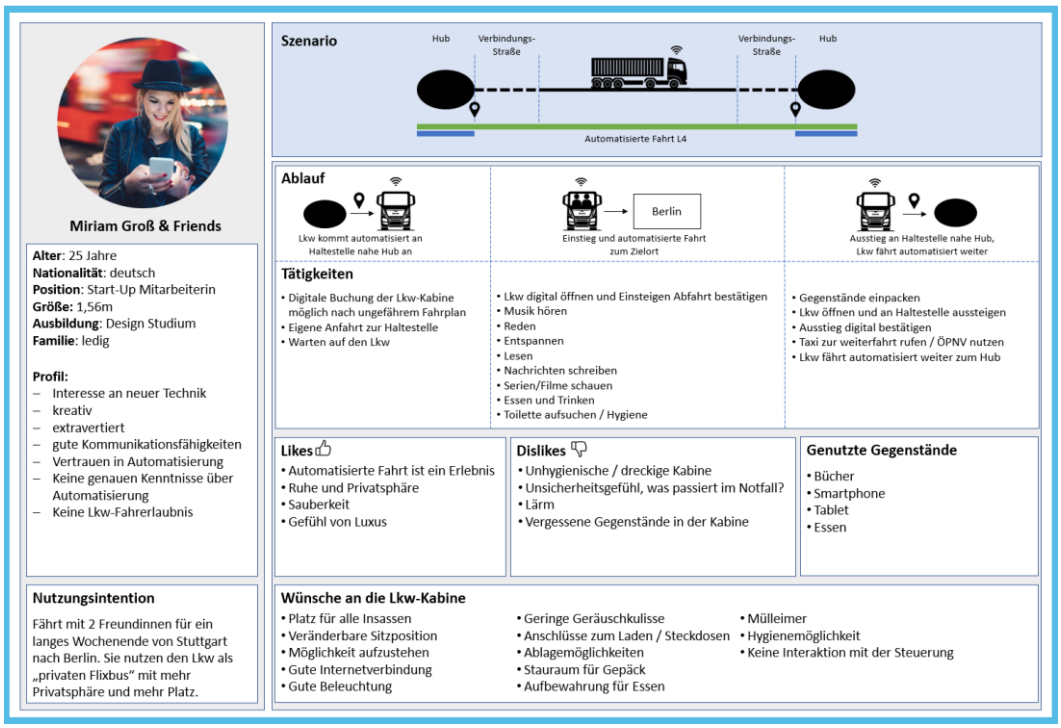

Abbildung 21: Persona Miriam Groß & Friends

In Abbildung 22 ist die Gruppe um Milan Stoica und seine Kolleg:innen zu sehen. Sie sind Mitarbeitende der Spedition, die den automatisierten Lkw betreibt und werden in der Kabine von Hub zu Hub transportiert, um dort ihrer Arbeit nachzugehen. Während der Fahrt gehen sie Tätigkeiten nach, die sie in einem normalen Shutlle-Bus auch tun würden.

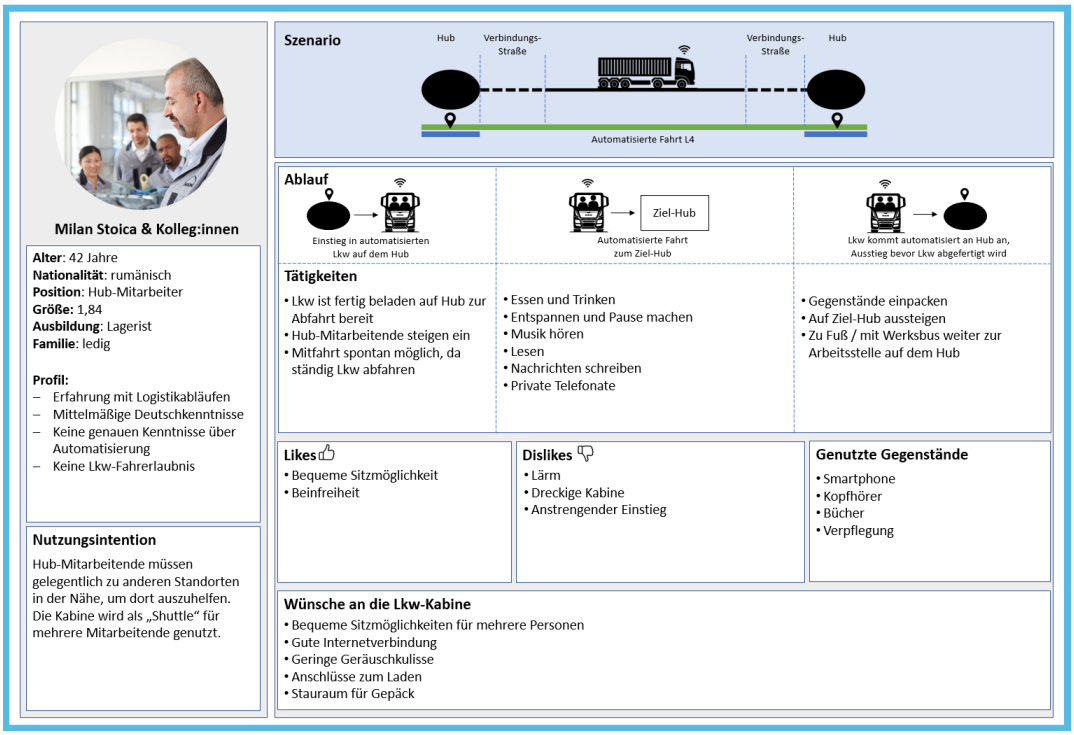

Abbildung 22: Persona Milan Stoica und Kolleg:innen

Abschließend beschreibt Abbildung 23 die Persona Carlos Rickert, welche das Personal, das für die Instanthaltung des automatisierten Lkws verantwortlich ist.

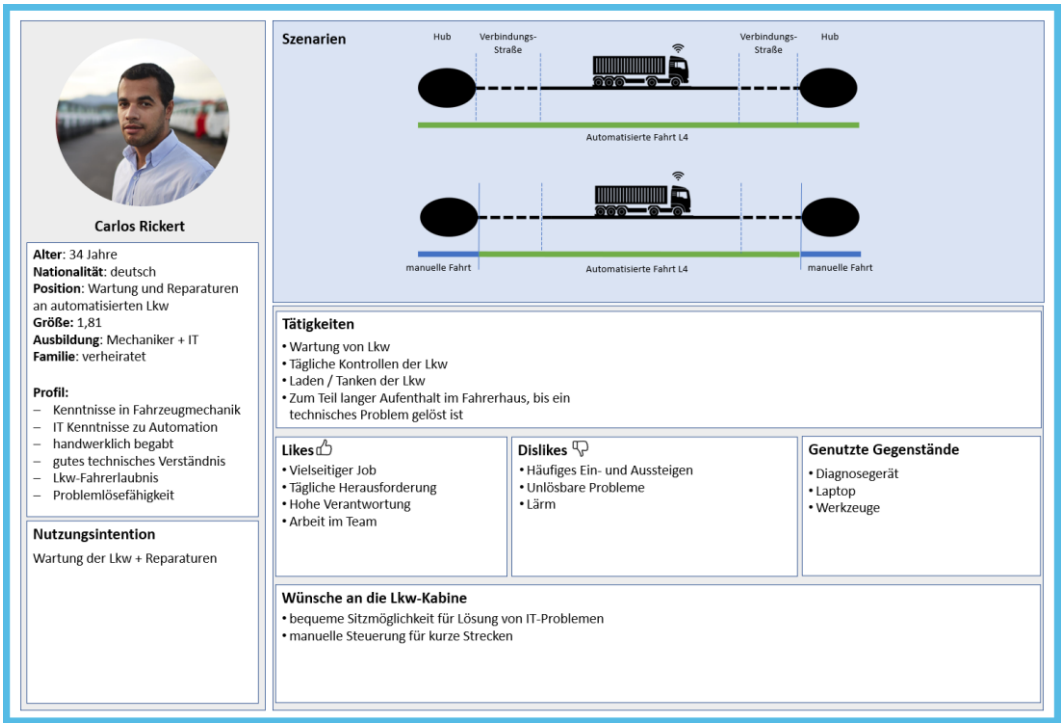

Abbildung 23: Persona Carlos Rickert

Workshop Konzeptionierung der Paper-Prototypes (AP 2)

Auf Basis der erstellten Personas wurde in einem Workshop mit 3 Expert:innen aus dem Bereich Design und Automatisierung erste Kabinenkonzepte visualisiert. Zu Beginn des Workshops wurden allen Teilnehmenden die sieben Personas und die zugehörigen zukünftigen Nutzungskontexte vorgestellt und erläutert. Auf Basis der verfügbaren Daten wurden zunächst Ideen über mögliche Konzeptinhalte diskutiert und diese anschließend zeichnerisch umgesetzt. Insgesamt entstanden daraus **6 Konzeptideen** (Abbildung 24). Im Anschluss wurden die Konzeptideen von Designern der MAN digitalisiert.

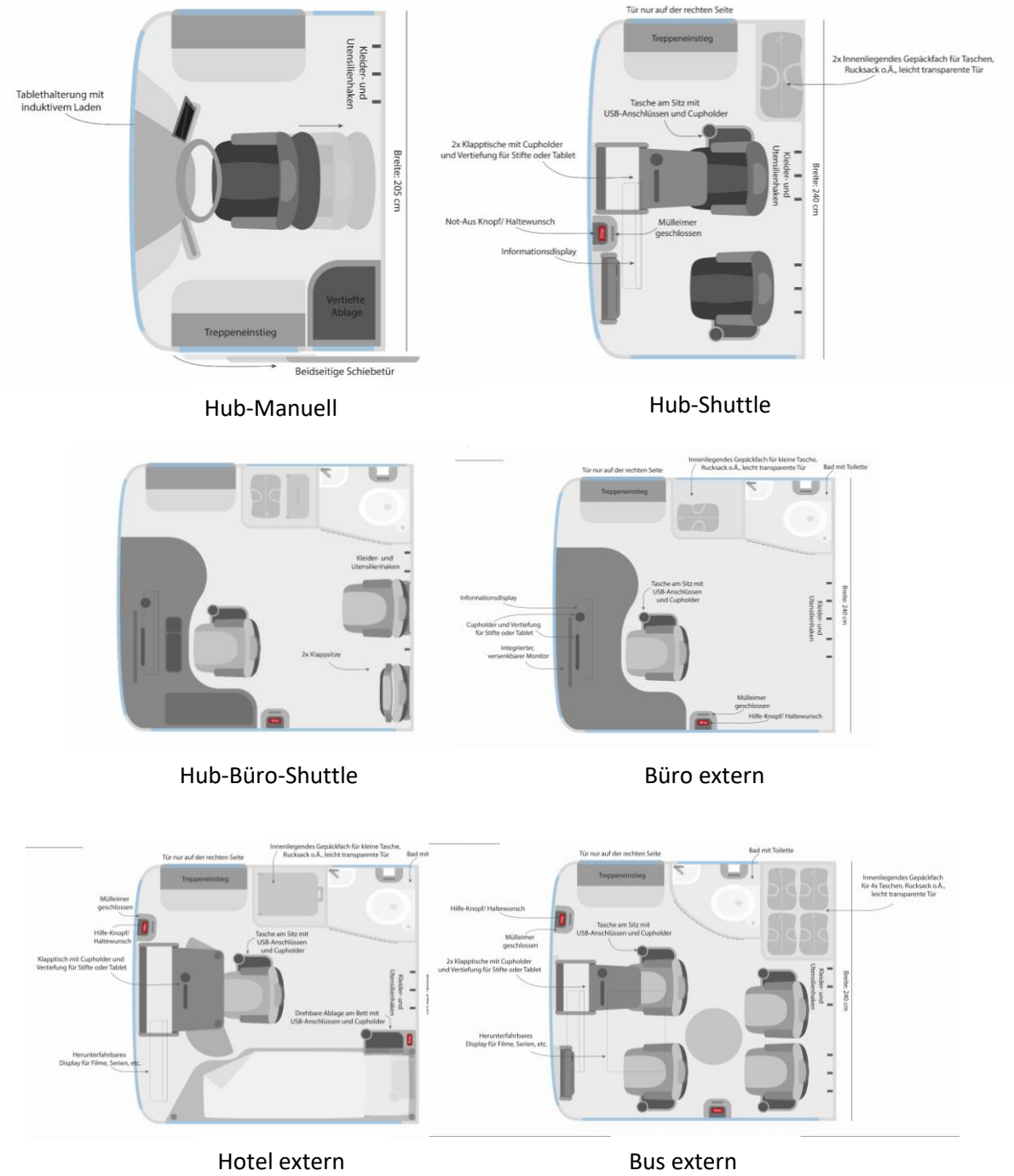

Abbildung 24: Paper-Prototypes der Kabinenkonzepte

Für ein besseres Verständnis wird im Folgenden auf eine chronologische Beschreibung der Tätigkeiten und Ergebnisse der der Arbeitspakete 2, 4 und 5 verzichtet. Anstatt dessen werden die Schritte zur Entwicklung (AP 2, 4, 5) für jedes Konzept gemeinsam berichtet.

3.2.1 Konzept Hub-manuell

Das Kabinenkonzept Hub-manuell wurde für ein Szenario entwickelt, in dem die Fahrt zwischen den Hubs automatisiert erfolgt und sich auf dieser Strecke somit keine Person mehr im Fahrzeug befindet. In diesem Szenario ist die automatisierte Fahrt auf dem Hub-Gelände jedoch nicht möglich und der Lkw muss auf diesem Teil der Strecke manuell durch eine Person im Fahrzeug gesteuert werden.

Paper-Prototyp (AP 2)

Der im Workshop (AP2) erarbeitete Paper-Prototyp ist in Abbildung 25 dargestellt. Die erste Konzeptidee umfasst dabei folgende Punkte:

- **Mood**: schlicht, radikal auf beste Sicht und Ein-Ausstieg ausgelegt, Oberflächen rutschfest & leicht zu reinigen
- **Maße**: kleine Kabine, Höhe: 210cm Stehhöhe, Seiten: B = 205cm, L=150cm oder je nach Bedarf
- **Einstieg**: Treppe ins Fahrzeug, niedrige Höhe, Schiebetür auf beiden Seiten
- **Fenster**: Ähnlich zu heute, Umsicht muss gegeben sein
- **Ausstattungsmerkmale**: Steuerungselement (Lenkrad), Gas + Bremse mittig in der Kabine, Umsicht muss gegeben sein, Möglichkeit im Anlehnen und Sitzen zu steuern → Klappsitz?, Eine Ablage für Tablet, inkl. induktivem Laden, ohne viel Fummelei, Tablet ist von Fahrposition aus sichtbar, reduziertes HMI (Geschwindigkeit)

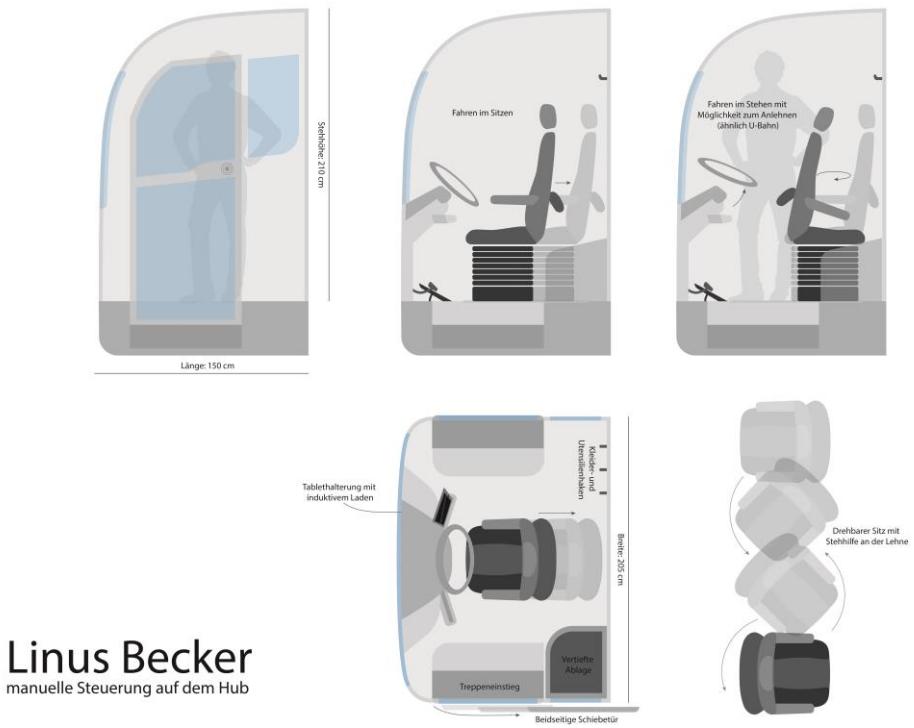

Abbildung 25: Paper-Prototyp Kabinenkonzept Hub-manuell

Evaluation Paper-Prototyp (AP 5)

Für die Evaluation des Paper Prototyps Hub-manuell wurden Expert:innen aus der Logistikbranche rekrutiert und in einem einstündigen Online-Interview zu den Konzepten befragt. Die Stichprobe beinhaltete Expert:innen aus den Bereichen Inbound Logistik (2), Intralogistik (2), Spedition (2) und Transportplanung (1). Der Mittelwert bei der Altersverteilung lag bei M = 44.28 Jahren (SD = 7.11) im Bereich von 31-51 Jahren. Die Berufserfahrung lag im Mittel bei 19 Jahren (SD = 8.7) in einem Bereich von 8-30 Jahren. In der Studie wurden den Expert:innen die Konzepte und das zukünftige Einsatzszenario der jeweiligen Kabine ausführlich präsentiert. In Anschluss an jede Konzeptvorstellung folgten Fragen zu Komfort, Sicherheit, positiven und negativen Aspekten, benötigten Informationen, gewünschtem Fahrverhalten, Vor- und Nachteile im Vergleich zu anderen Transportmitteln, Probleme und Verbesserungsvorschläge für die Kabine.

Die Expert:innen sind sich einig, dass das Kabinenkonzept den zukünftigen Arbeitsablauf unterstützt. Weiterhin hält die Mehrheit der zu diesem Konzept befragten Expert:innen die Realisierung des Konzepts für wünschenswert. Gegenstimmen beinhalteten das Argument, dass automatisierte Lkw nicht durch manuelle Tätigkeiten besetzt werden sollten. Die Mehrheit der Expert:innen hält das Konzept jedoch für einen guten Anfang automatisierte Lkw in die Hub-Prozesse zu integrieren. Weitere Ergebnisse sind Tabelle 8 zu entnehmen.

Tabelle 8: Ergebnisse der Evaluation

Abschnitte	Ergebnisse
Erster Eindruck	positiv • Zweckmäßig, funktionell (7) • Tiefer, einfacher Treppeneinstieg (5) • Kleine Kabine = mehr Platz/Gewicht für Güter (3) • Schiebetür, da weniger Gefahrenpotential (2) verbesserungswürdig • Steh-Möglichkeit nicht nötig (2) • Optionaler Klappsitz zusätzlich wünschenswert (2)
Tätigkeiten	• Alle relevanten Tätigkeiten können in der Kabine ausgeführt werden (4)
Potenzielle Probleme	• Rundumsicht muss gegeben sein, viel Glas und unterstützende Systeme einbauen (1)
Komfort	• Ausreichend, da Verweildauer + Strecke im Fzg gering (6) • Zweckgemäß (2) • Klimaanlage/Heizung wird benötigt (5) • Radio wird benötigt (2) • Getränkehalter benötigt (2)
Benötigte Informationen	• Geschwindigkeit (5) • Be-/Entladestellen (3) • Informationen zur Ladung (3)

Weiterentwicklung des Konzepts (AP 2)

Auf Basis der gewonnenen Erkenntnisse ergaben sich für das Konzept Hub-Manuell folgende Aspekte, die beibehalten werden können, Änderungen sowie Richtlinien für das Styling (Tabelle 9). Auf Basis dieser Aspekte wurde das Konzept weiterentwickelt und anschließend in VR umgesetzt.

Tabelle 9: Änderungen nach Evaluation des Paper-Prototyps

Hub-Manuell	**Keep**	• Sliding doors on both sides • Hooks for jackets • Driver Seat • Tablet holder
	Styling	• Easy to clean • Functional
	Open Questions	• How are excavators steered? Can we transfer this into the truck cabin for the joysticks?
	Changes	• Electric Drive → Low cabin, remove stairs • Add something on the roof for aerodynamics • Additional folding seat • No turning of the chair • Opening the car with tablet → individual seating preferences adjust automatically • External mirrors are replaced with cameras → Displays inside the cabin • Add Cupholder • Doors can stay open during manual drive • Dashboard for displaying the current velocity of vehicle • Add Radio, Temperature adjustment (heating / air-con) → Preset preferences with AI (same as seating position)
	Size of Cabin	• Reduced in length, not width • As big as necessary for driver, as small as possible

Umsetzung in VR (AP 4)

Das weiterentwickelte Konzept wurde in VR umgesetzt (siehe Abbildung 26). Im Rahmen dieser Umsetzung wurde auch das Styling des Konzepts aus der Designperspektive entwickelt und umgesetzt.

Abbildung 26: VR-Prototyp des Konzepts Hub-manuell

VR-Evaluation (AP 5)

Ziel der Studie war es, weiteres Nutzer:innen-Feedback zum neuen Kabinenkonzept zu erhalten, um die Weiterentwicklung der Kabine optimal zu gestalten. Es wurde untersucht, wie gut die Kabine für den zukünftigen Einsatz geeignet ist und an welchen Stellen noch Verbesserungspotenzial liegt. Darüber hinaus wurde betrachtet, ob aus Nutzer:innensicht das neue Kabinenkonzept für den zukünftigen Einsatz besser geeignet ist als eine aktuell verfügbare Kabine für den Verteilerverkehr. Das Erleben beider Konzepte in VR macht es für die Nutzer:innen im Vergleich zu den Paper-Prototypes realistischer und hilft dabei, sich in die zukünftige Situation hinein zu versetzen und die Konzepte valide zu bewerten.

Der Versuchsablauf ist in Abbildung 27 dargestellt. Zu Beginn erhielt jede teilnehmende Person eine Einweisung in die Hintergründe und den Ablauf der Studie. Weiterhin wurde ihnen das zukünftige Einsatzszenario und der damit zusammenhängende zukünftige Arbeitsablauf genau erklärt. Im Anschluss an eine kurze Vorbefragung konnten sich die Teilnehmenden mit VR und dem Versuchsaufbau vertraut machen. Daraufhin erlebten die Teilnehmenden in randomisierter Reihenfolge das neue und das aktuelle Kabinen-Konzept in VR. Während Sie die VR-Brille aufhatten, wurden Sie durch die Versuchsleitung Schritt für Schritt durch ihren zukünftigen Arbeitsablauf auf dem Hub geführt und bei jedem Schritt zum erlebten Konzept mündlich interviewt. Nach jedem erlebten Konzept wurde außerdem ein Fragebogen ausgefüllt. Abschließend wurden die beiden erlebten Konzepte miteinander verglichen und erneut bewertet, bevor die Versuchsperson verabschiedet wurde.

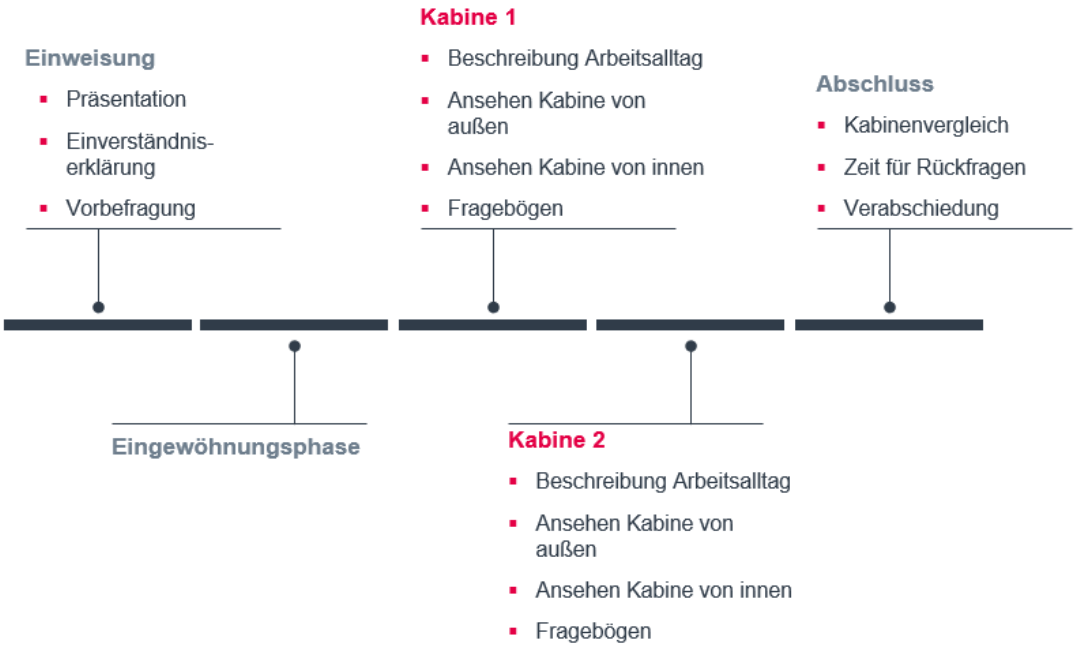

Abbildung 27: Versuchsablauf VR Evaluation Hub Manuell

Die Studie fand im November und Dezember 2022 bei MAN Truck & Bus statt und dauerte im Durchschnitt ca. 2 Stunden. Der Versuchsaufbau ist in Abbildung 28 zu sehen.

Abbildung 28: Aufbau VR Evaluation Hub Manuell bei MAN Truck & Bus

An der VR-Studie nahmen insgesamt 30 Lkw-Fahrer:innen teil, 27 davon männlich, 3 weiblich. Der Altersdurchschnitt lag bei 49 Jahren und die Versuchspersonen legten jährlich durchschnittlich 43.613 km mit dem Lkw zurück. Die Hauptsegmente der Versuchspersonen verteilten sich auf die Bereiche Verteilerverkehr (37%), Langstrecke (20%), Baustelle (23%) und Sonstiges (20%).

Das Experiment bestand aus einem within-subject Design mit der unabhängigen Variablen (UV) Kabinendesign, also die neu entwickelte Kabine vs. die aktuelle Vergleichskabine. Alle Versuchspersonen betrachteten somit beide Kabinendesigns. Um Reihenfolgeeffekte auszubalancieren, wurde die Dar-

stellungsreihenfolge der Kabinen randomisiert. Um die Kabine möglichst detailliert bewerten zu können, ging die Versuchsleitung den zukünftigen Arbeitsablauf mit den Versuchspersonen Schritt für Schritt mittels Storytelling durch, während diese die Kabine in VR betrachteten.

Bei jedem Schritt sollten die Teilnehmenden die Kabine unter den jeweiligen relevanten Aspekt betrachten und dabei ihre Gedanken laut aussprechen (Thinking aloud) und die Fragen der Versuchsleitung beantworten. Bei den gestellten Fragen handelte es sich unter anderem um die Bewertung der Eignung des Kabinenkonzepts für den jeweiligen Arbeitsschritt, die Identifikation von möglichen Problemen und Verbesserungspotenzial sowie um spezifische Aspekte der einzelnen Arbeitsschritte. Im Anschluss füllten die Teilnehmenden Fragebögen zur Erfassung der affektiven Reaktion (mittels „Self-Assessment Manikin Scale“ (SAM) gem. Drei-Faktoren-Theorie der Emotionen von Mehrabian und Russell (1974)), der Presence (Slater et al. (1994)) sowie der Eignung der Kabinen für den Einsatzzweck für die jeweilige Kabine aus. Nach der Bewertung der zweiten Kabine folgte die Abschlussbefragung.

Ergebnisse

Affektive Reaktionen

Die affektiven Reaktionen auf die beiden Kabinenkonzepte auf den drei Dimensionen Valenz, Erregung und Kontrolle zeigen deskriptiv betrachtet nur geringe Abweichungen voneinander. Ein zweiseitiger Wilcoxon-Vorzeichen-Rang-Test ergibt, dass sich die Mediane der einzelnen Dimensionen des SAM zwischen den beiden Kabinenkonzepten nicht signifikant voneinander unterscheiden (s. Abbildung 29).

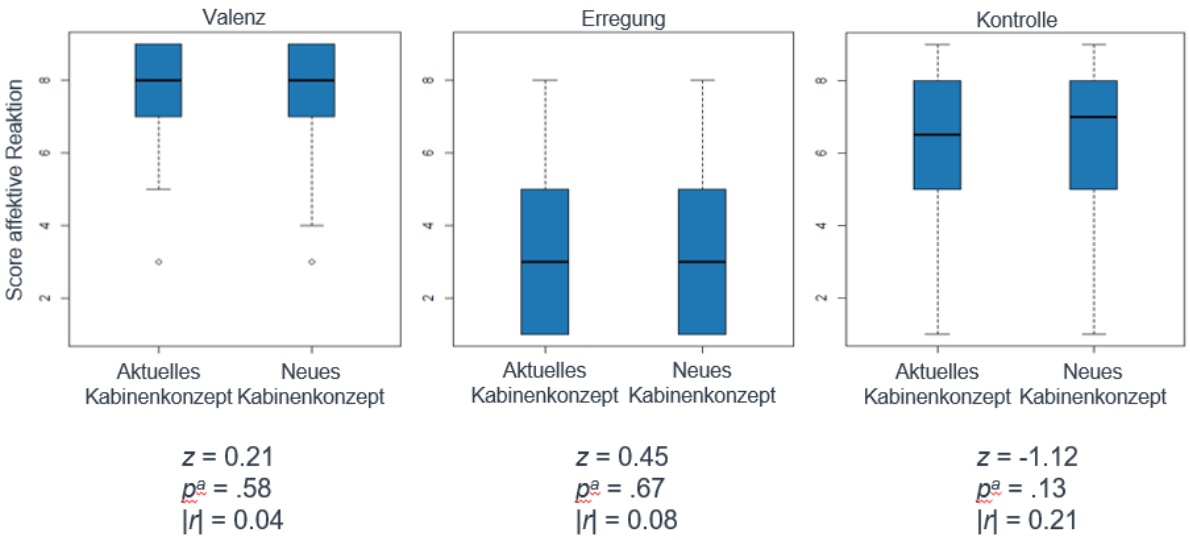

Abbildung 29: Deskriptive Darstellung und inferenzstatistischer Vergleich affektiver Reaktionen

Eignung

Ein t-Test für gepaarte Stichproben weist darauf hin, dass das neue Kabinenkonzept (Hub-manuell) für den zukünftigen Arbeitsablauf signifikant besser geeignet ist ($t(29) = -2.5$, $p < .02$, $d = 0.46$).

Weiterhin zeichnet sich in den deskriptiven Daten ein Reihenfolgeeffekt ab (s. Abbildung 30). Das aktuelle Kabinenkonzept wird als besser geeignet bewertet, wenn es zuerst betrachtet wird ($M = 3.87$, $SD = 3.68$). Wenn zuerst das neue Konzept betrachtet wird, wird das aktuelle Konzept als geringer

geeignet bewertet (M = 1.07, SD = 5.26). Bei der Bewertung des neuen Konzepts zeigen sich lediglich geringe Unterschiede. Die Gruppe, die die aktuelle Kabine zuerst bewertet, bewertet das neue Konzept etwas besser (M = 5.8, SD = 3.63) als die Gruppe, die zuerst die neue Kabine ansieht (M = 3.13, SD = 4.49).

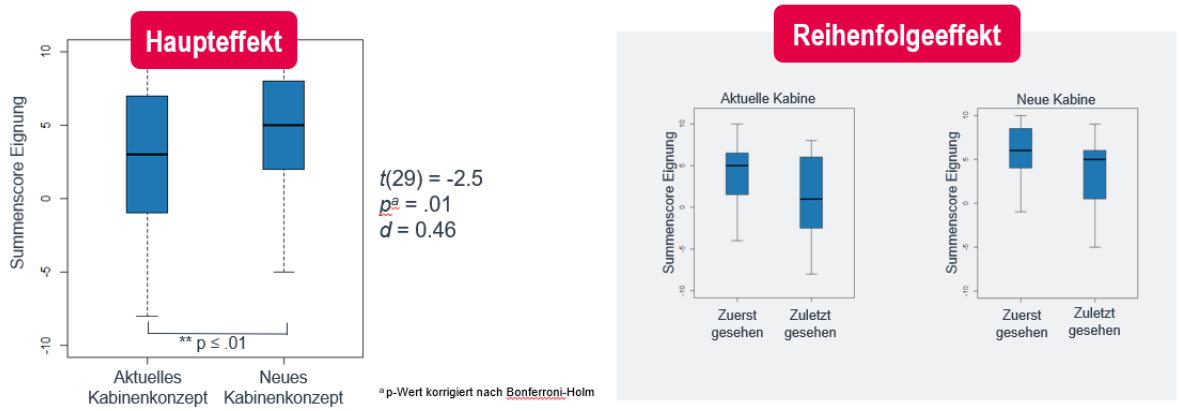

Abbildung 30: Deskriptive Darstellung der Eignungsbewertung.

Um einen genaueren Vergleich der beiden Kabinen zu ermöglichen, wurde nach jedem der sieben Arbeitsschritte erfragt, für wie geeignet die Kabine gehalten wird. In Abbildung 31 ist zu erkennen, dass das neue Kabinenkonzept (deskriptiv) für jeden Arbeitsschritt besser bewertet wird als das aktuelle. Als häufigster Grund für die gute Bewertung der neuen Kabine wird ihre Eignung für diesen Einsatzzweck genannt, gefolgt von ihrem modernen und schönen Aussehen. Die aktuelle Kabine wird zwar als gewohnt und auch geeignet bezeichnet, meist aber einfach als normale Kabine betitelt.

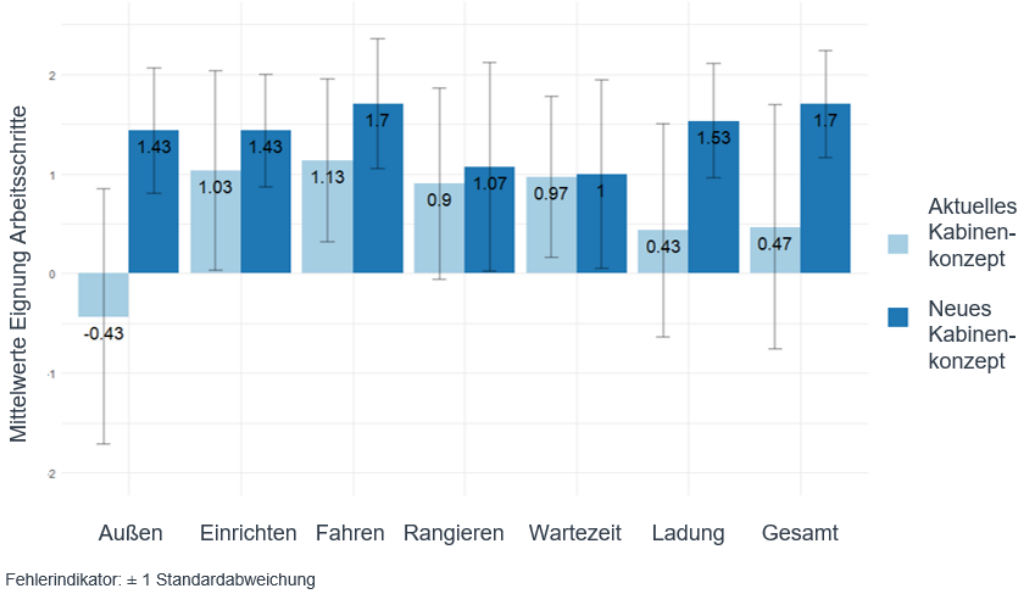

Abbildung 31: Eignung der Kabinenkonzepte für die einzelnen Arbeitsschritte.

Qualitative Ergebnisse

Aufgrund des Umfangs der vorliegenden Ergebnisse wird hier nur ein Ausschnitt berichtet. Die am häufigsten genannten positiven Aspekte des Kabinenkonzepts Hub-manuell beziehen sich hauptsächlich auf den niedrigen und komfortablen Einstieg (23), die Eignung für den Einsatz auf dem Hub (15), das moderne Aussehen (13) und die gute Übersicht in der Kabine (11). Als Probleme wurden am häufigsten fehlende Ablageflächen (26), zu kleine Displays des Spiegelersatzsystems (25) genannt, sowie der Punkt, dass es in diesem Konzept nicht mehr möglich ist beim Rangieren den Kopf aus dem Fenster zu strecken (10). Als Verbesserungsvorschläge wurden unter anderem ein zusätzlicher Getränkehalter (20), Haltegriffe für den Ein- und Ausstieg (16), ein weiteres Display / HUD für fahrrelevante Informationen (15), sowie eine Rückfahrkamera (12) und Verdunkelungsmöglichkeiten für die Scheiben (10) genannt.

Im direkten Vergleich der beiden Kabinenkonzepte entschieden die Teilnehmenden zu 90%, dass die neue Kabine für den zukünftigen Arbeitsablauf geeigneter ist, also die aktuell verfügbare Kabine. Als Gründe wurden hier hauptsächlich der bessere Ein- und Ausstieg, die gute Übersicht und der verfügbare Platz in der Kabine genannt. Aus eben diesen Gründen gefällt 60 % der Befragten das neue Kabinenkonzept besser, als das aktuell verfügbare. Bei den 40%, die sich für das aktuelle Kabinenkonzept entscheiden haben, spielt hauptsächlich die Gewohnheit und das gemütliche Gefühl eine Rolle.

Zusammenfassend zeigen die Ergebnisse dieser Studie, dass die affektive Reaktion auf die beiden Kabinenkonzepte sich nicht voneinander unterscheiden. Der ausbleibende Unterschied könnte jedoch von der gewählten Methodik maskiert sein. Es ist möglich, dass die Nutzung von VR selbst individuelle affektive Reaktionen bei den Versuchspersonen hervorgerufen hat. Manche Personen gaben an bei der Nutzung von VR Spaß zu haben, andere fühlten sich während der Nutzung etwas unwohl oder hatten keinen Spaß dabei. Die Nutzung von VR könnte also auch allgemein die affektive Reaktion in beide Richtungen beeinflussen.

Bezüglich der Eignung für den zukünftigen Arbeitsalltag wurde das in RUMBA entwickelte Kabinenkonzept signifikant besser bewertet als das aktuell bereits verfügbare Kabinenkonzept. Der berichtete Reihenfolgeneffekt sowie die generelle Eignung der aktuellen Kabine für den zukünftigen Arbeitsablauf könnte jedoch auch darauf hinweisen, dass eine neue Kabine nicht unbedingt notwendig ist. Aus Sicht der Nutzer:innen ist diese jedoch definitiv wünschenswert. Im Verlauf der Studie konnten außerdem einige Vorschläge zur Verbesserung des Modells gesammelt werden.

Das Konzept kann nun auf Basis der erlangten Ergebnisse dieser Studie weiterentwickelt werden und in einer weiteren Iteration mit Hilfe eines Mock-Up-Aufbaus weiter evaluiert werden.

Weiterentwicklung in VR (AP 2)

Im Anschluss sichteten zwei Expertinnen die Ergebnisse und beurteilten/priorisierten diese hinsichtlich der vorzunehmenden Veränderungen am VR-Prototypen. Im Folgenden ist aufgeführt, welche Änderungen anschließend vorgenommen wurden. Das finale VR-Konzept ist in Abbildung 32 zu sehen.

- Angepasstes Design
- Front ab Dashboard blickdicht
- Cupholder
- Zusätzliche rutschfeste Ablageflächen
- Head-Up-Display für fahrrelevante Informationen
- Größere Spiegelersatz-Displays
- Haltegriffe am Einstieg

Abbildung 32: Finale Version des VR-Prototyps Konzept Hub Manuell

Umsetzung im modularen Prüfstand (AP 4)

Im letzten Schritt des Projekts wurde eine finale Ausarbeitung des Konzepts Hub-Manuell erstellt, in einem modularen Prüfstand (MockUp) aufgebaut und evaluiert. Dabei sollte das zu diesem Zeitpunkt rein auf den Nutzer ausgerichtete Konzept (inkl. Feedback aus den bisherigen Evaluationsstudien) mit technische Rahmenbedingungen verbunden werden.

So zeigte sich in der Absprache mit internen Experten, dass die Umsetzung einer langen Kabine für die in den nächsten Jahren zu erwartenden technischen Möglichkeiten angemessener sein könnte. Eine solche Lösung liefert mehr Platz für Akkus im Fahrgestellboden, ist am ehesten aerodynamisch und zum jetzigen Stand ist der gewonnene Raum außerhalb der Kabine gesetzlich und sicherheitstechnisch nicht anderweitig nutzbar. Daher wird das bisherige Konzept für den Aufbau im modularen Prüfstand auf eine lange Kabine ausgelegt. Hierfür wurde der bei der MAN Truck & Bus SE bestehende Prüfstand

umgebaut und erweitert – wie in Abbildung 33 dargestellt. Die Einstiegshöhe entspricht dabei den jetzigen Gegebenheiten – nicht niedrig wie im VR-Prototypen – um in dieser Iterationsschleife überprüfen zu können, welchen Einfluss ein technisch eher umzusetzender, normaler Einstieg auf die Nutzerfreundlichkeit & Angemessenheit der Kabine hat.

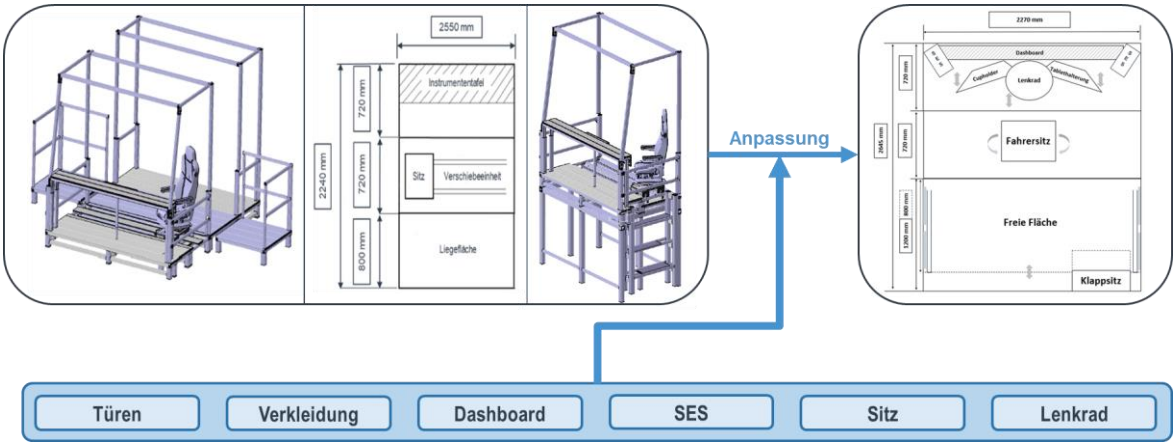

Abbildung 33: Erweiterung bestehender modularer Prüfstand (links) zur finalen Ausarbeitung (rechts)

Hier erfolgte zunächst eine detaillierte Erfassung des Ist-Zustands des bestehenden modularen Prüfstands. Im Anschluss wurde eine maßkonzeptionierte Skizze für die Erweiterung des Prüfstands erstellt. Dies beinhaltet sowohl die flächenmäßige Erweiterung des item-Aufbaus als auch die Erarbeitung der neu zu integrierenden Teilen. Dazu gehört die Integration von Türen, Fenstern und Verkleidungen, aber auch die Erstellung eines Lastenhefts zur Fertigung eines prototypischen Dashboards und der Aufbau eines prototypischen Spiegelersatzsystems (siehe Abbildung 34).

Abbildung 34: Prüfstand gesamt (links), Tablethalterung, HUD (rechts oben), Fahrerplatz (rechts unten)

Evaluation in modularem Prüfstand (AP 5)

Im Rahmen einer Nutzer:innen-Studie erfolgte die Evaluation des erstellten Konzepts hinsichtlich Eignung der Kabine für den späteren Einsatzzweck und möglicher Verbesserungen, sowie hinsichtlich Übersicht und Raumgefühl. Dabei wurden 3 Varianten der Kabine untersucht (siehe Abbildung 35).

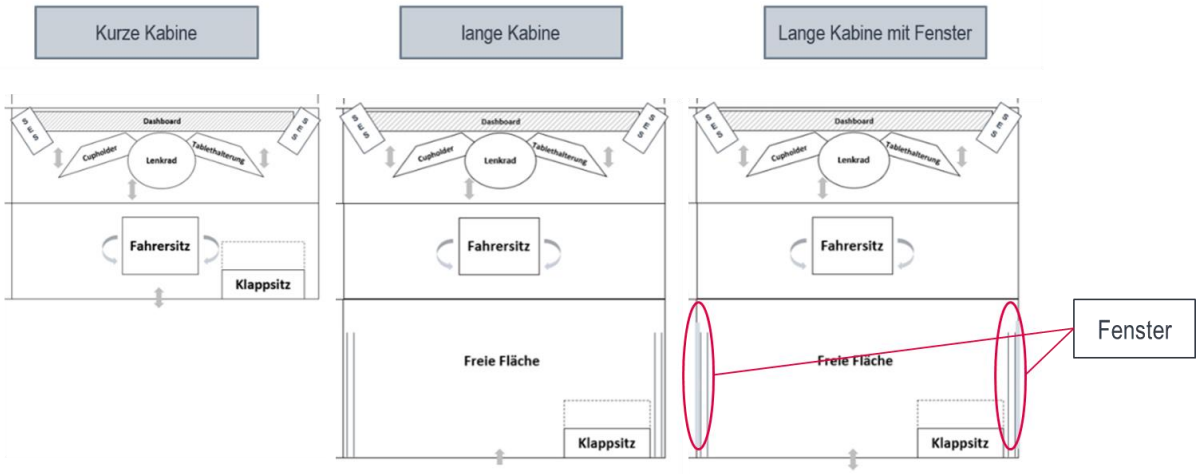

Abbildung 35: Kabinenvariante der Studie

Inhalt der Studie waren demnach eine kurze Kabine (vergleichbar mit der Kabine umgesetzt in VR) sowie zwei lange Kabinen (vergleichbar mit einem heutigen Fahrerhaus im Langstreckenbereich) mit und ohne Fenster im hinteren Bereich. Nach einer Einweisung und Vorbefragung erfolgte die Beschreibung des zukünftigen Arbeitsalltags (siehe Tabelle 10).

Tabelle 10: Arbeitsschritte im zukünftigen Arbeitsalltag

Arbeitsschritt	Aufgaben
1. Ankunft am Lkw	• Weg zum Lkw • Öffnen des Lkw
2. Einsteigen in den Lkw	• Einsteigen in Lkw • Mitnahme Tablet
3. Einrichten in der Kabine	• Einstellen Lenkrad & Sitz • Abfahrbereit machen
4. Fahren auf dem Werk	• Fahren auf dem Werk zur Be-/Entladestation
5. Rückwärtsrangieren auf dem Werk	• Rückwärtsrangieren in finale Be-/Entladeposition
6. Wartezeit in der Kabine	• Warten in der Kabine, während dem Be-/Entladevorgang durch Lagerarbeiter
7. Unterstützung bei Ladungssicherung + Dokumentation	• Entfernen/Wiederherstellen von Ladungssicherung • Dokumentation des Vorgangs auf dem Tablet • Öffnen/Schließen des Anhängers
8. Aussteigen aus dem Lkw	• Aussteigen aus dem Lkw • Aktivierung der Automatisierung

Im Anschluss daran konnten die Probanden sich mit der Kabine vertraut machen (außen und innen) und der erste Eindruck wurde erfasst. Im nächsten Schritt erfolgte die schrittweise Befragung der Probanden zu Eignung und Verbesserungspotential der Kabine pro Arbeitsphase sowie zum Raumgefühl jeder der drei Konzepte. Abschließend wurden die drei Kabinen verglichen und eine Bewertung des zukünftigen Berufsbilds abgegeben (genauere Beschreibung in nächstem Absatz). Zusammengefasst ist der Versuchsablauf in Abbildung 36.

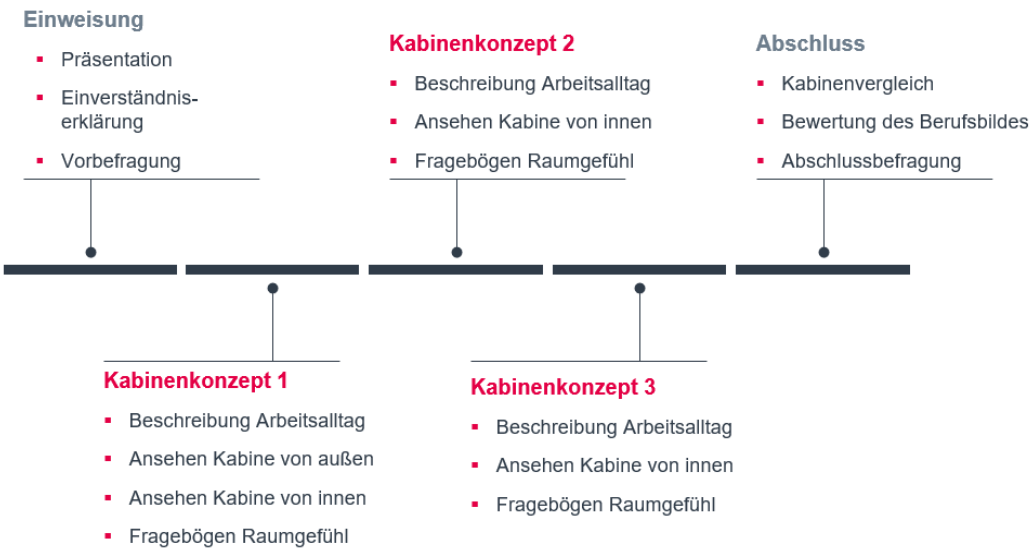

Abbildung 36: Versuchsablauf Evaluation Hub Manuell (MockUp)

Die Stichprobe bestand aus 34 Fahrer:innen (6 Frauen, 28 Männer) mit einem durchschnittlichen Alter von 47,2 Jahren (SD = 13,7) aus unterschiedlichen Arbeitsbereichen und einer durchschnittlichen Fahrerfahrung von 54.191 km pro Jahr.

Die Bewertung der Eignung der Kabine für die jeweiligen Arbeitsschritte ist in Abbildung 37 dargestellt. Für den Großteil der Arbeitsschritte fällt die Bewertung überwiegend positiv aus. Auf die Frage nach Verbesserungspotential geben die meisten Probanden folgende Rückmeldung:

- Schlechte Sicht nach vorne
- Fehlender Anfahrtsspiegel
- Einstiegshöhe

Dabei geht die negative Bewertung der Sicht nach vorne wahrscheinlich auf die prototypische Umsetzung des Dashboards zurück, welches nicht die im aktuellen Fahrzeug übliche Abschrägung nach vorne enthält. Der Wunsch nach einer geringeren Einstiegshöhe oder einem Treppeneinstieg spiegelt sich vor allem in der vergleichsweise negativeren Bewertung der Eignung für Einstieg/Ausstieg und Unterstützung bei Ladungssicherung wieder.

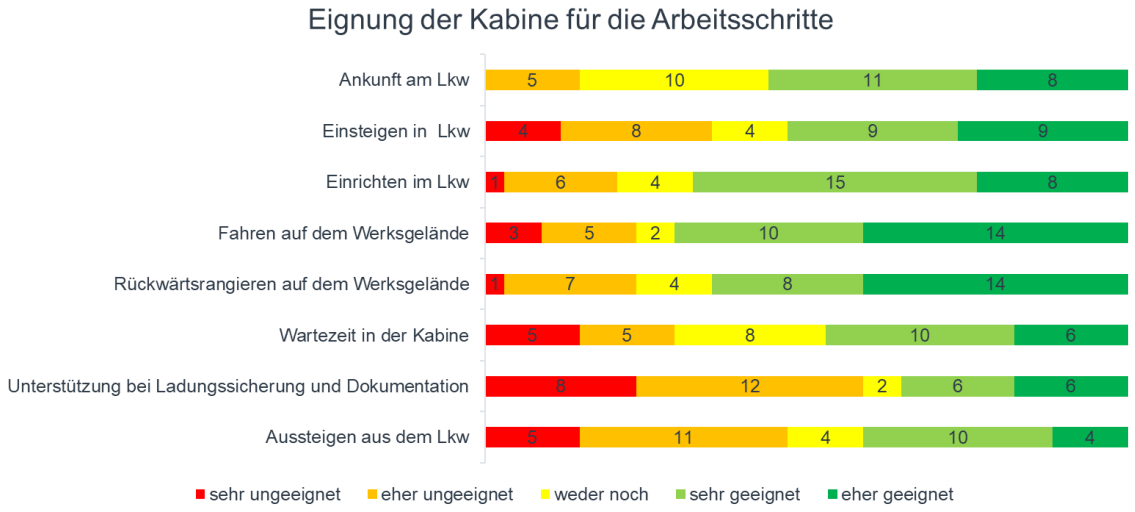

Abbildung 37: Eignung der Kabine

Die Bewertung der Übersicht (Abbildung 38) fällt mit einem Mittelwert von 0,24 eher moderat aus. Wie bereits bei der Eignung beschrieben ist dies wahrscheinlich auf die fehlende Abschrägung des Dashboards nach vorne sowie den fehlenden Anfahrspiegel zurückzuführen, welche allerdings nicht als Teil des Konzepts sondern eher als Ungenauigkeit in der Umsetzung zu werten sind. Hinsichtlich der Übersicht positiv bewertet wurden die mittlere Sitzposition (MW= 0,94; SD= 1,41) und die verglasten Türen (MW= 1,32; SD=1,08).

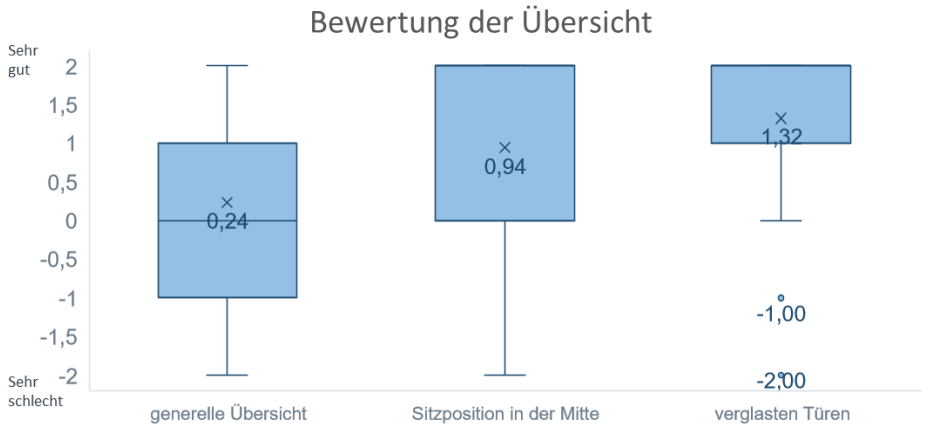

Abbildung 38: Übersicht in der Kabine

Alle Informationen zur Ladung (Ort, Fracht, etc.) stehen im betrachteten Szenario gebündelt auf dem Tablet zur Verfügung. Dieser Aspekt wird generell als sehr positiv bewertet. Jedoch zeigt die Handhabung im Arbeitsalltag Verbesserungspotenzial auf, da es den Ein- und Ausstieg erschwert. Eine Lösung, die es ermöglicht, dass das Tablet nicht ausschließlich in der Hand getragen werden muss, ist daher wünschenswert.

Bezüglich der Vorhandenen Funktionen in der Kabine wünschen sich die Versuchspersonen vor allem weitere Einstellmöglichkeiten für die verfügbaren Funktionen, sowie einen Schalthebel am Lenkrad. Dies ist im Konzept auch vorgesehen, konnte im Prototyp jedoch noch nicht umgesetzt werden. Die Erreichbarkeit der benötigten Funktionen wird generell als ausreichend bewertet, einzelne Knöpfe

könnten ggf. zentraler platziert werden (n=9) und wichtige Funktionen wie z. B. die Feststellbremse könnte sich noch etwas mehr von den anderen Funktionen abheben (n=5).

Der Komfort in der Kabine wird eher heterogen bewertet. Dies ist jedoch vermutlich zu Teilen auf die prototypische Umsetzung zurückzuführen. Als Möglichkeiten zur Steigerung des Komforts werden zum einen zusätzliche Einstellmöglichkeiten am Lenkrad (n=7) und zum anderen ein bequemerer Sitz (n=5) und weicheres Kabinen-/ oder Dashboardmaterial (n=4) genannt.

Im direkten Vergleich der Eignung der Kabinen zeigen sich kaum Unterschiede. Alle Kabinen werden als ähnlich geeignet eingestuft. Hinsichtlich des Raumgefühls (welches durch einen standardisierten Fragebogen erfasst wurde (Yang et al., 2015)) unterscheiden sich die beiden langen Kabinen jedoch von der kurzen Kabine in den Dimensionen Enge und Offenheit (siehe Tabelle 11).

Tabelle 11: Vergleich Raumgefühl zwischen den Kabinenvarianten

	ANOVA	**Kruskal-Wallis-Test**
Vollständigkeit	F(2, 29) = 0,31; p = 0,736	-
Offenheit	F(2,98) = 5,76, **p = 0,004**	-
Eintönigkeit	F(2,98) = 0,03, p = 0,969	-
Enge	-	H(2) = 10,56, **p = 0,005**
Empfundenes Raumgefühl	-	H(2) = 2,56, p = 0,279

3.2.2 Konzept Bus

Das Kabinenkonzept Bus wurde für folgendes Szenario entwickelt: Der Lkw fährt automatisiert zwischen zwei definierten Hubs. Mehrere Fahrgäste steigen an einer Haltestelle am Hub zu und werden zur Haltestelle nahe eines anderen Hubs transportiert. Die Fährgäste verbringen die Zeit der automatisierten Fahrt in der Kabine und können nicht eingreifen; bei Systemgrenzen wird der Lkw teleoperiert gesteuert.

Paper-Prototyp (AP 2)

In der initialen Phase der Entwicklung für dieses Szenario gab es mehrere Konzepte, welche im Folgenden kurz vorgestellt werden.

Hub-Shuttle – Transport von Hub-Mitarbeitenden zwischen Hubs

Für den Transport von mehreren internen Personen zwischen verschiedenen Hubs ist das Konzept Hub-Shuttle mit Sitzmöglichkeiten für 2-4 Personen ausgestattet, welche alle nach vorne ausgerichtet und mit einem Klapptisch versehen sind. Die Kabine ist mit einem Treppeneinstieg rechts und abdunkelbaren Panoramafenstern versehen. Die Kabinenhöhe ist so ausgelegt, dass Stehen möglich ist. Es existiert ein Bad mit Toilette. Für jeden Fahrgast besteht ein außenliegendes Gepäckfach sowie eine Ablage im Innenraum. Informationen zur Fahrt werden in einem verbauten Informationsdisplay dargestellt.

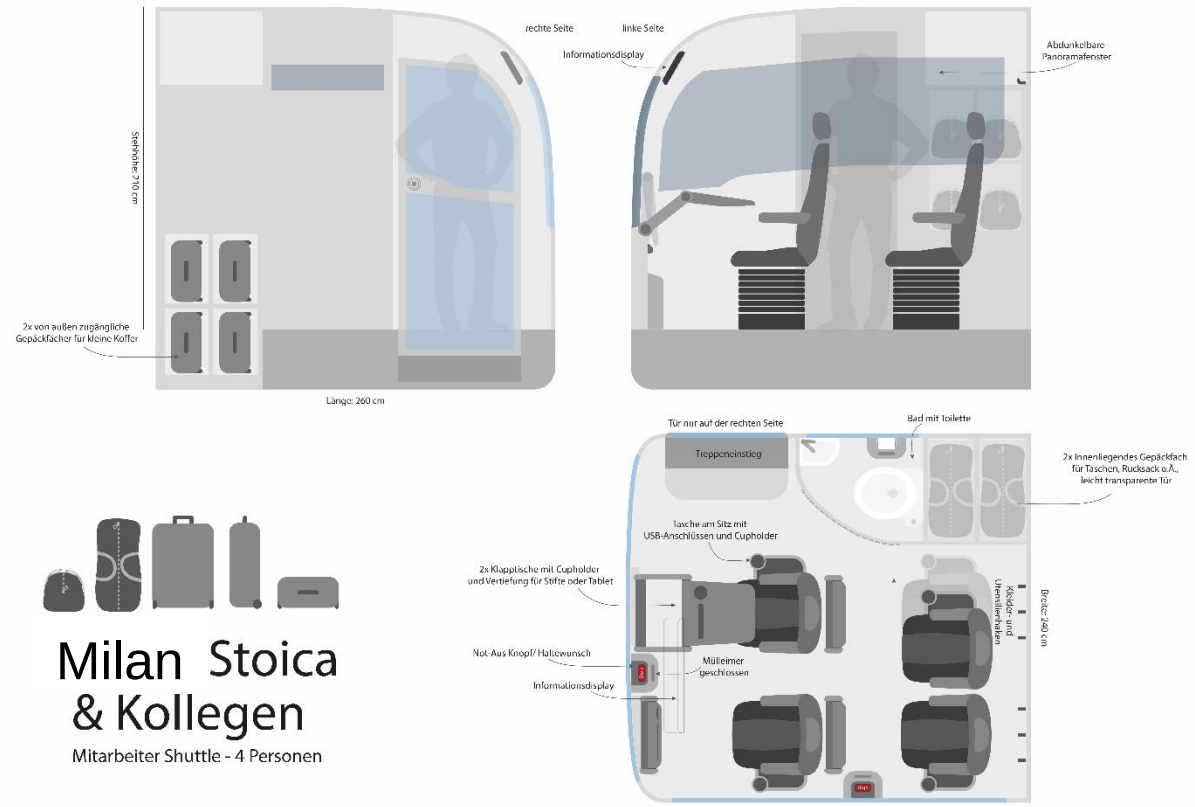

Abbildung 39: Konzept Hub-Shuttle; Paper Prototype

Bus Extern – Transport von externen Personengruppen zwischen Hubs

In diesem Konzept (siehe Abbildung 40) existieren 3-4 Sitze, die in zwei Reihen hintereinander in Fahrtrichtung angeordnet sind. Die beiden vorderen Sitze können dynamisch gedreht werden, so dass die anwesenden Personen auch einander zugewendet fahren können. Die vorderen Sitze sind mit Klapptischen (inkl. Cupholder) ausgestattet, in der Mitte hinten befindet sich ein kleiner Tisch. Alle Sitze enthalten einen USB-Anschluss und Cupholder. Wie im anderen Konzept besteht ein Treppeneinstieg rechts und abdunkelbare Panoramafenster und die Kabinenhöhe ist so ausgelegt, dass Stehen möglich ist. Es existiert zudem ein Bad mit Toilette und ein Kühlschrank. Das Gepäck kann in außenliegenden Gepäckfächern für große Gepäckstücke und in innenliegenden (kleineren) Gepäckfächern verstaut werden. Im Bereich der Frontscheibe existiert zudem ein herunterfahrbares Display, dass es ermöglicht Filme, Serien, o.ä. anzusehen.

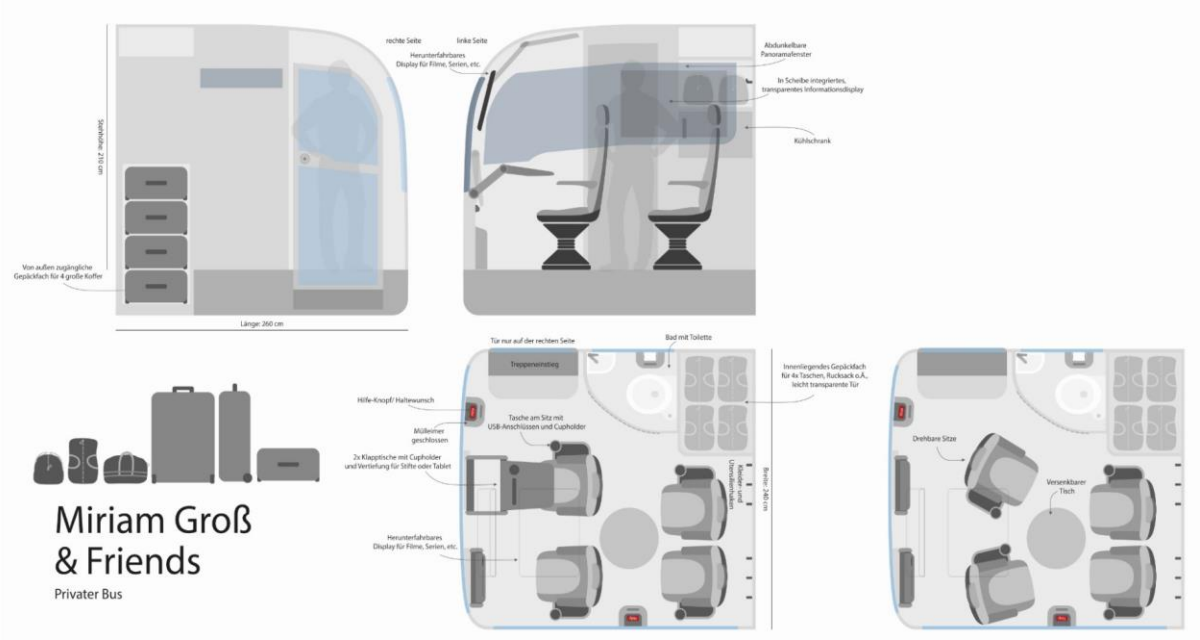

Abbildung 40: Konzept Bus-Extern; Paper Prototype

Evaluation Paper Prototypes (AP5)

Die Evaluation aller Paper Prototypes erfolgte in einer gemeinsamen Studie (Eigenschaften dargestellt in 3.2.1), wobei die Rückmeldungen (zusammengefasst aus den Interviews) Tabelle 12 zu entnehmen sind.

Tabelle 12: Verbesserungsvorschläge der Expert:innen der Konzeptevaluation

Konzepte	
Hub-shuttle	Komische Situation nicht eingreifen zu können (2)
	Keine Toilette, d.h. Fahrt muss unterbrochen werden (2)
	Für Langstrecken zu eng und ungemütlich
	Stop-Schalter ist das Minimum an Eingriffsmöglichkeit
	Jeder Sitz braucht einen Sitz

Bus Extern	größere Fläche, so nur für 2 Personen
Büro-Shuttle	Schreibtisch ist unnötig groß (4) • Lieber kleiner und Arbeitsplatz für Mitfahrende stellen (3) • Über Klapptische lösbar • Bei einer Reise habe ich keine Ordner o.ä. dabei, nur Laptop • Lieber mehr Platz
	Bildschirm für gemeinsames Arbeiten fehlt
	Klapptisch in der Mitte für gemeinsames Arbeiten fehlt
	Möglichkeit zu Entspannen fehlt
	Laderaumverlust durch Toilette (Gewicht)
Büro-Extern	längere Arbeitszeit vom AG erwartet
	Ruckeln könnte beim Arbeiten stören
	evtl. technische Probleme mit Monitor
Hotel-Extern	kein Ambiente (Hotelbar, Kontakt zu anderen Menschen)
	keine Reise in Gruppe
	zweckmäßig aber nicht kommunikativ
	keine anderen Personen da
	wirkt beengt durch das Bett
	Platzverschwendung, mehr Passagiere möglich

Weiterentwicklung des Konzepts Bus (AP 2)

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Studie, wurde das Konzept Bus weiterentwickelt. Da sich die Anforderungen für die Konzepte Bus Extern und Hub-Shuttle größtenteils überschneiden und mit wenigen Änderungen ein Konzept beide Use Cases abdecken kann, wurden die Konzepte zu einem Konzept Bus zusammengeführt. Zudem wurde auf Basis der Evaluationsergebnisse entschieden, dass eine Unterscheidung bei den Konzepten zwischen der Nutzung Hub intern und Hub extern nicht weiter sinnvoll ist, da die Anforderungen der Nutzer:innen in den unterschiedlichen UseCases größten Teils übereinstimmen. Hier sollten ursprünglich vier Einzelpersonentransportiert werden. Die Fahrgäste können sowohl hub-intern als auch extern sein und in der Kabine einzeln oder in der Gruppe sitzen und eine Toilette sowie Küche vorfinden.

Auf Basis der Studienergebnisse wurden folgende Entscheidungen für die Umsetzung in VR festgelegt, ausgehend von den Paper-Prototyps der vorausgehenden Konzepte (dargestellt in Tabelle 13).

Tabelle 13: Umsetzungsdetails des Konzepts Bus in VR**.**

Konzepte		
Bus	Keep	• Electric Drive → Low cabin • Toilet, Sink, No shower • Big luggage that is loaded from outside can but doesn't have to be accessible from the inside • Storage space for backpacks • Trash • Cupholders on seats • Foldable tables for front seats • Display for entertainment • Stop/Help-Button • Possibility to turn front seats arount to face each other • Table that can be sunk into the floor
	Styling	• Surfaces where we put things: no sliding away • Bright and friendly colors • Good lighting • Storage space with milky glass
	Changes	• Storage space close to seats (e.g. nets for phone, book,..) • Adjustable backrest for seats (small lean backs) • Table for seats in the back, e.g. coming out of arm rest • Speakers for music integrated in cabin • Sockets / possibility for loading phone/laptop on seat • Adjustable wings around head area for more privacy in seat when other people are not your friends • Add Fridge, Coffee/tea machine, microwave, snacks & drinks (maybe like a vending machine?), pre-ordered food, maybe comparable to container-systems in planes? • Windows can be darkened/ blacked out (technology) • Adjustment of Temperature

Umsetzung in VR (AP4)

In Abbildung 41 ist der neu erstellte VR-Prototyp für das Konzept Bus zu sehen. Gemäß den erfolgten Rückmeldungen wurden Ablagen ergänzt/verbessert, Tische im hinteren Bereich integriert, Lademöglichkeiten, sowie ebenfalls ein Snack-Automat geschaffen. Eine Toilette findet sich zudem in einem abgegrenzten Bereich (rechte Seite, neben Einstieg).

Abbildung 41: (VR-Prototyp Konzept Bus)

Mit diesem VR-Prototyp erfolgte in enger Abstimmung mit dem Projektpartner Spiegel Institut die Evaluation der VR-Prototypen für Personentransport (Spiegel2023). Nach erfolgter Evaluation wurden die Ergebnisse von Experten gesichtet und hinsichtlich der vorzunehmenden Veränderungen am VR-Prototypen beurteilt/priorisiert (Finalisierung des Konzepts in AP4). Die beschlossenen Änderungen, die an den Dienstleister zur Einarbeitung übergeben wurden sind gemeinsam mit den Änderungen für das Konzept Hotel in Tabelle 14 in Kapitel 3.2.3 dargestellt.

3.2.3 Konzept Hotel

Das Kabinenkonzept Hotel wurde für folgendes Szenario entwickelt: Der Lkw fährt automatisiert zwischen zwei definierten Hubs. Ein Fahrgast steigt an einer Haltestelle am Hub zu und wird zur Haltestelle nahe des anderen Hubs transportiert. Der Fahrgast verbringt die Zeit der automatisierten Fahrt in der Kabine und kann nicht eingreifen; bei Systemgrenzen wird der Lkw teleoperiert gesteuert.

Paper-Prototyp (AP 2)

In der initialen Phase der Entwicklung für dieses Szenario gab es die Unterscheidung in Büro-Shuttle, Büro-Extern und Hotel Extern, welche im Folgenden vorgestellt werden.

Im Konzept Büro-Shuttle (Abbildung 42) existiert ein Hauptsitz, der dreh- und verstellbar ist, um zu arbeiten oder eine entspannte Position einzunehmen. Der Sitz ist zunächst nach vorne ausgerichtet und mit einem USB-Anschluss sowie einem Cupholder ausgestattet. Es bestehen zudem ggf. zwei weitere Notsitze für weitere Mitfahrende. Die Kabine ist mit einem Treppeneinstieg rechts und abdunkelbaren Panoramafenstern versehen. Die Kabinenhöhe ist so ausgelegt, dass Stehen möglich ist. Es existiert ein Bad mit Toilette und ein Kühlschrank. Gepäck kann im außenliegenden Gepäckfach für große Gepäckstücke und im innenliegenden (kleineren) Gepäckfach verstaut werden. Informationen zur Fahrt werden in einem verbauten Informationsdisplay dargestellt. Zudem ist ein vollausgestatteter Arbeitsplatz vorhanden. Dieser beinhaltet einen integrierten, versenkbaren Monitor inkl. Maus und Tastatur sowie eine leicht versenkte Ablage für Dokumente und Geräte.

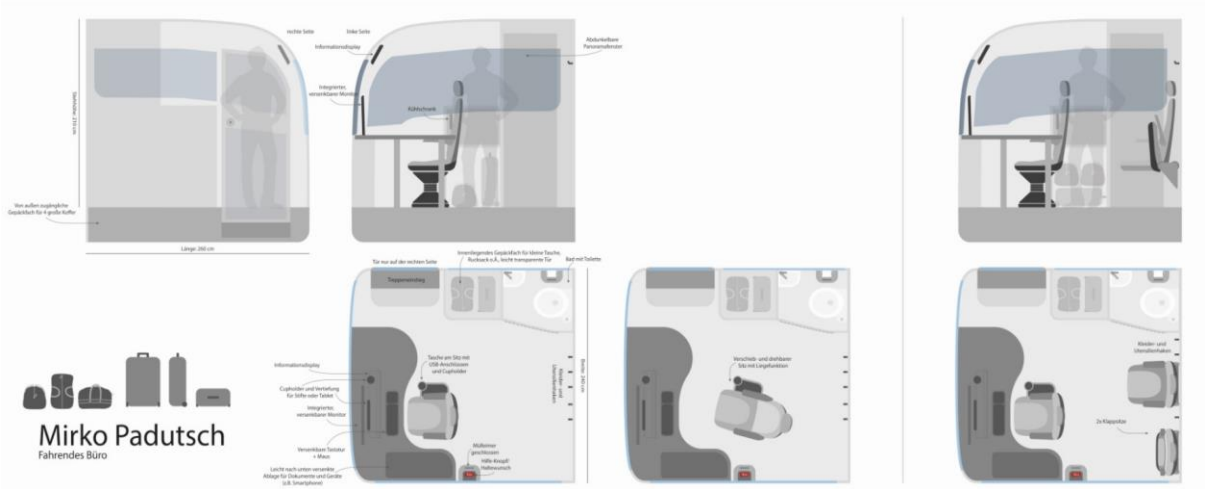

Abbildung 42: Konzept Büro-Shuttle; Paper Prototype

Das Konzept Büro Extern (Abbildung 43) entspricht dem Konzept (Büro-Shuttle) bis auf wenige Merkmale. Hier sind keine zusätzlichen Klappsitze vorgesehen und Maus und Tastatur am Arbeitsplatz stehen nicht bereit.

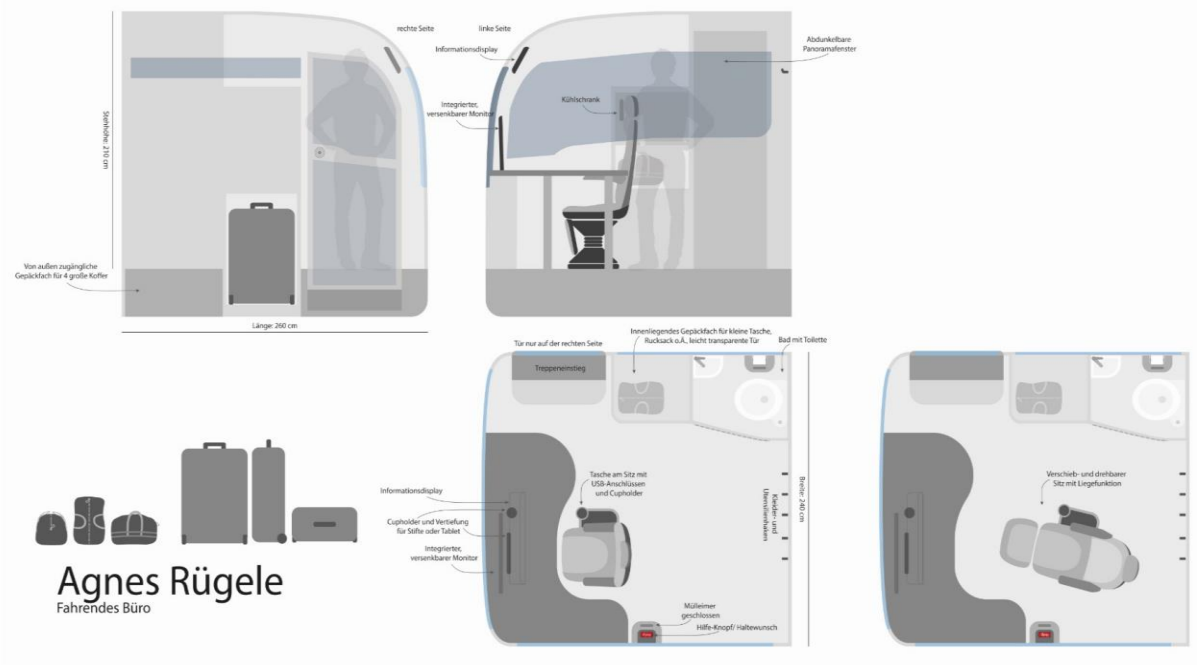

Abbildung 43: Konzept Büro-Extern; Paper Prototype

Das Konzept Hotel-Extern (Abbildung 44) beinhaltet einen zentralen, nach vorne ausgerichteten Sitz, der nach hinten verstellbar sowie mit einem USB-Anschluss und einem Cupholder ausgestattet ist. Zudem bietet die Kabine ein Bett (ebenfalls inkl. USB-Anschluss und Cupholder) als Schlafmöglichkeit. Wie in den anderen Konzepten besteht ein Treppeneinstieg rechts und abdunkelbare Panoramafenster und die Kabinenhöhe ist so ausgelegt, dass Stehen möglich ist. Es existiert zudem ein Bad mit Toilette und ein Kühlschrank. Das Gepäck kann im außenliegenden Gepäckfach für große Gepäckstücke und im innenliegenden (kleineren) Gepäckfach verstaut werden. Informationen zur Fahrt werden in einem verbauten Informationsdisplay dargestellt. Der Arbeitsplatz ist ausgestattet mit einem Klapptisch mit Cupholder und Tablethalterung. Im Bereich der Frontscheibe existiert zudem ein herunterfahrbares Display, dass es ermöglicht Filme, Serien, o.ä. anzusehen.

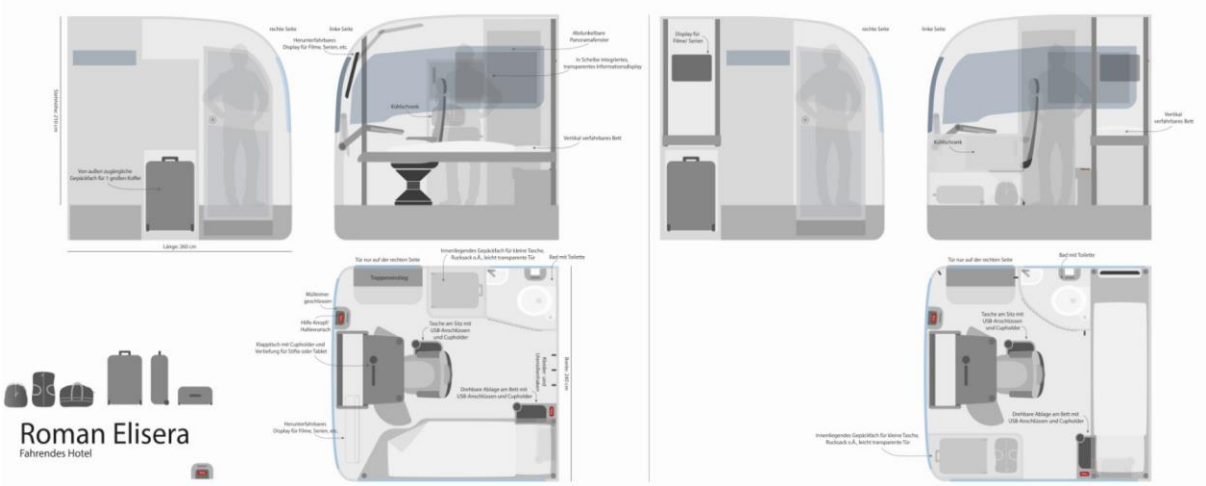

Abbildung 44: Konzept Hotel-Extern; Paper Prototype

Evaluation Paper Prototypes (AP5)

Die Evaluation aller Paper Prototypes erfolgte in einer gemeinsamen Studie (Eigenschaften dargestellt in 3.2.1), wobei die Rückmeldungen (zusammengefasst aus den Interviews) Tabelle 12 zu entnehmen sind.

Weiterentwicklung des Konzepts Hotel (AP 2)

Auf Basis der Erkenntnisse aus der Studie, wurde das Konzept Hotel weiterentwickelt. Da sich die Anforderungen für die vorgestellten Konzepte größtenteils überschneiden und mit wenigen Änderungen ein Konzept alle Use Cases abdecken kann, wurden die Konzepte zu einem übergreifenden Konzept Hotel zusammengeführt. Zudem wurde die Unterteilung der Konzepte in Transport externer und hub-interner Personen fallen gelassen, da sich die Unterschiede in den Konzepten hierdurch als vernachlässigbar herausstellten. Die Kabine ist seither dafür ausgelegt, dass die Personen schlafen, arbeiten und eine Toilette und eine Küche vorfinden können. Das Bett aus dem Prototyp Hotel wurde entfernt. Stattdessen soll der Sitz flexibel verstellbar sein und eine Schlafposition ermöglichen.

In folgender Tabelle sind die erforderlichen Änderungen, Richtlinien für das Styling und Aspekte, die beibehalten werden können, zusammengefasst.

Tabelle 14: Umsetzungsdetails des Konzepts Hotel in VR.

Konzept		
Hotel	Keep	• Electric Drive → Low cabin • Comfortable Seat, with sleep position, cupholder, etc. • Stop/Help-Button • Storage space for backpacks • Information display (position somewhere you can see well from the seating position) • Windows • Trash
	Styling	• Surfaces where we put things: no sliding away • Bright and friendly colors • Good lighting • Feeling of luxury • Storage space with milky glass
	Changes	• Smaller desk, maybe with folding option? • No bed • Add Fridge, Coffee/tea machine, microwave • Shower (clever shower/toilet/sink system not taking up much space; camper vans as inspiration) • Sockets / charging options • Speakers for music integrated in cabin

		• Monitor usable as external display for working with laptop (low position), also usable as smart-tv with entertainment (higher position) → attached to a static pole, monitor moving up and down • Windows can be darkened/ blacked out (technology) • Big luggage that is loaded from outside needs to be accessible from the inside • Adjustment of Teperature

Umsetzung in VR (AP4)

Abbildung 45 zeigt den neu erstellten VR-Prototypen für das Konzept Hotel. Hier ist zu sehen, dass aufgrund der Rückmeldungen u.a. eine Dusche, ein voll ausgestatteter Arbeitsplatz sowie ein Snack-Automat integriert wurden. Zudem existieren vielfältige Ablage- und Lademöglichkeiten, ein komfortabler Sitz mit Schlafposition und die Oberflächen wurden entsprechend angepasst.

Abbildung 45: VR-Prototyp Konzept Hotel

Mit diesem VR-Prototyp erfolgte in enger Abstimmung mit dem Projektpartner Spiegel Institut die Evaluation der VR-Prototypen für Personentransport (Spiegel2023). Nach erfolgter Evaluation wurden die Ergebnisse von Experten gesichtet und hinsichtlich der vorzunehmenden Veränderungen am VR-Prototypen beurteilt/priorisiert (Finalisierung des Konzepts in AP4). Die beschlossenen Änderungen, die

an den Dienstleister zur Einarbeitung übergeben wurden sind gemeinsam mit den Änderungen für das Konzept Bus in Tabelle 14 dargestellt.

Tabelle 15: Erarbeitete Änderungen der Konzepte Bus und Hotel in VR nach Evaluation

Änderung	Konzept
- Tisch (vorne) nach unten versetzen und vergrößern - Rutschfeste Unterlage unterhalb des Tisches → Ablage	Bus, Hotel
- Zusätzliche Lichtschalter / Lichter	Bus, Hotel
- Kopfstütze breiter um Kopf herum	Bus, Hotel
- Getränkehalter vorne	Bus, Hotel
- Handtuch-/Seifenspender in Nasszelle - Mülleimer, Spiegel in Nasszelle	Bus, Hotel
- Notausknopf deutlicher erkennbar	Bus, Hotel
- Zusätzliche Steckdosen an Rückwand	Bus
- Zusätzlicher Informationsdisplay in Seitenwand (neben Nasszelle)	Bus
- Zusätzliche Verstaumöglichkeiten um die Sitze (Gepäcknetz oberhalb)	Bus
- Gepäckfächer in drei Unterteilungen aufteilen	Bus
- Kleiderhaken versetzen (vgl. Hotel)	Bus
- Zusätzliche Seitentasche am Fahrersitz	Hotel

3.3 Prozesse auf dem Hub (AP5)

Zukünftig befinden sich im betrachteten Szenario keine traditionellen Fahrer:innen mehr in den automatisierten Lkw. Heutzutage sind die Lkw-Fahrer:innen jedoch tief in die Prozesse auf dem Hub eingebunden und übernehmen zusätzlich zum reinen Fahren weitere Aufgaben. Aus diesem Grund wurde ebenfalls betrachtet, wie sich die Prozesse, Rollen und Aufgabenverteilung auf den Hubs durch die Automatisierung der Lkw verändern werden. Im betrachteten Szenario ist automatisiertes Fahren auf dem Hub-Gelände nicht möglich, daher ist es erforderlich zu untersuchen, wie die Güter innerhalb des Geländes bewegt werden können und wie die Be- und Entladung ohne Beteiligung der bisherigen Fahrer:innen durchgeführt werden soll. Die Tätigkeitsverteilung wurde zunächst in einem Workshop bei MAN grob festgelegt. Zusätzlich erfolgten sieben weitere Workshops mit Expert:innen aus der Logistik (Escherle, Sprung & Bengler, 2023).

Die zentrale Frage der Workshops mit den Logistik-Expert:innen lautete: Wie würden Sie den In-Hub-Prozess unter Berücksichtigung des betrachteten Szenarios und Ihren eigenen Erfahrungen gestalten? Die Expert:innen entwickelten daraufhin unterschiedliche mögliche Prozesse. Für jeden entwickelten Prozess wurden außerdem die jeweilige Aufgaben und Rollenverteilung, sowie Voraussetzungen, mögliche Probleme und limitierende Faktoren diskutiert. Die zugrundeliegenden Merkmale der entwickelten Prozesse wurden im Anschluss extrahiert.

Die zentralen Unterscheidungsmerkmale der Prozesse sind der Umgang mit Lkw und Trailer, sowie die Art der Steuerung auf dem Hub-Gelände. Lkw und Trailer können entweder während des gesamten Prozesses verbunden bleiben, oder voneinander getrennt werden. Bei Trennung wird der Lkw durch ein zusätzliches Rangierfahrzeug auf dem Hub bewegt. Lkw oder Rangierfahrzeug können jeweils entweder manuell aus dem Fahrzeug oder ferngesteuert werden. Die Übersicht über die verschiedenen Prozesse ist in Abbildung 46 dargestellt.

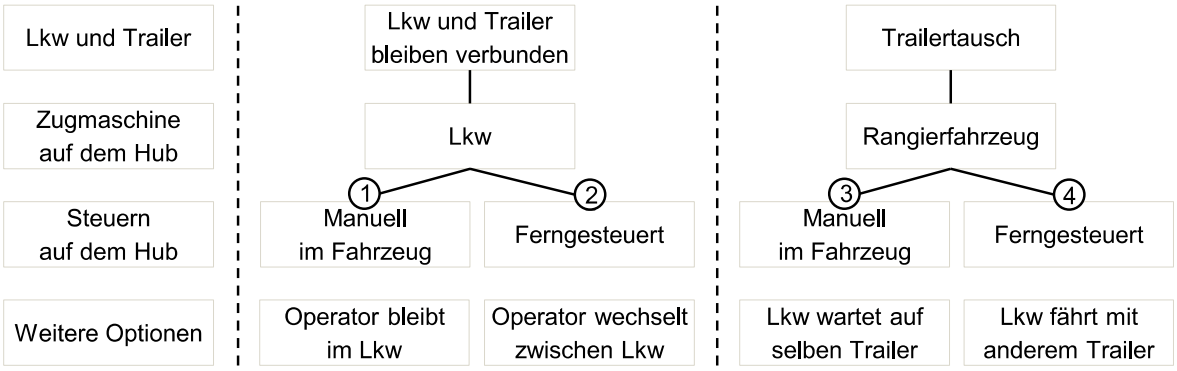

Abbildung 46: Übersicht der entwickelten Prozesse nach Escherle et. al. 2023

In Prozess 1 wird der Lkw auf dem Hub-Gelände durch die Hub-Fahrer:innen manuell gesteuert. Dieser Prozess steht im Einklang mit dem in RUMBA betrachteten Szenario und für dieses wurde das Konzept Hub-manuell entwickelt. Bei Prozessen mit Teleoperation ist eine Steuerungsmöglichkeit im Fahrzeug theoretisch nicht mehr nötig. Die Expert:innen halten es außerdem für möglich, dass ein fahrerloses Fahren auf dem Hub-Gelände auf manchen Hubs durch Lösungen, wie smarte Infrastruktur oder Induktionsschleifen, ermöglicht werden kann. Dass dadurch keine Steuerungsmöglichkeit im Fahrzeug mehr benötigt wird, steht die Gestaltung der Kabine offen für die entwickelten Konzepte für den Personentransport (Hotel und Bus).

Herauszuheben ist außerdem, dass bei den Prozessen 2-4 die fahrzeugsteuernde Person während der Be- und Entladung nicht physisch beim Lkw ist. Das ist zum einen auf die Teleoperation zurückzuführen (Prozess 2 und 4), zum anderen darauf, dass die manuellen Fahrer:innen der Rangierfahrzeuge während der Be- und Entladung zum nächsten Trailer wechseln und diesen zur nächsten Station fahren (Prozess 3). Aus diesen Gründen ist das Be- und Entladepersonal bei der Implementierung dieser Prozesse alleine für die Be- und Entladung verantwortlich. Dadurch erweitert sich ihr Zuständigkeitsbereich auf zusätzliche Aufgaben wie das Öffnen und Schließen des Trailers und die komplette Ladungssicherung. In einem nächsten Schritt gilt es daher in der Studie MAN2024 herauszufinden, inwiefern diese Veränderung sich auf die Zufriedenheit des Be- und Entladepersonals auswirkt.

Evaluation des Berufsbilds Hub-Fahrer:in

Ein weiterer Aspekt, der in der Studie MAN2024 betrachtet wurde, ist die Bewertung des zugehörigen zukünftigen Berufsbildes des Hub-Fahrers bzw. der Hub-Fahrerin (Mertens, 2024). Da im betrachteten Szenario das automatisierte Fahren auf dem Hub-Gelände nicht möglich ist, hängt die Integration der automatisierten Lkw in die In-Hub-Prozesse von der Mitarbeit der Hub-Fahrer:innen ab. Es gilt daher die Arbeitsaufgabe so zu gestalten, dass die Mitarbeitenden in dieser Rolle möglichst zufrieden mit der Arbeit sind, um Fluktuation zu vermeiden. Die einzelnen Arbeitsaufgaben im Rahmen der Rolle der Hub-Fahrer:innen sind bereits in Tabelle 1 dargestellt. Die Fragen, die sich vor diesem Hintergrund stellen sind zunächst: Wie wird das Berufsbild Hub-Fahrer:in bewertet? Und wie kann das Berufsbild Hub-Fahrer:in weiter verbessert werden?

Im Rahmen der Studie erlebten die Teilnehmenden den zukünftigen Arbeitsablauf Schritt für Schritt mittels der Methode Storytelling und mit Hilfe des vorgestellten Kabinen-MockUps. Im Anschluss bewerteten die Teilnehmenden die zukünftige Tätigkeit mit Hilfe der Job Diagnostic Survey – einem Fragebogen zur Erfassung der einzelnen Elemente des Job Characteristics Model (Abbildung 7). Das Job Characteristics Model postuliert, dass sich bestimmte Eigenschaften der Arbeitsaufgabe auf den psychologischen Zustand der Mitarbeitenden und dadurch unter anderem auf die Arbeitszufriedenheit auswirken kann (Escherle, 2024).

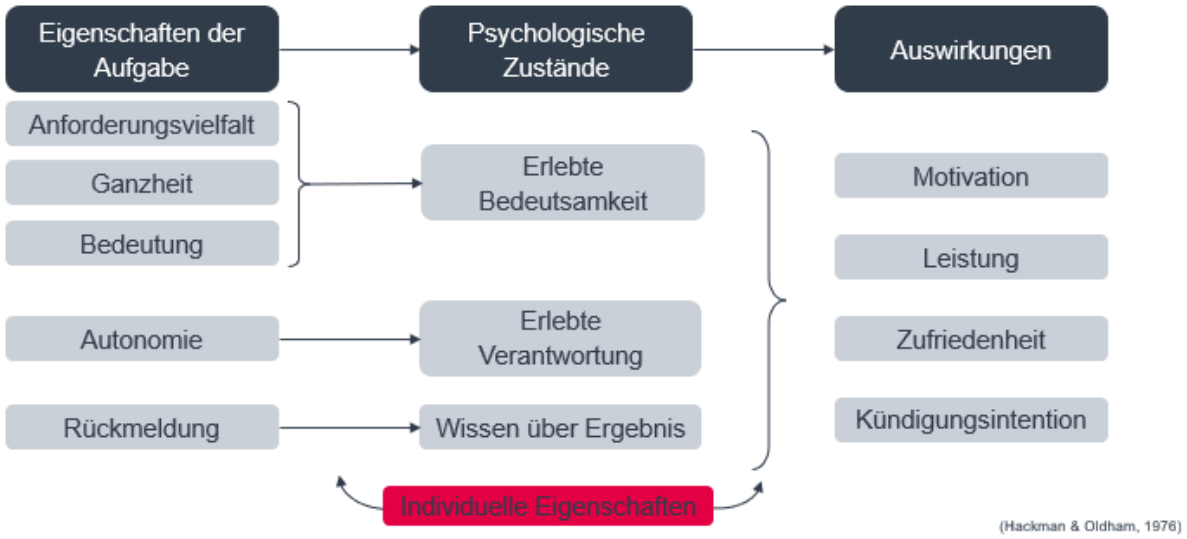

Abbildung 47: Job Characteristics Model

Die Ergebnisse dieser Bewertung zeigen, dass die Ganzheit und Bedeutsamkeit der Aufgabe, sowie der Anteil an sozialen Kontakten durch die Arbeitsaufgabe vergleichsweise gut abschneidet. Die Anforderungsvielfalt und die Rückmeldung, die die Aufgabe an sich bietet, wird etwas schlechter bewertet. Vor allem der Aspekt der Autonomie in der Aufgabe zeigt hohes Verbesserungspotenzial. Die zukünftige Arbeitszufriedenheit in der Rolle als Hub-Fahrer:in wird als durchschnittlich bewertet und die Befragten schätzen sich zukünftig als eher unzufrieden mit den Entfaltungsmöglichkeiten ein. Dieser Aspekt passt mit der geringen Autonomie in der Arbeitsaufgabe zusammen (Mertens, 2024).

Ob es sich bei der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in um eine wünschenswerte Tätigkeit handelt, wird von den Teilnehmenden als heterogen bewertet. Die Mehrheit der Befragten empfinden diesen Beruf als nicht zu sich passend. Gründe für die ablehnende Haltung sind vor allem die erwartete Monotonie (n=16) und Langeweile (n=6), sowie die fehlende Herausforderung (n=7). Als positiv wird jedoch die geregelten Arbeitszeiten (n=21) sowie der feste Arbeitsort (n=15) und die wegfallenden Stressoren, die beim konventionellen Lkw-Fahren auftreten (n=12) wertgeschätzt. Im Durchschnitt wird die Wahrscheinlichkeit, dass sich die Teilnehmenden in Zukunft auf diese Arbeit bewerben werden auf ca. 26% geschätzt (Mertens, 2024).

Als Verbesserungsvorschläge, um den zukünftigen Beruf attraktiver zu gestalten, wird vor allem der Aspekt mehr Handlungsfreiheit (n=3) genannt. Zusätzlich könnten Sozialleistungen durch das Unternehmen (n=12) und Aspekte wie Verpflegungsmöglichkeiten (n=8) und attraktive Aufenthaltsräume (n=19) auf dem Hub-Gelände zu einer Verbesserung beitragen (Mertens, 2024).

Zusätzlich lässt sich sagen, dass die befragte Stichprobe an Lkw-Fahrer:innen zwar die positiven Aspekte der zukünftigen Tätigkeit erkennt, sich jedoch nicht vorstellen kann selbst in dieser Position zu arbeiten. Es scheint also, dass heutige Lkw-Fahrer:innen eher nicht an dem Beruf als Hub-Fahrer:In interessiert ist.

Evaluation der Arbeitssituation des Be- und Entladepersonals

Das Be- und Entladpersonal spielt auch im Kontext automatisierter Lkw eine entscheidende Rolle. Angesichts des wachsenden Arbeitskräftemangels wird es immer wichtiger, Fluktuation zu verhindern und die Arbeitszufriedenheit der Mitarbeitenden zu stärken. Hierfür müssen diejenigen Eigenschaften der Arbeit identifiziert werden, die Optimierungspotenzial bieten.

Im Rahmen der Dissertation von Mertens (2024) wurden 2 Szenarien für automatisierte Lkw genauer betrachtet, diese sind in Abbildung 49 dargestellt. In Szenario 1 wird der Lkw von Hub-Fahrer:innen manuell auf dem Hub-Gelände gesteuert. In diesem Fall finden keine Änderungen in der Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen statt, da die Hub-Fahrer:innen die Tätigkeiten der heutigen Lkw-Fahrer:innen übernehmen. In Szenario 2 befindet sich keine Person mehr in der Kabine und das Be- und Entladepersonal übernimmt zusätzliche Tätigkeiten und Verantwortung.

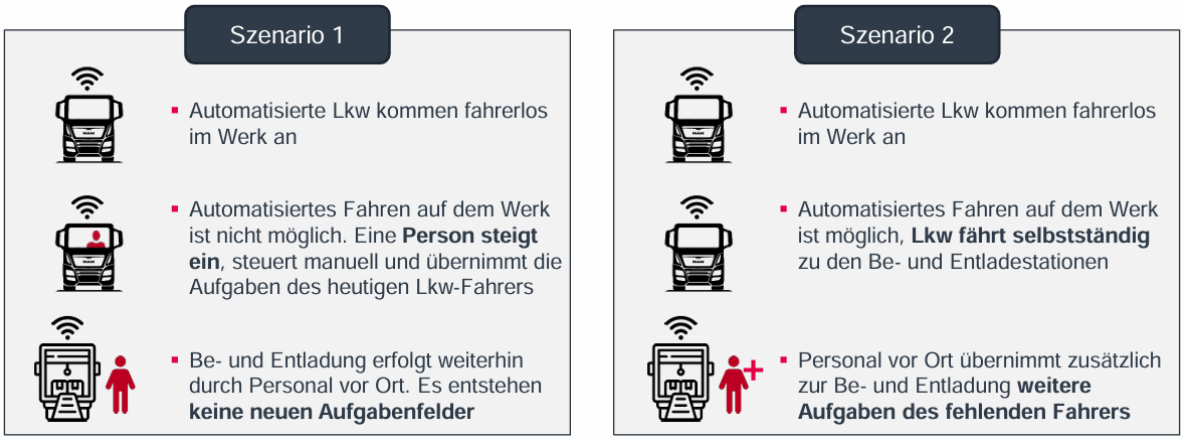

Abbildung 48: Betrachtete Prozesse mit automatisierten Lkw

Die Studie bestand aus einem semi-strukturierten Interview und standardisierten Fragebögen und dauerte etwa 45 Minuten, abhängig von den Antworten der 50 befragten Be- und Entlader:innen aus 5 Standorten von 3 Unternehmen (Mertens, 2024).

Die Arbeitssituation des Be- und Entladepersonals wird sowohl in Szenario 1 als auch in Szenario 2 sehr positiv bewertet, die Ergebnisse der JDS liegen im oberen Normbereich. In Szenario 1 bietet die Anforderungsvielfalt vergleichsweise am meisten Optimierungspotenzial. Dieser Punkt wird in Szenario 2 verbessert durch die zusätzlichen Aufgaben und Verantwortung. In Szenario 2 entfällt der Kontakt zu Fahrer:innen und der Aspekt der sozialen Kontakte sinkt signifikant. Diese Eigenschaft der Arbeit bietet in Szenario 2 somit am meisten Verbesserungspotenzial. Die generelle Arbeitszufriedenheit der Be- und Entlader:innen unterscheidet sich nicht zwischen den beiden Szenarien, was unterschiedliche Gründe haben und auf Basis der vorliegenden Daten nicht beantwortet werden kann (Mertens, 2024).

Zusätzlich enthüllen die Studienergebnisse ein Ungleichgewicht zwischen Aufwand und Belohnung (Siegrist et al., 2009), das für die Arbeitnehmer:innen ungünstig ist und zu erhöhtem Stressempfinden führen kann (Siegrist, 1996). Die qualitativen Resultate dieser Untersuchung liefern Anhaltspunkte, um das Verhältnis von Aufwand zu Belohnung zu verbessern. Es gilt, negative Aspekte der Arbeit zu minimieren und positive zu stärken (Mertens, 2024).

4 Voraussichtlicher Nutzen und Verwertbarkeit der Ergebnisse

Die im Rahmen des Projekts RUMBA erarbeiten Erkenntnisse fielen zunächst in den Zuständigkeitsbereich der Vorentwicklung HMI (Abteilung EZRH) bei MAN Truck & Bus SE. In der gesamten Projektlaufzeit erfolgte allerdings eine kontinuierliche Weitergabe und Durchsprache der Ergebnisse mit der HMI-Serienentwicklung. Zudem wurden sowohl die Produktstrategie als auch relevante Stakeholder in den Bereichen Sales und Automatisierung in die Erarbeitung der Ergebnisse (z.B. im Rahmen von Workshops) mit einbezogen. In Quartalsmeetings erfolgte zudem die Verbreitung der Ergebnisse unternehmensweit. So konnte der Verwertungsauflage entsprochen werden. Insgesamt verfügt die MAN Truck & Bus SE bezüglich der RUMBA-Erkenntnisse über alle Voraussetzungen zur firmeninternen Verwertung, mit hohen Erfolgsaussichten.

Eine detaillierte Beschreibung des Verwertungsplans ist dem Erfolgskontrollbericht zu entnehmen.

5 Fortschritt auf dem Gebiet bei anderen Stellen

Neben dem engen Austausch mit den Partnern des Konsortiums in RUMBA wurde auch der Fortschritt von Wissenschaft und Technik außerhalb von RUMBA während der Projektlaufzeit kontinuierlich beobachtet und analysiert. Dies geschah durch die Verfolgung der wissenschaftlichen Literatur sowie im Rahmen des MAN-internen Austauschs bezüglich dieser Themen. Weiterhin erfolgt die Teilnahme an den folgenden nationalen und internationalen Konferenzen:

- GfA Frühjahrskongress, März 2023, Hannover
- HCI International, Juli 2023, Kopenhagen

6 Erfolgte oder geplante Ergebnisverbreitung

Im Berichtszeitraum werden folgende Konferenzbeiträge und Publikationen unter direkter Beteiligung von MAN erstellt, eingereicht und angenommen:

- Escherle, S., Haentjes, J., Sprung, A. & Bengler, K. (2023). Automatisierbarkeit von Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr: Eine Prozessanalyse. In: Gesellschaft für Arbeitswissenschaft (Hrsg.). *Nachhaltig Arbeiten und Lernen – Analyse und Gestaltung lernförderlicher und nachhaltiger Arbeitssysteme und Arbeits- und Lernprozesse: Dokumentation des 69. Arbeitswissenschaftlichen Kongress*. GfA Press.
- Escherle, S., Darlagiannis, E. & Sprung, A. (2023). Automated Trucks and the Future of Logistics – A Delphi Based Scenario Study. *Logistics Research, 16* (1), 1-21.
- Escherle, S., Sprung, A. & Bengler, K. (2023). How will automated trucks chance the processes and roles in hub-to-hub transport? In H. Krömker (Hrsg.), *Lecture Notes in Computer Science. HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems* (Bd. 14048, S.51-69). Springer Nature Switzerland.
- Mertens, S. (2024). Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr (Unveröffentlichte Dissertation), TU München.

- **RUMBA Halbzeit-/Abschlusspräsentation, Renningen**
  Präsentationen und Poster
  https://projekt-rumba.de

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

7 Wichtigsten Positionen des zahlenmäßigen Nachweises

Die nachfolgend aufgeführten Positionen stellen die wichtigsten unmittelbaren Vorhabenkosten für das Förderprojekt RUMBA laut zahlenmäßigem Nachweises der MAN Truck & Bus SE dar:

- Der größte Posten waren FE-Fremdleistungen durch folgende Beauftragungen
  - TU München:
    Beauftragung der Dissertation im Rahmen des Projekts RUMBA, die in allen Arbeitspaketen relevante Erkenntnisse beitrug
  - Spiegel Institut:
    Unterstützung in der Planung, Durchführung und Auswertung von Studien in den Jahren 2021 und 2022 (notwendig aufgrund des elternzeitbedingten Personalengpasses)
  - Intervideo:
    Erstellung der VR-Szenarien für die Testung der jeweiligen Konzepte
- Der zweitgrößte Posten waren die Personalkosten für die Bearbeitung der Aufgaben in den Arbeitspaketen von RUMBA.
- Den nächstgrößere Posten stellen die Materialkosten für die Nutzung der VR-Umgebung sowie für den Auf-/Umbau des modularen Prüfstands zur Evaluation des Konzepts Hub manuell dar.

  Die geplanten Mittel wurden nicht vollständig ausgeschöpft, da sich der Umbau des modularen Prüfstands kostengünstiger realisieren lies als zunächst angenommen. Dies lag vorwiegend darin begründet, dass im finalen Schritt das reduzierte Konzept Hub Manuell umgesetzt wurde und somit – nicht wie ursprünglich erwartet – Inneneinrichtungen wie ein veränderbarer Sitz oder ein Bett notwendig waren.
- Die nächstgrößere Position waren die sonstigen unmittelbaren Vorhabenkosten. Diese Mittel wurden nicht vollständig ausgeschöpft, da sich eine Veränderung in der Vergütung der Probanden hin zu einer kostengünstigeren Alternative ergab.
- Die geringste Position waren die Reisekosten, welche aufgrund der Reiserestriktionen im Rahmen von Covid nicht ausgeschöpft werden konnten.

Die Ausgabenplanung wurde größtenteils eingehalten, größere Abweichungen sind im Zahlenmäßiger Verwendungsnachweis dargestellt.

8 Notwendigkeit und Angemessenheit der geleisteten Arbeit

Da es sich bei automatisiertem Fahren um eine so disruptive technologische Veränderung handelt, birgt die Forschung daran sowie die Umsetzung in marktfähige Produkte erhebliche technische wie auch wirtschaftliche Risiken. Daher sind öffentlich Zuwendungen selbst für ein Unternehmen wie die MAN Truck & Bus SE notwendig, um das Risiko eines solchen Projekts nicht allen tragen zu müssen.

Ohne staatliche Förderung in der beantragten Form wäre die Bearbeitung der Themen des Projekts RUMBA daher nicht oder nur deutlich verzögert erfolgt. Die erreichten Ergebnisse sind zwar von hoher Relevanz für die MAN Truck & Bus SE, das Projekt wäre aber unter Wahrung unternehmerischer Vorsicht aufgrund des hohen Risikos nicht in diesem Umfang umsetzbar gewesen. Die Gewährung von Fördermitteln hatte somit das Ergebnis, dass die Projektergebnisse wesentlich früher und ausführlicher erzielt werden konnten.

Die im Rahmen von RUMBA durch die MAN Truck & Bus SE geleisteten Arbeiten waren sowohl notwendig als auch angemessen, da sie der Planung nach Vorhabenbeschreibung entsprachen und zur Erfüllung der gesetzten Ziele notwendig waren. Der Erfolg des Vorhabens wurde weiterhin in der Abschlusspräsentation, zahlreichen Demonstrationen und Publikationen belegt. Der im Projektteam erfolgte Austausch hinsichtlich aller bearbeiteten Themen wäre zudem ohne das Projekt nicht möglich gewesen.

9 Literatur

Escherle, S., Sprung, A. & Bengler, K. (2023). How Will Automated Trucks Change the Processes and Roles in Hub-to-Hub Transport? In H. Krömker (Hrsg.), Lecture Notes in Computer Science. HCI in Mobility, Transport, and Automotive Systems (Bd. 14048, S. 51–69). Springer Nature Switzerland. https://doi.org/10.1007/978-3-031-35678-0_4

Flämig, H. (2016). Autonomous Vehicles and Autonomos Driving in Freight Transport. In M. Maurer, J. C. Gerdes, B. Lenz & H. Winner (Hrsg.), Autonomous Driving (S. 365–385). Springer.

Gräter, A., Harrer, M., Rosenquist, M. & Steiger, E. (2022). Connected, Cooperative and Auto mated Mobility Roadmap (10. Aufl.). ERTRAC.

Hörl, S., Ciari, F. & Axhausen, K. W. (2016). Recent perspectives on the impact of autonomous vehicles. Institute for Transport Planning and Systems. https://doi.org/10.3929/ETHZ-B 000121359

Inninger, W., Schellert, M. & Schulz, H. (2018). Analyse der Randbedingungen und Vorausset zungen für einen automatisierten Betrieb von Nutzfahrzeugen im innerbetrieblichen Verkehr. FAT-Schriftenreihe, 312.

Mertens, S. (2024). Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr (Unveröffentlichte Dissertation), TU München.

Müller, S. & Voigtländer, F. (2019). Automated trucks in road freight logistics: the user perspec tive. In Interdisciplinary Conference on Production Logistics and Traffic (S. 102–115). Springer. https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31144.83200

Hackman, J. R. & Oldham, G. R. (1976). Motivation through the design of work: Test of a theory. *Organizational behavior and human performance, 16*(2), 250-279.

Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis. *A companion to qualitative research, 1*(2), 159-176.

Mehrabian, A. & Russell, J. A. (1974). *An approach to environmental psychology.* The Mit Press.

SAE International (Hrsg.). (2021). Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Au tomation Systems for On-Road Motor Vehicles: Technical Report. https://saemobilus.sae.org/content/j3016_201806. Accessed 01.03.2022

Slater, M. (2003). A note on presence terminology. *Presence Connect*, 3(3), 1–5.

Thüring, M. & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology in teraction. International Journal of Psychology, 42(4), 253–264.

Yang, E., Anh, H.-J., Kim, N.-H., Jung, H.-S., Kim, K.-R. & Hwang, W. (2015). Perceived Interior Space of Motor Vehicles based on Illusory Design Elements. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing & Service Industries, 25*(5), 573-584.

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 der MAN Truck & Bus SE	
4. Autor(en) [Name(n), Vorname(n)] Dr. Sprung, Anna Julia Mertens geb. Escherle, Svenja	5. Abschlussdatum des Vorhabens 30.06.2024
	6. Veröffentlichungsdatum 31.12.2024
	7. Form der Publikation Öffentlicher Schlussbericht
8. Durchführende Institution(en) (Name, Adresse) MAN Truck & Bus SE Dachauer Straße 667 80995 München	9. Ber. Nr. Durchführende Institution
	10. Förderkennzeichen 19A120007A
	11. Seitenzahl 70
12. Fördernde Institution (Name, Adresse) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. Literaturangaben 14
	14. Tabellen 14
	15. Abbildungen 48
16. Zusätzliche Angaben k.A.	
17. Vorgelegt bei (Titel, Ort, Datum) TÜV Rheinland Consulting GmbH, Am Grauen Stein, 51101 Köln, 12.12.2024	

18. Kurzfassung

Die Automatisierung von Lkw mit SAE Level 4 erlaubt, dass sich im Hub-to-Hub-Verkehr streckenweise keine fahrende Person mehr im Lkw befinden muss, was viele Vorteile für die Logistik verspricht. Durch das Wegfallen der Lkw-Fahrer:innen ist davon auszugehen, dass sich die Anforderungen an die Gestaltung der Lkw-Kabine verändern. Zusätzlich sind Lkw-Fahrer:innen heutzutage tief in die Prozesse auf den Hubs eingebunden, weshalb durch deren Wegfall aus dem Arbeitssystem weitreichende Änderungen hinsichtlich Prozessgestaltung und der zugehörigen Arbeit auf den Hubs zu erwarten sind.

Im Projekt RUMBA wurde daher untersucht, welche Veränderungen im Logistikprozess durch Lkw mit SAE Level 4 zu erwarten sind, welche Einsatzszenarien sich für die Lkw zukünftig ergeben und wie die Lkw-Kabine für die jeweiligen Szenarien gestaltet sein soll. Des Weiteren wurde betrachtet, wie sich die menschliche Arbeit im Kontext automatisierter Lkw verändern wird und wie diese gestaltet und optimiert werden kann. Auf Basis einer ausführlichen Analyse des Ist-Zustands durch Mitfahrten und Werksanalysen wurde ein Verständnis der aktuellen Tätigkeiten und Prozesse geschaffen. Zusätzlich wurden weitere Trends in der Logistik berücksichtigt und zukünftige Szenarien für den Einsatz automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr abgeleitet. Auf Basis der Szenarien und den veränderten Anforderungen wurden insgesamt drei Konzepte für die Gestaltung der Lkw-Kabine nutzerzentriert entwickelt. Diese wurden anschließend iterativ in Form von Paper- und VR-Prototypen, sowie anhand eines modularen Mockups aufgebaut, mit Nutzer:innen getestet und weiterentwickelt. Die zukünftige Prozessgestaltung auf den Hubs wurde im Rahmen von Expert:innen-Workshops erarbeitet und die zukünftige Arbeit in Form von Interview-Studien genauer beleuchtet und Optimierungspotenzial identifiziert.

19. Schlagwörter Automatisiertes Fahren, Neuartige Innenraumkonzepte, Nutzerzentrierte Entwicklung,	
20. Verlag	21. Preis

Document Control Sheet

1. ISBN or ISSN	2. type of document (e.g. report, publication) Schlussbericht
3. title RUMBA – Realisierung einer positiven User Experience mittels Benutzerfreundlicher Ausgestaltung des Innenraums für automatisierte Fahrfunktionen Schlussbericht der MAN Truck & Bus SE	
4. author(s) (family name, first name(s)) Dr. Sprung, Anna Julia Mertens geb. Escherle, Svenja	5. end of project 30.06.2024 6. publication date 31.12.2024 7. form of publication Öffentlicher Schlussbericht
8. performing organization(s) (name, address) MAN Truck & Bus SE Dachauer Straße 667 80995 München	9. originator's report no. 10. reference no. 19A120007A 11. no. of pages 70
12. sponsoring agency (name, address) Bundesministerium für Wirtschaft und Klimaschutz (BMWK) 53107 Bonn	13. no. of references 14 14. no. of tables 14 15. no. of figures 48
16. supplementary notes	
17. presented at (title, place, date) TÜV Rheinland Consulting GmbH, Am Grauen Stein, 51101 Köln, 12.12.2024	

18. abstract

With automated trucks (SAE Level 4), it is possible that for stretches of hub-to-hub transport no driver needs to be in the truck, promising many advantages for logistics. With the elimination of truck drivers, it is expected that the requirements for the design of the truck cabin will change. Additionally, truck drivers are currently deeply involved in processes at the hubs, so their removal from the work system is expected to lead to significant changes in process design and related work at the hubs.

Therefore, the RUMBA project investigated the changes in the logistics process expected from trucks with SAE Level 4, the future deployment scenarios for these trucks, and how the truck cabin should be designed for each scenario. Furthermore, the project examined how human work will change in the context of automated trucks and how it can be designed and optimized. Based on a thorough analysis of the current state through ride-alongs and factory analyses, an understanding of current activities and processes was achieved. Additionally, further trends in logistics were considered, and future scenarios for the use of automated trucks in hub-to-hub transport were derived. Based on these scenarios and the changed requirements, three concepts for the design of the truck cabin were developed in a user-centered manner. These were then iteratively built, tested, and further developed in the form of paper and VR prototypes, as well as a modular mockup with users. The future process design at the hubs was developed through expert workshops, and the future work was examined in more detail through interview studies, identifying optimization potential.

19. keywords
Automated driving, innovative Interior Design, Usercentered development

20. publisher	21. price