
Zukunftsfähige Gestaltung des Logistiksystems mit fahrerlosen Fahrzeugen

Sandra Tjaden

Siehe AutorInnenangaben

Abstract

Logistik- und Transportunternehmen versprechen sich von fahrerlosen Fahrzeugen vielfältige Optimierungspotenziale. In der bestehenden Forschung bleiben diese potenziellen Wirkungen und ihre Wirkungsgefüge im Logistiksystem bislang jedoch weitestgehend unberücksichtigt. Tjaden (2023) schließt diese Forschungslücke und schafft basierend auf einer Literaturanalyse mithilfe eines dreistufigen Modellansatzes ein Verständnis des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem. Aus den sowohl qualitativen als auch quantitativen Ergebnisse werden Gestaltungsoptionen abgeleitet, die von den relevanten Akteuren für eine zukunftsfähige Einführung des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem genutzt werden können.

Schlagwörter / Keywords:

Fahrerloses Fahren, Logistik, Wirkungen, Zukunftsforschung

1. Hintergrund und Zielsetzung

Bereits seit Beginn des 20. Jahrhunderts fasziniert das fahrerlose Fahren die Menschen und die Entwicklung schreitet kontinuierlich voran. Wurden zunächst ferngesteuerte Fahrzeuge erprobt, setzte sich im Laufe der Jahre die Idee eines sich selbst steuernden fahrerlosen Fahrzeugs zunehmend durch. In der heutigen Zeit ist diese Idee weiter ausgereift, sodass erste Fahrzeuge im Realbetrieb erprobt werden.

Die Logistik- und Transportbranche verspricht sich vom fahrerlosen Fahren Optimierungspotenziale, doch in der bestehenden Forschung und Literatur werden diese Wirkungen im Logistiksystem bislang wenig berücksichtigt. Das Sammelwerk „Autonomes Fahren“ aus dem Jahr 2015 (Maurer et al. 2015) stellt das erste wissenschaftliche Werk dar, das sich ganzheitlich mit dem automatisierten und fahrerlosen Fahren beschäftigt. Darin werden technische, gesellschaftliche und rechtliche Aspekte diskutiert, wobei der Fokus auf automatisierte Personenkraftwagen (Pkw) liegt. Flämig (2015) setzt sich als Einzige darin mit dem automatisierten und fahrerlosen Fahren im Gütertransport auseinander. Sie diskutiert als eine Folge des fahrerlosen Fahrens u.a. Veränderungen in der Supply Chain. Berufskraftfahrende übernehmen in der heutigen Zeit neben der reinen Fahrtätigkeit

unter anderem auch die Be- und Entladung des Fahrzeugs, sichern die Ladung und dokumentieren die Warenbegleitpapiere. Diese Tätigkeiten müssen mit Einführung fahrerloser Fahrzeuge vollständig durch Automatisierungssysteme oder anderes Personal übernommen werden (Flämig 2015). Zudem suchen die Unternehmen nach Alternativen, die den Mangel an Berufskraftfahrenden beheben sowie Effizienzsteigerung und Kosteneinsparungen versprechen.

Obwohl die Potenziale des Einsatzes fahrerloser Fahrzeuge im Straßengüterverkehrssystem höher eingeschätzt werden, dominiert bis heute die Personenverkehrsforschung. Eine von Tjaden (2023) durchgeführte Literaturanalyse zeigt, dass die Forschung im Güterverkehr erst seit den 2000er Jahren zunimmt und sich zunächst auf das Platooning, die elektronische Kopplung von Lkw, konzentriert. Wirkungen des automatisierten und fahrerlosen Fahrens werden meist qualitativ betrachtet und mithilfe von Kausaldiagrammen visualisiert. Die meisten Analysen fokussieren jedoch nur eine Wirkung. Es fehlt zudem an einer ganzheitlichen Betrachtung der Wirkungen des fahrerlosen Fahrens, die über die ökonomischen Potentiale hinausgehen. Diese Forschungslücke gilt es zu schließen, indem die Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem aus einer übergreifenden Perspektive analysiert werden.

Tjaden (2023) setzt an diesem Punkt und untersucht das Wirkungsgefüge des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem. Das Wirkungsgefüge zu verstehen, dient dazu, unerwünschte Wirkungen des fahrerlosen Fahrens zu reduzieren. Abgeleitete Handlungsoptionen helfen, eine zukunftsfähige Gestaltung des Logistiksystems mit fahrerlosen Fahrzeugen zu unterstützen.

Vor dem aufgezeigten Hintergrund und der Zielsetzung leiten sich drei forschungsleitende Fragen ab:

1. Anhand welcher Elemente lässt sich das straßengebundene Logistiksystem beschreiben?
2. Welche Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem werden erwartet?
3. Welche Gestaltungsoptionen können abgeleitet werden, um unerwünschte Wirkungen des fahrerlosen Fahrens zu reduzieren?

2. Forschungsgegenstand: Fahrerloses Fahren

Mit dem Gesetz zum autonomen Fahren im Jahr 2021 ebnet die Bundesrepublik Deutschland den Weg, fahrerlose Fahrzeuge in zuvor definierten öffentlichen Straßenräumen einzusetzen. Nach Gasser et al. (2012) wird die Automatisierung von Fahrzeugen in 5 Leveln eingeteilt: Nicht automatisiertes Fahren, assistiertes Fahren, teilautomatisiertes Fahren, hochautomatisiertes Fahren, vollautomatisiertes Fahren. SAE International (2014) erweitert diese Stufen um das autonome Fahren. Die Bundesanstalt für Straßenwesen komprimierte diese Abgrenzung im Jahr 2021 auf drei Stufen: Assistierter Modus, automatisierter Modus und autonomer Modus (Bundesanstalt für Straßenwesen 2021).

Bei allen Definitionen fällt auf, dass es keine Unterscheidung zwischen dem Personen- und Güterverkehr gibt. Im Güterverkehr stellen die Tätigkeiten der Berufskraftfahrenden einen essentiellen Bestandteil der physischen Transportleistung dar, sodass Tjaden (2023), basierend auf Flämig (2015), eine Erweiterung der Definitionen, um die Tätigkeiten der Berufskraftfahrenden vornimmt:

„Berufskraftfahrende sind während der fahrerlosen Fahrt nicht länger im Fahrzeug anwesend. Eine natürliche Person hat während der gesamten Fahrt die Navigationsebene in Form einer technischen Aufsicht zu übernehmen. Fahraufgaben auf der Bahnführungs- und Stabilisierungsebene werden durch das Fahrzeugsystem übernommen. Alle anderen Fahraufgaben und Tätigkeiten, die für den physischen Transport eines Gutes erforderlich sind, werden entweder durch das Fahrzeugsystem oder durch Dritte übernommen.“ (Tjaden 2023)

3. Methodisches Vorgehen

Da es sich bei dem Forschungsgegenstand, dem fahrerlosen Fahren, um eine Zukunftstechnologie handelt, wählt Tjaden (2023) einen systemdynamischen Forschungszugang aus. Ein dreistufiger Modellansatz dient dazu, zunächst ein Wortmodell zur Beschreibung des Untersuchungsgegenstandes zu ermitteln. Anschließend werden zwei Zukunftsmodelle entwickelt, die das Wirkungsgefüge des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystems sowohl qualitativ als auch quantitativ beschreiben. Zur Ermittlung der qualitativen Wirkungen wird auf das Sensitivitätsmodell und den Papiercomputer nach Vester (1990) zurückgegriffen. Die Wirkungen werden anschließend mit einem eigens entwickelten System Dynamics (SD)-Modell quantifiziert. Das SD-Modell wird zusätzlich als Gestaltungsmodell genutzt, das dazu dient, unerwünschte Wirkungen des fahrerlosen Fahrens zu reduzieren. Anhand der Ergebnisse lassen sich Handlungsoptionen für eine zukunftsfähige Gestaltung des straßengebundenen Logistiksystems ableiten.

4. Wortmodell und Ermittlung der relevanten Variablen

Zur Identifikation der Systemgrenzen und Beantwortung der ersten Forschungsfrage werden in der Literatur dokumentierte Verkehrs- und Logistikmodelle herangezogen und die in DIN-Normen und VDI-Richtlinien beschriebenen Prozesse der Logistikkette mit Hilfe der Business Process Modelling Notation (BPMN) abgebildet. Wie die Abbildung 1 zeigt, besteht das System aus Elementen, Prozessen und Akteuren.

Als Ergebnis liegt eine Arbeitsdefinition des straßengebundenen Logistiksystems vor. In Anlehnung an Pfohl (2010) und basierend auf einer prozessualen Gestaltung der Logistikkette umfasst das Logistiksystem *„die Elemente zur Planung, Steuerung und Durchführung zur raumzeitlichen Gütertransformation“* (Tjaden 2023).

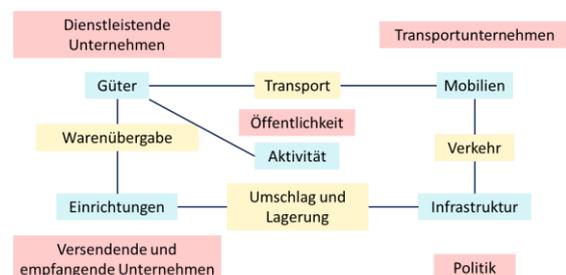


Abbildung 1: Struktur des straßengebundenen Logistiksystems (Tjaden 2023 basierend auf Sjöstedt 1996)

Zur ganzheitlichen Analyse der Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem wurde eine Detailanalyse ausgewählter Literatur durchgeführt. Nach der vollständigen Auswertung von 31 Artikeln,

die sich mit Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Straßengüterverkehr beschäftigen, können 53 nicht-technische Aspekte des fahrerlosen Fahrens ermittelt werden.

Die Struktur des straßengebundenen Logistiksystems dient als Grundlage für die Einordnung der ermittelten 53 nicht-technischen Aspekte. Diese lassen sich zu 18 Variablen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem aggregieren und in vier Subsysteme einordnen: Logistikleistung, Warenübergabe, Transport und Verkehrsleistung.

Mithilfe der Methodik nach Vester (1990) wird ein Variablensatz abgeleitet, der die 18 Variablen definiert, mit Indikatoren versieht und externe Einflüsse beschreibt. Zur Überprüfung des Variablensatzes auf Vollständigkeit der adressierten Systembereiche wird die Kriterienmatrix nach Vester (1990) angewendet.

5. Das qualitative Zukunftsmodell

Aufbauend auf dem definierten Variablensatz wird ein qualitatives Zukunftsmodell entwickelt, mit dem das Wirkungsgefüge im Logistiksystem durch den Einfluss des fahrerlosen Fahrens qualitativ abgebildet wird. Das qualitative Zukunftsmodell ermöglicht das Verständnis und die Offenlegung des Wirkungsgefüges im Logistiksystem mit fahrerlosen Fahrzeugen.

Zur Strukturierung der Wirkung des fahrerlosen Fahrens in direkte und indirekte Wirkungsbeziehungen wendet Tjaden (2023) den Papiercomputer nach Vester (1990) an. Basierend auf dem Sensitivitätsmodell nach Vester (1990) werden zunächst die Wirkungen der 18 Variablen untereinander anhand der Literatur sowie durch einen Workshop mit Forschenden analysiert und hinsichtlich ihrer Wirkungsstärke und

Richtung der Wirkungsbeziehung eingeordnet sowie in einer Einflussmatrix nach Vester (1990) festgehalten (siehe Abb. 2).

Anschließend werden diese Wirkungszusammenhänge in einem Kausaldiagramm visualisiert und die Rollen der Variablen im System ermittelt und im Einflusdiagramm abgebildet. Auf der Ebene der Subsysteme erfolgt wiederum mit Kausaldiagrammen deren detaillierte Analyse.

Die Analyse des Wirkungsgefüges zeigt, dass zwischen den Variablen 19 positive und 17 negative Rückkopplungsschleifen auftreten. Hierbei handelt es sich im Fall der positiven Rückkopplungsschleifen um gleichgerichtete (verstärkende oder abschwächende) Wirkungen zwischen zwei oder mehr Variablen. Die positive Rückkopplungsschleifen können zu einer Destabilisierung des Systems und die negativen Rückkopplungsschleifen zu einer Balance des Systems durch ihre sowohl verstärkende als auch abschwächende Wirkungen führen (Vester 1990).

6. Das quantitative Zukunftsmodell

Tjaden (2023) entwickelt aus dem selbst entworfenen qualitativen Zukunftsmodell ein systemdynamische Rechnermodell, um die Wirkungen auch quantitativ zu erfassen. Darin sind alle mit Hilfe der Einflussmatrix identifizierten Wirkungszusammenhänge und somit auch alle Rückkopplungsschleifen abgebildet. Dadurch können erstmalig die Wirkungen einer zunehmenden Marktdurchdringung fahrerloser Fahrzeuge über den Zeitverlauf auf die anderen Variablen im Logistiksystem quantifiziert werden.

Abbildung 2: Einflussmatrix des Untersuchungssystems (Tjaden 2023)

Variable	Fahrzeughleinleistung	Straßentransportnachfrage	Lieferzuverlässigkeit	Fahrzeugauslastung	Schnittstellentechnologien	Personalbedarf zur Be- und Entladung	Personalqualifikation	Kosten für Warenübergabe	Fahrerloses Fahrzeug	Antriebstechnologie	Berufskraftfahrende	TCO	THG-Emissionen	Stauaufkommen	Verkehrsunfälle	Infrastrukturnutzung	Infrastrukturkosten	Stellplatzbedarf	Aktivsumme	
Einfluss von ↓ auf →	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	
+ Fahrzeughleinleistung		0	0	1	0	0	0	0	2	2	2	2	3	2	2	2	2	1	14	
+ Straßentransportnachfrage	-3		-1	2	1	-2	0	1	2	0	2	0	0	0	0	0	0	0	21	
+ Lieferzuverlässigkeit	1	2		0	1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	0	0	0	5	
+ Fahrzeugauslastung	0	0	0		0	0	1	0	0	-1	-2	-1	-1	0	-1	-1	-1	9		
+ Schnittstellentechnologien	0	0	1	0		-3	2	3	1	0	0	0	0	0	0	0	0	10		
+ Personalbedarf zur Be- und Entladung	0	0	1	0	-2		-1	3	0	0	0	0	0	0	0	0	0	7		
+ Personalqualifikation	0	0	1	0	1	-1		2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	5		
+ Kosten für Warenübergabe	0	0	0	0	2	0	0		0	0	0	1	0	0	0	0	0	3		
+ Fahrerloses Fahrzeug	2	0	2	-1	3	2	0	2		1	-3	3	-1	-2	-3	-2	2	-2	31	
+ Antriebstechnologie	0	0	0	0	0	0	0	1	0		0	1	-3	0	0	0	3	0	8	
+ Berufskraftfahrende	1	0	1	0	-2	-1	0	0	-2	0		3	0	0	1	0	0	2	13	
+ TCO	-1	-2	0	1	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	0	0	0	4	
+ THG-Emissionen	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		0	0	0	1	0	1	
+ Stauaufkommen	-2	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2		2	2	1	0	12	
+ Verkehrsunfälle	0	0	-2	0	0	0	0	0	0	0	2	0	3	0		0	2	0	9	
+ Infrastrukturnutzung	-2	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	0	0	0	0	2	1		0	0	8	
+ Infrastrukturkosten	-1	-1	0	0	0	0	0	-1	-1	0	1	0	-1	-1	-2		1	10		
+ Stellplatzbedarf	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-1	0	0	0	2		4		
Passivsumme	6	13	12	5	12	9	3	13	9	4	9	17	11	11	10	9	14	7		
AS/PS	2,33	1,62	0,42	1,80	0,83	0,78	1,67	0,23	3,44	2	1,44	0,24	0,4	1,09	0,90	0,89	0,71	0,57	Q	
AS x PS	84	273	60	45	120	63	15	39	279	32	117	68	44	132	90	72	140	28	P	

Stärke des Einflusses

- + gleichgerichtete Wirkung
- 3 sehr starker Einfluss
- 2 starker Einfluss
- 1 geringer Einfluss
- 0 kein/sehr geringer Einfluss
- 1 geringer Einfluss
- 2 starker Einfluss
- 3 sehr starker Einfluss
- entgegengerichtete Wirkung

Für die Analyse der Wirkungen einer zunehmenden Marktdurchdringung fahrerloser Fahrzeuge werden alle Variablenwerte ohne und mit dem fahrerlosen Fahren zu vier unterschiedlichen Zeitpunkten verglichen: im Basisjahr 2019, nach 10 Jahren für eine kurzfristige, nach 20 Jahren für eine mittelfristige und nach 30 Jahren für eine langfristige Zukunft. Dabei wird von einem gleichbleibenden Fahrzeugbestand ausgegangen. Zur Entwicklung des Modells und Berechnung der Veränderungen wird auf die Simulationssoftware Vensim zurückgegriffen.

Die vier Subsysteme werden mit allen Wirkungsrichtungen und -gewichtungen aus der Einflussmatrix in das Simulationsmodell integriert. Als Initiator der Veränderung dient die Variable „Marktdurchdringung fahrerloser Fahrzeuge“, deren S-förmiger Verlauf auf Ginsburg und Uygur (2017) und dem Produktlebenszyklusmodell in entwickelten Ländern nach Vernon (1966) basiert (siehe Abb. 3).

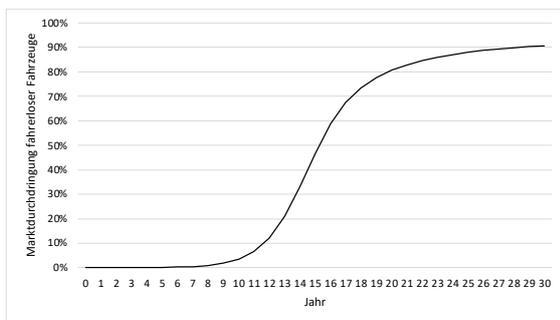


Abbildung 3: Verlauf der Marktdurchdringung fahrerloser Fahrzeuge (Tjaden 2023)

Unter Berücksichtigung der Annahmen und der Limitationen eines solchen Simulationsmodells wird deutlich, dass sich die Variablenausprägungen in den ersten 10 Jahren nur sehr geringfügig verändern. Im Jahr 20 ist die hohe Dynamik im System zu erkennen,

da viele steigende und sinkende Variablenwerte zu erkennen sind. Zwischen dem Jahr 20 und dem Jahr 30 fallen die Veränderungen moderat aus. Dieser Verlauf war aufgrund der hinterlegten Kurve der „Marktdurchdringung fahrerloser Fahrzeuge“ zu erwarten. Dennoch verändern sich nicht alle Variablen in gleicher Weise. Aufgrund der Rückkopplungsschleifen und der unterschiedlichen Wirkungsrichtung und -gewichtung auf eine Variable verändern diese sich stärker oder schwächer bzw. zeitverzögert.

Basierend auf den Zielen einer nachhaltigen Entwicklung leitet Tjaden (2023) erwünschte und unerwünschte Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem anhand der Ergebnisse des Simulationsmodells ab. Erwartete erwünschte Wirkungen aus der Literatur werden mithilfe des Simulationsmodells bestätigt. Bei steigender Umstellung der Antriebe auf erneuerbare Energien sinken die Treibhausgasemissionen. Auch die Total Cost of Ownership nehmen im Vergleich zum Ausgangswert ab.

Gleichzeitig werden unerwünschte Wirkungen deutlich. Aus ökologischer Perspektive stellt die steigende Fahrzeugfahrleistung eine Herausforderung dar, die zu negativen Auswirkungen führen kann. Ökonomisch sind die steigenden Kosten in der Warenübergabe sowie für Infrastruktur unerwünscht. Der Rückgang der Berufskraftfahrenden wird zudem als sozial unerwünscht bewertet.

Aus der Sicht der Transportunternehmen ermöglicht das fahrerlose Fahren wünschenswerte Wirkungen. Für versendende und empfangende Unternehmen bietet das fahrerlose Fahren hingegen keine Anreize, da mehr Personal erforderlich wird und Kosten steigen. Es gilt die Wirkungen daher so zu gestalten,

Tabelle 1: Ökonomisch-ökologisches Gestaltungsszenario im Vergleich zum quantitativen Zukunftsmodell mit Veränderungseffekten (Tjaden 2023)

Variablen	Einheit	Quantitatives Zukunftsmodell (QZ)			Szenario „Ökologisches und ökonomisches Modell“		Absolute Veränderung im Vergleich zum Jahr 0	Absolute Veränderung des Szenarios zum QZ im Jahr 30
		Absolut Jahr 0	Absolut Jahr 30	Relativ Jahr 30	Absolut Jahr 30	Relativ Jahr 30		
Fahrzeugfahrleistung	Fzkm	93.384	112.203	20%	90.547	-3%	↘	↘
Straßentransportnachfrage	Mio. t	2.477	2.697	9%	2.851	15%	↗	↗
Lieferzuverlässigkeit	%	80	104	30%	103	28%	↗	↘
Fahrzeugauslastung	%	57	51	-11%	70	22%	↗	↗
Schnittstellentechnologien	%	20	28	41%	29	43%	↗	↗
Personalbedarf zur Be- und Entladung	Anzahl	48.329	52.661	9%	26.039	-46%	↘	↘
Personalqualifikation	%	58	72	24%	84	44%	↗	↗
Kosten für Warenübergabe	€	314.320	495.096	58%	297.125	-5%	↘	↘
Fahrerloses Fahrzeug	%	0	92	92%	92	92%	→	→
Antriebstechnologie	%	0	60.703	28%	46.499	21%	↗	↘
Berufskraftfahrende	Anzahl	572.238	423.216	-26%	381.926	-33%	↘	↘
TCO	€	224.476	219.194	-2%	200.114	-11%	↘	↘
THG-Emissionen	Mio. t CO ₂ e	17,9	12,4	-31%	12,2	-32%	↘	↘
Stauaufkommen	Mio. Fz	2,8	2,1	-25%	1,9	-32%	↘	↘
Verkehrsunfälle	Anzahl	36.938	24.199	-34%	22.338	-40%	↘	↘
Infrastrukturnutzung	km	14.527	12.902	-11%	12.518	-14%	↘	↘
Infrastrukturkosten	Mrd. €	2,1	2,5	21%	2,1	1%	↘	→
Stellplatzbedarf	km ²	5.733	4.192	-27%	3.457	-40%	↘	↘

dass unerwünschte Wirkungen des fahrerlosen Fahrens möglichst reduziert werden, um eine zukunftsfähige Entwicklung zu unterstützen.

7. Gestaltungsmodell

Aufbauend auf den identifizierten nicht erwünschten Variablenverläufen werden ein ökologisches, ein ökonomisches und ein soziales Gestaltungsmodell durch die Umkehrung von Wirkungsrichtungen der Variablen untereinander simuliert und die Veränderungen der Variablenwerte im Jahr 30 gegenüber dem Basisjahr 2019 miteinander verglichen und analysiert.

Die Modellierung ausgewählter Variablen führt zu einem kombinierten ökologischen und ökonomischen Szenario, wie Tabelle 1 zeigt. Das Szenario wandelt die unerwünschten Wirkungen in erwünschte Entwicklungen um, sodass Emissionen weiterhin gesenkt und die Infrastruktur entlastet aber auch Kosten für die Warenübergabe und die Infrastruktur reduziert werden.

Auch einige soziale Wirkungen, wie ein verringertes Stauaufkommen und der Rückgang von Verkehrsunfällen, können mit diesem ökologisch-ökonomischen Szenario verbessert werden. Das Szenario verstärkt allerdings den unerwünschten Effekt des abnehmenden Personalbedarfs.

Zur Reduzierung der Kosten in der Warenübergabe wird ein Rückgang des Personalbedarfs angenom-

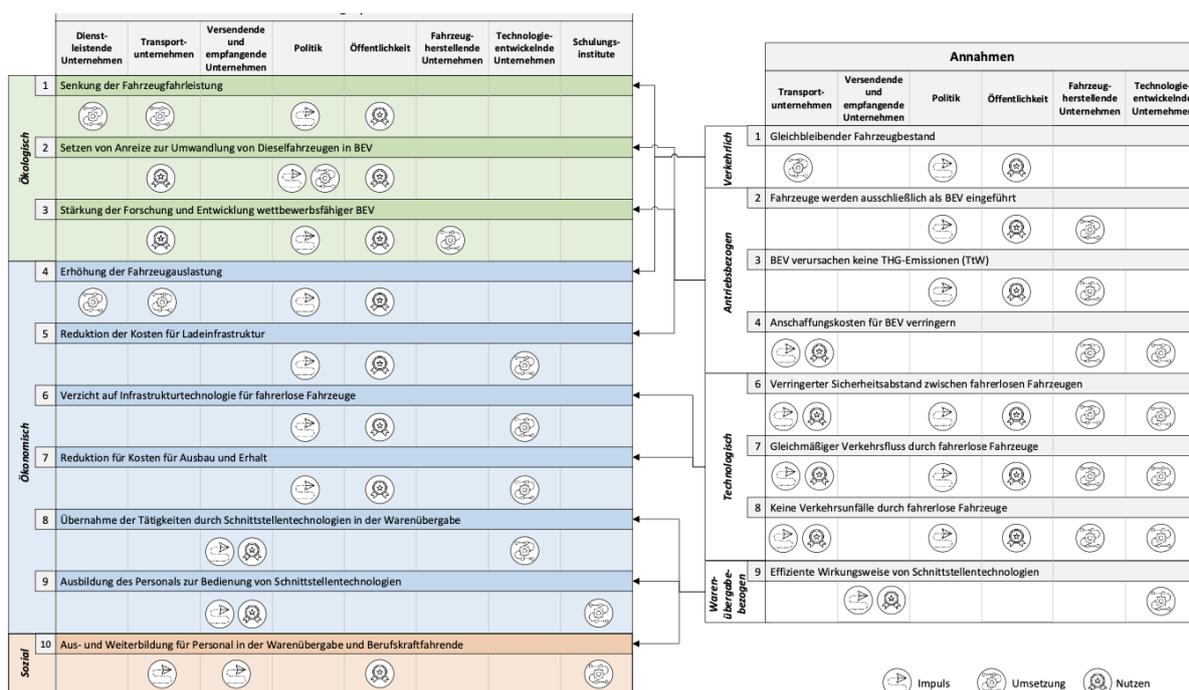
men. Es zeigt sich allerdings, dass sich die Personalkosten in der Warenübergabe erst reduzieren, wenn in Deutschland der Personalbedarf in der Warenübergabe unter 30.000 Personen gesunken ist und von den durchschnittlich verbleibenden maximal vier Personen in der Warenübergabe, drei Personen eine höher qualifizierte Position innehaben. Das Modell verdeutlicht durch die ganzheitliche Betrachtung damit nicht nur den Rückgang von Berufskraftfahrenden von ca. 30 % bis zum Jahr 30, sondern auch von Personal zur Be- und Entladung von über 40 %. Ausgehend vom Basisjahr könnte dies einen Rückgang von insgesamt etwa 190.000 Arbeitsplätzen für Berufskraftfahrenden und für Personal beim Versender bzw. Empfänger nach 30 Jahren bedeuten.

8. Gestaltungsoptionen und Fazit

Basierend auf den Ergebnissen des Gestaltungsmodells und den Annahmen, die für die Simulation getroffen werden, leitet Tjaden (2023) 10 Gestaltungsoptionen ab. Um eine aktorspezifische Ansprache zu ermöglichen, werden die Gestaltungsoptionen den impulsgebenden, umsetzenden und nutzengewinnenden Akteuren zugeordnet. Die Abbildung 4 zeigt die Gestaltungsoptionen mit den zuvor festgelegten Annahmen aus dem Simulationsmodell.

Neben den aus der Systemdefinition bekannten Akteuren – den dienstleistenden Unternehmen, den Transportunternehmen, den versendenden und empfangenden Unternehmen und der Politik – sind

Abbildung 4: Gestaltungsoptionen und Annahmen für ein zukunftsfähiges Logistiksystem mit fahrerlosen Fahrzeugen (Tjaden 2023)



auch Technologieunternehmen, herstellende Unternehmen sowie Schulungsinstitute in den Veränderungsprozess integriert.

Tjaden (2023) arbeitet heraus, dass die Politik für die meisten Gestaltungsoptionen den Impuls geben muss, damit die umsetzenden Akteure die Gestaltungsoptionen durchführen können. In der Regel profitiert die Öffentlichkeit aufgrund von verringerten Umweltwirkungen. Dabei wird deutlich gemacht, dass die Gestaltungsoptionen ihre Grenzen an den im System berücksichtigten Variablensatz finden und deshalb auch keinen Anspruch auf Vollständigkeit erheben bzw. erheben können.

Das fahrerlose Fahren als Teil der Zukunftsforschung ist auch zum heutigen Zeitpunkt noch mit vielen Unsicherheiten verbunden. Dies ist insbesondere durch die fehlende Implementierung im öffentlichen Straßenraum begründet, sodass umfassende empirische Daten fehlen. Tjaden (2023) baut die Ergebnisse auf der bestehenden Literatur und Workshops auf. Empirische Daten helfen in Zukunft die Analyse zu verfeinern, die Ergebnisse von Tjaden (2023) liefert aber bereits heute einen wichtigen Beitrag zum Verständnis des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem und motiviert die relevanten Akteure die vorgelegten Gestaltungsoptionen zu prüfen, um eine zukunftsfähige Einführung fahrerloser Fahrzeuge im Logistiksystem zu ermöglichen.

Anmerkung

Dieser Artikel basiert auf der Dissertation von Sandra Tjaden aus dem Jahr 2023 mit dem Titel „Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem“, veröffentlicht an der Technischen Universität Hamburg. Gutachterinnen sind Prof. Dr.-Ing. Heike Flämig und Prof. Dr. Barbara Lenz.

Literatur

Bundesanstalt für Straßenwesen (Hg.) (2021): Selbstfahrende Autos – assistiert, automatisiert oder autonom? Nr. 06/2021. Online verfügbar unter https://www.bast.de/BAST_2017/DE/Presse/Mitteilungen/2021/06-2021.html, zuletzt geprüft am 06.08.2021.

Flämig, Heike (2015): Autonome Fahrzeuge und autonomes Fahren im Bereich des Gütertransportes. In: Markus Maurer, J. Christian Gerdes, Barbara Lenz und Hermann Winner (Hg.): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. s.l.: Springer, S. 377–398.

Gasser, Tom; Arzt, Clemens; Ayoubim Mihiar; Bartels, Arne; Eier, Jana; Flemisch, Frank et al. (2012): Rechtsfolgen zunehmender Fahrzeugautomatisierung. Hg. v. Bundesanstalt für Straßenwesen (Berichte der Bundesanstalt für Straßenwesen, Unterreihe "Fahrzeugsicherheit", F 83).

Ginsburg, Robert; Uygur, Arin Rubaci (2017): *Changing Technology in Transportation: Automated Vehicles in Freight*. Final Report. The University of Illinois at Chicago.

Maurer, Markus; Gerdes, J. Christian; Lenz, Barbara; Winner, Hermann (Hg.) (2015): *Autonomes Fahren. Technische, rechtliche und gesellschaftliche Aspekte*. s.l.: Springer.

Pfohl, Hans-Christian (2010): *Logistiksysteme. Betriebswirtschaftliche Grundlagen*. 8., neu bearb. und aktualisierte Aufl. Berlin: Springer.

SAE International (2014): *Taxonomy and Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems*. Surface Vehicle Information Report J3016. Hg. v. SAE International (1).

Sjöstedt, Lars (1996): A Theoretical Framework – From an Applied Engineering Perspective. In: European Council of Applied Science and Engineering (Euro-CASE) (Hg.): *Mobility, Transport and Traffic in the Perspective of Growth, Competitiveness, Employment*. Paris, S.71-79.

Tjaden, Sandra (2023): *Wirkungen des fahrerlosen Fahrens im Logistiksystem*. Dissertation. Technische Universität Hamburg, Hamburg.

Vernon, Raymond (1966): International Investment and International Trade in the Product Cycle. In: *Q J Econ* 80 (2), S. 190–207. DOI: 10.2307/1880689.

Vester, Frederic (1990): *Ausfahrt Zukunft. Strategien für den Verkehr von morgen; eine Systemuntersuchung*. 2., korr. Aufl. München: Heyne.

Autorinnenangaben

Dr.-Ing. Sandra Tjaden
Ehemals Wissenschaftliche Mitarbeiterin
Technische Universität Hamburg
Institut für Verkehrsplanung und Logistik
Am Schwarzenberg-Campus 3, 21073 Hamburg,
Deutschland
E-Mail: sandratjaden@gmx.de