

Fachhochschule Wedel



Seminararbeit

Fachrichtung: B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen

Vertiefungsrichtung: Informationsmanagement

Die Vor- und Nachteile des Schienengüterverkehrs gegenüber der Straße

Autor: Mirko Oest
6. Semester (B.Sc. Wirtschaftsingenieurwesen)
Siethwende 61, 25368 Kiebitzreihe
+49 4126 24 33, wing103149@fh-wedel.de

Abgabe: 15.09.2020

Referent: Prof. Dr. Sebastian Iwanowski
Feldstraße 143, 22880 Wedel
+49 4103 80 48 63, iw@fh-wedel.de

Inhaltsverzeichnis

1. Einführung und Überblick über die Logistikbranche in Deutschland	1
2. Vergleich des Schienen- und Straßengüterverkehrs	3
2.1. Technische Aspekte	3
2.2. Infrastrukturelle Aspekte	10
2.3. Prozessbezogene Aspekte	15
2.4. Kostenaspekte	25
3. Zusammenfassung der Vor- und Nachteile und Betrachtung aus Sicht des Güterbestellers	32
4. Innovative Konzepte im Schienen- und Straßengüterverkehr	35
4.1. Innovative Konzepte im Schienengüterverkehr	35
4.1.2. Rollende Landstraße.....	38
4.2. Innovative Konzepte im Straßengüterverkehr	39
4.2.1. Platooning.....	40
4.2.2. E-Highway	41
5. Literaturverzeichnis	44
6. Abbildungsverzeichnis	50

1. Einführung und Überblick über die Logistikbranche in Deutschland

Die Logistikbranche in Deutschland erzielte im Jahr 2019 einen Umsatz von rund 279 Mrd. Euro und ist somit der größte Wirtschaftsbereich nach der Automobilwirtschaft und dem Handel. Grundsätzlich werden die Transportleistungen in der Logistik von verschiedenen Verkehrsträgern erbracht und zur Vergleichbarkeit in Tonnenkilometern angegeben. Die wichtigsten sind dabei der Straßen-, Schienen- und Binnenschiffsgüterverkehr gefolgt von Öl-Fernleitungen und dem Luftfrachtverkehr. Wie Abbildung 1 entnommen werden kann, wurde im Jahr 2018 in Deutschland eine Gesamttransportleistung von 700 Mrd. Tonnenkilometern erbracht, wovon 71,4% auf den Straßengüterverkehr (500 Mrd. tkm), 19,4% auf den Schienengüterverkehr (133 Mrd. tkm), 6,7% auf den Binnenschiffsgüterverkehr (49 Mrd. tkm) und

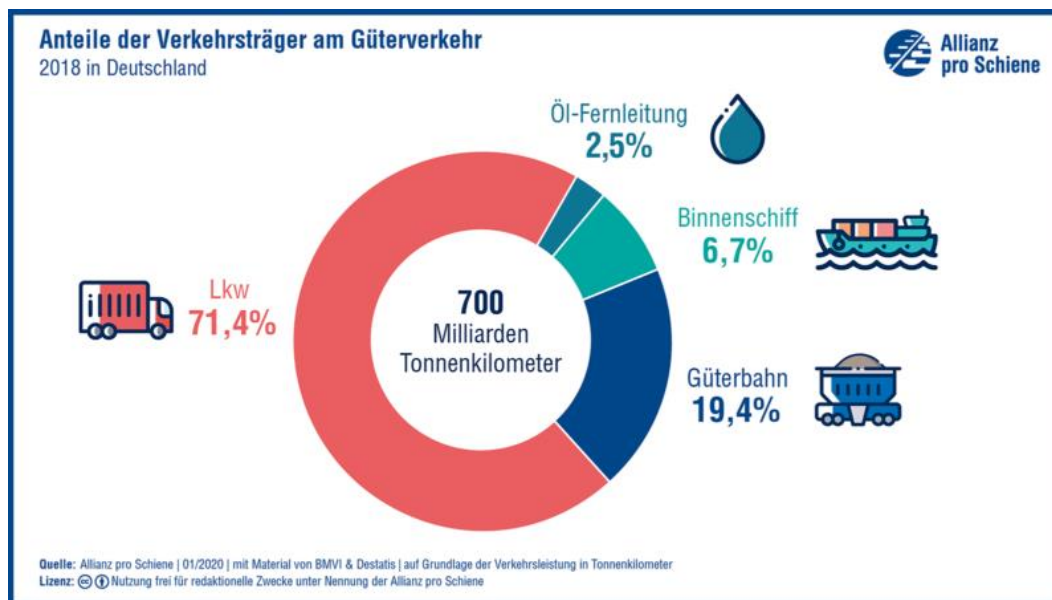


Abbildung 1: Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr

2,5% auf Öl-Fernleitungen (17,5 Mrd. tkm) entfielen. Die Beförderungsleistung des Luftfrachtverkehrs war mit 1,6 Mrd. tkm verschwindend gering, da dieser i.d.R. aufgrund der hohen Kosten nur für sehr eilige Lieferungen und relativ geringe Lasten geeignet ist. Grundsätzlich finden Güterbewegungen sowohl innerhalb eines Unternehmens in Form von Werksverkehr als auch außerhalb bei der Abwicklung von B2B- oder B2C-Geschäften statt. Falls das distribuierende Unternehmen keinen eigenen Fuhrpark besitzt, werden die Transportleistungen an Logistikdienstleister abgegeben. Die umsatzstärksten Unternehmen in der deutschen Logistikbranche sind dabei u.a. die Deutsche Bahn AG, die Deutsche Post AG und die Kühne + Nagel AG, welche ihre Beförderungsleistungen mit unterschiedlichen Verkehrsträgern anbieten.

Die DB AG ist beispielsweise mit ihren Tochterunternehmen DB Cargo und DB Schenker AG sowohl auf dem Schienengüter- als auch auf dem Straßengütermarkt vertreten. Die Märkte unterscheiden sich vor allem in ihrer Wettbewerbsstruktur, da auf dem Schienengütermarkt mit 135 Unternehmen wesentlich weniger Konkurrenz besteht als auf dem stark fragmentierten Straßengütermarkt mit knapp 31.000 Unternehmen. Wie in Abbildung 2 deutlich zu erkennen ist, beträgt der Marktanteil der DB Cargo AG an die 60%, wodurch sie eine gewisse Machtstellung besitzt und weshalb sich die Informationen der folgenden Ausarbeitung hauptsächlich an ihren Prozessen und Gegebenheiten orientiert.

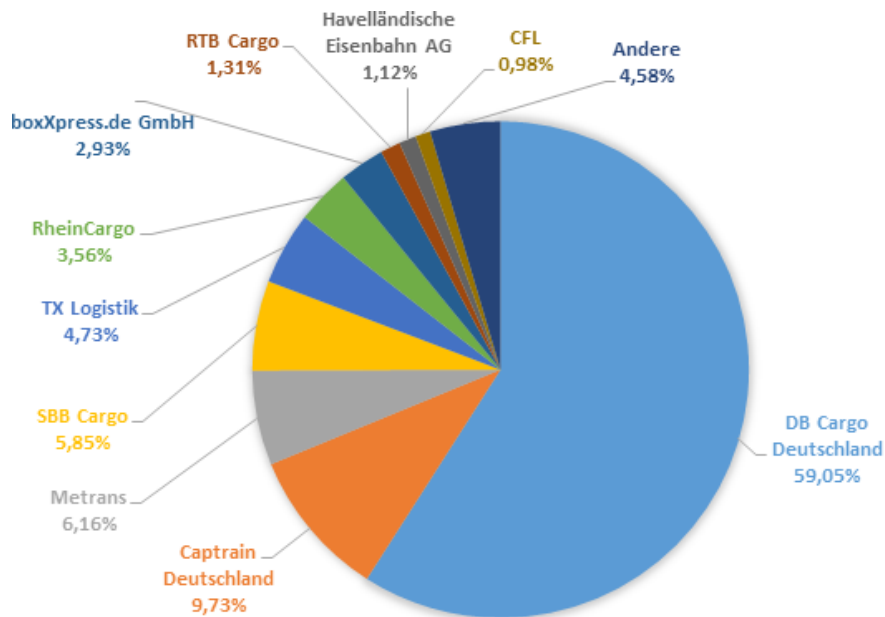


Abbildung 2: Marktanteile im Schienengüterverkehr

Die nachfolgenden Kapitel beschäftigen sich nun mit den Vor- und Nachteile des Schienengüterverkehrs gegenüber der Straße, wobei der Vergleich auf unterschiedlichen Ebenen stattfinden wird. Es werden die technischen, infrastrukturellen, prozessbezogenen und Kostenaspekte erläutert und miteinander verglichen, um anschließend die Vor- und Nachteile herauszustellen. Im letzten Abschnitt sollen innovative Konzepte und dessen Ausschöpfung von Verbesserungspotentialen betrachtet werden.^{1 2 3}

¹ Vgl. BVL - Bundesvereinigung Logistik e.V.

² Vgl. Zanker, C. (2018)

³ Vgl. Ptock, J. (2018, Januar 26)

2. Vergleich des Schienen- und Straßengüterverkehrs

2.1. Technische Aspekte

Das Beförderungsmittel im Schienengüterverkehr ist der Güterzug, welcher aus einem oder mehreren Triebfahrzeugen (Einfach- oder Mehrfachtraktion) und den angekoppelten Güterwagen besteht. Dabei können verschiedene Arten von Triebfahrzeugen mit unterschiedlichen Antriebssystemen wie Dampf-, Diesel- oder Elektromotoren zum Einsatz kommen. Mittlerweile finden im Schienenverkehr auch innovative Antriebsmöglichkeiten wie der Wasserstoff- oder Hybridantrieb (Kombination aus Diesel- und Elektrotraktion) immer öfter ihre Anwendung, allerdings setzt man im Güterverkehr aufgrund der hohen benötigten Anfahrtszugkraft und des Umweltbewusstseins überwiegend auf Universallokomotiven mit Drehstromantrieb (meist mit Doppeltraktion). Diese können sowohl für den Güter- als auch für den Personenverkehr verwendet werden und tragen somit zu einer besseren Auslastung der Triebfahrzeuge bei. Im deutschen Schienengüterverkehr kommen immer weniger dieselbetriebene Triebfahrzeuge (hauptsächlich die BR 232/233) zum Einsatz, sodass überwiegend auf die E-Loks der BR 145 oder die Mehrsystemlokomotiven der BR 185 zurückgegriffen wird. Die BR 145 fährt mit Elektroantrieb, während die BR 185 durch den zusätzlichen Dieselhilfsmotor auch in der Lage ist, ohne Strom zu fahren.⁴



Abbildung 3: BR 145 und BR 185



Abbildung 4: BR 232/233

Je nach zu befördernder Güterart kann zwischen verschiedenen Güterwagentypen unterschieden werden. Beispielsweise werden Kesselwagen für den Transport von flüssigen oder gasförmigen Stoffen, offene Güterwagen für Schüttgut, Holz, Stahl oder ähnliches, Flachwagen für die Beförderung von Containern oder Schiebewandgüterwagen für den Transport von Industrie- und Konsumgütern verwendet.

⁴ Vgl. Gleisbau-Welt - Antriebstechnologie

Im Straßengüterverkehr werden die Güter von Kraftfahrzeugen befördert, die ebenfalls je nach Art des Beförderungsgutes und der Beförderungsmenge in verschiedenen Ausprägungstypen vorliegen können. Die gängigsten Typen sind dabei Sattelzüge, Gliederzüge und Transporter, wobei erstere bei den schweren Fahrzeugklassen u.a. aufgrund des hohen Transportaufkommens von Containern im Kombinierten Verkehr die häufigste LKW-Art darstellen. Mit ca. 2,9 Millionen Dieselmotoren und 125.000 benzinbetriebenen Motoren bei knapp 3 Millionen zugelassenen LKW in Deutschland (Stand 2018) zeichnet sich eine eindeutige Tendenz bei der bevorzugten Antriebstechnik ab. Die alternativen Möglichkeiten wie Elektro, Erdgas oder Flüssiggas bleiben bisher mit jeweils weniger als 20.000 zugelassenen Fahrzeugen weit hinter den konventionellen Antrieben zurück.^{5 6}



Abbildung 5: Sattelzug



Abbildung 6: Gliederzug



Abbildung 5: Transporter

Die beiden Beförderungsmittel sollen im Folgenden hinsichtlich ihrer technischen und rechtlichen Rahmenbedingungen untersucht und miteinander verglichen werden. Zunächst können der Kraftstoffverbrauch (Diesel), der Energieverbrauch und die Treibhausgasemissionen der beiden Verkehrsträger, welche hauptsächlich von der Streckentopologie, Fahrweise, Beförderungsmenge und

⁵ Vgl. Kords, M. (2020a, Juli 28)

⁶ Vgl. Kords, M. (2020b, Juli 31)

dem Rollwiderstand abhängen, gegenübergestellt werden. Für einen voll beladenen dieselbetriebenen Güterzug (Beförderungsmenge ca. 1500 t) kann überschlagsweise mit einem Verbrauch von 500 l/100 km gerechnet werden. Dies entspricht einem Verbrauch von ca. 0,003 l/tkm. Der Energieverbrauch beträgt dabei 0,08 kWh/tkm und die Treibhausgasemissionen 18 g/tkm. Ein 40 Tonnen schwerer Sattelzug mit einer Beförderungsmenge von ca. 25 Tonnen verbraucht durchschnittlich 30 l/100 km, was einem Wert von 0,012 l/tkm entspricht. Außerdem fällt ein Energieverbrauch von 0,18 kWh/tkm und Treibhausgasemissionen von 112 g/tkm an. Wie den Abbildungen 8, 9 und 10 entnommen werden kann,

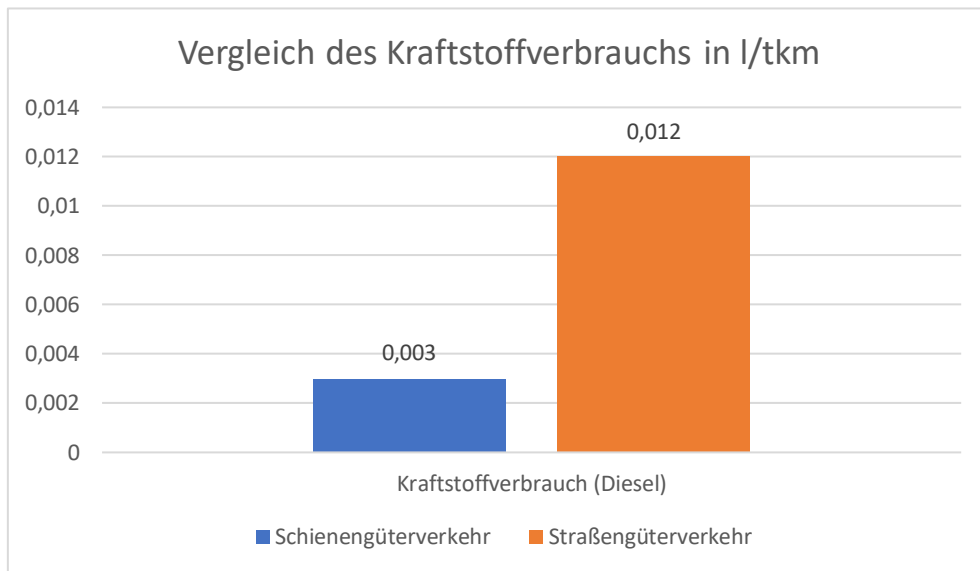


Abbildung 8: Vergleich des Kraftstoffverbrauchs

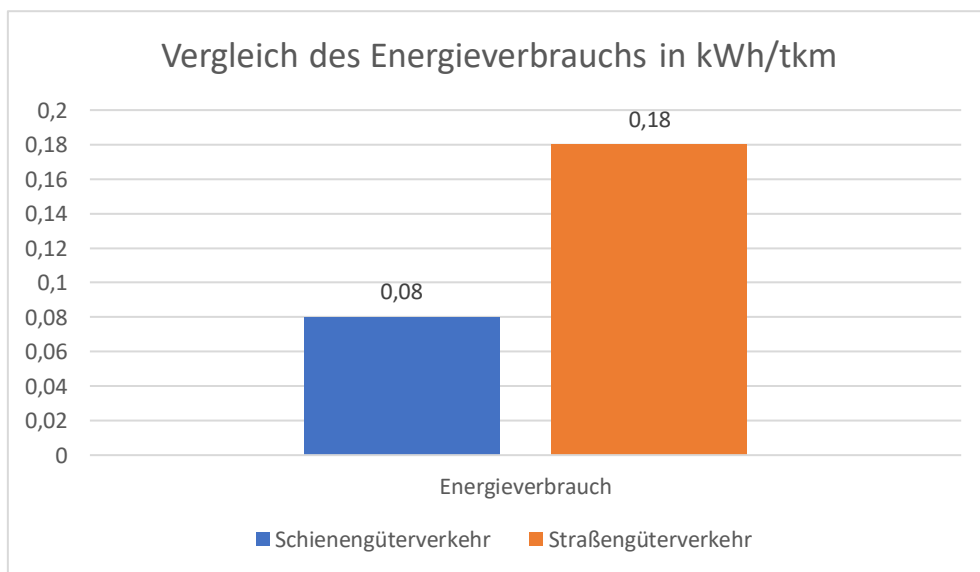


Abbildung 9: Vergleich des Energieverbrauchs

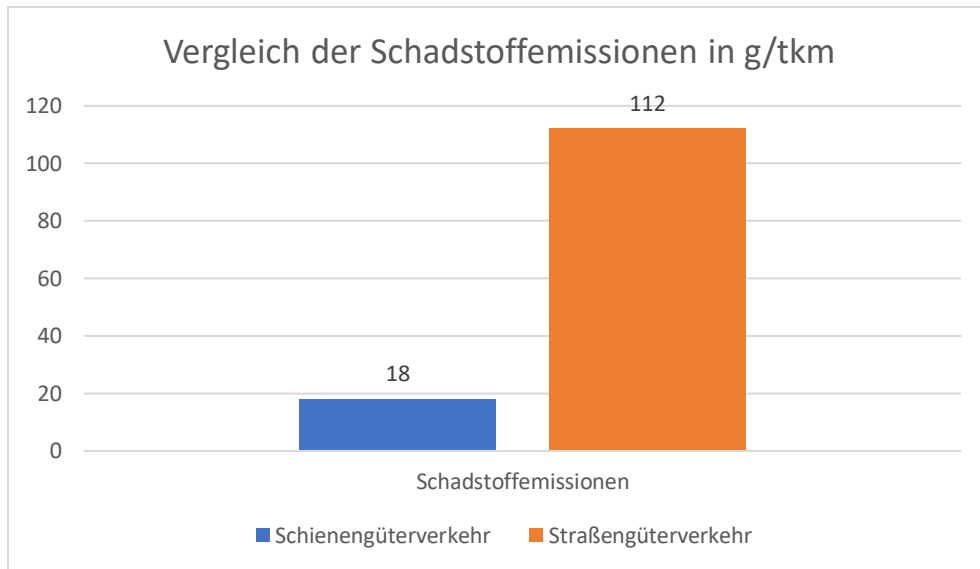


Abbildung 10: Vergleich der Schadstoffemissionen

ist der Schienengüterverkehr kraftstoff- und energieeffizienter sowie wesentlich umweltfreundlicher (weniger Schadstoffemissionen) als der Straßengüterverkehr. Dies ist vor allem auf den niedrigeren Rollwiderstand zurückzuführen, welcher aus der geringeren Auflagefläche des Rad-Schiene-Kontakts gegenüber des Reifen-Straße-Kontakts resultiert.^{7 8 9}

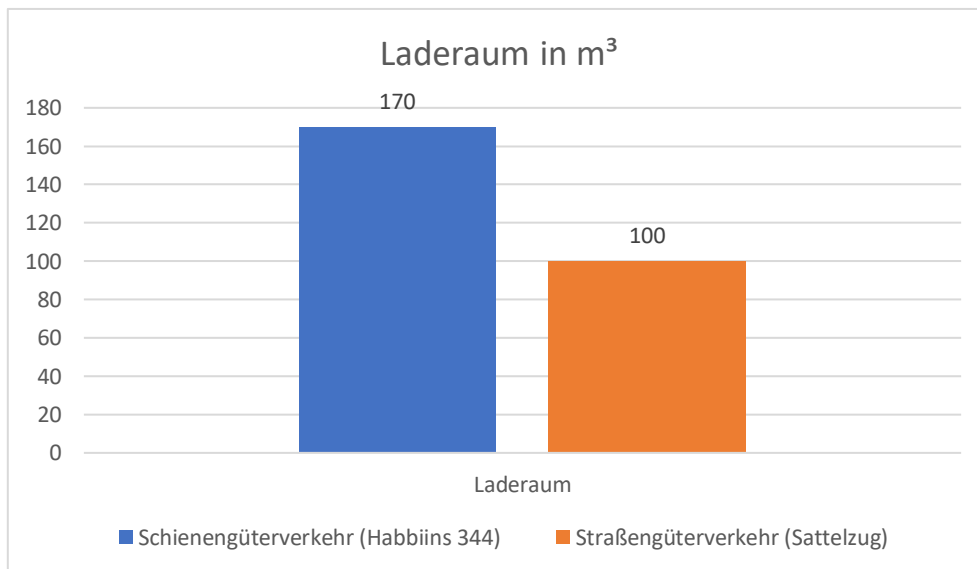


Abbildung 11: Vergleich des Laderaums

⁷ Vgl. Technische Universität Berlin & Hecht, M. (2016, Mai) S. 17

⁸ Vgl. Keller, S. (2020a, Januar 6)

⁹ Vgl. Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH. (2014) S. 12

Für die maximal zugelassene Gesamtlänge eines Güterzuges gelten 740 m oder 250 Achsen, wobei für die Güterwagen abzüglich der Triebfahrzeuge dementsprechend weniger Platz zur Verfügung steht (bei Doppeltraktion 700 m). Die Länge der einzelnen Güterwagen kann variieren, sodass die meisten zwischen 14 m und 24 m lang sind und theoretisch 50 kleine oder 29 große Güterwagen zulässig wären. Für den Vergleich wird der Güterwagen Habbiins 344 der DB Cargo AG herangezogen, welcher 24 m lang ist und eine Ladefläche von ca. 170 m³ besitzt. Im Straßengüterverkehr ist die zulässige Gesamtlänge von der jeweiligen LKW-Art abhängig. Ein Sattelzug darf maximal 16,5 m und ein Gliederzug insgesamt maximal 18,75 m lang sein (aufgeteilt auf Motorwagen und Anhänger). Für den Sattelzug ergibt sich ein Laderaum von ca. 100 m³. Im Vergleich lässt sich feststellen, dass der Güterzug zum einen insgesamt wesentlich länger sein kann als ein LKW und zum anderen der Laderaum der einzelnen Güterwagen deutlich größer sein kann als der eines Sattelzuges (siehe Abbildung 11). Somit können größere Quantitäten und auch sperrigere Güter mit dem Schienengüterverkehr transportiert werden.^{10 11 12 13}

Auch für das maximal zulässige Gesamtgewicht gelten gesetzliche Vorschriften, die eingehalten werden

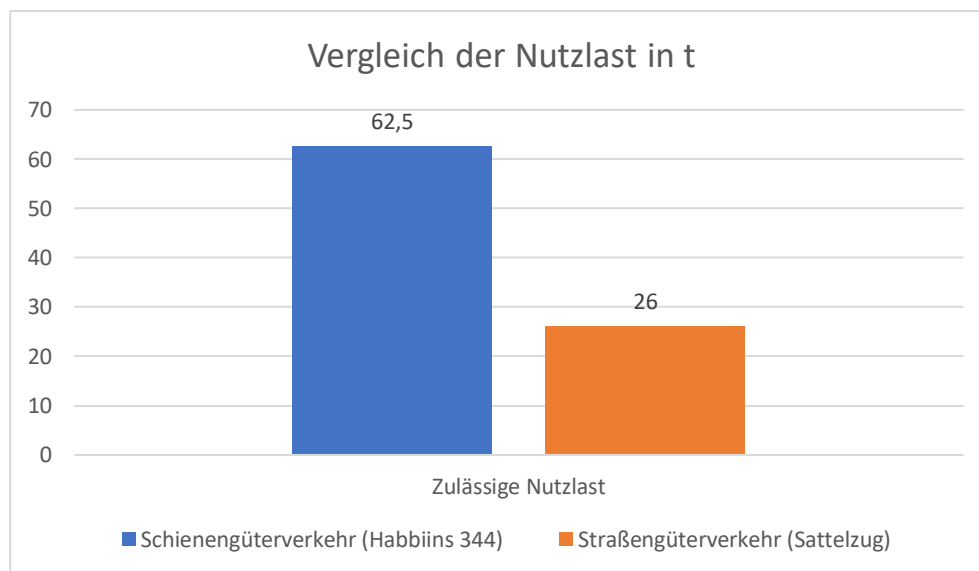


Abbildung 12: Vergleich der Nutzlast

müssen. So gibt es im Schienenverkehr die so genannten Streckenklassen (A-E), welche die jeweiligen maximalen Radsatzlasten vorgeben und somit das zulässige Gesamtgewicht der einzelnen Güterwagen

¹⁰ Vgl. Betriebstechnische Grenzparameter für Güterzüge. (2010, Juli 5)

¹¹ Vgl. Güterwagenkatalog - Habbiins 344

¹² Vgl. bussgeldkatalog.org. (2020a, März 18)

¹³ Vgl. Logistik Planungsdaten

bestimmen. Die maximale Radsatzlast beträgt 22,5 t (in Sonderfällen 25 t), allerdings sind für die einzelnen Güterwagen noch eigene Lastgrenzen festgelegt, die das maximale Zuladungsgewicht angeben. Für den Habbiins 344 ist eine Lastgrenze von 62,5 t einzuhalten, wodurch für einen kompletten Güterzug (29 Güterwagen) eine maximale Beförderungsmenge von ca. 1800 t zulässig wäre. Es ist jedoch zu beachten, dass für solche hohen Gewichte spezielle Kupplungen mit einer entsprechenden Festigkeit benötigt werden, sodass in Deutschland i.d.R. die Güterzüge nur mit einem durchschnittlichen Bruttogewicht von 1600 t fahren. Die LKW hingegen werden nach ihrem Gesamtgewicht in verschiedene Unterklassen eingeteilt. Sie schreiben vor, welche Verkehrsregeln gelten und welche Fahrerlaubnis vorhanden sein muss. LKW bis 3,49t zählen zur Klasse N1, zwischen 3,5 t und 11,49 t zur Klasse N2 und ab 12 t zur Klasse N3. Das zulässige Höchstgewicht ist also zum einen von der Fahrzeugklasse und zum anderen von der Anzahl der Achsen abhängig. Maximal können 44 t transportiert werden, wenn der LKW dreiachsig, der Sattelanhänger zwei- oder dreiachsig ist und 40-Fuß-ISO-Container befördert werden. Meistens handelt es sich allerdings um eine Fahrzeugkombination mit fünf oder sechs Achsen, welche ein Gesamtgewicht von 40 t befördern darf. Da das Eigengewicht des Fahrzeuges ebenfalls zum Gesamtgewicht hinzugezogen werden muss und dieses bei einem Sattelzug ca. 13-14 t sind, kann die Ladung schlussendlich nicht mehr als 26 t überschreiten. Vergleicht man die beiden Verkehrsträger nun miteinander (siehe Abbildung 12), kann man feststellen, dass der Güterzug insgesamt, aber auch pro Güterwagen, eine wesentlich größere Nutzlast befördern kann.

Die maximal zugelassene Geschwindigkeit für Güterzüge beträgt 120 km/h, ist aber ebenfalls von der jeweiligen Streckenklasse und vom Triebfahrzeug abhängig, sodass durchschnittliche Geschwindigkeiten

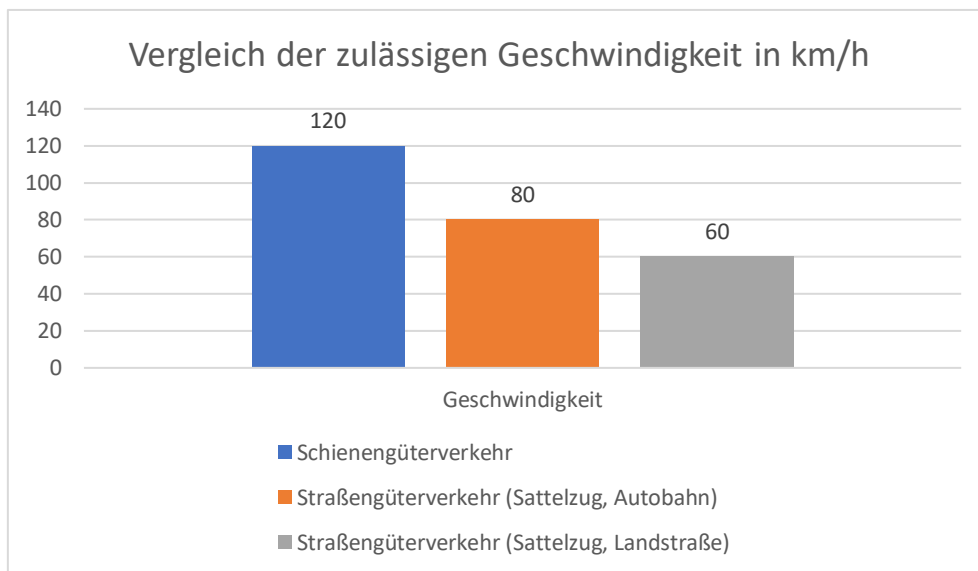


Abbildung 13: Vergleich der zulässigen Geschwindigkeit

von 90-110 km/h erreicht werden. Im Straßengüterverkehr ist die maximal zulässige Geschwindigkeit vom Fahrzeuggewicht abhängig. Auf Landstraßen dürfen Fahrzeuge bis 3,5 t maximal 100 km/h, zwischen 3,5 t und 7,5 t maximal 80 km/h und über 7,5 t maximal 60 km/h fahren. Auf den Autobahnen kommt das Tempolimit erst für Fahrzeuggewichte von über 3,5 t zur Geltung. Hier ist dann eine maximale Geschwindigkeit von 80 km/h zulässig. Aus dem Vergleich der Verkehrsträger (siehe Abbildung 13) geht hervor, dass die Eisenbahn theoretisch schneller unterwegs sein kann als ein LKW. Ob dies wirklich so ist, wird in den folgenden Kapiteln noch untersucht.^{14 15} (vgl. 5, 9)

Es können aus dem Vergleich der technischen Aspekte für dieses Kapitel folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Der Schienengüterverkehr ist kraftstoff- und energieeffizienter
- Der Schienengüterverkehr ist umweltfreundlicher
- Ein Güterzug kann mehr und sperrigere Güter befördern
- Ein Güterzug kann eine höhere Nutzlast befördern
- Ein Güterzug ist schneller unterwegs

¹⁴ Vgl. Betriebstechnische Grenzparameter für Güterzüge. (2010, Juli 5)

¹⁵ Vgl. bussgeldkatalog.org. (2020a, März 18)

2.2. Infrastrukturelle Aspekte

Die Infrastruktur im Schienenverkehr hat über die Jahre immer weiter abgenommen, sodass sich die Länge des deutschen Schienennetzes von 44.600 km (Stand 1994) auf 38.500 km (Stand 2018) verringert hat. Das entspricht bei einer Gesamtfläche Deutschlands von 357.000 km² einer Flächendichte von 0,11 km/km² (siehe Abbildung 14). Der größte Netzbetreiber ist dabei die DB Netz AG, welche ein hundertprozentiges Tochterunternehmen der Deutschen Bahn AG ist, und für ein Streckennetz von 33.340 km (Stand 2018) zuständig ist. Die übrige Strecke wird von nicht bundeseigenen Bahnen (NE-Bahnen), d.h. Bahnen, die nicht dem Bund gehören, betrieben. Des Weiteren ist das deutsche Schienennetz nur zu 60% durch eine Oberleitung elektrifiziert, weswegen die bereits angesprochenen Mehrsystemlokomotiven eine große Bedeutung dabei haben, die nicht elektrifizierten Streckenabschnitte zu überbrücken. Außerdem ist das Verkehrsnetz ein öffentliches Schienennetz und kann somit von allen Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) verwendet werden. Die Vergabe der Streckenabschnitte (Trassenvergabe) an die einzelnen EVU erfolgt durch die DB Netz AG und wird durch die

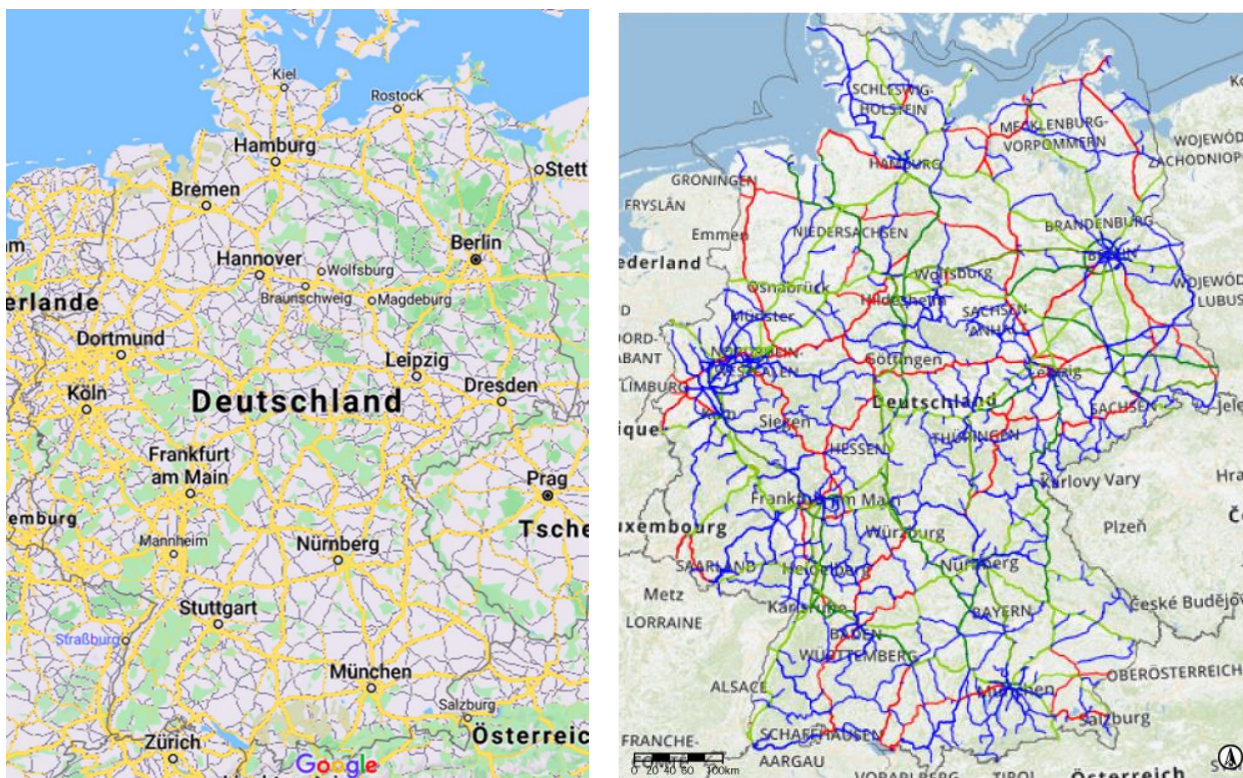


Abbildung 14: Straßenverkehrsnetz (links) und Schienenverkehrsnetz (rechts)

Bundesnetzagentur überwacht. Generell gilt auf dem deutschen Schienennetz die Besonderheit, dass auf denselben Strecken sowohl der Personen- als auch der Güterverkehr verkehren. Dadurch kann es u.U. zu

einer gegenseitigen Behinderung der beiden Verkehrsströme kommen. Das Straßenverkehrsnetz in Deutschland beläuft sich auf eine Gesamtlänge von knapp 645.000 km, was einer Flächendichte von 1,80 km/km² entspricht (siehe Abbildung 14). Davon zählen ca. 231.000 km in das überörtliche Straßennetz, welches überwiegend vom LKW-Verkehr genutzt wird, und 413.000 km in das Gemeindestraßennetz. Nichtsdestotrotz werden auch Gemeindestraßen von LKW befahren, wobei es nicht selten aufgrund der hohen Gewichte der Fahrzeuge zu Straßenschäden kommt. Das Straßenverkehrsnetz ist für alle gewerblichen und privaten Verkehrsteilnehmer zugänglich, solange eine Fahrerlaubnis vorliegt, und wird von ihnen gleichzeitig genutzt. Vergleicht man die beiden Verkehrsnetze miteinander, stellt man fest, dass das Straßennetz flächendeckender ist und über bessere Anbindungen und Alternativrouten verfügt, welche sehr hilfreich sein können, um beispielsweise Baustellen, Staus oder Straßensperrungen effizient zu umfahren.^{16 17 18}



Abbildung 15: Standorte von Umschlagbahnhöfen



Abbildung 16: Umschlagbahnhof Regensburg



Abbildung 17: Rangierbahnhof Halle-Nord

Grundsätzlich weist jedes Verkehrsnetz so genannte Knotenpunkte auf, in denen die Infrastruktur zusammenläuft bzw. auf unterschiedliche Weisen miteinander verknüpft ist. Die wichtigsten

¹⁶ Vgl. Informationen zum Schienennetz der Eisenbahnen in Deutschland. (2020, Juli 28)

¹⁷ Vgl. Güterverkehr: Alle Informationen zum Güterverkehr in Deutschland. (2020, Juli 29)

¹⁸ Vgl. Statistisches Bundesamt, Wiesbaden & Hütter, A. (2013, April)

Knotenpunkte für den Schienengüterverkehr sind Kreuzungen in Durchgangsform und Anschlussknoten. Kreuzungen in Durchgangsform verbinden parallel zueinander laufende Gleise, indem sie Gleiswechsel durch Weichen ermöglichen. Eine wichtige Anwendung findet diese Streckenverknüpfung in Form von Überholgleisen. Diese werden von schnellen Personenverkehrszügen (ICE, IC, etc.) genutzt um langsamere Güter- oder Regionalzügen zu überholen. Allerdings sind diese Gleise in ihrer Anzahl stark begrenzt und oftmals zu kurz, sodass ein Überholen nicht möglich ist, die Personenzüge zu viel Zeit verlieren und evtl. nicht pünktlich das Ziel erreichen. Aus diesem Grund ist es also kaum möglich die maximal zulässige Gesamtlänge von 740 m auszunutzen, da der Überholprozess auf den meisten dieser Gleise nicht durchgeführt werden kann. Somit sind tatsächlich knapp 60% aller verkehrenden Güterzüge kürzer als 600 m. Die Anschlussknoten sind vor allem in Form von Rangier- und Umschlagbahnhöfen (siehe Abbildung 15, 16 und 17) sowie unternehmenseigenen Bahnanschlüssen (siehe Abbildung 18) von großer Bedeutung. In Deutschland gibt es ca. 170 Rangierbahnhöfe, wobei der größte (auch europaweit) in Hamburg Maschen liegt, die für die Zusammenstellung der Güterzüge zuständig sind. Hier werden die einzelnen Güterwagen im Rahmen des Einzelwagen- oder Kombinierten Verkehrs an die vorgesehenen Züge in der richtigen Reihenfolge angekoppelt und zur Abfahrt bzw. Weiterfahrt vorbereitet. Ein Umschlagbahnhof ist ein Knotenpunkt, der ebenfalls im kombinierten Verkehr zum Einsatz kommt und für die Verladung der Fracht von einem Verkehrsträger auf den anderen (z.B. von der Schiene auf den LKW oder von der Schiene auf ein Schiff) genutzt wird. In Deutschland werden die meisten Umschlagbahnhöfe mit einer Anzahl von 40 Anlagen von der Deutschen Bahn betrieben. Die direkten Bahnanschlüsse von Unternehmen sind über die Jahre immer weiter zurückgegangen und liegen laut dem Verband Deutscher Verkehrsunternehmen (VDV) mittlerweile nur noch bei 2000. 1997 gab es noch ca. 10.000 solcher Zugänge zum Schienennetz. Als Beispiel für einen unternehmenseigenen Anschluss kann

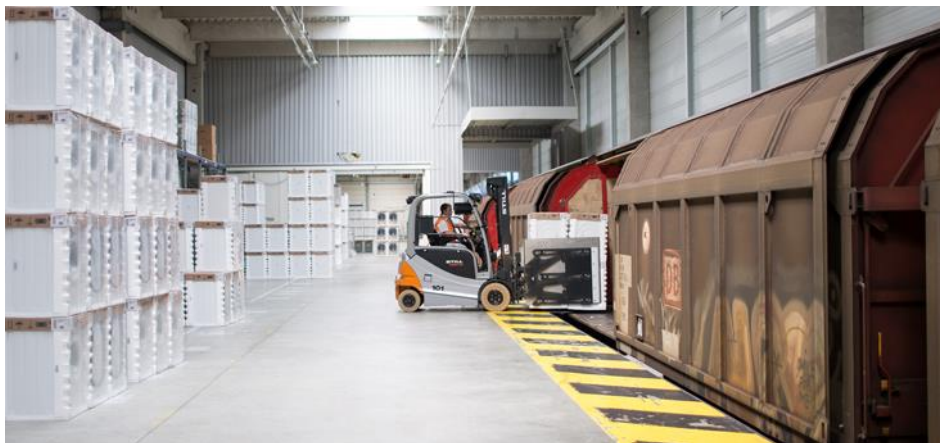


Abbildung 18: Unternehmenseigener Gleisanschluss BSH Hausgeräte GmbH

die BSH Hausgeräte GmbH aufgeführt werden. Durchschnittlich 3 Mal pro Woche kommt hier ein

kompletter Güterzug mit je 8.750 Wäschetrocknern am Standort im brandenburgischen Nauen an, was ca. 50 LKW-Fahrten spart. Im Straßengüterverkehr ist die Komplexität der Infrastrukturknotenpunkte wesentlich geringer. Straßenkreuzungen und Autobahnauffahrten können hier als Beispiele aufgeführt werden, wobei die wichtigsten Knotenpunkte auch hier Umschlagplätze/Umschlagbahnhöfe und unternehmenseigene Auffahrten/Abladestellen sind. Jedes Unternehmen, dessen Kerngeschäft durch Güterbewegungen geprägt ist, verfügt i.d.R. über eine private Auffahrt mit Ablademöglichkeiten für einen LKW (siehe Beispiel in Abbildung 19). Grundsätzlich ist es für die Fahrzeuge auf dem Straßennetz möglich zu überholen, sofern dies kein Verkehrsschild verbietet und die Verkehrssituation es zulässt. Im Vergleich der Verkehrsträger ergibt sich ein deutlicher Flexibilitäts- und Servicevorteil des Straßengüterverkehrs gegenüber dem Schienengüterverkehr. Da es auf der Schiene nur sehr begrenzte Möglichkeiten gibt, die Beförderungsgüter direkt beim Kunden abzuliefern oder auf einen anderen Verkehrsträger umzuladen, ist es nicht von der Hand zu weisen, dass die letzten Kilometer vom Zielbahnhof bis zum Bestimmungsort beim Kunden durch einen anderen Verkehrsträger (i.d.R. durch den Straßengüterverkehr) erbracht werden müssen. Diese Problematik wird auch als Last-Mile-Problematik bezeichnet. Außerdem besteht durch festen Rad-Schiene-Kontakt eine gewisse Inflexibilität, wenn man diese Gegebenheit mit dem Reifen-Straße-Kontakt vergleicht, bei dem es jederzeit möglich ist, die Spuren zu wechseln oder sich nach Belieben zu bewegen.^{19 20 21 22 23}



Abbildung 19: Abladetur eines Unternehmens

¹⁹ Vgl. Lübke, D. & Hecht, M. (2008)

²⁰ Vgl. Hintergrund : Die wichtigsten Güterbahnhöfe in Deutschland. (2007, November 2). Tagesspiegel

²¹ Vgl. Überblick: Wie der Güterzug länger werden kann. (2020, Februar 6). Allianz pro Schiene

²² Vgl. Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Verkehr und Kommunikation. (2000)

²³ Vgl. 7.800 Lkw-Fahrten weniger jedes Jahr: BSH Hausgeräte setzt auf den Güterzug. (2017, Juni 28). Allianz pro Schiene

Um den Betrieb auf der jeweiligen Infrastruktur zu gewährleisten, gibt es eine bestimmte Signal- und Steuerungstechnik, die dem Beförderungsmittel und Bediener gezielte Anweisungen hinsichtlich der einzuhaltenden Verhaltensweise auf einem folgenden Streckenabschnitt erteilt und dazu beiträgt, dass der Verkehr koordiniert werden kann. Im Schienengüterverkehr gibt es so genannte Stellwerke, die sowohl in mechanischer als auch elektrischer Ausführung vorliegen können und dafür zuständig sind, dass die richtige Weichenstellung erfolgt ist, damit der anfahrende Zug in die vorgesehene Richtung fährt. Durch Leuchtsignale wird der Lokführer auf mögliche Haltezeichen oder geänderte Geschwindigkeitsbeschränkungen aufmerksam gemacht und die Sicherungstechnik überwacht durch Sensorik das Einhalten dieser Fahrhinweise. Bei Nichteinhaltung (z.B. Überfahren eines Haltzeichens) wird der Zug automatisch gebremst. All diese Sicherheits-, Leit- und Signaltechnik scheint sehr stör anfällig zu sein, wenn man die Ursachen für Verspätungen im Schienenverkehr betrachtet. Netzbedingte und Störungen in der Leit- und Sicherungstechnik sind im Personenverkehr für rund 25% aller Verspätungen verantwortlich und können auch für den Güterverkehr als relevante Verspätungsursache übernommen werden, da die gleiche Infrastruktur verwendet wird. Im Straßenverkehr gelten bestimmte Verkehrsregeln, die jeder Verkehrsteilnehmer mit Bestehen seines Führerscheins beherrscht und welche für die Gewährleistung des Verkehrsflusses wichtig sind. Des Weiteren kommen Verkehrsschilder und Ampelsysteme zum Einsatz, die den Verkehr an Kreuzungen regeln. Fallen Ampelsysteme aus, gibt es Alternativregeln, die sofort greifen (entweder regelt die Polizei den Verkehr oder es wird nach Schildern gefahren). Im Vergleich kann festgehalten werden, dass der Schienengüterverkehr stark von der infrastrukturellen Systemtechnik abhängt und diese recht störungs anfällig ist. Hinzu kommt, dass im Fall eines Störfalles der komplette Betrieb auf der Schiene zum Erliegen kommt und alle Züge auf der betroffenen Strecke warten müssen, bis die Störung behoben wurde.^{24 25 26}

Zusammenfassend können für den Vergleich der Infrastruktur folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Das Straßenverkehrsnetz ist flächendeckender, verfügt über bessere Anbindungen und Alternativrouten

²⁴ Vgl. Ahn, M. (2019, Dezember)

²⁵ Vgl. Stellwerke und Zugbeeinflussung

²⁶ Vgl. Keller, S. (2020b, Mai 18)

- Die letzten Kilometer vom Zielbahnhof bis zum Bestimmungsort beim Kunden müssen oftmals aufgrund der nicht vorhandenen unternehmenseigenen Gleisanschlüsse vom Straßengüterverkehr überbrückt werden (Last-Mile-Problem)
- Der Schienengüterverkehr ist störungsanfälliger und aufgrund des festen Schiene-Rad-Kontakts zu inflexibel, um im Störfall Alternativrouten wählen zu können

2.3. Prozessbezogene Aspekte

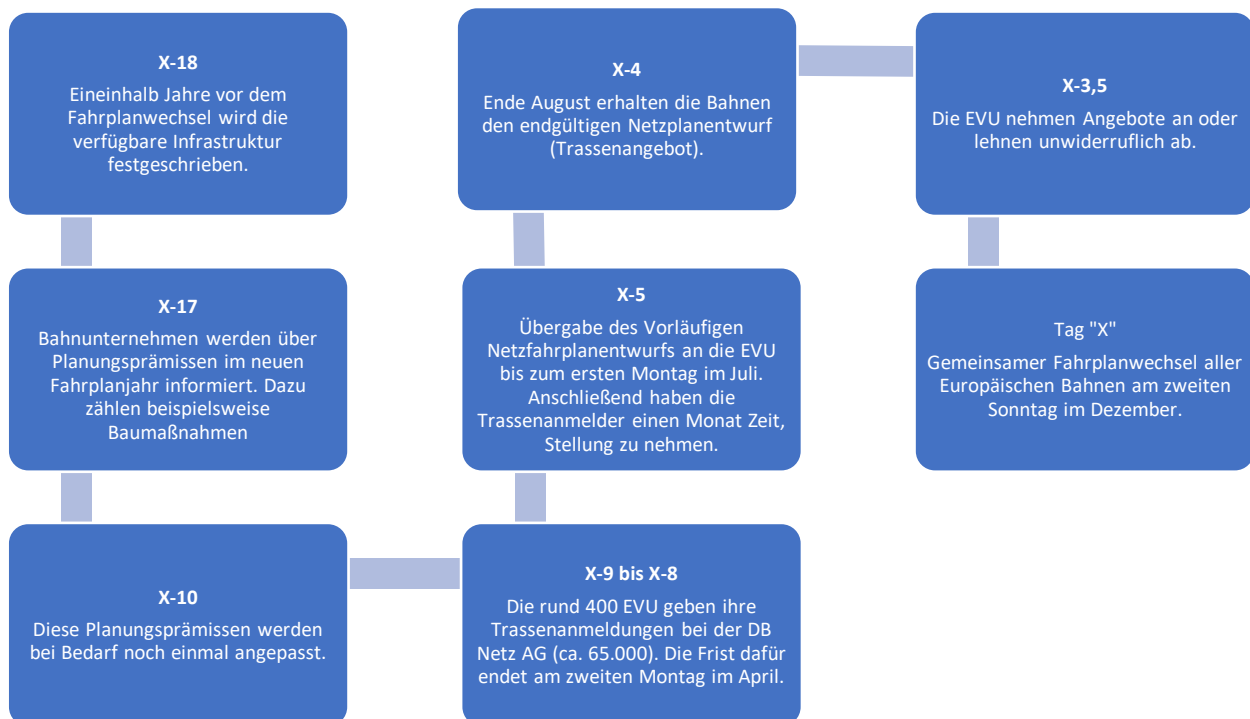


Abbildung 20: Ablauf Fahrplanerstellung der DB Netz AG

Der gesamte Prozess im Schienengüterverkehr beginnt mit der Planung des zeitlichen Ablaufs der Zugfahrten. Da fast das gesamte deutsche Schienennetz von der DB Netz AG betrieben und verwaltet wird, ist das Unternehmen auch für die Gestaltung eines Fahrplans zuständig. Dass dies ein sehr komplexer Vorgang ist, wird spätestens deutlich, wenn man bedenkt, dass täglich für 40.000 Personen- und Güterzüge ein passender, freier Streckenabschnitt gefunden werden kann. Etwa 140 Netzfahrplan-Konstrukteure der DB Netz AG arbeiten hinter den Kulissen daran, dass in 18 Monaten aus knapp 65.000 Verkehrsanmeldungen von über 400 EVU ein robuster Netzfahrplan entstehen kann. Dabei werden mehrere Phasen durchlaufen bis das Endresultat betrachtet werden kann (siehe Abbildung 20). Die erste Phase beginnt eineinhalb Jahre im Voraus und beinhaltet die Festschreibung der verfügbaren

Infrastruktur, d.h. es wird überprüft, welche Streckenabschnitte der Infrastruktur für die durchzuführenden Fahrten im Planungszeitraum verwendet werden können. Die zweite Phase beginnt nur einen Monat später und sieht vor, die Bahnunternehmen über Planungsprämissen wie beispielsweise Baumaßnahmen zu informieren. In der dritten Phase, 10 Monate vor Planungsende, werden die Planungsprämissen gegebenenfalls noch einmal angepasst, bevor es 1-2 Monate später mit der Phase 4 weitergeht. Hier werden die rund 65.000 Trassenanmeldungen bearbeitet und in einem vorläufigen Fahrplan untergebracht. Unter Trassenanmeldungen versteht man im Wesentlichen eine Willenserklärung, auf welchen Streckenabschnitten ein Eisenbahnverkehrsunternehmen ihre Züge fahren lassen möchte. In diesem Planungsschritt gilt es mithilfe des speziell entwickelten IT-System (Rechnerunterstütztes Trassenmanagement – Konstruktion, kurz: RUT-K) mögliche Konflikte auf den Strecken zu lösen, um einen zuverlässigen Fahrplan zu gewährleisten. 5 Monate vor der Fertigstellung des Plans wird der vorläufige Netzfahrplanentwurf in der Phase 5 den EVU übergeben, die dazu Stellung nehmen können. Einen Monat später folgt Phase 6, in der das endgültige Trassenangebot feststeht. Die EVU haben 2 Wochen Zeit, um die Angebote anzunehmen oder unwiderruflich abzulehnen, bevor der Fahrplan nach weiteren 3,5 Monaten in Kraft tritt. Eine Besonderheit in der weiteren Planung nach Veröffentlichung des Netzfahrplans ist der sogenannte Ad-Hoc-Verkehr. EVU haben die Möglichkeit kurzfristig bis 48 Stunden vor Abfahrtszeit Trassen anzumelden. Rund 800 Ad-Hoc-Trassenkonstrukteure der DB Netz AG prüfen dann, ob noch Kapazitäten zur Verfügung stehen und erstellen im positiven Fall einen Einzelfahrplan, welcher innerhalb von 24 Stunden angenommen werden muss. Im Straßengüterverkehr muss man zunächst zwischen Unternehmen, die ihre Ware mit eigenem Fuhrpark ausliefern, und Speditionen, die als Dienstleister mit ihren Fahrzeugen den Transport von Waren für ein anderes Unternehmen durchführen, unterscheiden. Die Speditionen holen die Waren gegen Bezahlung in gewünschter Quantität, am gewünschten Ort, zum gewünschten Zeitpunkt ab und liefern diese beim Kunden aus. Die Unternehmen mit eigenen Fahrzeugen beladen diese an einem ihrer Standorte und beliefern den oder die Kunden direkt. Ergänzend können diese Unternehmen die Hilfe von Speditionen in Anspruch nehmen, wenn die eigene Auslastungskapazitätsgrenze erreicht ist. Grundsätzlich geht es bei der Tourenplanung immer darum, die eigene Fahrzeugflotte maximal auszulasten, um einen kosteneffizienten Transport zu ermöglichen, und die vereinbarte Lieferzeit einzuhalten. Die Planung selbst läuft für die beiden Logistikkösungen i.d.R. ziemlich ähnlich ab, wobei die Speditionen aufgrund der Abholungen der Waren an verschiedenen Standorten der Kunden und zu unterschiedlichen Zeitpunkten einen wesentlich höheren Planungsaufwand haben. An eine Arbeit ohne Softwareunterstützung ist hier gar nicht zu denken, um die komplexen Planungsaufgaben mit Einbeziehung der kundenspezifischen

Restriktionen durchführen und koordinieren zu können. Es gibt allerdings auch Unternehmen mit eigenem Fuhrpark (meist kleinere Unternehmen mit geringer Anzahl an Fahrzeugen), die ihre Tourenplanung ohne jegliche optimierende Software komplett im Kopf durchführen und die entwickelten Routen auf einer Karte abstecken. Beim Vergleich der beiden Planungsgegebenheiten der betrachteten Verkehrsträger ergibt sich eine gewisse Inflexibilität im Schienengüterverkehr durch die Fahrplangebundenheit. Der Straßengüterverkehr kann deutlich besser und flexibler auf kurzfristige Kundenanfragen reagieren und ist dabei von keinem von außen festgelegten Fahrplan abhängig.^{27 28 29}

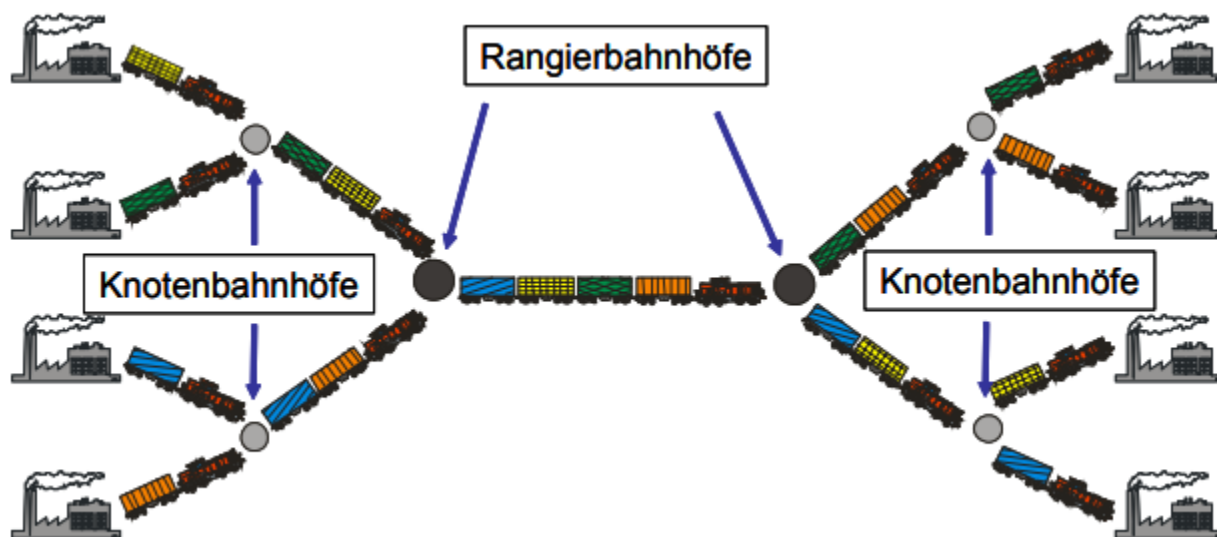


Abbildung 21: Schema des Rangierprozesses im Einzelwagenverkehr

Der Betrieb des Schienengüterverkehrs ist ein sehr komplexer Vorgang, bei dem man grundsätzlich zwischen Kombiniertem, Einzelwagen- und Ganzzugverkehr unterscheidet und ca. 40% der Tonnenkilometer auf den Kombinierten Verkehr und 60% auf den Wagenladungsverkehr (Einzelwagen- und Ganzzugverkehr) entfallen. Der Kombinierte Verkehr ist dadurch gekennzeichnet, dass die Ladeeinheiten (Container, Wechselbrücken, LKW-Sattelaufleger) für eine gewisse Strecke auf der Schiene transportiert werden und dann in einem Umschlagbahnhof auf einen anderen Verkehrsträger umgeladen werden. Zum Beispiel werden die Container in einem solchen Bahnhof per Kran von Güterwagen auf den LKW geladen und von diesem zum Zielbestimmungsort transportiert. Ganzzugverkehr bedeutet, dass der

²⁷ Vgl. Wie wird bei der DB der Fahrplan erstellt? (2015, Januar 7). [Video]

²⁸ Vgl. Deutsche Bahn AG. (2016, Dezember). Faktor X oder: Die hohe Kunst des Fahrplans

²⁹ Vgl. Ohrt, C. & Preßmar, P. D. D. D. B. (2008) S. 5 ff

gesamte Zug mit all seinen Güterwagen beim Versender abfährt und in unveränderter Form beim Empfänger ankommt. Beim Einzelwagenverkehr hingegen werden einzelne Wagen in der Region oder beim Versender selbst abgeholt und zu einem Rangierbahnhof gebracht. Hier werden diese rangiertechnisch behandelt und zu Zügen zusammengestellt, die jeweils zu einem gemeinsamen Zielbahnhof fahren und dort entweder ihren Bestimmungsort erreicht haben oder nochmals umrangiertechnisch werden. Im Rangierprozess können verschiedene Verfahren zum Einsatz kommen, die unterschiedliche Leistungsfähigkeiten aufweisen. Beim Umsetzverfahren werden die Wagen an ein Triebfahrzeug angekuppelt und durch Rangierfahrten einzeln bewegt bzw. ihren Zügen zugeteilt. Die Leistungsfähigkeit ist hier relativ gering, da für jeden Wagen eine Fahrt notwendig ist. Ein weiteres Verfahren ist das Abstoßverfahren. Dabei ordnet ein Triebfahrzeug die nicht gekuppelten Wagen ihren Zügen zu, indem sie diese beschleunigt und abstößt. Über Weichenstellungen werden die weiterrollenden Wagen dann ihren jeweiligen Zielgleisen zugeteilt und vom Rangierpersonal mithilfe von Hemmschuhen gebremst. Die Effizienz ist zwar höher als beim Umsetzverfahren, aber aufgrund des hohen Personalaufwands noch nicht optimal. Das wohl effizienteste Verfahren ist das Ablaufverfahren. Hier laufen die vorentkuppelten Wagen eine geneigte Ebene (Ablaufberg) hinunter und werden durch entsprechende Weichenstellungen in die Zielgleise einsortiert. Bei dieser Methode besteht das größte Automatisierungspotenzial, da keine Triebfahrzeuge benötigt werden. Befinden sich die Güterwagen an der richtigen Position im Zug, werden

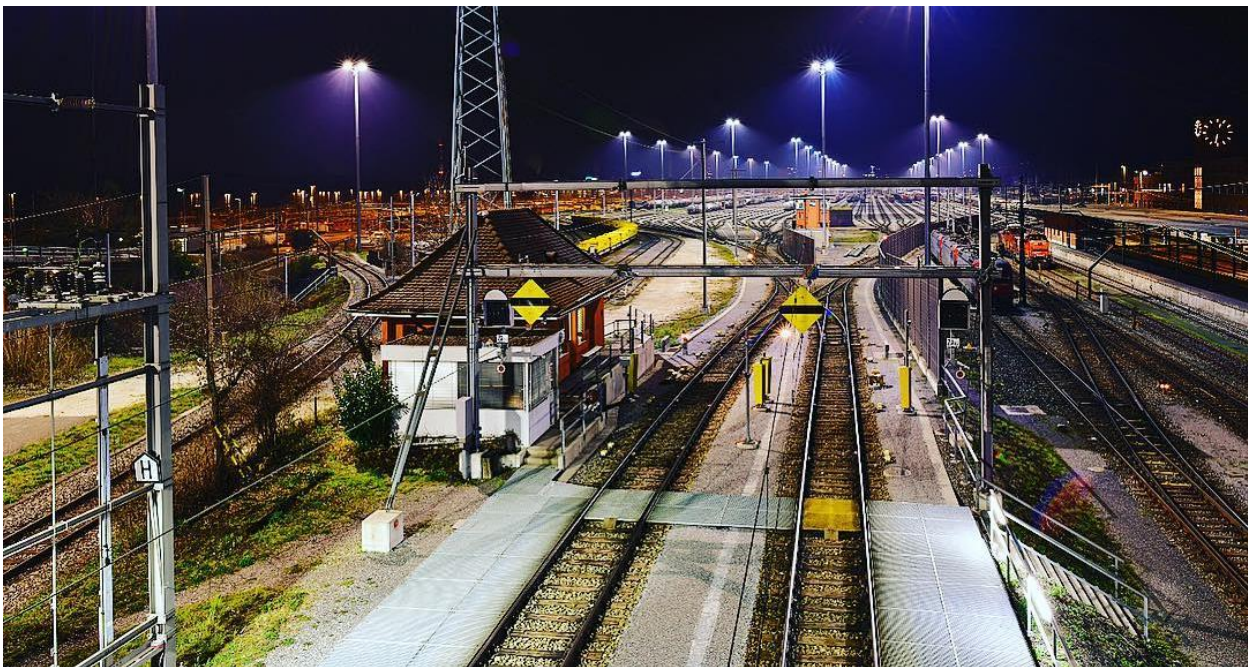


Abbildung 22: Rangierbahnhof mit Ablaufberg

die Kupplungen von einem Mitarbeiter geschlossen und der gesamte Zug vom Wagenmeister kontrolliert. Er überprüft, ob die Ladung richtig gesichert ist und alle Türen geschlossen sind. Außerdem führt er die

Bremsprobe durch, bei der er durch ein akustisches Verfahren feststellt, ob alle Bremsen gelöst sind. Der Rangierprozess kann somit bis zu 70 Minuten dauern, bis der Zug abfahrtbereit ist, und ist von einem hohen Personalaufwand mit vielen manuellen Tätigkeiten geprägt. Im Straßengüterverkehr entfällt ein solches Verfahren komplett, sodass sich ein Nachteil in Hinblick auf die Pünktlichkeit im Schienengüterverkehr ergibt, da ein erheblicher Zeitverlust entstehen kann, wenn man bedenkt, dass der Rangierprozess für einen Güterwagen auf dem Weg zu seinem Bestimmungsort möglicherweise mehrmals durchgeführt werden muss. Ein weiterer Nachteil kommt durch die Abhängigkeit der jeweiligen Pünktlichkeiten der einzelnen Güterwagen hinzu, die wiederum davon abhängen, ob die jeweiligen Verloader im Zeitplan bleiben oder sich verspäten. Auch hier kann ein erheblicher Zeitverlust entstehen, wenn mehrere Verloader unpünktlich sind und sich der Zeitverlust pro Güterwagen kumuliert.^{30 31 32 33 34}

35

Während des Fahrbetriebs auf den Schienen gibt es einige Besonderheiten, die beachtet werden müssen.

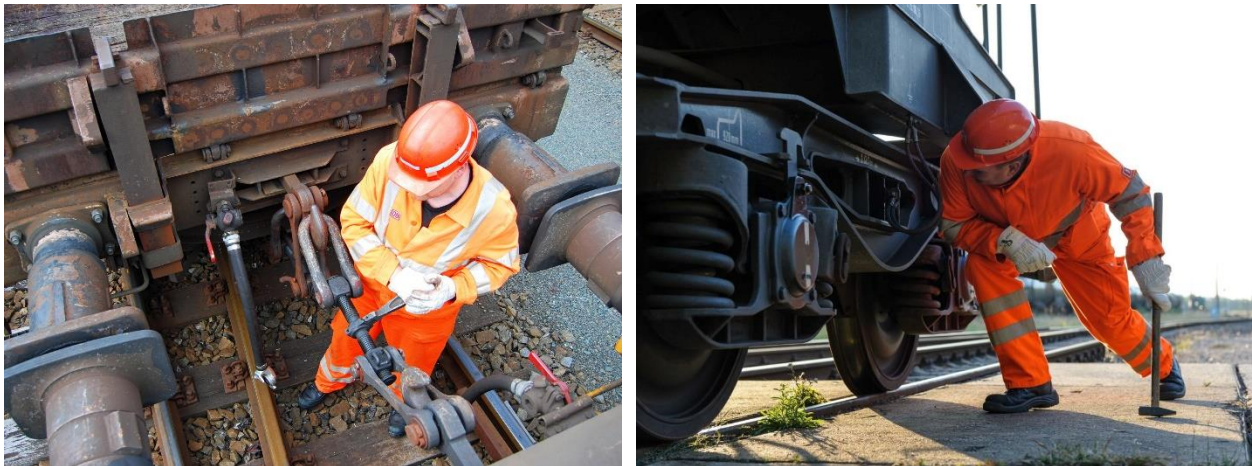


Abbildung 23: Wagenmeister bei der Kontrolle des zusammengestellten Zugs

Grundsätzlich gilt, dass tagsüber Personenzüge Vorrang haben und die Güterzüge somit u.U. warten müssen. Nachts ist es umgekehrt, sodass die meisten Güterzüge zu diesen Zeiten verkehren. Bei Grenzübergängen gilt an den meisten europäischen Grenzen, dass der Lokführer und das Triebfahrzeug

³⁰ Vgl. Railistics, Sauerbrey, U. & Esser, K. (2005)

³¹ Vgl. Einzelwagenverkehr - VDV - Die Verkehrsunternehmen

³² Vgl. Einzelwagenverkehr im Schienengüterverkehr. (2002, September 13)

³³ Vgl. Lkw, Güterzug und Binnenschiff: Was ist Kombierter Verkehr? (2016, Dezember 19)

³⁴ Vgl. Pahl, J. (2008) S. 261 ff

³⁵ Vgl. Größter Rangierbahnhof Europas | Galileo | ProSieben. (2015, Juli 5). [Video]

gewechselt werden muss. Das hat hauptsächlich technische und sprachliche Gründe. So gibt es beispielsweise je nach Land unterschiedliche Stromsysteme, die das Triebfahrzeug mit Elektrizität versorgen und dieses dementsprechend ausgelegt sein muss. Außerdem kommen andere Leit- und Sicherungssignale im Bahnbetrieb zum Einsatz, die ausländische Lokführer ohne spezielle Schulung nicht deuten bzw. befolgen können. Ein solcher Fahrer- und Fahrzeugwechsel inklusive Übergabe der Frachtpapiere an der Grenze kann bis zu 30 Minuten dauern. Im Straßenverkehr hingegen gibt es keine Priorisierung von Verkehrsteilnehmern, sodass sowohl gewerbliche als auch private Fahrzeuge im Straßennetz gleichberechtigt sind und gleichzeitig die Straßen nutzen können. Somit kommt es hier zu keinen Verzögerungen aufgrund von priorisiertem Verkehr, allerdings besteht auf viel befahrenen Straßen wie der Autobahn eine erhöhte Staugefahr, wodurch auch der LKW Zeitverluste einbüßen kann. Die Grenzen zu EU-Mitgliedsstaaten kann der Straßenverkehr i.d.R. problemlos überqueren, ohne anhalten zu müssen, da ein freier Warenverkehr auf dem Binnenmarkt herrscht. Es ergibt sich also auch in diesem Aspekt ein zeitlicher Nachteil für den Schienengüterverkehr.^{36 37}

Grundsätzlich werden alle Aktivitäten auf dem Schienennetz von den Leitstellen erfasst, welche für die Koordinierung des Bahnbetriebs in ihrem jeweiligen Gebiet zuständig sind. Relevante Daten der Züge und Infrastruktur laufen hier zusammen, werden analysiert und bewertet. Auf Grundlage dieser Bewertungen werden anschließend koordinative Maßnahmen eingeleitet, die den Lokführern entweder über die Signaltechnik oder direkt per Telekommunikation mitgeteilt werden. Beispielsweise werden Überholvorgänge von langsameren Güterzügen durch schnellere Personenzüge durch die Leitstellen koordiniert, indem sie dem jeweiligen Lokführer Anweisungen geben, wo er auf die Überholung warten soll etc. Trotz der Überwachung des Betriebs ist es bisher nicht möglich, die einzelnen Güterwagen per Echtzeit zu verfolgen, da diese mit keiner entsprechenden Technologie ausgerüstet sind. Sie können also nicht im Einzelnen erfasst werden und der Kunde somit nicht über eine voraussichtliche Ankunftszeit informiert werden. Im Straßengüterverkehr wissen die Disponenten der Speditionen i.d.R. genauestens Bescheid, wo sich ihre LKW befinden, da diese meistens mit GPS ausgestattet sind. Durch diese Art der Überwachung kann die Fahrt koordiniert und die Route bei Bedarf optimiert werden (z.B. bei Stau). Im Vergleich ergibt sich also der Vorteil des Straßengüterverkehrs, dass die Speditionen wesentlich flexibler in die Fahrt eingreifen können und jederzeit die Position ihrer Fahrzeuge bzw. der Ware der Kunden

³⁶ Vgl. dpa (2019, Dezember 26)

³⁷ Vgl. Völklein, M. (2017, Dezember 3)

bestimmen können. Die Kunden können besser und genauer über voraussichtliche Ankunftszeiten informiert werden, wodurch auch sie eine höhere Planungssicherheit erzielen.^{38 39}

Um die Sicherheit auf den Schienen zu gewährleisten, ist in erster Linie ein gutes Zusammenspiel der infrastrukturellen und betriebstechnischen Gegebenheiten als auch das menschliche Handeln von großer Bedeutung. Zunächst einmal müssen die EVU ein gültiges Sicherheitsmanagementsystem nach gewissen Anforderungen vorweisen können, um von der Aufsichtsbehörde eine gültige Sicherheitsbescheinigung zu erhalten. Diese Bescheinigung ist für die Betriebszulassung unumgänglich und verliert ihre Gültigkeit nach 5 Jahren. Während der Zugfahrt sorgen die bereits erwähnten Signal- und Sicherungstechniken für eine gewisse Betriebssicherheit auf den Schienen. Informationen über vor ihm liegende Gleisabschnitte und Geschwindigkeitsbegrenzungen erhält der Lokführer über entsprechende Licht-, Schreib- oder elektronische Signale. Werden solche Signale ignoriert, kann der Zug durch Zugbeeinflussungssysteme automatisch gebremst werden. Bei Geschwindigkeiten des Schienengüterverkehrs kommt ausschließlich das punktförmige Zugbeeinflussungssystem zum Einsatz, welches Sensoren verwendet, um Messwerte an einem bestimmten Punkt und zu einem bestimmten Zeitpunkt zu erfassen. Je nach gemessenem Wert wird der Zug beeinflusst bzw. abgebremst oder nicht. Zusätzlich kommt die Sicherheitsfahrerschaltung (SiFa) zum Einsatz, die den Lokführer alle 30 Sekunden dazu auffordert, ein Pedal oder einen Taster zu betätigen und den Zug automatisch bremst, sobald der Lokführer diesen nicht rechtzeitig betätigt und somit evtl. handlungsunfähig ist. Im Straßenverkehr wird die Verkehrssicherheit grundsätzlich von der Polizei überwacht. So werden beispielsweise die Geschwindigkeiten mit mobilen oder fest installierten Radarmessgeräten kontrolliert und Verstöße mit Bußgeldern geahndet. Außerdem werden vor Tunneln Höhenkontrollen durchgeführt, die ab einer Höhe des Fahrzeugs von 4,40m auslösen und Kollisionen präventiv verhindern sollen. Auch für die Fahrzeuge und Fahrer gibt es bestimmte Kontrollen, die von der Polizei und anderen Behörden wie dem Zoll oder der Gewerbeaufsicht, unregelmäßig, meist auf Autobahnen durchgeführt werden und die Einhaltung der Vorschriften sicherstellen sollen. Diese Kontrollen können das Feststellen des Zustands des Fahrzeugs, des zulässigen Gesamtgewichts oder die Einhaltung von gefahrgutrechtlichen Vorschriften oder von Ruhe- und Lenkzeiten beinhalten. Demnach muss zum Beispiel jeder neue LKW seit 2015 mit einem automatisierten Bremssystem ausgestattet sein. Es gibt allerdings noch zahlreiche weitere Sicherheitssysteme für LKW wie Frühwarnsysteme für Pausen, Abstandsregelungssysteme oder Kamerasysteme, die das Risiko des toten Winkels reduzieren sollen. Der

³⁸ Vgl. Heister, G. (2006) S. 149 ff

³⁹ Vgl. Lanzinger, R. (2019, August 28)

direkte Vergleich zeigt bereits, dass die stichprobenartigen Kontrollen auf der Straße gegenüber der permanenten Überwachung auf der Schiene eine höhere Sicherheit im Schienengüterverkehr verspricht. Auch der hohe manuelle menschliche Anteil am Betrieb im Straßengüterverkehr ist ein erhebliches Sicherheitsrisiko, wie man im Folgenden feststellen wird. Demnach hat auch die gesetzliche Arbeitszeitregelung einen Einfluss auf die Betriebssicherheit. Sie sieht vor, dass eine Fahrzeit höchstens 9 Stunden je Tagesschicht bzw. 8 Stunden je Nachtschicht betragen und die Gesamtfahrzeit innerhalb von

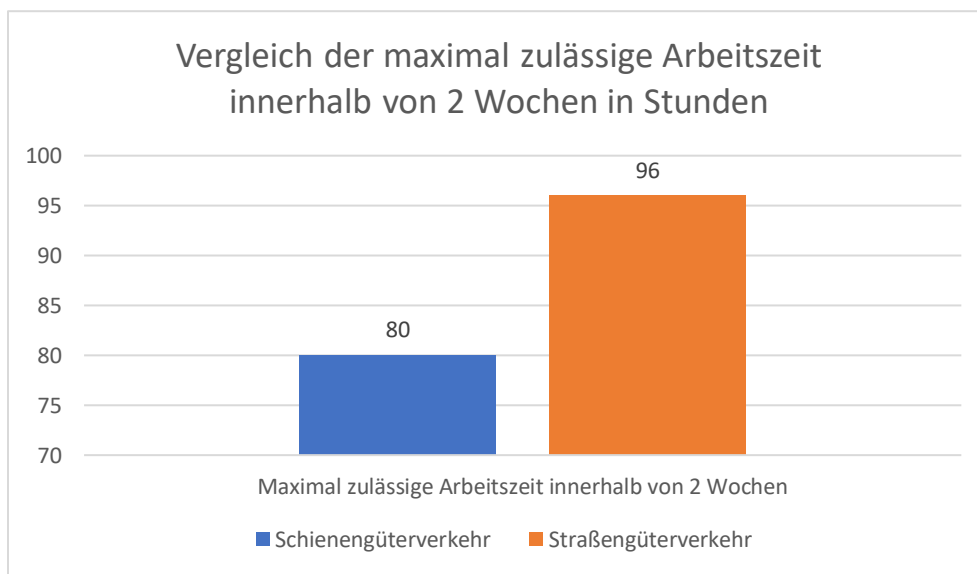


Abbildung 24: Vergleich der maximal zulässigen Arbeitszeit innerhalb von 2 Wochen

2 Wochen 80 Stunden nicht überschritten werden darf. Zusätzlich muss eine tägliche Ruhezeit von 12 aufeinander folgenden Stunden, eine tägliche Arbeitspause von 30-45 Minuten und eine zusammenhängende Mindestruhezeit von 24 Stunden (wöchentlich) eingehalten werden, was regelmäßig und institutionalisiert kontrolliert wird. Für den LKW-Fahrer hingegen gilt, dass er nicht mehr als 48 Stunden pro Woche arbeiten darf (in besonderen Fällen ist eine Erweiterung pro Woche auf 60 Stunden erlaubt). Die maximale Lenkzeit beträgt 9 Stunden täglich, kann jedoch zwei Mal in der Woche auf 10 Stunden erhöht werden (maximal 56 Stunden wöchentlich). Dabei gilt, dass die Lenkzeit nicht gleich der Arbeitszeit ist, denn sie wird um andere Tätigkeiten wie das Be- und Entladen oder Reinigungsarbeiten ergänzt. Zusätzlich muss der LKW-Fahrer eine tägliche Ruhezeit von 11 Stunden und wöchentliche Ruhezeit von 45 Stunden einhalten, wobei auch hier von Ausnahmeregelungen Gebrauch gemacht werden kann. Bei Kontrollen werden die meisten Verstöße im Bereich der Arbeits- bzw. Lenkzeitregelungen verzeichnet, was sich wiederum auch in den Statistiken zu Unfallursachen widerspiegelt. Für den Vergleich der Verkehrsträger ist in Abbildung 23 die maximal zulässige Arbeitszeit innerhalb von 2 Wochen gegenübergestellt, wobei sehr leicht ersichtlich wird, dass im

Straßengüterverkehr länger gearbeitet werden darf.^{40 41 42} Zusätzlich muss dabei bedacht werden, dass der LKW-Fahrer durch sein Verhalten einen wesentlich höheren Anteil an der Betriebssicherheit hat als

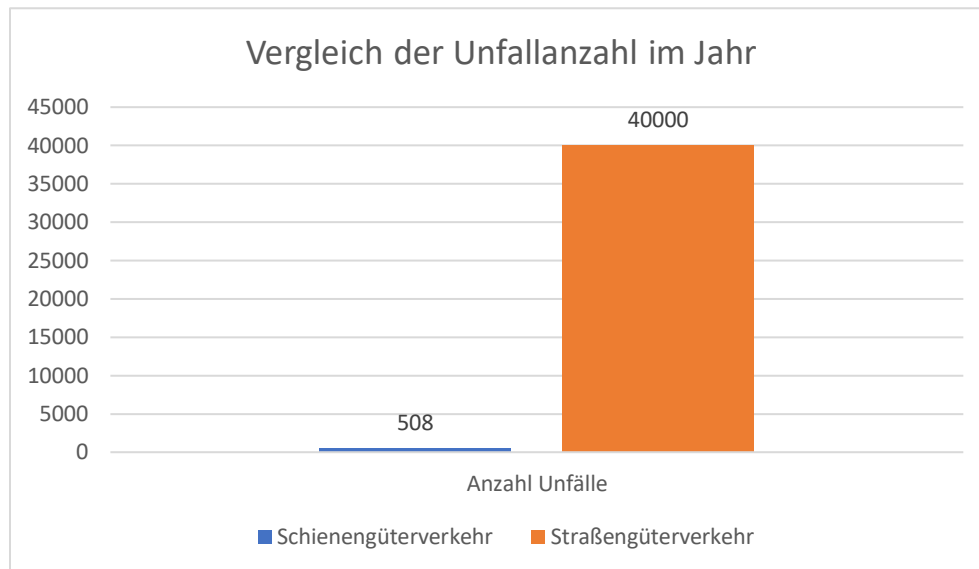


Abbildung 25: Vergleich der Unfallanzahlen im Jahr

der Lokführer, welcher durch diverse Sicherheitssysteme abgesichert ist. Auch die Unfallstatistiken belegen, dass der Straßenverkehr wesentlich unsicherer ist und der menschliche Faktor dabei eine große Rolle spielt. Die Abbildung 25 veranschaulicht den Vergleich der Unfallanzahl mit Beteiligung des jeweiligen Verkehrsträgers. So wurden im Jahr 2017 für Deutschland insgesamt 508⁴³ Unfälle im Schienenverkehr verzeichnet. Laut einer Studie entstehen die meisten Unfälle mit Todesfolge an Bahnübergängen oder durch rollende Fahrzeuge. Im selben Jahr kam es insgesamt zu knapp 40.000⁴⁴ Unfällen unter Beteiligung von Güterkraftfahrzeugen mit Personenschaden oder schwerem Sachschaden,

⁴⁰ Vgl. Sozial- und Sicherheitsstandards des Schienenverkehrs im Vergleich zum Straßenverkehr. (2003, November 28)

⁴¹ Vgl. Arbeitsrechte.de. (2020a, August 22)

⁴² Vgl. Arbeitsrechte.de. (2020b, August 23)

⁴³ Vgl. Vgl. Statista Research Department. (2020, August 5)

⁴⁴ Vgl. Statistisches Bundesamt (Destatis). (2019) S. 29

wobei laut einer Studie in 85,2% der Fälle menschliches Versagen, in 5,3% technische Mängel, in 5,1% Mängel an der Infrastruktur und in 4,4% die Wetterbedingungen die Ursache waren.^{45 46 47 48 49 50 51}

Es können also für den Vergleich des Betriebsprozesses der beiden Verkehrsträger folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Es herrscht eine gewisse Inflexibilität im Schienengüterverkehr durch die Fahrplangebundenheit, sodass der Straßengüterverkehr deutlich besser und flexibler auf kurzfristige Kundenanfragen reagieren kann
- Ein erheblicher Zeitverlust im Rangierprozess führt zu Unpünktlichkeit im Einzelwagenverkehr
- Es entsteht ein weiterer Zeitverlust beim Grenzübergang und durch Priorisierung des Schienenpersonenverkehrs
- Im Straßengüterverkehr können die einzelnen LKW per GPS-Ortung erfasst und die Kunden somit besser über voraussichtliche Ankunftszeiten informiert werden
- Der Schienengüterverkehr ist wesentlich sicherer als der Straßengüterverkehr

⁴⁵ Vgl. Hans Böckler Stiftung. (2010, Dezember) S. 26 ff

⁴⁶ Vgl. Überblick: So sicher ist der Zug. (2016, November 9)

⁴⁷ Vgl. bussgeldkatalog.org. (2020b, Mai 13)

⁴⁸ Vgl. bussgeldkatalog.org. (2020c, Mai 16)

⁴⁹ Vgl. Sicherheitssysteme für Lkw zur Unfallvermeidung. (2017, Mai 9)

⁵⁰ Vgl. Sicherheitssysteme im Fahrerhaus werden von Lkw-Fahrern begrüßt

⁵¹ Vgl. hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH & Hagenlocher, S. (2013)

2.4. Kostenaspekte

Die Kosten im Schienengüterverkehr sind sehr variabel und von diversen Faktoren abhängig. Je nach Bundesland können beispielsweise die Löhne für das Betriebspersonal oder die Trassenentgelte unterschiedlich sein, genau wie die Energiekosten je nach Triebfahrzeugart oder die Kosten je nach Art des Güterwagens variieren können. Grundsätzlich ist es möglich, die Kosten in folgende Blöcke zu gliedern, welche als direkte Betriebskosten bezeichnet werden können: Infrastrukturnutzungs-, Energie-, Triebfahrzeug-, Güterwagen- und Betriebspersonalkosten. Hinzu kommen Kosten für die Verwaltung des Eisenbahnunternehmens wie Vertrieb, Disposition, Buchhaltung etc. Laut Berechnungen der hwh – Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH würde die Kostenstruktur bei der Verwendung von Standard-Güterwagen so aussehen, dass 25% auf das Triebfahrzeug, 14% auf den

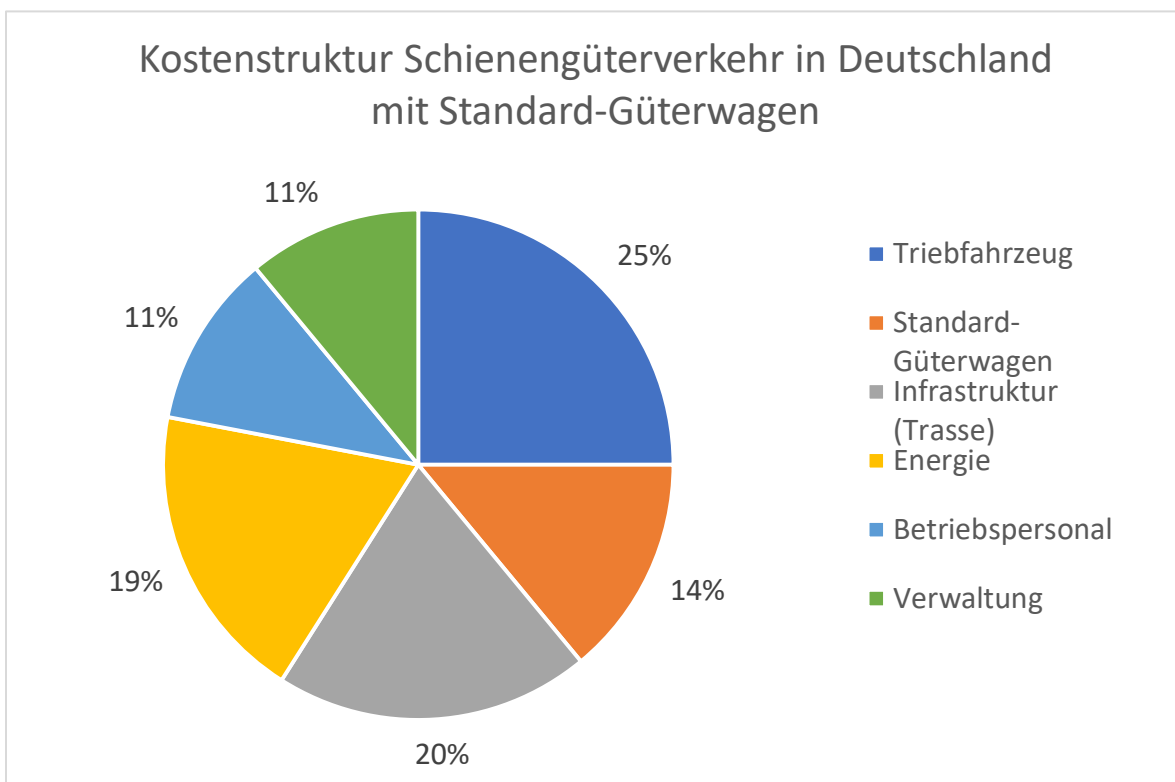


Abbildung 26: Kostenstruktur im Schienengüterverkehr

Standard-Güterwagen, 20% auf die Infrastrukturnutzung, 20% auf den Energieverbrauch, 11% auf das Betriebspersonal und 11% auf die Verwaltung entfallen (siehe Abbildung 26).

Die einzelnen Kostenbestandteile können aber noch differenzierter betrachtet werden. Die Infrastrukturnutzungskosten lassen sich in Trassennutzungsgebühren und Anlagekosten für die Nutzung von Gleisanlagen unterteilen und werden von den jeweiligen Infrastrukturbetreibern erhoben. In

Deutschland liegt der durchschnittliche Preis je Trassenkilometer bei 3,13 Euro (Stand 2020) und die Anlagekosten werden je nach Produktkategorie (Zugbildung und -auflösung, Bereit- und Abstellung und Disposition, Be- und Entladen) und den damit verbundenen Nutzungsobjekten sowie den anfallenden Nutzungsstunden berechnet. Somit fallen maximal 13,25 Euro pro Nutzungsstunde an. Die Energiekosten hängen zunächst einmal von der Traktionsart der Lokomotive ab. Für eine E-Lok werden die entsprechenden tageszeitspezifischen Strompreise verrechnet, während für eine Lokomotive mit Dieseltraktion die stark schwankenden Preise des Dieselmotorkraftstoffs in die Berechnung einfließen. Außerdem hängt der Energieverbrauch des Zugs vom Zuggewicht, Streckenprofil (flache, hügelige, bergige Strecke), Fahrverhalten des Lokführers sowie vom Betriebsfluss (Anzahl erforderlicher Betriebshalte z.B. durch Überholungen von Zügen des Personenverkehrs) ab. Lokomotiven mit Elektrotraktion sind darüber hinaus in der Lage, Energie zurück in das Stromnetz zu speisen, wodurch der Energieverbrauch reduziert werden kann. Der durchschnittliche Preis für Strom lag 2019 für Großkunden bei knapp 0,16 Euro pro kWh und für Dieselmotorkraftstoff bei ca. 0,96 Euro pro Liter. Die Triebfahrzeugkosten sind in erster Linie wieder von der Art der Lokomotive abhängig (Strecken- oder Rangierlokomotive und elektrisch oder dieselmotorkraftbetrieben). Neben weiteren Aspekten wie der Baureihe, dem Baujahr, der technischen Ausstattung und, ob sich die Lokomotive im Eigenbesitz befindet oder fremd angemietet ist, spielen auch die plan- und außerplanmäßigen Instandhaltungen und Kosten für Hauptuntersuchungen eine wesentliche Rolle. Bei eigenen Lokomotiven setzen sich Kosten aus Abschreibungen und Finanzierungskosten zusammen, während bei fremd angemieteten Triebfahrzeugen lediglich die Mietkosten mit einbezogen werden. Die Anschaffungskosten für eine E-Lok von ungefähr 3 Millionen Euro bei einem Abschreibungszeitraum von über 25 Jahren verdeutlicht, warum die Triebfahrzeugkosten den größten Anteil der Gesamtkosten ausmachen. Ähnliches gilt auch für die Güterwagen, jedoch muss hier berücksichtigt werden, dass diese i.d.R. zum Be- und Entladen einige Stunden/Tage stehen bleiben und die Kosten auch auf diese Zeit entfallen. Ein einzelner Güterwagen kostet in der Anschaffung ca. 70.000 Euro und wird über einen Zeitraum von 30 Jahren abgeschrieben. Ein kompletter Zug (1 Triebfahrzeug und 25 Güterwagen) kostet also rund 5 Millionen Euro und verbleibt oftmals im Besitz des EVU, da es kaum einen Markt für Gebrauchtfahrzeuge gibt. Die Personalkosten des Betriebspersonals teilen sich auf die Tätigkeiten des Lokführers, Wagenmeisters (stellt den einwandfreien Zustand des Zugs sicher) und Rangierers auf und sind dabei vom Entgeltniveau des jeweiligen Bundeslandes bzw. der Region abhängig. Die durchschnittlichen Jahresgehälter liegen in Deutschland für den Lokführer bei 37.100 €, für den Wagenmeister bei 40.700 € und für den Rangierer bei 35.700 €. Die indirekten Kosten, die in die Transportkosten einfließen, können in die Blöcke Produktionssteuerung, Vertrieb und Verwaltung

unterteilt werden. Die Produktionssteuerung beinhaltet dabei die Vorgänge der Einsatzplanung von Triebfahrzeugen, Güterwagen und Personal, während sich die Kosten des Vertriebs und der Verwaltung u.a. auf den Personalbereich, Controlling und Finanzbuchhaltung, und Geschäftsführung beziehen.^{52 53 54}

55 56 57 58 59 60 61

Auch die Kosten im Straßengüterverkehr sind sehr variabel und werden von mehreren Faktoren beeinflusst. Einige Kostenarten sind kilometerabhängig und andere zeitabhängig, was bedeutet, dass die Kostenblöcke sich beispielsweise je nach Nah- oder Fernverkehr stark voneinander unterscheiden können. So machen die Personalkosten im Nahverkehr mehr als 50% aus, wohingegen die variablen bzw. kilometerabhängigen Kosten den größten Kostenblock im Fernverkehr darstellen. Folgende Kostenarten werden dabei für die Kostenkalkulation unterschieden: Beschaffungs- und Finanzierungskosten, Kraft- und Schmierstoffkosten, Reifenkosten, Wartungs- und Instandhaltungskosten, Personalkosten, Steuern und Versicherungen, Maut und Straßenbenutzungsgebühren. Die Kostenstruktur am Beispiel eines Gliederzugs der Schadstoffklasse EURO V mit einer Jahreslaufleistung von 130.000 km ist in Abbildung 27 dargestellt und könnte so aussehen, dass sowohl 30% der Kosten auf die Kraft- und Schmierstoffe als auch auf die Fahrerkosten entfallen. Die nächstgrößeren Kostenblöcke stellen die Verwaltung mit 10%, Mautgebühren mit 9% und Abschreibungen mit 8% der Kosten dar. Die restlichen Kosten teilen sich auf die Reparatur-, Reifen-, Versicherungs-, Steuer- und Zinskosten auf.

Die Beschaffungskosten beinhalten neben dem eigentlichen Kaufpreis sämtliche Kosten, die bis zur Einsatzbereitschaft des Fahrzeugs entstehen. Dazu zählen z.B. der Einbau von Zusatzgeräten,

⁵² Vgl. hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH, Hagenlocher, S. & Wittenbrink, P. (2015)

⁵³ Vgl. Brügelmann, B. (2003) S. 96

⁵⁴ Vgl. Lexoffice

⁵⁵ Vgl. Gewerbestrom: Vergleichen & günstigen Strom sichern

⁵⁶ Vgl. Entwicklung der Dieselpreise für Großverbraucher. (2020, August 17)

⁵⁷ Vgl. Durchschnittliche Trassenentgeltanpassung für 2020 in Höhe von 2,0% beabsichtigt

⁵⁸ Vgl. Das Anlagenpreissystem 2018 der DB Netz AG. (2017). DB Netze AG

⁵⁹ Vgl. Gehalt Rangierer/in | StepStone Gehaltsinformationen. (2020, August 29)

⁶⁰ Vgl. Welches Gehalt verdient man im Bereich Triebfahrzeugführer/in? Jahresgehälter, Berufserfahrung und vieles mehr | StepStone Gehälter. (2020, September 8)

⁶¹ Vgl. Gehalt Page / Wagenmeister | StepStone Gehaltsinformationen. (2020, September 13)

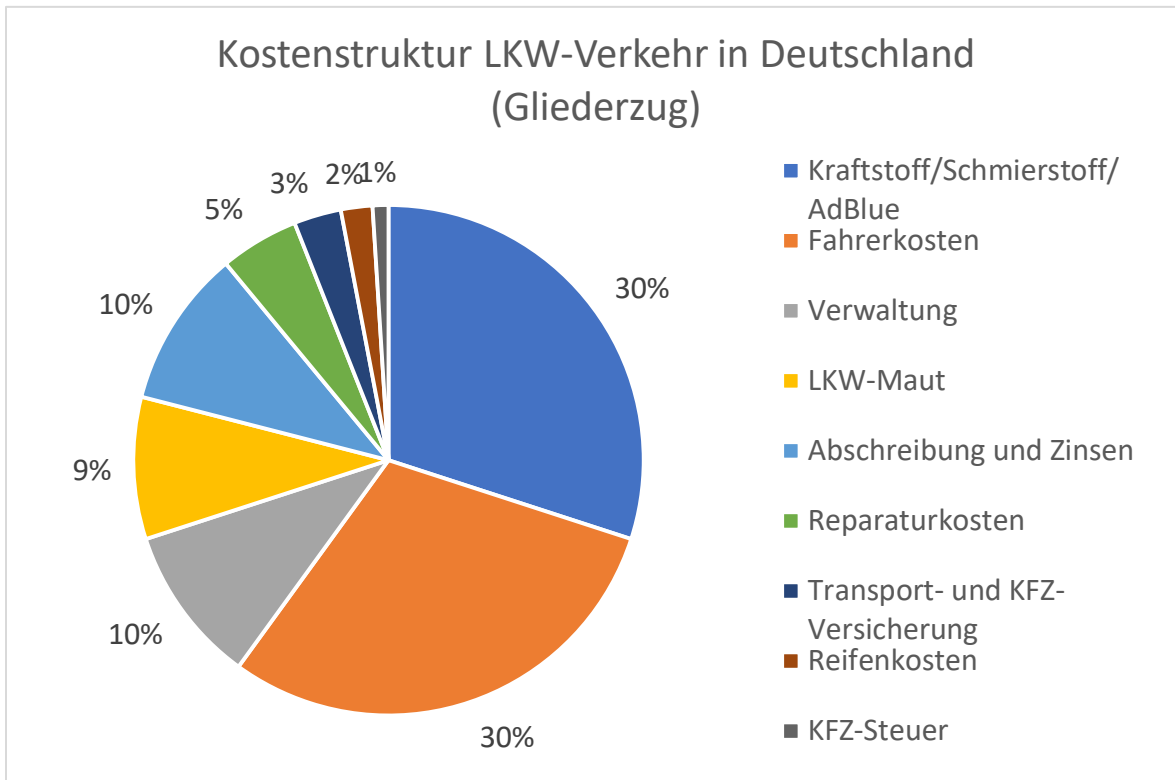


Abbildung 27: Kostenstruktur im Straßengüterverkehr

Zulassungskosten oder Überführungskosten. Des Weiteren lassen sich aus den Beschaffungskosten, die zur Kostenkalkulation notwendigen Größen wie die kalkulatorischen Zinsen und Abschreibungen ableiten. Die Anschaffungskosten für einen Euro 5 Gliederzug betragen um die 120.000 € bei einer Nutzungsdauer von 9 Jahren und kann nach der Nutzung problemlos für einen bestimmten Restwert weiterverkauft werden. Die Kraft- und Schmierstoffkosten stellen variable Kosten dar und setzen sich aus dem Dieserverbrauch je 100 km, Laufleistung des LKW, dem Dieselpreis bei Eigen- oder Fremdbetankung, dem Anteil der Eigen- und Fremdbetankung und dem Schmierstoffverbrauch in Prozent des Kraftstoffverbrauchs zusammen. Man kann mit einem durchschnittlichen Verbrauch von 30 l/100 km rechnen, wobei dieser stark von der Fahrweise, dem Gewicht und dem Streckenprofil abhängt. Für die Kraftstoffkosten kann man also von 0,29 € pro km und für die Schmierstoffkosten ca. 4% der Kraftstoffkosten, d.h. 0,012 € pro km, ausgehen. Da die Reifen eine wesentlich geringere Laufleistung als der LKW aufweisen, müssen diese bei einem Fernverkehrs-LKW z.B. nach 120.000 bis 150.000 km bzw. zwei Mal im Jahr ersetzt werden. Der Motorwagen und der Auflieger bzw. Anhänger müssen dabei separat kalkuliert werden, da der Verschleiß der Reifen unterschiedlich ausfällt. Bei einer Anzahl von auszutauschenden Reifen von 6 und Kosten pro Reifen von 450 € werden hier 2.700 € alle 150.000 km fällig (0,02 € pro km). Die Wartungs- und Instandhaltungskosten können in drei wesentliche

Kostenkomponenten unterteilt werden. Dazu zählen geplante Wartungsarbeiten am Fahrzeug (z.B. Inspektionen, Austausch von Verschleißteilen usw.), ungeplante Instandhaltungsarbeiten (z.B. Austausch von Motor, Kühlung, etc.) und Instandsetzungen nach Unfällen. Werden die Reparaturen extern durchgeführt, kann der Rechnungsbetrag als Kosten herangezogen werden. Finden sämtliche Arbeiten im Unternehmen statt, ist es schwierig alle Kosten einzeln zu erfassen, sodass oftmals ein kilometerabhängiger Pauschalsatz herangezogen wird. Hier kann durchschnittlich mit 0,05 € pro km gerechnet werden. Die Personalkosten setzen sich aus mehreren Kostenpositionen zusammen. So müssen neben dem Fahrerlohn, den Prämien, dem Urlaubsgeld und der Spesen auch Zusatzkosten für Aushilfs- oder Backup-Fahrer berücksichtigt werden. Generell sind die Löhne aber sehr stark von der jeweiligen Region abhängig. In Deutschland kann von einem durchschnittlichen Jahresgehalt inklusive Spesen von 38.000 € ausgegangen werden. Die Steuern und Versicherungen gehören zum fixen Kostenblock und bestehen aus fahrzeug- und güterbezogenen Versicherungen sowie der KFZ-Steuer. Zu den fahrzeugbezogenen Versicherungen zählen beispielsweise die Haftpflicht-, Kasko- und Unfallversicherung, während die Transportversicherung den güterbezogenen Versicherungen zugehörig ist. Für die fahrzeugbezogenen Versicherungskosten kann von einer jährlichen Summe von 5.000 € ausgegangen werden. Die KFZ-Steuer lässt sich aus dem zulässigen Gesamtgewicht und der Emissionsklasse des LKW errechnen und beträgt für einen Euro 5 Gliederzug jährlich ca. 700 €. Auch die Straßenbenutzung stellt einen Kostenaspekt dar. So müssen gewisse LKW ab einem bestimmten Gewicht auf ausgewählten Strecken (meist Bundesfernstraßen) eine Mautgebühr zahlen, dessen Höhe maßgeblich von der Gewichts- und Schadstoffklasse abhängig ist. Der Euro 5 Gliederzug kostet somit 0,2 € pro km auf mautpflichtigen Strecken. Der letzte Kostenblock, der indirekt in die Kalkulation mit einfließt, sind die allgemeinen Verwaltungskosten. Hier werden Kosten des Marketings, Vertriebs, Disposition, Personalverwaltung, etc. als Gemeinkosten aufgeschlüsselt und verrechnet, sodass sich ein gewisser Zuschlagssatz ergibt.^{62 63 64 65}

Aus dem Vergleich der beiden Kostenstrukturen können mehrere Erkenntnisse gewonnen werden. Stellt man den Fixkostenanteil der beiden Verkehrsträger gegenüber, wird deutlich, dass der Schienengüterverkehr wesentlich fixkostenintensiver ist als der Straßengüterverkehr. Die gesamten

⁶² Vgl. hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH, Hagenlocher, S. & Wittenbrink, P. (2015)

⁶³ Vgl. LKW Autobahnmaut - Mautberechnung. (o. J.). KFZ-Auskunft

⁶⁴ Vgl. Entwicklung der Dieselpreise für Großverbraucher. (2020, August 17)

⁶⁵ Vgl. Interview bei der SALVANA TIERNÄHRUNG GmbH

Triebfahrzeug-, Güterwagen- und Verwaltungskosten stellen fixe Kosten dar und machen knapp 50% der Gesamtkosten aus, während der LKW durch Abschreibung, Zinsen, Verwaltung, Versicherung und KFZ-Steuer als fixe Kosten nur knapp 25% der Gesamtkosten verursacht. Aus dieser Tatsache folgt, dass der Schienengüterverkehr größere Mengen transportieren muss, um durch die Fixkostendegression geringe Transportkosten anbieten zu können. Des Weiteren betragen die Anschaffungskosten für ein Triebfahrzeug bei einer Abschreibungsdauer von 25 Jahren ca. 3 Millionen €. Die eines Güterwagens betragen 70.000 € bei einer Abschreibungsdauer von 30 Jahren. Vergleicht man diese Parameter mit den Anschaffungskosten eines LKW von ca. 120.000 € und einer Abschreibungsdauer von 9 Jahren, wird schnell deutlich, dass der Kapitalrückfluss im Schienengüterverkehr wesentlich länger dauert und somit das Geld für neue Investitionen/Innovationen fehlt. Hinzu kommt, dass es kaum einen Markt für gebrauchte Schienenfahrzeuge oder Güterwagen gibt. Da die DB Cargo AG den Großteil aller vorhandenen Lokomotiven und Güterwagen in Deutschland besitzt und diese auf ihrem Verkaufsportale nur selten zum Verkauf anbietet (vermutlich um die Konkurrenz nicht zu bedienen), ist es eher die Ausnahme, dass gebrauchte Fahrzeuge veräußert werden. Auch dieser Aspekt führt zu einem langsameren bzw. nicht existenten Kapitalrückfluss und es resultiert eine geringe Innovationsfähigkeit. Betrachtet man die Infrastrukturnutzungsgebühren der beiden Verkehrsträger ergibt sich ebenfalls ein Nachteil für den Schienengüterverkehr. Zunächst einmal müssen die EVU für jeden Streckenabschnitt Trassengebühren bezahlen, während die Mautgebühren für die LKW nicht auf das gesamte Straßenverkehrsnetz erhoben werden. Auch wenn der Trassenpreis mit 0,13 € je Trassenkilometer und Güterwagen günstiger ist als die

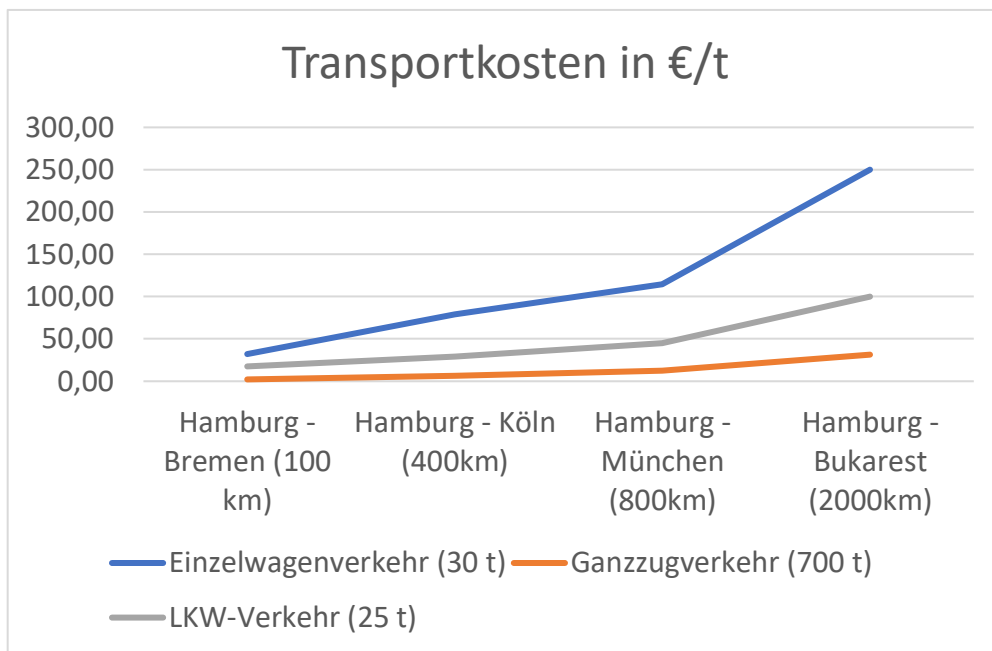


Abbildung 28: Vergleich der Transportkosten

Maut mit 0,2 € je Kilometer und LKW, bleibt der Nachteil, dass für jeden Streckenabschnitt gezahlt werden muss.⁶⁶

Um die Transportkosten für den Güterbesteller gegenüberzustellen, wurden die jeweiligen Preise für unterschiedliche Strecken und Sendungsgewichte untersucht. Die Abbildung 28 veranschaulicht den Vergleich zwischen Einzelwagen-, Ganzzug- und LKW-Verkehr mit den entsprechenden Sendungsgewichten. Die Transportkosten sind dabei beim Ganzzugverkehr aufgrund der Fixkostendegression bei hohen Transportmengen für alle Strecken am geringsten. Für kleinere Sendungsgewichte ist der LKW auf allen untersuchten Strecken am günstigsten. Generell macht ein Transport mit dem Güterzug durch die bereits angesprochene Last-Mile-Problematik erst ab einer Strecke von ca. 100 km Sinn, da bei kürzeren Entfernungen die nötigen Güterbahnhöfe fehlen, um die Ware effizient zu distribuieren.^{67 68 69}

Es können für den Vergleich der Kostenaspekte folgende Erkenntnisse festgehalten werden:

- Erst ab großen Transportmengen werden die hohen Fixkosten im Schienengüterverkehr auf die Ladungseinheiten verteilt, sodass sich geringe Transportkosten ergeben (Fixkostendegression)
- Durch hohe Anschaffungskosten und lange Abschreibungszeiträume, sowie die begrenzte Möglichkeit gebrauchte Triebfahrzeuge und Güterwagen zu veräußern, kommt es zu einem geringen und langsamen Kapitalrückfluss, der eine geringe Innovationsfähigkeit zur Folge hat
- Die EVU zahlen zwar weniger Infrastrukturnutzungsgebühren je Kilometer und Güterwagen, jedoch beziehen sich diese Gebühren auf alle Trassenstrecken, während Mautgebühren nur für ausgewählte Strecken anfallen
- Die Transportkosten sind für große Transportmengen im Ganzzugverkehr für kurze und lange Strecken unschlagbar
- Die Transportkosten sind für kleine Transportmengen im LKW-Verkehr für kurze und lange Strecken günstiger als die des Einzelwagenverkehrs
- Aufgrund der Last-Mile-Problematik werden Transporte über kurze Distanzen bis zu 100 km mit dem LKW durchgeführt

⁶⁶ Vgl. Lokomotiven | DBresale

⁶⁷ Vgl. Standardtarife und weitere Bestimmungen der DB Cargo AG. (2020). DB Cargo AG

⁶⁸ Vgl. Trassenfinder - Deutsche Bahn AG

⁶⁹ Vgl. Mein Cargoboard - Frachtpreisberechnung und Auftragsbuchung

3. Zusammenfassung der Vor- und Nachteile und Betrachtung aus Sicht des Güterbestellers

In den behandelten Kapiteln wurden viele Erkenntnisse aus dem Vergleich der einzelnen Aspekte für den Schienen- und Straßengüterverkehr ermittelt. Diese sollen nun noch einmal gesammelt und ggf. zusammengefasst werden, sodass die endgültigen Vor- und Nachteile des Schienengüterverkehrs gegenüber der Straße herausgestellt werden können. Anschließend sollen die Interessen und Entscheidungskriterien für die Auswahl des Verkehrsträgers aus Sicht des Güterbestellers betrachtet werden.

Einige Aspekte wie beispielsweise der Rangierprozess, die Priorisierung des Personenverkehrs oder die Störanfälligkeit des Schienengüterverkehrs führen zu einem Zeitverlust bzw. zu der Tatsache, dass der Güterzug unpünktlicher ist als der LKW. Im Straßengüterverkehr werden Pünktlichkeiten von über 90% erreicht, während die Güterzüge nur zu 70-80% pünktlich sind. Allerdings muss man hier zwischen dem Einzelwagen- und Ganzzugverkehr differenzieren. Werden Zufriedenheitswerte bezüglich des Zeitmanagements herangezogen, scheinen die Verspätungen eher im Einzelwagenverkehr verursacht zu werden. Abbildung 29 zeigt, dass knapp 75% der Befragten nicht zufrieden mit der Pünktlichkeit des Einzelwagenverkehrs waren, während nur ca. 35% im Ganzzugverkehr diese Meinung teilten. Da

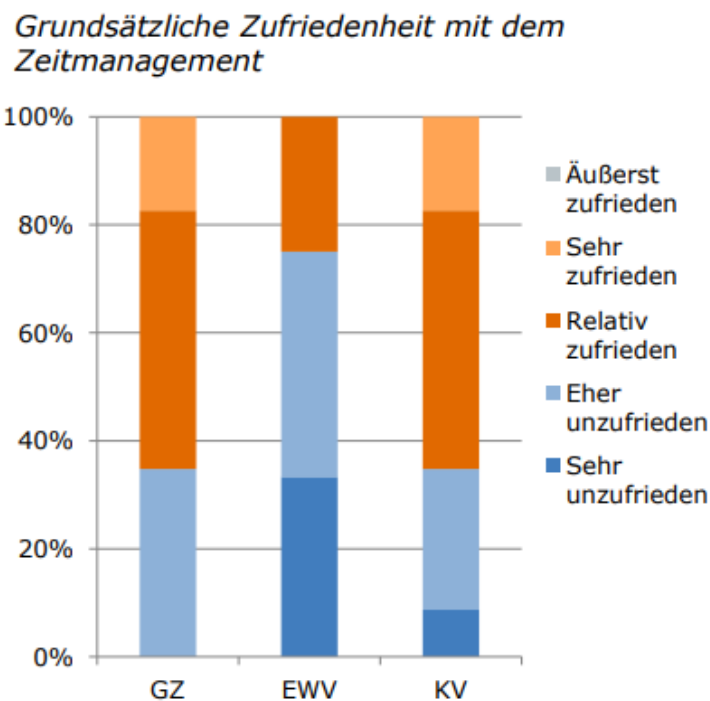


Abbildung 29: Zufriedenheit mit dem Zeitmanagement

grundsätzlich davon ausgegangen werden kann, dass zumindest der Einzelwagenverkehr unpünktlicher ist als der LKW-Transport, fällt der theoretische Geschwindigkeitsvorteil des Güterzuges weg. Des Weiteren können die Aspekte der besseren Anbindung, des flächendeckenderes Verkehrsnetz, etc. sowie die Sinnhaftigkeit des Transports mit dem Güterzug ab einer Distanz von 100 km unter dem Begriff des Last-Mile-Problems zusammengefasst werden.^{70 71 72}

Es ergeben sich also schlussendlich folgende Vor- und Nachteile des Schienengüterverkehrs gegenüber der Straße:

Vorteile

- Kraftstoff- und Energieeffizienz
- Umweltfreundlichkeit
- Höhere Nutzlast und sperrigere Güter können befördert werden
- Geringe Transportkosten bei hohen Beförderungsmengen
- Hohe Verkehrssicherheit

Nachteile

- Unpünktlichkeit, vor allem im Einzelwagenverkehr
- Beförderung über kurze Distanzen eher ungünstig (Last-Mile-Problem)
- Hohe Transportkosten bei kleinen Beförderungsmengen
- Geringe Innovationsfähigkeit
- Schlechtere Auskunft über voraussichtliche Ankunftszeiten der Güter
- Inflexibilität und geringe kurzfristige Verfügbarkeit durch Fahrplangebundenheit

Die modernen Güterbesteller stehen ständig unter dem Kostendruck des Wettbewerbs. Sie müssen sich kontinuierlich verbessern und Kosten einsparen, um konkurrenzfähig zu bleiben. Ein sehr großer Kostenblock für produzierende Unternehmen sind dabei definitiv die Lagerhaltungskosten von Rohstoffen, Halbfertigerzeugnissen und fertigen Produkten, die es gilt möglichst klein zu halten. Eine beliebte Methode diesbezüglich ist die Just-in-Time Beschaffung, bei der Materialien so bestellt und

⁷⁰ Vgl. Bühler, G. (2007) S. 150 ff

⁷¹ Vgl. Deutsche Bahn Daten & Fakten 2018. (2019). Deutsche Bahn AG

⁷² Vgl. Bundesnetzagentur. (2019)

geliefert werden, dass sie direkt in die Produktion einfließen, ohne vorher eingelagert zu werden. Aus dem gleichen Grund findet oftmals eine Verkürzung der Bestellintervalle und gleichzeitige Senkung der einzelnen Bestellmengen statt, da so die Gütermengen im Lager reduziert werden können. Auch der wachsende Online-Handel trägt dazu bei, dass der Anteil von kleineren Transportmengen steigt. Laut einer Umfrage des Bundesverbands der Deutschen Industrie (BDI) gelten folgende Kriterien in absteigender Reihenfolge als ausschlaggebend für die Auswahl des Verkehrsträgers beim Transport von Gütern:

1. Transportkosten
2. Pünktlichkeit der Transporte
3. Schadensfreiheit
4. Kurzfristige Verfügbarkeit

Wie bereits herausgestellt wurde, beziehen immer mehr Güterbesteller kleinere Mengen, legen Wert auf die Transportkosten und Pünktlichkeit des Transports im Rahmen der Just-in-Time Beschaffung und sind auf die kurzfristige Verfügbarkeit von Transporten angewiesen, falls sie dringend Waren brauchen, um weiterproduzieren zu können oder kurzfristige Kundenbestellungen abzuwickeln. Alle drei Kriterien können besser vom Straßengüterverkehr erfüllt werden, lediglich die Transportsicherheit ist im Schienengüterverkehr höher. Aus diesem Grund entfallen in Deutschland, wie bereits zu Beginn der Ausarbeitung dargestellt wurde, ca. 70% auf den Transport mit dem LKW und nur ca. 20% auf den Güterzug. Es scheint so als hätte sich der Schienengüterverkehr über die Jahre nicht an die sich verändernden Logistikbedürfnisse der Kunden anpassen können.^{73 74 75}

⁷³ Vgl. Universität Duisburg-Essen. (2006) S. 45 ff

⁷⁴ Vgl. Pfaff, D. (2006) S. 152 ff

⁷⁵ Vgl. Kruschke, G. (2016)

4. Innovative Konzepte im Schienen- und Straßengüterverkehr

4.1. Innovative Konzepte im Schienengüterverkehr

Die Untersuchung der Vor- und Nachteile im Schienengüterverkehr zeigt einige Verbesserungspotentiale auf, um den Güterzug als Transportmittel effizienter und attraktiver für den Güterbesteller zu machen. Gerade die Unpünktlichkeit, die von diversen Faktoren abhängt, jedoch zum großen Anteil vom Rangierprozess verursacht wird, ist eines der Hauptverbesserungspotentiale. Denkbare kurz- bis mittelfristige Maßnahmen wären der Ausbau der Infrastruktur, um Ausweichmöglichkeiten in Störungsfällen oder bei Trassenkonflikten zwischen Güter- und Personenverkehr zu schaffen. Eine weitere Möglichkeit ist die grundsätzliche Abschaffung der Priorisierung des Personenverkehrs. Längerfristig setzt man weitestgehend auf die Digitalisierung und Automatisierung von Prozessen mit Hilfe von IT-gestützten Systemen, da diese im Schienengüterverkehr oftmals noch mit hohem Personalaufwand und überwiegend manuellen Arbeitsanteilen verbunden sind. Auch für das Problem der "Last-Mile", welche i.d.R. im Rahmen des Einzelwagen- und Kombinierten Verkehrs, gibt es innovative Lösungen, um dieses Verbesserungspotential auszuschöpfen. Im Folgenden sollen die in diesem Zusammenhang stehenden innovativen Konzepte des "Intelligenten Güterwagens" und der "Rollenden Landstraße" näher betrachtet und der jeweilige Nutzen bewertet werden.

4.1.1. Intelligenter Güterwagen

Die meisten Innovationslösungen konzentrieren sich auf den Güterwagen, da dieser das zentrale technische Element ist, welches nahezu jeden Prozess im Schienengüterverkehr durchläuft. Grundsätzlich ist das Konzept des "Intelligenten Güterwagens" in einer Technologie-Roadmap mit mehreren Meilensteinen aufgebaut, die am Ende eine vollständige Automatisierung aller Prozesse im Bahnbetrieb vorsieht (siehe Abbildung 30). Der erste Meilenstein, welcher bereits angelaufen und zu großen Teilen abgeschlossen ist, stellt den Ausbau der Telematik dar. Die DB Cargo AG hat schon rund 34.000 ihrer Güterwagen mit GPS und Sensorik ausgerüstet, die kontinuierlich Informationen über den Aufenthaltsort der Wagen sowie den Wagen- und Beladungszustand, Temperatur, Luftfeuchtigkeit oder Bewegung der

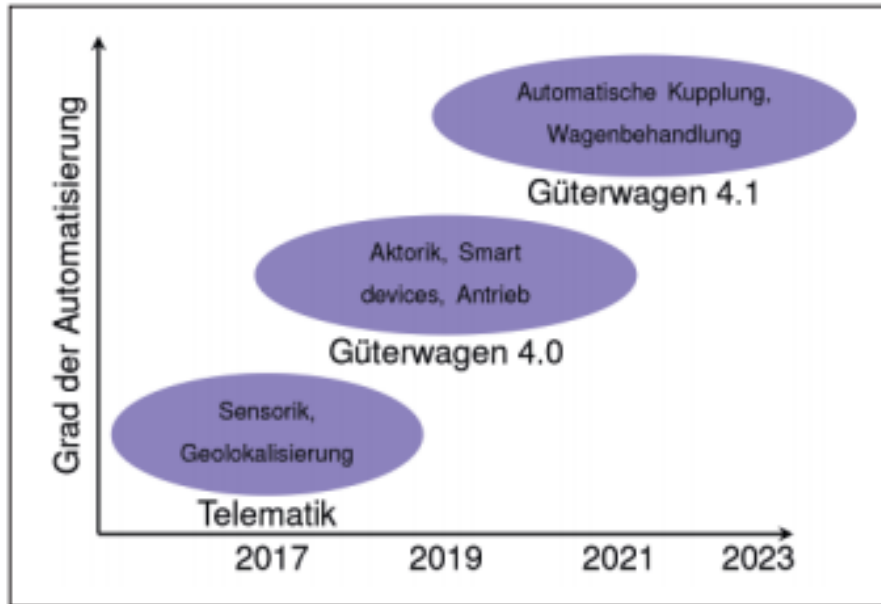


Abbildung 30: Technologie-Roadmap des intelligenten Güterwagens

Transportgüter erfassen und an das Kontrollsystem senden. Durch diese Art der Telematik kann die Beschädigung von Gütern besser verhindert und der Kunde genauer über die Ankunftszeit der Ware informiert werden. Durch die Information über den Wagenzustand können die Wartungsarbeiten effizienter gestaltet werden, da die regelmäßigen Intervallzyklen wegfallen und nur Wartungen im Bedarfsfall anfallen. Der zweite Meilenstein ist durch den Begriff "Güterwagen 4.0" gekennzeichnet und soll die Automatisierung weiter voranbringen. Im Mittelpunkt steht hier die über einen Webserver (Cloud)

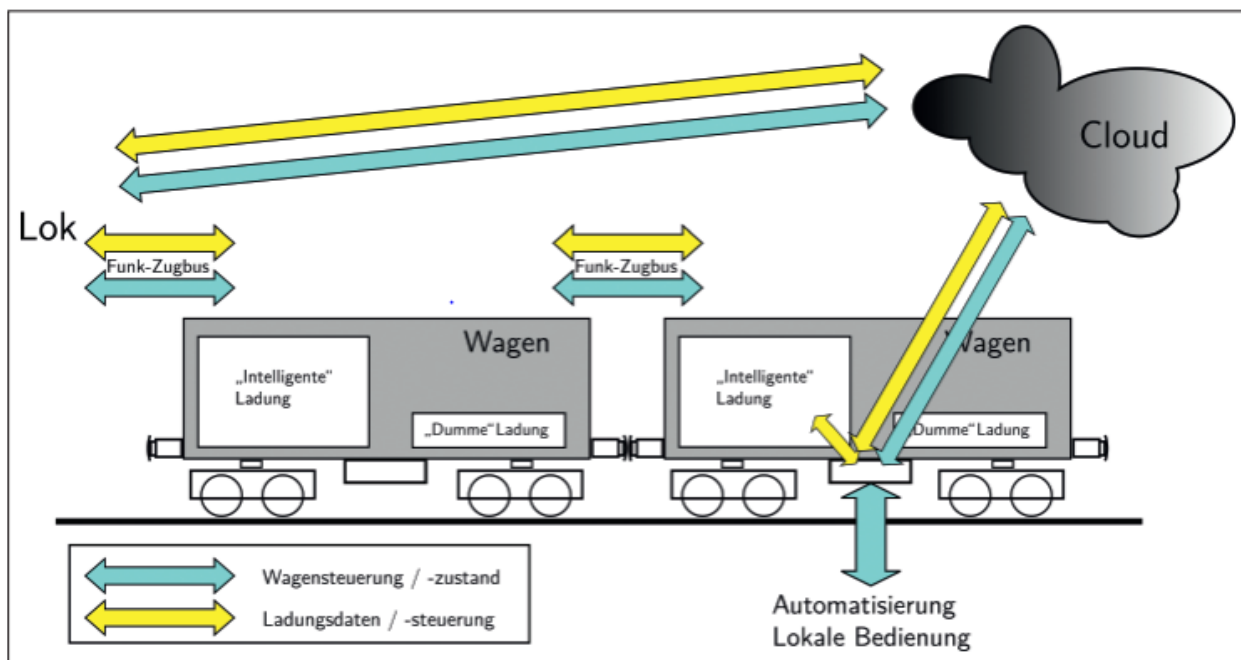


Abbildung 31: Grundkonzept des intelligenten Güterwagens

laufende Kommunikation der Güterwagen sowohl untereinander, mit dem Triebfahrzeug und mit der Person, die die Informationen anfragt (Bedienender, Kunde, etc.). Dieses Grundkonzept ist in Abbildung 31 nochmal veranschaulicht. Das Betriebssystem WagonOS soll es ermöglichen, über ein Smart Device (Handy, Tablet, PC, etc.) angefragte Informationen, welche durch die Telematik erfasst werden, abzurufen, zu verarbeiten und autorisierte Aktionen auszuführen. Dazu ist es u.a. notwendig, dass die Wagen mit einer digitalen Identität und einem entkuppelten Antrieb ausgerüstet sind, um die vorgesehene Position in der Zugreihung festzustellen und autarke Rangierbewegungen durchführen zu können. Der letzte Meilenstein ist schließlich die vollständige Automatisierung des Rangierprozesses, wobei die Kupplung und die technische Wagenbehandlung als Teil der Zugvorbereitung im Mittelpunkt stehen. Grundlage hierfür sind mechanische und pneumatische Kupplungen, die automatisch über das WagonOS Betriebssystem per Smart Device geschlossen und gelöst werden können. Technische Lösungen für solche Kupplungen gibt es bereits, wobei die Scharfenbergkupplung als Grundprinzip verwendet wird. Bei der technischen Wagenbehandlung, welche diverse Zustandsüberprüfungen des Wagens wie beispielsweise die Bremsprobe beinhaltet, sollen die eingebauten Sensoren die nötigen Zustandsdaten liefern, sodass der Wagenmeister nur bei Abweichungen eingreifen muss. Die Technologie-Roadmap des Konzepts des intelligenten Güterwagens umfasst eine Menge an technischen Umrüstungen bzw. Aufrüstungen, die mit hohen Investitionssummen verbunden sein werden. Betrachtet man jedoch den konventionellen Rangierprozess, stellt man schnell fest, dass dort sehr viel Verbesserungspotential besteht. Er ist von vielen manuellen Tätigkeiten (z.B. Zustandsüberprüfung, Rangieren, Lösen und Schließen von Kupplungen), sowie hohem Personalaufwand geprägt und ist somit zeit- und ressourcenineffizient. Das Konzept des intelligenten Güterwagens ist in der Lage die Zugvorbereitungszeit bei gleichzeitiger Senkung des Ressourcenaufwands von insgesamt bis zu 70 Minuten auf 10 Minuten zu reduzieren (Reduktion bis zu 85%!). Auch der Wartungs- und Instandhaltungsprozess kann grundlegend optimiert werden, da die Telematik jederzeit Informationen über den Zustand der Wagen und somit über die Notwendigkeit einer Wartung übermittelt. Die Wartungsintervalle fallen weg und werden durch gezieltere, effizientere und zustandsabhängige Wartungsarbeiten in unregelmäßigen Abständen ersetzt. Insgesamt ergibt sich also eine enorme Effizienzsteigerung und Kostenersparnis, welche den anfänglich hohen Investitionssummen gegenüberstehen und eine geringe Amortisationszeit in Ausblick stellt. Des Weiteren wird die Betriebs- und Transportsicherheit weiter erhöht, da die Sensorik über alle notwendigen Zustandsänderungen der Wagen und ihren Ladungsgütern informiert und Interventionen bei Bedarf vorgenommen werden können. Auch der Kunde profitiert von diesem Konzept in einem hohen Ausmaß, da dieser nun permanent einen Überblick darüber hat, wo und in welchem Zustand sich seine Waren

befinden. Durch die Übermittlung dieser Daten in Echtzeit hat der Kunde eine höhere Planungssicherheit und kann somit ebenfalls eine Effizienzsteigerung erzielen.⁷⁶

4.1.2. Rollende Landstraße

Das Konzept der Rollenden Landstraße setzt an der Problematik an, dass die Waren oftmals noch vom Zielbahnhof zum endgültigen Bestimmungsort transportiert werden müssen ("Last-Mile"). Sie ist eine Art des begleitenden Kombinierten Verkehrs Schiene - Straße, wobei komplette LKW mit ihren Fahrern auf die Eisenbahn verladen und bis zum Zielbahnhof auf der Schiene transportiert werden. Der Beladungsprozess sieht dabei vor, dass die LKW über eine Rampe am ersten bzw. letzten Güterwagen (Niederflurwagen) mit eigenem Antrieb bis zur vorgesehenen Position auf dem Zug fahren. Bei einem



Abbildung 32: Rollende Landstraße

Güterzug aus 16-18 Wagen dauert dieser Prozess ungefähr 20 Minuten. Während der Fahrt halten sich die Fahrer in einem Sitz- oder Liegewagen auf, bevor sie am Zielbahnhof wieder in ihre LKW steigen und der Entladeprozess beginnt. Die Abbildung 32 zeigt die LKW auf einem Niederflurwagen. Der größte Vorteil der Rollenden Landstraße liegt darin, dass kein Umschlag am Zielbahnhof stattfinden muss und somit Zeit bzw. Kosten gespart werden können. Außerdem sind kaum Investitionen in der Umschlagstechnik erforderlich, da lediglich eine Rampe benötigt wird, über die die LKW auf den Zug gelangen. Ein weiterer Vorteil besteht darin, dass alle Arten von LKW, die die maximal zulässigen Abmessungen nicht überschreiten, transportiert werden können, unabhängig davon ob sie kranbar sind oder nicht. Das ermöglicht es auch den kleinen Unternehmen, am Kombinierten Verkehr teilzunehmen

⁷⁶ Vgl. Eurailpress, Enning, M. & Pfaff, R. (2017)

und ihre LKW mitsamt Motorwagen auf der Schiene befördern zu lassen. Des Weiteren kann die Zeit auf der Schiene den LKW-Fahrern als Ruhezeit angerechnet werden, wodurch eine effizientere Nutzung der Lenkzeiten möglich ist. Im Endeffekt werden im Konzept der Rollenden Landstraße die Vorzüge beider Verkehrsträger (LKW und Güterzug) kombiniert, indem die Umweltfreundlichkeit und Beförderungsmöglichkeit von großen Lasten des Güterzuges mit der flexiblen und direkten Belieferungsmöglichkeit des LKW vereint wird, ohne dabei einen Umschlagvorgang durchführen zu müssen.

Die Nachteile ergeben sich aus den hohen Anschaffungskosten für die Niederflurwagen, welche doppelt so hoch als für einen Standard Güterwagen sind, und deren hohen Wartungskosten, welche aufgrund der kleinen Durchmesser der Radsätze entstehen. Des Weiteren sinkt die Effizienz des Transports, da die Gewichte der Motorwagen mit in die Gesamtlast einbezogen werden müssen und somit in Summe weniger Güter transportiert werden können. Für den Nahverkehr ist das innovative Konzept allerdings noch immer nicht geeignet, da die LKW hier zum nächstgelegenen Güterbahnhof fahren und dabei evtl. schon einen Umweg mit entsprechendem Zeitverlust in Kauf nehmen müssen. Auch das FIFO-Prinzip der Be- und Entladung führt zu einem Effizienzverlust, da der letzte LKW immer einen größeren Zeitverlust hat als die anderen LKW. ⁷⁷

4.2. Innovative Konzepte im Straßengüterverkehr

Auch die Logistikbranche im Straßengüterverkehr versucht ständig Prozesse und technische Gegebenheiten zu optimieren und somit die Effizienz zu steigern. Die hauptsächlichen Problemfelder des Verkehrsträgers sind dabei der Kraftstoffverbrauch bzw. Kraftstoffeffizienz, die Schadstoffemissionen, die Öl-Abhängigkeit, der Flächenverbrauch, die Transportsicherheit bzw. das Unfallrisiko usw. Auch hier kommen u.a. IT-unterstützte Lösungen zum Einsatz, sodass ein relevantes Projekt in diesem Bereich das sogenannte „Platooning“ darstellt. Neben diesem Konzept sollen im Folgenden ebenfalls die Lösungsansätze des „E-Highway“ und des „Giga-Liners“ betrachtet werden. ⁷⁸

⁷⁷ Vgl. Die Rollende Landstraße als Produktionskonzept des Kombinierten Verkehrs. (2010, April 5)

⁷⁸ Vgl. Enning, M. (2017, Juni 23)

4.2.1. Platooning

Die Grundidee des Platoonings ist es, eine Kolonne von zwei oder mehreren Fahrzeugen (bis maximal 8 Fahrzeuge) zu bilden, die elektronisch und mechanisch so ausgestattet sind, dass sie über WLAN kommunizieren und in kurzen Abständen hintereinander fahren können (siehe Abbildung 33). Die Vernetzung der LKW wird von einer Software gesteuert und ermöglicht es, die Geschwindigkeit und Richtung aller Kolonnenteilnehmer an das jeweils vordere Fahrzeug in der Kolonne anzupassen. Dadurch

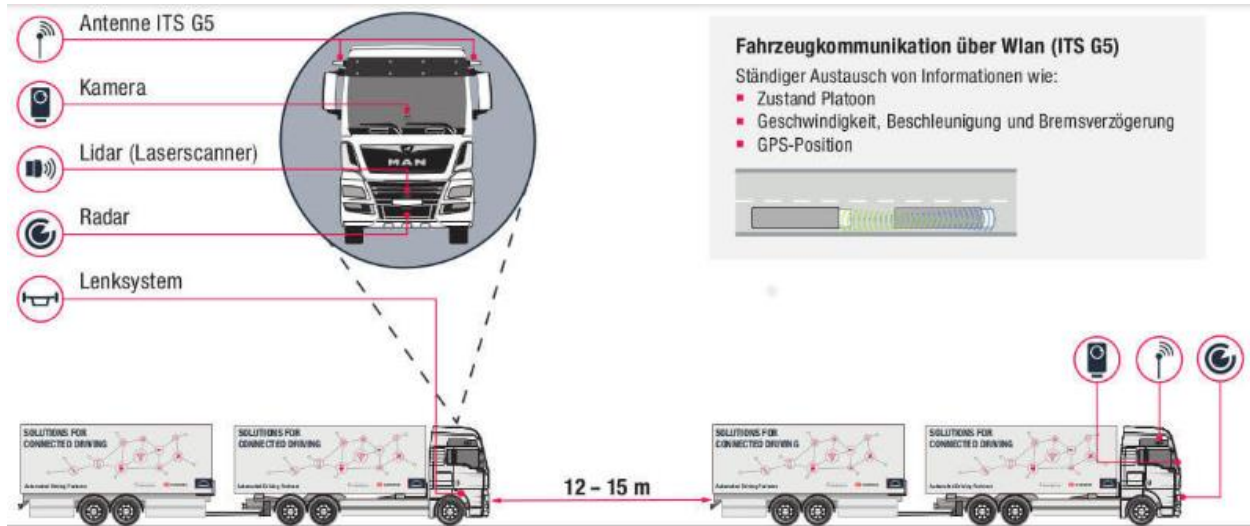


Abbildung 33: Grundkonzept eines Platoons

können sehr kleine Abstände von 10 Metern zwischen den Fahrzeugen realisiert werden. Außerdem sind alle Fahrzeuge in der Lage gleichzeitig zu beschleunigen und zu bremsen, da ein Mensch bei solchen kleinen Abständen nicht rechtzeitig reagieren könnte und die Wahrscheinlichkeit eines Auffahrunfalls sehr hoch wäre. Das Konzept des Platoonings ist auf den Autobahnverkehr ausgelegt und ersetzt keinesfalls die Notwendigkeit von LKW-Fahrern, da diese trotzdem in den Führerkabinen anwesend sein müssen, um bei Bedarf eingreifen zu können, wenn es die Verkehrssituation erfordert. Beispielsweise erhalten die Fahrer bei der Einschering eines anderen Verkehrsteilnehmers in die Kolonne eine Meldung vom System, sodass sie die Kontrolle über den LKW übernehmen können. Auch beim Verlassen oder Befahren der Autobahn muss zunächst die Kopplung hergestellt bzw. gelöst werden, bevor das Fahren vom System bzw. vom Fahrer übernommen werden kann. Nichtsdestotrotz werden sie durch das teilautonome Fahren entlastet und es wird im Rahmen von Studien getestet, ob sie währenddessen in der Lage sind, andere Tätigkeiten auszuführen. Momentan ist das Platooning noch nicht zugelassen und es wird noch etwas Entwicklungszeit in Anspruch nehmen, da diverse Tests und Eingriffe in die Straßenverkehrsordnung notwendig sind, bevor die ersten Platoons ordnungsgemäß auf der Straße fahren können.

Eine Umsetzung des Konzepts könnte vor allem aus Gründen der Kostenreduktion und Umweltschonung bedeutend sein. So können durch die bessere Ausnutzung des Windschattens, indem die LKW dichter hintereinander fahren, die Schadstoffemissionen und der Kraftstoffverbrauch wesentlich gesenkt werden. Zusätzlich wird weniger Straßenkapazität durch die kleinen Abstände zwischen den Fahrzeugen benötigt, wodurch die Staugefahr reduziert und somit ein Beitrag zum Gemeinwohl geleistet wird. Mit einer Kraftstoff- und Schadstoffemissionsreduktion um bis zu 10% würde sich die Investition sowohl für die Unternehmen als auch für die Umwelt rentieren, allerdings wurden in den bisherigen Tests mit 3-4% deutlich weniger Einsparungen erzielt als erhofft. Das liegt u.a. daran, dass die Kolonne bei jeder Auf- und Abfahrt von der Autobahn entkoppelt werden und anschließend die Lücke durch kräftiges Beschleunigen geschlossen werden muss. Außerdem kommt der Nutzen des Windschattens nicht zur Geltung, wenn sich das Platoon in einem Stau mit Stop-and-Go Verkehr befindet. Durch das Fahren in einer Kolonne sollen die LKW-Fahrer entlastet werden, sodass die Unternehmen gegebenenfalls Arbeitskräfte einsparen können, allerdings könnten diese das teilautonome Fahren als unangenehm oder sogar stressig empfinden, da sie die Steuerung einem Computer überlassen müssen. Zudem könnte die Aufmerksamkeit der Fahrer sinken und folglich eine Reaktion bei Systemmeldungen zu spät oder gar nicht erfolgen. Eine Umschulung der Fahrer ist in jedem Fall notwendig, da sie an die neuartige Fahrweise herangeführt werden müssen. Zusammen mit der Umrüstung der Fahrzeuge stellt diese Schulung einen großen Kostenblock für die Unternehmen dar. Des Weiteren besteht bei dem Konzept des Platooning wie bei jedem IT-System die Gefahr eines Hackerangriffs, welcher in diesem Fall einen großen Schaden anrichten könnte und dementsprechend durch hohe Sicherheitsmaßnahmen und damit verbundenen Kosten verhindert werden muss.^{79 80 81 82}

4.2.2. E-Highway

Der E-Highway ist ein Konzept bei dem sowohl die Fahrzeuge als auch die Infrastruktur umgerüstet werden muss. Der LKW wird mit einem Stromabnehmer ausgestattet, der über konduktive Übertragung Strom abgreifen und den verbauten Elektromotor antreiben kann (siehe Abbildung 34). Zusätzlich besitzt

⁷⁹ Vgl. VERNETZTE LKW AUF SICHERER WINDSCHATTENFAHRT

⁸⁰ Vgl. Platooning im Realitätscheck

⁸¹ Vgl. Platooning Definition & Erklärung | Informatik Lexikon. (2019, Dezember 23)

⁸² Vgl. MAN Platooning Schenker_ger. (2018, Juni 18). [Video]



Abbildung 34: E-Highway

er einen Diesel-Hybridantrieb, um die nicht elektrifizierten Streckenabschnitte zu überbrücken. Über einen Laser-Scanner überprüft der LKW permanent, ob eine Oberleitung zur Verfügung steht und legt den Stromabnehmer automatisch an, falls diese vorhanden ist. Die Voraussetzung für dieses Konzept ist also, dass die Infrastruktur (hauptsächlich Autobahnen) mit einer Oberleitung ausgestattet wird, wie man sie aus der Schieneninfrastruktur kennt. Der angedachte Strom soll aus dem öffentlichen Mittelspannungsstromnetz entnommen werden, welches eine Spannung von 650 Volt liefert. Es wären auch höhere Spannungen im Bereich von 1-3 kV technisch möglich gewesen, allerdings hätte dies die Anschaffungskosten für einen solchen LKW stark erhöht. Um das Kernverkehrsnetz mit einer Oberleitung auszustatten, müssten ca. 5.700 km Straße in Betracht gezogen werden.

Der Hauptvorteil liegt vor allem darin, dass weniger Öl verbraucht wird und die Schadstoffemissionen stark reduziert werden können. Außerdem kann die Energieeffizienz durch den höheren Wirkungsgrad des Elektromotors gesteigert werden (Elektromotor bis zu 97%, während eine Dieselmotor nur ca. 40% erreicht) und die Fahrer müssen nicht umgeschult werden, da sich an der Fahrweise durch die automatische Kopplung des Stromabnehmers mit der Oberleitung nichts ändert. Des Weiteren wird der konventionelle Mischbetrieb zwischen gewerblichen und privaten Verkehrsteilnehmern nicht gestört und es kommt zu keiner Nutzlastminderung, wie dies bei E-LKW mit eingebauter Batterie der Fall ist, da diese dadurch ein sehr hohes Eigengewicht haben. Der wohl größte Nachteil des Konzepts sind die hohen

Investitions- bzw. Implementierungskosten. Je Kilometer können mit 2 bis 3 Millionen Euro gerechnet werden, was für die angesprochene Strecke von 5.700 km einer Summe von knapp 11,5 Milliarden Euro entspräche. Allerdings müssen diese Kosten gegen die Vorteile wie beispielsweise eine höhere Luftqualität aufgewogen werden. Laut Siemens soll sich die Investition für den Fahrzeugeigentümer schon nach ein paar zehntausend Kilometern Laufleistung amortisieren. Da mehr oder weniger das gleiche Prinzip aus Oberleitung und Stromabnehmer wie im Schienenverkehr genutzt wird, könnte der Straßengüterverkehr der Umweltfreundlichkeit des Güterzugs Konkurrenz machen, wodurch das Konzept des E-Highways sehr interessant werden könnte.⁸³

⁸³ Vgl. Randelhoff, M. (2020, Juli 22)

5. Literaturverzeichnis

- 7.800 Lkw-Fahrten weniger jedes Jahr: BSH Hausgeräte setzt auf den Güterzug. (2017, Juni 28). Allianz pro Schiene. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/verkehrsverlagerung-bsh-hausgeraete/>
- Ahn, M. (2019, Dezember). Regeln für den Eisenbahnbetrieb. Siemens. <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:2c9ca7de-586c-428b-acb4-c5c86f69df21/version:1576657415/smo-rscdortmundeving-regelneisenbahnbetrieb-ab12-2019-b3tauschse.pdf>
- Arbeitsrechte.de. (2020a, August 22). Lenk- und Ruhezeiten für Lkw-Fahrer: Was gilt und was ist nicht zulässig? <https://www.arbeitsrechte.de/lenk-und-ruhezeiten/>
- Arbeitsrechte.de. (2020b, August 23). Arbeitszeit für Lkw-Fahrer: Was gilt gemäß Arbeitszeitgesetz für Kraftfahrer? <https://www.arbeitsrechte.de/arbeitszeit-lkw-fahrer/>
- Betriebstechnische Grenzparameter für Güterzüge. (2010, Juli 5). Forschungs-Informationssystem. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/324625/>
- Brügelmann, B. (2003). Der kombinierte Verkehr Schiene-Straße im europäischen Güterverkehrsmarkt. Diplom.de. https://books.google.de/books?id=nT55AQAQBAJ&dq=anschaffungskosten+E-Lok&hl=de&source=gbs_navlinks_s
- Bühler, G. (2007). Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr. Beltz Verlag. https://books.google.de/books?id=kCQpBAAAQBAJ&dq=p%C3%BCnktlichkeit+lkw&hl=de&source=gbs_navlinks_s
- Bundesnetzagentur. (2019). Endkundenkonsultation im SGV Ergebnisse der Tiefenbefragung. https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Eisenbahn/Unternehmen_Institutionen/Endkundenbefragung/2019/TiefenbefragungSGV.pdf?__blob=publicationFile&v=1
- bussgeldkatalog.org. (2020a, März 18). LKW-Arten: Verschiedene Fahrzeuge für unterschiedliche Aufgaben. <https://www.bussgeldkatalog.org/lkw-arten/>
- bussgeldkatalog.org. (2020b, Mai 13). Geschwindigkeitsmessung – Die Messmethoden und ihre Zuverlässigkeit. <https://www.bussgeldkatalog.org/geschwindigkeitsmessung/>
- bussgeldkatalog.org. (2020c, Mai 16). Höhenkontrolle vor einem Tunnel auf der Autobahn. https://www.bussgeldkatalog.org/hoehenkontrolle/#vor_einem_tunnel_hoehenkontrolle_ausgeloest_welche_strafe_droht
- BVL - Bundesvereinigung Logistik e.V. Bremen. (o. J.). Logistik - Bedeutung für die deutsche Wirtschaft - Die BVL: Das Logistik-Netzwerk für Fach- und Führungskräfte. Bundesvereinigung Logistik.

- Abgerufen 8. September 2020, von [https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/umsatz-und-beschaeftigung#:~:text=Bedeutung%20der%20Logistik%20f%C3%BCr%20die%20deutsche%20Wirtschaft&text=Rund%20279%20Milliarden%20Euro%20Umsatz,Euro%20\(2018\).](https://www.bvl.de/service/zahlen-daten-fakten/umsatz-und-beschaeftigung#:~:text=Bedeutung%20der%20Logistik%20f%C3%BCr%20die%20deutsche%20Wirtschaft&text=Rund%20279%20Milliarden%20Euro%20Umsatz,Euro%20(2018).)
- Das Anlagenpreissystem 2018 der DB Netz AG. (2017). DB Netze AG.
<https://fahrweg.dbnetze.com/resource/blob/1359288/dd0b05440d02df51a5682c9eda7ad0d7/aps-broschuere2018-data.pdf>
- Deutsche Bahn AG. (2016, Dezember). Faktor X oder: Die hohe Kunst des Fahrplans.
https://www.deutschebahn.com/resource/blob/266652/da3e681bd97485e2b7ecbe8f2ac43547/fahrplan_deutsche_bahn-data.pdf
- Deutsche Bahn Daten & Fakten 2018. (2019). Deutsche Bahn AG.
https://www.deutschebahn.com/resource/blob/3992278/1d136e983334750ef4f24072d49c7cdf/20190325_bpk_2019_daten_fakten-data.pdf
- Die Rollende Landstraße als Produktionskonzept des Kombinierten Verkehrs. (2010, April 5). Forschungs-
Informations-System. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/309845/>
- dpa (2019, Dezember 26). Güterverkehr - Warum die Schiene bei Waren nicht zum Zug kommt.
idowa.de. <https://www.idowa.de/inhalt.gueterverkehr-warum-die-schiene-bei-waren-nicht-zum-zug-kommt.850ceef1-5c95-4654-a3f0-72c0f6ea1826.html>
- Durchschnittliche Trassenentgeltanpassung für 2020 in Höhe von 2,0% beabsichtigt. (o. J.). Deutsche
Bahn AG. Abgerufen 8. September 2020, von https://www.dbnetze.com/infrastruktur-de/Kundeninformationen/2018_35_TPS_Entgeltanpassung-3246414
- Einzelwagenverkehr - VDV - Die Verkehrsunternehmen. (o. J.). VDV Die Verkehrsunternehmen.
Abgerufen 8. September 2020, von <https://www.vdv.de/einzelwagenverkehr.aspx>
- Einzelwagenverkehr im Schienengüterverkehr. (2002, September 13). Forschungs-
Informations-System. <https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/9249/>
- Enning, M. (2017, Juni 23). Güterwagen 4.0 - Technologieplattform für die Vollautomatisierung
[Vorlesungsfolien]. reuschling.de.
http://www.reuschling.de/fileadmin/user_upload/G%C3%BCterwagen%204.0.pdf
- Entwicklung der Dieselpreise für Großverbraucher. (2020, August 17). LasiPortal.
<https://www.lasiportal.de/service/dieselpreisindex/entwicklung-der-dieselpreise/>
- Eurailpress, Enning, M. & Pfaff, R. (2017). Güterwagen 4.0 – Der Güterwagen für das Internet der Dinge.
https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/ETR_Dreiteiler_Enning_Pfaff.pdf
- Gehalt Page / Wagenmeister | StepStone Gehaltsinformationen. (2020, September 13). stepstone.de.
<https://www.stepstone.de/gehalt/Page-Wagenmeister.html>

- Gehalt Rangierer/in | StepStone Gehaltsinformationen. (2020, August 29). stepstone.de.
<https://www.stepstone.de/gehalt/Rangierer-in.html>
- Gewerbestrom: Vergleichen & günstigen Strom sichern. (o. J.). E.ON. Abgerufen 8. September 2020, von
<https://www.eon.de/de/gk/strom/gewerbestrom.html#kosten>
- Gleisbau-Welt - Antriebstechnologie. (o. J.). Gleisbau-Welt. Abgerufen 8. September 2020, von
<https://www.gleisbau-welt.de/lexikon/fahrzeuge/antriebstechnologie/>
- Größter Rangierbahnhof Europas | Galileo | ProSieben. (2015, Juli 5). [Video]. YouTube.
<https://www.youtube.com/watch?v=9-Wuvv2sQjQ>
- Güterverkehr: Alle Informationen zum Güterverkehr in Deutschland. (2020, Juli 29). Allianz pro Schiene.
<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/gueterverkehr/>
- Güterwagenkatalog - Habbiins 344. (o. J.). DB Cargo AG - Güterwagenkatalog. Abgerufen 8. September 2020, von
https://gueterwagenkatalog.dbcargo.com/de/gueterwagenkatalog/detail/detail/bauart/344/?tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedBranche%5D=12&tx_cyzkatalog_katalog%5Bsearch%5D%5BselectedProduktart%5D=&cHash=10e3b0ca89f8a24179794846bafad027
- Hans Böckler Stiftung. (2010, Dezember). Trends und Perspektiven der Instandhaltung von Schienenfahrzeugen in Deutschland - Chancen und Risiken für die Beschäftigten.
https://www.boeckler.de/pdf_fof/96088.pdf
- Heister, G. (2006). Eisenbahnbetriebstechnologie. Eisenbahn-Fachverl.
https://books.google.de/books?id=C5jopxcdkeUC&dq=aufgabe+der+leitstellen+im+schieneng%C3%BCterverkehr&hl=de&source=gbs_navlinks_s
- Hintergrund : Die wichtigsten Güterbahnhöfe in Deutschland. (2007, November 2). Tagesspiegel.
<https://www.tagesspiegel.de/wirtschaft/hintergrund-die-wichtigsten-gueterbahnhoeefe-in-deutschland/1085764.html>
- hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH & Hagenlocher, S. (2013). Vergleichende Darstellung der von Güterwagen und Lkw verursachten Unfälle mit Personenschäden aufgrund technischer Mängel am Fahrzeug in Relation zur Verkehrsleistung unter besonderer Berücksichtigung der Wettbewerbsfähigkeit.
http://www.vpirail.at/sites/default/files/dateianhang/2014-05/20131031_hwh-studie.pdf
- hwh Gesellschaft für Transport und Unternehmensberatung mbH, Hagenlocher, S. & Wittenbrink, P. (2015). Analyse staatlich induzierter Kostensteigerungen im Schienengüterverkehr am Beispiel von ausgewählten Relationen.
<http://www.uirr.com/en/component/downloads/downloads/1107.html>
- Informationen zum Schienennetz der Eisenbahnen in Deutschland. (2020, Juli 28). Allianz pro Schiene.
<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/infrastruktur/schienennetz/>

- Keller, S. (2020a, Januar 6). CO2-Emissionen im Güterverkehr Deutschlands 2018. Statista.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/881600/umfrage/co2-emissionen-im-deutschen-gueterverkehr-nach-verkehrsmitteln/>
- Keller, S. (2020b, Mai 18). Verspätungsursachen im Fernverkehr der Deutschen Bahn 2019. Statista.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/921406/umfrage/versaetungsursachen-der-fernverkehrszuege-der-deutschen-bahn/>
- Kords, M. (2020a, Juli 28). Themenseite: Lastkraftwagen (Lkw). Statista.
<https://de.statista.com/themen/735/lastkraftwagen-lkw/>
- Kords, M. (2020b, Juli 31). Lkw mit alternativen Antrieben - Bestand in Deutschland 2020. Statista.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/259803/umfrage/lkw-bestand-mit-alternativen-antrieben-in-deutschland/>
- Kruschke, G. (2016). Lagerung und Logistik - eine Wissenschaft für sich. produktion.de.
<https://www.produktion.de/webtipps/lagerung-und-logistik-eine-wissenschaft-fuer-sich-239.html>
- Lanzinger, R. (2019, August 28). Komplette Wagenflotte von DB Cargo: Bis 2020 mit intelligenter Sensorik und Telematik. Eurotransport. <https://www.eurotransport.de/artikel/komplette-wagenflotte-von-db-cargo-bis-2020-mit-intelligenter-sensorik-und-telematik-10882817.html>
- Leipziger Verkehrsbetriebe (LVB) GmbH. (2014). Fortbildung für sicheres, wirtschaftliches Fahren elektrisch betriebener Fahrzeuge.
https://www.eltis.org/sites/default/files/trainingmaterials/training_broschure_tram_deutsch.pdf
- Lexoffice. (o. J.). Abschreibung AfA Nutzungsdauer für Lokomotiven: 25 Jahre. www.lexoffice.de.
 Abgerufen 8. September 2020, von <https://www.lexoffice.de/service/abschreibungstabelle/lokomotiven/#:%7E:text=In%20der%20Abschreibungstabelle%20f%C3%BCr%20allgemeine,f%C3%BCr%20allgemein%20verwendbaren%20Anlageg%C3%BCter%20dokumentiert>
- LKW Autobahnmaut - Mautberechnung. (o. J.). KFZ-Auskunft. Abgerufen 8. September 2020, von https://www.kfz-auskunft.de/info/lkw_maut4.html
- Lkw, Güterzug und Binnenschiff: Was ist Kombiniertes Verkehr? (2016, Dezember 19). Allianz pro Schiene. <https://www.allianz-pro-schiene.de/glossar/kombinierter-verkehr/>
- Logistik Planungsdaten. (o. J.). logistik-pro. Abgerufen 8. September 2020, von http://logistik-pro.de/content_daten_wide.php?id=2
- Lokomotiven | DBresale. (o. J.). Deutsche Bahn AG. Abgerufen 8. September 2020, von <https://www.dbresale.com/verkauf/suche--xkat8.htm>
- Lübke, D. & Hecht, M. (2008). Handbuch Das System Bahn. Eurailpress.

- MAN Platooning Schenker_ger. (2018, Juni 18). [Video]. YouTube.
https://www.youtube.com/watch?time_continue=145&v=6gyO2h528ek&feature=emb_logo
- Mein Cargoboard - Frachtpreisberechnung und Auftragsbuchung. (o. J.). Mein Cargoboard: Preisrechner und Buchungsplattform. Abgerufen 8. September 2020, von
<https://mein.cargoboard.de/?step=sendungsdaten>
- Nationalatlas Bundesrepublik Deutschland – Verkehr und Kommunikation. (2000). Neue Umschlagsysteme für den Schienengüterverkehr. http://archiv.nationalatlas.de/wp-content/art_pdf/Band9_48-49_archiv.pdf
- Ohrt, C. & Preßmar, P. D. D. D. B. (2008). Tourenplanung im Straßengüterverkehr. Gabler Verlag.
- Pachl, J. (2008). Systemtechnik des Schienenverkehrs. Springer Vieweg.
https://link.springer.com/chapter/10.1007%2F978-3-8348-9289-8_9
- Pfaff, D. (2006). Kunden verstehen, gewinnen und begeistern. Campus Verlag.
https://books.google.de/books?id=yllwAgAAQBAJ&dq=bestellmengen+trend+just+in+time&hl=de&source=gbs_navlinks_s
- Platooning Definition & Erklärung | Informatik Lexikon. (2019, Dezember 23). Informatik - für Schüler und Studenten. https://www.informatik-verstehen.de/lexikon/platooning/#Platooning_%25E2%2580%2593_Vorteile_und_Nachteile_von_Platooning
- Platooning im Realitätscheck. (o. J.). IAA Nutzfahrzeuge. Abgerufen 8. September 2020, von
<https://www.iaa.de/de/nfz/fuer-besucher/iaa-erleben/trends-themen/lkw-und-platooning>
- Ptock, J. (2018, Januar 26). Top 10 Logistikunternehmen in Deutschland nach Umsatz. Logistik-Watchblog. <https://www.logistik-watchblog.de/unternehmen/1371-top-10-logistikunternehmen-deutschland-umsatz.html>
- Railistics, Sauerbrey, U. & Esser, K. (2005). Einzelwagen als Alternative.
https://railistics.com/site/assets/files/1897/22_artikel_einzelwagen_0407.pdf
- Randelhoff, M. (2020, Juli 22). Siemens eHighway: Fährt der Straßengüterverkehr der Zukunft elektrisch? ». Zukunft Mobilität. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/9593/zukunft-des-automobils/elektromobilitaet/ehighway-siemens-hybrid-lkw-elektroantrieb/>
- Sicherheitssysteme für Lkw zur Unfallvermeidung. (2017, Mai 9). Telematik-Markt.de. <https://telematik-markt.de/telematik/sicherheitssysteme-f%C3%BCr-lkw-zur-unfallvermeidung#.XwUoMygzblV>
- Sicherheitssysteme im Fahrerhaus werden von Lkw-Fahrern begrüßt. (o. J.). Brigade Electronics. Abgerufen 8. September 2020, von <https://brigade-electronics.com/de/sicherheitssysteme-im-fahrerhaus-werden-von-lkw-fahrern-begruesst/>

- Sozial- und Sicherheitsstandards des Schienenverkehrs im Vergleich zum Straßenverkehr. (2003, November 28). Forschungs-Informationssystem.
<https://www.forschungsinformationssystem.de/servlet/is/67291/>
- Standardtarife und weitere Bestimmungen der DB Cargo AG. (2020). DB Cargo AG.
https://www.dbcargo.com/resource/blob/4983924/f48fb01aece9843cbc843dfa7d24545f/SuwB_Preisliste-2020_de-data.pdf
- Statista Research Department. (2020, August 5). Eisenbahnunfälle in Deutschland. Statista.
<https://de.statista.com/statistik/daten/studie/2155/umfrage/anzahl-der-eisenbahnunfaelle-mit-personenschaden/>
- Statistisches Bundesamt (Destatis). (2019). Unfälle von Güterkraftfahrzeugen im Straßenverkehr 2018.
https://www.destatis.de/DE/Themen/Gesellschaft-Umwelt/Verkehrsunfaelle/Publikationen/Downloads-Verkehrsunfaelle/unfaelle-gueterkraftfahrzeuge-5462410187004.pdf?__blob=publicationFile
- Statistisches Bundesamt, Wiesbaden & Hütter, A. (2013, April). Verkehr auf einen Blick.
https://www.destatis.de/DE/Themen/Branchen-Unternehmen/Transport-Verkehr/Publikationen/Downloads-Querschnitt/broschuere-verkehr-blick-0080006139004.pdf?__blob=publicationFile
- Stellwerke und Zugbeeinflussung. (o. J.). Deutsche Bahn AG. Abgerufen 8. September 2020, von
https://www.deutschebahn.com/pr-berlin-de/aktuell/Stellwerke_und_Zugbeeinflussung-1317044
- Technische Universität Berlin & Hecht, M. (2016, Mai). Beitrag des Schienengüterverkehrs zur Erreichung der Klimaschutzziele (Nr. 10/2016). Netzwerk Europäischer Eisenbahnen e.V. (NEE).
<https://www.netzwerk-bahnen.de/assets/files/news/pdf/beitrag-des-schienengueterverkehrs-zur-erreichung-der-klimaschutzziele.pdf>
- Trassenfinder. (o. J.). Trassenfinder - Deutsche Bahn AG. Abgerufen 8. September 2020, von
https://trassenfinder.de/#/107/sgv?tab_id=1
- Überblick: So sicher ist der Zug. (2016, November 9). Allianz pro Schiene. <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/sicherheit-zug-ist-sicherstes-verkehrsmittel/>
- Überblick: Wie der Güterzug länger werden kann. (2020, Februar 6). Allianz pro Schiene.
<https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/740-meter-gueterzug/>
- Universität Duisburg-Essen. (2006). Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens im Einzelwagenverkehr und Optimierung der Produktionsstruktur. <https://d-nb.info/999983202/34>
- VERNETZTE LKW AUF SICHERER WINDSCHATTENFAHRT. (o. J.). MAN. Abgerufen 8. September 2020, von
<https://www.truck.man.eu/de/de/Automatisierung.html#platooning>

Völklein, M. (2017, Dezember 3). Güterverkehr auf der Schiene: An der Grenze ausgebremst. Süddeutsche.de. <https://www.sueddeutsche.de/auto/schienenverkehr-wie-gueterzuege-an-der-grenze-ausgebremst-werden-1.3768127>

Welches Gehalt verdient man im Bereich Triebfahrzeugführer/in? Jahresgehälter, Berufserfahrung und vieles mehr | StepStone Gehälter. (2020, September 8). stepstone.de. <https://www.stepstone.de/gehalt/Triebfahrzeugfuehrer-in.html>

Weyers, A. (2019). Güterwagenmanagement. Springer Publishing.

Wie wird bei der DB der Fahrplan erstellt? (2015, Januar 7). [Video]. YouTube. <https://www.youtube.com/watch?v=NpnAe6qsJWo>

Zanker, C. (2018). Branchenanalyse Logistik - Der Logistiksektor zwischen Globalisierung, Industrie 4.0 und Online-Handel: Bd. Nr. 390 [E-Book]. Hans Böckler Stiftung. https://www.boeckler.de/de/faust-detail.htm?sync_id=8140

6. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Anteile der Verkehrsträger am Güterverkehr (Quelle: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/gueterverkehr/daten-fakten/>)

Abbildung 6: Marktanteile im Schienengüterverkehr (Quelle: <https://www.netzwerk-bahnen.de/news/die-top-9-der-wettbewerbsbahnen-im-schienengueterverkehr.html>)

Abbildung 7: BR 145 und BR 185 (Quelle: <http://www.eriksmail.de/dbbr145001bis040.html>)

Abbildung 8: BR 232/233 (Quelle: <https://www.flickr.com/photos/93243867@N00/17355621934>)

Abbildung 5: Sattelzug (Quelle: <https://www.langgaertner-hof.de/index.php/leistungen/transporte>)

Abbildung 6: Gliederzug (Quelle: <https://www.langgaertner-hof.de/index.php/leistungen/transporte>)

Abbildung 7: Transporter (Quelle: <https://www.langgaertner-hof.de/index.php/leistungen/transporte>)

Abbildung 8: Vergleich des Kraftstoffverbrauchs

Abbildung 9: Vergleich des Energieverbrauchs

Abbildung 10: Vergleich der Schadstoffemissionen

Abbildung 11: Vergleich des Laderaums

Abbildung 12: Vergleich der Nutzlast

Abbildung 13: Vergleich der zulässigen Geschwindigkeit

Abbildung 14: Straßenverkehrsnetz (links) und Schienenverkehrsnetz (rechts) (Quelle: Screenshots: <https://www.google.de/maps> und <https://geovdbn.deutschebahn.com/isr>)

Abbildung 15: Standorte von Umschlagbahnhöfen (Quelle: Screenshot: http://archiv.nationalatlas.de/wp-content/art_pdf/Band9_48-49_archiv.pdf)

Abbildung 16: Umschlagbahnhof Regensburg (Quelle: <https://bahnblogstelle.net/duss-umschlagbahnhof-regensburg/>)

Abbildung 17: Rangierbahnhof Halle-Nord (Quelle: <https://www.saechsische.de/groesster-ostdeutscher-rangierbahnhof-startet-3966422.html>)

Abbildung 18: Unternehmenseigener Gleisanschluss BSH Hausgeräte GmbH (Quelle: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/verkehrsverlagerung-bsh-hausgeraete/>)

Abbildung 19: Abladator eines Unternehmens (Quelle: <https://www.hoermann.de/industrie-gewerbe-oeffentliche-hand/industrietore/verladetechnik/>)

Abbildung 20: Ablauf Fahrplanerstellung der DB Netz AG

Abbildung 21: Schema des Rangierprozesses im Einzelwagenverkehr (Quelle: https://railistics.com/site/assets/files/1897/22_artikel_einzelwagen_0407.pdf)

Abbildung 22: Rangierbahnhof mit Ablaufberg (Quelle: <https://www.allianz-pro-schiene.de/themen/aktuell/verkehrsverlagerung-bsh-hausgeraete/>)

Abbildung 23: Wagenmeister bei der Kontrolle des zusammengestellten Zugs (Quelle: <https://berufsfeld-info.de/durchstarten/beruf/wagenmeister-schienenverkehr> und <https://www.spiegel.de/karriere/wagenmeister-bei-der-deutschen-bahn-ueberprueft-sicherheit-von-waggonen-a-991119.html>)

Abbildung 24: Vergleich der maximal zulässigen Arbeitszeit innerhalb von 2 Wochen

Abbildung 25: Vergleich der Unfallzahlen im Jahr

Abbildung 26: Kostenstruktur im Schienengüterverkehr (Quelle: <http://www.uirr.com/en/component/downloads/downloads/1107.html>)

Abbildung 27: Kostenstruktur im Straßengüterverkehr (Quelle: <http://www.uirr.com/en/component/downloads/downloads/1107.html>)

Abbildung 28: Vergleich der Transportkosten

Abbildung 29: Zufriedenheit mit dem Zeitmanagement (Quelle:

https://www.bundesnetzagentur.de/SharedDocs/Downloads/DE/Sachgebiete/Eisenbahn/Unternehmen_Institutionen/Endkundenbefragung/2019/TiefenbefragungSGV.pdf?__blob=publicationFile&v=1

Abbildung 30: Technologie-Roadmap des intelligenten Güterwagens (Quelle:

https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/ETR_Dreiteiler_Enning_Pfaff.pdf

Abbildung 31: Grundkonzept des intelligenten Güterwagens (Quelle:

https://www.eurailpress.de/fileadmin/user_upload/ETR_Dreiteiler_Enning_Pfaff.pdf

Abbildung 32: Rollende Landstraße (Quelle: <https://www.tt.com/artikel/13543982/rollende-landstrasse-am-brenner-bis-herbst-um-6-prozent-gewachsen>)

Abbildung 33: Grundkonzept eines Platoons (Quelle: <https://logistik-aktuell.com/2018/02/16/platooning-im-praxistest-db-schenker-man/>)

Abbildung 34: E-Highway (Quelle: <https://www.zukunft-mobilitaet.net/9593/zukunft-des-automobils/elektromobilitaet/ehighway-siemens-hybrid-lkw-elektroantrieb/>)