



Diplomarbeit

Evaluierung von Einsatzfeldern schienengebundener Verkehrsmittel für Just-In-Time – Lieferungen und deren Rahmenbedingungen

Thema

ausgeführt zum Zwecke der Erlangung des akademischen Grades eines
Diplom-Ingenieures unter der Leitung von

a.o. Univ.-Prof. Dipl.-Ing Dr. Kurt Matyas

Name

E330

Institutsnummer

Institut für Managementwissenschaften

Institutsbezeichnung

eingereicht an der Technischen Universität Wien

Fakultät für Maschinenwesen und Betriebswissenschaften

VON

Klemens Vesely

Name

0325999

Matrikelnummer

Oswald-Redlich-Straße 36/7/6, 1210 Wien

Anschrift

Wien, am _____

_____ *eigenhändige Unterschrift*

Inhaltsverzeichnis

I	Einleitung	1
1	Problemstellung und Zielsetzung	1
2	Vorgehensweise	2
II	Logistiktheorie	3
1	Lagerhaltung und produktionsrelevante Themen	3
1.1	Einzelbeschaffung bei Bedarf	3
1.2	Vorratsbeschaffung.....	3
1.3	Produktionssynchrone Beschaffung (JiT)	4
1.3.1	wow – Lager.....	6
1.4	Materialflussgestaltung	6
1.4.1	Direktanlieferung.....	7
1.4.2	Konzepte mit Lagerstufen	9
1.5	Produktionsplanung mit Perlenkette	10
1.5.1	Erklärung: Perlenkette	11
1.5.2	Vor- und Nachteile des Perlenkettenkonzeptes	12
2	Verkehrsträger	14
2.1	Beschreibung der Verkehrsträger	14
2.1.1	LKW	14
2.1.2	Schienenverkehr	17
2.2	Bewertung der Verkehrsträger.....	24
2.2.1	Kriterien zur Bewertung der Verkehrsträger	24
2.2.2	Auswahl geeigneter Bewertungskriterien.....	28
2.2.3	Bewertung des Verkehrsträgers LKW.....	29
2.2.4	Bewertung des Verkehrsträgers Bahn	41
2.2.5	Stärken-Schwächenprofile	48
3	Motivation zur Verlagerung auf die Schiene und Modelle für schienengebundenen JiT - Lieferung.....	52
3.1	Motivationen zur Verlagerung auf die Schiene	52
3.1.1	Trend vom steigendem (Straßen-) Güterverkehr.....	52
3.1.2	Treibstoffkosten	53
3.1.3	Externe Effekte und Mautabgaben	54
3.1.4	Sozialvorschriften.....	58
3.2	Die Bahn als Transportmittel für zeitkritische Güter	59
3.2.1	Konzepte für JiT - Belieferung auf der Schiene	59
3.2.2	Selbstangetriebene Transporteinheiten	60

3.2.3	Ganzzug.....	60
3.2.4	Untersuchung bestehender Bahn-Transporte.....	61
III	Praxisteil – Simulation einiger Szenarien	63
1.1	Szenario I.....	63
1.2	Szenario II.....	64
1.3	Szenario III.....	65
2	Allgemeine Annahmen und Erläuterungen.....	66
2.1	Betriebsdaten.....	66
2.2	Bauteile und Behälter	66
2.3	Transportmittel.....	68
2.4	Kosten.....	68
2.5	Umweltdaten.....	73
2.6	Bewertungen.....	74
3	Szenario I	74
3.1	Beschreibung.....	74
3.2	Layout.....	75
3.3	Prozesse.....	77
3.4	Bewertung & Machbarkeit.....	78
3.4.1	Gesamtkosten.....	78
3.4.2	Lagerplatz	81
3.4.3	Fazit	82
4	Szenario II	82
4.1	Beschreibung.....	82
4.2	Prozesse.....	83
4.3	Bewertung & Machbarkeit.....	84
4.3.1	Gesamtkosten.....	84
4.3.2	Lagerplatz	85
4.3.3	Fazit	86
5	Szenario III	86
5.1	Beschreibung.....	86
5.2	Layout.....	87
5.3	Prozesse.....	88
5.4	Bewertung und Machbarkeit.....	88
5.4.1	Gesamtkosten.....	88
5.4.2	Lagerplatz	90
5.4.3	Umwelt.....	91
5.4.4	Fazit	92

6	Schlussfolgerung: Kriterien für eine JiT – Belieferung mit der Bahn	93
IV	Zusammenfassung und Ausblick	96
V	Verzeichnisse.....	98
1	Literaturverzeichnis	98
2	Abbildungsverzeichnis.....	103
3	Tabellenverzeichnis.....	106
VI	Anhang	108

Abkürzungsverzeichnis

ETCS	European Train Control System
GEMIS	Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme
GSM-R	Global System for Communications for Railways
hzG	höchst zulässiges Gesamtgewicht
i.d.F	in der Fassung
JIS	Just In Sequence
JIT	Just In Time
KDV	Kraftfahrgesetz-Durchführungsverordnung
KFG	Kraftfahrgesetz
KV	Kombinierter Verkehr
MIV	motorisierter Individualverkehr
OEM	Original Equipment Manufacturer
PK	Perlenkette
SOG	Selbst organisierender Güterverkehr
TCS	Train Coupling and Sharing System
TEU	Twenty Foot Equivalent Unit (1 TEU = 1 20 Fuß ISO-Container)
WOW	warehouse on wheels

I Einleitung

Der Straßengüterverkehr hat mittlerweile eine dominierende Stellung beim Gütertransport eingenommen. Besonders bei zeitkritischen Zulieferungen ist er im Moment nicht wegzudenken. Vor allem in der Automobilindustrie werden derzeit die meisten JiT Transporte mit dem LKW durchgeführt.

Diese Entwicklung wird in der Öffentlichkeit mit Besorgnis beobachtet. Der LKW gilt, verglichen mit der Bahn, als Transportmittel mit stärkerer Umweltwirkung und bringt zahlreiche Nachteile mit sich. Schadstoffemissionen, verursachte Staus und Lärmbelästigung sind nur einige der Faktoren, welche der Allgemeinheit zur Last werden. Gerade in Zeiten in denen über die Verringerung von CO₂ – Emissionen heftig diskutiert wird, ist der Verkehr ein wichtiger Bestandteil dieser Diskussion. Es werden dringend Lösungskonzepte gesucht, welche die Straßen entlasten.

1 Problemstellung und Zielsetzung

Speziell in der Automobilindustrie werden Produktions- und Lieferprozesse besonders schlank gestaltet. Die Warenbestände werden so niedrig wie möglich gehalten und im Extremfall Wareneingangslager für bestimmte Bauteile vollkommen aufgelöst. Ziel dieser Bestrebungen ist es, Formen der Verschwendung¹ zu vermeiden. Voraussetzung dafür sind allerdings eine hohe Lieferfrequenz und Lieferanten, die in unmittelbarer Nähe an das Montagewerk angesiedelt sind. Diese Entwicklung macht speziell Gebrauch von den Vorteilen des Straßentransportes und schließt einen Transport zeitkritischen Güter mit der Bahn aus.

Die Aufgabe und Zielsetzung diese Arbeit ist es zu evaluieren, wie die Bahn JiT-Transporte durchführen könnte. Es sollen Einsatzfelder und Rahmenbedingungen aufgezeigt werden, die einen solchen Einsatz wirtschaftlich und ökologisch vertretbar machen.

¹ Nach dem Toyota-Produktionssystem werden 7 Arten der Verschwendung unterschieden: Überproduktion, Wartezeit, überflüssiger Transport, überflüssiger Herstellungsprozess, überhöhte Bestände, unnötige Bewegungen und Herstellung fehlerhafter Teile (vgl. Suzaki 1989, S. 12).

2 Vorgehensweise

Um dieses Ziel zu erreichen wurde folgende Vorgehensweise gewählt (vgl. Abb. 1):

In einem ersten Schritt werden die unterschiedlichen relevanten Anlieferkonzepte, Formen der Produktionssteuerung und andere die externe Logistik betreffende Themen beschrieben. Hier soll das Augenmerk besonders bei jenen Systeme liegen, welche für JiT-Prozesse relevant sind.

Anschließend werden die Verkehrsmittel Bahn und LKW genauer erläutert. Systematisch werden nach einer technischen Beschreibung die Vor- und Nachteile der einzelnen Verkehrsträger gegenübergestellt. Dafür sollen zuvor Bewertungskriterien erarbeitet werden, welche dann auf die Verkehrsträger Bahn und LKW angewendet werden. Abgeschlossen wird dies durch abgeleitete Stärken- und Schwächenprofile, welche die Beurteilung erleichtern sollen.

Als Überleitungskapitel werden zusätzliche Motivationen für eine Verlagerung auf die Schiene gebracht und bereits erfolgreich durchgeführte Transporte vorgestellt.

Der praktische Teil dieser Arbeit befasst sich mit der Simulation von unterschiedlichen JiT-Transporten, welche als Szenarien aufgebaut sind. Die Ergebnisse werden untereinander sowie mit herkömmlichen Straßentransporten verglichen.

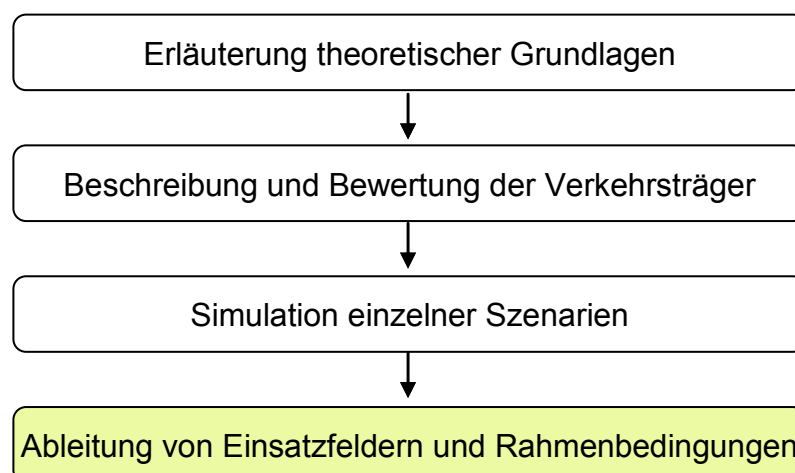


Abb. 1: Vorgehensweise (Quelle: eigene Darstellung)

II Logistiktheorie

1 Lagerhaltung und produktionsrelevante Themen

In diesem Kapitel soll auf die unterschiedlichen Möglichkeiten der Beschaffungslogistik eingegangen werden. Das Hauptaugenmerk liegt bei zeitkritischen Anlieferkonzepten, welche etwas genauer dargestellt werden. In diesem Zusammenhang ist es auch sinnvoll und notwendig etwas näher auf die jeweils notwendige Art der Lagerhaltung einzugehen.

Vorweg ist anzumerken, dass die Anlieferkonzepte eines Unternehmens bei unterschiedlichen Bauteilen variieren können (vgl. Wildemann 1997, S.58).

1.1 Einzelbeschaffung bei Bedarf

Bei der Einzelbeschaffung wird ein benötigtes Teil erst bei einem tatsächlichem Auftrag bestellt. Das bedeutet, dass der Bestell- und Liefervorgang meist auf dem kritischen Pfad liegen und daher die Durchlaufzeit maßgeblich beeinflussen (vgl. Wildemann 1997, S. 58). Ein Beispiel der Einzelbeschaffung bei Bedarf ist die Ersatzteilbestellung eines Mechanikers. Da diese Art der Beschaffung in dieser Arbeit nicht von großer Bedeutung ist, wird darauf nicht näher eingegangen.

1.2 Vorratsbeschaffung

Bei der Vorratsbeschaffung ist die Produktion von der Beschaffung durch ein Wareneingangslager abgegrenzt. Dies ist meist für jene Bauteile der Fall, welche nicht produktions-synchron beschafft werden können oder bei denen es einfach nicht sinnvoll ist. In Tabelle 1 sind die Vor- und Nachteile dieses Anlieferkonzeptes angeführt.

Vorteile	
+	höhere Materialverfügbarkeit
+	Mengenrabatte beim Einkauf größerer Mengen möglich
+	Transportkostenvorteile
Nachteile	
-	höhere Kapitalbindung
-	höhere Lagerhaltungskosten
-	Risiko von unnötigen Beständen

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Vorratsbeschaffung (Quelle: Wildemann 1997, S. 59).

1.3 Produktionssynchrone Beschaffung (JiT)

Der Begriff „Just-In-Time“ bringt zum Ausdruck, dass die bestellten Bauteile unmittelbar vor deren Verwendung geliefert und direkt der Produktion bereitgestellt werden. Dadurch werden Lagerbestände im Unternehmen drastisch verringert. Dies führt zu deutlich geringeren Kapitalbindungskosten, Lagerkosten und zur Vermeidung von Überständen (vgl. Kummer et al., 2006, S.238f). Koether spricht hierbei von einem „...*Idealfall der bestandsminimalen Zulieferung von Teilen...*“ (vgl. Koether 2001, S.126). Konsequenterweise wird eine produktionssynchrone Beschaffung meist bei der Endmontage von Produkten angewandt. Dort sind die verwendeten Teile am wertvollsten und würden auch die größten Kapitalbindungskosten verursachen (vgl. Koether 2001, S.126).

Die Produktionssynchrone Beschaffung ist verbrauchsorientiert. Das bedeutet, dass Bestellmenge und -frequenz sich vom Produktionsplan ableiten. Dies erfordert eine Abstimmung von innerbetrieblichen Abläufen sowie eine Koordination von Abläufen mit dem Lieferanten (vgl. Wildemann 1997, S.59).

Die enge Bindung zwischen Lieferanten und Kunden hat sowohl Vor- als auch Nachteile. Die enge Kooperation wird prinzipiell als positiv angesehen. Dennoch kann genau diese enge Bindung zu einem Problem werden, wenn es Störungen im Lieferprozess gibt. Dann sind keine Puffer vorhanden, welche einen Lieferausfall ausgleichen könnten (vgl. Kummer et al., 2006, S.239).

Zusammenfassend zeigt die Tabelle 2 die Vor- und Nachteile dieses Konzepts.

Vorteile	
+	niedrigere Kapitalbindungskosten
+	niedrigere Lagerhaltungskosten für den Kunden
+	Vermeidung von Überbeständen
+	Vertrauensverhältnis zwischen Kunden und Lieferanten
Nachteile	
-	starke Abhängigkeit der Vertragspartner
-	meist mehr Transportfahrten notwendig – vor allem bei LKW Lieferung

Tabelle 2: Vor- und Nachteile des JIT- Konzepts (Quelle: Kummer et al. 2006, S. 239)

Bei der Anwendung des JIT- Konzepts wird ein Leitprodukt definiert. Dies ist beispielsweise bei der Automobilproduktion die Karosserie. Im Idealfall ist der Weg dieses Leitprodukts durch die Fertigung genau definiert und enthält keine Abzweigungen. Durch die Reihenfolge der Leitprodukte und deren Durchlaufzeit kann der Bedarfszeitpunkt errechnet werden. Diese Reihenfolge wird somit auch zur Steuerinformation für die Anlieferung (vgl. Koether 2001, S.126).

Es kann natürlich unterschiedliche Genauigkeitsstufen einer JiT – Anlieferung geben. Die Abrufe unterscheiden sich danach, ob ein Teil minutengenau, stundengenau oder Tagesgenau angeliefert werden soll. Im Spezialfall, in dem die angelieferten Produkte sortiert und genau in der Produktionsreihenfolge angeliefert werden spricht man von einer Anlieferung „Just-In-Sequence“ (JiS) (vgl. Abb. 2) (vgl. Kummer et al. 2006, S. 238).

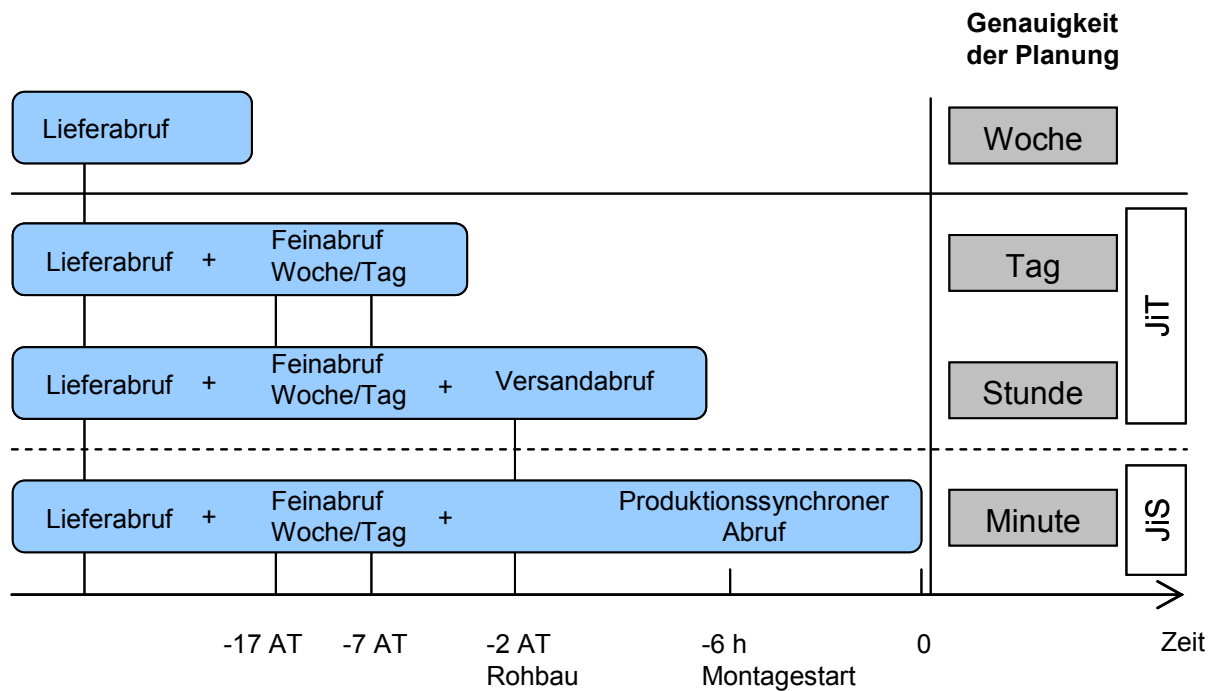


Abb. 2: Unterschiedliche Genauigkeitsstufen der JiT-Steuerung in der Automobilproduktion (Quelle: Kummer et al. 2006, S. 239)

1.3.1 wow – Lager

Eine besondere Form des Lagers ist das so genannte *warehouse on wheels* (wow). Wie der Name schon andeutet wird bei dieser Lagerform das Transportmittel auch als Lagerort verwendet (vgl. Abb. 3).

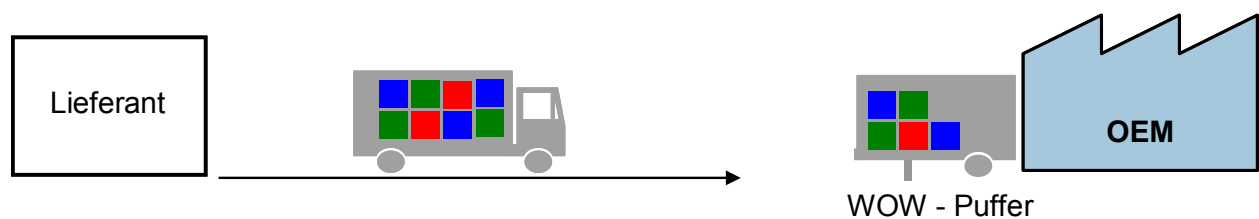


Abb. 3: Schema: WOW – Lager

1.4 Materialflussgestaltung

Diese Arbeit befasst sich hauptsächlich mit alternativen Formen der Materialflussgestaltung zwischen Kunden und Lieferanten. Deshalb wird in folgendem Abschnitt etwas näher auf die generelle Gestaltung dieser Schnittstelle eingegangen.

Grundsätzlich wird zwischen Direktanlieferungen und Lieferkonzepten mit Lagerstufen unterschieden (vgl. Abb. 4).

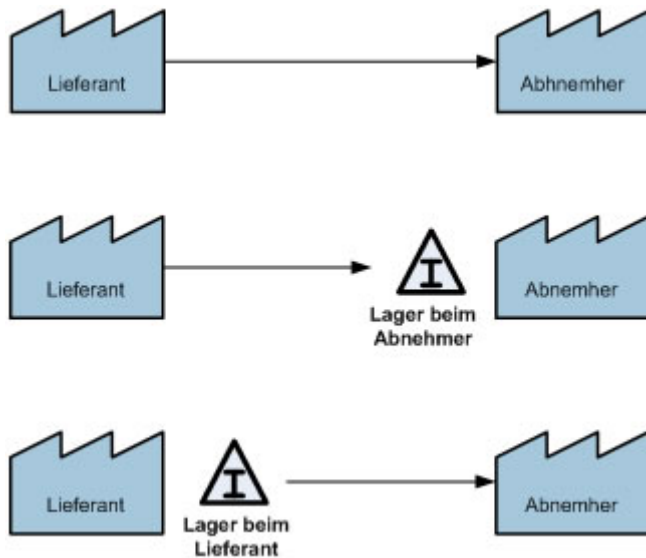


Abb. 4: Alternative Versorgungsstrukturen (Quelle: Wildemann 1997, S. 63)

1.4.1 Direktanlieferung

Das Konzept der Direktanlieferung kann als Idealfall der JiT – Anlieferung angesehen werden. Dabei wird versucht, die wertschöpfenden Prozesse so zu verknüpfen, dass keine Zwischenlagerung von Produkten notwendig ist. Dies ist besonders bei solchen Lieferanten sinnvoll durchführbar, deren Teile direkt einer verbrauchenden Station zuzuordnen sind. Ist dies nicht der Fall, so ist ein zusätzlicher Aufwand in der Koordination notwendig.

Da auf eine Wareneingangsprüfung verzichtet wird, ist die Fehlerfreiheit der gelieferten Produkte von großer Bedeutung. Die Verantwortung der Qualitätssicherung liegt beim Lieferanten. Um das Handling und Kommissionieren der Produkte zu erleichtern, müssen die Transportbehälter einheitlich ausgelegt sein. Im Idealfall entspricht die Liefereinheit auch der Puffereinheit und der Verbrauchseinheit (vgl. Wildemann 1997, S. 60).

Liefereinheit = Transporteinheit = Puffereinheit = Lagereinheit = Verbrauchseinheit

In Tabelle 3 sind Kriterien angeführt, welche für die Durchführbarkeit einer Direktanlieferung zu beachten sind. Wildemann beurteilt in seiner Auflistung zwar Lieferanten welche näher als 100 km positioniert sind als optimal, hält allerdings auch größere Entfernungen für zulässige Ausprägungen. Dies wäre insbesondere für Bahntransporte interessant.

Entfernung	< 100 km	zwischen 100 km und 200 km	> 200 km
Mengentreue	Exakte Lieferung	Abweichung nach oben	Abweichung nach oben und unten
Termintreue	> 1 Tag versätet	< 1 Tag verspätet	pünktlich
Anpassungsfähigkeit an Lieferfrequenz	nicht möglich	bedingt möglich	direkt möglich
Lieferantenanzahl je Teil	1	2	> 2
kundenspezifische Bevorratung	keine Bevorratung	i.d.R. Lieferung ab Lager möglich	spezifische Mindestbestände für alle Teile
technische Beratung und Service	keine Beratung	Schwierigkeiten bei Rückfragen	kompetente Ansprechpartner jederzeit verfügbar
Nachfragemacht des Kunden	< 5 % Umsatzanteil	> 15 % Umsatzanteil	> 30 % Umsatzanteil
Organisationsgrad	gering	mittel	hoch
Durchsetzbarkeit von Auftrags- bzw. Sonderwünschen	nie möglich	verzögert möglich (Kosten)	jederzeit möglich
Vollständigkeit des Programms	nur für wenige Ausführungen	für ca. 70 % der Teile lieferfähig	für 100% der Teil lieferfähig
optimale Ausprägung der Kriterien	zulässige Ausprägung der Kriterien		

Tabelle 3: Lieferantenbezogene Kriterien für eine Direktanlieferung (Quelle: Wildemann 1997, S. 62)

Tabelle 4 gibt Kriterien der Produkte selbst an, welche diese für eine Direktanlieferung qualifizieren.

Wert ABC	A	B	C
Verbrauchskontinuität	hoch	mittel	gering
Variantenzahl	keine	< 3	≥ 3
Qualität	einwandfrei	kleine Mängel	erhebliche Mängel
Volumen	Kleinteile	mittelgroße Teile	Großteile
Lieferzeit	< ∅	∅	> ∅
Reklamationen	> 50 % der Zulieferungen	> 20 % der Zulieferungen	≤ 5 % der Zulieferungen
optimale Ausprägung der Kriterien	zulässige Ausprägung der Kriterien		

Tabelle 4: Teilebezogene Kriterien für Direktanlieferung (Quelle: Wildemann 1997, S. 61)

1.4.2 Konzepte mit Lagerstufen

Lager widersprechen im ersten Augenblick dem Gedanken der produktionssynchronen Beschaffung. Aus verkehrsmitteltechnischen Gründen ist es aber sinnvoll den Begriff der Just-In-Time Beschaffung etwas auszuweiten. Unter Umständen ist es eben auch notwendig, eine bestimmte Menge an Teilen vorrätig zu haben. Um Kostendegressionsvorteile zu nutzen kann es sinnvoll sein den Güterfluss zur Auflösung oder Bündelung (Konsolidierung) der Güter zu unterbrechen. Dabei werden drei Formen der Bündelung unterschieden (vgl. Pfohl 2004, S. 128):

Bestandsbündelung (zeitliche Bündelung)

Bei der Bestandsbündelung wird eine Lieferung so lange verzögert, bis ein gewisses Transportlos erreicht ist (vgl. Abb. 5).

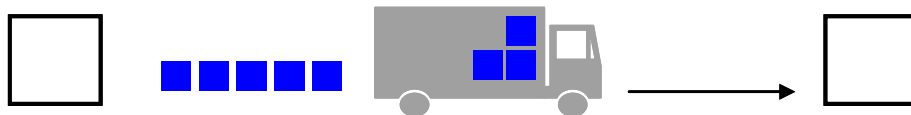


Abb. 5: Bestandsbündelung (zeitliche Bündelung) (Quelle: Pfohl 2004, S. 128)

Fahrzeugaufbündelung (räumliche Bündelung)

Bei dieser Art der räumlichen Bündelung sammelt ein Fahrzeug Güter von mehreren Lieferanten bis es voll Beladen ist. Es entstehen zusätzliche Kosten für die Sammel- oder Auslieferungstour (vgl. Abb. 6).

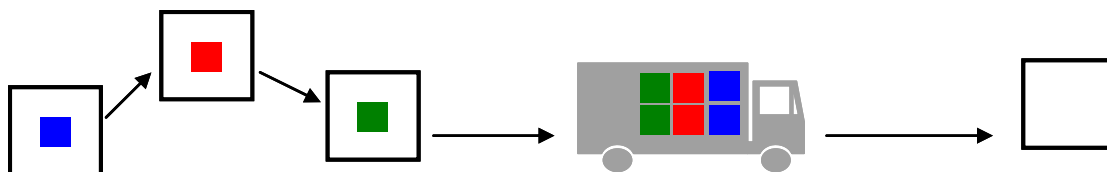


Abb. 6: Fahrzeugaufbündelung (räumliche Bündelung) (Quelle: Pfohl 2004, S. 128)

Umschlagsbündelung (räumliche Bündelung)

Bei der Umschlagsbündelung werden die Güter in einem Umschlaglager sortiert und auf neue Fahrzeuge verladen. Dadurch ist es möglich die Anzahl der Verbindungen zwischen Liefer- und Empfangspunkten zu reduzieren. Das Umschlaglager verursacht dabei zusätzliche Kosten. Diese in der Literatur auch „Cross Dock Konzept“ genannte Art der Bündelung ist in Abb. 7 dargestellt.

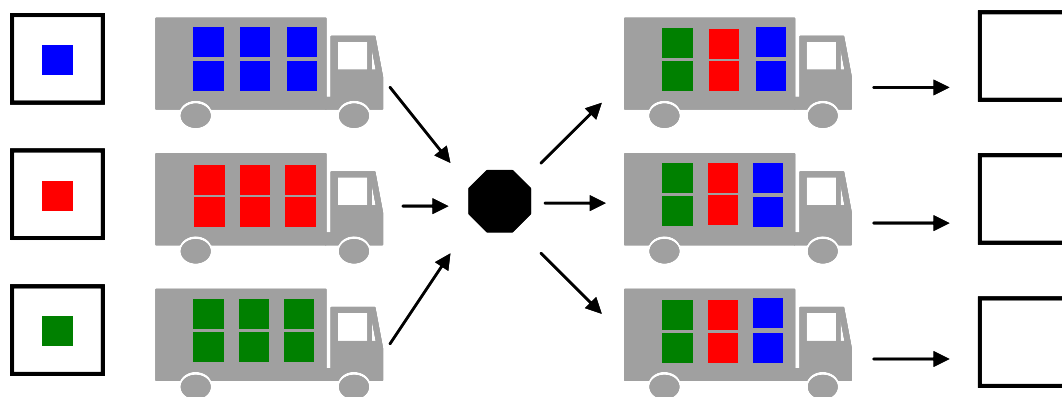


Abb. 7: Umschlagsbündelung (räumliche Bündelung) (Quelle: Pfohl 2004, S. 128)

Um die Gefahr eines Produktionsstopps wegen fehlender Teile so gering wie möglich zu halten wird bei einer JiT – Fertigung die Reichweite des Sicherheitspuffers nach dem „worst – case“ - Szenario ermittelt. Dies bedeutet, dass die Produktion weiter laufen könnte, auch wenn der Lieferwagen in dem Moment der Ankunft samt der Ladung zerstört würde, bis die Ersatzteile erneut produziert und geliefert sind. Bei größeren Relationen, welche besonders für den Bahntransport interessant sind muss eventuell ein kleines Sicherheitslager in der Nähe des OEM betrieben werden (vgl. Abb. 8).

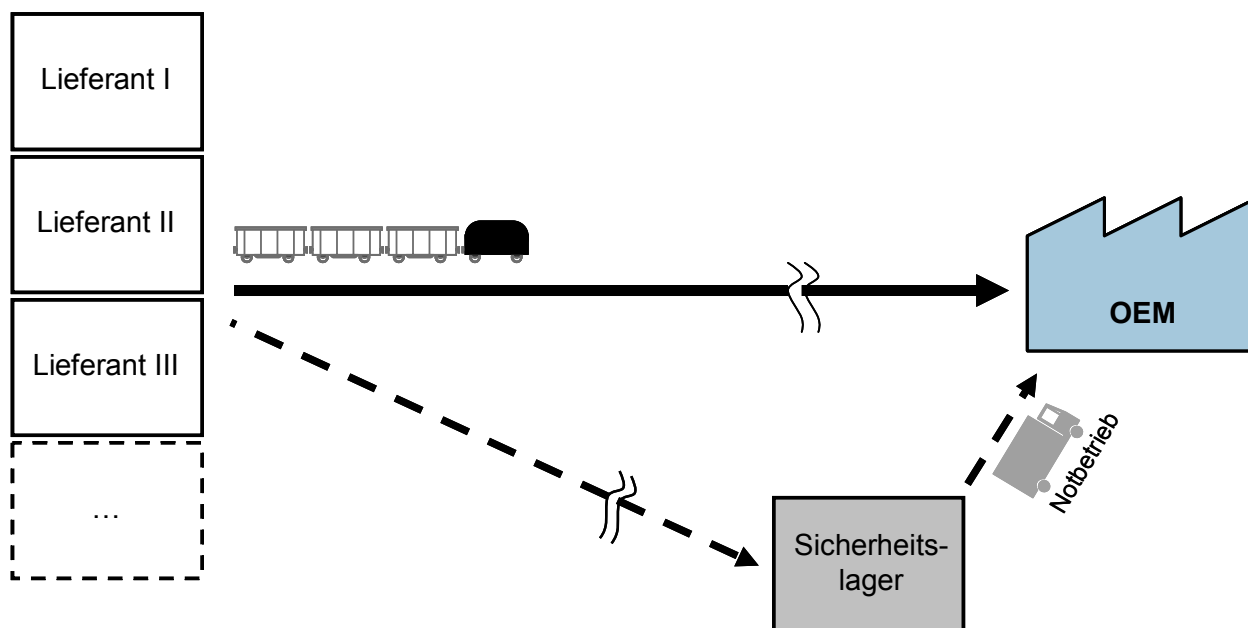


Abb. 8: Anordnung eines Sicherheitslagers (Quelle: Eigene Darstellung)

1.5 Produktionsplanung mit Perlenkette

Das Konzept der Perlenkette ist ein seit kurzem eingesetztes System der Produktionsplanung und Steuerung. Es gibt nur wenige wissenschaftliche Abhandlungen über dieses The-

ma. Dennoch ist es besonders für die Bedürfnisse eines Bahntransportes interessant und wird daher in diesem Kapitel näher behandelt.

1.5.1 Erklärung: Perlenkette

Bei der Fertigungsplanung mithilfe der Perlenkette wird die geplante Produktionsreihenfolge mehrere Tage vor dem Produktionsstart festgelegt. Zwischen der Planung und dem Produktionsstart liegen ungefähr sechs Arbeitstage. Der Produktionsplan kann danach nicht mehr geändert werden und wird sprichwörtlich „eingefroren“. Man spricht daher auch von der „frozen-zone“. Damit wird versucht, den teilweisen Widerspruch zwischen kurzen Lieferzeiten, hoher Liefertreue, bestmöglicher Kapazitätsauslastung und geringen Beständen entgegenzuwirken (vgl. Weyer 2002, S. 58f).

Der Name Perlenkette leitet sich von der Gegebenheit ab, dass sich die zu produzierenden geplanten Produkte wie Perlen in einer Perlenkette schon Tage vor der tatsächlichen Produktion symbolisch anordnen. In Abb. 9 ist das Schema der Perlenkette dargestellt.

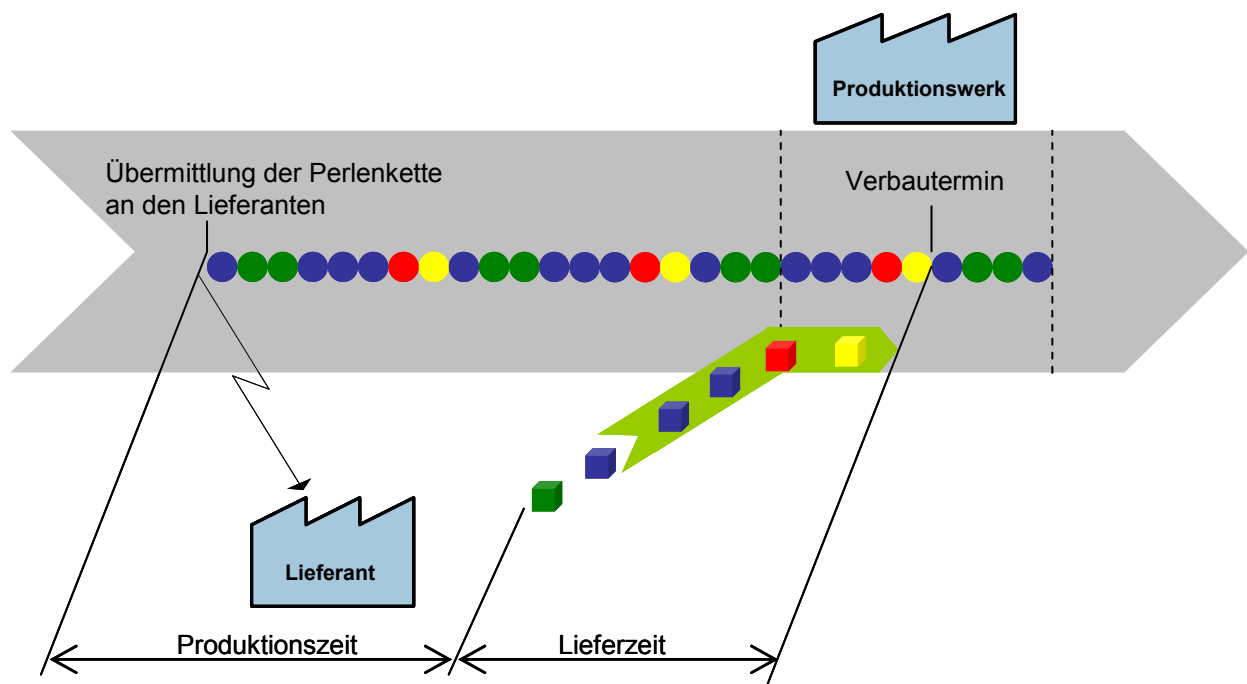


Abb. 9: Schema der Perlenkette (Quelle: Weyer 2002, S. 64)

Es werden die

- Bearbeitungsreihenfolge,
- Produktionstermine der einzelnen Fertigungsbereiche sowie
- genaue Inhalte der Produktionsaufträge am Tag der Produktion

unveränderbar festgesetzt.

1.5.2 Vor- und Nachteile des Perlenkettenkonzeptes

Diese Art der Produktionssteuerung hat sowohl auf der Seite der Materialbeschaffung, welche für diese Arbeit besonders relevant ist, als auch direkt bei der Produktion sowie bei der Kundenorientierung Vorteile gegenüber anderen Konzepten.

Ein Großer Vorteil bei der **Materialbeschaffung** ist, dass die Lieferanten mehr Zeit haben um die benötigten Teile Just-In-Time zu produzieren und auch zu liefern. Der Auftrag wird direkt nach der Einplanung, also beim Start der frozen-zone freigegeben. Somit ist bei der Auswahl der potentiellen JiS - Lieferanten deren geografische Lage in gewissen Grenzen unerheblich. Nur die Art und Beschaffenheit der Teile sind ein relevantes Kriterium. Der Einzugsbereich der möglichen Lieferanten wird natürlich umso größer, je größer die frozen-zone ist. So können beispielsweise Lohnkostenvorteile im Ausland ausgenützt werden. Zusätzliche Kosten für die Ansiedlung des Lieferanten in die unmittelbare Umgebung des OEM entfallen ebenfalls. Natürlich muss die Summe der Produktionszeit und Transportzeit des Lieferanten kleiner oder gleich der Länge der frozen-zone sein (vgl. Weyer 2002, S.67).

Auch die Unsicherheit des Lieferanten bezüglich der kurzfristig zu liefernden Teile nimmt durch die vorausschauende Planung ab. Dadurch werden etwa besonders teure beschleunigte Transporte durch Zusatzfahrten oder Hubschraubereinsätze überflüssig. Auch auf die kurzfristige Lagerung nicht sofort benötigter Teile beim Abnehmer kann verzichtet werden (vgl. Weyer 2002, S.69).

Im Bereich der **Produktion** ist es bei einer Fließfertigung, bei der mehrerer Varianten auf einem Band produziert werden (was in den meisten Fällen zutrifft) nötig, die Aufträge möglichst gleich verteilt einzuplanen. Dies ist nötig, um Engpässe in der Kapazität zu umgehen (vgl. Weyer 2002, S.70). Es wäre beispielsweise nicht sinnvoll mehrere Produktvarianten mit größerem Arbeitsinhalt in der Produktion direkt hintereinander einzuplanen. In der Planung muss die Produktionssequenz der einzelnen Varianten so erfolgen, dass die Kapazitäten nur kurzzeitig überbelastet sind.

Der Vorteil der Perlenkette ist hierbei die größere Reaktionszeit auf Kapazitätsengpässe. Sie kann zwar deren Entstehen nicht verhindern, ermöglicht allerdings eine vorausschauend mögliche Reaktion. Die betroffenen Bereiche können vorzeitig gewarnt werden und sich auf die Gegebenheiten einstellen (vgl. Weyer 2002, S. 70).

Auch die Schnittstelle zum Kunden profitiert durch die Planung mittels Perlenkette. Zum einen sind Änderungen am Produkt bis kurz vor der Einplanung möglich. Zum anderen sind zugesagt Liefertermine zuverlässiger und können besser eingehalten werden. Außerdem

können Vorteile bei der Distribution der Güter entstehen. Die Auslieferung der Waren kann auch frühzeitiger und sicherer geplant werden (vgl. Weyer 2002, S. 72).

All diese Vorteile ergeben sich aus der frühzeitigen Einplanung und Festlegung der Produktionsreihenfolge. Natürlich verzichtet man dabei auf Flexibilität hinsichtlich kurzfristiger Änderungen. Dies stellt aber im Allgemeinen kein großes Problem dar.

Weit kritischer muss die Störanfälligkeit des Perlenkettenkonzeptes betrachtet werden. Der Erfolg dieses Konzeptes hängt unmittelbar mit störungsfreien Abläufen in der Materialbeschaffung, Produktion und dem Kundenauftragsfluss zusammen. Es ist von entscheidender Bedeutung, dass die Lieferanten die benötigten Teile zuverlässig zum richtigen Zeitpunkt in der richtigen Qualität anliefern.

Mit der Ausdehnung der frozen-zone steigt auch das Risiko für Störungen. Außerdem gilt es den Interessenskonflikt zwischen Vertrieb und Produktion bzw. Materialbeschaffung zu lösen. Der Vertrieb ist an kundenfreundlichen kurzfristigen Auftragsänderungen interessiert. Die Produktion und die Materialbeschaffung profitieren eher von einem längeren eingefrorenen Produktionsprogramm (vgl. Weyer 2002, S. 73). Daher ist es notwendig, dass die Produktionsplanung auch die Funktion des „Perlenkettenmanagements“ übernimmt. Die einzelnen Prozesse und Produkte müssen dabei auf Perlenkettenrelevanz geprüft werden. Es müssen jene Faktoren ermittelt werden, die auf die Umsetzung des Perlenkettenkonzeptes einwirken und deren Auswirkungen untersucht werden. Die sich daraus ergebenden Forderungen müssen schließlich umgesetzt werden (vgl. Weyer 2002, S. 76).

Mögliche Auswirkungen wären durch Störungen im Prozess denkbar (vgl. Weyer 2002, S.100):

- Produktionsstillstand
- Eine weitere Produktion ist aufgrund der vorhandenen Notfallkonzepte möglich.
- Eine weitere Produktion ist möglich, weil ganze System nicht so schlank und effizient aus gebildet ist. Es existiert beispielsweise ein Sicherheitslager, welches Lieferausfälle ab fangen kann.

In Tabelle 5 sind die Vor- und Nachteile des Perlenkettenkonzeptes noch einmal übersichtlich dargestellt.

Vorteile	
+	Möglichkeit einer Optimierung des Gesamtsystems durch längerfristige Entscheidungen
+	JiS / JiT und alle weiteren Lieferformen sind theoretisch möglich
+	Ansiedlung des Lieferanten ist flexibler (größerer Einzugsradius)
+	Wirtschaftlicherer Produktion der Lieferanten durch Abwägung von Fracht- und Herstellkosten
+	optimale Berücksichtigung der Produktionsrestriktionen
+	Kapazitätsschwankungen treten nicht unvorbereitet auf und Anpassungen der Kapazitäten in der Produktion können frühzeitig durchgeführt werden
+	höhere Liefertermintreue
Nachteile	
-	stark verringerte Flexibilität
-	PK erfordert perlenkettentaugliche Prozesse um Störungsanfälligkeit zu minimieren

Tabelle 5: Vor- und Nachteile des Perlenketten – Konzepts

2 Verkehrsträger

2.1 Beschreibung der Verkehrsträger

Dieses Kapitel konzentriert sich auf die Beschreibung der für diese Arbeit relevanten Verkehrsträger, welche für Transportaufgaben benützt werden. Die allgemeine Beschreibung der Verkehrsträger beinhaltet die Charakterisierung, Einsatzgebiete und die Ausprägungen in Form typischer Verkehrsmittel für die Verkehrsträger Straße und Schiene. Dabei liegt der Fokus auf der Nutzung der Verkehrsträger in der Automobilindustrie und für den Transport vom Lieferanten zum OEM (inbound). Die Verkehrsträger sollen dann in Kapitel 2.2 bewertet und miteinander verglichen werden.

2.1.1 LKW

Der LKW ist derzeit der mit Abstand wichtigste Verkehrsträger in Österreich (vgl. Kapitel 2.2.3.2). Der Straßenverkehr hat sich in den letzten Jahren hauptsächlich aufgrund Vorteile im Preis, der Schnelligkeit und der Flexibilität ausgeweitet. Das Güterverkehrsaufkommen im Schienenverkehr stieg dagegen immer nur schwach an (vgl. Ihme 2000, S. 164).

2.1.1.1 Definitionen

Kraftfahrzeug

Laut Kraftfahrzeuggesetz (KFG) ist ein Kraftfahrzeug „...ein zur Verwendung auf Straßen bestimmtes oder auf Straßen verwendetes Fahrzeug, das durch technisch freigemachte Energie angetrieben wird und nicht an Gleise gebunden ist, auch wenn seine Antriebsenergie Oberleitungen entnommen wird.“ (KFG 1967, §2 Abs. 1 S. 1 KFG)

Lastzug

Lastzug ist der Oberbegriff für Sattelzüge und Gliederzüge. Ein Sattelkraftfahrzeug besteht aus einer Sattelzugmaschine, die keine Ladefläche besitzt, und einem Anhänger, dem Sattelaufleger. Ein Gliederzug besteht aus einem Zugfahrzeug, das im Unterschied zu einer Sattelzugmaschine Lasten befördern kann, und maximal einem Anhänger.

2.1.1.2 Eigenschaften

Die Fahrgeschwindigkeit ist nach §58 Kraftfahrzeuggesetz-Durchführungsverordnung (KDV) für Fahrzeuge mit einem höchsten zulässigen Gesamtgewicht von größer als 3,5 t außerorts auf 70 km/h beschränkt. 80 km/h dürfen auf Autobahnen und Autostraßen gefahren werden. Für Lastzüge besteht ein Fahrverbot an Sonn- und Feiertagen, nicht jedoch für Sattelzugmaschinen ohne Auflieger. Die Fahrzeuge müssen außerdem mit einem elektronischen Tempobegrenzer ausgerüstet sein, welcher bei Überschreitung von 90 km/h die Fahrzeuggeschwindigkeit abregelt.

Abmessungen und Gewichte der Fahrzeuge sind durch Bestimmungen im Kraftfahrzeuggesetz (KFG) geregelt. Auf europäischer Ebene findet sich die Richtlinie 96/53/EG, die grenzüberschreitenden Verkehr ermöglichen und vereinfachen soll.

So darf ein Kraftfahrzeug nach §4 KFG ebenso wie ein Anhänger eine maximale Länge von 12 m erreichen. Sattelkraftfahrzeuge dürfen maximal 16,5 m lang sein, Gliederzüge bis zu 18,75 m. Die Zahl der Anhänger ist auf zwei beschränkt. Alle Fahrzeuge dürfen maximal eine Breite von 2,55 m erreichen. Eine Ausnahme (abgesehen von Ausnahmen für land- und forstwirtschaftliche Fahrzeuge) gilt nur für Aufbauten von klimatisierten Fahrzeugen, die 2,6 m breit sein dürfen, wenn die Seitenwände einschließlich Wärmedämmung mindestens 45 mm dick sind. Die Höhe eines Fahrzeugs darf 4 m nicht überschreiten. Zu den Abmessungen gibt es noch einige ergänzende Regelungen (z.B. bzgl. des Wendekreises).

Für den Gütertransport zum OEM können verschiedene Aufbauten als Ladehilfsmittel eingesetzt werden. Am häufigsten findet dafür der offene Kasten verwendet. Er kann mit Spriegel

und Plane kombiniert werden und ist bei Be- und Entladung am flexibelsten, da diese von allen Seiten erfolgen kann. Ein Kofferaufbau bietet dagegen eine bessere Ladungssicherung - ist aber schwerer und unflexibler, da er nur heckseitig be- und entladbar ist. Volumenaufbauten werden für den Transport von großvolumigen aber leichten Gütern eingesetzt. Auf Grund kleinerer Räder kann die Ladehöhe vergrößert werden. Alle Aufbauten sind in einer Ausführung für Anhänger und Sattelaufleger verfügbar. Weiterhin sind Tieflader für Schwerlasttransporte, Tankwagen für den Transport von flüssigem Gut und Kipperfahrzeuge für Transporte von Schüttgut erhältlich. Für kleinere Transporte werden auch zweiachsige Kleintransporter verwendet, die mit einem Führerschein der Klasse B gefahren werden dürfen, beispielsweise der Mercedes-Benz Sprinter oder der Volkswagen Transporter. Durch diese kurze Auflistung verwendeter Lastkraftwagen wird ersichtlich, dass man hier relativ flexibel das für die Transportaufgabe zweckmäßige Modell wählen kann. Ein paar Beispiele der möglichen Aufbauten sind in Abb. 10 aufgelistet.

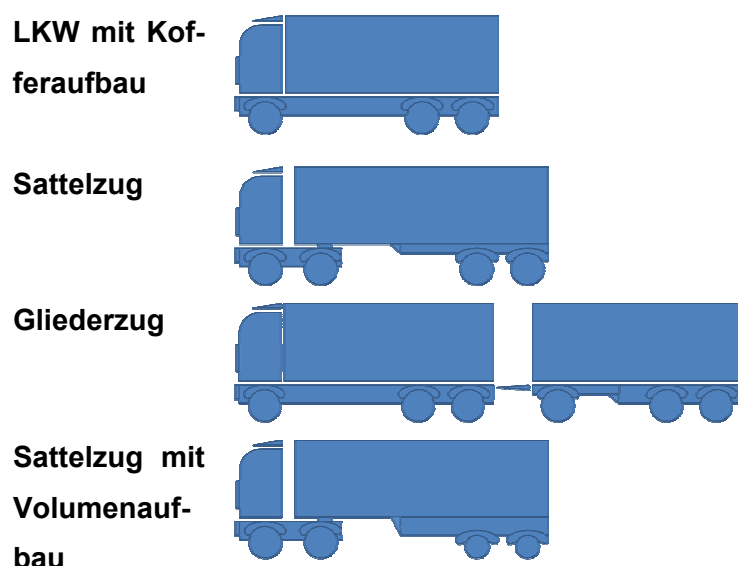


Abb. 10: Mögliche LKW -Aufbauten zum Gütertransport im Inbound - Bereich

Die Kapazität eines Lastkraftwagens von 12 m Länge entspricht rechnerisch 24 Europaletten auf einer Ebene (gerundet auf Europaletten ist der Wert unabhängig von der Länge des Fahrerhauses, welche zwischen 1,65 m und 2,28 m liegt). Die Gesamtkapazität hängt davon ab, wie viele Paletten übereinander gestapelt werden. Ein Anhänger kann bei einer maximalen Länge von 12 m bis zu 30 Europaletten in einer Ebene aufnehmen. Bei einem Sattelaufleger ergibt sich eine Kapazität von 34 Paletten in einer Ebene. Bei Gliederzügen hängt die maximale Kapazität an Europaletten von der Länge des Fahrerhauses und der Länge der Kuppelung zwischen Zugfahrzeug und Anhänger ab. Es lassen sich Werte von bis zu 38 Paletten in einer Ebene erzielen. Volumenaufbauten vergrößern das Volumen lediglich durch eine größere Transporthöhe, sodass die Anzahl der Europaletten in einer Ebene gleich bleibt.

Stark kontrovers wird derzeit die Debatte über den Einsatz des Gigaliners diskutiert. Es handelt sich dabei um einen überlangen Lastzug, der in verschiedenen Konfigurationen bis zu 25,25 m lang und bis zu 60 t schwer ist. Dabei können bis zu 52 Europaletten in einer Ebene transportiert werden. Jedes Land kann derzeit noch selbst entscheiden, ob es den Gigaliner zulassen möchte oder nicht. In verschiedenen europäischen Ländern, beispielsweise in Finnland und Schweden, ist dieser schon seit Jahren im Einsatz.

2.1.2 Schienenverkehr

Der Schienengüterverkehr erbringt in Österreich gemessen in Tonnen 15 % des Gütertransportaufkommens. Betrachtet man jedoch die Tonnenkilometer so sind es ca. 25 % der gesamten in Österreich erbrachten Gütertransportleistung (vgl. Herry 2007, S.115, S. 138). Dies deutet auf den Einsatz schienengebundener Transportmittel für vorwiegend lange Distanzen hin. In diesem Bereich liegt auch ein großer Vorteil verglichen mit dem Transport auf der Straße. Insbesondere der Transport von Gütern mit hohem Gewicht über lange Distanzen kann energieeffizient bewältigt werden. Aus diesem Grund entfällt ein großer Anteil des Güterschienenverkehrs auf den Transport im Montanbereich (Metalle und Brennstoffe) sowie dem Mineralöltransport (Bühler 2006, S.43f.).

Folgende verschiedene Arten der Transportzusammenstellung können unterschieden werden:

Einzelwagenverkehr

Beim Einzelwagenverkehr werden einzelne Wagen gesammelt und für den Transport auf bestimmten Relationen gebündelt. Damit die Wagen ihren Zielort erreichen müssen Züge oft mehrfach aufgelöst und in Rangierbahnhöfen neu zusammengestellt werden. Die Wagen erreichen also ihr Ziel nicht direkt, sondern über Knotenpunkte im Transportnetzwerk. Dadurch kommt es in vielen Fällen zu langen Transportzeiten von mehreren Tagen. Noch dazu kann die Ankunftszeit meist nicht genau angegeben werden.

Das Bahnunternehmen stellt den Güterwaggon zur Verfügung und holt diesen direkt beim Kunden ab. In kurzen Zügen werden die Waggons zu Knotenbahnhöfen gebracht wo sie durch Rangierer zu Übergabezügen zusammengestellt werden. Nach der Fahrt zu größeren Rangierbahnhöfen werden sie erneut zu Ferngüterzügen gruppiert. Diese fahren die Hauptstrecke bis in die Nähe des Bestimmungsortes, wo sie wieder in kleinen Zügen zu den Empfängern gebracht werden. Daraus ergeben sich lediglich Durchschnittsgeschwindigkeiten zwischen 6 und 12 km/h (vgl. Sönke 2004)!

Ganzzugverkehr

Ist eine ausreichende Anzahl von Waggons zum Transport auf einer Relation mit festgelegten Start- und Zielpunkt vorhanden so kann ein durchgehender Zug eingesetzt werden, der anders als beim Einzelwagenverkehr in seiner Zusammenstellung bis zum Erreichen des Ziels nicht mehr verändert wird. Dadurch können kürzere Beförderungszeiten realisiert werden. Typischerweise finden Transporte in der Nacht statt und erreichen bei einer Abfahrt am Abend den Zielort am nächsten Morgen. Ganzzüge fahren normalerweise nach einem festen Fahrplan. Die Ankunftszeiten sind dadurch gut zu prognostizieren und verlässlich.

Vorteile des Ganzzuges (vgl. Tabelle 6):

Vorteile	
+	Konzentration der Be- und Entladeprozesse bei den Kunden
+	einfache Abstimmbarkeit der Abfahrts- und Ankunftszeiten
+	minimaler Rangieraufwand
+	vergleichsweise geringe Transportzeit
+	Vereinfachung örtlicher Arbeiten (z.B. geschlossene Abfertigung statt Abfertigung von Einzelwagen)
+	minimaler organisatorischer betrieblicher Aufwand
+	vergleichsweise geringe Kosten

Tabelle 6: Vorteil des Ganzzuges (Quelle: Berndt 2001, S.19)

Gemischte Ganzzüge sind Mischformen, welche aus mehreren ganzzugartigen Blöcken zusammengesetzt werden. Durch deren Einsatz wird versucht, die Effizienz und die Transportkosten des Ganzzuggüterverkehrs mit der Flexibilität bezüglich der Transportkapazität beim Einzelwagenverkehr zu verbinden. Die Definition der gemischten Ganzzüge kann nicht eindeutig vom Einzelwagenverkehr abgegrenzt werden, da auch beim Einzelwagenverkehr oftmals Blöcke aus Waggons mit gleichem Start- und Zielort gebildet werden.

In der Automobilindustrie werden überwiegend Ganzzüge eingesetzt, die nach einem festen Fahrplan verkehren. Einen großen Anteil des Schienengüteraufkommens in der Automobilindustrie entfällt auf den Zwischenwerksverkehr. So werden Karosserien, Motorblöcke oder andere vorwiegend schwere und voluminöse Komponenten zwischen den verschiedenen Standorten der Automobilhersteller über die Schiene befördert.

Kombinierter Verkehr

An dieser Stelle soll auch der Kombinierte Verkehr betrachtet werden, obwohl er definitionsgemäß nicht unbedingt mit der Bahn transportiert werden muss.

Charakteristisch für den Kombinierten Verkehr sind folgende zwei Bedingungen (vgl. Bukold 1996, S. 21):

1. Beim Transport kommen mindestens zwei verschiedene Verkehrsträger zum Einsatz.
2. Das Frachtgut bleibt während des gesamten Transportes in demselben Transportgefäß.

Neben den verschiedenen Möglichkeiten zur Zusammenstellung von Zügen, sind die eingesetzten Wagen ein entscheidender Faktor für die Verladung, die Transportsicherung und die Transportkapazität.

Im **Inbound - Bereich** werden Roherzeugnisse, wie z.B. Stahlcoils, und Komponenten transportiert. Hauptsächlich werden dafür Drehgestellwagen für Coiltransporte und gedeckte, großräumige Schiebewandwagen (vgl. Abb. 11) eingesetzt.

Die Schiebewandwagen sind insbesondere für den Transport von empfindlichen Gütern der Automobilindustrie sehr gut geeignet da eine gute Ladungssicherung und ein hoher Schutz vor Umwelteinflüssen erreicht werden. Gleichzeitig wird die Be- und Entladung der Wagen durch die großen Schiebetüren vereinfacht. Großvolumige Schiebewandwagen gibt es in verschiedenen Varianten mit einer Länge zwischen 12,7 und 22 Metern und einer maximalen Zuladung zwischen 16 und 58 Tonnen. Beim Transport von Komponenten für die Automobilindustrie ist das maximale zu transportierende Volumen die wichtigere Kenngröße im Vergleich zur maximalen Gewicht der Ladung, da im Normalfall das Gewicht der Güter weit unter dem Maximum der Wagenkapazität bleibt.



Abb. 11: Schiebewandwagen für den Automobilteile-Transport (Engelmann 2004, S. 298)

2.1.2.1 Alternative Schienengebundene Verkehrsmittel

Es wurde in der vergangenen Zeit viel Forschungsaufwand betrieben, um einige Nachteile des herkömmlichen Schienenverkehrs auszubessern. Eine Forschungsrichtung betrifft die verstärkte Automation in etlichen Bereichen. Anschließend werden einige Gebiete aufgelistet, welche sich grundsätzlich für eine Automation eignen (vgl. Köder 1998, S. 9f):

- Automatische Identifikationssysteme mit GPS – Navigation.
- Selbstangetriebene Transporteinheiten
- Automatisches, ferngesteuertes Entladen bei Schüttgütern.
- Automatische Umschlaganlagen.
- Elektronische Bremssysteme welche beim Rangieren die aufwendigen Funktionstests der Einzelwagenbremsen überflüssig machen. (vgl. Witte 2000, S. 745)
- Automatische Zugkupplungen, welche die Waggon inkl. Bremsleitungen automatisch verbindet.

Viele Maßnahmen versuchen schienengebundene Verkehrsmittel dem LKW etwas ähnlicher zu machen und dessen Vorteile auszunutzen. Ein Trend im Gütertransport zeigt, dass die Sendungsgrößen immer kleiner werden und dass die Anforderungen an die Reaktionszeiten steigen (vgl. Elbert 2003, S. 90). Diese Entwicklungen kommen eigentlich den Eigenschaften des Straßengüterverkehrs zu Gute (vgl. Kapitel 2.2.5). Das stetig steigende Verkehrsaufkommen in diesem Segment droht daher ausschließlich auf der Straße transportiert zu werden (vgl. Kapitel 3). Neue Entwicklungen versuchen den Anteil der Bahn am steigenden Transportaufkommen (besonders im Nah- und Regionalverkehr) wieder zu vergrößern. Ein Konzept, welches dieses Ziel verfolgt ist der Betrieb von kleinen schienengebundenen Fahrzeugen, welche dem LKW ähnlich sind.

Eines der ersten Konzepte war das Selbsttätig Signalgeführte Triebfahrzeug (SST). Das ist ein Güterzug ohne Lokführer welcher von 1996 bis 1999 als JiT-Transportmittel zwischen dem Motorenwerk in Salzgitter und dem VW-Werk in Wolfsburg getestet wurde. Es berücksichtigte jedoch keine Sicherheitssysteme zur Fahrwegüberwachung, Verfahren zur Konvoi-bildung oder Verfahren zur Dynamisierung der Fahrpläne.

Ein weiteres System war das Konzept des Selbst Organisierenden Güterverkehrs (SOG). Dabei ist jedes Schienenfahrzeug mit einem Steuerungsrechner ausgestattet der die Fahrt organisiert und abwickelt. Die per Funk ferngesteuerten Weichen erlauben es den Fahrzeugen, ihren Fahrweg selbst zu wählen. Weiters suchen sich die Fahrzeuge ihren Fahrweg

selbst, stimmten diesen auch untereinander ab und geben sich die Fahrten untereinander frei (vgl. Abb. 12). Der SOG hatte jedoch keine Intelligenz um auf unvorhergesehene Ereignisse zu reagieren oder Deadlocks zu vermeiden (vgl. Dellmann 2006, S. 236f).

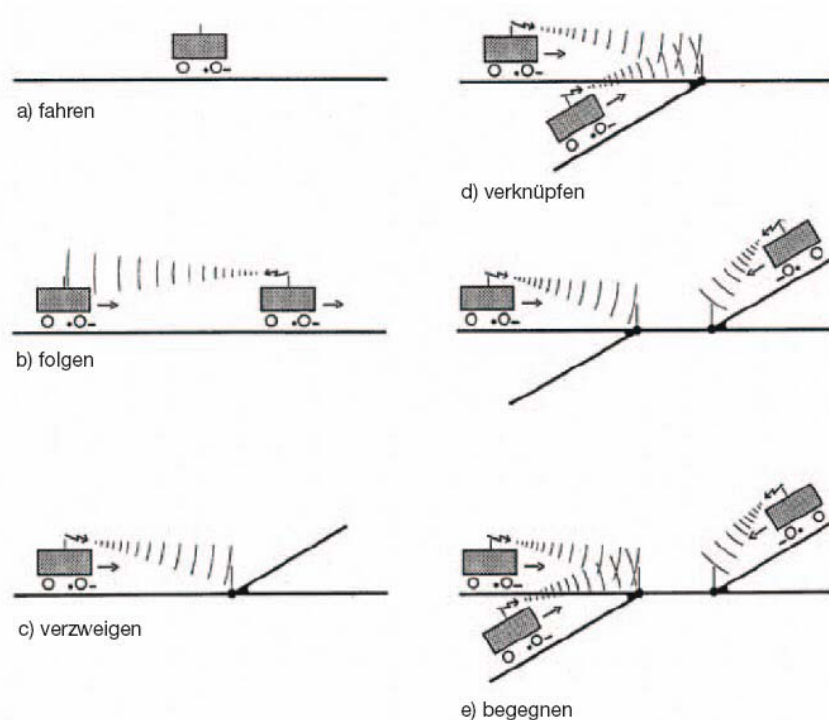


Abb. 12: Die 5 Funktionsbereiche des SOG (Quelle: Dellmann 2006, S. 237)

Die neueste Entwicklung ist der von der Firma Siemens in Zusammenarbeit mit externen Partnern wie dem Institut für Schienenfahrzeugtechnik der RWTH Aachen und der Universität Braunschweig entwickelte CargoMover (vgl. Abb. 13).

Der CargoMover ist eine vollautomatische, selbst fahrende Gütereinheit mit eigenem Antrieb. Er kann bis zu 60 t Nutzlast bzw. bis zu 135 m³ befördern – dies entspricht etwa der Kapazität zweier herkömmlicher LKW und ist mit zahlreichen Sensoren und Kameras ausgestattet, die es ermöglichen vor Hindernissen die Fahrt zu stoppen. Diese sind beidseitig ausgeführt, damit Wendemanöver unnötig werden (vgl. Mairhofer 2003, S. 5f).



Abb. 13: CargoMover (Quelle: Mairhofer 2003, S. 5)

Der **Transportprozess** läuft folgendermaßen ab:

Die Betriebszentrale erhält einen Auftrag vom Kunden. Dieser muss lediglich das Abfahrtsgleis sowie das Zielgleis und die Ankunftszeit bekannt geben. Der CargoMover bekommt die berechnete Route mittels einer Funkübertragung über GSM-R (Global System for Communications for Railways) zugesendet. Außerdem werden die erforderlichen Daten für die Weichenstellungen an das Stellwerk übermittelt. Nach der Bestätigung erhält der CargoMover die Fahrerlaubnis und fährt sogleich zu dem Absender-Gleis. Die Position des CargoMovers wird selbständig errechnet und kann auf Wunsch immer an den Kunden weitergeleitet werden. In Rangiergeschwindigkeit fährt er dann zur Beladestelle wobei die Feinpositionierung auch von Hand gesteuert werden kann. Die Beladung von Wechselbrücken oder Containern kann auch ohne spezielle Kräne oder Rampen erfolgen. Der Verantwortliche vor Ort bestätigt nach dem Beladungsvorgang das Lieferziel. Nachdem er seinen Autorisierungsschlüssel abgezogen hat, setzt sich der CargoMover mit einem Signalton in Bewegung. Nach der Entladung am Zielort erhält er einen neuen Transportauftrag oder steuert den nächsten Stellplatz an (vgl. Mairhofer 2003, S. 7).

Dieses technische System ist speziell für JiT – Zulieferprozesse konstruiert und auch besonders für den Werksverkehr geeignet. Es kann als direkte Alternative zum LKW-Transport für zeitkritische Transporte angesehen werden. Obwohl das System auch gut im KV-Verkehr einsetzbar ist, wäre ein Einsatz im Haus-zu-Haus Verkehr aufgrund der geringeren Umschlagfähigkeiten effizienter und daher auch anzustreben. Das setzt natürlich einen eigenen Gleisanschluss voraus. Es wäre unrealistisch zu behaupten, dass solche Entwicklungen den

Straßengüterverkehr vollständig verdrängen könnten. Es ist allerdings eine ernstzunehmende Alternative in bestimmten Industrien.

Eine notwendige Voraussetzung für den Einsatz ist jedoch das einheitliche europäische Verkehrsleitsystem „European Train Control System“ (im Folgenden ETCS genannt) im Level 2.

Derzeit gibt es in Europa viele verschiedene nationale Verkehrsleitsysteme. Das ist auch ein Grund für Probleme im grenzüberschreitenden Verkehr. Die EU hat daher mittlerweile 2 Richtlinien verabschiedet, welche eine Vereinheitlichung der Verkehrsleitsysteme zum Ziel haben:

- Richtlinie 96/48/EG über die Interoperabilität des transeuropäischen Hochgeschwindigkeitsbahnsystems.
- Richtlinie 2001/16/EG über die Interoperabilität des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems.

Die erstgenannte Richtlinie hat auch die Grundlage für die Spezifikationen des ETCS (European Train Control System) gebildet. ETCS soll langfristig die unterschiedlichen Verkehrsleitsysteme in den einzelnen Mitgliedsstaaten ablösen. Durch die Verschiedenen Ausbaustufen (Level 1 bis 3) können diese nach und nach überlagert werden. Zuerst sollen die Hochgeschwindigkeitsstrecken und dann auch die restlichen Strecken und Fahrzeuge angepasst werden. Das für den CargoMover geforderte ETCS-Level 2 sieht streckenseitige intelligente Transponder (Balisen), welche mit den darüber fahrenden Zügen kommunizieren sowie das Funksystem GSM-R für die Realisierung der Zugsicherung und der Zugbeeinflussung vor (vgl. Veider 2004, S. 7).

An dieser Stelle muss der Vollständigkeit halber erwähnt werden, dass derzeit im herkömmlichen Betrieb das Fahren auf Sicht aus Sicherheitsgründen auch nicht erlaubt und jeder Zugführer auf stationäre Signalanlagen angewiesen ist. Diese bilden so genannte Blockabschnitte, in die immer nur ein Zug gelassen wird. Da kürzere Züge die (auf die Maximallänge und Bremswege ausgelegten) Blockabstände nicht effektiv ausnützen, sieht das ETCS eine Sicherung des Raumabstandes ohne fixe Blockabstände vor (vgl. Berndt 2001, S. 209).

Anschließend sind die Vor- und Nachteile des CargoMovers zusammengefasst aufgelistet (vgl. Tabelle 7):

Vorteile	
+	keine Rangierarbeit nötig
+	annähernd flexibler Einsatz (ähnlich wie ein LKW)
+	kurzfristig einsetzbar
+	kleine Losgrößen realisierbar
+	wirtschaftlicher Einsatz im Nahverkehr
+	zuverlässig
+	besonders auch für intermodalen Transport geeignet (kein eigener Gleisanschluss nötig und einfach zu beladen)
+	keine Staugefahr
+	unempfindlich gegen Mauterhöhungen auf der Straße
+	keine Pausenzeiten
+	keine Fahrverbote
Nachteile	
-	Aufbau eines flächendeckenden universellen Verkehrsleitsystems (ETCS)
-	Der Transport wäre nicht mehr so effizient, da mehrere Zuggeräte erforderlich sind als bei einem Ganzzug.

Tabelle 7: Vor- und Nachteile des Konzeptes CargoMover

2.2 Bewertung der Verkehrsträger

Das folgende Kapitel beinhaltet die Bewertung der Verkehrsträger LKW und Bahn. Dabei werden in einem ersten Schritt die für die Bewertung herangezogenen Kriterien ausgewählt. In Kapitel 2.2.3 und 2.2.4 erfolgt die Dokumentation der jeweiligen Ausprägung der Eigenschaften. Diese werden in Kapitel 2.2.5 zusammengefasst gegenübergestellt und in Form einer Argumentationsbilanz dargestellt.

2.2.1 Kriterien zur Bewertung der Verkehrsträger

In diesem Abschnitt sollen bestehende Kennzahlensysteme miteinander verglichen und eine geeignete Bewertungsgrundlage erarbeitet werden. Dieses Kennzahlensystem dient zur späteren Evaluation der Verkehrsträger und der Erstellung von Verkehrsträgerprofilen.

Im Rahmen der Literaturrecherche konnte festgestellt werden, dass es keinen wissenschaftlichen Konsens hinsichtlich der Anzahl oder Hierarchie der Kriterien gibt, die zur Auswahl von Verkehrsträgern dienen. Verschiedene Studien nutzen verschiedene Kriterien in verschiedener Hierarchisierung, um die Verkehrsträgerwahl zu untersuchen. In einer dieser Studien wird diese Aussage mit folgendem Satz bekräftigt:

“There is no common opinion of how exactly the selection determinants should be categorised. However, despite the different approaches, the consensus of most studies leads in the same direction. They suggest that an investigation of the criteria employed by shippers in the selection of transport should include the factors: timing; price; security; and service.” (Pedersen 2003, S. 112).

Trotz der unterschiedlichen Bewertungsmethoden lassen sich wesentliche Kriterien bei der Auswahl von Verkehrsträgern bestimmen. So wurde von Voigt 1973 ein Qualitätsprofil angeführt, mit dem die Verkehrswertigkeit eines Verkehrsmittels beschrieben werden kann. In diesem Profil erfolgt die Bewertung anhand der sieben Kriterien Massenleistungsfähigkeit, Schnelligkeit, Fähigkeit zur Netzbildung, Berechenbarkeit, Häufigkeit der Verkehrsbedienung, Sicherheit und Bequemlichkeit (vgl. Voigt 1973, S. 69ff). Der Preis für eine Transportleistung wird dabei nicht extra bewertet. Er betont jedoch, dass der Preis für die tatsächliche Entscheidung immer das wichtigste Kriterium ist.

Diesen sieben Kriterien fügt Ihde zusätzlich die Umweltbeeinflussung als weiteres, gleichgestelltes Kriterium hinzu (vgl. Ihde 2001). Immer stärker müssen neben den offensichtlichen Beurteilungskriterien wie beispielsweise den Kosten eines Transports auch umweltrelevante Gesichtspunkte berücksichtigt werden. Nicht zuletzt deswegen, da diese immer mehr kostenverursachend wirken. Beispiele dafür wären die Erhöhung von Straßenbenützungsabgaben oder die Diskussion über die Anrechnung externer Kosten (vgl. Kapitel II3.1).

Der Vergleich verschiedener Studien ist nur eingeschränkt möglich. Dennoch soll in diesem Kapitel ein Vergleich einiger bisher erschienener Studien erscheinen, um einen Überblick über die Relevanz bestimmter Kriterien in der bisherigen Forschung zu geben.

2.2.1.1 Vergleich der Kriterien, welche in diversen Studien verwendet wurden

In den betrachteten Studien wurden verschiedene Bezeichnungen für die Kriterien zur Auswahl von Transportmitteln verwendet. Tabelle 8 stellt die in verschiedenen Studien verwendeten Kriterien gegenüber und ordnet sie, soweit möglich, einander zu. Dabei wurde bewusst auf eine Übersetzung der Kriterien verzichtet. Die linke Spalte „Häufigkeit“ gibt den Anteil des Auftretens eines Kriteriums in den untersuchten Studien an.

Der Preis ist das wichtigste Kriterium bei der Auswahl von Verkehrsträgern und wurde ebenso wie Zuverlässigkeit, Sicherheit und Lieferzeit und Flexibilität in allen untersuchten Studien betrachtet².

Viele andere Kriterien, wie Verfügbarkeit, Häufigkeit / Frequenz, Beziehungsqualität, Service, Informationsfluss, Haus-zu-Haus Verkehr, Kapazität, Regulation und Legislation, impact, image oder strategic elements werden hingegen nur in wenigen Studien erwähnt.

² In der Studie von Petersen werden Flexibilität und Lieferzeit erst auf der zweiten Ebene dargestellt, daher erscheinen sie nicht in der Tabelle.

Häufigkeit	Kriterium	Baumgarten et al. 1998	Prognos AG	Engel 1996	Richter et al. 1997	Vannieuwenhuysse et al. 2003	Voigt 1973	Pedersen & Gray 2003	Beuthe et al. 2005
100%	Zuverlässigkeit	Zuverlässigkeit	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit	Pünktlichkeit	Reliability	Berechenbarkeit	Reliability in collection and delivery time	Reliability
100%	Sicherheit	Sicherheit	Sicherheit	Sicherheit	Sicherheit	Safety	Sicherheit	Low damage/loss frequency	Loss
100%	Lieferzeit	Lieferzeit	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Geschwindigkeit	Transportation time	Schnelligkeit	Short Transit Time	Time
100%	Flexibilität	Flexibilität	Flexibilität	Flexibilität (zeitlich)	Flexibilität	Flexibility	Massenleistungsfähigkeit	Flexibility	Flexibility
100%	Preis	Preis	Preis	Preis	Preis	Transportation cost	Preis	Low freight rate	Cost
50%	Häufigkeit / Frequenz			Häufigkeit / Frequenz			Häufigkeit der Verkehrsbedienung	High Transport Frequency	Frequency
50%	Service	Service			Zusatzdienstleistungen		Bequemlichkeit	Coordination and cooperation with carrier	
38%	Door-to-door		Door-to-door	Door-to-door				Directness of transport route	
38%	Netzbildungsfähigkeit		Netzbildungsfähigkeit			Density of network	Fähigkeit zur Netzbildung		
25%	Verfügbarkeit		Verfügbarkeit					Ability to handle urgent deliveries	
25%	Informationsfluss				Informationsfluss			Ability to monitor the goods in transit	
13%	Beziehungsqualität	Beziehungs-qualität							
13%	Capacity					Capacity			
13%	Regulation and legislation					Regulation and legislation			
13%	Impact					Impact			
13%	Image					Image			
13%	Strategic elements					Strategic elements			
								knowledge of port/harbour	
								control over delivery time	
								ability to handle special consignments	
								special offer/discount	
								Low packing charges	
								Relation between actual and estimated costs	

Tabelle 8: Vergleich der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Bewertungskriterien in verschiedenen Studien

2.2.2 Auswahl geeigneter Bewertungskriterien

In Anlehnung an die untersuchten Studien und das Ziel dieser Arbeit fiel die Auswahl der Bewertungskriterien auf folgende Überbegriffe:

Kosten

Natürlich sind die Kosten einer der wichtigsten Entscheidungsfaktoren jeder unternehmerischen Tätigkeit. Deshalb wird dieses Kriterium auch hier an erster Stelle gereiht. Es beinhaltet alle kosten- und preisrelevanten Eigenschaften wie Transportkosten, Kosten für Be- und Entladung, etc.

Flexibilität

Der Begriff der Flexibilität beinhaltet sowohl zeitliche, als auch räumliche Flexibilität

Leistung

Hier werden Leistungskenngrößen wie Kapazitäten, Lieferzeiten und -geschwindigkeiten beschrieben.

Zuverlässigkeit

Unter diesen Punkt fallen beispielsweise die Pünktlichkeit, Störanfälligkeit sowie Sicherheit und Transparenz.

Umwelt

Betrachtete Umweltaspekte sind zum Beispiel Energieverbrauch, Emissionen und externe Effekte.

2.2.3 Bewertung des Verkehrsträgers LKW

In diesem Abschnitt werden die einzelnen Verkehrsträger nach dem festgelegten Bewertungsmodell beurteilt. Generell muss darauf hingewiesen werden, dass die Bewertung der einzelnen Transportmittel von vielen unterschiedlichen Faktoren wie z.B. der Transportmenge, Zeitforderungen, Infrastruktur, länderspezifischen Aspekten, usw. abhängt. Daher kann nur eine allgemeine Bewertung durchgeführt werden. Um in der Praxis für die Transporte den „besten“ Transportträger auszuwählen, ist eine detaillierte Bewertung für jede Relation erforderlich. Die Entscheidungen können sich also von Fall zu Fall unterscheiden.

2.2.3.1 Kosten

Die Kosten einer Transportaufgabe sind einer der wichtigsten Faktoren und verlangen deswegen besondere Aufmerksamkeit. Bei der Betrachtung der LKW-Kostenstruktur stechen die hohen variablen Kosten in Form der Personalkosten und der Treibstoffkosten hervor (vgl. Tabelle 9). Sowohl im Nah- als auch im Fernverkehr nehmen die Personalkosten ungefähr ein Drittel der Gesamtkosten in Anspruch. Ein weiteres Fünftel der Kosten wird durch die Treibstoffkosten verursacht. Somit sind Fixkosten im Vergleich mit der Bahn relativ niedrig (vgl. Herry 2001, S.27f).

Durchschnittliche Kostenstruktur im LKW-Nahverkehr in Österreich (Stand 12/2000)		Durchschnittliche Kostenstruktur im LKW-Fernverkehr in Österreich (Stand 12/2000)	
Kostenart	Anteil an den Gesamtkosten in %	Kostenart	Anteil an den Gesamtkosten in %
Treibstoff	18	Treibstoff	23
Öl/Schmierstoff	1	Öl/Schmierstoff	0
Bereifung	2	Bereifung	2
Reparaturen	6	Reparaturen	5
Abschreibung	9	Abschreibung	9
EK-Zinsen	6	FK-Zinsen	7
KFZ-Steuer/StraBa	3	KFZ-Steuer/StraBa	2
KFZ-Versicherung	8	KFZ-Versicherung	4
Sonstige Kosten (Garage, Reinigung)	1	Sonstige Kosten (Garage, Reinigung)	2
Fahrerkosten	35	Fahrerkosten	31
Verwaltung	7	Verwaltung	15
Auftragsversicherung	3	Nettoselbstkosten	100
Wagniszuschlag	1		
Nettoselbstkosten	100		

Tabelle 9: Kostenstruktur im LKW-Verkehr in Österreich (Quelle: Herry 2001, S. 27f)

Noch vor ein paar Jahren gab es einen großen Kostenunterschied im Bereich der Personalkosten zwischen westeuropäischen Fahrern und deren Kollegen aus Mittel- und Osteuropäischen Ländern (im Folgenden MOEL genannt) (vgl. Abb. 14).

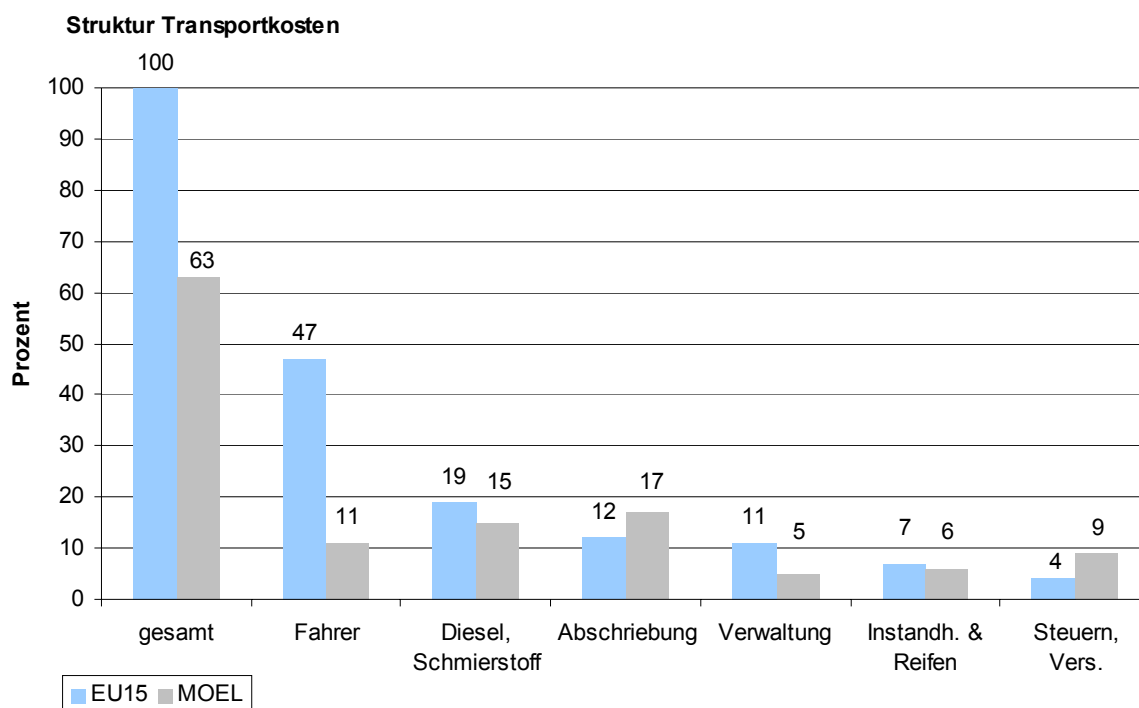


Abb. 14: Struktur der Transportkosten im Straßengüterverkehr im Jahr 2005 (Quelle: Skaret et al. 2005)

Dieser Lohnkostenunterschied hat sich in den letzten Jahren massiv zum Nachteil westeuropäischen Fahrer gewandelt. Zum Beispiel verdienen deutsche Fahrer derzeit nicht viel mehr als ihre osteuropäischen Kollegen und gelten auch schon als Billiglohnfahrer (vgl. WDR 2008). Der Preisdruck treibt westeuropäische Unternehmen zur Zahlung niedriger Löhne und zu teilweise arbeitnehmerunfreundlichen Beschäftigungsverhältnissen (vgl. Kapitel 3.1.4). Pauschalverträge oder die Anstellung von Tagelöhnern, welche selbständig tätig sind, sind keine Seltenheit. Dies treibt die Preisspirale immer weiter nach unten.

Die Kosten pro Transportleistung sind im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern sehr hoch. Dies zeigen zusammenfassend die vom Österreichischen Institut für Wirtschaftsforschung ermittelten Frachtsätze in Tabelle 10 (vgl. Herry 2001, S.75 nach Puwein), die jedoch als relativ niedrig eingestuft werden. Nicht überraschend ist, dass das Flugzeug als Transportmittel deutlich teurer als andere Verkehrsträger ist. Aber auch Straßentransporte sind pro Transportleistung in tkm erheblich teurer als ein Transport mit der Bahn oder dem Binnenschiff. Arnold beziffert die spezifischen Transportkosten des LKWs mit 0,05 bis 0,2 € / tkm (vgl. Arnold et al. 2004, S.C3-54).

Untergrenzen von Frachtsätzen für einen beladenen 40-Fuß- Container 1999	
Verkehrsträger	EUR / tkm
LKW	23
Bahn	0,025
Binnenschiff	0,015
Hochseeschiff (Linie)	0,001
Luftfahrt	0,102

Tabelle 10: Frachtsätze (Quelle: Herry 2001, S. 75)

Neben den Kosten für den Transport fallen weiter Kosten für die Be- und Entladung in Form von Infrastrukturkosten an. Verladezonen sind hierfür ein wichtiger Bestandteil und beinhalten die folgenden physischen Funktionen (vgl. Arnold et al. 2004, S. B3-51):

- Bereitstellung und Pufferung der zu verladenden Ladeeinheiten,
- Transport der Ladeeinheiten zwischen Bereitstellung und Verkehrsmittel und
- Ausgleich von Niveauunterschieden zwischen Verkehrsmittel und Verladezone.

Die LKW-Verladung wird hauptsächlich durch von Personen bediente Flurförderfahrzeuge durchgeführt (vgl. Arnold et al. 2004, S. B3-51). Abhängig von der Art der vorgesehenen Ver-

ladung und der Ladehilfsmittel treten unterschiedliche Investitions- und Betriebskosten auf. Von einer freien Verladung ohne Rampe oder besondere Infrastruktur bis hin zu Andockschleusen erhöhen sich die Investitionskosten für die LKW Anlieferung. Abb. 15 zeigt beispielhaft die Andockschleusen für LKWs im BWM Werk Leipzig (vgl. BMW 2008).



Abb. 15: Beispiel von LKW-Andockschleusen im LKW Werk Leipzig (Quelle: BMW 2008)

Aus Kostensicht eignet sich der LKW insbesondere im Nahverkehr für die Feinverteilung von Gütern. Gründe hierfür sind vor allem das gut ausgebaute Straßennetz und die dadurch gute Anbindung an nahezu alle Transportziele (siehe Kapitel II.2.2.3.2 Flexibilität). Gleißner erwähnt in seiner Bewertung den Vorteil der rationalen Bedienung der Fläche (vgl. Gleißner et al. 2008, S.45) und auch Schulte hebt die Kostenersparnis im Nah- und Flächenverkehr deutlich hervor (vgl. Schulte 1999).

2.2.3.2 Flexibilität

Die Flexibilität des LKW kann im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern als sehr hoch angesehen (vgl. Aberle 1996) und mit folgenden Aspekten beschrieben werden:

- Möglichkeit kurzer Bestell- und Lieferzyklen (vgl. Rapp 2005, S.20),
- Flexibilität bei An-, Ablieferungs- und Transportterminen (vgl. Gleißner et al. 2008, S.45, Schulte 1999, S. 160),
- Möglichkeiten der Umdisposition (vgl. Gleißner et al. 2008, S.45, Franz et al. 2006, S.42),
- Informationsfluss zwischen Akteuren und Kunden ist einfach (vgl. Rapp 2005, S.20) und
- Hohe Bedienungshäufigkeit der LKWs möglich.

Allerdings wird die **zeitliche Flexibilität** der LKW Transporte durch gesetzliche Restriktionen reduziert. Hier sei vor allem auf Nacht- und Wochenendfahrverbote und Gewichtslimite hingewiesen (vgl. Rapp 2005, S.21). Ein erhöhter Koordinationsaufwand und ein erhöhtes Stillstandsrisiko entstehen in dieser Hinsicht auch durch die Tatsache, dass diese Regelungen von Land zu Land verschieden sind. Weiters sind bei Transporten auf der Straße keine Fahrpläne einzuhalten, wie sie beispielsweise bei der Bahn vorhanden sind. Dies ist einer der großen Vorteile des LKWs, welchen auch zahlreiche Autoren in verschiedenen Ausdrucksweisen hervorheben (vgl. Schulte 1999, S. 160, Aberle 1996, Rapp 2005, S.20).

Die **räumliche Flexibilität** wird größten Teils durch die Fähigkeit gegeben, alle möglichen Destinationen anzufahren. Die Netzbildungsfähigkeit wird in der Literatur immer wieder hervorgehoben (vgl. Gleißner et al. 2008, S.45, vgl. Franz et al. 2006, S.42, vgl. Aberle 1996, vgl. Rapp 2005, S.20). Dafür verantwortlich ist die hohe Netzdichte des Straßennetzes. Wie in Tabelle 11 ersichtlich, betrug 2005 die Dichte des österreichischen Autobahnnetzes 20 km /1000 km². Dazu kommen noch 1258 km /1000 km² sonstige Straßen. Im Vergleich dazu ist die Netzdichte der Bahn in Österreich mit 68 km /1000 km² deutlich geringer (vgl. Tabelle 12). Die räumliche Flexibilität wird allerdings durch rechtliche Maßnahmen eingeschränkt. Etliche deutsche Städte mit hoher Feinstaubbelastung errichten auf Drängen der EU so genannte Umweltzonen. Diese dürfen nur von schadstoffarmen Fahrzeugen befahren werden und schränken somit die Bewegungsfreiheit mancher älterer LKWs in Stadtgebieten ein (vgl. UBA 2008). Außerdem gibt es in Österreich seit der Einführung der fahrleistungsabhängigen Maut Fahrverbote auf etlichen niederrangigen Straßen, welche als Ausweichstrecken benutzt wurden um Mautkosten zu sparen.

	Autobahnen			Sonstige Straßen		
	in km	In km/100.000 Einwohn.	in km/1000 km ²	in km	In km/100.000 Einwohn.	in km/1000 km ²
Deutschland	12.363	15	35	219.117	266	614
Österreich	1.677	20	20	105.663	1.281	1.258
EU*	59.205	14	18	3.371.760	1.221	1.075

*EU Autobahnen: EU23 (keine Daten für BE, EL, MT) - Sonstige Straßen: EU23(keine Daten für BE, EL, MT, PT)

Tabelle 11: Länge des Straßennetzes im Jahr 2005 (Quelle: Eurostat 2008)

	in km	Grad der Elektrifizierung in %	in km/100.000 Einwohner	in km/1000 km ²
Deutschland	38.206	52	46	107
Österreich	5.690	?	69	68
EU	215.720	44	57	57

Tabelle 12: Länge des Eisenbahnstreckennetzes im Jahr 2005 (Quelle: Eurostat 2008)

Auch in Bezug auf das zu transportierende Gut kann der LKW als flexibel eingeschätzt werden. Es sind zahlreiche unterschiedliche Fahrzeuggrößen vorhanden, welche je nach Transportaufkommen (Volumen bzw. Gewicht) verwendet werden können, um damit hohe Auslastungen der eingesetzten LKWs zu erzielen. Weiters ermöglichen Spezialaufbauten auf LKWs und Transportbehälter den Transport von Waren, welche besondere Ansprüche an das Verkehrsmittel stellen (vgl. Franz et al. 2006, S.42).

2.2.3.3 Leistung

Die **Kapazitäten** eines LKW reichen bis zu 25 Tonnen (vgl. Ihme 2006, S. 145) und gehen bis zu ca. 100 m³ Volumen. Daher ist ein LKW in Punkte Massenleistungsfähigkeit als eher niedrig einzuschätzen (vgl. Rapp 2005, S.20, Aberle 1996, vgl. Schulte 1999). Allerdings sind LKWs geeignet spezielle Ladegüter zu transportieren (vgl. Schulte 1999) und decken damit nahezu alle Marktsegmente ab. Ausgenommen sind gewisse Gefahrguttransporte (vgl. Rapp 2005, S.20).

Der Straßentransport mit seinen **Lieferzeiten** zeichnet sich durch seine schnelle Abwicklung aus. Vor allem wegen der niedrigen Stillstands- und Wartezeiten wird er als schnell beziehungsweise schneller als Bahn oder Schiffstransporte angesehen (vgl. Gleißner et al. 2008, S.45, Franz et al. 2006, S.42). Natürlich müssen diese Aussagen relativiert werden, da die Schnelligkeit eines Transportes im Einzelfall von vielen Faktoren abhängt (Franz et al. 2006, S.42).

2.2.3.4 Zuverlässigkeit

Die **Pünktlichkeit** eines Straßentransportes ist von etlichen Faktoren abhängig. Ein Faktor ist die Abhängigkeit vom Verkehrsaufkommen und von Verkehrsstörungen wie Staus (vgl. Schulte 1999, Rapp 2005, S.21), da das Straßennetz auch von anderen Teilnehmern wie Privatpersonen genutzt wird. Auch Witterungsabhängigkeiten beeinflussen den Transport. Regen, Schneefall, glatte Fahrbahnen und schlechte Sicht können Ursachen für mögliche

Verspätungen sein (vgl. Schulte 1999, Rapp 2005, S.21). Zudem können Hindernisse wie Grenzübergänge die Pünktlichkeit der LKWs einschränken. Beispielsweise schätzt ein Zulieferer der Automobilindustrie die benötigte Zeit für den Grenzübertritt in der Ukraine mit 12-48 Stunden ein (vgl. von der Hand 2008)! Aberle reiht in seiner Bewertung den Straßentransport auf seiner 3-teiligen Bewertungsskala mit „mittlerer Pünktlichkeit“ hinter den Schienenverkehr – befindet ihn also unpünktlicher (vgl. Aberle 1996).

Die Wahrscheinlichkeit, dass das transportierte Gut **sicher** beim Empfänger ankommt ist im Allgemeinen hoch. Gleißner (Gleißner et al. 2008, S.45) begründet das relativ geringe Transportrisiko mit der Möglichkeit der Direktanlieferung (Haus-zu-Haus) und den damit nicht (oder nur bedingt) notwendigen Umladevorgängen. Auch andere Autoren bescheinigen dem LKW als Transportmittel eine mittlere Transportsicherheit (vgl. Aberle 1996) bzw. eine niedrige Transportschadenquote (vgl. Rapp 2005, S.20). Allerdings werden viele Unfälle durch schlecht gesicherte Ladungen verursacht. Die Allianz Versicherungs-AG bemängelte, dass vier von zehn LKW Ladungen schlecht gesichert sind und dass es dadurch bei jedem dritten LKW zu einem Zwischenfall kommt, bei dem das Frachtgut beschädigt wird (vgl. Allianz 2002). Der Diebstahl von Ladungen dagegen wird durch die persönliche Begleitung des LKW Führers erschwert (vgl. Rapp 2005, S.20).

Im Bereich der Unfälle schneiden Lastkraftwägen im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern relativ schlecht ab. Dies belegt beispielsweise die österreichische Unfallstatistik 2006 (vgl. KFV 2006) aufbereitet in Tabelle 13.

	LKW	Bahn
An Unfällen beteiligte Fahrzeuge 2006*	4.841	78***
Transportleistung im Inland 2006 in 1000 tkm**	13.779.212	4.649.955
Unfälle / 1 Mio tkm Transportleistung	0,351	0,017

*Quelle: Verkehrsunfallstatistik 2006 Österreich

**Quelle: Statistik Austria

***Die angeführten Unfälle der Bahn beinhalten sowohl Personen, als auch Güterverkehr.

Tabelle 13: Unfälle LKW und Bahn (Quelle: KFV 2006)

2.2.3.5 Umwelt

Der Straßentransport mittels LKW ist sehr umweltschädlich (vgl. Rapp 2005, S.21, Aberle 1996). Um diesbezügliche Umweltdaten berechnen zu können, hat das deutsche Umweltbundesamt die Computerprogramme TREMOD und MOBILEV entwickeln lassen. Auch andere, darauf basierende Berechnungsprogramme sind vorhanden. In Österreich ist die Kummertabelle (www.kummertabelle.com) im Entstehen - ein ähnliches Programm zur Berechnung von Emissionen sowie Mautabgaben für Gütertransporte mit dem LKW.

Durch die Verbrennung des Kraftstoffes im Motor entstehen bei jedem Kraftfahrzeug Verbrennungsabgase. Stickoxide (NO_x) sind starke Atemgifte, begünstigen die Bildung von bodennahem Ozon und sind außerdem neben Schwefeldioxid (SO_2) für den sauren Regen verantwortlich. Kohlenmonoxid (CO) entsteht bei der unvollständigen Verbrennung des Brennstoffs und ist ein hochgiftiges Gas. Außerdem stellen Rußpartikel besonders bei LKWs ein großes Problem dar. Zudem emittiert jedes Kraftfahrzeug Kohlendioxid (CO_2), welches den Treibhauseffekt unterstützt (vgl. Umweltlexikon 2001).

Nachfolgend wurden der Primärenergieverbrauch sowie Schadstoffemissionen für ein ausgewähltes Szenario mit dem online Tool von RAILION (EcoTransIT) zur Verdeutlichung ausgewertet (vgl. andere Szenarien im Anhang Kapitel VI) und in den Abbildungen Abb. 16 bis Abb. 18 dargestellt. Weiters wurden die Daten mit dem GEMIS-Modell (Globales Emissions-Modell Integrierter Systeme) validiert, um eine bessere Aussagekraft zu erreichen. Anschließend sind der errechnete Primärenergieverbrauch sowie die CO_2 -Emissionen und die Gesamtstaubbelastung einer Relation (Zwickau – Dresden) angeführt. Weitere 2 Relationen befinden sich im Anhang.

	von	nach	
Strecke	Zwickau	Dresden	
LKW	108,5 km		40 t , EURO 2
Bahn	160,6 km		mittellang, elektrisch

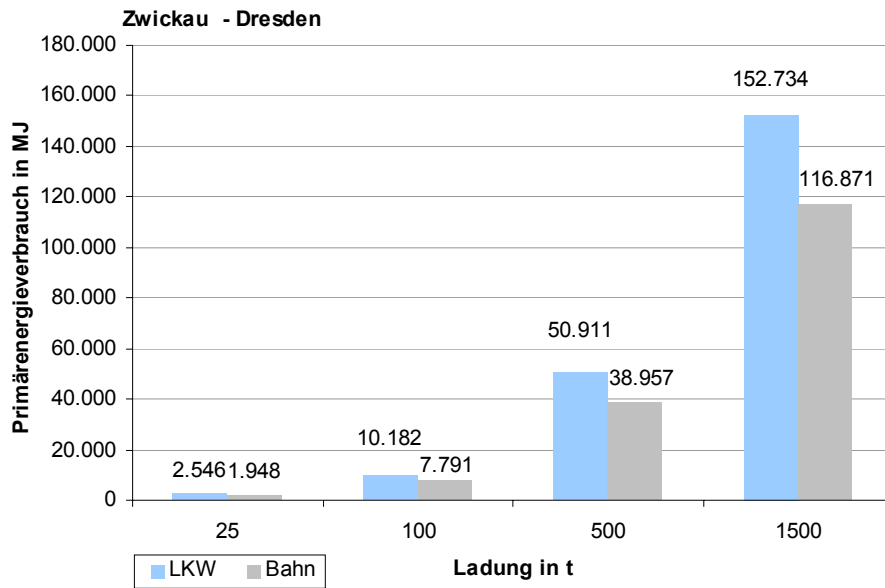


Abb. 16: Primärenergieverbrauch, Relation: Zwickau – Dresden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

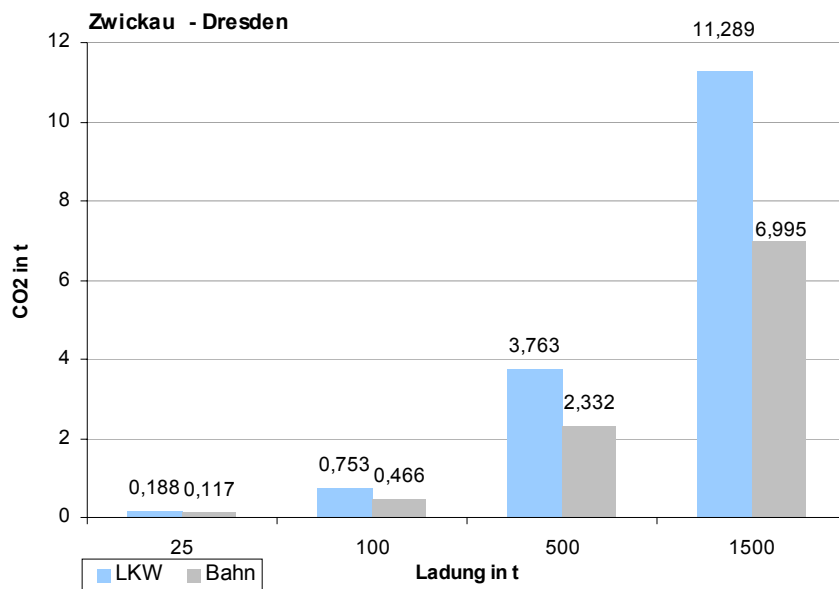


Abb. 17: CO2 – Emissionen, Relation: Zwickau – Dresden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

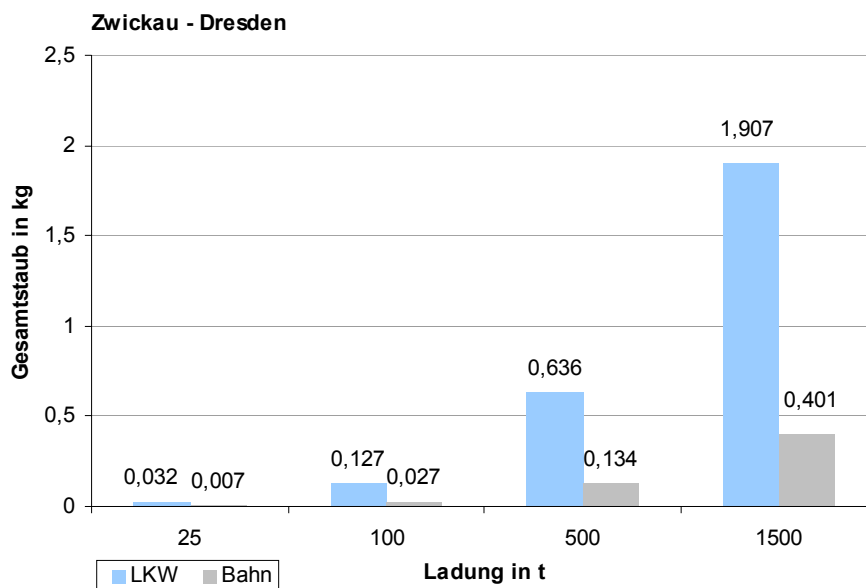


Abb. 18: Gesamtstaubausstoß, Relation: Zwickau – Dresden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

Die Berechnung dieser Daten zeigt deutlich, dass der LKW bei allen umweltrelevanten Kriterien deutlich schlechter abschneidet als die Bahn.

Neben den direkt durch den Verkehrsträger verursachten Umwelteinflüssen sind die so genannten **externen Kosten** interessant. Externe Verkehrskosten sind jene Kosten, welche durch den Verkehrsteilnehmer verursacht, aber nicht von ihm getragen werden. Die wichtigsten Kostenkategorien sind Unfallkosten, Lärmkosten, luftverschmutzungsbedingte Gesundheitskosten, Klimakosten, Natur und Landschaftskosten sowie Kosten aus vor- und nachgelagerten Prozessen (vgl. Infras 2007, S.5).

Hier fällt auf, dass die spezifischen externen Kosten des Straßengüterverkehrs weit über denen des Zug- bzw. Schifftransports liegen. Die durch den Luftverkehr verursachten externen Kosten werden noch um ein Vielfaches höher eingeschätzt. Der größte Teil wird laut Infras durch die verursachten Klimakosten geschätzt (vgl. Infras 2007, S.9). Zur Veranschaulichung der Daten wird auf das Kapitel II3.1.3 verwiesen.

Kraftfahrzeuge sind in Städten die bei weitem größte Lärmquelle (vgl. Abb. 19). Bis zu einer Geschwindigkeit von ca. 60 km/h ist das Motorgeräusch dominant, hingegen bei höherem Tempo die Rollgeräusche auf der Fahrbahn. Maßnahmen zur Verringerung des Lärms sind hier Verbesserung der Geräuschvorschriften für Straßendecken, Kraftfahrzeuge, Reifen sowie deren Kontrolle (vgl. UBA 2007).

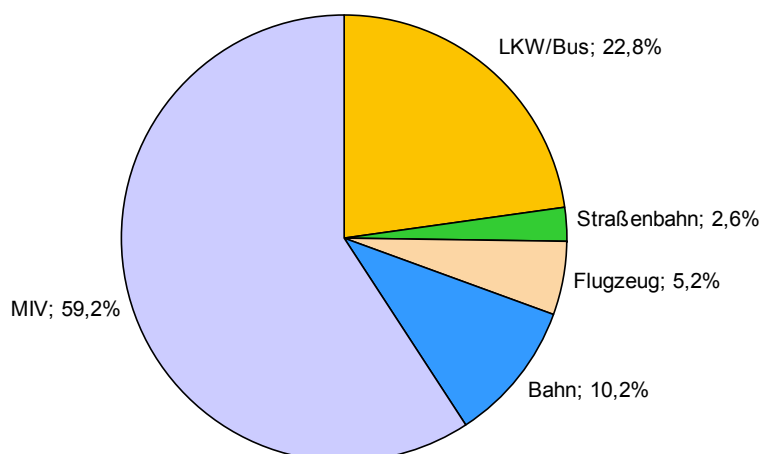


Abb. 19: Durch Verkehrslärm belastete Personen nach verursachenden Verkehrsträgern 2003 (Quelle: Herry 2007, S. 179)

Auch im Bezug auf die Unfälle stimmt die Unfallstatistik (vgl. KfV 2006) mit den angegebenen externen Kosten (vgl. Infrac 2007, S.9) überein. Wieder ist der LKW-Verkehr für einen Großteil der Auswirkungen auf die Umwelt und Gesellschaft verantwortlich.

Das Güterverkehrsaufkommen auf den Straßen ist in den letzten Jahren stetig gewachsen (vgl. EC 2007, S.3.2.2.). Diese Zunahme des Verkehrs ist auch für die Stauwirkung maßgeblich. Eine Untersuchung des Eidgenössischen Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (UVEK) Bundesamt für Straßen ASTRA im Jahr 2005 hat ergeben, dass vor allem die Überlastung der Straßen Verkehrsstaus verursachen (siehe Abb. 20). Unfälle und Baustellen haben in dieser Hinsicht keine so große Bedeutung (vgl. UVEK 2005, S.10).

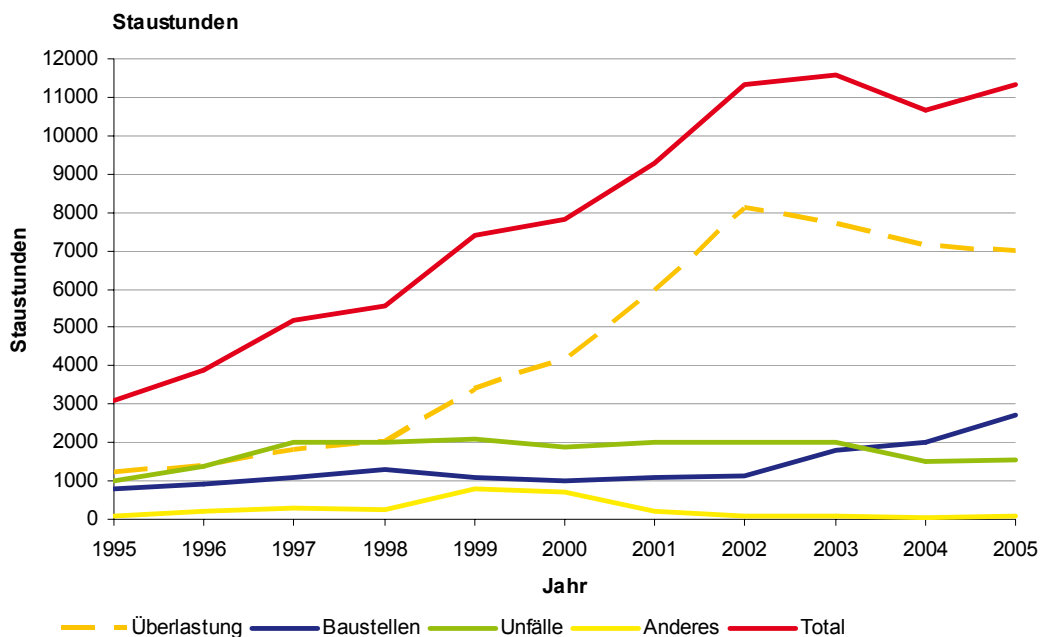


Abb. 20: Stautunden (Quelle: UVEK 2005, S.10)

Auch der spezifische CO_2 – Ausstoß des LKWs liegt deutlich über dem der anderen Verkehrsträger (ausgenommen dem Flugverkehr). Bei LKW Transporten wird dreimal so viel CO_2 pro Tonnenkilometer ausgestoßen als beim vergleichsweise emissionsarmen Bahntransport (vgl. Abb. 21). Verglichen mit den spezifischen CO_2 -Emissionen der mit dem Tremod Modell nachgerechneten Szenarien ergeben sich ähnliche Werte (LKW: 69 g/tkm, Bahn: 29 g/tkm).

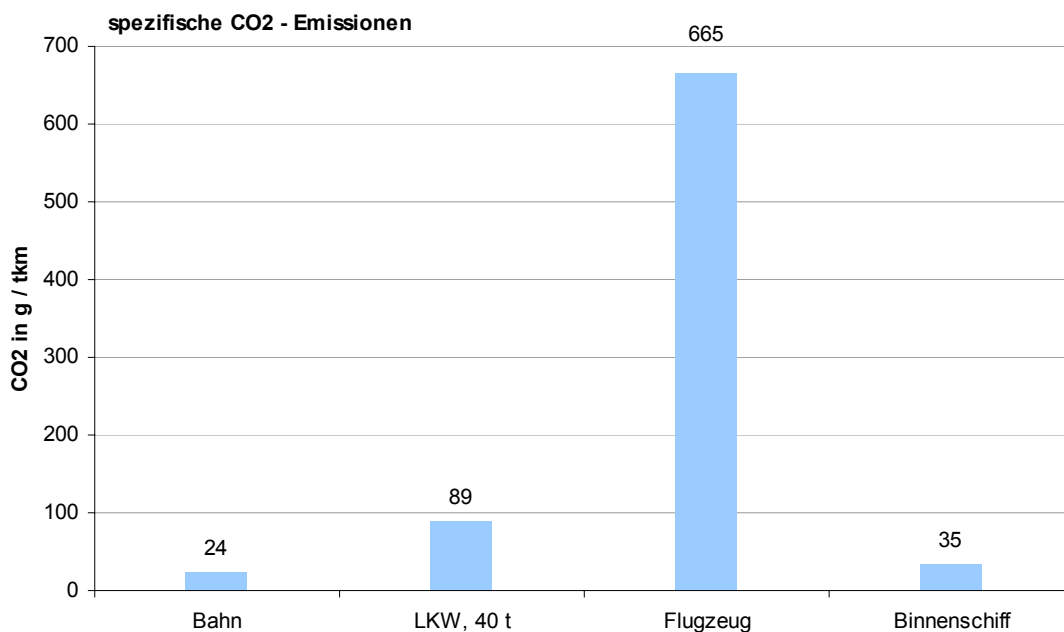


Abb. 21: spezifische CO_2 – Emissionen (Quelle: DB 2007)

2.2.4 Bewertung des Verkehrsträgers Bahn

Die Bewertung der Bahn erfolgt auf Grundlage der im Moment verwendeten Technologie. Neue Konzepte, wie beispielsweise der CargoMover werden in Kapitel 3.2 berücksichtigt.

2.2.4.1 Kosten

Die Kosten der Bahn können in Be- und Entladungskosten (z.B. Kosten der Ladehilfsmittel oder der benötigten Infrastruktur) sowie in die Kosten des eigentlichen Transportes unterteilt werden. Weiter müssen durch die in Abschnitt 2.1.2 gezeigten Merkmale des Verkehrsträgers Bahn in Ganzzügen und Einzelwagen unterschieden werden.

Im Bereich der Be- und Entladungskosten ist für die Nutzung der Bahn ein privates Schienennetz oder ein Gleisanschluss erforderlich (vgl. Schulte 1999). Dies macht hohe Investitionen für den Bau notwendig (vgl. Rapp 2005, S.21). Die Kosten für private Gleisanschlüsse werden jedoch in Österreich und Deutschland vom Staat gefördert. Neben diesen Investitionen für die Infrastruktur fallen Kosten für die Be- und Entladung mit den Rangierarten an (Abschreibungen der Rangierfahrzeuge, Personalkosten, etc.).

Um Aussagen über die Kosten der Bahn geben zu können, ist es sinnvoll sich zuerst die Kostenstruktur des Verkehrsträgers anzuschauen. Abb. 22 zeigt beispielhaft die durchschnittliche Kostenstruktur der Bahn in Österreich. Erkennbar sind die hohen Kosten für die Infrastruktur wie Ausgaben für Trassen, Traktion und Waggons im Vergleich zum Personal, der Energie oder der Wartung. Franz (vgl. Franz et al. 2006, S. 41) schließt aufgrund dieser Verteilung zwischen hohen Fixkosten und geringen variablen Kosten darauf, dass mit zunehmender Verkehrsleistung aufgrund von Skaleneffekten die durchschnittlichen Transportkosten sinken werden. Kostenvorteile wären im Vergleich zum LKW ab einer Entfernung von ca. 400 bis 500 km ohne Umlade- und Rangiervorgänge möglich. Andere Quellen geben den optimalen Entfernungsbereich mit 200-800 km an (vgl. Nagel 2007, S.32). Auf eine diesbezügliche Anfrage bezifferte die Schenker Automotive RailNet GmbH die Entfernung auf >300 km bei Ganzzügen ab 450 m Länge und >250 km bei Einzelwagen ab 20 t Last.

Lange Transporte mit hohen Mengen über Punkt-zu-Punkt Verkehren mit Ganzzügen sind im Bezug auf die Kostenstruktur effizient (vgl. Franz et al. 2006, S. 41 und Gleißner et al. 2008, S.48). In diesem Zusammenhang wird auch erwähnt, dass Umschlagsleistungen bei Transporten mit der Bahn als kostenintensiv gelten (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48).

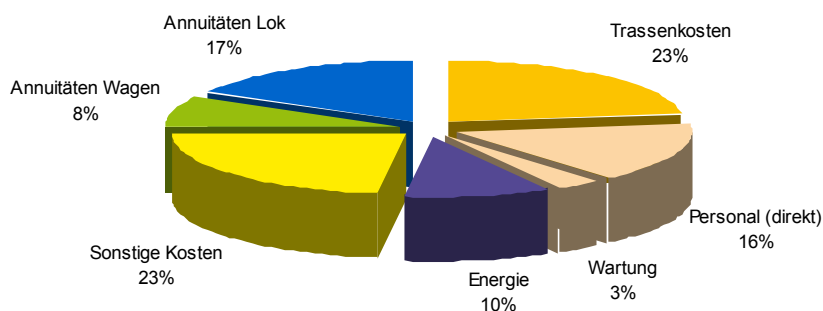


Abb. 22: Kostenstruktur Schiene (Quelle. Herry 2001, S. 35)

Im Vergleich zum Ganzzugkonzept mit seinem hohen Volumen können kleine Mengen mit Einzelwagenverkehren transportiert werden. Hierbei ist anzumerken, dass die „Kosten- und Preisvorteile im Einzelwagenverkehr nur bei einer hohen geografischen Bündlungsintensität und auf Langstrecken im Vergleich zum LKW existieren (vgl. Franz et al. 2006, S. 58).

Folgende Preis- und Zeitdaten ergaben sich aus einer Anfrage bei der Schenker Automotive RailNet GmbH (vgl. Tabelle 14 und Tabelle 15). Dabei ist zu beachten, dass diese Daten nur beispielhafte Angaben sind welche für bestimmte Voraussetzungen (Gleisanschluss vorhanden, etc.) gelten. Die Tabelle 15 gibt die Kosten und die Transportdauer einer Transportaufgabe in Abhängigkeit von der Entfernung, Auslastung und der verwendeten Waggons an. Die berücksichtigten Waggons werden in der Tabelle 14 vorgestellt.

Automotiv - Waggons	100 % Auslastung in t	100 % Auslastung in m ³
TWA Habis	15,2	150
bahneigener Hbbins-tt 309	10	100

Tabelle 14: Kenndaten der Automotive - Standard – Waggons

		Einzelwagen (Automotive RailNet)	
Entfernung in km	Last	Preis in EUR für: P-Habis / 309er	Transport- dauer
<50	50%	196 / 233	< 6 h
	100%	334 / 233	
~120	50%	229 / 258	< 12 h
	100%	351 / 267	
~600	50%	437 / 452	15 h
	100%	683 / 465	
~1800	50%	1295 / n.n.	4 Tage
	100%	2054 / n.n.	

Tabelle 15: Kosten und Transportzeiten für Bahntransport mit Einzelwagen

Im Bezug auf die Kosten werden außerdem der schwache Wettbewerb aufgrund der eingeschränkten Marktfähigkeit ausländischer Eisenbahnen (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48) sowie die Zusatzkosten bei Anmietung von Spezialwagen (vgl. Schulte 1999) aufgeführt.

Gudehus hat die Kosten für einen Güterzug auf Preisbasis 2002 wie folgt berechnet (vgl. Tabelle 16):

Kostenart	Kosten
Traktion	13,00 EUR / km
Trasse	5,00 EUR / km
Fahrt	0,16 EUR / Waggon-km
Bereitstellung+Zugbildung ¹⁾	35,00 EUR

1) In den Szenarien (vgl. Kapitel III) wurde mit dem Wert für die Bereitstellung eines Waggons / Tag der Deutschen Bahn gerechnet.

Tabelle 16: Kosten eines Güterzuges (Quelle: Gudehus 2005, S. 838)

Die Trassenkosten lassen sich genau ermitteln, da die Preise von den jeweiligen Netzbetreibern veröffentlicht werden. Beispielsweise kann man sich die aktuellen Trassenpreise von der DB Netz AG mit einem Berechnungsprogramm genau berechnen lassen (vgl. DB 2008). Natürlich kann hier keine genaue Aussage getroffen werden, wie viel eine Relation pro Kilometer kostet da die Preise bei jedem Streckenabschnitt variieren. Durchschnittlich kann bei einer Güterzugexpresstrasse mit 4 - 5 EUR / km gerechnet werden.

Die Kosten für die Bereitstellung eines Waggons sind in dem Preissystem der Bahnorganisationen angegeben.

2.2.4.2 Flexibilität

Die Flexibilität weist einen zeitlichen und einen räumlichen Aspekt auf, sowie eine Komponente in Bezug auf das Volumen und Gewicht.

Die **zeitliche Flexibilität** der Bahn wird allgemein als gering eingestuft (vgl. Rapp 2005, S.21, Aberle 1996). Im Detail gilt eine strenge Bindung an Fahrpläne (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48, Nagel 2007, S.31) sowie ein frühzeitiges einplanen der Transporte (Fahrplan, Bereitstellung, Rollmaterial) (vgl. Rapp 2005, S.21).

Die **räumliche Flexibilität** der Bahn wird insgesamt auch als mittel bis gering bewertet werden (vgl. Rapp 2005, S.21, Aberle 1996). Insbesondere sind hier Schwierigkeiten der grenzüberschreitenden Verkehre durch unterschiedliche Anforderungen der Länderbahnen (vgl. Franz et al. 2006, S. 44ff, Gleißner et al. 2008, S.48) und Anforderungen an das Streckennetz bzw. die Gleisanschlüsse zu nennen. Abgeleitet daraus kann somit die geringe Netzdichte und damit begrenzte Haus-zu-Haus-Beförderungsmöglichkeiten als ein Nachteil der Flexibilität aufgefasst werden (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48). In Zahlen ausgedrückt weist das österreichische Autobahnnetz eine Netzdichte von 20 km/1000 km² sowie die sonstigen Straßen von 1258 km/1000 km². Im Vergleich dazu ist die Eisenbahndichte 68 km/1000 km² (vgl. Tabelle 11 und Tabelle 12). Daraus ergibt sich, dass das Straßennetz viel feinmaschiger sowie vernetzter ist und somit eine bessere räumliche Flexibilität erreicht werden kann. Die Bahn kann derzeit im Bezug auf ihr Leistungsangebot als Logistikdienstleister nicht alle Marktsegmente wie die Feinverteilung bzw. Sammel- und Verteilerverkehre abdecken (vgl. Rapp 2005, S.21).

Speziell in der Automobilindustrie sind derzeit die Montagefabriken nicht auf eine Zulieferung von JiT – Teilen mit der Bahn ausgelegt. Abb. 23 zeigt das Werkslayout des VW Montagewerkes in Mosel. Die Endmontage ist nicht direkt mit einer Verladrampe für Bahnwaggons verbunden und eine diesbezügliche Erschließung wäre ohne größere Umbauarbeiten schwer möglich.

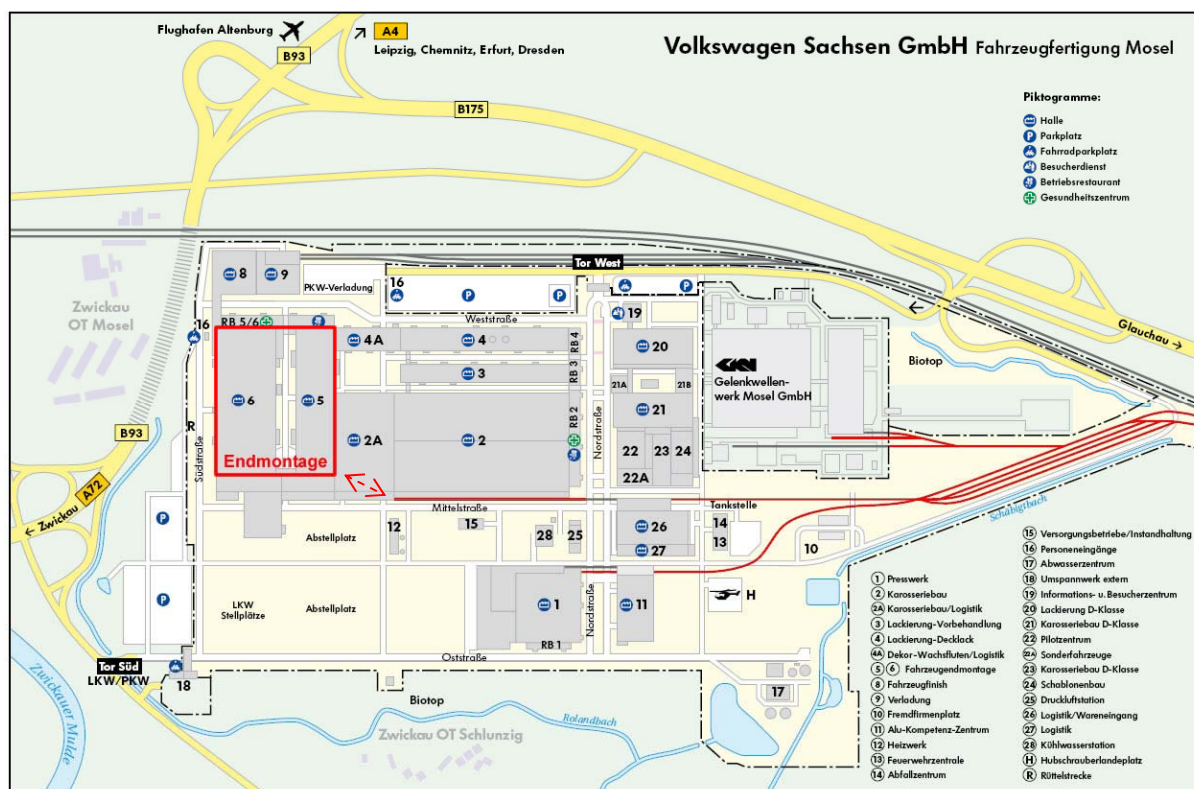


Abb. 23: Werkslayout VW - Werk Mosel (Quelle: VW 2008)

Die Art der Lieferung von Teilen muss immer schon bei der Layoutplanung berücksichtigt werden. Nachträgliche Änderungen sind aufwendig und meist unmöglich. Demnach ist es unwahrscheinlich, dass ein Montagewerk kurzfristig auf die schienengebundene Lieferung von JiT – Teilen umsteigt. Vielmehr muss diese Strategie von der Errichtung des Werkes mit eingeplant werden.

Für die **Flexibilität von Volumen/ Gewicht** mit Mindestauslastungen sind insbesondere Ganzzüge sehr sensibel, da eine gewisse Mindestlänge für den wirtschaftlichen Betrieb Voraussetzung ist (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48).

2.2.4.3 Leistung

Die Leistung wird in dieser Arbeit mit der Kapazität sowie der Lieferzeit der Verkehrsträger definiert und ist von den Systemmerkmalen des Verkehrsträgers abhängig.

Die **Kapazität der Bahn** ist im Vergleich zum LKW sehr hoch, was sich in einer hohen Massenleistungsfähigkeit widerspiegelt (vgl. Aberle 1996, Nagel 2007, S.31). Als Massengutverkehr werden Transporte mit Sendungsgewichten von mindestens 100 t bezeichnet, wobei das durchschnittliche Sendungsgewicht in diesem Segment – typischerweise mit Ganzzügen transportiert– bei ca. 500 t liegt (vgl. Franz et al. 2006, S. 40). Franz gibt in einer Studie an,

dass typische Massengüter „Steine und Erden, land- und forstwirtschaftliche Produkte (Saaten, Getreide, Zuckerrüben, Kartoffeln, Holz), Produkte des Bergbaus (Kohle, Erze), Eisen, Stahl und sonstige Metalle, Mineralöl- und Erdgaserzeugnisse, chemische Produkten und speziell Düngemittel sowie Entsorgungs- und Recyclinggüter“ sind. Diese Güter zeichnen sich durch einen geringen Wert (Wertdichte von ca. 1 € pro Tonne) sowie geringe Transportanforderungen, geringe Bedeutung der Schnelligkeit, geringe Kapitalbindung, mittelmäßige Relevanz von Pünktlichkeit und Bedienungshäufigkeit aus (Klaus et al. 2006, S. 92ff. sowie Franz et al. 2006, S. 40 und S. 44). Allgemein ist die Bahn für fast alle Güterarten geeignet (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48), eine genaue Spezifikation der Gewichts- und Volumenzulassungen der einzelnen Verkehrsträger ist in Abschnitt 2.1.2 darstellt.

Im Bezug auf die **Lieferzeit** weisen Ganz- und Direktzüge ohne Rangiervorgänge eine größere Gewichtigkeit als Einzelwagen auf (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48). Einzelwagen sind durch zeitintensive Umschlagsvorgänge (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48) geprägt, die eine niedrige Beförderungsgeschwindigkeit zur Folge haben. Dies ist auch in der Tabelle 15 auf Seite 43 ersichtlich, in der der Logistikdienstleister bei einer Entfernung von 50 km eine Transportzeit von bis zu 6 h angibt. Auch die Relation mit ~120 km dauert bis zu 12 h. Mit dem LKW sind diese Entfernungen in viel kürzerer Zeit zurückzulegen. Die Durchschnittsgeschwindigkeit bei Güterzügen innerhalb der EU wird auf unter 20 km/h geschätzt (vgl. Plehwe 1998, S.12). Ein Grund hierfür sind auch Vorrangregelungen des Personenverkehrs (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48).

2.2.4.4 Zuverlässigkeit

Die Bahn wird in der Literatur mit einer hohen Pünktlichkeit (vgl. Rapp 2005, S.20) und einer hohen Termintreue und -sicherheit (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48) beschrieben. Im Detail können im Bezug auf die Pünktlichkeit die folgenden Punkte angegeben werden (vgl. Rapp 2005, S.20, Gleißner et al. 2008, S.48):

- Fahrplan und Fahrtrassenbindung mit exakte Fahrpläne,
- Unabhängigkeit vom stoßweise Verkehrsaufkommen auf der Straße (Staus) durch den eigenen Fahrweg und
- Unabhängigkeit von Sonn- und Feiertagsverkehren.

Diese Zuverlässigkeit ist auch hinsichtlich des Einsatzes für JiT – Transporte wichtig.

Vor allem im Einzelwagenverkehr erfordern die Bildung des Zuges mit seinen Rangiervorgängen Zeit, was ein Risiko hinsichtlich der Pünktlichkeit mit sich bringen kann (vgl. Arnold et al 2004, S.C3-20 nach Beisler 1995).

Die Bahn gewährleistet für den Gütertransport eine **sichere Transportabwicklung** (vgl. Rapp 2005, S.20, Aberle 1996), auch bei Gefahrguttransporten (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48). Im Punkt Diebstahl ist im Vergleich zum LKW der Transport weitgehend unbeaufsichtigt, was das Risiko erhöhen kann. Neben diesen allgemeinen Punkten gibt Railion an, dass Rangierstöße die Schadenswahrscheinlichkeit der Materialien erhöhen. Dies muss durch eine entsprechende Sicherung der Ladung kompensiert werden (vgl. Railion 2004).

Die **Störanfälligkeit** wird im Bezug auf die Witterung als relativ Unabhängigkeit bezeichnet (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48, Rapp 2005, S.20). Hier ist anzumerken, dass jedoch Kälte (eingefrorene Schienen, vereiste Oberleitungen, Schneeverwehungen) sowie Sturm (entwurzelte Bäume, Äste auf den Gleisen) den Bahnverkehr einschränken können.

2.2.4.5 Umwelt

Die Bahn gilt als sehr umweltfreundliches Transportmittel (vgl. Gleißner et al. 2008, S.48) mit geringen Umweltbelastungen (insbesondere Energieverbrauch, Flächenbedarf, Luftschadstoffemission) (vgl. Rapp 2005, S.20, Nagel 2007, S. 31, Aberle 1996).

Erwähnenswert sind allerdings auftretende lokale Lärmprobleme (vgl. Rapp 2005, S.21). Folgende Daten, welche 1997 Umweltbundesamt erhoben wurden belegen die Lärmbelastung durch den Schienenverkehr (siehe Abb. 24).

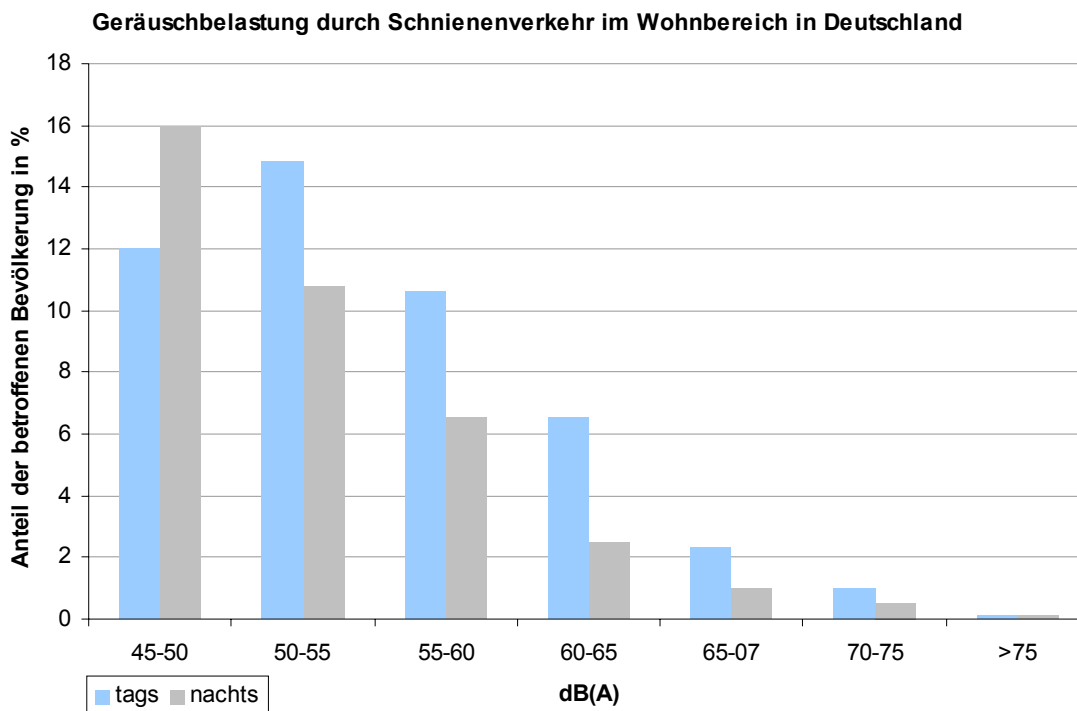


Abb. 24: Geräuschbelastung durch den Schienenverkehr in Deutschland (Quelle: Umweltdaten 2003)

Die Verlagerung von Transportleistungen von der Straße auf die Schiene ist aus umwelt-technischen Gründen seit langem ein Ziel der Politik. Folgende generelle Voraussetzungen und mögliche Risiken sind dabei zu beachten:

	Chancen / Voraussetzungen	Risiken
Verlagerung von Straße auf die Schiene	<ul style="list-style-type: none"> ● Gute Schienenanbindung über Gleisanschluss, Werksbahnen oder über Terminal für kombinierten Verkehr ● Abwicklung der Transporte in Netzkühen mit entsprechend freien Kapazitäten für kurzfristige Realisierungsmöglichkeiten ● Zusätzliche Zugleistungen bei Ganzzugpotentialen ● Abwicklung planbarer Mengen ● Begrädigung hoher Schwankungsbreiten der Transportmengen (Unterstützung des Kunden notwendig) 	<ul style="list-style-type: none"> ● Hohe Schwankungsbreiten ● Kurzfristige Mengenänderungen <p>→ Hoher Abstimmungsaufwand</p>

Abb. 25: Voraussetzungen und Risiken der Verlagerung auf die Schiene

2.2.5 Stärken-Schwächenprofile

Vergleiche der unterschiedlichen Verkehrsträger sind ein schwieriges Unterfangen, da sich diese nicht perfekt substituieren lassen. Jeder Verkehrsträger ist abhängig von der speziellen Transportaufgabe besser oder schlechter geeignet.

Preise für Transporte sind beispielsweise in der Automobilbranche ausgehandelt und Sonderkonditionen können in dieser Betrachtung nicht berücksichtigt werden. Dennoch lassen sich einige grundsätzliche Aussagen ableiten.

Hinsichtlich der hohen **Fixkostenanteile** werden Bahntransporte bei längeren Entfernungen und größerer Ladung rentabel. Bei kürzeren Distanzen ist ein vorhandener Gleisanschluss von großer Bedeutung.

Im Bezug auf die **Flexibilität** ist der LKW eindeutig den anderen Verkehrsmitteln überlegen (vgl. Franz et al. 2006, S.42). Die Dichte des Straßennetzes, die Möglichkeit der Wahl des geeigneten LKW-Modells, hohe Bedienungshäufigkeiten und Haus-zu-Haus-Lieferungen sind nur einige Aspekte der Flexibilität. Alle anderen Verkehrsträger sind vor allem wegen der niedrigeren Netzdichte in dieser Hinsicht wenig konkurrenzfähig. Sie sind auch meist an fixe Zeitpläne gebunden. Allerdings besteht hier in Zukunft ein Potential für Schienentransportmittel auch im Bezug auf die Flexibilität aufzuholen. Die Konzepte wie der CargoMover sollen genau in diesem Bereich deutliche Verbesserung mit sich bringen.

Bezogen die **Massenleistungsfähigkeit** der einzelnen Verkehrsmittel schneidet die Bahn sehr gut ab. Mit ihr ist es möglich große Mengen Fracht über weite Distanzen wirtschaftlich zu befördern.

Hinsichtlich der **Zuverlässigkeit** ist es besonders schwer eine Reihung vorzunehmen. Hier gibt es in der Literatur auch nur grundsätzliche Aussagen – Vergleiche werden jedoch nicht gezogen. Beim reinen LKW-Transport gibt es beispielsweise weniger sicherheitsrelevante Umschlagvorgänge und die Fracht ist durch den Fahrer meist bewacht. Hingegen bietet der Bahntransport die Möglichkeit Gefahrgüter, deren Transport auf der Straße gesetzlich eingeschränkt ist, sicher zu transportieren.

Einfacher ist der Vergleich im Bereich der **Umweltauswirkungen**. Die Bahn schneidet in dieser Bewertung deutlich besser ab als der Straßengüterverkehr. Ganzzüge sind geringfügig besser zu bewerten als Einzelwaggons, welche durch umständliche und zeitaufwendige Rangiervorgänge mehr Ressourcen verbrauchen. Auf der anderen Seite wirkt die oftmals bessere Auslastung von Einzelwaggons dem entgegen. Der LKW-Verkehr gilt als nicht umweltfreundlich. Durch gesetzliche Regelungen wird in zunehmendem Maße versucht die entstehenden umweltbezogenen Kosten durch höhere Abgaben und Gebühren (vgl. Kapitel 3.1.3) dem Verursacher Straßengüterverkehr anzulasten.

Die genauere Bewertung der einzelnen Verkehrsträger erfolgt mittels einer Argumentationsbilanz. Diese Bewertungsmethode ist insofern praktikabel, als sie es ermöglicht auf die unterschiedlichen Randbedingungen einzugehen. Eine vereinfachte Nutzwertanalyse mit ordinalen Bewertungen wie „schlecht“, „mittelmäßig“ und „gut“, wie sie in der Literatur auch oft anzutreffen ist, ist zu pauschal und vernachlässigt die Randbedingungen. Beispielsweise lässt sich schlecht bewerten, ob ein Straßentransport im speziellen Fall kostengünstiger ist als ein Schienentransport. Dies hängt von vielen Faktoren wie z.B. der Transportentfernung, dem Transportvolumen oder der vorhandenen Infrastruktur (z.B. Gleisanschluss) ab. Eine genaue Bewertung ist immer von den speziellen Randbedingungen abhängig und kann nicht pauschal für alle möglichen Fälle erfolgen. Mit der Argumentationsbilanz lassen sich die Eigenschaften der Verkehrsträger individueller bewerten. Somit sind die in ihr enthaltenen Bewertungen gültiger und können besser als Entscheidungshilfe herangezogen werden.

Nachfolgend sind in den Abbildungen Abb. 26 bis Abb. 29 diese Argumentationsbilanzen illustriert.

LKW	+	-
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> Niedrige Fixkosten 	<ul style="list-style-type: none"> Hoher Personalkostenanteil/ tkm Hohe Kosten / tkm
Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> Hohe Netzdichte des Straßennetzes Keine vorgeschriebenen Fahrpläne Kurze Bestell- und Lieferzyklen Hohe Bedienhäufigkeit Flexible Transporttermine Unterschiedliche Transportergrößen / Aufbauten vorhanden 	<ul style="list-style-type: none"> Nacht- und Wochenendfahrverbote Gewichtslimits Umweltzonen in Städten beeinträchtigen die Bewegungsfreiheit
Leistung	<ul style="list-style-type: none"> Kurze Lieferzeiten Hohe Durchschnittsgeschwindigkeit (bei störungsfreier Fahrt) 	<ul style="list-style-type: none"> Niedrigere Massenleistungsfähigkeit als Bahn oder Binnenschiff Beförderung gewisser Gefahrgüter nicht möglich
Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> Möglichkeit der Haus-zu-Haus-Lieferung und damit weniger Umschlagvorgänge Fracht meist beaufsichtigt 	<ul style="list-style-type: none"> Abhängig vom Verkehrsaufkommen Abhängig von Witterungsbedingungen Ladung oft schlecht gesichert Höhere Unfallhäufigkeit als andere Verkehrsmittel
Umwelt		<ul style="list-style-type: none"> Hoher Energieverbrauch und CO₂-Emissionen Hohe Schadstoffemissionen Hohe Lärmbelastung Externe Kosten sind um ein Vielfaches größer als bei Bahn oder Schiff

Abb. 26: Argumentationsbilanz (LKW) (Quelle: Eigene Darstellung)

Ganzzug	+	-
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ● Förderung privater Gleisanschlüsse ● Kostenvorteil gegenüber LKW bei großen Transportmengen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Hohe Fixkosten (hohe Auslastung notwendig) ● Gleisanschluss notwendig
Flexibilität		<ul style="list-style-type: none"> ● Strenge Bindung an Fahrpläne ● Transporte müssen frühzeitig eingeplant werden ● Schwierigkeiten bei Grenzübertritt wegen uneinheitlichen technischen Standards ● Geringe Netzdichte
Leistung	<ul style="list-style-type: none"> ● Sehr hohe Massenleistungsfähigkeit ● Für fast alle Güterarten geeignet ● Beförderung von Gütern höherer Dichte möglich 	
Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ● Hohe Pünktlichkeit ● Unabhängig von Sonn- und Feiertagsverkehren ● Exakte Fahrpläne ● Relativ witterungsunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fracht weitgehend unbeaufsichtigt (Diebstahlgefahr) ● Bahngerechte Verpackung notwendig (Rangierstöße) ● Höheres Schadensrisiko durch mehr Umschlagvorgänge
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> ● Geringe Schadstoff- und CO₂-Emissionen pro Transportleistung 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lokale Lärmprobleme

Abb. 27: Argumentationsbilanz (Ganzzug) (Quelle: Eigene Darstellung)

Einzelwaggon	+	-
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ● Förderung privater Gleisanschlüsse 	<ul style="list-style-type: none"> ● Hohe Fixkosten ● Gleisanschluss notwendig ● Kostenintensive Umschlagvorgänge
Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> ● Flexibler als Ganzzug bei Auftragserteilung und befördertem Volumen 	<ul style="list-style-type: none"> ● Strenge Bindung an Fahrpläne ● Schwierigkeiten bei Grenzübertritt wegen uneinheitlichen technischen Standards ● Geringe Netzdichte
Leistung	<ul style="list-style-type: none"> ● Sehr hohe Massenleistungsfähigkeit ● Für fast alle Güterarten geeignet ● Beförderung von Gütern höherer Dichte möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ● Niedrige Durchschnittsgeschwindigkeit ● Höhere Lieferzeit durch umständliche Rangiervorgänge
Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ● Unabhängig von Sonn- und Feiertagsverkehren ● Exakte Fahrpläne ● Relativ witterungsunabhängig 	<ul style="list-style-type: none"> ● Fracht weitgehend unbeaufsichtigt (Diebstahlgefahr) ● Bahngerechte Verpackung notwendig (Rangierstöße) ● Durch Rangiervorgänge beeinträchtigte Pünktlichkeit ● Höheres Schadensrisiko durch mehr Umschlagvorgänge
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> ● Geringe Schadstoff- und CO₂-Emissionen pro Transportleistung 	<ul style="list-style-type: none"> ● Lokale Lärmprobleme

Abb. 28: Argumentationsbilanz (Wagenladungsverkehr) (Quelle: Eigene Darstellung)

CargoMover	+	-
Kosten	<ul style="list-style-type: none"> ● Förderung privater Gleisanschlüsse ● Keine Kosten für Lokführer 	<ul style="list-style-type: none"> ● Hohe Fixkosten ● Gleisanschluss notwendig
Flexibilität	<ul style="list-style-type: none"> ● Zeitliche Flexibilität ähnlich wie die eines LKW ● Keine vorgeschriebenen Fahrpläne ● Kurze Bestell- und Lieferzyklen ● Hohe Bedienhäufigkeit ● Flexible Transporttermine ● Gut einsetzbar im KV - Betrieb 	<ul style="list-style-type: none"> ● Schwierigkeiten bei Grenzübertritt wegen uneinheitlichen technischen Standards ● Geringe Netzdichte
Leistung	<ul style="list-style-type: none"> ● Für fast alle Güterarten geeignet ● Beförderung von Gütern höherer Dichte möglich 	<ul style="list-style-type: none"> ● Nicht für Massengütertransport geeignet
Zuverlässigkeit	<ul style="list-style-type: none"> ● Unabhängig von Sonn- und Feiertagsverkehren ● Relativ witterungsunabhängig ● Exakte Ortung möglich ● Niedrige Belastung durch Rangierstöße ● Niedrige Diebstahlgefahr (Fracht wird ohne Zwischenstop transportiert) 	
Umwelt	<ul style="list-style-type: none"> ● Geringere Schadstoff- und CO₂-Emissionen pro Transportleistung als LKW 	<ul style="list-style-type: none"> ● Energieeffizienz nicht so hoch wie bei Ganzzugverkehr

Abb. 29: Argumentationsbilanz (Zukunftsmodell - CargoMover) (Quelle: Eigene Darstellung)

3 Motivation zur Verlagerung auf die Schiene und Modelle für schienengebundenen JiT - Lieferung

3.1 Motivationen zur Verlagerung auf die Schiene

Im folgenden Kapitel sollen noch einmal Gründe aufgezählt werden, welche für den verstärkten Einsatz schienengebundener Verkehrsmittel am Gütersektor sprechen. Es soll aufgezeigt werden, dass der Straßengüterverkehr einige seiner Vorteile auf Kosten anderer Interessensgruppen bezieht und dass es durchaus regulative Kräfte gibt, den Straßengüterverkehr zukünftig im Wettbewerb zu beeinträchtigen.

3.1.1 Trend vom steigendem (Straßen-) Güterverkehr

Eines der Hauptargumente ist eher ein volkswirtschaftliches Problem und spielt bei der direkten Entscheidung für oder gegen ein Verkehrsmittel nur eine kleinere Rolle: Das stetig wachsende Güterverkehrsaufkommen wird hauptsächlich durch den Straßengüterverkehr über-

nommen (vgl. Abb. 30). Die Bahn respektive der Schiffsverkehr können sich bislang nur wenig durchsetzen um mehr Marktanteile zu lukrieren.

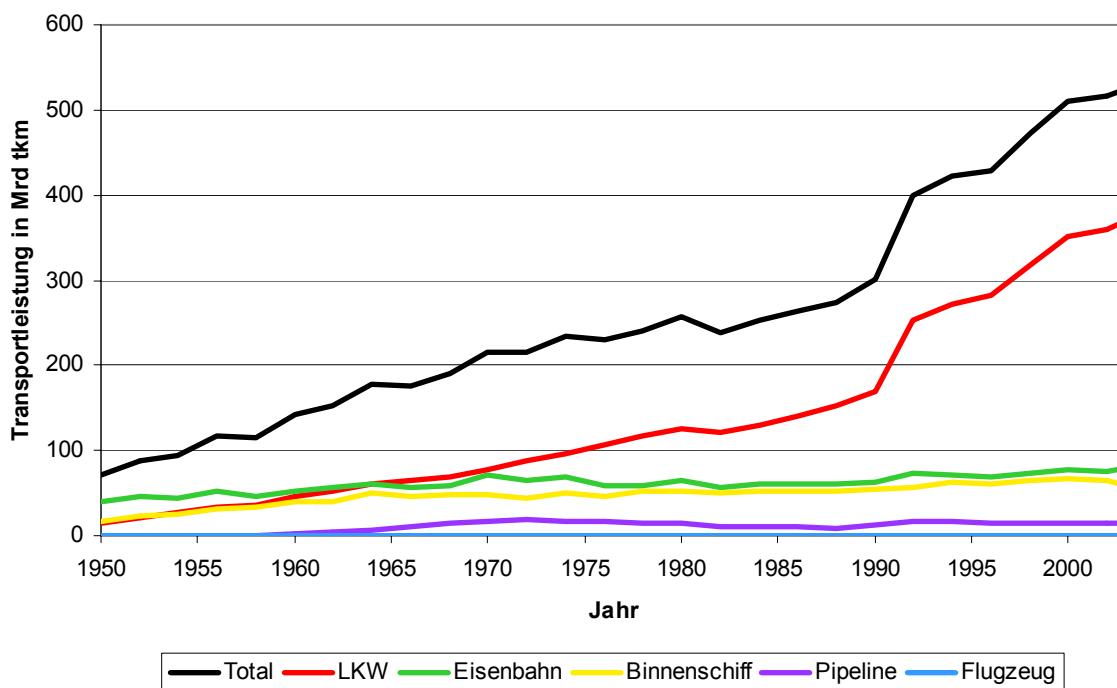


Abb. 30: Entwicklung der Transportleistungen nach Verkehrsträgern (Quelle: BGL 2008)

Die Folgen dieser Entwicklung sind allerdings drastisch zu bemerken. Die steigende Anzahl der Verkehrsteilnehmer auf der Straße führt zu Überlastungen, Staus, verstärkten Ausgaben für die Instandhaltung, Lärmbelästigung, etc. Nimmt man die Fortsetzung dieses Trends an, so wird die Notwendigkeit des Einsatzes alternativer Transportmöglichkeiten - auch in JiT – Zulieferungen - augenscheinlich.

3.1.2 Treibstoffkosten

Wie schon in Kapitel 2.2.3.1 erwähnt beläuft sich der Anteil der Treibstoffkosten eines LKW von den Gesamtkosten für Nah- und Fernverkehr auf 18 bzw. 23 Prozent. Dieser Kostenfaktor fällt daher beim Straßengüterverkehr deutlich mehr ins Gewicht als bei der Bahn, wo die Energiekosten nur mit 10 % der Gesamtkosten angegeben werden. Folglich spüren LKW - Frächter und deren Kunden Preiserhöhungen stärker. Abb. 31 zeigt die deutlich gestiegenen Rohölpreise.

Die Unsicherheit und der stetige Anstieg machen den Einsatz von schienengebundenen Verkehrsmitteln auch auf lange Sicht gesehen interessant.

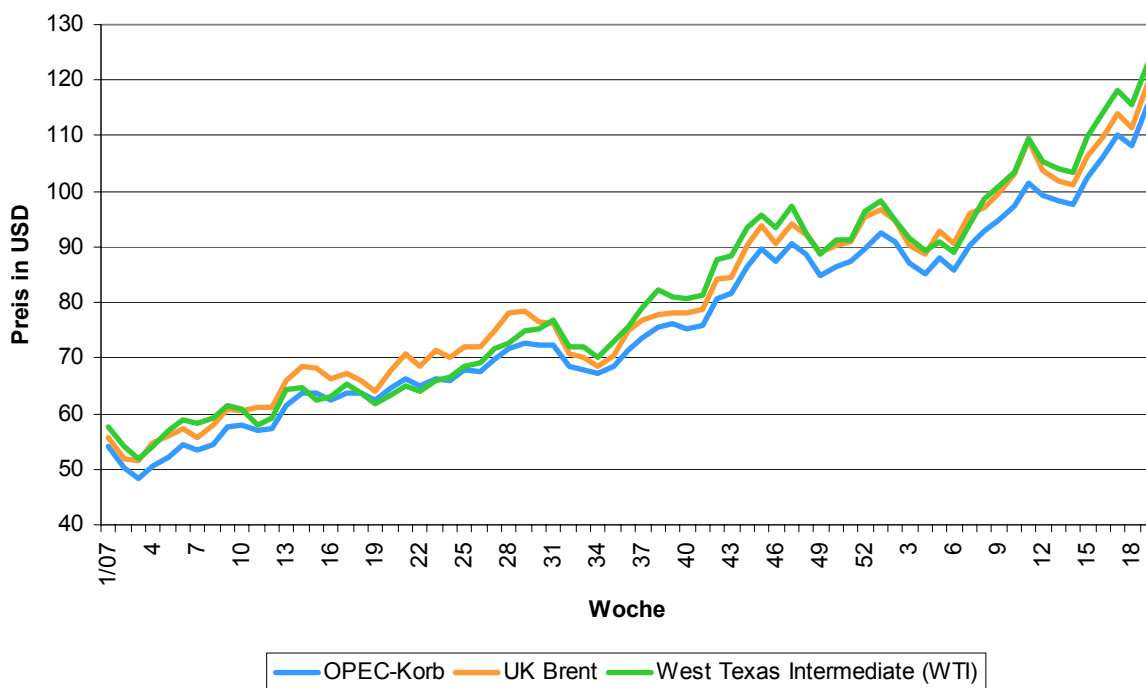


Abb. 31: Rohölpreisentwicklung 2007/08 (Wochendurchschnitte) (Quelle: MWV 2008)

3.1.3 Externe Effekte und Mautabgaben

Der Begriff der externen Effekte wurde in Kapitel 2.2.3.5 schon erklärt. Hier soll noch einmal die Tendenz bzw. das Bemühen besprochen werden, diese externen Kosten immer mehr zu internalisieren, wodurch ein verstärkter Anreiz für den Transport auf der Schiene bestünde.

Immer wieder wird das Argument erwähnt, dass die nicht internalisierten externen Kosten den Wettbewerb zwischen dem LKW und anderen Güterverkehrsmitteln verzerren. Tatsächlich verursacht der Straßengüterverkehr deutlich mehr Kosten pro Transportleistung, welche nicht von ihm oder seinen Kunden getragen werden (vgl. Abb. 32 und Abb. 33).

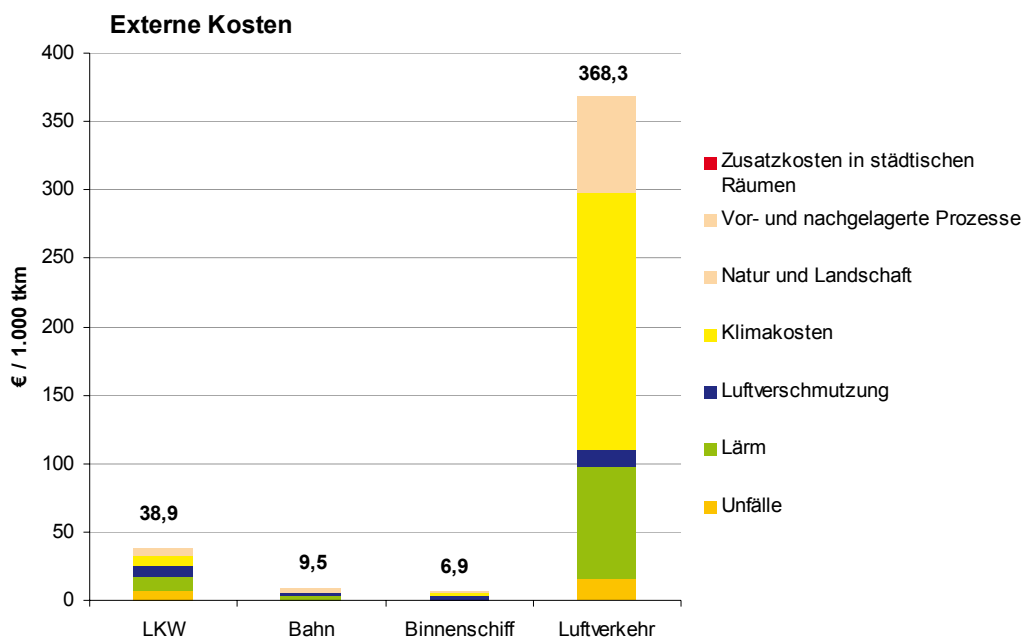


Abb. 32: der Verkehrsträger (Quelle: Infras 2007, S.9)

In der folgenden Abbildung wird durch das Entfernen des Luftverkehrs die Relation zwischen den anderen Verkehrsträgern ersichtlicher.

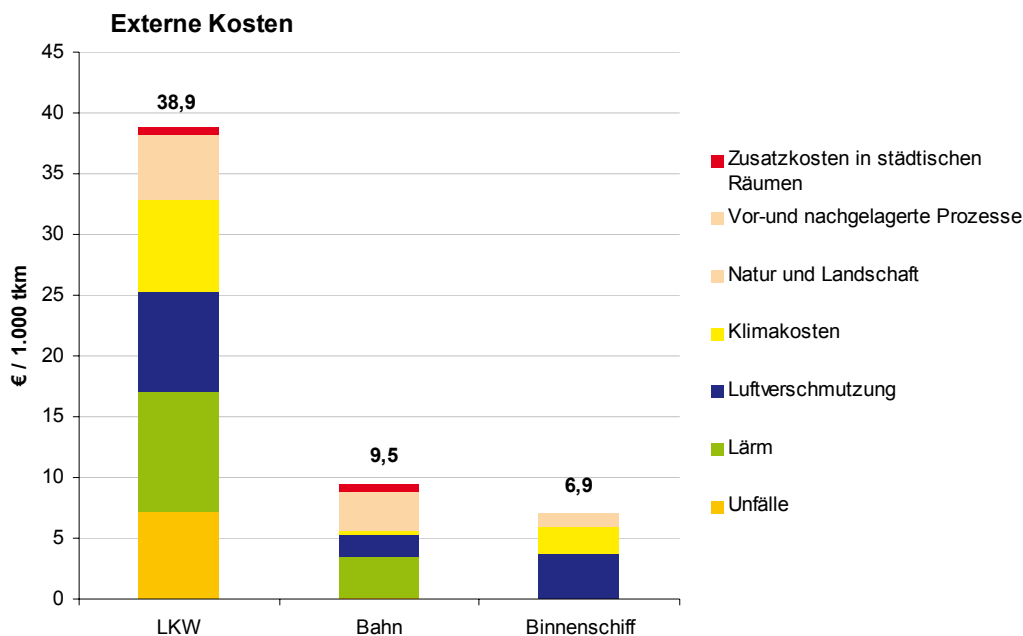


Abb. 33: Externe Kosten der Verkehrsträger exkl. Luftverkehr (Quelle: Infras 2007, S.9)

Die Existenz externe Effekte wird in der Literatur bestritten. Widersprüchlich und schwierig zu Beurteilen ist hingegen die Frage deren Quantifizierung. Daraus ergeben sich einige Probleme (vgl. Einbock 2007, S. 45):

Identifizierungsproblem

Es kann derzeit keine genaue Beziehung zwischen Ursache und Wirkung hergestellt werden.

Separierungsproblem

Viele Schäden haben mehrere Ursachen, welche nicht genau zugeordnet werden können. Beispielsweise ist es immer noch schwer, die Folgeschäden durch Luftschadstoffe den einzelnen Verursachungsbereichen (Verkehr, Energie, Industrie, Haushalte) anteilmäßig zuzuordnen.

Monetarisierungsproblem

Viele der Schäden lassen sich nicht einfach in Geldeinheiten ausdrücken. Die Berechnung der Klimaschäden ist beispielsweise eine große Herausforderung. Die potentielle Gefährdung der Existenz von Menschen und Tieren müsste eigentlich in einem unendlich hohen Schadensbetrag resultieren.

Problem der Akzeptanz

Es besteht die Gefahr, dass durch die Internalisierung bestimmter Schäden der Eindruck ermittelt wird, dass diese reparabel sind, was für Gesundheitsschäden teilweise nicht zutrifft.

Dennoch ist in den Ländern Europas ein umfangreiches Datenmaterial vorhanden, mit dem mit Hilfe von geeigneten Modellen die externen Kosten quantifizierbar sind (vgl. Ellwanger 2005, S. 67).

Eine Möglichkeit der verursachungsgerechten Anrechnung externer Kosten ist ein fahrleistungsabhängiges **Mautsystem**. Im Jahr 2004 wurde ein solches Mautsystem für Fahrzeuge über 3,5 t hzG in Österreich eingeführt. Die Maut ist von der Achsanzahl abhängig, da diese maßgeblich die Beanspruchung der Straße beeinflusst.

Die Abb. 34 gibt einen Überblick über alle mautpflichtigen Straßen in Österreich.



Abb. 34: Mautpflichtige Straßen in Österreich (Quelle: SCHENKER 2008A)

Wie in der Abb. 34 ersichtlich ist, sind in Österreich hauptsächlich Autobahnen mautpflichtig. Durch diese Maßnahme werden derzeit nur die Infrastrukturmaßnahmen auf den Autobahnen und Schnellstraßen gedeckt. Externe Kosten dürfen derzeit nicht verrechnet werden. Die EU-Wegekostenrichtlinie schreibt nämlich vor, dass sich die durchschnittlichen Mauthöhen an den Kosten für den Bau, Betrieb und den Ausbau orientieren müssen (vgl. EU-Wegekostenrichtlinie 1999/62/EG Art. 7 Abs. 9). Daraus lässt sich schon erkennen, dass durch die Mauteinnahmen lange nicht alle externen Kosten, welche durch den Straßengüterverkehr verursacht werden auch gedeckt sind. Es gibt allerdings einen Vorschlag der Europäischen Kommission bis 2011 auch Staukosten, Lärmkosten und Kosten durch Luftverschmutzung mit der LKW – Maut einzuheben (vgl. EC 2008).

Insgesamt übernimmt der LKW – Verkehr nur derzeit 56 Prozent der Infrastrukturkosten. Der Kostendeckungsgrad reduziert sich auf 32 Prozent, wenn andere externe Faktoren, wie Abgase, Lärm, Unfälle, Kosten für Gesundheits- und Umweltschäden oder Wertminderungen von Immobilien mit eingerechnet werden (vgl. VCÖ 2005).

Durch die nicht flächendeckende Maut gibt es allerdings einen erheblichen Anstieg des Güterverkehrs auf Nebenstraßen, welche nicht bemautet sind. Durch lokale Fahrverbote wird versucht diesen einzudämmen. Dennoch fordert beispielsweise der Verkehrsclub Österreich (VCÖ) die Mautpflicht auch auf Nebenstraße nach dem Schweizer Modell. Auf diesem niederrangigem Straßennetz werden zirka 44 Prozent der LKW-Kilometer zurückgelegt.

Generell wird es in Zukunft eher Mauterhöhungen geben als das diese sinken werden. Dies ist ein zusätzlicher Anreiz für eine Verlagerung von Transportleistung auf die Schiene. Bei Anrechnung der externen Kosten auf die Maut müsste sich diese nahezu verdoppeln (vgl. Herry 2006, S. 57)! Dies ist allerdings auch in Hinblick auf die ohnehin stark gestiegenen Dieselpreise nicht realistisch.

3.1.4 Sozialvorschriften

Ein weiteres Argument für die verstärkte Nutzung des Schienengüterverkehrs ist die herrschende Wettbewerbsverzerrung durch den Straßengüterverkehr im Bereich der Sozialvorschriften und Arbeitsbedingungen.

Nicht zuletzt seit der Ostöffnung steigt der Wettbewerbsdruck auf inländische Frächter. Da in den meisten Ländern unterschiedliche Sozialvorschriften herrschen, haben diese große Probleme kostenmäßig mit Logistikanbietern vor allem aus Osteuropa mitzuhalten. In vielen Fällen bleibt nur der Ausweg durch Gesetzesverstöße konkurrenzfähig zu bleiben. Im Speziellen werden Regelungen des Aufenthaltsrecht, Arbeitsgenehmigungsrecht und Sozialversicherungsrecht oft gebrochen. Quantifizierungen der Kosteneinsparungen auf der Straße durch Regelverstöße ergaben in einer Prognos - Studie deutliche Produktivitätssteigerungen welche den Wettbewerb mit der Bahn verzerren (vgl. Prognos 2003, S. 74ff).

In folgenden Bereichen werden Gesetzesverstöße beobachtet:

- Arbeitsbedingungen (Nicht-Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten)
- Bezahlung
- illegale Beschäftigung (bzw. nicht ordnungsgemäß angemeldete Lenker, Scheinselbstständigkeit)
- Geschwindigkeitsübertretungen
- Ladungssicherung
- Fahrverbote

Im Sonderfall der illegalen Beschäftigung mit Lohndumping und großen Lenkzeitüberschreitungen sind nach Berechnungen theoretisch Einsparungen über 50 Prozent möglich. Realisiert werden zirka 10 Prozent. Die häufigsten beobachteten Gesetzesübertretungen sind aber Geschwindigkeitsüberschreitungen, sonntäglicher Frühstart und die nicht Einhaltung von Lenk- und Ruhezeiten (vgl. Prognos 2003, S. 75ff).

Dem gegenüber sind Verstöße gegen Arbeits- und Ruhezeiten bei der Bahn nahezu ausgeschlossen. Lokführer sind fest in die Planung miteinbezogen und müssen sich an Fahrpläne halten, wohingegen LKW Fahrer selbst entscheiden, wann sie fahren und dabei unter äußerem Druck stehen. Auch das Problem der illegalen Beschäftigung tritt im Schienenverkehr nicht auf. Aufgrund der Fahrpläne und der zentralen Sicherungssysteme sind auch Geschwindigkeitsübertretungen praktisch nicht möglich (vgl. Prognos 2003, S. 34ff).

Zusammengefasst haben Logistikdienstleister auf der Straße viele nicht gesetzeskonforme Möglichkeiten, ihre Kosten (hauptsächlich durch Einsparungen beim Personal) zu senken. Durch den großen Wettbewerbsdruck bleibt für viele auch kein anderer Ausweg, als zu diesen Mitteln zu greifen. Dadurch entsteht eine große Wettbewerbsverzerrung, da die Unternehmen im Schienengüterverkehr systembedingt viele Vorschriften nicht umgehen können und natürlich auch nicht sollen.

Die Prognos - Studie kommt zu dem Schluss, dass die gesetzlichen Regelungen grundsätzlich vorhanden sind und nicht großartig verändert werden sollen. Die Autoren sehen aber großen Bedarf in folgenden Bereichen (vgl. Prognos 2003, S. 79):

Kontrolle

Die Einhaltung der vorhandenen Gesetzesvorschriften muss besser kontrolliert werden.

höhere Strafen

Die Strafen auf Gesetzesverstöße sind teilweise zu niedrig. Dadurch fehlt der ökonomische Anreiz die Vorschriften auch einzuhalten.

3.2 Die Bahn als Transportmittel für zeitkritische Güter

3.2.1 Konzepte für JiT - Belieferung auf der Schiene

In diesem Kapitel sollen nun einige Konzepte diskutiert werden, welche es zum Ziel haben JiT – Zulieferungen ohne Straßentransport durchzuführen. Dabei muss in einigen Fällen von der strengen Definition des JiT – Konzepts abgewichen werden, dass die Bauteile unmittelbar vor deren Verwendung in der Produktion angeliefert werden. Der Begriff „Just-In-Time“ soll hier sprichwörtlich für Lieferungen zur Rechten Zeit verwendet werden. Dies schließt nicht aus, dass der Zulieferer mehr als zwei Stunden vor dem Zustelltermin einen Auftrag bekommt. Auch müssen in einigen Fällen gewisse Abstriche bei der zeitlichen Flexibilität gemacht werden.

3.2.2 Selbstangetriebene Transporteinheiten

Eine zukünftige Möglichkeit der JiT – Zulieferung ist der Einsatz jener schon in Kapitel 2.1.2.1 erwähnten schienengebundenen Verkehrsmittel. Das Konzept des *CargoMovers* ist eine viel versprechende Alternative zu einem herkömmlichen LKW – Transport. Dadurch wird vor allem die Flexibilität verbessert und die Lieferung auch von kleineren Einheiten ermöglicht. Zeitaufwendige Rangierarbeiten sind nicht nötig und die Güterzugeinheit muss nicht Stunden lang auf einem Abstellgleis auf eine weitere Beförderung warten.

Mit diesem System kann viel besser auf Kundenanforderungen eingegangen werden. Das klassische Segment der Bahn, die Beförderung von Massengütern über große Entfernungen, wird dabei verlassen. Damit wird die Schiene auch für jene Kunden interessant, welche sonst typischerweise einen Straßengütertransport bevorzugen.

Diese selbst angetriebenen Beförderungseinheiten können somit Just-In-Time zwischen dem Lieferanten und dem Zulieferer pendeln. Der Zulieferer muss dabei nicht in unmittelbarer Nähe angesiedelt sein und kann somit auch standortspezifische Produktionskostenvorteile ausnützen. Bei einem Transportvolumen, welches die Kapazität einer Transporteinheit übersteigt kann diese auch mit einer zweiten im Verbund betrieben werden. Sämtliche Kuppungsvorgänge erfolgen dabei automatisch.

3.2.3 Ganzzug

Der Ganzzug hat - wie schon in den Kapiteln 2.1.2 und 2.2.4 erläutert - einige große Vorteile, welche diesen auch für zeitkritische JiT – Zulieferungen befähigen. Besonders die Eigenschaften Pünktlichkeit, Zuverlässigkeit und relative Schnelligkeit zeichnen einen Ganzzugtransport aus.

Für einen erfolgreichen Einsatz sind allerdings einige Voraussetzungen nötig. Von großer Wichtigkeit sind ein regelmäßiges und hohes Transportaufkommen sowie langfristige Verträge zwischen den Partnern. Die Fahrten müssen lange im Voraus geplant werden, da die Fahrpläne nicht kurzfristig geändert werden können. Diese Voraussetzungen wären beim Einsatz des Perlenkettensystems zur Produktionsplanung gegeben (vgl. Kapitel II1.5). Befinden sich einige Zulieferer in unmittelbarer Nähe beispielsweise in einem Lieferantenpark, ist der gemeinsame Betrieb eines Ganzzuges auch möglich.

Beispiele für den erfolgreichen Betrieb solcher Ganzzugverkehre sind in Kapitel 3.2.4 beschrieben.

3.2.4 Untersuchung bestehender Bahn-Transporte

3.2.4.1 Touareg-Express

Sei dem 07.01.2003 werden Karosserieteile von zwei österreichischen Produktionsstandorten von Magna im Raum Weiz / Gleisdorf in das VW Werk nach Bratislava in Form eines Ganzzuges transportiert. Betrieben wird der Transport durch eine Kooperation zwischen Rail Cargo Austria und den Steiermärkischen Landesbahnen. Der Zug verkehrt im Nachtsprung und erlaubt somit die Entladung am Tag. Die Leerracks werden wieder zurück zu Magna befördert. Mit durchschnittlich 31 Waggons werden ca. 250 t Fracht 5-mal pro Woche befördert. Dabei erreicht dieser Zug eine Pünktlichkeit von 99%. Im Notfall, wenn die Hauptstrecke aus irgendeinem Grund nicht befahrbar ist, stehen 3 Notfalltrassen als alternative Fahrmöglichkeiten bereit. 7 Stunden werden für die Fahrt über Wr. Neustadt und Bratislava benötigt (vgl. BMVIT 2007, S. 17, RCA 2007).



Abb. 35: Touareg-Express (Quelle: <http://www.stlb.at/Archiv/1000-Touareg.htm>)



Abb. 36: Spezialracks für den Transport von Karosserieteilen für den Touareg-Express (Quelle: Rinofner 2005, S. 2)

3.2.4.2 Audi: Ingolstadt – Györ

Schon seit 1997 befördert DB Schenker für den Kunden Audi Teile für die Motoren- und Fahrzeugproduktion sowie Karosserien von Ingolstadt Just-In-Time in das 650 km entfernte Györ (Ungarn). In entgegengesetzter Richtung werden Fertigfahrzeuge und Motoren zu dem Verteilungspunkt Ingolstadt transportiert. Täglich fahren so drei Zugpaare alle 8 Stunden.

Für die 650 km benötigt ein Zug 10 bis 14 Stunden und kommt somit auf eine Durchschnittsgeschwindigkeit von 46 – 65 km/h.

Jährlich werden so ungefähr 80.000 LKW Fahrten eingespart (vgl. Schenker 2008B).

Es existiert auch eine permanente grenzüberschreitende Ausweichtrasse über Tschechien und die Slowakei, falls etwa durch Naturkatastrophen die Haupttrasse nicht befahrbar ist. Außerdem werden alle Transporte mit einer permanenten Laufüberwachung zentral koordiniert. Das schafft die Möglichkeit schnell auf sich ändernden Bedingungen zu reagieren (vgl. Schenker 2006).

3.2.4.3 Opel

Immer wieder müssen bei diversen Schienenprojekten technische Hindernisse überwunden werden. Ein Vorzeigebeispiel ist etwa der Otello (Opel Trans European Lean Logistics)– Express von Opel. Dieser pendelt zwischen einem spanischen Logistikzentrum, dem Opel-Werk in Zaragoza sowie dem rund 1.650 km entfernten Eisenach. Dabei werden spezielle Waggons eingesetzt, welche sich an größeren Spurweiten in Spanien anpassen können. So müssen die Container nicht mehr umständlich umgeladen werden (vgl. Opel 2002, S. 73).

III Praxisteil – Simulation einiger Szenarien

Im folgenden Kapitel wird anhand einiger ausgewählter Szenarien der Einsatz von schienen- gebundenen Transportmitteln für JiT/JiS – Transporte evaluiert. Die Szenarien werden zuerst allgemein beschrieben. Danach werden generelle Annahmen und Berechnungsmethoden erläutert. Anschließend wird insbesondere auf die Ergebnisse jedes Szenarios genauer eingegangen um diese am Schluss miteinander zu vergleichen. Zuletzt werden anhand der Erkenntnisse aus diesen Berechnungen und aus der Literaturrecherche Rahmenbedingungen für einen schienengebundenen Transport von JiT – Teilen abgeleitet.

In den nächsten Kapiteln erfolgt eine grobe Beschreibung der Szenarien. Es handelt sich dabei um unterschiedliche Formen der Lieferung mit der Bahn. Es werden immer Direktzüge betrachtet, welche vom Ausgangsort bis zum Ziel ohne Zwischenstopp und Rangiervorgänge durchzuführen, fahren. Ein Einzelwagenverkehr ist nicht möglich. Die in Kapitel II2.2.5 abgeleiteten Schwächen schließen einen Einsatz für JiT-Güter – vor allem wegen der Unpünktlichkeit - aus.

Die Ergebnisse dieser Szenarien werden in Kapitel 3 bis 5 immer mit einem alternativen, reinen LKW - Transport für dieselbe Trabsportaufgabe verglichen.

1.1 Szenario I

Aus der Literatur und von Logistikunternehmen ist bekannt, dass bei dem Betrieb eines Ganzzuges dessen hohe Auslastung eine Grundvoraussetzung für einen wirtschaftlich rentablen Betrieb ist (vgl. Kapitel II2.2.5). Dieses Problem der fehlenden Auslastung soll in dem ersten Szenario behandelt und mit Zahlen bekräftigt werden.

Szenario I behandelt den Fall eines Direktzuges, welcher einmal pro Tag mittelgroße Bauteile von einem Lieferanten zu dem OEM transportiert (vgl. Abb. 37). Solche mittelgroße Teile mit hoher Verbrauchskontinuität eignen sich besonders gut für JiT- Lieferungen (vgl. Kapitel II1.4.1 Tabelle 4). Der Lieferant produziert und liefert nur ein Modul und betreibt einen Zug, der damit offensichtlich nicht ausgelastet ist.

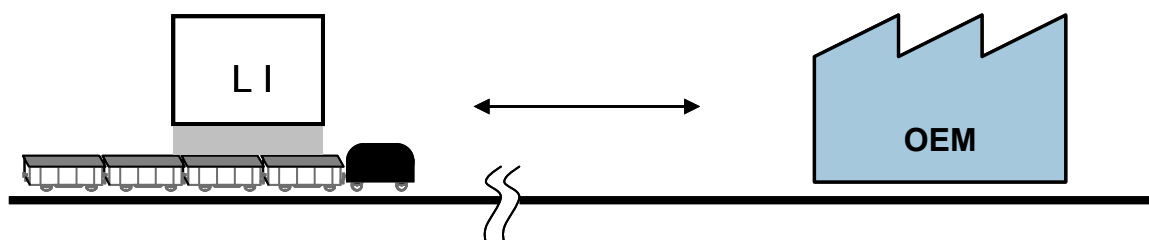


Abb. 37: Szenario I, Schema (Quelle: eigene Darstellung)

Es werden Entfernungen vom 10, 300 und 500 km durchgerechnet um die Abhängigkeit von der Transportentfernung darzustellen. Das Hauptaugenmerk liegt bei den großen Entfernungen, da diese als allgemein nicht geeignet für Direktanlieferungen sind (vgl. Kapitel II1.4.1 Tabelle 3)

Es soll auch die Frequenz ermittelt werden die nötig wäre, um diesen Zug rentabel zu betreiben.

1.2 Szenario II

Im zweiten Szenario wird die Auslastung des Zuges erhöht, in dem sich mehrere Lieferanten aus der Umgebung zusammenschließen und einen Ganzzug betreiben (vgl. Abb. 38). Jeder Lieferant produziert wieder nur ein Modul. Sie liefern ihre Bauteile zuerst mit dem LKW zu einem Umschlagplatz, wo die Warenströme gebündelt und mit dem Zug zum OEM transportiert werden. Diese Konsolidierung entspricht einer Umschlagsbündelung nach Kapitel II1.4.2. Da die Lieferanten alle einen zentralen Gleisanschluss beliefern entspricht dieser Transport einem kombinierten Verkehr mit den Verkehrsträgern LKW und Bahn (vgl. Kapitel II2.1.2).

Als Reaktion auf die langen Transportzeiten und den hohen Lagerplatzbedarf in Szenario I wurde ein WOW – Lager beim OEM eingerichtet (vgl. Kapitel II1.3.1). Dadurch sind 2 Waggongarnituren erforderlich.

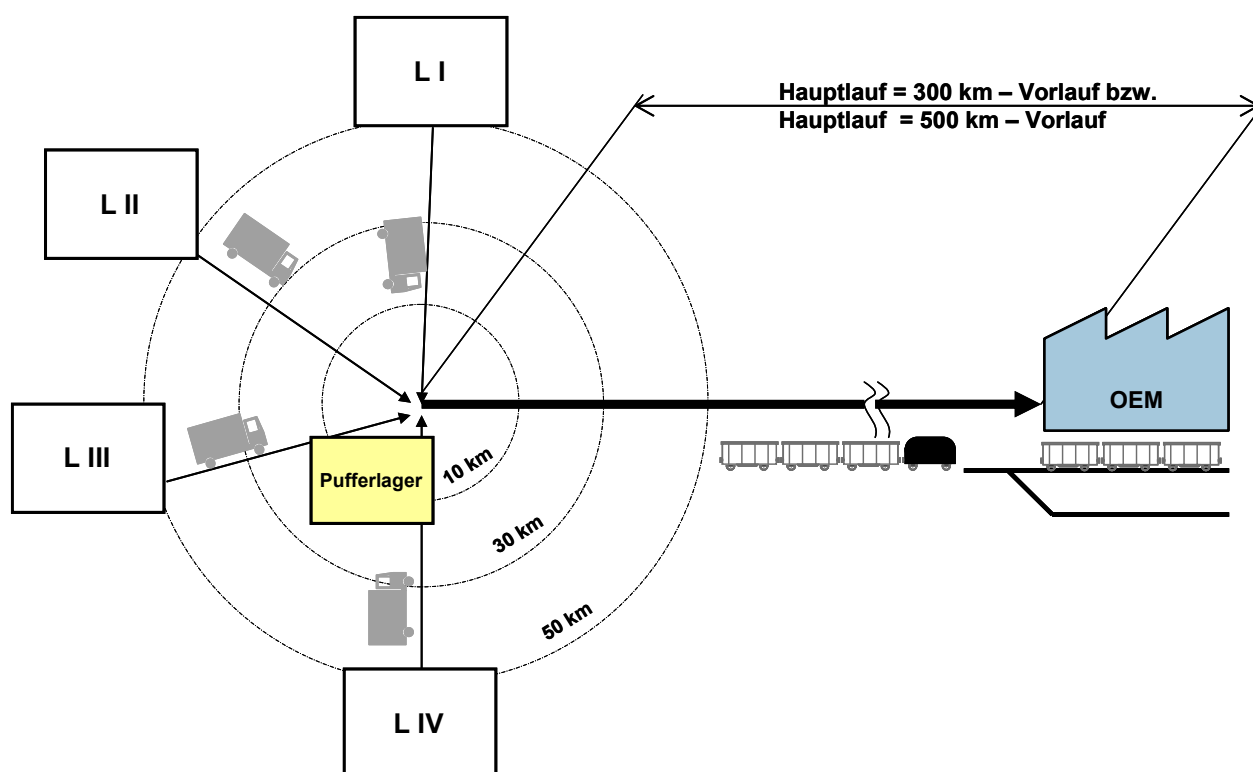


Abb. 38: Szenario II, Schema (Quelle: eigene Darstellung)

Jeder Lieferant ist 300 bzw. 500 km vom OEM entfernt. Um ein Gefühl für das Verhältnis zwischen Vor- und Hauptlauf zu bekommen werden drei unterschiedliche Entfernungen zum Umschlagbahnhof durchgerechnet. Die Strecke des Hauptlaufs ergibt sich dann als Restgröße. Die Gesamttransportentfernung (inklusive Vorlauf) beträgt demnach – unabhängig von der Länge des Vorlaufes – immer 300 bzw. 500 km.

1.3 Szenario III

Im dritten Szenario sind die gleichen Lieferanten wie aus Szenario II in einem Lieferantenpark angesiedelt. Sie bilden wieder gemeinsam einen Direktzug mit insgesamt 33 Waggons. Es ist also kein Umschlagplatz mit Pufferlager bzw. Vorlauf mit LKW erforderlich. Der Zug kann außerdem von allen 4 Lieferanten gleichzeitig beladen werden. Diese Anordnung wurde gewählt um eine für den Bahntransport optimale Ausgangslage durchzurechnen und den Unterschied zu dem System mit Vorlauf deutlich zu machen.

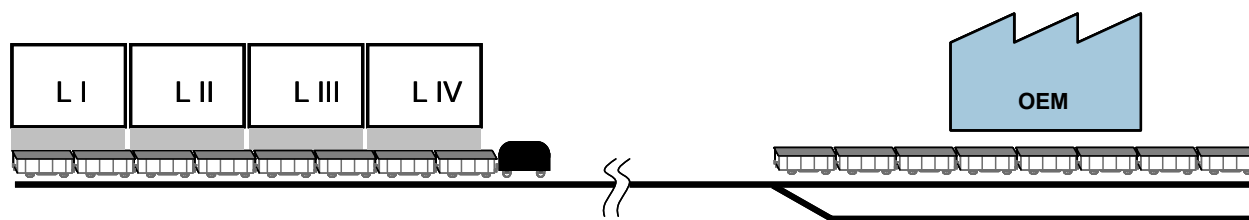


Abb. 39: Szenario III, Layout (Quelle: eigene Darstellung)

2 Allgemeine Annahmen und Erläuterungen

In diesem Abschnitt werden die allgemeinen Annahmen und Logiken welche für alle Szenarien gültig sind erläutert.

2.1 Betriebsdaten

In Tabelle 17 sind die Betriebsdaten aufgelistet, welche für den Zulieferbetrieb als auch für den OEM getroffen wurden.

	OEM	Lieferant
Produktionsmenge pro Tag	1000	1000
Schichten	3	3
Bandlaufzeit / Schicht in h	7	7
Taktzeit in s	76	76
Gleisanschluss ¹⁾	vorhanden	vorhanden

1) gilt für die Szenarien I & III. Kosten für den Gleisanschluss werden in die Kalkulation mit einbezogen.

Tabelle 17: Produktionsdaten (Quelle: Eigene Annahmen)

2.2 Bauteile und Behälter

Für die Durchrechnung der Szenarien wurden typischerweise einige großvolumige Bauteile gewählt, welche für einen Bahntransport in Frage kommen könnten (vgl. Kapitel II1.4.1 Tabelle 4). Die Bauteile werden auf einem fahrbaren Gestell transportiert und gelagert. Diese Gestelle sind den Transportkreislauf integriert und werden immer wieder rückgeführt.

Anschließend wird die Geometrie dieser Gestelle sowie die Anzahl der Bauteile, die sie aufnehmen können, angegeben (vgl. Tabelle 18).

	A	B	C	D
	Dachhimmel	Frontend	Mittelkonsole	Stoßfänger
Länge in mm	2800	1100	2400	2200
Breite in [mm	1400	1200	1200	1250
Höhe in mm	2450	1850	1900	2000
Grundfläche in m ²	3,920	1,320	2,880	2,750
Volumen in m ³	9,604	2,442	5,472	5,50
Stk / Behälter	16	4	12	6
Kosten/ Behälter in EUR	2000	2000	2000	2000

Tabelle 18: Daten der für die Berechnungen verwendeten Gestelle

Die Behälter haben Rollen und können in den Transportmitteln aufgrund der Höhe nicht gestapelt werden. Für die notwendige Lagerfläche beim Lieferanten- bzw. OEM-Lager wird angenommen, dass die Behälter nicht stapelbar wären. Von Bedeutung ist hier lediglich das Verhältnis der notwendigen Lagerfläche in den unterschiedlichen Szenarien.

Die Anzahl der erforderlichen Gestelle errechnet sich nach folgender Formel (vgl. Palm, Schmitz 2007, S. 10):

$$\text{Behälterbedarf} = \frac{\text{Umlaufzeit} \cdot \text{Aufträge/Tag} \cdot \text{Teile/Auftrag} \cdot \text{Verbaurate}}{\text{Behälterinhalt}}$$

Die Umlaufzeit entsprechen der Zeit, die ein und derselbe Behälter für einen Zyklus benötigt und wieder an derselben Stelle angelangt ist. Er wird also aus den Verlade- und Transportzeiten sowie der Zeitdauer, welche er beim OEM bzw. beim Lieferanten verbringt ermittelt.

Die Zeit für das Beladen eines Transportmittels wird, abhängig von der Anzahl der zu verladenden Transportbehälter, angenommen - nicht von deren tatsächlicher Größe oder der Menge an Bauteilen, die sie aufnehmen können. Pro Transportbehälter wird mit einer Ver-/Entladezeit von 1,2 min gerechnet. Die Verladung selbst erfolgt von Hand. Die Behälter werden dabei einzeln auf das jeweilige Transportmittel gezogen und fixiert.

2.3 Transportmittel

Die Szenarien werden mit denen in Tabelle 19 angeführten Transportmitteln durchgerechnet.

	Bahnwaggon: Hbbills 310 ¹⁾	LKW Sattelzug ²⁾
Länge in mm	15990	13600
Breite in mm	2900	2500
Höhe in mm	2850	2860
Ladefläche in m ²	46,371	30,000
Volumen in m ³	132,157	78,000
Gesamtlänge (Länge über Puffer) in m	17,25	
Durchschnittsgeschwindigkeit in km/h	50	65

1) Quelle: DB Schenker

2) Quelle: Werner 2008

Tabelle 19: Lademaße der Transportmittel

Bei dem LKW handelt es sich um einen gewöhnlichen Sattelzug mit 25 t Nutzlast.

Der Bahnwaggon ist ein gedeckter Schiebewandwagen mit zwei Radsätzen und sechs verriegelbaren Trennwänden. Der Zugang zur gesamten Ladefläche ist im geöffneten Zustand von beiden Seiten möglich. Das Be- und Entladen mit Gabelstaplern wäre sowohl von einer Rampe als auch von ebener Erde möglich.

2.4 Kosten

Die ermittelten Gesamtkosten setzen sich aus folgenden Kostenbestandteilen zusammen:

- Transportkosten
- Bestandskosten
- Behälterkosten
- Gleisanschlusskosten
- Kosten für Lagerflächen
- Personalkosten für Umschlag (Szenario II)

Die ermittelten Kosten werden immer pro Tageslieferung, pro produziertes Fahrzeug sowie pro beförderten m³ berechnet.

Transportkosten

Die Grunddaten für die Berechnung der LKW – Kosten sind in Tabelle 20 angegeben.

Kosten LKW	
Entfernung bis 10 km	500,- EUR / Tag ¹⁾
bei großen Relationen > 10 km	1,20 EUR / km

1) Kosten für 1 LKW pro Tag inkl. 3 Fahrer

Tabelle 20: Kostenstruktur (LKW)

Auf der kurzen Relation wird immer mit dem anteilmäßigen Tagessatz kalkuliert. Wenn also beispielsweise nur 0,6 LKWs für die Transportaufgabe notwendig sind, werden auch nur 60 % der Rundlaufkosten kalkuliert. Dies scheint in manchen Fällen nicht realistisch zu sein, da es oft schwer ist den LKW in kurzen Zeiten mit anderen Transportaufgaben auszulasten. Im Zweifelsfall wurde in dieser Arbeit aber immer zu Gunsten des LKW – Transportes kalkuliert, da die Kostenstruktur der Bahn mit größeren Unsicherheiten behaftet ist.

Wie schon in Kapitel II.2.4.1 erwähnt, sind Kosten für Güterzüge (besonders für Ganzzüge) nicht einheitlich und variieren von Relation zu Relation. Für die durchgerechneten Szenarien wurde daher versucht, aus den unterschiedlichen Kostenangaben realistische Werte zu verwenden (vgl. Tabelle 21).

Kosten Bahn	
Traktion	13 EUR / Zug-km ¹⁾
Trasse	5 EUR / km ²⁾
Fahrtkosten	0,16 / Wagen-km ¹⁾
Bereitstellung	63,00 EUR / Wagen ³⁾

1) vgl. Gudehus 2005, S. 838

2) vgl. Gudehus 2005, S. 838 und DB 2008

3) vgl. RAILION 2008, S. 8

Tabelle 21: Kostenstruktur (Bahn)

Für die Waggonkosten wurden folgende Werte verglichen:

Einerseits wurden die Kosten für die Bereitstellung eines Waggons der Bauart Hbbills 310 für einen Tag aus der Aufschlüsselung der Preise und Konditionen der Deutschen Bahn AG (vgl. Railion 2008, S.8) betrachtet. Diese belaufen sich auf EUR 63,00 / Tag.

Zum anderen entsprechen die Eckdaten eine Investition für einen eigenen Standardwaggon nach Gudehus folgendem Schema (vgl. Tabelle 22):

Waggondaten	
Investitionskosten	65.000 EUR
Reichweite	800 km / Tag
Laufleistung	3.000.000 km

Tabelle 22: Waggondaten (Quelle: Gudehus 2005, S. 838)

Mit diesen Daten und einer Nutzungsperiode von 235 Tagen / Jahr ergibt sich eine Abschreibungsdauer von 16 Jahren. Somit betragen die Abschreibungskosten / Waggon rund 18 EUR / Tag. Hinzu kämen beispielsweise noch Instandhaltungskosten, welche hier nicht genau beziffert werden können. Deshalb werden in den Berechnungen die Mietkosten von EUR 63,00 Tag herangezogen. Bei diesem Wert wird auf jeden Fall mit genug Sicherheiten gerechnet.

Kostentreiber

Interessant ist natürlich die Betrachtung, welche Einflussgrößen maßgeblich die Kosten eines Transportes beeinflussen. Die Kosten eines Zuges bestehen sowohl aus Kosten, welche pro Zug und Kilometern anfallen als auch solchen Kostenbestandteilen, die nur pro Waggon und Kilometern errechnet werden. Es ist ersichtlich, dass bei den erstgenannten Kostenbestandteilen (Traktion- und Trassenkosten) die Kosten pro Waggon und Kilometer bei hoher Auslastung des Zuges niedriger werden (Kostendegression).

Neben der Auslastung des Zuges (Anzahl der Waggons pro Zug) und der Transportentfernung ist auch immer der Vergleich zum LKW zu beachten.

In den folgenden Szenarien werden immer die Kosten einer Rundfahrt berechnet. Diese beinhalten sowohl die Kosten für den Hin- als auch für den Rücktransport der Leerbehälter einer Tagesproduktion. Unter der Annahme, dass maximal ein Zug / Tag betrieben wird sind die gefahrenen Kilometer für eine Relation immer konstant. Der Zug fährt also (mit unterschiedlicher Auslastung) immer die gleiche Strecke. Anders ist dies bei einem reinen LKW – Transport. Da ein LKW die gleiche Strecke mehrmals fahren muss, wirkt sich eine Erhöhung der Entfernung bei gleich bleibendem Transportvolumen stärker aus als bei der Bahn.

Die Kosten wurden in Fixkosten und variable Kostenteile aufgegliedert. Hierbei wurde die Transportentfernung als Kostentreiber bestimmt.

Bei der Berechnung der variablen Kosten wurden zunächst die Kosten pro Waggon ermittelt und diese anschließend mit der Anzahl der erforderlichen Waggons / Fahrt multipliziert.

$$K_{\text{var Bahn}} = (K_{\text{Traktion}} + K_{\text{Trasse}} + K_{\text{Fahrt}} \cdot \text{Anzahl}_{\text{Wag}}) \cdot x_{\text{km}}$$

Die Fixkostenbestandteile setzen sich aus der Summe der Bereitstellungskosten für die Waggons zusammen.

$$K_{\text{fix Bahn}} = K_{\text{Bereitstellung}} \cdot \text{Anzahl}_{\text{Wag}}$$

n	variable Kosten der Bahn
K_{Traktion}	Traktionskosten
K_{Trasse}	Trassenkosten
K_{Fahrt}	Fahrtkosten pro Waggon-km
$\text{Anzahl}_{\text{Wag}}$	Anzahl der Waggons im Verband
x_{km}	Entfernung in km
$K_{\text{fix Bahn}}$	Fixkosten
$K_{\text{Bereitstellung}}$	Kosten für die Bereitstellung eines Waggons

Bestandskosten

Für die Berechnung werden kalkulatorische Zinsen in der Höhe von 10 % p.a. festgelegt. Es werden der durchschnittliche Bestand im Wareneingangslager (bzw. Wareneingangslager beim OEM) sowie der Bestand während des Transportes berücksichtigt. Bei der Ermittlung des durchschnittlichen Bestandes wird einfach der Höchstbestand halbiert.

Behälterkosten

Der Abschreibungszeitraum für die Behälter wird mit 7 Jahren festgelegt und es wird mit einer linearen Abschreibung gerechnet.

$$K_{\text{Abschreibung}} = \text{Anzahl}_{\text{Behälter}} \cdot K_{\text{d}}$$

$$\text{mit } K_{\text{d}} = \frac{K_{\text{invest}}}{(7 \cdot 235)}$$

K_{d} ... kalkulatorische Abschreibungskosten eines Behälters / Tag

K_{invest} ... Investitionskosten eines Behälters (EUR 2000,-)

Gleisanschlusskosten

Bei den Berechnungen wurden die Investitionskosten für Gleisanschlüsse bei Lieferanten bzw. OEM nach Abb. 40 mitberücksichtigt.

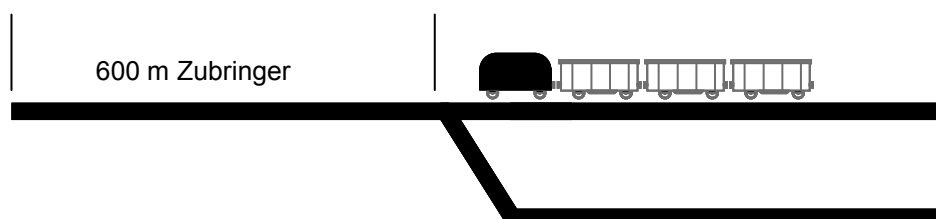


Abb. 40: Gleisanschluss (Quelle: eigene Darstellung)

Folgende Daten wurden dabei angenommen (vgl. Tabelle 23):

Investitionskosten Gleisanschluss	
Kosten / m	600 EUR / m
Sicherungstechnik, Weiche, Prellbock, Planung, etc.	105.000 EUR
Abschreibungsdauer	20 Jahre

Tabelle 23: Investitionskosten, Gleisanschluss

Es wurde mit einer Länge von 600 m für die Strecke bis zur Laderampe gerechnet. Die Länge der Standplatzes und beträgt in den Szenarien II und III auch 600 m. Im ersten Szenario wird wegen des kürzeren Zuges die Gleislänge anhand der Tatsächlichen Länge des Zuges ermittelt.

Kosten für Lagerfläche

Die Lagerkosten werden mit EUR 6,00 / m² und Monat angenommen. Die Berechnung der erforderlichen Lagerfläche wurde nach folgendem Schema durchgeführt:

Lagerplatz bei Lieferant:

Der Lieferant muss einen Lagerplatz für die aus der Produktion kommenden Behälter vorsehen, die nicht sofort verladen werden können. Dies ist der Fall wenn der Zug auf der Fahrt ist bzw. gerade abgeladen wird. Außerdem muss Lagerplatz im Ausmaß einer Waggonladung vorhanden sein, um die abgeladenen Leergestelle eines Waggons zu puffern.

$$\begin{aligned}
 & (\text{Zeitspanne, während der sich die Anzahl gelagerter Gestelle erhöht}) \times \text{produzierte Gestelle pro Zeiteinheit} \\
 + & \text{ Anzahl der Gestelle, die auf eine Transporteinheit passen (LKW bzw. 1 Waggon)} \\
 \hline
 = & \text{ Anzahl der Gestelle, die gelagert werden müssen}
 \end{aligned}$$

mit

$$\begin{aligned}
 & 2 \times \text{reine Transportzeit (Hin- und Rückfahrt) bzw. Lieferintervall} \\
 + & \text{ eventuell Zeit für Ent- und Beladevorgänge beim OEM (Szenario I)} \\
 + & \text{ Zeit für das Abladen der Leergestelle eines Waggons bzw. LKWs} \\
 \hline
 = & \text{ Zeitspanne, während die die Anzahl gelagerter Gestelle sich erhöht}
 \end{aligned}$$

Die Anzahl der Gestelle werden mit deren Grundfläche multipliziert. Außerdem wird ein Faktor von 1,3 für Verkehrsflächen berücksichtigt.

Lagerplatz bei OEM:

Der OEM muss ein Lager für die gesamte Liefermenge plus der Fläche für die Ladung eines Waggons bereitstellen. Bei der Ankunft einer Lieferung muss es möglich sein zuerst einen Waggon voller Behälter auszuladen, um diesen Waggon anschließend wieder mit Leergestellen auffüllen zu können.

Die Anzahl der gelagerten Gestelle beim OEM errechnet sich (wenn erforderlich) nach folgendem Schema (vgl. Abb. 43):

$$\begin{array}{r}
 \text{Anzahl der Gestelle einer Lieferung (Leergestelle)} \\
 + \text{ Anzahl der Gestelle eines Waggons bzw. LKWs (Pufferfläche)} \\
 \hline
 = \text{ Anzahl der gelagerten Gestelle beim OEM}
 \end{array}$$

Personalkosten für Umschlag

Im zweiten Szenario werden zusätzliche Kosten für die Umschlagstätigkeit kalkuliert. Die Lohnkosten für Lade- und Entladevorgänge bei den anderen Szenarien mit Direktverkehren werden nicht separat berechnet, da die Transportmenge zwischen LKW – und Bahntransport nicht abweicht und die Kosten gleich zu verrechnen wären.

Für die Dauer der Umladetätigkeiten werden im Szenario II zusätzliche Lohnkosten mit 20 EUR / h verrechnet. Die erforderlichen Mannstunden werden aus den Zeiten für die Be- und Entladung der Gestelle am Umschlagplatz ermittelt wobei auch hier wieder mit einer Be- bzw. Entladedauer von 1,2 min pro Gestell gerechnet wird.

2.5 Umweltdaten

Es werden außerdem die Umweltdaten des 3. Szenarios angegeben. Folgende Werte werden verglichen:

- Primärenergieverbrauch
- CO₂ – Ausstoß

Die berechneten Werte beziehen sich auf den Transport der Güter zum OEM und werden mit dem Tool *EcoTransIT* berechnet³. Folgende Angaben liegen der Berechnung zugrunde (vgl. Tabelle 24):

³ <http://www.ecotransit.org/>

	LKW	Bahn
Transporttype	40t	average train
Emission type	EURO 3	electrified
Load factor	90%	90%
Empty trip factor	0%	0
Cargo weight	76 TEU ⁴	76 TEU

Tabelle 24: Angaben für die Umweltdatenberechnungen (Quelle: eigene Angaben)

Die Ladung wird in TEU angegeben und wird auf die zu transportierende Ladung von 2507 m³ bezogen.

2.6 Bewertungen

Die Bewertung der Szenarien erfolgt einzeln nach folgenden Kriterien:

1. Gesamtkosten
2. Platzbedarf
3. Umweltwirkung

3 Szenario I

3.1 Beschreibung

Wie schon in Kapitel III1.1 erläutert behandelt dieses Szenario den Fall eines Direktzuges, welcher einmal pro Tag großvolumige Bauteile von einem Lieferanten zu dem OEM transportiert. Das Szenario wird für alle in Kapitel III2.2 beschriebenen Bauteile durchgerechnet, welche unabhängig voneinander von unterschiedlichen Lieferanten produziert und transportiert werden (vgl. Abb. 41). Alternative Transportentfernungen sind 10, 300 und 500 km.

⁴ TEU = Twenty foot equivalent unit. 1 TEU entspricht 1 20 Fuß ISO-Container bzw. 33 m³

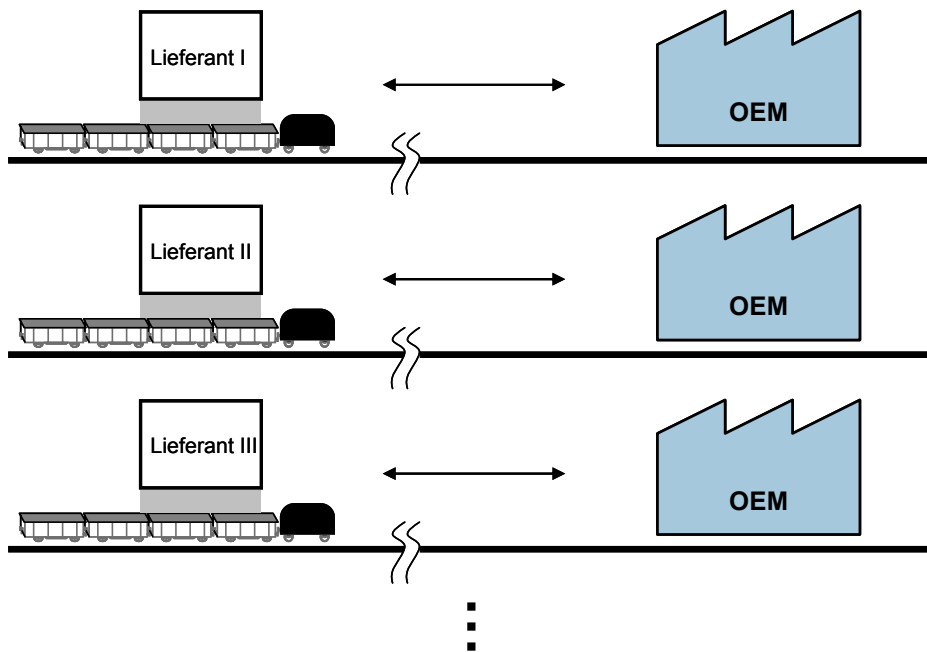


Abb. 41: Szenario I, Darstellung (Quelle: eigene Darstellung)

Da jeder Lieferant nur 1000 Bauteile liefert ist die Auslastung des Zuges nicht sehr hoch (vgl.

Lieferanten	A	B	C	D	Durchschnitt
Anzahl d. Waggons	5	9	7	12	8,25

Tabelle 25: Szenario I, Zuglänge der einzelnen Lieferanten (Quelle: eigene Berechnungen)

3.2 Layout

Lieferant

So lange kein Zug an der Laderampe steht bzw. abgeladen wird müssen jene aus der Produktion kommenden, befüllten Gestelle zwischengelagert werden (vgl. Kapitel II1.4.2). Die notwendige Lagerfläche beim Lieferanten ist somit proportional zur Transportentfernung. Zusätzlich wird noch Lagerfläche für Leergestelle eines Waggons berücksichtigt.

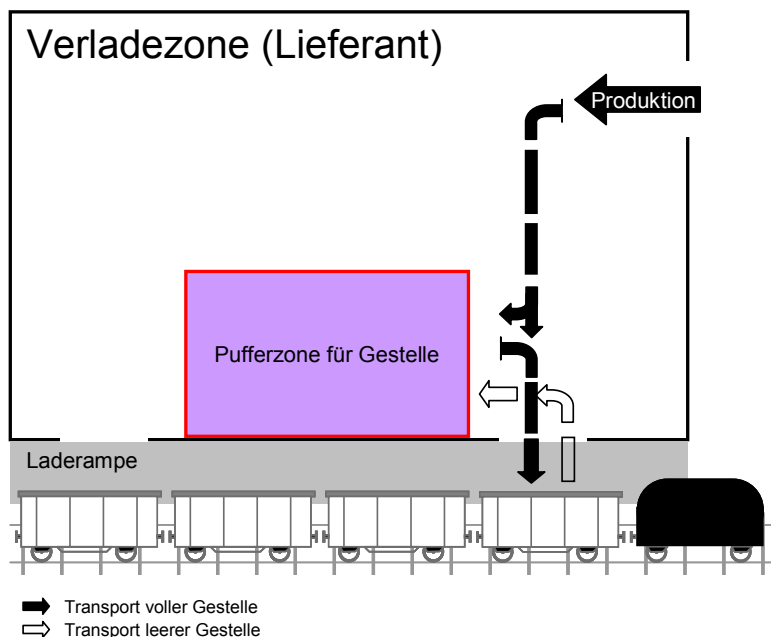


Abb. 42: Szenario I, Layout der Verladezone beim Lieferant (Quelle: eigene Darstellung)

OEM

Da mit dem Güterzug einmal pro Tag eine Tageslieferung beim OEM ankommt, muss diese auch zwischengelagert werden. Bei nicht stapelbaren Behältern entspricht diese der Grundfläche aller angelieferten Behälter inklusive Platz für Verkehrswege. Zusätzlich muss noch eine Pufferzone mit der Grundfläche einer Waggon- bzw. LKW- Ladung berücksichtigt werden. So kann abwechselnd ein Waggon entladen und anschließend wieder mit Leergestellen befüllt werden (vgl. Kapitel III.3.3).

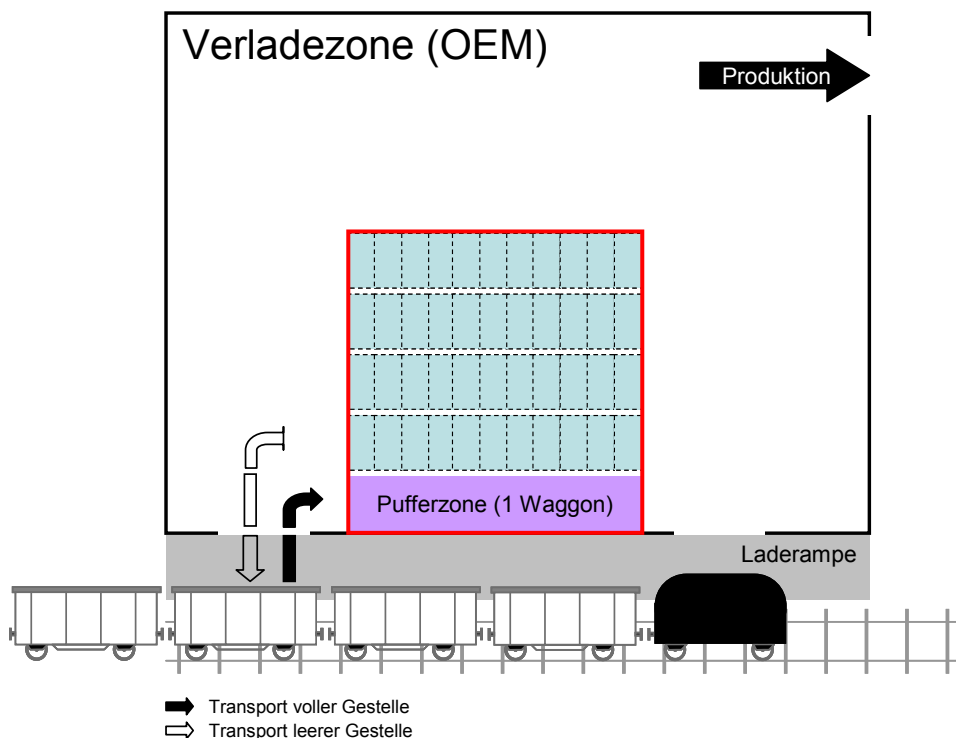


Abb. 43: Szenario I, Layout der Verladezone beim Kunden (Quelle: eigene Darstellung)

Für die Ermittlung der Investitionskosten für den Gleisanschluss beim OEM und dem jeweiligen Lieferanten sind folgende Annahmen bezüglich der Länge des Gleises getroffen worden (vgl. Abb. 44):

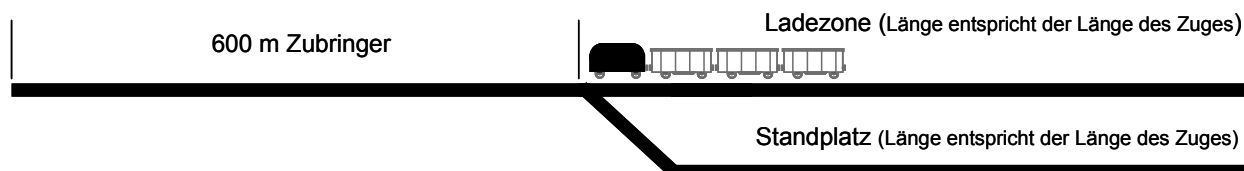


Abb. 44: Szenario I, Gleisanschluss Schema (Quelle: eigene Darstellung)

3.3 Prozesse

Der Transportprozess sieht im Szenario I folgendermaßen aus (vgl. Abb. 45):



Abb. 45: Szenario I, Transportprozess (Quelle: eigene Darstellung)

Die Elementarprozesse „Entladen“ und „Beladen“ sehen wie in Abb. 46 beschrieben aus.

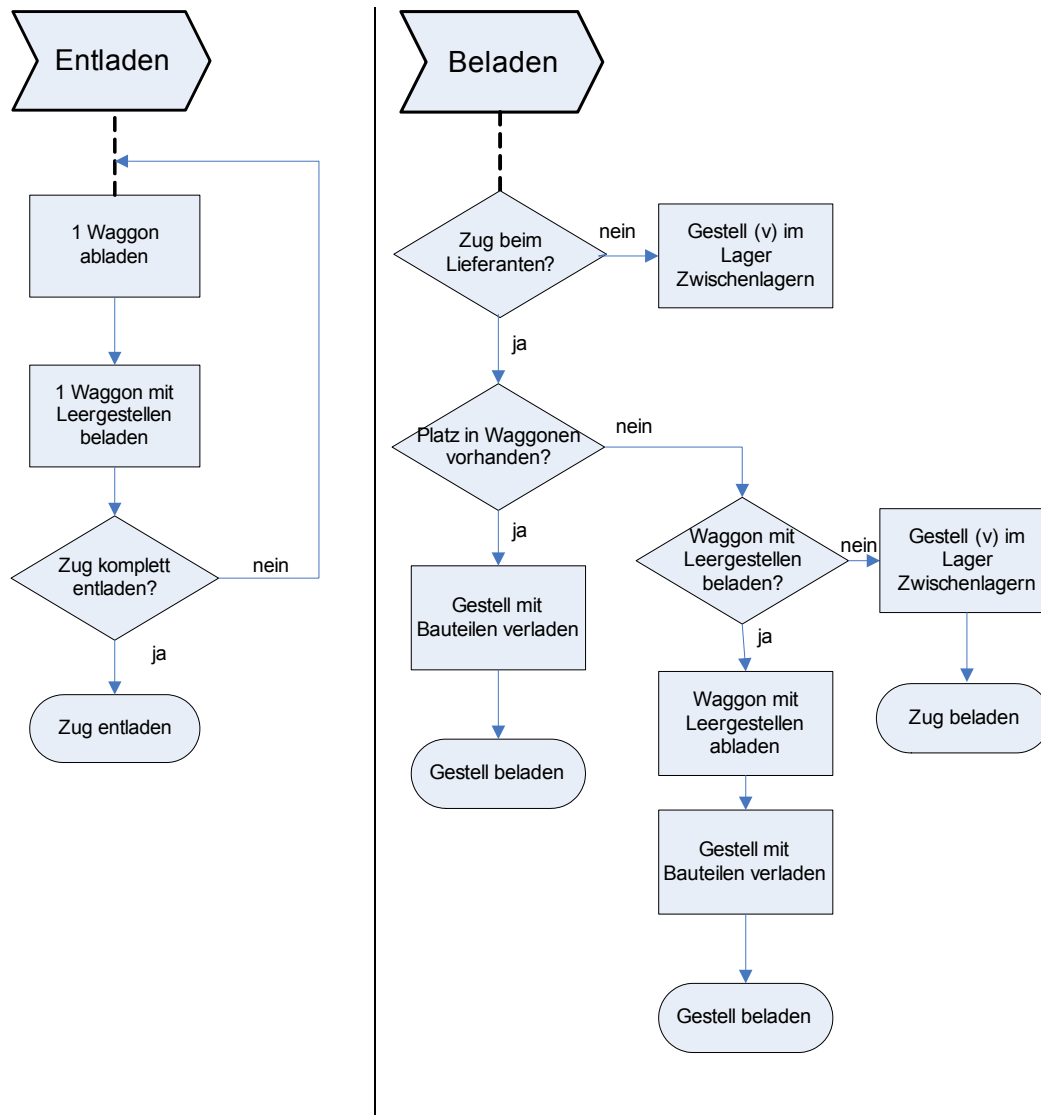


Abb. 46: Szenario I, Elementarprozesse "Entladen" und "Beladen" (Quelle: eigene Darstellung)

3.4 Bewertung & Machbarkeit

3.4.1 Gesamtkosten

Die Kosten für Transport, Bestand, Behälter, Gleisanschluss sowie für die notwendige Lagerfläche wurde nach den in Kapitel III.2.4 beschriebenen Methoden ermittelt. Damit ein Vergleich mit den anderen Szenarien möglich ist werden die Kosten der Bauteile A-D aufsummiert angegeben (vgl. Abb. 47, Abb. 48 und Tabelle 26).

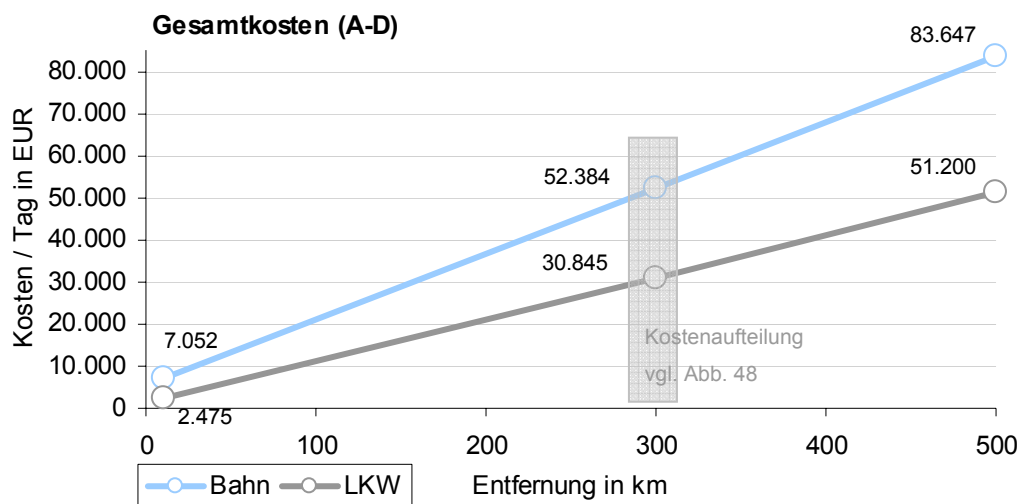


Abb. 47: Szenario I, Gesamtkostenverlauf (Quelle: eigene Darstellung)

Die Tabelle 26 gibt die errechneten Werte an. Es ist zu sehen, dass die Bahn pro transportierten Kubikmeter von EUR 1,83 bei 10 km Entfernung bis EUR 12,94 bei 500 km Entfernung teurer als der Transport mit dem LKW ist. Die Tabellenblätter mit der genauen Berechnung befindet sich im Anhang (vgl. Kapitel VI).

	Befördertes Volumen / Tag ¹⁾ in m ³	Gesamtkosten / Tag ¹⁾ in EUR		
		10 km	300 km	500 km
Bahn	2.507	7.052	52.384	83.647
LKW	2.507	2.475	30.845	51.200
Kostendifferenz		4.577	21.539	32.447
Kostendifferenz pro m ³		1,83	8,60	12,94

1) Summe der Kosten für Transport, Lager, Bestand, Behälter und Gleisanschluss aller Lieferanten A-D

Tabelle 26: Szenario I, Gesamtkosten (Quelle: eigene Berechnungen)

In der Abb. 48 werden die Gesamtkosten in ihre Einzelbestandteile (Lager, Bestand, Behälter, Gleisanschluss und Transport) gesondert angegeben. Es ist dabei auf die unterschiedliche Skalierung der Ordinate bei den Transportkosten zu achten.

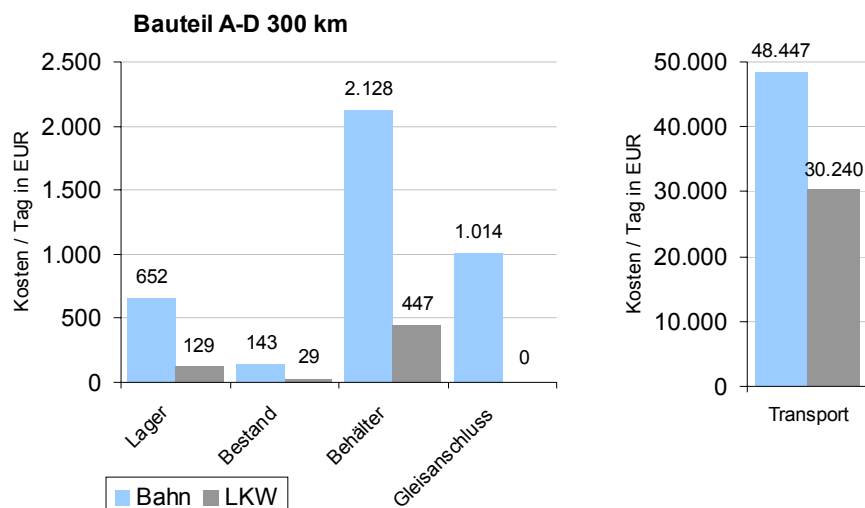


Abb. 48: Szenario I, Kostenaufteilung bei 300 km (Quelle: eigene Darstellung)

Wie aus den Ergebnissen ersichtlich ist die Bahn gegenüber dem LKW in diesem Szenario kostenmäßig nicht konkurrenzfähig. Durch deren Kostenstruktur mit den hohen Fixkosten wird diese erst ab einer höheren Auslastung rentabel. Der Anteil allein der Kosten für Traktion und Trasse beträgt 89% der Transportkosten. Außerdem sind alle weiteren Kostenbestandteile wie Lagerkosten und vor allem Kosten für Behälter (vgl. Abb. 48) beim Bahntransport deutlich höher. Diese Kostenbestandteile sollten eigentlich von geringeren Transportkosten ausgeglichen werden.

Diese niedrige Auslastung von durchschnittlich 9 Waggons führt also dazu, dass die Bahn auch bei der langen Relation (500 km) keinen Kostenvorteil gegenüber dem LKW hat. Die reinen Transportkosten pro km (vgl. III.2.4) sind sogar deutlich größer (vgl. Abb. 49):

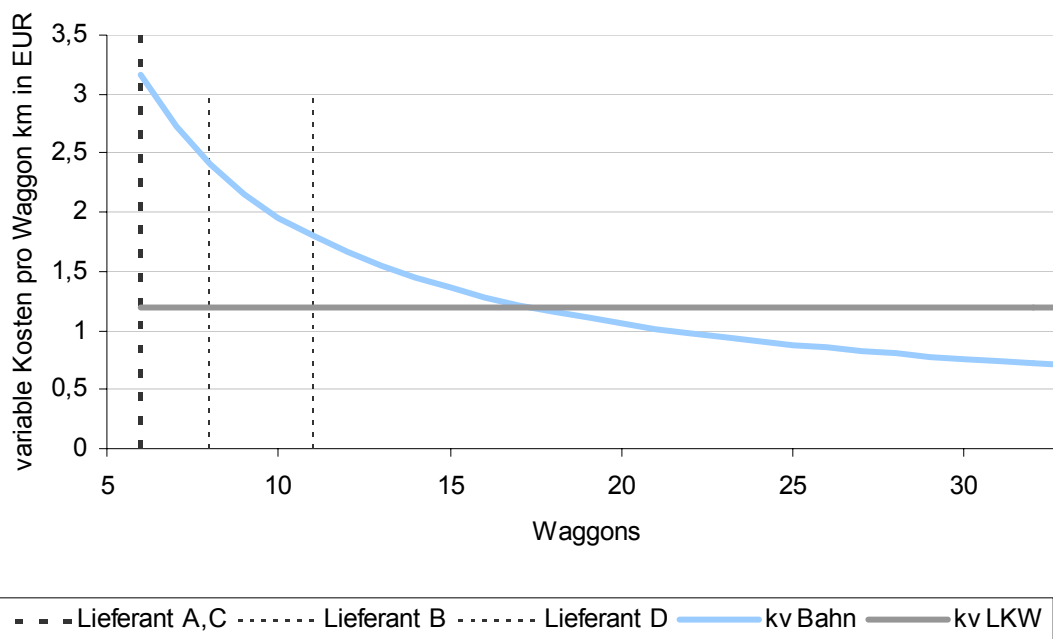


Abb. 49: Szenario I, Vergleich der variablen Kosten pro km bei Bahn in Abhängigkeit von der Auslastung des Zuges (Quelle: Eigene Darstellung)

Die notwendige Auslastung von zirka 19 Waggons um die kilometerabhängigen Kosten von LKW und Bahn anzugleichen wird erreicht, wenn das Lieferintervall auf über 2 Tage erhöht wird.

3.4.2 Lagerplatz

Der Lagerplatz wurde schon bei den Gesamtkosten monetär bewertet. Es soll hier noch der erforderliche Lagerplatz angegeben werden um die Unterschiede deutlich zu zeigen. Wie zu erwarten ist die Lagerfläche beim Bahnszenario deutlich größer als beim LKW-Transport. Ursache dafür ist die Bündelung der Güter zu größere Transportlose (vgl. Kapitel II1.4.2). In der Abb. 50 sind die erforderlichen Lagerflächen gegenübergestellt. Verglichen mit der wirtschaftlich rentablen Bahnlieferung im Intervall von 3 Tagen benötigt die JiT – Belieferung mit dem LKW lediglich ~8 % der Lagerfläche.

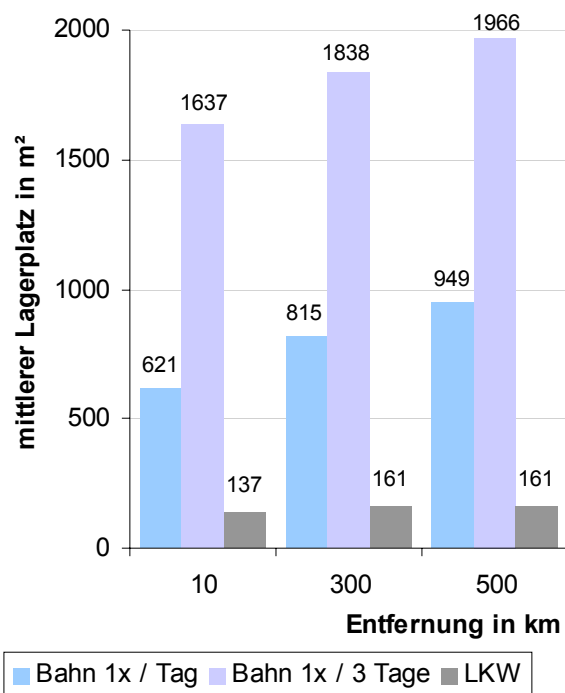


Abb. 50: Szenario I, erforderlicher Lagerplatz (Quelle: eigene Darstellung)

3.4.3 Fazit

Dieses Szenario soll deutlich machen, dass unabhängig von der Transportentfernung die Auslastung eines Güterzuges eine Grundvoraussetzung für dessen wirtschaftlichen Betrieb darstellt. Die Kostenstruktur mit den vergleichsweise hohen Fixkosten macht einen Einsatz nur dann rentabel, wenn diese auf möglichst viele Güter aufgeteilt werden können.

Eine Möglichkeit, die Auslastung des Zuges weiter zu erhöhen wäre der gemeinschaftliche Transport anderer Teile aus der Umgebung. Auch der Transport von „nicht JiT - Teilen“, welche aus der Umgebung stammen wäre denkbar.

4 Szenario II

4.1 Beschreibung

Die vier Lieferanten betreiben in diesem Szenario einen gemeinsamen Ganzzug (vgl. Kapitel III1.2). So entsteht ein Ganzzug mit 33 Waggons welcher 2507 m³ transportiert – pro gefertigtes Auto demnach 2,5 m³.

Der Vorlauf wird jeweils mit dem LKW durchgeführt (vgl. Abb. 38). Als Reaktion auf die langen Transportzeiten und den hohen Lagerplatzbedarf in Szenario I wurde ein WOW – Lager

beim OEM eingerichtet (vgl. Kapitel II1.3.1). Dadurch sind 2 komplette Waggongarnituren erforderlich.

4.2 Prozesse

Der Lieferprozess ist in diesem Szenario etwas komplexer, da der Transport durch einen Vor- und einen Hauptlauf abgewickelt werden (vgl. Abb. 38 und Abb. 51). Nach der Produktion werden die Gestelle auf einen LKW für den Vorlauf geladen und zum Umschlagplatz transportiert. Dort werden sie im Umschlaglager zwischengelagert oder sofort auf den schon wartenden Zug geladen. Der Zug fährt dann als Direktzug zum OEM um die 33 Waggons mit den vollen Gestellen an die Rampe zu stellen. Nach dem Umhängen der Lok an die schon wartende Waggongarnitur mit den Leergestellen fährt der Zug sofort wieder zum Umschlagplatz.

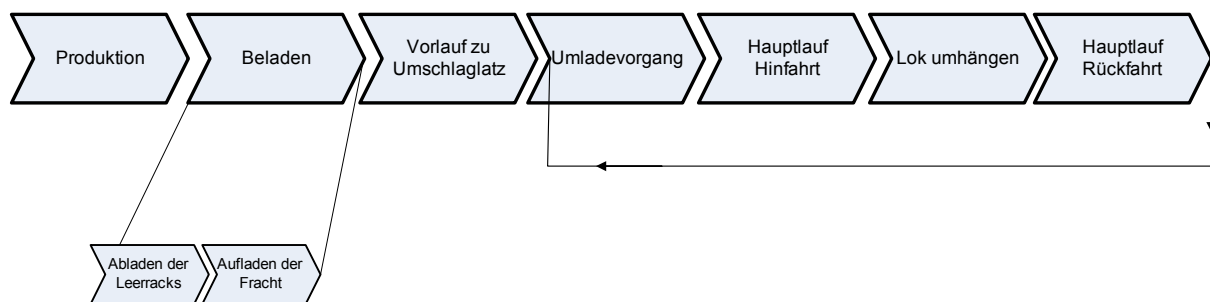


Abb. 51: Szenario II, Prozesse (Quelle: Eigene Darstellung)

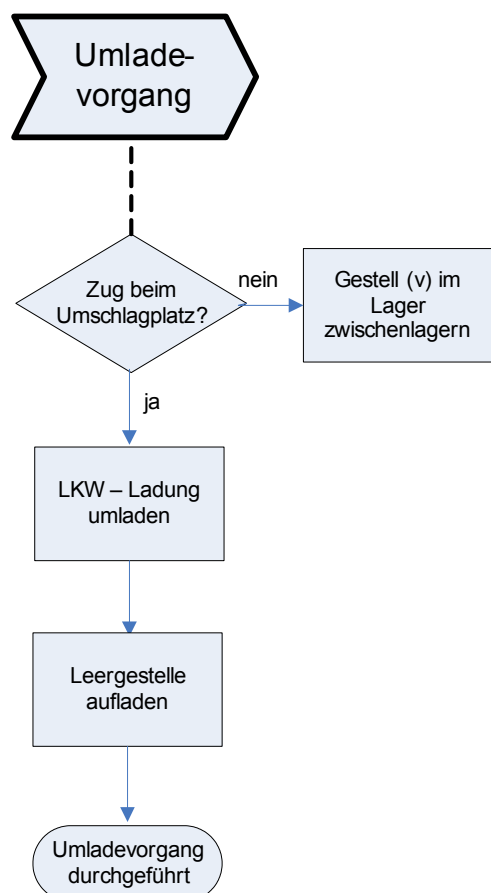


Abb. 52: Szenario II, Elementarprozess "Umladevorgang" (Quelle: eigene Darstellung)

Die Elementarprozesse „Beladen“ und „Entladen“ sind identisch mit jenen aus dem Szenario I (vgl. Abb. 46).

4.3 Bewertung & Machbarkeit

4.3.1 Gesamtkosten

Die Abb. 53 zeigt den Gesamtkostenverlauf für das Szenario mit einem Vorlauf von jeweils 50 km. Anders als im ersten Beispiel kann ein Bahnverkehr nach diesem Schema schon ab ~202 km Transportentfernung rentabel betrieben werden.

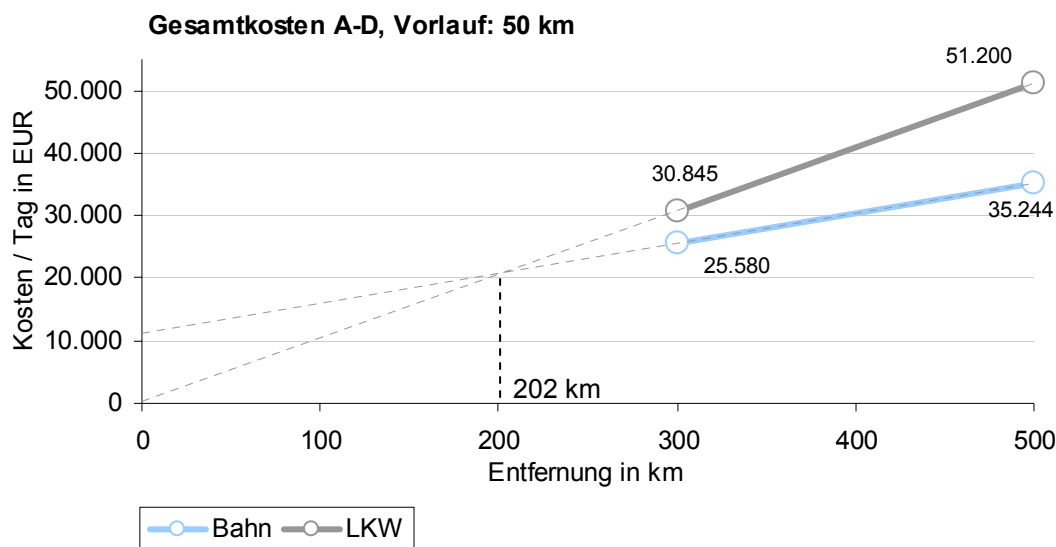


Abb. 53: Szenario II, Gesamtkostenverlauf bei 50 km Vorlauf (Quelle: eigene Darstellung)

Pro befördertem m³ können bei einer Entfernung von 300 km EUR 2,10 gegenüber dem LKW Transport eingespart werden. Die Einsparungen pro Fahrzeug belaufen sich auf EUR 5,26.

	Befördertes Volumen / Tag ¹⁾ in m ³	Gesamtkosten / Tag ²⁾ in EUR	
		300 km	500 km
Bahn	2.507	25.590	35.244
LKW	2.507	30.845	51.200
Kostendifferenz		5.255	15.934
Kostendifferenz pro m ³		2,10	6,36
Einsparungen / Fahrzeug (2,5m ³)		5,26	15,94

1) Gesamtwert für Lieferanten A-D

2) Gesamtkosten der Lieferanten A-D mit jeweils 50 km Vorlauf

Tabelle 27: Szenario II, Gesamtkosten (Quelle: eigene Berechnungen)

Auf den Anteil der Kosten, welche durch den Umschlag verursacht werden wird im Kapitel III.5.4 genauer eingegangen (vgl. Tabelle 28).

4.3.2 Lagerplatz

In der Abb. 54 ist der erforderliche Lagerplatz dargestellt. Es ist zu erkennen, dass auch diesmal der Betrieb mit der Bahn wesentlich mehr Lagerstand verursacht. Dennoch ist dieser stark zurückgegangen und ist bei 300 km Transportentfernung

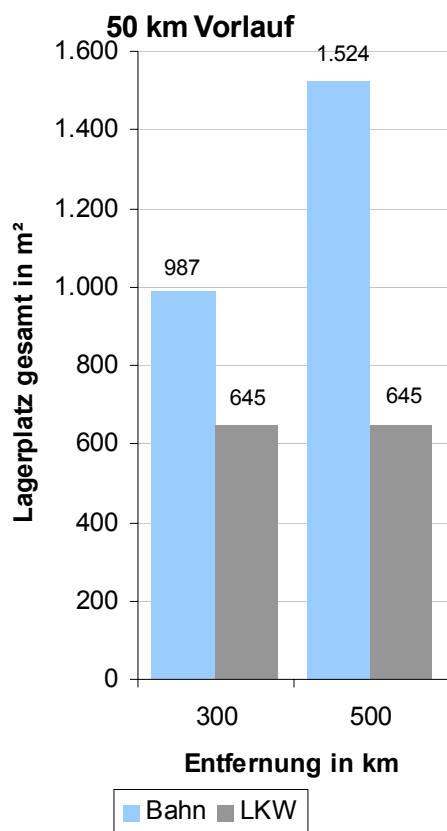


Abb. 54: Szenario II, Lagerplatzbedarf (Quelle: eigene Darstellung)

4.3.3 Fazit

Durch den gemeinsamen Betrieb eines Direktzuges kann eine Lieferung mit der Bahn unter bestimmten Voraussetzungen rentabel sein. Die Umschlagprozesse und Zwischenlagerungen machen den Transport jedoch komplex und es ist ein hoher Koordinationsaufwand notwendig.

5 Szenario III

5.1 Beschreibung

Auch im dritten Szenario beliefern die vier Lieferanten den OEM und betreiben gemeinsam einen Ganzzug mit 33 Waggons. Sie sind jedoch in einem Lieferantenpark angesiedelt und können den Zug direkt beladen. Es ist also kein Vorlauf bzw. Umschlagplatz mit Pufferlager erforderlich. Der Zug kann von allen vier Lieferanten gleichzeitig beladen werden.

5.2 Layout

Das Layout der Verladezone der einzelnen Lieferanten unterscheidet sich nicht von dem in Szenario I (vgl. Kapitel III.3.2). Es gibt allerdings mehrere Möglichkeiten, die Lieferanten untereinander zu positionieren. In diesem Kapitel werden zwei unterschiedliche Varianten beschrieben.

Anordnung A

Abb. 55 zeigt eine Möglichkeit der Anordnung der Lieferanten. Dabei sind diese entlang einer Haupttrasse angesiedelt und benützen eine gemeinsame Laderampe. Das hat den Vorteil, dass die Zusammenstellung des Zuges nicht geändert werden muss und man auf aufwendige Rangiervorgänge verzichten kann.

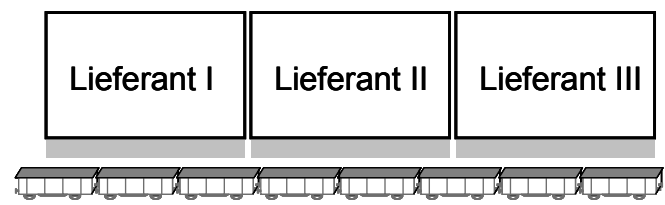


Abb. 55: Szenario III, Anordnung der Lieferanten Variante A (Quelle: eigene Darstellung)

Anordnung B

Die Anordnung B ist schematisch in Abb. 56 dargestellt. Der Unterschied zu der anderen Anordnung ist jener, dass jeder Lieferant seine eigene Trasse besitzt. So muss bei der Beladung nicht so sehr auf die Koordination mit den anderen Lieferanten in der Transportgemeinschaft geachtet werden. Allerdings sind so Rangiervorgänge notwendig, welche wieder viel Zeit benötigen. Die Kosten für die Gleisanlage sind außerdem höher.

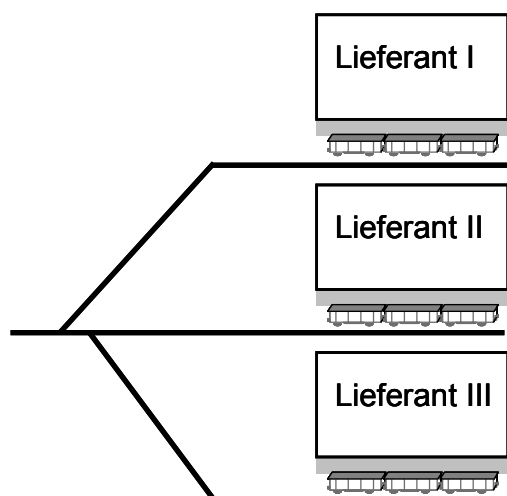


Abb. 56: Szenario III, Anordnung der Lieferanten Variante B (Quelle: Eigene Darstellung)

Für das Szenario III wurde daher der Idealfall einer einzelnen Trasse für die Beladung des Ganzzuges gewählt (Anordnung A, vgl. Abb. 57).

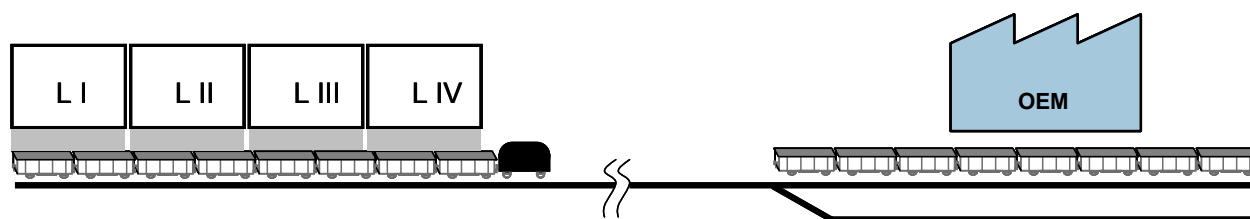


Abb. 57: Szenario III, Layout (Quelle: eigene Darstellung)

5.3 Prozesse

Der Transportprozess sieht im Szenario I folgendermaßen aus (vgl. Abb. 58):

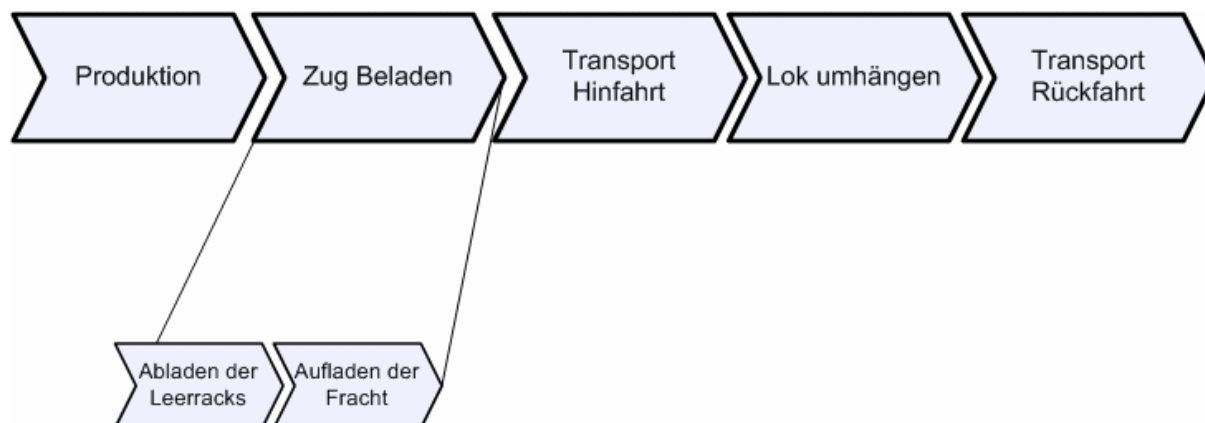


Abb. 58: Szenario III, Transportprozess (Quelle: eigene Darstellung)

5.4 Bewertung und Machbarkeit

5.4.1 Gesamtkosten

Durch die volle Auslastung des Zuges sinken die Transportkosten deutlich. Dies wird sichtbar in der Abb. 49. Bei einer Zuglänge von 33 Waggons ist ein Zug pro Kilometer um 0,49 EUR günstiger.

Somit kann die Bahn durch ihre niedrigeren Transportkosten die höheren Lager und Gleisanschlusskosten wieder kompensieren (vgl. Abb. 59 Abb. 60).

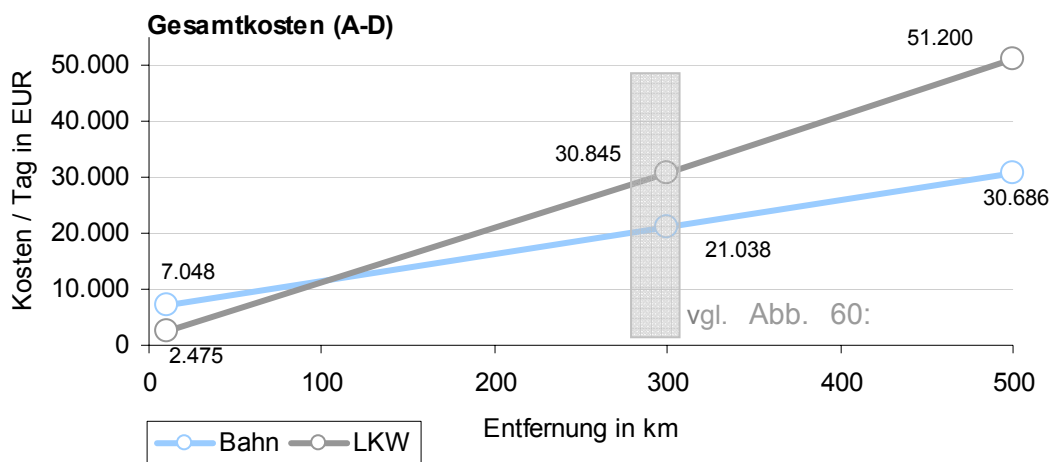


Abb. 59: Szenario III, Gesamtkostenverlauf (Quelle: eigene Darstellung)

Die Abb. 60 soll die Größenverhältnisse der Kostengruppen bei 300 km Entfernung darstellen. Man erkennt, dass die reinen Transportkosten dominant und beim Bahntransport deutlich niedriger sind.

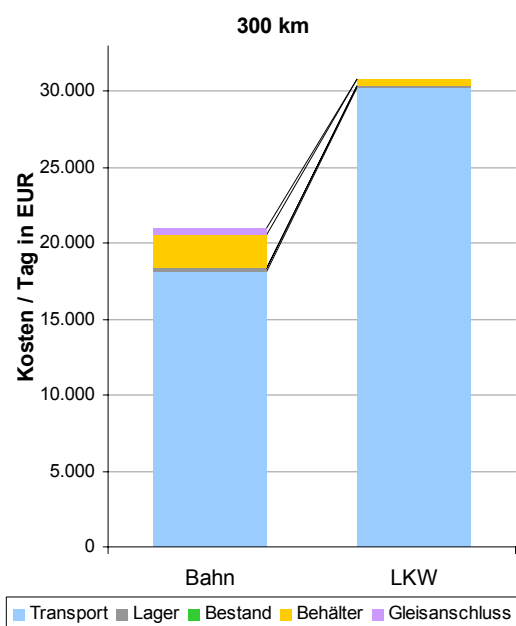


Abb. 60: Szenario III, Kostenverteilung (Quelle: eigene Darstellung)

Vergleicht man die Ergebnisse mit denen des zweiten Szenarios kann man auf die zusätzlichen Kosten, welche durch den Umschlag angefallen wären, schließen (vgl. Tabelle 28). Diese resultieren aus einem erhöhten Personalaufwand und vor allem durch die höheren Behälterkosten aufgrund der größeren Umlaufzeit der Behälter.

		Kosten in EUR in EUR	
		300 km	500 km
Bahn Szenario II	Gesamtkosten ¹⁾	25.590	35.244
Bahn Szenario III	Gesamtkosten ²⁾	21.038	30.686
Kostendifferenz (Anteil des Umschlages)		4.532	4.558
Kostendifferenz (Anteil des Umschlages) pro m ³		1,82	1,82

1) Gesamtkosten der Lieferanten A-D mit jeweils 50 km Vorlauf

2) Gesamtwert für Lieferanten A-D

Tabelle 28: Szenario III, Kosteneinsparung aufgrund des fehlenden Umschlagprozesses (Quelle: eigene Berechnungen)

5.4.2 Lagerplatz

Der erforderliche Lagerplatz hat sich im Vergleich zum Szenario II kaum geändert. Er ist sogar etwas gestiegen, da die Entfernung vom Umschlagplatz zum OEM um 50 km länger ist und mehr Gestelle während der Abwesenheit des Zuges zwischengelagert werden müssen. Es ändert sich lediglich der Ort des Lagers, welcher nun im Lieferantenpark angesiedelt ist.

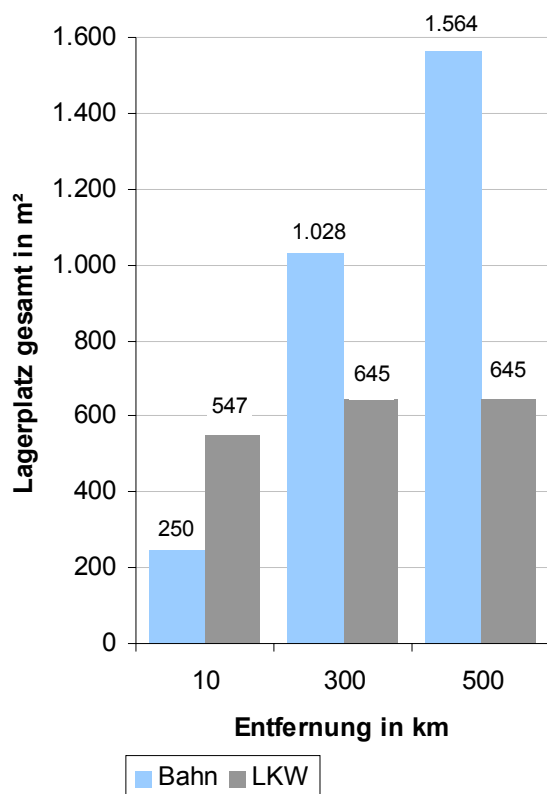


Abb. 61: Szenario III, Lagerplatz (Quelle: eigene Darstellung)

5.4.3 Umwelt

In der Abb. 62 ist deutlich zu erkennen, dass der CO₂ – Ausstoß des Transports mit der Bahn lediglich ein Drittel des vom LKW ausgestoßenen Treibhausgases entspricht.

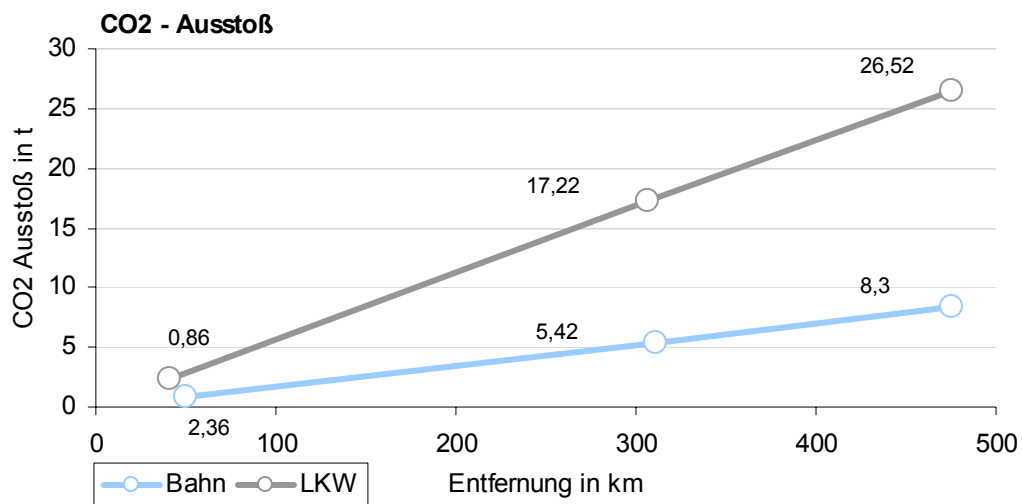


Abb. 62: Szenario III, CO₂ – Ausstoß (Quelle: EcoTransIT 2008)

So können bei einer Entfernung von ~500 km ungefähr 18 t CO₂ eingespart werden.

5.4.4 Fazit

Das dritte Szenario kann man als ein für die Bahn optimales Liefermodell bezeichnen. Es kommt ohne umständliche Rangier- und Umschlagvorgänge aus, welche die Bahn üblicherweise unattraktiv machen und geht von einer konstant hohen Auslastung aus, die den Betrieb eines Ganzzuges pro Tag ermöglicht. Mit diesen Annahmen können deutliche Kostenvorteile gegenüber dem LKW erwirtschaftet werden und die bessere Umweltwirkung der Bahn gut ausgenutzt werden.

Die Tabelle 29 zeigt noch einmal zusammenfassend den Gesamtkostenvergleich der drei Szenarien.

	Entfernung in km	Kosten pro m ³		
		Bahn	LKW	Differenz
Szenario I	10	2,81	0,99	1,82
	300	20,89	12,30	8,59
	500	33,36	20,42	12,94
Szenario II¹⁾	10			
	300	10,20	12,30	-2,10
	500	14,06	20,42	-6,36
Szenario III	10	2,81	0,99	1,82
	300	8,39	12,30	-3,91
	500	12,24	20,42	-8,18

1) Vorlauf = 50 km

Tabelle 29: Zusammenfassung der Szenarien (Quelle: eigene Berechnungen)

6 Schlussfolgerung: Kriterien für eine JiT – Belieferung mit der Bahn

Aufgrund der Bewertung der Bahn in Kapitel II2.2.4 wurde deren prinzipielle Eignung für JiT – Transporte festgestellt. Dennoch sind die möglichen Einsatzgebiete begrenzt und mit bestimmten Bedingungen und Kriterien verknüpft, auf welche im Folgenden eingegangen wird.

Aus den berechneten Szenarien und der Recherche haben sich nun einige Kriterien herauskristallisiert, welche den Einsatz schienengebundener Verkehrsmittel ermöglichen. Diese werden anschließend aufgeführt:

Zuverlässigkeit des Transports

Eines der wichtigsten Kriterien für JiT - Transporte ist zweifellos die Zuverlässigkeit. Der Abnehmer muss sich darauf verlassen können, dass die Ware unversehrt und pünktlich bei ihm ankommt. Ein Stillstand der eigenen Produktion hätte schwerwiegende Auswirkungen. Deswegen muss auch ein Notfallkonzept vorhanden sein. Bei unvorhersehbaren Ereignissen, welche die Pünktlichkeit des Transportes beeinflussen könnten, muss schnell und richtig reagiert werden können. Folgende Maßnahmen sind möglich:

- Notfalltrassen vorsehen falls eine Trasse aus irgendeinem Grund nicht befahrbar ist.
- Alternativen Transport organisieren. Falls die Bahn als Transportmittel ausfällt muss ein Ersatztransport beispielsweise mit mehreren LKWs organisiert werden.
- Ein Pufferlager in der Nähe des OEM könnte Lieferverzögerungen oder Ausfälle kurzfristig abfangen.
- Der Transport muss permanent überwacht werden um Unregelmäßigkeiten schnell erkennen und darauf adäquat zu reagieren zu können.

Auftragserteilung nicht zu kurzfristig bzw. konstante Liefermenge (Angepasste Produktionsplanung)

Damit der JiT - Lieferant genügend Zeit für eine Produktion bzw. Zustellung dieser großen Mengen hat, muss der Abnehmer die Liefermenge rechtzeitig bekannt geben. Hier bietet sich natürlich die Kombination mit dem Perlenkettenkonzept zur Produktionsplanung an (vgl. Kapitel II1.5), bei der die Produktionsreihenfolge Tage vor der Produktion festgelegt wird und die Bestellung erfolgen kann. So bleibt dem Logistikdienstleister genügend Zeit für die Organisation und Durchführung des Transports.

Hohe Auslastung des Zuges

Aufgrund der hohen Fixkosten muss der Zug mit einer konstant hohen Auslastung betrieben werden. Nach eigenen Berechnungen und Angaben von einem Logistikdienstleister ist ein Ganzzug bei einer Entfernung von 300 km ab ~450 m Länge (das entspricht ca. 26 Waggons) rentabel. Um diese Auslastung zu erreichen müssen mehrere Bauteile mit demselben Zug transportiert werden. In den durchgerechneten Szenarien konnte ab der Lieferung einer Tagesproduktion von ~3 Bauteilen ein rentabler Ganzzug betrieben werden.

Es wäre außerdem ohne Schwierigkeiten möglich gewisse Kleinteile von Lieferanten aus der Region der Quelle mit dem Zug mitzubefördern und somit dessen Länge und damit Wirtschaftlichkeit weiter zu erhöhen.

Großvolumige Bauteile

Durch die notwendigerweise hohe Auslastung ist die Lieferung von besonders großvolumigen Bauteilen mit der Bahn sinnvoll. Das maximale Ladegewicht wird nicht erreicht und hat daher für die Lieferung von Autoteilen keine große Bedeutung.

Behältermaße optimieren

Die Behälter, mit denen gerechnet wurde sind auf die Lademaße eines LKWs optimiert. Da die Bahnwaggons andere Lademaße haben, wird deren Ladefläche schlechter ausgenutzt. Den Ladefaktor könnte man erhöhen, indem die Maße der Behälter auf die Lademaße eines Waggons ausgelegt wären.

Auch die Packungsdichte der einzelnen Behälter könnte noch optimiert werden.

Maximale Transportzeit

Die Transportdauer darf nicht zu lange dauern, da dadurch das Risiko für Verspätungen steigt. In dieser Hinsicht sind besonders JiT – Produktion sehr sensibel, welche auf die Anlieferung innerhalb eines gewissen Zeitfensters angewiesen sind. Um die Lagerstände auf einem vernünftigen Level zu halten ist eine Frequenz von einer Lieferung pro Tag sinnvoll. Auch Bürkl gibt Transportzeiten kleiner als einen Tag als sinnvoll an (vgl. Bürkl 2001, S. 247). Dies schränkt natürlich die maximale Transportentfernung dementsprechend ein. Transportziele, welche bis zu 500 km entfernt sind können mit 2 Waggongarnituren bei optimalen Bedingungen täglich bedient werden.

Direkte Verbindung

Um die Transportzeit und das Risiko so gering wie möglich zu halten ist eine Direktverbindung ohne Umschlag- oder Rangiertätigkeiten notwendig. Idealerweise wird der Transport ohne Stopp vom Lieferanten zum Kunden durchgeführt.

Gleisanschluss vorhanden

Ein eigener Gleisanschluss beim OEM ist für eine JiT – Anlieferung von großer Bedeutung. Systeme mit Kombiniertem Verkehr erhöhen die Komplexität des Systems deutlich und erhöhen das Ausfallsrisiko. Natürlich wird dadurch die Einsetzbarkeit stark eingeschränkt - haben doch nicht alle Industriebetriebe einen Zugang zum Schienennetz. Schon derzeit werden in Österreich zirka 80 Prozent der Güter auf der Schiene direkt zum Kunden geliefert (vgl. VCÖ 2005). Das beweist auch die besondere Effizienz und Wichtigkeit eines eigenen Gleisanschlusses. Wie schon in Kapitel II2.2.4.2 erwähnt muss der Gleisanschluss nahe am Montageband liegen. Das ist in den meisten Fällen nur möglich, wenn dies bei der Planung eines neuen Werkes berücksichtigt wird.

IV Zusammenfassung und Ausblick

Die Transportleistung des Straßengüterverkehrs nimmt - verglichen mit allen anderen Verkehrsmitteln - überdurchschnittlich stark zu. Schienen- sowie Schiffstransporte verlieren stetig Anteil an der Gesamtverkehrsleistung. Vor allem auf kurzen Relationen ist der LKW-Verkehr oft erste Wahl, da dort seine Stärken am besten zur Geltung kommen. Er ist derzeit viel besser auf „Just-In-Time“ - Zulieferprozesse eingestellt. Vorrangige Ursache hierfür ist die hohe Flexibilität, deren Grund unter anderem in der hohen Netzdichte des Straßennetzes liegt. Dadurch können kurzfristige Aufträge kleiner Losmengen auch kurzfristig geliefert werden. Aufgrund der Notwendigkeit mehr Transportleistung auf die Schiene zu verlagern, behandelt diese Arbeit Möglichkeiten des Einsatzes schienengebundener Verkehrsmittel im Bereich der Just-In-Time Zulieferungen. Ziel war es, diesbezügliche Einsatzmöglichkeiten der Bahn herauszufiltern und in Szenarien durchzurechnen.

Um dieses Ziel zu erreichen wurde zuerst die prinzipielle Eignung der Bahn durch Argumentationsbilanzen ermittelt. Anschließend wurden drei Szenarien durchgerechnet und jeweils mit einem alternativen, reinen LKW – Transport verglichen. Bei der Kostenermittlung wurden die Transportkosten sowie Kosten für Bestand, Behälter, Gleisanschluss, Lagerflächen und Kosten für zusätzliches Umschlagpersonal berücksichtigt.

Im ersten Szenario wurde angenommen, dass ein Lieferant eines Moduls seine Tagesproduktion mit einem Direktzug an einen Automobilproduzenten liefert. Der Zug pendelt dabei einmal täglich zwischen Lieferant und OEM. Dabei wurde festgestellt, dass die niedrige Auslastung einen wirtschaftlichen Betrieb, unabhängig von der Transportentfernung, unmöglich macht.

Im zweiten Szenario betreiben vier Lieferanten, welche in einer Entfernung von 50 km zu einem zentralen Umschlagplatz angesiedelt sind, zusammen einen Ganzzug. Der Vorlauf erfolgt dabei auf der Straße. Eine Waggongarnitur fungiert beim OEM auch gleichzeitig als Lager. Durch die damit erhöhte Auslastung sinken die Transportkosten pro transportiertes Volumen deutlich und die Bahn ist ab ca. 202 km Transportentfernung kostenmäßig einem reinen LKW – Transport überlegen.

Im dritten Szenario wird der ideale Fall angenommen, dass diese vier Lieferanten in unmittelbarer Nähe zu einander angesiedelt sind und den Zug ohne Vorlauf direkt beladen können. Durch diesen vereinfachten Transportablauf wird der Prozess noch effizienter und kostengünstiger, da die volle Strecke mit der Bahn gefahren werden kann.

In den Szenarien wurde festgestellt, dass durchaus ein Kosteneinsparungspotential vorhanden ist. Die Berechnungen haben ergeben, dass unter bestimmten Voraussetzungen wie beispielsweise einer konstant hohen Auslastung und vorhandener Infrastruktur, Ganzzüge dieses Segment wirtschaftlich bedienen können. Zusammen mit neuen Methoden der Produktionsplanung und Steuerung wie jene der Perlenkette können Bedarfe schon frühzeitig bekannt gegeben werden. Dadurch wären auch Lieferanten großvolumiger Produkte in einem Umkreis von ~500 km in der Lage ihre Lieferung auf der Schiene zu versenden. Unter Umständen müssen sich einige Lieferanten zusammenschließen um einen Ganzzug mit der notwendigen Auslastung betreiben zu können. Die dennoch deutlich niedrigere Lieferfrequenz verursacht allerdings im Vergleich zum Straßentransport wesentlich höhere Lagerbestände, welche seit der Einführung von JiT - Lieferungen kontinuierlich reduziert wurden um den gesamten Produktionsprozess schlanker zu gestalten.

Die niedrige räumliche und auch zeitliche Flexibilität, hohe Lagerstände und viele Voraussetzungen wie die Notwendigkeit eines Gleisanschlusses an der richtigen Stelle machen den Bahntransport für zeitkritische Güter in vielen Fällen unattraktiv. Dennoch kann die Bahn in gewissen Einsatzfeldern durchaus mithalten und stellt eine echte Alternative dar. Das sollte in Zukunft auch verstärkt bei Neuplanungen von Produktionsstätten berücksichtigt werden.

V Verzeichnisse

1 Literaturverzeichnis

- ABERLE 1996 Aberle G.: Transportwirtschaft. Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen. Oldenburg, München
- ALLIANZ 2002 Allianz Versicherungs-AG: Jede dritte LKW-Ladung ist gefährlich.
http://www.allianz.com/de/allianz_gruppe/presse/news/rat_und_tat/rat_und_tat/news164.html gelesen am 17.03.08
- ARNOLD 2004 Arnold, D. u. a.: Logistik. 2. Aufl., Springer-Verlag, Berlin u.a. 2004
- BERNDT 2001 Berndt, T.: Eisenbahngüterverkehr. Teubner-Verlag, Stuttgart u.a. 2001
- BGL 2008 Bundesverband Güterlogistik und Entsorgung (BGL) e.V.
<http://www.bgl-ev.de/images/daten/verkehr/transportleistung.pdf> gelesen am 22.05.2008
- BMVIT 2007 Grassegger, E.: IKV – Innovationsförderprogramm Kombiniertes Güterverkehr. Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie (BMVIT), Wien 2007.
- BMW 2008 BMW: Logistik. Zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort.
http://www.bmw-werk-leipzig.de/leipzig/deutsch/lowband/com/de/dialog/downloads/070907_Besucherflyer_deutsch_final.pdf gelesen am 04.04.2008
- BUKOLD 1996 Bukold, S.: Kombiniertes Verkehr. Schiene/Straße in Europa. Eine vergleichende Studie zur Transformation von Gütertransportsystemen. Europäischer Verlag der Wissenschaften, Frankfurt am Main u.a. 1996
- BÜHLER 2006 Bühler, G.: Verkehrsmittelwahl im Güterverkehr. Physica-Verlag, Heidelberg.
- BÜRKL 2001 Bürkl, M; Ellenberger, W.: Modulares Transportsystem (MTS) für den Schienengüterverkehr. ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. 05/2001, S. 274-254.
- DB 2007 Deutsche Bahn 2007: CO2 Emissionen gesenkt. Die Deutsche Bahn trägt aktiv zum Klimaschutz bei.
http://www.db.de/site/nachhaltigkeitsbericht__2007/de/unsere__umwelt/klima/klimaschutz/klimaschutz.html gelesen am 18.03.08

-
- DB 2008 Deutsche Bahn 2008: Trassenpreisauskunft. Programm für die Berechnung der Trassenpreise
http://www.db.de/site/bahn/de/geschaefte/infrastruktur__schiene/netz/trassen/software/trassenpreisauskunft__tpis.html gelesen am 01.07.2008
- DB SCHENKER DB Schenker: Güterwagen der Bahn. http://www.stinnes-freight-logistics.de/gueterwagenkatalog/deutsch/gueterwagen/gattung_H/H_6Wand_2Rad.html gelesen am 09.07.2008
- DELLMANN 2006 Dellmann, T.; Berger, A.: Autonomie und Automation der Eisenbahn im Kontext der Verkehrstechnik. ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. 4/2006, S. 233-244.
- EC 2007 European Commission: Energy and Transport Figures 2007. Part 3: Transport. o.V.
- EC 2008 European Commission: Greening Transport Package. adopted 8. July 2008 http://ec.europa.eu/transport/greening/index_en.htm gelesen am 16.07.2008
- ECOTRANSIT 2008 EcoTransIT: Berechnungstool <http://www.ecotransit.org/> gelesen am 11.08.2008
- EINBOCK 2007 Einbock, M.: Die fahrleistungsabhängige LKW-Maut. Konsequenzen für Unternehmen am Beispiel Österreichs. Dissertation. Technische Universität Dresden. Deutscher Universitäts-Verlag, Wiesbaden 2007
- ELBERT 2003 Elbert, R.; Gomm, M.: Zukunftsforschung Güterverkehr: Eine Studie über die Auswirkungen sich ändernder Rahmenbedingungen im Güterverkehr auf Unternehmen. In: Güterverkehr – Eine Integrationsaufgabe für die Logistik. Entwicklungen – Auswirkungen - Lösungsmöglichkeiten. Hrsg.: Pfohl, H. Erich Schmidt Verlag, Darmstadt, S. 80-121
- ELLWANGER 2005 Ellwanger, G.: Externe Kosten des Verkehrs jetzt internalisieren!. ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. 1/2/2005, S. 62-67.
- ENGELMANN 2004 Engelmann, J.: Moderne Fahrzeuge als Wettbewerbsfaktor im Güterwagenpark der Railion Deutschland AG. Eisenbahntechnische Rundschau. 53 (2004). S. 295-300.
- GUDEHUS 2005 Gudehus, T.: Logistik. Grundlagen, Strategien, Anwendungen. 3. Auflage. Springer Verlag. Berlin Heidelberg 2005
- HERRY 2001 Herry, M.: Transportpreise und Transportkosten der verschiedenen Verkehrsträger im Güterverkehr. Kammer für Arbeiter und Angestellte für Wien, Wien

-
- HERRY 2006 Herry, M.: Zahlt der LKW wirklich seine Kosten. Kostendeckung und Infrastrukturbenutzung durch den LKW in der österreichischen Wegekostenrechnung. Tagungsband. AK-Fachtagung: LKW Roadpricing abseits der Autobahn. Verkehr und Infrastruktur Nr. 29. o.V., Wien 2006
- HERRY 2007 Herry, M.: Verkehr in Zahlen. Österreich Ausgabe 2007. o.V., Wien 2007
- IHDE 2001 Ihde, G.: Transport, Verkehr, Logistik. 3. Aufl., Vahlen Verlag, München 2001
- IHME 2000 Ihme, J.: Logistik im Fahrzeugbau. Manz Verlag Schulbuch, Wien, Köln, Aarau/Bern 2000.
- IHME 2006 Ihme, J.: Logistik im Automobilbau – Logistikkomponenten und Logistiksysteme im Fahrzeugbau. Hanser-Verlag, München u.a. 2006.
- INFRAS 2007 Schreyer, C. u. a.: Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland. Aufdatierung 2005. o.V., Zürich
- Köder 1998 Köder, J.; Wax-Ebeling J.: Zukunft durch Logistik. Vom betrieblichen Transport- zum regionalen Logistkdienstleister eine Perspektive für die „Eisenbahn und Häfen GmbH“ in Duisburg?!. Eine Ausarbeitung der IKS – Innovationsinitiative für Metall- und Elektronikindustrie Ruhrgebiet. ISA – Consult, Bochum 1998
- KFG 1967 Kraftfahrgesetz 1967.
- KFV 2006 Kuratorium für Verkehrssicherheit: Verkehr in Österreich. Verkehrsunfallstatistik 2006. o.V.. Wien
- KLAUS 2006 Klaus, P.; Kille C.: Die Top 100 der Logistik. Marktgrößen, Marktsegmente und Marktführer in der Logistkdienstleistungswirtschaft. 4. Aufl., Hamburg
- KOETHER 2001 Koether, R.: Technische Logistik. 2. Aufl., Hander Verlag, München, Wien 2001.
- KUMMER 2006 Kummer, S.; Grün, O.; Jammernegg, W.: Grundzüge der Beschaffung, Produktion und Logistik. Pearson Studium, München 2006.
- MAUTTARIFVERORDNUNG 2008 BGBl II. Nr. 406/2002 i.d.F. BGBl. II Nr. 124/2008
- MAIRHOFER 2003 Mairhofer, F.; Janßen, G.: CargoMover – der fahrerlose „LKW auf Schienen“. EI – Eisenbahningenieur 54 12 (2003), S. 5-8.
- MWV 2008 MWV Mineralölwirtschaftsverband e.V.: Rohölpreisentwicklung 2007/07 (Wochendurchschnitt).
http://www.mwv.de/cms/front_content.php?idcat=14&idart=61 gelesen am 22.05.2008

-
- NAGEL 2007 Nagel, K.: Skript zur Vorlesung Planungsverfahren bei Verkehrsmaßnahmen. Technische Universität Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr
- OPEL 2002 Opel: Nachhaltigkeitsbericht 2002.
http://www.opel.de/res/download/pdf/nachhaltigkeit_teil3.pdf gelesen am 22.05.2008
- PALM, SCHMITZ 2007 Palm, D.; Schmitz, K.: Logistikplanung im PEP. Skript zur Vorlesung Automobillogistik. Technische Universität Wien, Institut für Managementwissenschaften
- PEDERSEN 2003 Pedersen, E. L.; Gray, R.: The transport selection criteria of Norwegian exporters. In: transport, Jg. 28, H. 2, S. 108–120.
- PFOHL 2004 Pfohl, Hans-Christian: Logistikmanagement. Konzeption und Funktionen. 2. Auflage. Springer Verlag. Berlin 2004
- PLEHWE 1998 Plehwe, D.: Transformation der Logistik. Discussion Paper FS I 98-103. Wissenschaftszentrum Berlin für Sozialforschung. o.V., Berlin
- PROGNOS 2003 Helms, M. et al.: Endbericht: Quantifizierung der Nicht-Einhaltung von Sozial- und Sicherheitsvorschriften auf der Strasse. und ihre Auswirkungen auf den Wettbewerb zwischen Strasse und Schiene im Güterverkehr. Prognos-Studie. o.V., Basel 2003
- RAPP 2005 IRE/ Rapp Trans AG: Bewertung von Qualitätsmerkmalen im Güterverkehr. o.V., Lugano/Zürich
- RAILION 2004 RAILION DEUTSCHLAND AG: Ladungssicherung in Güterwagen
http://www.railion.com/site/shared/de/dateianhaenge/publikationen__broschueren/ub__transport__logistik/railion__ladungssicherung.pdf gelesen am 18.09.2008
- RAILION 2008 RAILION Deutschland AG: Preise und Konditionen. Allgemeine Bestimmungen für Gütertransportleistungen mit Allgemeiner Preisliste.
www.db-intermodal.com/site/shared/de/dateianhaenge/vertraege__agb/railion__preise__konditionen__2008__01.pdf gelesen am 14.07.2008
- RCA 2007 Rail Cargo Austria: Touareg-Express. Wenn Autos Bahn fahren.
http://www.railcargo.at/de/Presse/Presseinformationen/2007/Q2/Touareg-Express__wenn_Autos_Bahn_fahren/index.jsp gelesen am 15.04.2008
- RINOFNER 2005 Rinofner, A.: Krafffahrzeuge fahren Bahn. Rail Cargo Austria news room 06/2005.
- SCHENKER 2006 Schenker: Audi-Schenker und Bahnlogistikpartner: Fortschritt auf der Schiene durch Technik und Logistik. 22.05.2008.

-
- SCHENKER 2008A Schenker: LKW Maut Österreich. Mauterhöhung ab 01.05.2008.
<http://www.schenker.at/deutsch/dienstleistungen/land/maut/index.html>
gelesen am 20.05.2008
- SCHENKER 2008B Schenker: DB Schenker fährt für Audi 15.000 Zug nach Ungarn.
http://www.schenker.de/deutsch/news/newsOrdner/2008_04/piAudi.html
gelesen am 22.05.2008.
- SCHULTE 1999 Schulte, C.: Logistik. Wege zur Optimierung des Material- und Informationsfluss. Verlag Franz Vahlen, 3. Aufl., München
- SÖNKE 2004 Sönke, Gähke: Freie Fahrt aufs Abstellgleis. Die Bahn setzt ihre Zukunft im Güterverkehr aufs Spiel.
<http://www.dradio.de/dlf/sendungen/wib/301657/> gelesen am 20.05.08
- SUZAKI 1989 Suzaki, K.; Nolting, F.-W.; Thim, A.: Modernes Management im Produktionsbetrieb. Strategien, Techniken, Fallbeispiele. Hanser-Verlag, München 1989
- UBA 2007 Umweltbundesamt: Verkehr. Straßen- und Schienenverkehrslärm.
<http://www.umweltbundesamt.de/verkehr/laerm/strassenund-schienen-verkehr.htm#Im> gelesen am 5.03.2008
- UBA 2008 Umweltbundesamt: Umweltzonen in Deutschland. <http://www.env-it.de/luftdaten/download/public/html/Umweltzonen/index.htm> gelesen am 17.03.2008
- UMWELTLEXIKON 2001 Umweltlexikon: Schadstoffe aus Kfz. <http://www.umweltlexikon-online.de/fp/archiv/RUBmobilitaetverkehr/SchadstoffeausKfz.php> gelesen am 04.042008
- UVEK 2005 Eidgenössisches Department für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK: Verkehrsentwicklung und Verfügbarkeit der Nationalstrassen. Jahresbericht 2005. o.V., Schweizerische Eidgenossenschaft 2005
- VCÖ 2005 VCÖ – Verkehrsclub Österreich: VCÖ –Studie: LKW-Verkehr kostet der Allgemeinheit 3,1 Milliarden Euro pro Jahr!. o.V.,
<http://www.oegb.or.at/servlet/BlobServer?blobcol=urldokument&blobheader=application%2Fpdf&blobkey=id&blobtable=Dokument&blobwhere=1115918539430> gelesen am 22.05.2008
- VEIDER 2004 Veider, A.; Böhm, W.: Moderne Aspekte der Fahrweg- und Zugsicherung bei ERTMS/ETCS-Projekten. Signal + Draht 8/2004, S. 6-13.
- VOIGT 1973 Voigt, F.: Verkehr. Bd. I/1: Die Theorie der Verkehrswirtschaft, Berlin 1973.

- VON DER HAND 2008 von der Hand, M.: Synchronisation von Prozessen in Wertschöpfungsketten, Konferenzbeitrag aus dem 6. Branchenforum Automobil-Logistik, Neckarsalun 2008
- VW 2008 Volkswagen Sachsen GmbH: Werkslayouts. <http://www.volkswagen-sachsen.de/werkslayouts/index.php> gelesen am 03.07.2008
- WDR 2008 daserste: LKW-Fahrer. Miete statt Lohn. http://www.daserste.de/plusminus/beitrag_dyn~uid,77emb50usi0s9jqf~cm.asp .24.03.2008
- WERNER 2008 Werner Spedition: Fuhrpark. http://www.werner-spedition.de/frames/menueframe_neu.htm gelesen am 12.06.2008
- WEYER 2002 Weyer, M.: Das Produktionssteuerungskonzept Perlenkette und dessen Kennzahlensystem. Dissertation. Universität Karlsruhe. Helmesverlag-Karlsruhe, Karlsruhe 2002
- WILDEMANN 1997 Wildemann, H.: Logistik Prozessmanagement. TCW Transfer-Centrum-Verlag, München 1997
- WITTE 2000 Witte, S.; Minde, F.; Engelmann, J.: Zentrale Komponenten eines Intelligenten Güterzuges. ETR – Eisenbahntechnische Rundschau. 11/2000, S. 745-750.

2 Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Vorgehensweise (Quelle: eigene Darstellung).....	2
Abb. 2: Unterschiedliche Genauigkeitsstufen der JiT-Steuerung in der Automobilproduktion (Quelle: Kummer et al. 2006, S. 239).....	6
Abb. 3: Schema: WOW – Lager	6
Abb. 4: Alternative Versorgungsstrukturen (Quelle: Wildemann 1997, S. 63)	7
Abb. 5: Bestandsbündelung (zeitliche Bündelung) (Quelle: Pfohl 2004, S. 128)	9
Abb. 6: Fahrzeugbündelung (räumliche Bündelung) (Quelle: Pfohl 2004, S. 128)	9
Abb. 7: Umschlagsbündelung (räumliche Bündelung) (Quelle: Pfohl 2004, S. 128).....	10
Abb. 8: Anordnung eines Sicherheitslagers (Quelle: Eigene Darstellung)	10
Abb. 9: Schema der Perlenkette (Quelle: Weyer 2002, S. 64).....	11
Abb. 10: Mögliche LKW -Aufbauten zum Gütertransport im Inbound - Bereich	16
Abb. 11: Schiebewandwagen für den Automobilteile-Transport (Engelmann 2004, S. 298) .	19
Abb. 12: Die 5 Funktionsbereiche des SOG (Quelle: Dellmann 2006, S. 237)	21
Abb. 13: CargoMover (Quelle: Mairhofer 2003, S. 5).....	22
Abb. 14: Struktur der Transportkosten im Straßengüterverkehr im Jahr 2005 (Quelle: Skaret et al. 2005)	30

Abb. 15 Beispiel von LKW-Andockschleusen im LKW Werk Leipzig (Quelle: BMW 2008)....	32
Abb. 16: Primärenergieverbrauch, Relation: Zwickau – Dresden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell).....	37
Abb. 17: CO ₂ – Emissionen, Relation: Zwickau – Dresden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell).....	37
Abb. 18: Gesamtstaubausstoß, Relation: Zwickau – Dresden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell).....	38
Abb. 19: Durch Verkehrslärm belastete Personen nach verursachenden Verkehrsträgern 2003 (Quelle: Herry 2007, S. 179)	39
Abb. 20: Staustunden (Quelle: UVEK 2005, S.10).....	40
Abb. 21: spezifische CO ₂ – Emissionen (Quelle: DB 2007)	40
Abb. 22: Kostenstruktur Schiene (Quelle: Herry 2001, S. 35).....	42
Abb. 23: Werkslayout VW - Werk Mosel (Quelle: VW 2008).....	45
Abb. 24: Geräuschbelastung durch den Schienenverkehr in Deutschland (Quelle: Umweltdaten 2003)	48
Abb. 25: Voraussetzungen und Risiken der Verlagerung auf die Schiene.....	48
Abb. 26: Argumentationsbilanz (LKW) (Quelle: Eigene Darstellung)	50
Abb. 27: Argumentationsbilanz (Ganzzug) (Quelle: Eigene Darstellung)	51
Abb. 28: Argumentationsbilanz (Wagenladungsverkehr) (Quelle: Eigene Darstellung).....	51
Abb. 29: Argumentationsbilanz (Zukunftsmodell - CargoMover) (Quelle: Eigene Darstellung)	52
Abb. 30: Entwicklung der Transportleistungen nach Verkehrsträgern (Quelle: BGL 2008) ...	53
Abb. 31: Rohölpreisentwicklung 2007/08 (Wochendurchschnitte) (Quelle: MWV 2008)	54
Abb. 32: der Verkehrsträger (Quelle: Infras 2007, S.9).....	55
Abb. 33: Externe Kosten der Verkehrsträger exkl. Luftverkehr (Quelle: Infras 2007, S.9).....	55
Abb. 34: Mautpflichtige Straßen in Österreich (Quelle: SCHENKER 2008A)	57
Abb. 35: Touareg–Express (Quelle: http://www.stlb.at/Archiv/1000-Touareg.htm).....	61
Abb. 36: Spezialracks für den Transport von Karosserieteilen für den Touareg-Express (Quelle: Rinofner 2005, S. 2).....	62
Abb. 37: Szenario I, Schema (Quelle: eigene Darstellung).....	64
Abb. 38: Szenario II, Schema (Quelle: eigene Darstellung).....	65
Abb. 39: Szenario III, Layout (Quelle: eigene Darstellung)	66
Abb. 40: Gleisanschluss (Quelle: eigene Darstellung)	71
Abb. 41: Szenario I, Darstellung (Quelle: eigene Darstellung).....	75
Abb. 42: Szenario I, Layout der Verladezone beim Lieferant (Quelle: eigene Darstellung) ...	76
Abb. 43: Szenario I, Layout der Verladezone beim Kunden (Quelle: eigene Darstellung).....	76
Abb. 44: Szenario I, Gleisanschluss Schema (Quelle: eigene Darstellung).....	77

Abb. 45: Szenario I, Transportprozess (Quelle: eigene Darstellung)	77
Abb. 46: Szenario I, Elementarprozesse "Entladen" und "Beladen" (Quelle: eigene Darstellung)	78
Abb. 47: Szenario I, Gesamtkostenverlauf (Quelle: eigene Darstellung)	79
Abb. 48: Szenario I, Kostenaufteilung bei 300 km (Quelle: eigene Darstellung)	80
Abb. 49: Szenario I, Vergleich der variablen Kosten pro km bei Bahn in Abhängigkeit von der Auslastung des Zuges (Quelle: Eigene Darstellung)	81
Abb. 50: Szenario I, erforderlicher Lagerplatz (Quelle: eigene Darstellung)	82
Abb. 51: Szenario II, Prozesse (Quelle: Eigene Darstellung)	83
Abb. 52: Szenario II, Elementarprozess "Umladevorgang" (Quelle: eigene Darstellung)	84
Abb. 53: Szenario II, Gesamtkostenverlauf bei 50 km Vorlauf (Quelle: eigene Darstellung)	85
Abb. 54: Szenario II, Lagerplatzbedarf (Quelle: eigene Darstellung)	86
Abb. 55: Szenario III, Anordnung der Lieferanten Variante A (Quelle: eigene Darstellung) ..	87
Abb. 56: Szenario III, Anordnung der Lieferanten Variante B (Quelle: Eigene Darstellung) ..	87
Abb. 57: Szenario III, Layout (Quelle: eigene Darstellung)	88
Abb. 58: Szenario III, Transportprozess (Quelle: eigene Darstellung)	88
Abb. 59: Szenario III, Gesamtkostenverlauf (Quelle: eigene Darstellung)	89
Abb. 60: Szenario III, Kostenverteilung (Quelle: eigene Darstellung)	89
Abb. 61: Szenario III, Lagerplatz (Quelle: eigene Darstellung)	90
Abb. 62: Szenario III, CO ₂ – Ausstoß (Quelle: EcoTransIT 2008)	91
Abb. 63: Primärenergieverbrauch, Relation: Zwickau – Chemnitz (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)	108
Abb. 64: CO ₂ – Emissionen, Relation: Zwickau – Chemnitz (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)	108
Abb. 65: Gesamtstaubausstoß, Relation: Zwickau – Chemnitz (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)	109
Abb. 66: Primärenergieverbrauch, Relation: Zwickau – Emden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)	109
Abb. 67: CO ₂ - Emissionen, Relation: Zwickau – Emden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)	110
Abb. 68: Gesamtstaubausstoß, Relation: Zwickau – Emden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)	110

3 Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vor- und Nachteile der Vorratsbeschaffung (Quelle: Wildemann 1997, S. 59).	4
Tabelle 2: Vor- und Nachteile des JIT– Konzepts (Quelle: Kummer et al. 2006, S. 239)	5
Tabelle 3: Lieferantenbezogene Kriterien für eine Direktanlieferung (Quelle: Wildemann 1997, S. 62).....	8
Tabelle 4: Teilebezogene Kriterien für Direktanlieferung (Quelle: Wildemann 1997, S. 61)	8
Tabelle 5: Vor- und Nachteile des Perlenketten – Konzepts.....	14
Tabelle 6: Vorteil des Ganzzuges (Quelle: Berndt 2001, S.19).....	18
Tabelle 7: Vor- und Nachteile des Konzeptes CargoMover	24
Tabelle 8: Vergleich der Häufigkeit des Auftretens bestimmter Bewertungskriterien in verschiedenen Studien.....	27
Tabelle 9: Kostenstruktur im LKW-Verkehr in Österreich (Quelle: Herry 2001, S. 27f).....	30
Tabelle 10: Frachtsätze (Quelle: Herry 2001, S. 75).....	31
Tabelle 11: Länge des Straßennetzes im Jahr 2005 (Quelle: Eurostat 2008)	33
Tabelle 12: Länge des Eisenbahnstreckennetzes im Jahr 2005 (Quelle: Eurostat 2008).....	34
Tabelle 13: Unfälle LKW und Bahn (Quelle: KfV 2006)	35
Tabelle 14: Kenndaten der Automotive - Standard – Waggons	42
Tabelle 15: Kosten und Transportzeiten für Bahntransport mit Einzelwagen	43
Tabelle 16: Kosten eines Güterzuges (Quelle: Gudehus 2005, S. 838)	43
Tabelle 17: Produktionsdaten (Quelle: Eigene Annahmen)	66
Tabelle 18: Daten der für die Berechnungen verwendeten Gestelle.....	67
Tabelle 19: Lademaße der Transportmittel	68
Tabelle 20: Kostenstruktur (LKW)	69
Tabelle 21: Kostenstruktur (Bahn).....	69
Tabelle 22: Waggondaten (Quelle: Gudehus 2005, S. 838)	70
Tabelle 23: Investitionskosten, Gleisanschluss.....	72
Tabelle 24: Angaben für die Umweltdatenberechnungen (Quelle: eigene Angaben)	74
Tabelle 25: Szenario I, Zuglänge der einzelnen Lieferanten (Quelle: eigene Berechnungen)	75
Tabelle 26: Szenario I, Gesamtkosten (Quelle: eigene Berechnungen)	79
Tabelle 27: Szenario II, Gesamtkosten (Quelle: eigene Berechnungen)	85
Tabelle 28: Szenario III, Kosteneinsparung aufgrund des fehlenden Umschlagprozesses (Quelle: eigene Berechnungen)	90
Tabelle 29: Zusammenfassung der Szenarien (Quelle: eigene Berechnungen).....	92
Tabelle 30: Szenario I, Berechnungstabelle -Bahn (Quelle: eigene Berechnungen).....	111
Tabelle 31: Szenario II, Berechnungstabelle - Bahn (Quelle: eigene Berechnungen).....	112

Tabelle 32: Szenario III, Berechnungstabelle - Bahn (Quelle: eigene Berechnungen)	113
Tabelle 33: Berechnungstabelle - LKW (Quelle: eigene Berechnungen).....	114

VI Anhang

	von	nach	
Strecke	Zwickau	Chemnitz	
LKW	593 km		40 t , EURO 2
Bahn	673 km		mittellang, elektrisch

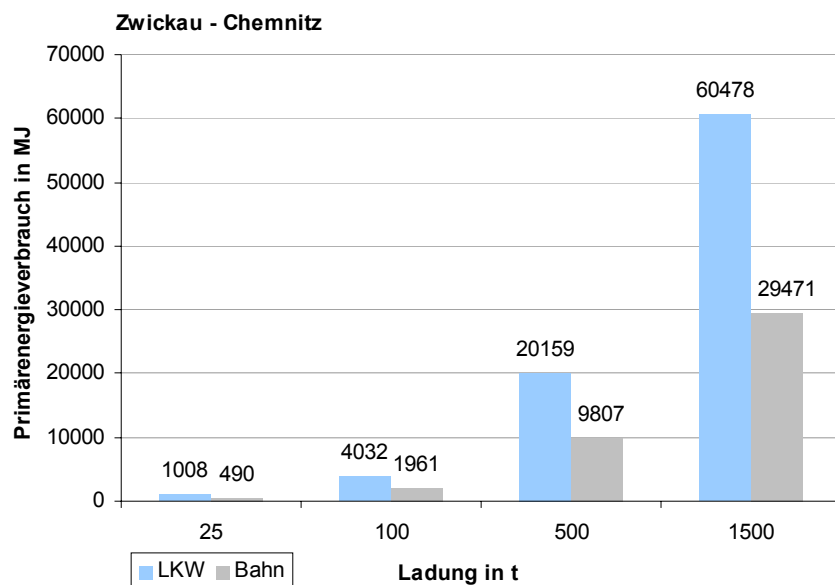


Abb. 63: Primärenergieverbrauch, Relation: Zwickau –Chemnitz (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

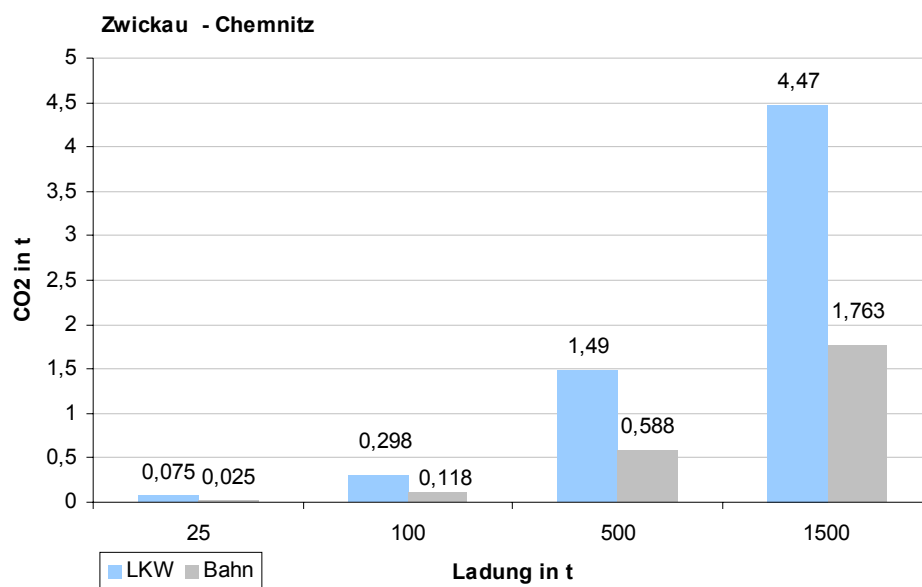


Abb. 64: CO₂ – Emissionen, Relation: Zwickau – Chemnitz (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

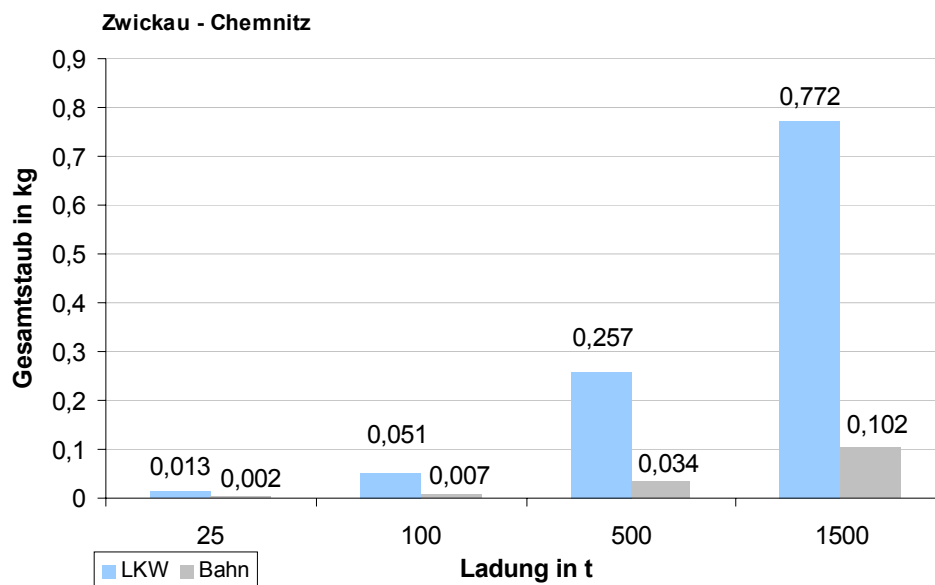


Abb. 65: Gesamtstaubausstoß, Relation: Zwickau – Chemnitz (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

	von	nach	
Strecke	Zwickau	Emden	
LKW	593 km		40 t , EURO 2
Bahn	673 km		mittellang, elektrisch

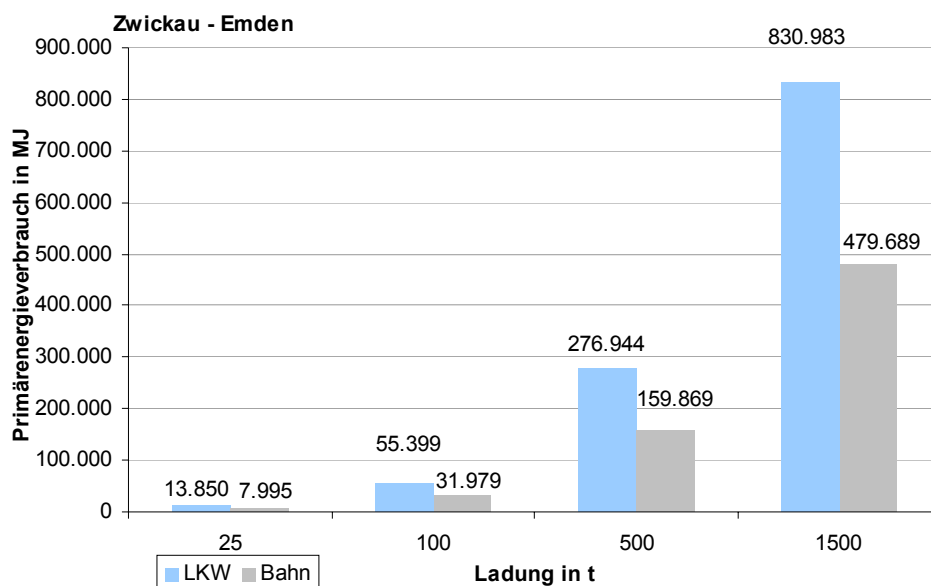


Abb. 66: Primärenergieverbrauch, Relation: Zwickau – Emden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

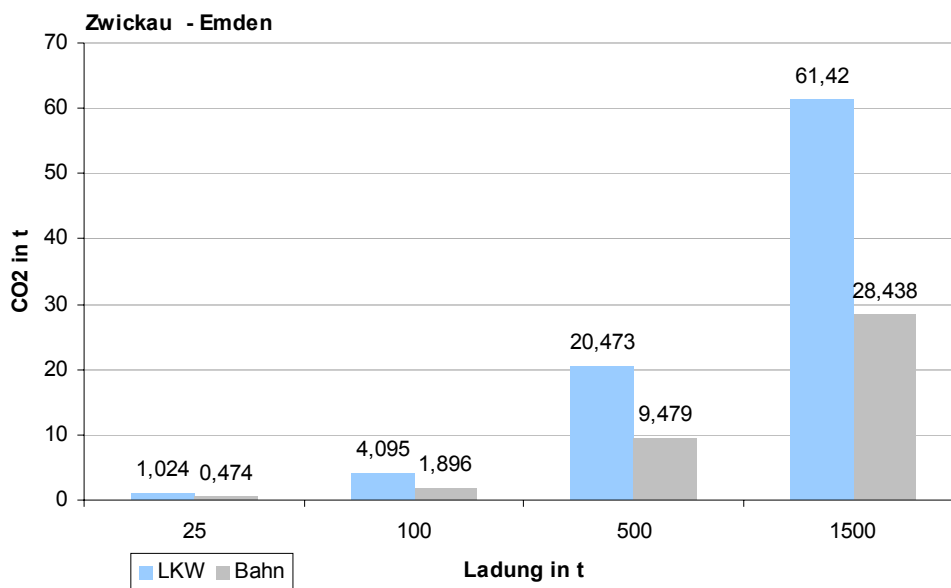


Abb. 67: CO₂ - Emissionen, Relation: Zwickau – Emden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

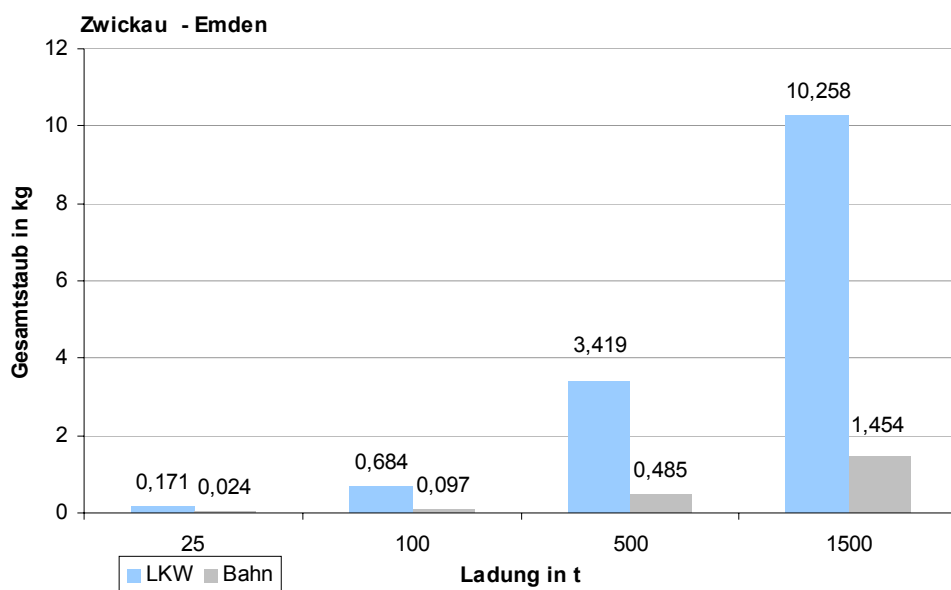


Abb. 68: Gesamtstaubausstoß, Relation: Zwickau – Emden (Quelle: Berechnung nach TREMOD-Modell)

Behälterart	Einheit	Szenario I - Bahn											
		A			B			C			D		
		10	300	500	10	300	500	10	300	500	10	300	500
Entfernung	km												
Anzahl der gelieferten Behälter	Stk	63	63	63	250	250	250	84	84	84	167	167	167
BAHN													
Gestelle pro Waggon	Stk	13,0	13,0	13,0	28,0	28,0	28,0	12,0	12,0	12,0	14,0	14,0	14,0
Anzahl der Waggons / Fahrt	Stk	5,0	5,0	5,0	9,0	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0	12,0	12,0	12,0
Zeiten													
Transportzeit in min	min	12,00	360,00	600,00	12,00	360,00	600,00	12,00	360,00	600,00	12,00	360,00	600,00
Zeit für Beladen in min	min	75,60	75,60	75,60	300,00	300,00	300,00	100,80	100,80	100,80	200,40	200,40	200,40
Zeit für Entladen in min	min	75,60	75,60	75,60	300,00	300,00	300,00	100,80	100,80	100,80	200,40	200,40	200,40
gesamte Lieferdauer (exkl. Produktion)	h	2,72	8,52	12,52	10,20	16,00	20,00	3,56	9,36	13,36	6,88	12,68	16,68
Dauer für einen Umlauf	h	5,44	17,04	25,04	20,40	32,00	40,00	7,12	18,72	26,72	13,76	25,36	33,36
Umlaufzeit (Behälter)	d	2,23	2,71	3,04	2,85	3,33	3,67	2,30	2,78	3,11	2,57	3,06	3,39
Behälter													
Anzahl Behälter im Umlauf	Stk	141	171	192	713	834	917	193	234	262	430	511	567
Invest. Kosten Behälter	EUR	282.000	342.000	384.000	1.426.000	1.668.000	1.834.000	386.000	468.000	524.000	860.000	1.022.000	1.134.000
Lagerplatzbedarf													
Lagerplatz bei Lieferant	m²	93	225	316	244	451	594	97	248	352	233	521	719
Lagerplatz bei OEM	m²	332	332	332	477	477	477	359	359	359	647	647	647
Lagerplatz total	m²	425	557	648	721	928	1.071	456	607	711	880	1.168	1.366
Kosten													
Gleisanschluss Investment	EUR	1.057.000	1.057.000	1.057.000	1.222.600	1.222.600	1.222.600	1.139.800	1.139.800	1.139.800	1.346.800	1.346.800	1.346.800
Traktion	EUR	260	7.800	13.000	260	7.800	13.000	260	7.800	13.000	260	7.800	13.000
Trasse	EUR	100	3000	5000	100	3000	5000	100	3000	5000	100	3000	5000
Fahrt	EUR	16	480	800	28,8	864	1440	22,4	672	1120	38,4	1152	1920
Bereitstellung	EUR	315	315	315	567	567	567	441	441	441	756	756	756
Gesamtkosten	EUR	691	11.595	19.115	956	12.231	20.007	823	11.913	19.561	1.154	12.708	20.676
Transportkosten / 1 Tag	EUR	691	11.595	19.115	956	12.231	20.007	823	11.913	19.561	1.154	12.708	20.676
Bestandskosten / 1 Tag	EUR	14,54	17,69	19,87	74,42	87,04	95,75	14,99	18,15	20,32	16,80	19,95	22,13
Behälterkosten / 1 Tag	EUR	171,43	207,90	233,43	866,87	1.013,98	1.114,89	234,65	284,50	318,54	522,80	621,28	689,36
Gleisanschlusskosten / 1 Tag	EUR	224,89	224,89	224,89	260,13	260,13	260,13	242,51	242,51	242,51	286,55	286,55	286,55
Lagerkosten / 1 Tag	EUR	84,98	111,37	129,57	144,20	185,67	214,27	91,27	121,43	142,23	175,97	233,57	273,29
Summe Kosten / 1 Tag	EUR	1.187	12.157	19.723	2.301	13.778	21.692	1.407	12.580	20.285	2.157	13.869	21.947
Summe Kosten / 1 Tag (A-D)	EUR	7.052	52.384	83.647									
Transportkosten / Fzg	EUR	0,69	11,60	19,12	0,96	12,23	20,01	0,82	11,91	19,56	1,15	12,71	20,68
Bestandskosten / Fzg	EUR	0,01	0,02	0,02	0,07	0,09	0,10	0,01	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02
Behälterkosten / Fzg	EUR	0,17	0,21	0,23	0,87	1,01	1,11	0,23	0,28	0,32	0,52	0,62	0,69
Gleisanschlusskosten / Fzg	EUR	0,22	0,22	0,22	0,26	0,26	0,26	0,24	0,24	0,24	0,29	0,29	0,29
Lagerkosten / Fzg	EUR	0,08	0,11	0,13	0,14	0,19	0,21	0,09	0,12	0,14	0,18	0,23	0,27
Summe Kosten / Fzg	EUR	1,19	12,16	19,72	2,30	13,78	21,69	1,41	12,58	20,28	2,16	13,87	21,95
Summe Kosten / Fzg (A-D)	EUR	7,05	52,38	83,65									
Transportkosten / m³	EUR	1,33	22,36	36,86	1,57	20,03	32,77	1,79	25,92	42,56	1,26	13,84	22,51
Bestandskosten / m³	EUR	0,03	0,03	0,04	0,12	0,14	0,16	0,03	0,04	0,04	0,02	0,02	0,02
Behälterkosten / m³	EUR	0,33	0,40	0,45	1,42	1,66	1,83	0,51	0,62	0,69	0,57	0,68	0,75
Gleisanschlusskosten / m³	EUR	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,43	0,53	0,53	0,53	0,31	0,31	0,31
Lagerkosten / m³	EUR	0,16	0,21	0,25	0,24	0,30	0,35	0,20	0,26	0,31	0,19	0,25	0,30
Summe Kosten / m³	EUR	2,29	23,44	38,03	3,77	22,57	35,53	3,06	27,37	44,13	2,35	15,10	23,89
Summe Kosten / m³ (A-D)	EUR	2,81	20,89	33,36									

Tabelle 30: Szenario I, Berechnungstabelle -Bahn (Quelle: eigene Berechnungen)

		Szenario II - Bahn																							
Einheit		A						B						C						D					
Behälter		300	300	300	500	500	500	300	300	300	500	500	500	300	300	300	500	500	500	300	300	300	500	500	500
Entfernung in km	km	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50	10	30	50
Entfernung zum Umschlagpunkt	km																								
Anzahl der gelieferten Behälter	Stk	63	63	63	63	63	63	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	250	84	84	84	84	84	84	
BAHN																									
Gestelle pro Waggon	Stk	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	13,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	28,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	12,0	
Anzahl der Transporteinheiten	Stk	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	5,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	7,0	
Zeiten																									
Transportzeit Vorlauf	min	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	46,15	9,23	27,69	
Transportzeit Hauptlauf	h	5,80	5,40	5,00	9,80	9,40	9,00	5,80	5,40	5,00	9,80	9,40	9,00	5,80	5,40	5,00	9,80	9,40	9,00	5,80	5,40	5,00	9,80	9,40	
Prod. Gestelle während der Abwesenheit d. Zuges	Stk	30	28	26	51	49	47	121	113	104	204	196	188	40	38	35	68	65	63	81	75	69	136	131	
notwendiger Lagerplatz bei Umschlagplatz	m²	132	123	114	223	214	205	207	193	179	350	336	322	151	140	130	255	244	234	288	268	248	487	467	
Umlaufzeit	d	2,81	2,80	2,80	3,14	3,14	3,13	3,75	3,74	3,73	4,08	4,07	4,06	2,92	2,91	2,90	3,25	3,24	3,23	3,33	3,32	3,32	3,66	3,66	
Behälter																									
Anzahl der Behälter im Umlauf	Stk	178	177	177	199	198	198	937	935	933	1020	1018	1017	245	245	244	273	273	272	557	556	554	612	611	
Invest. Kosten Behälter	EUR	356.000	354.000	354.000	398.000	396.000	396.000	1.874.000	1.870.000	1.866.000	2.040.000	2.036.000	2.034.000	490.000	490.000	488.000	546.000	546.000	544.000	1.114.000	1.112.000	1.108.000	1.224.000	1.220.000	
Behälter total	Stk	1.917	1.913	1.908	2.104	2.100	2.097																		
Invest. Kosten total	EUR	3.834.000	3.826.000	3.816.000	4.208.000	4.200.000	4.194.000																		
Lagerplatzbedarf																									
Pufferfläche gesamt Umschlagplatz	m²	778	724	671	1315	1261	1207																		
Lagerplatz bei Lieferant	m²	44	51	58	44	51	58	72	83	94	72	83	94	49	57	65	49	57	65	68	84	99	68	84	
Lagerfläche total	m²	1.012	1.000	987	1.549	1.536	1.524																		
Anzahl der LKWs für Vorlauf	Stk	0,60	0,90	1,30	0,60	0,90	1,30	1,80	2,20	2,70	1,80	2,20	2,70	0,70	1,10	1,50	0,70	1,10	1,50	1,30	2,00	2,60	1,30	2,00	
Kosten																									
Gleisanschluss Investment	EUR	2.290.000	2.290.000	2.290.000	2.290.000	2.290.000	2.290.000																		
Transportkosten Vorlauf / Tag	EUR	300	576,00	960,00	500	576,00	960,00	500	792,00	1.320,00	500	792,00	1.320,00	500	648,00	1.080,00	500	648,00	1.080,00	500	1.008,00	1.680,00	500	1.008,00	
Transportkosten Hauptlauf Traktion	EUR	7.540	7.020	6.500	12.740	12.220	11.700																		
Transportkosten Hauptlauf Trasse	EUR	2.900	2.700	2.500	4.900	4.700	4.500																		
Transportkosten Hauptlauf Fahrt	EUR	3.062	2.851	2.640	5.174	4.963	4.752																		
Transportkosten Hauptlauf Waggon	EUR	4.158	4.158	4.158	4.158	4.158	4.158																		
Transportkosten Hauptlauf total	EUR	17.660	16.729	15.798	26.972	26.041	25.110																		
Transportkosten / Tag total	EUR	19.460	19.753	20.838	28.972	29.065	30.150																		
Bestandskosten / Tag	EUR	16	16	16	18	18	18	65	65	65	74	74	73	16	16	16	18	18	18	18	16	16	18		
Behälterkosten / Tag	EUR	216	215	215	242	241	241	1.139	1.137	1.134	1.240	1.238	1.236	298	298	297	332	332	331	677	676	674	744	743	
Kosten für Lagerfläche / Tag	EUR	35	35	34	53	53	53	56	55	55	85	84	83	40	40	39	61	60	60	71	70	69	111	110	
Personal für Umschlag	EUR	181	181	181	181	181	181	720	720	720	720	720	720	242	242	242	242	242	242	481	481	481	481	481	
Gleiskosten / Tag	EUR	487	487	487	487	487	487																		
Summe Transportkosten / Tag A-D	EUR	19.460	19.753	20.838	28.972	29.065	30.150																		
Summe Bestandskosten / Tag A-D	EUR	114	114	113	129	129	129																		
Summe Behälterkosten / Tag A-D	EUR	2.331	2.328	2.320	2.558	2.553	2.550																		
Summe Kosten für Lagerfläche / Tag A-D	EUR	202	200	197	310	307	305																		
Summe Personal für Umschlag A-D	EUR	1.624	1.624	1.624	1.624	1.624	1.624																		
Summe Gleiskosten / Tag A-D	EUR	487	487	487	487	487	487																		
Summe Kosten / Tag A-D	EUR	24.219	24.504	25.580	34.081	34.166	35.244																		
Summe Kosten / Fzg A-D	EUR	24,22	24,50	25,58	34,08	34,17	35,24																		
Summe Kosten / m³ A-D	EUR	9,66	9,77	10,20	13,59	13,63	14,06																		

Tabelle 31: Szenario II, Berechnungstabelle - Bahn (Quelle: eigene Berechnungen)

		Szenario III - Bahn											
Behälter	Einheit	A			B			C			D		
Entfernung	km	10	300	500	10	300	500	10	300	500	10	300	500
Anzahl der gelieferten Behälter	Stk	63	63	63	250	250	250	84	84	84	167	167	167
BAHN													
Gestelle pro Waggon	Stk	13,0	13,0	13,0	28,0	28,0	28,0	12,0	12,0	12,0	14,0	14,0	14,0
Anzahl der Transporteinheiten	Stk	5,0	5,0	5,0	9,0	9,0	9,0	7,0	7,0	7,0	12,0	12,0	12,0
Zeiten													
Transportzeit in min	min	12,00	360,00	600,00	12,00	360,00	600,00	12,00	360,00	600,00	12,00	360,00	600,00
Zeit für Beladen in min	min	75,60	75,60	75,60	300,00	300,00	300,00	100,80	100,80	100,80	200,40	200,40	200,40
Zeit für Entladen in min	min	75,60	75,60	75,60	300,00	300,00	300,00	100,80	100,80	100,80	200,40	200,40	200,40
gesamte Lieferdauer (exkl. Produktion)	h	2,72	8,52	12,52	10,20	16,00	20,00	3,56	9,36	13,36	6,88	12,68	16,68
Dauer für einen Umlauf	h	0,66	12,26	20,26	0,96	12,56	20,56	0,64	12,24	20,24	0,68	12,28	20,28
Umlaufzeit	d	2,23	2,71	3,04	2,85	3,33	3,67	2,30	2,78	3,11	2,57	3,06	3,39
Dauer der Lagerbildung Lieferant	h	0,66	12,26	20,26	0,96	12,56	20,56	0,64	12,24	20,24	0,68	12,28	20,28
Behälter													
Anzahl Behälter im Umlauf	Stk	141	171	192	713	834	917	193	234	262	430	511	567
Invest. Kosten Behälter	EUR	282.000	342.000	384.000	1.426.000	1.668.000	1.834.000	386.000	468.000	524.000	860.000	1.022.000	1.134.000
Behälter A-D	Stk	1.477	1.750	1.938									
Invest. Kosten A-D	EUR	2.954.000	3.500.000	3.876.000									
Lagerplatzbedarf													
Lagerplatz bei OEM	m ²	0	0	0									
Lagerplatz bei Lieferant	m ²	64	196	287	65	273	416	53	204	308	67	355	554
Lagerplatz gesamt	m ²	250	1028	1564									
Kosten													
Gleisanschluss Investment	EUR	2.290.000	2.290.000	2.290.000									
Gleiskosten / Tag	EUR	487	487	487									
Bestandskosten / Tag	EUR	13,06	13,06	13,06	52,23	52,23	52,23	13,06	13,06	13,06	13,06	13,06	13,06
Behälterkosten / Tag	EUR	171,43	207,90	233,43	866,87	1.013,98	1.114,89	234,65	284,50	318,54	522,80	621,28	689,36
Lagerkosten / Tag	EUR	49,94	205,55	312,88									
Transportkosten Traktion	EUR	260	7.800	13.000									
Transportkosten Trasse	EUR	100	3.000	5.000									
Transportkosten Fahrt	EUR	106	3.168	5.280									
Transportkosten Waggon	EUR	4.158	4.158	4.158									
Transportkosten / Tag total	EUR	4.624	18.126	27.438									
Summe Kosten / Tag A-D	EUR	7.048	21.038	30.686									
Summe Kosten / Fzg A-D	EUR	7,05	21,04	30,69									
Summe Kosten / m ² A-D	EUR	2,81	8,39	12,24									

Tabelle 32: Szenario III, Berechnungstabelle - Bahn (Quelle: eigene Berechnungen)

		LKW												
Einheit		A			B			C			D			
Behälter	Entfernung	km	10	300	500	10	300	500	10	300	500	10	300	500
Anzahl der gelieferten Behälter		Stk	63	63	63	250	250	250	84	84	84	167	167	167
LKW														
Gestelle pro LKW	Stk	8,0	8,0	8,0	24,0	24,0	24,0	10,0	10,0	10,0	12,0	12,0	12,0	
Anzahl der Transporteinheiten	Stk	8,0	8,0	8,0	11,0	11,0	11,0	9,0	9,0	9,0	14,0	14,0	14,0	
Zeiten														
Transportzeit in min	min	9,23	276,92	461,54	9,23	276,92	461,54	9,23	276,92	461,54	9,23	276,92	461,54	
Zeit für Beladen in min	min	9,60	9,60	9,60	28,80	28,80	28,80	12,00	12,00	12,00	14,40	14,40	14,40	
Zeit für Entladen in min	min	9,60	9,60	9,60	28,80	28,80	28,80	12,00	12,00	12,00	14,40	14,40	14,40	
gesamte Lieferdauer (exkl. Produktion) pro LKW	min	28,43	296,12	480,74	66,83	334,52	519,14	33,23	300,92	485,54	38,03	305,72	490,34	
Wiederbeschaffungszeit 1 LKW in min	min	56,86	592,25	961,48	133,66	669,05	1038,28	66,46	601,85	971,08	76,06	611,45	980,68	
Summe der Zeiten aller Lieferungen in h	h	3,79	39,48	64,10	12,25	61,33	95,18	4,98	45,14	72,83	8,87	71,34	114,41	
Anzahl d. benötigten Fahrzeuge	Stk	0,6	5,8	9,5	1,8	8,8	13,6	0,7	6,3	10,2	1,3	10,7	17,2	
Lieferintervall	min	184	184	184	138	138	138	173	173	173	104	104	104	
Umlaufzeit	d	0,29	0,66	0,92	0,27	0,65	0,90	0,27	0,64	0,90	0,20	0,57	0,82	
Behälter														
Anzahl Behälter	Stk	19	43	59	73	171	239	25	58	81	33	96	139	
Invest. Kosten Behälter	EUR	38.000	86.000	118.000	146.000	342.000	478.000	50.000	116.000	162.000	66.000	192.000	278.000	
Behälter A-D	Stk	150	368	518										
Invest. Kosten A-D	EUR	300.000	736.000	1.036.000										
Lagerplatzbedarf														
Lagerplatz bei Lieferant	m²	44	72	72	72	91	91	49	77	77	68	92	92	
Lagerplatz bei OEM	m²	70	70	70	82	82	82	75	75	75	86	86	86	
Kosten														
Fahrtkosten / Fahrt	EUR		360	600		360	600		360	600		360	600	
Transportkosten / Tag	EUR	280	5.760	9.600	877	7.920	13.200	349	6.480	10.800	666	10.080	16.800	
Bestandskosten / Tag	EUR	1,89	4,32	5,99	7,17	16,88	23,58	1,75	4,18	5,85	1,28	3,70	5,38	
Behälterkosten / Tag	EUR	23,10	52,28	71,73	88,75	207,90	290,58	30,40	70,52	98,48	40,12	116,72	169,00	
Lagerkosten / Tag	EUR	22,76	28,32	28,32	30,96	34,66	34,66	24,82	30,47	30,47	30,84	35,51	35,51	
Summe Kosten / Tag	EUR	328	5.845	9.706	1.004	8.179	13.549	406	6.585	10.935	738	10.236	17.010	
Summe Transportkosten / Tag A-D	EUR	2.171	30.240	50.400										
Summe Bestandskosten / Tag A-D	EUR	12	29	41										
Summe Behälterkosten / Tag A-D	EUR	182	447	630										
Summe Lagerkosten / Tag A-D	EUR	109	129	129										
Summe Kosten / Tag A-D	EUR	2.475	30.845	51.200										
Transportkosten / Fzg	EUR	0,28	5,76	9,60	0,88	7,92	13,20	0,35	6,48	10,80	0,67	10,08	16,80	
Bestandskosten / Fzg	EUR	0,00	0,00	0,01	0,01	0,02	0,02	0,00	0,00	0,01	0,00	0,00	0,01	
Behälterkosten / Fzg	EUR	0,02	0,05	0,07	0,09	0,21	0,29	0,03	0,07	0,10	0,04	0,12	0,17	
Lagerkosten / Fzg	EUR	0,02	0,03	0,03	0,03	0,03	0,03	0,02	0,03	0,03	0,03	0,04	0,04	
Summe Kosten / Fzg	EUR	0,33	5,84	9,71	1,00	8,18	13,55	0,41	6,59	10,93	0,74	10,24	17,01	
Summe Kosten / Fzg A-D	EUR	2,48	30,85	51,20										
Transportkosten / m³	EUR	0,54	11,11	18,51	1,44	12,97	21,62	0,76	14,10	23,50	0,72	10,97	18,29	
Bestandskosten / m³	EUR	0,00	0,01	0,01	0,01	0,03	0,04	0,00	0,01	0,01	0,00	0,00	0,01	
Behälterkosten / m³	EUR	0,04	0,10	0,14	0,15	0,34	0,48	0,07	0,15	0,21	0,04	0,13	0,18	
Lagerkosten / m³	EUR	0,04	0,05	0,05	0,05	0,06	0,06	0,05	0,07	0,07	0,03	0,04	0,04	
Summe Kosten / m³	EUR	0,63	11,27	18,72	1,64	13,40	22,19	0,88	14,33	23,79	0,80	11,14	18,52	
Summe Kosten / m³ A-D	EUR	0,99	12,30	20,42										

Tabelle 33: Berechnungstabelle - LKW (Quelle: eigene Berechnungen)