

Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr

Svenja Mertens (geb. Escherle), M. Sc.

Vollständiger Abdruck der von der TUM School of Engineering and Design der
Technischen Universität München zur Erlangung des akademischen Grades einer

Doktorin der Philosophie (Dr. phil.)

genehmigten Dissertation.

Vorsitz: Prof. Dr. Ing. Markus Lienkamp

Prüfende der Dissertation:

1. Prof. Dr. phil. Klaus Bengler
2. Prof. Dr. Ing. Johannes Fottner

Die Dissertation wurde am 31.10.2024 bei der Technischen Universität München eingereicht
und durch die TUM School of Engineering and Design am 21.05.2025 angenommen.

„Versuche nicht, jemand zu sein, der du nicht bist.“ - *Martin Baumann*

Danksagung

Diese Arbeit entstand während meiner Tätigkeit am Lehrstuhl für Ergonomie der Technischen Universität München in Kooperation mit der MAN Truck & Bus SE von 2021 bis 2024.

Zu Beginn möchte ich die Gelegenheit nutzen, denjenigen zu danken, die mich auf diesem Weg unterstützt und begleitet haben. Ohne eure Hilfe und euer Engagement wäre diese Arbeit nicht möglich gewesen.

Zunächst möchte ich meinem Doktorvater, Prof. Klaus Bengler, danken – für die Möglichkeit zu promovieren, die wegweisenden Impulse, die zahlreichen amüsanten Büro-Gespräche und natürlich auch für meinen Lkw-Führerschein.

Meinem Mentor, Prof. Martin Baumann, danke ich für die Bereitschaft, mich auf diesem Weg zu begleiten, und dafür, dass du mich im entscheidenden Moment in die richtige Richtung geschubst hast.

Ein besonderer Dank geht an meine MAN-Mentorin Anna Sprung. Danke für deine jahrelange Unterstützung, für deinen fachlichen und persönlichen Rat, die hilfreichen Diskussionen und deine Lösungsorientierung. Danke, dass du mich immer dazu anspornst, mein Bestes zu geben.

Jan, dir möchte ich aus tiefstem Herzen danken – dafür, dass du mich so oft auf den Boden der Tatsachen zurückgeholt, mir Sicherheit gegeben und unglaublich viel Verständnis entgegengebracht hast. Bei dir konnte ich meine Akkus immer wieder aufladen. Du hast immer an mich geglaubt, so oft genau die richtigen Worte gefunden und mir durch unsere vielen wunderschönen gemeinsamen Erlebnisse sehr viel Kraft gegeben. Danke!

Ein riesengroßes Dankeschön geht auch an meine beste Freundin Judith. Danke, dass du den Weg schon so lange mit mir gehst und das Leben mit mir teilst. Danke für dein offenes Ohr, deine Unterstützung und deine Liebe.

Meiner Familie, insbesondere meiner Mama, meinem Papa und meinem Bruder, danke ich vor allem für die Unterstützung und den Rückhalt während meiner Promotionszeit. Ihr habt mir den nötigen Raum und die Sicherheit gegeben, um das Projekt Drescherle zu verwirklichen.

Dem gesamten Lehrstuhl für Ergonomie möchte ich für die gute Stimmung, die Random-Fridays und das tolle Miteinander danken. Ein besonderer Dank gilt meiner 1A Forschungsgruppe, Birte und Olli, die mich auch durch die schwierigen Phasen getragen haben.

Vielen Dank an euch alle für eure Unterstützung und Begleitung auf diesem Weg.

Garching, im Oktober 2024

Svenja Mertens (geb. Escherle)

Kurzfassung

Von automatisiertem Fahren werden in der Nutzfahrzeugindustrie unterschiedliche Vorteile erwartet, darunter unter anderem gesenkte Kosten und erhöhte Effizienz. Um von diesen Vorteilen zu profitieren, treten Lkw mit Automatisierungslevel 4 in den Fokus, in denen sich nicht mehr zwingend eine Person physisch im Lkw befinden muss. Hierfür wird der Hub-to-Hub-Verkehr als einer der ersten Anwendungsfälle angesehen. Allein dadurch, dass Lkw-Fahrer:innen neben der Fahraufgabe aktuell einige zusätzliche Tätigkeiten im Kontext der Umschlagprozesse auf den Hubs übernehmen, sind mit der Einführung automatisierter Lkw weitreichende Änderungen im zugehörigen Arbeitssystem zu erwarten. Wie diese Änderungen aussehen werden, ist jedoch bislang unklar. Vor diesem Hintergrund untersucht die vorliegende Dissertation den Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr mit dem Ziel, die Integration automatisierter Lkw vorzubereiten und dabei die menschliche Komponente im Sinne der Human Factors in den Fokus zu stellen.

Basierend auf der durchgeführten Analyse der aktuellen Tätigkeiten, Prozessen und Rahmenbedingungen im derzeitigen Arbeitssystem sowie der zukünftigen Entwicklung des Logistikumsfelds wurde ein realistisches Zukunftsszenario abgeleitet. Dieses beinhaltet, dass automatisiertes Fahren (SAE Level 4) zwischen den Hubs möglich ist, die Strecken auf dem Hub-Gelände jedoch nicht Teil der ODD sind. Die Umschlagstätigkeiten auf dem Hub müssen im betrachteten Szenario weiterhin manuell ausgeführt werden. Der Fokus liegt hierbei auf Hubs, auf denen aktuell an unterschiedlichen Positionen Teil(ent)ladungen stattfinden und die Lkw dabei mit den Trailern verbunden bleiben. Für dieses Szenario wurde der Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr untersucht. Dies umfasste sowohl die zu erwartenden Änderungen in der Gestaltung der Warenein- und -ausgangsprozesse als auch die zusammenhängenden Änderungen für die jeweiligen Arbeitspersonen und deren Aufgaben.

Insgesamt wurden vier verschiedene Möglichkeiten zur Prozessgestaltung mit automatisierten Lkw erarbeitet. Diese unterscheiden sich zum einen darin, ob Lkw und Trailer auf dem Hub verbunden bleiben oder getrennt werden, sowie in der Art der Steuerung des Zugfahrzeugs auf dem Gelände. Auf Basis der Voraussetzungen, Vor- und Nachteile der jeweiligen Prozesse konnten Empfehlungen für die Umsetzung in Abhängigkeit der gegebenen Rahmenbedingungen der Hubs abgeleitet werden. Weiterhin zeigen die Untersuchungen, dass der Mensch auch im Kontext automatisierter Lkw weiterhin eine Schlüsselrolle im Arbeitssystem einnehmen wird. Im Rahmen der entwickelten Prozesse entstehen diesbezüglich teilweise neue Rollen, wie z. B. Hub-Fahrer:innen oder Teleoperator:innen, die den Lkw auf dem Gelände steuern. Je nach umgesetzten Prozess wird sich darüber hinaus die Tätigkeit der Be- und Entlader:innen durch die Automatisierung der Lkw erweitern, indem zusätzliche Aufgaben und zusätzliche Verantwortung übernommen werden müssen. Auf Basis des Job Characteristic Models wurden die zukünftigen Tätigkeiten im Sinne der Ergonomie evaluiert, Verbesserungspotenzial identifiziert sowie entsprechende Maßnahmen abgeleitet. Die Ergebnisse dieser Dissertation tragen dadurch dazu bei, automatisierte Lkw in das zukünftige Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr zu integrieren und potenziellen negativen Auswirkungen dieser technischen Entwicklung auf die Mitarbeitenden vorzubeugen.

Abstract

Various benefits are expected from automated driving in the commercial vehicle industry, including reduced costs and increased efficiency. In order to benefit from these advantages, the focus is on trucks with automation level 4, which no longer require a person to be physically present in the truck. In this context, hub-to-hub transport is considered one of the first use cases for automated trucks. The mere fact that truck drivers currently perform several additional tasks besides driving means that far-reaching changes in the associated work system can be expected with the introduction of automated trucks. However, it is unclear what these changes will look like to this point. Against this background, this dissertation examines the impact of automated trucks on the work system in hub-to-hub transport with the aim of preparing for the integration of automated trucks and focusing on the human component in terms of the human factors.

Based on the conducted analysis of current tasks, processes, and conditions in the current work system as well as the analysis of the future development of the logistics environment, a realistic scenario was derived. This includes that automated driving (SAE Level 4) is possible between the hubs. However, the routes on the hub site are not part of the ODD. Furthermore, the loading and unloading tasks at the hub still have to be carried out manually in the scenario. This dissertation focuses on hubs where the trucks currently are partially (un)loaded at different positions and therefore remain connected to the trailers. The influence of automated trucks on the work system in hub-to-hub transport was examined for this scenario. This included both the expected changes in the design of the processes for incoming and outgoing goods and the associated changes for the respective workers and their tasks.

Overall, a total of four different options the design of the in-hub process with automated trucks were developed. These differ in terms of whether the truck and trailer remain connected or are separated at the hub, as well as in the type of control of the tractor unit on the hub premises. Based on the requirements and (dis)advantages of the respective processes, recommendations for implementation depending on the given framework conditions of the hubs were derived. Furthermore, the investigations show that humans will continue to play a key role in the work system even in the context of automated trucks. Depending on the implemented process, new roles will be required, such as hub drivers or teleoperators who control the truck on the site. In three of the four developed processes, the tasks of the (un)loading personnel will expand due to the automation of the trucks, as additional tasks and additional responsibilities will have to be taken on. Based on the job characteristic model, the future jobs were evaluated in terms of ergonomics. Therefore, potential for improvement was identified and appropriate measures were derived. The results of this dissertation thus contribute to integrating automated trucks into the future work system of hub-to-hub transport and to preventing potential negative effects of this technical development on employees.

Inhaltsverzeichnis

Abkürzungsverzeichnis	V
Formelzeichen.....	VII
1 Einleitung	9
2 Theoretischer Hintergrund	11
2.1 Human Factors	11
2.2 Arbeitssystem.....	12
2.2.1 Struktur und Elemente eines Arbeitssystems	12
2.2.2 Technik im Arbeitssystem	14
2.2.3 Mensch im Arbeitssystem	16
2.3 Gestaltung von Arbeit.....	18
2.3.1 Job Characteristics Model.....	19
2.4 Lkw als Teil der Logistik	22
2.4.1 Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr	23
2.4.2 Automatisierung von Lkw.....	25
2.5 Änderungen im Arbeitssystem durch automatisierte Lkw.....	27
3 Forschungsfragen	31
4 Methodisches Vorgehen.....	33
4.1 Methoden auf Systemebene	33
4.2 Methoden auf Aufgabenebene	34
4.3 Vorgehen dieser Dissertation.....	35
5 Aktuelle Tätigkeiten und Prozesse	37
5.1 Methode.....	38
5.2 Ergebnisse	38
5.2.1 Registrieren.....	39
5.2.2 Fahren	40
5.2.3 Entladen.....	40
5.2.4 Beladen und Abmelden	42
5.2.5 Digitale Systeme	43

5.2.6	Herausforderungen	43
5.3	Diskussion	44
6	Zukünftiges Logistikumfeld.....	47
6.1	Aktuelle Trends in der Logistik	47
6.1.1	Globalisierung	47
6.1.2	Digitalisierung	48
6.1.3	Nachhaltigkeit	48
6.1.4	Wettbewerb und neue Geschäftsmodelle	49
6.1.5	Logistikprozesse	49
6.1.6	Gesellschaft und Risiken	50
6.1.7	Zusammenfassung	50
6.2	Methode.....	50
6.2.1	Projektionen	51
6.2.2	Auswahl der Expert:innen	53
6.2.3	Durchführung der Studie	53
6.2.4	Szenarienentwicklung	54
6.3	Ergebnisse	54
6.3.1	Quantitative Analyse	55
6.3.2	Clustering.....	56
6.3.3	Qualitative Analyse	57
6.4	Diskussion	58
6.4.1	Limitationen.....	59
7	Zwischenfazit: Betrachtetes Szenario	61
8	Prozessentwicklung.....	63
8.1	Methode.....	63
8.1.1	Ablauf der Workshops	64
8.1.2	Datenanalyse	64
8.2	Ergebnisse	64
8.2.1	Grundlegende Prozesse zur Integration automatisierter Lkw	64
8.2.2	Zukünftige Rollen und Aufgabenverteilung	68
8.3	Diskussion	70
8.3.1	Voraussetzungen und Folgen der Prozesse	70
8.3.2	Zukünftige Rollen	71
8.3.3	Limitationen.....	72

8.3.4	Zusammenfassung und Implikationen	72
9	Zwischenfazit: Zukünftige Arbeit im Hub-to-Hub-Verkehr	75
9.1	Hub-Fahrer:in	75
9.2	Be-/Entlader:in	76
9.2.1	Prozess 1 (Lkw wird von Hub-Fahrer:in gesteuert).....	76
9.2.2	Prozess 2 (Lkw wird ferngesteuert)	77
10	Evaluation der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in	79
10.1	Methode.....	80
10.1.1	Erfasste Variablen.....	80
10.1.2	Ablauf der Studie	82
10.1.3	Stichprobe.....	82
10.2	Ergebnisse	83
10.2.1	Aktuelle Tätigkeit.....	83
10.2.2	Bewertung der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in	85
10.3	Diskussion	87
10.3.1	Limitationen.....	89
10.3.2	Zusammenfassung und Ausblick.....	90
11	Evaluation der Tätigkeit als Be-/Entlader:in	93
11.1	Methode.....	94
11.1.1	Ablauf der Studie	94
11.1.2	Erfasste Variablen.....	95
11.1.3	Analyse	96
11.1.4	Stichprobe.....	96
11.2	Ergebnisse	97
11.2.1	Prozess 1 (Lkw wird von Hub-Fahrer:in gesteuert).....	97
11.2.2	Prozess 2 (Lkw wird ferngesteuert)	100
11.2.3	Vergleich Prozess 1 und Prozess 2	101
11.3	Diskussion	102
11.3.1	Limitationen.....	104
11.3.2	Zusammenfassung und Ausblick.....	105
12	Zusammenfassung und Diskussion	107
12.1	Voraussetzungen für die Einführung automatisierter Lkw	107
12.2	Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem	108
12.2.1	Umwelteinflüsse.....	109

12.2.2	Arbeitspersonen und Arbeitsaufgaben	111
12.3	Übertragbarkeit der Ergebnisse	114
12.4	Ausblick.....	115
12.5	Fazit	117
Abbildungsverzeichnis		i
Tabellenverzeichnis.....		iii
Literaturverzeichnis.....		v
Vorveröffentlichungsliste		xxi
Anhang		xxiii

Abkürzungsverzeichnis

H	Hypothese
IQR	Inter-Quartil-Ratio
JDS	Job Diagnostic Survey
KI	Künstliche Intelligenz
KV	Kombinierter Verkehr
Lkw	Lastkraftwagen
MTO	Mensch-Technik-Organisation
ODD	Operational Design Domain
OEM	Original Equipment Manufacturer (Hersteller)
WDQ	Work Design Questionnaire

Formelzeichen

Formelzeichen	Beschreibung
α	Signifikanzniveau
p	Signifikanz

1 Einleitung

Automatisierte Lkw, die zwischen Logistikzentren im sogenannten Hub-to-Hub-Verkehr über die Autobahnen fahren, ohne eine Person hinter dem Lenkrad – dieses Szenario nähert sich mit großen Schritten der Realität. In diesem Fall handelt es sich um Fahrzeuge mit Automatisierungslevel 4, bei denen sich per Definition kein Mensch mehr im Fahrzeug befinden muss (SAE International, 2021). Hinter diesem Fortschritt der Automatisierung verbirgt sich jedoch mehr als nur die Technologie selbst – es bedeutet vielmehr auch den Wandel eines ganzen Arbeitssystems im Hub-to-Hub-Verkehr.

Dass mit der Einführung automatisierter Lkw ein Wandel bevorsteht, verdeutlicht folgende Situation: Ein Logistik-Hub wird heutzutage von Lkw beliefert, die in einem gut organisierten Prozess abgeladen, beladen und wieder weitergefahren werden. Die Person hinter dem Lenkrad eines jeden Fahrzeugs ist dabei nicht nur für die Steuerung des Lkw zuständig, sondern übernimmt eine Vielzahl an zusätzlichen Aufgaben auf dem Hub: Be- und Entladung, Dokumentation, Kommunikation und Zusammenarbeit mit den Mitarbeitenden vor Ort (Inninger et al., 2018). Der heutige Lieferprozess auf den Hubs ist demnach auf die Anwesenheit und Mitarbeit der Lkw-Fahrer:innen ausgelegt. Mit der Automatisierung der Lkw wird jedoch in Zukunft eben diese Rolle aus dem System entfernt, die Lkw kommen ohne Fahrer:in und somit ohne zusätzliche Unterstützung an den Hubs an. Dadurch wird deutlich: Die Automatisierung von Lkw betrifft nicht nur das Fahren selbst, sondern beeinflusst vermutlich auch das gesamte Gefüge des zugehörigen Arbeitssystems, was eine Vielzahl an Fragen aufwirft. Wie kann der Lieferprozess auf dem Hub in Zukunft ohne Fahrer:innen gestaltet werden? Wie werden die Tätigkeiten, für die heutzutage die Lkw-Fahrer:innen zuständig sind, zukünftig ausgeführt? Welche dieser Tätigkeiten müssen im Kontext automatisierter Lkw weiterhin manuell ausgeführt werden? Und was bedeuten die Veränderungen für die Arbeitsplätze auf dem Hub? Diese offenen Fragen verdeutlichen, dass die Entwicklung der Technologie des automatisierten Fahrens allein nicht ausreicht. Es muss vor allem auch betrachtet werden, welchen Einfluss diese auf die vielfältigen Aufgaben und Prozesse im Hub-to-Hub-Verkehr hat. Die vorliegende Dissertation hat zum Ziel, diesen Aspekt für den innerdeutschen Hub-to-Hub-Verkehr ganzheitlich zu betrachten.

Nach Schlick et al. (2018) besteht ein Arbeitssystem unter anderem aus einer Arbeitsaufgabe, einer Arbeitsperson und den Umgebungsbedingungen. Um den Einfluss automatisierter Lkw auf diese Bestandteile zu untersuchen, gilt es zunächst ein umfassendes Bild des heutigen Ist-Zustands zu erarbeiten. Im Rahmen dieser Dissertation sollen daher im ersten Schritt die heutigen Rahmenbedingungen, die unterschiedlichen Rollen, Tätigkeiten und Abläufe auf Logistik-Hubs analysiert werden. Diese Analyse bildet die Basis für weitere Untersuchungen zum Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr.

Bei der Betrachtung der Veränderungen durch automatisierte Lkw gibt es eine zentrale Herausforderung: Die Einführung automatisierter Lkw in den Hub-to-Hub-Verkehr liegt noch in der Zukunft (Gräter et al., 2022). Darüber hinaus ist das automatisierte Fahren zwar ein großer Trend in der Logistik (z. B. Bucsky, 2018; Flämig, 2016), jedoch nicht der einzige (z. B. Goudz et al.,

2021). Bis zu jenem Zeitpunkt, an dem Lkw automatisiert (SAE L4) auf deutschen Straßen fahren, werden somit voraussichtlich noch weitere Veränderungen im Umfeld der Lkw stattfinden. Diese werden bei der Untersuchung des Arbeitssystems im Rahmen dieser Arbeit ebenfalls berücksichtigt.

Unter Berücksichtigung des aktuellen Zustands und der zukünftigen Entwicklungen im logistischen Umfeld automatisierter Lkw gilt es herauszufinden, welche Tätigkeiten zukünftig weiterhin manuell von Menschen ausgeführt werden müssen und welche beispielsweise durch Lösungen im Rahmen der fortschreitenden Digitalisierung bewältigt werden können. Des Weiteren gilt es zu untersuchen, wie der Lieferprozess mit automatisierten Lkw unter den zukünftigen Bedingungen gestaltet werden kann und wie sich dies auf die einzelnen Rollen und die Arbeit auf den Hubs auswirkt. Je nach Ausgestaltung des zukünftigen Lieferprozesses hängt die erfolgreiche Einführung automatisierter Lkw gegebenenfalls von der Verfügbarkeit von Personal auf den Hubs ab. Vor dem Hintergrund des Arbeitskräftemangels in der Logistik (Min, 2007) gewinnt dabei die Attraktivität der Arbeit und die Arbeitszufriedenheit zunehmend an Bedeutung (Anandhi & Perumal, 2013). Im Rahmen dieser Dissertation soll daher die Gestaltung der zukünftigen Arbeit im Kontext automatisierter Lkw ebenfalls betrachtet werden.

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sich die Veränderungen, die durch die Automatisierung von Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr entstehen, voraussichtlich über mehrere Aspekte des Arbeitssystems im logistischen Prozess erstrecken. Es ist daher essenziell, nicht nur die technologischen Aspekte, sondern auch die organisatorischen und sozialen Implikationen zu berücksichtigen. Eine solche holistische Herangehensweise ermöglicht die Gestaltung der Arbeitsprozesse und -strukturen im Kontext des automatisierten Hub-to-Hub-Verkehrs. Durch die ganzheitliche Betrachtung können potenzielle Herausforderungen antizipiert und proaktiv adressiert werden, um eine nachhaltige Integration der Technologie in das Arbeitsumfeld zu gewährleisten.

2 Theoretischer Hintergrund

In diesem Kapitel werden zunächst grundlegende Konstrukte, Theorien und Begriffe dargelegt und die relevanten Zusammenhänge vorgestellt. Im Anschluss wird genauer auf den Anwendungsfall automatisierte Lastkraftwagen (Lkw) im Hub-to-Hub-Verkehr eingegangen und die wesentlichen Hintergründe hierfür vorgestellt. Diese beiden Themenblöcke werden zum Abschluss zusammengeführt und die Relevanz des Forschungsgebiets vorgestellt.

2.1 Human Factors

Der Begriff Human Factors wird häufig verwendet, um menschliche Faktoren von technischen Faktoren abzugrenzen. Die Disziplin der Human Factors umfasst jedoch mehr als diese Unterscheidung, da gerade der Zusammenhang zwischen menschlichen und technischen Faktoren eine wichtige Rolle spielt (Badke-Schaub et al., 2008). Nach dem Handbuch der Human Factors und Ergonomie (Salvendy, 2006) wird die Disziplin der Human Factors als eine Wissenschaft definiert, die sich "mit der Rolle des Menschen in komplexen Systemen, mit dem Design von Ausrüstung, technischen Hilfsmitteln und Gerätschaften und mit der Anpassung der Arbeitsumgebung mit dem Ziel der Steigerung von Komfort und Sicherheit befasst". Neben der Effizienz und Sicherheit eines Systems haben die Human Factors somit vor allem das Wohlergehen der darin agierenden Menschen zum Ziel. Dieses soll durch einen systemischen Ansatz, d. h. durch die Gestaltung des jeweiligen Systems und unter Einbezug unterschiedlicher Stakeholder erreicht werden (Dul et al., 2012). Vor diesem Hintergrund stellen die Human Factors die Anforderung an Arbeitssysteme, die individuellen Fähigkeiten und Bedürfnisse der arbeitenden Menschen zu berücksichtigen. Diese Aspekte spielen vor allem beim Umgang mit Veränderungen im Arbeitssystem und zunehmender Komplexität der technischen Systeme eine wichtige Rolle (Badke-Schaub et al., 2008; Carayon, 2006). Generell sind die Human Factors eine interdisziplinäre Forschungsrichtung. Zu den Basisdisziplinen der Human Factors gehören unter anderem die Ergonomie/Arbeitswissenschaft und die Arbeits- und Organisationspsychologie. Diese haben jedoch jeweils einen unterschiedlichen Schwerpunkt (Badke-Schaub et al., 2008).

Bei der Ergonomie handelt es sich um eine Disziplin, die sich damit beschäftigt, wie Menschen mit verschiedenen Teilen eines Systems interagieren. Dieses System kann von Technologie über Arbeitsumgebungen bis hin zu sozialen Strukturen eine Vielzahl von Komponenten umfassen. In der klassischen Ergonomie und Arbeitswissenschaft liegt der Hauptfokus auf der physischen Anpassung von Arbeit und Umgebung an die menschliche Anatomie und Größe. Darüber hinaus beschäftigt sich diese Disziplin mit der Analyse und Gestaltung von Wechselwirkung zwischen Menschen und Elementen des Systems. Dabei steht das Wohlbefinden der Menschen im Mittelpunkt, gleichzeitig aber auch die Optimierung der Gesamtleistung des Systems (Badke-Schaub et al., 2008; H. Bullinger, 2013). Die zwei zentralen Themen der Ergonomie sind somit erstens, die Arbeit so zu gestalten, dass sie gut zum Menschen passt. Das beinhaltet die Anpassung von Arbeitsplätzen, Arbeitsabläufen und der Arbeitsumgebung, um sicherzustellen, dass sie komfortabel, effizient und gesundheitsfördernd für die arbeitenden Menschen sind. Zweitens dreht sich die Ergonomie darum, die Menschen für die Arbeit gut vorzubereiten, indem sie die notwendigen Kenntnisse und Fertigkeiten erwerben, um ihre Aufgaben effektiv auszuführen und mit den spezifischen Anforderungen ihrer Arbeitsumgebung umzugehen.

Zusammengefasst zielt die Ergonomie darauf ab, eine optimale Anpassung zwischen den Fähigkeiten und Bedürfnissen des Menschen sowie den Anforderungen der Arbeit zu erreichen (Badke-Schaub et al., 2008). Als weitere Basisdisziplin der Human Factors beschäftigt sich die Arbeits- und Organisationspsychologie mit dem „Erleben und Verhalten von Menschen bei der Ausführung ihrer Arbeitstätigkeit im Organisationskontext“ (Badke-Schaub et al., 2008, S. 17). Dabei geht es nicht nur um physische und kognitive Aspekte, sondern auch um soziale und organisatorische Einflüsse. Es wird betrachtet, wie Menschen in Arbeitsgruppen agieren, wie Motivation und Kommunikation funktionieren und wie die organisatorischen Strukturen die Arbeit und Zufriedenheit der Mitarbeitenden beeinflussen (Nerdinger et al., 2008).

Die Human Factors und die vorgestellten Basisdisziplinen verbindet, dass der Menschen in einem Arbeitssystem betrachtet wird. In diesem Zusammenhang gilt es zunächst eine genaue Vorstellung davon zu entwickeln, was genau ein solches Arbeitssystem ausmacht und wie es bestmöglich analysiert und beschrieben werden kann.

2.2 Arbeitssystem

Wie bereits in Kapitel 1 adressiert, findet menschliche Arbeit in der Regel in einem Arbeitssystem statt. In der arbeitswissenschaftlichen Literatur ist generell von einem Arbeitssystem die Rede, wenn es um den Menschen und seine Arbeitsaufgabe geht (Schlick et al., 2018). Genauer ist ein Arbeitssystem laut Norm ein "System, welches das Zusammenwirken eines einzelnen oder mehrerer Arbeitender mit den Arbeitsmitteln umfasst, um die Funktion des Systems, innerhalb des Arbeitsraumes und der Arbeitsumgebung unter den durch die Arbeitsaufgaben vorgegebenen Bedingungen zu erfüllen" (DIN EN ISO 6385:2016, S. 7). Somit wird der Mensch innerhalb eines Arbeitssystems als zentrales Element und unverzichtbarer Teil betrachtet (Badke-Schaub et al., 2008; DIN EN ISO 6385:2016).

2.2.1 Struktur und Elemente eines Arbeitssystems

Um die Struktur und Elemente eines Arbeitssystems darzustellen, existieren verschiedene Ansätze. Diese sind größtenteils miteinander kompatibel und schließen sich nicht gegenseitig aus. Eine dieser Herangehensweisen ist der soziotechnische Ansatz. Hierbei wird das Arbeitssystem, auch als soziotechnisches System bezeichnet, in ein soziales und ein technisches Teilsystem untergliedert (DIN EN ISO 6385:2016; Ulich, 2013). Das soziale Teilsystem umfasst dabei die arbeitenden Personen, der technische Teil beinhaltet die Arbeitsmittel und Umgebungsbedingungen. Die beiden Teilsysteme stehen auf komplexe Weise miteinander in Beziehung und beeinflussen sich gegenseitig (Badke-Schaub et al., 2008; DIN EN ISO 6385:2016; Ulich, 2013). Daraus folgt, dass keines dieser Teilsysteme optimiert werden kann, ohne das andere mit zu berücksichtigen (Badke-Schaub et al., 2008).

Eine ähnliche Herangehensweise zur theoretischen Strukturierung eines Arbeitssystems ist der Ansatz der Mensch-Technik-Organisation (MTO), dargestellt in Abbildung 2.1. Hierbei wird das Arbeitssystem - wie der Name bereits preisgibt - in die drei Bereiche Mensch, Technik und Organisation unterteilt. Das Konzept basiert darauf, dass Wechselwirkungen und Abhängigkeiten zwischen diesen Bereichen existieren, die es zu erkennen und zu beachten gilt. Bei diesem Ansatz spielt die Arbeitsaufgabe eine zentrale Rolle im Arbeitssystem: Sie vereint das soziale Teilsystem mit dem technischen und stellt die Verbindung zwischen einer arbeitenden Person

und den organisatorischen Rahmenbedingungen dar (Ulich, 2013). Die Arbeitsaufgabe ist jedoch nicht nur ein Schnittpunkt, sondern stellt den Kern des soziotechnischen Systems dar und steht im Fokus arbeitspsychologischer Gestaltungskonzepte (Ulich, 2011). Darüber hinaus betrachtet der MTO-Ansatz auch den Markt sowie die übergeordnete natürliche und soziale Umwelt als einen Teil des Arbeitssystems.

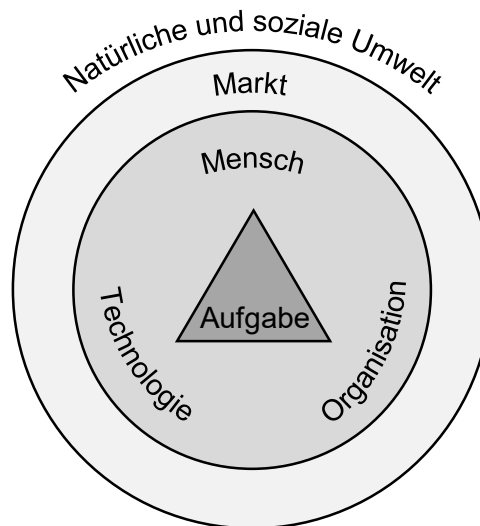


Abbildung 2.1: MTO-Konzept, eigene Darstellung nach Ulich (2013)

Als einen spezifischeren Ansatz stellen Schlick et al. (2018) ein übergeordnetes Ordnungsschema zur systematischen Beschreibung und Analyse von Arbeitssystemen vor. Dieses ist in Abbildung 2.2 dargestellt. Laut den Autor:innen setzt sich ein Arbeitssystem im Kern durch die Arbeitsperson(en), die Arbeitsaufgabe, zugehörige Arbeitsmittel und Arbeitsobjekten zusammen, welche sich gegenseitig beeinflussen. Dieser zentrale Kern steht des Weiteren in Zusammenhang mit dem übergeordneten Arbeitsauftrag und wird darüber hinaus durch verschiedene Umwelteinflüsse, wie beispielsweise die Organisation oder das soziale Umfeld, beeinflusst. Generell gibt es bei einem Arbeitssystem eine Eingabe, beispielsweise in Form von Informationen oder Material, und es wird eine Ausgabe erzielt, wie z. B. das Arbeitsergebnis des Systems.

Diese vorgestellten Strukturierungsansätze stellen heraus, dass vor allem die Arbeitsaufgabe und die arbeitenden Personen eine zentrale Rolle in einem Arbeitssystem spielen. Bei der Analyse von Arbeitssystemen müssen daher die Wechselwirkungen zwischen den Mitarbeitenden, ihren Aufgaben und Elementen des Arbeitsumfelds besondere Beachtung finden, ebenso wie die Wechselwirkungen zwischen Mensch und Technik. Dies ist ebenso Teil des ergonomischen Vorgehensmodells nach Schmidtke (2002). Demnach gehört neben der Aufgabenanalyse und weiteren Untersuchungsschritten auch die Organisations- und Ablaufgestaltung zur systemischen Betrachtung eines Arbeitsmodells.

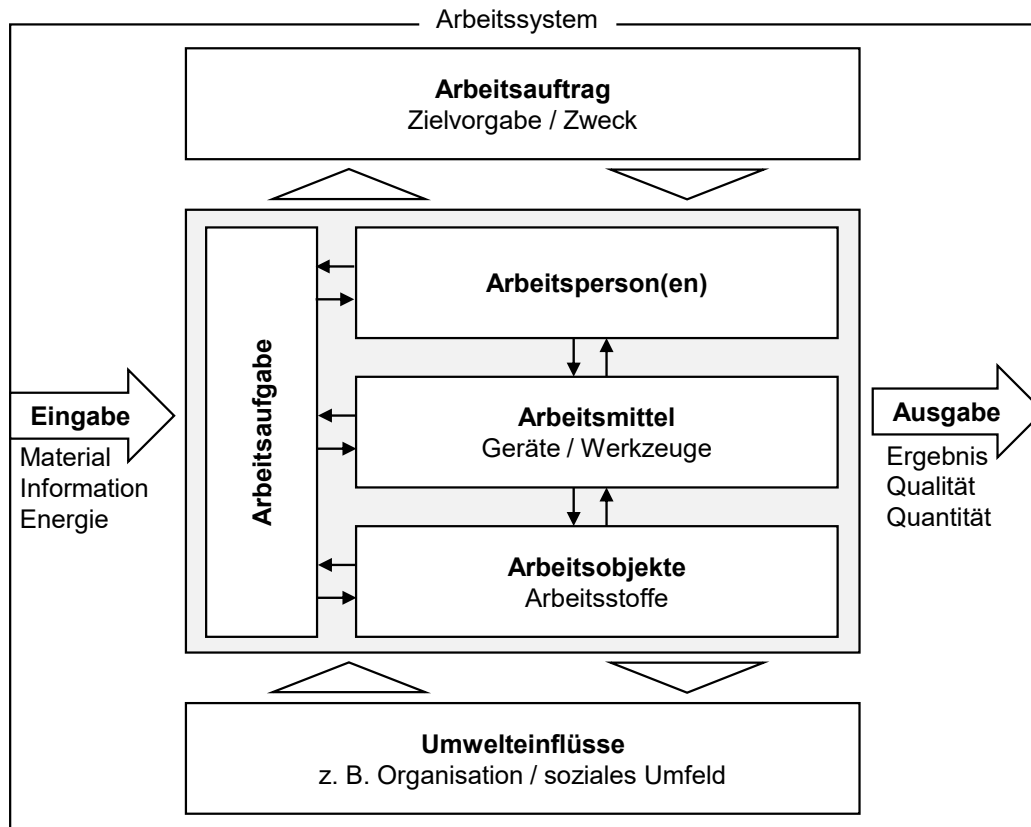


Abbildung 2.2: Arbeitssystem und Elemente, eigene Darstellung adaptiert von Schlick et al. (2018)

2.2.2 Technik im Arbeitssystem

Wie im vorausgehenden Kapitel adressiert, ist ein Arbeitssystem ein komplexes System mit unterschiedlichen Teilaspekten, die alle miteinander in Verbindung stehen. Ändert sich einer dieser Teilaspekte hat dies somit Auswirkungen auf das gesamte Arbeitssystem. Da Technik neben den Menschen eine zentrale Rolle spielt, beeinflusst die Einführung neuer technischer Entwicklungen und Innovationen somit alle Ebenen und Funktionsbereiche eines Arbeitssystems. Mit dem Einsatz innovativer Technologien wachsen die Möglichkeiten für die unterschiedliche Arbeitsgestaltung (Rothe et al., 2017) und es ergeben sich dadurch meist automatisch Restrukturierungsmaßnahmen. In den Fokus rücken dadurch vor allem organisatorische Maßnahmen für den Ablauf der Prozesse im Arbeitssystem (Kagermann et al., 2013). Der Einfluss durch neue Technologien im Arbeitssystem beschränkt sich somit nicht auf die Veränderungen der Technik selbst, sondern bewirkt auch Änderungen in der Organisation, in den Abläufen, in den Arbeitsaufgaben und somit auch Veränderungen für die Menschen als Teil dieses Arbeitssystems (Dombrowski et al., 2014; Hirsch-Kreinsen, 2016; Wiendahl et al., 2014).

Die Entwicklung von Digitalisierungs- und Automatisierungstechnologien stellen zwei der größten Trends in der Industrie dar, um beispielsweise Prozesse in der Produktion oder Logistik zu optimieren und effizienter zu gestalten (z. B. Horvat et al., 2019). Es steht somit außer Frage, dass diese neuen Entwicklungen in unterschiedlichsten Arbeitssystemen zum Einsatz kommen und diese beeinflussen werden. Digitalisierung und Automatisierung haben dabei unterschiedliche mögliche Auswirkungen auf die Arbeitsaufgabe und somit auf die Menschen, die diese ausführen: Diese Technologien können Aufgaben ersetzen, Aufgaben vereinfachen, Aufgaben

erweitern (z.B. durch zusätzliche Überwachung) oder eine Aufgabe anreichern, indem die Aufgabe schwieriger wird und zusätzliche Qualifikation benötigt (Waschull et al., 2020). Nach Endsley (2017) wird Automatisierung vor allem dazu genutzt, um physische Aufgaben ersetzen, während Digitalisierung vorrangig für die Übernahme von kognitiven Aufgaben eingesetzt wird. Dabei hat Automatisierung einen Einfluss auf die Arbeitszufriedenheit und wirkt sich laut Winkelhaus et al. (2022) stärker auf die Arbeitscharakteristiken aus als Digitalisierung, da die Mitarbeitenden beispielsweise weniger repetitive und körperlich anstrengende und stattdessen mehr überwachende Tätigkeiten übernehmen. Die Art der eingesetzten Technologie beeinflusst somit, wie sich das Arbeitssystem und die Eigenschaften des zugehörigen Arbeitsplatzes verändern. Dieser Einfluss kann positiv jedoch auch negativ sein (Winkelhaus et al., 2022). Denn die Einführung von Technologien führt nicht unbedingt zu einer optimierten Arbeitsgestaltung für den Menschen (Hacker, 2022; Rothe et al., 2017) und kann unterschiedliche Folgen mit sich bringen. Beispielsweise birgt die Einführung neuer Technologien im Arbeitskontext das Risiko, dass die verbleibenden Arbeitsaufgaben fragmentiert werden. Dies kann schnell zu isolierten und monotonen Arbeiten für individuelle Personen führen (Tegtmeier et al., 2022). Eine solche Vereinfachung von Arbeit stellt häufig eine Verschlechterung der Arbeitsmerkmale dar, wie beispielsweise weniger Aufgabenvielfalt (Winkelhaus et al., 2022), und kann mit negativen Folgen einhergehen: Fluktuation, Streiks und Abwesenheit (Parker, 2014). In diesem Zusammenhang kann die Einführung neuer Technologien auch dazu führen, dass die wahrgenommene Bedeutsamkeit der eigenen Arbeit abnimmt oder Probleme entstehen, wenn die wahrgenommenen Unternehmenswerte und –normen aufgrund der Veränderungsprozesse nicht mehr mit denen der Mitarbeitenden übereinstimmen (Tegtmeier et al., 2022). Der Einsatz einer Vielfalt an mobilen Informations- und Kommunikationstechnologien im Zuge der Digitalisierung kann sich, beispielsweise durch ständige Erreichbarkeit, erforderliches Multitasking oder fehlende Arbeitsplatzanpassung, auch auf körperliche Reaktionen der Mitarbeitenden auswirken und deren physischen Stress erhöhen (Tegtmeier, 2018).

Die Einführung einer Technologie beeinflusst die Arbeitscharakteristiken dabei nicht nur direkt, sondern auch indirekt. Beispielsweise kann durch den Einsatz einer neuen Technologie die soziale Interaktion verringert werden und sich auf diese Weise auf die Charakteristiken der Arbeit auswirken (Winkelhaus et al., 2022). Ein anschauliches Beispiel für diesen Zusammenhang der Teilsysteme innerhalb eines Arbeitssystems sind die Untersuchungen im englischen Bergbau (Trist & Bamforth, 1951). Bis zu der Einführung einer neuen Technologie arbeiteten die Bergleute in engen Teams an festen Standorten zusammen und waren gemeinsam für den gesamten Arbeitsprozess verantwortlich. Die neue Technologie für mechanisierten Kohleabbau wurde eingeführt, um eine Produktivitätssteigerung zu bewirken. Durch die Einführung wurde die Arbeit in spezialisierte Schichten zerlegt, was den Bergleuten die Freiheit der detaillierten Planung raubte und auch ihr soziales Unterstützungssystem beeinträchtigte. Dadurch blieb die erwartete Produktivitätssteigerung aus und es traten vermehrt Verluste durch Arbeitsausfälle sowie zwischenmenschliche Konflikte auf. Bei der Einführung der neuen Technologie und gleichzeitiger Beibehaltung der bestehenden sozialen Struktur, konnte die erwartete Produktivitätssteigerung im Rahmen dieser Untersuchungen jedoch beobachtet werden (Badke-Schaub et al., 2008).

Werden neue Technologien in ein Arbeitssystem eingeführt, liegt der Fokus von Firmen bei der Evaluation dieser Maßnahme oft allein auf der Betrachtung des entstehenden Profits (z. B. Angeleanu, 2015) oder auf der Zufriedenheit der Kund:innen (z. B. Agyabeng-Mensah et al., 2019). Die aufgeführten Beispiele verdeutlichen jedoch den Konsens in der Literatur, dass es unabdingbar ist, die menschlichen Ressourcen bei der Einführung neuer Technologien mit zu

berücksichtigen (Tegtmeier et al., 2022; Winkelhaus et al., 2022). Neue Technologie verursacht Änderungen in den Abläufen und Arbeitsaufgaben und hat damit einen Einfluss auf die individuelle Wahrnehmung der Mitarbeitenden. Wenn die menschliche Komponente bei Änderungen im Arbeitssystem nicht berücksichtigt wird, kann es dazu kommen, dass der erwartete Profit ausbleibt (Neumann & Dul, 2010).

2.2.3 Mensch im Arbeitssystem

Der Mensch ist ein zentrales und unverzichtbares Element eines Arbeitssystems, Mitarbeitende sind dabei essentiell für den Erfolg eines Unternehmens (Al Mamun & Hasan, 2017; Neumann & Dul, 2010). Diese Erkenntnis rückte vor allem im Kontext des Forschungsprogramms zur Humanisierung des Arbeitslebens in den 1970er Jahren stärker in das Bewusstsein (Kleinöder, 2016). Die Auswirkungen der Arbeitssituation auf die Beschäftigten ist daher von hoher Bedeutung (Schlick et al., 2018). Die eigene Wahrnehmung der Arbeitsumgebung wird dabei von individuellen Erfahrungen und Perspektiven des Menschen beeinflusst. Die objektiven Gegebenheiten einer Arbeitssituation stimmen dadurch nicht zwangsläufig mit der Wahrnehmung der einzelnen Mitarbeitenden überein (Ulich, 2013). Eine in diesem Zusammenhang relevante Größe ist unter anderem die Arbeitsbelastung. Arbeitsbelastung entsteht durch die Anforderungen der Arbeit und führt zu individuellen Reaktionen bei den Arbeitenden. Diese Reaktionen sind von Merkmalen der einzelnen Personen abhängig und werden als Arbeitsbeanspruchung bezeichnet. Arbeitsbeanspruchung kann die Arbeitnehmenden einerseits, z. B. durch entstehende Ermüdung, beeinträchtigen, jedoch andererseits auch einen positiven und fördernden Effekt haben, indem beispielsweise die Beanspruchung zu fachlicher oder persönlicher Weiterentwicklung führt (DIN EN ISO 6385:2016).

Die Arbeitsgestaltung spielt für den Menschen somit eine wichtige Rolle. Für eine ergonomische Gestaltung des Arbeitssystems gilt es daher, die Arbeitsbeanspruchung für den Menschen zu optimieren, indem beeinträchtigende Auswirkungen vermieden werden, während fördernde Auswirkungen bestärkt werden (DIN EN ISO 6385:2016).

Einen weiteren wichtigen Aspekt im Kontext menschlicher Arbeit stellt die individuelle Arbeitszufriedenheit dar (Yousef, 2017). Arbeitszufriedenheit hat einen kognitiven und affektiven Effekt (Fisher, 2010) und wird als positiver Zustand definiert, der aus der Bewertung der eigenen Arbeitserfahrung resultiert (Winkelhaus et al., 2022; Yousef, 2017). Arbeitszufriedenheit bezieht sich dabei auf die Charakteristiken der Arbeit selbst und steht nicht unbedingt in Verbindung mit dem Unternehmen (Živković et al., 2021). Die Literatur zeigt, dass die Arbeitszufriedenheit der Menschen unterschiedlichste Konstrukte im Arbeitskontext beeinflusst: Abwesenheit (z. B. Kehinde, 2011; Thirugogasundaram & Sahu, 2014), Arbeitsleistung (z. B. Christen et al., 2006), Wechselabsicht (z. B. Lambert et al., 2001), Bindung zum Unternehmen (engl. Organizational Commitment, z. B. Al Mamun & Hasan, 2017), Einstellungen zu Umstrukturierungen (z. B. Gomes, 2009; Yousef, 2000) und Gesundheit (Faragher et al., 2005).

Hinsichtlich der Gesundheit lässt sich sagen, dass fehlende Arbeitszufriedenheit vor allem mit mentalen Problemen in Verbindung steht und dabei am stärksten mit dem Auftreten von Burnout assoziiert ist (Faragher et al., 2005). Der Faktor Stress spielt in diesem Zusammenhang für die Menschen im Arbeitskontext somit ebenfalls eine zu beachtende Rolle. Es empfiehlt sich daher, die Arbeitstätigkeiten auf ihre jeweiligen Stressfaktoren zu prüfen und diese gegebenenfalls zu modifizieren. Vor dem Hintergrund der Globalisierung können verschiedene Faktoren, wie beispielsweise kompetitive Märkte und Jobunsicherheit (Moutsatsos, 2008), zu erhöhtem

Stressempfinden bei den Mitarbeitenden führen (Bench et al., 2002; Landsbergis, 2003). Bezüglich des Stressempfindens postuliert die Effort-Reward-Imbalance-Theorie (Siegrist, 1996), dass der in die Arbeit investierte Aufwand in Relation zu den Belohnungen stehen muss, die man dafür erhält. Häufig ist der Aufwand deutlich höher als die Belohnung, was zu stark negativen Gefühlen und Stressreaktionen führen kann. Die Belohnung bezieht sich in diesem Sinne nicht nur auf das Gehalt, sondern beinhaltet auch Aufstiegsmöglichkeiten, Jobsicherheit sowie Anerkennung und Wertschätzung für die eigene Leistung (Siegrist et al., 2009). Neben psychischen Belastungen kann Arbeit auch physische Beschwerden hervorrufen. So sind Muskel-Skelett-Erkrankungen eine häufige Folge arbeitsbedingter Belastungen, die durch körperliche Beanspruchung, schlechte ergonomische Bedingungen oder dauerhafte Fehlhaltungen entstehen können (Holzgreve et al., 2023). Die körperliche Belastung und der zuvor adressierte Stress sind Gründe, warum Mitarbeitende ihr Arbeitsverhältnis kündigen (Firth et al., 2004).

Fluktuation

Wenn Mitarbeitende sich dazu entscheiden ihre Arbeit zu kündigen, ist von freiwilliger Fluktuation die Rede (Ongori, 2007). Unfreiwillige Fluktuation bezeichnet hingegen die Situation, wenn Arbeitnehmende keine Kontrolle über die Kündigungsentscheidung haben und zum Beispiel das Arbeitsverhältnis durch den Arbeitgeber beendet wird (Chiu & Francesco, 2003). Übergeordnet umfasst der Begriff Mitarbeitendenfluktuation die Bewegung von Arbeitenden auf dem Arbeitsmarkt; sowohl zwischen Firmen und Tätigkeiten als auch zwischen Beschäftigung und Arbeitslosigkeit (Abbasi & Hollman, 2000).

Nicht nur die zuvor adressierten technischen Veränderungen haben einen Einfluss auf das Arbeitssystem, sondern, wie im MTO-Modell (Abbildung 2.1; Ulich, 2013) dargestellt, auch der Arbeitsmarkt. Heutzutage nimmt die Menge an alternativen Arbeitsangeboten immer weiter zu. Unter anderem durch den demographischen Wandel herrscht an vielen Stellen Arbeitskräftemangel und Angestellte haben viele Möglichkeiten und Optionen, aus denen sie auswählen können (Kistler, 2012). Dadurch rückt das bereits aufgeführte Thema Arbeitszufriedenheit weiter in den Fokus, um die Mitarbeitenden zu halten (Anandhi & Perumal, 2013) und die soziale Nachhaltigkeit zu erhöhen (Brockhaus et al., 2013). Da die Arbeitszufriedenheit auch mit der Leistung der Mitarbeitenden zusammen hängt (Halkos & Bousinakis, 2010; Sila & Širok, 2018), ist es für Unternehmen wichtiger denn je, die Mitarbeitendenzufriedenheit zu fördern und die Gründe für Fluktuation zu beobachten (Živković et al., 2021). Aus Arbeitgebersicht gilt es, die freiwillige Fluktuation zu verhindern und das wertvolle Gut – die Mitarbeitenden – im Unternehmen zu halten.

Fluktuation wird durch unterschiedliche Faktoren beeinflusst, welche auf demographischer und individueller Ebene, Umwelt- oder Unternehmensebene liegen können (Živković et al., 2021). Beispiele für demographische Einflussfaktoren auf Fluktuation sind dabei Geschlecht oder Alter einer Person. Die individuellen Faktoren umfassen Aspekte wie Arbeitszufriedenheit, Gehalt, Fähigkeitslevel, Erfahrung und Betriebszugehörigkeit, Entwicklungsmöglichkeiten, Jobsicherheit und berufliches Engagement. Zu den Unternehmensvariablen zählen unter anderem die Größe der Firma, die Art der Industrie, die Arbeitsinhalte sowie die Arbeitsumgebung. All diese Variablen können die Fluktuation bzw. die Intention zu kündigen beeinflussen. Zu den Einflussgrößen gehören darüber hinaus auch die aktuell verfügbaren Alternativen auf dem Arbeitsmarkt, wie bereits erwähnt (Min, 2007). Bei der Betrachtung dieser unterschiedlichen Einflussgrößen gilt es zu beachten, dass Faktoren, die eine Arbeitskraft zum Kündigen bewegen, sich von denjenigen unterscheiden können, die dazu beitragen sie im Unternehmen zu halten (Hom et al., 2017).

Die Gestaltung aktueller Arbeitsprozesse ist einer der Ansatzpunkte für Unternehmen, um Fluktuation zu verhindern. In diesem Bereich trägt die Bereitstellung guter Arbeitsbedingungen oder beispielsweise die Übertragung von mehr Verantwortung an einzelne Mitarbeitende zu weniger Fluktuation bei (Ongori, 2007). Auch unabhängig vom wirtschaftlichen Ergebnis für die Unternehmen, ist die Gestaltung der Arbeit und der Arbeitsplätze ein wichtiger Faktor für die Gesundheit und das Wohlbefinden der Mitarbeitenden (Melamed et al., 2001).

2.3 Gestaltung von Arbeit

Arbeit soll die Gesundheit der Arbeitnehmenden aufrechterhalten sowie Leistung und persönliche Entwicklung von Arbeitnehmenden fördern. Um dies zu erreichen, gelten generell folgende Aspekte: Die Arbeitsaufgaben sollten keine körperlichen oder gesundheitlichen Verletzungen verursachen, machbar und frei von Beeinträchtigung sein (d. h. ohne negative Auswirkungen auf Wohlbefinden und Leistungsfähigkeit), sowie das Lernen und die Gesundheit fördern. Dabei sollte die Arbeitsaufgabe bei den Arbeitenden weder zu Unter-, noch zu Überforderung führen (DIN EN ISO 6385:2016; Ulich, 2011) und zwischen physischer und mentaler Arbeit abwechseln. Auf diese Weise wird einseitige Belastung vermieden und Entwicklung gefördert (Tegtmeier et al., 2022). Arbeit kann dann als menschengerecht angesehen werden, wenn sie der psychophysischen Gesundheit der Arbeitnehmenden nicht schadet und höchstens vorübergehend ihr psychosoziales Wohlbefinden beeinträchtigt, wenn sie deren Bedürfnissen und Qualifikationen entspricht, ihnen Partizipation bei Arbeitsbedingungen und Arbeitssystemen ermöglicht und zur Entwicklung der Persönlichkeit beiträgt (Ulich, 2011).

Um ein Arbeitssystem zu gestalten, müssen folgende Bestandteile berücksichtigt werden: Arbeitsorganisation, Arbeitsaufgaben, Tätigkeiten, Arbeitsumgebung, Arbeitsmittel und Schnittstellen, Arbeitsraum und Arbeitsplatz (DIN EN ISO 6385:2016). Die ergonomische Gestaltung des Arbeitssystems kann nur dann umfassend umgesetzt werden, wenn das gesamte System im Zusammenhang mit den organisatorischen, funktionalen, technischen und personellen Rahmenbedingungen betrachtet wird (Schmidtke, 2002). Wenn sich ein Arbeitssystem verändert oder neu gestaltet werden soll, sollten für eine erfolgreiche Umsetzung diejenigen, die von den Veränderungen direkt betroffen sind, in den Prozess mit einbezogen werden (Cherns, 1987; Daniels et al., 2017; DIN EN ISO 6385:2016). Denn wie bereits thematisiert, führt beispielsweise die Einführung einer neuen Technologie nicht unbedingt zu einer optimierten Arbeitsgestaltung (Hacker, 2022; Rothe et al., 2017). Daher ist es wichtig, die zukünftigen Arbeitsplätze nutzerzentriert zu betrachten (DIN EN ISO 6385:2016; Hacker & Sachse, 2023) und so zu gestalten, dass diese den Mitarbeitenden als Schlüsselressource gerecht werden (Winkelhaus et al., 2022). Die Veränderung des Arbeitssystems sollte dabei also das Wohlbefinden der Mitarbeitenden mit zum Ziel haben und nicht ausschließlich die Unternehmensziele fokussieren (van de Voorde et al., 2012).

Im besten Fall hat die Ergonomie bei der Gestaltung eines Arbeitssystems eine präventive Funktion und die Human Factors werden von Anfang an in die Gestaltung mit einbezogen. Besteht ein Arbeitssystem bereits, kann die Ergonomie auch dazu beitragen dieses zu verbessern. Nach der Einführung oder Änderung sollte das Arbeitssystem überwacht und bewertet werden (DIN EN ISO 6385:2016). Laut Norm stehen bei der Bewertung und Überwachung die Kriterien Gesundheit, Wohlbefinden, Sicherheit, Systemleistung, Gebrauchstauglichkeit und Kosten-Nutzen im Fokus. Bezüglich der Gesundheit und des Wohlbefindens können subjektive Einschätzungen als Bewertungsansatz dienen (DIN EN ISO 6385:2016).

Von einer optimalen Arbeitsgestaltung profitieren dabei nicht nur Mitarbeitende, sondern auch die Unternehmen. Der Erfolg eines Unternehmens steht unter anderem mit der Einstellung der Mitarbeitenden zu ihrer Arbeit in Zusammenhang (Ali et al., 2014): Beispielsweise wird die Produktivität der Mitarbeitenden durch ihre Arbeitszufriedenheit beeinflusst (Halkos & Bousinakis, 2010; Jalagat, 2018). Somit hat die Gestaltung von Arbeit einen Einfluss auf die Leistung der Mitarbeitenden (Bhatia & Arora, 2021) und spielt dadurch zusätzlich eine wichtige Rolle für Unternehmen. Die Gestaltung oder Umgestaltung von Arbeit, in der Literatur auch bekannt als Job (Re-)Design, ist folglich ein effektiver Ansatz, um die Motivation, Zufriedenheit und Leistung der Mitarbeitenden zu steigern (Bhatia & Arora, 2021; Cousins et al., 2004). Im Prozess der Umgestaltung gilt es, diejenigen Eigenschaften der Arbeit zu identifizieren, die verändert werden können, um die Qualität zu verbessern (Daniels et al., 2017). Nach der Umsetzung von Verbesserungsmaßnahmen, sollte der Erfolg dann nicht ausschließlich an der Leistung gemessen werden, sondern auch am Wohlbefinden der Arbeitenden. Wohlbefinden gilt damit als ein Kriterium für den Erfolg der Umgestaltung. Der reine Fokus auf die Leistungsverbesserung kann kontraproduktiv sein (Daniels et al., 2017).

Für den Fall, dass Aufgaben oder Tätigkeiten nicht den ergonomischen Gestaltungskriterien entsprechen, müssen Maßnahmen ergriffen werden. Diese können z. B. geeignete Pausen, wechselnde Tätigkeiten (engl. Job Rotation), Tätigkeitserweiterung (engl. Job Enlargement) oder Tätigkeitsbereicherung (engl. Job Enrichment) umfassen (DIN EN ISO 6385:2016). Je nach Art des Defizits der Arbeit spielen diese Maßnahmen eine wichtige Rolle für die Motivation der Mitarbeitenden. Beispielsweise ist die Tätigkeitserweiterung ein effektiver Ansatz die Autonomie der Mitarbeitenden zu erhöhen (Parker, 2014). Job Rotation bezeichnet die Maßnahme, dass die Mitarbeitenden zwischen unterschiedlichen Positionen im Unternehmen wechseln, somit unterschiedliche Aufgaben ausführen und die Anforderungsvielfalt erhöht werden kann. Auch Job Enlargement kann zu diesem Aspekt beitragen, indem die Arbeitsinhalte durch neue Aufgaben erweitert werden (Parker, 2014).

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass sowohl die Arbeitsaufgabe als auch die Gestaltung von Prozessen und Strukturen in einem Arbeitssystem betrachtet werden sollten, um Optimierungspotenzial für das Wohlbefinden der Mitarbeitenden zu identifizieren und entsprechen Maßnahmen abzuleiten. Für die Analyse der Arbeitsaufgabe findet das Job Characteristics Model (Hackman & Oldham, 1975) Anwendung, auf das nachfolgend genauer eingegangen wird.

2.3.1 Job Characteristics Model

Das Job Characteristics Model (Hackman & Oldham, 1975) postuliert den Einfluss von zentralen Eigenschaften der Arbeit auf die individuelle Wahrnehmung der Arbeitenden, sowie auf die daraus resultierenden Zustände bezüglich Zufriedenheit, Kündigungsentscheidung und Bedürfnisse der Mitarbeitenden (Hackman & Oldham, 1975; Roberts & Glick, 1981). Genauer beschreibt das Job Characteristics Model individuelle Reaktionen auf die Arbeit als eine Funktion aus unterschiedlichen Eigenschaften dieser Arbeit, moderiert von individuellen Eigenschaften der Person selbst. In anderen Worten: Die Interaktion der Eigenschaften der Arbeit mit den individuellen Eigenschaften definiert eine Reaktion auf einen Job (Roberts & Glick, 1981). Diese Modellierung, dargestellt in Abbildung 2.3, liefert einen testbaren theoretischen Rahmen, um die Effekte der unterschiedlichen Eigenschaften von Arbeit auf die individuellen Variablen der Arbeitnehmenden zu untersuchen. Das Modell fand bereits Anwendung in zahlreichen Studien (Oldham & Fried, 2016) und unterschiedliche Metaanalysen bestätigen, dass die Eigenschaften

von Arbeit die Einstellung der Mitarbeitenden beeinflusst (Parker, 2014). Wenn sich die Eigenschaften der Arbeit also ändern, hat das auch mögliche Konsequenzen für die Arbeitszufriedenheit, -motivation oder die Intention zu kündigen (Morris & Venkatesh, 2010).

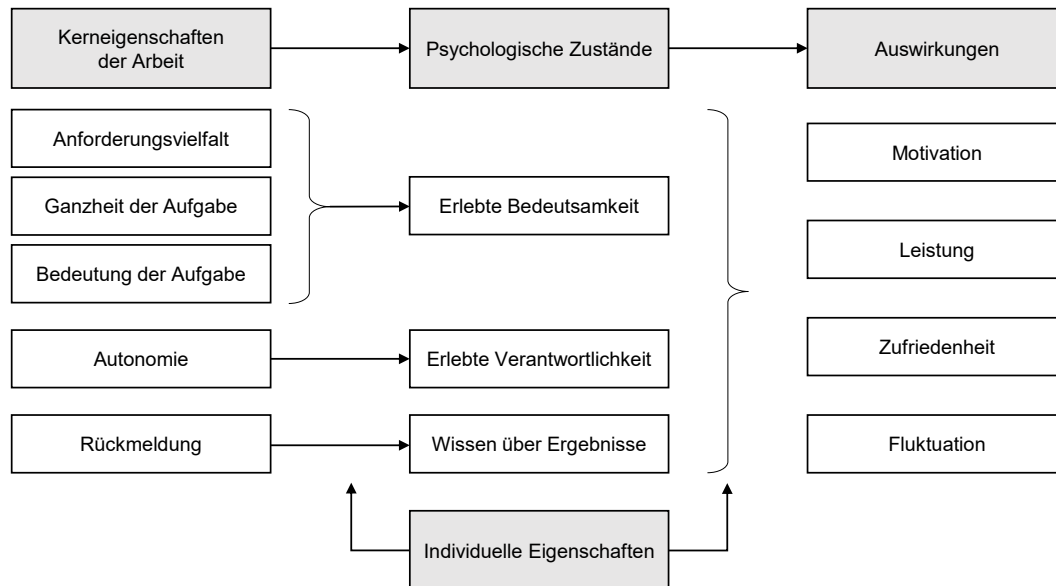


Abbildung 2.3: Job Characteristics Model nach Hackman & Oldham (1975)

Nach dem Modell lauten die Kerneigenschaften der Arbeit wie folgt (Hackman & Oldham, 1976; Oldham & Fried, 2016):

- **Anforderungsvielfalt:**
Ausmaß, in dem die Arbeit eine Vielzahl unterschiedlicher Tätigkeiten erfordert, bei denen verschiedene Fähigkeiten zum Einsatz kommen
- **Ganzheit der Aufgabe:**
Ausmaß, in dem die Arbeit ein ganzes und identifizierbares Stück Arbeit erfordert
- **Bedeutung der Aufgabe:**
Ausmaß, in dem die Arbeit Auswirkungen auf das Leben anderer hat
- **Autonomie:**
Ausmaß, in dem die Arbeit den Arbeitnehmenden erhebliche Freiheiten lässt
- **Rückmeldung der Aufgabe:**
Ausmaß, in dem die Ausführung der Arbeit den Arbeitnehmenden Informationen über ihre Leistung liefert.

Anforderungsvielfalt, Ganzheit und Bedeutung der Arbeitsaufgabe formen dabei das Herzstück der empfundenen Wichtigkeit der eigenen Arbeit (Ulich, 2011). Diverse Studien konnten zeigen, dass die Eigenschaften der Arbeit aus dem Job Characteristics Model einen Einfluss auf die Arbeitszufriedenheit und die Fluktuation der Mitarbeitenden haben (Al Mamun & Hasan, 2017; Boxall et al., 2003). Kritische psychologische Zustände, wie zum Beispiel die erlebte Sinnhaftigkeit der Aufgabe, beeinflussen dabei den Effekt der Arbeitseigenschaften auf die Reaktion der Mitarbeitenden (Johns et al., 1992). Zusätzlich moderieren individuelle Eigenschaften der arbeitenden Person diesen Effekt. Beispielsweise moderiert die psychologische Flexibilität einer Person die Beziehung zwischen Autonomie der Arbeitsaufgabe und Stress und Abwesenheit (Bond et al., 2008). Ein weiteres Beispiel für eine solche Moderation ist, dass positive Affektivität die Beziehung zwischen der Komplexität einer Arbeitsaufgabe und der Arbeitszufriedenheit beeinflusst (Fortunato & Stone-Romero, 2001). Des Weiteren spielt im Kontext der Motivation und

Arbeitszufriedenheit auch die Passung der individuellen Kompetenzen zur Arbeitsaufgabe eine Rolle, welche durch gezielte Kompetenzentwicklung gefördert werden kann (Rosenstiel, 2015).

Nicht nur individuelle psychologische Faktoren moderieren den Effekt von Eigenschaften der Arbeit auf die Arbeitszufriedenheit, sondern auch physische Faktoren der Arbeitsumgebung. Beispiele hierfür sind u.a. Grenzen, Offenheit und soziale Dichte des Arbeitsplatzes (Fried et al., 2008). Szilagyi und Holland (1980) zeigen beispielsweise in einer Studie, dass eine hohe Anzahl an Kolleg:innen am direkten Arbeitsplatz mit einer geringeren Autonomiebewertung einhergeht. Soziale Interaktion spielt bei der Arbeit jedoch eine wichtige Rolle (Ulich, 2011). Der Austausch mit Kolleg:innen kann dabei negative Effekte von Stressoren abfangen (Rothe et al., 2017). Auch Oldham und Fried (2016) empfehlen daher die soziale Dimension als weitere Kerneigenschaft von Arbeit im Rahmen des Job Characteristic Models zu untersuchen.

Seit der Entwicklung des Job Characteristics Models wurde dieses in diversen Studien untersucht und weiterentwickelt. So konnte zum Beispiel gezeigt werden, dass die Bindung der Mitarbeiter:innen zum Unternehmen (engl.; Organizational Commitment) ebenfalls von den Eigenschaften der Arbeit beeinflusst wird (Al Mamun & Hasan, 2017; Boxall et al., 2003) und somit einen Einfluss auf die Fluktuation hat. Des Weiteren vertreten Autor:innen die Meinung, dass die Herausforderungen nicht nur in der Gestaltung der Arbeitsaufgaben liegen, sondern neben der ausführenden Person auch am strukturellen, kulturellen und sozialen Umfeld der Organisation (Bigalk, 2006) – also am gesamten Arbeitssystem. Die Eigenschaften der Arbeit variieren als Funktion der verschiedenen kontextuellen Elemente der Firmen (Oldham & Fried, 2016). Des Weiteren besteht ein Zusammenhang zwischen den Eigenschaften der Arbeit (Job Characteristics) und den strukturellen Eigenschaften der Firmen und Abteilungen. Beispiele hierfür sind u.a. die Größe und Hierarchieebenen (Oldham & Hackman, 1981).

Als eine Weiterentwicklung des Modells im Kontext der digitalen Transformation stellen Tegtmeier et al. (2022) neben den bereits im Originalmodell beinhalteten Faktoren weitere Richtlinien für die Gestaltung mensch-zentrierter Arbeit vor. Diese beziehen sich unter anderem auf die Integration von Bewegung, zeitliche Flexibilität, zusätzliche Interaktionsmöglichkeiten und Flexibilität im Kontext der Vereinbarkeit von Beruf und Familie. Darüber hinaus sollte das technische System transparent sein und der Mensch die Entscheidungsbefugnis darüber behalten. Auch Humphrey et al. (2007) stellen auf Basis einer Metaanalyse eine Weiterentwicklung des Job Characteristics Models vor, in dem sie die Eigenschaften von Arbeit in drei Gruppen unterteilen: Motivationale, kontextuelle und soziale Eigenschaften der Arbeit. Zu den motivationalen Eigenschaften gehören die Dimensionen des zuvor vorgestellten Job Characteristics Models, erweitert durch die Dimensionen der Informationsverarbeitung, Job-Komplexität, Spezialisierung und Problemlösung. Die kontextuellen Eigenschaften umfassen die physischen Anforderungen, Arbeitsbedingungen und die Ergonomie des Arbeitsplatzes. Die sozialen Dimensionen setzen sich aus der Interaktion außerhalb der Organisation, sozialer Unterstützung, Unabhängigkeit und Feedback von Kolleg:innen zusammen. Auch Ulich (2011) stellt in diesem Kontext sieben Kriterien für eine menschenzentrierte, persönlichkeits- und gesundheitsfördernde Gestaltung von Arbeitsaufgaben vor. Nach diesen Kriterien wird, wie im Job Characteristic Model die Ganzheit einer Aufgabe und die Anforderungsvielfalt betont, um einseitige Belastung zu vermeiden. Ebenfalls spielen soziale Interaktion, Entscheidungsfreiheit und die Bedeutsamkeit der Aufgabe eine zentrale Rolle. Darüber hinaus sollte zeitliche Flexibilität gegeben sein und ein Angebot von Lern- und Entwicklungsmöglichkeiten bestehen. Die Kernelemente des Job Characteristic Models finden sich in diesen Weiterentwicklungen wieder und stellen somit die Basis für Untersuchungen dar. Für die Untersuchung von Arbeit muss für den betrachteten Arbeitsbereich

individuell entschieden werden, welche der vorgestellten Weiterentwicklungen des Modells sinnvoll Anwendung finden können.

Nachdem in den bisherigen Kapiteln auf die Grundlagen der Arbeitsgestaltung und deren Auswirkungen innerhalb des Arbeitssystems eingegangen wurde, widmet sich der nachfolgende Abschnitt dem Themenbereich automatisierter Lkw als Teil der Logistik im Hub-to-Hub-Verkehr. Wie bereits in Kapitel 1 vorgestellt, steht die Logistik in diesem Bereich vor einer Veränderung durch den Einsatz neuer Technologie, welche im Rahmen dieser Dissertation genauer betrachtet werden soll. Hierfür werden nachfolgend die relevanten Grundlagen, Begriffe und Zusammenhänge eingeführt.

2.4 Lkw als Teil der Logistik

Der Logistik-Begriff wird erst seit den 1970er-Jahren in Deutschland genutzt und befasst sich mit logistischen Prozessen entlang einer Logistikkette (Fleischmann, 2018; Živković et al., 2021). Unter logistischen Prozessen werden weitgehend alle Transport- und Lagerungsprozesse, inklusive Be- und Entladung, Ein- und Auslagerung (Umschlag) sowie Kommissionierung verstanden (Fleischmann, 2018; Živković et al., 2021). Die Durchführung mehrerer logistischer Prozesse ergeben wiederum ein logistisches System, welches als eine Art Netzwerk verstanden werden kann, das sich aus unterschiedlichen Logistikzentren und deren Verbindungen untereinander zusammensetzt. Jedes logistische System besteht in der Regel aus kleineren Subsystemen und ist Teil eines übergreifenden Supersystems (Fleischmann, 2018). Auf dieser Ebene kann zwischen einem makrologistischen und einem mikrologistischen System unterschieden werden. Dabei bezeichnet der Begriff makrologistisches System übergeordnete logistische Systeme, die unabhängig von einem bestimmten Unternehmen stehen, wie beispielsweise das Netz aus Transportwegen auf Straße oder Schienen. Als mikrologistische System wird das logistische System eines spezifischen Unternehmens bezeichnet und umfasst u. a. alle Transporte zu diesem Unternehmen, von diesem Unternehmen weg, sowie alle Prozesse innerhalb des Unternehmens, wie z.B. Lager- und Umschlagprozesse (Fleischmann, 2018).

Der Begriff Logistikkette bezeichnet generell die Abfolge von Transport-, Lager- und Produktionsprozessen entlang des gesamten Güterflusses von einzelnen Lieferanten hin zu einem Unternehmen, innerhalb des Unternehmens und vom Unternehmen hin zu Kund:innen. Letzteres kann gegebenenfalls über weitere Zwischenlager erfolgen (Fleischmann, 2018; siehe Abbildung 2.4). Die Logistikkette setzt sich dadurch aus innerbetrieblichen und außerbetrieblichen Logistikprozessen zusammen. Die innerbetriebliche Logistik umfasst dabei den Wareneingang, die unterschiedlichen Stellen, an denen Material vor Ort verbraucht bzw. hergestellt wird, und den Warenausgang eines Standorts. Alternativ wird hier auch häufig von Betriebs-, Werks- oder Standortlogistik gesprochen. Relevante Schritte von Intralogistik umfassen den internen Transport, die Lagerung und Zusammenstellung der Güter (Winkelhaus et al., 2022). Zur außerbetrieblichen Logistik gehört die Beschaffungs- und die Distributionslogistik, welche die Wareneingänge und Warenausgänge unterschiedlicher Standorte und/oder Betriebe miteinander verbinden (Gudehus, 2005).

Die Vorgänge beim Übergang von Gütern auf ein Transportmittel und beim Abgang der Güter von einem Transportmittel werden als Umschlag bezeichnet (DIN 30781-1). Im Rahmen dieser Prozesse spielt, neben dem Be- und Entladen von Transportmitteln, das Sortieren sowie das

Ein- und Auslagern von Gütern eine wichtige Rolle (DIN 30781-1; Fleischmann, 2018; Großmann et al., 1989). Der Umschlag von Gütern verbindet die einzelnen Abschnitte des Gütertransports und stellt die Verbindung zwischen außerbetrieblichem Transport mit dem innerbetrieblichen Materialfluss dar (Fleischmann, 2018; Wehking, 2020).

2.4.1 Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr

Ein zentrales Transportmittel in der Logistik ist der Lkw. Bei Lkw handelt es sich um Investitionsgüter. Sie werden von Betreibenden erworben, um eine bestimmte Aufgabe zu erfüllen, mit dem Ziel, durch den Gütertransport Geld zu verdienen (Renschler, 2021). Insgesamt wurden im Jahr 2022 mehr als 72% der Güter in Deutschland mit dem Lkw über die Straße transportiert. Dieser Anteil soll den Prognosen zufolge bis mindestens 2026 stabil bleiben (Statista, 2024). Somit spielt der Gütertransport mit dem Lkw eine bedeutende Rolle für die Versorgung in Deutschland. Als Teil der Logistikkette werden Lkw hauptsächlich für den Transport zwischen den einzelnen Standorten eingesetzt und sind durch die jeweiligen Umschlagprozesse der Standorte in den Warenein- und Warenausgang eingebunden (siehe Abbildung 2.4). Diese Knotenpunkte der Logistikkette werden auch als sogenannte Hubs bezeichnet. Der Begriff Hub steht für eine Hauptumschlagsbasis. Hierzu zählen sowohl große Logistikhubs, wie beispielsweise Häfen oder Flughäfen, jedoch auch Produktionswerke, Logistikzentren oder Lagerstätten, an denen Material umgeschlagen wird (z. B. Huber et al., 2015). Der regelmäßige Transport zwischen diesen Hubs wird demnach als Hub-to-Hub-Verkehr bezeichnet. Die Hubs liegen dabei in der Regel nah an der Autobahn, sodass die Fahrt von Hub zu Hub hauptsächlich über diese stattfindet (Lalli, 2023).

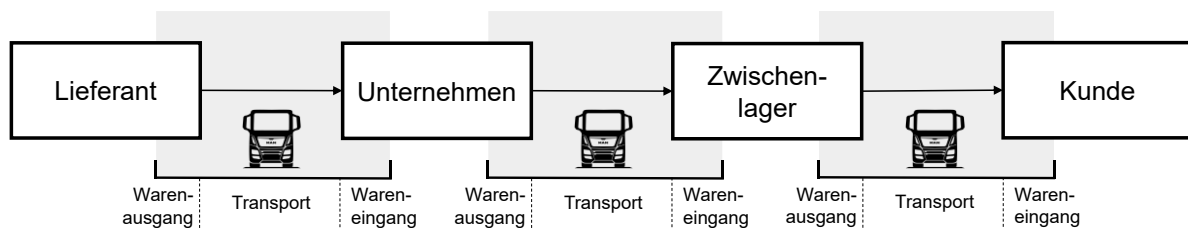


Abbildung 2.4: Einsatz von Lkw (grau) entlang der Wertschöpfungskette (eigene Darstellung)

Umschlagprozesse mit Lkw

Wie bereits erwähnt, werden Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr hauptsächlich für den außerbetrieblichen Transport zwischen den Knotenpunkten der Logistikkette eingesetzt. Durch die Umschlagprozesse sind sie dabei ebenfalls in die Schnittstelle zum innerbetrieblichen Materialfluss eingebunden (Wehking, 2020). Hierbei werden Lkw abgeladen, die Ware registriert und eingelagert oder in das nächste Transportmittel geladen. Die Umschlagprozesse unterscheiden sich dabei weiter in Abhängigkeit des Lkw-Aufbaus und der Ladehilfsmittel, wie z. B. Paletten oder Behältern. Durch genormte Container und Wechselaufbauten kann beispielsweise ein schneller Umschlag von großen Mengen von Gütern erreicht werden, indem die Aufbauten vom Lkw getrennt werden. Es handelt sich dabei um eine Kompletentladung des Lkw. Die enthaltenen Güter werden darauffolgend entweder unverändert in diesen Aufbauten auf das nächste Transportmittel verfrachtet oder intern weiterbearbeitet und unabhängig vom anliefernden Lkw entladen. Diese Art der Umschlagprozesse kommt heutzutage immer mehr zum Einsatz, beispielsweise an Häfen, und kann weitestgehend automatisiert werden (Wehking, 2020). Für

Teilentladungen ist dieses Vorgehen jedoch nicht geeignet. Auf Hubs wie z. B. Produktionswerken werden die geladenen Güter eines Lkws oft an unterschiedlichen Stellen oder Lagern auf dem Hub-Gelände benötigt und die Lkw müssen hierfür an mehreren Stellen teilentladen werden. Für die Be- und Entladung der Aufbauten werden in diesem Fall Lkw und Aufbau nicht von einander getrennt. In der Regel kommen für diese Schritte Gabelstapler als weitere Arbeitsmittel zum Einsatz (Wehking, 2020). Viele Vorgänge erfolgen dabei manuell, das Arbeitspersonal ist bei diesen Tätigkeiten von besonderer Bedeutung. Vor allem der Umschlag mit Gabelstaplern ist wirtschaftlich nicht zu automatisieren (Wehking, 2020). Die Schritte, die bei den Umschlagprozessen generell erfolgen, sind in Abbildung 2.5 dargestellt. Dabei muss zwischen den mitarbeitenden Personen in diesen Teilschritten viel Abstimmung stattfinden (Wehking, 2020). Vor allem bei Teil(ent)ladungen müssen die Schritte des Umschlags, sowie die vorausgehenden und nachfolgenden Tätigkeiten an mehreren unterschiedlichen Stellen auf dem Hub erfolgen. Beim Umschlag spielt darüber hinaus auch die Infrastruktur des Hubs eine wichtige Rolle, d. h. alle baulichen Maßnahmen, die zur Be- und Entladung beitragen, wie beispielsweise Kräne oder Rampen (Jünemann, 1989).

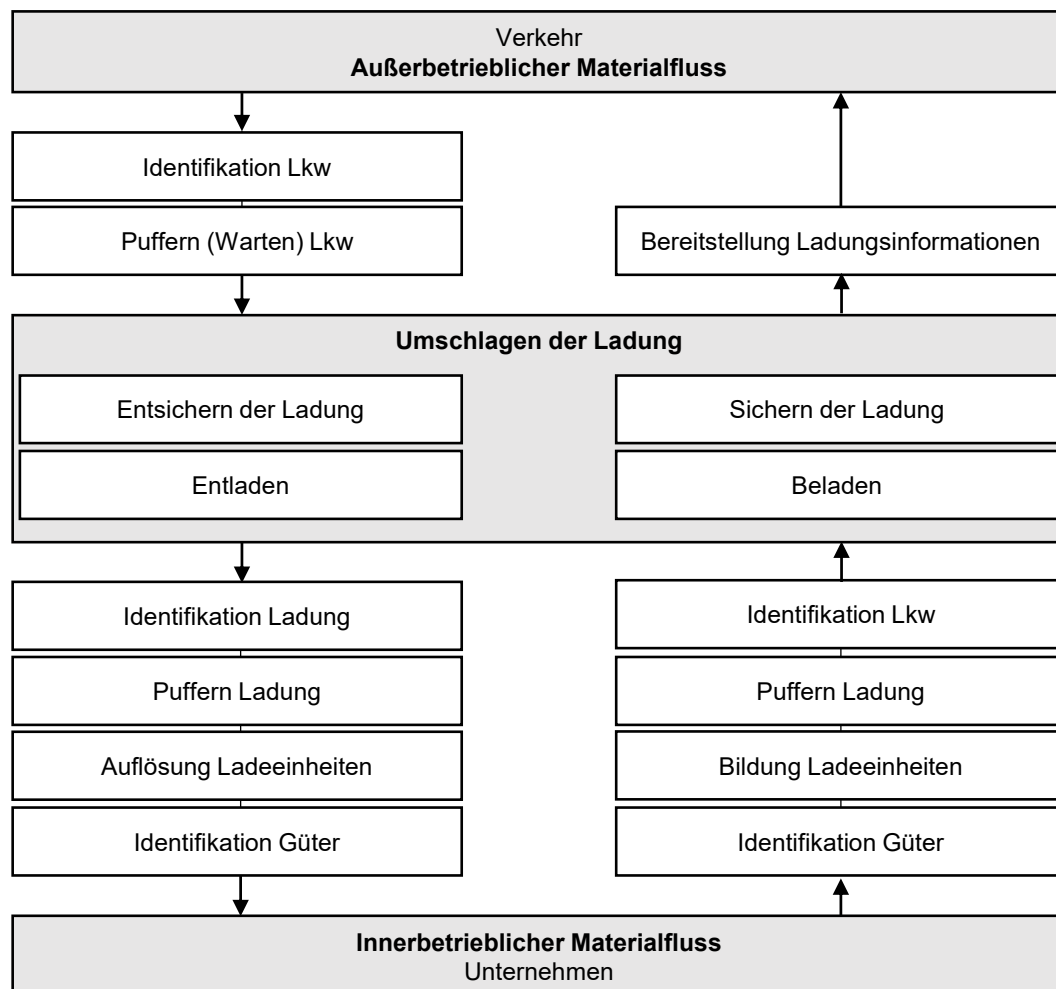


Abbildung 2.5: Teilschritte der Umschlagprozesse (adaptiert von Jünemann, 1989; Wehking, 2020)

Der Hub-to-Hub-Verkehr wird als einer der ersten Anwendungsfälle für automatisierte Lkw angesehen und angestrebt (Gräter et al., 2022; Stanton, 2018). Logistikunternehmen halten dabei vor allem standardisierte Transporte zwischen Unternehmen und Lagerhallen für automatisierte Lkw geeignet (Müller & Voigtländer, 2019). Um die Hintergründe hierfür genauer darzulegen, adressiert der nachfolgende Abschnitt den Themenbereich des automatisierten Fahrens.

2.4.2 Automatisierung von Lkw

Automatisiertes Fahren

Nach der Taxonomie J3016 wird automatisiertes Fahren in die Stufen 0 – 5 unterteilt (SAE International, 2021). Hierbei steht Stufe 0 für das Fahren ohne Automatisierung, die gesamte Fahraufgabe wird dabei von einer menschlichen Person ausgeführt. In Automatisierungsstufe 1 wird entweder die Längs- oder die Querführung des Fahrzeugs durch das automatisierte System ausgeführt, während die jeweils andere weiterhin bei der fahrenden Person liegt. Die Person muss dabei das Verkehrsgeschehen überwachen und im Notfall, bzw. bei Systemgrenzen und Systemfehlern bereit sein, sofort einzugreifen. Dies muss sie auch in Automatisierungsstufe 2 tun, während in dieser Stufe das automatisierte System sowohl Längs- als auch Querführung übernimmt. Erst ab Automatisierungsstufe 3 ist es der fahrenden Person möglich den Blick von der Straße abzuwenden. Das automatisierte System übernimmt hier ebenfalls die Längs- und Querführung, erkennt jedoch zusätzlich die eigenen Systemgrenzen rechtzeitig und gibt in diesem Fall eine Übernahmeaufforderung an die fahrende Person aus, welche innerhalb eines bestimmten Zeitrahmens erfolgen muss. Die fahrende Person ist somit weiterhin die Rückfallebene bei Systemgrenzen. Erst ab Automatisierungsstufe 4 stellt nicht mehr die fahrende Person, sondern das automatisierte System selbst die Rückfallebene dar. Sollte das System die Systemgrenzen überschreiten und keine Person der Übernahmeaufforderung nachkommen, versetzt sich das Fahrzeug in einen risikominimalen Zustand und kommt z. B. am Fahrbahnrand zum Stehen. Als Rückfallebene kann auch eine Person fungieren, die sich nicht physisch im Fahrzeug und auch nicht in dessen Sichtweite befindet, jedoch die Möglichkeit hat, das Fahrzeug fernzusteuern. Seit dem Inkrafttreten des Gesetz zum autonomen Fahren am 28.07.2021 ist in Deutschland auch der rechtliche Rahmen dafür gegeben. Diese Fernsteuerung kann dabei unterschiedlich aussehen: Beispielsweise kann die Person ein Fahrzeug aus der Ferne dabei unterstützen, zurück in die Systemgrenzen zu kommen oder Anweisungen geben, wenn dieses vor einem unbekannten Objekt steht (SAE International, 2021). Die Automatisierungslevel 1 bis 4 haben gemeinsam, dass die Automatisierung nur innerhalb definierter Systemgrenzen verfügbar ist, d. h. beispielsweise nur in bestimmten Anwendungsfällen, Streckenabschnitten oder bei bestimmten Witterungsbedingungen. Diese Systemgrenzen werden als Operational Design Domain (ODD) bezeichnet. Erst ab einem Automatisierungslevel 5 ist die ODD des automatisierten Systems nicht mehr begrenzt und das Fahrzeug kann universell alle Verkehrssituationen selbstständig bewältigen.

Automatisierter Hub-to-Hub-Verkehr

Dass fahrende Personen in Zukunft während der automatisierten Fahrt z.B. administrativen Tätigkeiten im Lkw nachgehen (SAE L3), ist laut der Logistikindustrie aus Gründen der fehlenden Qualifikation und wirtschaftlicher Aspekte äußerst unwahrscheinlich (Müller & Voigtländer, 2019). Im Kontext des automatisierten Fahrens haben hier fahrerlose Fahrzeuge die größten Vorteile

(Müller & Voigtländer, 2019). Neben dem Effekt dem Fahrer:innen-Mangel entgegenzuwirken, verspricht der automatisierte Gütertransport weitere Vorteile auf wirtschaftlicher, ökologischer und sozialer Ebene (Flämig, 2016; Fritschy & Spinler, 2019). Beispielweise werden die Gesamtbetriebskosten für Lkw langfristig sinken, da bei automatisierten Lkw mit erhöhter Kraftstoffeffizienz und reduzierten Personalkosten gerechnet werden kann (Flämig, 2016; Fritschy & Spinler, 2019; Merfeld et al., 2019; Müller & Voigtländer, 2019). Weiterhin wird davon ausgegangen, dass automatisierte Lkw den Verkehrsfluss verbessern und Staus reduzieren werden, was zur besseren Planbarkeit der Transportzeiten führt. Darüber hinaus sind die Transporte dabei nicht durch Lenk- und Ruhezeiten begrenzt (Fritschy & Spinler, 2019). Um von diesen Vorteilen zu profitieren, wird aktuell vor allem die technische Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen für SAE Level 4 vorangetrieben (Eichberger et al., 2022). Durch diese Technologie steht die Branche unmittelbar vor einer Veränderung. Für die nachfolgenden Kapitel dieser Dissertation bezieht sich daher der Begriff automatisierte Lkw stets auf SAE Level 4.

Der Hub-to-Hub-Verkehr wird, wie bereits erwähnt, als einer der ersten Einsatzfälle für automatisierte Lkw genannt. Der Vorteil des Hub-to-Hub-Verkehrs liegt in diesem Fall darin, dass der Transport zu großen Teilen auf Autobahnen und somit genormten Straßen abläuft und die ODD in diesem Fall technisch einfacher zu erreichen ist (Engholm et al., 2021; Gräter et al., 2022; Hörl et al., 2016; Stanton, 2018). Laut der ERTRAC Roadmap für automatisierte Mobilität ist die Umsetzung des automatisierten Hub-to-Hub-Transports nach der Automatisierung in abgegrenzten Bereichen am wenigsten komplex (Gräter et al., 2022). Im Mining-Bereich in Australien werden beispielsweise in abgegrenzten Bereichen bereits seit den 1990ern automatisierte Lkw eingesetzt (Flämig, 2016). Offene Straßen und städtischer Verkehr stellen dabei komplexere Anwendungsfälle für die Automatisierung in der Logistik dar (Gräter et al., 2022). Im Rahmen des Hub-to-Hub-Transports halten Logistikunternehmen vor allem standardisierte Transporte zwischen Unternehmen und Lagerhallen für automatisierte Lkw geeignet (Müller & Voigtländer, 2019). Ob die automatisierten Fahrfunktionen zunächst wirklich alle Streckenabschnitte des Hub-to-Hub-Verkehrs, d. h. sowohl Autobahn als auch die Strecken zum auf dem privaten Hub-Gelände abdecken wird, ist jedoch noch unklar (Engström et al., 2019). Bei Hubs handelt es sich zwar um abgegrenztes, meist privates Gelände, welches hinsichtlich der Automatisierung von Lkw zunächst einfacher zu kontrollieren scheint. Gleichzeitig unterscheiden sich Hubs in ihrer Art, Größe und Komplexität und sind dadurch teilweise vergleichbar mit städtischem Verkehr. Ob die ODD von automatisierten Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr demnach nur die Strecke zwischen den Hubs, oder auch die Strecken auf dem Hub-Geländen abdecken wird, gilt es noch zu klären. Letzteres könnte gegebenenfalls durch Anpassungen in der Infrastruktur der Hubs beeinflusst werden (Inninger et al., 2018). Nichtsdestotrotz wird die Entwicklung automatisierter Fahrfunktionen mit großen Schritten vorangetrieben (Eichberger et al., 2022). Auch wenn noch unklar ist, wann die ersten automatisierten Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr auf den Straßen sein werden – es handelt sich um eine neue technische Entwicklung, die früher oder später in das Arbeitssystem eingeführt wird. Dabei ist davon auszugehen, dass der menschliche Arbeitsplatz mit der Integration von fahrerlosen Flotten im Hub-to-Hub-Transport verändert wird (Rosic et al., 2021). Mit diesem Aspekt beschäftigt sich das nachfolgende Kapitel.

2.5 Änderungen im Arbeitssystem durch automatisierte Lkw

Die Logistikbranche ist ein dynamisches Feld, das sich ständig durch technologische Fortschritte weiterentwickelt (Angeleanu, 2015). Eine konkrete Veränderung, die der Branche bevorsteht, ist die Einführung automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr, wie in Kapitel 2.4.2 dargestellt. Mit dem Einsatz innovativer Technologien wachsen die Möglichkeiten für unterschiedliche Arbeitsgestaltung (Hirsch-Kreinsen, 2016; Rothe et al., 2017) und automatisierte Lkw werden somit Auswirkungen auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr haben (Kapitel 2.2.2). Auch wenn die Automatisierung immer weiter fortschreitet, erwarten zahlreiche Forscher:innen, dass menschliche Mitarbeitende vor allem in der Logistik weiterhin eine zentrale Rolle spielen werden, insbesondere, wenn es um den Umgang mit und die Zusammenstellung von Waren geht (Erol et al., 2016; Kadir et al., 2019; Kagermann et al., 2013; Sgarbossa et al., 2020). Dies betrifft vor allem die Umschlagprozesse auf den Hubs (siehe Kapitel 2.4.1). Hierbei müssen viele Arbeitsschritte manuell erfolgen und können nicht ohne Weiteres automatisiert werden (Wehking, 2020). Aus diesem Grund ist es besonders interessant und von großer Wichtigkeit, den Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Kontext der Umschlagprozesse als Schnittstelle zwischen innerbetrieblichem und außerbetrieblichen Materialfluss zu betrachten.

Mit automatisierten Lkw ab SAE Level 4 wird für den Hub-to-Hub-Transport das Szenario angestrebt, dass sich kein:e Fahrzeugoperator:in mehr physisch im Lkw befindet. Dieser Aspekt stellt für die Wareneingangs-, Warenausgangs- und Umschlagprozesse mit Lkw eine große Veränderung dar, denn Lkw-Fahrer:innen übernehmen heutzutage einige Aufgaben, die über das Fahren der Lkw hinaus gehen. Neben dem Steuern und Rangieren des Lkw sind sie beispielsweise in die Anmeldung des Fahrzeugs und der gelieferten Güter, in die Dokumentation des Lieferprozesses, in die Be- und Entladung und die Ladungssicherung auf dem Hub eingespannt (Inninger et al., 2018) und sind damit ein wichtiger Teil der Umschlagprozesse. Mit dem Einsatz einer solchen innovativen Technologie ergeben sich automatisch Restrukturierungsmaßnahmen (Kagermann et al., 2013). Für die erfolgreiche Integration der automatisierten Lkw gilt es daher zu klären, wie all diese Tätigkeiten und Prozesse abgedeckt werden können, wenn die Fahrer:innen kein Teil mehr davon sind. Dabei ist ebenfalls zu beachten, dass voraussichtlich nicht alle manuellen Lkw direkt durch automatisierte Lkw ersetzt werden. Es ist davon auszugehen, dass anfänglich auf den Hubs ein Mischbetrieb vorliegen wird und die An- und Ablieferung von Gütern sowohl durch automatisierte, als auch durch manuell gesteuerte Lkw erfolgen wird (Fritschy & Spinler, 2019; Yankelevich et al., 2018). Diese Bedingung kann ebenfalls einen Einfluss auf die Planung der Prozesse auf dem Hub nehmen. Im Kontext der Abläufe auf dem Hub spielt auch die jeweilige Infrastruktur eine Rolle, an der Veränderungen durch die Einführung automatisierter Lkw vorgenommen werden könnten. Hub-Betreibende sind zwar bereit, die Prozesse auf dem Hub anzupassen, jedoch ist die Bereitschaft, die Infrastruktur der Hubs auf die Anforderungen von automatisierten Lkw anzupassen und beispielsweise eine Fahrspur exklusiv für automatisierte Lkw zu ermöglichen, laut einer Analyse von Inninger et al. (2018) gering. Die Ergebnisse verdeutlichen den Wunsch der Betreibenden, dass die Technologie der automatisierten Lkw bei Markteinführung bereits so weit ausgereift ist, dass keine Änderungen in der Infrastruktur des Hubs erforderlich sind. Diese Information deckt sich mit den Ergebnissen von Müller und Voigtländer (2019), dass große Eingriffe in die Infrastruktur, wie z. B. eine solche zusätzliche Spur für automatisierte Lkw, nicht gewünscht sind.

Insgesamt wird deutlich, dass die wesentliche Herausforderung des automatisierten Fahrens im Hub-to-Hub-Verkehr nicht allein in der technischen Realisierung der Fahrfunktionen liegen, sondern vor allem auch in der Prozessgestaltung auf den Betriebsgeländen selbst (Inninger et al., 2018). An dieser Stelle herrschen noch viele Unklarheiten, wie die Prozesse auf dem Hub ablaufen sollten. Die Literatur im Kontext automatisierter Lkw fokussiert sich neben der technischen Entwicklung bisher hauptsächlich auf die Analyse weiterer übergeordneter Fragen. Betrachtete Themen umfassen dabei beispielsweise die Anpassung von Geschäftsmodellen durch automatisierte Lkw (Fritschy & Spinler, 2019; Yankelevich et al., 2018), generelle Vorteile des automatisierten Fahrens (Müller & Voigtländer, 2019), welche Art von Qualifikationen in diesem Kontext zukünftig mehr benötigt werden (z.B. Engineering oder Data Science; Yankelevich et al., 2018) oder wie sich die Arbeit der Lkw-Fahrer:innen durch die Automatisierung verändert (Gittleman & Monaco, 2020; Schuster et al., 2023). Das konkrete Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr wurde dabei im Kontext automatisierter Lkw noch nicht betrachtet.

Durch die enge Vernetzung der einzelnen Bestandteile eines Arbeitssystems (Badke-Schaub et al., 2008; Schlick et al., 2018), ist davon auszugehen, dass sich durch die Einführung automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr Änderungen in unterschiedlichen Teilen des Arbeitssystems ergeben werden. Diese erwarteten Veränderungen sind Gegenstand der vorliegenden Dissertation und aufbauend auf Schlick et al. (2018) in Abbildung 2.6 blau dargestellt. Den Ausgangspunkt der Veränderungen stellt im vorliegenden Anwendungsfall die Automatisierung des Lkws als Arbeitsmittel dar. Der Arbeitsauftrag bleibt dabei im Kontext der Umschlagvorgänge zunächst unverändert, da die Güter weiterhin auf dem Hub an die vorgesehene Stelle transportiert werden müssen. Hinsichtlich der Arbeitspersonen im Arbeitssystem wird es durch die Automatisierung der Lkw alleine dadurch eine Veränderung geben, dass konventionelle Lkw-Fahrer:innen nicht mehr Teil des Arbeitssystems sein werden. Um dies zu kompensieren und die verbleibenden Tätigkeiten anderweitig abzudecken, ist darüber hinaus zu erwarten, dass die Organisation und Gestaltung der Prozesse auf dem Hub angepasst werden müssen. Hieraus können sich erneut Änderungen für weitere Arbeitspersonen auf dem Hub ergeben. Wie genau diese Änderungen aussehen werden, ist in der Literatur bisher noch nicht betrachtet worden. Des Weiteren ist davon auszugehen, dass es in der Logistik bis zu dem Zeitpunkt, an dem automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Transport eingesetzt werden, weitere technische Innovationen geben wird und sich somit neben der Prozessgestaltung weitere Umwelteinflüsse des Arbeitssystems verändern werden. All diese Änderungen im Arbeitssystem werden dabei auch Auswirkungen auf die zugehörigen Arbeitsaufgaben der einzelnen Arbeitspersonen haben, da diese direkt mit den Arbeitsvorgängen, den Arbeitsmitteln und den Arbeitspersonen zusammenhängt (Schlick et al., 2018).

Eine Veränderung der Arbeitsaufgaben durch den Einsatz von Technologie stellt, wie in Kapitel 2.2.2 aufgeführt, eine große Herausforderung an die generelle Gestaltung der Arbeit dar (Tegtmeier et al., 2022). Veränderungen durch technische Innovationen können die Rolle, die Wahrnehmung und die Zufriedenheit der Arbeitenden mit ihrem Arbeitsplatz beeinflussen (Hackman & Oldham, 1976; Winkelhaus et al., 2022). Dieser Aspekt wurde im Kontext automatisierter Lkw in der Literatur bisher noch nicht ausreichend adressiert (Kadir et al., 2019; Sila & Širok, 2018). Der Einfluss der Veränderung durch neue Technologien auf die Mitarbeitenden spielt jedoch eine entscheidende Rolle (Neumann & Dul, 2010; Sgarbossa et al., 2020). Für einen reibungslosen Ablauf der Einführung automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr muss der Mensch im Zentrum des Logistikprozesses daher adäquat berücksichtigt werden (Mättig & Kretschmer, 2020).

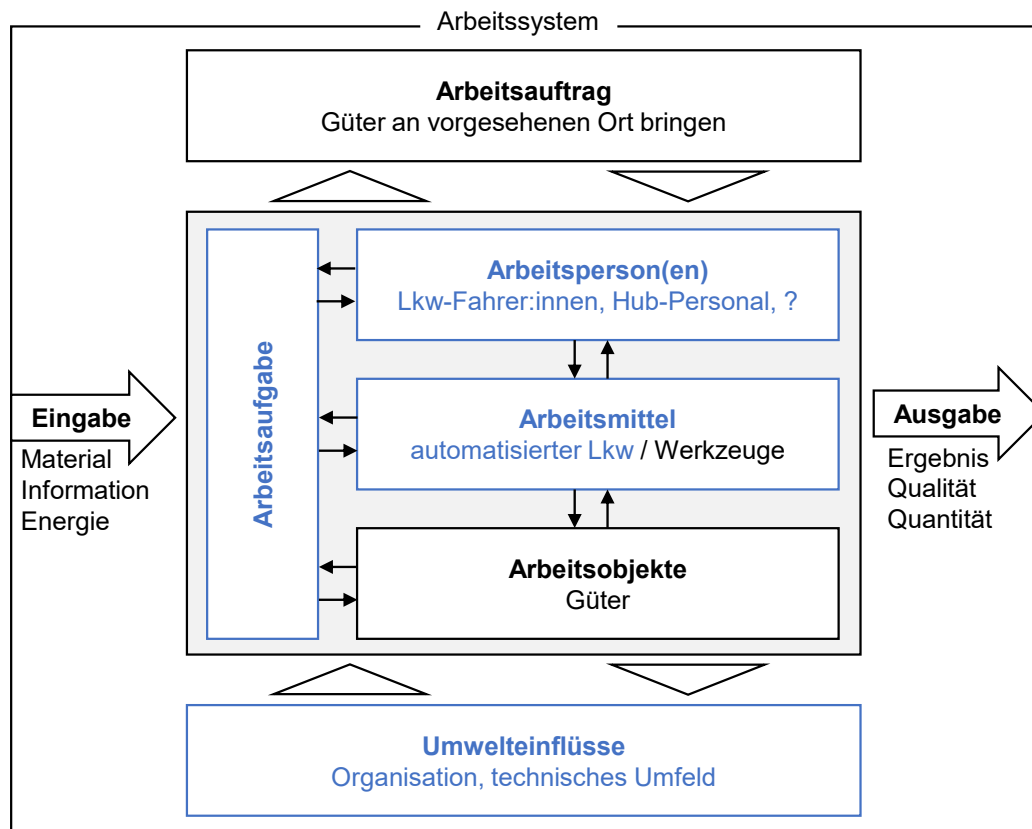


Abbildung 2.6: Erwartete Änderungen einzelner Elemente des Arbeitssystems durch automatisierte Lkw (blau)

Vor allem in der Logistik ist der Fachkräftemangel für Unternehmen weltweit ein bekanntes Problem. Mitarbeitende in diesem Sektor sind dadurch zur wertvollsten Ressource entlang der Wertschöpfungskette geworden (Živković et al., 2021) und gelten als das Rückgrat für den Erfolg eines Unternehmens (Al Mamun & Hasan, 2017; Neumann & Dul, 2010; Ongori, 2007). Unter anderem auch aus diesem Grund sollten Unternehmen ihren Mitarbeitenden Aufmerksamkeit schenken, um ihre Zufriedenheit zu erhöhen, sie zu motivieren und sie generell im Unternehmen zu halten und Fluktuation zu verhindern. Nur so kann ein Unternehmen wettbewerbsfähig bleiben (Ongori, 2007; Sharma & Gupta, 2020). Die Literatur im Bereich der Logistik fokussiert sich dabei bislang hauptsächlich auf die Fluktuation von Lkw-Fahrer:innen. Weitere Personen, die in den Logistikzentren beschäftigt und somit Teil des Arbeitssystems sind, wurden in der Forschung noch nicht ausführlich betrachtet (Min, 2007). Es ist jedoch bekannt, dass Mitarbeitende in der Logistik im Vergleich zu anderen Erwerbsbereichen oft ungünstigeren Umfeldbedingungen ausgesetzt sind (z. B. Lärm, Kälte oder Nässe) und auch häufiger unter Leistungsdruck stehen (Certa & Schröder, 2021). In der Regel unterliegen die Tätigkeiten in der Logistik den Zeitplänen der Schicht- und Wochenendarbeit, die Mitarbeitenden sind dabei mit größerer Häufigkeit psychischen Stressoren ausgesetzt und verfügen über weniger organisationale Ressourcen: Beispielsweise erhalten sie wenig soziale Unterstützung von ihrem Arbeitsumfeld und haben in ihren Aufgaben weniger Entscheidungsspielraum. Zusätzlich verfügen die Mitarbeitenden in der Lagerwirtschaft im Durchschnitt über ein niedrigeres Bildungsniveau als in anderen Erwerbsbereichen (Certa & Schröder, 2021; Mättig & Kretschmer, 2020) und es herrschen häufig auch kulturelle und sprachliche Barrieren, die berücksichtigt werden müssen (Mättig & Kretschmer, 2020).

3 Forschungsfragen

Für eine bessere Übersicht werden die zentralen Aussagen der vorausgehenden Kapitel im Folgenden zur Herleitung der Forschungsfragen erneut zusammengefasst.

Die einzelnen Bestandteile eines Arbeitssystems stehen in komplexer Beziehung zu einander und beeinflussen sich gegenseitig. Aus diesem Grund führt eine Veränderung in einem Teil des Systems auch zu Auswirkungen auf weitere Bestandteile (Badke-Schaub et al., 2008). Neben der Technik spielt dabei der Mensch eine zentrale Rolle im Arbeitssystem und gilt als wichtigstes Gut, das maßgeblich zum Erfolg eines Unternehmens beiträgt (Schlick et al., 2018). Angesichts des zunehmenden Arbeitskräftemangels ist es besonders wichtig, die Mitarbeitenden in den Fokus zu rücken, um Fluktuation zu verhindern und die Arbeitsqualität zu verbessern. Die Arbeitsaufgabe bildet die Schnittstelle zwischen Mensch und Technik und bietet damit einen Ansatzpunkt zur Untersuchung und Optimierung der Arbeit (Ulich, 2011). Im Kontext der Arbeitsaufgabe spielt unter anderem auch die Gestaltung der Arbeitsorganisation und die Arbeitsumgebung eine Rolle (DIN EN ISO 6385:2016).

In der Nutzfahrzeugbranche steht die Einführung automatisierter Lkw (SAE Level 4) im Hub-to-Hub-Verkehr bevor. Da es sich beim Lkw um einen Teil der Logistikkette handelt, wird die Automatisierung und der damit zusammenhängende Wegfall der konventionellen Lkw-Fahrer:innen voraussichtlich erhebliche Veränderungen im zugehörigen Arbeitssystem mit sich ziehen. In diesem Kontext sind vor allem die Umschlagprozesse bei Teillentladungen im Hub interessant, da der Mensch in diese Abläufe an unterschiedlichen Stellen eingebunden ist und dies voraussichtlich weiterhin bleiben wird (Wehking, 2020). Mit der Einführung automatisierter Lkw entstehen dadurch viele offene Fragen zur Gestaltung dieser Schnittstelle zwischen inner- und außerbetrieblichem Materialfluss. Es ist beispielsweise davon auszugehen, dass die Organisation der Prozesse innerhalb der Hubs angepasst werden müssen und die Arbeitsaufgaben der Mitarbeitenden somit beeinflusst werden. Wie genau diese Änderungen aussehen werden ist jedoch noch unklar. Automatisierung hat dabei nicht immer einen positiven Effekt auf die Arbeit und kann beispielsweise dazu führen die Aufgabenvielfalt und -anzahl der Arbeit zu reduzieren. Dies kann wiederum dazu beitragen, dass die Arbeitsaufgaben als standardisiert, redundant und monoton empfunden werden (Winkelhaus et al., 2022) und somit negative Auswirkungen auf Arbeitszufriedenheit und Fluktuation mit sich ziehen.

Diese Zusammenhänge zeigen, dass es im Kontext des Hub-to-Hub-Verkehrs nicht ausreicht, ausschließlich die automatisierten Fahrfunktionen für Lkw zu entwickeln. Damit die Einführung der automatisierten Lkw reibungslos ablaufen kann, muss das zugehörige Arbeitssystem mitbetrachtet und die Auswirkungen der Automatisierung frühzeitig in die Planung einbezogen werden. Dabei gilt es zum einen, einen Überblick zu schaffen, welche technischen, organisatorischen oder infrastrukturellen Anpassungen auf dem Hub erfolgen müssen. Zum anderen gilt es die Menschen im Rahmen dieser Veränderung in den Mittelpunkt zu stellen und die Arbeit aus arbeitswissenschaftlicher Sicht bestmöglich zu gestalten.

Die Forschungsfragen dieser Dissertation lauten daher wie folgt.

Forschungsfrage 1: Welchen Einfluss haben automatisierte Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr?

Forschungsfrage 2: Wie kann die menschliche Arbeit in diesem Kontext aus arbeitswissenschaftlicher Sicht optimiert werden?

4 Methodisches Vorgehen

Bei der Analyse eines Arbeitssystems wird vorrangig ein systemorientierter Ansatz gewählt, um die technischen, organisatorischen und sozialen Aspekte der Arbeitsprozesse zu betrachten und das Zusammenspiel dieser Bereiche zu optimieren (Dunckel, 1999; Rothe et al., 2017). Ein zentrales Element dieser Analysen stellt die Auswirkung der Arbeitssituation auf die Beschäftigten dar (Schlick et al., 2018). Hierbei ist zu erwähnen, dass die objektiven Gegebenheiten einer Arbeitssituation nicht zwangsläufig mit der Wahrnehmung seitens der Mitarbeitenden übereinstimmen. Daher erfordert die Analyse auch eine subjektive Beurteilung der Arbeitssituation durch die Arbeitnehmenden selbst (Ulich, 2013).

Es empfiehlt sich somit ein ganzheitlicher Ansatz, um die formulierten Forschungsfragen umfassend zu beantworten. Neben der Betrachtung des Arbeitssystems auf Systemebene ist auch eine Analyse auf Aufgabenebene entscheidend. Im Folgenden wird daher zunächst auf verfügbare Methoden der jeweiligen Ebenen eingegangen und im Anschluss das Vorgehen im Rahmen dieser Dissertation vorgestellt.

4.1 Methoden auf Systemebene

Die Neu- oder Umgestaltung eines Arbeitssystems sollte laut Norm in einem strukturierten, iterativen Prozess erfolgen. Die Phasen dieses Prozesses umfassen den gesamten Lebenszyklus eines Arbeitssystems: Konzeption, Entwicklung, Umsetzung, Ausführung, Nutzung, Instandhaltung, Nutzerunterstützung und Außerbetriebnahme (DIN EN ISO 6385:2016). Die Umgestaltung des fokussierten Arbeitssystems dieser Dissertation ist abhängig von der technischen Verfügbarkeit automatisierter Lkw, welche zum aktuellen Zeitpunkt noch nicht gegeben ist. Somit liegt die damit zusammenhängende Umgestaltung des Arbeitssystems noch in der Zukunft. Aus diesem Grund liegt der Fokus dieser Dissertation auf der Konzeption des zukünftigen Arbeitssystems, welches auf dem bestehenden aufbaut. Für eine solche Überarbeitung eines bestehenden Arbeitssystems wird laut Norm das folgende Vorgehen empfohlen.

Zu Beginn der Überarbeitung steht die Anforderungsanalyse. Hierbei werden u. a. die Eigenschaften der Arbeitsprozesse und der zukünftigen Arbeitenden genauer betrachtet. Dabei gilt es die Informationen zu berücksichtigen, die aus dem aktuellen System gewonnen werden können. Geeignete Methoden für eine solche Anforderungsanalyse sind beispielsweise Beobachtungen oder Befragungen vor Ort (DIN EN ISO 6385:2016). Ebenfalls aus dem Grund, dass der Einsatz automatisierter Lkw noch in der Zukunft liegt, ist zu erwarten, dass sich auch die Umgebungsfaktoren in der Logistik weiterentwickeln werden (Goudz et al., 2021). Dies sollte im Rahmen der Anforderungsanalyse daher ebenfalls berücksichtigt werden. Expert:innenwissen bietet in diesem Fall eine wesentliche Grundlage, da für zukünftige Gegebenheiten oft keine ausreichende quantitative Datenmenge zur Verfügung steht (Steinmüller, 2008). Einen besonderen Stellenwert hat dabei die Delphi-Umfrage als ausgefeilte Befragungsmethode erlangt, gleichzeitig fungiert die Bildung von Szenarien als Grundlage für Untersuchungen zukünftiger Entwicklungen. Die Szenario-Methode wird daher oft in Kombination mit der Delphi-Methode verwendet, um die Qualität der Untersuchungen zu erhöhen (Fritschy & Spinler, 2019; Nowack et al., 2011).

Der nächste Schritt bei der Umgestaltung eines Arbeitssystems ist, Funktionen abzuleiten, die das Arbeitssystem zur Erfüllung der Anforderungen leisten muss und somit die grundlegenden Abläufe festzulegen. Im Anschluss gilt es zu entscheiden, wie die Funktionen zwischen den Arbeitenden aufgeteilt werden, sodass die Funktionen ausgeführt werden und die Ziele des Arbeitssystems erreicht werden können (DIN EN ISO 6385:2016). Bei der Planung, Entwicklung und Evaluation von Systemabläufen muss der Mensch-bezogene Aspekt adäquat berücksichtigt werden (Burgess-Limerick, 2020). Hierbei ist anschließend die Arbeitsaufgabe der jeweiligen Mitarbeitenden das zentrale Element bei der psychologischen Betrachtung einer Tätigkeit. Durch die festgelegten Inhalte der Arbeitsaufgabe kann die Tätigkeit organisiert und reguliert werden (Ulich, 2011). Da die Arbeitsaufgabe weiterhin die Schnittstelle zwischen Mensch und Technik im Arbeitssystem darstellt (Schlick et al., 2018), sollte diese bei der Umgestaltung des Arbeitssystems besondere Beachtung finden.

4.2 Methoden auf Aufgabenebene

Prospektive Untersuchungen finden insbesondere in angewandten Forschungsbereichen häufig Anwendung, beispielsweise, um die möglichen Auswirkungen von Veränderungen in einem Arbeitssystem im Vorfeld zu analysieren. Die Herausforderung liegt hier darin, dass es in diesem Fall nicht möglich ist, zukünftige Arbeitnehmer direkt zu beobachten oder zu befragen. Möglichkeiten, um mit dieser Herausforderung umzugehen, sind unter anderem die zukünftigen Abläufe zu konstruieren und sie von Fachexpert:innen beurteilen zu lassen (Kirwan & Ainsworth, 1992). Alternativ werden auch Kriterien für eine ergonomische Gestaltung der Arbeit auf geplante Veränderungen angewendet oder weitere prospektive Methoden, wie der szenariobasierte Ablauf (engl. cognitive walk-through), genutzt. Diese Methoden erlauben es, zukünftige Szenarien oder Abläufe zu visualisieren und zu bewerten, ohne sich auf direkte Beobachtungen der realen Arbeitssituation stützen zu müssen (Badke-Schaub et al., 2008).

Zu den subjektiven Messinstrumenten zur Bewertung von Arbeitseigenschaften gehören die Job Diagnostic Survey (JDS; Hackman & Oldham, 1974) oder Alternativen wie der Work Design Questionnaire (Morgeson & Humphrey, 2006). Der Work Design Questionnaire (WDQ; Morgeson & Humphrey, 2006) zählt zu den umfangreichsten Instrumenten auf dem Gebiet der Arbeitsanalyse (Stegmann et al., 2010). Dieses Messinstrument hat zum Ziel, Informationen zur Gestaltung von Arbeitsplätzen im umfassenderen Sinn zu erheben (engl. work design), d. h. nicht nur die Gestaltung der Tätigkeiten an sich (engl. job design). Der WDQ liefert somit eine summarische Bewertung eines gesamten Arbeitsplatzes und konzentriert sich dabei in erster Linie nicht auf die Merkmale der Mitarbeitenden, sondern auf die Merkmale der Arbeitsplätze (Stegmann et al., 2010). Die JDS basiert dabei auf dem Job Characteristics Model (Hackman & Oldham, 1975; vorgestellt in Kapitel 2.3.1, Abbildung 2.3) und beinhaltet Skalen zur Erfassung der Haupteigenschaften einer Arbeitsaufgabe, der kritischen psychologischen Zustände, individuellen Eigenschaften und Auswirkungen wie beispielsweise die Zufriedenheit der Mitarbeitenden. Die JDS fand bereits Einsatz in zahlreichen Studien, um die Effekte von neuer Technologie auf die Beziehung zwischen Job Characteristics und Arbeitszufriedenheit zu untersuchen (Morris & Venkatesh, 2010). Da der Fokus dieser Dissertation auf der Konzeption der Umgestaltung des Arbeitssystems liegt, geht die Betrachtung der Arbeitsplätze im Sinne des WDQ zu sehr ins Detail. Die JDS eignet sich hingegen vor allem dafür, Effekte von Änderungen im Arbeitssystem auf die Mitarbeitenden zu evaluieren und den Bedarf an Umgestaltung der Arbeit festzustellen (Hackman & Oldham, 1975).

4.3 Vorgehen dieser Dissertation

Um die Auswirkungen automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr und die zusammenhängende menschliche Arbeit zu untersuchen, wurde in dieser Dissertation folgendes Vorgehen gewählt (dargestellt in Abbildung 4.1): Zunächst wurde das Thema auf Systemebene betrachtet und im Sinne der Norm im ersten Schritt eine Anforderungsanalyse durchgeführt (DIN EN ISO 6385:2016). Im Rahmen dieser wurde das aktuelle Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr hinsichtlich der heutigen Abläufe, Rollen, Aufgaben und Rahmenbedingungen analysiert. Da die Einführung automatisierter Lkw noch einige Jahre in der Zukunft liegt, wurden darüber hinaus weitere zu erwartende Änderungen im Arbeitssystem und somit das zukünftige Logistikumfeld der automatisierten Lkw betrachtet. Auf Grundlage dieser Anforderungsanalyse wurde das zu betrachtende Szenario abgeleitet und Möglichkeiten entwickelt, wie die Umschlagprozesse auf den Hubs mit automatisierten Lkw umgesetzt werden können. Auf Basis der entwickelten Prozesse wurden die zukünftigen Tätigkeiten der Mitarbeitenden auf Aufgabenebene genauer betrachtet, evaluiert und Verbesserungspotenzial abgeleitet.

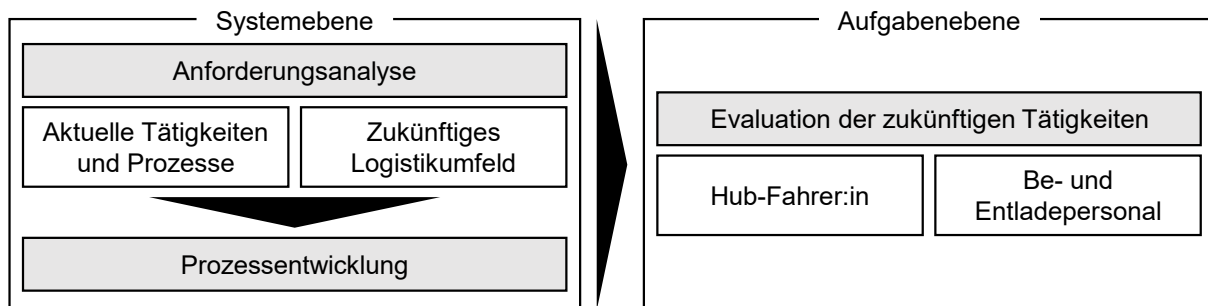


Abbildung 4.1: Methodisches Vorgehen dieser Dissertation

5 Aktuelle Tätigkeiten und Prozesse

Dieses Kapitel basiert zu Teilen auf der Veröffentlichung Escherle, Haentjes et al. (2023).

Für die erfolgreiche Umsetzung eines Wandels im Transportsektor wird im Sinne der Anforderungsanalyse im ersten Schritt die Betrachtung der bestehenden Technologien, Prozesse und Kontexte empfohlen (DIN EN ISO 6385:2016; Hörl et al., 2016; Thüring & Mahlke, 2007). Um Aussagen darüber treffen zu können, wie sich einzelne Aspekte im Arbeitssystem des Hub-to-Hub-Verkehrs durch die Automatisierung der Lkw verändern, soll daher zunächst ein grundlegendes Verständnis über die aktuellen Abläufe und Aufgabenverteilungen in den existierenden Arbeitssystemen verschiedener Hubs geschaffen werden. Wie in Abbildung 2.4 dargestellt, sind die anliefernden Lkw auf den Hubs fest in die Wareneingangs-, Warenausgangs- und Umschlagprozesse integriert. Dabei übernehmen Lkw-Fahrer:innen heutzutage Tätigkeiten, die über das Fahren des Lkws hinaus gehen und sind beispielsweise bei der Anmeldung, Ent- und Beladung mit eingebunden (Flämig, 2016; Inninger et al., 2018; Müller & Voigtländer, 2019). Da sich mit der Automatisierung der Lkw ab SAE Level 4 (SAE International, 2021) keine Person mehr im Fahrzeug befinden muss, stellt sich die Frage, wie die Abläufe auf den Hubs zukünftig sichergestellt werden können. Hierfür muss im Detail geklärt werden, was aktuell in den Tätigkeits- und Verantwortungsbereich der Fahrer:innen fällt und wie die Zusammenarbeit mit weiteren Mitarbeitenden auf dem Hub erfolgt. Daher liegt der Fokus der nachfolgenden Analyse auf denjenigen Abläufen, die direkt mit den Lkw in Zusammenhang stehen, sowie auf den beteiligten Personen und deren Aufgaben und Verantwortlichkeiten. Auch der aktuelle Stand der Digitalisierung und Informationsübertragung soll betrachtet werden, da dies einen wichtigen Ausgangspunkt für zukünftige Prozesse darstellt (Inninger et al., 2018; Pernestål et al., 2021). Darüber hinaus werden auch die Umgebungsfaktoren der jeweiligen Hubs mit betrachtet, da der Einsatz von automatisierten Lkw vor allem mit den zusammenhängenden Rahmenbedingungen im Hub steht und fällt (Müller & Voigtländer 2019). Hierzu existiert in der Logistikbranche noch hoher Forschungsbedarf (Inninger et al. 2018; Müller & Voigtländer 2019; Pöllänen et al. 2022). Die zentralen Forschungsfragen dieser Analyse lauten somit wie folgt:

1. Welche Prozesse mit Beteiligung von Fahrer:innen oder Mitarbeitenden können auf den Hubs in und um den Lkw beobachtet und unterschieden werden?
2. Welche spezifischen Aufgaben und Verantwortlichkeiten haben die beteiligten Personen im Rahmen dieser Prozesse?
3. Welche Herausforderungen für die Automatisierung von Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr können identifiziert werden?

Im Rahmen dieser Dissertation wurde auf zwei unterschiedlichen Hubs jeweils eine ausführliche Analyse der genannten Aspekte durchgeführt. Für die zugehörige Veröffentlichung Escherle, Haentjes et al. (2023) wurden zusätzlich die Daten zweier weiterer vergleichbarer Hub-Analysen hinzugezogen und ein übergreifender Standardprozess davon abgeleitet, sowie die jeweiligen Herausforderungen herausgearbeitet. Im Folgenden wird zum einen eben dieser Standardprozess vorgestellt und zum anderen genauer auf die oben aufgeführten Aspekte im Fokus der Analysen eingegangen.

5.1 Methode

Für die Untersuchung der Forschungsfragen wurden vier unterschiedliche Hubs in Deutschland berücksichtigt, zwei der Analysen erfolgten im Rahmen dieser Dissertation. Die Hubs variierten hinsichtlich der vorrangigen Nutzung verschiedener Lkw-Aufbauten im Lieferprozess. Diese sind in Tabelle 5.1 aufgeführt.

Tabelle 5.1: Eigenschaften der analysierten Hubs

	Vorrangiger Lkw-Aufbau	Kommentar
Hub 1	Festaufbau	Analyse im Rahmen der Dissertation
Hub 2	Wechselbrücken	Analyse im Rahmen der Dissertation
Hub 3	Container	Analyse nicht im Rahmen der Dissertation
Hub 4	Container	Analyse nicht im Rahmen der Dissertation

Auf jedem betrachteten Hub wurde eine umfassende Analyse der aktuellen Abläufe im Warenein- und Warenausgang durchgeführt. Dabei wurde zum einen der Weg der anliefernden Lkw auf dem Hub von der Einfahrt bis zur Ausfahrt über mehrere Tage begleitet und beobachtet. Neben den Lkw-Fahrer:innen wurden dabei weitere beteiligte Personen identifiziert und diese ebenfalls an ihrem Arbeitsplatz begleitet. Dabei wurden die jeweiligen Tätigkeiten, deren Abfolgen und verwendete Hilfsmittel erfasst. Auch die erhaltenen und weitergegebenen Informationen sowie besondere Situationen und Probleme wurden mit Hilfe von Beobachtungsprotokollen genau dokumentiert. Zusätzlich wurden mit allen am Prozess beteiligten Personen vor Ort kontextuelle Interviews an den jeweiligen Arbeitsplätzen geführt, um gezielt Nachfragen zu Abläufen, Tätigkeiten, Herausforderungen, genutzten Systemen, Informationsflüssen und/oder der Beschaffenheit des Hubs stellen zu können.

Im Anschluss daran wurden außerdem mit den jeweiligen leitenden Personen der Hubs semi-strukturierte Interviews geführt, um übergeordnete Herausforderungen im Prozess, Zukunftspläne und die Möglichkeit der Automatisierung des Hubs zu erfragen und zu diskutieren.

Die gesammelten Informationen aus Beobachtungsprotokollen und durchgeführten Interviews wurden im Anschluss im Rahmen einer qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2000) ausgewertet.

5.2 Ergebnisse

Über alle Hubs hinweg zeigten sich vier aufeinanderfolgende Arbeitsphasen. Diese sind in Abbildung 5.1 dargestellt und umfassen die Anmeldung, bzw. Registrierung, die Entladung, Beladung und Abmeldung des Lkw (Escherle, Haentjes et al., 2023). Zwischen den einzelnen Arbeitsphasen wird der Lkw auf dem Hub-Gelände von einer zur nächsten Station gefahren. Je nach Hub gibt es eine große Anzahl verschiedener Entladestellen. Abhängig vom Lkw-Aufbau und den geladenen Gütern werden während des Prozesses gegebenenfalls mehrere Ent- und Beladestellen von einem Lkw angefahren. In diesem Fall werden an den jeweiligen Stellen einzelne Teilladungen ab- bzw. aufgeladen. Abbildung 5.1 ist über die Arbeitsphasen hinaus zu entnehmen, welche Rollen an den jeweiligen Arbeitsphasen beteiligt sind.

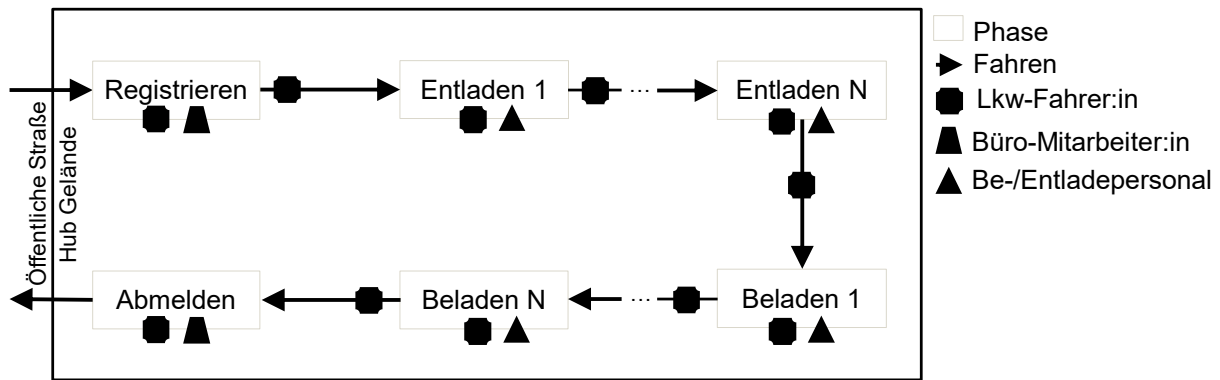


Abbildung 5.1: Identifizierte Arbeitsphasen auf den Hubs inkl. beteiligter Rollen

Im Folgenden wird auf die einzelnen Arbeitsphasen genauer eingegangen, die Abläufe und Aufgaben der beteiligten Personen genauer beschrieben, sowie die Gemeinsamkeiten und Unterschiede zwischen den Hubs dargestellt, die im Rahmen der Analyse aufgedeckt werden konnten.

5.2.1 Registrieren

Der Ablauf in der Arbeitsphase Registrieren variiert je nach Digitalisierungsgrad des Hubs. In der Regel wird die Lieferung vorab durch ein digitales System gebucht und für ein bestimmtes Zeitfenster angemeldet. Bei Ankunft des Lkw an einem Hub mit höherem Digitalisierungsgrad erfolgt die Anmeldung des Frachträgers über eine kamerabasierte Kennzeichenerkennung bei der Einfahrt. In diesem Fall wurden bereits alle relevanten Informationen zum geladenen Material und zur Be- und Entladung im Vorfeld an Sender und Empfänger des Transports digital über ein System übermittelt. Eine weitere Möglichkeit der digitalen Anmeldung vor Ort umfasst die Identifikation mit einer ausweisähnlichen Karte, die die Fahrer:innen am Hub-Eingang an einem digitalen Terminal scannen. Über dieses Terminal werden den Fahrer:innen im Anschluss auch die Informationen zu den Be- und Entladestellen bereitgestellt (Escherle, Haentjes et al., 2023). Bei Hubs mit niedrigem Digitalisierungsgrad erfolgt die Registrierung durch die Fahrer:innen analog, indem sie sich persönlich in einem Bürogebäude anmelden. Die einzelnen Aufgaben der beteiligten Rollen dabei sind in Tabelle 5.2 aufgelistet. In diesem Fall machen die Fahrer:innen über ein Anmeldeformular Angaben zu Lieferung, Fahrzeug, persönlichen Informationen und zugeordneten Liefer-ID und geben zusätzlich die entsprechenden Fracht- und Zolldokumente bei den Büro-Mitarbeitenden ab. Die Informationen dieser Dokumente werden von den Büro-Mitarbeitenden in ein digitales System übertragen und mit den im Vorfeld hinterlegten Daten abgeglichen. Die Lieferscheine werden erfasst und in Abstimmung mit den Fahrer:innen die Ladeliste erstellt. Die Registrierung wird abgeschlossen, indem die Fahrer:innen unterschiedliche Dokumente erhalten, darunter die Ladeliste, ein Fahrzenschein, weitere Belege für die Beladung, eine Wegbeschreibung und gegebenenfalls ein Telematikgerät für die Informationsübermittlung zu den aufeinanderfolgenden Ent- und Beladestellen. Auf Hubs, die ohne Telematikgeräte arbeiten, erhalten die Fahrer:innen diese Informationen entweder mündlich durch das Büropersonal oder schriftlich auf einem Dokument. Im Anschluss kehren die Fahrer:innen zu ihrem Lkw zurück und beginnen die Fahrt auf dem Gelände. Damit ist die Arbeitsphase Registrieren abgeschlossen und das entsprechende Personal an den relevanten Be- und Entladestellen wird durch das digitale System über die Ankunft des Frachträgers informiert.

Tabelle 5.2: Aufgaben der beteiligten Rollen in der Arbeitsphase Registrieren in zeitlicher Reihenfolge

Lkw-Fahrer:in	Büro-Mitarbeiter:in
Aussteigen und zu Bürogebäude laufen	-
Anmeldeformular ausfüllen	-
Anmeldeformular und Frachtdokumente abgeben	Entgegennehmen der Dokumente
-	Übertragen der Daten + Abgleich im digitalen System
Informationen zur Beladung nennen	Reihenfolge der Entladestellen festlegen, Dokumente erstellen
Erhalt der Dokumente und des Telematikgeräts	Ladeliste, Fahrtschein, Belege, Wegbeschreibung und Telematikgerät übergeben
Zu Lkw zurückkehren	-

5.2.2 Fahren

Im Anschluss an die Anmeldung haben die Lkw-Fahrer:innen die Aufgabe, den Lkw an die vorgegebene Entladestelle zu fahren. Die Navigation über das Hub-Gelände erfolgt dabei durch die Fahrer:innen selbst, gelegentlich unter Zuhilfenahme von Papierplänen. Die Fahrten auf den Hubs umfassen in der Regel viele typisch städtische Verkehrssituationen: Kreuzungen, Ampeln, Zebrastreifen, Bahnübergänge, Schranken, Fahrbahnverengungen, Einbahnstraßen sowie gelegentlich enge Kurven oder herausfordernde Wendemanöver. Zusätzlich befinden sich viele verschiedenen Verkehrsteilnehmende auf dem Hub-Gelände, darunter Fußgänger:innen, interne Rangierfahrzeuge, Pkw, Busse, weitere Lkw sowie Feuerwehr- und Rettungswägen. Je nach Automatisierungsgrad der Schranken können unterschiedliche Interaktionsformen zum Passieren nötig sein, wie beispielsweise persönliche Interaktionen, das Vorhalten einer Chipkarte oder keine, wenn sich die Schranke automatisch ohne das Zutun der Fahrer:innen öffnet (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Die Verkehrsregelung auf den Hubs folgt teilweise den Bestimmungen der Straßenverkehrsordnung (StVO), teilweise sind die Situationen jedoch auch nicht eindeutig geregelt und die Verkehrsteilnehmenden verlassen sich auf gegenseitige Rücksichtnahme (Escherle, Haentjes et al., 2023).

5.2.3 Entladen

Die Arbeitsphase Entladen beginnt mit der Ankunft des Lkws an der entsprechenden Entladestelle. Zunächst wird der Lkw von den Fahrer:innen in der vorgesehenen Position abgestellt. Hierzu erfolgt die Kommunikation zwischen Entladepersonal und Fahrer:innen in der Regel durch Zuruf und Gestik. Im Anschluss steigen die Fahrer:innen aus und geben die bei der Anmeldung erhaltenen Dokumente sowie die Frachtpapiere bei Mitarbeitenden des Wareneingangs ab. Die darauffolgenden Abläufe während der Entladephase unterscheiden sich je nach Art der eingesetzten Lkw-Aufbauten: Bei der Verwendung von Wechselbrücken und Containern werden diese vom Lkw entkoppelt, sodass der Lkw direkt weiterfahren kann. Dabei sind nur wenige Arbeitsschritte erforderlich, wie das Öffnen von Twist-Locks oder das Lösen der

Kupplung. Diese Arbeitsschritte werden durch die Fahrer:innen ausgeführt. Die entkoppelten Aufbauten werden dann entweder an der selben Stelle vom Entladepersonal abgeladen oder mit internen Fahrzeugen im Hub weiter transportiert (Escherle, Haentjes et al., 2023). Bleiben Lkw und Aufbau miteinander verbunden (Hub 1, Tabelle 5.1), entstehen zusätzliche Arbeitsschritte an den Entladestellen, welche in Tabelle 5.3 aufgelistet sind. In diesem Fall kehren die Lkw-Fahrer:innen nach der Abgabe der Dokumente zum Lkw zurück und beginnen die Entladung vorzubereiten. Hierfür wird der Aufbau in der Regel seitlich geöffnet und die Ladungssicherung entfernt, während das Entladepersonal die Dokumente prüft, den Status im digitalen System anpasst und die Entladung ebenfalls vorbereitet. Sobald der Lkw bereit ist, lädt das Entladepersonal die für diese Stelle bestimmten Güter mit Staplern ab. Die Fahrer:innen unterstützen hier bei Bedarf, wenn beispielsweise die seitlichen Streben (Rungen) während des Abladeprozesses verschoben werden müssen. Handelt es sich bei der Entladestelle nur um eine Teilentladung, sind die Fahrer:innen dafür verantwortlich die Ladungssicherung für die verbleibenden Teilladungen wiederherzustellen. Für den Fall, dass die verbleibenden Güter zur Herstellung der Ladungssicherung umplatziert werden müssen, unterstützt das Entladepersonal mit den Staplern. Anschließend schließen die Lkw-Fahrer:innen den Lkw-Aufbau wieder, während das Entladepersonal die Dokumente vorbereitet. Die Entladung an der jeweiligen Entladestelle wird abgeschlossen, indem die Entladung auf entsprechenden Papierdokumenten dokumentiert, durch Unterschriften bestätigt und der Status digital im System auf abgeschlossen gesetzt wird. Im Anschluss beginnt das Entladepersonal die Einlagerung der Güter und die Lkw-Fahrer:innen steuern den Lkw zur nächsten Entladestelle, wo sich der beschriebene Vorgang wiederholt. Die Arbeitsphase Entladen wird abgeschlossen, wenn alle für den Hub bestimmten Güter abgeladen wurden.

Tabelle 5.3: Aufgaben der beteiligten Rollen in der Arbeitsphase Entladen in zeitlicher Reihenfolge

Lkw-Fahrer:in	Entladepersonal
Lkw in Abladeposition bringen	Kommunikation zur korrekten Abladeposition
Dokumente abgeben	Entgegennehmen der Dokumente
Lkw-Aufbau öffnen, Ladungssicherung entfernen	Prüfung der Dokumente, Vorbereitung der Entladung
-	Sichtprüfung auf Beschädigungen
-	Status im digitalen System auf Entladen setzen
Bereithalten zur Unterstützung	Entladen des Lkw mit Staplern, Abstellen der Ware auf Pufferzonen im Lager, Kontrolle auf Vollständigkeit und Schäden
Ladungssicherung wiederherstellen	Ggf. Unterstützung durch Umplatzierung der Güter
Aufbau schließen	Vorbereitung der Dokumente
Unterschreiben + Entgegennehmen der Dokumente	Unterschreiben + Übergabe der Dokumente
Fahrt zur nächsten Ent-/Beladestelle	Einlagerung der gelieferten Güter

5.2.4 Beladen und Abmelden

In dem Fall, dass der Lkw nach Abschluss der Entladung auf dem Hub wieder beladen werden soll, steuern die Fahrer:innen den Lkw zur dedizierten Beladestelle und stellen ihn auf der vorgesehenen Position ab (siehe Tabelle 5.4). Hierbei erfolgt die Kommunikation zwischen Beladepersonal und Fahrer:innen ebenfalls über Zuruf und Gestik. Anschließend werden die mitgeführten Dokumente an das Beladepersonal übergeben und der Status im digitalen System auf Beladen gesetzt. Ähnlich wie bei der Entladephase variieren auch beim Beladeprozess die Abläufe je nach Art der Lkw-Aufbauten. In Hubs mit Containern und Wechselbrücken werden diese entweder im Vorfeld vom Hub-Personal mit Ware beladen und gesichert, oder die Aufbauten werden als Leergut transportiert. In diesen Fällen umfasst der Beladeprozess am Lkw nur wenige Arbeitsschritte, wie das Koppeln der Aufbauten durch das Schließen der Twist-Locks oder Kupplung, sowie eine äußere Sichtkontrolle durch die Fahrer:innen (Escherle, Haentjes et al., 2023). Bleiben Lkw und Aufbau während des Prozesses verbunden (Hub 1, Tabelle 5.1), ist es zunächst die Aufgabe der Fahrer:innen den Aufbau zu öffnen und gegebenenfalls die Rungen zu entfernen, während das Beladepersonal auf Grundlage der abgegebenen Dokumente die Beladung vorbereitet. Durch das digitale System ist das Beladepersonal informiert, wo die benötigten Güter oder Leergutbehälter gelagert sind. Im Anschluss belädt das Beladepersonal den Lkw mit dem angeforderten Material mit der Hilfe von Staplern. Währenddessen sind die Fahrer:innen für die korrekte Sicherung der Ladung verantwortlich. Hierbei muss in der Regel fast jeder Staplerhub direkt gegurtet werden. Wenn die Beladung an dieser Stelle abgeschlossen und die Ladungssicherung erfolgt ist, ist es die Aufgabe der Fahrer:innen, den Aufbau zu schließen. In der Zwischenzeit bereitet das Beladepersonal die Frachtdokumente vor. Je nach angeforderter Beladung müssen gegebenenfalls mehrere Beladestellen nacheinander angefahren werden, an denen sich der beschriebene Vorgang wiederholt. Abschließend wird die Arbeitsphase Beladen ebenfalls durch die Dokumentation und schriftliche Bestätigung beendet und der Status im digitalen System angepasst. Die finale Abmeldung des Lkw erfolgt je nach Digitalisierungsgrad des Hubs entweder persönlich durch die Übergabe von Dokumenten oder digital durch ein System. Danach verlässt der Lkw den Hub (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Tabelle 5.4: Aufgaben der beteiligten Rollen in der Arbeitsphase Beladen in zeitlicher Reihenfolge

Lkw-Fahrer:in	Beladepersonal
Lkw in Beladeposition bringen	Kommunikation zur korrekten Abladeposition
Dokumente abgeben	Entgegennehmen der Dokumente
Lkw-Aufbau öffnen	Prüfung der Dokumente, Status im digitalen System anpassen, Vorbereitung der Beladung
Herstellen der Ladungssicherung	Beladen des Lkw mit Staplern
Aufbau schließen	Vorbereitung der Dokumente
Unterschreiben + Entgegennehmen der Dokumente	Unterschreiben + Übergabe der Dokumente
Fahrt zur nächsten Ent-/Beladestelle	-

5.2.5 Digitale Systeme

In Abhängigkeit des Digitalisierungsgrads kommen auf den Hubs unterschiedliche digitale Systeme zum Einsatz. Diese adressieren unter anderem die Steuerung des Materialeingangs, die detailliertere Erfassung gelieferter Güter (enthält z. B. Informationen zu Lieferscheinen, Lieferanten, Sachnummern der Ware oder der Menge), die Disposition der zu beladenden Güter, Informationen zum Lagerbestand, Schnittstellen zum Zollamt und zu den Lieferanten, sowie ein Auftragssystem für die Lagermitarbeitenden. Darüber hinaus kann die Steuerung der Frachttträger auf dem Hub-Gelände teilweise digital erfolgen. Hierfür erhalten die Fahrer:innen bei der Registrierung ein Telematikgerät, auf dem ihnen Informationen zur nächsten anzufahrenden Stelle auf dem Hub angezeigt werden. Zusätzlich können über das System die Dringlichkeit der Lieferung und der Status der Ware (z. B. entladen oder unbekannt) angepasst werden.

5.2.6 Herausforderungen

Auf den betrachteten Hubs konnten verschiedene Herausforderungen in den derzeitigen Prozessen identifiziert werden. Beispielsweise kommt es bei der Registrierung regelmäßig zu Verzögerungen, wenn zwischen den verfügbaren Daten im System und den abgegebenen Dokumenten einer Lieferung Diskrepanzen bestehen. Hier benötigt es zusätzliche Zeit, um die Fakten zu überprüfen und eine Lösung zu finden. Darüber hinaus werden bei der Planung der Reihenfolge der einzelnen Ent- und Beladestellen für die Lkw vom System keine aktuellen Informationen zur Hub-Situation berücksichtigt. Wenn beispielsweise an manchen Stationen auf dem Hub zu bestimmten Zeiten ein hohes Aufkommen herrscht, ist eine angepasste Reihenfolge effizienter. Hierbei wird bei der Registrierung auf die Erfahrung der Büro-Mitarbeitenden zurückgegriffen. Diese können die Reihenfolge der Tour mit ihren Erfahrungen abgleichen und gegebenenfalls manuell ins System eingreifen, um die Reihenfolge zu ändern. Erfolgt dieser Eingriff nicht, kann es zu ineffizienter Routenplanung kommen. Je nach Auslastung der einzelnen Be- und Entladestellen oder der Dringlichkeit der benötigten Lieferung, kann sich die geplante Reihenfolge der anzufahrenden Stellen auch kurzfristig ändern. Die Kommunikation mit den Fahrer:innen erfolgt hierzu entweder über ein Telematikgerät, per An- oder Zuruf. Des Weiteren fehlen auf den Hubs teilweise die Fahrbahnmarkierungen, es besteht an einigen Stellen keine klare Verkehrsregelung und es existiert kein eindeutiges Leitsystem sowie keine ausreichende Beschilderung für die Fahrer:innen. Auch sind viele Entladestellen schwer zu finden und teilweise nur durch schwierige, komplizierte Manöver anfahrbar. Dies führt dazu, dass sich die externen Fahrer:innen häufig verfahren und der Prozess dadurch verzögert wird. Unter anderem aus diesem Grund kann es zu höheren Wartezeiten an den Be- und Entladestellen kommen, wobei nicht immer ausreichend Parkplätze für die wartenden Lkw zur Verfügung stehen. Die Reihenfolge der zu bearbeitenden Lkw wird dabei vom digitalen System vorgegeben, abhängig von der jeweiligen Wartezeit und dem zu erwartenden Standgeld, bei Überschreitung einer bestimmten Zeitspanne. Im Kontext der Be- und Entladung besteht eine weitere Herausforderung: Die Fahrer:innen dürfen sich aus Sicherheitsgründen nicht im Gefahrenbereich der Stapler aufhalten, in der Praxis ist dies jedoch oft nur schwer umsetzbar, da die Ladungssicherung häufig simultan mit der Beladung durch die Stapler stattfindet. Dadurch können gefährliche Situationen für die Beteiligten entstehen. Darüber hinaus wurde im Rahmen der Analyse deutlich, dass teilweise keine Schnittstellen zwischen den unterschiedlichen digitalen Systemen bestehen. Dadurch müssen einzelne Informationen teilweise händisch von System zu System übertragen oder abgeglichen werden, was die Arbeitsschritte weniger effizient macht.

5.3 Diskussion

Im Rahmen der durchgeführten Analysen konnte ein genereller Standardprozess identifiziert werden, dessen aufeinanderfolgende Arbeitsphasen bei allen betrachteten Hubs beobachtet werden konnten (Escherle, Haentjes et al., 2023). Durch die Analyse wurde außerdem deutlich, dass sich die untersuchten Hubs in einem Wandel von manuellen hin zu automatisierten und digitalisierten Prozessen befinden, wie es auch in der Literatur beschrieben wird (Müller & Voigtländer, 2019). So konnten deutliche Unterschiede im Grad der Digitalisierung zwischen den einzelnen Hubs aufgezeigt werden, welche in der Arbeitsphase Registrieren besonders hervorstechen. Darüber hinaus liefern die durchgeführten Analysen einen guten Überblick über die einzelnen Aufgaben und beteiligten Rollen im aktuellen Warenein- und -ausgangsprozess der Hubs. Hierbei wird deutlich, dass der aktuelle Prozess auf die Anwesenheit und Mitarbeit von Lkw-Fahrer:innen ausgelegt ist. Vor allem bei Hubs, bei denen Lkw und Aufbau während des Prozesses verbunden bleiben, sind die Fahrer:innen in jeder der Arbeitsphasen fest eingebunden und übernehmen essentielle Aufgaben, wie beispielsweise das Fahren der Lkw auf dem Gelände, das Öffnen des Aufbaus oder die Ladungssicherung. Durch die Anwesenheit der Fahrer:innen sind außerdem auch kurzfristige Änderungen von Be- und Entladestellen und spontane Kommunikation möglich. Vor dem Hintergrund der Automatisierung der Lkw gilt es diese Aspekte in Zukunft zu berücksichtigen. Wie die internen Prozesse ablaufen können, wenn sich kein:e Fahrer:in mehr im automatisierten Lkw befindet, muss dabei genau betrachtet werden.

Des Weiteren zeigt die Analyse, dass auf den Hubs außerdem auch große Herausforderungen bei der Automatisierbarkeit der Lkw bestehen. Die teilweise schwierigen Manöver, komplexen und teils unklaren Verkehrssituationen sowie viele unterschiedliche Verkehrsteilnehmende erinnern dabei an städtischen Verkehr. Hub-Betreibende stehen einer Änderung der Hub-Infrastruktur insgesamt eher kritisch entgegen (Inninger et al., 2018). Angesichts dieser Tatsache ist es daher fragwürdig, ob automatisiertes Fahren auf dem Hub-Gelände zunächst ohne diese Anpassungen der Infrastruktur möglich sein wird. Um die Einbindung automatisierter Lkw in die Hub-Prozesse zu erleichtern, lassen sich auf Basis der durchgeführten Analyse die nachfolgenden Empfehlungen ableiten (Escherle, Haentjes et al., 2023):

Konsequente Digitalisierung von Prozessen. Laut Pernestål et al. (2021) ist die Digitalisierung ein wesentliches Instrument zur Integration automatisierter Lkw. In den analysierten Hubs erfolgt die Informationsübertragung bereits teilweise durch einen Datenaustausch vorab und digitale Kennzeichenerkennung ohne direkte persönliche Interaktion. Mit diesem Vorgehen könnte sichergestellt werden, dass auch automatisierte Lkw ohne anwesende Fahrer:innen registriert und zu den vorgesehenen Be- und Entladestellen geleitet werden. Die automatische und vollständige digitale Registrierung der Fahrzeuge erweist sich hierbei als ein zentraler Aspekt, um automatisierte Lkw in die Warenein- und -ausgangsprozesse auf den Hubs einzubinden (Escherle, Haentjes et al., 2023). Dadurch, dass beispielsweise die Reihenfolge der Ent- und Beladestationen auch kurzfristig geändert werden kann, ist die Möglichkeit zur einfachen und verständlichen Interaktion mit dem Fahrzeug für alle Mitarbeitende eine weitere Anforderung.

Standardisierung der Hub-Prozesse. Die Literatur weist darauf hin, dass eine höhere Standardisierung von Prozessen deren Automatisierbarkeit verbessert (Hörl et al., 2016; Inninger et al., 2018; Müller & Voigtländer, 2019). Bei Hubs, in denen vorrangig Wechselbrücken oder Container zum Einsatz kommen, wurden tendenziell standardisiertere Prozesse beobachtet. Dabei beschränkt sich die Beteiligung der Fahrer:innen an den Be- und Entladevorgängen auf ein Minimum. Im Gegensatz dazu sind die Prozesse in Hubs mit festen Aufbauten tendenziell weniger

standardisiert. Dort werden Fahrer:innen beispielsweise bei kurzfristigen Änderungen spontan tiefer in den Prozess einbezogen. Wie bereits erwähnt, könnten diese spontanen Änderungen eine größere Herausforderung für die Einbindung automatisierter Lkw darstellen (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Definition von Verantwortlichkeiten. Dadurch, dass Fahrer:innen im heutigen Prozess an unterschiedlichen Stellen auf dem Hub Aufgaben und Verantwortung übernehmen, müssen diese im Kontext automatisierter Lkw neu verteilt werden. Beispielsweise liegt die Verantwortung der Ladungssicherung aktuell bei den Fahrer:innen, sofern der Aufbau nicht verplombt ist. Für automatisierte Lkw gilt es daher noch zu klären, wer zukünftig diese Verantwortung trägt, welche Schulungen gegebenenfalls erforderlich sind und wie die Überwachung dieser Tätigkeiten rechtsverbindlich sichergestellt werden kann. In diesem Kontext muss insbesondere auch die Frage nach der Haftung bei Kontrollen, Beschädigungen und Unfällen geklärt werden (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Anpassung der Infrastruktur. Die Realisierbarkeit von automatisierten Fahrzeugen ist eng mit der umgebenden Infrastruktur verbunden (vgl. Inninger et al., 2018; Müller & Voigtländer, 2019; Pernestål et al., 2021; Pöllänen et al., 2022). Wie bereits erwähnt, erfordert die gegenwärtige Infrastruktur auf den betrachteten Hubs die Aufmerksamkeit einer fahrenden Person. Das Fehlen von Fahrbahnmarkierungen, unklare Verkehrsregeln und häufiger Querverkehr stellen Herausforderungen für automatisierte Fahrzeuge dar. Eine Anpassung der Hub-Infrastruktur an die Anforderungen automatisierter Fahrzeuge könnte ihre Integration erleichtern (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Individualisierte Betrachtung der Hubs. Auf Basis der durchgeführten Analyse konnte einerseits ein übergeordneter Standardprozess abgeleitet werden, jedoch zeigen sich im Detail starke Variationen in den Abläufen der unterschiedlichen Hubs. Dies lässt sich insbesondere auf die transportierten Güter und Lkw-Aufbauten zurückführen, welche unterschiedliche Anforderungen an Ladungssicherung und Beladetätigkeiten stellen. Aus diesem Grund würde eine generalisierte Empfehlung zur Integration automatisierter Lkw über alle Hubs hinweg zu kurz greifen. Stattdessen müssen die individuellen Faktoren der Hubs mit berücksichtigt werden (Escherle, Haentjes et al., 2023).

Die letztgenannte Empfehlung stellt somit zeitgleich die zentrale Limitation dieser Studie dar: Obwohl die untersuchten Hubs bewusst möglichst divers ausgewählt wurden, um eine breite Abdeckung verschiedener Rahmenbedingungen zu gewährleisten, bleibt unklar, inwieweit die beobachteten Zustände auch auf weitere Hubs zutreffen. Da eine Vollerhebung aufgrund des hohen methodischen Aufwands nicht möglich ist, bieten die vier untersuchten Hubs eine gute Grundlage für die systemische Betrachtung der Auswirkungen automatisierter Lkw.

Bis die Entwicklung so weit fortgeschritten ist, dass automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr eingesetzt werden, wird es noch eine unbestimmte Zeit dauern. Bis dahin ist davon auszugehen, dass sich neben dem automatisierten Fahren auch weitere Bereiche der Logistik weiterentwickeln werden (Goudz et al., 2021). Vor diesem Hintergrund gilt es daher zu untersuchen, welche der identifizierten Tätigkeiten in Zukunft weiterhin manuell durch Menschen ausgeführt werden müssen und ob einige Abläufe beispielsweise durch fortschreitende Digitalisierung oder Automatisierung an anderer Stelle abgedeckt werden können. Dafür ist es wichtig, das komplette Logistikumfeld eines automatisierten Lkw zu betrachten und zu untersuchen, wie sich dieses in der kommenden Zeit verändern wird. Auf diesen Aspekt wird im nachfolgenden Kapitel genauer eingegangen.

6 Zukünftiges Logistikumfeld

Die in diesem Kapitel vorgestellte Studie wurde im Journal Logistics Review veröffentlicht (Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023). Aus Gründen der Prägnanz und Fokussierung beschränkt sich die nachfolgende Darstellung auf die wesentlichen und zum Verständnis relevanten Aspekte der Studie. Für eine ausführliche Beschreibung der einzelnen Teilschritte oder Ergebnisse wird auf die Veröffentlichung verwiesen.

Wie bereits erwähnt, ist die Automatisierung von Lkw nicht der einzige Trend in der Nutzfahrzeugindustrie (Goudz et al., 2021). Die gesamte Logistikbranche steht vor einem Wandel (Witten & Schmidt, 2019; Zanker, 2018). Die Einführung automatisierter Lkw ist noch einige Jahre entfernt und das Logistikumfeld wird sich bis zu diesem Zeitpunkt ebenfalls weiterentwickeln. Da der Lkw nur ein Teil der gesamten Logistikkette ist und die Nutzung automatisierter Lkw von den Entwicklungen in der Logistik beeinflusst werden kann, gilt es ebenfalls zu untersuchen, wie genau das Logistikumfeld automatisierter Lkw in Zukunft aussehen wird. Für Aussagen über zukünftige Entwicklungen werden Prognoseinstrumente aus der Zukunftsforschung genutzt (Kluge et al., 2020). Hierbei sind Szenarien ein hilfreiches Mittel, um ein umfassendes Verständnis für zukünftige Umfeldfaktoren zu gewinnen (Sarpong & Amoah, 2015). Die nachfolgende Studie zielt daher darauf ab, differenzierte Zukunftsszenarien für die Logistik im innerdeutschen Hub-to-Hub-Transport zu entwickeln und somit Aussagen über die zukünftigen logistischen Rahmenbedingungen von automatisierten Lkw zu liefern. Als betrachteten Zeitpunkt wurde das Jahr 2030 gewählt, da dieses in der Literatur als frühester Zeitpunkt genannt wird, an dem die ersten automatisierten Lkw mit SAE Level 4 für den Hub-to-Hub-Verkehr im Einsatz sein werden (Nowak et al., 2018). Die betrachtete Forschungsfrage lautet somit: Wie wird das direkte Logistikumfeld eines automatisierten Lkw im Jahr 2030 aussehen?

6.1 Aktuelle Trends in der Logistik

Bei der Annäherung an das zukünftige Umfeld der automatisierten Lkw spielen aktuelle Trends in der Logistik eine entscheidende Rolle. Das Ausmaß und der Einfluss dieser Trends werden in der Literatur breit diskutiert. So lassen sich verschiedene Einflussfaktoren auf den Logistiksektor identifizieren, von denen viele miteinander verknüpft sind und sich gegenseitig bedingen. Dieses Unterkapitel soll einen kurzen Überblick über aktuelle Trends in der Logistik geben.

6.1.1 Globalisierung

Durch die Internationalisierung des Online-Handels (Bonnes, 2020; Witten & Schmidt, 2019) und den unternehmensinternen Handel zwischen weltweit verteilten Produktionsstätten und Tochtergesellschaften vermehren sich die Warenströme über die Landesgrenzen hinaus und die globalen Handelsbeziehungen nehmen zu. Diese Entwicklung wird durch den Preiserückgang im internationalen Transportwesen vorangetrieben (Zanker, 2018). Es wird erwartet, dass automatisierte Lkw und die damit verbundenen sinkenden Transportkosten die Globalisierung weiter verstärken werden (Ritz, 2018). Der globale Wettbewerb erfordert daher neue Geschäftsprozesse in der Logistik (Kovacs & Kot, 2016). So haben beispielsweise Unternehmen, die über

den Transport hinausgehende Mehrwertdienste (Value Added Services) anbieten, einen Wettbewerbsvorteil gegenüber traditionellen Transportunternehmen (Bonnes, 2020). Solche Dienstleistungen umfassen z. B. spezialisierte Verpackungslösungen, Lagerhaltung und Distribution, sowie Unterstützung bei der Zollabwicklung.

6.1.2 Digitalisierung

Die fortschreitende Digitalisierung wird häufig als ein wesentlicher Treiber des Wandels in der Lkw- und Logistikbranche genannt (Kersten et al., 2017; Konrad & Wangler, 2018; Schiller et al., 2017; Wurst, 2020). Im Zusammenhang mit Industrie 4.0, die unter anderem durch die Integration von künstlicher Intelligenz und die Vernetzung physischer Objekten über das Internet (Internet of Things) geprägt ist, spielt die Vernetzung und Konnektivität in der Wertschöpfungs- und Lieferkette eine wichtige Rolle. Der Trend geht zu vernetzten, intelligenten Systemen entlang der gesamten Lieferkette, die Lieferanten, Hersteller und Dienstleister miteinander verbinden (Kersten et al., 2017; Kovacs & Kot, 2016; Sucky & Asdecker, 2019; Wurst, 2020). Dabei liefert eine Übertragung in Echtzeit die meisten Vorteile (Zanker, 2018), da diese die herkömmliche Sendungsverfolgung um laufende Informationen erweitert und so ein Eingreifen in den Transportprozess ermöglicht (Wurst, 2020). Hierfür sind jedoch einheitliche Plattformen und definierte Schnittstellen erforderlich, was in komplexen Wertschöpfungsketten eine große Hürde darstellt (Kersten et al., 2017; Schönberg et al., 2020).

Die Digitalisierung wird durch die Zunahme von Technologien rund um Big Data (BD), Künstliche Intelligenz (KI) und Maschinelles Lernen zu einem Differenzierungsmerkmal (Kovacs & Kot, 2016; Schwemmer et al., 2020; Witten & Schmidt, 2019; Wurst, 2020). Die Mobilkommunikation der fünften Generation (5G) wird dabei als Schlüsseltechnologie für die Vernetzung und Integration großer Sensornetzwerke gesehen, die eine Überwachung der gesamten Intra- und Produktionslogistik ermöglicht (Khatib & Barco, 2021; Ruess & Litauer, 2021). Darüber hinaus werden automatisierte Fahrzeuge sowie intelligente Logistikroboter aufgrund der gestiegenen Lohnkosten und des demografischen Wandels zunehmend gefordert (Rohde, 2016; Wu & Ge, 2019; Wurst, 2020). Intelligente Vernetzungen über das direkte Fahrzeugumfeld hinaus verändern zudem die Prozesse auf den Hubs. So ist es möglich, Lkw in ein dynamisches Leitsystem zu integrieren, das sowohl die Koordination der Fahrzeuge als auch die Aufgabenverteilung auf dem Hub steuert (Mihatsch et al., 2018). Neben der KI bietet die Blockchain (BC)-Technologie Potenzial für Effizienzsteigerungen und sichere Anwendungen (Hinckeldeyn & Kreutzfeldt, 2019). Mit dem Einsatz dieser Technologie können intelligente, automatisierte Verträge zwischen verschiedenen Parteien (Goudz et al., 2021) und damit der digitale Frachtbrief (eCMR; Casado et al., 2021; DVZ, 2021; NB Guides, 2021) realisiert werden. Allerdings befindet sich BC noch im Entwicklungsstadium (Goudz et al., 2021; Hinckeldeyn & Kreutzfeldt, 2019) und der rechtliche Rahmen für den Einsatz von BC und KI ist noch unklar (Goudz et al., 2021).

6.1.3 Nachhaltigkeit

Die ökologische Nachhaltigkeit gilt als ein wesentlicher Treiber für einen Wandel in der Logistik (Pernestål et al., 2021; Ruess & Litauer, 2021; Zanker, 2018). Die EU-Verordnung (EU, 2019) zur Verringerung der CO₂-Emissionen von neuen Lkw führt zu weitreichenden Veränderungen in der Lkw-Branche (Gomoll, 2021). Lkw-Hersteller setzen zunehmend auf alternative Antriebssysteme. Die weitere Entwicklung von Batterien, die damit verbundenen Preise (Krause et al., 2020) und die derzeit begrenzten Speicherkapazitäten (Witten & Schmidt, 2019) sind jedoch

eine Quelle großer Unsicherheiten in diesem Bereich. Der hohe Strombedarf sowie der Platzmangel für geeignete Elektroladestationen entlang von Hauptverkehrsadern sind weitere Hindernisse für die Elektrifizierung im Fernverkehr (Gomoll, 2021). Daher könnten auch Brennstoffzellen-Elektrofahrzeuge eine wichtige Rolle spielen (Fuchslocher, 2020). Das Innovationsprogramm 2030 des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) greift die Themen Brennstoffzellentechnologie, Elektromobilität und den Ausbau der Ladeinfrastruktur auf (Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur [BMVI], 2019). Auch der sogenannte kombinierte Verkehr (KV), der die Zusammenarbeit zwischen den Verkehrsträgern Schiene, Wasser und Straße anstrebt, wird gefördert (BMVI, 2017). Dadurch soll eine optimale Leistung, wirtschaftliche Effizienz und Umweltfreundlichkeit im Verkehrssektor erreicht werden (BMVI, 2017; Kovacs & Kot, 2016; Zanker, 2018). Trotzdem konzentriert sich der Güterverkehr mit einem steigenden Anteil von über 70 % am gesamten Transportvolumen nach wie vor stark auf die Straße (Goudz et al., 2021; Kovacs & Kot, 2016; Zanker, 2018). Es bleibt daher fraglich, ob eine Veränderung des Einsatzes von Lkw im Kontext des KV zu erwarten ist.

6.1.4 Wettbewerb und neue Geschäftsmodelle

Laut Schiller et al. (2017) müssen sich Lkw-Hersteller auf eine zunehmende Konsolidierung unter den Logistikakteuren einstellen: Kleinere Kundenzahlen mit größerer Kaufkraft, vor allem im Fernverkehr. Darüber hinaus stellt die digitale Transformation von Lkw-Herstellern in Zukunft einen interessanten Aspekt dar (Knoedler & Stanley, 2021): OEMs könnten sich von reinen Herstellern zu Dienstleistern wandeln (Konrad & Wangler, 2018; Lange et al., 2019; Schiller et al., 2017) und beispielsweise flexible Miet- und Sharing-Konzepte anbieten (Schiller et al., 2017). Vor dem Hintergrund automatisierter Lkw arbeiten die Hersteller bereits an sogenannten "Transport as a Service" (TaaS) Konzepten (PwC Strategy&, 2021). Auch die Entwicklung von "Software as a Service"-Bereichen (SaaS) steht bei den OEMs im Vordergrund (Lange et al., 2019; Schiller et al., 2017). Fortschreitende Digitalisierung ermöglicht auch den Einstieg von Logistik-Start-ups in Form von digitalen Speditionen oder digitalen Plattformen (Sucky & Asdecker, 2019). Digitale Speditionen wickeln die traditionelle Vermittlungsdienstleistung des Güterexports ausschließlich digital ab (Wurst, 2020), gewinnen dadurch an Bedeutung und konkurrieren mit großen, traditionellen Speditionen (Schönberg et al., 2020; Sucky & Asdecker, 2019; Wurst, 2020). Einen weiteren Trend stellt die kollaborative Nutzung (Sharing) von Transport-, Lager- und Lkw-Kapazitäten über digitale Plattformen dar (Kückelhaus et al., 2020).

6.1.5 Logistikprozesse

Nowak et al. (2016) gehen von einer zukünftigen Hub-to-Hub-Belieferung durch automatisierte Lkw aus. In diesem Zusammenhang eignen sich Autobahnstrecken zwischen Hubs als Einsatzgebiet für automatisierte Lkw, da der Transport hier standardisiert ist (Gräter et al., 2022; Köllner, 2019; Nowak et al., 2018). Nach Ritz (2018) ist auch ein Netzwerk von automatisierten Hubs möglich, da automatische Be- und Entladesysteme die Ankunft der automatisierten Lkw unabhängig vom Personal vor Ort machen. Die Lieferungen von den Hubs in städtische Gebiete können dann im Rahmen der letzten Meile mit leichten manuellen Nutzfahrzeugen erfolgen (Nowak et al., 2016; Schiller et al., 2017). Faktoren wie die Verknappung des Verkehrsraums werden zu einer zunehmenden Herausforderung für Logistikprozesse, insbesondere in der Nähe von Ballungsräumen (Goudz et al., 2021; Müller-Seitz et al., 2016). Eine unzureichende Verfügbarkeit von Finanzmitteln könnte zu einer schlechten Verkehrsinfrastruktur führen, da sich die

staatlichen Investitionen im Zuge der Urbanisierung auf städtische Gebiete konzentrieren werden (Schuckmann et al., 2012).

6.1.6 Gesellschaft und Risiken

Entwicklungen in der Gesellschaft beeinflussen die Logistikbranche: Der demografische Wandel führt vielerorts zu einem Arbeitskräftemangel auf allen Qualifikationsebenen, vor allem Lkw-Fahrer:innen sind davon nicht ausgenommen (Kersten et al., 2017; Schönberg et al., 2020; Witten & Schmidt, 2019). Durch den Einsatz von Automatisierung oder Platooning, bei dem mehrere Lkw in einem konvoiähnlichen Verbund fahren und durch vernetzte Systeme gesteuert werden, können Fahrzeugführende zeitweise neue Aufgaben übernehmen (BMVI, 2021; Nowak et al., 2016; Schweitzer, 2016), was neue Möglichkeiten für die Anrechnung der tatsächlichen Fahrtzeit eröffnen könnte. Eine Aufteilung in einen aktiven und passiven Teil der Fahrt würde zu einer Effizienzsteigerung für Logistikunternehmen führen (Schweitzer, 2016).

Darüber hinaus stellt die steigende Kriminalität ein großes Risiko für die Logistikbranche dar (Kersten et al., 2017; Kollatz & Wicke, 2020). Neben Ladungsdiebstählen treten vor allem Cyberangriffe auf die IT-Infrastruktur immer häufiger auf (Kollatz & Wicke, 2020). Cybersicherheit wird damit zu einem wichtigen Bestandteil des Leistungsportfolios von Logistikunternehmen (Cheung et al., 2021; Wiehmeier, 2017). Des Weiteren werden extreme Wetterereignisse als zunehmender Störfaktor für eng getaktete Lieferketten angeführt (Kollatz & Wicke, 2020). Handelskonflikte, steigende Zölle, Sanktionen und politische Instabilität können ebenfalls die etablierten Lieferketten weltweit stören und müssen im Kontext der Logistik berücksichtigt werden (Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung [BGL], 2021; Kersten et al., 2017; Kollatz & Wicke, 2020).

6.1.7 Zusammenfassung

Die Trends in der Logistik zeigen, dass der Hub-to-Hub-Verkehr ein geeignetes Einsatzgebiet für automatisierte Lkw sein wird. Wichtige Treiber wie Digitalisierung und Nachhaltigkeit zeigen eine klare Entwicklungsrichtung für die Logistikbranche auf, während andere Faktoren, wie z. B. die zukünftige Rolle des KV, auf Basis der Literatur fraglich bleiben. Da automatisierte Lkw in die zukünftigen Logistikprozesse integriert werden müssen, ist zu klären, welche der Trends sich durchsetzen werden, welchen Entwicklungsstand sie bis 2030 erreichen und ob diese Trends einen Einfluss auf das direkte Logistikumfeld der automatisierten Lkw haben werden.

6.2 Methode

Da Zukunftsstudien in der Regel keine ausreichenden quantitativen Daten zur Verfügung stehen, müssen Expert:innen konsultiert werden, um fundierte Aussagen treffen zu können. Die bewährte Delphi-Methode kann hierbei eingesetzt werden, um Wissen von Expert:innen auf strukturierte Weise zu sammeln (Czinkota & Ronkainen, 2005; Gracht & Darkow, 2016), mit dem Ziel innerhalb einer Expert:innengruppe einen zuverlässigen Konsens über zukünftige Entwicklungen zu erreichen (Gracht & Darkow, 2016; Helmer, 1983; Steinmüller, 2008). Gleichzeitig eignet sich die Szenariomethode besonders für die Abschätzung zukünftiger Entwicklungen und wird vor allem für unsichere, sich schnell verändernde Bereiche eingesetzt (Steinmüller, 2008; Varum & Melo, 2010). Da die Szenariotechnik in Kombination mit der Delphi-Methode zu einer

besseren Qualität der Szenarien führen kann (Fritschy & Spinler, 2019; Nowack et al., 2011), wurde eine Delphi-basierte Szenariostudie für das Jahr 2030 nach einem standardmäßigen Verfahren (Gracht & Darkow, 2010; Abbildung 6.1) gewählt.

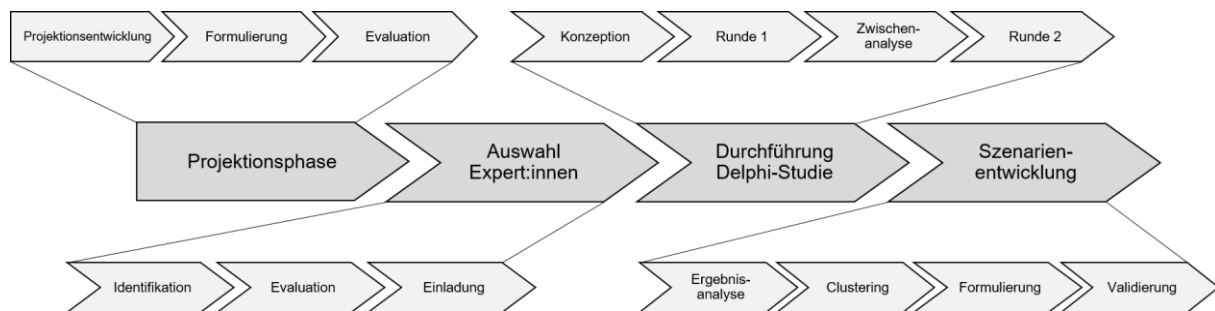


Abbildung 6.1: Vorgehen der Delphi-Studie nach Gracht und Darkow (2010) und Fritschy und Spinler (2019)

6.2.1 Projektionen

Die Projektionsphase umfasst folgende drei Prozesse: Entwicklung, Formulierung und Bewertung der Projektionen. Für die Entwicklung der Projektionen wurden im Rahmen einer breiten Literaturrecherche die aktuellen Trends, Treiber und Entwicklungen in der Logistikbranche, der Digitalisierung und der Gesellschaft identifiziert, welche in komprimierter Form in Kapitel 6.1. vorgestellt wurden. Auf Basis der identifizierten Trends wurden zunächst 45 Zukunftsthemen entwickelt. Zusätzlich folgten fünf explorative Workshops mit Expert:innen aus Logistik und Nutzfahrzeugindustrie, um die identifizierten Trendbereiche und Zukunftsthemen mittels eines freien Brainstormings und einer Priorisierung der Trends zu konkretisieren. Durch diesen zweiseitigen Ansatz über Literatur und Expert:innenwissen wurde sichergestellt, dass alle relevanten Trendbereiche für die spezifische Forschungsfrage betrachtet wurden (Gracht & Darkow, 2016). Durch die Priorisierung konnten die anfänglichen 45 Zukunftsthemen auf 19 Projektionen reduziert werden. In einem weiteren Schritt wurden diese Projektionen anhand der empfohlenen Richtlinien konkret und präzise formuliert (Fritschy & Spinler, 2019; Gracht & Darkow, 2016; Markmann et al., 2021; Rowe & Wright, 2001; Schmalz et al., 2021) und von drei Expert:innen der Bereiche Psychologie, Zukunftsforschung Nutzfahrzeuge und Logistikforschung auf Konsistenz, Mehrdeutigkeit und Inhaltsvalidität geprüft. Die finalen Projektionen, die Zuordnung zu Themengruppen, sowie die ihnen zugrundeliegenden Quellen sind in Tabelle 6.1 dargestellt.

Tabelle 6.1: Formulierte Projektionen mit zugehörigen Quellen aus Literatur und Expert:innenworkshops

Nr.	Projektionen für 2030	Quellen
Gesellschaft, Umwelt und Güterverkehr		
1	Im Jahr 2030 werden durch den Einsatz automatisierter Lkw die Aufgaben im Logistikprozess teilweise neu verteilt. Der Mangel an qualifiziertem Personal stellt weiterhin ein ungelöstes Problem dar.	BMVI, 2019; Kersten et al., 2017; Nowack et al., 2016; Putz & Wiese, 2018; Schönberg et al., 2020; Witten & Schmidt, 2019; Workshop
2	Im Jahr 2030 wird die Fahrt im automatisierten Lkw in aktive manuelle und passive automatisierte Lenkzeit unterschieden. Die passive automatisierte Fahrt wird anders an die vorgeschriebene Lenkzeit angerechnet.	Schweitzer, 2016; Workshop
3	Im Jahr 2030 gewinnt die soziale und ökologische Nachhaltigkeit durch beispielsweise verbesserte Arbeitsbedingungen und Klimaneutralität zunehmend an Bedeutung für Logistikakteure.	Deutsche Post DHL, 2017; 2019; Gomoll, 2021; Kersten et al., 2017; Putz & Wiese, 2018; Ruess & Litauer, 2021; Witten & Schmidt, 2019; Zanker, 2018; Workshop
4	Im Jahr 2030 wird der kombinierte Verkehr aus Landtransport und anderen Verkehrsträgern wie Schiene oder Wasser durch Faktoren wie eine mangelnde Infrastruktur zur Umladung der Güter noch gebremst. Der Güterverkehr konzentriert sich weiterhin auf die Straße.	BMVI, 2017; Goudz et al., 2021; Kovacs & Kot, 2016; NB Guides, 2021; Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr [SGKV], 2017; Zanker, 2018; Workshop

Nr.	Projektionen für 2030	Quellen
Infrastruktur und alternative Antriebe		
5	Im Jahr 2030 übernehmen automatisierte Lkw hauptsächlich den Transport zwischen Logistikzentren, die durch große Verkehrsstraßen oder Autobahnen miteinander verbunden sind.	Köllner, 2019; Nowak et al., 2016; Nowak et al., 2018; Ritz, 2018; Schiller et al., 2017; Workshop
6	Im Jahr 2030 ist der Zustand der Verkehrsinfrastruktur zwischen Logistikzentren größtenteils unverändert zum heutigen Zustand.	Schuckmann et al., 2012; Workshop
7	Im Jahr 2030 können elektrische Antriebssysteme basierend auf der Batterie- und Brennstoffzellentechnologie im Langstreckentransport eingesetzt werden.	BMVI, 2019; Fuchslocher, 2020; Gomoll, 2021; Krause et al., 2020; Pertschy, 2021; Witten & Schmidt, 2019; Workshop
8	Im Jahr 2030 ermöglicht eine angemessene Ladeinfrastruktur mit ausreichend zur Verfügung gestellten Ladestationen den Ausbau des elektrifizierten Transports zwischen Logistikzentren.	BMVI, 2019; Workshop
Digitalisierung in der Logistik		
9	Im Jahr 2030 ist ein Großteil der Logistikkette digitalisiert. Dadurch ist eine verkehrsträger- und unternehmensübergreifende Vernetzung aller Akteure der Lieferkette (Auftraggeber, Dienstleister, Lieferant, etc.) möglich.	BMVI, 2019; Kersten et al., 2017; Kovacs & Kot, 2016; Schönberg et al., 2020; Sucky & Asdecker, 2019; Wurst, 2020; Workshop
10	Im Jahr 2030 erfolgt automatisiert eine Erfassung von Transport- und Umfeld-Daten sowie eine Übermittlung dieser Daten in Echtzeit entlang der gesamten Lieferkette. Dies ermöglicht eine lückenlose Verfolgung von Gütern (Tracking).	BMVI, 2019; Witten & Schmidt, 2019; Wurst, 2020; Zanker, 2018; Workshop
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.	Mihatsch et al., 2018; Workshop
12	Im Jahr 2030 erfolgt der Anlieferungs- und Ausfuhrprozess in Logistikzentren automatisiert. Dies beinhaltet das automatisierte Be- und Entladen von Lkw sowie die automatisierte Identifizierung und Zuordnung von Gütern.	Nowak et al., 2016; Ritz, 2018; Workshop
13	Im Jahr 2030 sind Frachtbriefe und Zolldokumente umfassend digitalisiert und müssen nicht mehr in Papierform mitgeführt werden.	BMVI, 2019; BGL, 2021; Goudz et al., 2021; Hinckeldeyn & Kreutzfeldt, 2019; NB Guides, 2021; Workshop
Geschäftsmodelle und Wettbewerb		
14	Im Jahr 2030 sind digitale Player wie Amazon oder Google wachsende Konkurrenten in der Logistik, indem sie ebenfalls Transport- und Logistikdienstleistungen anbieten und gegebenenfalls eigene Lkw-Flotten vorantreiben.	BMVI, 2019; Nowak et al., 2016; Schönberg et al., 2020; Schwemmer et al., 2020; Seiter et al., 2019; Workshop
15	Im Jahr 2030 wird der Gütertransport zwischen Logistikzentren durch wenige Logistikdienstleister mit sehr großen Lkw-Flotten durchgeführt und nicht durch eine große Anzahl kleiner Logistikdienstleister mit sehr kleinen Flotten.	Schiller et al., 2017; Sucky & Asdecker, 2019; Wurst, 2020; Workshop
16	Im Jahr 2030 bieten OEMs zunehmend auch Transportdienstleistungen an. Die OEMs besitzen somit eigene Flotten automatisierter Lkw und bieten Transport als Service an.	Konrad & Wangler, 2018; Lange et al., 2019; PwC Strategy&, 2021; Workshop
17	Im Jahr 2030 haben sich OEMs zu Hard- und Softwaredienstleistern weiterentwickelt. Sie bieten zusätzlich zum automatisierten Lkw auch weitere Telematiksysteme mithilfe eigener Plattformen und Schnittstellen an.	Lange et al., 2019; Schiller et al., 2017; Workshop
18	Im Jahr 2030 spielen digitale Speditionen eine bedeutende Rolle in der Logistik. Sie übernehmen die Vermittlung von Transportdienstleistungen und bieten weitere Dienste in der Planung und Steuerung von Logistikprozessen an.	PwC Strategy&, 2021; Schönberg et al., 2020; Schwemmer et al., 2020; Seiter et al., 2019; Sucky & Asdecker, 2019; Wurst, 2020; Workshop
19	Im Jahr 2030 etabliert sich die geteilte Nutzung (Sharing) von Lkw-Flotten und Lagerflächen zunehmend, um Leerfahrten und freie Lagerflächen weitestgehend zu vermeiden.	Deutsche Post DHL, 2017; Schiller et al., 2017; Schwemmer et al., 2020; Vaske, 2017; Workshop

6.2.2 Auswahl der Expert:innen

Für die Validität und Reliabilität einer Delphi-Studie ist die korrekte Auswahl der Expert:innen von großer Bedeutung (Gracht et al., 2008; Landeta, 2006; Spickermann et al., 2014). Entscheidend sind Heterogenität, ein angemessener Wissensstand und die Gruppengröße (Rowe & Wright, 2001). Für diese Studie wurden folgende relevanten Stakeholdergruppen identifiziert (Schuckmann et al., 2012): Wissenschaftliche Forschung, Logistikakteure, Politik und Verbände, Beratungsunternehmen im Bereich Logistik und Verkehr, Automobilindustrie mit Vertreter:innen von Nutzfahrzeugherstellern und Zulieferern sowie digitale Logistikdienstleistungen. Die Qualifikation der Expert:innen wurden anhand ihrer Zugehörigkeit zur jeweiligen Branche, ihrer Position, ihrer Berufserfahrung in Jahren und ihrer Selbsteinschätzung der eigenen Expertise erfasst (Fritschy & Spinler, 2019; Kluge et al., 2020). Insgesamt wurden 63 Expert:innen für diese Studie berücksichtigt und zur Teilnahme eingeladen. 30 davon erklärten sich zur Teilnahme bereit und füllten den Fragebogen der ersten Runde der Delphi-Studie aus. An der zweiten Runde nahmen 27 der ursprünglich 30 Expert:innen teil. Die Einschätzungen der drei ausgeschiedenen Expert:innen flossen somit in die zweite Delphi-Runde ein, die Szenarienentwicklung basiert jedoch ausschließlich auf den verbleibenden 27 Expert:innen (siehe Kapitel 6.2.3). Die empfohlene Panelgröße von 20 - 30 Expert:innen (Parente & Anderson-Parente, 2011) wurde somit erreicht.

Eigenschaften des Expert:innen-Panels sind in Abbildung 6.2 dargestellt. Die Hälfte des Expert:innenpanels hat mehr als 15 Jahre Berufserfahrung in ihrer Branche ($M = 15.41$, $SD = 9.68$). Im Durchschnitt verfügt jeder der Expert:innen über drei bis vier Kompetenzbereiche unter den genannten Themenprofilen ($M = 3.56$, $SD = 1.87$). Damit wurde eine angemessene Heterogenität über die beteiligten Akteursgruppen und Wissensbereiche hinweg sichergestellt. Darüber hinaus wird die durchschnittliche Gesamtkompetenz als eher hoch eingeschätzt (Likert-Skala 1-5; $M = 3.96$, $SD = 0.80$). Keiner der Expert:innen bewertete die eigene Expertise als gering (schlechter als 3), so dass niemand aufgrund mangelnder Expertise von der Ergebnisanalyse ausgeschlossen werden musste.

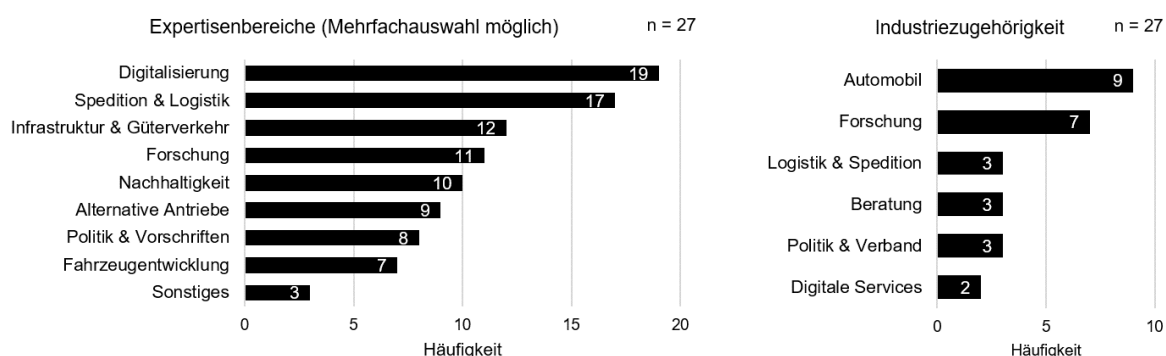


Abbildung 6.2: Eigenschaften der ausgewählten Expert:innen

6.2.3 Durchführung der Studie

Die Delphi-Studie erfolgte als Online-Befragung in einem zweistufigen Verfahren (Fritschy & Spinler, 2019; Kluge et al., 2020; Melander et al., 2019). Der Fragebogen der ersten Runde enthielt u.a. eine einleitende Erläuterung des Forschungsziels, Definitionen wichtiger Konstrukte, Anweisungen sowie die 19 zu bewertenden Projektionen. Die Expert:innen bewerteten die Projektionen auf einer fünfstufigen Likert-Skala hinsichtlich der nachfolgenden Kriterien:

- Eintrittswahrscheinlichkeit (W) bis 2030 (*unwahrscheinlich* bis *wahrscheinlich*), inkl. schriftlicher Begründung
- Auswirkung (A) auf das logistische Umfeld von automatisierten Lkw, wenn die Projektion so eintreten würde (*schwach* bis *stark*)
- Erwünschtheit (E) der formulierten Projektion (*unerwünscht* bis *wünschenswert*).

Die qualitativen und quantitativen Ergebnisse der ersten Runde wurden ausgewertet und als Feedback für die zweite Delphi-Runde aufbereitet. Die aggregierten Ergebnisse wurden in Form von Histogrammen dargestellt und der Median zusätzlich markiert. Für die Analyse der Begründungen wurde die Kodierungsmethode von Corbin und Strauss (Corbin & Strauss, 1990) angewendet und die Kommentare in Kategorien für eine hohe oder niedrige Wahrscheinlichkeitseinstufung eingeteilt. Die Argumente für eine neutrale Bewertung wurden je nach Auffälligkeit und Tendenz dem hohen oder niedrigen Niveau zugeordnet. Innerhalb dieser Gruppen wurden die Kommentare kategorisiert, um Kernfaktoren und wichtige Argumente zu identifizieren (Gracht & Darkow, 2016).

Der Fragebogen für die zweite Runde umfasste das aggregierte Feedback sowie auch die individuellen Antworten der Expert:innen aus Runde eins. Zusätzlich wurden beispielhafte Argumente der anderen Expert:innen für eine hohe oder niedrige Wahrscheinlichkeitseinschätzung pro Projektion vorgestellt. Im Anschluss bewerteten die Expert:innen die 19 Projektionen erneut hinsichtlich ihrer Wahrscheinlichkeit und Auswirkung (Fritschy & Spinler, 2019). Die Erwünschtheit wurde hierbei nicht erneut erfasst, da diesbezüglich keine Änderungen zu Runde eins zu erwarten sind (Gracht & Darkow, 2010).

6.2.4 Szenarienentwicklung

Für die Clusterbildung wurden entsprechend des gängigen Vorgehens die durchschnittliche erwartete Eintrittswahrscheinlichkeit und die durchschnittliche Auswirkung nach Runde zwei für alle 19 Projektionen aufgetragen (Gracht & Darkow, 2016) und das hierarchische Complete-Linkage-Verfahren mit dem Proximitätsmaß der euklidischen Distanz angewandt (Stein & Vollnhals, 2011). Mit Hilfe der gebildeten Cluster und den zuvor kategorisierten Kommentaren der Expert:innen können plausible Szenarien und Schlussfolgerungen formuliert werden (Gracht & Darkow, 2016). Szenarien umfassen eine qualitative, verbale Darstellung einer zukünftigen Situation einschließlich Umwelt und Risiken und sollten konkret und nachvollziehbar sein (Steinmüller, 2008). Die formulierten Szenarien wurden von zwei unabhängigen Expert:innen hinsichtlich der Qualitätskriterien Konsistenz, Plausibilität und Relevanz validiert (Amer et al., 2013; Chermack et al., 2001; Wilson, 1978). Für eine übersichtliche Darstellung der Szenarien, wurden diese einzeln benannt (Schmalz et al., 2021).

6.3 Ergebnisse

Im Folgenden werden die wichtigsten Ergebnisse der Studie zusammengefasst. Für eine ausführliche Ergebnisdarstellung wird auf die zugehörige Veröffentlichung Escherle, Darlagiannis und Sprung (2023) verwiesen.

6.3.1 Quantitative Analyse

Die deskriptive Statistik der Ergebnisse ist in Tabelle 6.2 dargestellt. Für die Konsens-Messung wurde das Inter-Quartil-Ratio (IQR) verwendet (Gracht, 2012). Dabei gilt ein $IQR \leq 1$ als geeigneter Konsensindikator bei 5-stufigen Skalen (Raskin, 1994). Die Ergebnisse des IQR zeigen, dass nach der zweiten Runde 17 der 19 Projektionen einen Konsens (89 %) unter den Expert:innen erreichten. Projektion 8 und 12 unterscheiden sich innerhalb der Expert:innenmeinungen ($IQR = 1.50$).

Die Eintretenswahrscheinlichkeit für die Themen Nachhaltigkeit (Projektion 3), Echtzeit-Tracking (Projektion 10) und die automatisierte Koordination von Lkw an den Hubs (Projektion 11) wird für 2030 am höchsten eingeschätzt. Die Relevanz digitaler Akteure auf dem Markt (Projektion 14) und die Nutzung des digitalen Frachtbriefs (Projektion 13) werden als eher wahrscheinlich und Projektion 16 (transport as a service) als am wenigsten wahrscheinlich eingestuft.

Die Auswirkung auf das direkte Logistikumfeld automatisierter Lkw wird beim Thema Nachhaltigkeit (Projektion 3) und bei der Echtzeitverfolgung in der Lieferkette (Projektion 10) am stärksten eingeschätzt. Bei Betrachtung der vier Themengruppen wird deutlich, dass die Projektionen zu den Fortschritten der Digitalisierung (DIL, Projektionen 9 bis 13) sowie zu den Entwicklungen in Gesellschaft, Umwelt und Güterverkehr (GUG, Projektionen 1 bis 4) die von den Expert:innen am meisten erwarteten und gewünschten sind. Deren Auswirkungen auf das logistische Umfeld von automatisierten Lkw werden auch insgesamt am stärksten eingeschätzt. Die Projektionen des Themenfeldes Geschäftsmodelle und Wettbewerb (GMW, Projektionen 14 bis 19) werden dagegen am wenigsten gewünscht.

Tabelle 6.2: Übersicht der quantitativen Ergebnisse

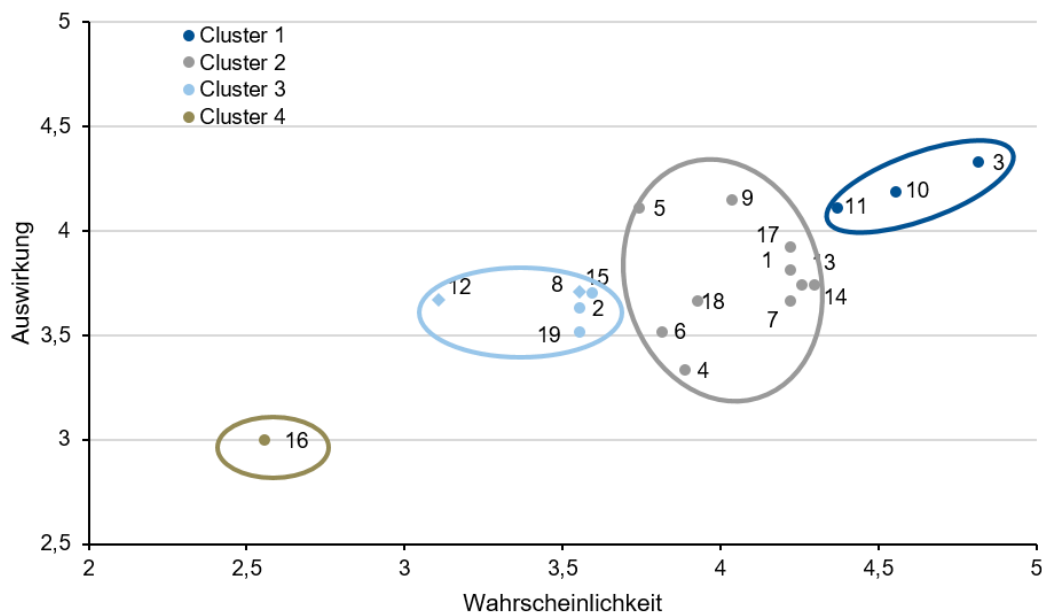
Nr.	Projektion	W				W				SD change	A ^a	E ^b
		Runde 1 (n = 30)				Runde 2 (n = 27)						
		IQR	Mdn	M	SD	IQR	Mdn	M	SD			
GUG												
1	Personalmangel	1.00	4.0	4.20	0.65	0.00	4.0	4.22	0.42	-36.35%	3.81	3.52
2	Lenkzeiteinteilung	1.75	4.0	3.43	1.26	1.00	4.0	3.56	0.92	-27.08%	3.63	4.11
3	Nachhaltigkeit	1.00	5.0	4.57	0.72	0.00	5.0	4.81	0.39	-45.72%	4.33	3.59
4	Gebremster KV	0.00	4.0	3.87	0.92	0.00	4.0	3.89	0.83	-9.75%	3.33	3.59
IAA												
5	Hub-to-Hub	0.75	4.0	3.97	0.95	0.00	4.0	3.74	0.97	1.87%	4.11	4.19
6	Infrastrukturzu- stand	1.00	4.0	3.57	1.05	0.00	4.0	3.81	0.82	-22.42%	3.52	2.93
7	Alternative Antriebe	1.00	4.0	4.23	0.80	1.00	4.0	4.22	0.74	-8.27%	3.67	3.74
8	Ladeinfrastruktur	2.00	4.0	3.47	1.23	1.50	4.0	3.56	1.13	-7.96%	3.70	3.89
DIL												
9	Digit. Logistikkette	1.00	4.0	4.23	0.84	1.00	4.0	4.04	0.88	4.41%	4.15	4.78
10	Echtzeittracking	1.00	4.5	4.37	0.75	1.00	5.0	4.56	0.68	-8.92%	4.19	4.74
11	Hofkoordination	1.00	5.0	4.30	0.97	1.00	5.0	4.37	0.87	-10.73%	4.11	4.70
12	Be- und Entladen	2.00	3.0	3.23	1.23	1.50	3.0	3.11	0.87	-28.85%	3.67	4.37
13	eCMR	1.00	4.0	4.20	0.87	1.00	4.0	4.26	0.70	-19.84%	3.74	4.70

Nr.	Projektion	W				W				SD change	A ^a	E ^b
		Runde 1 (n = 30)				Runde 2 (n = 27)						
		IQR	Mdn	M	SD	IQR	Mdn	M	SD			
GMW												
14	Digitale Player	1.00	4.5	4.20	1.01	1.00	5.0	4.30	1.05	3.39%	3.74	2.81
15	Konsolidierung	1.00	4.0	3.53	0.99	1.00	4.0	3.59	0.87	-12.04%	3.70	3.15
16	TaaS	2.00	3.0	2.87	1.31	1.00	3.0	2.56	1.03	-21.33%	3.00	2.89
17	SaaS	1.00	4.0	4.17	0.93	1.00	4.0	4.22	0.87	-6.32%	3.93	4.15
18	Digitale Speditio- nen	1.00	4.0	4.03	0.95	0.00	4.0	3.93	0.90	-5.11%	3.67	3.78
19	Sharing Konzepte	1.00	4.0	3.50	1.02	1.00	4.0	3.56	0.92	-10.58%	3.52	3.85

Anmerkungen. IQR = Interquartilsabstand. Mdn = Median. M = Mittelwert. SD = Standardabweichung. W = Eintrittswahrscheinlichkeit. A = Auswirkung. E = Erwünschtheit (Messung der Kriterien auf einer 5-Punkt-Likert-Skala). GUG = Gesellschaft, Umwelt & Güterverkehr. IAA = Infrastruktur & alternative Antriebe. DIL = Digitalisierung in der Logistik. GMW = Geschäftsmodelle & Wettbewerb. Kursive IQR-Werte geben an, dass *kein* Konsens erreicht wurde. ^a Mittelwert aus Runde 2. ^b Mittelwert aus Runde 1.

6.3.2 Clustering

Wie bereits erwähnt, wurden die Projektionen im Sinne des gängigen Vorgehens (Gracht & Darkow, 2010) anhand der bewerteten Dimensionen Wahrscheinlichkeit und Auswirkung mithilfe des Complete-Linkage-Verfahrens geclustert. Auf Basis der empfohlenen Clusteranzahl $c \leq \sqrt{n}$ (Bezdek et al., 1999; Hirschinger, 2016) wurden insgesamt vier Cluster identifiziert. Diese sind mit den zugehörigen Projektionen in Abbildung 6.3 dargestellt.



Anmerkung. Die Zahlen entsprechen der jeweiligen Projektion; Punkt = Konsens erreicht; Quadrat = kein Konsens erreicht.

Abbildung 6.3: Streudiagramm und die vier gebildeten Cluster der Zukunftsprojektionen

6.3.3 Qualitative Analyse

Die Expert:innen begründeten die Wahrscheinlichkeitseinschätzungen mit insgesamt 530 von 570 möglichen Kommentaren. Diese Kommentare wurden zur Beschreibung der vier Szenarien verwendet. Neben den Kommentaren der Expert:innen stützt sich die qualitative Beschreibung der Szenarien auch auf Belege aus der Literatur. Die entwickelten Szenarien der vier Cluster werden im Folgenden kurz zusammengefasst.

Cluster 1: Nachhaltige Logistik mit weit verbreiteter digitaler, automatisierter Verfolgung und Koordination

Cluster 1 beschreibt eine zunehmend nachhaltige und digitalisierte Logistik und lässt sich wie folgt zusammenfassen: Bis zum Jahr 2030 wird Nachhaltigkeit zunehmend zu einem Differenzierungsmerkmal für Logistikdienstleister. Unternehmen, die nicht nachhaltig agieren, verschwinden vom Markt. In diesem Szenario gibt es erhebliche Fortschritte bei der Digitalisierung, wie die weit verbreitete Echtzeitverfolgung von Lkw und Waren sowie die automatisierte und digitale Koordination von Lkw auf dem Gelände von Drehscheiben. Bis 2030 ist die Echtzeitverfolgung jedoch noch nicht nahtlos umgesetzt und teilweise auf Akteure mit einem hohen Standardisierungsgrad beschränkt.

Cluster 2: Fortschritte bei Elektrifizierung und Digitalisierung deutlicher als bei Automatisierung und Infrastruktur; Schlüsselakteure in der Logistik angefochten

Im Szenario zu Cluster 2 werden bis 2030 zunächst kleine Flotten von automatisierten Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr eingesetzt. Unter anderem aufgrund der im Vergleich zu heute weitgehend unveränderten Infrastruktur ist der Anteil der automatisierten Lkw bis 2030 noch gering. Infolgedessen besteht weiterhin ein hoher Bedarf an Fahrer:innen und ein Mangel an qualifiziertem Personal. Neben der Automatisierung ist auch die Elektrifizierung der Lkw vorangeschritten, etwa 30 % der Lkw fahren mit Elektroantrieb. Kleinere Veränderungen in der Infrastruktur haben sich auf die Bereitstellung der erforderlichen Ladeinfrastruktur konzentriert. Durch die Steigerung der Nachhaltigkeit mittels Elektrifizierung konzentriert sich der Gütertransport auch im Jahr 2030 auf die Straße. Ein weiterer Bereich mit großen Fortschritten in diesem Szenario ist die Digitalisierung: Fracht- und Zolldokumente sind digitalisiert und in Europa weitgehend etabliert, große Teile der Lieferkette sind bis 2030 digital vernetzt. Der Markt für Telematiksysteme ist jedoch nach wie vor fragmentiert und bedarf der Standardisierung. Aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung sind digitale Akteure wie Amazon zu wachsenden Konkurrenten in der Logistik geworden, und digitale Spediteure gewinnen weiter an Bedeutung.

Cluster 3: Ungenutzte Potenziale bei elektrischer Aufladung, effizientem Einsatz von Lkw und automatisierter (Ent-)Ladung

Zusammenfassend beschreibt das Szenario zu Cluster 3 folgende Situation: Trotz der Tatsache, dass Nachhaltigkeit im Jahr 2030 eine wichtige Rolle spielt (Cluster 1), ist das Ladenetz für Elektro-Lkw noch nicht weit verbreitet. Ladestationen finden sich zunächst auf Strecken zwischen großen Logistikzentren oder privat auf Betriebshöfen. Auch das nachhaltige Konzept des Sharings (Lade- und Lagerflächen) durch große Logistikunternehmen ist bis 2030 noch unrealistisch. Ungenutzte Potenziale wie diese zeigen sich in diesem Szenario auch in anderen Bereichen: Die Anpassung der Lenkzeitenregelung an die Erfordernisse des automatisierten Fahrens ist zwar in Arbeit, jedoch bis 2030 noch nicht abgeschlossen. Gleiches gilt für die automatisierte (Ent-)Ladung von Lkw und die automatisierte Identifikation von Waren, die 2030 noch

nicht weit verbreitet ist. Im Allgemeinen ist der Anteil der automatisierten und nachhaltigen Lkw im Jahr 2030 gering, da sie aufgrund der erforderlichen hohen Investitionen hauptsächlich zu großen Unternehmen gehören.

Cluster 4: Noch keine neuen Geschäftsmodelle für automatisierte Lkw

Cluster 4 besteht aus nur einer Projektion (Projektion 16) und befasst sich mit neuen Geschäftsmodellen für OEMs in Bezug auf automatisierte Lkw. Das Expert:innenpanel ist sich einig, dass ein flächendeckendes Angebot von Transportdienstleistungen durch OEMs bis 2030 als mittelmäßig oder eher unwahrscheinlich einzustufen ist. Dieses Szenario beschreibt eine geringe Anzahl von Pilotprojekten, aber keine etablierten neuen Geschäftsmodelle im Jahr 2030.

6.4 Diskussion

Die Ergebnisse dieser Studie weisen auf einige ungenutzte Potenziale im Umfeld des automatisierten Lkw hin. Insbesondere im Bereich der Digitalisierung gibt es viele Optimierungsmöglichkeiten: Die gewünschte digitale Vernetzung aller Akteure entlang der Lieferkette wird bis 2030 noch nicht abgeschlossen sein (Cluster 1) und die erforderliche Infrastruktur für die digitale Koordination von (automatisierten) Lkw wird einigen, jedoch noch nicht allen Hubs zur Verfügung stehen (Cluster 1). Aufgrund fehlender Standardisierung wird die Integration der zahlreichen auf dem Markt befindlichen Telematiksysteme erschwert (Cluster 2) und die Vernetzung entlang der Lieferkette behindert. Die fehlende Standardisierung spielt auch bei der internationalen Einführung digitaler Frachtdokumente eine Rolle, wodurch die Vorteile dieses Fortschritts auf bestimmte Regionen und Gebiete in Europa beschränkt bleiben. Die Standardisierung von Prozessen und Ladungsverpackungen spielt auch eine Rolle bei der Umsetzung der automatisierten Be- und Entladung von Lkw (Cluster 3), die große Vorteile verspricht, aber nicht bis 2030 zu erwarten ist. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Standardisierung eines der Schlüsselemente für den Fortschritt im Logistikumfeld automatisierter Lkw ist. Daher sollte das Streben nach Standardisierung bei der weiteren Entwicklung der einzelnen Bereiche priorisiert und fokussiert werden.

Trotz der Tatsache, dass die ökologische Nachhaltigkeit ein sehr wichtiger Faktor sein wird (Cluster 1), zeigen die Ergebnisse, dass es 2030 noch Raum für Verbesserungen geben wird. Beispielsweise wird keine Steigerung in der gemeinsamen Nutzung von Lade- und Lagerraum (Cluster 3) erwartet. Auch die Elektrifizierung des Lkw-Verkehrs birgt große Vorteile in Bezug auf die ökologische Nachhaltigkeit, wird aber 2030 noch begrenzt sein (Cluster 2). Die Ergebnisse deuten darauf hin, dass infrastrukturelle Veränderungen für bessere Lademöglichkeiten einen stärker elektrifizierten Gütertransport ermöglichen könnten. Es wird daher empfohlen, diese Entwicklung weiter voranzutreiben.

Darüber hinaus deuten die Szenarien darauf hin, dass weitere infrastrukturelle Veränderungen, wie zusätzliche Fahrspuren für automatisierte Lkw oder die Kommunikation zwischen Infrastruktur und Fahrzeug, die Marktdurchdringung von automatisierten Lkw beschleunigen (Cluster 2) und den anfänglich geringen Anteil automatisierter Lkw erhöhen könnten. Daher sollte die Rolle von infrastrukturellen Veränderungen weiter erforscht und berücksichtigt werden, anstatt die Ermöglichung des automatisierten Fahrens ausschließlich den Fahrzeugfunktionen zuzuschreiben.

Dies gilt auch für die Infrastruktur von Logistikzentren. Es ist zu klären, ob es definierte Voraussetzungen für den Einsatz von automatisierten Lkw geben wird, die von der Hub-Infrastruktur erfüllt werden müssen, um automatisierten Transport auf dem Hub-Gelände zu ermöglichen.

Aufgrund des anfänglich geringen Anteils an automatisierten Lkw werden viele Transporte noch auf konventionelle Weise erfolgen (Cluster 2). Das bedeutet, dass es gemischte Transporte mit automatisierten und manuell gesteuerten Lkw zwischen Logistikzentren geben wird, was unter anderem bei der Gestaltung der In-Hub-Prozesse berücksichtigt werden muss. Außerdem werden automatisierte Lkw die Logistikprozesse verändern und neue Aufgaben und Qualifikationsanforderungen mit sich bringen. Gleichzeitig wird es auch zukünftig noch Aufgaben geben, die manuell durchgeführt werden müssen, wie beispielsweise das Be- und Entladen der Lkw oder das An- und Abkoppeln der Anhänger (Cluster 3). Angesichts des zu erwartenden Fachkräftemangels (Cluster 2) und des Strebens nach sozialer Nachhaltigkeit (Cluster 1) sollten sich die Hub-Betreibenden auch darauf konzentrieren, dass die künftigen Arbeitsplätze und Arbeitsbedingungen im Zusammenhang mit automatisierten Lkw attraktiv und ergonomisch gestaltet sind.

6.4.1 Limitationen

Die Ergebnisse der vorliegenden Studie weisen Einschränkungen auf, die im Folgenden diskutiert werden. Zunächst ist die Zusammensetzung des Expert:innenpanels zu nennen. Mit 27 Teilnehmenden wurde die empfohlene Panelgröße erreicht (Parente & Anderson-Parente, 2011) und durch die im Rahmen der Recherche und der Expert:innenworkshops identifizierten Stakeholdergruppen unterschiedliche Sichtweisen auf die Forschungsfrage integriert. Dass 59 % der Befragten aus dem Bereich der akademischen Forschung und der Automobilbranche stammen, könnte zu einer Verzerrung der Ergebnisse geführt haben. Des Weiteren sind einige der Stakeholdergruppen eher klein, wie beispielsweise die Gruppe der Digital Services mit zwei Vertretenden, und könnten dadurch unterrepräsentiert sein. Es ist jedoch zu betonen, dass alle identifizierten relevanten Fachgebiete von der Expert:innengruppe mehrfach abgedeckt wurden, so dass eine angemessene Heterogenität gewährleistet werden konnte.

Des Weiteren enthielt der zweite Fragebogen eine begrenzte Anzahl der kategorisierten und häufigsten Argumente für und gegen das Eintreten einer Projektion, wie es in Delphi-Studien üblich ist (z. B. Fritschy & Spinler, 2019). Diese Auswahl an Kommentaren ist eine bekannte Einschränkung der Delphi-Methode (Steinmüller, 2019), die Expert:innen beeinflusst. Dies sollte bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden. Zusätzlich ist anzumerken, dass einige der formulierten Projektionen einen größeren Umfang haben als andere und teilweise mehrere Aussagen kombinieren (z.B. Projektion 3, 11 oder 15). Die Formulierung der Projektionen kann einen Einfluss auf das Ergebnis der Delphi-Studie haben (Steinmüller, 2019). Um diesem entgegenzuwirken, wurde zum einen die Formulierung der Projektionen in der Projektionsphase von drei Expert:innen hinsichtlich Konsistenz, Mehrdeutigkeit und Inhaltsvalidität bewertet. Zum anderen hatten die Expert:innen die Möglichkeit in den Begründungen auf die einzelnen Aspekte der Projektionen separat einzugehen.

Weiterhin ist zu beachten, dass die Szenarien keine Prognosen darstellen, sondern mit Unsicherheiten behaftet sind. Dies liegt unter anderem daran, dass die Zukunftsprojektionen nicht isoliert betrachtet werden können, sondern in vielfältiger Weise miteinander verknüpft sind (Steinmüller, 1997).

7 Zwischenfazit: Betrachtetes Szenario

Dieses Kapitel basiert zu Teilen auf der Veröffentlichung Escherle, Sprung et al. (2023). Wie bereits in Kapitel 5 ausführlich dargestellt wurde, sind Lkw-Fahrer:innen heutzutage tief in die Logistikprozesse eingebunden und die Abläufe in den Hubs auf die Mitarbeit der Fahrer:innen ausgelegt. Davon ist abzuleiten, dass sich die Prozesse des Warenein- und -ausgangs in Zukunft verändern müssen, wenn automatisierte Lkw ohne Fahrer:innen an den Hubs ankommen. Um sich diesen Veränderungen anzunähern, gilt es zunächst Ableitungen für ein zukünftiges Szenario für automatisierte Lkw aus den vorausgehenden Arbeiten dieser Dissertation zu ziehen.

Die Ergebnisse der Delphi-Studie unterstützen die Vermutung, dass der Hub-to-Hub-Verkehr einer der ersten Einsatzbereiche für automatisierte Lkw sein wird (Nowak et al., 2016). Durch die Prozess- und Tätigkeitsanalysen (Kapitel 5) wurde außerdem deutlich, dass aktuell viele unterschiedliche Verkehrsteilnehmende auf den Hubs unterwegs sind, z. B. Lkw, Pkw, Fußgänger:innen oder Fahrradfahrende. Des Weiteren gibt es teilweise keine klaren Verkehrsregeln und es sind beispielsweise keine Straßenmarkierungen vorhanden. Zusätzlich müssen Lkw auf dem Hub-Gelände zahlreiche schwierige und unübersichtliche Verkehrsmanöver meistern. Das Fahren innerhalb eines solchen Hubs ist damit eher vergleichbar mit dem Fahren in einer Stadt. Aus diesem Grund wird erwartet, dass das automatisierte Fahren auf dem Hub-Gelände ohne grundlegende Veränderungen in der Hub-Infrastruktur vorerst nicht möglich sein wird. Hinzu kommt, dass Hub-Betreibende größtenteils nicht bereit oder finanziell nicht dazu in der Lage sind, große Investitionen in die Hub-Infrastruktur zu tätigen, um automatisiertes Fahren auf dem Hub-Gelände zu ermöglichen (Inninger et al., 2018). Vor diesem Hintergrund könnte das automatisierte Fahren innerhalb der kontrollierten Umgebung von Hubs komplexer sein, als das Fahren auf der Autobahn zwischen den einzelnen Standorten – auch wenn dies zunächst kontraintuitiv klingt. Daher wird in den folgenden Kapiteln dieser Arbeit das Szenario betrachtet, in dem automatisiertes Fahren auf dem Hub-Gelände noch nicht möglich ist und die ODD des automatisierten Lkw somit nur die Strecke zwischen den Hubs, nicht jedoch das Hub-Gelände umfasst.

Ein weiteres Ergebnis der Delphi-Studie ist, dass aufgrund des zunächst geringen Anteils automatisierter Lkw von Mischverkehr bei der An- und Ablieferung der Hubs auszugehen ist. Dies bedeutet, dass sowohl automatisierte Lkw ohne Fahrer:innen, als auch herkömmliche manuell gesteuerte Lkw gleichzeitig auf den Hubs im Einsatz sein werden. Des Weiteren zeigt die Delphi-Studie, dass die Anmeldung und Koordination auf dem Hub überwiegend digital und automatisiert erfolgt und Fracht und Zolldokumente in Europa weitestgehend digitalisiert sind. Da sich die vorliegende Arbeit auf den innerdeutschen Hub-to-Hub-Verkehr fokussiert, werden diese Entwicklungen zum Zeitpunkt der Einführung automatisierter Lkw als verfügbar angenommen. Darüber hinaus weist die Delphi-Studie darauf hin, dass die Be- und Entladung der Lkw auch in naher Zukunft noch manuell durch Menschen erfolgen wird.

Zusammengefasst wird für die Beantwortung der Forschungsfragen dieser Dissertation das folgende Szenario betrachtet: Automatisierte Lkw werden im Hub-to-Hub-Verkehr eingesetzt, d.h. die Lkw kommen ohne Fahrer:in am Hub an. Das automatisierte Fahren auf dem Gelände des Hubs ist jedoch nicht möglich, da die ODD des Fahrzeugs das Hub-Gelände nicht miteinschließt. Der Lieferprozess auf dem Hub erfolgt sowohl durch automatisierte, als auch manuell gesteuerte Lkw. Es handelt sich also um gemischten Verkehr. Aufgrund der fortschreitenden Digitalisierung

erfolgt die Anmeldung und die Koordination der Lkw am Hub digital und automatisiert. Außerdem sind alle Fracht- und Zolldokumente digitalisiert und können über ein digitales System abgewickelt werden. Die Aufgaben im Zusammenhang mit der Ent- und Beladung des Lkw müssen weiterhin manuell ausgeführt werden.

Vor diesem Szenario wird deutlich, dass einige der Tätigkeiten, die heutzutage den Fahrer:innen zugeschrieben sind, durch Digitalisierung abgedeckt werden können. Wie in Tabelle 7.1 dargestellt müssen jedoch die verbleibenden Tätigkeiten der Lkw-Fahrer:innen, z. B. im Kontext des Ent- und Beladens oder des Fahrens auf dem Hub-Gelände, neu definiert werden.

Tabelle 7.1: Aufgaben und Verantwortlichkeiten im zukünftigen Prozess mit automatisierten Lkw

Abschnitt	Aufgabe	Verantwortung
Anmeldung	Fahrzeugerkennung	Digitales System
	Austausch Dokumente	Digitales System
	Anmeldung im System	Digitales System
	Informationen zu Be- und Entladestelle	Digitales System
Fahren	Lkw steuern	Unklar
	Navigation auf dem Hub	Unklar
Entladen	Lkw in korrekter Position parken	Unklar
	Trailer öffnen, Auflieger abkoppeln	Unklar
	Entladen	Hub-Personal
	Ladungssicherung	Unklar , vermutl. Hub-Personal
	Trailer schließen	Unklar
	Austausch Dokumente	Digitales System
Beladen	Lkw in korrekter Position parken	Unklar
	Trailer öffnen, Auflieger ankoppeln	Unklar
	Beladen	Hub-Personal
	Ladungssicherung	Unklar , vermutl. Hub-Personal
	Trailer schließen	Unklar
	Austausch Dokumente	Digitales System

8 Prozessentwicklung

Dieses Kapitel basiert ebenfalls auf der Veröffentlichung Escherle, Sprung und Bengler (2023). Die dargestellten Inhalte sind auf die für das Verständnis relevanten Aspekte reduziert.

Wie eingangs bereits vorgestellt, ist es ein zentrales Thema der Ergonomie die Arbeitsabläufe in einem Arbeitssystem zu beleuchten und diese so zu gestalten, dass die Arbeit zum Menschen passt (Badke-Schaub et al., 2008). Durch die Automatisierung der Lkw und den damit einhergehenden Wegfall der konventionellen Fahrer:innen müssen die zukünftigen Umschlagsprozesse im Hub-to-Hub-Verkehr neu definiert werden. Für das betrachtete Szenario (Kapitel 7) gilt es zu untersuchen, wie die Güter auf dem Gelände bewegt werden, wie die Be- und Entladung ohne die Mitarbeit der heutigen Fahrer:innen umgesetzt werden und wie die Rollen- und Aufgabenverteilung aussehen kann (siehe Tabelle 7.1). Wie die Umschlagprozesse mit automatisierten Lkw in den einzelnen Hubs zukünftig ablaufen sollen, wurde in der Literatur bislang unzureichend betrachtet. Jedoch ist es für die erfolgreiche Einführung automatisierter Lkw von entscheidender Bedeutung, die nachfolgenden Fragen zu klären: Wie sollten die Umschlagprozesse mit automatisierten Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr gestaltet werden? Und welche Auswirkungen hat dieser Prozess auf die Rollen und Aufgabenverteilung in den Hubs?

8.1 Methode

Um diese Fragen zu adressieren wurden insgesamt sieben individuelle Workshops mit Expert:innen aus der Logistikbranche durchgeführt. Die Workshops fanden online mit Hilfe eines virtuellen Whiteboards statt und dauerten jeweils etwa eine Stunde. Unter den teilnehmenden Expert:innen waren sechs Männer und eine Frau. Die Expert:innen waren Mitarbeitende von deutschen Pkw- und Lkw-Herstellern sowie von Logistikdienstleistern. Das Durchschnittsalter lag bei $M = 43$ Jahren ($SD = 9.65$) und die durchschnittliche Berufserfahrung im Bereich Logistik bei $M = 18.5$ Jahren ($SD = 8.16$). Tabelle 8.1 zeigt die wichtigsten Fachgebiete der Befragten.

Tabelle 8.1: Expertisenbereiche der Expert:innen ($n = 7$; Mehrfachauswahl möglich)

Expertisenbereich	Anzahl Expert:innen
Innerbetriebliche Logistik	4
Innovation	3
Inbound Logistik	2
Logistikmanagement	2
Standortplanung	2
Prozessplanung	2
Transportplanung	2

8.1.1 Ablauf der Workshops

Nach Einwilligung zur Teilnahme und der Erhebung demographischer Daten wurde den Expert:innen das in Kapitel 7 beschriebene Szenario vorgestellt, sowie die verbleibenden Aufgaben für die zukünftigen In-Hub-Prozesse (Tabelle 7.1). Im Anschluss lautete die zentrale Frage des Workshops: Wie würden Sie den In-Hub-Prozess mit automatisierten Lkw unter Berücksichtigung der vorgestellten Informationen und ihrer eigenen Erfahrungen im betrachteten Szenario gestalten? Daraufhin entwickelten die Expert:innen jeweils verschiedene mögliche Prozesse für die Integration automatisierter Lkw. Für jeden entwickelten Prozess wurden auch die Zuständigkeiten für die verbleibenden Aufgaben geklärt, die jeweiligen Voraussetzungen, mögliche Probleme und limitierende Faktoren, sowie die zukünftigen Berufsbilder adressiert. Die entwickelten Prozesse wurden im Verlauf jedes Workshops detailliert dokumentiert.

8.1.2 Datenanalyse

Im Anschluss an die Datenerhebung wurde für jeden entwickelten Prozess die zugrundeliegenden Merkmale identifiziert und extrahiert. In Anlehnung an die induktive Kategorienbildung (Mayring, 2000) konnten auf Basis der zugrundeliegenden Merkmale vier Cluster für die Prozesse identifiziert werden. Anhand der Prozessbeschreibungen durch die Expert:innen in den Workshops konnten diese vier übergeordneten Cluster weiter spezifiziert werden. Für jedes der vier Cluster wurden die von den Expert:innen benannten Vor- und Nachteile, die entsprechenden zukünftigen Aufgaben und Rollen zusammengetragen und die grundlegenden Prozesse visualisiert.

8.2 Ergebnisse

8.2.1 Grundlegende Prozesse zur Integration automatisierter Lkw

Abbildung 8.1 bietet zunächst einen Überblick über die entwickelten Prozesse zur Integration von automatisierten Lkw in zukünftige In-Hub-Prozesse. Hierbei ist der Umgang mit dem Trailer jeweils ein zentrales Unterscheidungsmerkmal: Entweder bleiben automatisierte Lkw und Trailer verbunden oder sie werden im Prozess voneinander getrennt. Bleiben Lkw und Trailer verbunden, wird der Lkw zum Bewegen des Trailers auf dem Hub genutzt. Bei diesem Vorgang wird weiter zwischen manueller Lenkung im Fahrzeug und Fernsteuerung unterschieden. Werden Lkw und Trailer im Prozess getrennt, muss der Trailer von einem weiteren Rangierfahrzeug innerhalb des Hubs bewegt werden. Dieses Rangierfahrzeug kann ebenfalls entweder manuell im Fahrzeug oder ferngesteuert gelenkt werden. Aus diesen Unterscheidungsmerkmalen ergeben sich vier mögliche Prozesse zur Integration automatisierter Lkw in die Hub-Abläufe, die durch weitere Optionen näher spezifiziert werden können. Diese weiteren Optionen werden im Rahmen der Vorstellung des jeweiligen Prozesses genauer adressiert.

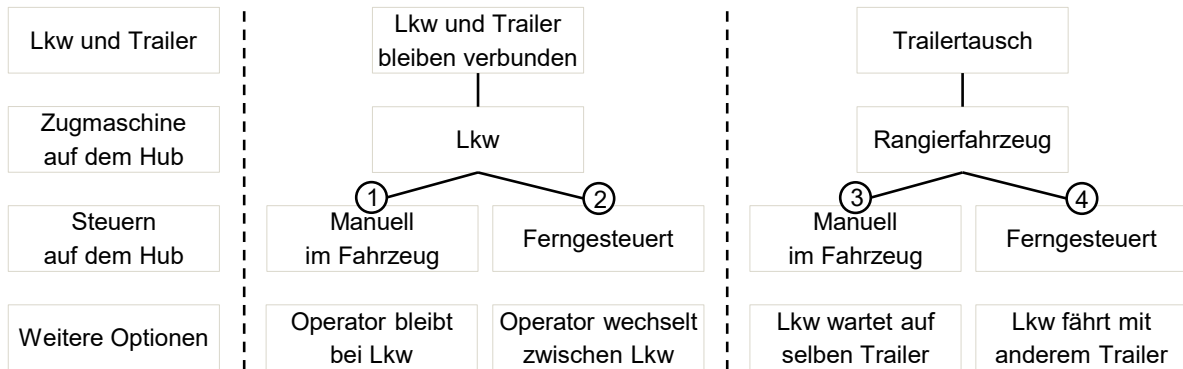


Abbildung 8.1: Übersicht über entwickelte Prozesse zur Integration automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr

In Übereinstimmung mit dem betrachteten Szenario beginnt jeder der nachfolgend dargestellten Prozesse mit der fahrerlosen Ankunft des automatisierten Lkw und dem automatisierten Parken in einer vordefinierten Position auf dem Hub. Die Ankunft des Lkw wird vom System automatisch registriert und das Hub-Personal benachrichtigt.

Prozess 1: Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird manuell gesteuert

Dieser Prozess wurde von 5 der 7 Expert:innen beschrieben und ist in Abbildung 8.2 veranschaulicht. Im Rahmen von Prozess 1 wird zukünftig die Rolle der Hub-Fahrer:innen neu eingeführt. Die Hub-Fahrer:innen übernehmen dabei die Aufgaben der heutigen Lkw-Fahrer:innen auf dem Hub. Das bedeutet, sie sind auf dem Hub stationiert, steigen nach Ankunft in die Lkw ein und steuern diese manuell auf dem Hub-Gelände. Des Weiteren unterstützen sie das Be- und Entladepersonal. Die genaue Aufgabenverteilung ist in Tabelle 8.2 aufgelistet. Nach Beendigung der Beladephase steuern die Hub-Fahrer:innen die Lkw zum Hub-Ausgang, steigen aus, aktivieren die Automation und der beladene Lkw verlässt den Hub im automatisierten Fahrmodus. Dieser Ablauf wiederholt sich für jeden ankommenden automatisierten Lkw.

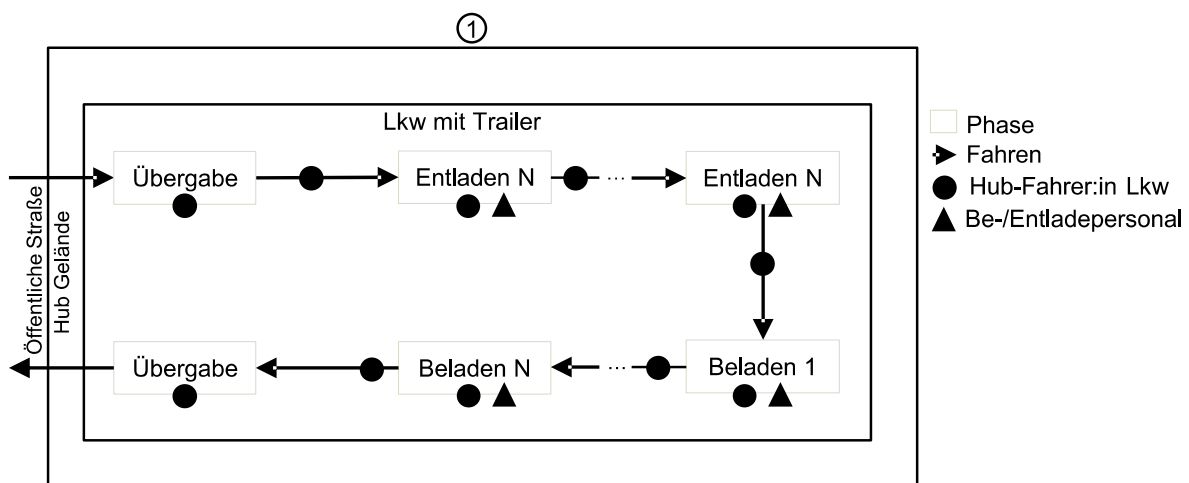


Abbildung 8.2: Visualisierung Prozess 1: Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird manuell gesteuert.
Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen

Prozess 2: Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird ferngesteuert

Dieser Prozess wurde von 6 der 7 Expert:innen entwickelt und ist in Abbildung 8.3 dargestellt. Hierbei bleiben Lkw und Trailer ebenfalls verbunden, der Lkw wird jedoch statt von Hub-Fahrer:innen im Fahrzeug von einem oder einer Teleoperator:in auf dem Hub-Gelände ferngesteuert.

Diese Person befindet sich demnach nicht im Fahrzeug, sondern beispielsweise an einem Büroarbeitsplatz. Während der oder die Teleoperator:in ausschließlich für das Steuern zuständig ist, erfolgt die Be- und Entladung an den unterschiedlichen Stellen allein durch das Be- und Entladepersonal. Dadurch entstehen zusätzliche Aufgaben und Verantwortlichkeiten, die ebenfalls in Tabelle 8.2 aufgezeigt werden. Während des Stillstands des Lkw bei der Be- und Entladung, kann der oder die Teleoperator:in bereits den nächsten Lkw auf dem Gelände steuern. Nach Abschluss der Beladung wird der jeweilige Lkw zurück zum Übergabeort ferngesteuert und die Automation aktiviert. Der Lkw verlässt das Hub-Gelände automatisiert und der oder die Teleoperator:in verbindet sich mit dem nächsten ankommenden automatisierten Lkw, um den gesamten Prozess erneut zu starten.

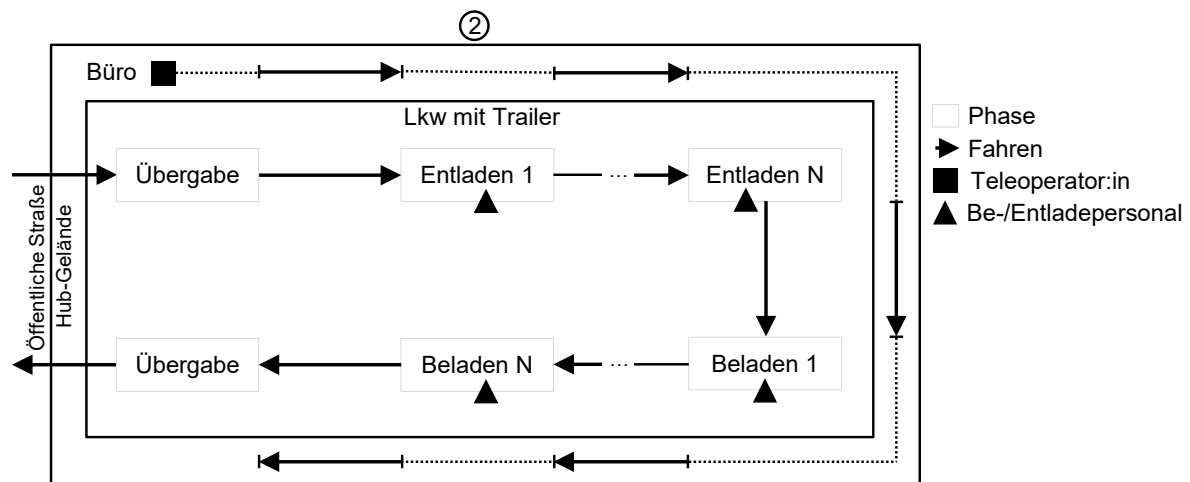


Abbildung 8.3: Visualisierung Prozess 2: Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird ferngesteuert.
Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen

Zwei Expert:innen entwickelten außerdem eine Variation dieses Prozesses, bei der das Fahren auf dem Hub-Gelände anstelle von Teleoperation auch durch andere technische Lösungen ermöglicht wird. Als Möglichkeit hierfür wurde beispielsweise eine integrierte Induktionsschleife genannt, durch die der Lkw über das Hub-Gelände geleitet werden kann. Eine weitere Option den Lkw ohne menschliches Steuern im Hub zu bewegen, stellt laut den Expert:innen die sogenannte smarte Infrastruktur dar (z. B. Gopalswamy & Rathinam, 2018). Hierbei kann der Lkw durch I2C (infrastructure to car) Kommunikation zusätzliche Information über eine erweiterte Umfeldwahrnehmung (Sensorik im Hub) oder Routenpläne und Trajektorien erhalten. Herauszustellen ist jedoch, dass diese Möglichkeiten mit signifikanten Änderungen in der Hub-Infrastruktur und einer hohen Investition einhergehen.

Prozess 3: Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird manuell gesteuert

Bei Prozess 3 werden Lkw und Trailer voneinander getrennt und der Lkw ist somit kein Teil des anknüpfenden Prozesses auf dem Hub. Dieser Prozess wurde von 6 der 7 Expert:innen beschrieben und ist in Abbildung 8.4 dargestellt.

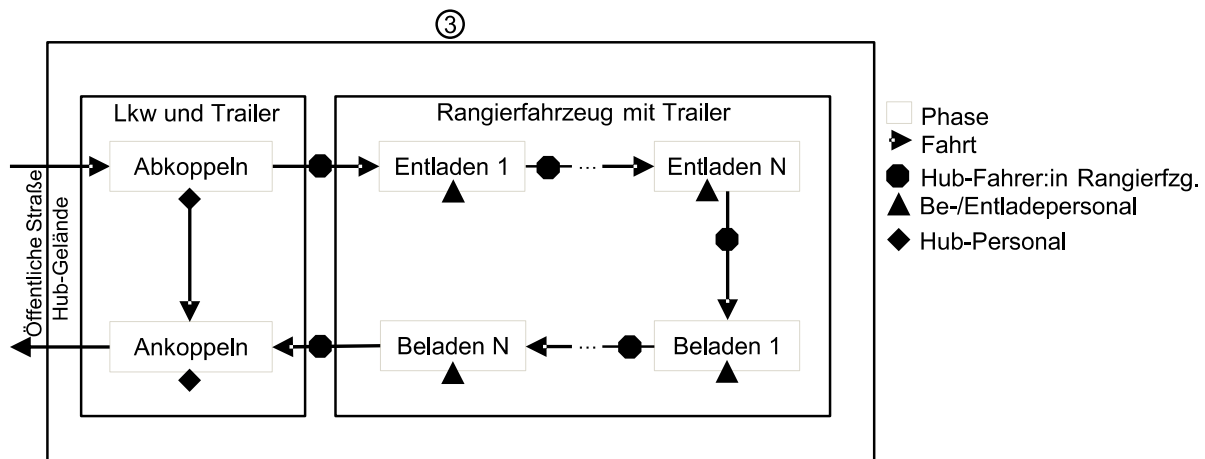


Abbildung 8.4: Visualisierung Prozess 3: Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird manuell gesteuert. Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen

Sobald ein automatisierter Lkw seine Position auf dem Hub erreicht, wird der Trailer durch Hub-Personal vom Lkw abgekoppelt. Der Trailer wird auf dem Hub-Gelände im weiteren Verlauf durch ein Rangierfahrzeug bewegt und an den entsprechenden Be- und Entladestellen abgestellt. Die Rangierfahrzeuge werden von internen Fahrer:innen (Hub-Fahrer:in Rangierfahrzeug) manuell gesteuert. Für die Be- und Entladung ist allein das Be- und Entladepersonal verantwortlich, da die Hub-Fahrer:innen der Rangierfahrzeuge während der Be- und Entladung zwischenzeitlich weitere Trailer auf dem Hub bewegen. Die genaue Aufgabenverteilung ist Tabelle 8.2 zu entnehmen. Sobald die Beladung eines Trailers abgeschlossen ist, wird dieser mit dem Rangierfahrzeug zurück zum Lkw gefahren und dort von Hub-Personal wieder an den automatisierten Lkw angekoppelt, die Automatisierung wird aktiviert und der Lkw verlässt das Gelände.

Für diesen Prozess nennen die Expert:innen zwei Optionen: Eine Möglichkeit ist, dass der automatisierte Lkw solange auf dem Hub bleibt, bis derselbe Trailer entladen, beladen und wieder zurückgebracht wird. Diese Wartezeit könnte dann beispielsweise zum Laden der Elektro-Lkw genutzt werden. Alternativ kann der ankommende Trailer direkt durch einen zweiten vorbeladenen Trailer ausgetauscht werden. Dadurch kann der automatisierte Lkw direkt weiter zum nächsten Ziel-Hub fahren. Der ankommende Trailer wird dann anschließend erst entladen.

Prozess 4: Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird ferngesteuert

Prozess 4 ist dem zuvor vorgestellten Prozess 3 sehr ähnlich, jedoch wird das interne Rangierfahrzeug durch Teleoperation ferngesteuert. Zwei der sieben Expert:innen haben diesen Prozess, visualisiert in Abbildung 8.5, entwickelt.

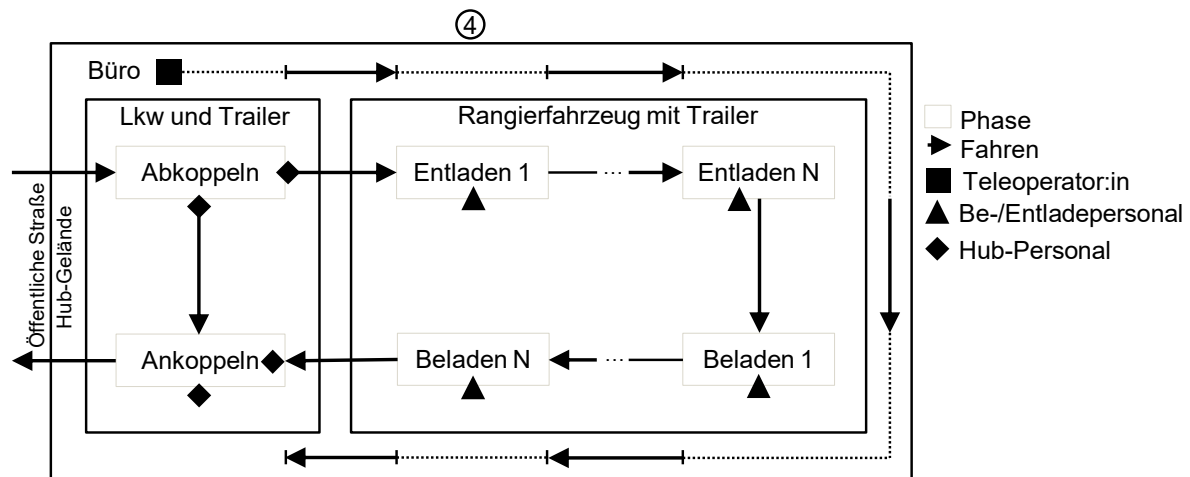


Abbildung 8.5: Visualisierung Prozess 4: Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird ferngesteuert. Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen

Wie in Prozess 3 werden auch hier die Trailer durch das Hub-Personal vom automatisierten Lkw ab-, in diesem Fall jedoch anschließend an ein teleoperiertes Rangierfahrzeug angekoppelt. Rangierfahrzeug und Trailer bleiben während des gesamten nachfolgenden Prozesses verbunden und werden durch den oder die Teleoperator:in zu den Be- und Entladestellen gesteuert. Während der Wartezeiten beim Be- und Entladen, welches allein durch das Be- und Entladepersonal erfolgt, kann der oder die Teleoperator:in die Steuerung von weiteren Rangierfahrzeugen übernehmen. Für die genaue Aufgabenverteilung wird erneut auf Tabelle 8.2 verwiesen. Abschließend wird der Trailer durch das teleoperierte Rangierfahrzeug zum Lkw gefahren und vom Hub-Personal an den Lkw gekoppelt. Nach Ankopplung des Trailers verlässt der Lkw den Hub automatisiert.

Auch hier gibt es zwei Optionen für den automatisierten Lkw: Entweder das Fahrzeug wartet, bis derselbe Trailer beladen zurückkommt, oder dieser wird gegen einen vorbeladenen Trailer ausgetauscht, sodass die Wartezeit für den Lkw verkürzt werden kann. Wie in Prozess 2 für den Lkw bereits erwähnt, könnte es laut zwei Expert:innen auch für das Rangierfahrzeug weitere Lösungen für das fahrerlose Steuern auf den Hubs geben. Als Beispiele werden hier erneut die Verwendung von Induktionsschleifen oder I2C-Kommunikation genannt.

8.2.2 Zukünftige Rollen und Aufgabenverteilung

Aus den in Kapitel 8.2.1 dargestellten Prozessen wird deutlich, dass für die Integration automatisierter Lkw auf den Hubs an unterschiedlichen Stellen im Prozess weiterhin Personal vor Ort benötigt wird. Tabelle 8.2 gibt einen Überblick über die Zuweisung von Aufgaben und Verantwortlichkeiten im heutigen Prozess, sowie in den vier entwickelten zukünftigen Prozessen mit automatisierten Lkw. Die Tabelle zeigt, dass auf Basis der Aufgabenverteilung Prozess 1 mit dem heutigen Prozess nahezu identisch ist. In diesem Fall werden die Aufgaben der heutigen Lkw-Fahrer:innen von den Hub-Fahrer:innen übernommen. Die Aufgaben des Be- und Entladepersonals bleiben dadurch unverändert.

Bei den Prozessen 2 bis 4 ist das Be- und Entladepersonal alleine für die Be- und Entladung verantwortlich. Dadurch entstehen für sie im Vergleich zum heutigen Prozess zusätzliche Aufgaben: Statt den Trailer nur zu be- oder entladen, ist das Personal bei diesen Prozessen zukünftig auch für das Öffnen und Schließen des Trailers verantwortlich und trägt die alleinige Verantwortung für die korrekte Ladungssicherung.

Im Rahmen der Prozesse, die Teleoperation beinhalten (Prozesse 2 und 4), wird die neue Rolle der Teleoperator:innen für die Steuerung der Fahrzeuge eingeführt. Bei den Prozessen, bei denen Lkw und Trailer getrennt werden (Prozesse 3 und 4), müssen im Vergleich zu heute zusätzlich neue Rollen für das Ab- und Ankoppeln des Trailers eingeführt werden. Wenn das Rangierfahrzeug manuell gefahren wird (Prozess 3), entsteht die Rolle der Hub-Fahrer:innen der Rangierfahrzeuge. Diese Fahrer:innen sind dabei nicht nur für das Fahren, sondern auch für das An- und Abkoppeln des Trailers an das Rangierfahrzeug verantwortlich.

Tabelle 8.2: Aufgabenverteilung und Rollen der unterschiedlichen Prozesse

Phase	Aufgabe	Prozesse				
		heute	1	2	3	4
Ankunft	Trailer von Lkw abkoppeln	-	-	-	◆	◆
	Trailer an Rangierfahrzeug ankoppeln	-	-	-	●	◆ ■
Fahren	Fahrzeug steuern	■	●	■	●	■
	Navigation auf dem Hub	■	●	■	●	■
Entladen	Fahrzeug in korrekter Position parken	■	●	■	●	■
	Trailer öffnen	■	●	▲	▲	▲
	Entladen	■ ▲	● ▲	▲	▲	▲
	Ladungssicherung	■ ▲	● ▲	▲	▲	▲
	Trailer schließen	■	●	▲	▲	▲
Beladen	Fahrzeug in korrekter Position parken	■	●	■	●	■
	Trailer öffnen	■	●	▲	▲	▲
	Beladen	■ ▲	● ▲	▲	▲	▲
	Ladungssicherung	■ ▲	● ▲	▲	▲	▲
	Trailer schließen	■	●	▲	▲	▲
Abfahrt	Trailer von Rangierfahrzeug abkoppeln	-	-	-	●	◆ ■
	Trailer an Lkw ankoppeln	-	-	-	◆	◆
Anzahl involvierter Rollen		2	2	2	3	3
■ Lkw-Fahrer:in ● Hub-Fahrer:in Lkw ● Hub-Fahrer:in Rangierfahrzeug ■ Teleoperator:in ▲ Be-/Entladepersonal ◆ Hub-Personal						

8.3 Diskussion

Die vorgestellten Prozesse stehen im Einklang mit Szenarien in der Literatur (Inninger et al., 2018). Die jeweiligen Voraussetzungen, mögliche Probleme sowie die zukünftigen Rollen und Arbeitsbeschreibungen wurden mit den Expert:innen diskutiert und werden nachfolgend dargestellt.

8.3.1 Voraussetzungen und Folgen der Prozesse

Eine der wichtigsten Voraussetzungen für die Umsetzung der vorgestellten Prozesse ist laut den Expert:innen die Verfügbarkeit einer ausreichend großen Freifläche auf dem Hub-Gelände. Vor allem für die Übergabe von Automation zu manueller Steuerung und das Trennen des Trailers wird ausreichend Platz benötigt. Darüber hinaus muss diese Fläche zusätzlich über die benötigte Infrastruktur verfügen. Dazu gehören beispielsweise definierte Positionen für das Abstellen der automatisierten Lkw, ein digitales System zur Registrierung und Planung sowie einer Schnittstelle zwischen System, Lkw und beteiligtem Personal. Abhängig von den Ausgangsbedingungen könnte die Einrichtung einer solchen Übergabefläche mit hohen Investitionen einhergehen. Darüber hinaus lässt sich feststellen, dass in den vorgestellten Prozessen mit automatisierten Lkw mehr Personal im Hub benötigt wird als es heutzutage der Fall ist (Tabelle 8.2). Somit ist ausreichend verfügbares Personal eine weitere Voraussetzung für die Umsetzung dieser Prozesse und die Integration automatisierter Lkw in den Hub-to-Hub-Verkehr.

Des Weiteren gilt es laut den Expert:innen eine Haftungsfrage zu klären: Heutzutage sind sowohl Lkw-Fahrer:innen als auch das Be- und Entladepersonal für die korrekte Verladung und Ladungssicherung verantwortlich. In den zukünftigen Prozessen wird diese Verantwortung vollständig auf das Hub-Personal übertragen. Laut den Expert:innen erfordert diese Haftungsverschiebung auch eine Anpassung der Rechtslage. In diesem Zusammenhang muss der gesamte Ab- und Beladevorgang inklusive der Zuständigkeiten des Hub-Personals nachvollziehbar sein.

Vor dem Hintergrund des zunächst eintretenden Mischverkehrs auf dem Hub sind die Expert:innen der Ansicht, dass der zukünftige Warenein- und -ausgangsprozess sowie die Umschlagprozesse für ankommende manuelle und automatisierte Lkw gleich sein müssen. Zwei unterschiedliche Prozesse wären nicht effizient, nicht förderlich und würden zu einer unnötig hohen Komplexität führen.

Prozesse, bei denen Lkw und Trailer verbunden bleiben

Wenn Lkw und Trailer verbunden bleiben (Prozesse 1 und 2), werden die Lkw auf dem Gelände von Hub-Personal (entweder manuell oder teleoperiert) gesteuert. Je nach Eigentumsverhältnissen handelt es sich dabei gegebenenfalls um Fremdnutzung. Hierbei sollte das Vorgehen im Schadensfall geregelt und die Verantwortlichkeiten nachvollziehbar sein. Darüber hinaus ist bei Prozessen ohne Trailertausch der zeitliche Anteil des automatisierten Fahrens geringer, da die Lkw selbst in die In-Hub-Prozesse eingebunden sind und somit einige Zeit auf dem Hub-Gelände verbringen. Trotzdem sehen die Expert:innen hier den generellen Vorteil, dass der gesamte Ablauf auf dem Hub insgesamt weniger Zeit und weniger Personal in Anspruch nimmt (Tabelle 8.2), da das Ab- und Ankoppeln der Trailer eben nicht Teil des Prozesses ist. Desweiteren haben

diese Prozesse den Vorteil, dass sie weniger Investitionen erfordern, leicht mit bestehenden Prozessen vereinbar und daher nach Ansicht der Expert:innen besonders geeignet sind.

Prozesse mit Trennung von Lkw und Trailer

Für die Prozesse, bei denen Lkw und Trailer getrennt werden (Prozesse 3 und 4), ist eine ausreichende Anzahl an Rangierfahrzeugen Voraussetzung. Die Bereitstellung dieser Rangierfahrzeuge wird für viele Hubs eine hohe Investition darstellen. Bei teleoperierter Steuerung der Rangierfahrzeuge (Prozess 4) wird diese Investition noch höher, da zum einen die entsprechende Infrastruktur größere Investitionen mit sich zieht und zum anderen mehr Rangierfahrzeuge gleichzeitig im Einsatz sind, da diese während des Prozesses mit einem Trailer konstant verbunden bleiben. Des Weiteren wird bei Prozessen mit Trennung von Lkw und Trailer zusätzliches Personal benötigt, um die An- und Abkopplung durchzuführen. Hier könnte die Entwicklung einer Technologie, die ein automatisches An- und Abkoppeln einschließlich eines automatischen Ausklappens der Stützen am Trailer ermöglicht, Abhilfe schaffen.

Findet ein Trailertausch statt und der automatisierte Lkw nimmt direkt einen zweiten, vorbeladenen Trailer auf, können Wartezeiten verkürzt werden (Dashkovskiy & Suttner, 2017) und der Lkw kann den Hub nach kurzer Zeit wieder verlassen. Der Zeitanteil des automatisierten Fahrens ist dadurch höher und insgesamt kann mehr Fracht transportiert werden. Voraussetzung dafür ist jedoch, dass der Trailer vom Hub-Personal vorgeladen wird, was wiederum eine korrekte Planung und ein gutes Zeitmanagement erfordert. Außerdem müssen pro Lkw zwei Anhänger sowie ausreichend Platz zur Verfügung stehen.

Teleoperation

Wie bereits erwähnt, erfordert die Teleoperation eine entsprechende Infrastruktur. Hierzu gehören beispielsweise die zugrundeliegende Technologie, eine stabile Internetverbindung, einen verfügbaren Arbeitsplatz und eine entsprechende Ausbildung der Teleoperator:innen. Diese Voraussetzungen können nach Meinung der Expert:innen höhere Investitionen erfordern und hängen zudem von der Entwicklung der Technologie ab. Wie genau diese Technologie aussehen wird ist zudem noch unklar. Ob die Option der Fernsteuerung für die verschiedenen Arten der Hubs anwendbar ist, muss ebenfalls noch geprüft werden. Außerdem gilt es zu klären, wie das Verfahren bei technischen Problemen gehandhabt wird. Nach Ansicht der Expert:innen könnte in solchen Fällen eine Backup-Lösung mit Personal vor Ort erforderlich sein.

8.3.2 Zukünftige Rollen

Je nach Prozess müssen in Zukunft neue Rollen eingeführt werden. Dazu gehören die Hub-Fahrer:innen der Lkw oder Rangierfahrzeuge, das entsprechende Personal für das An- und Abkoppeln der Trailer oder die Rolle des Teleoperators oder der Teleoperatorin. Die Rolle des Be- und Entladepersonals existiert bereits im heutigen Prozess. Je nachdem, welcher Prozess zur Integration von automatisierten Lkw auf den Hubs implementiert wird, werden dem Be- und Entladepersonal zusätzliche Aufgaben und Verantwortung zugewiesen. Die Zuordnung der Aufgaben zu den entsprechenden Rollen in den Prozessen basiert auf den Erfahrungen der Expert:innen unter Berücksichtigung der jeweils benötigten Kompetenzen. Generell haben die Rollen in den zukünftigen Prozessen den Vorteil, dass der Hub einen festen Arbeitsort darstellt und somit die Nähe zu Heim und Familie sowie geregelte Arbeitszeiten gewährleistet werden

können. Durch die Automatisierung der Lkw entfallen außerdem Stressoren, wie beispielsweise die Parkplatzsuche auf überfüllten Autobahnrastplätzen.

Bei Betrachtung eines typischen Arbeitstags in den vorgestellten Prozessen wiederholen die Mitarbeitenden bei jedem ankommenden Lkw den gleichen Aufgabenzyklus. Laut den Expert:innen liegt die durchschnittliche Durchlaufzeit eines Lkw bei ca. 2 Stunden. Für die Hub-Fahrer:innen in Prozess 1 bedeutet dies ein häufiges Ein- und Aussteigen in den Lkw, da sie auch bei der Be- und Entladung unterstützen. Diese Unterstützung ist auch der Grund für eine größere Vielfalt an Aufgaben und Verantwortlichkeiten im Vergleich zu den Hub-Fahrer:innen der Rangierfahrzeuge in Prozess 3. Hier unterstützen die Fahrer:innen nicht bei der Be- und Entladung und bleiben durchgehend bei einem Rangierfahrzeug. Die Hub-Fahrer:innen der Lkw in Prozess 1 müssen dagegen das Fahrzeug sehr häufig wechseln. Die Teleoperator:innen in den Prozessen 2 und 4 bleiben ebenfalls am selben Arbeitsplatz. Da es sich bei letzterem um eine völlig neue Tätigkeit handelt, ist diese Rolle weiterhin mit vielen offenen Fragen verbunden.

8.3.3 Limitationen

Die vorgestellten Prozesse wurden auf Grundlage der Meinungen und Erfahrungen der beteiligten Expert:innen entwickelt. Auch wenn diese aufgrund ihres Fachwissens ausgewählt wurden, besteht dennoch die Möglichkeit, dass einige Faktoren der zukünftigen Prozesse nicht berücksichtigt wurden. Die entwickelten Prozesse stehen jedoch im Einklang mit den aktuellen Trends in der Logistik (Kapitel 6; Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023) und den in der Literatur beschriebenen Szenarien (Inninger et al., 2018). Weiterhin basieren die vorgestellten Prozesse auf den Voraussetzungen des betrachteten Szenarios (Kapitel 7). Sollten diese in einem spezifischen Hub nicht gegeben sein, müssen die Prozesse an die gegebenen Rahmenbedingungen angepasst werden. Des Weiteren beinhalten zwei der entwickelten Prozesse die Technologie der Teleoperation. In welcher Form diese Technologie bei der Einführung automatisierter Lkw verfügbar sein wird, war nicht Teil der Szenariostudie (Kapitel 6; Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023) und ist daher eine weitere Untersuchung wert.

8.3.4 Zusammenfassung und Implikationen

Die entwickelten Prozesse zeigen erneut, dass für die Integration der automatisierten Lkw weiterhin Personal in den Hubs benötigt wird, auch wenn einige Tätigkeiten im Prozess durch digitale Lösungen ersetzt werden können. Im Grundsatz unterscheiden sich die zukünftigen Prozesse nicht wesentlich von den heutigen Warenein- und -ausgangsprozessen: Die Grundannahme, dass die Güter zu verschiedenen Stellen auf den Hubs transportiert werden, bleibt laut den Expert:innen unverändert. Dies hat des Weiteren den Hintergrund, dass es sich im betrachteten Szenario um Mischverkehr handelt und laut den Expert:innen die Prozesse für automatisierte und manuelle Lkw gleich sein sollten. Die nähere Betrachtung der Prozesse zeigt, dass sich jedoch zukünftig Rollen und Zuständigkeiten verändern werden. Durch die Automatisierung der Lkw entfällt die Rolle der heutigen Lkw-Fahrer:innen. Je nach Prozess werden dafür zukünftig Hub-Fahrer:innen für Lkw oder Rangierfahrzeuge benötigt. Eine sich anschließende Forschungsfrage ist daher, ob die Rolle der Hub-Fahrer:innen eine interessante Alternative für heutige Lkw-Fahrer:innen darstellt.

Doch nicht nur die Rolle der Fahrer:innen wird sich zukünftig ändern, sondern auch der Zuständigkeitsbereich des Be- und Entladepersonals in den Prozessen 2 – 4. Auch hier gilt es zu betrachten, wie sich diese Veränderung auf das Personal auswirkt und welche zusätzlichen

Qualifikationen für die entsprechende Tätigkeit erforderlich sind. Vor dem Hintergrund, dass sich der Arbeitskräftemangel bis automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr im Einsatz sind weiter verschärfen wird (Kapitel 6; Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023), gilt es zusätzlich zu betrachten, inwiefern die zukünftige Arbeit im Zusammenhang dieser Prozesse so gestaltet ist, dass sie neben den Anforderungen des Systems auch den Anforderungen der Mitarbeitenden entspricht und in welchen Aspekten die Arbeit weiter optimiert werden kann.

Da jeder Hub andere Voraussetzungen hat, muss individuell entschieden werden, welcher Prozess für die Integration von automatisierten Lkw am besten geeignet und anwendbar ist. Die Tatsache, dass Hub-Betreibende größere Änderungen und Umbaumaßnahmen für die Integration von automatisierten Lkw vermeiden wollen (Inninger et al., 2018), könnte dabei als Kriterium für die Auswahl eines Prozesses dienen. Auf den betrachteten Hubs bleiben Lkw und Trailer durch die Teilentladung aktuell durchgehend miteinander verbunden. Die Umstellung auf einen Prozess mit Trailertausch (Prozesse 3 und 4) ist somit mit einem hohen Aufwand und größeren Änderungen verbunden - vor allem vor dem Hintergrund, dass die Umstellung sowohl für manuelle als auch automatisierte Lkw umgesetzt werden sollte. Die Prozesse mit Trailertausch setzen außerdem vergleichsweise mehr verfügbare Fläche voraus, welche nicht allen Hubs zur Verfügung steht. Für Hubs hingegen, die bereits heute mit Trailertausch arbeiten, hat die Automatisierung der Lkw einen deutlich geringeren Einfluss auf die Hub-internen Umschlagprozesse, da nicht der Lkw, sondern ein Rangierfahrzeug als Zugmaschine auf dem Hub fungiert. Die einzige Veränderung durch automatisierte Lkw ist hier, dass gegebenenfalls noch Unterstützung beim Abkoppeln der Trailer benötigt wird, sollte dies noch nicht automatisiert möglich sein. Da der Lkw in den Prozessen 1 und 2 in die In-Hub-Prozesse integriert ist und somit größere Auswirkungen der Automatisierung zu erwarten sind, stehen eben diese Prozesse im Folgenden weiter im Fokus. Die Prozesse, die eine Trennung von Lkw und Trailer vorsehen, werden im Rahmen dieser Arbeit nicht genauer betrachtet.

9 Zwischenfazit: Zukünftige Arbeit im Hub-to-Hub-Verkehr

Wie bereits erwähnt, soll im Folgenden die menschliche Arbeit in den zukünftigen Prozessen 1 und 2 genauer betrachtet werden. Bei diesen Prozessen zur Integration automatisierter Lkw im betrachteten Szenario (siehe Kapitel 7) bleiben Lkw und Trailer während des gesamten Ablaufs miteinander verbunden und die Güter werden an unterschiedlichen Stellen auf dem Werks Gelände entladen. Im Fokus der Betrachtung stehen die Tätigkeiten als Hub-Fahrer:in und Be./Entlader:in, da diese Rollen zentral für die betrachteten Prozesse sind und physisch vor Ort in Kontakt mit den Lkw stehen werden. Zusätzlich zu diesen beiden ist auch die Tätigkeit als Teleoperator:in Teil der entwickelten Prozesse. Da laut den Expert:innen jedoch auch die Möglichkeit besteht, den Lkw mit Hilfe von Induktionsschleifen, smarter Infrastruktur oder anderen technischen Lösungen fahrerlos über das Hub-Gelände zu steuern, soll die Arbeit als Teleoperator:in im Rahmen dieser Arbeit nicht weiter im Fokus stehen.

9.1 Hub-Fahrer:in

In Prozess 1 wird der Lkw auf dem Hub-Gelände von sogenannten Hub-Fahrer:innen im Fahrzeug manuell zu den einzelnen Be- und Entladestellen gesteuert (siehe Kapitel 8.2.1). Zusätzlich übernehmen die Hub-Fahrer:innen Aufgaben bei der Be- und Entladung (Tabelle 8.2). Der zugehörige Arbeitsablauf basiert auf dem entwickelten Szenario (Kapitel 7), dem grundlegenden Ablauf und der Aufgabenverteilung von Prozess 1 (Kapitel 8.2) und wird im Folgenden zur besseren Veranschaulichung Schritt für Schritt beschrieben.

Ankunft des Lkw: Ein automatisierter Lkw kommt am Hub an und nimmt eine vordefinierte Parkposition ein. Die Ankunft wird vom System automatisch registriert und der oder die Hub-Fahrer:in erhält vom System über ein digitales Endgerät, beispielsweise ein Tablet, den entsprechenden Auftrag den Lkw abzufertigen. Der oder die Hub-Fahrer:in begibt sich demnach zum Lkw, öffnet ihn und steigt ein. Auf dem Tablet sind alle relevanten Informationen zur Ladung des Lkw und zur ersten Entladestelle, die angefahren werden soll, verfügbar.

Fahren und Vorbereitung für die Entladung: Der oder die Hub-Fahrer:in startet den Lkw und fährt ihn manuell über das Gelände zur angegebenen Entladestelle. Der Lkw wird an der vorgesehenen Position abgestellt, der oder die Hub-Fahrer:in steigt aus und öffnet den Trailer. Das bedeutet beispielsweise: Plane seitlich öffnen, Rungen entfernen, sowie die Sicherung von dem Teil der Ladung entfernen, der an dieser Stelle ausgeladen werden soll.

Entladung: Im Anschluss wird eben dieser Teil der Güter von den Entlader:innen mit Hilfe von Staplern entladen und im Lager verräumt. Die Frachtdokumente stehen digital im System und somit auf dem Tablet zur Verfügung. Bei Bedarf können die abgeladenen Güter damit gescannt und dokumentiert und das Entladepersonal somit unterstützt werden. Für den verbleibenden Teil der Ladung stellt der oder die Hub-Fahrer:in zusammen mit dem Entladepersonal die Ladungssicherung wieder her, bringt die Rungen an und schließt den Trailer. Der Entladeprozess an dieser Stelle wird im digitalen System als abgeschlossen gekennzeichnet und der oder die Hub-Fahrer:in steigt wieder in den Lkw und fährt diesen manuell weiter zur nächsten Entladestelle,

welche wieder auf dem Tablet angezeigt wird. Dort wiederholt sich der eben beschriebene Vorgang: Lkw korrekt abstellen, Trailer öffnen, Ladungssicherung entfernen, Dokumentation des Liefervorgangs, Lkw schließen. Wenn der Lkw komplett entladen wurde, steigt der oder die Hub-Fahrer:in wieder ein und fährt manuell zur Beladestelle, die auf dem Tablet angezeigt wird.

Beladung: Der Lkw wird von dem oder der Hub-Fahrer:in an der Beladestelle an der richtigen Position abgestellt und der Trailer wird wie bei der Entladung geöffnet. Während der Lkw von den Be- und Entlader:innen mit Hilfe von Staplern beladen wird, unterstützt der oder die Hub-Fahrer:in simultan bei der Ladungssicherung. Auch die beladenen Güter oder Behälter können bei Bedarf mit dem Tablet dokumentiert und das Beladepersonal auf diese Weise unterstützt werden. Im Anschluss wird der Trailer von der oder dem Hub-Fahrer:in geschlossen und der Lkw manuell zum Hub-Ausgang gefahren. Dort steigt der oder die Hub-Fahrer:in aus, schließt den Prozess digital im System auf dem Tablet ab, schließt die Tür, aktiviert die Automation und der Lkw verlässt automatisiert das Gelände.

Nachdem dieser Prozess abgeschlossen ist, erhalten die Hub-Fahrer:innen den nächsten Auftrag über das Tablet und der beschriebene Ablauf wird mit dem nächsten Lkw wiederholt. Laut den Expert:innen beträgt die durchschnittliche Durchlaufzeit eines Lkw zwei Stunden (Kapitel 8.3.2). Somit umfasst ein Arbeitstag als Hub-Fahrer:in bei einer 8-Stunden-Schicht den beschriebenen Ablauf ca. 3-4-mal.

9.2 Be-/Entlader:in

Der Aufgabenumfang für die Be- und Entlader:innen unterscheiden sich je nach Prozess, wie in Tabelle 8.2 bereits aufgezeigt.

9.2.1 Prozess 1 (Lkw wird von Hub-Fahrer:in gesteuert)

Dadurch, dass in Prozess 1 die Aufgaben der heutigen Lkw-Fahrer:innen (Kapitel 5.2) von den Hub-Fahrer:innen übernommen werden, bleibt die Tätigkeit des Be- und Entladepersonals vom heutigen Ablauf unverändert. Ein typischer zukünftiger Arbeitsalltag im betrachteten Szenario sieht daher wie folgt aus: Die Be- und Entlader:innen sind auf dem Hub beispielsweise an einem Tag an einer Entladestation eingeteilt und an einem anderen Tag an einer Beladestation.

Entladung: Auf einem digitalen Endgerät, wie z. B. einem Tablet, erhalten sie digital die Nachricht, dass der Lkw mit dem oder der Hub-Fahrer:in eintrifft und welche Teilladung genau entladen werden muss. Nachdem der oder die Hub-Fahrer:in den Lkw vorbereitet hat (Plane geöffnet, Rungen und Ladungssicherung entfernt), beginnt das Entladepersonal mit dem Entladen mit Hilfe von Staplern und verräumt die Güter im Lager. Der gesamte Prozess wird mit Hilfe des Tablets dokumentiert. Sobald alle benötigten Teile entladen und im Lager einsortiert sind, wird in Zusammenarbeit mit dem oder der Hub-Fahrer:in die Ladungssicherung für die verbleibende Ladung hergestellt. Damit ist der Entladeprozess für das Entladepersonal beendet und der nachfolgende Lkw kann bearbeitet werden.

Beladung: Hier treffen ausgehende Lkw, gesteuert von Hub-Fahrer:innen, leer ein und sollen beladen werden. Die Belader:innen erhalten über das Tablet den Auftrag, den Lkw mit bestimmten Behältern zu beladen und die nötigen Informationen, wo die Behälter zu finden sind. Nachdem der oder die Hub-Fahrer:in den Lkw wieder vorbereitet hat (Plane geöffnet, Rungen

entfernt), beginnt das Beladepersonal die Beladung mit Hilfe von Staplern. Der gesamte Beladevorgang wird ebenfalls mit dem Tablet dokumentiert. Die Ladungssicherung erfolgt in Kooperation mit den Hub-Fahrer:innen. Sobald der Lkw fertig beladen ist, ist der Beladeprozess für das Beladepersonal abgeschlossen und der oder die Hub-Fahrer:in erledigt den Rest. Dieser Vorgang wiederholt sich innerhalb eines Arbeitstags je nach Auftragslage mehrmals.

9.2.2 Prozess 2 (Lkw wird ferngesteuert)

Bei Implementierung von Prozess 2 wird vorausgesetzt, dass der Lkw ohne fahrende Person im Fahrzeug über das Hub-Gelände und zur entsprechenden Be- oder Entladestelle fahren kann (Kapitel 8.2.1). Durch den Wegfall der Lkw- bzw. Hub-Fahrer:innen ist das Hub-Personal an den Be- und Entladestellen alleine mit dem Lkw und übernimmt die Aufgaben, die heute den Lkw-Fahrer:innen oder in Prozess 1 den Hub-Fahrer:innen zugeordnet sind (Tabelle 8.2). Auch hier sind die Be- und Entlader:innen auf dem Hub beispielsweise an einem Tag an einer Entladestation und an einem anderen Tag an einer Beladestation eingeteilt.

Entladung: Die Be- und Entlader:innen erhalten über das Tablet den Auftrag, dass der angekommene Lkw teilweise entladen werden muss. Nachdem der Lkw die vorgesehene Entladeposition eingenommen hat, wird der Entladeprozess zur digitalen Nachverfolgung im System gestartet. Über das Tablet sind außerdem Informationen verfügbar, welche Teile der Ladung an dieser Stelle entladen werden müssen und wo sich diese im Lkw befinden. Das Entladepersonal öffnet daraufhin die Plane, entfernt die Rungen und die Ladungssicherung. Im Anschluss wird der Lkw in Zusammenarbeit mit Kolleg:innen in der gleichen Rolle entladen und die Güter mit Hilfe der Gabelstapler ins Lager gefahren. Mit dem Tablet werden die Güter gescannt und der gesamte Prozess im System dokumentiert. Für die verbleibenden Teile im Trailer wird die Ladungssicherung wieder hergestellt, die Rungen angebracht und der Trailer geschlossen. Sollte sich die Beladung durch Umladung der verbleibenden Güter geändert haben, muss auch dies im System vermerkt und der Entladeprozess digital abgeschlossen. Dadurch erhält der Lkw das Signal weiterzufahren und über das Tablet erfolgt der nächste Auftrag zur Entladung.

Beladung: An der Beladestation treffen ausgehende Lkw leer ein und sollen beladen werden. Über das Tablet erhält das Beladepersonal den Auftrag, den Lkw zu beladen. Zusätzlich stehen alle nötigen Informationen, z. B. welche Behälter und wo diese im Lager zu finden sind, auf dem Tablet zur Verfügung. Sobald der Lkw an der vorgesehenen Position steht, wird über das Tablet im System der Beladevorgang bestätigt. Das Beladepersonal öffnet die Plane des Trailers, entfernt die Rungen und beginnt in Kooperation mit den Kolleg:innen den Lkw mit Staplern zu beladen. Gleichzeitig wird die verladene Ladung mit dem Tablet gescannt und vorschriftsgemäß gesichert und die Position der jeweiligen Güter digital im System vermerkt. Die Verantwortung der Ladungssicherung liegt alleine beim Beladepersonal. Sobald der Lkw fertig beladen ist, bringt das Beladepersonal die Rungen wieder an und schließt die Plane des Trailers. Anschließend wird der Beladeprozess auf dem Tablet im System abgeschlossen und der Lkw kann weiterfahren. Dieser Vorgang wiederholt sich, wie die Entladung auch, mehrmals während eines Arbeitstags.

Die vorgestellten Prozesse, Rollen- und Aufgabenverteilungen sind nach der Einschätzung der Logistik-Expert:innen im Sinne der Optimierung des Gesamtsystems erstellt. Neben der Optimierung der Gesamtleistung des Systems spielt im Sinne der Ergonomie und Psychologie das Wohlbefinden der Mitarbeitenden eine ebenso wichtige Rolle, welches unter anderem durch die organisatorischen Strukturen und Arbeitsabläufe beeinflusst wird (Badke-Schaub et al., 2008). Für die vorgestellten zentralen Tätigkeiten in den erarbeiteten Prozessen, liegt daher der Fokus der folgenden Evaluationen auf dem Erleben der Mitarbeitenden.

10 Evaluation der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in

Wie in Kapitel 8 dargestellt, muss der Lkw im Kontext von Prozess 1 auf dem Hub-Gelände von einer Person im Fahrzeug manuell gesteuert werden. Bei dieser Person handelt es sich um die Rolle der Hub-Fahrer:innen, die in diesem Fall für die Einbindung automatisierter Lkw in die zukünftigen Hub-Prozesse von zentraler Bedeutung ist. Gerade vor dem Hintergrund des sich verschärfenden Arbeitskräftemangels (Kapitel 2.2.3; Anandhi & Perumal, 2013) gilt es die Arbeit der Hub-Fahrer:innen so zu gestalten, dass die Tätigkeit möglichst attraktiv für zukünftige Mitarbeitende ist und Fluktuation langfristig verhindert werden kann. Denn ohne Personen, die als Hub-Fahrer:in arbeiten, kann der betrachtete Prozess nicht implementiert werden.

Wie bereits in Kapitel 2.2.3 erläutert, wird die Fluktuation von unterschiedlichen Aspekten beeinflusst. Zu diesen Einflussfaktoren gehören beispielsweise die Arbeitsinhalte, die Entwicklungsmöglichkeiten und die Arbeitszufriedenheit der Mitarbeitenden, sowie zahlreiche weitere (Min, 2007). Da es sich bei der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in um eine zukünftige handelt, der in dieser Form noch nicht existiert, können zum jetzigen Zeitpunkt viele der Einflussfaktoren nicht untersucht werden. Beispielsweise stehen die jeweiligen Umgebungseinflüsse der Hubs oder das zukünftige Gehalt noch nicht fest. Aus diesem Grund soll der Fokus dieser Untersuchung vor allem auf den Eigenschaften der Arbeitsaufgabe und der erwarteten Zufriedenheit potenzieller Mitarbeitender liegen (Hackman & Oldham, 1975). Die Job Diagnostic Survey (JDS; Hackman & Oldham, 1975; Schmidt et al., 1985) wird dazu genutzt um diejenigen Eigenschaften von Arbeit zu identifizieren, die verändert werden können, um die Qualität zu verbessern (Daniels et al., 2017) und gibt Auskunft über Unzufriedenheiten der Teilnehmenden im Arbeitskontext. Im gegenseitigen Vergleich der einzelnen Skalen miteinander bieten die Ergebnisse der JDS Hinweise darauf, welche spezifischen Aspekte der Arbeit am meisten Verbesserung benötigen (Hackman & Oldham, 1975). Darüber hinaus können die individuellen Ergebnisse durch einen Vergleich mit Norm-Werten in einen größeren Kontext gesetzt werden und so Hinweise darauf liefern, wie viel Verbesserungspotenzial die Arbeit realistisch gesehen bietet (Oldham et al., 1978). Die Aufgaben und Zuständigkeiten der Hub-Fahrer:innen sind in Kapitel 9.1 beschrieben. Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Hub-Fahrer:innen zukünftig all diejenigen Aufgaben übernehmen, die heutzutage die Lkw-Fahrer:innen auf dem Hub-Gelände ausführen. Demnach haben die Tätigkeiten als Lkw-Fahrer:in und Hub-Fahrer:in eine große Schnittmenge. Der zentrale Unterschied liegt vor allem darin, dass der Hub der feste Arbeitsort der Hub-Fahrer:innen ist und sie ausschließlich kurze Strecken innerhalb des Hub-Geländes mit dem Lkw zurücklegen. Berufskraftfahrer:innen verfügen darüber hinaus über Praxiserfahrung im Straßenverkehr und mit herausfordernden Verkehrssituationen, ein grundlegendes Verständnis für Logistik und Transportprozesse, sowie Erfahrung im Umgang mit Ladungssicherung und in der Regel Kenntnisse in der Wartung von Nutzfahrzeugen. Aus diesem Grund soll zunächst eine Stichprobe von Berufskraftfahrer:in herangezogen werden, um die zukünftige Arbeit als Hub-Fahrer:in zu bewerten. Ob es sich bei den Berufskraftfahrer:innen um eine Personengruppe handelt, die zukünftig als Hub-Fahrer:innen arbeiten wird, gilt es jedoch noch zu betrachten.

Da die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in auf dem im Rahmen dieser Dissertation entwickelten Szenario basiert, existiert in der Literatur noch keine Forschung, die dieses zukünftige Berufsbild adressiert. Mit dem Ziel die zukünftige Tätigkeit möglichst attraktiv zu gestalten, soll im Rahmen dieser Studie explorativ untersucht werden, wie diese grundsätzlich bewertet wird und an welchen Aspekten Verbesserungspotenzial im Sinne der Ergonomie besteht.

10.1 Methode

Im Folgenden werden die erfassten Variablen, der Ablauf der Studie und die betrachtete Stichprobe genauer erläutert. Zur Beschreibung der zukünftigen Situation und des Arbeitsalltags als Hub-Fahrer:in wurde die Methode cognitive walk-through in Kombination mit Storytelling eingesetzt. Bei dieser Methode werden narrative Erzählungen dafür genutzt, um zukünftige Situationen greifbar zu machen (z. B. Hinkel et al., 2020) und so die Möglichkeit geschaffen, dass Proband:innen auch zukünftige Situationen explorieren (Smith et al., 2017) und ihre Arbeitsaufgaben schrittweise erleben können (Badke-Schaub et al., 2008).

10.1.1 Erfasste Variablen

Bewertung der aktuellen Tätigkeit

Mit dem Ziel, die generellen Präferenzen und Aversionen der Proband:innen bezüglich Eigenschaften von Arbeit zu erfassen, wurden sie in einem semi-strukturierten Interview nach den positiven und negativen Aspekten ihrer aktuellen Tätigkeit gefragt. Darüber hinaus sollten die Teilnehmenden für sie interessante berufliche Alternativen nennen und beschreiben, welche spezifischen positiven Merkmale sie mit diesen Berufen verbinden. Zusätzlich wurde die allgemeine Arbeitszufriedenheit im aktuellen Beruf mit der entsprechenden Skala der deutschen Job Diagnostic Survey (Schmidt et al., 1985) sowie die Wechselintention nach Kelloway et al. (1999) erfasst.

Bewertung der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in

Zunächst wurde mit einer fünf-stufigen Likert-Skala erfasst, wie wünschenswert und passend die Teilnehmenden die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in für sich empfinden. In einem semi-strukturierten Interview wurden außerdem die wahrgenommenen positiven und negativen Aspekte der Arbeit als Hub-Fahrer:in sowie Verbesserungsvorschläge auf Aufgaben-, Unternehmens- und Standortebebene erfasst. Zur Bewertung der zukünftigen Arbeitsinhalte wurde ebenfalls die deutsche Version der Job Diagnostics Survey (Schmidt et al., 1985) herangezogen. Die für diese Studie relevanten Skalen sind in Tabelle 10.1 aufgeführt. Für die Interpretation der Job Diagnostic Survey wird, wie bereits erwähnt, in der Regel auf Normwerte zurückgegriffen. Mit Hilfe dieser Normen kann geprüft werden, ob die untersuchte Arbeit in bestimmten Aspekten heraussticht oder mit den Normwerten vergleichbar ist. Laut den Autoren gilt: Wenn die Mittelwerte der einzelnen Skalen weniger als eine Standardabweichung vom Norm-Mittelwert abweichen, liegt kein bedeutsamer Unterschied vor. Weichen die Werte zwei oder mehr Standardabweichungen von der Norm ab, kann von einer Diskrepanz ausgegangen werden (Oldham et al., 1978).

Tabelle 10.1: Erfasste Skalen der Job Diagnostic Survey zur Bewertung der zukünftigen Tätigkeit als Hub-Fahrer:in (Schmidt et al., 1985)

Eigenschaften der Arbeit	Psychologische Zustände	Auswirkungen
- Anforderungsvielfalt	- Erlebte Bedeutsamkeit der Aufgabe	- Allgemeine Arbeitszufriedenheit
- Ganzheit der Aufgabe	- Wissen um das Ergebnis der Aufgabe	- Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten
- Bedeutsamkeit der Aufgabe	- Erlebte Verantwortlichkeit für die Aufgabe	
- Autonomie		
- Rückmeldung der Aufgabe		
- Soziale Kontakte		

Tabelle 10.2 zeigt eine Übersicht der Normwerte relevanter Kategorien von Arbeit. Diese wurden von Oldham et al. im Jahr 1978 durch eine Studie mit 6930 Angestellten in 876 verschiedenen Berufen in 56 unterschiedlichen Unternehmen erstellt und kategorisiert. Eine Einteilung der Berufe erfolgte dabei unter anderem durch die Kategorisierung in White und Blue Collar Berufe. Diese Unterscheidung basiert auf der Art der ausgeführten Tätigkeit und dem Bildungsstand der Arbeitnehmenden. Blue-Collar Berufe umfassen dabei typischerweise manuelle oder industrielle Tätigkeiten, die sogenannten Arbeiter:innenberufe. Da die Tätigkeit des Be- und Entladens typische Merkmale von Blue Collar Berufen aufweisen, sollen die Normwerte dieser Kategorie als Referenzwerte dienen.

Tabelle 10.2: Normwerte der Job Diagnostic Survey übergreifend über alle Personen und für sogenannte Blue Collar Berufe (Arbeiter:innen-Berufe; Oldham et al., 1978)

	Übergreifend		Blue Collar	
Eigenschaften der Arbeit	M	SD	M	SD
Anforderungsvielfalt	4.53	1.57	4.49	1.28
Ganzheit der Aufgabe	4.65	1.44	4.60	1.32
Bedeutung der Aufgabe	5.49	1.25	5.55	1.19
Autonomie	4.78	1.39	4.83	1.25
Rückmeldung der Aufgabe	4.81	1.34	4.76	1.23
Soziale Kontakte	5.45	1.31	5.23	1.11
Psychologische Zustände				
Erlebte Bedeutsamkeit der Aufgabe	5.10	1.14	5.14	1.01
Wissen um Ergebnisse der Aufgabe	5.04	1.14	5.09	1.13
Erlebte Verantwortung für die Aufgabe	5.40	0.96	5.38	0.84
Auswirkungen				
Generelle Arbeitszufriedenheit	4.63	1.27	4.80	1.10
Zufriedenheit mit Entfaltungsmöglichkeiten	4.74	1.33	4.83	1.14

10.1.2 Ablauf der Studie

Der Ablauf der Studie ist in Abbildung 10.1 visualisiert. Im Rahmen der Einführung erhielten die Teilnehmenden zunächst Informationen zu Ziel und Ablauf der Studie und unterzeichneten im Anschluss die Einwilligungs- und Datenschutzerklärung. Im Zuge der Einführung wurde den Teilnehmenden außerdem das betrachtete Szenario (Kapitel 7) näher erläutert und sie erhielten einen Überblick über die Aufgaben der zukünftigen Hub-Fahrer:innen (Kapitel 9.1). Darauf folgte die Erfassung von demographischen Daten und den Fragen zur aktuellen beruflichen Tätigkeit der Teilnehmenden. Im Anschluss wurden die einzelnen Arbeitsschritte der zukünftigen Hub-Fahrer:innen durch Storytelling und den cognitive walk-through sowie mit Hilfe eines prototypischen Aufbaus einer zukünftigen Lkw-Kabine (Mock-Up) erlebbar gemacht. Die Teilnehmenden wurden angewiesen, sich mental in die Rolle des oder der Hub-Fahrer:in zu versetzen und wurden Schritt für Schritt durch den zukünftigen Arbeitsalltag geführt. Über ein Tablet, das sie auch physisch in den Händen hielten, erhielten die Proband:innen den simulierten Auftrag, einen Lkw abzufertigen. Mittels Storytelling wurden den Teilnehmenden detaillierte Anweisungen für jede Arbeitsphase vermittelt. Dabei führten sie die simulierten Tätigkeiten, soweit möglich, auch physisch aus. Dies umfasste das Öffnen der Tür der Lkw-Kabine, das Einsteigen und Einrichten in der Kabine sowie das jeweilige Aus- und Wiedereinsteigen für die Ent- und Beladung. Im Sinne der Vollständigkeit ist zu erwähnen, dass im Rahmen der Studie während des simulierten Arbeitsablaufs zusätzlich das Kabinenkonzept hinsichtlich Eignung, Übersicht und Raumgefühl evaluiert wurde. Diese Evaluierung liegt jedoch außerhalb des Untersuchungsbereichs dieser Arbeit und wird daher in den weiteren Ausführungen nicht weiter behandelt. Für weitere Informationen hierzu wird auf die zugehörige Studienarbeit verwiesen (Oberauer, 2023). Im Anschluss an den simulierten Arbeitsablauf wurden die Proband:innen angewiesen, sich den zukünftigen Arbeitsalltag in Erinnerung zu rufen und sich mental erneut in diese zukünftige Situation zu versetzen. Hierfür wurden sie nochmals mit Hilfe des cognitive walk-through Schritt für Schritt durch den Arbeitsalltag geführt – diesmal jedoch ohne physische Handlungen. Daraufhin bewerteten die Versuchspersonen die Arbeit als Hub-Fahrer:in anhand einzelner Skalen der Job Diagnostic Survey (Schmidt et al., 1985, siehe Tabelle 10.1) und weiterer Fragen im Interview mit der Versuchsleitung. Für die Teilnahme erhielten die Proband:innen eine monetäre Aufwandsentschädigung in Form von Gutscheinen.

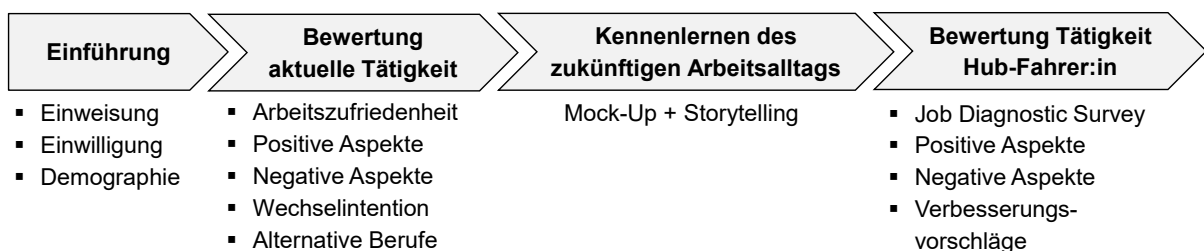


Abbildung 10.1: Studienablauf und erfasste Variablen

10.1.3 Stichprobe

Als Einschlusskriterium zur Studienteilnahme wurde die Erfahrung als Berufskraftfahrer:in definiert. Die Rekrutierung erfolgte über die Versuchspersonendatenbank der MAN Truck & Bus.

Insgesamt nahmen 34 Personen an der Studie teil, 28 davon männlich und 6 weiblich. Das Durchschnittsalter betrug $M = 47.18$ Jahre ($SD = 13.702$). Zum Zeitpunkt der Studie waren 41%

der Teilnehmenden verheiratet, während 35% der Stichprobe Kinder hatten. Die durchschnittliche Erfahrung als Berufskraftfahrer:in lag bei $M = 15.33$ Jahren ($SD = 9.983$). Demnach verfügten alle Teilnehmenden über einen Lkw-Führerschein und 24 (70,58%) der Teilnehmenden waren zum Zeitpunkt der Studie auch aktiv als Berufskraftfahrer:in tätig. Die Erfahrungsbereiche der Versuchspersonen in den einzelnen Lkw-Segmenten ist in Abbildung 10.2 visualisiert. Als sonstige Erfahrungsbereiche wurden vor allem die städtische Entsorgung ($n = 3$), Fahrten auf Flughafengelände ($n = 2$) sowie weitere einzelne Punkte genannt.

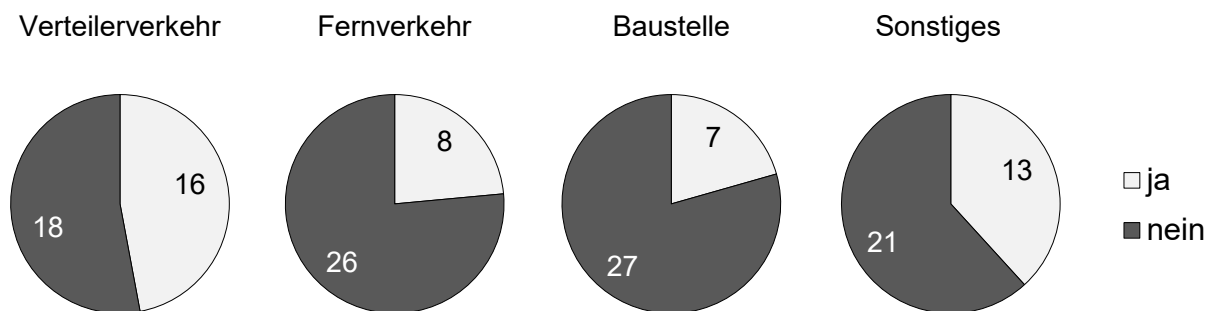


Abbildung 10.2: Erfahrung der Teilnehmenden in den jew. Lkw-Segmenten ($n = 34$; Mehrfachauswahl möglich)

Nur 13 der Teilnehmenden (38,24%) haben eine Ausbildung als Berufskraftfahrer:in abgeschlossen. Die Bereiche, in denen die Stichprobe darüber hinaus bereits Berufserfahrung gesammelt hat, sind sehr heterogen und reichen u. a. von handwerklichen ($n = 7$) und kaufmännischen ($n = 6$) Bereichen über Tätigkeiten in Mechanik ($n = 6$) und Logistik ($n = 7$) bis hin zu sozialen Berufen ($n = 4$). Die Selbsteinschätzung zur Offenheit gegenüber Technik wurde in der Stichprobe mit einem Mittelwert von $M = 1.5$ ($SD = 0.738$) als hoch bewertet (siehe Abbildung 10.3).



Abbildung 10.3: Selbsteinschätzung der Offenheit gegenüber Technik ($n = 34$)

10.2 Ergebnisse

10.2.1 Aktuelle Tätigkeit

Von den Teilnehmenden werden als positive Aspekte ihres aktuellen Berufs vor allem das Freiheitsgefühl ($n = 14$), die hohe Verantwortung ($n = 13$), die Abwechslung und Vielseitigkeit ($n = 9$), und die sozialen Kontakte ($n = 9$) genannt. Als negative Aspekte stehen schwierige Rahmenbedingungen bzgl. Stress, Witterung und Verkehr ($n = 14$), negative soziale Aspekte, wie z. B. Konflikte, fehlender Zusammenhalt, fehlende Wertschätzung oder negatives Ansehen ($n = 12$), sowie unregelmäßige Arbeitszeiten ($n = 7$) im Vordergrund. Weitere Aspekte sind Tabelle 10.3 zu entnehmen.

Tabelle 10.3: Positive und negative Aspekte der aktuellen Berufe der Teilnehmenden (n = 34; Mehrfachnennungen möglich)

Positive Aspekte	Häufigkeit	Negative Aspekte	Häufigkeit
Freiheitsgefühl	14	Rahmenbedingungen (Stress, Witterung, Verkehr, ...)	14
Verantwortung	13	Negative soziale Aspekte (Konflikte, kein Zusammenhalt, negatives Ansehen, fehlende Wertschätzung)	12
Abwechslung / Vielseitigkeit	9	Unregelmäßige Arbeitszeiten	7
Soziale Kontakte	9	Lange Wartezeiten	1
Fahrtätigkeiten	6	Gehalt	1
Reisetätigkeit / Mobilität	5	Monotonie	1
Arbeitszeiten	3	Fehlende Flexibilität	1
Arbeitsinhalte generell	3		
Flexibilität	3		
Sonstiges	5		

Die generelle Arbeitszufriedenheit im aktuellen Beruf wurde von den Teilnehmenden insgesamt mit einem Mittelwert von $M = 5.22$ ($SD = .861$; Skala von 1 bis 7) als eher hoch bewertet. Die Wechselintention fällt dementsprechend auf den einzelnen Items auch gering aus (siehe Abbildung 10.4; Mittelwert über alle Items $M = -1.11$, $SD = 1.035$; Item zum Vorhaben noch lange zu bleiben rekodiert).

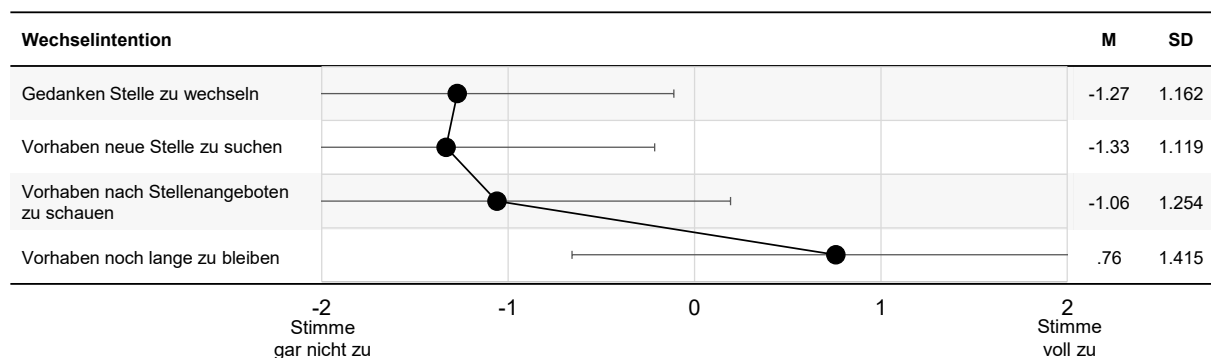


Abbildung 10.4: Wechselintention nach Kelloway et al. (1999).
Punkte = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen (n = 33)

Berufe, die für die Teilnehmenden alternativ in Frage kämen, wenn sie diesen wechseln müssten, sowie die jeweiligen positiven Aspekte daran sind Tabelle 10.4 zu entnehmen.

Tabelle 10.4: Alternative Berufen und deren positive Aspekte (n = 34; Mehrfachnennungen möglich)

Alternative Berufe	Häufigkeit	Genannte positive Aspekte
Fahrberufe	9	Arbeit mit Fahrzeugen, soziale Kontakte, Freiraum, Reisetätigkeit, Freiheit, selbstständiges Arbeiten
Handwerk	6	Feste/ gute Arbeitszeiten, soziale Kontakte, Technik
Kaufmännischer Bereich	4	Reisetätigkeit, Bewegung, soziale Kontakte
Logistik	4	Fachwissen anwendbar
Soziales	2	Verantwortung, Vielfältigkeit
Sicherheitsbereich	2	Soziale Kontakte, selbstständiges Arbeiten
Produktion	2	Feste/ gute Arbeitszeiten
Sonstiges (Einzelnennungen)	11	Herausforderung, selbstständiges Arbeiten, Verantwortung, Gehalt

10.2.2 Bewertung der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in

Die Ergebnisse der einzelnen Skalen der Job Diagnostic Survey sind in Abbildung 10.5 aufgeführt und visualisiert. Hervorzuheben sind die Aspekte Anforderungsvielfalt und Autonomie, die im Vergleich zu den anderen Aspekten am niedrigsten bewertet werden. Auch die Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten liegt im Durchschnitt unterhalb der Skalenmitte.

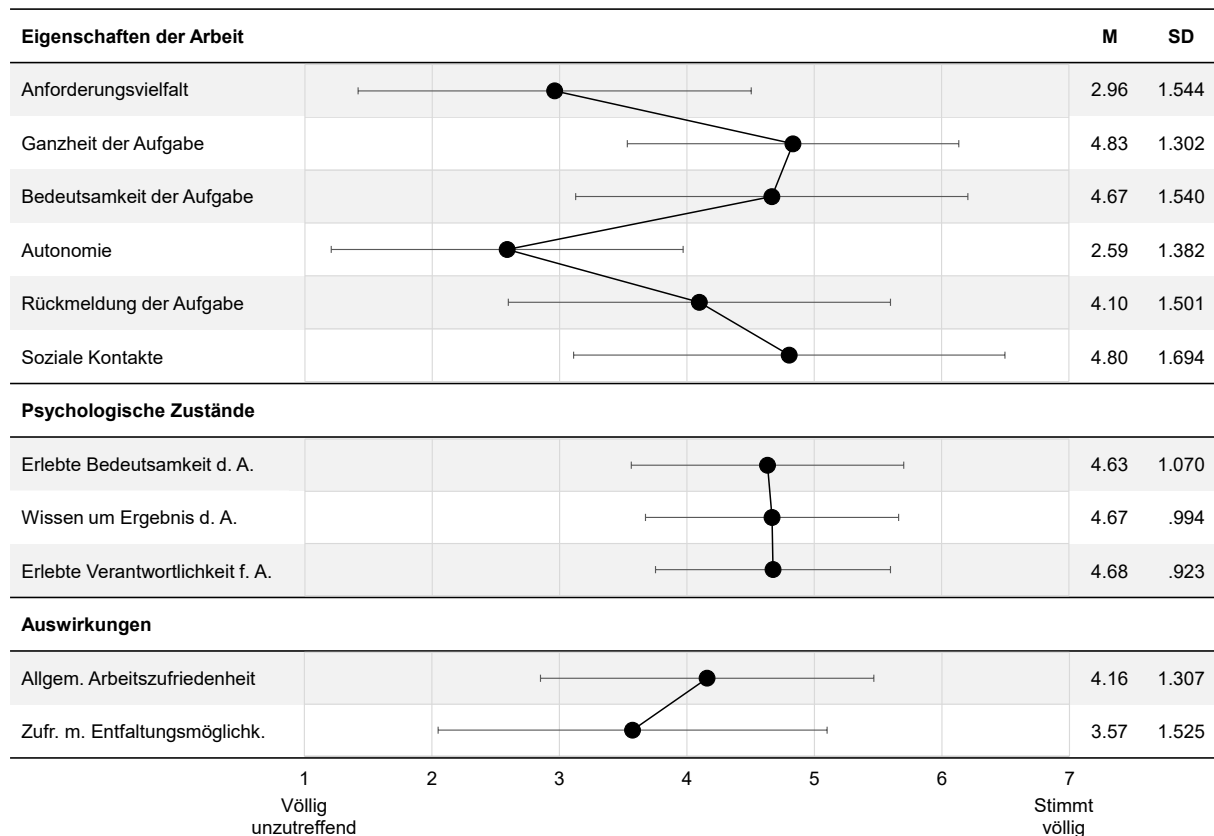


Abbildung 10.5: Ergebnisse der Job Diagnostic Survey.
Punkte = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen; n = 34

Die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in wird von den Teilnehmenden insgesamt als eher nicht wünschenswert ($M = -0.147$, $SD = 1.298$) und als eher nicht zu den Proband:innen passend ($M = -0.41$, $SD = 1.349$) bewertet. Die Verteilung der Häufigkeiten auf diese beiden Fragen ist in Abbildung 10.6 dargestellt.

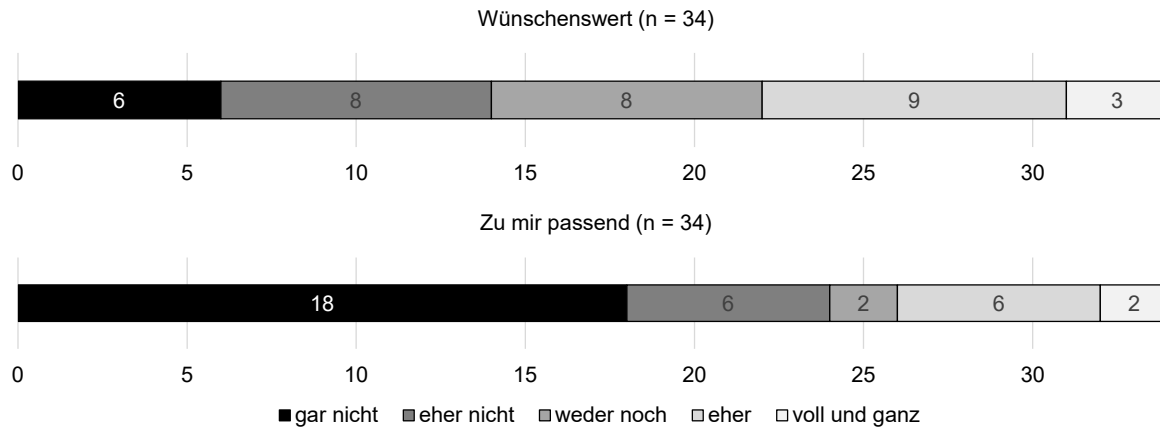


Abbildung 10.6: Häufigkeiten der Antworten auf die Frage „Wie empfinden Sie den Beruf Hub-Fahrer:in?“ (n = 34)

Als Gründe, warum die Tätigkeit als (eher) nicht wünschenswert empfunden wird, werden vor allem die damit zusammenhängende Monotonie (n = 9), Langeweile (n = 7) und fehlende Herausforderung (n = 5) genannt, sowie dass die Arbeit nichts mehr mit dem heutigen Berufsbild Lkw-Fahrer:in zu tun hat (n = 5). Diese Gründe werden größtenteils auch dafür wiederholt, warum die Tätigkeit nicht als zu sich passend empfunden wird: Monotonie (n = 12), Langeweile (n = 6), fehlende Herausforderung (n = 9) und fehlende Entscheidungsfreiheit (n = 6). Personen, die Arbeit als (eher) wünschenswert empfinden, begründen dies vor allem im festen Arbeitsort (n = 3) und den festen Arbeitszeiten (n = 3). Auch bei der Begründung, warum Personen die Tätigkeit als (eher) passend für sich empfinden, spielt der feste Arbeitsort (n = 3) neben der übertragenen Verantwortung (n = 2) und der Arbeit im Kontext der Automatisierung (n = 2) eine Rolle.

Im Durchschnitt geben die Teilnehmenden eine Wahrscheinlichkeit von $M = 26.32\%$ ($SD = 31.373$) an, dass sie sich in Zukunft als Hub-Fahrer:in bewerben. Dabei liegt die Wahrscheinlichkeit bei nur 5 Personen über 50% und 13 der 34 Proband:innen geben eine Wahrscheinlichkeit von 0% an. Die generellen positiven und negativen Aspekte an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in, die auf konkrete Nachfrage genannt wurden, sind in Tabelle 10.5 aufgeführt.

Als Verbesserungsvorschlag für die Arbeit als Hub-Fahrer:in wird vor allem mehr Entscheidungsfreiheit und Handlungsspielraum (n = 3) sowie Mitspracherecht bei der Beladung (n = 2) genannt. Darüber hinaus werden Änderungen in der Kabinengestaltung (n = 3) und die Abwechslung mit der Arbeit im Lager (n = 1) genannt. Auf Unternehmensebene könnte die Attraktivität der Arbeit als Hub-Fahrer:in laut den Teilnehmenden durch ein gutes Arbeitsklima (n = 16), Sozialleistungen (n = 12), Weiterbildungsmöglichkeiten (n = 8), ein gutes Gehalt (n = 7) und gute Arbeitszeiten (n = 6) erhöht werden. Bezüglich der Hub-Gestaltung sollten auf dem Gelände vor allem angemessene Aufenthaltsräume (n = 19), Möglichkeiten zur Verpflegung (n = 15) und ausreichend Sanitäranlagen (n = 10) für die Hub-Fahrer:innen zur Verfügung stehen. Die ausführlichen Ergebnistabellen zu diesen Verbesserungsvorschlägen sind in Anhang A zu finden.

Tabelle 10.5: Positive und negative Aspekte der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in (n = 34; Mehrfachnennungen möglich)

Positive Aspekte	Häufigkeit	Negative Aspekte	Häufigkeit
Geregelte Arbeitszeiten	21	Monotonie / Eintönigkeit	16
Fester Arbeitsort	15	Fehlende Herausforderung	7
Typische Stressoren beim Lkw-Fahren entfallen	12	Langeweile	6
Geregelte Aufgaben und Arbeitsabläufe, Routine	9	Keine Reisemöglichkeit	4
Eigenverantwortung unter festen Rahmenbedingungen	3	Fehlende Entwicklungs- / Aufstiegsmöglichkeiten	4
Soziale Kontakte	2	Wenig Entscheidungsfreiheit	3
Bessere Kompensation bei Ausfällen (Krankheit / Urlaub)	2	Hat nichts mehr mit Lkw-Fahren zu tun	3
Einfache Arbeit, geeignet für unausgebildetes Personal	3	Wenig Freiheit / Flexibilität	3
		Witterung tw. ausgesetzt	2
		Zu viele soziale Kontakte	2
		Zu wenig soziale Kontakte	2
		Häufiger Lkw-Wechsel	2
		Hohe Verantwortung	2
Weitere Einzelnennungen	8	Weitere Einzelnennungen	9

10.3 Diskussion

Ziel der Studie war es, einen ersten Eindruck davon zu bekommen, wie die zukünftige Tätigkeit als Hub-Fahrer:in wahrgenommen und bewertet wird. Der Fokus lag hierbei auf der Bewertung der Arbeitsaufgabe. Als Stichprobe wurden Personen mit Erfahrung als Berufskraftfahrer:in herangezogen, da eine große Aufgaben-Schnittmenge zwischen den beiden Tätigkeiten vorliegt und somit davon auszugehen ist, dass sich diese Stichprobe die zukünftige Tätigkeit als Hub-Fahrer:in gut vorstellen und diesen bewerten kann.

Bei den Berufen, die aktuell für die Stichprobe als Alternative in Frage kommen, steht die Fahrtätigkeit weiterhin an zentraler Stelle. Darüber hinaus werden an den alternativen Berufen hauptsächlich soziale Kontakte, selbstständiges Arbeiten, feste Arbeitszeiten und Verantwortung als positive Aspekte genannt. Auf Basis dieser Angaben liegt die Vermutung nahe, dass die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in eine interessante Alternative für die Stichprobe darstellen könnte. Die Ergebnisse der Studie deuten jedoch darauf hin, dass die Stichprobe zwar die Vorteile der

Tätigkeit als Hub-Fahrer:in sieht (z. B. ein fester Arbeitsort mit der Möglichkeit nach Feierabend nach Hause zu kommen) und auch erkennt, dass sie einige negative Aspekte des heutigen Berufs als Lkw-Fahrer:in (Stress, Witterung, Verkehr, Parkplatzsuche; BMVI, 2020; Evers, 2009) eliminiert. Trotzdem wird die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in von der befragten Stichprobe eher als nicht wünschenswert und nicht für sich passend bewertet. Generell abschreckend scheinen vor allem die immer gleichen Abfolgen im Arbeitsalltag (Monotonie), die fehlende Herausforderung und fehlende Entscheidungsfreiheit zu sein. Dies spiegelt sich auch in der geringen Bewertung der Anforderungsvielfalt im Rahmen der JDS wieder (Abbildung 10.5). Nur ein geringer Anteil würde sich in Zukunft als Hub-Fahrer:in bewerben. An dieser Stelle ist jedoch zu beachten, dass die Arbeitszufriedenheit im aktuellen Beruf bei der befragten Stichprobe im Vergleich mit den Normwerten in einem akzeptablen oberen Bereich liegt. Dementsprechend ist auch die aktuelle Wechselintention der Teilnehmenden gering. Die Vermutung liegt somit nahe, dass diese Faktoren die Angabe der Wahrscheinlichkeit, sich zukünftig als Hub-Fahrer:in zu bewerben, beeinflusst haben. Der Aspekt eines festen Arbeitsorts lässt vermuten, dass die Arbeit als Hub-Fahrer:in vor allem eine attraktive Alternative für Personen mit Familie und Kindern darstellt. Es zeigen sich jedoch keine Regelmäßigkeiten in den Daten hinsichtlich der Familiensituation: Unter den Personen, die die Wahrscheinlichkeit, sich zukünftig als Hub-Fahrer:in zu bewerben, auf über 50% einschätzen, sind sowohl unverheiratete und verheiratete als auch Personen mit und ohne Kinder.

Die Bewertung der Eigenschaften der Arbeit als Hub-Fahrer:in mit der JDS liegen im Vergleich mit den Referenzwerten (Tabelle 10.2) für alle Skalen im Normbereich, was zunächst für eine gute Gestaltung der Arbeitsaufgabe spricht. Zu betonen ist dabei jedoch, dass die Skalen Anforderungsvielfalt und Autonomie deutlich am unteren Ende des Normbereichs liegen. Auch im Vergleich der einzelnen JDS-Skalen untereinander fällt dies auf und zeigt somit Verbesserungspotenzial vor allem in den Bereichen der Anforderungsvielfalt und der Autonomie. Da die Anforderungsvielfalt einer Aufgabe vor allem die empfundene Wichtigkeit der Arbeit beeinflusst (Ulich, 2011), werden Aufgaben mit geringer Vielfalt oft als standardisiert und monoton empfunden (Winkelhaus et al., 2022), was sich auch in den Ergebnissen dieser Studie widerspiegelt. Vor dem Hintergrund, dass geringe Autonomie zu höherer Abwesenheit und Fluktuation führt (Parker, 2014), könnten Veränderungen in diesem Bereich für die Attraktivität der Arbeit als Hub-Fahrer:in sinnvoll sein. Zusätzlich beeinflussen laut Theorie die Eigenschaften der Arbeit auch die psychologischen Zustände der Mitarbeitenden: Beispielsweise erhöht Autonomie die erlebte Verantwortung für die Arbeitsergebnisse (Hackman & Oldham, 1975). In der vorliegenden Stichprobe scheint sich jedoch die geringe Bewertung der Autonomie nicht negativ auf die erlebte Verantwortlichkeit auszuwirken. Dies könnte daran liegen, dass auch die individuellen Faktoren der arbeitenden Personen eine beeinflussende Rolle spielen (Bond et al., 2008; Fortunato & Stone-Romero, 2001; Hackman & Oldham, 1976). Menschen mit starkem Wachstumsbedürfnis reagieren beispielsweise laut Theorie positiv auf Arbeit, bei der die JDS-Bewertung der Kerneigenschaften hoch sind. Personen mit geringem Wachstumsbedürfnis, können solche Arbeit möglicherweise als unangenehm empfinden (Hackman & Oldham, 1975). Die genannten positiven und negativen Aspekte der Tätigkeiten (Tabelle 10.3, Tabelle 10.5), die Verbesserungsvorschläge (Anhang A), und die eher geringe Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten weisen jedoch darauf hin, dass durch eine Erhöhung der Autonomie und der Anforderungsvielfalt eine Verbesserung in der Bewertung der Tätigkeit zu erwarten ist. Neben der Autonomie und Anforderungsvielfalt bietet im deskriptiven Vergleich der einzelnen JDS-Skalen außerdem der Aspekt Rückmeldung der Aufgabe ebenfalls Potenzial die Tätigkeit weiter zu verbessern.

Auch die betrachteten Auswirkungen – die allgemeine Arbeitszufriedenheit und die Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten – liegen bei der Arbeit als Hub-Fahrer:in im Normbereich (Oldham et al., 1978). Im direkten Vergleich der einzelnen Skalen schneidet die Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten jedoch schlechter ab. Darüber hinaus ist anzumerken, dass die allgemeine Arbeitszufriedenheit im aktuellen Beruf der Stichprobe durchschnittlich über einen Skalenpunkt höher bewertet wird, als die erwartete Arbeitszufriedenheit bei der zukünftigen Arbeit als Hub-Fahrer:in.

Der befragten Stichprobe scheinen vor allem auch soziale Kontakte während der Arbeit wichtig zu sein (Tabelle 10.3 und Tabelle 10.4). Im Rahmen der JDS werden die sozialen Kontakte bei der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in im Vergleich mit den anderen Eigenschaften der Arbeit und im Rahmen der Norm gut bewertet. Verantwortung ist ebenfalls eine wichtige Eigenschaft von Arbeit für die Proband:innen (Tabelle 10.3). Die Ergebnisse der JDS zeigen auch hier eine vergleichsweise positive Bewertung im Normbereich (Tabelle 10.5). Trotzdem wird die erwartete Arbeitszufriedenheit in dieser Tätigkeit, die Erwünschtheit und Passung eher gering eingeschätzt. Daher liegt die Vermutung nahe, dass bei der Stichprobe das Bedürfnis nach Freiheit, selbstständigem Arbeiten und Abwechslung, wie sie es in ihrer aktuellen Tätigkeit vorfinden, überwiegt. Eine mögliche Schlussfolgerung ist daher, für die zukünftige Tätigkeit als Hub-Fahrer:in an den Aspekten Autonomie und Anforderungsvielfalt anzusetzen und somit die Entscheidungsfreiheit zu erhöhen und die erwartete Monotonie zu verringern. Als ein mögliches Beispiel könnten die Hub-Fahrer:innen die Reihenfolge der Ent- und Beladestellen auf dem Hub eigenständig planen und dabei auf ihre Erfahrungswerte zurückgreifen. Des Weiteren lassen die Ergebnisse dieser Studie auch die Schlussfolgerung zu, dass die ausgewählte Stichprobe (Personen mit Erfahrung als Berufskraftfahrer:in) aufgrund des verbreiteten Bedürfnisses nach Freiheit und Selbstständigkeit eher nicht als Hub-Fahrer:innen in Frage kommt. Darauf stellt sich jedoch die Frage, welche Personengruppe alternativ Interesse an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in haben könnte. Zukünftige Studien könnten vor diesem Hintergrund interne Werksfahrer:innen heranziehen, die heutzutage beispielsweise auf Hubs mit Traileryard-Konzepten die Rangierfahrzeuge steuern.

10.3.1 Limitationen

Die vorgestellte Studie unterliegt methodischen Limitationen, die bei der Interpretation der Ergebnisse berücksichtigt werden sollten. Zunächst ist zu erwähnen, dass es sich bei der Job Diagnostic Survey um ein subjektives Messinstrument handelt, das im Rahmen der Studie von potenziellen Inhabenden des zukünftigen Arbeitsplatzes ausgefüllt wurde. Dabei handelt es sich bei den Ergebnissen der JDS um die Wahrnehmung der befragten Stichprobe. Laut den Autoren sind die Ergebnisse der JDS jedoch kongruent mit der objektiven Realität (Hackman & Oldham, 1975). Darüberhinaus beantworteten die Teilnehmenden die JDS im Kontext der Anonymität und bewerteten in dieser Studie eine zukünftige Arbeitssituation. Unter diesen Rahmenbedingungen kann davon ausgegangen werden, dass die Proband:innen die JDS wahrheitsgemäß beantwortet haben (Hackman & Oldham, 1975). Der Aspekt, dass die Teilnehmenden in dieser Studie nicht ihre aktuelle Arbeitssituation bewertet haben, sondern sich mental in eine zukünftige Arbeitssituation hineinversetzten, ist bei der Interpretation der Ergebnisse ebenfalls zu berücksichtigen. Um den Teilnehmenden die zukünftige Arbeitssituation möglichst greifbar zu machen, wurde in der Studie auf die Methode des Storytelling und cognitive walk-through sowie auf den Einsatz eines Mock-Ups einer zukünftigen Lkw-Kabine zurückgegriffen. Dabei hörten die Teilnehmenden nicht nur die Beschreibung der Arbeit auf der Tonspur, sondern führten einzelne

Teilschritte der Arbeitsaufgabe an der Kabine selbst aus und konnten den zukünftigen Arbeitsalltag auf diese Weise erleben. Trotz dieser methodischen Umsetzung ist es möglich, dass sich die Proband:innen die zukünftige Arbeitssituation nur bedingt vorstellen konnten. Vor allem die Ergebnisse der kritischen psychologischen Zustände und der Auswirkungen sollten daher mit Vorsicht interpretiert werden. Nichtsdestotrotz bieten die Ergebnisse dieser Studie einen guten Anhaltspunkt für den ersten Eindruck der Stichprobe zur zukünftigen Tätigkeit als Hub-Fahrer:in und dafür, in welchen Aspekten der Arbeitsaufgabe das größte Verbesserungspotenzial im Vorfeld gesehen wird. Für die Interpretation der JDS wurden unter anderem Normwerte aus der Literatur herangezogen. Hierbei ist zu erwähnen, dass es sich dabei um Referenzwerte aus dem Jahr 1978 handelt. Es ist davon auszugehen, dass sich die Normwerte in vergleichbaren Berufen in der Zwischenzeit verändert haben. Im Logistikbereich wurden diese jedoch seither nicht erneuert.

Zusätzlich ist zu erwähnen, dass der Fokus dieser Studie auf der Arbeitsaufgabe selbst lag. Weitere Aspekte, die Arbeitszufriedenheit und Fluktuation beeinflussen, wie beispielsweise die Offenheit und soziale Dichte des Arbeitsplatzes (Fried et al., 2008; Szilagyi & Holland, 1980), konnten in dieser Studie nicht betrachtet werden. Das liegt daran, dass die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in in dieser Form heute noch nicht existiert und diese Aspekte somit schwer im Vorfeld untersucht werden können. Was jedoch im Vorfeld adressiert und bestmöglich geplant werden kann, ist die Gestaltung der Arbeitsaufgabe. Sobald die Rolle des oder der Hub-Fahrer:in eingeführt wird, können die genannten weiteren Faktoren sowie die konkreten Auswirkungen der Arbeitsgestaltung wie Produktivität, Fluktuation oder Abwesenheit genauer untersucht werden.

Abschließend ist zu erwähnen, dass die befragte Stichprobe die eigene Offenheit gegenüber Technik sehr hoch einschätzt und hier gegebenenfalls ein Selektionseffekt vorliegt. Die Bewertung des Berufs Hub-Fahrer:in als eher nicht wünschenswert und nicht passend für die Stichprobe könnte daher auch darauf zurückzuführen sein, dass der Beruf für die Stichprobe nicht technisch genug ausgelegt ist.

10.3.2 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die Bewertung der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in auf Basis der JDS und der verfügbaren Normwerte generell als akzeptabel einzuordnen ist. Das größte Verbesserungspotenzial liegt dabei im Bereich der Autonomie und in den Entfaltungsmöglichkeiten. Des Weiteren zeigen die Ergebnisse deutlich, dass die befragte Stichprobe (Personen mit Erfahrung als Berufskraftfahrer:in) eher nicht als zukünftige Hub-Fahrer:innen in Frage kommt. Davon ausgehend gilt es herauszufinden, wie die Arbeit als Hub-Fahrer:in weiter angepasst werden kann, um die Aspekte der Monotonie, fehlenden Herausforderung und Langeweile zu adressieren und den Beruf dadurch möglicherweise attraktiver für die betrachtete Stichprobe zu machen. Laut der Verbesserungsvorschläge der Teilnehmenden könnte dies u.a. durch weitere Verantwortung erreicht werden, indem die Hub-Fahrer:innen beispielsweise in die Tagesplanung eingebunden werden (Anhang A). In diesem Fall handelt es sich um Job Enrichment, da die Autonomie der Mitarbeitenden über die Planung und Ausführung ihrer eigenen Arbeit erhöht wird (Parker, 2014). Weitere Möglichkeiten zur Verbesserung der Tätigkeit stellen Job Rotation und Job Enlargement dar (DIN EN ISO 6385:2016). Job Rotation bezeichnet die Maßnahme, dass die Mitarbeitenden von einem Job zu einem anderen Job rotieren. Wie von einer Versuchsperson vorgeschlagen, könnte beispielsweise die Arbeit im Lager und die Arbeit

als Hub-Fahrer:in abgewechselt werden. Bei Job Enlargement werden die Arbeitsinhalte erweitert, indem einem Job neue Aufgaben hinzugefügt werden. Den Effekt dieser Maßnahmen im Kontext der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in gilt es in zukünftigen Studien zu untersuchen.

Angesichts der Tatsache, dass die befragte Stichprobe die Arbeit als Hub-Fahrer:in eher als unpassend empfindet, stellt sich die Frage, ob es eine andere Berufsgruppe gibt, für die diese Tätigkeit besser geeignet wäre. Dies bietet einen weiteren interessanten Ansatz für weitere Untersuchungen. Wie bereits erwähnt, könnte es sich bei Personen, die heutzutage Rangierfahrzeuge auf Hubs mit Traileryard-Konzepten steuern, um eine geeignetere Zielgruppe handeln. Auch das Be- und Entladepersonal auf den Hubs könnte gegebenenfalls für die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in in Frage kommen – wie bereits angesprochen auch im Kontext von Job Rotation, Enlargement oder Enrichement. Es ist daher empfehlenswert, auch diesen Ansatz in zukünftiger Forschung zu verfolgen und die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in anderen Zielgruppen vorzustellen und von diesen bewerten zu lassen.

Aus methodischer Sicht ist es für zukünftige Studien darüber hinaus empfehlenswert, die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in noch realistischer und detaillierter erlebbar zu machen, solange diese noch nicht tatsächlich eingeführt wurde. Hierfür würde es sich beispielsweise anbieten, die Arbeit im tatsächlichen Tagesgeschäft zu simulieren.

11 Evaluation der Tätigkeit als Be-/Entlader:in

Wie in Kapitel 9.2 dargestellt, spielt das Be- und Entladepersonal in den betrachteten Prozessen für automatisierte Lkw weiterhin eine wichtige Rolle. In Kapitel 2.5 wurde bereits thematisiert, dass sich der Arbeitskräftemangel zukünftig weiterhin zuspitzt und auch in der Logistik ein bekanntes Problem darstellt. Dadurch rückt, wie bereits in Kapitel 10 dargelegt, das Thema Arbeitszufriedenheit und Arbeitsumfeld immer weiter in den Fokus, um die Mitarbeitenden zu halten (Anandhi & Perumal, 2013; Min, 2007). Hierbei stellt die Gestaltung oder Umgestaltung von Arbeit und Arbeitsprozessen einen effektiven Ansatz dar, um unter anderem die Zufriedenheit der Mitarbeitenden zu steigern (Bhatia & Arora, 2021; Cousins et al., 2004; Min, 2007; Ongori, 2007). Im Rahmen einer solchen Umgestaltung gilt es daher diejenigen Eigenschaften der Arbeit zu identifizieren, die verändert werden können, um die Qualität zu verbessern (Daniels et al., 2017). Wie bereits ausgeführt, eignet sich das Job Characteristics Model und die zugehörige Job Diagnostic Survey (JDS; Hackman & Oldham, 1975; Schmidt et al., 1985) für eben diese Analysen. Im Kontext der Zufriedenheit spielt auch der empfundene Stress bei der Arbeit eine Rolle. Laut der Theorie von Siegrist et al. (1996) sollte der in die Arbeit investierte Aufwand mit den dafür erhaltenen Belohnungen in Relation stehen. Die Belohnung bezieht sich in diesem Sinne nicht nur auf das Gehalt, sondern beinhaltet auch Aufstiegsmöglichkeiten, Jobsicherheit, Anerkennung und Wertschätzung für die eigene Leistung. Ein Ungleichgewicht bei höherem Aufwand und geringer Belohnung kann zu stark negativen Gefühlen und Stressreaktionen führen, was sich wiederum negativ auf die Gesundheit der Mitarbeitenden auswirkt. Von einem Ungleichgewicht ist bei einem Aufwands-Belohnungsverhältnis von > 1 die Rede (Siegrist, 1996).

Im Folgenden soll vor diesem Hintergrund die Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen genauer betrachtet werden. Auf diese Weise kann Verbesserungspotenzial identifiziert und die zukünftige Arbeit im Kontext automatisierter Lkw für beide Prozesse (Kapitel 9.2) im Sinne der Ergonomie möglichst gut gestaltet werden (Daniels et al., 2017). Bezüglich des Aufwand-Belohnungs-Verhältnisses für das Be- und Entladepersonals liefert die Literatur keine ausreichende Grundlage, weder für ein Ungleichgewicht, noch für ein Gleichgewicht. Aufgrund der praktischen Relevanz wird die zugehörige Hypothese jedoch auf ein Ungleichgewicht ausgerichtet, da es im Hinblick auf die Gesundheit der Mitarbeitenden wichtiger, ein solches Ungleichgewicht zu identifizieren. Basierend auf der Definition wird das Personal in Prozess 2 eine größere Anzahl und Vielfalt an Tätigkeiten im Zusammenhang mit der Be- und Entladung ausführen als bisher. Aus diesem Grund wird erwartet, dass die Bewertung der Aufgabenvielfalt sowie auch die Bewertung der Ganzheit der Aufgabe im Vergleich zu Prozess 2 erhöht ist. Da sich auf Basis der Prozessdefinitionen und der Literatur für die verbleibenden Eigenschaften der Arbeit nach dem Job Characteristics Model keine eindeutigen Tendenzen ableiten lassen, sollen die diesbezüglichen Unterschiede zwischen Prozess 1 und Prozess 2 explorativ untersucht werden. Aus Gründen der Übersicht, werden die Fragestellungen und Hypothesen der vorliegenden Studie im Folgenden nochmals explizit aufgeführt.

- Fragestellung 1:** In welchen Aspekten der Arbeit liegt Optimierungspotenzial für die beiden betrachteten Prozesse?
- Explorative Untersuchung der Eigenschaften der Arbeit (JDS)
- H₁ Es besteht ein Ungleichgewicht zwischen Aufwand und Belohnung (Effort-Reward-Verhältnis > 1).
- Fragestellung 2:** Führen die zusätzlichen Aufgaben und die steigende Verantwortung in Prozess 2 zu einer Veränderung in der Bewertung der Tätigkeit?
- H₂: Die Anforderungsvielfalt in Prozess 1 ist geringer als in Prozess 2.
- H₃: Die Ganzheit der Aufgabe in Prozess 1 ist geringer als in Prozess 2.
- H₄: Die Bedeutsamkeit der Arbeit
- H₅: Die Autonomie
- H₆: Die Rückmeldung
- H₇: Die sozialen Kontakte
- H₈: Die generelle Arbeitszufriedenheit
- } unterscheidet sich zwischen
Prozess 1 und Prozess 2

11.1 Methode

Im Folgenden werden der Ablauf der Studie, die erfassten Variablen und die betrachtete Stichprobe genauer erläutert. Da die Tätigkeiten des Be- und Entladepersonals in Prozess 1 nahezu identisch mit der aktuellen Situation ist, wird für Prozess 1 die Bewertung der aktuellen Arbeitssituation herangezogen. Um die zukünftige Situation in Prozess 2 für die Teilnehmenden erlebbar zu machen, wurde erneut die Methode Storytelling in Kombination mit dem cognitive walk-through eingesetzt (vgl. Kapitel 10.1).

11.1.1 Ablauf der Studie

Die Studie setzt sich aus einem semi-strukturierten Interview und standardisierten Fragebögen zusammen. Um die Hürde der Anreise zu eliminieren, wurde die Studie bei den Teilnehmenden vor Ort in der Nähe des Arbeitsplatzes in einem separaten Raum durchgeführt. Die Studiendauer betrug jeweils ca. 45 Minuten, abhängig vom Antwortverhalten der Teilnehmenden. Der generelle Ablauf der Studie ist in Abbildung 11.1 visualisiert.

Zu Beginn der Studie wurden die Teilnehmenden mündlich und schriftlich über die Ziele und den Ablauf der Studie, sowie über die Datenverarbeitung informiert. Nach der Einwilligungserklärung wurden die demographischen Daten im Interview erhoben. Im nächsten Schritt wurde die Arbeitssituation bei der Be- und Entladung in Prozess 1 adressiert. Da sich diese auf Aufgabenebene nicht von der heutigen Arbeitssituation unterscheidet und die Ergebnisse somit übertragbar sind, bewerteten die Teilnehmenden in diesem Schritt ihre aktuelle Arbeitssituation mündlich und schriftlich. Darüber hinaus wurde außerdem die Rolle Hub-Fahrer:in adressiert, welche die Teilnehmenden mittels Storytelling und cognitive walk-through erlebten. Im darauffolgenden Abschnitt erlebten die Teilnehmenden ebenfalls durch diese Methode die zukünftige Situation der Be- und Entladung in Prozess 2 und bewerteten diese im Interview und anhand

eines Fragebogens. Zum Abschluss der Studie erhielten die Teilnehmenden eine monetäre Aufwandsentschädigung.

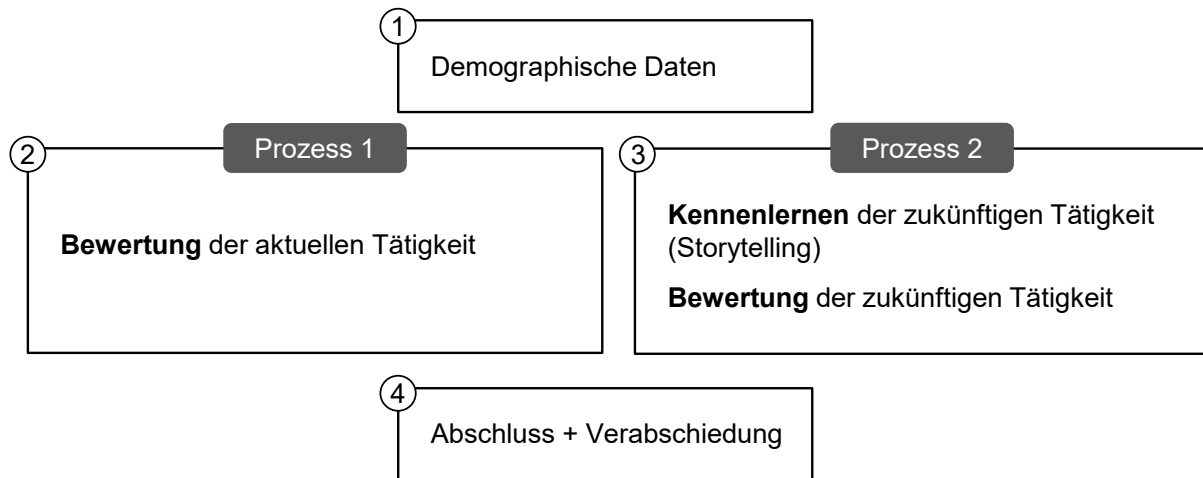


Abbildung 11.1: Ablauf der Studie

11.1.2 Erfasste Variablen

Prozess 1 (Lkw wird von Hub-Fahrer:in gesteuert): Im Interview wurden die Teilnehmenden nach den positiven und negativen Aspekten ihrer Arbeit sowie nach Verbesserungsvorschlägen und Änderungswünschen gefragt. Die Bewertung der Arbeit erfolgte durch die in Tabelle 11.1 aufgeführten Skalen der Job Diagnostic Survey (Schmidt et al., 1985). Als Referenz wurden erneut die Normwerte von Oldham et al. (1978; Tabelle 10.2) herangezogen.

Tabelle 11.1: Erfasste Skalen der Job Diagnostic Survey zur Bewertung der Arbeitssituation des Be-/Entlade-personals in Prozess 1 (Schmidt et al., 1985)

Eigenschaften der Arbeit	Psychologische Zustände	Auswirkungen
- Anforderungsvielfalt	- Erlebte Bedeutsamkeit der Aufgabe	- Allgemeine Arbeitszufriedenheit
- Ganzheit der Aufgabe	- Wissen um das Ergebnis der Aufgabe	- Zufriedenheit mit den Entfaltungsmöglichkeiten
- Bedeutsamkeit der Aufgabe	- Erlebte Verantwortlichkeit für die Aufgabe	- Zufriedenheit mit der Bezahlung
- Autonomie		- Zufriedenheit mit der Arbeitsplatzsicherheit
- Rückmeldung der Aufgabe		
- Soziale Kontakte		

Zusätzlich wurde der empfundene Stress bei der Arbeit durch die Kurzform des Effort-Reward Imbalance Questionnaires (Siegrist et al., 2009) erfasst und im Interview das Interesse der Teilnehmenden für die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in inklusive Begründung erhoben.

Prozess 2 (Lkw wird ferngesteuert): Im Interview erfolgte die Bewertung der Änderungen bei der Be- und Entladung durch das automatisierte Fahren auf dem Hub-Gelände. Die Teilnehmenden gaben an, ob und warum sie die entstehenden zusätzlichen Aufgaben zukünftig (nicht) gerne übernehmen würden. Auch mögliche Verbesserungsvorschläge für Prozess 2 wurden erfragt und die zukünftige Arbeitssituation schriftlich mit Hilfe ausgewählter Skalen der JDS (Schmidt et al., 1985) bewertet. Aufgrund der Umfangsbegrenzung der Studie wurden von den

in Tabelle 11.1 aufgeführten Skalen ausschließlich die 6 Eigenschaften der Arbeit und die allgemeine Arbeitszufriedenheit erfasst. Hierbei handelt es sich um die relevanten Skalen zur Beantwortung der Forschungsfragen und Testung der Hypothesen.

11.1.3 Analyse

Die Auswertung der Antworten aus den semi-strukturierten Interviews wurde mittels einer qualitativen Inhaltsanalyse (Mayring, 2000) durchgeführt. Der Vergleich der JDS Skalen zwischen Prozess 1 und Prozess 2 erfolgte durch die Software JASP. Hierfür wurde je Skala ein t-Test für gepaarte Stichproben durchgeführt. Bei Verletzung der vorausgesetzten Normalverteilung wurde alternativ ein Wilcoxon-Rangsummen-Test zur Prüfung der Unterschiede durchgeführt. Datensätze mit fehlenden Werten wurden für diese Tests ausgeschlossen.

11.1.4 Stichprobe

Die Zielgruppe dieser Studie umfasste deutschsprachige Personen, die auf unterschiedlichen Hubs mit den Be- und Entladetätigkeiten betraut sind. Die betrachteten Hubs mussten dabei folgende Voraussetzungen erfüllen: Anlieferung von Material durch Lkw, Teilentladung der Lkw an unterschiedlichen Positionen auf dem Gelände, Lkw und Auflieger bleiben dabei verbunden (kein Trailertausch), so wie Prozess 1 und 2 definiert sind. Insgesamt wurden $n = 50$ Interviews an 5 Standorten von 3 unterschiedlichen Unternehmen in Süddeutschland durchgeführt. Für die Analyse wurden jedoch ausschließlich $n = 45$ Datensätze berücksichtigt. Der Ausschluss der fünf Datensätze erfolgte aufgrund unzureichender Deutschkenntnisse einer Person sowie der Tatsache, dass vier Personen die Be- und Entladung ausschließlich koordinativ begleiten und die entsprechenden Tätigkeiten nicht selbst ausführen.

Unter den Teilnehmenden waren 43 männliche und 2 weibliche Personen. Das durchschnittliche Alter der Teilnehmenden betrug $M = 47.75$ Jahre ($SD = 11.053$ Jahre). Alle Befragten waren im Besitz eines Staplerführerscheins, 7 Personen hatten zusätzlich eine Lkw-Fahrerlaubnis. Bis auf eine Person konnten alle Teilnehmenden einen Schulabschluss vorweisen, der qualifizierende Hauptschulabschluss wird dabei am häufigsten angegeben ($n = 23$). Von den Teilnehmenden haben 82% im Anschluss eine oder mehrere Ausbildungen abgeschlossen. Die unterschiedlichen Ausbildungsbereiche sind in Abbildung 11.2 dargestellt.

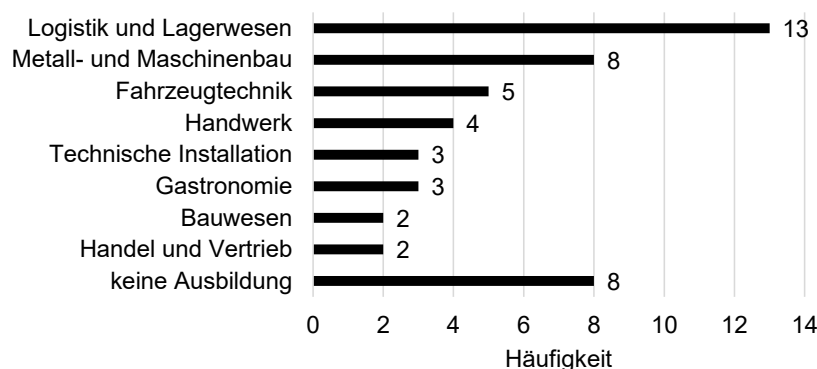


Abbildung 11.2: Ausbildungsbereiche der betrachteten Stichprobe ($n = 45$)

11.2 Ergebnisse

11.2.1 Prozess 1 (Lkw wird von Hub-Fahrer:in gesteuert)

Die Ergebnisse der JDS sind in Abbildung 11.3 dargestellt. Hervorzuheben ist, dass die Werte jeder Skala im oberen Normbereich liegen. Im Vergleich der einzelnen Skalen liegt die Bewertung der Anforderungsvielfalt sowie die Zufriedenheit mit der Bezahlung leicht zurück.

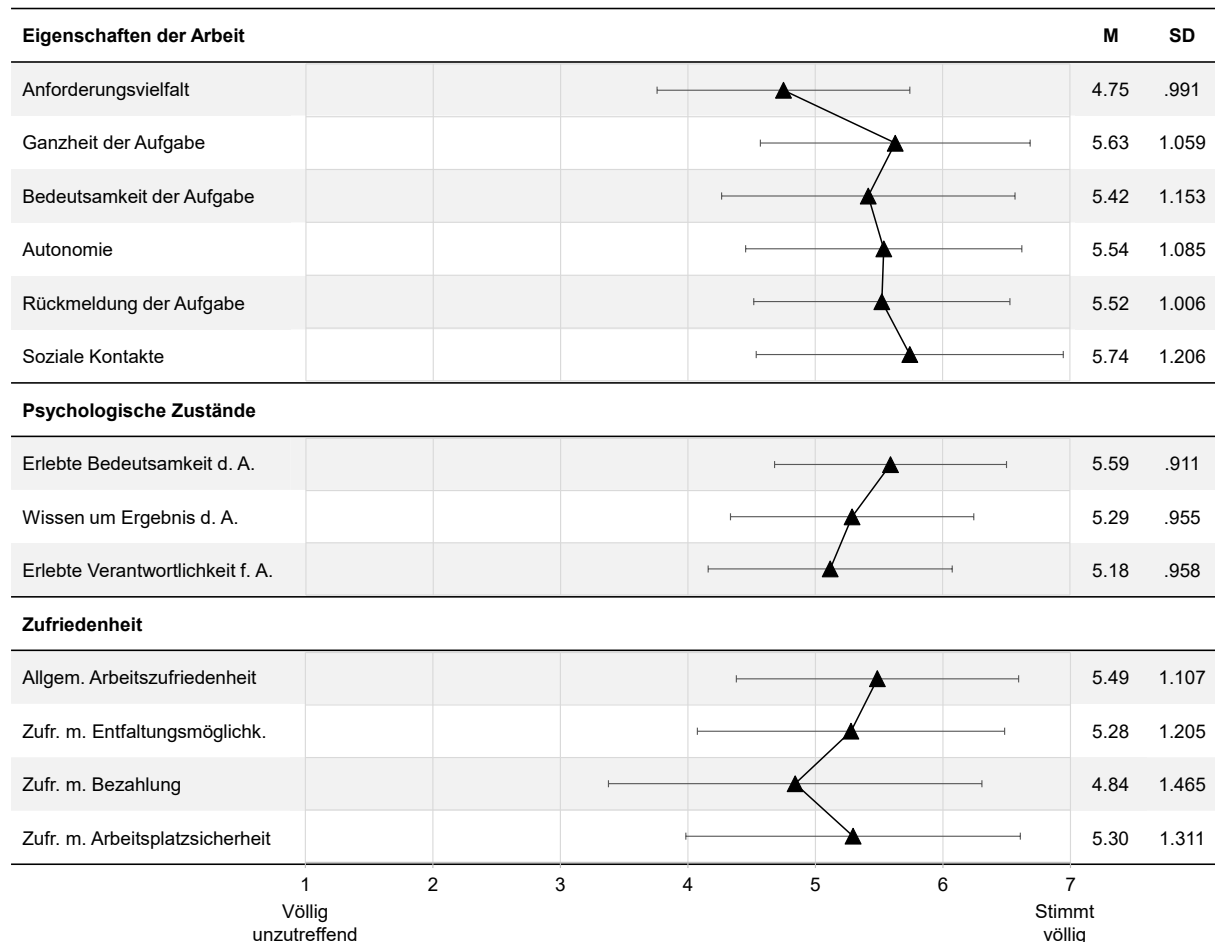


Abbildung 11.3: Ergebnisse der Job Diagnostic Survey für Prozess 1. Dreiecke = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen, $n = 44$.

Die Ergebnisse des Effort-Reward Imbalance Questionnaires zeigen im Mittel ein Aufwand-Belohnungs-Verhältnis > 1 (Abbildung 11.4). Dieses Ergebnis ist mit $t(43) = 3.139$, $p = .002$ signifikant. Somit liegt ein Ungleichgewicht zwischen Aufwand und Belohnung vor (Siegrist et al., 2009), welcher H_1 stützt.

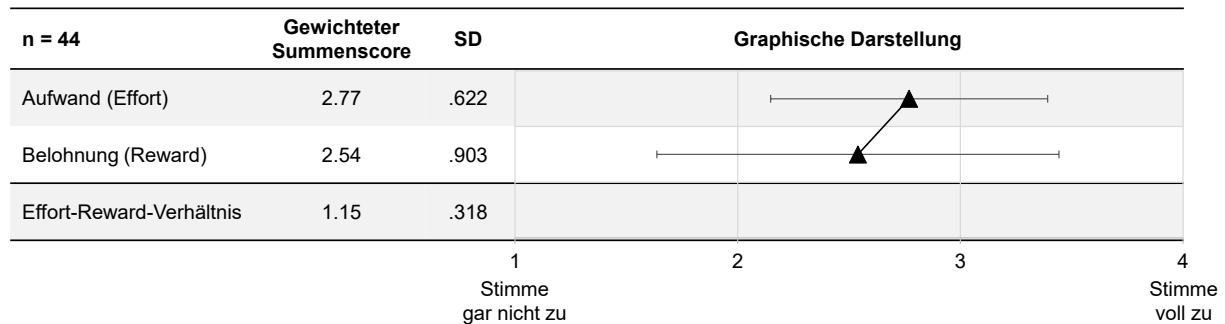


Abbildung 11.4: Ergebnisse des Effort-Reward-Imbalance Questionnaires. Dreiecke = Gewichteter Summenscore, Fehlerbalken = Standardabweichungen; n = 44

Als positive Aspekte der Arbeit als Be- und Entlader:in werden am häufigsten Eigenschaften der Arbeit an sich genannt (n = 29). Hierbei sticht vor allem das Abwechslungsreichtum hervor (n = 14), sowie die Zusammenarbeit mit Kolleg:innen und Fahrer:innen (n = 17). Auch die Freude an einzelnen Arbeitsaufgaben wie dem Staplerfahren (n = 8), oder die tagtäglichen Herausforderungen (n = 9) werden positiv bewertet. Nur ca. zwei Drittel der Befragten nennt überhaupt negative Aspekte. Dabei wird vor allem der schlechte Umgang untereinander (n = 11), der empfundene Zeitdruck (n = 6), sowie einzelne Aspekte der zur Verfügung gestellten Arbeitsmittel (n = 5) oder Umgebungsbedingungen (n = 7) kritisiert. Die genaue Übersicht der genannten positiven und negativen Aspekte der Arbeit ist in Tabelle 11.2 dargestellt.

Als Möglichkeit, die Arbeitssituation für die Be- und Entlader:innen zu verbessern, wird vor allem die korrekte Ladung der Lkw (n = 17) angesprochen, um das Sicherheitsrisiko beim Entladen zu senken und die Effizienz zu erhöhen. Des Weiteren bietet die interne Zusammenarbeit (n = 12) sowie der Umgang mit den Fahrer:innen (n = 6) Verbesserungspotenzial. Weitere Nennungen beziehen sich auf die Optimierung von Arbeitsmaterial (n = 8), Prozessabläufen (n = 8), Rahmen- (n = 7) und Umgebungsbedingungen (n = 6). Die Änderungswünsche der Teilnehmenden spiegeln diese Verbesserungsvorschläge größtenteils wieder, während ca. ein Drittel der Befragten angibt, keine Änderungswünsche zu haben. Bei den Restlichen steht vor allem der Wunsch nach einer besseren Zusammenarbeit (n = 11) durch mehr Teamgeist (n = 4) und Wertschätzung (n = 2), nach verbesserten Rahmenbedingungen (n = 10) durch mehr Gehalt (n = 3) und nach besserem Arbeitsmaterial (n = 8) im Vordergrund. Weitere Details sind Tabelle B.1 und Tabelle B.2 in Anhang B zu entnehmen.

Hub-Fahrer:in

An der zukünftigen Arbeit als Hub-Fahrer:in bekunden 53% der Befragten Interesse. Die Zahl steigt auf 60%, wenn die Arbeit als Hub-Fahrer:in in Abwechslung mit der Be- und Entladetätigkeit stattfinden kann. Das Interesse besteht vorrangig durch Aspekte der Arbeitsaufgabe selbst (n = 15), die damit einhergehende Weiterbildung (n = 12) und die daraus resultierende Prozessoptimierung (n = 4). Desinteresse wird vor allem in der Monotonie der Aufgabe begründet (n = 6). Bei Interesse an einem regelmäßigen Wechsel zwischen den Tätigkeiten wird die Abwechslung selbst als häufigster Grund genannt (n = 16). Die ausführlichen Ergebnistabellen hierzu sind in Anhang B (Tabelle B.3 und Tabelle B.4) aufgeführt.

Tabelle 11.2: Positive und negative Aspekte der aktuellen Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)

Positive Aspekte	Häufigkeit	Negative Aspekte	Häufigkeit
Eigenschaften der Arbeit	29	Keine negativen Aspekte (nichts)	15
Abwechslungsreichtum	14	Kollaboration	20
Eigenständiges Arbeiten	8	Schlechter Umgang untereinander	11
Leichte / angenehme Arbeit	3	Sprachbarriere zu Lkw-Fahrer:innen	8
Weitere Einzelnennungen	3	Schlechte Kommunikation	1
Kollaboration	27	Eigenschaften der Arbeit	14
Zusammenarbeit mit Menschen	17	Zeitdruck / Stress	6
Gutes Arbeitsklima	4	Sicherheitsrisiko durch Güter	2
Wertschätzung	3	Weitere Einzelnennungen	6
Wenig Kontakt zu Menschen	2	Umgebungsbedingungen	7
Gute Kommunikation	1	Unübersichtlicher Querverkehr	3
Spaß an der Aufgabe	13	Boden-Unebenheiten	2
Staplerfahren	8	Weitere Einzelnennungen	2
Spaß generell (unspezifisch)	3	Arbeitsmittel	5
Buchen und Scannen der Ladung	1	Stapler unzureichend gefedert	2
Herausforderungen	9	Alte / beschädigte Auflieger	2
Unspezifische Herausforderungen	3	Stapler mit Batterie-Störung	1
Probleme lösen	3	Rahmenbedingungen	4
Kognitiv	2	Schichtarbeit	2
Durch Rahmenbedingungen	1	Weitere Einzelnennungen	2
Sonstiges	11	Häufige Fehler	3
Generelles Gefallen der Arbeit	5	Mehraufwand durch Ladungsweise	2
Gefallen an der Logistik	2	Ladungssicherung unzureichend	1
Anwendung der Expertise	2	Sonstiges	2
Weitere Einzelnennungen	2		

11.2.2 Prozess 2 (Lkw wird ferngesteuert)

In Prozess 2 wird sich zukünftig auch auf dem Hub-Gelände keine Person mehr im Lkw befinden. Dadurch ändert sich der Aufgabenbereich des Be- und Entladepersonals. Die Ergebnisse der JDS beziehen sich auf die zukünftige Arbeitssituation sind in Abbildung 11.5 dargestellt. Auch hier liegen alle Werte im oberen Normbereich. Im Vergleich der Skalen untereinander liegt die Bewertung der sozialen Kontakte jedoch leicht zurück.

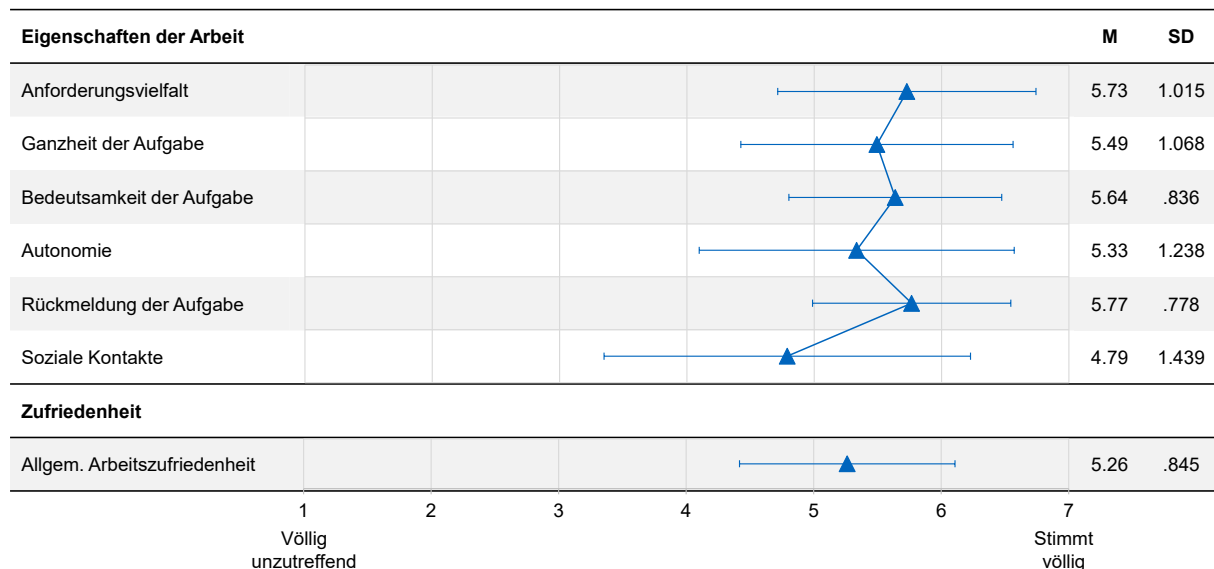


Abbildung 11.5: Ergebnisse der Job Diagnostic Survey für Prozess 2. Punkte = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen; n = 44

Im Interview werden die Veränderungen im Arbeitsablauf der Be- und Entlader:innen durch die Automatisierung der Lkw auf dem Hub-Gelände von 40% zunächst als negativ, von 24% als positiv und von 36% als neutral bewertet. Trotzdem geben 71% der Befragten an, dass Sie die zusätzlichen Aufgaben und Verantwortung zukünftig gerne übernehmen würden. Das Interesse liegt dabei vor allem in der Arbeitstätigkeit selbst (n = 22). Für 10 Personen ist die Übernahme der zusätzlichen Aufgaben jedoch an Bedingungen geknüpft, wie z. B. ausreichend Zeit zur Bearbeitung (n = 4) oder ein angepasstes Gehalt (n = 3). Ablehnung der zusätzlichen Aufgaben werden hauptsächlich mit den Rahmenbedingungen (n = 14), wie zusätzlichem Stress (n = 8) und der einhergehenden Verantwortung (n = 3) begründet. Auch die körperliche Belastung (n = 4) und der ständige Wechsel zwischen unterschiedlichen Aufgaben (n = 3) wird kritisch gesehen. Hervorzuheben ist darüber hinaus, dass insgesamt ca. 31% angeben, dass sie bereit wären, die Aufgaben als Teil ihrer beruflichen Pflichten zu übernehmen – unabhängig davon ob es ihnen gefällt oder nicht. Diese Einstellung spiegelt sich in dem häufigen Zitat „Das ist dann eben mein Job“ wieder. Die ausführliche Auflistung der genannten Gründe ist Tabelle B.5, Anhang B zu entnehmen.

Im Kontext der generellen Verbesserungsvorschläge für die Arbeitssituation in Prozess 2 wird von den Teilnehmenden häufig betont, dass insgesamt mehr Personal benötigt wird (n = 19) und ein Lkw im besten Fall von 2-3 Personen bearbeitet werden sollte (n = 11). Des Weiteren wird vorgeschlagen, dass die entstehenden Aufgaben einer zusätzlichen neuen Rolle zugeordnet werden könnten (n = 16): Indem zusätzliche Personen das Öffnen / Schließen der Auflieger übernehmen und als Expert:innen für die Ladungssicherung fungieren, bliebe die Arbeit für die Be- und Entlader:innen unverändert zu heute. Des Weiteren ist es laut den Befragten von Vorteil die Beladung der Lkw hinsichtlich Behälter, Sortierung und Reihenfolge zu standardisieren

(n = 12). Auflieger mit automatischer Öffnung der Plane könnten die körperlich schweren Tätigkeiten ersetzen (n = 3). Wichtig ist laut den Teilnehmenden auch, die Mitarbeitenden entsprechend zu schulen (n = 5) und weitere Funktionen durch das digitale System zu ermöglichen (n = 7). Punkte, die noch zu klären sind, umfassen die Haftungsfrage bei fehlender oder beschädigter Ware (n = 9), sowie die Versicherung von Personen auf Fremdeigentum (Auflieger; n = 5). Die detaillierten Verbesserungsvorschläge sind in Tabelle B.6 in Anhang B aufgelistet.

11.2.3 Vergleich Prozess 1 und Prozess 2

Die Veränderungen, die sich für das Be- und Entladepersonal durch die Automatisierung der Lkw auf dem Hub-Gelände in Prozess 2 ergeben, zeigen sich auch in den Ergebnissen der JDS (siehe Abbildung 11.6). Im Vergleich zu Prozess 1 steigt die Anforderungsvielfalt der Arbeit signifikant, während die sozialen Kontakte zur Bearbeitung der Arbeitsaufgabe signifikant sinken. Die weiteren erfassten Eigenschaften der Arbeit bleiben dabei unverändert. Auch die allgemeine Arbeitszufriedenheit unterscheidet sich zwischen den beiden Prozessen nicht. Diese Ergebnisse stützen somit die Hypothesen H_2 und H_7 , während H_{3-6} sowie H_8 auf Basis der Ergebnisse abzulehnen sind. Die Details der statistischen Tests sind Tabelle 11.3 zu entnehmen. Bei Personen, deren allgemeine Arbeitszufriedenheit zwischen den beiden Prozessen stark variiert (< -1 oder > 1), bestehen keine Regelmäßigkeiten in den Daten.

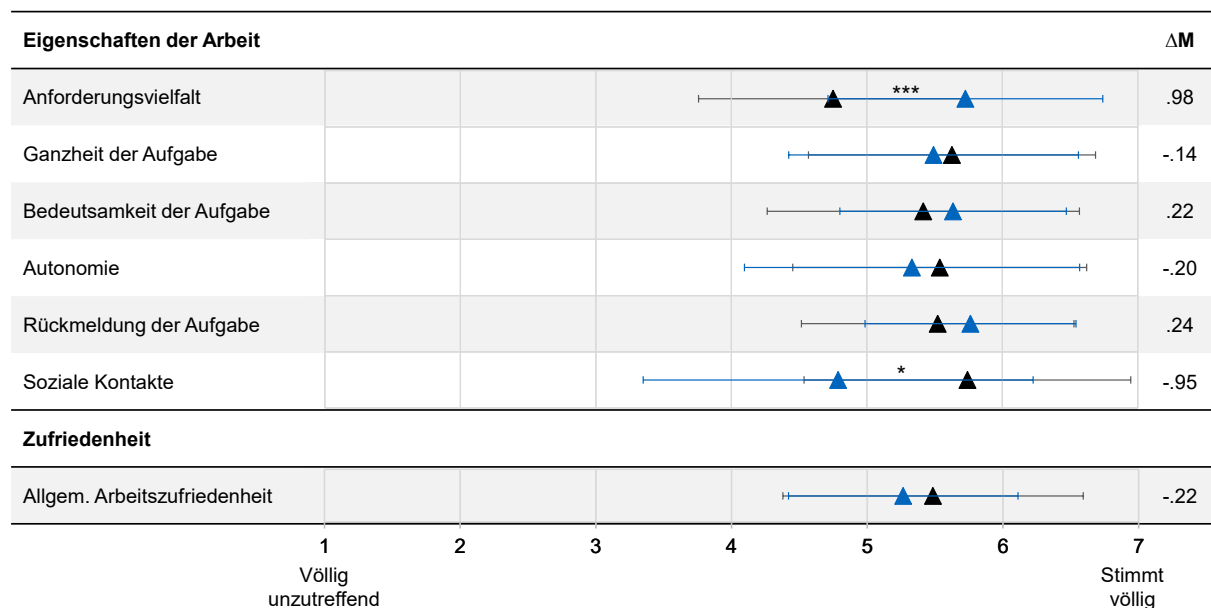


Abbildung 11.6: Vergleich der Ergebnisse der Job Diagnostic Survey von Prozess 1 und Prozess 2. Dreiecke = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen, schwarz = Prozess 1, blau = Prozess 2, ** $p < .001$, * $p < .05$; n = 44

Tabelle 11.3: Vergleiche der Ergebnisse der JDS-Skalen zwischen beiden Prozessen (n = 44)

Prozess 1 – Prozess 2	Test	Statistik	df	z	p	Effektstärke
Anforderungsvielfalt (H ₂)	t-Test	-5.474	43		<.001	-.825
Ganzheit der Aufgabe (H ₃)	t-Test	.945	43		.350	.142
Bedeutsamkeit der Aufgabe (H ₄)	t-Test	-1.588	43		.120	-.239
Autonomie (H ₅)	Wilcoxon	373.5		.958	.341	.186
Rückmeldung (H ₆)	Wilcoxon	206.0		-1.331	.185	-.266
Soziale Kontakte (H ₇)	Wilcoxon	444.0		2.921	.004	.583
Zufriedenheit (H ₈)	Wilcoxon	430.5		1.532	.127	.293

Anmerkungen. Vergleich im Sinne der aufgestellten Hypothesen, Effektstärke ist bei t-Test durch Cohen's d und bei Wilcoxon durch die MRBC (matched ranked biserial correlation) angegeben. Fettgedruckte p-Werte markieren signifikante Unterschiede bei $\alpha = .05$.

11.3 Diskussion

In beiden betrachteten Prozessen spielt die Arbeit des Be- und Entladepersonals auch im Kontext automatisierter Lkw weiterhin eine wichtige Rolle. Angesichts des sich zuspitzenden Arbeitskräftemangels (Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023) wurde diese Studie durchgeführt, um die Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen genauer zu beleuchten und Optimierungspotenzial zu identifizieren. Da der Lkw in Prozess 1 von sogenannten Hub-Fahrer:innen gesteuert wird und diese auch Aufgaben bei der Be- und Entladung übernehmen, bleibt die Tätigkeit des Be- und Entladepersonals in diesem Prozess zunächst unverändert zu heute. In Prozess 2 befindet sich keine fahrende Person mehr im Fahrzeug. In diesem Fall verändert sich die Tätigkeit des Be- und Entladens durch zusätzliche Aufgaben und Verantwortung. Auch dieser zukünftige Prozess wurde untersucht, um Verbesserungspotenzial aufzudecken und die Veränderungen zu quantifizieren und zu bewerten. Insgesamt waren n = 45 Personen von 3 unterschiedlichen Unternehmen an insgesamt 5 Standorten an der Studie beteiligt. Da nur 29% der Befragten eine Ausbildung im Logistiksektor abgeschlossen haben, handelt es sich bei den Be- und Entlader:innen hauptsächlich um Quereinsteigende.

Generell wird die Arbeitssituation sowohl in Prozess 1 als auch in Prozess 2 positiv bewertet: Die Einstufung der einzelnen Eigenschaften der Arbeit, die psychologischen Zustände und Auswirkungen, die durch die JDS erfasst wurden, liegen jeweils im oberen Normbereich, darunter auch die generelle Arbeitszufriedenheit. In Prozess 1 bietet die Anforderungsvielfalt vergleichsweise am meisten Optimierungspotenzial, liegt jedoch ebenfalls innerhalb der Norm und wird darüber hinaus in den qualitativen Daten häufig als positives Merkmal der Tätigkeit genannt. Prozess 2 setzt an diesem Aspekt weiter an: Durch die zusätzlichen Aufgaben und Verantwortung nimmt die Anforderungsvielfalt der Arbeitsaufgabe des Be- und Entladepersonals im Vergleich zu Prozess 1 signifikant zu, wie es in Hypothese H₂ erwartet wurde. Es ist anzunehmen, dass die signifikante Reduktion der sozialen Kontakte in Prozess 2 durch den entfallenden Kontakt zu Fahrer:innen entsteht. Dieses Ergebnis ist konform mit Hypothese H₇ und der Aspekt der sozialen Kontakte liefert damit das meiste Verbesserungspotenzial in Prozess 2. In den weiteren Eigenschaften der Arbeit sowie in der allgemeinen Arbeitszufriedenheit besteht zwischen

den beiden betrachteten Prozessen kein signifikanter Unterschied, was den restlichen aufgestellten Hypothesen widerspricht. Dass die Ganzheit der Aufgabe trotz der hinzukommenden zusätzlichen Tätigkeiten nicht erhöht bewertet wird (H_3), könnte darin begründet werden, dass das Be- und Entladepersonal auch die Arbeitsschritte der Fahrer:innen in der heutigen Situation täglich erlebt und der wahrgenommene Unterschied daher klein ist. Dass sich die generelle Arbeitszufriedenheit der Be- und Entlader:innen zwischen den beiden Prozessen nicht unterscheidet, während aber Unterschiede in der Anforderungsvielfalt und den sozialen Kontakten vorliegen, kann unterschiedliche Gründe haben. Eine mögliche Erklärung hierfür ist, dass diese beiden Eigenschaften der Arbeit bei der herangezogenen Stichprobe nicht relevant für die Arbeitszufriedenheit ist. Das Ergebnis könnte jedoch auch darauf zurückzuführen sein, dass sich die jeweiligen Effekte auf die Arbeitszufriedenheit gegenseitig ausgleichen oder durch individuelle Faktoren beeinflusst werden. Beispielsweise wird die erhöhte Anforderungsvielfalt in den qualitativen Daten teilweise als negativer Aspekt (häufiger Wechsel zwischen unterschiedlichen Aufgaben), teilweise auch als positiver Aspekt (Herausforderung) genannt, was für einen der zuletzt genannten Gründe sprechen könnte. Auf Basis der durchgeführten Analyse lässt sich die Frage nach dem Grund jedoch nicht final beantworten und sollte daher in zukünftigen Studien betrachtet werden. Die Ergebnisse zeigen jedoch, dass es mit dem Blick auf die Arbeitszufriedenheit des Be- und Entladepersonals keinen Unterschied macht, ob der Lkw auf dem Hub durch eine Person im Fahrzeug gesteuert wird oder nicht.

Des Weiteren zeigen die Ergebnisse dieser Studie ein Aufwands-Belohnungs-Ungleichgewicht auf (Siegrist et al., 2009), was für die Arbeitnehmenden ungünstig ist und zu erhöhtem Stress empfinden führen kann (Siegrist, 1996). Die qualitativen Ergebnisse dieser Studie bieten Ansätze, das Verhältnis zwischen Aufwand und Belohnung zu verbessern. Hierbei sollten negative Aspekte der Arbeit verringert und positive Aspekte verstärkt werden.

Generell wird vor allem das Abwechslungsreichtum der Arbeit bei der Be- und Entladung, die damit zusammenhängenden täglichen Herausforderungen und der Kontakt zu Menschen von den Teilnehmenden als positiv erlebt. Als negative Punkte werden hauptsächlich die Art des zwischenmenschlichen Umgangs, empfundener Stress und mangelhafte Arbeitsmittel genannt. Wie auch von den Teilnehmenden der Studie vorgeschlagen, könnte beispielsweise das interne Miteinander durch mehr Wertschätzung und Teamgeist den Belohnungs-Anteil stärken. Auch das Zur-Verfügung-Stellen von optimiertem Arbeitsmaterial wird häufig von den Teilnehmenden als Verbesserungsvorschlag genannt. Weitere Ansatzpunkte für ein besseres Aufwand-Belohnungs-Verhältnis bieten die von den Teilnehmenden vorgeschlagenen leistungsbezogenen Weiterentwicklungsmöglichkeiten, sowie Anpassungen der Rahmenbedingungen, beispielsweise die Erhöhung des Gehalts. Auf der anderen Seite kann das Aufwands-Belohnungs-Ungleichgewicht auch durch eine Reduzierung des Aufwands verringert werden. Laut den Teilnehmenden sollte die Ladungsweise der ankommenden Lkw hinsichtlich Ladungssicherung und Reihenfolge optimiert und dadurch Mehrarbeit vermieden werden. Auch die Anpassung der Umgebungsfaktoren auf dem Hub werden in diesem Zusammenhang häufig genannt. Die Begradigung der Bodenflächen und eine bessere Kennzeichnung expliziter Fahrwege würde beispielsweise die anspruchsvolle Aufgabe des Staplerfahrens erleichtern.

In Prozess 2 erreicht der Lkw die Be-/Entladeposition ohne fahrende Person im Innenraum. Dadurch entstehen für das Be- und Entladepersonal zusätzliche Aufgaben und Verantwortung (Kapitel 9.2.2). Diese Veränderungen werden von den Teilnehmenden zunächst von 40% als Verschlechterung bewertet. Trotzdem geben 71% der Befragten an, die zusätzlichen Aufgaben gerne übernehmen zu wollen, teilweise mit Bedingungen wie ausreichender Bearbeitungszeit und angepasstem Gehalt. Auffallend ist, dass ca. 31% der Befragten die zusätzlichen Aufgaben

emotionslos akzeptieren würden, da „das dann eben mein [ihr] Job“ ist. Hinsichtlich des aktuellen Aufwand-Belohnungs-Ungleichgewichts gilt es bei der Einführung von Prozess 2 zu beachten, dass die zusätzlichen Aufgaben und Verantwortungen zunächst eine Aufwandserhöhung darstellen und das Ungleichgewicht verstärken könnten. Daher ist es hier besonders wichtig, darauf zu achten dieses weiterhin auszugleichen. Vor allem die angepasste Bearbeitungszeit und Arbeit in Teams pro Lkw oder die Optimierung der Ladungsweise, wie von den Teilnehmenden vorgeschlagen, bieten hier wichtige Ansätze. Auch die genannten Gründe für die Ablehnung der neuen Aufgaben (zusätzlicher Stress, körperliche Anstrengung, ständiger Wechsel zwischen unterschiedlichen Aufgaben) bieten Ansatzpunkte für Maßnahmen zur Herstellung des Gleichgewichts zwischen Aufwand und Belohnung. Beispielsweise könnten durch technische Entwicklungen, wie Auflieger mit automatischer Öffnung der Plane, die körperliche Anstrengung und damit den Aufwand weiter reduzieren. Des Weiteren deutet die Literatur darauf hin, dass erhöhtes Wohlbefinden im Arbeitskontext am besten durch die Umgestaltung der Arbeit in Kombination mit Fortbildungen erreicht werden kann (Daniels et al., 2017). Dies ist im Einklang mit den Angaben der Stichprobe, dass für die in Prozess 2 anstehenden Veränderungen Schulungen gewünscht werden. Ein weiterer häufig genannter Vorschlag beinhaltet darüber hinaus eine andere Verteilung der Arbeitsaufgaben, als es in Prozess 2 vorgesehen ist, indem eine weitere Rolle eingeführt wird. Während das Be- und Entladepersonal für ihre aktuellen Aufgaben zuständig bleibt, sollte es zusätzliche Expert:innen für die Ladungssicherung und das Öffnen- und Schließen der Auflieger geben. Diese Möglichkeit und ihre Auswirkungen auf die Bewertung der Arbeitssituation sollte in zukünftigen Studien weiter exploriert werden.

Hinsichtlich der neuen Rolle Hub-Fahrer:in ist darüber hinaus zu erwähnen, dass sich ca. 53% vorstellen können, zukünftig als Hub-Fahrer:in zu arbeiten. Diese Zahl steigt auf 60%, wenn die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in mit der Be- und Entladetätigkeit abgewechselt werden kann. Während sich das Interesse von Lkw-Fahrer:innen an dieser Tätigkeit in der vorausgehenden Studie als gering erwies (Kapitel 10), stellt die Möglichkeit das Hub-Personal für diese Aufgabe auszubilden eine alternative Option dar.

11.3.1 Limitationen

Hinsichtlich der methodischen Limitationen, die bei der Interpretation der Ergebnisse dieser Studie zu berücksichtigen sind, ist zunächst zu erwähnen, dass es sich bei den betrachteten Prozessen um einen Vergleich zwischen dem aktuellen Ist-Zustand und einer zukünftigen Arbeitssituation handelt, in die sich die Befragten mental hineinversetzt haben. Um den Teilnehmenden die zukünftige Situation erlebbar zu machen, wurde auf die Methode des Storytellings in Kombination mit dem cognitive walk-through zurückgegriffen. Darüber hinaus sind die Aufgaben der zukünftigen Situation, die sich die Teilnehmenden vorstellen sollten, sehr nah an ihrer aktuellen Tätigkeit. Die Be- und Entlader:innen sind mit diesen Aufgaben vertraut, da sie täglich mit den Fahrer:innen zusammen arbeiten und deren Tätigkeiten täglich erleben. Des Weiteren sprechen auch die Ergebnisse der JDS (erhöhte Anforderungsvielfalt, verringerte soziale Kontakte) dafür, dass die Veränderungen der Arbeitsaufgabe in Prozess 2 erkannt wurden. Aus diesem Grund ist davon auszugehen, dass sich die Teilnehmenden die zukünftige Arbeitssituation in Prozess 2 sehr gut vorstellen konnten und die Ergebnisse somit einen validen Einblick in die aktuelle und zukünftige Arbeitssituation des Be- und Entladepersonals im Kontext automatisierter Lkw geben.

Die generellen Limitationen der JDS und der verwendeten Normwerte wurden bereits in Kapitel 10.3.1 ausgeführt. Diese sind für die vorliegende Studie ebenfalls gültig und werden daher an dieser Stelle nicht wiederholt. Weiterhin ist zu erwähnen, dass der Fokus dieser Studie ebenfalls auf der Arbeitsaufgabe selbst lag und konkrete Aussagen darüber abgeleitet werden konnten. Weitere Einflussfaktoren auf die Arbeitssituation und Fluktuation (z.B. Offenheit und soziale Dichte des Arbeitsplatzes) konnten im Rahmen der Studie für die zukünftige Situation nicht sinnvoll untersucht werden, da die Ausprägung dieser Rahmenbedingungen zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht bekannt sind. Auch weitere Auswirkungen der Arbeitsgestaltung auf Produktivität, Fleiß oder Abwesenheit wurden aufgrund des Fokus der Studie nicht betrachtet. Zukünftige Studien sollten diese jedoch adressieren, um ein ganzheitliches Verständnis zu schaffen. Weiterhin ist zu beachten, dass ein Teil der betrachteten Stichprobe voraussichtlich im Ruhestand sein wird, wenn automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr zum Einsatz kommen. Es gilt daher auch für die nachfolgende Generation herauszufinden, welche Aspekte für sie zur Attraktivität eines Berufs beitragen und ob sich diese von der untersuchten Stichprobe unterscheiden.

11.3.2 Zusammenfassung und Ausblick

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass die aktuelle Arbeitssituation von den Be- und Entlader:innen auf den Hubs grundsätzlich positiv bewertet wird. Die Zufriedenheit liegt im oberen Normbereich, obwohl ein Ungleichgewicht von Aufwand und Belohnung aufgedeckt wurde. Die Ergebnisse der Studie zeigen weiterhin, dass es für die Arbeitszufriedenheit des Be- und Entladepersonals keinen Unterschied macht, ob der Lkw mit oder ohne Fahrer:in an der Be- bzw. Entladestelle ankommt. Somit ist es auf Basis der Arbeitszufriedenheit des Be- und Entladepersonals beispielsweise nicht nötig, die Hub-Infrastruktur umfangreich anzupassen, um automatisiertes oder ferngesteuertes Fahren auf dem Hub-Gelände zu ermöglichen. Die Entscheidung, welcher Prozess auf den jeweiligen Hubs für automatisierte Lkw implementiert werden soll, kann auf Basis der vorliegenden Rahmenbedingungen getroffen werden. Bei beiden Prozessen gilt es außerdem, die Haftungsfrage bei fehlender oder beschädigter Ware, sowie die Versicherung der Mitarbeitenden bei der Nutzung von Fremdeigentum zu klären.

Um die Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen unabhängig vom implementierten Prozess weiter zu verbessern, bietet das soziale Miteinander einen vielversprechenden Ansatz: Mehr Wertschätzung und Teamgeist. Darüber hinaus sollte der empfundene Stress reduziert werden, um das Aufwands-Belohnungs-Verhältnis auszugleichen. Potenzielle Ansätze hierfür stellen beispielsweise die Erhöhung der Personalzahl oder die Optimierung der Prozesse dar. Die korrekte Sortierung der Güter bereits von Lieferanten verstärkt einzufordern wird sehr häufig genannt, da sie die Entladung erleichtert. Auch durch die Bereitstellung moderner Arbeitsmittel könnte der Belohnungsanteil der Arbeit erhöht werden. Vor allem, wenn die Be- und Entlader:innen zukünftig mehr Aufgaben und Verantwortung übernehmen, sollte auch das Gehalt entsprechend angepasst werden. Generell ist zu beachten, dass es sich bei der Schaffung einer angemessenen Arbeitssituation um einen fortlaufenden Prozess handelt. Es ist wichtig, regelmäßig Feedback einzuholen und die Bewertung kontinuierlich zu beobachten, einzelne Aspekte zu verbessern und an die Bedürfnisse der Mitarbeitenden anzupassen. In diesem Sinne bieten die Ergebnisse dieser Studie einen guten ersten Einblick in die Arbeitssituation des Be- und Entladepersonals, worauf nachfolgende Untersuchungen aufbauen können. Die Ergebnisse der JDS können darüber hinaus als Vergleichswerte genutzt werden.

12 Zusammenfassung und Diskussion

Ziel dieser Arbeit war es die Auswirkungen der Einführung automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr zu untersuchen, insbesondere mit dem Fokus auf die Warenein- und -ausgangsprozesse sowie die Umschlagvorgänge in diesem Zusammenhang. Angesichts der Tatsache, dass die einzelnen Aspekte des Arbeitssystems in komplexer Weise zu einander in Beziehung stehen und sich gegenseitig beeinflussen (Badke-Schaub et al., 2008), war zu erwarten, dass die Einführung automatisierter Lkw einige Änderungen mit sich bringt. Da eben diese Einführung noch in der Zukunft liegt, ist es sinnvoll, sich diesem Thema frühzeitig zu widmen und dadurch Vorkehrungen zu treffen, um die Abläufe und zugehörige Arbeit unter Berücksichtigung der Human Factors entsprechend anzupassen. Hierbei wird empfohlen, diejenigen Personen, die von Änderungen im Arbeitssystem direkt betroffen sind, in den Änderungsprozess mit einzubeziehen (Cherns, 1987; Daniels et al., 2017; DIN EN ISO 6385:2016). Diese Vorgehensweise wurde in dieser Dissertation angewendet. Somit standen hinsichtlich des Arbeitssystem-Modells von Schlick et al. (2018; Abbildung 2.2) die Veränderungen durch das Arbeitsmittel automatisierter Lkw auf die Aspekte Umwelteinflüsse, Arbeitsaufgabe und Arbeitspersonen im Fokus.

Die Analyse der aktuellen Tätigkeiten und Prozesse (Kapitel 5) zeigt, dass unterschiedliche Hubs unterschiedliche Voraussetzungen und Umgebungsbedingungen mit sich bringen. Diese Unterschiede liegen hauptsächlich in der bestehenden Infrastruktur, dem Grad an Digitalisierung, der Größe und Komplexität. Unter anderem aufgrund der erschwerten infrastrukturellen Bedingungen auf den Hubs (Kapitel 5), der geringen Bereitschaft der Hub-Betreibenden größere Änderungen an der Hub-Infrastruktur vorzunehmen (Inninger et al., 2018), sowie der Ergebnisse der Delphi-Studie (Kapitel 6) zum zukünftigen Logistikumfeld, wurde in dieser Dissertation das folgende Szenario tiefergehend betrachtet: Automatisiertes Fahren (SAE Level 4) ist im Hub-to-Hub-Verkehr nur auf der Strecke zwischen den Hubs möglich. Die Strecken auf dem Hub-Gelände werden dabei nicht von der ODD abgedeckt. Des Weiteren erfolgt der Gütertransport zwischen den Hubs sowohl durch automatisierte als auch durch manuelle Lkw, die Umschlagprozesse erfolgen weiterhin durch manuelle Arbeit.

12.1 Voraussetzungen für die Einführung automatisierter Lkw

Für das betrachtete Szenario wurden im Rahmen dieser Dissertation unterschiedliche Voraussetzungen identifiziert. Diese liegen zum einen auf Ebene der Automatisierungstechnologie und Digitalisierung, zum anderen in der Infrastruktur und der Prozessgestaltung auf den Hubs. Die Voraussetzungen sind in Tabelle 12.1 zusammengefasst. Bevor automatisierte Lkw im betrachteten Szenario in die bestehenden Hub-Prozesse integriert werden können, muss die grundlegende Technologie der automatisierten Fahrfunktionen für SAE Level 4 verfügbar sein und die ODD des Lkw die Strecke zwischen den Hubs abdecken. Des Weiteren müssen bis zum Eintreten des Szenarios die Fracht- und Zolldokumente digital verfügbar sein und auf den Hubs ein digitales System zur Registrierung und Koordination der Lkw existieren. Für die Koordination

wird eine entsprechende Schnittstelle zwischen System, Lkw und Personal auf dem Hub benötigt (Kapitel 6). Auf Prozessebene gilt es vor der Integration automatisierter Lkw die Haftungs- und Versicherungsfrage zu klären, sowohl bei fehlender oder beschädigter Ware, als auch bei der Nutzung oder Beschädigung von Fremdeigentum (Kapitel 8, 10 und 11). In diesem Kontext sollten genaue Vorgaben zur Dokumentation der einzelnen Vorgänge gemacht werden (Kapitel 11). Aufgrund des Mischverkehrs im betrachteten Szenario wird von Expert:innen empfohlen, dass die Vorgänge für automatisierte und manuelle Lkw gleich gehalten werden. Die Prozesse selbst setzen weiterhin Personal vor Ort voraus (Kapitel 8).

Tabelle 12.1: Generelle Voraussetzungen für die Integration automatisierter Lkw im betrachteten Szenario

Automatisierung	Digitalisierung	Hub-Infrastruktur	Prozesse
Verfügbarkeit automatisierte Fahrfunktionen (SAE Level 4)	Fracht und Zolldokumente sind digitalisiert	Ausreichend Fläche für Übergabe-Phase mit definierten Positionen für Lkw	Haftungs- und Versicherungsfragen geklärt
ODD deckt die Strecke zwischen den Hubs ab	Digitales System zur Anmeldung und Koordination der Lkw		Definierte Dokumentationsprozesse
	Schnittstelle zwischen System, Lkw und Personal		Gleiche Prozesse für manuelle und automatisierte Lkw
			Personal vor Ort

Neben diesen Voraussetzungen wurden darüber hinaus Faktoren identifiziert, die weitere Vorteile mit sich bringen, jedoch für das betrachtete Szenario als nicht essenziell eingestuft werden. Diese umfassen zum einen die digitale Vernetzung aller Akteure entlang der gesamten Logistikkette und die Ermöglichung einer flächendeckenden Nachverfolgung der Lkw (Tracking; Kapitel 6), zum anderen die Standardisierung von Transporten und Ladung (Kapitel 5 und 11), was weitere Vorteile beispielsweise hinsichtlich Effizienz mit sich bringen kann.

12.2 Einfluss automatisierter Lkw auf das Arbeitssystem

Im betrachteten Szenario bewirkt die Einführung automatisierter Lkw eine Anpassung der Umwelteinflüsse des Arbeitssystems im Sinne der Prozessgestaltung (Abbildung 2.6). Dies hat zur Folge, dass sich bestehende Arbeitsbereiche verändern und Arbeitspersonen sowie deren Arbeitsaufgaben beeinflusst werden. Die in dieser Dissertation identifizierten Entwicklungen stehen dabei im Einklang mit den Erwartungen auf Basis der Literatur (Dombrowski et al., 2014; Hirsch-Kreinsen, 2016; Wiendahl et al., 2014).

12.2.1 Umwelteinflüsse

Auf Basis des Szenarios wurden im Rahmen der Expert:innen-Workshops (Kapitel 8) insgesamt vier unterschiedliche Prozesse entwickelt, wie automatisierte Lkw in die Warenein-, Warenausgangs- und Umschlagprozesse integriert werden können. Jeder Prozess hat dabei unterschiedliche Voraussetzungen sowie Vor- und Nachteile (Kapitel 8.3.1), diese sind in Tabelle 12.2 visualisiert. Der Vergleich geht dabei von den betrachteten Hubs aus, bei denen Teil(ent)ladungen an unterschiedlichen Stellen erfolgen und aktuell Lkw und Aufbau währenddessen verbunden bleiben. So stellt die Umsetzung von Prozess 1 (Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird manuell gesteuert) am wenigsten Änderungsaufwand und Investitionsbedarf dar. Da für Prozess 2 die Infrastruktur für die Teleoperation geschaffen werden muss, erhöht sich der Aufwand und die Höhe der nötigen Investition. Für die Prozesse 3 und 4 muss der gesamte Ablauf auf Trailertausch umgestellt werden, was den Aufwand im Vergleich deutlich erhöht. In Prozess 3 umfasst die nötige Investition neben dem Umbau auch die Rangierfahrzeuge, in Prozess 4 wird zusätzlich die Teleoperationsinfrastruktur benötigt. Selbstverständlich ist dabei die Verfügbarkeit der Teleoperationstechnologie eine Voraussetzung. Für die Prozesse 3 und 4 ist die benötigte Fläche für den Trailertausch höher und es wird zusätzliches Personal für die Vorgänge des (Ent-)Koppelns benötigt. Der Wegfall der konventionellen Lkw-Fahrer:innen wird generell eine erhöhte Menge an internem Personal für jeden der vorgestellten Prozesse bewirken. Dieser erhöhte Personalaufwand ist somit die Mindestanforderung zur Integration automatisierter Lkw. Für die Erklärung der weiteren in Tabelle 12.2 abgebildeten Vor- und Nachteile der Prozesse wird auf das Kapitel 8.3.1 verwiesen.

Tabelle 12.2: Eigenschaften der entwickelten Prozesse zur Integration automatisierter Lkw

	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4
Aufwand (Prozessumstellung)	○	◐	●	●
Höhe der nötigen Investition	○	◐	◐	●
Benötigte Fläche	○	○	●	●
Benötigte Menge Personal	◐	◐	●	●
Anteil automatisiertes Fahren	○	○	●	●
Dauer Prozessdurchlauf	○	○	●	●
Dauer Lkw-Wartezeiten	●	●	○	○

Legende: ○ - gering ◐ - mäßig ● - hoch

Anmerkungen. Angaben sind relativ zu den anderen betrachteten Prozessen und aus dem Blickwinkel der Hubs, die aktuell ohne Trailertausch arbeiten. Prozess 1 = Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird manuell gesteuert. Prozess 2 = Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird ferngesteuert. Prozess 3 = Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird manuell gesteuert. Prozess 4 = Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird ferngesteuert.

Auf Grund der unterschiedlichen Voraussetzungen gilt es, die Entscheidung im gegebenen Hub individuell zu treffen, welcher der entwickelten Prozesse sich am besten für die Umsetzung eignet. Anhand der vorgestellten Prozesseigenschaften lassen sich jedoch drei zentrale Faktoren ableiten, die eben diese Entscheidung hauptsächlich beeinflussen: Verfügbare Investitionsmittel, die verfügbare Fläche auf dem Hub-Gelände und die Verfügbarkeit von Personal bzw. die Vorstellung davon, wieviel Personal im Prozess integriert sein soll. Je nach Ausprägung dieser

Faktoren können auf Basis dieser Dissertation Empfehlungen für einen oder mehrere Prozesse ausgesprochen werden. Die zugehörige Entscheidungshilfe ist in Tabelle 12.3 dargestellt. Die Interpretation dieser wird nachfolgend erläutert.

Tabelle 12.3: Entscheidungshilfe zur Prozessauswahl auf Basis der Hub-Voraussetzungen

Voraussetzungen Hub			Empfehlung
Investitionsmittel	Verfügbare Fläche	Benötigtes Personal	Prozess(e)
	 		1
			1 oder 2
			1 oder 2
			1, 2 oder 3
			1 oder 2
			1 oder 2
			1, 2, 3 oder 4

Legende:  - gering  - mäßig  - hoch

Anmerkungen. Angaben sind relativ zu den anderen betrachteten Prozessen und aus dem Blickwinkel der Hubs, die aktuell ohne Trailertausch arbeiten. Durch den Wegfall der konventionellen Lkw-Fahrer:innen ziehen alle entwickelten Prozesse die Mindestanforderung an eine leicht erhöhte Anzahl an internem Personal mit sich.

Ist die Bereitschaft eines Hubs, Investitionen in die Prozessanpassung zu tätigen gering oder sind nur wenig Investitionsmittel verfügbar, so wird die Umsetzung von Prozess 1 empfohlen, unabhängig davon, wie viel Fläche zur Verfügung steht. Besteht die Möglichkeit oder Bereitschaft etwas mehr in die Integration von automatisierten Lkw zu investieren (mäßig), muss abhängig von der verfügbaren Fläche entschieden werden. Bei wenig verfügbarer Fläche muss auf die Prozesse 1 und 2 zurückgegriffen werden. Ist ausreichend Fläche verfügbar (hoch), eignen sich die Prozesse 1 bis 3 für die Umsetzung. Allerdings ist hier zu beachten, dass Prozess 3 dabei vergleichsweise mehr Personal benötigt. Wenn insgesamt weniger Personal am Prozess beteiligt sein soll, sollte demnach auf die Prozesse 1 und 2 zurückgegriffen werden. Ist die Möglichkeit oder Bereitschaft zur Investition hoch, ist die Entscheidung ebenfalls abhängig von der verfügbaren Fläche. Bei viel Fläche kann aus allen Prozessen ausgewählt werden, soll dabei jedoch vergleichsweise wenig Personal involviert sein, sollte auf die Prozess 1 und 2 zurückgegriffen werden, ebenso bei wenig verfügbarer Fläche.

Stehen nach der Entscheidungshilfe mehrere Prozesse zur Auswahl, gilt es zusätzlich die weiteren Vor- und Nachteile, dargestellt in Tabelle 12.2 und Kapitel 8.3.1, und die Bereitschaft zur Veränderung der jeweiligen Hub-Betreibenden gegeneinander abzuwägen. Weiterhin zu beachten ist, dass sich der Fachkräftemangel in der Logistik weiter zuspitzen wird - bis zu dem Zeitpunkt, an dem automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr verfügbar sind, und darüber hinaus (Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023; Živković et al., 2021). Vor diesem Hintergrund sind gegebenenfalls diejenigen Prozesse angemessener, die insgesamt weniger Personal vorsehen. An dieser Stelle ist anzumerken, dass auf Basis der vorliegenden Arbeit keine Aussagen über die absoluten Anzahlen an Mitarbeitenden im Hub getroffen werden können. Die Angaben sind hier relativ zu den anderen betrachteten Prozessen zu sehen. Dadurch, dass die konventionellen

Lkw-Fahrer:innen zukünftig nicht mehr Teil des Arbeitssystems sind, werden bei den Prozessen 2, 3 und 4 zusätzliche Personen für die Be- und Entladung, in Prozess 1 zusätzliche Hub-Fahrer:innen benötigt. Bei den Prozessen 3 und 4 müssen zusätzlich Personen für die (Ent-)Kopplungsvorgänge von Lkw und Trailer eingesetzt werden, während bei den Prozessen 2 und 4 Personen für die Teleoperation zu berücksichtigen sind. Somit benötigen die Prozesse 1 und 2 voraussichtlich insgesamt weniger Personal.

Neben dem Aspekt der benötigten Menge an internen Mitarbeitenden ist darüber hinaus zu berücksichtigen, dass es sich bei dem betrachteten Szenario um ein Szenario für die Einführung automatisierter Lkw handelt, und damit auf den Zeitraum begrenzt ist, in dem automatisiertes Fahren auf dem Hub-Gelände noch nicht möglich und der Anteil automatisierter Lkw noch eher gering ist. Langfristig ist jedoch davon auszugehen, dass dieser Anteil weiter wächst (Simpson et al., 2019) und die ODD letztendlich auch die Strecken auf dem Hub mit abdecken wird. Letzteres kann, wie zuvor bereits erwähnt, einerseits durch die Weiterentwicklung der automatisierten Fahrfunktionen, andererseits jedoch auch durch Anpassungsmaßnahmen in der Hub-Infrastruktur erreicht werden. Die langfristige Vision für den Hub sollte daher ebenfalls bei der Auswahl der entwickelten Prozesse berücksichtigt werden, damit die Prozesslösung für das betrachtete Szenario nicht mit dem langfristigen Ziel in Konflikt steht. Es gilt somit zu definieren, ob der Lkw langfristig Teil der in-Hub-Prozesse sein soll oder nicht. Laut Inninger et al. (2018) ergeben sich die größten wirtschaftlichen Vorteile, wenn die Lkw auf dem Betriebsgelände automatisiert fahren. Jedoch haben auch Prozesse mit Trailertausch unterschiedliche Vorteile, die es zu berücksichtigen gilt (Dashkovskiy & Suttner, 2017).

12.2.2 Arbeitspersonen und Arbeitsaufgaben

Je nachdem, welcher Prozess zur Integration automatisierter Lkw umgesetzt wird, ergeben sich unterschiedliche Auswirkungen für das Hub-Personal und die zugehörige Arbeit. Eine Übersicht über die Veränderungen hinsichtlich der beteiligten Rollen ist in Tabelle 12.4 aufgeführt.

Tabelle 12.4: Beteiligte Rollen an den Prozessen

	Prozess 1	Prozess 2	Prozess 3	Prozess 4
Bestehende Rollen				
Be- und Entladepersonal	●	●	●	●
- Erweiterte Tätigkeit	○	●	●	●
Neue Rollen				
Hub-Fahrer:in Lkw	●	○	○	○
Hub-Fahrer:in Rangierfahrzeug	○	○	●	○
Teleoperator:in	○	●	○	●
Kopplungspersonal	○	○	●	●
Legende: ○ - nicht Teil des Prozesses ● - Teil des Prozesses				

Anmerkungen. Prozess 1 = Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird manuell gesteuert. Prozess 2 = Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird ferngesteuert. Prozess 3 = Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird manuell gesteuert. Prozess 4 = Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird ferngesteuert.

Die Analyse des Arbeitssystems verdeutlicht, dass insbesondere das Be- und Entladepersonal im betrachteten Szenario eine zentrale Rolle spielt und in jedem der entwickelten Prozesse integriert ist. Jedoch unterscheidet sich jeweils der Zuständigkeits- und Verantwortungsbereich. Dieser ist bei den Prozessen 2 – 4 erweitert, da sich in diesen Fällen entweder keine zusätzliche Person physisch im Fahrzeug befindet oder diese nicht in die Be- und Entladevorgänge eingebunden ist. Zusätzlich müssen je nach Prozess unterschiedliche neue Rollen in die Hub-internen Vorgänge eingeführt werden. Diese umfassen Hub-Fahrer:innen für die Lkw oder Rangierfahrzeuge, Teleoperator:innen und Personal, das für die Kopplungsvorgänge beim Trailertausch verantwortlich ist.

Im Rahmen dieser Dissertation wurden die zugehörigen Arbeitsaufgaben der jeweiligen Arbeitspersonen in den Prozessen 1 und 2 näher analysiert und Optimierungspotenzial identifiziert. Der Fokus auf diese Prozesse ergab sich sowohl aus Gründen des Umfangs als auch aufgrund der Tatsache, dass die Bereitschaft der Hub-Betreibenden für grundlegende Änderungen in Infrastruktur und Abläufen der Hubs eingeschränkt ist. Darüber hinaus wurde der Fokus auf diejenigen Personen gelegt, die vor Ort in direktem Kontakt mit den automatisierten Lkw stehen. Da die Tätigkeit der Teleoperator:innen nach SAE International (2021) ein eigenes großes Forschungsgebiet mit vielen offenen Fragen in Bezug auf Ausbildung, Arbeitsplatzgestaltung, Teleoperationsmethoden und technische Infrastruktur darstellt (siehe Bundesanstalt für Straßenwesen, 2024; Deckers et al., 2021), wurde dieses Thema im Rahmen dieser Dissertation nicht näher behandelt.

Be- und Entladepersonal

Die Ergebnisse der Arbeitsanalyse des Be- und Entladepersonals (Kapitel 11) zeigen, dass die Arbeit sowohl im aktuellen Prozess als auch im Kontext automatisierter Lkw (Prozess 1 und 2) sehr positiv bewertet wird und die Mitarbeitenden generell mit der Tätigkeit zufrieden sind. Daher sind beide Prozesse aus dem Blickwinkel der Arbeitszufriedenheit des Be- und Entladepersonals gleichermaßen geeignet, sodass die Entscheidung, welcher Prozess in einem Hub integriert werden soll, unabhängig davon getroffen werden kann.

In Prozess 1 wurde das größte Optimierungspotenzial im Bereich der Anforderungsvielfalt identifiziert. Die Einführung von Prozess 2 bewirkt dabei eine Erhöhung eben dieser Komponente. Obwohl die Arbeitszufriedenheit dabei unverändert hoch bleibt, stellt sich bei Betrachtung der qualitativen Daten die Frage, ob die erhöhte Anforderungsvielfalt gegebenenfalls für einige Mitarbeitende zu hoch sein könnte. Ein häufiger Vorschlag der Befragten umfasst eine weitere Aufteilung und Trennung der Tätigkeiten in zwei Rollen: Das Be- und Entladepersonal und Personal, das ausschließlich für die Ladungssicherung und das Öffnen und Schließen der Auflieger zuständig ist. Diese Gruppierung der Arbeitsaufgaben sollte vor der Einführung automatisierter Lkw und der Prozessumstellung nochmals geprüft werden (Parker, 2014). Darüber hinaus bringt Prozess 2 eine Reduktion der benötigten sozialen Kontakte zur Ausführung der Arbeitsaufgabe mit sich. Dieser Aspekt bietet somit einen weiteren Ansatzpunkt für die Optimierung der Arbeit, welcher auch in Form des Wunschs nach Bearbeitung der Lkws in Teams von den Be- und Entlader:innen zum Ausdruck gebracht wird.

Weiterhin ist zu empfehlen das aufgedeckte Aufwands-Belohnungs-Ungleichgewicht des Be- und Entladepersonals im Blick zu behalten. Dies gilt vor allem bei der Integration von Prozess 2, da durch die zusätzlichen Arbeitsaufgaben und Verantwortung die Belastung für die Mitarbeitenden zunächst zunimmt. Wie bereits in Kapitel 11.3 diskutiert liegen die Möglichkeiten dieses Verhältnis auszugleichen auf der Seite des Aufwands beispielsweise in der Standardisierung

der Lkw-Ladung oder der Optimierung der Umgebungsbedingungen. Auf der Belohnungsseite bietet beispielsweise die Zusammenarbeit in Teams und die Erhöhung von Wertschätzung Potenzial dieses Ungleichgewicht auszugleichen.

Auch wenn in dieser Dissertation ausschließlich die Arbeitssituation des Be- und Entladepersonals im Kontext der Prozesse 1 und 2 analysiert wurde, ist davon auszugehen, dass sich die Ergebnisse auch auf die Prozesse mit Trailertausch (3 und 4) übertragen lassen, da sich die Tätigkeiten, wie in Tabelle 8.2 dargestellt, zwischen den Prozessen 2 – 4 nicht unterscheiden.

Hub-Fahrer:in

Bei der Rolle Hub-Fahrer:in für Lkw handelt es sich um eine zukünftige Tätigkeit, die heute noch nicht existiert und ausschließlich in Prozess 1 integriert ist. Die Arbeitsanalyse (Kapitel 10) zeigt, dass die Eigenschaften dieser Arbeit alle im Normbereich liegen und die Gestaltung der Arbeitsaufgabe somit als geeignet mit Potenzial zur Verbesserung einzustufen ist. Das Optimierungspotenzial liegt hier vor allem in den Aspekten der Anforderungsvielfalt und Autonomie, um die bemängelte Monotonie und fehlende Entscheidungsfreiheit auszugleichen. Ansatzpunkte bieten an dieser Stelle Maßnahmen wie Job Rotation oder Job Enlargement (DIN EN ISO 6385:2016).

Die Ergebnisse dieser Dissertation weisen des Weiteren darauf hin, dass die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in zukünftig nicht von der Berufsgruppe der Lkw-Fahrer:innen abgedeckt wird, da sich ihre Anforderungen an die Tätigkeiten von der der Hub-Fahrer:innen unterscheiden und diese dadurch größtenteils als unpassend zur eigenen Person eingestuft wird. Als eine alternative Personengruppe kommt jedoch das Be- und Entladepersonal für die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in in Frage. Genauer bietet hier die Maßnahme Job Rotation großes Potenzial, indem die Be- und Entlader:innen die Tätigkeiten der Be- und Entladung und die Tätigkeiten als Hub-Fahrer:in tage- oder wochenweise abwechseln. Diese Umsetzung ist vielversprechend, um die in Kapitel 10 aufgedeckte geringe Anforderungsvielfalt und gegebenenfalls das Autonomieempfinden zu erhöhen (Parker, 2014). Für dieses Modell der Job Rotation bekunden 60% der befragten Be- und Entlader:innen Interesse. Die Motivation wird dabei passend in der resultierenden Abwechslung begründet. Somit stellt es eine valide Option dar, das Be- und Entladepersonal auch in die Tätigkeiten der Hub-Fahrer:innen zu integrieren, und sollte in zukünftigen Studien tiefergehend untersucht werden. An dieser Stelle ist anzumerken, dass die Bewertung der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in im Sinne der JDS mit einer Stichprobe an Lkw-Fahrer:innen durchgeführt wurde. In der Studie mit dem Be- und Entladepersonal wurde ausschließlich das Interesse an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in erfasst. Da die Bewertung einer Tätigkeit auch mit den individuellen Faktoren einer Person oder Personengruppe zusammenhängt, lohnt es sich, die Ergebnisse der JDS mit einer Stichprobe von Be- und Entlader:innen zu überprüfen.

In Bezug auf die Theorie birgt die Einführung neuer Technologie, insbesondere Automatisierung, das Risiko, dass die verbleibenden Aufgaben fragmentiert und durch die verringerte Anforderungsvielfalt als monoton erlebt werden (Tegtmeier et al., 2022; Winkelhaus et al., 2022). Eben dieser Effekt ist im Rahmen der Evaluation der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in mit den Lkw-Fahrer:innen zu beobachten. Obwohl die Tätigkeiten der Lkw-Fahrer:innen auf dem Hub-Gelände in der zukünftigen Rolle gleich bleiben, entfällt aus Sicht der Lkw-Fahrer:innen der größte Teil ihrer aktuellen Aufgabe: Das Fahren zwischen den Hubs. Die Tätigkeit als Hub-Fahrer:in wurde dementsprechend als monoton und langweilig bewertet. Dadurch, dass das Be- und Entladepersonal in Form der Job Rotation die Tätigkeiten der Hub-Fahrer:innen übernimmt und somit keine Fragmentierung erfolgt, kann dieses Problem möglicherweise umgangen werden.

Weitere Arbeitspersonen

In dieser Dissertation wurden die Arbeitspersonen und -aufgaben in Prozess 3 und 4 aus den bereits genannten Gründen nicht näher betrachtet. Für die Entscheidung für oder gegen einen der entwickelten Prozesse sollten die Auswirkungen auf die Fahrer:innen der Rangierfahrzeuge und auf das Personal für die (Ent)Kopplung der Lkw jedoch ebenfalls untersucht und berücksichtigt werden. In diesem Kontext lohnt es sich gegebenenfalls eine Analyse auf Hubs, deren Prozesse bereits heute auf den Trailertausch ausgelegt sind, durchzuführen, um Optimierungspotenzial zu identifizieren und Maßnahmen für die unterschiedlichen Arbeitspersonen und -aufgaben abzuleiten.

12.3 Übertragbarkeit der Ergebnisse

Im Rahmen dieser Dissertation wurde die Auswirkung automatisierter Lkw für ein Szenario im innerdeutschen Verkehr untersucht. Darüber hinaus standen Hubs im Fokus, bei denen die Lkw an unterschiedlichen Be- und Entladestellen teilent- bzw. -beladen werden und aktuell kein Trailertausch stattfindet. Durch die graduelle Einführung automatisierter Lkw in die Prozesse dieser Hubs entsteht im betrachteten Szenario ein Mischverkehr durch die Anlieferung mit manuellen sowie automatisierten Lkw. Nach Einschätzung der befragten Logistik-Expert:innen ist es wichtig, dass es hierbei nur einen gültigen Prozess für die Warenein- und -ausgangsprozesse sowie die Umschlagprozesse gibt, der sowohl für manuelle als auch automatisierte Lkw gilt und anwendbar ist. Hubs haben somit die Wahl, die Art der bestehenden Prozesse beizubehalten oder auf Prozesse mit Trailertausch umzustellen – abhängig von den Möglichkeiten der jeweils gegebenen Voraussetzungen. Hiervon ausgehend stellt sich die Frage, inwiefern die Ergebnisse zum Einfluss automatisierter Lkw auch auf andere Arten von Hubs, bzw. auf andere Szenarien und somit auf weitere Arbeitssysteme übertragbar sind. Dies wird im Folgenden diskutiert. Die Limitationen der einzelnen Studien werden dabei an dieser Stelle nicht mehr aufgegriffen, da sie bereits in den jeweiligen Diskussionskapiteln adressiert wurden.

Hubs, die aktuell bereits mit Trailertausch arbeiten, waren nicht Fokus dieser Arbeit. Jedoch ist davon auszugehen, dass die entwickelten Prozesse zur Integration automatisierter Lkw auch in diesen Hubs angewendet werden können. Durch die veränderte Ausgangssituation entsteht jedoch eine veränderte Entscheidungsgrundlage dafür, welcher der vier Prozesse am besten für den jeweiligen Hub geeignet ist (vgl. Tabelle 12.2 und Tabelle 12.3). Dadurch, dass bei den Hubs bereits ein Prozess mit Trailertausch implementiert ist, ist der Aufwand folglich bei der Umstellung auf Prozesse ohne Trailertausch vergleichsweise höher. Es kann auch davon ausgegangen werden, dass die erforderliche Investition und das zusätzlich benötigte Personal bei den Prozessen 3 und 4 geringer ausfallen, da die benötigten Rangierfahrzeuge inklusive der Fahrer:innen in der Regel bereits vorhanden sind. Die geringsten Veränderungen durch automatisierte Lkw werden in diesem Kontext bei der Implementation von Prozess 3 erwartet, da wie bereits in Kapitel 8 dargestellt, die Lkw und somit auch die Lkw-Fahrer:innen nicht in die internen Umschlagprozesse eingebunden sind. Die Automatisierung der Lkw hat dabei ausschließlich einen Einfluss auf das Arbeitssystem im Kontext der (Ent-)Kopplungsvorgänge. Über dieses spezifische Arbeitssystem kann auf Basis dieser Dissertation jedoch keine Aussage getroffen werden und es sollte daher Gegenstand zukünftiger Untersuchungen sein.

Ein weiteres vom Fokus dieser Dissertation abweichendes Szenario bezeichnet die Situation, dass automatisiertes Fahren auch auf dem Hub-Gelände möglich ist und die ODD der Lkw und

Rangierfahrzeuge somit die relevanten Strecken auf dem Hub abdeckt. In diesem Fall haben Hub-Betreibende weiterhin die beiden Möglichkeiten, einen Prozess mit oder ohne Trailertausch zu implementieren. In diesem Fall sind die entwickelten Prozesse 2 und 4 insofern übertragbar, indem die geplante Teleoperation durch automatisierte Fahrt ersetzt wird und die Rolle Teleoperator:in in dieser Form nicht mehr Teil des Arbeitssystems ist. Der Aspekt, dass sich in diesem Szenario keine Person mehr im Lkw oder Rangierfahrzeug befindet, ist ausschlaggebend dafür, dass sich der Tätigkeits- und Verantwortungsbereich des Be- und Entladepersonals erweitert. Somit können auch die Ergebnisse der Arbeitsanalyse zu Prozess 2 auf dieses Szenario übertragen werden. Offene Fragen beinhaltet jedoch ebenfalls das Arbeitssystem der Kopplungsvorgänge in Prozess 4. Darüber hinaus gilt es zu beachten, dass dieses Szenario gegebenenfalls noch weiter in der Zukunft liegt und sich somit die Rahmenbedingungen des Logistikumfelds weiter verändern können.

Ein weiterer Aspekt, der im Rahmen dieser Dissertation nicht adressiert wurde, ist die Frage, ob im Vergleich zur betrachteten graduellen Einführung automatisierter Lkw und dem damit entstehenden Mischverkehr auf den Hubs, eine sofortige, vollständige Umstellung eines Hubs auf automatisierte Lkw vorteilhafter wäre. In diesem Sinne lohnt es sich zu untersuchen, ob der Neubau von Hubs, auf denen zukünftig ausschließlich automatisierte Lkw an- und abliefern, sinnvoll ist.

12.4 Ausblick

Die vorliegende Arbeit befasst sich mit der Konzeption der Änderungen des Arbeitssystems im Hub-to-Hub-Verkehr durch die Einführung automatisierter Lkw. Neben diesem Schritt umfasst die Gestaltung bzw. Umgestaltung eines Arbeitssystems weitere Phasen eines iterativen Prozesses über den gesamten Lebenszyklus: Die Entwicklung, Umsetzung, Ausführung, Nutzung, Instandhaltung, Unterstützung der Nutzer:innen sowie die Außerbetriebnahme (DIN EN ISO 6385:2016). Die vorgestellten Ergebnisse bilden die Basis, auf die es in zukünftigen Arbeiten aufzubauen gilt, um das Arbeitssystem konkret weiterzuentwickeln und letztendlich umzusetzen. Dabei sollte das Arbeitssystem kontinuierlich hinsichtlich Gesundheit, Wohlbefinden, Sicherheit, Systemleistung, Gebrauchstauglichkeit und Kosten-Nutzen-Faktor kontrolliert und bewertet werden (DIN EN ISO 6385:2016). Vor allem die eingangs erwähnte Arbeitsbelastung der Mitarbeitenden sollte bei den weiteren Schritten überwacht werden und rechtzeitig Maßnahmen bei stark schwankender, Unter- oder Überbelastung ergriffen werden (DIN EN ISO 6385:2016; Ulich, 2011). Die Gefahr der Überbelastung besteht beispielsweise für die Be- und Entlader:innen durch das bestehende Aufwand-Belohnungs-Ungleichgewicht oder bei der Erweiterung ihres Tätigkeits- und Verantwortungsbereichs (Prozesse 2 – 4).

In diesem Zusammenhang sollten die Tätigkeiten und Arbeitsaufgaben innerhalb des Arbeitssystems auch vor dem Hintergrund des gesamten Prozessablaufs und unter den zugehörigen realen Rahmenbedingungen der Hubs ergonomisch untersucht werden. Zu diesen Rahmenbedingungen gehören beispielsweise die geplanten Durchlaufzeiten der Lkw, die es an die Veränderungen des Arbeitssystems anzupassen gilt. Hier zeigen die Ergebnisse der Arbeitsanalyse des Be- und Entladepersonals (Kapitel 11), dass die verfügbare Zeit pro Lkw für den erweiterten Aufgabenbereich angepasst werden muss. Das benötigte Zeitkontingent sowie die benötigte Anzahl an Mitarbeitenden im jeweiligen Bereich muss dementsprechend analysiert und mit dem Durchlauf der Lkw abgestimmt werden. Weiterhin sollte die Arbeitsbelastung für die Mitarbeitenden im zukünftigen Arbeitssystem vor dem Hintergrund des gesamten Arbeitstags

betrachtet werden (Schlick et al., 2018). Dabei spielt es auch eine Rolle, wie laut das Arbeitsumfeld ist oder wie häufig eine Tätigkeit über den Arbeitstag hinweg ausgeführt werden muss und welche Belastungen – physisch und psychisch - dadurch entstehen. Diesbezüglich gilt es beispielweise in Prozess 1 zu betrachten, wie häufig ein:e Hub-Fahrer:in aus dem Lkw aus- und wieder einsteigen muss und wie hoch die Belastung dadurch ausfällt. Dieser Punkt trifft auch auf die Fahrer:innen der Rangierfahrzeuge (Prozess 3) zu. Hinsichtlich dieser Aspekte gilt es ebenfalls Optimierungspotenzial zu identifizieren und gegebenenfalls Anpassungen im Arbeitssystem vorzunehmen. Diese Anpassungen könnten dabei auch die Umgestaltung der Fahrzeuge durch die veränderten Anforderungen umfassen. Darüber hinaus ist bezüglich der realen Rahmenbedingungen der Hubs zu beachten, dass die Abläufe nicht immer nach Plan ablaufen und gegebenenfalls an unterschiedlichen Stellen Wartezeit oder unvorhergesehener Mehraufwand entsteht. Des Weiteren lassen die vorliegenden Ergebnisse nur vereinzelte Aussagen hinsichtlich der Bottlenecks der jeweiligen Prozesse zu: Beispielsweise können die Prozesse bei unzureichend verfügbarem Personal nicht umgesetzt werden. Es ist daher zu empfehlen, dass die entwickelten Prozesse auf ihre Umsetzbarkeit unter realen Bedingungen der Hubs, beispielsweise mit Hilfe von Simulationsmethoden, genauer getestet werden.

Die vorgestellten Ergebnisse zeigen, dass der Mensch im betrachteten Szenario mit automatisierten Lkw weiterhin ein wichtiger Bestandteil des Arbeitssystems im Hub-to-Hub-Verkehr bleibt. Dabei ist die betrachtete Gestaltung der Arbeit und der Arbeitsprozesse nur einer von vielen Ansatzpunkten, Arbeitszufriedenheit zu erhöhen und Fluktuation zu verhindern (Ongori, 2007). Vor dem Hintergrund des sich zuspitzenden Arbeitskräftemangels (Min, 2007), ist es für Hubs und Unternehmen unbedingt empfehlenswert, auch weitere Faktoren, wie das Gehalt, die Arbeitsplatzsicherheit oder die Entwicklungsmöglichkeiten der Mitarbeitenden, zu adressieren (Al Mamun & Hasan, 2017; Anandhi & Perumal, 2013; Živković et al., 2021).

Darüber hinaus ist zu beachten, dass neben den in dieser Arbeit adressierten zukünftigen Tätigkeiten im Kontext automatisierter Lkw zusätzlich weitere Tätigkeiten entstehen werden. Diese werden vor allem in den Bereichen Ingenieurwesen, Data Science oder KI erwartet (Yankelevich et al., 2018) und sollten in zukünftigen Arbeiten ebenfalls betrachtet werden. Auch hinsichtlich der Tätigkeit als Teleoperator:in gilt es, wie bereits adressiert, noch offene Fragen zu klären. Ein Aspekt ist dabei hinsichtlich der in dieser Arbeit entwickelten Prozesse von besonderem Interesse: Laut dem Gesetz zum automatisierten Fahren in Deutschland (2021) muss es für Fahrzeuge mit Automatisierungslevel 4 eine technische Aufsicht geben, die die automatisierten Fahrfunktionen deaktivieren sowie Fahrmanöver freigeben kann. Diesbezüglich ist zu klären, ob diese Person bei Prozess 2 auch die Teleoperation auf dem Hub-Gelände durchführen kann oder ob hier ein Wechsel erfolgen muss. Dieser Aspekt ist darüber hinaus abhängig von den Geschäftsmodellen im Kontext der automatisierten Lkw. Das Geschäftsmodell Transport as a Service der OEMs wird laut Expert:innen bei der Einführung automatisierter Lkw noch nicht ausgereift sein (Kapitel 6; Escherle, Darlagiannis & Sprung, 2023). Somit ist noch unklar, wer die Lkw zukünftig besitzen und betreiben wird (Fritschy & Spinler, 2019) und welche Partei somit die technische Aufsicht, bzw. die Teleoperation zur Verfügung stellt.

12.5 Fazit

Die Einführung einer neuen Technologie hat weitreichende und komplexe Auswirkungen auf das zugehörige Arbeitssystem. Dies liegt unter anderem daran, dass die einzelnen Aspekte des Arbeitssystems miteinander in Beziehung stehen und sich gegenseitig beeinflussen (Schlick et al., 2018). Im Kontext automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr ist es somit nicht ausreichend, ausschließlich die Technologie der automatisierten Fahrfunktionen für Lkw zu entwickeln. Die vorgestellten Ergebnisse zeigen deutlich, dass die entstehenden Anpassungen im Arbeitssystem und vor allem die Auswirkungen auf die Mitarbeitenden unbedingt beachtet werden müssen. Insbesondere dadurch, dass durch die Automatisierung der Lkw die Lkw-Fahrer:innen nicht mehr Teil des Arbeitssystems sein sollen, ergeben sich automatisch Restrukturierungsmaßnahmen. In dieser Dissertation wurden im Rahmen des betrachteten Szenarios Möglichkeiten zur Gestaltung der Warenein- und -ausgangsprozesse sowie der Umschlagsvorgänge mit automatisierten Lkw entwickelt und dadurch eine Grundlage für die Auswahl und Umsetzung dieser geschaffen. Desweiteren wurden die Auswirkungen dieser Prozesse auf die menschliche Komponente des Arbeitssystems analysiert. Durch die Analyse der zukünftigen Tätigkeiten konnte bereits Optimierungspotenzial identifiziert und erste Maßnahmen zur Verbesserung der zukünftigen Arbeitssituation abgeleitet werden. Damit liefern die Ergebnisse dieser Dissertation einen Beitrag zur Integration automatisierter Lkw in das Arbeitssystem im Hub-to-Hub-Verkehr und beugen potenzielle Probleme aufgrund fehlender Abstimmung zwischen Technologie und den weiteren Komponenten des Arbeitssystems vor. Weiterhin bieten die Ergebnisse eine Grundlage, auf die in zukünftigen Arbeiten zu den verwiesenen Themen aufgebaut werden kann, um bestehende offene Fragen im Kontext der Ergonomie und den Human Factors zu beantworten.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 2.1:	MTO-Konzept, eigene Darstellung nach Ulich (2013).....	13
Abbildung 2.2:	Arbeitssystem und Elemente, eigene Darstellung adaptiert von Schlick et al. (2018)	14
Abbildung 2.3:	Job Characteristics Model nach Hackman & Oldham (1975).....	20
Abbildung 2.4:	Einsatz von Lkw (grau) entlang der Wertschöpfungskette (eigene Darstellung)	23
Abbildung 2.5:	Teilschritte der Umschlagprozesse (adaptiert von Jünemann, 1989; Wehking, 2020)	24
Abbildung 2.6:	Erwartete Änderungen einzelner Elemente des Arbeitssystems durch automatisierte Lkw (blau)	29
Abbildung 4.1:	Methodisches Vorgehen dieser Dissertation	35
Abbildung 5.1:	Identifizierte Arbeitsphasen auf den Hubs inkl. beteiligter Rollen	39
Abbildung 6.1:	Vorgehen der Delphi-Studie nach Gracht und Darkow (2010) und Fritschy und Spinler (2019)	51
Abbildung 6.2:	Eigenschaften der ausgewählten Expert:innen	53
Abbildung 6.3:	Streudiagramm und die vier gebildeten Cluster der Zukunftsprojektionen... ..	56
Abbildung 8.1:	Übersicht über entwickelte Prozesse zur Integration automatisierter Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr	65
Abbildung 8.2:	Visualisierung Prozess 1: Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird manuell gesteuert. Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen	65
Abbildung 8.3:	Visualisierung Prozess 2: Lkw und Trailer bleiben verbunden, Lkw wird ferngesteuert. Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen.....	66
Abbildung 8.4:	Visualisierung Prozess 3: Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird manuell gesteuert. Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen .	67
Abbildung 8.5:	Visualisierung Prozess 4: Lkw und Trailer werden getrennt, Rangierfahrzeug wird ferngesteuert. Die Symbole verweisen auf die beteiligten Rollen	68
Abbildung 10.1:	Studienablauf und erfasste Variablen.....	82
Abbildung 10.2:	Erfahrung der Teilnehmenden in den jew. Lkw-Segmenten (n = 34; Mehrfachauswahl möglich).....	83
Abbildung 10.3:	Selbsteinschätzung der Offenheit gegenüber Technik (n = 34)	83

Abbildung 10.4:	Wechselintention nach Kelloway et al. (1999). Punkte = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen (n = 33)	84
Abbildung 10.5:	Ergebnisse der Job Diagnostic Survey. Punkte = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen; n = 34.....	85
Abbildung 10.6:	Häufigkeiten der Antworten auf die Frage „Wie empfinden Sie den Beruf Hub-Fahrer:in?“ (n = 34)	86
Abbildung 11.1:	Ablauf der Studie	95
Abbildung 11.2:	Ausbildungsbereiche der betrachteten Stichprobe (n = 45)	96
Abbildung 11.3:	Ergebnisse der Job Diagnostic Survey für Prozess 1. Dreiecke = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen, n = 44.....	97
Abbildung 11.4:	Ergebnisse des Effort-Reward-Imbalance Questionnaires. Dreiecke = Gewichteter Summenscore, Fehlerbalken = Standardabweichungen; n = 44	98
Abbildung 11.5:	Ergebnisse der Job Diagnostic Survey für Prozess 2. Punkte = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen; n = 44.....	100
Abbildung 11.6:	Vergleich der Ergebnisse der Job Diagnostic Survey von Prozess 1 und Prozess 2. Dreiecke = Mittelwerte, Fehlerbalken = Standardabweichungen, schwarz = Prozess 1, blau = Prozess 2, ** p < .001, * p < .05; n = 44	101

Tabellenverzeichnis

Tabelle 5.1:	Eigenschaften der analysierten Hubs	38
Tabelle 5.2:	Aufgaben der beteiligten Rollen in der Arbeitsphase Registrieren in zeitlicher Reihenfolge	40
Tabelle 5.3:	Aufgaben der beteiligten Rollen in der Arbeitsphase Entladen in zeitlicher Reihenfolge	41
Tabelle 5.4:	Aufgaben der beteiligten Rollen in der Arbeitsphase Beladen in zeitlicher Reihenfolge	42
Tabelle 6.1:	Formulierte Projektionen mit zugehörigen Quellen aus Literatur und Expert:innenworkshops	51
Tabelle 6.2:	Übersicht der quantitativen Ergebnisse	55
Tabelle 7.1:	Aufgaben und Verantwortlichkeiten im zukünftigen Prozess mit automatisierten Lkw.....	62
Tabelle 8.1:	Expertisenbereiche der Expert:innen (n = 7; Mehrfachauswahl möglich)	63
Tabelle 8.2:	Aufgabenverteilung und Rollen der unterschiedlichen Prozesse	69
Tabelle 10.1:	Erfasste Skalen der Job Diagnostic Survey zur Bewertung der zukünftigen Tätigkeit als Hub-Fahrer:in (Schmidt et al., 1985)	81
Tabelle 10.2:	Normwerte der Job Diagnostic Survey übergreifend über alle Personen und für sogenannte Blue Collar Berufe (Arbeiter:innen-Berufe; Oldham et al., 1978)	81
Tabelle 10.3:	Positive und negative Aspekte der aktuellen Berufe der Teilnehmenden (n = 34; Mehrfachnennungen möglich)	84
Tabelle 10.4:	Alternative Berufen und deren positive Aspekte (n = 34; Mehrfachnennungen möglich)	85
Tabelle 10.5:	Positive und negative Aspekte der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in (n = 34; Mehrfachnennungen möglich)	87
Tabelle 11.1:	Erfasste Skalen der Job Diagnostic Survey zur Bewertung der Arbeitssituation des Be-/Entladepersonals in Prozess 1 (Schmidt et al., 1985)	95
Tabelle 11.2:	Positive und negative Aspekte der aktuellen Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)	99
Tabelle 11.3:	Vergleiche der Ergebnisse der JDS-Skalen zwischen beiden Prozessen (n = 44)	102

Tabelle 12.1:	Generelle Voraussetzungen für die Integration automatisierter Lkw im betrachteten Szenario	108
Tabelle 12.2:	Eigenschaften der entwickelten Prozesse zur Integration automatisierter Lkw	109
Tabelle 12.3:	Entscheidungshilfe zur Prozessauswahl auf Basis der Hub-Voraussetzungen	110
Tabelle 12.4:	Beteiligte Rollen an den Prozessen.....	111
Tabelle A.1	Verbesserungsvorschläge für den Beruf Hub-Fahrer:in (n = 20)	xxv
Tabelle A.2	Angebote auf Ebene der Unternehmen (n = 34)	xxvi
Tabelle A.3	Angebote auf dem Hub (n = 34)	xxviii
Tabelle B.1	Verbesserungsvorschläge für die aktuelle Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)	xxix
Tabelle B.2	Änderungswünsche für die aktuelle Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)	xxx
Tabelle B.3	Gründe für und gegen das Interesse an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in (n = 45)	xxxi
Tabelle B.4	Gründe für und gegen das Interesse an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in in Abwechslung mit den Be- und Entladetätigkeiten (n = 45).....	xxxii
Tabelle B.5	Gründe für und gegen die Übernahme der zusätzlichen Aufgaben und Verantwortung (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)	xxxiii
Tabelle B.6	Verbesserungsvorschläge für Prozess 2 (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)	xxxiv

Literaturverzeichnis

- Abbasi, S. M. & Hollman, K. W. (2000). Turnover: The Real Bottom Line. *Public personnel management*, 29(3), 333–342.
- Agyabeng-Mensah, Y., Ahenkorah, E. & Osei, E. (2019). Impact of Logistics Information Technology on Organisational Performance: Mediating Role of Supply Chain Integration and Customer Satisfaction. *Journal of Supply Chain Management Systems*, 8(4), 30–43.
- Al Mamun, C. A. & Hasan, M. N. (2017). Factors affecting employee turnover and sound retention strategies in business organization: a conceptual view. *Problems and Perspectives in Management*, 15(1), 63–71.
[https://doi.org/10.21511/ppm.15\(1\).2017.06](https://doi.org/10.21511/ppm.15(1).2017.06)
- Ali, S. A. M., Said, N. A., Yunus, N. M., Kader, S. F. A., Latif, D. S. A. & Munap, R. (2014). Hackman and Oldham's Job Characteristics Model to Job Satisfaction. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 129, 46–52.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2014.03.646>
- Amer, M., Daim, T. U. & Jetter, A. (2013). A review of scenario planning. *Futures*, 46, 23–40.
<https://doi.org/10.1016/j.futures.2012.10.003>
- Anandhi, K. & Perumal, R. (2013). Job Satisfaction in logistics sector: A review and reaserach agenda. *International Journals of Marketing and Technology*, 3(5), 114–126.
- Angeleanu, A. (2015). New Technology Trends and Their Transformative Impact on Logistics and Supply Chain Processes. *International Journal of Economic Practices and Theories*, 5(5), 413–419.
- Ardiles, L. (2023). *Remote Magnetic Resonance Scanning: Design and analysis of a future workflow and its impact on job roles in healthcare systems* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Badke-Schaub, P., Hofinger, G. & Lauche, K. (2008). Human Factors. In P. Badke-Schaub (Hrsg.), *Human Factors: Psychologie sicheren Handelns in Risikobranchen* (S. 4–18). Springer Medizin Verlag.
- Bench, J., Mutaner, C., Benavides, F. G., Amable, M. & Jodar, P. (2002). A new occupational health agenda for a new work environment. *Scand J Work Environ Health*, 28, 191–196.
- Bezdek, J. C., Keller, J., Krisnapuram, R. & Pal, N. (1999). *Fuzzy Models and Algorithms for Pattern Recognition and Image Processing*. SpringerLink Bücher: Bd. 4. Springer US.
<https://doi.org/10.1007/b106267>

- Bhatia, S. & Arora, A. (2021). A Study on Effect of Job Design and Ergonomics on Employee Performance in Indian Automotive Sector. *Metamorphosis: A Journal of Management Research*, 20(2), 65–76. <https://doi.org/10.1177/09726225211033701>
- Bigalk, D. (2006). *Lernförderlichkeit von Arbeitsplätzen - Spiegelbild der Organisation? Eine vergleichende Analyse von Unternehmen mit hoch und gering lernförderlichen Arbeitsplätzen*. Schriftenreihe Personal- und Organisationsentwicklung.
- BMVI. (2020). *Fahrermangel im deutschen Straßengüterverkehr: Strukturelle Treiber und verkehrspolitischer Handlungsbedarf*. https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/fahrermangel-deutscher-strassen-gueterverkehr.pdf?__blob=publicationFile
- BMVI. (2021). *Gesetz zum autonomen Fahren tritt in Kraft*. <https://www.bmvi.de/Shared-Docs/DE/Artikel/DG/gesetz-zum-autonomen-fahren.html>
- Bond, F. W., Flaxman, P. E. & Bunce, D. (2008). The influence of psychological flexibility on work redesign: mediated moderation of a work reorganization intervention. *The Journal of applied psychology*, 93(3), 645–654. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.93.3.645>
- Bonnes, M. (2020). Der Weg zum umfassenden Dienstleistungspartner. In P. H. Voß (Hrsg.), *Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie* (S. 169–178). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Boxall, P., Macky, K. & Rasmussen, E. (2003). Labour Turnover and Retention in New Zealand: The Causes and Consequences of Leaving and Staying with Employers. *Asia Pacific Journal of Human Resources*, 41(2), 196–214. <https://doi.org/10.1177/10384111030412006>
- Brockhaus, S., Kersten, W. & Knemeyer, A. M. (2013). Where Do We Go From Here? Progressing Sustainability Implementation Efforts Across Supply Chains. *Journal of Business Logistics*, 34(2), 167–182. <https://doi.org/10.1111/jbl.12017>
- Bucsky, P. (2018). Autonomous vehicles and freight traffic: towards better efficiency of road, rail or urban logistics? *Urban Development Issues*, 58(1), 41–52. <https://doi.org/10.2478/udi-2018-0022>
- Bullinger, H. (2013). *Ergonomie: Produkt- und Arbeitsplatzgestaltung*. Springer.
- Bundesanstalt für Straßenwesen. (2024). *Abschlussbericht der Arbeitsgruppe "Forschungsbedarf Teleoperation"*.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2017). *Aktionsplan Güterverkehr und Logistik- nachhaltig und effizient in die Zukunft*.
- Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur. (2019). *Innovationsprogramm Logistik 2030*.
- Gesetz zum autonomen Fahren (2021). https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/Gesetze/Gesetze-19/gesetz-aenderung-strassenverkehrsgesetz-pflichtversicherungsgesetz-autonomes-fahren.pdf?__blob=publicationFile
- Bundesverband Güterkraftverkehr Logistik und Entsorgung. (2021, 1. Februar). *Entwurf eines Gesetzes zu dem Zusatzprotokoll vom 20. Februar 2008 zum Übereinkommen vom 19. Mai 1956 über den Beförderungsvertrag im internationalen Straßengüterverkehr (CMR) betreffend den elektronischen Frachtbrief* [Pressemitteilung].

- Burgess-Limerick, R. (2020). Human-Systems Integration for the Safe Implementation of Automation. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 37(6), 1799–1806. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00248-z>
- Carayon, P. (2006). Human factors of complex sociotechnical systems. *Applied ergonomics*, 37(4), 525–535. <https://doi.org/10.1016/j.apergo.2006.04.011>
- Casado, J. M. P., Funes, A. G. & García-Doncel, J. G. (2021). Digital Transformation: Advantages and opportunities of E-CMR in international cargo logistics. *ESIC Digital Economy and Innovation Journal*, 1(1), 84–102. <https://doi.org/10.55234/edeij-1-1-004>
- Certa, M. & Schröder, T. (2021). Die Logistik im Fokus empirischer Analysen: Arbeitsbedingungen und Arbeitsfähigkeit in der Lagerwirtschaft sowie den Post- und Zustelldiensten. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 75(3), 251–265. <https://doi.org/10.1007/s41449-020-00233-8>
- Chermack, T. J., Lynham, S. A. & Ruona, W. E. (2001). A review of scenario planning literature. *Futures research quarterly*, 17(2), 7–32.
- Cherns, A. (1987). Principles of Sociotechnical Design Revisted. *Human Relations*, 40(3), 153–162.
- Cheung, K. F., Bell, M. G. & Bhattacharjya, J. (2021). Cybersecurity in logistics and supply chain management: An overview and future research directions. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*(146), 102217. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2020.102217>
- Chiu, R. K. & Francesco, A. M. (2003). Dispositional traits and turnover intention. *International Journal of Manpower*, 24(3), 284–298. <https://doi.org/10.1108/01437720310479741>
- Christen, M., Iyer, G. & Soberman, D. (2006). Job Satisfaction, Job Performance and Effort: A Reexamination Using Agency Theory. *Journal of Marketing*, 70, 137–150.
- Corbin, J. M. & Strauss, A. (1990). Grounded theory research: Procedures, canons, and evaluative criteria. *Qualitative Sociology*, 13(1), 3–21. <https://doi.org/10.1007/BF00988593>
- Cousins, R., MacKay, C. J., Clarke, S. D., Kelly, C., Kelly, P. J. & McCaig, R. H. (2004). 'Management Standards' and work-related stress in the UK: practical development. *Work & Stress*, 18(2), 113–136. <https://doi.org/10.1080/02678370410001734322>
- Czinkota, M. R. & Ronkainen, I. A. (2005). A forecast of globalization, international business and trade: report from a Delphi study. *Journal of World Business*, 40(2), 111–123. <https://doi.org/10.1016/j.jwb.2005.02.006>
- Daniels, K., Gedikli, C., Watson, D., Semkina, A. & Vaughn, O. (2017). Job design, employment practices and well-being: a systematic review of intervention studies. *Ergonomics*, 60(9), 1177–1196. <https://doi.org/10.1080/00140139.2017.1303085>
- Darlagiannis, E. (2021). *Automatisierte Lkw und die Zukunft der Logistik: Eine Delphi-basierte Szenario-Studie* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Dashkovskiy, S. & Suttner, R. (2017). Reduction of Waiting Time in Logistics Centers by Trailer Yards. *IFAC-PapersOnLine*, 50(1), 7959–7963. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2017.08.899>

- Deckers, L., Madadi, B. & Verduijn, T. (2021). Teleoperated driving in logistics as a transition to full automation: An exploratory study and research agenda. *27th ITS worlds congress*, 11–15.
- Deutsche Post DHL. (2017). *Mission 2050: Null Emissionen* [Pressemitteilung].
- DIN 30781-1. *Transportkette: Grundbegriffe* (N Norm DIN30781-1).
- DIN EN ISO 6385:2016. *Grundsätze der Ergonomie für die Gestaltung von Arbeitssystemen* (DIN EN ISO 6385:2016 D). Beuth Verlag GmbH.
- Dombrowski, U., Riechel, C. & Evers, M. (2014). Industrie 4.0 - Die Rolle des Menschen in der vierten industriellen Revolution. *Industrie*, 4, 129–153.
- Dul, J [Jan], Bruder, R., Buckle, P., Carayon, P., Falzon, P., Marras, W. S., Wilson, J. R. & van der Doelen, B. (2012). A strategy for human factors/ergonomics: developing the discipline and profession. *Ergonomics*, 55(4), 377–395.
<https://doi.org/10.1080/00140139.2012.661087>
- Dunckel, H. (1999). Psychologische Arbeitsanalyse: Verfahrensüberblick und Auswahlkriterien. In H. Dunckel (Hrsg.), *Handbuch psychologischer Arbeitsanalyseverfahren* (S. 9–30). vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich.
- DVZ (17. Februar 2021). Blockchain ermöglicht digitalen Frachtbrief. *Deutsche Verkehrs-Zeitung DVZ*. <https://www.dvz.de/digitalisierung/digitalisierung-im-mittelstand/detail/news/blockchain-macht-digitalen-frachtbrief.html>. Aufgerufen 19.08.2021
- Eichberger, A., Szalay, Z., Fellendorf, M. & Liu, H. (2022). Advances in Automated Driving Systems. *Energies*, 15(10), 3476. <https://doi.org/10.3390/en15103476>
- Endsley, M. R. (2017). From Here to Autonomy. *Human factors*, 59(1), 5–27.
<https://doi.org/10.1177/0018720816681350>
- Engholm, A., Kristoffersson, I. & Pernestal, A. (2021). Impacts of large-scale driverless truck adoption on the freight transport system. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*, 154, 227–254. <https://doi.org/10.1016/j.tra.2021.10.014>
- Engström, J., Bishop, R., Shladover, S. E., Murphy, M. C., O'Rourke, L., Voegelé, T., Denaro, B., Demato, R. & Demato, D. (2019). In G. Meyer & S. Beiker (Hrsg.), *Road Vehicle Automation 5*. Springer International Publishing.
- Erol, S., Jäger, A., Hold, P., Ptt, K. & Sihn, W. (2016). Tangible Industry 4.0: A Scenario-Based Approach to Learning for the Future of Production. *Procedia CIRP*, 54, 13–18.
<https://doi.org/10.1016/j.procir.2016.03.162>
- 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., 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 Kongresses*. GfA Press.

- 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
- EU. (2019). *Verordnung zur Festlegung von CO2-Emissionen für neue schwere Nutzfahrzeuge und zur Änderung der Verordnungen (EG) Nr. 595/2009 und (EU) 2018/956 des Europäischen Parlaments und des Rates sowie der Richtlinie 96/53/EG des Rates*. EU. <https://www.consilium.europa.eu/de/press/press-releases/2019/06/13/cutting-emissions-council-adopts-co2-standards-for-trucks/>
- Evers, C. (2009). *Auswirkungen von Belastungen und Stress auf das Verkehrsverhalten von Lkw-Fahrern* [Dissertation]. Rheinische Friedrich-Wilhelms-Universität, Bonn.
- Faragher, E. B., Cass, M. & Cooper, C. L. (2005). The relationship between job satisfaction and health: a meta-analysis. *Occupational and environmental medicine*, 62(2), 105–112. <https://doi.org/10.1136/oem.2002.006734>
- Firth, L., Mellor, D. J., Moore, K. A. & Loquet, C. (2004). How can managers reduce employee intention to quit? *Journal of managerial psychology*, 19(2), 170–187.
- Fisher, C. D. (2010). Happiness at Work. *International Journal of Management Reviews*, 12(4), 384–412. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2009.00270.x>
- 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.
- Fleischmann, B. (2018). Begriffliche Grundlagen der Logistik. In H. Tempelmeier (Hrsg.), *Begriff der Logistik, logistische Systeme und Prozesse* (1-16). Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-57769-1>
- Fortunato, V. J. & Stone-Romero, E. F. (2001). Positive Affectivity as a Moderator of the Objective-Task Characteristics/Perceived-Task Characteristics Relationship. *Journal of Applied Social Psychology*, 31(6), 1248–1278. <https://doi.org/10.1111/j.1559-1816.2001.tb02673.x>
- Fried, Y., Levi, A. S. & Laurence, G. (2008). Motivation an Job Design in the New World of Work. In S. Cartwright & C. L. Cooper (Hrsg.), *The Oxford Handbook of Personnel Psychology* (S. 586–612). Oxford University Press.
- Fritschy, C. & Spinler, S. (2019). The impact of autonomous trucks on business models in the automotive and logistics industry—a Delphi-based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*, 148, 1–14. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.119736>
- Fuchslocher, G. (27. Oktober 2020). Die Brennstoffzelle wird zur Nischentechnologie. *Automobil Produktion*. <https://www.automobil-produktion.de/automobil-produktion-exklusiv/die-brennstoffzelle-wird-zur-nischentechnologie-124.html>. Aufgerufen 12.08.2021
- Gittleman, M. & Monaco, K. (2020). Truck-Driving Jobs: Are They Headed for Rapid Elimination? *ILR Review*, 73(1), 3–24. <https://doi.org/10.1177/0019793919858079>
- Gomes, D. R. (2009). Organizational change and job satisfaction: The mediating role of organizational commitment. *Exedra*, 1, 177–195.

- Gomoll, W. (13. März 2021). Zukunft des Transportverkehrs: Akku oder Brennstoffzelle? *Media-Manufaktur GmbH*. <https://www.automotiveit.eu/mobility/zukunft-des-transportverkehrs-akku-oder-brennstoffzelle-102.html>. Aufgerufen 01.06.2021
- Gopalswamy, S. & Rathinam, S. (2018). Infrastructure Enabled Autonomy: A Distributed Intelligence Architecture for Autonomous Vehicles. In *2018 IEEE Intelligent Vehicles Symposium (IV)* (S. 986–992).
- Goudz, A., Küçük, Y. & Fuchs, V. (2021). Zusammenspiel der Blockchain und der Künstlichen Intelligenz in der Logistik – Zukunftsaussichten und Potenziale. In H. Proff (Hrsg.), *Making Connected Mobility Work* (S. 757–774). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32266-3_47
- Gracht, H. A. von der (2012). Consensus measurement in Delphi studies. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), 1525–1536. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.04.013>
- Gracht, H. A. von der & Darkow, I.-L. (2010). Scenarios for the logistics services industry: A Delphi-based analysis for 2025. *International Journal of Production Economics*, 127(1), 46–59. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2010.04.013>
- Gracht, H. A. von der & Darkow, I.-L. (2016). Energy-constrained and low-carbon scenarios for the transportation and logistics industry. *The International Journal of Logistics Management*, 27(1), 142–166. <https://doi.org/10.1108/IJLM-12-2013-0150>
- Gracht, H. A. von der, Darkow, I.-L., Walter, S., Jahns, C. & Thomsen, E. (2008). Future of logistics 2025 Global Scenarios. *International CeMAT Conference*, 9–64.
- Gramm, H. (2022). *Das Beste aus beiden Welten - Gestaltungsempfehlungen für Workshops im hybriden Arbeitskontext* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Gräter, A., Harrer, M., Rosenquist, M. & Steiger, E. (2022). *Connected, Cooperative and Automated Mobility Roadmap* (10. Aufl.). ERTRAC. <https://www.ertrac.org/uploads/documentsearch/id82/ERTRAC%20CCAM%20Roadmap%20V10.pdf>
- Großmann, G., Kampe, H. & Ziems, D. (1989). *Technologie für Transport, Umschlag und Lagerung im Betrieb*. VEB.
- Gudehus, T. (2005). *Logistik: Grundlagen, Strategien, Anwendungen* (3., neu bearb. Aufl.). Springer.
- Hacker, W. (2022). Arbeitsgestaltung bei Digitalisierung. *Zeitschrift für Arbeitswissenschaft*, 76(1), 90–98. <https://doi.org/10.1007/s41449-022-00302-0>
- Hacker, W. & Sachse, P. (2023). *Allgemeine Arbeitspsychologie: Psychische Regulation von Arbeitstätigkeiten* (4. Aufl.). vdf Hochschulverlage AG an der ETH Zürich.
- Hackman, J. R. & Oldham, G. R. (1974). *The Job Diagnostic Survey: An instrument for the diagnosis of jobs and the evaluation of job redesign projects* (Technical Report Nr. 4). Department of Administrative Sciences, Yale University.
- Hackman, J. R. & Oldham, G. R. (1975). Development of the Job Diagnostic Survey. *Journal of Applied Psychology*, 60(2), 159–170.
- Hackman, J. R. & Oldham, G. R. (1976). Motivation through the Design of Work: Test of a Theory. *Organizational Behavior and Human Performance*, 16.

- Halkos, G. & Bousinakis, D. (2010). The effect of stress and satisfaction on productivity. *International Journal of Productivity and Performance Management*, 59, 415–431.
- Helmer, O. (1983). *Looking Forward A Guide to Futures Research*. Sage.
- Hinckeldeyn, J. & Kreutzfeldt, J. (2019). Blockchain in der Logistik – Ein Vergleich prototypischer Anwendungen. In M. Schröder & K. Wegner (Hrsg.), *Logistik im Wandel der Zeit – Von der Produktionssteuerung zu vernetzten Supply Chains* (S. 527–544). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Hinkel, J., Mangalagiu, D., Bisaro, A. & Tàbara, J. D. (2020). Transformative narratives for climate action. *Climatic Change*, 160(4), 495–506. <https://doi.org/10.1007/s10584-020-02761-y>
- Hirschinger, M. (Hrsg.). (2016). *Essays on Supply Chain Management in Emerging Markets*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-11946-1>
- Hirsch-Kreinsen, H. (2016). *Digitalisierung und Einfacharbeit* (WISO Diskurs Nr. 12). Friedrich-Ebert-Stiftung.
- Holzgrevé, F., Schulte, L., Oremek, G. & Ohlendorf, D. (2023). Allgemeine und arbeitsplatzbezogene Risikofaktoren von Muskel-Skelett-Erkrankungen und deren Bestimmungsmethoden. *Zentralblatt für Arbeitsmedizin, Arbeitsschutz und Ergonomie*, 73(4), 182–189. <https://doi.org/10.1007/s40664-023-00500-5>
- Hom, P. W., Lee, T. W., Shaw, J. D. & Hausknecht, J. P. (2017). One hundred years of employee turnover theory and research. *The Journal of applied psychology*, 102(3), 530–545. <https://doi.org/10.1037/apl0000103>
- 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>
- Horvat, D., Kroll, H. & Jäger, A. (2019). Researching the Effects of Automation and Digitalization on Manufacturing Companies' Productivity in the Early Stage of Industry 4.0. *Procedia Manufacturing*, 39, 886–893. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2020.01.401>
- Huber, S., Klauenberg, J. & Thaller, C. (2015). Consideration of transport logistics hubs in freight transport demand models. *European Transport Research Review*, 7(4). <https://doi.org/10.1007/s12544-015-0181-5>
- Humphrey, S. E., Nahrgang, J. D. & Morgeson, F. P. (2007). Integrating motivational, social, and contextual work design features: a meta-analytic summary and theoretical extension of the work design literature. *The Journal of applied psychology*, 92(5), 1332–1356. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.92.5.1332>
- Inninger, W., Schellert, M. & Schulz, H. (2018). Analyse der Randbedingungen und Voraussetzungen für einen automatisierten Betrieb von Nutzfahrzeugen im innerbetrieblichen Verkehr. *FAT-Schriftenreihe*, 312.
- Jalagat, R. (2018). Job Performance, Job Satisfaction, and Motivation: A critical Review of their relationship. *International Journal of Advances in Management and Economics*, 5(6), 36–43.
- Johns, G., Xie, J. L. & Fang, Y. (1992). Mediating and Moderating Effects in Job Design. *Journal of Management*, 18(4), 659–676.

- Jünemann, R. (1989). *Materialfluss und Logistik: Systemtechnische Grundlagen mit Praxisbeispielen*. Springer. <https://www3.ub.tu-berlin.de/ihv/000131070.pdf>
- Kadir, B. A., Broberg, O. & Conceicao, C. S. (2019). Current research and future perspectives on human factors and ergonomics in industry 4.0. *Computers & Industrial Engineering*, 137, 106004. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106004>
- Kagermann, H., Helbig, J., Hellinger, A. & Wahlster, W. (2013). *Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Securing the future of German manufacturing industry: Final report of the Industrie 4.0 Working Group*. Forschungsunion.
- Kehinde, O. (2011). Impact of job satisfaction on absenteeism: A correlative study. *European Journal of Humanities and Social Sciences*, 1(1), 25–49.
- Kelloway, E. K., Gottlieb, B. H. & Barham, L. (1999). The Source, Nature, an Direction of Work and Family Conflict: A Logitudinal Investigation. *Journal of Occupational Health Psychology*, 4(4), 337–346.
- Kersten, W., Seiter, M., See, B. von, Hackius, N. & Maurer, T. (2017). *Chancen der digitalen Transformation: Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management*. DVV Media Group GmbH.
- Khatib, E. J. & Barco, R. (2021). Optimization of 5G Networks for Smart Logistics. *Energies*, 14(6), 1758. <https://doi.org/10.3390/en14061758>
- Kirwan, B. & Ainsworth, L. K. (Hrsg.). (1992). *A Guide To Task Analysis*. Taylor & Francis.
- Kistler, E. (2012). Führt der demografische Wandel zu einem Fach- oder gar Arbeitskräftemangel? In R. Bispinck, G. Bosch, K. Hofemann & G. Naegele (Hrsg.), *Sozialpolitik und Sozialstaat* (S. 149–162). VS Verlag für Sozialwissenschaften.
- Kleinöder, N. (2016). *Humanisierung der Arbeit: Literaturbericht zum "Forschungsprogramm zur Humanisierung des Arbeitslebens"* (Working Paper Forschungsförderung Nr. 008). Hans-Bröckler-Stiftung. <https://nbn-resolving.de/urn:nbn:de:101:1-201606091981>
- Kluge, U., Ringbeck, J. & Spinler, S. (2020). Door-to-door travel in 2035 – A Delphi study. *Technological Forecasting and Social Change*, 157, 120096. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2020.120096>
- Knoedler, D. & Stanley, B. (2021). *Truck 2030 digitally reinventing for the long haul*. IBM Institute for Business Value.
- Kollatz, P. & Wicke, T. (2020). Neue Sicherheitsherausforderungen für die Logistik. In P. H. Voß (Hrsg.), *Logistik – die unterschätzte Zukunftsindustrie* (S. 179–188). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Köllner, C. (20. Februar 2019). Warum Speditionen auf fahrerlose Lkw setzen. *Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH*. <https://www.springerprofessional.de/automatisiertes-fahren/schwere-lkw/warum-speditionen-auf-fahrerlose-lkw-setzen/16462990>. Aufgerufen 18.11.2021
- Konrad, K. & Wangler, L. U. (2018). Tailor-made Technology: The stretch of Frugal Innovation in the Truck Industry. *Procedia Manufacturing*, 19, 10–17. <https://doi.org/10.1016/j.promfg.2018.01.003>

- Kovacs, G. & Kot, S. (2016). New logistics and production trends as the effect of global economy changes. *Polish Journal of Management Studies*, 14(2), 115–126.
<https://doi.org/10.17512/pjms.2016.14.2.11>
- Krause, J., Thiel, C., Tsokolis, D., Samaras, Z., Rota, C., Ward, A., Prenninger, P., Coosemans, T., Neugebauer, S. & Verhoeve, W. (2020). EU road vehicle energy consumption and CO2 emissions by 2050 – Expert-based scenarios. *Energy Policy*, 138. <https://doi.org/10.1016/j.enpol.2019.111224>
- Kückelhaus, M., Gesing, B., Toy, J., Ward, J., Noronha, J. & Bodenbrenner, P. (2020). *The Logistics Trend Radar* (Bd. 5). DHL Customer Solutions & Innovation.
<https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/insights/logistics-trend-radar.html>
- Lalli, M. (2023). *Autonomes Fahren und die Zukunft der Mobilität* (2. Auflage). Springer.
<https://link.springer.com/978-3-662-68123-7>
- Lambert, E. G., Hogan, N. L. & Barton, S. M. (2001). The impact of job satisfaction on turnover intent: A test of a structural measurement model using a national sample of workers. *The Social Science Journal*, 38, 233–250.
- Landeta, J. (2006). Current validity of the Delphi method in social sciences. *Technological Forecasting and Social Change*, 73(5), 467–482.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2005.09.002>
- Landsbergis, P. (2003). The changing organization of work and the safety and health of working people: a commentary. *J Occup Environ Med*, 45, 61–71.
- Lange, U., Kaufmann, T. & Schaaf, D. (2019). *Potentiale des autonomen Lkw: Der Einfluss neuer Technologien auf die Wirtschaftlichkeit von Lastkraftwagen*. Capgemini invent.
https://www.capgemini.com/de-de/wp-content/uploads/sites/5/2019/05/Der-autonome-LKW_Capgemini-Invent.pdf. Aufgerufen 02.05.2021
- Liebl, A. (2023). *Bedarf einer neuen Kabine für automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Markmann, C., Spickermann, A., Gracht, H. A. von der & Brem, A. (2021). Improving the question formulation in Delphi-like surveys: Analysis of the effects of abstract language and amount of information on response behavior. *Futures & Foresight Science*, 3(1).
<https://doi.org/10.1002/ffo2.56>
- Mättig, B. & Kretschmer, V. (2020). Einsatz digitaler Assistenzsysteme in der Logistik 4.0. In M. ten Hompel, T. Bauernhansl & B. Vogel-Heuser (Hrsg.), *Handbuch Industrie 4.0* (S. 435–459). Springer Berlin Heidelberg.
- Mayring, P. (2000). Qualitative Content Analysis. *Forum: Qualitative Social Research*, 1(2), 1–10. <https://doi.org/10.1093/acprof:oso/9780190215491.003.0004>
- Melamed, S., Fried, Y. & Froom, P. (2001). The interactive effect of chronic exposure to noise and job complexity on changes in blood pressure and job satisfaction: A longitudinal study of industrial employees. *Journal of Occupational Health Psychology*, 6(3), 182–195. <https://doi.org/10.1037//1076-8998.6.3.182>
- Melander, L., Dubois, A., Hedvall, K. & Lind, F. (2019). Future goods transport in Sweden 2050: Using a Delphi-based scenario analysis. *Technological Forecasting and Social Change*, 138, 178–189. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2018.08.019>

- Merfeld, K., Wilhelms, M.-P., Henkel, S. & Kreutzer, K. (2019). Carsharing with shared autonomous vehicles: Uncovering drivers, barriers and future developments – A four-stage Delphi study. *Technological Forecasting and Social Change*, 144, 66–81.
<https://doi.org/10.1016/j.techfore.2019.03.012>
- Mihatsch, G., Reith, U., Knieß, P. & Banerjee, A. (2018). Smarte Logistik von der ersten bis zur letzten Meile. *ATZ - Automobiltechnische Zeitschrift*, 120(11), 50–55.
<https://doi.org/10.1007/s35148-018-0158-5>
- Min, H. (2007). Examining sources of warehouse employee turnover. *International Journal of Physical Distribution & Logistics Management*, 37(5), 375–388.
<https://doi.org/10.1108/09600030710758437>
- Morgeson, F. P. & Humphrey, S. E. (2006). The Work Design Questionnaire (WDQ): developing and validating a comprehensive measure for assessing job design and the nature of work. *The Journal of applied psychology*, 91(6), 1321–1339.
<https://doi.org/10.1037/0021-9010.91.6.1321>
- Morris, M. G. & Venkatesh, V. (2010). Job Characteristics and Job Satisfaction: Understanding the Role of Enterprise Resource Planning System Implementation. *MIS quarterly*, 43(1), 143–161.
- Moutsatsos, E. (2008). Economic globalization and its effects on labor. In P. L. Schnall, M. Dobson, E. Roskam, D. Baker & P. Landsbergis (Hrsg.), *Unhealthy work: causes, consequences and cures*. Baywood Press.
- Müller, S. & Voigtländer, F. (2019). Automated trucks in road freight logistics: the user perspective. In *Interdisciplinary Conference on Production Logistics and Traffic* (S. 102–115). Springer. <https://doi.org/10.13140/RG.2.2.31144.83200>
- Müller-Seitz, G., Seiter, M. & Wenz, P. (2016). *Was ist eine Smart City?* Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-12642-1>
- NB Guides (2021). Transport- und Logistik-Guide: Ihr persönlicher Leitfaden für eine effiziente Logistik. *New Business Guides*. <https://www.newbusiness.at/magazin/new-business-guides/transport--und-logistik-guide-2021>
- Nerdinger, F. W., Blickle, G. & Schaper, N. (2008). *Arbeits- und Organisationspsychologie*. Springer.
- Neumann, W. P. & Dul, J [J.] (2010). Human factors: spanning the gap between OM and HRM. *International Journal of Operations & Production Management*, 30(9), 923–950.
<https://doi.org/10.1108/01443571011075056>
- Nowack, M., Endrikat, J. & Guenther, E. (2011). Review of Delphi-based scenario studies: Quality and design considerations. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1603–1615. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.03.006>
- Nowak, G., Maluck, J., Stürmer, C. & Pasemann, J. (2016). *Autonomous Trucking - The Disruptions on Logistics Value Chain: The Era of Digitized Trucking*. https://www.transport.dtu.dk/english/-/media/Centre/Transport-DTU/Summit2017/Presentations/Freight-Transport-and-Logistics/Gerhard-No-wak.ashx?la=da&hash=E2D0A6A9E6965FB6907CE4D5F671E6FB025DD91B&psig=AOvVaw0YjWgdlx0k_C2GHnStTnpa&ust=1668031615006247. Aufgerufen 08.08.2021

- Nowak, G., Viereckl, R., Kauschke, P. & Starke, F. (2018). *Charting your transformation to a new business model: the era of digitized trucking*. PwC Strategy&. <https://www.ttm.nl/wp-content/uploads/2018/10/The-era-of-digitized-trucking-charting-your-transformation.pdf>. Aufgerufen 08.08.2021
- Oberauer, M. (2023). *Bewertung eines neu entwickelten Fahrerauskonzepts für teilautomatisierte Nutzfahrzeuge* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Oldham, G. R. & Fried, Y. (2016). Job design research and theory: Past, present and future. *Organizational Behavior and Human Decision Processes*, 136, 20–35. <https://doi.org/10.1016/j.obhdp.2016.05.002>
- Oldham, G. R. & Hackman, J. R. (1981). Relationships Between Organizational Structure and Employee Reactions: Comparing Alternative Frameworks. *Administrative Science Quarterly*, 26(1), 66–83.
- Oldham, G. R., Hackman, J. R. & Stepina, L. P. (1978). *Norms for the Job Diagnostic Survey: Technical Report No. 16*. Yale University.
- Ongori, H. (2007). A review on the literature on employee turnover. *African Journal of Business Management*, 49–54.
- Parente, R. & Anderson-Parente, J. (2011). A case study of long-term Delphi accuracy. *Technological Forecasting and Social Change*, 78(9), 1705–1711. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2011.07.005>
- Parker, S. K. (2014). Beyond motivation: job and work design for development, health, ambidexterity, and more. *Annual review of psychology*, 65, 661–691. <https://doi.org/10.1146/annurev-psych-010213-115208>
- Pernestål, A., Engholm, A., Bemler, M. & Gidofalvi, G. (2021). How Will Digitalization Change Road Freight Transport? Scenarios Tested in Sweden. *Sustainability*, 13(1), 304. <https://doi.org/10.3390/su13010304>
- Pertschy, F. (24. Februar 2021). DHL und Volvo schicken Elektro-Lkw auf große Reise: Testphase in Schweden. *Automobil Produktion*. <https://www.automobilproduktion.de/hersteller/neue-modelle/dhl-und-volvo-schicken-elektro-lkw-auf-grosse-reise-306.html>. Aufgerufen 01.06.2021
- Pöllänen, M., Liimatainen, H., Kallionpää, E., Utriainen, R., Tiikkaja, H., Liljamo, T., Viri, R. & O'Hern, S. (2022). Perceptions of Transport Automation amongst Small- and Medium-Sized Road Haulage Companies in Finland. *Vehicles*, 4(2), 433–444. <https://doi.org/10.3390/vehicles4020026>
- Putz, A. & Wiese, A. (2018). *ThinkGLS. ThinkResponsible.: 3. Nachhaltigkeitsbericht*. 2016/2017. General Logistics Systems B.V.
- PwC Strategy&. (2021, 28. Mai). *Digitale Logistikmarktplätze machen Gütertransport bei Kosten und Emissionen effizienter* [Pressemitteilung]. <https://www.strategyand.pwc.com/de/de/presse/2021/cheaper-and-greener.html>
- Raskin, M. S. (1994). The Delphi Study in Field Instruction Revisited: Expert Consensus on Issues and Research Priorities. *Journal of Social Work Education*, 30(1), 75–89. <https://doi.org/10.1080/10437797.1994.10672215>

- Renschler, A. (2021). *Die Zukunft des Nutzfahrzeugs in Zeiten der Transformation: Analyse von Herausforderungen und Erfolgsfaktoren*. Springer Vieweg.
- Ritz, J. (2018). *Mobilitätswende – autonome Autos erobern unsere Straßen*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-20953-7>
- Roberts, K. H. & Glick, W. (1981). The job characteristics approach to task design: A critical review. *Journal of Applied Psychology*, 66(2), 193–217. <https://doi.org/10.1037/0021-9010.66.2.193>
- Rohde, A. (2016). Robotik in der Logistik – Einsatzpotenziale, Herausforderungen und Trends. In F. Molzow-Voit, M. Quandt, M. Freitag & G. Spöttl (Hrsg.), *Robotik in der Logistik*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Rosenstiel, L. von. (2015). *Motivation im Betrieb*. Springer Fachmedien Wiesbaden. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-07810-2>
- Rosic, J., Hammer, F., Gafert, M. & Fröhlich, P. (2021). Acceptance is in the Eye of the Stakeholder. In *13th International Conference on Automotive User Interfaces and Interactive Vehicular Applications* (S. 207–209). ACM. <https://doi.org/10.1145/3473682.3481871>
- Rothe, I., Adolph, L., Beermann, B., Schütte, M., Windel, A., Grewer, A., Lenhardt, U., Michel, J., Thomson, B. & Formazin, M. (2017). *Mental Health in the Working World: Determining the Current State of Scientific Evidence*. Bundesanstalt für Arbeitsschutz und Arbeitsmedizin.
- Rowe, G. & Wright, G. (2001). Expert Opinions in Forecasting: The Role of the Delphi Technique. In F. S. Hillier & J. S. Armstrong (Hrsg.), *International Series in Operations Research & Management Science. Principles of Forecasting* (Bd. 30, S. 125–144). Springer US. https://doi.org/10.1007/978-0-306-47630-3_7
- Ruess, P. & Litauer, R. (2021). 5G als Schlüsseltechnologie für mehr Nachhaltigkeit in der Logistik? *HMD Praxis der Wirtschaftsinformatik*, 58(1), 36–49. <https://doi.org/10.1365/s40702-020-00688-7>
- SAE International (Hrsg.). (2021). *Taxonomy and Definitions for Terms Related to Driving Automation Systems for On-Road Motor Vehicles: Technical Report*. https://saemobilus.sae.org/content/j3016_201806. Accessed 01.03.2022
- Salvendy, G. (2006). *Handbook of Human Factors and Ergonomics*. Wiley & Sons.
- Sarpong, D. & Amoah, J. A. (2015). Scenario planning: 'ways of knowing', methodologies and shifting conceptual landscape. *International Journal of Foresight and Innovation Policy*, 10(2/3/4), Artikel 74397, 75. <https://doi.org/10.1504/IJFIP.2015.074397>
- Schiller, T., Maier, M. & Büchle, M. (2017). *Global Truck Study 2016: The truck industry in transition*. <https://www2.deloitte.com/content/dam/Deloitte/de/Documents/operations/Deloitte%20Global%20Truck%20Study%202016.pdf>. Aufgerufen 02.06.2021
- Schlick, C., Bruder, R. & Luczak, H. (2018). *Arbeitswissenschaft*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-56037-2>
- Schmalz, U., Spinler, S. & Ringbeck, J. (2021). Lessons Learned from a Two-Round Delphi-based Scenario Study. *MethodsX*, 8, 101179. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2020.101179>

- Schmidt, K.-H., Kleinbeck, U., Ottmann, W. & Seidel, B. (1985). Ein Verfahren zur Diagnose von Arbeitsinhalten: Der Job Diagnostic Survey (JDS). *Psychologie und Praxis, Zeitschrift für Arbeits- und Organisationspsychologie*, 29, 162–172.
- Schmidtke, H. (2002). Einführung in die system-ergonomische Vorgehensweise. In H. J. Bullinger, H. W. Jürgens & H. Schmidtke (Hrsg.), *Handbuch der Ergonomie: mit ergonomischen Konstruktionsrichtlinien und Methoden* (Kapitel D - 1.3.1). Bundesamt für Wehrtechnik und Beschaffung; Hanser; Luftfahrt-Verl. Zuerl.
- Schönberg, T., Piske, M., Illi, A. & Hollacher, J. (2020). *Advancing the future of logistics: FreightTech Whitepaper 2020*. TIMOCOM GmbH.
<https://www.rolandberger.com/en/Insights/Publications/FreightTech-The-future-of-logistics.html>
- Schuckmann, S. W., Gnatzy, T., Darkow, I.-L. & Gracht, H. A. von der (2012). Analysis of factors influencing the development of transport infrastructure until the year 2030 — A Delphi based scenario study. *Technological Forecasting and Social Change*, 79(8), 1373–1387. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2012.05.008>
- Schuster, A. M., Agrawal, S., Britt, N., Sperry, D., van Fossen, J. A., Wang, S., Mack, E. A [Elizabeth A.], Liberman, J. & Cotten, S. R [Shelia R.] (2023). Will automated vehicles solve the truck driver shortages? Perspectives from the trucking industry. *Technology in Society*, 74, 102313. <https://doi.org/10.1016/j.techsoc.2023.102313>
- Schweitzer, H. (26. September 2016). Lkw-Zukunft: Vernetzt bis zum Schüttkegel. *Handelsblatt*. <https://www.handelsblatt.com/mobilitaet/motor/lkw-zukunft-vernetzt-bis-zum-schuettkegel/14599692-all.html>. Aufgerufen 03.02.2021
- Schwemmer, M., Schmitt, M., Müller, M. & Schwinning, S. (2020). Einflussbereich "Neue Geschäftsmodelle und Logistikansätze". In C. Kille & M. Meißner (Vorsitz), *Logistik 2020: Struktur- und Wertewandel als Herausforderung. Ergebnisse des Herbstgipfels 2019*.
- Seiter, M., Autenrieth, P. & Schüler, F. (2019). Logistikdienstleister im Zeitalter digitaler Plattformen. In M. Schröder & K. Wegner (Hrsg.), *Logistik im Wandel der Zeit – Von der Produktionssteuerung zu vernetzten Supply Chains* (S. 585–600). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Sgarbossa, F., Grosse, E. H., Neumann, W. P., Battini, D. & Glock, C. H. (2020). Human factors in production and logistics systems of the future. *Annual Reviews in Control*, 49, 295–305. <https://doi.org/10.1016/j.arcontrol.2020.04.007>
- Sharma, S. C. & Gupta, R. (2020). Job Satisfaction: Difference in Levels among Selected Industries. *International Journal of Recent Technology and Engineering (IJRTE)*, 8(6), 5698–5703. <https://doi.org/10.35940/ijrte.F7994.038620>
- Siegrist, J. (1996). Adverse Health Effects of High-Effort/Low-Reward Conditions. *Journal of Occupational Health Psychology*, 1(1), 27–41.
- Siegrist, J., Wege, N., Pühlhofer, F. & Wahrendorf, M. (2009). A short generic measure of work stress in the era of globalization: effort-reward imbalance. *International archives of occupational and environmental health*, 82(8), 1005–1013.
<https://doi.org/10.1007/s00420-008-0384-3>

- Sila, E. & Širok, K. (2018). The Importance of Employee Satisfaction: A Case Study of a Transportation and Logistics Service Company. *Management*, 111–136. <https://doi.org/10.26493/1854-4231.13.111-136>
- Simpson, J. R., Mishra, S., Talebian, A. & Golias, M. M. (2019). An estimation of the future adoption rate of automated trucks by freight organizations. *Research in Transportation Exonomics*, 76, 100737.
- Smith, J., Butler, R., Day, R. J., Goodbody, A. H., Llewellyn, D. H., Rohse, M., Smith, B. T., Tyszczuk, R. A., Udall, J. & Whyte, N. M. (2017). Gathering around stories: Interdisciplinary experiments in support of energy system transitions. *Energy Research & Social Science*, 31, 284–294. <https://doi.org/10.1016/j.erss.2017.06.026>
- Spickermann, A., Zimmermann, M. & Gracht, H. A. von der (2014). Surface- and deep-level diversity in panel selection — Exploring diversity effects on response behaviour in foresight. *Technological Forecasting and Social Change*, 85, 105–120. <https://doi.org/10.1016/j.techfore.2013.04.009>
- Stanton, N. A. (2018). *Advances in Human Aspects of Transportation* (Bd. 597). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-60441-1>
- Statista. (2024). *Anteil der Lkw an der Transportleistung im Güterverkehr in Deutschland von 2013 bis 2026*. <https://de.statista.com/statistik/daten/studie/12195/umfrage/anteil-der-lkw-am-gueterverkehr-in-deutschland/> Aufgerufen 11.05.2024
- Stegmann, S., van Dick, R., Ullrich, J., Charalambous, J., Menzel, B., Egold, N. & Wu, T. (2010). Der Work Design Questionnaire: Vorstellung und erste Validierung einer deutschen Version. *Zeitschrift für Arbeits- u. Organisationspsychologie*(54), 1–28. <https://doi.org/10.1026/0942-4089/a000002>
- Stein, P. & Vollnhals, S. (2011). *Grundlagen clusteranalytischer Verfahren*. Universität Duisburg-Essen.
- Steinmüller, K. (1997). *Grundlagen und Methoden der Zukunftsforschung: Szenarien, Delphi, Technikvorausschau. Werkstattbericht / Sekretariat für Zukunftsforschung: Bd. 21*. Sekretariat für Zukunftsforschung.
- Steinmüller, K. (2008). Methoden der Zukunftsforschung - Langfristorientierung als Ausgangspunkt für das Technologie-Roadmapping. In M. G. Möhrle & R. Isenmann (Hrsg.), *Technologie-Roadmapping* (3. Aufl., S. 85–105). Springer Berlin Heidelberg.
- Steinmüller, K. (2019). Das „klassische“ Delphi. Praktische Herausforderungen aus Sicht der Zukunftsforschung. In M. Niederberger & O. Renn (Hrsg.), *Delphi-Verfahren in den Sozial- und Gesundheitswissenschaften* (S. 33–54). Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Studiengesellschaft für den Kombinierten Verkehr (Hrsg.). (2017). *Entwicklung von KV in Deutschland*. <https://www.intermodal-info.com/kv-in-deutschland/>
- Sucky, E. & Asdecker, B. (2019). Digitale Transformation der Logistik – Wie verändern neue Geschäftsmodelle die Branche? In W. Becker, B. Eierle, A. Fliaster, B. Ivens, A. Leischnig, A. Pflaum & E. Sucky (Hrsg.), *Geschäftsmodelle in der digitalen Welt* (S. 191–212). Springer Fachmedien Wiesbaden. https://doi.org/10.1007/978-3-658-22129-4_10
- Szilagyi, A. D. & Holland, W. E. (1980). Changes in Social Density: Relationships With Functional Interaction and Perceptions of Job Characteristics, Role Stress, and Work Satisfaction. *Journal of Applied Psychology*, 65(1), 28–33.

- Tegtmeier, P. (2018). A scoping review on smart mobile devices and physical strain. *Work (Reading, Mass.)*, 59(2), 273–283. <https://doi.org/10.3233/WOR-172678>
- Tegtmeier, P., Weber, C., Sommer, S., Tisch, A. & Wischniewski, S. (2022). Criteria and Guidelines for Human-Centered Work Design in a Digitally Transformed World of Work: Findings from a Formal Consensus Process. *International journal of environmental research and public health*, 19(23). <https://doi.org/10.3390/ijerph192315506>
- Thirugogasundaram, V. P. & Sahu, P. C. (2014). Job satisfaction and absenteeism interface in corporate sector: a study. *Journal of Humanities and Social Science*, 19, 64–68.
- Thüring, M. & Mahlke, S. (2007). Usability, aesthetics and emotions in human–technology interaction. *International Journal of Psychology*, 42(4), 253–264. <https://doi.org/10.1080/00207590701396674>
- Trist, E. L. & Bamforth, K. (1951). Some social and psychological consequences of the long-wall method of coalgetting. *Human Relations*, 4, 3–38.
- Ulich, E. (2011). *Arbeitspsychologie*. vdf Hochschulverlag AG an der ETH Zürich. <https://doi.org/10.3218/4042-5>
- Ulich, E. (2013). Arbeitssysteme als Soziotechnische Systeme - eine Erinnerung. *Journal Psychologie des Alltagshandelns*, 6(1), 4–12.
- van de Voorde, K., Paauwe, J. & van Veldhoven, M. (2012). Employee Well-being and the HRM-Organizational Performance Relationship: A Review of Quantitative Studies. *International Journal of Management Reviews*, 14(4), 391–407. <https://doi.org/10.1111/j.1468-2370.2011.00322.x>
- Varum, C. A. & Melo, C. (2010). Directions in scenario planning literature – A review of the past decades. *Futures*, 42(4), 355–369. <https://doi.org/10.1016/j.futures.2009.11.021>
- Vaske, H. (2017). Loadfox, FreightHub, Cargonnex & Co.: Online-Speditionen wirbeln Logistikmarkt durcheinander. *COMPUTERWOCHE*. <https://www.computerwoche.de/a/online-speditionen-wirbeln-logistikmarkt-durcheinander%2c3329617>. Aufgerufen 11.05.2021
- Waschull, S., Bokhorst, J., Molleman, E. & Wortmann, J. C. (2020). Work design in future industrial production: Transforming towards cyber-physical systems. *Computers & Industrial Engineering*, 139, 105679. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.01.053>
- Wehking, K.-H. (2020). *Technisches Handbuch Logistik 1*. Springer Berlin Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-60867-8>
- Wiehmeier, M. (2017). *Digitaler Datenklau bedroht internationale Transportketten: Analyse zu Cybersicherheit in der Transport- und Logistikbranche*. <https://www.oliverwyman.de/our-expertise/insights/2017/jun/time-for-transportation-and-logistics-to-up-its-cybersecurity.html>. Aufgerufen 13.05.2021
- Wiendahl, H.-P., Reichardt, J. & Nyhuis, P. (2014). *Handbuch Fabrikplanung: Konzept, Gestaltung und Umsetzung wandlungsfähiger Produktionsstätten* (2. Aufl.). Carl Hanser Verlag.
- Wilson, I. H. (1978). Scenarios. In R. B. Fowles (Hrsg.), *Handbook of Futures Research*. Greenwood Publishing Group.

- Wimmer, A. (2022). *Analyse der Nutzer- und Betreiberanforderungen an den Fahrer Arbeitsplatz von Nutzfahrzeugen im Kontext automatisierten Fahrens* [Semesterarbeit]. Technische Universität München, Garching.
- Winkelhaus, S., Grosse, E. H. & Glock, C. H. (2022). Job satisfaction: An explorative study on work characteristics changes of employees in Intralogistics 4.0. *Journal of Business Logistics*, 43(3), 343–367. <https://doi.org/10.1111/jbl.12296>
- Witten, P. & Schmidt, C. (2019). Globale Trends und die Konsequenzen für die Logistik der letzten Meile. In M. Schröder & K. Wegner (Hrsg.), *Logistik im Wandel der Zeit – Von der Produktionssteuerung zu vernetzten Supply Chains*. Springer Fachmedien Wiesbaden.
- Wu, Y. & Ge, D. (2019). Key Technologies of Warehousing Robot for Intelligent logistics. In *Proceedings of The First International Symposium on Management and Social Sciences (ISMSS 2019)*. Atlantis Press. <https://doi.org/10.2991/ismss-19.2019.16>
- Wurst, C. (2020). Chancen von Logistik 4.0 nutzen. *Controlling & Management Review*(2), 34–39.
- Yankelevich, A., Rikard, R. V., Kadylak, T., Hall, M. J., Mack, E. A [E. A.], Verboncoeur, J. P. & Cotten, S. R [S. R.]. (2018). *Preparing the workforce for automated vehicles*. American Center for Mobility, Michigan State.
- Yousef, D. A. (2000). Organizational commitment and job satisfaction as predictors of attitudes toward organizational change in a non-western setting. *Personnel Review*, 29, 567–592.
- Yousef, D. A. (2017). Organizational Commitment, Job Satisfaction and Attitudes toward Organizational Change: A Study in the Local Government. *International Journal of Public Administration*, 40(1), 77–88. <https://doi.org/10.1080/01900692.2015.1072217>
- Zanker, C. (2018). *Branchenanalyse Logistik: Der Logistiksektor zwischen Globalisierung, Industrie 4.0 und Online-Handel*. Hans Böckler Stiftung.
- Živković, A., Franjković, J. & Dujak, D. (2021). The role of organizational commitment in employee turnover in logistics activities of food supply chain. *Logforum*, 17(1), 25–36. <https://doi.org/10.17270/J.LOG.2021.536>

Vorveröffentlichungsliste

Während der Anfertigung dieser Dissertation entstanden Veröffentlichungen und Studienarbeiten, in denen Teilaspekte dieser Arbeit vorgestellt wurden.

Zeitschriften; Scopus/ Web of Science gelistet (peer-reviewed)

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.

Konferenzen, Magazine, etc.; Scopus/ Web of Science gelistet (peer-reviewed)

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

Zeitschriften, Konferenzen, Magazine, Berichte, Konferenzvorträge und -poster, etc.; nicht Scopus/ Web of Science gelistet

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 Kongresses*. GfA Press.

Betreute Studienarbeiten

Ardiles, L. (2023). *Remote Magnetic Resonance Scanning: Design and analysis of a future workflow and its impact on job roles in healthcare systems* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.

Darlagiannis, E. (2021). *Automatisierte Lkw und die Zukunft der Logistik: Eine Delphi-basierte Szenario-Studie* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.

Gramm, H. (2022). *Das Beste aus beiden Welten - Gestaltungsempfehlungen für Workshops im hybriden Arbeitskontext* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.

Liebl, A. (2023). *Bedarf einer neuen Kabine für automatisierte Lkw im Hub-to-Hub-Verkehr* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.

Oberauer, M. (2023). *Bewertung eines neu entwickelten Fahrerauskonzepts für teilautomatisierte Nutzfahrzeuge* [Masterarbeit]. Technische Universität München, Garching.

Wimmer, A. (2022). *Analyse der Nutzer- und Betreiberanforderungen an den Fahrer Arbeitsplatz von Nutzfahrzeugen im Kontext automatisierten Fahrens* [Semesterarbeit]. Technische Universität München, Garching.

Anhang

Anhang A	Evaluation Hub-Fahrer:in.....	xxv
Anhang B	Evaluation Be-/Entladepersonal	xxix

Anhang A Evaluation Hub-Fahrer:in

Im Folgenden werden weitere Ergebnistabellen der Evaluation Hub-Fahrer:in aufgeführt.

Tabelle A.1 Verbesserungsvorschläge für den Beruf Hub-Fahrer:in (n = 20)

Verbesserungsvorschlag	Häufigkeit
Lkw selbst von Hub zu Hub fahren	3
Mehr Entscheidungsfreiheit / Handlungsspielraum	3
Mitspracherecht bei Beladung	2
Mehr Verantwortung / Aufgaben (generell)	2
Z. B. eigene Routenplanung auf dem Werk	1
Z. B. Fahrzeugwartung	1
Z. B. Planung Tageslogistik	1
Z. B. Be-/ Entladung komplett übernehmen	1
Änderungen in der Kabine (niedriger Einstieg, mehr Komfort, Individualisierung)	3
Lkw komplett automatisieren / fernsteuern	2
Längere Fahrten auf dem Gelände einbauen	1
Mehr soziale Kontakte, z. B. mit Disposition	1
Aufgabe vereinfachen / reduzieren:	
Z. B. Container statt Trailer verwenden (Ladungssicherung einfacher)	1
Z. B. Dokumentation soll von Lagerpersonal übernommen werden	1
Z. B. weniger Zeitdruck	1
Einbindung in Teamarbeit	1
Zuständigkeiten klar definieren	1
Beruf interessanter machen	1
Arbeitszeiten	
Gegelte Arbeitszeiten im Schichtsystem	1
Freiheit bei Arbeitszeitmodell-Wahl (TZ, Schicht)	1
Weiterbildungsmöglichkeiten	1
Job Rotation: Abwechslung mit Arbeit im Lager	1

Tabelle A.2 Angebote auf Ebene der Unternehmen (n = 34)

Angebote	Häufigkeit
Keine Angebote nötig	6
Übergeordnetes	
Gute Arbeitszeiten	6
Work-Life-Balance	3
Job-Sicherheit	3
Faires Gehalt	2
Sonder- / Bonuszahlungen	4
Fahrtkostenpauschale	1
30 Urlaubstage	1
Soziales Ansehen des Berufs	1
Gute Arbeitsmittel (unspezifisch)	2
gute, an Aufgabe angepasste Fahrzeuge	3
Arbeitskleidung (wetterfest)	3
Tätigkeit	
Klare Aufgabenzuteilung	1
Mehr Abwechslung	1
Gute Einarbeitung	1
Gute Arbeitsumgebung	1
Sozialleistungen (unspezifisch)	4
Betriebliche Altersvorsorge	4
Vereinbarkeit mit Familie (z.B. Kitaplätze)	2
Gesundheitsvorsorge	1
Sonstiges	1
Weiterbildungsmöglichkeiten (unspezifisch)	2
Ladungssicherung	2
Gefahrgut	1
Arbeitsschutz	1
Fahrtrainings	1
Aufstiegsmöglichkeiten	1
Auf dem Hub	
Verpflegungsmöglichkeit	8
Aufenthaltsräume	3
Sanitäre Anlagen	1
Sauberkeit in Gemeinschaftsräumen	1

Gutes Arbeitsklima (unspezifisch)	3
- Wertschätzung	8
- Kollegiales Arbeitsverhältnis	5
Sonstiges	
Fitnessangebote	2
E-Bike-Leasing	1
Entertainment für Wartezeiten	1
Schnuppertag, um den Job zu testen	1

Tabelle A.3 Angebote auf dem Hub (n = 34)

Angebote	Häufigkeit
Arbeitstätigkeit (generell)	
Arbeitsmaterialien und –kleidung	3
Überdachte Be-/Entladestellen (Witterung)	2
Zusätzlich fester Büroarbeitsplatz	2
Roller/Räder für Arbeitswege auf dem Hub	1
Sonstiges	2
Arbeitstätigkeit (Fahren)	
Genug Lkw-Stellflächen	2
Klare Verkehrsregeln	2
Lkw-Fahrspur	1
Werkstatt für Lkw-Pannen	1
Einsatzzentrale	1
Abgesichertes Gelände	1
Arbeitstätigkeit (Miteinander)	
Regelmäßiger Kontakt zu Vorgesetzten	1
Gutes Arbeitsklima	1
Pausen	
Aufenthaltsräume (u.a. klimatisier- / heizbar; gemütlich; an unterschiedlichen Orten auf dem Hub)	19
Verpflegung (Essen/Getränke)	15
Ausreichend Sanitäranlagen (WC; Dusche)	10
Raucherecke	3
Entertainment (Tischkicker; Dart; Multimedia)	2
Umkleide	1
Ruheraum	1
Sonstiges	
Work-Life-Balance	1
Gute Anbindung des Hubs (Arbeitsweg)	1
Keine Angabe / schwer einzuschätzen	5

Anhang B Evaluation Be-/Entladepersonal

Tabelle B.1 Verbesserungsvorschläge für die aktuelle Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)

Häufigkeit		Häufigkeit	
Keine Verbesserungsvorschläge	10	Arbeitsmaterial	8
Korrekte Ladung der Lkw	17	Funktionsfähige Auflieger	2
Korrekte Ladungssicherung	5	Bessere Paletten	2
Reihenfolge und Sortierung anpassen	4	Weitere Einzelnennungen	4
Stellrichtung Paletten anpassen	2	Rahmenbedingungen	7
Weniger hohe Stapelung	2	Weniger Vetterwirtschaft	3
Beschriftung der Ware verbessern	2	Faire Leistungsbeurteilung	3
Weitere Einzelnennungen	2	Geregelte Arbeitszeiten	1
Zusammenarbeit intern	12	Prozessoptimierung	6
Mehr Personal einstellen	3	Weitere Einzelnennungen	6
Weitsicht für nachfolgende Prozesse	2	Umgebungsfaktoren	6
Rücksicht auf Staplerverkehr	2	Boden begradigen	4
Weitere Einzelnennungen	5	Weitere Einzelnennungen	2
Zusammenarbeit mit Fahrer:innen	6		
Sprachbarriere verringern	2		
Infos in mehreren Sprachen	2		
Weitere Einzelnennungen	2		

Tabelle B.2 Änderungswünsche für die aktuelle Arbeitssituation der Be- und Entlader:innen (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)

Häufigkeit		Häufigkeit	
Keine Änderungswünsche	14	Arbeitsmaterial	8
Kollaboration	11	Moderne, funktionierende Stapler	2
Mehr Teamgeist schaffen	4	Zusätzliche Hilfsmittel	2
Mehr Wertschätzung	2	Funktionsfähige Auflieger	1
Mehr Personal	2	Prozessoptimierung	8
Weitere Einzelnennungen	3	Automatisierte Transportsysteme	2
Rahmenbedingungen	10	Digitalisierung von Dokumenten	2
Mehr Gehalt	3	Weitere Einzelnennungen	4
Mehr Platz für Aufgabe	2	Korrekte Ladung Lkw	4
Faire Leistungsbeurteilung	2	Reihenfolge und Sortierung	2
Weitere Einzelnennungen	2	Weitere Einzelnennungen	2
		Sonstiges	2

Tabelle B.3 Gründe für und gegen das Interesse an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in (n = 45)

Interesse (n = 24)	Häufigkeit	Kein Interesse (n = 21)	Häufigkeit
Arbeitsaufgabe	14	Arbeitsaufgabe	17
Gefallen am Lkw-Fahren	10	Zu langweilig / monoton	6
Zusätzliche Aufgaben sind einfach	2	Kein Gefallen an Lkw(-Fahren)	5
Abwechslung	2	Körperliche Belastung	3
Weiterbildung	12	Weitere Einzelnennungen	3
Neues Lernen	4	Keine Veränderung gewünscht	3
Perspektivwechsel	3	Umgebungsbedingungen	3
Anderen Prozess-Teil kennenlernen	2	Keine Verantwortung für Ladung	2
Neue Herausforderung	2	Witterung ausgesetzt sein	1
Prozessoptimierung	4	Kollaboration	2
Internes Personal kennt Abläufe	4	Einzelnennungen	2
Bedingungen	4	Sonstiges	1
Einzelnennungen	4		
Sonstiges	3		

Tabelle B.4 Gründe für und gegen das Interesse an der Tätigkeit als Hub-Fahrer:in in Abwechslung mit den Be- und Entladetätigkeiten (n = 45)

Interesse (n = 27)	Häufigkeit	Kein Interesse (n = 18)	Häufigkeit
Arbeitsaufgabe	24	Arbeitsaufgabe	14
Abwechslung	16	Kein Interesse an der Aufgabe	9
Ganzheitliche Bearbeitung	5	Jetzige Arbeit macht mehr Spaß	2
Generelles Interesse	2	Weitere Einzelnennungen	3
Mehr Verantwortung	1	Umgebungsfaktoren	3
Weiterentwicklung	4	Einzelnennungen	3
Neues Lernen	3	Kollaboration	2
Lkw-Fahrer:innen besser verstehen	1	Einzelnennungen	2
Bedingungen	2	Sonstiges	5
Einzelnennungen	2	Viele Fahrer:innen nötig	1
Kollaboration	1	Weitere Einzelnennungen	2
Einzelnennung	1		
Sonstiges	6		
Ich mache das was ich machen soll	4		
Weitere Einzelnennungen	2		

Tabelle B.5 Gründe für und gegen die Übernahme der zusätzlichen Aufgaben und Verantwortung (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)

Aufgaben gerne übernehmen	Häufigkeit	Aufgaben nicht gerne übernehmen	Häufigkeit
Arbeitsaufgabe	22	Rahmenbedingungen	14
Geringer Unterschied zur Tätigkeit heute	5	Hoher Zeitaufwand / Stress	8
Eigene Kontrolle über Qualität der Arbeit	5	Mehr Verantwortung	3
Abwechslung	5	Mehrarbeit	2
Digitalisierung / Arbeit mit Tablets	3	Witterung ausgesetzt sein	1
Interesse an Tätigkeit	2	Arbeitsaufgabe	10
Weitere Einzelnennungen	4	Körperliche Anstrengung	4
Bedingungen	10	Viel Wechsel zwischen Aufgaben	3
Ausreichend Zeit für Aufgabe	4	Einzelnennungen	3
Angemessenes Gehalt	3	Kollaboration	1
Einzelnennungen	3	Weniger Kontakt zu Menschen	1
Weiterentwicklung	7	Bedingungen	2
Verantwortung übernehmen	3	Angemessenes Gehalt	1
Offenheit für neues	2	Standardisierte Beladung	1
Unkonkrete Angabe Weiterentwicklung	2	Sonstiges	4
Kollaboration	2	Wenn ich muss, würde ich es machen	2
Weniger Kontakt zu Menschen	1	Gehört nicht zu meinem Job	2
Sprachbarriere Fahrer:in entfällt	1	Gute Ausbildung für Ladungssicherung	1
Sonstiges	12		
Das ist dann eben mein Job	12		

Tabelle B.6 Verbesserungsvorschläge für Prozess 2 (n = 45; Mehrfachnennungen möglich)

Häufigkeit		Häufigkeit	
Prozessanpassung		Mitarbeitende	19
Personal	35	Schulungen	5
Mehr Personal		Ladungssicherung	5
Zusammenarbeit von 2-3 Personen/Lkw	11	Digitales System	2
Ausreichend Zeit für Aufgabe	5	Andere	3
Trennung der Rollen	16	Ansprechpartner zur Verfügung stellen	2
Be-/Entladung vs. Schließen/Ladungssi- cherung	11	Weitere Einzelnennungen	2
Einzelnennungen	3	Offene Punkte	15
Prozessdefinitionen	10	Haftungsfrage klären	5
Vorgang Dokumentation definieren	4	Versicherungsfrage klären	5
4-Augen-Prinzip bei Ladungssicherung	3	Vorgehen bei Problemen	1
Einzelnennungen	2	Zusätzliche Funktionen digit. System	7
Alternative Prozesse	5	Einzelnennungen	7
Prozess mit Hub-Fahrer:in bevorzugt	2	Umgebungsfaktoren	5
Lkw an einer Stelle komplett entladen	2	Be-/Entladung innen/unter Überdachung	3
Keine Mischverladungen mehr zulassen	1	Wartebereich für Lkw	2
Lkw / Auflieger	29	Arbeitsmittel	5
Standardisierte Beladung (Behälter / Sortierung)	12	Einzelnennungen	5
Auflieger mit automatischer Öffnung	6	Sonstiges	6
Auflieger mit verstärkter Plane	3	Gehalt anpassen	2
Lkw muss alle Manöver meistern	4	Standardisierte Beschriftung Güter	2
Möglichkeit zur Kommunikation mit Lkw	2	Weitere Einzelnennungen	2
Einzelnennungen	2		