



Universität
Bremen

Fachbereich 7 | Wirtschaftswissenschaft

Schriftenreihe des
Lehrstuhls für
Logistikmanagement

Nr. 1
Jahrgang 2022

Kotzab, H. (Hrsg.)

Digitalisierung im Straßengüterverkehr untersucht an der
Wirkgröße Emissionsausstoß

Ellmers, Jana; Kloka, Andreas; Kolaczkiwicz, Matthias; Kühn, Nils

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	II
Abbildungsverzeichnis.....	IV
Tabellenverzeichnis.....	V
Abkürzungsverzeichnis.....	VI
1 Einleitung.....	1
1.1 Zielsetzung.....	3
1.2 Gang der Argumentation.....	3
2 Konzeptioneller Rahmen.....	4
2.1 Theoretischer Hintergrund des Straßengüterverkehrs.....	4
2.1.1 Randbedingungen und Ziele.....	4
2.1.2 Eigenschaften, Informationsflüsse und Kooperationen.....	4
2.1.3 Branchenanalyse des deutschen Straßengüterverkehrs.....	6
2.2 Ökologische Nachhaltigkeit im Straßengüterverkehr.....	8
2.3 Digitalisierung.....	10
2.3.1 Begriffsdefinition.....	11
2.3.2 Digitalisierung in der Transportlogistik.....	13
3 Methodik.....	15
3.1 Literaturrecherche.....	15
3.2 Analytical Hierarchy Process.....	16
3.2.1 Theoretischer Hintergrund.....	16
3.2.2 Projektspezifische Anwendung.....	19
4 Forschungsergebnisse.....	22
4.1 Ergebnisse Literaturrecherche.....	22

4.1.1	Maßnahmen im Bereich Planung	23
4.1.2	Maßnahmen im Bereich Fahrverhalten	26
4.1.3	Maßnahmen im Bereich Datensammlung und -Auswertung	27
4.2	Ergebnisse Analytical Hierarchy Process	29
4.2.1	Bewertung der Kriterien und Subkriterien	30
4.2.2	Bewertung der Alternativen.....	31
4.2.3	Gesamtergebnis	32
4.2.4	Robustheit der Ergebnisse	33
5	Diskussion.....	35
6	Fazit und Ausblick	38
	Literaturverzeichnis.....	41
	Anhang.....	A

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Beförderungsmengen Güterverkehr Deutschland.....	1
Abbildung 2: Emissionen pro Tonnenkilometer im Güterverkehr.....	1
Abbildung 3: Anteile Unternehmen nach Anzahl der Beschäftigten.....	7
Abbildung 4: Anteile Unternehmen nach Zahl der Lastkraftfahrzeuge.....	7
Abbildung 5: Unternehmensstruktur im Straßengüterverkehr im Jahre 2014	8
Abbildung 6: Methodik Literaturrecherche.....	15
Abbildung 7: Schritte der AHP Methodik	17
Abbildung 8: Projektspezifische Darstellung AHP Ebene 0 bis Ebene 2	20
Abbildung 9: Frachtbörsen in der Sharing Economy.....	24
Abbildung 10: Projektspezifische Gesamthierarchie AHP	29
Abbildung 11: Ergebnisse Ebene 1 und 2	30

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile Straßengüterverkehr	5
Tabelle 2: Zusammenfassung der Definitionen für Digitalisierung.....	12
Tabelle 3: Einteilung der Maßnahmen in Bereiche.....	22
Tabelle 4: vorläufige Rangfolge.....	32
Tabelle 5: Beispielhafte Darstellung der Kriterienbewertung durch die Experten	33

Abkürzungsverzeichnis

AHP	Analytical Hierarchy Process
BAG	Bundesamt für Güterverkehr
BMDV	Bundesministerium für Digitales und Verkehr
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
BVL	Bundesvereinigung Logistik
EDDI	Elektronische Deichsel – Digitale Innovation
EDI	Electronic Data Interchange
EU	Europäische Union
FuE	Forschung und Entwicklung
Fvft	Nachhaltigerer LKW-Verkehr durch künstliche Intelligenz für variable Betriebsdaten – Feature vectors for Trucks
GüKG	Güterkraftverkehrsgesetz
KI	Künstliche Intelligenz
KITE	Künstliche Intelligenz im Transport zur Emissionsreduktion
KIVAS	KI-gestützte Kurzzeitprognosen für die Verbesserung von Fahrzeugeinsatz- und Auslastungsplanung im deutschen Straßengüterverkehr
Lkw	Lastkraftwagen
OBD	On-Board Diagnostics
tkm	Tonnenkilometer
TPM	Tire Pressure Monitoring

1 Einleitung

Im deutschen Güterverkehr leistet der Straßengüterverkehr die höchste Transportleistung. Die starke Dominanz gegenüber der Güterbahn und Binnenschifffahrt wird in Abbildung 1 verdeutlicht. Mit einem Anteil von 86% der Beförderungsmenge im Jahr 2020 ist der Verkehrsträger Straße im Güterverkehr unabdingbar (FIS, 2021, o.S.; Statistisches Bundesamt, 2021a, o.S.). Zudem weist der Straßengüterverkehr seit Jahrzehnten einen mengenmäßigen Zuwachs bei den beförderten Mengen und in den zurückgelegten Transportkilometern auf (Bratzel, 2008, o.S.; Statistisches Bundesamt, 2021b, o.S.), wobei ein weiterer Anstieg prognostiziert wird (BMVI, 2021a, o.S.). Ein großer Nachteil des Transportmittels sind jedoch die pro Tonnenkilometer (tkm) ausgestoßenen Emissionen. Wie Abbildung 2 zeigt, sind diese mit 111 g/tkm deutlich höher als in den Sektoren Schienengüterverkehr (17 g/tkm) und Binnenschifffahrt (30 g/tkm) (Umwelt Bundesamt, 2021a, o.S.).

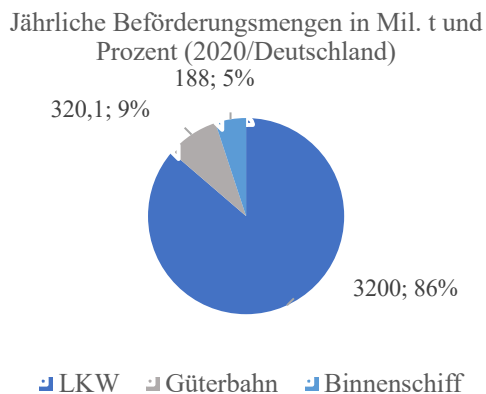


Abbildung 2: Beförderungsmengen Güterverkehr Deutschland (eigene Darstellung, Daten: Statistisches Bundesamt, 2021a, o.S.)

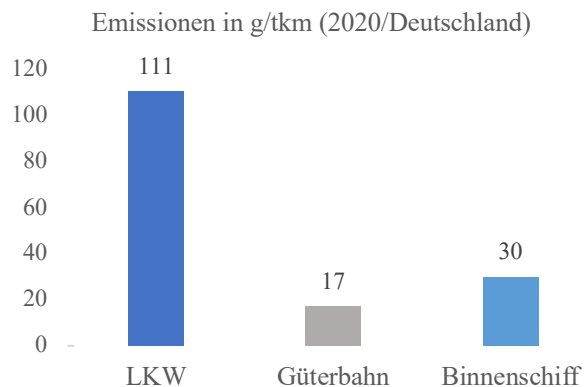


Abbildung 1: Emissionen pro Tonnenkilometer im Güterverkehr (eigene Darstellung, Daten: Umwelt Bundesamt, 2021a, o.S.)

Die Minimierung der Umweltbelastung durch Schadstoffe und Emissionen von klimaschädlichen Treibhausgasen (FIS, 2021, o.S.; Grün und Jammernegg, 2019, S. 29) ist jedoch unerlässlich für die Aufrechterhaltung bzw. Verbesserung der Umweltqualität (Blazejczak und Edler, 2004, S. 15). Der hohe Emissionsausstoß in Verbindung mit dem zu erwartenden weiter anwachsenden Transportanteil des Straßengüterverkehrs stellt daher eine Herausforderung dar, die insbesondere vor dem Hintergrund der Klimaschutz Beschlüsse der Bundesregierung relevant erscheint. Laut des verfassten Klimaschutzgesetzes und damit ausgegebenen Klimazielen soll der klimaschädliche Ausstoß von Treibhausgasemissionen schrittweise reduziert werden, da bis 2045 eine Treibhausgasneutralität angestrebt ist. Bis 2030 sollen Emissionen um 65% und bis 2040 um 88% im Vergleich zum Referenzjahr 1990 reduziert werden (BMW, 2021,

o.S.). Neben dem Staat fordern auch die Kunden¹ vermehrt nachhaltige Transportsysteme (ILoNa, 2018, S. 4).

Die von der Bundesregierung aufgestellten Ziele und damit verbundenen Verpflichtungen unterstützen eine ökologisch nachhaltige Entwicklung in vielen Branchen. Die moderne Definition der Nachhaltigkeit ist die Befriedigung der gegenwärtigen menschlichen Bedürfnisse, ohne die Befriedigung derselben Bedürfnisse zukünftiger Generationen zu gefährden (Vereinte Nationen, 1993, S. 3ff; World Commission on Environment and Development, 1987, S. 16). Um dies zu verdeutlichen, wird oft vom Dreisäulenmodell der Nachhaltigkeit, bestehend aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Nachhaltigkeit, gesprochen. Die zugrunde liegende Theorie des Modells besagt, dass alle drei Säulen gleichrangig berücksichtigt werden sollten, was bedeutet, dass ein Unternehmen dann nachhaltig agiert, wenn wirtschaftlicher Erfolg unter Berücksichtigung von Umwelt- und Sozialfaktoren erreicht wird (Corsten und Roth, 2012, S. 1). Die Treibhausgasreduktionsziele bilden in diesem Modell das ökologische Nachhaltigkeitsbestreben ab (Straube et al., 2009, S. 208f).

Da der Verkehrssektor mit 20% der gesamten Treibhausgase der Bundesrepublik einen hohen Anteil an der Erreichung der Klimaziele trägt (Umwelt Bundesamt, 2021b, o. S.), zeigt sich, dass auch im Straßengüterverkehr eine Neugestaltung und Unterstützung von Prozessabläufen erfolgen muss, damit die ausgegebenen Ziele erreicht werden können (DIHK und IHK, 2021, S. 2; Uhl und Mahnken, 2019, S. 74). In anderen Sektoren hat sich bereits gezeigt, dass Digitalisierungsmaßnahmen ein wirkungsvolles Mittel zur Emissionsreduktion sein können. Laut einer Studie des Digitalverbands Bitkom können langfristig die Hälfte aller produzierten Emissionen durch Digitalisierung eingespart werden (Bitkom e.V., 2020, o.S.). Auch im Straßengüterverkehr kann davon ausgegangen werden, dass eine fortschreitende Digitalisierung das Potential besitzt, zur Emissionsreduktion der Branche beitragen zu können (SRU, 2017, S. 105f). Es kann jedoch davon ausgegangen werden, dass Digitalisierungsmaßnahmen allein nicht ausreichend sind, um die Klimaschutzziele zu erreichen (Göckeler et al., 2020, S. 35). Neben der Stärkung von klimafreundlicheren Verkehrsmitteln stellen alternative Antriebe und Kraftstoffe eine Möglichkeit der Emissionsreduktion dar: Laut dem Geschäftsführer der Bundesgesellschaft Nationale Organisation Wasserstoff- und Brennstofftechnologie existieren hierbei im Bereich der Nutzfahrzeuge drei Ausgestaltungsmöglichkeiten: batteriebetriebene Antriebe, die Verwendung von Oberleitungen und die Nutzung von Wasserstoffbrennzellen (Futurefuels, 2021, o.S.). Die flächenmäßige Nutzung von LKW mit alternativen Antriebsformen erfordert jedoch eine bedarfsgerechte Infrastruktur, wobei bisherige Wasserstoff-Tankstellen und Strom-Ladesäulen sowie Oberleitungen nicht ausreichend vorhanden oder nicht für die Betankung schwerer Nutzfahrzeuge geeignet sind. Ein Ausbau erscheint erst in den kommenden

¹ Auf geschlechtsneutrale Formulierungen wurde aus Gründen der Lesbarkeit verzichtet. Der im Text verwendete generische Maskulin bezieht sich zugleich auf die männliche, die weibliche und andere Geschlechteridentitäten.

Jahrzehnten realistisch (Fuchs, 2020, S. 21f; Rose et al., 2020, S. 2). Da die alternativen Antriebsformen für die Emissionseinsparung im Straßengüterverkehr essenziell erscheinen, jedoch aufgrund des aktuellen Entwicklungsstadiums als langfristige Maßnahme aufzufassen sind (Schlott, 2020, S. 10f), werden im Rahmen dieser Arbeit lediglich Digitalisierungsmaßnahmen angeführt, die kurz- und mittelfristig zu Einsparungen führen können.

1.1 Zielsetzung

Ziel dieser Arbeit ist es deshalb, die Potentiale und den Einfluss bestimmter Digitalisierungsmaßnahmen auf die Wirkgröße Emissionsausstoß im Straßengüterverkehr systematisch darzulegen. Die dabei identifizierten Maßnahmen und Prozesse sollen in einem konkreten Unternehmenskontext anwendbar sein. Dies ist notwendig, da die Märkte im Güterverkehr stark fragmentiert sind (BAG, 2020, S. 15ff). Vor diesem Hintergrund lautet die in dieser Arbeit definierte Forschungsfrage:

Welche Digitalisierungsmaßnahmen auf Unternehmensebene bieten die größten Potentiale in der Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr?

Konkrete Aussagen hinsichtlich der Potentiale lassen sich in diesem Zusammenhang zwar nur anhand maßnahmenspezifischer Annahmen treffen, jedoch zeigen die dargelegten Klimaschutzziele, dass politische Maßnahmen den Druck auf Logistikdienstleister erhöhen. Dies macht die Entwicklung und Anwendung bestimmter Maßnahmen erforderlich, die dazu geeignet sind, den Emissionsausstoß zu verringern.

1.2 Gang der Argumentation

Um ein umfassendes Verständnis des Straßengüterverkehrs, der Wirkgröße Emissionsausstoß und der Digitalisierung zu erlangen, wird zunächst in Kapitel 2 der theoretische Rahmen definiert.

Unter Berücksichtigung des theoretischen Rahmens wird die Methode der qualitativen Literaturrecherche zur Identifikation von Digitalisierungsmaßnahmen und die Methode des Analytical Hierarchy Proces (AHP) zur Bewertung dieser Maßnahmen dargestellt (Kapitel 3).

Anschließend werden die identifizierten Maßnahmen in Kapitel 4.1 aufgezeigt und näher erläutert. Kapitel 4.2 fasst die Ergebnisse des AHP, welches von den Experten und den Autoren der Arbeit durchgeführt worden ist, zusammen. Das anschließende Kapitel 5 diskutiert die gewonnenen Ergebnisse unter Rückbezug auf den theoretischen Rahmen.

Kapitel 6 fasst abschließend die Ergebnisse der Arbeit zusammen, gibt einen Überblick über die Limitationen der Forschung und liefert einen Ausblick für weiteren Forschungsbedarf.

2 Konzeptioneller Rahmen

2.1 Theoretischer Hintergrund des Straßengüterverkehrs

Für die Einordnung und Bewertung der Maßnahmen ist zunächst ein theoretisches Hintergrundwissen des Straßengüterverkehrs zu erarbeiten. Dieses beinhaltet allgemeine Informationen wie die Randbedingungen, Ziele, als auch Charakteristika sowie die Zusammenarbeit der verschiedenen Akteure. Des Weiteren wird eine Branchenanalyse, die die starke Fragmentierung des Marktes sowie aktuelle Herausforderungen aufzeigt, durchgeführt.

2.1.1 Randbedingungen und Ziele

Der Straßengüterverkehr kann als Transportsystem betrachtet werden (Gleißner und Femerling, 2008, S. 42), entsprechend besteht die wesentliche Aufgabe in der Raumüberbrückung von Gütern mithilfe von Transportmitteln. Hierfür werden Transportprozesse benötigt, die inner- als auch außerbetrieblich erfolgen können (Pfohl, 2018, S. 169). Der Straßengüterverkehr ist als außerbetrieblicher Transport anzusehen, wodurch zusätzliche Restriktionen und weitere externe Faktoren wie die Zustände der Infrastruktur, Rechtsvorschriften und Transportnebenkosten greifen (Schulte, 2017, S. 298). Hierbei unterliegt ein Transportsystem verschiedenen Randbedingungen. Räumliche Randbedingungen können zwei verknüpfte Standorte sein, sowie die damit verbundenen Wege oder Durchfahrtshöhe. Die zeitlichen Randbedingungen setzen sich aus Abhol-, Anlieferungs- und Transportzeiten zusammen. Die Belastbarkeit des Transportmittels, -wegen sowie -elementen werden den technischen Randbedingungen zugeordnet. Die in dieser Arbeit fokussierten Emissionsausstöße sind den ökologischen Randbedingungen zuzuordnen. Diese beinhalten Grenzwerte bezüglich der ausgestoßenen Emissionen als auch einen möglichst geringen Energie- und Treibstoffverbrauch. Bei der Gestaltung eines Transportsystems und den damit angestrebten kostenoptimalen Transport einer Beförderungsmenge sind die genannten Randbedingungen zu beachten (Gudehus, 2010, S. 771). Nach Bahrami (2003, S. 17f) ist neben der Reduzierung von Inputfaktoren wie Kosten und Ressourcen auch die Optimierung des Outputs, der als Lieferservice angesehen werden kann, ein Ziel der Transportlogistik. Die Adaptionfähigkeit des Transportsystems wird von Bahrami (2003, S. 19f) als drittes Ziel genannt. Pfohl (1994, S. 137) führt aus, dass Transportsysteme sich ändernden Faktoren anpassen sollten, ohne die grundlegende Konzeption ändern zu müssen. Diesbezüglich sollten Systemstrukturen nicht zu komplex sein, sodass Anpassungen schneller erfolgen können (Bahrami, 2003, S. 19f).

2.1.2 Eigenschaften, Informationsflüsse und Kooperationen

Der Straßengüterverkehr beinhaltet sämtliche Transporte, die mithilfe von Kraftfahrzeugen auf der Straße durchgeführt werden (Dabidian und Langkau, 2013, S. 137). Entsprechend ist dieser auf den Verkehrsträger Straße und dessen Ausbau angewiesen. Ein flächendeckendes

Straßennetz ist eine Bedingung für die Vorteile des Straßengüterverkehrs, die in der Tabelle 1 zusammen mit den Nachteilen aufgelistet sind (Dabidian und Langkau, 2013, S. 138f).

Tabelle 1: Vor- und Nachteile Straßengüterverkehr (Aberle, 2009, S. 538f; Muchna, 2018, S. 101; Schulte, 2012, S. 186; Wannenwetsch, 2021, S. 767)

Vorteile	Nachteile
Direkter Transport	Überlasteter Verkehrsträger Straße
Flächendeckende Güterverteilung	Hohe Umweltbelastungen
Relativ schneller Transport (Geringe- und mittlere Entfernungen)	Reglementierungen (z. B. Sonntagsfahrverbote und Ruhezeiten)
Relativ wenig Stillstand- und Wartezeiten	Hoher Energieeinsatz je beförderter Tonne
Flexibilität (Spezialfahrzeuge, Dispositionsmöglichkeiten)	Eingeschränktes Transportvolumen (ca. 20-25t Nutzlast)

Hinsichtlich des Straßengüterverkehrs ist zwischen gewerblichem Güterkraftverkehr und Werkverkehr zu unterscheiden. Der gewerbliche „Güterkraftverkehr ist die geschäftsmäßige oder entgeltliche Beförderung von Gütern mit Kraftfahrzeugen, die einschließlich Anhänger ein höheres zulässiges Gewicht als 3, 5 Tonnen haben“ (GüKG, o. J., §1). Beim Werkverkehr handelt es sich dagegen um den Transport von Gütern für eigene Zwecke (Vahrenkamp und Kotzab, 2017, S. 71; GüKG, o. J., §1).

Bei den Informationsflüssen gilt es zwischen vorauseilenden, begleitenden und folgenden Informationen zu differenzieren. Erstere werden für die Disposition benötigt, um anhand von Informationen bspw. hinsichtlich des Abhol- und Zielortes des Transportauftrags die Routenplanung der Lkw zu organisieren. Die begleitenden Informationen stellen bspw. Frachtbriefe dar, die die Sendung begleiten. Bei folgenden Informationen kann es sich unter anderem um Rechnungen handeln (Schulte, 2017, S. 367ff).

Zwischen den einzelnen Akteuren entstehen Schnittstellen, die als Grenzen von logistischen Systemen betrachtet und mit Informationsflüssen überwunden werden können (Pfohl, 2018, 321ff), unter anderem durch die Anwendung von Electronic Data Interchange (EDI). Des Weiteren können mit EDI bspw. fehlerhafte Systemeingaben vermieden werden (Koether, 2018, S. 74f) und die Bildung von unternehmensweiten Netzwerken unterstützt werden (Pfohl, 2018, S. 91). Das sogenannte Tracking and Tracing ermöglicht die Bestimmung des aktuellen Ortes des Transportmittels oder der Versendung, wodurch konkrete Ankunftszeiten ermittelt werden können (Koether, 2018, S. 76f).

Bei Kooperation sollte eine Standardisierung von Informationsflüssen erfolgen (Gudehus, 2010, S. 975). Es kann zwischen horizontalen Kooperationen, die die Zusammenarbeit zwischen Unternehmen auf derselben Wirtschafts- und Wertschöpfungsstufe beinhaltet, und der vertikalen Kooperationen, die die Zusammenarbeit auf unterschiedlichen Wirtschafts- und Wertschöpfungsstufen umfasst, differenziert werden. Die Vorteile von Kooperationen bestehen in der Ausweitung, Optimierung und Standardisierung von Prozessen und Leistungen (Gleißner und Femerling, 2016, S. 102). Bei Kooperationen werden höhere Investitionen, resultierend in eine längere Zusammenarbeit, getätigt, während bei Geschäftsbeziehungen die Partner kurzfristig ausgetauscht werden können (Pfohl, 2018, S. 323f).

2.1.3 Branchenanalyse des deutschen Straßengüterverkehrs

Der Straßengüterverkehr macht mit 73% der gesamten Beförderungsmenge den größten Transportanteil im deutschen Güterverkehr aus. In Kombination mit der zurückgelegten Strecke ergeben sich somit 486 Milliarden tkm (Statistisches Bundesamt, 2021b, o.S.). Die Gründe für die starke Dominanz des Straßengüterverkehrs sind auf die zuvor dargestellten Vorteile zurückzuführen.

Es gibt verschiedene Herausforderungen, mit denen die Branche des deutschen Straßengüterverkehrs konfrontiert ist. Hierzu gehört der hohe Leerfahrtenanteil von 37,1% bzw. 152,1 Millionen Fahrten ohne Ladung im Jahr 2020 (KBA, 2021, o. S.). Diese werden unter anderem durch erhöhte Kundenanforderungen wie der just-in-time Lieferung und durch verkürzte Lieferzeiten bedingt. Durch das fortschreitende Wachstum des Onlinehandels werden die Kundenanforderungen weiter erhöht. Auch ein steigender Kostendruck, resultierend aus steigenden Kraftstoffpreisen (En2, 2021, o. S.) und künftig steigenden CO₂-Preisen (BPB, 2020, o. S.), ist in der Branche beobachtbar. Das Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)² prognostiziert einen weiter steigenden Fahrermangel, der sich negativ auf die Leistungskraft der deutschen Wirtschaft auswirken wird (BMVI, 2020a, S. 4f). Als Gründe für den Fahrermangel führt das BMVI das Aussetzen der Wehrpflicht, die als Ausbildungsstätte für Fahrer fungierte, den demografischen Wandel, das unattraktive Berufsbild und unattraktive Arbeitsbedingungen an (BMVI, 2020a, S. 9). Der Mangel an Fachkräften wird auch in den Berufsgruppen der Disposition und im Lager beklagt (BVL, 2017, o. S.). Auch werden Sicherheitsbedenken bezüglich des Lkw als Unfallauslöser medial thematisiert. Dies begründet sich in erster Linie durch eine gefährliche Fahrweise wie zu dichtes Auffahren, Übermüdung und Ablenkung der Fahrer (ADAC, 2019, o. S.). Wie in Kapitel 1

² Mit Beginn der 20. Legislaturperiode wurde das BMVI in Bundesministerium für Digitales und Verkehr (BMDV) umbenannt. Da die im Rahmen dieser Arbeit verwendeten Quellen vor Umbenennung des Ministeriums abgerufen wurden, wird im weiteren Verlauf der Begriff BMVI verwendet.

erläutert, ist die Nachhaltigkeit im gesellschaftlichen Fokus und übt somit ebenfalls steigenden Druck auf die Branche aus.

Die Überwindung dieser Herausforderungen wird durch die Marktstrukturen, die im Folgenden erläutert werden, erschwert. Das Bundesamt für Güterverkehr (BAG) veröffentlicht alle fünf Jahre einen Bericht zur Unternehmensstruktur des gewerblichen Güterkraftverkehrs und des Werkverkehrs. Es geht hervor, dass im Jahre 2020 45.929 Unternehmen dem Werkverkehr angehören, dies ist ein Zuwachs um 7,9 % im Vergleich zu 2015. Auch die Anzahl der Beschäftigten ist in diesem Zeitraum um 5,9% gestiegen. Hinsichtlich der Größenstruktur sind Zuwächse bei Unternehmen mit einem Beschäftigten von 10,3% und mit mehr als 50 Beschäftigten von 17,2 % zu beobachten. Dem gewerblichen Güterkraftverkehr gehören 46.902 Unternehmen an, die 652.557 Personen beschäftigen. Im Vergleich zum Jahre 2015 sind dies 3,5% mehr Beschäftigte. Bei der Größenstruktur sind Zuwächse von 11,3% bei Unternehmen mit 20-49 Beschäftigten, sowie mit mehr als vier Kraftfahrzeugen (Lkw und Sattelzugmaschinen) auffallend (BAG, 2020, S. 7f).

Unternehmen nach Anzahl der Beschäftigten
(Gewerblicher Güterverkehr, Deutschland 2020)

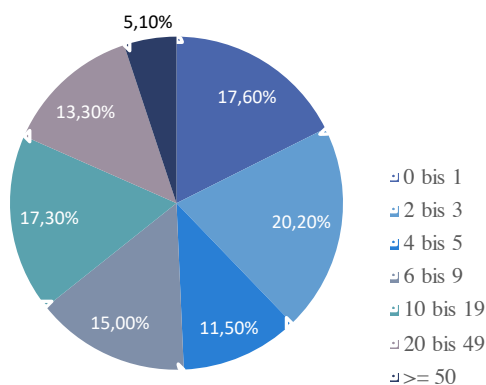


Abbildung 3: Anteile Unternehmen nach Anzahl der Beschäftigten (eigene Darstellung, Daten: BAG, 2020, S. 15)

Unternehmen nach Zahl der Lastkraftfahrzeuge
(Gewerblicher Güterverkehr, Deutschland 2020)

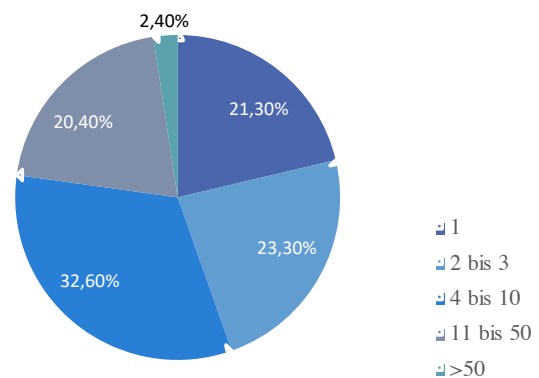


Abbildung 4: Anteile Unternehmen nach Zahl der Lastkraftfahrzeuge (eigene Darstellung, Daten: BAG, 2020, S. 17)

Bei Betrachtung von Abbildung 3 und Abbildung 4 wird ersichtlich, dass es sich um einen Markt mit einer Vielzahl von kleinen Akteuren handelt. So haben im gewerblichen Güterverkehr ca. 50% der Unternehmen nur bis zu fünf Beschäftigte und bis zu drei Lkw. Im Werkverkehr sind ähnliche Strukturen vorhanden, wobei diese tendenziell aus noch mehr kleineren Akteuren bestehen (BAG, 2020; S.48ff). Die Branchenanalyse Logistik von der Hans Böckler Stiftung hat zusätzlich die Umsatzzahlen und die Anzahl der Beschäftigten auf Unternehmensgruppierungen bezogen. Im Straßengüterverkehr machen Großunternehmen mit mehr als 250 Beschäftigten hinsichtlich des Umsatzes und Beschäftigung einen vergleichsweise geringen Anteil aus. Dagegen sind die mittleren Unternehmen mit 50 bis 250 Beschäftigten auffallend, da diese mit einem geringen Marktanteil von 4% an allen Straßengüterverkehrsunternehmen

ein Drittel aller Umsätze und Beschäftigte ausmachen (Zanker, 2018, S.47). Die Daten der weiteren Gruppierungen können nachfolgender Abbildung entnommen werden.

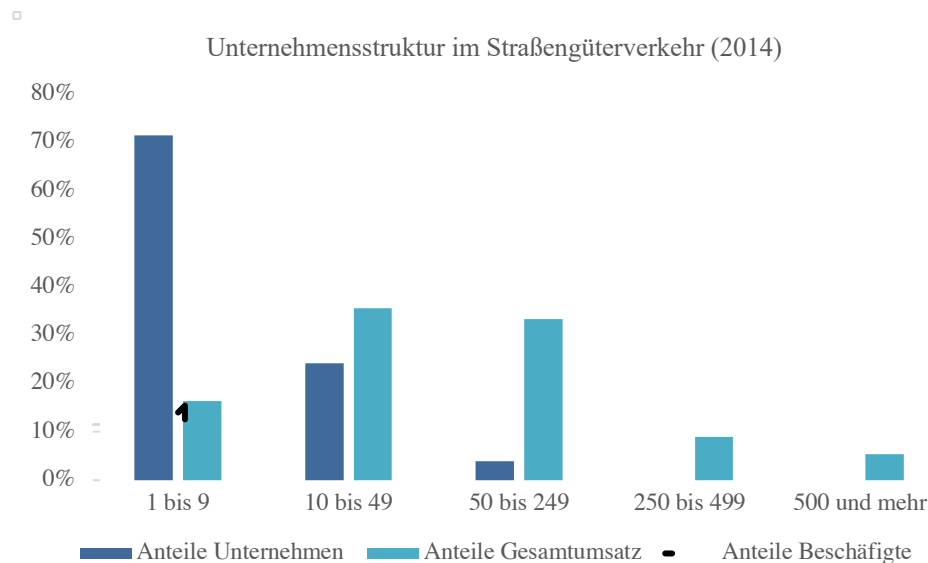


Abbildung 5: Unternehmensstruktur im Straßengüterverkehr im Jahre 2014 (eigene Darstellung; Daten: Zanker, 2018, S. 46)

Es lässt sich festhalten, dass es einen sehr hohen Anteil an Kleinstunternehmen (1 bis 9 Beschäftigte) gibt. Daraus resultieren unübersichtliche Marktstrukturen, die die Koordination dieser Teilnehmer erschwert. Hinzu kommt die schlechte und teilweise veraltete technische Ausstattung dieser Akteure, woraus eine mangelnde Kommunikation bezüglich Transportbedarfe, -kapazitäten und -anforderungen resultiert. Dies bedingt unter anderem die hohen Leerfahrtenanteile (Uhl und Mahnken, 2019, S. 74f). Des Weiteren ist die Relevanz der kleineren Unternehmen (10 bis 49 Beschäftigte) hervorzuheben, die 43% der Beschäftigten ausmachen, als auch Großunternehmen, die trotz des geringen Marktanteils beachtliche Anteile im Bereich Umsatz und Beschäftigung erzielen.

2.2 Ökologische Nachhaltigkeit im Straßengüterverkehr

Die vorliegende Arbeit greift das Prinzip der ökologischen Nachhaltigkeit auf, da insbesondere der Straßengüterverkehr mit seinem Transportmittel Lkw einer ökologisch nachhaltigen Entwicklung entgegenwirkt (Umwelt Bundesamt, 2021c, o.S.). Hierzu soll der Emissionsausstoß der Unternehmen im Markt fokussiert und untersucht werden. Allgemein formuliert sind Emissionen der Ausstoß von Stoffen aus einer Quelle (BMU, 2009, S. 12), die als Emittent bezeichnet wird. In der Ökologie sind Emissionen der Ausstoß von Treibhausgasen und luftverunreinigenden (Schad-) Stoffen in die Umwelt, wodurch der anthropogene Klimawandel gefördert wird (BPB, 2007, S. 2; Umwelt Bundesamt, 2021d, o.S.). Um diesen einzudämmen, sind zahlreiche Beschlüsse sowohl auf Länderebene als auch durch Staatenverbände, wie z.B. der Europäischen Union (EU) oder den Vereinten Nationen, verabschiedet worden. Als Meilenstein gilt

hier das 1997 beschlossene Kyoto-Protokoll. Dieses enthielt erstmalig rechtsverbindliche Emissionsbegrenzungen und -reduzierungen, um den anthropogenen Klimawandel zu limitieren (Sihn-Weber und Fischler, 2020, S. 112ff). Laut des Kyoto-Protokolls zählen Kohlendioxide, Methan, Distickstoffoxide und die fluorierten Gase zu den Treibhausgasen, die den Treibhaus-effekt fördern (Eurostat, 2021, o.S.). Dem Kyoto-Protokoll folgten Klimaziele, die durch die teilnehmenden Länder, unter anderem Deutschland, verabschiedet worden sind (Bundesregierung, 2011, S. 1; Sihn-Weber und Fischler, 2020, S. 112f). Insbesondere der Straßengüterverkehr spielt hier eine immense Rolle, da dieser den höchsten Emissionsausstoß pro tkm und somit die größten Einsparpotentiale aufweist (Umwelt Bundesamt, 2021b, o.S.). Faktoren, die diese Umstände bedingen, können in makro- und mikrologistischen Faktoren gegliedert werden. Makrologistische Faktoren, wie beispielsweise Infrastruktur und die Überlastung dieser, werden auf staatlicher Ebene reguliert. Somit können Unternehmen diese nicht beeinflussen (van Woensel et al., 2001, S. 207f), weshalb sie im Rahmen dieser Arbeit nicht in die Analyse miteinbezogen werden.

Zu den identifizierten mikrologistischen Faktoren zählen die Antriebe und Verbrauch der verwendeten Fahrzeuge, die Fahrweise der Fahrer, die Routenplanung, der Leerfahrtanteil und die suboptimale Laderaumauslastung: Im Straßengüterverkehr herrschen noch immer die Verbrennungsmotoren vor, wodurch direkte Emissionen pro gefahrenen Kilometer freigesetzt werden. Hier gilt es adäquate Alternativen zu finden, um das ökologisch nachhaltige Transportproblem zu lösen (Plötz et al., 2018, S. 3ff). Bestehende Konzepte umfassen eine Elektrifizierung des Antriebsstranges, wodurch sowohl der Verbrauch gesenkt als auch der Verbrennungsmotor vollständig substituiert werden können (Karle, 2021, S. 16ff; Schramm und Koppers, 2011, S. 13ff). Die Effizienz der Fahrweise beschreibt, inwiefern die Fahrer in der Lage sind, die notwendige Distanz mit möglichst minimalem Verbrauch zu überwinden. Somit ist es ineffizient, wenn der Fahrer mehr als den prognostizierten Treibstoffbedarf benötigt (Léonardi und Baumgartner, 2004, S. 453). Ähnlich hierzu verhält es sich mit der Routenplanung. So ist die Routenplanung ineffizient, wenn eine längere Distanz als notwendig durch das Transportmittel überwunden werden muss. Im Falle einer ineffizienten Fahrweise oder einer ineffizienten Routenplanung werden Emissionen freigesetzt, die nicht notwendig sind und somit eingespart werden können (Léonardi und Baumgartner, 2004, S. 453; Qian und Eglese, 2016, S. 840; Tang et al., 2015, S. 1f). Auch die Anzahl von Leerfahrten fokussiert sich auf einen vermeidbaren Emissionsausstoß. Im Gegensatz zur ineffizienten Fahrweise und Routenplanung, ist es bei der Anzahl von Leerfahrten jedoch nicht möglich direkte Emissionen zu vermeiden. Hier werden Emissionen ausgestoßen, um das Transportmittel von der Senke zur Quelle zurückzubringen, ohne dass das Transportmittel beladen ist. Hierdurch ergeben sich Optimierungspotentiale, indem das Transportmittel auf der Rückfahrt ebenfalls beladen ist und somit die Emissionen pro transportiertem Artikel gesenkt werden (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 9; Wehner, 2018, S. 7ff). Die suboptimale Laderaumauslastung ist ebenfalls ein Faktor, der den Anstieg der Emissionen bedingt. Wenn der Laderaum nicht optimal ausgelastet ist und somit

mehrere Fahrten benötigt werden, werden weitere vermeidbare Emissionen ausgestoßen (Wehner, 2018, S. 7ff).

Die genannten Faktoren werden von Wittenbrink (2015, S. 13ff) unter den Oberbegriffen Vermeiden und Vermindern zusammengefasst: Während Vermeiden die Reduktion der nicht notwendigen Transporte und Fahrten bedeutet, fokussiert sich Vermindern auf die Reduktion der Schadstoffemissionen während der unvermeidbaren Fahrten. Somit ergibt sich eine Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr durch die Reduktion der Transporte und der Senkung der Umweltschädlichkeit während der unvermeidbaren Fahrten. Weitere Konzepte für eine Emissionseinsparung im Güterverkehr bilden die Verlagerung der Transportleistung auf umweltfreundlichere Transportmittel, bspw. den Schienengüterverkehr, und die Kompensation der entstehenden Emissionen (Wittenbrink, 2015, S. 13f), wie bspw. die Ersteigerung von freiwilligen Emissionszertifikaten in anderen Sektoren, um den Emissionsausstoß des eigenen Unternehmens auszugleichen (Umwelt Bundesamt, 2018, S. 9). Diese beiden Konzepte werden im Rahmen der Arbeit jedoch aufgrund der Forschungsausrichtung nicht weiter vertieft, da sich diese auf die Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr anhand von Digitalisierungsmaßnahmen fokussiert. Eine Verlagerung der Transportleistung auf ökologisch nachhaltigere Transportmittel, wie bspw. der Bahn in Form des Modal-Splits, ist deshalb nicht von Relevanz. Außerdem reduziert eine Kompensation der entstehenden Emissionen mit monetären Mitteln diese nicht, weshalb das Konzept der Kompensation nicht in die weitere Betrachtung einfließt.

Wie in der Branchenanalyse gezeigt, ist die Straßengüterverkehrsbranche stark fragmentiert und von kleinen Unternehmen geprägt. Auch wenn für diese in erster Linie die Kostenreduktion bei unternehmerischen Entscheidungen im Vordergrund steht, so ist eine Reduktion des Emissionsausstoßes und der zuvor genannten Faktoren dennoch relevant: neben der Emissionsreduktion ergeben sich durch Emissionsreduktionsmaßnahmen auch Effizienzsteigerungs- und Kostensenkungspotentiale (Köllner, 2021, o.S.; Rodt et al., 2010, S. 61f).

2.3 Digitalisierung

Im privaten Verkehrssektor konnte festgestellt werden, dass verschiedene Digitalisierungen zu einem Rückgang der Emissionen geführt haben (Frondel, 2021, S. 414ff). Dieser Trend wird auch im Bereich des Straßengüterverkehrs erwartet und als hohes Potential angesehen (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 44). Um Digitalisierungsmaßnahmen jedoch identifizieren, beschreiben und bewerten zu können, wird im Folgenden zunächst ein Überblick über verschiedene Definitionen von Digitalisierung aufgezeigt, um eine, für diese Arbeit gültige, Definition herzuleiten. Darauf aufbauend folgt eine Erläuterung der Treiber, Hemmnisse und Probleme der Digitalisierung in der Logistik und dem Straßengüterverkehr.

2.3.1 Begriffsdefinition

Der Begriff Digitalisierung hat keine allgemeingültige Definition, da er in der Wissenschaft unterschiedlich aufgefasst wird (Groß und Pfennig, 2019, S. 37). Aus diesem Grund wird im folgenden Kapitel zunächst ein Überblick über bestehende Definitionen gegeben, um darauf aufbauend zu einer, für diese Arbeit gültigen, Definition zu gelangen. Sofern auch englischsprachige wissenschaftliche Arbeiten zugrunde gelegt werden, um zu einer Definition von Digitalisierung zu gelangen, wird darüber hinaus eine Unterscheidung zwischen den Begriffen „digitization“ und „digitalization“ vorgenommen. Forscher verwenden diese Begriffe voneinander abgegrenzt, aber auch als Synonym (Ritter und Pedersen, 2020, S. 182). Da beide Begriffe im Deutschen mit „Digitalisierung“ übersetzt werden, wird im Rahmen der Arbeit nicht zwischen den Begriffen unterschieden, sondern dieses synonym verwendet.

Die Definitionen von Digitalisierung in der Literatur lassen sich grob in die vier Bereiche Transformation von Datenströmen, gesteigerte Entwicklung und Nutzung von Technologien, Restrukturierung und Optimierung sowie unterschiedliche Bestandteile von Digitalisierung einteilen, welche im Folgenden näher erläutert werden.

Digitalisierung im Sinne der Transformation von Daten wird hierbei als die Umwandlung von analogen Daten und Datenströmen in digitale Datenströme verstanden: Hierbei lässt sich weiter unterscheiden, ob sich die Definitionen auf die reine Umwandlung von u. a. Text, Bildern und Objekten in eine binäre Schreibweise (Hippmann et al., 2018, S. 9), die Umwandlung von analogen in digitale Daten (Brennen und Kreiss, 2016, S. 1; Loske und Klumpp, 2020, S. 2) oder auch auf die dafür genutzte Technik beziehen (Siu und Wong, 2016, S. 556).

Ein großer Kreis an Forschern fokussiert sich in seiner Definition von Digitalisierung auf die Entwicklung, Nutzung und das Management von neuartigen Technologien: Durch eine gesteigerte Komplexität vorhandener Strukturen wird zunehmend ein Fokus auf die Entwicklung von Informations- und Kommunikationstechnologien gelegt, was von Barrett et al. (2015, S. 135f) als Digitalisierung definiert wird. Coreynen et al. (2017, S. 44) fokussieren die Digitalisierung als gesteigerte Nutzung von digitalen Technologien, um eine Verbindung zwischen Menschen, Systemen, Firmen, Produkten und Services herzustellen, während Brennen und Kreiss (2016, S. 1f) lediglich auf eine allgemein gestiegene Nutzung verschiedener Technologien eingehen. Digitalisierung wird ebenfalls als die Nutzung von digitalen Technologien zur Unterstützung von bestehenden und zukünftigen Prozessen (Wang und Sarkis, 2021, S. 1) sowie zur Effizienzsteigerung definiert (Srai und Lorentz, 2019, S. 80). Laut Definition von Hagberg et al. (2016, S. 696) wird Digitalisierung als Integration digitaler Technologien in die ausgewählte Branche verstanden. Eine andere Sichtweise kann eingenommen werden, wenn von der reinen Technologieeinführung weggegangen und Digitalisierung als Management der Technologien (Li et al., 2021, S. 3) oder Digitalisierung als Prozess der digitalen Transformation im Sinne der Einführung von neuen Technologien angesehen wird (Loske und Klumpp, 2020, S. 2).

Neben der Transformation von Datenströmen oder der Einführung von neuen Technologien, kann Digitalisierung auch als Mittel zur Restrukturierung und Optimierung verstanden werden: Im Bereich Restrukturierung wird als Definition von Digitalisierung die Neu- und Umgestaltung von Prozessen um Kommunikations- und Medienstrukturen gesehen (Brennen und Kreiss, 2016, S. 1). Neben Neu- und Umgestaltung von Prozessen definieren Groß und Pfenning (2019, S. 38) Digitalisierung als Optimierung und Ross (2017, o.S.) als Standardisierung von Prozessen. Wang und Sarkis (2021, S. 1) gehen neben der intrabetrieblichen auch auf die interbetrieblichen und industriebezogenen Änderungen ein.

Wie sich auch die Definitionen der Digitalisierung unterscheiden, so unterscheiden sich auch die Bestandteile und Ausprägungen dieser. In breit aufgestellten Definitionen umfasst Digitalisierung neben den bereits definierten Bereichen auch die Bereiche Automation und künstliche Intelligenz (KI) (Pernestål et al., 2020, S. 1) sowie den Bereich Big Data (Bharadwaj et al., 2013, S. 473; Wannewetsch, 2021, S. 11). Big Data lässt sich definieren als die Menge an detaillierten Daten, die durch die Einführung von neuen Technologien innerhalb eines Unternehmens erzeugt und bereitgestellt werden (Bharadwaj et al., 2013, S. 474; Wannewetsch, 2021, S. 11). Weitere Bestandteile der Digitalisierung sind das intra- und interbetriebliche Teilen und Bereitstellen von Wissen (D’Adderio, 2001, S. 1421), die Fähigkeit eines Unternehmens seine Prozesse zu digitalisieren, bestimmt durch die drei Faktoren Daten, Erlaubnisse und Analyse (Ritter und Pedersen, 2020, S. 183), sowie das digitale Leistungsversprechen eines Unternehmens (Ross et al., 2017, o. S.).

Tabelle 2: Zusammenfassung der Definitionen für Digitalisierung (eigene Darstellung)

Bereich	Beschreibung
Transformation von Datenströmen	Umwandlung von analogen Daten und Datenströmen in digitale Daten und Datenströme
Entwicklung und Nutzung von neuen Technologien	Entwicklung, Einführung und Management von neuen Technologien wie u.a. Kommunikations- und Informationstechnologien zur Vernetzung und Unterstützung von Prozessen
Restrukturierung und Optimierung	Neu- und Umgestaltung von intra- und interbetrieblichen sowie industrieweiten Prozessen um neue Technologien
Bestandteile der Digitalisierung	Automation, KI, Big Data, Wissensmanagement und Prozessdigitalisierung

Eine zusammenfassende Übersicht der vier Teilbereiche der Definitionen von Digitalisierung inklusive kurzer Beschreibung der Bereiche ist in Tabelle 2 dargestellt. Aus diesen vielfältigen

Definitionen der Digitalisierung wurde die folgende Definition abgeleitet: Digitalisierung im Rahmen dieser Arbeit umfasst die Umwandlung von analogen in digitale Datenströme ebenso wie die Einführung und den Einsatz von neuen Technologien, um durch eine verbesserte Verbindung von Menschen, Systemen, Unternehmen, Produkten und Dienstleistungen, Prozesse zu optimieren. Diese Definition wird für die folgenden Kapitel als Grundlage genommen und die Maßnahmen und Argumentation auf diese aufgebaut.

2.3.2 Digitalisierung in der Transportlogistik

Digitalisierung wird als wichtiger strategischer Faktor in der Zukunft der Logistik angesehen, denn nur, wenn Firmen zur Datensammlung und -Auswertung sowie Kommunikation und Kooperation bereit und in der Lage sind, können schnelle und verlässliche Logistiksysteme aufgebaut werden (Herold et al., 2021, S. 1931). Treiber der Digitalisierung sind die kostengünstige Verfügbarkeit von technologischen Geräten, die vorausgesagten Effizienzsteigerungen (Bousonville, 2017, S. 4), der Einfluss von Digitalisierung auf Forschung und Entwicklung, das wachsende Anwendungsgebiet und die Steigerung der Komplexität von Systemen (Neugebauer, 2018, S. 1). Besonders im Bereich bereits standardisierter Prozesse wird ein Vorteil gesehen. Die Einführung von Digitalisierungsmaßnahmen sollte hierbei in kleinere Teilmaßnahmen aufgebrochen werden (Cichosz et al., 2020, S. 231f).

Durch verstärkte Digitalisierung in anderen Bereichen wie dem Einzelhandel, verändert sich auch die Art der Distribution in der Logistik, besonders im Bereich der letzten Meile (Rodrigue, 2020, S. 1). Auch Digitalisierungsmaßnahmen in der Forschung und Entwicklung wirken sich auf die nachgelagerten Prozesse aus. Da im Bereich des Straßengüterverkehrs in der Vergangenheit wenig Forschung und Entwicklung stattfand, sich dies aber vermehrt ändert, kommt der zuvor erwähnte Effekt auch im Straßengüterverkehr zum Tragen. Aufgrund der geringen Menge an Forschungs- und Entwicklungsarbeiten können schon kleine Innovationen eine große Auswirkung auf die Branche haben. Als durch Digitalisierung hervorgerufene Trends in der Forschung und Entwicklung im Unternehmensumfeld gelten 3D Druck, autonomes Fahren sowie die plattformbasierte Konsolidierung und Routenauswahl (Liachovičius und Skrickij, 2020, S. 460). Auch Digitalisierung im Bereich der Straßeninfrastruktur und die Ausstattung solcher mit Kameras und Sensoren hat Auswirkungen auf die Logistikbranche (Montero und Finger, 2021, S. 296). Zudem bilden neue Technologien wie Drohnen, autonomes Fahren und Roboter neue Konkurrenz und Marktbedingungen verändern sich mit zunehmender Geschwindigkeit. Disruptive Geschäftsmodelle im Bereich der Sharing-Economy stellen als Konkurrenz für etablierte Firmen und third party logistics Anbieter vor neue Herausforderung (Hofmann und Osterwalder, 2017, S. 21f), im Bereich der gemeinsamen Nutzung von Ladungsträgern und Lkws aber auch eine Möglichkeit zur Einsparung von Emissionen dar (Hilty und Bieser, 2017, S. 36). Auch digitale Geschäftsmodelle, wie digitales Flottenmanagement direkt durch den Hersteller, stellen weitere Herausforderungen dar (Hofmann und Osterwalder, 2017, S. 1). Borgström et al. (2021, S. 190) zeigen auf, dass Digitalisierung im Bereich der Prozessstandardisierung zu bspw. Kostenvorteilen führen kann. Neben neuen Möglichkeiten resultiert auch die

Notwendigkeit, neue Prozesse wie bspw. Wissensmanagement einzuführen, um die erhöhte erzeugte Datenmenge in Wissen umwandeln zu können (Schniederjans et al., 2020, S. 2).

Alles in allem lässt sich somit festhalten, dass Digitalisierungen auch im Bereich des Straßengüterverkehrs relevant sind. Insgesamt übt die fortschreitende Digitalisierung durch neue Änderungen und daraus resultierende Verpflichtungen einen starken Druck auf die Branche aus, damit Firmen wettbewerbsfähig bleiben (Saoud und Bellabdaoui, 2021, S. 1). Im Straßengüterverkehr zeigt sich allerdings auch, dass zwar der Vorteil der Effizienzsteigerung und eines gesteigerten Servicelevels in der Theorie gesehen wird, dies aber in der Praxis auf Grund des fragmentierten, von vielen Einzelunternehmen geprägten, Industriesektors schwieriger umzusetzen sein kann (Pernestål et al., 2020, S. 1). Die Vielzahl an Akteuren im Straßengüterverkehr können hierbei als Treiber oder Hemmnis von verschiedenen Maßnahmen auftreten (Bäumler und Kotzab, 2020, S. 197). Das BMVI hat herausgearbeitet, dass im Straßengüterverkehr zwar insbesondere durch Vernetzung hohe Effizienzpotentiale gesehen werden, diese aber nur durch Kooperation erreicht werden können. In der Praxis existieren jedoch zu viele Einzellösungen im IT-Bereich der Branche, gerade im Bereich der mittelständischen Unternehmen. Bereits genutzte Digitalisierungen sind erste Datenauswertungsprogramme für die kurzfristige Prognose von Transportaufträgen, wobei Hemmnisse noch immer in der Verfügbarkeit der Datensätze und der damit einhergehenden eingeschränkten Nutzbarkeit liegen (BMVI, 2017, S. 32f). Auch Telematik Systeme kommen bereits zum Einsatz und werden kontinuierlich weiterentwickelt, jedoch besteht hier auch das Risiko der Insellösungen (Röhling et al., 2016, S. 22f). Die Bundesvereinigung Logistik (BVL) hat 2020 eine Studie aus dem Jahr 2016 wiederholt, die sich mit der nachhaltigen und digitalen Transformation in Logistik und Supply Chain Management beschäftigt. Hierbei konnte, im Vergleich zur Studie aus 2016, festgestellt werden, dass die Befragten höhere Chancen und niedrigere Risiken durch die Digitalisierung sehen. Jedoch muss beachtet werden, dass auch 2020 noch 23% der Befragten die Risiken resultierend aus der Digitalisierung mit "hoch" oder "sehr hoch" einschätzen (Kersten et al., 2020, S. 8).

3 Methodik

3.1 Literaturrecherche

Nachdem in Kapitel 1 und 2 die Herausforderungen des Straßengüterverkehrs, die Treiber der zu untersuchenden Wirkgröße Emissionsausstoß und die grundlegenden Potentiale und Hemmnisse der Digitalisierung deutlich wurden, sind nun die entsprechenden Digitalisierungsmaßnahmen zu identifizieren. Diesbezüglich wird eine systematische Literaturrecherche in Anlehnung an Fink (2014, S. 4ff) durchgeführt. Eine systematische Literaturrecherche ist im Gegensatz zur narrativen Literaturrecherche hinsichtlich der Transparenz und dadurch resultierenden Reproduzierbarkeit im Vorteil. Aufgrund dessen werden Verzerrungen der Forschungsergebnisse reduziert, wodurch die Qualität der wissenschaftlichen Ergebnisse erhöht wird (Tranfield et al., 2003, S. 209ff). Des Weiteren lassen sich Forschungsergebnisse aus unterschiedlichen Quellen synthetisieren (Denyer und Tranfield, 2009, S. 685ff). Dies ist in der vorliegenden Untersuchung entscheidend, da sowohl Ergebnisse aus dem wissenschaftlichen Bereich als auch Forschungsprojekte und Anwendungen aus der Wirtschaft mit aufgenommen werden können. Entsprechend eignet sich die gewählte Methode, um verschiedene Digitalisierungsmaßnahmen für den Straßengüterverkehr sowohl aus der Wissenschaft als auch aus dem wirtschaftlichen Bereich zu identifizieren.

▫

Schritt 1: Forschungsfrage aufstellen

▫

Schritt 2: Auswahl Datenbanken und Suchmaschinen

▫

Schritt 3: Festlegung Suchbegriffe

▫

Schritt 4: Festlegung Rahmenbedingungen

▫

Schritt 5: Aufstellen Kriterien zur Maßnahmenauswahl

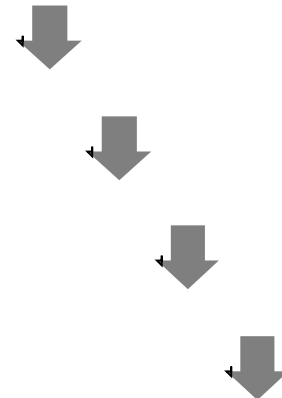


Abbildung 6: Methodik Literaturrecherche (eigene Darstellung in Anlehnung an Fink, 2014, S. 4ff)

Der erste Schritt nach Fink (2014, S. 4ff) beinhaltet die Aufstellung der Forschungsfrage, die dem Kapitel 1.1 zu entnehmen ist. Im zweiten Schritt werden die Datenbanken bzw. Suchmaschinen ausgewählt. Verwendet werden sowohl wissenschaftliche Datenbanken wie Web of Science und EBSCO, als auch kommerzielle Suchmaschinen wie Google und die Webseiten, der für das Thema Digitalisierung und Straßengüterverkehr relevanten Bundesministerien wie bspw. dem BMVI. Im nächsten Schritt sind die Suchbegriffe festzulegen. Diese setzen sich aus

verschiedenen Kombinationen der Begriffe Digitalisierung, Digitalisierungsmaßnahmen, Emissionsreduktion und Straßengüterverkehr, -transport sowie Lkw zusammen. Alle Begriffe werden hierbei je nach Sprache der Datenbank und Suchmaschine auf Deutsch sowie Englisch verwendet. Im Rahmen der aufgestellten Forschungsfrage wird der örtliche Fokus der Recherche auf Deutschland gelegt. Aus diesem Grund wird im vierten Schritt als örtliche Rahmenbedingung festgelegt, dass die Maßnahmen oder Konzepte im deutschen Markt Einsatz finden müssen. Im fünften Schritt wird das Vorgehen des Auswahlverfahrens mithilfe von Kriterien definiert: Es wurde die in Kapitel 2.3.1 erarbeitete Definition der Digitalisierung herangezogen und hinsichtlich der Beantwortung der Forschungsfrage sollte aus den jeweiligen Quellen ersichtlich werden, dass die potenziellen Maßnahmen mit einer Emissionsreduzierung in Verbindung stehen. Zudem wird als zeitlicher Rahmen eine Nutzung oder Einführung in den letzten fünf Jahren festgelegt, um die Aktualität der Maßnahmen zu gewährleisten. In die Untersuchung werden somit lediglich Maßnahmen aufgenommen, die den Kriterien der Definition der Digitalisierung entsprechen, eine Auswirkung auf den Emissionsausstoß haben und die definierte Aktualität aufweisen.

3.2 Analytical Hierarchy Process

Im Rahmen dieser Arbeit soll die Methodik des AHP nach Saaty (1990, S. 12ff) verwendet werden. Diese wird zunächst theoretisch erläutert sowie um Vor- und Nachteile ergänzt, wodurch eine Begründung für die Eignung der Methode im Kontext der Forschungsausrichtung gegeben werden soll. In Kapitel 3.2.2 wird die theoretisch erarbeitete Methodik auf den Anwendungsfall der Digitalisierung im Straßengüterverkehr bezogen, um somit eine projektspezifische Realisierung des AHP zu ermöglichen.

3.2.1 Theoretischer Hintergrund

Der AHP ist ein von Thomas Lorie Saaty entwickeltes, multikriterielles Verfahren zur Entscheidungsfindung und Abbildung komplexer Problemstrukturen (Leal, 2020, S. 2; Saaty, 1990, S. 9). Die Anwendung des AHP erlaubt es, sowohl objektive als auch subjektive Entscheidungsaspekte im Rahmen eines Entscheidungsprozesses zu berücksichtigen (Yadav, 2021, S. 6869f; Al-Oqla und Omar, 2012, S. 251). Der AHP findet als Analyse und Bewertungsmethode sowohl in privatwirtschaftlichen (Dalalah et al., 2010, S. 567) als auch in volkswirtschaftlich relevanten Projekten eine breite Anwendung (Zhang et al., 2014, S. 1061). Insbesondere im privatwirtschaftlichen Bereich wird der AHP in der Bewertung neuartiger digitaler Technologien als Entscheidungshilfe herangezogen (Wang, 2021, S. 1).

Die Durchführung des AHP erfolgt innerhalb eines definierten Prozesses entlang von fünf Schritten (Schmidt et al., 2016, S. 2). Die folgende Abbildung vereinfacht das Vorgehen für jeden dieser Schritte, welches im Folgenden näher erklärt wird.

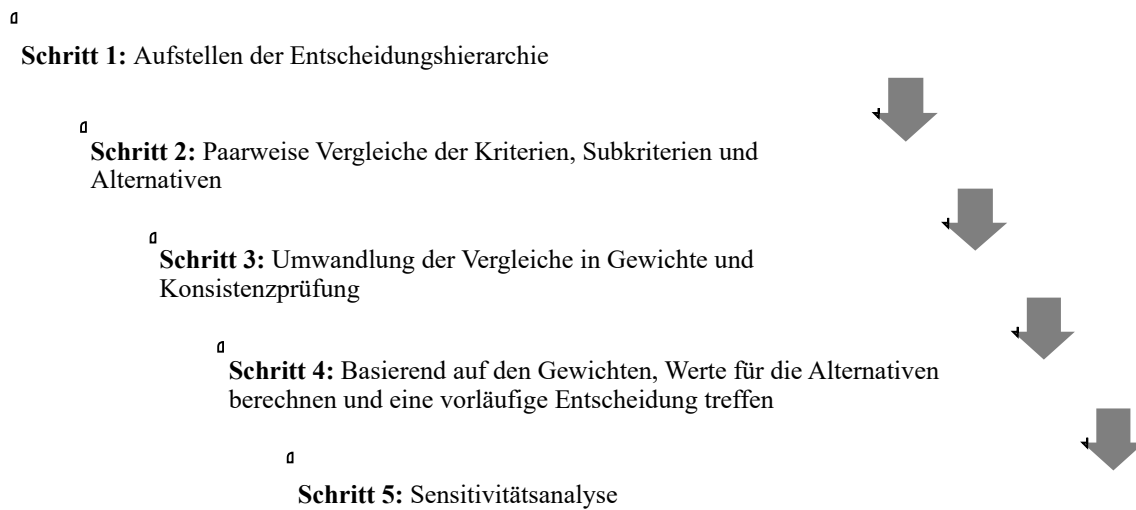


Abbildung 7: Schritte der AHP Methodik (eigene Darstellung in Anlehnung an Goodwin und Wright, 2014, S. 73ff)

Schritt 1 erfordert die Strukturierung des zugrunde gelegten Entscheidungsproblems in Form einer hierarchischen Anordnung der Teilelemente (Saaty, 2008, S. 85). Hierbei wird das Problem in verschiedene Ebenen von entscheidungsrelevanten Kriterien und Subkriterien unterteilt. Jedes Kriterium muss unabhängig von den anderen Kriterien derselben Ebene sein, damit sichergestellt ist, dass es nur auf das Kriterium der ranghöheren Ebene wirkt (Riedl, 2006, S. 101f). Ebene 0 der Hierarchie stellt hierbei das übergeordnete Ziel, Ebene 1 die Kriterien, Ebene 2 die Subkriterien und Ebene 3 abschließend die möglichen Alternativen des Entscheidungsproblems dar (Goepel, 2014a, o.S.; Cheng et al., 2002, S. 34). Es ist jedoch zu beachten, dass nicht mehr als neun Kriterien in einem AHP verwendet werden sollten. Einerseits kann bei einer hohen Anzahl an Kriterien die Übersicht über das Entscheidungsproblem nicht mehr gewährleistet werden kann. Andererseits ist die maximale Gewichtung für die Kriterien und jeweils untergeordneten Subkriterien abhängig von der Gesamtanzahl eben dieser Kriterien und Subkriterien. Hierdurch ist letztlich im Falle einer Missachtung dieser Regel, die Gewichtung nicht mehr in der Lage, die Präferenz für ein bestimmtes bevorzugtes Kriterium oder Subkriterium geeignet darzustellen (Goepel, 2014b, o.S.; Mu und Pereyra-Rojas, 2017, S. 105; Gawlik, 2008, S. 1).

In Schritt 2 erfolgt der paarweise Vergleich der Kriterien, Subkriterien sowie der jeweiligen Alternativen. Hierzu werden in einem multiplen paarweisen Vergleich die Kriterien unter Berücksichtigung des Entscheidungsziels, die Subkriterien mit Bezug auf das jeweils übergeordnete Kriterium und die Alternativen im Hinblick auf das jeweilige Subkriterium bewertet (Saaty, 1990, S. 9ff). Zwar erfordert die in Schritt 1 durchgeführte Einführung einer Hierarchie für das Entscheidungsproblem eine vollständige Darstellung aller bekannten entscheidungsrelevanten Kriterien, Subkriterien und Alternativen (Riedl, 2006, S. 103), jedoch ist es nach Saaty (1990, S. 9ff) nicht erforderlich, dass jede Alternative gleichermaßen auf das jeweils

übergeordnete Subkriterium anwendbar ist. Für den paarweisen Vergleich kann eine absolute Vergleichsskala mit den Werten 1 bis 9 herangezogen werden. Der niedrigste Wert 1 bedeutet, dass beide Alternativen für gleich wichtig befunden werden. Ein paarweiser Vergleich kann sowohl in Abstufungen mit den zwischen 1 und 9 liegenden Skalenwerten 3 (moderat wichtiger), 5 (essenziell wichtiger) und 7 (deutlich wichtiger) stattfinden, als auch die Zwischenwerte 2, 4, 6 und 8 beinhalten, wenn eine Zuordnung zu der vorgeschlagenen Abstufung nicht sinnvoll erscheint. Ein Vergleich mit der Bewertung von 9:1 zwischen Alternative A und B bedeutet daher, dass Alternative A bedeutsam wichtiger ist als Alternative B (Saaty, 1990, S. 15).

Für jedes Subkriterium ergeben sich unter Zuhilfenahme geometrischer Mittelwerte in Schritt 3 die Gewichtungen der Alternativen (Yadav und Jayswal, 2013, S. 777). Laut Krejčí und Stoklasa (2018, S. 97) ist der geometrische Mittelwert gegenüber dem arithmetischen Mittelwert vorzuziehen, da letzterer die Präferenzen der Anwender nur unvollständig wiedergibt und die weitere Berechnung unnötig erschwert. Gleichzeitig muss eine Konsistenzanalyse durchgeführt werden, anhand welcher widersprüchliche Bewertungen im Rahmen der paarweisen Vergleiche aufgedeckt werden sollen. Ist die sogenannte Inkonsistenz größer als 10%, sollte der paarweise Vergleich wiederholt werden (Goodwin und Wright, 2014, S. 79f).

Schließlich werden in Schritt 4 die Gewichtungen der Alternativen, Subkriterien und Kriterien zusammengefasst. Dies geschieht durch Multiplikation der Gewichtungen entlang der Hierarchiepfade. Auf diese Weise ergeben sich für eine Alternative unter Berücksichtigung der jeweiligen übergeordneten Hierarchieebenen unterschiedliche Teilwerte. Diese Werte werden addiert, um so einen finalen Gesamtwert für die Alternativen zu erhalten und diese in einer Rangfolge abzubilden (Saaty, 1990, S. 17f). Erfolgt die Durchführung des AHP im Rahmen einer Gruppe, müssen die Ergebnisse erst unter Anwendung einer geometrischen Mittelwertmethode zusammengefasst werden (Aguarón et al., 2019, S. 3). Anschließend wird zur Feststellung der Homogenität des ermittelten Gruppenergebnisses ein normierter Index für den Gruppenkonsens zwischen 0% und 100% berechnet (Goepel, 2017a, o.S.). Dies wird in Kapitel 4.2.4 erneut aufgegriffen.

Schritt 5 des AHP beinhaltet die Sensitivitätsanalyse. Diese wird benötigt, um die Stabilität der bestehenden Rangfolge der Alternativen gegenüber Gewichtsänderungen in den Kriterien und Subkriterien zu testen (Dong und Cooper, 2016, S. 152; Chang et al., 2007, S. 303; Bayazit, 2004, S. 815). Hierbei erfolgt die Änderung der Gewichtung eines beliebigen Kriteriums einzeln (Librantz et al., 2016, S. 5). Diese Änderung kann in absoluten oder relativen Werten erfolgen. Die absolute Änderung ist geeignet, um unabhängig von der Größe der Gewichtung die Stärke der Änderung darzustellen. Die relative Änderung wiederum ermöglicht es, die Änderung der Gewichtung in Relation zur Größe der bisherigen Gewichtung zu betrachten (Triantaphyllou und Sánchez, 1997, S. 8f). Grundsätzlich existieren unterschiedliche Methoden der Sensitivitätsanalyse, die sich in den Methoden der Berechnung unterscheiden (Chen et al., 2013, S. 130).

Insgesamt ergeben sich die Vorteile des AHP ergeben sich aus der Aufgliederung des Entscheidungsproblems in Form einer festen, transparenten und eindeutigen Hierarchie (Riedl, 2006, S. 18). Weiterhin ermöglicht die AHP-Methodik den Vergleich sowohl qualitativer als auch quantitativer Daten ohne Informationsverlust (Riedl, 2006, S. 117). Der wird daher in einer Vielzahl praktischer Entscheidungssituationen, in denen Experten involviert sind, angewandt (Mühlbacher und Kaczynski, 2013, S. 120). Gleichwohl kann angenommen werden, dass die Durchführung von paarweisen Vergleichen bei einer Vielzahl an Alternativen mit einem hohen zeitlichen Aufwand verbunden ist (Leal, 2020, S. 1). Überdies lässt sich auch die Rangumkehr in der Priorisierungsreihenfolge als Resultat einer Hinzunahme neuer oder Herausnahme bereits verwendeter Alternativen als nachteiliger Faktor identifizieren (Riedl, 2006, S. 155ff; Aires und Ferreira, 2018, S. 334; Barzilai und Golany, 1994, S. 57ff).

Der AHP wird im Rahmen dieser Arbeit aus folgenden Gründen als geeignete Methode angesehen: Er kann das komplexe Bewertungsproblem der emissionsreduzierenden Digitalisierungsmaßnahmen im Straßengüterverkehr anhand hierarchisch gruppierter Kriterien und Subkriterien darstellen. Zudem bietet der AHP eine nutzerfreundliche und verbal interpretierbare Bewertungsskala (Saaty, 1990, S.9f). Die Einbindung einer maximal akzeptablen Konsistenzindex der paarweisen Vergleiche, die als Bewertungsunsicherheit interpretiert werden kann (Prasad und Kousalya, 2017, S. 1), ermöglicht überdies die Einschätzung der Güte der Ergebnisse (Han, 2014, S. 867).

3.2.2 Projektspezifische Anwendung

In der vorliegenden Arbeit resultiert die Zielformulierung der AHP-Hierarchie aus der in Kapitel 1.1 aufgestellten Forschungsfrage. Demnach werden die Kriterien und Subkriterien hinsichtlich ihrer Potentiale zur Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr bewertet. Hierzu wird Ebene 1 der Hierarchie in Vermeiden und Vermindern differenziert (siehe Kapitel 2.2). Zusammenfassend wird unter Vermeiden die Reduktion der nicht notwendigen Transporte und Fahrten verstanden, während Vermindern auf die Reduktion der Schadstoffemissionen während der unvermeidbaren Fahrten abzielt (Wittenbrink, 2015, S. 13ff).

In der zweiten Ebene werden die Konzepte des Vermeidens und Verminderns vertieft. Hierdurch ergeben sich für das Kriterium Vermeiden die Subkriterien Anzahl Fahrten und Streckenlänge. Ersteres beinhaltet die absolute Anzahl der vermeidbaren Fahrten. Letzteres beschreibt die zurückgelegte Strecke, die durch entsprechende Maßnahmen verhindert werden kann. Eine Vermeidung beider Subkriterien hat eine Reduktion des Transportaufkommens und dadurch ausgestoßenen Emissionen zur Folge (Pionteck, 2021, S. 298; Wittenbrink, 2015, S. 16). Das Vermindern wird hingegen in die drei Subkriterien indirekte Kraftstoffeinsparung pro km, direkte Kraftstoffeinsparung pro km und Auslastungsgrad differenziert. Hierbei fokussiert sich die indirekte Kraftstoffeinsparung pro km auf nachgelagerte Maßnahmen, welche sich emissionsmindernd auf den Straßengüterverkehr auswirken (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 25ff). Beispiele sind unter anderem die Prüfung des Reifendrucks oder

Schulungen von Fahrern (Pionteck, 2021, S. 302; Guvenc, 2007, S. 22). Die direkte Kraftstoffersparung pro km adressiert hingegen die Emissionen, die bereits während der Fahrt eingespart werden können (Nationale Plattform Zukunft der Mobilität, 2019, S. 25ff). Dies bedeutet, dass zum Beispiel durch einen Tempomat bereits Emissionen während der Fahrt vermindert werden können (Vollrath et al., 2010, S. 3). Während sich die indirekte und direkte Kraftstoffersparung pro km auf Maßnahmen zur Optimierung des Kraftstoffbedarfs und der damit einhergehenden Emissionsreduktion fokussieren, umfasst der Auslastungsgrad die Emissionen pro transportiertem Produkt. Demnach führt ein hoher Auslastungsgrad des Laderaums zu einer Reduktion der Emissionen im Straßengüterverkehr, da die Emissionen pro Produkt abnehmen (Pionteck, 2021, S. 298; Wittenbrink, 2015, S. 16f).

Die hieraus resultierende AHP-Hierarchie ist somit ein dreistufiges Entscheidungsproblem, welches in Abbildung 8 illustriert wird. Die zu vergleichenden Alternativen bilden die in der Literaturrecherche identifizierten Maßnahmen zur Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr (siehe Kapitel 4.1).

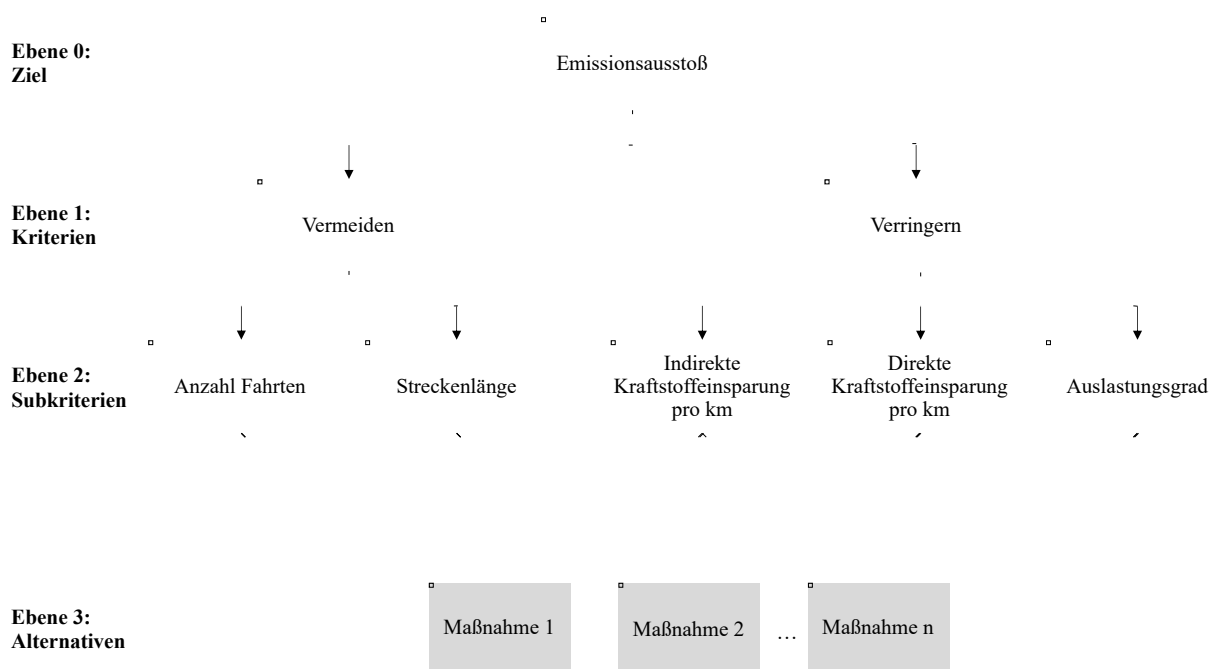


Abbildung 8: Projektspezifische Darstellung AHP Ebene 0 bis Ebene 2 (eigene Darstellung in Anlehnung an Saaty, 1990, S. 14)

Um eine möglichst hohe Qualität der Ergebnisse der Arbeit zu gewährleisten, sind die paarweisen Vergleiche der ersten und zweiten Ebene durch ausgewählte Experten erfolgt. Als Experten zählen hier Personen, die über einen breiten Wissensstand der Thematiken Logistik und ökologische Nachhaltigkeit verfügen und auf mindestens einem der Gebiete spezialisiert sind (Kühl et al., 2009, S. 33). Hierzu haben die Autoren bei insgesamt 40 Experten aus der Wissenschaft und Praxis per Telefon oder E-Mail angefragt, wovon acht eine Teilnahme bestätigten. Um die Teilnahme und Bewertung der AHP-Hierarchie für die Experten so einfach wie möglich zu

gestalten, ist das Online-Tool von Goepel (2018, S. 469ff) verwendet worden. Als weitere Hilfestellung hierzu wurde allen Experten vor der Durchführung eine illustrierte Kurzanleitung des Tools zugesandt. Ergänzt wurde die Kurzanleitung um eine kurze Begriffsdefinition der Kriterien und Subkriterien, um ein gemeinsames Verständnis der Begrifflichkeiten zu schaffen (siehe Abbildung 12, Anhang 2.1.1, S. G). Von den acht Zusagen haben fünf Experten die paarweisen Vergleiche tatsächlich durchgeführt, eine detaillierte Tätigkeitsbeschreibung und Einordnung der Unternehmen ist der Tabelle 7 (Anhang 2.2, S. Q) zu entnehmen.

Die paarweisen Vergleiche der Alternativen wurden anschließend durch die Verfasser dieser Arbeit und nicht durch externe Experten durchgeführt. Begründet ist dies darin, dass die Alternativen sehr spezifisch sind und ihren Spezifikationen nicht in stark gekürzter Form ausreichend dargestellt werden können, um eine fundierte Einschätzung durch externe Experten zu gewährleisten. Die Verfasser dieser Arbeit haben sich hingegen tiefgehend mit den Maßnahmen beschäftigt und können aus diesem Grund hier als Experten betrachtet werden. Alle vier Verfasser haben dabei den AHP für die Alternativen selbständig ausgefüllt. Hierdurch wird die subjektive Meinung aller Verfasser wiedergespiegelt. Zudem soll durch diese Vorgehensweise eine Beeinflussung untereinander minimiert werden. Im Anschluss wurden die Bewertungen der Verfasser verglichen, diskutiert und schließlich als valide akzeptiert. Die Begründungen der Verfasser für die Bewertungen der Maßnahmen finden sich in Kapitel 4.2.2 wieder.

Abschließend werden die Ergebnisse der AHP-Hierarchie hinsichtlich ihrer Stabilität bewertet. Hierzu wird die Sensitivitätsanalyse des Online-Tools verwendet, welches das Absolut-Top critical criterion, das Absolut-Any critical criterion und das Absolut-Any critical performance measure als Bemessungsgrundlage heranzieht. Diese berechnen sich aus absoluten Gewichtsänderungen (Goepel, 2017b, o.S.). Hierbei identifiziert das Absolut-Top critical criterion das Kriterium oder Subkriterium, dessen geringste Änderung in der Gewichtung zu einer Änderung der Rangfolge der bestbewerteten Alternative führt. Demnach gilt für dieses Kriterium, dass es den geringsten Schwellenwert aufweisen muss, ab dessen Überschreitung die bisherige rangoptimale Alternative durch eine andere Alternative ersetzt wird. Im Gegensatz hierzu zielt die Berechnung des Absolut-Any critical criterion auf eine beliebige Rangänderung der Alternativen ab. Demnach wird das Kriterium oder Subkriterium inklusive ihres Schwellenwertes identifiziert, dessen Überschreitung zu einer beliebigen Rangänderung der Alternativen führt. Zuletzt identifiziert das Absolut-Any performance measure die Alternative, dessen geringste Änderung in der Gewichtung zu einer Rangänderung in den Gesamtergebnissen führt. Anhand der drei Kenndaten kann somit eine Bewertung hinsichtlich der Stabilität der Ergebnisse der AHP-Hierarchie getroffen werden (Triantaphyllou und Sánchez, 1997, S. 10ff; Goepel, 2018, S. 480ff).

4 Forschungsergebnisse

4.1 Ergebnisse Literaturrecherche

Von 25 identifizierten Maßnahmen werden neun in die Analyse einbezogen, welche die drei Kriterien Digitalisierung, Emissionsausstoß und Aktualität erfüllen. Bei den gewählten Maßnahmen handelt es sich u.a. um Forschungs- und Entwicklungsprojekte (FuE), Assistenzsysteme, firmeneigene Software sowie Frachtplattform- und Frachtbörsenanbieter. Die Wirkung der gewählten Maßnahmen ist hierbei unterschiedlich und lässt sich in die folgenden drei Bereiche einteilen: Planung, Fahrverhalten sowie Datensammlung und -Auswertung. Drei der neun zuvor identifizierten Maßnahmen werden aufgrund ihrer ähnlichen Funktions- und Wirkungsweise zu einer Maßnahme zusammengefasst, was in Kapitel 4.1.1 genauer dargestellt wird. Tabelle 3 zeigt neben den definierten Bereichen und den zugehörigen Maßnahmen auch die im weiteren Verlauf der Arbeit genutzte Nummerierung der Maßnahmen.

Tabelle 3: Einteilung der Maßnahmen in Bereiche (eigene Darstellung)

Bereich	Maßnahme	Nummerierung
Planung	Digitale Spedition	1
	Nachhaltigerer LKW-Verkehr durch KI für variable Betriebsdaten – Feature vector for Trucks (FvFT)	2
	KI im Transport zur Emissionsreduktion (KITE)	3
Fahrverhalten	Elektronische Deichsel – Digitale Innovation (EDDI)	4
	eHorizon	5
Datensammlung und -Auswertung	Fleetboard	6
	Tire Pressure Monitoring (TPM)	7

Maßnahmen im Bereich Planung beeinflussen und optimieren u.a. die Disposition und Routenplanung durch KI und Prognoseverfahren, wodurch ein höherer Auslastungsgrad und eine Reduktion von Leerfahrten erreicht und dadurch Kraftstoff eingespart werden kann. Das Fahrverhalten kann durch Lkw-Kopplung und Assistenzsysteme beeinflusst, Treibstoff eingespart und somit die Emissionen reduziert werden. Im Bereich der Datensammlung und -Auswertung wird

die Emissionsreduktion durch die Auswertung von während der Fahrt gesammelten Daten und daraus resultierende Änderungen im Zustand des Lkws sowie durch Fahrerschulungen erreicht.

4.1.1 Maßnahmen im Bereich Planung

Maßnahme 1: Digitale Spedition

Online-Frachtbörsen – Es gibt eine Vielzahl an Online-Frachtbörsen wie bspw. von Cargoboard, Timocom oder Teleroute (Cargoboard, 2021, o.S.; Teleroute, 2021, o.S.; Timocom, 2021a, o.S.). Das Geschäftsmodell der Frachtbörsen hat seinen Ursprung in den 1970er Jahren. Dabei fungieren die Frachtbörsen als Vermittler in einer vertikalen Kooperation, deren Aufgabe die Anbahnung von Fracht- und Speditionsgeschäften ist (Schulte, 2017, S. 384f). Entsprechend handelt es sich um internetbasierte Informations- und Buchungssysteme, wodurch Akteure wie Frachtführer, Spediteure oder Kurier-Express-Paket-Dienste Informationen bezüglich Transportaufträgen und freier Laderaumkapazitäten austauschen können. Drei Prozesse sind bei der Verwendung von Frachtbörsen zu unterscheiden: Während der Auktionsphase werden Transportaufträge mit den entsprechenden Transportanforderungen durch den Verloader erfasst und in der Frachtbörse eingestellt. In der Gebotsphase werden die Angebote von den interessierten Frachtführern abgegeben, sodass der Auftrag durch die Disposition des Verladers vergeben werden kann. Während der Vergabephase werden Vertragsverhältnisse geklärt und detaillierte Auftragsdaten ausgetauscht (Gleißner und Femerling, 2008, S. 103f).

Online-Frachtplattformen – Frachtplattformen erweitern das Leistungsspektrum der Frachtbörsen, sodass eine Art digitale Komplettlösung entsteht. Diese Online-Plattformen bieten ihren Kunden entsprechend weitere Funktionen wie die Auftragsabwicklung, Dokumentenerstellung, Fakturierung sowie Tracking and Tracing an (Schulte, 2017, S. 384f; Saloodo, 2021a, o. S.). Das Online-Dashboard macht die Anwendung zu einer digitalen Komplettlösung, da dort die Verwaltung aller Aufträge ermöglicht wird. Es können Dokumente wie Ablieferungsnachweise und Rechnungen digital ausgetauscht werden. In Verbindung mit einem mobilen Endgerät sind Funktionen wie Tracking and Tracing mithilfe GPS-Technologie oder das Abfotografieren und Versenden von Dokumenten möglich (Saloodo, 2021a, o. S.). Es ist zu beobachten, dass immer wieder neue Akteure in den Markt eintreten (Lehmacher, 2020, o. S.). Unternehmen wie Saloodo bezeichnen sich dabei als Unternehmen der Sharing Economy (Eschmeier, 2017, o. S.). Bekannte Geschäftsmodelle aus der Sharing Economy sind bspw. Airbnb und Uber, die seit 2010 zunehmend an Beliebtheit gewinnen (Lukesch, 2019, S. 10). Der Differenzierungspunkt zwischen den Akteuren wie Saloodo und anderen Anbietern sind die Vertragsverhältnisse im Tauschgeschäft. Diese sind wie in der Abbildung 9 gestaltet. Die Besonderheit ist, dass die beiden Tauschpartner (Frachtführer und Versender) keinen Vertrag miteinander eingehen müssen, sondern dieser lediglich zwischen den Tauschpartnern und der Frachtplattform besteht (Saloodo, 2021b, o. S.). Entsprechend haben die Tauschpartner einen längerfristigen Geschäftspartner, der auch in der Haftung steht, falls einer der Tauschpartner der Dienstleistung nicht nachgeht. Dies reduziert die Transaktionskosten, da bspw. keine

Vertragsverhandlungen vor Abschluss jedes neuen Tauschgeschäfts erfolgen müssen. Des Weiteren wird insbesondere die Sicherheit bei der Zahlungsabwicklung erhöht (Lukesch, 2019, S. 7ff). Die Sharing Economy Anbieter stellen ihren Kunden ein Netzwerk zur Verfügung, wodurch das sogenannte strukturelle Loch, welches als Informationslücke anzusehen ist, überwunden werden kann. Diesbezüglich ist der Skaleneffekt anzuführen, der beschreibt, dass ein solches Netzwerk umso effektiver wird, je mehr Nutzer dieses verwenden (Apte und Davis, 2019, S. 110ff).

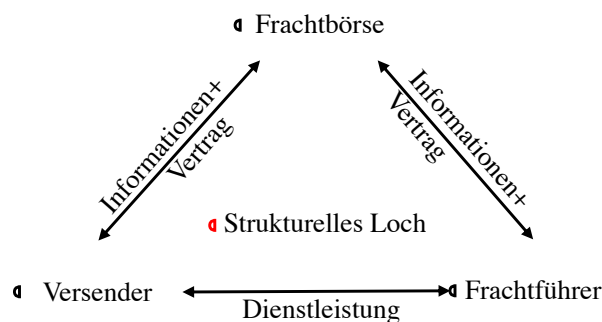


Abbildung 9: Frachtbörsen in der Sharing Economy (eigene Darstellung in Anlehnung an Apte und Davis, 2016, S. 110)

Carrypicker – Im Forschungsprojekt Carrypicker liegt der Fokus auf der optimalen Bündelung von Teilladungen mithilfe von KI (Carrypicker, 2021a, o.S.). Problem bei einer nicht KI-gestützten Planung von Ladungen ist, dass es durch die Abhängigkeit von unterschiedlichsten Faktoren zu Millionen von möglichen Kombinationen kommt, welche von einem Menschen nicht optimal überblickt werden können (Carrypicker, 2021b, o.S.). Bei der Konsolidierung von Ladungen wird zwischen Full-Truck-Load (FTL), Auslastung von mehr als 80%, und Less-than-full-truck-load (LTL), Auslastung unter 80%, unterschieden. Ein Disponent ohne Unterstützung von KI ist in der Lage bis zu 50 Sendungen und deren Fristen für die Be- und Entladung zu betrachten (de Kat et al., 2021, S. 521). Im Rahmen des Projektes konnte durch den Einsatz von KI eine Auslastungssteigerung von bis zu 10% erreicht werden, welche in einem gesenkten CO₂-Ausstoß pro tkm resultiert (BMVI, 2021b, o.S.). Nach Abschluss des FuE-Projektes hat die Firma Carrypicker die entwickelte KI weitergenutzt und im Rahmen einer Software-as-a-Service weitergeführt. Carrypicker zeichnet sich jetzt durch die einfache Beauftragung von Fahrten, einem effizienten Echtzeitaustausch, KI-basierter Kostenberechnung bei gleichzeitig hohem Ladungsfaktor sowie verringerten Leerfahrtenanzahl und CO₂-Emissionen aus (Carrypicker, 2021c, o.S.; Piepenburg et al., 2021, o.S.).

Zusammenfassung zu „digitaler Spedition“ – Auf Grund der ähnlichen Wirkweise der drei dargestellten Maßnahmen, bei denen jede die Weiterentwicklung der vorherigen darstellt, werden die Maßnahmen unter dem Stichwort „digitale Spedition“ zusammengefasst. Hierbei wirken alle Maßnahmen durch die Nutzung von Netzwerken und der daraus resultierenden Möglichkeit, Ladungen und Frachtraumkapazitäten auszutauschen. Es besteht das Potential der

effizienteren Laderaumauslastung und der Verringerung von Leerfahrten (Schulte, 2017, S. 384f). Diese beiden Faktoren wurden bereits im Kapitel 2.2 als Treiber des Emissionsausstoßes im Straßengüterverkehr identifiziert.

Maßnahme 2: Nachhaltigerer LKW-Verkehr durch KI für variable Betriebsdaten – Feature vector for Trucks (FvFT)

Im Projekt FvFT liegt der Fokus auf der Vorhersage von Kraftstoffbedarfen für eine bestimmte Route, Lkw und Fahrer Kombination mithilfe von KI (BMVI, 2021c, o.S.). Da zurzeit die meisten Betriebsdaten nur während der Fahrt gesammelt und somit vor Fahrtantritt nicht zur Verfügung stehen, kann aktuell keine genaue Prognose über den zu erwartenden Kraftstoffverbrauch getroffen werden (Emmett, n.d., o.S.). Im Rahmen des Projektes wurden deshalb zunächst Prognosen für die variablen Betriebsdaten wie beispielsweise der Geschwindigkeit, dem Beschleunigungsverhalten, dem Fahrverhalten und dem zu erwartenden Verkehrsaufkommen getroffen (Emmett, n.d., o.S.; Schweyher, 2021, o.S.). Aufbauend auf diesen Daten können verschiedene Szenarien erstellt und die emissionsärmste Kombination gewählt werden (Emmett, n.d., o.S.). Die Ergebnisse des Projektes wurden in einem für Firmen kostenpflichtig zugänglichen Online-Tool umgesetzt, mit dem eine effizienzbasierte Disposition, also die Simulation der Disposition von verschiedenen Lkw und Fahrerkombinationen auf unterschiedlichen Touren, möglich ist. Green Routing ermöglicht das Wählen der Strecke mit dem geringsten Kraftstoffverbrauch. Pricing ist ebenso möglich, wird hier allerdings nicht weiter betrachtet, da es keine Auswirkung auf den Emissionsausstoß hat (BMVI, 2021d, o.S.). Mithilfe des Projektes FvFT soll es also möglich sein, dass Emissionen bereits in der Planung durch Auswahl der emissionsärmsten Kombination von Route, Fahrer und Lkw vermieden werden.

Maßnahme 3: KI im Transport zur Emissionsreduktion (KITE)

Eine Maßnahme zur Bündelung von Ladungen und zur Vermeidung von Leerfahrten stellen die vom BMVI geförderten Projekte „KI-gestützte Kurzzeitprognosen für die Verbesserung von Fahrzeugeinsatz- und Auslastungsplanungen im deutschen Straßengüterverkehr“ (KIVAS) und KITE dar. KIVAS, als Vorgängerprojekt von KITE, hat mögliche Einflussfaktoren auf die Transportnachfrage untersucht und daraus eine Datenbank aufgebaut (Sonnleitner, 2019, S. 4), um mit verschiedenen KI-Verfahren zu analysieren, welche externen Faktoren kurzfristige LKW-Auslastungsprognosen beeinflussen (BMVI, 2019, o.S.; Fraunhofer IIS, 2021, o.S.). Das Projekt diene vorrangig der Untersuchung, ob genauere Prognosen bei der effizienteren Routenplanung unterstützen können. Zudem sollen die gewonnenen Erkenntnisse anderen Forschern in Form eines Whitepapers bereitgestellt werden (Fraunhofer IIS und Universität Regensburg, 2020, S. 23). Konkretisiert werden die theoretischen Erkenntnisse im Folgeprojekt KITE (Sonnleitner, 2019, S. 10):

Das Projekt KITE hat zum Ziel, die Tourenplanung durch ein KI-Tool zu unterstützen, um basierend auf zwei verschiedenen Arten von Prognosen, den hohen Anteil an Leerfahrten am

Markt zu reduzieren (Witt, 2021, o.S.). Bei den Prognosearten kann in Kurz- und Langfristprognosen unterschieden werden: Im Rahmen der Kurzfristprognose werden Transportvolumen auf den Ebenen Kunde, Niederlassung und Unternehmen prognostiziert. Dies ermöglicht die zeitliche Verschiebung oder Konsolidierung von Ladungen ebenso wie die Übernahme von zusätzlichen Ladungen über eine Frachtbörse, um Laderäume besser auszulasten und Leerfahrten zu verringern. Zum anderen sollen auch Langfristprognosen zur Optimierung des vorhandenen Netzwerkes gegeben werden, mithilfe derer gezielt Schwachstellen im Netzwerk und mögliche Standorte für den Aufbau von Hubs identifiziert werden können (Hassa, 2020, o.S.; InnoVisions, 2021, o.S.). Unterstützt wird das Fraunhofer-Institut hierbei von der Optitool GmbH und den beiden Speditionen BLG Logistics Group AG & Co. KG sowie der Schmahl und Stöpel Spedition und Transportgesellschaft GmbH (BMVI, 2020b, o.S.). Das Projekt soll nach Abschluss in eine Software überführt und für die Projektpartner und weitere Unternehmen zur Verfügung gestellt werden (Stubbe, 2021, o.S.). Ein erster Prototyp wird 2022 erwartet. Vorteile des entwickelten Tools gegenüber dem aktuell verbreiteten Vorgehen soll die Berücksichtigung von nicht ausschließlich statistischen Zusammenhängen, sondern auch die Berücksichtigung der zuvor im Projekt KIVAS entwickelten, externen, relevanten Faktoren sein. Entscheidend für eine erfolgreiche Umsetzung und Implementierung ist es, Faktoren und Verknüpfungen so gering wie möglich zu halten und trotzdem eine aussagekräftige Prognose treffen zu können (InnoVisions, 2021, o.S.). Zusammenfassend lässt sich sagen, dass mithilfe des zu entwickelnden KI-Tools auf zwei Arten Ladungen besser konsolidiert und Leerfahrten reduziert werden sollen, um u.a. Emissionen pro tkm einzusparen.

4.1.2 Maßnahmen im Bereich Fahrverhalten

Maßnahme 4: Elektronische Deichsel – Digitale Innovation (EDDI)

Das Projekt EDDI stellt den ersten Praxistest für Platooning auf deutschen Autobahnen dar (BMVI, 2021d, o.S.). Beim Platooning fahren Lkws in einer über Sensoren und Assistenzsysteme gekoppelten Kolonne hintereinander, wobei Signale vom Führungsfahrzeug an die folgenden Fahrzeuge weitergegeben werden (Bibeka et al., 2021, S. 281). Durch die dichteren Abstände zwischen den Lkws, im Vergleich zu nicht gekoppelten Fahrzeugen, entstehen Windschatteneffekte, welche zur Treibstoffeinsparung und somit zur Emissionsreduktion führen (Tijiang, 2017, S. 94; Tran et al., 2019, S. 9). Dies konnte im Projekt EDDI verifiziert werden (Schumacher, 2019, S. 1). Bei den Folgefahrzeugen lag die Kraftstoffeinsparung durch Nutzung der Windschatteneffekte bei 3-4%. Beim Führungsfahrzeug konnten ebenfalls Kraftstoffersparnisse in Höhe von 1,5% festgestellt werden, welche aber auf die Ausstattung mit neuer Technik, und nicht auf das Platooning selbst zurückgeführt werden können (Tran et al., 2019, S. 16). Vor den Tests wurde eine Einsparung von 10% erhofft (Rusch, 2019, o.S.), auf Grund von vielen Auflöse- und Koppelvorgängen, welche im Verhältnis mehr Treibstoff verbrauchen, konnte dies jedoch nicht erreicht werden (Tran et al., 2019, S. 16). Durch Weiterentwicklung der Lkws wird aber davon ausgegangen, dass dieses Potential in Zukunft ausgeschöpft werden kann (Rusch, 2019, o.S.).

Maßnahme 5: eHorizon

Der Automobilzulieferer Continental hat zwecks der Emissionsreduktion im Straßengüterverkehr die cloudbasierte digitale Plattform eHorizon entwickelt. Diese ermöglicht ein vorausschauendes Fahren, indem Echtzeitdaten zur Verkehrslage an die Plattform übermittelt werden (Brandenburg, 2018, o.S.; Continental, 2020, o.S.). Hierzu kooperiert Continental mit HERE Technologies, einem weltweit agierenden Anbieter für digitale Karten und standortbezogene Dienste, und INRIX, einem Anbieter für mobile Dienste für Kraftfahrzeuge und Datenanalyse im Verkehrswesen (Brandenburg, 2018, o.S.). Die Plattform gibt es in drei aufeinander aufbauenden Ausprägungsformen, dem static, connected und dynamic horizon, wobei lediglich der static horizon derzeit serienreif verbaut wird. Hier werden die Fahrer durch hochauflösende Karten und GPS-Signale bei der Optimierung des Kraftstoffverbrauchs unterstützt (VDO, 2021, o.S.). Diese Technik wird zum Beispiel in GPS-Tempomaten verwendet, wodurch ein dreidimensionales Bild der vorausliegenden Strecke erstellt und somit die Geschwindigkeit optimal angepasst werden kann. Die Kraftstoffeinsparungen des statischen Systems werden laut TÜV auf 6% geschätzt (Bennühr, 2018, o.S.). Der connected horizon verfügt neben dem statischen System über eine Verknüpfung mit anderen Lkw. Hierdurch kann das Prinzip der Schwarmintelligenz genutzt werden, indem die Cloud dem Fahrzeug die Echtzeitinformationen von vorausfahrenden Fahrzeugen übermittelt (VDO, 2021, o.S.). Dies führt dazu, dass die folgenden Lkw die Informationen früher als über das statische Modell erhalten und der Fahrer somit bspw. eine Pause auf einem Rasthof einlegen kann, anstatt in das Stauende zu fahren (Bennühr, 2018, o.S.). Eine Bedingung für das connected horizon ist jedoch, dass eine Vielzahl an Lkw mit dem statischen System ausgerüstet ist. Die höchste Ausprägungsform stellt der dynamic horizon dar. Hier werden die Echtzeitdaten mittels der Cloud an den Lkw transferiert und das Fahrzeug erkennt automatisch einen bis zu 8km vorausliegenden Stau (VDO, 2021, o.S.). Dieses Signal wird an den Fahrer mittels eines blau blinkenden Leuchtbands in der Fahrerkabine sowie eines Symbols im Display übermittelt. Sobald der Fahrer anschließend den Fuß vom Gaspedal nimmt, startet der sogenannte EcoCoasting-Modus. Hier leuchtet das Leuchtband nun durchgehend blau und ein Ausrollen, Abbremsen oder Herunterschalten wird vom Fahrzeug eingeleitet. Sobald der Fahrer wieder das Gaspedal betätigt, steuert er das Fahrzeug wieder selbstständig und der EcoCoasting-Modus wird beendet (Brandenburg, 2018, o.S.). Dieses vorausschauende Fahren in der dynamischen Ausprägung ist ein Grundstein des autonomen Fahrens und soll bis zu 20% des Kraftstoffverbrauches einsparen (VDO, 2021, o.S.).

4.1.3 Maßnahmen im Bereich Datensammlung und -Auswertung

Maßnahme 6: Fleetboard

Fleetboard ist eine Cloud-Technologie des Kraftfahrzeugherstellers Daimler. Sie umfasst die Erfassung und Auswertung aller fahrzeugrelevanten Daten und beinhaltet 25 modular und flexibel kombinierbare Elemente. Hierzu gehören beispielsweise der Barcodescan, die Fotodokumentation und die elektronische Unterschrift, wodurch die Digitalisierung gefördert wird

(Nallinger, 2013, o.S.; Reichel, 2019, o.S.). Fleetboard ist heute standardmäßig in der Lkw-Baureihe von Daimler verbaut, kann aber in jeden marktüblichen Lkw integriert werden (Nallinger, 2013, o.S.). So sind heute über 285.000 Fahrzeuge mit Fleetboard ausgerüstet. Die Anwendungsbereiche der Technologie lassen sich in das Auftragsmanagement, die Zeitwirtschaft und die Einsatzanalyse gliedern. Beim Auftragsmanagement werden die Logistikprozesse anhand der gewonnenen und ausgewerteten Daten effizient gestaltet und optimiert (Mercedes-Benz, 2021, o.S.). Fleetboard Zeitwirtschaft dient der Optimierung des Personaleinsatzes und der Tourenplanung. Hier werden die erfassten Lenk-, Arbeits- und Ruhezeiten der Fahrer aufgezeigt und der Disponent kann somit den Personaleinsatz optimal planen (Fleetboard, 2021a, o.S.; Mercedes-Benz, 2021, o.S.). Während das Auftragsmanagement und die Zeitwirtschaft primär die Effizienzsteigerung von innerbetrieblichen Prozessen fokussiert, kann die Einsatzanalyse darüber hinaus bei der Emissionsreduktion unterstützen. So vergibt Fleetboard hier anhand des Kraftstoffverbrauchs in Relation zur gefahrenen Strecke den Fahrern Noten auf einer Skala von 1 bis 10, wobei 10 die Bestnote ist (Fleetboard, 2021b, o.S.). Sofern der Fahrer eine schlechte Note durch das System erhält, kann die Fahrweise der Fahrer anhand von Schulungen optimiert werden. Daimler selbst bietet hier das Mercedes-Benz EcoTraining an. Anhand der Einsatzanalyse von Fleetboard und der folgenden Schulungen der Fahrer können die Emissionen im Straßengüterverkehr mittels Kraftstoffoptimierung gesenkt werden. Daimler beziffert diese Einsparungen auf bis zu 15% pro Lkw (Mercedes-Benz, 2021, o.S.).

Maßnahme 7: Tire Pressure Monitoring (TPM)

Die Ermittlung und Kontrolle des Reifendrucks mittels Sensoren stellt eine Maßnahme dar, die dazu geeignet ist, Kraftstoff einzusparen, Emissionen zu vermindern, Verschleiß zu reduzieren und die Fahrsicherheit zu erhöhen (Al-Hussein et al., 2021; S. 2f; Sun et al., 2019, S. 1240 ff). Die EU definiert in der Regelung ECE R64, dass Reifendrucküberwachungssysteme, auch Tire Pressure Monitoring Systeme (TPM) genannt, Reifendruckstände erfassen und diese noch während der Fahrt an den Fahrzeugführer übermitteln müssen (Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa, 2010, S. 21). Die Erfassung des Reifendrucks erfolgt einerseits über die standardmäßig in Fahrzeugen integrierten Raddrehzahlsensoren (BRV, 2020, o.S.; Bussgeldkatalog.org, 2021, o.S.). Andererseits können externe Sensoren zu diesem Zweck an den Radventilen montiert werden, wobei dem Fahrer bei Abweichungen des Reifendrucks akustisch und visuell über entsprechende Endgeräte im Fahrzeuginnenraum ein Alarmsignal gegeben wird (Continental, 2018a, S. 6; Sun et al., 2019, S. 1241). Zusätzlich existieren Hardwarelösungen, die in der Lage sind, Reifendruckstände zu speichern und diese den einzelnen Fahrzeugführern zuzuordnen (Würth, 2021, o.S.). Bei der Auswahl entsprechender Sensoren ist jedoch darauf zu achten, dass diese sowohl einen zu geringen, als auch einen zu hohen Reifendruck erkennen (Continental, 2018b, o.S.). Die zur Verfügung stehenden Software Anwendungen wie bspw. Conti-Connect ermöglichen es, die Druckstände der Reifen einer Lkw- bzw. Bus-Flotte oder auch die Anzahl der ausgegebenen Alarmsignale sowie das Gesamthistogramm der Druckstände zu visualisieren (Auto-Medienportal, 2016, o.S.). Vorteile der externen

Reifendrucküberwachungssensoren ergeben sich überdies aus der ladungsunabhängigen Kontrolle des Reifendrucks. Die standardmäßig in Fahrzeugen integrierten Systeme variieren hingegen in ihrer Erkennungsstärke in Abhängigkeit von der Höhe der Zuladung. Bei geringer Fahrzeugauslastung ergeben sich verzögerte Signalmeldungen, wodurch es zu einem erhöhten Kraftstoffverbrauch kommt (Grygier et al., 2001, S. 102). Zudem ist der Fahrzeugführer im Unterschied zu Systemen, die sich auf externe Sensoren stützen, i.d.R. nicht in der Lage zu erkennen, welche Reifen konkret von der Signalmeldung betroffen sind (ADAC, 2021, o.S.). Dagegen werden externe Sensoren an jedem einzelnen Reifen justiert, wodurch jeder Reifen ein entsprechendes Alarmsignal an den Fahrzeugführer sendet (Continental, 2018a, S. 4). Die Implementierung von Systemen zur Reifendrucküberwachung auf Basis externer Sensoren bietet Fahrzeugführern demnach die Möglichkeit, einen zu geringen oder zu hohen Reifendruck frühzeitig zu erkennen und dadurch den Kraftstoffverbrauch zu senken bzw. Emissionen zu reduzieren.

4.2 Ergebnisse Analytical Hierarchy Process

Aus der Kombination der in Kapitel 3.2.2 erarbeiteten Kriterien und Subkriterien des AHP, ergibt sich in Verbindung mit den identifizierten Maßnahmen die Gesamthierarchie des AHP. Diese wird in Abbildung 10 dargestellt und dient als Referenz für die Auswertung und Diskussion der nachfolgend dargestellten Ergebnisse.

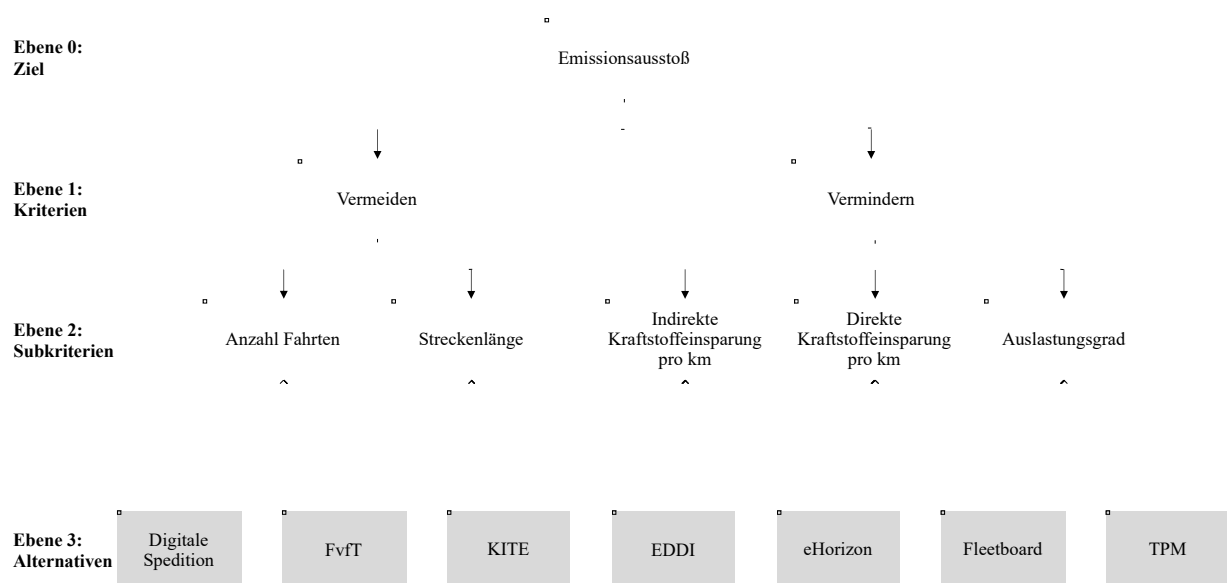


Abbildung 10: Projektspezifische Gesamthierarchie AHP (eigene Darstellung in Anlehnung an Saaty, 1990, S. 14)

Laut Riedl (2006, S. 11) werden die Gewichtungen dabei als Verhältniszahlen angegeben. Nachfolgend geschieht dies durch Angaben in Prozent. In Kapitel 4.2.1 werden zunächst die Ergebnisse der Experten für Ebene 1 und 2 der Hierarchie, also die Ebenen der Kriterien und Subkriterien, aufgezeigt. Anschließend erfolgt in Kapitel 4.2.2 die Darstellung der Ergebnisse aus der Alternativenbewertung. Die Synthese aus den Gewichtungen der Kriterien, Subkriterien

und Alternativen erfolgt in Kapitel 4.2.3. Abschließend werden im Verlauf des Kapitels 4.2.4 die Ergebnisse aus der Sensitivitätsanalyse aufgezeigt sowie der Gruppenkonsens und der Konsistenzindex für die Experten- und Maßnahmenbewertung angeführt.

4.2.1 Bewertung der Kriterien und Subkriterien

In der ersten Ebene der aufgestellten AHP-Hierarchie haben die Experten die Kriterien Vermeiden und Vermindern basierend auf ihrer Expertise evaluiert. Entsprechend wurde bewertet, ob die allgemeine Vermeidung oder Verminderung von Emissionen im deutschen Straßengüterverkehr wichtiger ist. Hierbei wurde dem Kriterium Vermindern mit 75,20% einen deutlich höheren Stellenwert als Vermeiden mit 24,80% beigemessen.

In der zweiten Ebene sind die Subkriterien auf Grundlage der Kriterien verglichen worden. Demnach wurde durch die Experten bewertet, ob bei der Emissionsvermeidung entweder die Reduktion der Fahrtanzahl oder der Streckenlänge und ob bei der Emissionsverminderung der Auslastungsgrad, die indirekte oder die direkte Kraftstoffeinsparung pro km wichtiger ist. Beim Kriterium Vermeiden ist das Subkriterium Anzahl Fahrten mit 69,60% gegenüber der Streckenlänge mit 30,40% als relevanter beurteilt worden. In dem Kriterium Vermindern wurde dem Subkriterium Auslastungsgrad mit 48,50% der höchste Stellenwert beigemessen, gefolgt von der direkten Kraftstoffeinsparung pro km mit 28,10% und der indirekten Kraftstoffeinsparung pro km mit 23,40%. Diese Ergebnisse werden in Abbildung 11 illustriert.

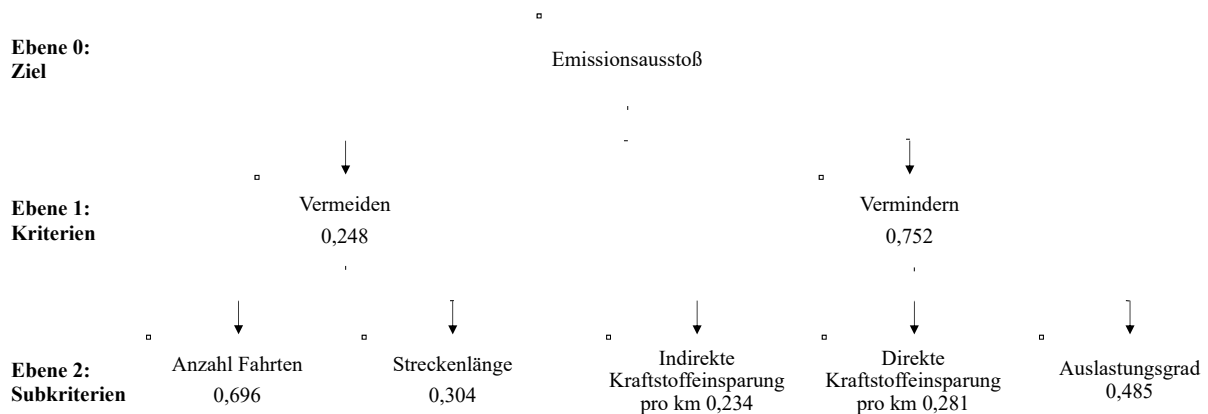


Abbildung 11: Ergebnisse Ebene 1 und 2 (eigene Darstellung in Anlehnung an Saaty, 1990, S. 14)

Multipliziert man die Gewichtungen der Kriterien mit denen der Subkriterien zeigt sich, dass die Regulierung des Auslastungsgrades mit 36,47% insgesamt die höchste Relevanz aufweist. Am niedrigsten wird die Relevanz der Streckenreduzierung mit 7,54% eingeschätzt. Somit ergibt sich, dass Vermindern das Kriterium und die Erhöhung des Auslastungsgrades das Subkriterium ist, die laut den befragten Experten die höchsten Potentiale zur Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr aufweisen.

4.2.2 Bewertung der Alternativen

Anzahl der Fahrten – Im Subkriterium Anzahl der Fahrten wurden die verschiedenen Maßnahmen hinsichtlich der Vermeidung von Fahrten bewertet. Die digitale Spedition und KITE sind die einzigen Maßnahmen, die einen Einfluss auf dieses Subkriterium haben. Die digitale Spedition hat mit einem Ergebnis von 45,4% besser abgeschnitten als KITE mit 33,00%. Beide Maßnahmen zielen auf die Bündelung von Fahrten ab, wodurch die Anzahl der Fahrten reduziert werden kann. KITE bewerkstelligt dies mit einer KI-gestützten Software, die verschiedene Prognosen bezüglich zukünftiger Fahrten ermöglicht. Die digitale Spedition bietet den Nutzern ein Netzwerk, wodurch landesweite Kooperationen entstehen und durchgeführt werden können. Hinsichtlich der Bewertung wurde die Bereitstellung eines Netzwerkes höher priorisiert als unternehmensinterne Prognosen.

Streckenlänge – In diesem Subkriterium wurden die Maßnahmen in Bezug auf das Vermeiden von Strecken bewertet. Dabei haben vier Maßnahmen einen Einfluss auf die zurückgelegte Distanz. Am höchsten wurde FvFT mit 46,2% bewertet. Dies ist darauf zurückzuführen, dass FvFT eine Routenplanung mit der emissionsärmsten Kombination aus Route, Fahrer und Fahrzeug ermöglicht. Auf dem zweiten Platz befindet sich die digitale Spedition mit 20%, die die Routenplanung als Nebenprodukt besitzt, wodurch die Effektivität geringer als bei FvFT eingestuft worden ist. Mit 18,3% folgt KITE auf dem dritten Platz. Zwar wird kein eigenständiges Routenplanungs-Tool angeboten, aber mithilfe der Prognosen können optimierte Routen geplant werden. Aus diesem Grund wurde die Maßnahme KITE geringer eingestuft als die digitale Spedition. Die Maßnahme eHorizon besetzt mit 8,30% den vierten Platz. Durch die Echtzeitdaten des Verkehrs, die eHorizon liefert, kann ein bevorstehender Stau umfahren werden. Da die Streckenlänge hierdurch verlängert, aber dennoch Emissionen eingespart werden können, wurde der eHorizon in diesem Subkriterium als niedrigste Maßnahme eingestuft.

Indirekter Kraftstoffeinsparung pro km – Hier sind die Potentiale hinsichtlich der Kraftstoffeinsparung durch nachgelagerte Handlungen, die Fahrzeug- und Fahroptimierungen bewirken, bewertet worden. Die Ergebnisse dieser Bewertung zeigen, dass die drei Maßnahmen Fleetboard (39,7%), TPM (24,3%) und eHorizon (22,7%) auf dieses Subkriterium Einfluss nehmen. Durch Fleetboard kann eine Bewertung der Fahrerbelegschaft hinsichtlich ihrer sparsamen Fahrweise erfolgen. Hierdurch werden Optimierungspotentiale bei den Fahrern identifiziert, welche durch anschließende Schulungen optimiert werden können. Das TPM-System ermöglicht eine kontinuierliche Überwachung des Reifendrucks, wodurch im Falle eines sinkenden Reifendrucks entsprechend reagiert werden kann. Der daraus resultierende optimale Reifendruck spart Kraftstoff ein. TPM erhielt eine niedrigere Bewertung, da die Reifendruckprüfung auch aufgrund von Sicherheitsaspekten in der Regel durchgeführt werden sollte. Die Maßnahme eHorizon unterstützt die Fahrer durch Echtzeitinformation bezüglich des Verkehrs, als auch über die Strecke, wodurch der Fahrer seine Fahrweise entsprechend anpassen kann. Jedoch wurde eine kontinuierliche Fahrt mit einem optimalen Reifendruck höher bewertet als die potenzielle Unterstützung durch Zusatzinformationen von eHorizon.

Direkte Kraftstoffeinsparungen pro km – Im Rahmen dieses Subkriterium wurden die Maßnahmen hinsichtlich der Kraftstoffeinsparungen bewertet, die unmittelbar erfolgen. Lediglich zwei Maßnahmen wurden mit einem wahrnehmbaren Einfluss auf dieses Subkriterium identifiziert. Mit 46,9% erhielt EDDI die höchste Bewertung, die aus den hohen Potentialen der Windschatteneffekte des Platoonings resultiert. Die Maßnahme eHorizon folgt mit einem Ergebnis von 30%. Die niedrigere Bewertung des eHorizon folgt aus der Tatsache, dass der EcoCoasting-Modus des eHorizon lediglich ein Fahrassistenz-System darstellt. Eine sparsame Fahrweise der Fahrer kann zu ähnlichen Ergebnissen führen.

Auslastungsgrad – Bezüglich der Laderaumauslastung bieten zwei Maßnahmen hohe Potentiale. In der Rangliste liegt die digitale Spedition mit 45,50% vor der Maßnahme KITE, die mit 33,90% bewertet wurde. Die Gründe der Rangfolge sind ähnlich wie bereits im Subkriterium Streckenlänge. Die digitale Spedition erhielt höhere Bewertungen, da die Bildung eines breiten Transportnetzwerkes im Kontext des stark fragmentierten Marktes wichtiger erscheint. KITE prognostiziert die Fahrten eines Unternehmens, wodurch ein Transportnetzwerk für die Verwendung dieser Maßnahme vorausgesetzt wird.

4.2.3 Gesamtergebnis

Durch Multiplikation der Ergebnisse aus Kapitel 4.2.1 mit denen aus Kapitel 4.2.2 entlang der Hierarchieebenen, ergibt sich die nachfolgend in Tabelle 4 dargestellte Rangfolge der Ergebnisse.

Tabelle 4: vorläufige Rangfolge (eigene Darstellung)

Rangfolge	Maßnahme	Endergebnis
1	Digitale Spedition	27,11%
2	KITE	20,99%
3	eHorizon	13,27%
4	EDDI	12,98%
5	Fleetboard	10,48%
6	TPM	7,74%
7	Fvft	7,40%

Sowohl die digitale Spedition als auch KITE beeinflussen die Subkriterien Anzahl Fahrten, Streckenlänge und Auslastung, wobei KITE im Vergleich jeweils etwas geringer abschneidet. Auch die Maßnahme eHorizon beeinflusst drei Subkriterien, namentlich Streckenlänge und

indirekte und direkte Kraftstoffeinsparung pro km. Hiermit ergibt sich insgesamt dennoch ein geringeres Endergebnis für eHorizon als für die digitale Spedition und KITE, da die vom eHorizon beeinflussten Subkriterien im Vergleich niedriger gewichtet sind als die, die von der digitalen Spedition bzw. KITE beeinflusst sind. EDDI, Fleetboard, TPM und FvFT beeinflussen jeweils nur ein Subkriterium. Durch eine höhere Gewichtung der direkten Kraftstoffeinsparungen pro km gegenüber der indirekten, ergibt sich ein besseres Endergebnis für EDDI als für Fleetboard und TPM. FvFT schneidet zwar im Bereich Streckenlänge am besten ab, allerdings handelt es sich hierbei um das insgesamt am geringsten bewertete Subkriterium.

4.2.4 Robustheit der Ergebnisse

Der Konsistenzindex des AHP liegt insgesamt bei 1,55% und der Gruppenkonsens bei 98,5% bzw. 64,4%. Beide Werte werden mittels des verwendeten Tools berechnet. Der Konsistenzindex ist, wie bereits in Kapitel 3.2.1 dargelegt, als Maß für die Konsistenz in der Erstellung der einzelnen paarweisen Vergleiche anzusehen. Bei einem Konsistenzindex von unter 10% können die Ergebnisse als valide angesehen werden (Goodwin und Wright, 2014, S. 79f). Mit einem Konsistenzindex von 0% bei den Bewertungen der Experten und 3,1% in der Maßnahmenbewertung, können die Ergebnisse als valide angesehen werden. Da es sich um ein gruppenbezogenes AHP handelt, wird neben dem Konsistenzindex auch ein Gruppenkonsens angegeben. Der Gruppenkonsens zeigt an, inwiefern die finale Rangfolge innerhalb der Gruppe überlappt oder auseinander geht. Der Gruppenkonsens in der Bewertung der Maßnahmen lag mit 98,5% sichtlich höher als in der Bewertung der Kriterien und Subkriterien, wo dieser lediglich 64,4% betrug. Ein Gruppenkonsens von 98,5% kann hierbei als hoch angesehen werden, während ein Konsensus von 64,4% als niedrig angesehen wird (Goepel, 2017a, o.S.). Es kann folglich angemerkt werden, dass in der Bewertung der Kriterien und Subkriterien mehr Unstimmigkeiten vorlagen als in der Bewertung der Maßnahmen. Aus diesem Grund werden im Folgenden die Differenzen in der Bewertung der Kriterien und Subkriterien näher erläutert.

Tabelle 5: Beispielhafte Darstellung der Kriterienbewertung durch die Experten (eigene Darstellung)

Teilnehmer	Vermeiden	Vermindern
Gruppenergebnis	24,8%	75,2%
E1	14,3%	85,7%
E2	20,0%	80,0%
E3	20,0%	80,0%
E4	75,0%	25,0%
E5	11,1%	88,9%

Tabelle 5 zeigt exemplarisch die Bewertung der Kriterien Vermeiden und Vermindern aufgeschlüsselt in ein Gruppenergebnis und in die Bewertung der einzelnen Experten. Die grün hinterlegten Felder heben die von den jeweiligen Experten bevorzugten Kriterien hervor. Hieraus geht hervor, dass der geringe Gruppenkonsens aus einzelnen Abweichungen in der Priorisierung ebenso wie aus den unterschiedlichen Bewertungen resultiert. Trotzdem zeigt sich, dass die Bewertungen auch bei geringem Gruppenkonsens tendenziell übereinstimmen. Dies zeigt sich nicht nur bei dem hier gewählten Beispiel, sondern auch in der Struktur aller anderen Bewertungen der Experten, wie die ausführlichen Ergebnisse in Anhang XY zeigen. Zudem konnte nicht festgestellt werden, dass bspw. die Ergebnisse der Experten aus der Praxis von den Ergebnissen des Experten aus der Forschung abweichen.

Wie in Kapitel 3.2.2 dargestellt wurde, sind im Rahmen der vorliegenden Sensitivitätsanalyse drei Grenzwerte betrachtet worden: Erstens, das Absolut-Top critical criterion, also der kleinsten Änderung zur Änderung der am höchsten gewichteten Maßnahme der Rangfolge. Im vorliegenden AHP ergibt sich, dass im Kriterium Auslastungsgrad eine absolute Änderung von 26,5% um -34,4% erfolgen muss, damit die digitale Spedition nicht mehr als beste Maßnahme identifiziert wird, sondern die Maßnahme eHorizon. Der zweite Grenzwert, das Absolut-Any critical criterion, zeigt die kleinste Änderung auf, die zu einer Änderung der Rangfolge führt. Eine Änderung von 21,2% um absolut 1,65% im Kriterium direkte Kraftstoffeinsparung pro km führt zu einer Veränderung des Rangs zwischen EDDI und eHorizon. Drittens, im Rahmen des Absolut-Any critical performance measure muss die Alternative EDDI betrachtet werden. Eine Änderung von 46,9% um absolut 1,55% im Subkriterium direkte Kraftstoffeinsparung pro km ändert den Rang zwischen EDDI und eHorizon.

Insgesamt zeigt sich, dass die im Rahmen des AHP durchgeführten Paarvergleiche konsistent sind, sowohl in der Bewertung der Kriterien und Subkriterien als auch in der Bewertung der Alternativen. Der Gruppenkonsens unterschied sich hierbei, kann aber durch einzelne Abweichungen in der Meinung der Experten erklärt werden. Die Sensitivitätsanalyse zeigt, dass das oberste Ergebnis der Rangfolge stabil gegenüber Veränderungen ist, während besonders die Bewertungen im Bereich der direkten Kraftstoffeinsparung pro km zwischen den Alternativen EDDI und eHorizon als weniger robust gegenüber Veränderungen angesehen werden können.

5 Diskussion

Die Ergebnisse des AHP zeigen, dass die Maßnahmen der digitalen Spedition und KITE die höchsten Potentiale bezüglich der Reduzierung von Emissionen haben. Beide Maßnahmen zielen auf die Bündelung von Transporten ab, jedoch basieren die Maßnahmen auf unterschiedlichen Funktionalitäten, um dieses Ziel zu erreichen. Die digitale Spedition bewerkstelligt die Bündelung, indem der Austausch von Ladungen und Frachtkapazitäten ermöglicht und koordiniert wird. Entsprechend werden dadurch die logistischen Schnittstellen, die zwischen den verschiedenen Akteuren (Frachtführern) bestehen, umgangen. Es erfolgt eine Standardisierung der Informationsflüsse zwischen den Akteuren, sodass die bekannten Vorteile einer Kooperation, wie die Ausweitung, Optimierung und Standardisierung von Prozessen und Leistungen, resultieren. Diese Resultate bestätigen die Theorien von Cichosz et al. (2020, S. 231f) und Herold et al. (2021, S. 1931), die hervorgehoben haben, dass fortschreitende Digitalisierung nur durch eine Erhöhung der Kommunikation und Kooperation erfolgreich sein kann. Zudem wird durch ein größeres Netzwerk der starken Marktfragmentierung entgegengewirkt, wodurch zusätzlich Effizienz- und Servicelevelsteigerungen erreicht werden können. In der Branchenanalyse in Kapitel 2.1.3 wurde ersichtlich, dass ca. 50% der Unternehmen im gewerblichen Güterverkehr lediglich bis zu fünf Beschäftigte und bis zu drei Lkw haben. Entsprechend hat die Bereitstellung eines Netzwerkes vor allem für die Größenkategorie der Kleinstunternehmen (1 bis 9 Mitarbeiter) hohe Potentiale, um Fahrten Bündeln zu können. Des Weiteren würden auch andere Ziele der Logistik positiv beeinflusst werden. So werden die Kosten durch die verbesserte Auslastung verringert und der Lieferservice bspw. durch eine höhere Flexibilität, resultierend aus dem größeren Netzwerk, erhöht. Die vorangegangenen Punkte würden somit die Wettbewerbsfähigkeit von Kleinstunternehmen und kleineren Unternehmen (10 bis 49 Mitarbeiter) steigern, als auch den Emissionsausstoß reduzieren. Mittlere Unternehmen (50 bis 249 Mitarbeiter) beschäftigen ca. 30% der Mitarbeiter im deutschen Straßengüterverkehrsmarkt und verfügen über mehr Ressourcen wie bspw. Lkw. Aufgrund der bereits bestehenden Netzwerke kann KITE für Unternehmen dieser Größenkategorie vorteilhafter sein. KITE verwendet eine KI-gestützte Software, die verschiedene Prognosen bezüglich zukünftiger Fahrten ermöglicht. Entsprechend ist der Einsatz von KITE erst mit einem größeren Netzwerk sinnvoll. In diesem Kontext ist eine Verbindung von beiden Maßnahmen interessant, da diese sich gegenseitig ergänzen könnten, um das Ziel der Transportbündelung unabhängig von der Unternehmensgröße zu erreichen.

Ein weiteres Ergebnis dieser Arbeit ist, dass das Subkriterium Auslastungsgrad für die befragten Experten am relevantesten hinsichtlich der Einsparung von Emissionen ist. Innerhalb des Kriteriums Vermeiden wurde die Ausprägung Anzahl Fahrten am höchsten gewichtet. Dies bedingt, dass die digitale Spedition und KITE die höchsten Potentiale hinsichtlich der Emissionsreduktion aufweisen. Beide Maßnahmen betreffen jeweils die Planung innerhalb des Unternehmens. Dies stimmt mit der Sicht der Experten überein, welche ebenfalls die aktuellen Herausforderungen eher bei den Planungsprozessen, die die Auslastung und Leerfahrten bedingen, als bei dem Kraftstoffverbrauch der Fahrzeuge sehen. Damit bestätigen die Bewertungen der

Experten die Fokussierung auf kurzfristige Maßnahmen, die in dieser Ausarbeitung erfolgte. Vor allem die Bündelung von Transporten und die daraus resultierende Verbesserung des Auslastungsgrades und der Leerfahrtenanteile, bilden die vielversprechendsten Möglichkeiten, um kurzfristig Emissionen einzusparen.

Es geht hervor, dass die Maßnahmen eHorizon, EDDI und Fleetboard ein Cluster hinsichtlich der prozentualen Platzierung im AHP bilden, welches sich im mittleren Bereich der Rangfolge befindet. Auffallend ist, dass die drei Maßnahmen auf die Vermeiden Kriterien keinen nennenswerten Einfluss haben. Stattdessen wirken die Maßnahmen bei den Verringern Kriterien in der direkten- und indirekten Kraftstoffeinsparung pro km. Es wurden jedoch keine Potentiale bezüglich der Verbesserung des Auslastungsgrades entdeckt, der die höchste Gewichtung aufweist. Dementsprechend haben die Maßnahmen nur in niedrig gewichteten Subkriterien einen Einfluss. Alle drei Maßnahmen betreffen das Fahrverhalten der Fahrzeuge. Auffallend ist, dass diese Maßnahmen stärker innovativ sind. Die Maßnahme EDDI ist der erste Platooning Versuch auf deutschen Autobahnen, während eHorizon die Vorstufe des autonomen Fahrens darstellt. Die genannten Maßnahmen weisen eine stärkere Prägung in den Definitionsbereichen der Digitalisierung auf. Vor allem treffen die Definitionsbereiche der Entwicklung und Nutzung von neuen Technologien mit den Bestandteilen der Automation stärker zu. Somit finden sich technisch innovative Maßnahmen, deren Funktionalität auf KI und Automation basieren, lediglich im mittleren Feld der Rangfolge wieder.

Ein weiteres Cluster in Bezug auf die Positionierung in der Rangfolge bilden TPM und FvFT. Grund hierfür ist, dass diese Maßnahmen jeweils nur ein Subkriterium betreffen. Das TPM belegt den zweiten Platz bei der indirekten Kraftstoffeinsparung pro km. Fvft besitzt die höchste Bewertung im Subkriterium Streckenlänge. Somit sind diese Maßnahmen sehr spezifisch ausgerichtet, sodass jeweils nur ein emissionsbedingender Faktor anvisiert, dieser jedoch mit einer hohen Effektivität positiv beeinflusst wird. Auch hier ist auffallend, dass ein KI-gestütztes Software-Tool wie FvFT hinter einem kommerziellen Reifendruckkontrollsystem liegt.

In diesem Kontext sind auch die Hemmnisse der Digitalisierung im Straßengüterverkehr erneut aufzugreifen. Vor allem die Kritik des BMVI der ineffizienten IT-Insellösungen knüpft an die Maßnahmen eHorizon, EDDI, Fleetboard und FvFT an. Alle vier Maßnahmen stellen Systeme dar, die nur innerhalb der eigenen Grenzen wirksam und nicht kompatibel mit Systemen anderer Hersteller sind. Des Weiteren entsprechen technisch innovative Maßnahmen weiteren Kritikpunkten wie der Angst vor Risiken und neuen Verpflichtungen. Letzteres kann auch auf die digitale Spedition zu treffen. Die digitale Spedition in Form von Online-Frachtplattformen ist bereits mit einer Vielzahl an Angeboten auf dem Markt vertreten. In dieser Ausarbeitung wurde weder das Kostennutzenverhältnis noch die Benutzerfreundlichkeit der Maßnahmen bewertet, wodurch die Ermittlung von Gründen hinsichtlich der mangelnden Verwendung von Online-Frachtplattformen in der Praxis einer eigenständigen Untersuchung bedarf. Jedoch kann anhand der Hemmnisse der Digitalisierung argumentiert werden, dass Online-Frachtplattformen auch Risiken für Unternehmen wie Vertragsbindungen, ein stärkerer Wettbewerb und hohe Kosten

haben können. Des Weiteren wurde der Skaleneffekt, der die Effektivität einer solchen Plattform steigert, thematisiert. Eine hohe Anzahl an Benutzern erhöht die Attraktivität des Netzwerkes. Dem gegenüber steht die Vielzahl an Anbietern, die eine Fragmentierung der Benutzer bedingen. Dies kann eine Erklärung sein, weshalb die Verwendung von Online-Frachtplattformen in der Praxis weniger attraktiv erscheint. Eine Online-Frachtplattform mit einem höheren Skaleneffekt an Benutzern, hätte das Potential, die Kooperation des fragmentierten Marktes deutlich zu steigern.

In diesem Kontext zeigen sich die Auswirkungen der vielfältigen Faktoren, die den Emissionsausstoß bedingen. Dies wurde auch bereits in Kapitel 2.2 deutlich, in welchem die verschiedenen Ursachen wie Leerfahrten oder die Fahrweise der Fahrer thematisiert worden sind. Aufgrund dieser Komplexität kann die Wahl der richtigen Maßnahmen stark von der Ausgangssituation des Unternehmens abhängig sein, in dem die Maßnahme Anwendung finden soll. Wie zuvor thematisiert wurde, besteht der deutsche Straßengütermarkt aus Unternehmen verschiedener Größen. Daraus ergeben sich verschiedene Ressourcen, die einem Unternehmen zur Verfügung stehen wie bspw. die Anzahl der Lkw oder die Größe des Transportnetzwerkes. Je nach Ausgangssituation des jeweiligen Unternehmens können andere Maßnahmen sinnvoll sein. So ist für ein Kleinstunternehmen möglicherweise die Verwendung einer digitalen Spedition für den Ausbau des Netzwerkes und Reduzierung von Leerfahrten die beste Alternative. Bei Großunternehmen, die bereits ein breites Netzwerk und eine hohe Laderaumauslastung haben, sind möglicherweise Maßnahmen, die sich positiv auf die direkte Kraftstoffeinsparung pro km auswirken, die bessere Alternative. Auch wenn diese Maßnahme keine Komplettlösung darstellt, weil nur ein emissionsbedingender Faktor beeinflusst wird, so können mithilfe dieser noch weitere Potentiale hinsichtlich einer kurzfristigen Emissionsreduzierung erreicht werden.

6 Fazit und Ausblick

Der Straßengüterverkehr in Deutschland zeichnet sich durch seine hohe Transportleistung bedingt durch die direkte, flächendeckende, flexible Güterverteilung und geringe Stillstandzeiten aus. Gleichzeitig ist der Verkehrssektor für 20% der ausgestoßenen Emissionen in Deutschland verantwortlich. Dies ist mit den aktuellen Klimazielen der Bundesregierung nicht vereinbar, wodurch ein Handlungsbedarf auf Unternehmensebene entsteht. Aktuelle Herausforderungen in der Branche bestehen hinsichtlich der hohen Leerfahrtenanteile, einem steigenden Kostendruck sowie hohen Kundenerwartungen. Hinzu kommt der vielfältige und teilweise stark fragmentierte Markt, der die Überwindung dieser Herausforderungen erschwert. Aus anderen Sektoren zeigte sich, dass Digitalisierungsmaßnahmen ein wirkungsvolles Mittel zur Emissionsreduktion sein können, welche im Gegensatz zu alternativen Antrieben bereits kurz- bis mittelfristig ausreichend zur Verfügung stehen. Aus diesem Grund wurde eine systematische Analyse von Digitalisierungsmaßnahmen auf Unternehmensebene sowie die Bewertung der Emissionsreduktionspotentiale durchgeführt. Diese Untersuchung erlaubte schlussendlich die Beantwortung der folgenden Forschungsfrage:

Welche Digitalisierungsmaßnahmen auf Unternehmensebene bieten die größten Potentiale in der Emissionsreduktion im deutschen Straßengüterverkehr?

Mithilfe der aufgebauten AHP-Hierarchie lässt sich hierbei antworten, dass die beiden Maßnahmen digitale Spedition und KITE die größten Potentiale bieten, um im deutschen Straßengüterverkehr Emissionen zu reduzieren. Über dieses Ergebnis hinaus gibt es jedoch noch weitere, wichtige Erkenntnisse, die im Rahmen der Untersuchung identifiziert werden konnten. Allgemein wurde festgestellt, dass Maßnahmen, die die Planung beeinflussen, die höchsten Potentiale zur Emissionsreduktion aufweisen, während Maßnahmen, die das Fahrverhalten oder nachgelagerte Maßnahmen zur Datensammlung und -Auswertung betreffen, vergleichsweise geringere Potentiale aufweisen. Dies bestätigt die identifizierten Herausforderungen der hohen Leerfahrtenanteile, da Planungsmaßnahmen primär eine Ladungsbündelungen erreichen, wodurch eine effizientere Laderaumauslastung folgt. Neben der Emissionsreduktion wurden bei Anwendung dieser Planungsmaßnahmen auch Potentiale hinsichtlich der Erhöhung der Wettbewerbsfähigkeit identifiziert. Aus der Tatsache, dass die digitale Spedition bereits in Form von Online-Frachtplattformen auf dem Markt vertreten ist, folgt die Fragestellung der unzureichenden Anwendung dieser bzw. inwiefern eine Anwendung bereits stattfindet und welche Hemmnisse bestehen. Zudem kann festgestellt werden, dass alle Maßnahmen einen Einfluss haben und nur hinsichtlich ihrer Potentiale variieren. In diesem Kontext sind sowohl die vielfältigen Akteure, als auch die Komplexität der Wirkgröße des Emissionsausstoßes zu beachten. Dies bedingt, dass bspw. für Großunternehmen, die bereits ein breites Transportnetzwerk haben, die Anwendung der letztplatzierten Maßnahme FvT sinnvoller sein könnte, um die bereits vorhandenen Ressourcen optimal zu nutzen. Auch die Ausgangssituation des jeweiligen Unternehmens ist entscheidend. Entsprechend können die untersuchten Maßnahmen

bereits im Unternehmen in Anwendung sein, wodurch die Verwendung andere Maßnahmen empfehlenswert ist, um weitere Emissionseinsparungen zu erzielen. Es lässt sich festhalten, dass eine Maßnahme immer anhand der Ausgangssituation und vorhandenen Ressourcen des jeweiligen Unternehmens zu wählen ist.

Limitationen und Ausblick

Im Rahmen der vorliegenden Arbeit wurden Digitalisierungsmaßnahmen im Straßengüterverkehr fokussiert, da diese in der kurzen bis mittleren Frist Potentiale zur Emissionseinsparung im deutschen Straßengüterverkehr haben. Maßnahmen wie alternative Antriebe hingegen wurden nicht betrachtet. Wie bereits zuvor erwähnt, können die Klimaziele aber voraussichtlich nicht ohne den Einsatz dieser erreicht werden. Entsprechend bedarf es Untersuchungen, die aus langfristiger Sicht den Einsatz alternativer Antriebe behandeln. Überdies sollte untersucht werden, ob eine Anwendung der Maßnahmen bei weiterer Verbreitung von alternativen Antrieben hinsichtlich der Emissionsreduktion weiterhin sinnvoll ist.

Eine weitere Limitation der Arbeit stellt die Untersuchung von Maßnahmen ausschließlich auf Unternehmensebene dar. Staatliche Interventionen wie Subventionen für Emissionsminderungen wurden nicht betrachtet. Eine Untersuchung von makrologistischen Faktoren kann weitere Digitalisierungsmaßnahmen hervorbringen. Diese können sich bspw. auf den Ausbau der digitalen Verkehrsinfrastruktur beziehen, wodurch untersuchte Maßnahmen wie EDDI möglicherweise beeinflusst werden.

Aus forschungsökonomischen Gründen wurden keine Faktoren der Anwendbarkeit in den Unternehmen untersucht. Weitere zu untersuchende Faktoren sind bspw. Kosten, Nutzerfreundlichkeit und Realisierbarkeit, anhand welcher die praktische Anwendbarkeit der Maßnahmen beurteilt werden kann. Um konkrete Handlungsempfehlungen geben zu können, bedarf es einer Untersuchung der genannten Faktoren. Hierdurch kann die Anzahl der neun empfohlenen Kriterien für ein AHP überstiegen werden, wodurch die Wahl einer neuen Bewertungsmethodik in Erwägung gezogen werden sollte. Zudem wird erwartet, dass in den nächsten Jahren weitere Digitalisierungsmaßnahmen zur Emissionsreduktion im Straßengüterverkehr in den Markt eintreten werden. Um die Aktualität der Ergebnisse zu bewahren, bietet es sich an, bei tatsächlichem Eintreten neuer Maßnahmen, das vorliegende AHP erneut durchzuführen. Um weitere Potentiale zu identifizieren, könnten die vorliegenden Digitalisierungsmaßnahmen außerdem um die Betrachtung umweltfreundlicherer Transportmittel wie die Schiene ergänzt werden. Auch sollte die Forschung um eine internationale Betrachtungsweise erweitert werden.

Bei Betrachtung der Sensitivitätsanalyse zeigt sich, dass die erstplatzierte Maßnahme der digitalen Spedition, relativ stabil gegenüber Gewichtsvariationen der Kriterien und Subkriterien ist. Andere Maßnahmen wie EDDI sind dagegen weniger stabil gegenüber Veränderungen der Kriterien und Subkriterien. Außerdem kann anhand des Konsistenzindex und Gruppenkonsens geschlossen werden, dass die paarweisen Vergleiche in sich konsistent sind, aber nicht immer

alle Befragten einer Meinung bezüglich der Wichtigkeit der einzelnen Kriterien, Subkriterien und Alternativen waren, auch wenn dies bei der Mehrheit der Vergleiche der Fall war. Mit der Anzahl der befragten Experten wurde ein valides Ergebnis erzeugt, jedoch kann die Expertenanzahl ebenfalls als Limitation angesehen werden. Eine erneute Durchführung mit einer erhöhten Expertenanzahl ist zu empfehlen, um die Ergebnisse dieser Arbeit zu bestätigen. Die zahlenmäßige Erweiterung hätte jedoch auch, bedingt durch die verwendete Methodik, zu einem anderen Ergebnis führen können. Eine weitere Limitation in der Befragung der Experten ergibt sich aus dem verwendeten AHP-Tool. Dieses ist zwar für das vorliegende multi-kriterielle Forschungsproblem geeignet, erwies sich aber in der Befragung der Experten als herausfordernd, da das Online-Tool nach Expertenangaben als unübersichtlich und nicht intuitiv beschrieben worden ist.

Als letzte Limitation kann noch die Bildung des Clusters der digitalen Spedition (Online-Frachtbörsen, Online-Frachtplattformen und Carrypicker) angesehen werden. Zwar weisen die drei Maßnahmen eine sehr ähnliche Funktionalität und Wirkweise auf, wodurch die Bildung des Clusters gerechtfertigt wurde, jedoch besitzen die drei Maßnahmen jeweils andere Spezifikationen. So bieten bspw. Online-Frachtplattformen im Gegensatz zu Carrypicker eine Routenplanung für ihre Kunden an. Die drei Maßnahmen des Clusters hätten somit bei einzelner Betrachtung teilweise abweichende Bewertungen erhalten.

Literaturverzeichnis

- Aberle, G. (2009): *Transportwissenschaft: Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen, Transportwirtschaft*. München: De Gruyter.
- ADAC, Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (2021): So funktionieren Reifendruck-Kontrollsysteme. Online im Internet unter: <https://www.adac.de/rund-ums-fahrzeug/ausstattung-technik-zubehoer/reifen/sicherheit/reifendruck-kontrollsystem/> (Abfrage: 18.12.2021; MEZ [09:27]).
- ADAC, Allgemeiner Deutscher Automobil-Club (2019): Standpunkt-Lkw Sicherheit. Online im Internet unter: https://www.adac.de/-/media/pdf/vek/fachinformationen/verkehrssicherheit/lkw_sicherheit-adac-sp.pdf (Abfrage: 27.11.2021; [MEZ] 13:45).
- Aguarón, J., Teresa Escobar, M., Moreno-Jiménez, J., Turón, A. (2019): AHP-Group Decision Making Based on Consistency. In: *Mathematics*, 7 (3), 242. S. 1-15. <https://doi.org/10.3390/math7030242>
- Aires, R.F. de F., Ferreira, L. (2018): The rank reversal problem in multi-criteria decision making: A literature review. In: *Pesquisa Operacional*, 38 (2), S. 331–362. <https://doi.org/10.1590/0101-7438.2018.038.02.0331>
- Al-Hussein, W.A., Kiah, M.L.M., Por, L.Y., Zaidan, B.B. (2021): Investigating the Effect of Social and Cultural Factors on Drivers in Malaysia: A Naturalistic Driving Study. In: *International Journal of Environmental Research and Public Health*, 18 (22), 11740, S. 1-18. <https://doi.org/10.3390/ijerph182211740>
- Al-Oqla, F.M., Omar, A.A. (2012): A decision-making model for selecting the GSM mobile phone antenna in the design phase to increase overall performance. In: *Progress in Electromagnetics Research C*, 25, S. 249–269. <https://doi.org/10.2528/PIERC11102702>
- Apte, U.M., Davis, M.M. (2019): Sharing Economy Services: Business Model Generation. In: *California Management Review*, 61 (2), S. 104–131. <https://doi.org/10.1177/0008125619826025>
- Auto-Medienportal (2016). Conti-Connect checkt den Reifenzustand. Online im Internet unter: <https://www.auto-medienportal.net/artikel/detail/37320> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 17:33).
- BAG, Bundesamt für Güterverkehr (2020): Struktur der Unternehmen des gewerblichen Güterkraftverkehrs und des Werkverkehrs 2020. Online im Internet unter: https://www.bag.bund.de/SharedDocs/Downloads/DE/Statistik/Unternehmen/Ustat/Ustat_2020.html (Abfrage: 27.11.2021; [MEZ] 12:45).

- Bahrami, K. (2003): Horizontale Kooperationen in der Transportlogistik kurzlebiger Konsumgüter, in: Bahrami, K. (Ed.), *Horizontale Transportlogistik-Kooperationen: Synergiepotenzial für Hersteller kurzlebiger Konsumgüter*, Integrierte Logistik und Unternehmensführung. Wiesbaden: Deutscher Universitätsverlag, S. 11–115. https://doi.org/10.1007/978-3-322-81595-8_2
- Barrett, M., Davidson, E., Prabhu, J., Vargo, S.L. (2015): Service Innovation in the Digital Age: Key Contributions and Future Directions. In: *MIS Quarterly*, 39 (1), S. 135–154. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2015/39:1.03>
- Barzilai, J., Golany, B. (1994): Ahp Rank Reversal, Normalization And Aggregation Rules. In: *INFOR: Information Systems and Operational Research*, 32 (2), S. 57–64. <https://doi.org/10.1080/03155986.1994.11732238>
- Bayazit, O., (2005). Use of AHP in decision-making for flexible manufacturing systems. *Journal of Manufacturing Technology Management*, 16 (7), S. 808–819. <https://doi.org/10.1108/17410380510626204>
- Bäumler, I., Kotzab, H. (2020): Scenario-based development of intelligent transportation systems for road freight transport in Germany. In: *Urban Freight Transportation Systems*. Elsevier, S. 183–202. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-817362-6.00010-0>
- Bennühr, S. (2018): Entspannter fahren mit eHorizon. Online im Internet unter: <https://www.dvz.de/rubriken/test-technik/detail/news/entspannter-fahren-mit-ehorizon-truck-insider-folge-46.html> (Abfrage: 10.12.2021; [MEZ] 08:22).
- Bharadwaj, A., El Sawy, O.A., Pavlou, P.A., Venkatraman, N. (2013): Digital Business Strategy: Toward a Next Generation of Insights. In: *MIS Quarterly*, 37 (2), S. 471–482. <https://doi.org/10.25300/MISQ/2013/37:2.3>
- Bibeka, A., Songchitruksa, P., Zhang, Y. (2021): Assessing environmental impacts of ad-hoc truck platooning on multilane freeways. In: *Journal of Intelligent Transportation Systems*, 25 (3), S. 281–292. <https://doi.org/10.1080/15472450.2019.1608441>
- Bitkom e.V. (2020): Digitalisierung kann fast die Hälfte zu den deutschen Klimazielen beitragen. Online im Internet unter: <https://www.bitkom.org/Presse/Presseinformation/Digitalisierung-kann-fast-die-Haelfte-zu-den-deutschen-Klimazielen-beitragen> (Abfrage: 27.11.2021; [MEZ] 19:49).
- Blazejczak, J., Edler, D. (2004): Nachhaltigkeitskriterien aus ökologischer, ökonomischer und sozialer Perspektive – Ein interdisziplinärer Ansatz. In: *Vierteljahrshefte zur Wirtschaftsforschung*, 73 (1), S. 10–30. <https://doi.org/10.3790/vjh.73.1.10>

- BMU, Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit (2009): Glossar zu den Messanleitungen für die Überwachung radioaktiver Stoffe in der Umwelt und externer Strahlung. Online im Internet unter: https://www.bmu.de/fileadmin/Daten_BMU/Download_PDF/Strahlenschutz/strlsch_messungen_glossar.pdf (Abfrage: 30.11.2021; [MEZ] 12:47).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021a): Gleitende Mittelfristprognose für den Güter- und Personenverkehr - Mittelfristprognose Winter 2020/21. München / Köln.
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021b): Carrypicker: Yield Management in der Speditionsbranche. Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/carrypicker.html> (Abfrage: 14.12.2021; [MEZ] 09:22).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021c): Nachhaltigerer LKW-Verkehr durch künstliche Intelligenz für variable Betriebsdaten – Feature vectors for Trucks (FvFT). Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/fvft.html> (Abfrage: 15.12.2021; [MEZ] 08:30).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021d): Elektronische Deichsel – Digitale Innovation – EDDI. Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/AVF-projekte/eddi.html> (Abfrage: 10.12.2021; [MEZ] 17:12).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021e): Fragen und Antworten zum Abbiegeassistent. Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/StV/Abbiegeassistent/fragen-antworten-zum-abbiegeassistent.html> (Abfrage: 5.12.2021; [MEZ] 13:38).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2021f): KI-gestützte Plattform für datenbasierten Staffilverkehr - STAFFEL. Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/staffel.html> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 09:47).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020a). Fahrermangel im deutschen Straßengüterverkehr - Strukturelle Treiber und verkehrspolitischer Handlungsbedarf. Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/G/fahrermangel-deutscher-strassengueterverkehr.html> (Abfrage: 26.11.2021; [MEZ] 14:25).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2020b): Künstliche Intelligenz im Transport zur Emissionsreduktion - KITE. Online im Internet unter:

-
- <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/kite.html> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 09:13).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2019): KI-gestützte Kurzzeitprognosen für die Verbesserung von Fahrzeugeinsatz- und Auslastungsplanungen im deutschen Straßengüterverkehr - KIVAS. Online im Internet unter: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/DG/mfund-projekte/kivas.html> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 09:29).
- BMVI, Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (2017): Aktionsplan Güterverkehr und Logistik - nachhaltig und effizient in die Zukunft. Online im Internet unter <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Publikationen/G/aktionsplan-gueterverkehr-und-logistik.html> (Abfrage: 13.02.2022; [MEZ] 10:03).
- BMWi, Bundesministerium für Wirtschaft und Energie (2021): Deutsche Klimaschutzpolitik. Online im Internet unter: <https://www.bmwi.de/Redaktion/DE/Artikel/Industrie/klimaschutz-deutsche-klimaschutzpolitik.html> (Abfrage: 15.11.2021; [MEZ] 10:12).
- Borgström, B., Hertz, S., Jensen, L.-M. (2021): Strategic development of third-party logistics providers (TPLs): “Going under the floor” or “raising the roof”? In: *Industrial Marketing Management*, 97, S. 183–192. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2021.07.008>
- Bousonville, T. (2017): *Logistik 4.0: die digitale Transformation der Wertschöpfungskette*. Wiesbaden: Springer Gabler. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-13013-8>
- BPB, Bundeszentrale für politische Bildung (2020): Ab 2021: CO2 Preis auf Heiz- und Kraftstoffe. Online im Internet unter: <https://www.bpb.de/politik/hintergrund-aktuell/324668/co2-preis-auf-heiz-und-kraftstoffe> (Abfrage: 27.11.2021; [MEZ] 18:59).
- BPB, Bundeszentrale für politische Bildung (2007): Glossar. Online im Internet unter: <https://www.bpb.de/lernen/grafstat/135056/glossar?p=0> (Abfrage: 23.11.2021; [MEZ] 12:55).
- Brandenburg, B. (2018): Premiere auf der IAA Nutzfahrzeuge: Sensorsystem von Continental analysiert den Verkehrsfluss. Online im Internet unter: <https://transport-online.de/news/premiere-auf-der-iaa-nutzfahrzeuge-sensorsystem-von-continental-analysiert-den-verkehrsfluss-14175.html> (Abfrage: 5.1.2022, [MEZ] 08:10).
- Bratzel, S. (2008): *Mobilität und Verkehr*. Online im Internet unter: <https://m.bpb.de/izpb/9005/mobilitaet-und-verkehr> (Abfrage: 17.11.2021; [MEZ] 12:42).

-
- Brennen, J.S., Kreiss, D. (2016): Digitalization, in: Jensen, K.B., Rothenbuhler, E.W., Pooley, J.D., Craig, R.T. (Eds.), *The International Encyclopedia of Communication Theory and Philosophy*. Wiley. <https://doi.org/10.1002/9781118766804>
- BRV, Bundesverband Reifenhandel und Vulkaniseur-Handwerk e.V. (2020): Indirekte Systeme. Online im Internet unter: <https://www.bundesverband-reifenhandel.de/themen/rdks/technik/indirekte-systeme/> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 17:29).
- Bundesregierung (2011): Kyoto-Protokoll - globale Klimaziele und die Klimapolitik der Bundesregierung. Online im Internet unter: <https://www.bundesregierung.de/statisch/klimakonferenz/Webs/Breg/un-klimakonferenz/DE/Kyoto-Protokoll/kyoto-protokoll.html> (Abfrage: 30.11.2021, [MEZ] 12:22).
- Bussgeldkatalog.org. (2021) Reifendruckkontrollsystem beim Lkw – Was ist Pflicht?. Online im Internet unter <https://www.bussgeldkatalog.org/reifendruckkontrollsystem-lkw-pflicht/> (Abruf: 22.02.2022; [MEZ] 19:37).
- BVL, Bundesvereinigung Logistik (2017). Fachkräftemangel in der Logistik - BVL Umfrage von 2017. Online im Internet unter: <https://www.bvl.de/dossiers/arbeitgeber-logistik/umfrage-fachkraeftemangel-2017> (Abfrage: 26.11.2021; [MEZ] 17:45).
- Cargoboard (2021): Cargoboard - your digital forwarding agent for simple and efficient transport. Online im Internet unter: <https://cargoboard.com/en/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 14:01).
- Carrypicker (2021a): Nachhaltigkeit ist unser Antrieb. Online im Internet unter: <https://www.carrypicker.com/nachhaltigkeit> (Abfrage: 14.12.2021; [MEZ] 19:27).
- Carrypicker (2021b): Carrypicker liefert mit seinem KI-Ansatz innovative Lösungsansätze für die Transport- und Logistik-Branche. Online im Internet unter: <https://www.carrypicker.com/presse-pressemitteilungen> (Abfrage: 14.12.2021; [MEZ] 19:33).
- Carrypicker (2021c): Home. Online im Internet unter: <https://www.carrypicker.com> (Abfrage: 14.12.2021; [MEZ] 19:30).
- Chang, C.-W., Wu, C.-R., Lin, C.-T., Chen, H.-C., (2007). An application of AHP and sensitivity analysis for selecting the best slicing machine. *Computers & Industrial Engineering*, 52 (2), S. 296–307. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2006.11.006>
- Chen, Y., Yu, J., Khan, S. (2013): The spatial framework for weight sensitivity analysis in AHP-based multi-criteria decision making. In: *Environmental Modelling & Software*, 48, S. 129–140. <https://doi.org/10.1016/j.envsoft.2013.06.010>

- Cheng, E.W.L., Li, H., Ho, D.C.K., (2002). Analytic hierarchy process (AHP): A defective tool when used improperly. In: *Measuring Business Excellence*, 6 (4), S. 33–37. <https://doi.org/10.1108/13683040210451697>
- Cichosz, M., Wallenburg, C.M., Knemeyer, A.M. (2020): Digital transformation at logistics service providers: barriers, success factors and leading practices. In: *The International Journal of Logistics Management*, 31 (2), S. 209–238. <https://doi.org/10.1108/IJLM-08-2019-0229>
- Continental (2020): Continental Mobility Services. Online im Internet unter: <https://www.continental-mobility-services.com/en-en/products/ehorizon/> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 08:18).
- Continental (2018a): Digitales Reifenmanagement. Wie es funktioniert, was Anwender berichten und Fachleute empfehlen., Whitepaper, S. 1–14. Online im Internet unter: <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/2824514/b1d95b6424af973609fca053a2af14f9/digitales-reifenmanagement-whitepaper-data.pdf> (Abfrage: 23.01.2022; [MEZ] 10:12).
- Continental (2018b): Intelligente Reifenmanagement Lösungen, S. 1–4. Online im Internet unter: <https://blobs.continental-tires.com/www8/servlet/blob/2609466/be1c02f4c0eb5ac48fcd5dbe7d2e26e3/intelligentes-reifenmanagement-broschuere-download-data.pdf> (Abfrage: 23.01.2022; [MEZ] 9:15).
- Coreynen, W., Matthyssens, P., Van Bockhaven, W. (2017): Boosting servitization through digitization: Pathways and dynamic resource configurations for manufacturers. In: *Industrial Marketing Management*, 60, S. 42–53. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2016.04.012>
- Corsten, H., Roth, S. (2012): Nachhaltigkeit als integriertes Konzept. In: Corsten, H., Roth, S. (Hrsg.), *Nachhaltigkeit*. Wiesbaden: Gabler Verlag, S. 1–13. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-3746-9_1
- Dabidian, P., Langkau, S. (2013): Straßengüterverkehr. In: Clausen, U., Geiger, C. (Hrsg.): *Verkehrs- und Transportlogistik*. 2. Auflage. Springer Vieweg: Dortmund, S. 137-159.
- D’Adderio, L. (2001): Crafting the virtual prototype: how firms integrate knowledge and capabilities across organisational boundaries. In: *Research Policy*, 30 (9), S. 1409–1424. [https://doi.org/10.1016/S0048-7333\(01\)00159-7](https://doi.org/10.1016/S0048-7333(01)00159-7)
- de Kat, M., Mederer, M., Piepenburg, B. (2021): Unternehmensindividuelle Preise für den Sendungstransport durch LKW. In: Proff, H. (Hrsg.): *Making Connected Mobility Work*.

- Technische und betriebswirtschaftliche Aspekte. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 519–530. https://doi.org/10.1007/978-3-658-32266-3_32
- Denyer, D., Tranfield, D. (2009): Producing a systematic review. In Buchanan, D., Bryman, A. (Hrsg.): *The Sage Handbook of Organizational Research Methods*. Thousand Oaks: Sage Publications, S. 671–689.
- DIHK, Deutscher Industrie- und Handelskammertag, IHK, Industrie- und Handelskammer (2021): Digitalisierung mit Herausforderungen - Die IHK-Umfrage zur Digitalisierung. Online im Internet unter: <https://www.dihk.de/resource/blob/35410/e090fd44f3ced7d374ac3e17ae2599/ihk-digitalisierungsumfrage-2021-data.pdf> (Abfrage: 10.01.22; [MEZ] 10:37).
- Dong, Q., Cooper, O., (2016). An orders-of-magnitude AHP supply chain risk assessment framework. *International Journal of Production Economics* 182, S. 144–156. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2016.08.021>
- Emmett (n.d.): Nachhaltigerer LKW-Verkehr durch künstliche Intelligenz für variable Betriebsdaten. Online im Internet unter: <https://emmett.io/project/nachhaltigerer-lkw-verkehr-durch-kuenstliche-intelligenz-fuer-variable-betriebsdaten> (Abfrage: 15.12.2021; [MEZ] 08:27).
- En2 (2021): Verbraucherpreise - en2x. Online im Internet unter: <https://archiv.en2x.de/verbraucherpreise/> (Abfrage: 27.11.2021; [MEZ] 17:45).
- Eschmeier, J. (2017): Teilst du schon oder besitzt du noch?. Online im Internet unter: <https://dhl-freight-connections.com/de/trends/sharing-a-lesson-for/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ]10:55).
- Eurostat (2021): Emission von Treibhausgasen, Basisjahr 1990. Online im Internet unter: https://ec.europa.eu/eurostat/de/web/products-datasets/-/T2020_30 (Abfrage: 30.11.2021; [MEZ] 17:33).
- Fink, A. (2014): *Conducting research literature reviews: from the internet to paper*. 4. Auflage. Thousand Oaks: SAGE.
- FIS, Forschungsinformationssystem (2021): Luft- und Klimabelastung durch Güterverkehr. In: Luft- und Klimabelastung durch Güterverkehr. Online im Internet unter: <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/39787/> (Abfrage: 17.11.2021; [MEZ] 16:55).
- Fleetboard (2021a): Fleetboard: Dienste. Online im Internet unter: <https://www.fleetboard.de/dienste/#/> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 17:33).

-
- Fleetboard (2021b): Fleetboard: Einsatzanalyse & Reports. Online im Internet unter: <https://www.fleetboard.de/dienste/einsatzanalyse-reports/#/> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 17:29).
- Fraunhofer IOSB, Fraunhofer-Institut für Optronik, Systemtechnik und Bildauswertung IOSB (2019): Weniger Rangierunfälle durch transparentes Cockpit. Online im Internet unter: <https://www.iosb.fraunhofer.de/de/presse/presseinformationen/2019/transparentes-cockpit.html> (Abfrage: 6.1.2022; [MEZ] 11:14).
- Fraunhofer IIS, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen (2021): Bessere Auslastung im Straßengüterverkehr mit KI-gestützten Kurzzeitprognosen. Online im Internet unter: <https://www.scs.fraunhofer.de/de/referenzen/kivas.html> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 09:44).
- Fraunhofer IIS, Fraunhofer-Institut für Integrierte Schaltungen, Universität Regensburg (2020): KIVAS - KI-gestützte Kurzzeitprognosen für die Verbesserung von Fahrzeugeinsatz- und Auslastungsplanungen im deutschen Straßengüterverkehr (Schlussbericht).
- Fronde, M. (2021): Digitalisierung und Nachhaltigkeit im Haushalts-, Gebäude- und Verkehrssektor: Ein kurzer Überblick. In: List Forum für Wirtschafts- und Finanzpolitik, 46 (4), S. 405–422. <https://doi.org/10.1007/s41025-021-00222-7>
- Fuchs, A., (2020). Die Elektrifizierung des Schwerlastverkehrs muss aktiv vorangetrieben werden. In: ATZ Heavy Duty, 13 (3), S. 20–23. <https://doi.org/10.1007/s35746-020-0097-4>
- Futurefuels (2021): Wird der Lkw mit Wasserstoff klimaneutral? Online im Internet unter: <https://futurefuels.blog/im-gespraech/wird-der-lkw-mit-wasserstoff-klimaneutral/> (Abfrage: 03.2.2022; [MEZ] 11:01).
- Gawlik, R., (2008). Preliminary Criteria Reduction for the Application of Analytic Hierarchy Process Method. Evolution and Revolution in the Global Economy: Enhancing Innovation and Competitiveness Worldwide 366–374. <https://doi.org/10.13140/RG.2.1.4958.8328>
- Gleißner, H., Femerling, J.C. (2008): Transportsysteme und Logistikdienstleistungen. In: Gleißner, H., Femerling, J. C. (Hrsg): Logistik: Grundlagen — Übungen — Fallbeispiele. Wiesbaden: Gabler, S. 39–86. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-9547-6_4
- Göckeler, K., Hacker, F., Mottschall, M., Blanck, R., Görz, W., Kasten, P., Bernecker, T., Heintelmann, J., (2020). Status quo und Perspektiven alternativer Antriebstechnologien für den schweren Straßengüterverkehr (Erster Teilbericht). Berlin: Öko-Institut e.V. und Hochschule Heilbronn.

-
- Goepel, K. (2018): Implementation of an Online Software Tool for the Analytic Hierarchy Process (AHP-OS). *International Journal of the Analytical Hierarchy Process*, 10 (3), S. 469-487. <https://doi.org/10.13033/IJAHP.V10I3.590>
- Goepel, K., (2017a). AHP Group Consensus Indicator – how to understand and interpret? Online im Internet unter <https://bpmsg.com/ahp-group-consensus-indicator-how-to-understand/> (Abfrage: 15.02.22; [MEZ] 13:24).
- Goepel, K., (2017b). Sensitivity Analysis in AHP. Online im Internet unter: <https://bpmsg.com/sensitivity-analysis-in-ahp/> (Abfrage: 08.02.22; [MEZ] 17:24).
- Goepel, K., (2014a). AHP Online System. Online im Internet unter <https://bpmsg.com/ahp-online-system/> (Abfrage: 20.01.2022; [MEZ] 12:17).
- Goepel, K., (2014b). AHP and the Magical Number Seven Plus or Minus Two. Online im Internet unter <https://bpmsg.com/ahp-and-the-magical-number-seven-plus-or-minus-two/> (Abfrage: 19.02.2022; [MEZ] 09:33).
- Goodwin, P., Wright, G., (2014). *Decision analysis for management judgment*. 5. Auflage. Chichester: Wiley.
- Groß, C., Pfennig, R. (2019): *Digitalisierung in Industrie, Handel und Logistik: Leitfaden von der Prozessanalyse bis zur Einsatzoptimierung*. 2. Auflage. Wiesbaden [Heidelberg]: Springer Gabler.
- Grün, O., Jammernegg, W. (2019): *Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik*. 4. Auflage. Hallbergmoos: Pearson.
- Grygier, P., Garrott, W.R., Mazzae, E.N., MacIsaac Jr., J.D., Hoover, R.L., Elsasser, D., Ranne, T.A., (2001). *An Evaluation of Existing Tire Pressure Monitoring Systems (Technischer Bericht)*. National Highway Traffic Safety Administration und Transportation Research Center Inc.
- Guardiola, C., Vigild, C., De Smet, F., Schusteritz, K. (2021): From OBD to connected diagnostics: a game changer at fleet, vehicle and component level. In: *IFAC-PapersOnLine*, 54 (10), S. 558–563. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2021.10.221>
- Gudehus, T. (2010): *Logistik: Grundlagen - Strategien - Anwendungen*. 4. Auflage. Berlin Heidelberg: Springer.
- GüKG, Güterkraftverkehrsgesetz (o. J.): *GüKG - nichtamtliches Inhaltsverzeichnis*. Online im Internet unter: https://www.gesetze-im-internet.de/g_kg_1998/ (Abfrage: 17.11.2021; [MEZ] 13:44).

-
- Guvenc, L. (2007): Tire Pressure Monitoring. In: IEEE Control Systems Magazine, 27 (6), S. 22–25. <https://doi.org/10.1109/MCS.2007.909477>
- Hagberg, J., Sundstrom, M., Egels-Zandén, N. (2016): The digitalization of retailing: an exploratory framework. In: International Journal of Retail & Distribution Management, 44 (7), S. 694–712. <https://doi.org/10.1108/IJRDM-09-2015-0140>
- Han, S. (2014): A practical approaches to decrease the consistency index in AHP. In: 2014 Joint 7th International Conference on Soft Computing and Intelligent Systems (SCIS) and 15th International Symposium on Advanced Intelligent Systems (ISIS). INSPOEC Accession Number 149364382, S. 867–872. <https://doi.org/10.1109/SCIS-ISIS.2014.7044748>
- Hassa, E. (2020): Neues Forschungsprojekt: Weniger Leerfahrten dank Künstlicher Intelligenz? Online im Internet unter: <https://www.verkehrsrundschau.de/nachrichten/transport-logistik/neues-forschungsprojekt-weniger-leerfahrten-dank-kuenstlicher-intelligenz-2972070> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 09:53).
- Herold, D.M., Ćwiklicki, M., Pilch, K., Mikl, J. (2021): The emergence and adoption of digitalization in the logistics and supply chain industry: an institutional perspective. In: Journal of Enterprise Information Management, 34 (6), S. 1917–1938. <https://doi.org/10.1108/JEIM-09-2020-0382>
- Hilty, L., Bieser, J. (2017): Opportunities and Risks of Digitalization for Climate Protection in Switzerland. <https://doi.org/10.5167/UZH-141128>
- Hippmann, S., Klingner, R., Leis, M. (2018): Digitalisierung - Anwendungsfelder und Forschungsziele. In: Neugebauer, R. (Hrsg.): Digitalisierung: Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55890-4>
- Hofmann, E., Osterwalder, F. (2017): Third-Party Logistics Providers in the Digital Age: Towards a New Competitive Arena? In: Logistics, 1 (2), S. 1–28. <https://doi.org/10.3390/logistics1020009>
- Ibisch, R. (2021): Durchlaufzeiten bei der LKW-Abwicklung reduzieren. Online im Internet unter: <https://myleadsc.de/de/news/werksnavigation-reduziert-durchlaufzeiten> (Abfrage: 6.1.2022; [MEZ] 20:51).
- ILOna, Arbeitskreis Innovative Logistik für Nachhaltige Lebensstile (2018): Praxisleitfaden Logistik für Nachhaltige Lebensstile, essentials. Wiesbaden: Springer Fachmedien. <https://doi.org/10.1007/978-3-658-22771-5>

-
- Impargo (2021): Der LKW Routenplaner mit Maut. Online im Internet unter: <https://impargo.de/online-lkw-routenplaner> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 20:59).
- InnoVisions (2021): Die große Leere. Online im Internet unter: <https://www.fraunhofer-innovisions.de/kuenstliche-intelligenz/die-grosse-leere/> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 08:13).
- Karle, A. (2021): Elektromobilität: Grundlagen und Praxis. 5. Auflage. München: Hanser.
- KBA, Kraftfahrt-Bundesamt (2021): Inlandsverkehr 2020. Online im Internet unter: https://www.kba.de/DE/Statistik/Kraftverkehr/deutscherLastkraftfahrzeuge/vd_Inlandsverkehr/vd_inlandsverkehr_node.html (Abfrage: 28.11.2021; [MEZ] 13:22).
- Kersten, W., von See, B., Lodemann, S., Grotemeier, C. (2020): Trends und Strategien in Logistik und Supply Chain Management. Online im Internet unter <https://www.bvl-trends.de/wp-content/uploads/2020/07/BVLD20-TUS-Auswertung-1.pdf> (Abfrage: 23.11.2021; [MEZ] 14:34)
- Koether, R. (2018): Distributionslogistik: effiziente Absicherung der Lieferfähigkeit. 3. Auflage. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Köllner, C. (2021): Nachhaltiger Güterverkehr gelingt nur gemeinsam mit KMU. Online im Internet unter: <https://www.springerprofessional.de/schwere-lkw/unternehmen---institutionen/nachhaltiger-gueterverkehr-gelingt-nur-gemeinsam-mit-kmu/19023234> (Abfrage: 1.12.2021; [MEZ] 13:24).
- Krejčí, J., Stoklasa, J. (2018): Aggregation in the analytic hierarchy process: Why weighted geometric mean should be used instead of weighted arithmetic mean. In: *Expert Systems with Applications*, 114, S. 97–106. <https://doi.org/10.1016/j.eswa.2018.06.060>
- Kühl, S., Strodtz, P., Taffertshofer, A. (2009): *Handbuch Methoden der Organisationsforschung: Quantitative und qualitative Methoden*. Verlag für Sozialwissenschaften: Wiesbaden.
- Leal, J. E. (2020): AHP-express: A simplified version of the analytical hierarchy process method. In: *MethodsX*, 7 (100748), S. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.mex.2019.11.021>
- Lehmacher, W. (2020): Digitale Plattformen: Die Zukunft der Logistik. Online im Internet unter: <https://trans.info/de/digitale-plattformen-die-zukunft-der-logistik-189584> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 20:44).
- Léonardi, J., Baumgartner, M. (2004): CO2 efficiency in road freight transportation: Status quo, measures and potential. In: *Transport Research Part D*, 9, S. 451–464. <https://doi.org/10.1016/j.trd.2004.08.004>

-
- Li, X., Ng, X.Y.C., Zhou, Y., Yuen, K.F. (2021): A ranking of critical competencies for shore-based maritime logistics executives in the digital era. In: *Technology Analysis & Strategic Management*, S. 1–16. <https://doi.org/10.1080/09537325.2021.1988920>
- Liachovičius, E., Skrickij, V. (2020): The Challenges and Opportunities for Road Freight Transport. In: Gopalakrishnan, K., Prentkovskis, O., Jackiva, I., Junevičius, R. (Hrsg.), *TRANSBALTICA XI: Transportation Science and Technology, Lecture Notes in Intelligent Transportation and Infrastructure*. Cham: Springer International Publishing, S. 455–465. https://doi.org/10.1007/978-3-030-38666-5_48
- Librantz, A.F.H., dos Santos, F.C.R., Dias, C.G., da Cunha, A.C.A., Costa, I., de Mesquita Spinola, M. (2016): AHP Modelling and Sensitivity Analysis for Evaluating the Criticality of Software Programs, in: Nääs, I., Vendrametto, O., Mendes Reis, J., Gonçalves, R.F., Silva, M.T., von Cieminski, G., Kiritsis, D. (Eds.), *Advances in Production Management Systems. Initiatives for a Sustainable World, IFIP Advances in Information and Communication Technology*. Cham: Springer International Publishing, S. 248–255. https://doi.org/10.1007/978-3-319-51133-7_30
- LKW Walter Internationale Transportorganisation AG (2018). Digitale Lösungen. Online im Internet unter: <https://www.lkw-walter.com/de/de/produkte-und-services/digitale-loesungen> (Abfrage: 17.12.2021; [MEZ] 16:07).
- Loske, D., Klumpp, M. (2020): Verifying the effects of digitalisation in retail logistics: an efficiency-centred approach. In: *International Journal of Logistics Research and Applications*, S. 1–25. <https://doi.org/10.1080/13675567.2020.1815681>
- Lukesch, M. (2019): *Sharing Economy in der Logistik: Ein Theoriebasiertes Konzept Für Online-Mitfahrdienste*. Wiesbaden: Springer Gabler.
- Menyhárt, J. (2013): On Board Diagnostic (OBD) Systems. Online im Internet unter https://www.researchgate.net/publication/273448703_ON_BOARD_DIAGNOSTIC_OBD_SYSTEMS (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 20:34).
- Mercedes-Benz (2021): Mit Fleetboard ist Ihr Fuhrpark effizient – Mercedes-Benz Trucks. Online im Internet unter: https://www.mercedes-benz-trucks.com/content/mbo/markets/de_DE/owner/fleetboard.html (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 09:21).
- Metasec (2021): LKW / PKW Outdoor Säulen für den Self Check-In / Check-Out. Online im Internet unter: <https://www.metasec.de/produkt/lkw-pkw-outdoor-saulen-fur-den-self-check-in-check-out/> (Abfrage: 17.12.2021; [MEZ] 16:21).

-
- Mohn, H. (2021): Einfach Technik: Die MirrorCam von Mercedes-Benz. Online im Internet unter: <https://www.daimler.com/magazin/technologie-innovation/einfach-technik-mirrorcam.html> (Abfrage: 7.12.2021; [MEZ] 18:21).
- Montero, J., Finger, M. (2021): Digitalization, efficiency and convergence. In: Montero, J., Finger, M. (Hrsg.): A Modern Guide to the Digitalization of Infrastructure, Elgar Modern Guides Series. Northampton: Edward Elgar Publishing, S. 289–308.
- Mu, E., Pereyra-Rojas, M. (2017): Practical Decision Making. An Introduction to the Analytical Hierarchy Process (AHP) Using Super Decisions v2. Springer: Pittsburgh. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-33861-3>
- Muchna, C., Brandenburg, H., Fottner, J., Gutermuth, J. (2018): Grundlagen der Logistik: Begriffe, Strukturen und Prozesse. Springer Gabler, Wiesbaden.
- Mühlbacher, A.C., Kaczynski, A. (2013): Der Analytic Hierarchy Process (AHP): Eine Methode zur Entscheidungsunterstützung im Gesundheitswesen. In: PharmacoEconomics German Research Articles, 11, S. 119–132. <https://doi.org/10.1007/s40275-014-0011-8>
- Nallinger, C. (2013): Fleetboard: Nicht nur Wirtschaftlichkeit zählt. Online im Internet unter: <https://www.eurotransport.de/artikel/fleetboard-nicht-nur-wirtschaftlichkeit-zaehlt-6485622.html> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 09:17).
- Nationale Plattform Zukunft der Mobilität (2019): Wege zur Erreichung der Klimaziele 2030 im Verkehrssektor - Arbeitsgruppe 1 Klimaschutz und Verkehr (Zwischenbericht Nr. 03). BMVI.
- Neugebauer, R. (2018): Digitale Information - der “genetische COde” moderner Technik. In Neugebauer, R. (Hrsg.): Digitalisierung: Schlüsseltechnologien für Wirtschaft und Gesellschaft. Berlin, Heidelberg: Springer Vieweg. <https://doi.org/10.1007/978-3-662-55890-4>
- Noche, B., Hoene, A., Hollmann, R., Kassem, A. (2020): Lkw-Parkraumanalyse Mittlerer Niederrhein. Online im Internet unter: <https://www.ihk-krefeld.de/de/media/pdf/standortpolitik/standortpolitik/lkw-parkraumanalyse.pdf> (Abfrage: 10.2.2022; [MEZ] 10:56).
- Pernestål, A., Engholm, A., Bemler, M., Gidofalvi, G. (2020): How Will Digitalization Change Road Freight Transport? Scenarios Tested in Sweden. In: Sustainability, 13 (1), S. 1–18. <https://doi.org/10.3390/su13010304>
- Pfohl, H.-C. (2018): Logistiksysteme: betriebswirtschaftliche Grundlagen. Berlin: Springer Vieweg.

-
- Pfohl, H.-C. (1994): *Logistikmanagement: Funktionen und Instrumente*, Logistikmanagement. Berlin: Springer.
- Piepenburg, B., Mares, B., Mederer, M. (2021): Berechnung von Preissensitivitätskurven als Grundlage für das Revenue Management am Beispiel der Vermittlung von Transportaufträgen durch Speditionen. Online im Internet unter: <https://digitaleweltmagazin.de/fachbeitrag/berechnung-von-preissensitivitaetskurven-als-grundlage-fuer-das-revenue-management-am-beispiel-der-vermittlung-von-transportauftraegen-durch-speditionen/> (Abfrage: 14.12.2021; [MEZ] 17:10).
- Pionteck, J. (2021): Bausteine des Logistikmanagements. Supply Chain Management. E-Logistics. Logistikcontrolling. Green Logistics. Logistikinstrumente. 6. Auflage. Herne: NWB Verlag.
- Plötz, P., Gnann, T., Wietschel, M., Kluschke, P., Doll, C., Hacker, F., Blanck, R., Kühnel, S., Jöhrens, J., Helms, H., Lambrecht, U., Dünnebeil, F. (2018): Alternative Antriebe und Kraftstoffe im Straßengüterverkehr – Handlungsempfehlungen für Deutschland. Karlsruhe: Öko-Institut e.V., ifeu, Fraunhofer ISI.
- Prasad, S.V., Kousalya, P. (2017): Role of Consistency in Analytic Hierarchy Process – Consistency Improvement Methods. In: *Indian Journal of Science and Technology*, 10 (29), S. 1–5. <https://doi.org/10.17485/ijst/2017/v10i29/100784>
- Qian, J., Eglese, R. (2016): Fuel emissions optimization in vehicle routing problems with time-varying speeds. In: *European Journal of Operational Research*, 248 (3), S. 840–848. <https://doi.org/10.1016/j.ejor.2015.09.009>
- Reichel, J. (2019): Fleetboard übernimmt habbl und wird Teil von Mercedes-Benz Lkw. Online im Internet unter: <https://transport-online.de/news/fleetboard-uebernimmt-habbl-und-wird-teil-von-mercedes-benz-lkw-13596.html> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 10:59).
- Riedl R. (2006) Analytischer Hierarchieprozess vs. Nutzwertanalyse: Eine vergleichende Gegenüberstellung zweier multiattributiver Auswahlverfahren am Beispiel Application Service Providing. In: Fink K., Ploder C. (Hrsg.) *Wirtschaftsinformatik als Schlüssel zum Unternehmenserfolg*. DUV. https://doi.org/10.1007/978-3-8350-9122-1_6
- Ritter, T., Pedersen, C.L. (2020): Digitization capability and the digitalization of business models in business-to-business firms: Past, present, and future. In: *Industrial Marketing Management*, 86, S. 180–190. <https://doi.org/10.1016/j.indmarman.2019.11.019>
- Rodrigue, J.-P. (2020): The distribution network of Amazon and the footprint of freight digitalization. In: *Journal of Transport Geography*, 88, S. 1–13. <https://doi.org/10.1016/j.jtrangeo.2020.102825>

-
- Rodt, S., Georgi, B., Huckestein, B., Mönch, L., Herbener, R., Jahn, H., Koppe, K., Lindmaier, J. (2010): CO2-Emissionsminderung im Verkehr in Deutschland (Sachstandsbericht des Umweltbundesamtes No. 05/2010).
- Röhling, W., Burg, R., Bernecker, T., Boysen, J. (2016): Status quo des Güterverkehrssystems in Deutschland – eine Metastudie unter besonderer Betrachtung der Vernetzung des Verkehrs (Schlussbericht). Bundesministerium für Verkehr und Digitale Infrastruktur
- Rose, P., Wietschel, M., Gnann, T., (2020). Wie könnte ein Tankstellenaufbau für Brennstoffzellen-Lkw in Deutschland aussehen? (Working Paper Sustainability and Innovation No. S). Fraunhofer ISI.
- Ross, J. (2017): Don't Confuse Digital With Digitization. Online im Internet unter: <https://sloanreview.mit.edu/article/dont-confuse-digital-with-digitization/> (Abfrage: 13.11.2021; [MEZ] 11:32).
- Ross, J.W., Beath, C.M., Mocker, M. (2017): Creating Digital Offerings Customers Will Buy. Online im Internet unter: <https://sloanreview.mit.edu/article/dont-confuse-digital-with-digitization/> (Abfrage: 13.11.2021; [MEZ] 11:27).
- Rusch, B. (2019): Platooning fährt den Effizienz-erwartungen noch hinterher. Online im Internet unter: <https://www.mittelstandswiki.de/2019/06/transport-und-logistik-platooning-faehrt-den-effizienzerwartungen-noch-hinterher/> (Abfrage: 10.12.2021; [MEZ] 08:52).
- Saaty, T.L. (2008): Decision making with the analytic hierarchy process. In: International Journal of Services Science, 1 (1), S. 83-98. <https://doi.org/10.1504/IJSSCI.2008.017590>
- Saaty, T.L., (1990). How to make a decision: The analytic hierarchy process. In: European Journal of Operational Research 48 (1), S. 9–26. [https://doi.org/10.1016/0377-2217\(90\)90057-I](https://doi.org/10.1016/0377-2217(90)90057-I)
- Saloodo (2021a). Cargo Tracking. Online im Internet unter: <https://www.saloodo.com/de/cargo-tracking/> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 16:13).
- Saloodo (2021b): AGB - Nutzungsbedingungen für Transporteure - Saloodo! Online im Internet unter: <https://www.saloodo.com/de/terms-conditions/carrier-eu/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 16:11).
- Saloodo (2021c): Saloodo! Ihre digitale Frachtplattform. Online im Internet unter: <https://www.saloodo.com/de/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 16:17).
- Saoud, A., Bellabdaoui, A. (2021): Towards generic platform to support collaboration in freight transportation: taxonomic literature and design based on Zachman framework. In: Enterprise Information Systems, S. 1–33. <https://doi.org/10.1080/17517575.2021.1939894>

-
- Schlott, S., (2020). Entwicklungspfade zum CO₂-neutralen Güterverkehr. In: ATZ – Automobiltechnische Zeitung, 122 (4), S. 8–13. <https://doi.org/10.1007/s35148-020-0235-4>
- Schmidt, K., Babac, A., Pauer, F., Damm, K., von der Schulenburg, J.-M. (2016): Measuring patients' priorities using the Analytic Hierarchy Process in comparison with Best-Worst-Scaling and rating cards: methodological aspects and ranking tasks. In: Health Economics Review, 6 (50), S. 1-11. <https://doi.org/10.1186/s13561-016-0130-6>
- Schniederjans, D.G., Curado, C., Khalajhedayati, M. (2020): Supply chain digitisation trends: An integration of knowledge management. In: International Journal of Production Economics, 220 (107439), S. 1-11. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2019.07.012>
- Schramm, D., Koppers, M. (2011): Antriebsvielfalt der Zukunft - Zur Herausforderung der elektrischen und teilelektrischen Fahrzeugantriebe. In: UNIKATE, 89/2011 (2011:39), S. 8–19.
- Schrecke, C. (2020): Studie zum Straßengüterverkehr: Digitalisierung schreitet voran, Bewusstsein für Cybersecurity noch am Anfang. Online im Internet unter: <https://www.continental.com/de/presse/pressemitteilungen/2020-09-08-road-transport-study/> (Abfrage: 7.12.2021; [MEZ] 17:22).
- Schulte, C. (2017): Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain. 7. Auflage. München: Vahlen.
- Schulte, C. (2012): Logistik: Wege zur Optimierung der Supply Chain. München: Vahlen.
- Schumacher, O. (2019): Platooning in der Logistikbranche: Forscher sehen nach Tests große Potenziale im realen Betrieb. Online im Internet unter: https://images.hs-fresenius.de/www.hs-fresenius.de/uploads/Projektabschluss_Platooning_DE.pdf (Abfrage: 10.12.2021; [MEZ] 08:12).
- Schweyher, F. (2021): Emmett @ mFUND-Konferenz: Projekt abgeschlossen – was geht nach der Förderphase? Online im Internet unter: <https://emmett.io/article/mfund-projekte-nach-der-foerderphase> (Abfrage: 15.12.2021; [MEZ] 09:17).
- Sihn-Weber, A., Fischler, F. (2020): CSR und Klimawandel: Unternehmenspotenziale und Chancen einer nachhaltigen und klimaschonenden Wirtschaftstransformation. Berlin: Springer Gabler.
- Siu, K.W.M., Wong, Y.L. (2016): Learning opportunities and outcomes of design research in the digital age. In Wang, V.X. (Hrsg.): Handbook of Research on Learning Outcomes and Opportunities in the Digital Age: Advances in Educational Technologies and Instructional Design. S. 538–556. <https://doi.org/10.4018/978-1-4666-9577-1>

-
- Sonnleitner, B. (2019): KIVAS - Kurzzeitprognose zur Fahrzeugeinsatzplanung. Online im Internet unter: https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Anlage/DG/mFUND/mfund-kivas.pdf?__blob=publicationFile (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 08:15).
- Srai, J.S., Lorentz, H. (2019): Developing design principles for the digitalisation of purchasing and supply management. In: *Journal of Purchasing and Supply Management*, 25 (1), S. 78–98. <https://doi.org/10.1016/j.pursup.2018.07.001>
- SRU, Sachverständigenrat für Umweltfragen (2017): Umsteuern erforderlich: Klimaschutz im Verkehrssektor (Sondergutachten). Online im Internet unter https://www.umwelt-rat.de/SharedDocs/Downloads/DE/02_Sondergutachten/2016_2020/2017_11_SG_Klimaschutz_im_Verkehrssektor.pdf;jsessionid=EF1A8DCFB50EDDDCFDA911F038AD2FB9.intranet222?__blob=publication-File&v=2 (Abfrage: 14.01.22; [MEZ] 11:08).
- Stamerjohanns, C. (2021): Schluss mit Papier und Stift: Digitaler Lieferschein bringt Warenverkehr in Fahrt. Online im Internet unter: <https://www.bvl.de/presse/meldungen/digilieferschein> (Abfrage: 7.12.2021; [MEZ] 09:17).
- Statistisches Bundesamt (2021a): Güterverkehr. Online im Internet unter: https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/_inhalt.html (Abfrage: 18.11.2021; [MEZ] 17:44).
- Statistisches Bundesamt (2021b): Beförderungsmenge und Beförderungsleistung nach Verkehrsträgern. Online im Internet unter: <https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Gueterverkehr/Tabellen/gueterbefoerderung-lr.html> (Abfrage: 17.11.2021; [MEZ] 13:49).
- Straube, F., Borkowski, S., Nagel, A., (2009). Ökologisch nachhaltige Logistik – Ansätze zur Konzeption und Bewertung. In: Reimer, M., Krystek, U. (Hrsg.): *Perspektiven des Strategischen Controllings: Festschrift für Professor Dr. Ulrich Krystek*. Wiesbaden: Gabler Research. S. 205-225. https://doi.org/10.1007/978-3-8349-8805-8_13
- Stubbe, A. (2021): Data Analytics und KI in der Logistik – Fraunhofer-Arbeitsgruppe für Supply Chain Services des Fraunhofer IIS auf dem #DLK21. Online im Internet unter: <https://www.bvl.de/dlk/pressezentrum/pressemitteilung-lesen?pid=1778> (Abfrage: 6.12.2021; [MEZ] 08:12).
- Sun, CQ., Guo, K., Zheng, F., Zhou, G., Hou, D. (2019): The Design and Implementation of Cloud Web Service-based TPMS for Fleet Management. In: *Institute of Electrical and Electronics Engineers*, S. 1240–1243. <https://doi.org/10.1109/CAC48633.2019.8997352>

- Tang, S., Wang, W., Yan, H., Hao, G. (2015): Low carbon logistics: Reducing shipment frequency to cut carbon emissions. In: *International Journal of Production Economics*, 164, S. 339–350. <https://doi.org/10.1016/j.ijpe.2014.12.008>
- Teleroute (2021). Teleroute. Online im Internet unter: <https://teleroute.com/de-de/frachtenboerse/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 17:14).
- Tijiang, T. (2017): Lkw im Windschatten. In: *Wirtschaft in Mittelfranken*, 5, S. 94-96.
- Timocom (2021a): Europas führende Frachtenbörse: Fracht und Laderaum finden oder anbieten. Online im Internet unter: <https://www.timocom.de/smart-logistics-system/frachtenboerse/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 17:11).
- Timocom (2021b): Schneller Arbeiten mit TIMOCOM Schnittstellen. Online im Internet unter: <https://www.timocom.de/smart-logistics-system/schnittstellen> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 17:12).
- Tran, C.-A., Haas, C., Hammer, S., Völl, S. (2019): EDDI - Elektronische Deichsel - Digitale Innovation : Schlussbericht. MAN. <https://doi.org/10.2314/KXP:1690637781>
- Tranfield, D., Denyer, D., Smart, P. (2003): Towards a Methodology for Developing Evidence-Informed Management Knowledge by Means of Systematic Review. In: *British Journal of Management*, 14, S. 207–222. <https://doi.org/10.1111/1467-8551.00375>
- Triantaphyllou, E., Sánchez, A. (1997). A Sensitivity analysis approach for some deterministic Multi-Criteria Decision Making Methods. *Decision Sciences*, 28 (1), S. 151-194. <https://doi.org/10.1111/j.1540-5915.1997.tb01306.x>
- Trimble (2021): Alles im Blick mit Track & Trace. Online im Internet unter: <https://www.trimbletl.com/de/track-and-trace/> (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 17:33).
- Uhl, A., Mahnken, D. (2019): Der Logistikmarktplatz Saloodo! digitalisiert das Transportgewerbe. In: Uhl, A., Loretan, S. (Hrsg.): *Digitalisierung in der Praxis*. Wiesbaden: Springer Fachmedien, S. 73–83. https://doi.org/10.1007/978-3-658-26137-5_5
- Umwelt Bundesamt (2021a): Emissionsdaten. Online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/verkehr-laerm/emissionsdaten#HBEFA> (Abfrage: 1.12.2021; [MEZ] 11:52).
- Umwelt Bundesamt (2021b): Emissionsquellen. Online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/themen/klima-energie/treibhausgas-emissionen/emissionsquellen#energie-verkehr> (Abfrage: 12.11.2021; [MEZ] 11:32).

- Umwelt Bundesamt (2021c): Emissionen des Verkehrs. Online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/daten/verkehr/emissionen-des-verkehrs#pkw-fahren-heute-klima-und-umweltvertraglicher> (Abfrage: 17.11.2021; [MEZ] 13:12).
- Umwelt Bundesamt (2021d): Wie funktioniert der Treibhauseffekt? Online im Internet unter: <https://www.umweltbundesamt.de/service/uba-fragen/wie-funktioniert-der-treibhauseffekt> (Abfrage: 27.11.2021; [MEZ] 12:52).
- Umwelt Bundesamt (2018): Freiwillige CO₂-Kompensation durch Klimaschutzprojekte. Online im Internet unter: https://www.umweltbundesamt.de/sites/default/files/medien/376/publikationen/ratgeber_freiwillige_co2_kompensation_final_internet.pdf (Abfrage 22.02.2022; [MEZ] 13:53).
- Vahrenkamp, R., Kotzab, H. (2017): Logistikwissen kompakt. Oldenburg: De Gruyter.
- van Woensel, T., Creten, R., Vandaele, N. (2001): Managing the environmental externalities of traffic logistics: The issue of Emissions. In: Production and Operations Management, 10 (2), S. 207–223. <https://doi.org/10.1111/j.1937-5956.2001.tb00079.x>
- VDO, Vereinigte Deute-Ota (2021): eHorizon – die Schwarmintelligenz der Zukunft. Online im Internet unter: <https://www.fleet.vdo.de/vdo-magazin/ehorizon/> (Abfrage: 5.1.2022; [MEZ] 08:12).
- Vereinte Nationen (1993): Report of the United Nations Conference on Environment and Development: Rio de Janeiro, 3 - 14 June 1992. Presented at the Conference on Environment and Development, New York: United Nations.
- Vollrath, M., Briest, S., Oeltze, K. (2010): Auswirkungen des Fahrens mit Tempomat und ACC auf das Fahrverhalten. In: Fahrzeugtechnik, Heft F74. Bundesanstalt für Straßenwesen: Bergisch Gladbach
- Wang, J.S. (2021): Exploring biometric identification in FinTech applications based on the modified TAM. In: Financial Innovation, 7 (42), S. 1-24. <https://doi.org/10.1186/s40854-021-00260-2>
- Wang, Y., Sarkis, J. (2021): Emerging digitalisation technologies in freight transport and logistics: Current trends and future directions. In: Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review, 148, S. 102291. <https://doi.org/10.1016/j.tre.2021.102291>
- Wannenwetsch, H. (2021): Integrierte Materialwirtschaft, Logistik, Beschaffung und Produktion: Supply Chain im Zeitalter der Digitalisierung. 6. Auflage. Berlin [Heidelberg]: Springer Vieweg.

- Webfleet Solutions (2021): Lenkzeiten & Digitaler Fahrtenschreiber - Alle Vorschriften. Online im Internet unter: https://www.webfleet.com/de_de/webfleet/lp/digital-tachograph/ (Abfrage: 27.12.2021; [MEZ] 17:39).
- Wehner, J. (2018): Energy Efficiency in Logistics: An Interactive Approach to Capacity Utilization. In: *Sustainability*, 10 (6), S. 1–19. <https://doi.org/10.3390/su10061727>
- Wirtschaftskommission der Vereinten Nationen für Europa (2010): Regelung Nr. 64 der Wirtschaftskommission für Europa der Vereinten Nationen (UN/ECE) — Einheitliche Bedingungen für die Genehmigung von Fahrzeugen hinsichtlich ihrer Ausstattung mit einem Komplettnotrad, Notlaufreifen und/oder einem Notlaufsystem und/oder einem Reifendrucküberwachungssystem, Online im Internet unter <https://op.europa.eu/de/publication-detail/-/publication/cce1a9e9-37b7-4973-bb70-d64999ba110c/language-de> (Abfrage: 6.1.2022; [MEZ] 18:58).
- Witt, F. (2021): So soll KI Leerfahrten reduzieren. Online im Internet unter: <https://www.dvz.de/rubriken/management-recht/nachhaltige-logistik/detail/news/so-soll-ki-leerfahrten-reduzieren.html> (Abfrage: 6.12.2021, [MEZ] 09:22).
- Wittenbrink, P. (2015): Green Logistics. Konzept, aktuelle Entwicklungen und Handlungsfelder zur Emissionsreduktion im Transportbereich. Springer Gabler: Wiesbaden.
- World Commission on Environment and Development (1987): Our common future - Brundtland Report 1987, Oxford paperbacks. Oxford ; New York: Oxford University Press.
- Würth (2021): Programmiergerät IQ 50. Online im Internet unter: <https://eshop.wurth.be/Produktkategorien/Diagnosesystem-iQ-50/31036502211301.cyid/3103.cgid/de/DE/EUR/> (Abfrage: 18.12.2021; [MEZ] 21:01).
- Yadav, R. (2021): Analytic hierarchy process-technique for order preference by similarity to ideal solution: A multi criteria decision-making technique to select the best dental restorative composite materials. In: *Polymer Composites*, 42, S. 6867–6877. <https://doi.org/10.1002/pc.26346>
- Yadav, A., Jayswal, S.C. (2013): Using Geometric Mean Method of Analytical Hierarchy Process for Decision Making in Functional Layout. In: *International Journal of Engineering Research & Technology*, 2 (10), S. 775–779.
- Zanker, C. (2018): Branchenanalyse Logistik: Der Logistiksektor zwischen Globalisierung, Industrie 4.0 und Online-Handel. Online im Internet unter: <https://www.econstor.eu/handle/10419/180403> (Abfrage 10.01.2022; [MEZ] 13:44).

Zhang, F., Wang, X.D., Sheng, F.S. (2014): Research on High-Speed Railway Line Selection Based on Analytic Hierarchy Process. In: Applied Mechanics and Materials, 577, S. 1061–1064. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.577.1061>

Universität Bremen
Fachbereich Wirtschaftswissenschaften
Lehrstuhl für ABWL und Logistikmanagement
Max-von-Laue-Straße 1
28359 Bremen

Telefon: +49 0421 218 66981
E-Mail: kotzab@uni-bremen.de
<https://www.uni-bremen.de/de/lm/>

Als wissenschaftliches elektronisches Dokument veröffentlicht in der Staats- und
Universitätsbibliothek Bremen und auf dem Lehrstuhlserver

Veröffentlicht: 2022