



© SBB CFF FFS

Grundlagenstudie Güterverkehrsanlagen der Zukunft

Sönke von Wieding, Ferdinand Mikolasch, Marco Aepli

Januar 2025

Zusammenfassung

Der Logistiksektor steht vor einer Vielzahl komplexer Herausforderungen, die sich aus Nachfragetrends, Infrastrukturentwicklungen, Digitalisierung und Automatisierung, ökologischen Anforderungen und Dynamiken der Flächennutzung ergeben. Dieser Bericht untersucht die Fragestellung, ob die bestehenden Anlagen des Schienengüterverkehrs (SGV) den neuen Anforderungen entsprechen und welche Massnahmen erforderlich sind, um wettbewerbsfähige Angebote zu gewährleisten, zusätzliche Güterverkehrsmengen auf der Schiene zu bewältigen und die Logistikketten effizient zu handhaben.

Die Studie verfolgt einen systemischen Forschungsansatz, um die Vielschichtigkeit des SGV zu erfassen. Ein vierstufiges Analysemodell wurde entwickelt, das die Wechselwirkungen zwischen Nachfrage, Angebot, Infrastruktur und Raumplanung umfassend beleuchtet. Methodisch kombiniert die Untersuchung theoretische Ansätze, wie eine ausführliche Literaturrecherche, mit empirischen Erkenntnissen aus Interviews und einer Umfrage. Der Fokus liegt dabei auf den systemübergreifenden Elementen des SGV im breiteren Kontext, ohne sich in spezifische Transportarten oder Güterkategorien zu vertiefen.

Die Ergebnisse zeigen, dass der SGV in den Märkten für Transport, Verkehr und Flächennutzung unter erheblichem Wettbewerbsdruck steht. Um seine Position in einem sich wandelnden Marktumfeld zu sichern und auszubauen, sind Entwicklungen in mehreren zentralen Bereichen erforderlich:

- Die effiziente Beförderung kleinerer Einheiten, wie Paletten, Einzelwagenladungen, Container und Wechselbehälter, zwischen breit verteilten Ursprüngen und Zielen, muss verbessert werden.
- Steigende Anforderungen an Transportqualität, Flexibilität und Geschwindigkeit müssen erfüllt werden.
- Die optimale Nutzung der begrenzten Streckenkapazitäten ist angesichts steigender Nachfrage und der Nutzungskonkurrenz mit dem Personenverkehr entscheidend.
- Die SGV-Anlagen müssen entwickelt und so gestaltet werden, dass sie sich konfliktarm in urbane Umgebungen integrieren lassen.

Technologische Innovationen im SGV-Sektor bieten vielversprechende Lösungsansätze. Die digitale automatische Kupplung, Fortschritte in der Digitalisierung und Automatisierung eröffnen erhebliche Potenziale zur Prozessoptimierung, besseren Kapazitätsauslastung und stärkeren Marktorientierung. Insbesondere im Einzelwagenladungsverkehr und im kombinierten Verkehr können diese Technologien Effizienzsteigerungen ermöglichen.

Die Studie versteht sich als qualitative Grundlagenuntersuchung, die naturgemäss nicht alle Fragen abschliessend beantworten konnte. Während der Analyse der zukünftigen Entwicklung des SGV wurden jedoch zahlreiche Forschungspotenziale identifiziert, die vertiefte Untersuchungen erfordern.

Inhaltsverzeichnis

ZUSAMMENFASSUNG	I
INHALTSVERZEICHNIS	II
1 EINLEITUNG	1
1.1 HINTERGRUND	1
1.2 ZIELE	1
1.3 ABGRENZUNG DER ARBEIT	2
1.4 STRUKTUR DES BERICHTS	2
2 AUSGANGSLAGE	4
2.1 GÜTERVERKEHRSANLAGEN	4
2.2 PRODUKTIONSFORMEN DES SCHIENENGÜTERVERKEHRS	6
2.3 GÜTERVERKEHRSMARKT	7
2.4 WETTBEWERBSFÄHIGKEIT DER PRODUKTIONSFORMEN	9
2.4.1 Kriterien der Verkehrsmittelwahl	9
2.4.2 Räumliche Erschliessung	10
2.4.3 Transportzeit	11
2.4.4 Transportqualität	11
2.4.5 Transportkosten	13
2.4.6 Nachhaltigkeit	14
2.4.7 Zusammenfassung - Wettbewerbsfähigkeit	15
3 SYSTEMISCHES ANALYSEMODELL DES GÜTERTRANSPORTS	17
3.1 GRUNDLAGEN UND FORMEN VON TRANSPORTNETZWERKEN	17
3.2 KNOTENPUNKTE IN TRANSPORTNETZWERKEN	18
3.2.1 Funktion von Knoten in Transportnetzwerken	19
3.2.2 Klassifizierung von Knoten	19
3.2.3 Wertschöpfung der Transportknoten in der Lieferkette	20
3.2.4 Räumliche Wirkung der Knoten	20
3.3 INTEGRIERTE BETRACHTUNG VON TRANSPORTNETZWERKEN	22
3.4 ENTWICKLUNG EINES MEHRSTUFIGEN ANALYSEMODELLS	23
4 METHODE	25
4.1 FORSCHUNGSANSATZ	25
4.2 FORSCHUNGSPROZESS	26
4.3 EMPIRISCHE DATENERHEBUNG UND -ANALYSE	27
4.3.1 Durchführung und Analyse der ExpertInnen-Interviews	27
4.3.2 Konzeption und Auswertung der ExpertInnen-Umfrage	28
5 ENTWICKLUNG IM SCHIENENGÜTERVERKEHR	29
5.1 ENTWICKLUNG DER NACHFRAGE UND DES TRANSPORTMARKTES	30
5.1.1 Entwicklung der Nachfrage	30
5.1.2 Innovationen und Wettbewerbsdynamik im Transportmarkt	33
5.2 ANGEBOTSEITIGE ENTWICKLUNGEN IM SCHIENENGÜTERVERKEHR	34
5.2.1 Technische Innovationen	35
5.2.2 Personalentwicklung im SGV	41
5.3 INFRASTRUKTURELLE UND RAUMPLANERISCHE ENTWICKLUNGEN	42
5.3.1 Wachsende Nachfrage im Schienenpersonenverkehr	43
5.3.2 Herausforderungen beim Kapazitätsausbau der Schieneninfrastruktur	43
5.3.3 Innenverdichtung und ihre Auswirkungen auf den Güterverkehr	44
5.3.4 Raumplanerische Sicherung von Güterverkehrsanlagen	46
5.4 SYNTHESE UND ZUKUNFTSAUSSICHTEN	47

6	GÜTERVERKEHRSANLAGEN DER ZUKUNFT	49
6.1	KRITERIEN FÜR ZUKUNFTSFÄHIGE PRODUKTIONSFORMEN IM SGV	49
6.1.1	<i>Nachfrageseitige Kriterien: Marktanforderungen und Kundenbedürfnisse</i>	49
6.1.2	<i>Angebotsseitige Kriterien: Anforderungen an Infrastruktur- und Produktionsprozesse</i>	50
6.1.3	<i>Marktgerechte Produktionsform: Kombination von EWLV und KV?</i>	51
6.2	DEFINITION UND FUNKTIONALE ANFORDERUNGEN DER GÜTERVERKEHRSANLAGEN	53
6.2.1	<i>Kategorisierung der Güterverkehrsanlagen</i>	53
6.2.2	<i>Funktionale und betriebliche Anforderungen an die Güterverkehrsanlagen</i>	54
6.3	RÄUMLICHE ERSCHLIESSUNG UND VERORTUNG	55
6.3.1	<i>Netzwerkperspektive: Effiziente Erschliessung und flächendeckende Abdeckung</i>	55
6.3.2	<i>Lokale Perspektive: Standortoptimierung und städtebauliche Integration</i>	57
7	SCHLUSSFOLGERUNGEN	59
7.1	SYNTHESE DER ERGEBNISSE	59
7.2	WEITERE FORSCHUNG	60
	LITERATURVERZEICHNIS	63
	ANLAGE 1 - INTERVIEWS	66
	ANLAGE 2 – INTERVIEWFRAGEN	67
	ANLAGE 3 – EXPERTINNEN-UMFRAGE	72

1 Einleitung

Dieses Kapitel erläutert den Hintergrund der Studie (Kapitel 1.1), die Ziele mit den vier zentralen Leistungen (Kapitel 1.2), die Abgrenzung der Studie (Kapitel 1.3), sowie die Struktur des Berichts (Kapitel 1.4).

1.1 Hintergrund

Die sich ständig wandelnde Logistik und der Güterverkehrsmarkt stellen steigende Anforderungen an Anlagen und Einrichtungen durch interne und externe Faktoren wie die zunehmende Vernetzung von Logistikketten, enge Verknüpfung von Verkehrsträgern, alternative Transportmethoden, Bündelungsfähigkeit von Sendungen sowie raum- und klimapolitische Erwartungen.

Für die zukünftige Bedeutung der Schiene sind multimodale Transportketten von entscheidender Bedeutung, die eine Hauptstrecke auf der Schiene und Vor- und Nachlauf auf anderen Verkehrsträgern, insbesondere der Strasse, ermöglichen. Diese erfordern multifunktionale „Umschlagsplattformen“, die die verschiedenen Verkehrsträger integrieren und das Bündeln von Gütern ermöglichen, während sie zusätzliche Funktionen wie Kommissionierung und Lagerung erfüllen können (ARE, 2021).

Hintergrund dieser Arbeit ist die Fragestellung, ob die bestehenden Güterverkehrsanlagen den neuen Anforderungen entsprechen und welche Massnahmen erforderlich sind, um wettbewerbsfähige Angebote zu gewährleisten, zusätzliche Güterverkehrsmengen auf der Schiene zu bewältigen und die Logistikketten effizient zu handhaben.

1.2 Ziele

Diese Arbeit hat das Erstellen folgender Leistungen zum Ziel:

Leistung 1: Trendanalyse

Die erste Leistung umfasst die Analyse von technischen, wirtschaftlichen und verkehrsgeografischen Trends, wie zum Beispiel neue Verkehrsträger, die Automatisierung und Digitalisierung im Güterverkehr sowie neues Rollmaterial. Diese Analyse untersucht ihre Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs (SGV) zum Beispiel hinsichtlich der Kostensenkung und Effizienzsteigerungen, verkürzte Transportzeiten sowie verbesserte Qualität in Bezug auf Informationen und Schadensminimierung.

Leistung 2: Marktgerechte Produktionsformen

Basierend auf den Ergebnissen der Trendanalyse werden Kriterien entwickelt, die künftig massgeblich für die Wahl der Verkehrsmittel und Produktionsmethoden im SGV sein werden. Diese Kriterien berücksichtigen sowohl die Perspektive der Nachfrageseite (Versender) als auch der Angebotsseite (Verkehrsunternehmen). Beispiele für Kriterien der Nachfrageseite sind etwa Anforderungen an Transportgeschwindigkeit, Frequenz und Nachhaltigkeit der Transportdienste. Angebotsseitige Aspekte umfassen die Gestaltung von Transportnetzwerken, etwa die Wahl zwischen vielen kleinen, dezentralen Anlagen oder wenigen leistungsstarken, zentralisierten Anlagen.

Leistung 3: Definition der Umschlagsplattformen des SGV

In der dritten Leistung wird der Fokus auf die Knotenpunkte des Schienengüterverkehrsnetzes gelegt. Hierbei werden, basierend auf den Kriterien für wettbewerbsfähige Produktionsmethoden im SGV aus Leistung 2, die funktionalen Anforderungen und Betriebsmerkmale der SGV-Anlagen definiert. Auf Grundlage dieser Festlegungen erfolgt eine einheitliche Kategorisierung der Umschlagsplattformen.

Leistung 4: Räumliche Erschliessung und Verortung

Die vierte Leistung entwickelt Methoden zur räumlichen Analyse des SGV. Diese Methoden umfassen Prinzipien für die effiziente Erschliessung und Abdeckung von Gebieten durch das Verkehrssystem (Netzperspektive), sowie für die angemessene Platzierung und lokale Integration der Anlagen (lokale Perspektive). Durch die Anwendung dieser vorgeschlagenen Prinzipien kann ein transparenter und nachvollziehbarer Abgleich zwischen dem bestehenden Zustand und dem Bedarf erfolgen.

1.3 Abgrenzung der Arbeit

Güterverkehrsanlagen sind ein wesentlicher Bestandteil von Transportnetzwerken und müssen den Anforderungen der Verlager gerecht werden, während sie gleichzeitig in die Verkehrsinfrastruktur und raumplanerische Konzepte eingebettet sind. Technologische Innovationen, wirtschaftliche Veränderungen und neue Raumplanungskonzepte beeinflussen die Gestaltung und Anforderungen dieser Anlagen direkt und indirekt. Diese wechselseitigen Abhängigkeiten erfordern einen systemischen Ansatz, der verkehrs-, logistik- und raumplanerische Aspekte berücksichtigt.

Diese Studie wählt daher bewusst einen breiten systemischen Ansatz, um ein umfassendes Verständnis der vielfältigen Einflussfaktoren zu ermöglichen. Dies geht jedoch zulasten der Detailtiefe in spezifischen Bereichen. Der SGV mit seinen Produktionsformen (Kombinierter Verkehr, Einzelwagenladungsverkehr, Ganzzüge) ist ein komplexes Feld, das von verschiedenen Faktoren wie Verkehrsart (Binnenverkehr, Import/Export, Transit) und Warenart (Konsumgüter, Stückgut, Massengut) geprägt wird. Eine detaillierte Analyse jedes Segments würde den Rahmen dieser Arbeit sprengen. Stattdessen konzentriert sich die Studie auf die übergeordneten, systemübergreifenden Elemente des SGV, um ein ganzheitliches Verständnis der Rolle und Entwicklung von Güterverkehrsanlagen zu schaffen. Dies bildet die Grundlage für vertiefende Untersuchungen in nachfolgenden Arbeiten.

1.4 Struktur des Berichts

Der Bericht gliedert sich wie folgt:

Kapitel 2 legt die theoretischen Grundlagen dar, die den Rahmen dieser Arbeit bilden. Es analysiert die aktuelle Situation des SGV, untersucht den Güterverkehrsmarkt und erörtert die Vor- und Nachteile verschiedener Produktionsmethoden.

Kapitel 3 entwickelt ein ganzheitliches Analysemodell des Schienengüterverkehrs (SGV), das auf einer umfassenden Systemperspektive basiert. Dieses Modell berücksichtigt nicht nur den Transportsektor selbst, sondern bezieht auch die Nachfrageseite, die Infrastruktur sowie raumplanerische Dimensionen ein. Das entwickelte Modell findet im weiteren Verlauf des Berichts Anwendung.

Kapitel 4 erläutert die angewandte Methodik, einschliesslich des Forschungsansatzes, des Forschungsprozesses und der empirischen Untersuchungen.

Kapitel 5 analysiert die technischen, wirtschaftlichen und verkehrsgeografischen Entwicklungen sowie deren Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des SGV (Leistung 1). Die Untersuchung orientiert sich an dem in Kapitel 3 entwickelten 4-Schichten-Modell, das eine ganzheitliche Systemperspektive auf den SGV ermöglicht.

Kapitel 6 synthetisiert die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Analysen, um die systemischen Elemente eines zukunftsorientierten Konzepts für Güterverkehrsanlagen im SGV zu entwickeln. Basierend auf den in Kapitel 5 identifizierten Entwicklungen und Herausforderungen werden hier drei zentrale Aspekte behandelt. Erstens werden die zukünftig relevanten Kriterien für die Verkehrsmittelwahl abgeleitet (Leistung 2). Zweitens werden die Güterverkehrsanlagen definiert, die für diese zukunftsorientierten Produktionsnetzwerke erforderlich sind (Leistung 3). Drittens werden Prinzipien zur räumlichen Analyse des Schienengüterverkehrs entwickelt (Leistung 4).

Kapitel 7 fasst die Schlussfolgerungen der Arbeit zusammen und leitet hieraus mögliche Themen für weiter Forschung ab.

2 Ausgangslage

Dieses Kapitel legt die Grundlagen des Schienengüterverkehrssystems dar. Es gliedert sich in vier Abschnitte: Zunächst werden die Güterverkehrsanlagen erläutert (2.1), gefolgt von einer Beschreibung der verschiedenen Bahnproduktionsformen (2.2). Anschliessend wird der Güterverkehrsmarkt analysiert (2.3), bevor abschliessend die Wettbewerbsfähigkeit der unterschiedlichen Produktionsformen diskutiert wird (2.4).

2.1 Güterverkehrsanlagen

Für die Abwicklung des Schienengüterverkehrs werden verschiedene Güterverkehrsanlagen benötigt. Dabei wird zwischen Anlagen mit rein betrieblicher Funktion und Verladeanlagen (Zugang zum Schienengüterverkehr) unterschieden (Abbildung 1). Betriebliche Anlagen umfassen Bahnhöfe – Rangierbahnhöfe, Formationsbahnhöfe und Annahmehäfen –, in denen Züge getrennt und formiert werden. Diese sind Teil der Bahninfrastruktur gemäss Art. 62 Abs. 1 EBG und unterliegen den gesetzlichen Bestimmungen zum diskriminierungsfreien Netzzugang.

Der eigentliche Güterumschlag findet ausschliesslich an den Verladeanlagen statt, das heisst an KV-Umschlagsanlagen, Freiverladeanlagen und Anschlussgleisanlagen (entspricht einer privaten Verladestelle, die über einen Bedienpunkt an das Netz angebunden ist). Verladeanlagen und Bahnhöfe können sich räumlich überschneiden.

	Bezeichnung	Hauptfunktion	Einzugsgebiet	Bahninfrastruktur ¹¹
Verladeanlagen	Anschlussgleis	Erschliessung eines Standorts	lokal	nein
	KV-Umschlagsanlage	Umschlag Schiene – Strasse / Schiene – Rhein	lokal - überregional	nein
	Freiverlad	Umschlag Schiene – Strasse	lokal - regional	ja
Bahnhöfe	Annahmehafen	Annahme der Züge für Verladeanlagen	lokal	ja
	Formationsbahnhof	Annahme und Formation der Züge für Verladeanlagen und Annahmehäfen	regional	ja
	Rangierbahnhof	Annahme und Formation der Züge für Verladeanlagen, Annahme- und Formationsbahnhöfe	überregional	ja

Abbildung 1: Anlagekategorien für den Güterverkehr auf der Schiene. (BAV, 2017, S.17)

Im Folgenden werden die verschiedenen Anlagekategorien definiert und deren räumliche Relevanz beschrieben (BAV, 2017).

Anschlussgleise

Anschlussgleise erschliessen einen Standort und ermöglichen verladenden Unternehmen einen direkten Zugang zum Schienennetz und tragen so zur landesweiten Güterversorgung bei, obwohl sie formal weder zur Eisenbahn-Infrastruktur noch zu den Eisenbahnunternehmen gehören. Anschlussgleise haben aufgrund ihrer meist geringen räumlichen Auswirkungen und ihrer Einbindung in Industrie- oder Gewerbeanlagen nur eine begrenzte Raumrelevanz.

KV-Umschlagsanlagen

KV-Umschlagsanlagen sind stationäre Anlagen zum Umladen von Gütern zwischen Schiene und Strasse beziehungsweise Binnenschiff. Sie können Container, Sattelaufleger, Wechselbehälter oder schwere Nutzfahrzeuge bewegen. Die KV-Umschlagsanlagen gehören formal nicht zur Bahninfrastruktur und werden häufig privat betrieben, wobei jedoch ein diskriminierungsfreier Zugang zu KV-Umschlagsanlagen gewährleistet sein muss, wenn deren Bau durch den Bund finanziell gefördert wurde.

Es wird zwischen Anlagen für den Schweizer Binnenverkehr und solchen für den Import/Export unterschieden. Binnenverkehrsanlagen bedienen in der Regel ein lokales Einzugsgebiet, während Import/Export-Anlagen eine überregionale Bedeutung haben. Letztere erfüllen oftmals eine wichtige Gateway-Funktion: Sie nehmen Gütermengen, insbesondere aus den Nordseehäfen, auf und bündeln diese. An diesen Knotenpunkten werden die Verkehrsträger Schiene, Binnenschifffahrt und Strasse miteinander verknüpft. Für einen effizienten KV sind die Anlagen für den Binnenverkehr sowohl untereinander als auch mit den Gateway-Anlagen vernetzt.

Die Anlagen für den Binnenverkehr haben in der Regel eine begrenzte räumliche Auswirkung und erzeugen meist nur eine moderate Verkehrsbelastung auf den erschliessenden Verkehrsinfrastrukturen. Im Gegensatz dazu können die Anlagen für den Import und Export deutlich grössere Dimensionen annehmen. Diese benötigen oft einen erheblichen Flächenbedarf und können zu einer signifikanten Verkehrszunahme auf den erschliessenden Verkehrsinfrastrukturen führen.

Im Vergleich zu einem idealtypischen Layout weisen viele bestehende KV-Umschlagsanlagen heute noch Optimierungspotenzial auf. Somit besteht an verschiedenen Standorten der Bedarf nach leistungsfähigeren und effizienteren Neuanlagen oder der Bedarf, das Layout und die Funktionalitäten der vorhandenen KV-Umschlagsanlagen zu verbessern.

Freiverladeanlage

Freiverladeanlagen sind öffentliche SGV-Anlagen mit Gleisanschlüssen und Verladebereichen, die es Unternehmen ermöglichen, Güter selbstständig zwischen Schiene und Strasse umzuschlagen. Sie sind Teil der Bahninfrastruktur und gewährleisten einen diskriminierungsfreien Zugang für alle Nutzer. Freiverladeanlagen sind für die Schweizer Industrie, das Gewerbe und die Landwirtschaft von grosser Bedeutung, insbesondere für Unternehmen ohne eigenes Anschlussgleis. Sie haben meist geringe Auswirkungen auf den Raum, können aber bei saisonalen Transportbedürfnissen intensiv genutzt werden.

Annahmehbahnhof

Annahmehbahnhöfe sind Anlagen für die lokale Bedienung der zugehörigen Verladeanlagen wie Anschlussgleise, Freiverladeanlagen und KV-Umschlagsanlagen. Sie verarbeiten Züge, die von oder zu Rangier- oder Formationsbahnhöfen fahren. Grosse Annahmehbahnhöfe übernehmen Formationsfunktionen für die zugehörigen Verladeanlagen.

Formationsbahnhof

Formationsbahnhöfe sind regionale Anlagen zur Verarbeitung von Zügen, die von oder zu Rangierbahnhöfen fahren, zu weiteren Annahmehäfen überführt werden oder die zugehörigen Verladeanlagen bedienen.

Rangierbahnhof

Rangierbahnhöfe sind von der Infrastrukturbetreiberin betriebene Sortieranlagen für Einzelwagen und Wagengruppen. Sie haben überregionale Bedeutung und sind Drehscheiben des nationalen und internationalen Verkehrs. Hier werden gemischte Güterzüge in ihre einzelnen Waggonen zerlegt und in neue Züge zusammengesetzt, damit das transportierte Gut den richtigen Zielbahnhof erreicht.

2.2 Produktionsformen des Schienengüterverkehrs

Nachfolgend werden die in der Schweiz üblichen Produktionsformen des Schienengüterverkehrs basierend auf EBP (2023) beschrieben (Abbildung 2).

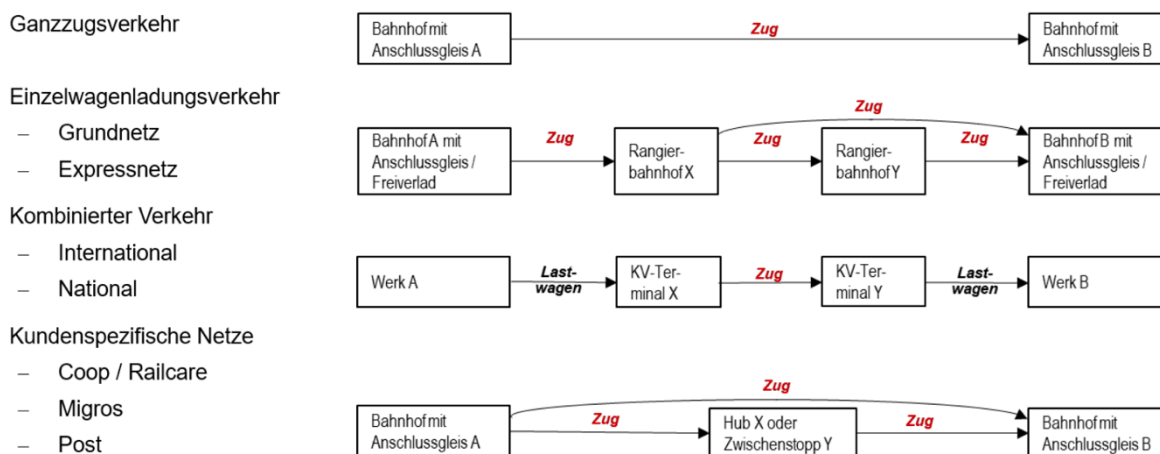


Abbildung 2: Übersicht über Bahnproduktionsformen (EBP, 2023)

Ganzzüge verkehren als geschlossene Einheit vom Abgangs- zum Zielort (z.B. Anschlussgleis oder KV-Umschlaganlage). Wenn regelmässig grosse Mengen vom gleichen Start zum gleichen Zielort transportiert werden müssen, kommen sogenannte Shuttle-Züge zum Einsatz. Dabei bleiben die Zugkompositionen zwischen den Transporten unverändert. Ganzzüge verkehren auch im Kombierten Verkehr mit Containern oder Wechselbehältern, die an KV-Umschlaganlagen umgeschlagen werden.

Im **Einzelwagenladungsverkehr (EWLV)** werden einzelne Güterwagen oder Wagengruppen von Anschlussgleisen oder Verloaderampen gesammelt, in Annahme- oder Formationsbahnhöfen zu Zügen zusammengestellt und in Rangierbahnhöfe geleitet. Dort werden sie nach Zielregion neu disponiert. Am Zielbahnhof erfolgt die Verteilung als Einzelwagen oder Wagengruppen auf Anschlussgleise, Freiverlade oder, sofern Container auf den Wagen transportiert werden, auch KV-Umschlaganlagen. Der EWLV wird von SBB-Cargo als Systemanbieter betrieben und verantwortet. Es existiert ein Grundnetz sowie ein Expressnetz für zeitkritische Sendungen an grösseren Knotenpunkten.

Unter **Kombiniertem Verkehr (KV)** versteht man generell einen Transport, bei dem mindestens zwei verschiedene Verkehrsträger zum Einsatz kommen. In der Schweiz sind das typischerweise Schiene und LKW oder Schiene und Binnenschiff. Im Falle des Transports eines Wechselbehälters, Containers oder Sattelauflegers auf der Schiene läuft dieser typischerweise wie folgt ab (SBB, 2021): Mit einem LKW wird die Ladungseinheit zunächst zu einer KV-Umschlaganlage gebracht. Dort wird sie auf die Schiene verladen und zu einer anderen KV-Umschlagsanlage transportiert. Am Zielbahnhof wird der Behälter, Container bzw. Sattelaufleger dann wieder auf einen LKW umgeladen und zur finalen Bestimmungsadresse gefahren. Je nach Kundenbedürfnis können Wechselbehälter und Container aber auch direkt auf der Schiene zu einem Anschlussgleis transportiert werden, wo die Entladung unmittelbar erfolgt. Dies kann beispielsweise beim Import von Seecontainern aus Übersee der Fall sein.

Kundenspezifische Netze werden von grossen Unternehmen selbst betrieben. Hier verkehren Güterzüge zwischen den eigenen Bahnhöfen mit Anschlussgleisen, Freiverladeanlagen oder KV-Umschlagsanlagen - als Ganzzüge, Linienzüge oder teilweise in das EWL-Netz integriert. Solche Netze unterhalten in der Schweiz beispielsweise Post, Migros oder Coop (railCare).

2.3 Güterverkehrsmarkt

Der Marktanteil der Schiene lag in den vergangenen Jahren zwischen 39 Prozent und 42 Prozent bezogen auf die Transportleistung in Tonnenkilometern (tkm). Der hohe Marktanteil im gesamten Güterverkehr ist hauptsächlich durch den hohen Anteil der Schiene im Transitverkehr durch die Schweiz (84 Prozent) bedingt. In den Verkehrsarten Binnen-, Import- und Exportverkehr liegt der Anteil der Schiene jedoch unter dem gesamtschweizerischen Durchschnitt (Abbildung 3). Im Binnenverkehr beträgt der Anteil 21 Prozent, im Importverkehr 28 Prozent und im Exportverkehr 19 Prozent. (BAV, 2022a)

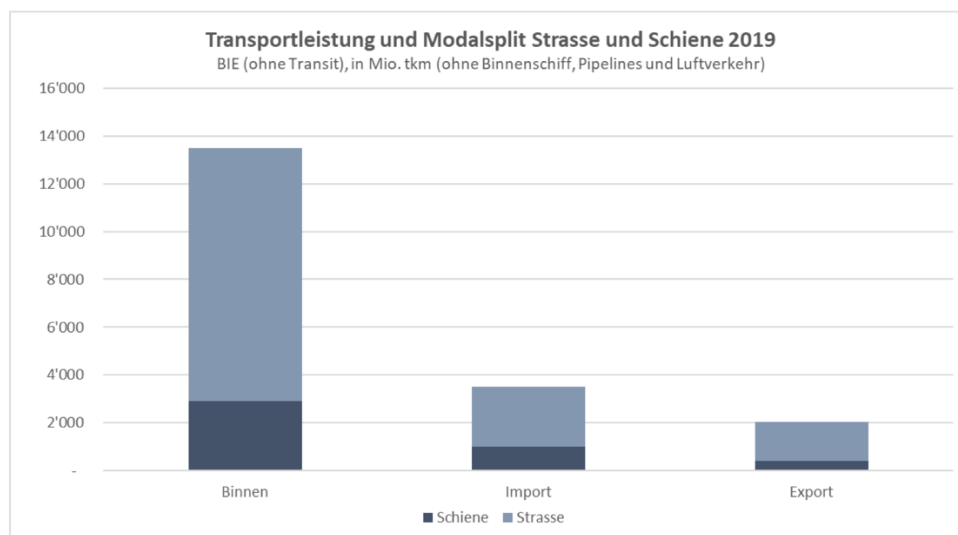


Abbildung 3: Transportleistung und Modal Split Strasse-Schiene 2019 (BAV, 2022a, S. 18)

Die Produktionsformen haben je nach Verkehrsart (Binnen-, Import-, Exportverkehr) eine unterschiedliche Bedeutung (Abbildung 4). Im Binnenverkehr werden 69 Prozent der Wagen im EWL-Netz transportiert, während es im Importverkehr 20 Prozent und im Exportverkehr 30 Prozent sind. Im Exportverkehr werden im EWL-Netz die einzelnen Wagen

über Rangierungen gebündelt und dann als Ganzzug ins Ausland geführt. Im Importverkehr erfolgt dies umgekehrt. Der Anteil an Ganzzügen (konventionelle Wagen und kombinierter Verkehr) ist im Importverkehr mit 80 Prozent und im Exportverkehr mit 70 Prozent deutlich höher als im Binnenverkehr (18 Prozent Ganzzüge mit konventionellen Wagen, 13 Prozent im kombinierten Verkehr).

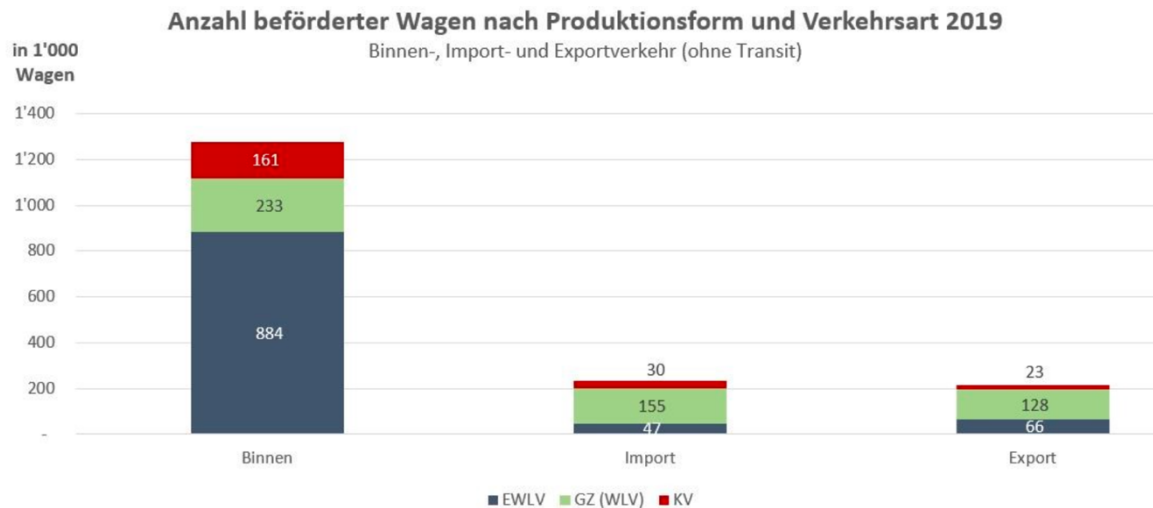


Abbildung 4: Anzahl beförderter Wagen nach Produktionsform und Verkehrsart im Jahr 2019. (BAV, 2022a, S. 14)

EWLV und KV werden hauptsächlich für Warengruppen mit eher kleinen Losgrößen eingesetzt, wie z.B. Sammelgut, palettierte Ware und landwirtschaftliche Erzeugnisse. Ganzzüge kommen hingegen bei grossen Losgrößen mit mehreren Wagen zum Einsatz, wie z.B. Mineralölerzeugnisse sowie Erze, Steine und Erden (Abbildung 5).

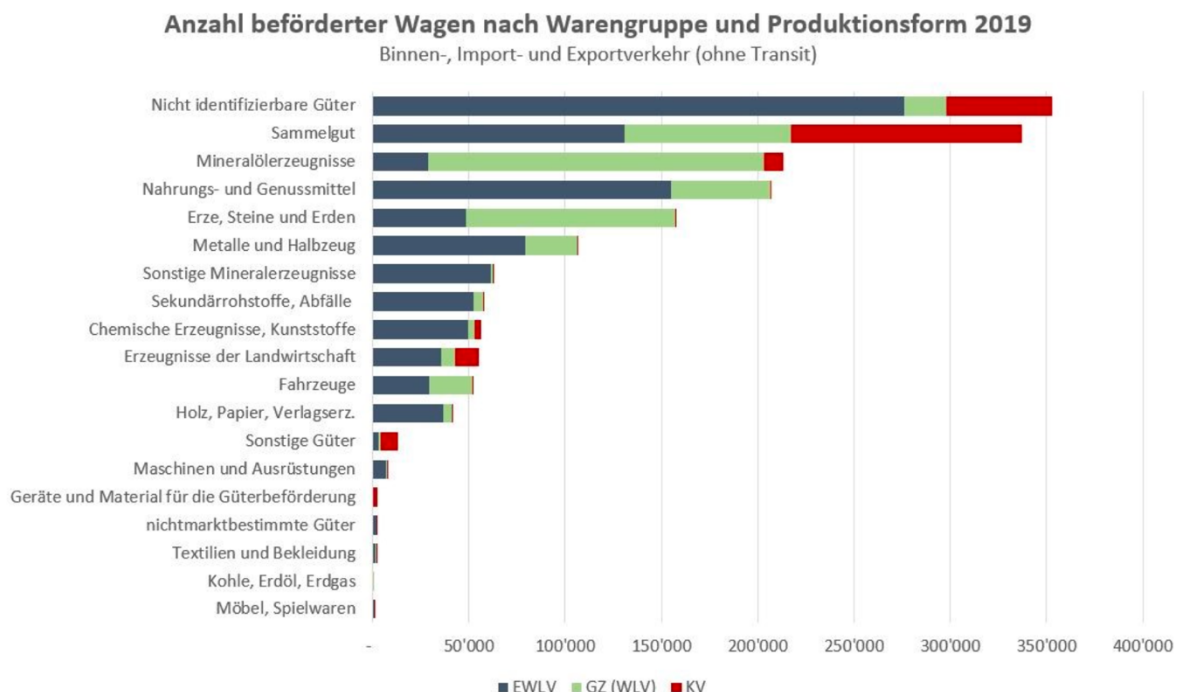


Abbildung 5: Anzahl beförderter Wagen nach Warengruppe und Produktionsform im Jahr 2019 (BAV, 2022a)

2.4 Wettbewerbsfähigkeit der Produktionsformen

In diesem Kapitel wird die Wettbewerbsfähigkeit der verschiedenen Produktionsformen im Schienengüterverkehr (SGV) untersucht und mit dem Strassengüterverkehr als Referenz verglichen. Dazu werden zunächst die wesentlichen Kriterien definiert, die für die Wahl des Verkehrsmittels ausschlaggebend sind und als Grundlage für den Vergleich dienen (Kapitel 2.4.1). Anschliessend werden die spezifischen Merkmale des Strassengüterverkehrs (Kapitel 2.4.2) sowie der SGV-Produktionsformen Ganzzüge (Kapitel 2.4.3), Einzelwagenladungsverkehr (Kapitel 2.4.4) und Kombierter Verkehr (Kapitel 2.4.5) auf Basis dieser Kriterien analysiert. Abschliessend erfolgt eine zusammenfassende Bewertung der Wettbewerbsfähigkeit der einzelnen Produktionsformen im Kontext der aufgezeigten Kriterien (Kapitel 2.4.6).

2.4.1 Kriterien der Verkehrsmittelwahl

Die Wahl des Verkehrsmittels im Güterverkehr wird von verschiedenen Faktoren beeinflusst. Zahlreiche Studien haben sich mit den Kriterien befasst, die Verlader oder deren Vermittler (wie Spediteure) bei der Wahl ihres Transportmodus berücksichtigen (ITF, 2022). Tavasszy et al. (2020) identifizierten in einer Literaturübersicht folgende Hauptkriterien: Kosten, Transportzeit, Zuverlässigkeit/Pünktlichkeit, Flexibilität, Frequenz, Sicherheit der Güter und Reduzierung von CO₂-Emissionen.

Basierend auf diesen Erkenntnissen verwenden wir in dieser Arbeit fünf Hauptkriterien zur Analyse verschiedener Produktionsformen:

1. Transportzeit: Obwohl von Tavasszy et al. als Qualitätskriterium eingestuft, wird sie hier aufgrund ihrer besonderen Bedeutung im Schienengüterverkehr als eigenständiges Kriterium betrachtet.
2. Transportqualität: Fasst Zuverlässigkeit/Pünktlichkeit, Flexibilität, Frequenz und die Sicherheit der Güter zusammen.
3. Transportkosten
4. Nachhaltigkeit: Umfasst neben CO₂-Emissionen auch Luftverschmutzung, Lärm, Staus und andere negative Verkehrseffekte.
5. Räumliche Erschliessung: Ein zusätzliches Kriterium, das für die räumliche Wirkung von SGV-Produktionsformen besonders relevant ist (Behrends, 2011).

Die Gewichtung der genannten Kriterien variiert je nach Warenart und Anforderungen des Versenders. Grundsätzlich lässt sich jedoch feststellen, dass die räumliche Verfügbarkeit, die geforderte Transportzeit und die Transportqualität die primären Anforderungen darstellen. Diese müssen in jedem Fall erfüllt sein, damit eine Produktionsform oder ein Transportdienst für einen Versender überhaupt in Betracht gezogen wird. Erfüllen mehrere Transportdienste diese Grundvoraussetzungen, werden die Transportkosten zum ausschlaggebenden Faktor - in der Regel wird dann der kostengünstigere Dienst gewählt. Nachhaltigkeitsaspekte gewinnen in der Entscheidungsfindung zunehmend an Bedeutung. Allerdings besteht gegenwärtig noch eine begrenzte Bereitschaft, dafür höhere Kosten in Kauf zu nehmen. Daher rangiert dieses Kriterium derzeit noch an letzter Stelle der Prioritätenliste.

Im Folgenden werden die fünf Hauptkriterien näher erläutert und die SGV-Produktionsformen (Ganzzüge, Einzelwagenladungsverkehr und Kombierter Verkehr) anhand dieser Kriterien bewertet sowie mit dem Strassengüterverkehr verglichen.

2.4.2 Räumliche Erschliessung

Definition

Die räumliche Erschliessung bezieht sich auf die Verfügbarkeit und Dichte des Verkehrsnetzes. Für einen erfolgreichen Transport muss eine durchgängige Transportmöglichkeit zwischen Start- und Zielpunkt gewährleistet sein. Entscheidend hierfür ist die Verfügbarkeit der entsprechenden Infrastruktur des Verkehrsträgers an beiden Orten.

Vergleich der Produktionsformen

Das Strassennetz bietet in der Regel eine hohe Flächenabdeckung und ermöglicht flexible Tür-zu-Tür-Transporte. Der Strassengüterverkehr zeichnet sich durch eine hohe räumliche Flexibilität aus, die durch das dichte Strassennetz ermöglicht wird. Dies ist bei kleinen Losgrößen ein Vorteil, da dort oftmals eine Sendung nicht ein ganzes Fahrzeug (LKW oder Bahnwagen) auslastet. Folglich hat man mehrere Sendungen mit verschiedenen Bestimmungsorten im Fahrzeug. Dadurch, dass das Strassennetz engmaschiger ist, ist die Kilometerleistung gegenüber dem Schienennetz geringer, wenn man mehrere Standorte anfahren muss. (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Im Vergleich dazu ist das Schienennetz oft weniger engmaschig. Die räumliche Flexibilität des SGV ist daher im Vergleich zum Strassenverkehr eingeschränkt, was insbesondere die Wahl des Verkehrsmittels für Transporte in weniger gut erschlossene Regionen beeinflusst (Behrends, 2011).

Ganzzüge sind auf das vorhandene Schienennetz und die Verladeanlagen angewiesen, was ihre räumliche Erschliessung begrenzt. Der EWLTV ermöglicht den Transport kleinerer Sendungen auf der Schiene und bietet ein Netzwerk für verschiedene Industrien. Seine räumliche Erschliessung ist daher umfangreicher als die der Ganzzüge. Allerdings unterliegt der EWLTV seit Jahren Restrukturierungen und Redimensionierungen, was zu einem Rückgang der Bedienpunkte führt. Seit 2011 sind aus wirtschaftlichen Gründen mehr als die Hälfte der ursprünglich 323 Bedienpunkte des Grundnetzes geschlossen worden (SEV-Online, 2023). Diese Entwicklung schränkt die flächendeckende Verfügbarkeit des EWLTV zunehmend ein und verringert somit seinen Vorteil in der räumlichen Erschliessung.

Der KV vereint theoretisch die Flexibilität der Strasse mit der Effizienz der Schiene und eignet sich für mittlere bis lange Distanzen. Seine räumliche Erschliessung profitiert von der Flexibilität des Strassenverkehrs im Vor- und Nachlauf, während auf der Hauptstrecke die Vorteile des Schienennetzes genutzt werden. In der Praxis wird diese Flexibilität jedoch durch die begrenzte Anzahl der KV-Umschlaganlagen und der möglichen Transportverbindungen eingeschränkt. Diese Begrenzung führt oft zu längeren Vor- und Nachlaufstrecken auf der Strasse, was wiederum höhere Kosten verursacht und/oder zu Umwegen zwischen Start- und Zielpunkt der Transporte führt. Somit ist die tatsächliche räumliche Erschliessung des KV weniger umfassend, als es das theoretische Konzept vermuten lässt (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

2.4.3 Transportzeit

Definition

Die Transportzeit bezeichnet die Dauer, die für den Transport von Gütern vom Absender zum Empfänger benötigt wird. Sie ist besonders wichtig für zeitkritische Güter wie verderbliche Waren, Produkte mit schnellem Wertverlust oder dringend benötigte Artikel. Ausserdem ist die Transportzeit für viele Kunden von grosser Bedeutung, da sie die Kapitalbindung beeinflusst. Die Optimierung von Logistikketten hat die Anforderungen an die Liefergeschwindigkeit erhöht, insbesondere im Rahmen von Just-in-Time-Lieferungen (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Vergleich der Produktionsformen

In Bezug auf die Transportzeit bietet der Strassengüterverkehr auf kurzen Strecken eine hohe Geschwindigkeit. Allerdings verlängert sich die Fahrzeit auf langen Strecken aufgrund erforderlicher Personalpausen. Die Zuverlässigkeit kann unter normalen Bedingungen geringer sein als bei anderen Verkehrsträgern, da Faktoren wie Verkehrsaufkommen, Unfälle und Baustellen die genaue Planung der Ankunftszeit erschweren. Dagegen ermöglicht die Flexibilität des Strassenverkehrs eine schnelle Reaktion auf unvorhergesehene Ereignisse. (Stuhr, Karch, Schneider, 2023)

Ganzzüge profitieren von einer höheren Durchschnittsgeschwindigkeit des SGV auf langen Strecken ohne personalbedingte Pausen. Allerdings können nicht optimierte Strecken und der Vorrang des Personenverkehrs zu Herausforderungen führen. (Stuhr, Karch, Schneider, 2023)

Die Transportzeit im EWLK ist im Vergleich zu anderen Produktionsformen länger und teurer, was hauptsächlich auf die zusätzlichen Prozesse wie Rangiervorgänge und Nahzustellung zurückzuführen ist. Diese Prozesse beanspruchen heute erhebliche Zeit und verlängern die Gesamttransportdauer (Stuhr, Karch, Schneider, 2023). Ein besonders hoher manueller Aufwand entsteht beim Kuppeln und Entkuppeln der Wagen, das bis heute mittels Schraubenkupplungen von Rangierarbeitenden per Hand durchgeführt wird. Darüber hinaus müssen Angestellte der Eisenbahnverkehrsunternehmen weitere betrieblich notwendige Aufgaben erledigen. Sie erfassen Daten zu den Güterwagen in mobile Geräte, bestimmen die korrekte Wagenreihung, überprüfen die Funktionalität der Bremsen und führen technische Untersuchungen der Wagen durch. Diese manuellen Prozesse sind zeitaufwendig. Es kann bis zu drei Stunden dauern, bis alle notwendigen betrieblichen Informationen gesammelt, der Zug gesichert und abfahrbereit ist (BBI, 2024).

Die Transportzeit im KV wird durch zwei wesentliche Faktoren verlängert. Zum einen führen die notwendigen Umschlagvorgänge zwischen Strasse und Schiene zu langen unproduktiven Standzeiten der Güter an den Umschlagpunkten. Zum anderen erfordert die Koordination zweier Verkehrsträger einen erhöhten Dispositionsbedarf, was zusätzlichen Zeitaufwand für Planung und Organisation bedeutet. (Stuhr, Karch, Schneider, 2023)

2.4.4 Transportqualität

Definition

Die Transportqualität im Güterverkehr ist ein vielschichtiges Konzept, das verschiedene Aspekte umfasst. Die Bedeutung und Gewichtung der einzelnen Kriterien variieren je

nach Art der transportierten Güter und den spezifischen Anforderungen der Verlager. Die wichtigsten und am häufigsten berücksichtigten Qualitätskriterien sind Flexibilität, Zuverlässigkeit, Frequenz und Sicherheit der Güter.

Flexibilität im Güterverkehr bezeichnet die Fähigkeit eines Transportunternehmens, schnell und effizient auf veränderte Kundenbedürfnisse oder unvorhergesehene Situationen zu reagieren (Tavasszy et al., 2020). Dies umfasst die Bewältigung kurzfristiger Aufträge, Änderungen geplanter Transporte oder Anpassungen bei Störungen in der Transportkette.

Zuverlässigkeit bezieht sich auf die Fähigkeit, Güter pünktlich und ohne unerwartete Verzögerungen zu liefern. Sie ist besonders bedeutsam für Versender mit Just-in-Time-Strategien in ihrer Lieferkette und hat sich zu einem Schlüsselkriterium entwickelt (Tavasszy et al., 2020). Zuverlässigkeit bedeutet, dass die richtigen Güter zum vereinbarten Zeitpunkt und Ort, in der richtigen Menge und Qualität geliefert werden (Aberle, 2009). Transportverzögerungen können schnell zu Störungen im Produktions- oder Verkaufsprozess führen. Wiederkehrende Zuverlässigkeitsprobleme zwingen Versender dazu, ihre Pufferbestände zu erhöhen, was zu höheren Lagerkosten führt (ITF, 2022).

Frequenz bezieht sich auf die Häufigkeit, mit der Transportdienste angeboten werden. Eine hohe Frequenz ermöglicht Versendern flexiblere Planung und schnellere Reaktion auf Marktanforderungen. Sie ist besonders relevant für Versender mit häufigen und kleinvolumigen Transporten (Tavasszy et al., 2020). Die Frequenz gilt oft als eines der wichtigsten Kriterien für die Wahl des Verkehrsträgers, da sie Versendern die Möglichkeit bietet, Transportverzögerungen zu begrenzen oder aufzuholen. Bei begrenzter Servicefrequenz gewinnt die Zuverlässigkeit an Bedeutung, da in diesem Fall die Kosten für unzuverlässigen Transport höher sind (ITF, 2022).

Die *Sicherheit der Güter* stellt einen weiteren wesentlichen Aspekt der Transportqualität dar. Sie wird häufig als prozentualer Wertverlust der Handelsgüter durch Beschädigung, Verlust, Diebstahl und Unfälle definiert (Tavasszy et al., 2020). Angemessene Sicherheit der Güter wird durch fachgerechte Ladungssicherung gewährleistet. Unzureichende Sicherungsmassnahmen können zu Beschädigungen führen, was neben direkten Kosten auch Lieferausfälle und Störungen in der Versorgungskette verursachen kann. Zudem bergen inadäquat gesicherte Ladungen das Risiko von Fahrzeugumkippungen mit potenziell schwerwiegenden Folgen für die Verkehrssicherheit (BVBM, 1999).

Vergleich der Produktionsformen

Der Strassengüterverkehr profitiert von hoher Flexibilität bei der Routenwahl und der Möglichkeit, kurzfristig auf Änderungen zu reagieren (Stuhr, Karch, Schneider, 2023). Beispielsweise können Verzögerungen durch Staus durch die Nutzung alternativer Routen vermindert werden (ITF, 2022).

Der Schienengüterverkehr bietet den Vorteil einer minutengenauen Planung durch seinen strukturierten Prozessablauf (Trip and Kreutzberger, 2002). Die Zuverlässigkeit wird jedoch durch zwei Faktoren beeinflusst: Erstens haben Verspätungen oft weitreichendere Auswirkungen als im Strassenverkehr, und zweitens kann die Priorisierung des Personenverkehrs zu Verzögerungen im Gütertransport führen. Diese Faktoren können die theoretisch hohe Planbarkeit des Schienenverkehrs in der Praxis beeinträchtigen (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Weiter weist der Strassengüterverkehr eine höhere Flexibilität als der Schienengüterverkehr auf. Die zeitliche Verfügbarkeit der Strasseninfrastruktur ist flexibler als auf der Schiene, was Transportunternehmen erlaubt, ihre Frequenz der Dienste kurzfristig an die Nachfrage anzupassen, was besonders für Just-in-Time-Lieferungen und bei schwankender Nachfrage vorteilhaft ist. Auf der Schiene erschweren langfristige Trassenvergabe und Fahrplangestaltung kurzfristige Anpassungen der Transporthäufigkeit (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Der EWLTV ermöglicht den Transport kleinerer Sendungen auf der Schiene und bietet damit ein wichtiges Angebot im Schienengüterverkehr. Seine Stärke liegt in der Fähigkeit, verschiedene Sendungen zu bündeln und zu verteilen, was jedoch gleichzeitig zur Komplexität des Systems beiträgt. Die Flexibilität des EWLTV ist höher als bei Ganzzügen, bleibt aber durch die komplexeren Prozesse und die Notwendigkeit von Rangiervorgängen eingeschränkt. Die Zuverlässigkeit kann durch die zusätzlichen Handhabungsschritte und die Komplexität des Netzwerks beeinträchtigt werden, was besondere Aufmerksamkeit im Prozessmanagement erfordert (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Der KV vereint die Effizienz des Schienentransports mit der Flexibilität des Strassentransports. Er bietet eine höhere Flexibilität als der reine Schienentransport, bleibt jedoch durch die Notwendigkeit von Umschlagvorgängen an den KV-Umschlagsanlagen in gewissem Masse eingeschränkt. Die Zuverlässigkeit des KV kann durch die Komplexität der multimodalen Transportkette beeinflusst werden (Tavasszy et al., 2020).

Generell erfordert der Schienengüterverkehr eine stärkere Ladungssicherung im Vergleich zum Strassengüterverkehr. Dies liegt an den deutlich höheren Belastungen, denen die Ladung beim Rangieren oder Verladen ausgesetzt ist. Während im Strassenverkehr typischerweise Kräfte von maximal 1 G auftreten, können im SGV beim Rangieren und Umschlagen Beschleunigungskräfte von bis zu 4 G wirken (BVBM, 1999). Diese erheblich grösseren Kräfte können daher bei den Produktionsformen des SGV zusätzliche Sicherungsmassnahmen für die Ladung erforderlich machen, welche Mehrkosten verursachen und können ausschlaggebend sein, dass gewisse Güter nicht im SGV transportiert werden.

2.4.5 Transportkosten

Definition

Transportkosten setzen sich aus Verwaltungs-, Betriebspersonal-, Infrastrukturnutzungs-, Energie- und Fahrzeugkosten zusammen. Ihre Höhe wird von mehreren Faktoren beeinflusst, insbesondere der Transportdistanz. In der Regel steigen die Kosten mit zunehmender Distanz. Auch die Art der Güter, politische Rahmenbedingungen und die Marktsituation beeinflussen die Kosten (Stuhr, Karch, Schneider, 2023)

Vergleich der Produktionsformen

Abbildung 6 zeigt einen Vergleich der Produktionskosten der verschiedenen Produktionsformen. Der Strassengüterverkehr ist besonders bei kleinen Sendungen und kurzen Distanzen kostengünstig, während er ab etwa 200 km oft höhere Kosten als die Schienengüterverkehrsformen aufweist (SBB, 2021).

Ganzzüge (und Züge im Hauptlauf des EWLK und KV) zeichnen sich durch ihre hohe Kosteneffizienz bei grossen Transportvolumen aus. Sie eignen sich optimal für regelmässige, grosse Sendungen über lange Distanzen. Eine kostendeckende Punkt-zu-Punkt-Verbindung benötigt in der Regel 7 bis 8 Wagen pro Zug, wobei diese Zahl je nach Branche und Wettbewerbsfähigkeit gegenüber der Strasse variieren kann. In der Abfallwirtschaft oder im Baugewerbe können weniger Wagen ausreichen, während die Nahrungsmittelindustrie sowie Stückgut- und Paketdienste oft mehr Wagen benötigen (BAV, 2022a).

Der EWLK weist insbesondere für Zustellung und Abholung vergleichsweise hohe Kosten auf. Dies ist vor allem auf den hohen Personalaufwand im Rangierbetrieb zurückzuführen. Die Komplexität des Systems und die Notwendigkeit, verschiedene Sendungen zu bündeln und zu verteilen, tragen zu den erhöhten Kosten bei.

Der KV profitiert von den Effizienzvorteilen des Schienentransports auf der Hauptstrecke, wird jedoch durch zusätzliche Faktoren kostenmässig beeinflusst (SBB, 2021). Umschlagkosten sowie Vor- und Nachlauf per Lkw tragen wesentlich zu den Gesamtkosten bei. Zudem können potenzielle Umwege zu den KV-Umschlagsanlagen die Gesamttransportdistanz und damit die Kosten steigern. Der erhöhte Dispositionsaufwand durch die Multimodalität fügt eine weitere Kostenkomponente hinzu. Diese Faktoren führen dazu, dass der KV erst ab längeren Strecken wettbewerbsfähig wird (SBB, 2021).

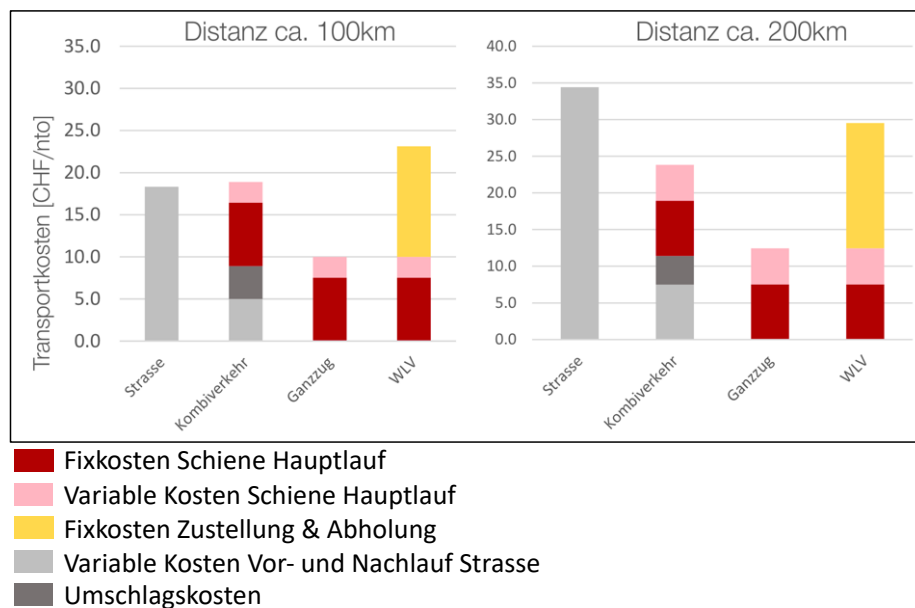


Abbildung 6: Typische Produktionskosten der Bahnproduktionsformen im Vergleich zur Strasse (SBB, 2021)

2.4.6 Nachhaltigkeit

Definition

Nachhaltigkeit gewinnt als Wettbewerbsfaktor im Güterverkehr zunehmend an Bedeutung. Seit langem wird die Energieeffizienz zusammen mit den Emissionen als wesentlicher Bestandteil der Nachhaltigkeit betrachtet. Dabei geht es nicht nur um die Effizienz der Fahrzeuge im Betrieb, sondern auch um die umweltfreundliche Bereitstellung von Energie (Stuhr, Karch, Schneider, 2023). Über Energieeffizienz und Emissionen hinaus müssen jedoch weitere externe Effekte berücksichtigt werden. Dazu

zählen Unfälle und Verkehrssicherheit, Lärmbelastung, Stauproblematik, Schäden an Lebensräumen, Boden- und Gewässerverschmutzung, vor- und nachgelagerte Emissionen in der Lieferkette sowie Auswirkungen auf ökologisch sensible Regionen (Behrends, 2011). Das wachsende Bewusstsein für diese vielfältigen Umwelt-, Gesellschafts- und Naturfolgen spiegelt sich zunehmend in politischen Regularien wider (Europäische Kommission, 2024).

Vergleich der Produktionsformen

Der Strassengüterverkehr zeigt im Vergleich zum Schienenverkehr höhere Umweltauswirkungen. Diese resultieren insbesondere aus höheren Emissionen von CO₂ und Luftschadstoffen, mehr Unfällen und grösseren Schäden an Natur und Landschaft (Bieler and Sutter, 2019).

Ganzzüge zeichnen sich durch eine hohe Energieeffizienz und geringe Umweltbelastung aus (Stuhr, Karch, Schneider, 2023), was sie zu einer umweltfreundlichen Option für den Gütertransport macht.

Der EWLVB bietet Nachhaltigkeitsvorteile bei kleineren Sendungen gegenüber dem Strassentransport, erreicht jedoch nicht die Umwelteffizienz von Ganzzügen. Die Nahzustellung im EWLVB ist naturgemäss weniger energieeffizient, da sie einzelne Wagen oder kleine Wagengruppen transportiert. Oft kommen dabei dieselbetriebene Lokomotiven zum Einsatz, was die Umweltvorteile des Schienenverkehrs reduziert. Zudem benötigen Rangierbahnhöfe grosse Flächen, was den Landverbrauch erhöht. Die Rangiervorgänge verursachen ausserdem erheblichen Lärm und steigern so die lokale Umweltbelastung (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Der KV zeigt, insbesondere bei längeren Strecken, häufig eine bessere Umweltbilanz als der reine Strassentransport, erreicht aber nicht die Effizienz von Ganzzügen. Seine Nachhaltigkeitsbilanz hängt von verschiedenen Faktoren ab, wie der Effizienz der Vor- und Nachlauftransporte auf der Strasse, der Gesamtstreckenlänge und der Art der Stromerzeugung für den Schienenverkehr (Bonnaïous and Raux, 2003). Unter ungünstigen Umständen, wie sehr langen Distanzen im Vor- und Nachlauf oder ineffizienten Rückwärtsfahrten, kann der KV sogar eine schlechtere Umweltleistung aufweisen als der reine Strassentransport (Kreutzberger, 2006).

2.4.7 Zusammenfassung - Wettbewerbsfähigkeit

Die Analyse der verschiedenen Güterverkehrsformen zeigt, dass jede ihre spezifischen Stärken und Schwächen hat. Der Strassengüterverkehr zeichnet sich durch hohe Flexibilität und räumliche Erschliessung aus, was ihn besonders für kurze Strecken und kleinere Sendungen attraktiv macht. Seine Herausforderungen liegen in der geringeren Nachhaltigkeit und den höheren Kosten auf längeren Strecken. Ganzzüge bieten hohe Kosteneffizienz und Nachhaltigkeit bei grossen Transportvolumen über lange Distanzen. Ihre Haupteinschränkungen liegen in der begrenzten räumlichen Erschliessung und geringeren Flexibilität. Der EWLVB bietet eine umfassende räumliche Erschliessung der Schiene und ermöglicht den Transport kleinerer Sendungen, was eine umweltfreundlichere Alternative zum Strassentransport für solche Güter darstellt. Herausforderungen des EWLVB sind längere Transportzeiten, höhere Kosten und eine komplexere Logistik im Vergleich zu anderen Transportformen. Der KV vereint die Vorteile von Strasse und Schiene. Er bietet eine bessere Umweltbilanz als der reine

Strassentransport bei längeren Strecken und ist flexibler als der reine Schienentransport. Allerdings führen der Vor- und Nachlauf sowie die Umschlagvorgänge zu längeren Transportzeiten und höheren Kosten bei kürzeren Strecken.

Tabelle 1 fasst die Kriterien der verschiedenen Verkehrsträger und Produktionsformen qualitativ zusammen und bietet einen allgemeinen Vergleich ihrer jeweiligen systemischen Stärken und Schwächen. Dabei wurden ausgehend von der am besten bewerteten Produktionsform die anderen eingestuft. Als Orientierung dienen dabei die heutigen Voraussetzungen in der Schweiz, so wird beispielsweise im Falle der Ganzzüge von grossen Transportmengen und langen Distanzen ausgegangen.

Tabelle 1: Vergleich der Produktionsformen

	Räumliche Erschliessung	Zeit	Qualität	Kosten	Nachhaltigkeit
Strassengüterverkehr	++	+	++	+	--
Ganzzüge	--	++	+	++	++
EWLV	+	--	-	--	+
KV	0	-	-	0	0

3 Systemisches Analysemodell des Gütertransports

Dieses Kapitel entwickelt ein Modell, welches den konzeptionellen Rahmen für die Datenerhebung und -analyse in dieser Studie vorgibt. Es basiert auf den theoretischen Grundlagen des Gütertransports. Daher werden zunächst die grundlegenden Konzepte von Transportnetzwerken (Kapitel 3.1) und ihren Knotenpunkten (Kapitel 3.2) erläutert. Anschliessend werden bestehende generische Systemmodelle zur Analyse von Transportsystemen vorgestellt (Kapitel 3.3). Basierend auf diesen theoretischen Grundlagen wird abschliessend ein auf die spezifischen Bedürfnisse dieser Arbeit zugeschnittenes Analysemodell definiert (Kapitel 3.4).

3.1 Grundlagen und Formen von Transportnetzwerken

Der Gütertransport nimmt eine Schlüsselrolle in der modernen Wirtschaft ein, indem er die Beförderung von Produkten entlang der Lieferkette vom Ursprungsort zum Verbraucher sicherstellt. Dieser Prozess generiert einen zeitlichen und räumlichen Nutzen, da ein Produkt für den Kunden nur dann Wert besitzt, wenn es zum richtigen Zeitpunkt und am richtigen Ort verfügbar ist (Stock and Lambert, 2001). Folglich stellt der Gütertransport einen wesentlichen Faktor für die Wertschöpfung in globalen und lokalen Wirtschaftssystemen dar.

In der Transporttheorie wird die Bewegung von Gütern zwischen Versorgungs- und Nachfragepunkten durch Transportnetzwerke dargestellt, die aus Knoten und Verbindungen bestehen. An den Knoten finden zentrale logistische Aktivitäten statt, wie Konsolidierung, Sortierung, Lagerung und Umschlag zwischen verschiedenen Fahrzeugen oder Verkehrsträgern. Die Verbindungen repräsentieren die eigentlichen Transport- und Bewegungsaktivitäten zwischen den Knoten im Netzwerk (Lumsden, 2007).

Wenn die Frachtmengen nicht ausreichen, um grössere Transporteinheiten wie Züge auszulasten, ist die Konsolidierung von Frachten unterschiedlicher Herkunfts- und/oder Bestimmungsorte auf gemeinsamen Streckenabschnitten oft notwendig. Diese Strategie bietet Vorteile wie höhere Servicefrequenzen, bessere Auslastungsgrade, mehr Skaleneffekte, eine grössere Anzahl erreichbarer Zielorte ab jedem Ausgangspunkt und potenziell eine Glättung von Spitzenbelastungen in den Güterverkehrsanlagen. Allerdings bringt sie auch Nachteile mit sich, wie zusätzliche Umschlagvorgänge und Umwege, die zu längeren Transportzeiten und höheren Kosten in der Transportkette führen können (Trip and Kreutzberger, 2002)

Die systematische Konsolidierung von Güterströmen erfolgt nach einem Transportnetzwerkdesign. In der Forschung zum intermodalen SGV werden verschiedene grundlegende Netzwerkdesigns unterschieden (Ballis and Golias, 2004; Bontekoning, 2000; Woxenius, 2007). Woxenius (2007) definiert zum Beispiel sechs theoretische Gestaltungen von Transportnetzwerken (Abbildung 7):

Bei einer **direkten Verbindung** fahren die Züge ohne Zwischenhalt direkt zwischen einem Start- und einem Zielknoten. Direktverbindungen stellen die optimale Lösung dar, wenn Ganzzugladungen mit der notwendigen Frequenz organisiert werden können. Sie sind betrieblich einfach, bieten eine hohe Transportqualität und sind wirtschaftlich besonders vorteilhaft für lange Transportdistanzen.

Linienzüge (Korridor) verkehren in einem Korridor und bedienen mehrere Knoten zwischen Start- und Endpunkt. Sie eignen sich für Standorte mit grossem Gesamtmarktpotenzial, das auf mehrere kleinere Mengen verteilt ist, und ermöglichen die Integration von Knoten mit geringerer Nachfrage.

In einem **Hub-and-Spoke-Netzwerk** passieren alle Ladeeinheiten einen zentralen Knotenpunkt (Hub) zum Umladen. Dieses Design ermöglicht Verbindungen zwischen vielen Start- und Zielorten mit mittelgrossen und kleinen Knoten, erfordert aber längere Zugbildungs- und Bündelungszeiten im Hub, sowie Umwege selbst für Transporte zwischen benachbarten Spoke- Knoten.

In **vernetzten Hub-Systemen** verbinden kurze Zubringerzüge mehrere Knoten einer Region mit einem Drehkreuz, wo die Ladungen für den Ferntransport zwischen den Drehkreuzen konsolidiert werden. Es kann somit als Direktverbindung mit regionaler Bündelung beschrieben werden.

Bei einem **Design mit statischen Routen** wird eine Reihe von Verbindungen regelmässig genutzt und mehrere Knotenpunkte dienen als Umschlagspunkte entlang der Route. Ein Umladen ist nicht an jedem Knotenpunkt erforderlich.

Dynamische Routen bieten maximale Flexibilität, indem die Verbindungen flexibel gemäss der tatsächlichen Nachfrage festgelegt werden. Diese Strategie stellt jedoch hohe Anforderungen an Ressourcenbereitstellung sowie an die logistische Integration, da Routen und Drehkreuze je nach erwarteten Schwankungen der konsolidierten Güterverkehrsnachfrage laufend angepasst werden müssen. Es handelt sich somit um ein komplexes Netzwerkdesign, das einen engen Austausch und eine reibungslose Koordination aller Beteiligten erfordert (Hesse and Rodrigue, 2004)

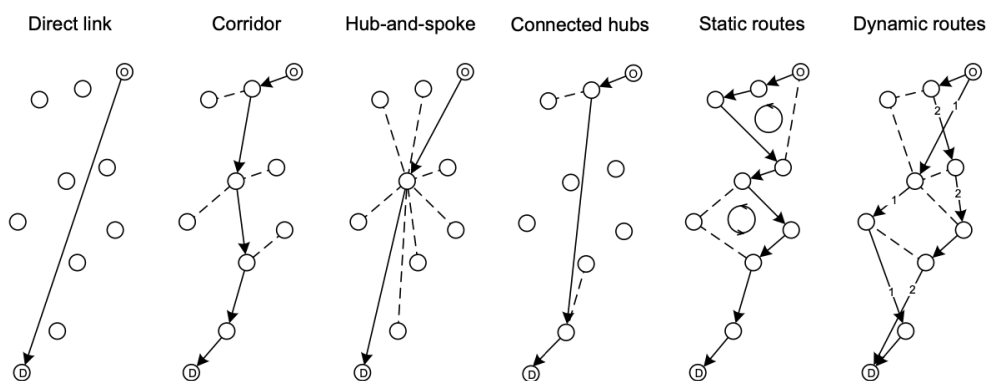


Abbildung 7: Theoretische Gestaltungen von Transportnetzwerken (Woxenius, 2007, S.735)

3.2 Knotenpunkte in Transportnetzwerken

Dieser Abschnitt beleuchtet die Knoten in Transportnetzwerken. Dabei werden die Funktion von Knoten (Kapitel 3.2.1), die Knotentypen (Kapitel 3.2.2), die Funktion von Knoten in der Lieferkette (Kapitel 3.2.3) und die räumliche Wirkung der Knoten (Kapitel 3.2.4) beschrieben.

3.2.1 Funktion von Knoten in Transportnetzwerken

Knoten in Transportnetzwerken dienen dazu, verschiedene Lücken zwischen Güterströmen zu überbrücken, wie beispielsweise Kapazitäts-, Zeit- und Frequenzlücken (Abbildung 8).

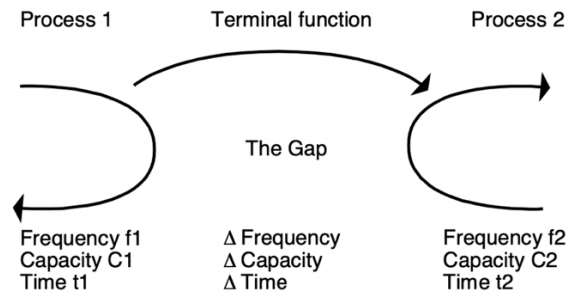


Abbildung 8: Funktionen von Knoten (Hulten, 1997)

Man unterscheidet zwischen intermodalen und intramodalen Knoten (Abbildung 9). Intermodale Knoten verbinden verschiedene Verkehrsträger, wie Häfen (Wasser-Strasse) oder KV-Umschlaganlagen (Schiene-Strasse). Intramodale Knoten verknüpfen Transporte desselben Verkehrsträgers, beispielsweise Häfen für Umladungen zwischen Hochsee- und Küstenschifffahrt und dienen als Lager- und Distributionszentren für LKW-Transporte oder Rangierbahnhöfe für die Zugbildung.

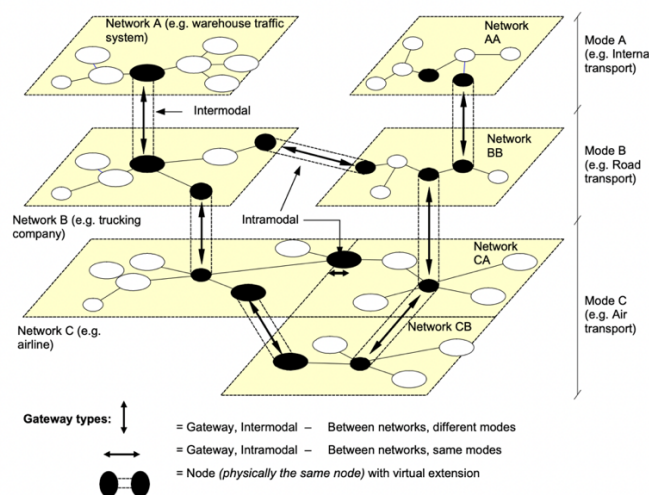


Abbildung 9: Intermodale und intramodale Knoten. (Roso et al., 2009)

3.2.2 Klassifizierung von Knoten

In Transportnetzwerken spielen Knoten mit ihrer Umschlagfunktion eine zentrale Rolle. Je nach Frachtflussmerkmalen, Art des Konsolidierungsnetzwerks und Position im Netzwerk unterscheiden sich die Funktionen und Leistungsanforderungen dieser Umschlagsplattformen. In der Forschung zu intermodalem SGV werden vier Hauptkategorien von SGV-Anlagen identifiziert (Bontekoning, 2000; Wiegman et al., 1999; Woxenius, 2007). Dies sind Start- und Endknoten, Linienknoten, Hub-Knoten und Spoke-Knoten. Woxenius (2007) bietet einen detaillierten Überblick über die

Leistungsmerkmale der Knoten sowie deren Auswirkungen auf die Umschlagstechnologien.

Start- und Endknoten in direkten Verbindungen oder Korridornetzwerken bearbeiten grosse Volumen, die im Kombiverkehr auf kleinere Ströme für den weiteren Transport auf der Strasse aufgeteilt werden. **Linienknoten** in Korridoren bearbeiten eine begrenzte Anzahl von Ladeeinheiten, die an Zwischenknoten für die Verteilung in der Region umgeschlagen werden. Da die Wartezeit der Züge in jedem Knoten kurz sein muss, um die Gesamtfahrzeit des Zuges akzeptabel zu halten, müssen Umschlagstechnologien schnelle Umschläge ermöglichen. Darüber hinaus werden an diesen Knoten nur wenige Ladeeinheiten pro Zug gehandhabt. Daher ist es von grösster Bedeutung, dass die Umschlagstechnologie geringe Fixkosten hat und auf jede Ladeeinheit im Zug zugreifen kann. **Hub-Knoten** in einem Hub-and-Spoke- oder verbundenen Hubs-Netzwerk bearbeiten einen umfangreichen Durchsatz von Ladeeinheiten. Es findet keine Sammlung und Verteilung statt; stattdessen werden die Ladeeinheiten zwischen verschiedenen Zügen umgeschlagen, was bedeutet, dass es sich um einen intramodalen Knoten handelt. Alle Ladeeinheiten, die im gesamten Netzwerk gehandhabt werden, durchlaufen den Hub, und ein Ausfall würde das gesamte Netzwerk lahmlegen. Daher sind Umschlagkapazität, sowie technische Zuverlässigkeit entscheidende Anforderungen an die Umschlagstechnologie. **Spoke-Knoten** in einem Hub-and-Spoke- oder verbundenen Hubs-Netzwerk konsolidieren kleine Volumen von Ladeeinheiten zu grösseren Strömen. Die Anforderungen an die Umschlagstechnologie sind relativ gering; allerdings sollte die Umschlagstechnologie aufgrund der begrenzten Anzahl der gehandhabten Ladeeinheiten geringe Fixkosten haben.

3.2.3 Wertschöpfung der Transportknoten in der Lieferkette

Neben rein transportbezogenen Tätigkeiten wie dem Be- und Entladen können Knoten auch zusätzliche Dienstleistungen für Warenbesitzer und Logistikdienstleister übernehmen, die einen Mehrwert in den Lieferketten schaffen. Die Umschlagsplattformen fungieren somit nicht nur als reine Schnittstellen im Transportprozess, sondern sind oft integraler Bestandteil der Logistik- und Lieferkettenaktivitäten der Warenbesitzer. Beispiele für solche Mehrwertdienste umfassen produktbezogene Aktivitäten (wie Sortieren, Verpacken, Montieren oder Testen), Lagerung sowie das Befüllen/Entleeren von Containern (Kjellsdotter Ivert et al., 2022). Der Sachplan Verkehr hebt in seinen Handlungsstrategien hervor, dass an Umschlagsplattformen idealerweise zusätzliche Logistikfunktionen – insbesondere Lagerung und Kommissionierung – angeboten werden sollten (ARE, 2021).

3.2.4 Räumliche Wirkung der Knoten

Die Erreichbarkeit von Zulieferern und Absatzmärkten ist für wirtschaftliche Aktivitäten von zentraler Bedeutung. Folglich hat der Zugang zu effizienten Transportdiensten einen erheblichen Einfluss auf die Standortwahl von Unternehmen und damit auf die regionale Entwicklung (Geurs and van Wee, 2004). Studien zeigen, dass Regionen mit besserer Verkehrsanbindung in der Regel wettbewerbsfähiger sind als periphere oder abgelegene Gebiete (Gutiérrez et al., 2009). Transportnetzwerke sind daher ein entscheidender Treiber für die räumliche Verteilung wirtschaftlicher Aktivitäten und die Förderung einer ausgewogenen regionalen Entwicklung. Sie verbinden Standorte und schaffen die Grundlage für eine gerechtere Verteilung wirtschaftlicher Chancen und Investitionen.

Insbesondere Investitionen in die Transportinfrastruktur abgelegener oder strukturschwacher Regionen können als wirksamer Katalysator für wirtschaftliches Wachstum dienen, indem sie den Zugang zu Märkten erleichtern, neue Handelsmöglichkeiten erschliessen und bestehende Barrieren abbauen. (Lakshmanan, 2011).

Die Knoten in Transportnetzwerken besitzen daher neben ihrer logistischen Funktion auch eine bedeutende räumliche Dimension. Diese wird durch das Konzept der "Intermediacy & Centrality", entwickelt von Fleming und Hayuth (1994), beschrieben. Dieses Konzept verknüpft die Rolle des Knotens im Transportnetzwerk (Intermediacy) mit seiner Bedeutung für das unmittelbare Umfeld (Centrality). "Intermediacy" charakterisiert den Knoten als Durchgangspunkt für Passagier- oder Güterströme zwischen verschiedenen Regionen. Ein hoher Grad an Intermediacy bedeutet, dass der Knotenpunkt als Verbindungsglied für viele Regionen dient, wie es typischerweise bei Hubs der Fall ist. "Centrality" hingegen bezieht sich auf die Funktion des Knotens als Ausgangs- und Zielpunkt. Sie steht in engem Zusammenhang mit den wirtschaftlichen Aktivitäten in der unmittelbaren Umgebung des Knotens und dem daraus resultierenden Transportaufkommen. Eine hohe Konzentration wirtschaftlicher Aktivitäten im Umfeld des Knotens bedeutet eine hohe Centrality des Knotens.

Ducruet und Lee (2006) veranschaulichen dieses Konzept anhand einer Matrix, die das Verhältnis zwischen der Rolle eines Hafens im Transportnetzwerk und der Stadt, in der er sich befindet, darstellt (Abbildung 10). Diese Darstellung verdeutlicht, wie die Funktionen eines Knotenpunkts sowohl im überregionalen Netzwerk als auch im lokalen Kontext die Gesamtbedeutung des Standorts prägen.

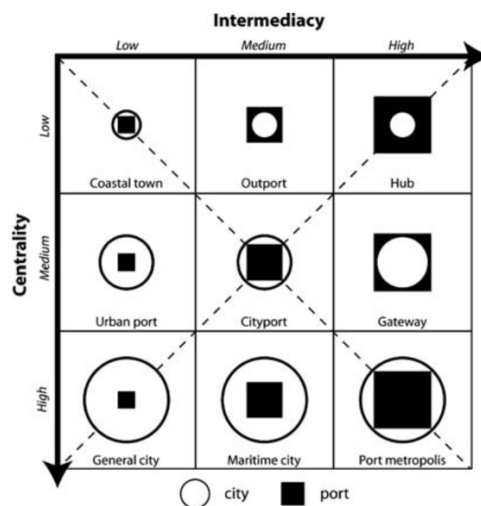


Abbildung 10: Intermediacy & Centrality (Ducruet and Lee, 2006)

Die Qualität und Leistungsfähigkeit der Verkehrsinfrastruktur, insbesondere von Knotenpunkten, hat weitreichende Auswirkungen auf die räumliche Entwicklung von Siedlungen und Regionen. Eine gut ausgebaute Verkehrsanbindung ermöglicht den Zugang zu zentralen Orten und Ballungsräumen, steigert die Attraktivität einer Region als Wohn- und Wirtschaftsstandort und kann zur wirtschaftlichen Entwicklung peripherer Gebiete beitragen. Andererseits können Knotenpunkte auch Herausforderungen für die lokale nachhaltige Entwicklung darstellen. Der erhöhte Verkehrsfluss zu und von den Knoten führt oft zu negativen Auswirkungen wie Luftverschmutzung, Beeinträchtigung

öffentlicher Räume, Zerschneidung von Ökosystemen, Staus, erhöhtem Unfallrisiko und Lärmbelastung. Diese Dualität verdeutlicht die Notwendigkeit einer sorgfältigen Abwägung zwischen wirtschaftlichen Vorteilen und ökologischen sowie sozialen Kosten bei der Planung und Entwicklung von Verkehrsinfrastruktur (Behrends, 2011).

3.3 Integrierte Betrachtung von Transportnetzwerken

Wandel et al. (1992) stellen die Zusammenhänge zwischen Lieferketten, Transportnetzwerk und Infrastruktur in einem dreischichtigen Modell dar. Die oberste Ebene bildet die Lieferkette, die den Warenfluss vom Hersteller zum Verbraucher repräsentiert. Auf dieser Ebene wird die Nachfrage nach Gütertransportleistungen hinsichtlich Sendungsgrösse, Frequenz, Transportzeit und Flexibilität bestimmt. Das Transportsystem als mittlere Ebene bedient diese Nachfrage durch Gütertransportdienste und repräsentiert den Fluss von Ladeeinheiten. Die unterste Ebene bildet die Verkehrsinfrastruktur, auf der die Transporteinheiten operieren und die Transportdienste erbracht werden.

Gudehus (2012, S. 406) definiert eine Hierarchie logistischer Einheiten, die von der Arteikeinheit über die Verpackungseinheit und Ladeeinheit bis zur Transporteinheit reicht. Auf der Ebene der Lieferkette wird festgelegt, mit welchen Verpackungs- und Ladeeinheiten die Artikel transportiert werden sollen. Auf der Transportebene wird der Transportbedarf dieser Ladeeinheiten durch Transportmittel wie LKW, Züge oder Schiffe als Transporteinheiten erfüllt, um die Ladeeinheiten zu befördern. Am Beispiel eines Konsumgüterunternehmens wäre die Verpackungseinheit der Karton, die Ladeeinheit die Palette und die Transporteinheit der LKW.

Aufbauend auf Wandels Modell präsentiert Behrends (2011) ein akteursbezogenes Modell für nachhaltigen Güterverkehr, und definiert die für die Gestaltung der Ebenen verantwortlichen Akteure. Die Wareneigentümer/Verlader bestimmen den Warentransport in Lieferketten zwischen Standorten wirtschaftlicher Aktivität. Die Transportunternehmen konzipieren Transportnetzwerke und bieten Dienstleistungen an, die den Anforderungen der Wareneigentümer entsprechen. Die Infrastrukturunternehmen stellen die Verkehrsinfrastruktur (z.B. Strassen, Schienenwege und Güterverkehrsanlagen) bereit, auf der die für die Transportdienstleistungen erforderlichen Bewegungen der Transporteinheiten stattfinden. Öffentliche Verwaltungen auf lokaler und regionaler Ebene setzen Flächennutzungs- und Verkehrsplanung ein, um die bebaute und soziale Umwelt zu optimieren.

Die verschiedenen Ebenen des Güterverkehrssystems sind durch Märkte miteinander verbunden, welche eine Abstimmung des Angebots an Transportdienstleistungen und Infrastrukturkapazitäten mit der Nachfrage aus der Lieferkette ermöglichen. Allerdings stehen die Akteure auf diesen Märkten im Wettbewerb miteinander und mit anderen Interessengruppen. Diese komplexe Wettbewerbssituation unterstreicht die Notwendigkeit einer ausgewogenen Planung und Ressourcenzuteilung im Güterverkehrssystem. Sie verdeutlicht auch die Herausforderungen bei der Abstimmung der verschiedenen Interessen und Anforderungen innerhalb des Systems.

3.4 Entwicklung eines mehrstufigen Analysemodells

Basierend auf den oben beschriebenen Modellen und theoretischen Grundlagen, wird ein vierschichtiges Modell für die Analyse in dieser Arbeit definiert, bestehend aus den Ebenen Logistik, Transport, Infrastruktur und Raumplanung (Abbildung 11).

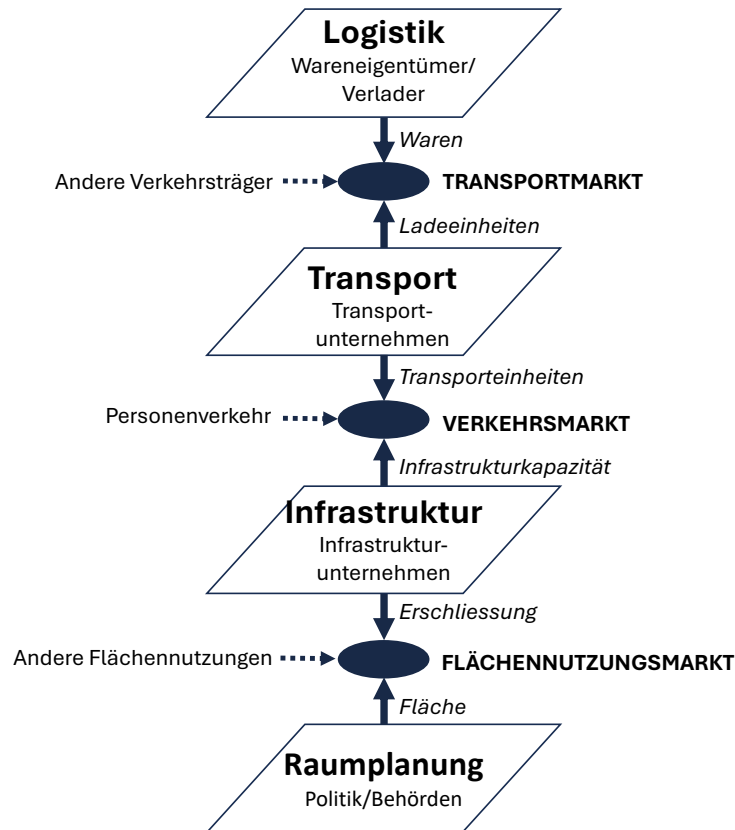


Abbildung 11: Analysemodell (adaptiert von Wandel et al. (1992) und Behrends (2011))

Die vier Ebenen repräsentieren die Perspektiven verschiedener Akteure. Die **Wareneigentümer/Verlader** (Logistikebene) bestimmen den Warentransport in Lieferketten zwischen Standorten wirtschaftlicher Aktivität. Ihre Entscheidungen bezüglich Lieferketten und Logistikstrategien beeinflussen massgeblich die Transportnachfrage, einschliesslich Aspekte wie Volumen, Frequenz, Laufzeit, Lieferpräzision und Flexibilität. Die **Transportunternehmen** (Transportebene) konzipieren Transportnetzwerke und bieten Dienstleistungen an, die den Anforderungen der Wareneigentümer entsprechen. Ihre Hauptherausforderung besteht darin, eine hohe Ressourcenauslastung bei gleichzeitiger Erfüllung der geforderten Transportqualität zu erreichen. Die **Infrastrukturunternehmen** (Infrastrukturebene) stellen die Verkehrsinfrastruktur (z.B. Strassen, Schienenwege und Güterverkehrsanlagen) bereit, auf der die für die Transportdienstleistungen erforderlichen Bewegungen der Transporteinheiten stattfinden. Meist erfolgt diese Bereitstellung jedoch in enger Abstimmung mit der öffentlichen Hand. Die Entscheidungen darüber, welche Infrastruktur wie bereitgestellt wird, sind oft politisch geprägt oder werden von Verwaltungen getroffen, häufig auf Antrag der Infrastrukturunternehmen. **Öffentliche Verwaltungen auf lokaler und regionaler Ebene** (Raumplanungsebene) setzen Flächennutzungs- und Verkehrsplanung ein, um die bebaute und soziale Umwelt zu optimieren. Sie stellen Flächen für wirtschaftliche Einrichtungen, sowie

Verkehrsinfrastruktur wie Strassen und Schienenwege bereit, die als Grundlage für den Fahrzeugverkehr dienen. Dabei verfolgen sie zwei Hauptziele: Einerseits streben sie eine hohe Anbindung ihrer Region an das überregionale Verkehrsnetz an, um die wirtschaftliche Entwicklung zu fördern. Andererseits bemühen sie sich, die negativen Auswirkungen des Güterverkehrs zu minimieren, um die Lebensqualität der Bevölkerung zu erhalten und ökologische Aspekte zu berücksichtigen.

Die verschiedenen Ebenen des Güterverkehrssystems sind durch Märkte miteinander verbunden. Auf dem **Transportmarkt** wird der Transportbedarf für Ladeeinheiten durch die Dienstleistungen der Transportnetzwerke gedeckt. Der **Verkehrsmarkt** bildet die Schnittstelle zwischen den Transportnetzwerken und der Verkehrsinfrastruktur. Hier werden die für den Transport von Ladeeinheiten benötigten Transporteinheiten (z. B. Lkw, Güterwaggons oder Schiffe) mit den verfügbaren Kapazitäten der Infrastruktur (z. B. Strassen, Schienennetze oder Wasserstrassen) koordiniert und aufeinander abgestimmt. Auf dem **Flächennutzungsmarkt** wird der Flächenbedarf für Infrastruktur und Knotenpunkte mit dem Flächenangebot der öffentlichen Verwaltungen abgestimmt. Die Akteure stehen auf diesen Märkten im Wettbewerb miteinander und mit anderen Interessengruppen. Auf dem Transportmarkt konkurrieren verschiedene Verkehrsträger um Marktanteile. Auf dem Verkehrsmarkt stehen Güter- und Personenverkehr in Konkurrenz um die Nutzung derselben Infrastruktur. Auf dem Flächennutzungsmarkt konkurrieren Logistikanlagen und Verkehrsinfrastruktur mit anderen Nutzungsarten um den begrenzten Raum.

4 Methode

Dieses Kapitel erläutert die methodische Vorgehensweise, die dieser Forschungsarbeit zugrunde liegt. Es gliedert sich in drei Teile: Zunächst wird der Forschungsansatz vorgestellt, der auf dem in Kapitel 3 entwickelten Analysemodell basiert (Kapitel 4.1). Anschliessend wird der Forschungsprozess mit seinen verschiedenen Arbeitspaketen beschrieben (Kapitel 4.2). Abschliessend werden die Methoden der empirischen Datenerhebung und -analyse detailliert dargelegt (Kapitel 4.3).

4.1 Forschungsansatz

Das in Kapitel 3 entwickelte vierschichtige Analysemodell mit seinen verbindenden Märkten bildet das konzeptionelle Fundament für die Umsetzung der Projektziele. Abbildung 12 veranschaulicht, wie die vier Leistungsziele des Projekts mit den verschiedenen Ebenen des Analysemodells korrespondieren.

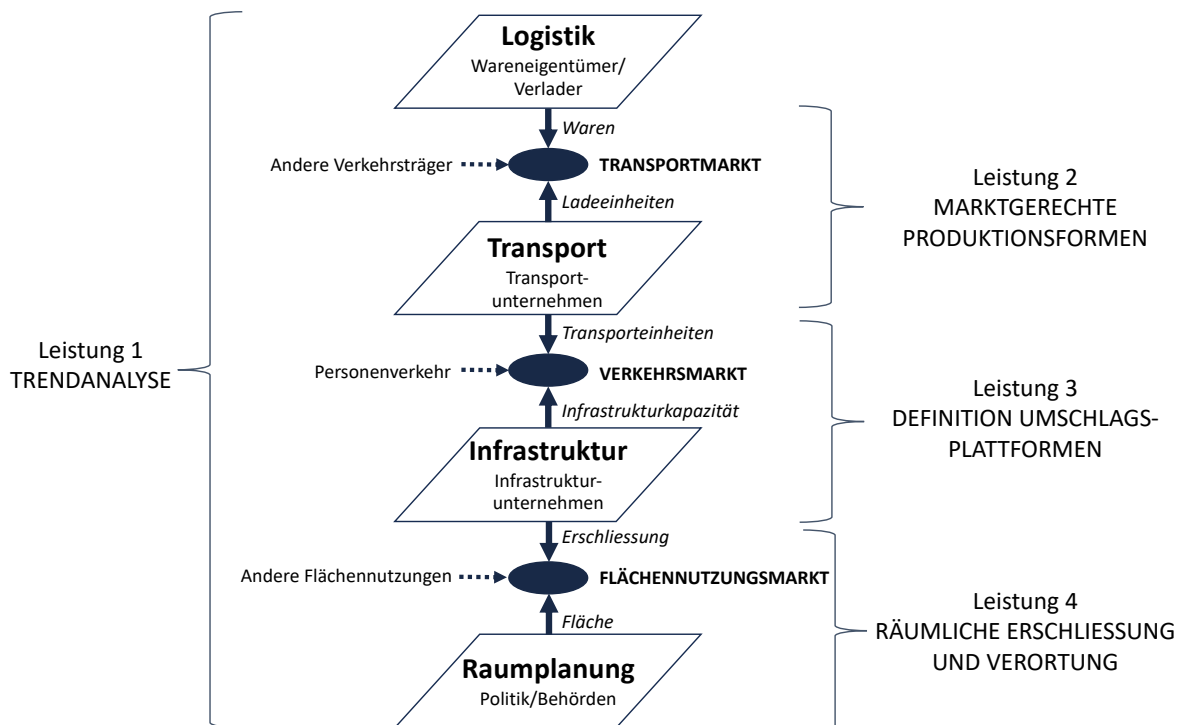


Abbildung 12: Projektziele im Analysemodell

Die Trendanalyse (Leistung 1) umfasst alle Modellebenen, um ein ganzheitliches Bild der relevanten Entwicklungen im SGV zu zeichnen. Die Formulierung marktgerechter Produktionsformen (Leistung 2) fokussiert auf die Transportebene und den Transportmarkt, wo Angebot und Nachfrage aufeinandertreffen und Qualitätsanforderungen definiert werden. Bei der Analyse der Anforderungen an Umschlagsplattformen (Leistung 3) wird untersucht, wie sich die Anforderungen aus den Produktionsformen über den Verkehrsmarkt auf die Infrastrukturebene auswirken. Die räumliche Erschliessung und Verortung der Umschlagsplattformen (Leistung 4)

betrachtet die Raumplanungsebene und den Flächennutzungsmarkt, der die Infrastruktur- mit der Raumplanungsebene verbindet.

4.2 Forschungsprozess

Der Forschungsprozess dieser Studie folgt einem integrierten Ansatz, der theoretische und empirische Methoden kombiniert. Er gliedert sich in drei Arbeitspakete (AP), die eine schrittweise Verfeinerung der Erkenntnisse, von der theoretischen Grundlage bis zur empirischen Validierung ermöglichen (Abbildung 13).

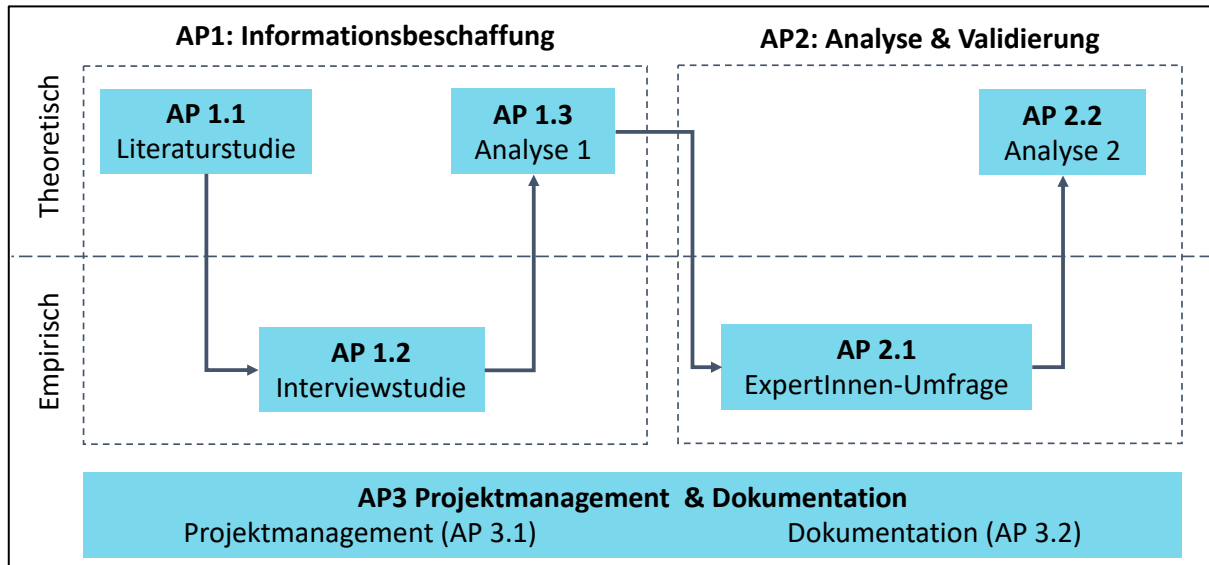


Abbildung 13: Forschungsprozess

AP1: Informationsbeschaffung und Hypothesenbildung

Dieses Arbeitspaket beginnt mit der Durchführung umfassender Literaturstudien zur Schaffung einer soliden theoretischen Basis. Parallel dazu werden ExpertInnen-Interviews durchgeführt, um praxisnahe Einblicke zu gewinnen. Auf Grundlage der aus Literatur und Interviews gewonnenen Erkenntnisse werden vorläufige Hypothesen zu den definierten Leistungsaspekten entwickelt.

AP2: Hypothesenvalidierung und -weiterentwicklung

Im zweiten Arbeitspaket wird ein strukturierter Fragebogen zur Überprüfung der Hypothesen erstellt. Dieser wird den zuvor interviewten ExpertInnen vorgelegt. Die Umfrageergebnisse werden anschliessend analysiert und ausgewertet. Basierend auf dieser Auswertung erfolgt die Formulierung und Ausarbeitung der finalen Forschungsergebnisse.

AP3: Projektmanagement und Dokumentation

Das dritte Arbeitspaket läuft parallel zu den anderen beiden und umfasst die kontinuierliche Koordination und Steuerung des Forschungsprozesses. Es beinhaltet die systematische Dokumentation aller Zwischenergebnisse und Erkenntnisse sowie die Sicherstellung der Qualität und Kohärenz der Forschungsarbeit.

4.3 Empirische Datenerhebung und -analyse

Die empirische Forschung dieses Projekts basiert auf zwei Hauptkomponenten: ExpertInnen-Interviews und eine darauf aufbauende ExpertInnen-Umfrage.

4.3.1 Durchführung und Analyse der ExpertInnen-Interviews

Für die Studie wurden 19 Interviews mit VertreterInnen aus Wirtschaft, Behörden und Wissenschaft durchgeführt (nachfolgend ExpertInnen genannt). Die Auswahl der ExpertInnen erfolgte gezielt, um alle Ebenen des Analysemodells abzudecken (Tabelle 2): drei Unternehmen der Nachfrageseite (Ebene Logistik), acht Unternehmen der Angebotsseite (Ebene Transport), und zwei Infrastrukturunternehmen, sowie drei Behörden (Ebene Raumplanung). Dazu wurden drei Senior-ExpertInnen aus dem Transport- und Infrastrukturbereich interviewt. Die vollständige Liste der interviewten Experten befindet sich in Anlage 1.

Die halbstrukturierten Interviews umfassten drei Themenbereiche: Die SGV-Nutzung durch das jeweilige Unternehmen (falls zutreffend), die Entwicklungen im SGV, sowie die Rolle der Güterverkehrsanlagen. Die Interviews dauerten durchschnittlich 90 Minuten und wurden online via Microsoft Teams durchgeführt. Bei jedem Gespräch waren zwei bis drei ForscherInnen anwesend: Eine Person leitete das Interview, während mindestens eine weitere Person Notizen machte und die Vollständigkeit der Antworten sicherstellte. Die detaillierte Interviewstruktur befindet sich in Anlage 2.

Tabelle 2: Organisationen der interviewten ExpertInnen nach Akteur Kategorien.

Logistik	Transport	Infrastruktur	Raumplanung
Agrar- und Lebensmittelhandel	Logistikunternehmen 1	Terminal-Unternehmen 1	kantonale Behörde
Detailhandel	Logistikunternehmen 2	Eisenbahninfrastruktur-unternehmen (Europa)	Städtische Behörde 1
Baustoffhandel	Transportunternehmen 1	Senior ExpertIn Schienengüterterminal	Städtische Behörde 2
	Transportunternehmen 2	Senior ExpertIn IT & Digitalisierung (Schweden)	
	Eisenbahnverkehrs-unternehmen 1		
	Eisenbahnverkehrs-unternehmen 2		
	Eisenbahnverkehrs-unternehmen 3		
	Eisenbahnverkehrs-unternehmen 4		
	Senior ExpertIn Schienengüterverkehr		

4.3.2 Konzeption und Auswertung der ExpertInnen-Umfrage

Basierend auf den Interviewergebnissen wurden Hypothesen zu den Forschungszielen formuliert. Diese Hypothesen wurden in Arbeitspaket 2 weiterentwickelt und validiert. Hierzu wurden die Hypothesen in einem strukturierten Fragebogen zusammengefasst und den zuvor interviewten ExpertInnen zur Beantwortung vorgelegt.

Der Fragebogen gliederte sich in vier Abschnitte mit Hypothesen zum SGV:

1. Infrastrukturentwicklungen (3 Fragen)
2. Technische Innovationen (5 Fragen)
3. Personalentwicklungen (2 Fragen)
4. Potenzielle zukünftige Produktionsformen (1 Frage)

Die Hypothesen beschrieben mögliche zukünftige Auswirkungen auf den SGV. Zur Bewertung diente eine Likert-Skala, die die Einschätzung der Wirkungsstärke ermöglichte (z.B. von „keine Wirkung“ bis „sehr grosse Wirkung“ oder von „stimme überhaupt nicht zu“ bis „stimme voll und ganz zu“). Zusätzlich gab es Freitextfelder für individuelle Kommentare.

Von den ursprünglich 19 interviewten ExpertInnen wurden 17 für die Fragebogenumfrage ausgewählt. Zwei Interview-PartnerInnen aus Schweden wurden aufgrund unzureichender Deutschkenntnisse nicht in die Umfrage einbezogen, da der Fragebogen auf Deutsch verfasst war. Von den 17 angeschriebenen ExpertInnen beantworteten 13 den Fragebogen. Diese Beteiligung entspricht einer Rücklaufquote von etwa 80 Prozent, was die Relevanz sowie das hohe Interesse der ExpertInnen an der Thematik unterstreicht.

Der vollständige Fragebogen ist in Anlage 3 beigelegt.

5 Entwicklung im Schienengüterverkehr

Dieses Kapitel analysiert die technischen, wirtschaftlichen und verkehrsgeografischen Entwicklungen sowie deren Auswirkungen auf die Wettbewerbsfähigkeit des SGV. Die Untersuchung orientiert sich an dem in Kapitel 3 vorgestellten 4-Schichten-Modell, das eine ganzheitliche Systemperspektive auf den SGV ermöglicht. Abbildung 14 illustriert die im Rahmen der empirischen Forschung identifizierten Entwicklungen, die im Folgenden detailliert erläutert werden.

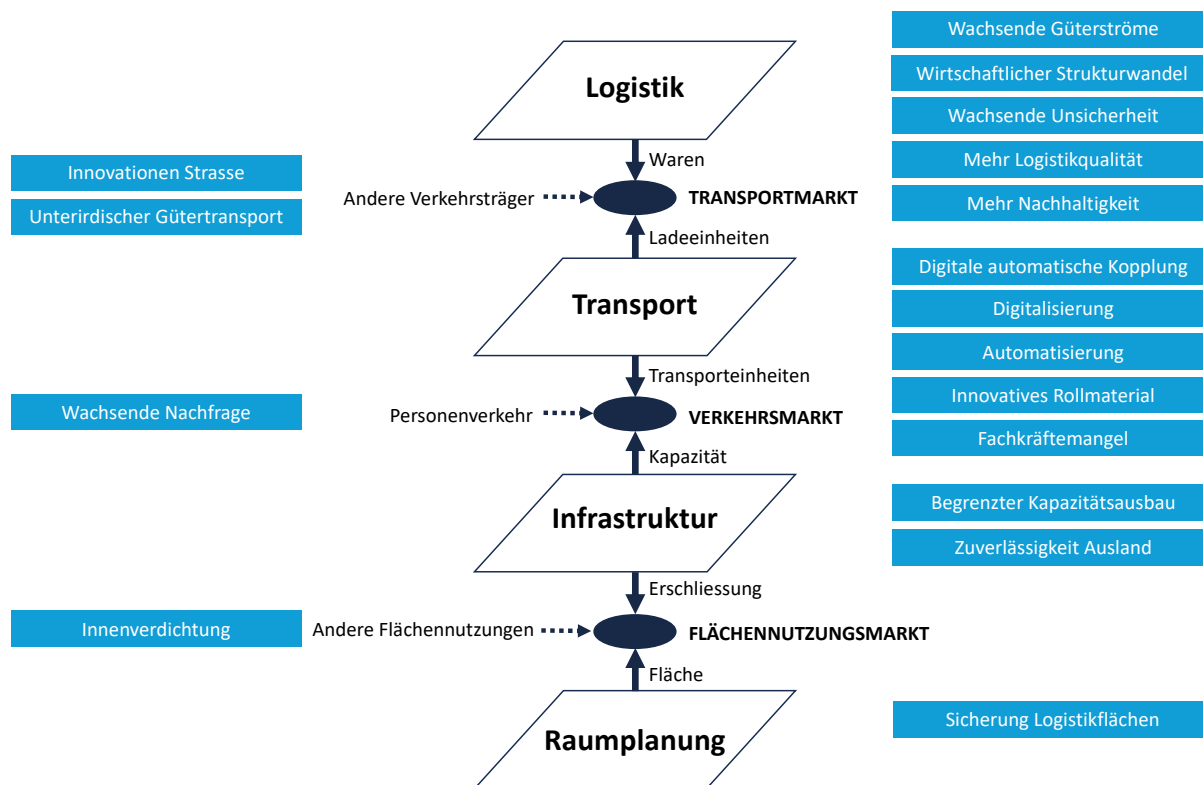


Abbildung 14: Entwicklungen im Schienengüterverkehr

Die Analyse beschreibt die Leistung 1 dieses Berichts und gliedert sich in vier Teile:

Kapitel 5.1: Nachfragerrelevante Entwicklungen in der Logistik

Dieser Abschnitt untersucht Veränderungen der Nachfrage (die oberste Modellebene - Logistik) sowie auf dem Transportmarkt. Diese Faktoren beeinflussen massgeblich die Anforderungen an den SGV.

Kapitel 5.2: Angebotsseitige Veränderungen im SGV

Hier werden Entwicklungen in der zweiten Modellebene (Transport) und auf dem Güterverkehrsmarkt analysiert, mit besonderem Fokus auf die technischen Innovationen.

Kapitel 5.3: Infrastruktur- und Raumplanungsentwicklungen

Dieser Teil widmet sich den Entwicklungen in der dritten (Infrastruktur) und vierten Modellebene (Raumplanung).

Kapitel 5.4: Synthese und Zukunftsaussichten

Abschliessend werden die Auswirkungen der identifizierten Entwicklungen auf das Gesamtsystem zusammengefasst und ihre Bedeutung für den zukünftigen SGV erörtert.

Diese strukturierte Analyse ermöglicht ein umfassendes Verständnis der komplexen Dynamiken im SGV und bildet die Grundlage für die weiteren Leistungen, also die die zukünftig relevanten Kriterien für die Verkehrsmittelwahl (Leistung 2), die Anforderungen an SGV-Anlagen (Leistung 3), sowie deren räumliche Erschliessung und Verortung (Leistung 4).

5.1 Entwicklung der Nachfrage und des Transportmarktes

In diesem Abschnitt werden die massgeblichen Entwicklungen analysiert, welche die zukünftige Wettbewerbssituation des SGV prägen (Abbildung 15). Der Fokus liegt dabei auf zwei Hauptaspekten. Zunächst werden in Kapitel 5.1.1 die Trends im Logistiksektor betrachtet, welche die Nachfrage nach Gütertransportleistungen beeinflussen und die Anforderungen an zukünftige Transportlösungen definieren. Anschliessend beleuchtet Kapitel 5.1.2 die Innovationen bei konkurrierenden Verkehrsträgern, wobei technologische und konzeptionelle Fortschritte anderer Transportmodi untersucht werden, die in direktem Wettbewerb zum SGV stehen.

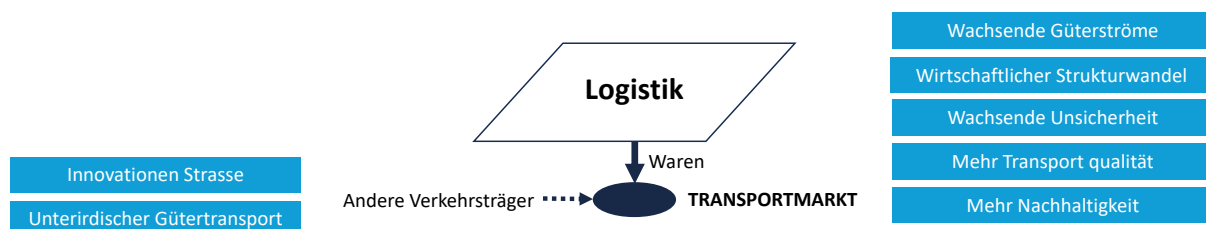


Abbildung 15: Entwicklungen der Nachfrage

5.1.1 Entwicklung der Nachfrage

Wachsende Güterströme

Die Entwicklung der Güterströme wird massgeblich durch das Bevölkerungs- und Wirtschaftswachstum beeinflusst, welches zu einem erhöhten Konsum führt. Laut den „Verkehrsperspektiven 2050“ des Bundesamts für Raumentwicklung (ARE, 2022) wird die Transportleistung in allen Szenarien in den nächsten 30 Jahren zunehmen. Diese Prognose unterstreicht die Notwendigkeit, die Kapazitäten und Effizienz des Transportsektors entsprechend anzupassen, um den wachsenden Güterströmen gerecht zu werden.

Wirtschaftlicher Strukturwandel

Der wirtschaftliche Strukturwandel führt zu einer Veränderung in der Zusammensetzung des Transportvolumens (Abbildung 17). Es zeichnet sich eine Abnahme des Anteils von Massengütern, insbesondere Rohstoffen, ab. Gleichzeitig nimmt der Anteil hochwertiger Stückgüter, wie Zwischen- oder Endprodukte, zu (ARE, 2022). Diese Verschiebung hat weitreichende Konsequenzen für den Schienengüterverkehr. Der Transport grosser Mengen auf festen Routen mit grossen Sendungsgrössen, wie Wagengruppen, Ganzzügen oder ganzen Binnenschiffen, geht zurück. Stattdessen nimmt die Beförderung kleinerer Sendungen, wie Lkw-Ladungen, Wagenladungen oder noch kleinere Einheiten, zwischen weiträumig verteilten Quellen und Zielen zu (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

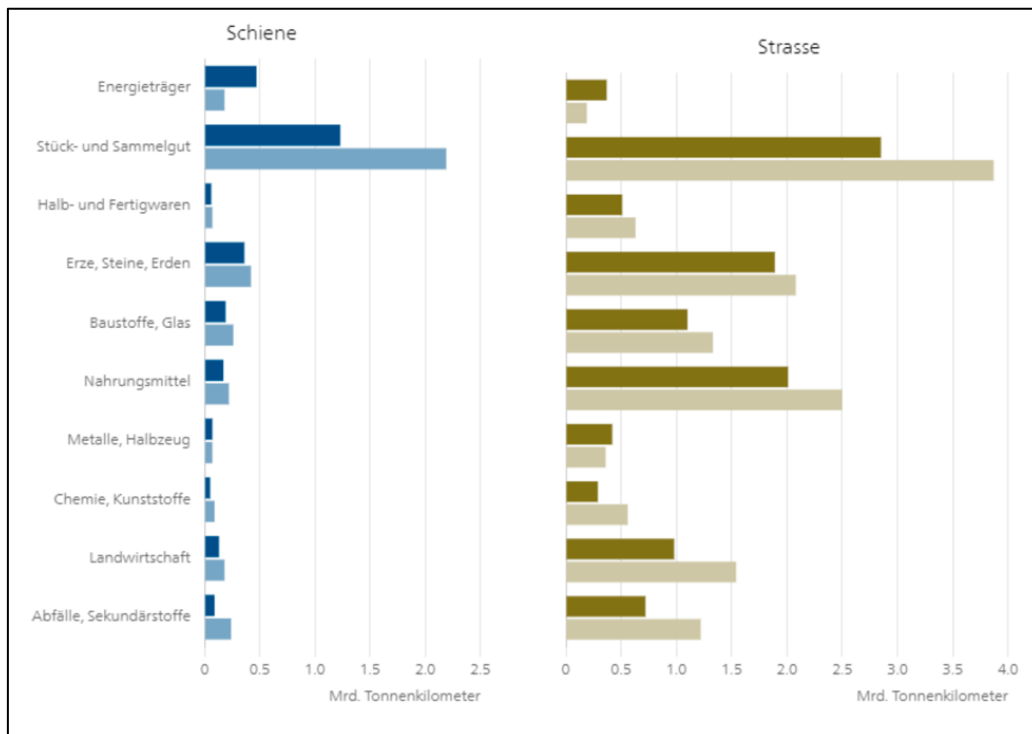


Abbildung 16: Transportleistung von Strasse und Schiene im Jahr 2017 und 2050 (Prognose) nach Warengruppen. (ARE, 2022)

Wachsende Unsicherheit

Die zunehmende Unsicherheit im Güterverkehr resultiert aus zwei Hauptfaktoren. Zum einen verändern sich die Bedingungen im Lieferketten-Umfeld durch kürzere Produktlebenszyklen, höhere Produktkomplexität, volatile und unvorhersehbare Nachfrage sowie geringe Prognosepräzision aufgrund höherer Marktunsicherheiten. Zum anderen tragen globale Krisen wie der Klimawandel, geopolitische Spannungen, Pandemien und Handelskriege zur Unsicherheit bei (Christopher, 2023).

Christopher und Holweg (2011) argumentierten bereits 2011, dass das Streben nach Effizienz durch „optimierte“ Lieferketten angesichts zunehmender Turbulenzen nicht mehr erfolgversprechend ist, da diese auf stabile Rahmenbedingungen angewiesen sind. Diese Turbulenzen haben in den letzten Jahren stark zugenommen und erfordern von Unternehmen ein höheres Mass an Flexibilität und Agilität. Die einstige Stabilität ist einer Turbulenz gewichen, die Organisationen zwingt, flexibler zu agieren (Werner, 2022). Dieser Wandel erfordert neue Arbeitsweisen, insbesondere im Management von Angebots- und Nachfragenetzwerken. Starre Strukturen sind nicht flexibel genug, um unerwartete Veränderungen zu bewältigen. Daher ist es essenziell, anpassungsfähige Lieferketten aufzubauen, die sowohl Nachfrageschwankungen als auch angebotsseitige Faktoren bewältigen können (Christopher, 2023).

Die globalen Krisen haben auch die Bedeutung der Versorgungssicherheit hervorgehoben. Es werden erhöhte Anforderungen an die Robustheit und Resilienz der Logistikketten und Gütertransportangebote gestellt (Werner, 2022). Die Notwendigkeit, Logistikketten kurzfristig anzupassen, um Güter auf alternativen Routen oder mit anderen Verkehrsträgern zu transportieren, ist in den letzten Jahren deutlich geworden. Als Konsequenz wird erwartet, dass Redundanzen in Angeboten und

Transportinfrastrukturen geschaffen werden. Zudem sollte sich die Systemrelevanz eines leistungsfähigen Gütertransports in den Rahmenbedingungen widerspiegeln (BBI, 2024).

Die ExpertInnen-Interviews bestätigen die wachsende Unsicherheit als grosse Herausforderung im Schienengüterverkehr. Diese Unsicherheit wird darüber hinaus auch durch die unklare zukünftige Ausrichtung des Sektors verstärkt (Interview 11, 12, 15, 18). Die ExpertInnen betonen zudem, dass der Schienengüterverkehr oft Schwierigkeiten hat, flexibel auf unerwartete Ereignisse zu reagieren (Interview 1, 3, 4, 11, 18).

Steigende Anforderungen an Transportqualität

Die Kunden stellen zunehmend höhere Anforderungen an die Transportqualität. Zuverlässigkeit in Form von Pünktlichkeit, Flexibilität und Redundanzen sowie kürzere Transportzeiten durch erhöhte Transportgeschwindigkeit sind zentrale Forderungen. Diese Anforderungen resultieren in neuen, den Leistungsanforderungen entsprechenden Logistikkonzepten. Just-in-time Lieferungen von Kleinsendungen, Reduktion und Rückbau der Lager sowie eine Zunahme der Lieferfrequenzen sind die Folge. Diese Entwicklungen führen zu steigenden Anforderungen an die Verkehrsträger. (Stuhr, Karch, Schneider, 2023)

Die ExpertInneninterviews bestätigen den Trend zu höheren Anforderungen an die Transportqualität im Schienengüterverkehr. Insbesondere werden eine verbesserte Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit unabhängig von der Warengruppe als kritische Faktoren genannt (Interview 1, 4, 10, 17, 18). Zudem wird eine höhere Flexibilität nachgefragt, um auf unvorhergesehene Ereignisse reagieren zu können (Interview 1, 5, 10, 11, 17, 18). Es wird eine Verschiebung zu kleineren, zeitkritischeren Sendungen beobachtet, mit steigender Nachfrage nach schnelleren Lieferungen (Interview 5, 8, 10, 11, 12). In Bezug auf den Informationsfluss fordern Kunden mehr Transparenz und bessere Informationen über den Status ihrer Sendungen (Interview 9, 10, 17). Diese Entwicklungen unterstreichen die wachsenden Erwartungen an die Leistungsfähigkeit und Effizienz des Schienengüterverkehrs.

Steigende Nachhaltigkeitsanforderungen

Aufgrund des Klimawandels und der damit verbundenen politischen Klimaziele, sowie der steigenden Anforderungen der Konsumenten nehmen die Nachhaltigkeitsanforderungen in allen Bereichen der Wirtschaft zu. Dies betrifft auch die Logistik. Es ist eine Zunahme der nachhaltigen Logistik unter dem Begriff „Green Logistics“ zu beobachten. Die Messung von CO₂-Emissionen, eine verstärkte Nutzung der Schiene, die Verbesserung der Energieeffizienz in IT und Intralogistik sowie die Reduzierung von CO₂-Emissionen stehen dabei im Fokus. Zudem nehmen die Anforderungen an die Lärmreduzierung zu. Nachhaltigkeit entwickelt sich zu einem Wettbewerbskriterium, das auch in wirtschaftlich schwierigen Zeiten Vorteile bietet (Wittenbrink, 2014).

Die ExpertInneninterviews bestätigen den Trend zu steigenden Nachhaltigkeitsanforderungen in der Logistik, zeigen jedoch auch einige Herausforderungen auf. Mehrere Interviewpartner berichten von einer zunehmenden Relevanz der Nachhaltigkeit in den Transportketten (Interview 3, 8, 12, 18). Insbesondere wird die CO₂-Reduktion als wichtiger Faktor genannt, wobei einige Kunden bereits CO₂-freie Liefersysteme fordern (Interview 3). Die Schiene wird dabei oft als umweltfreundlichere Alternative zur Strasse gesehen, obwohl einige ExpertInnen darauf

hinweisen, dass dieser Vorteil durch die Entwicklung von E-LKWs in Zukunft möglicherweise relativiert werden könnte (Interview 4, 11, 15).

Trotz der steigenden Bedeutung von Nachhaltigkeit zeigt sich in den Interviews eine begrenzte Zahlungsbereitschaft für nachhaltigere Transporte. Mehrere ExpertInnen berichten, dass Kunden zwar Nachhaltigkeit fordern, aber nicht bereit sind, dafür höhere Preise zu zahlen (Interview 1, 5, 6, 8, 10, 11, 12, 17, 18). Ein Unternehmen gibt an, unternehmensintern die Bahn zu subventionieren (Interview 15). Dennoch gibt es vereinzelt Hinweise darauf, dass bestimmte Kunden bereit sind, für nachhaltige Transporte einen leichten Aufpreis zu zahlen (Interview 1, 2, 5, 8, 10).

5.1.2 Innovationen und Wettbewerbsdynamik im Transportmarkt

In den kommenden Jahren wird der Schienengüterverkehr mit zunehmender Konkurrenz durch innovative Transportsysteme konfrontiert sein. Besonders hervorzuheben sind hierbei Entwicklungen im Strassenverkehr sowie Konzepte für den unterirdischen Gütertransport.

Innovationen in Strassensektor

Der Strassenverkehr steht vor einem Innovationsschub, der seine Wettbewerbsfähigkeit und Nachhaltigkeit deutlich steigern könnte. Ein Schlüsselement ist die Dekarbonisierung durch alternative Antriebstechnologien wie Elektro- oder Wasserstoffantriebe. Diese Entwicklung reduziert den ökologischen Fussabdruck des Strassengüterverkehrs und verringert damit den traditionellen Umweltvorteil der Schiene (Stuhr, Karch, Schneider, 2023). Zugleich versprechen neue Technologien wie das Platooning, bei dem mehrere LKWs elektronisch gekoppelt in geringem Abstand hintereinanderfahren, erhebliche Effizienzsteigerungen und Kraftstoffeinsparungen. Langfristig wird das autonome Fahren voraussichtlich die Betriebskosten senken und die Flexibilität erhöhen (Bergenheim et al., 2012).

Diese Fortschritte könnten den Umweltvorteil der Schiene gegenüber dem Strassenverkehr verringern. Dennoch wird erwartet, dass der Schienenverkehr weiterhin Nachhaltigkeits- und Effizienzvorteile beim Energieverbrauch und der Flächennutzung beibehält (Stuhr, Karch, Schneider, 2023). Allerdings äusserten mehrere der interviewten ExpertInnen Bedenken: Insbesondere die Entwicklung elektrifizierter LKWs könnte eine Diskussion über die Abschaffung des Nachtfahrverbots anstossen (Interview 5, 12). Dies würde einen bedeutenden Wettbewerbsvorteil der Schiene gefährden und das Kräfteverhältnis zwischen Strassen- und Schienengüterverkehr neu definieren.

Auch die Validierungsumfrage gab kein eindeutiges Bild darüber, welcher Verkehrsträger im Verhältnis zum anderen umweltfreundlicher wird. Die Einschätzungen der ExpertInnen variierten, wobei sowohl der Schiene als auch der Strasse Potenzial für relative Verbesserungen in der Umweltfreundlichkeit zugesprochen wurde (Abbildung 17). Diese geteilte Einschätzung unterstreicht die Komplexität der zukünftigen Entwicklungen in beiden Sektoren und deutet darauf hin, dass die Wettbewerbsdynamik zwischen Strasse und Schiene in Bezug auf Umweltaspekte weiterhin in Bewegung bleibt.

13. Mit der Implementierung der oben genannten technischen Entwicklungen kann der SGV deutlich effizienter werden. Gleichzeitig gibt es technische Entwicklungen auf der Strasse, welche den Güterverkehr auf der Strasse effizienter machen können (E-LKW, Automatisierung, Platooning etc.). Unter Berücksichtigung der technischen Verbesserungsmöglichkeiten für Schiene und Strasse, wird die potentielle Wettbewerbsfähigkeit der Schiene...

[More Details](#)

■ deutlich schwächer ■ schwächer ■ unverändert ■ stärker ■ deutlich stärker

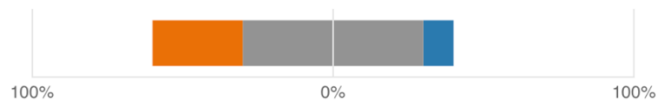


Abbildung 17: Validierungsumfrage – Wirkung technischer Innovationen im Strassensektor

Unterirdischer Gütertransport

Ein innovatives Konzept für den Güterverkehr ist der unterirdische Transport, der derzeit unter dem Namen "Cargo Sous Terrain" (CST) entwickelt wird. CST ist als innovatives, unterirdisches Logistiksystem konzipiert, welches das bestehende Netzwerk aus Strasse und Schiene ergänzen soll. Der Plan sieht vor, verschiedene Umladestationen durch ein Tunnelsystem zu verbinden. Für die Feinverteilung in der City-Logistik plant man den Einsatz emissionsfreier und autonom fahrender Fahrzeuge. Dieses Konzept verspricht, die oberirdische Verkehrsinfrastruktur zu entlasten und Emissionen erheblich zu reduzieren. (Cargo Sous Terrain, 2025)

Trotz dieser offensichtlichen Vorteile bleibt die Realisierung von CST bis 2050 ungewiss. Die Komplexität des Projekts, die hohen Investitionskosten und mögliche regulatorische Hürden stellen bedeutende Herausforderungen dar. Diese Unsicherheit spiegelt sich auch in den offiziellen Planungen wider: Das Bundesamt für Raumentwicklung hat das CST-Konzept in seinen "Verkehrsperspektiven 2050" nicht berücksichtigt (ARE, 2022).

5.2 Angebotsseitige Entwicklungen im Schienengüterverkehr

Dieser Abschnitt beleuchtet die zentralen Entwicklungen, welche die Produktion und das Angebot im SGV massgeblich beeinflussen (Abbildung 18). Der Fokus liegt dabei auf zwei Hauptaspekten: Zum einen werden die technischen Innovationen im SGV eingehend analysiert (Kapitel 5.2.1), die das Potenzial haben, die Effizienz und Wettbewerbsfähigkeit des Sektors grundlegend zu verbessern. Zum anderen werden die Entwicklungen im Personalbereich betrachtet (Kapitel 5.2.2) die für die Zukunftsfähigkeit des SGV von Bedeutung sind.

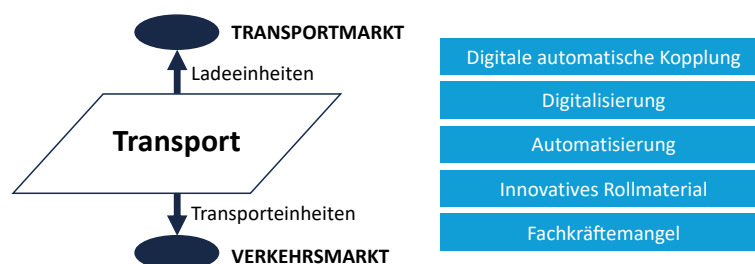


Abbildung 18: Entwicklungen des Angebots

5.2.1 Technische Innovationen

Der SGV steht an der Schwelle zu einem technologischen Umbruch, der das Potenzial hat, seine Wettbewerbsfähigkeit und Effizienz in den kommenden Jahren erheblich zu steigern. Diese sind die digitale automatische Kupplung (DAK), die Digitalisierung, die Automatisierung, sowie die Entwicklung innovativen Rollmaterials.

Digitale automatische Kupplung

Die DAK ist ein zukunftsweisendes Kupplungssystem für Güterwagen. Sie ermöglicht nicht nur das automatische An- und Abkoppeln, sondern verbindet die Wagen sowohl physisch als auch digital. Dies führt zu einer Reihe von Vorteilen: Automatisches Koppeln, Entkoppeln und Rangieren verbessern die Sicherheit und Prozesszuverlässigkeit erheblich. Zudem werden Prozesszeiten in Umschlags- und Rangieranlagen reduziert. Obwohl die Kosten für das Rollmaterial steigen, können Personalkosten gesenkt werden (Selipa, 2022).

Dies führt vor allem für den EWLTV zu reduzierten Kosten. Wenn die DAK anstelle der Schraubenkupplungen eingesetzt werden kann, können in der Nahzustellung bis zu 60 Prozent Zeit eingespart werden. Dies bedeutet eine Produktivitätssteigerung in der Nahzustellung von durchschnittlich etwa 45 Prozent. Für Ganzzüge im konventionellen und kombinierten Verkehr ist die Zahl der Kupplungsvorgänge deutlich niedriger. Nutzen entsteht jedoch durch die digitalisierten Prozesse in der Zugsvorbereitung (BBI, 2024). Im Bereich der Bremstechnik werden schwerere und längere Güterzüge sowie höhere Höchstgeschwindigkeiten möglich. Die Energieversorgung verbessert den Datenaustausch und ermöglicht eine bessere Kühlung der Waren. Eine Herausforderung bleibt die notwendige internationale Zusammenarbeit sowie die Planung und Finanzierung der Migration (Selipa, 2022).

Die ExpertInneninterviews bestätigen weitgehend die in der Literatur beschriebenen Vorteile der DAK. Mehrere Interviewpartner sehen in der DAK ein erhebliches Potenzial zur Effizienzsteigerung insbesondere für den EWLTV (Interview 1, 3, 10, 12). Die ExpertInnen heben Vorteile wie die Beschleunigung von Prozessen, verbesserte Arbeitsbedingungen und das Potenzial für weitere Automatisierungen hervor (Interview 10, 11). Allerdings werden auch Herausforderungen genannt, insbesondere die hohen Investitionskosten für die Umrüstung des Wagenparks (Interview 15). Einige ExpertInnen sehen den Nutzen der DAK im Ganzzugverkehr als geringer an (Interview 3, 13).

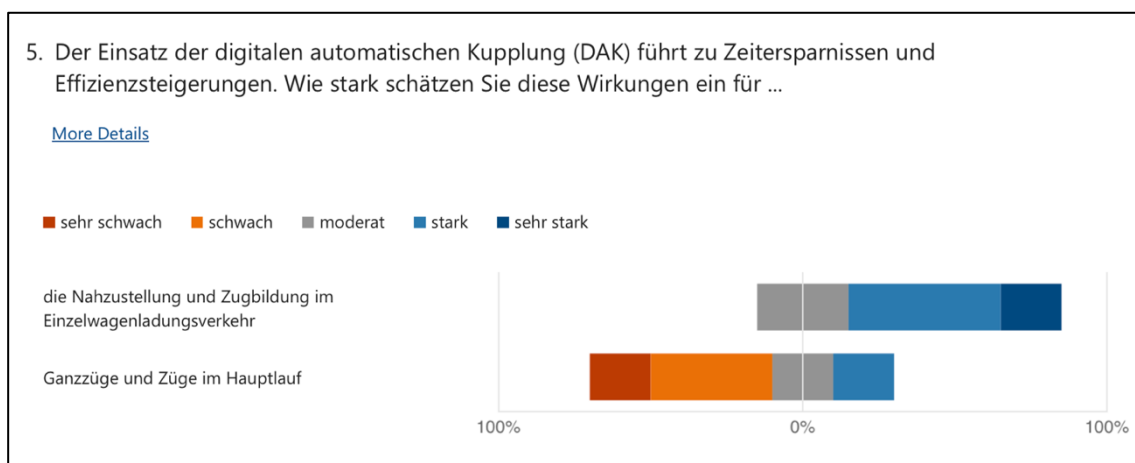


Abbildung 19: Validierungsfragebogen – Wirkung der digitalen automatischen Kupplung

Diese Einschätzungen werden durch die Ergebnisse des Validierungsfragebogens bestätigt (Abbildung 19). Die befragten ExpertInnen erwarten grosse Effizienzsteigerungen beim EWLK durch die Einführung der DAK. Bei Ganzzügen hingegen wird die Wirkung als begrenzt eingeschätzt, was mit der geringeren Anzahl an Kupplungsvorgängen in diesen Verkehren übereinstimmt.

Digitalisierung

Die Digitalisierung betrifft das gesamte System des Schienengüterverkehrs und alle Beteiligten. Sie umfasst die Bereiche Datenaustausch, Kommunikation und Echtzeitinformationen (Stuhr et al., 2023). Durch die Digitalisierung werden Prozesse optimiert, das Kapazitäts- und Lastmanagement verbessert und die Koordination mit Verladern und Spediteuren erleichtert. Dies führt zu mehr Transparenz im Transportprozess, ermöglicht flexiblere Reaktionen auf Störungen und erhöht die Zuverlässigkeit. Die Effizienzsteigerung beim Datentransfer senkt die Kosten für die Datenverarbeitung. Wichtig ist zudem, dass die Digitalisierung die Grundlage für die Automatisierung von Prozessen in der Logistik bildet (BAV, 2022b).

Die ExpertInneninterviews bestätigen die in der Literatur beschriebenen Potenziale der Digitalisierung im Schienengüterverkehr. Mehrere Interviewteilnehmenden betonen die Bedeutung der Digitalisierung für die Optimierung von Prozessen und die Verbesserung der Kommunikation zwischen den Akteuren (Interview 2, 3, 9). Ein wesentlicher Aspekt ist die Erhöhung der Transparenz durch verbesserten Datenaustausch, was zu einer effizienteren Planung und Steuerung des Güterverkehrs führt (Interview 9, 13, 16, 18). Einige ExpertInnen sehen in der Digitalisierung auch das Potenzial für präventives Handeln, beispielsweise durch frühzeitige Erkennung von Störungen und Verspätungen (Interview 4).

Die Interviews zeigen jedoch auch, dass der Fortschritt der Digitalisierung in der Branche unterschiedlich bewertet wird. Während einige Unternehmen bereits gut funktionierende digitale Schnittstellen nutzen (Interview 11), sehen andere noch erhebliches Verbesserungspotenzial, insbesondere im Hinblick auf die vollständige Ausschöpfung der Möglichkeiten der Digitalisierung (Interview 2). Es wird auch darauf hingewiesen, dass die Digitalisierung eine wichtige Voraussetzung für die weitere Automatisierung im Schienengüterverkehr ist (Interview 16).

Die Ergebnisse des Validierungsfragebogens unterstreichen die Bedeutung der Digitalisierung für den Schienengüterverkehr. Die befragten ExpertInnen erwarten, dass die Digitalisierung die Effizienz, Zuverlässigkeit und Flexibilität in allen Produktionsformen deutlich verbessern wird (Abbildung 20). Dabei wird der grösste Nutzen im EWLK gesehen, dicht gefolgt vom KV und Ganzzügen. Diese Einschätzung unterstreicht das transformative Potenzial der Digitalisierung für den gesamten Sektor,

mit besonders starken Auswirkungen auf komplexere Produktionsformen wie den EWLK und KV.

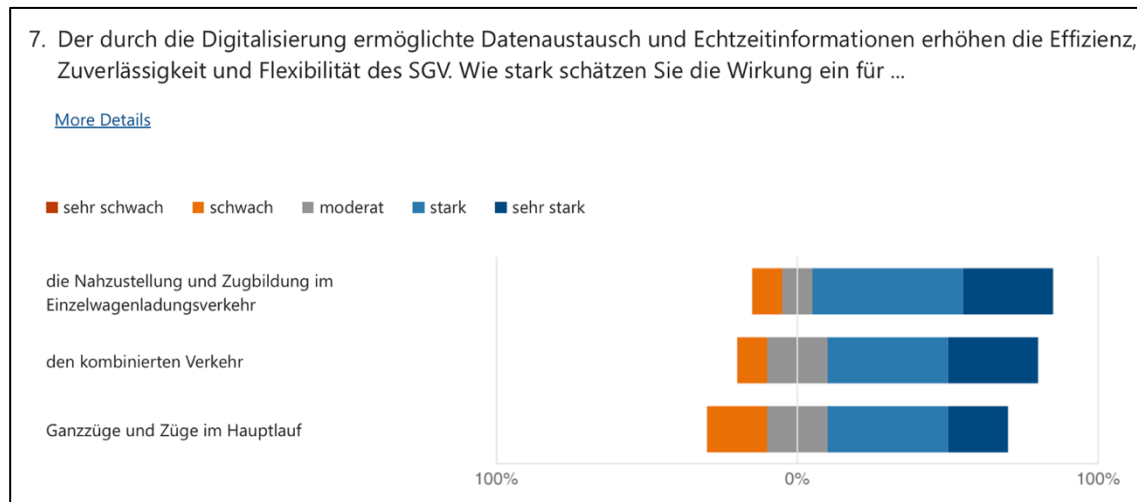


Abbildung 20: Validierungsfragebogen - Wirkung der Digitalisierung

Automatisierung

Die Automatisierung baut auf der Digitalisierung auf und umfasst Fahr-, Rangier-, Lade- und Umschlagsprozesse. Obwohl die Grundlagen für eine vollständige Automatisierung, wie die umfassende Digitalisierung und der flächendeckende Einsatz von ETCS noch nicht vollständig vorhanden sind, gibt es bereits erste Schritte wie das ferngesteuerte Rangieren. Die Automatisierung verringert die Personalabhängigkeit, was Flexibilität und Zuverlässigkeit erhöht. Sie ermöglicht eine homogenere Fahrweise, wodurch die maximale Streckenkapazität besser ausgenutzt und Energie eingespart werden kann. Personalkosteneinsparungen werden bei Ganzzügen aufgrund des grossen Volumens als gering eingeschätzt, während dieser Faktor beim Einzelwagenladungsverkehr relevanter ist. (Stuhr, Karch, Schneider, 2023)

Für den Kombinierten Verkehr eröffnen sich Potenziale durch die Automatisierung der KV-Umschlagsanlagen, die sowohl den Zugang als auch den Umschlagsprozess umfassen. Der automatisierte Zugang kann sowohl schienen- als auch strassenseitig über das sogenannte "automatische Gate" erfolgen. Diese Technologie ermöglicht eine fast vollständig elektronische Abwicklung des strassen- und schienenseitigen Check-In-Prozesses. Die positiven Effekte sind vielfältig: Einsparung von Abfertigungspersonal, beschleunigte Check-in-Prozesse und erhöhte Sicherheit gegen Raub und Diebstahl (Weidmann et al., 2017). Modulare Technologien für den Horizontalumschlag bieten weitere Vorteile. Innovative Umschlagstechniken für Container und Wechselbrücken können teure Umschlagstechnik wie Portalkrananlagen oder Reach-Stacker ersetzen, und damit die Investitionskosten senken und so die Abhängigkeit von grossen Umschlagsvolumen reduzieren. Dies trägt dazu bei, die Umschlagskosten zu senken und ermöglicht die Einrichtung kleinerer, dezentraler KV-Umschlagsanlagen. Darüber hinaus ermöglichen diese Technologien kürzere Zugaufenthalte, was die Gesamttransportzeit verkürzen und Produktionskonzepte mit mehreren Halten (Linienzüge) realisierbar machen kann (Behrends and Flodén, 2012). Höft (2018) präsentiert eine Übersicht über existierende innovative horizontale Umschlagstechnologien. Es ist anzumerken, dass diese Technologien in der Regel spezielle Lösungen für Ladeeinheiten und/oder Waggons/LKWs erfordern. Diese Entwicklungen verbessern insgesamt die Zugänglichkeit

der Anlagen, etwa durch die Möglichkeit längerer Öffnungszeiten, und können die Betriebskosten senken. Die Automatisierung bietet somit das Potenzial, den Kombinierten Verkehr flexibler, effizienter und kostengünstiger zu gestalten.

Auch die ExpertInnen sehen grosses Potenzial in der Automatisierung für den Einzelwagenladungsverkehr und den Kombinierten Verkehr und bestätigen die Relevanz für Fahr-, Rangier-, Lade- und Umschlagprozesse. Mehrere Interviewpartner sehen in der Automatisierung einen wichtigen Hebel zur Effizienzsteigerung und Kostensenkung (Interview 1, 2, 13). Besonders hervorgehoben werden Potenziale in den Bereichen Rangieren, Zugbildung und Umschlag (Interview 1, 6, 11). Ein wesentlicher Aspekt, der in den Interviews betont wird, ist die Rolle der Automatisierung bei der Bewältigung des Fachkräftemangels, insbesondere in Bezug auf Lokpersonal (Interview 4, 8). Die Interviews zeigen auch, dass die Automatisierung als Mittel zur Verlängerung von Betriebszeiten und zur Erhöhung der Flexibilität gesehen wird, beispielsweise durch automatisierte SGV-Anlagen (Interview 11). Einige ExpertInnen sehen in der Automatisierung des Fahrens einen grossen potenziellen Vorteil für die Bahnindustrie, auch wenn die vollständige Umsetzung noch als Zukunftsvision betrachtet wird (Interview 2, 5). Allerdings wird auch auf Herausforderungen hingewiesen, wie die Notwendigkeit von Investitionen in die Infrastruktur und die Anpassung bestehender Prozesse (Interview 9).

Die Ergebnisse des Validierungsfragebogens unterstreichen die differenzierte Wirkung der Automatisierung auf verschiedene Produktionsformen im Schienengüterverkehr (Abbildung 21). Die befragten ExpertInnen erwarten, dass die Automatisierung insbesondere die Effizienz, Zuverlässigkeit und Flexibilität in der Nahzustellung im EWLK deutlich verbessern wird. Diese Einschätzung deckt sich mit der Annahme, dass der EWLK aufgrund seiner komplexeren Prozesse am meisten von Automatisierungsmassnahmen profitieren kann. Auch für den KV spricht sich die Mehrheit der ExpertInnen für eine signifikante positive Wirkung der Automatisierung aus. Für Ganzzüge hingegen wird eine weniger ausgeprägte Wirkung erwartet.

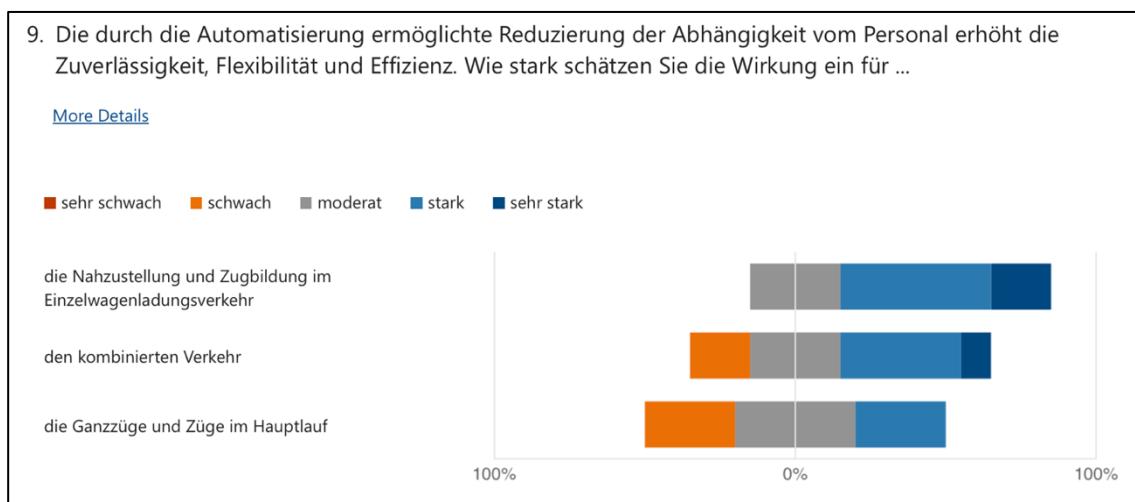


Abbildung 21: Validierungsfragebogen - Wirkung der Automatisierung

Innovatives Rollmaterial

Im Bereich des Rollmaterials steigen die Anforderungen an ökonomische und ökologische Nachhaltigkeit. Im Fokus stehen hybride Triebfahrzeuge mit batterie-

elektrischem oder Wasserstoffantrieb sowie innovative Güterwagen beispielsweise mit integrierter Umschlagstechnik. Diese Innovationen verbessern die Interoperabilität und ermöglichen den effizienten Einsatz auf nicht elektrifizierten Strecken wie Anschlussgleisen und Rangierbahnhöfen. Herausforderungen bleiben die Optimierung der Batteriereichweite und die effiziente Platznutzung im Fahrzeug (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Die Weiterentwicklung von Güterwagen zielt darauf ab, Abmessungen, Tragfähigkeit und Ausstattung zu verbessern, um sie effizienter und vielseitiger einsetzbar zu machen (Stuhr, Karch, Schneider, 2023). Ein innovativer Ansatz ist die Integration von Umschlagfunktionen direkt in die Wagen, was den Bedarf an stationären Umschlaggeräten reduziert. Dies ist besonders vorteilhaft für kleine oder selten genutzte SGV-Anlagen, da es Infrastrukturkosten senken und die Flexibilität des Güterumschlags erhöhen kann. Beispiele für solche Entwicklungen sind die Wagenkonzepte Modalohr (Martin, 2010a) und Megaswing/Helrom (Martin, 2010b). Diese ermöglichen den Umschlag von LKWs ohne zusätzliche Be- und Entladevorrichtungen, auch in kleineren Anlagen. Solche Innovationen tragen dazu bei, den Kombinierten Verkehr effizienter und flexibler zu gestalten (Höft, 2018).

Mehrere ExpertInnen betonen die Bedeutung von hybriden Lokomotiven, insbesondere für den Einsatz auf nicht elektrifizierten Strecken und beim Rangieren (Interview 3, 4, 15). Diese Hybridlösungen werden als wichtiger Schritt zur Verbesserung der Flexibilität und Effizienz des Bahnbetriebs gesehen, wobei sowohl batterie-elektrische als auch dieselektrische Hybride erwähnt werden. Ein weiterer Aspekt, der in den Interviews hervorgehoben wird, ist die Bedeutung von vorausschauenden Wartungssystemen für Fahrzeuge. Diese werden als sehr wichtig für die Erhöhung der Zuverlässigkeit und Effizienz des Rollmaterials erachtet (Interview 3). Ausserdem können Streckenlokomotiven für Rangieraufgaben eingesetzt werden, um Zeit bei der Ein- und Ausfahrt in SGV-Anlagen zu sparen (Interview 4). In Bezug auf innovative Wagenkonzepte nutzt ein Unternehmen bereits eigene, spezialisierte Transportgefässe, die eine maximale Ausnutzung der Kapazität ermöglichen (Interview 19).

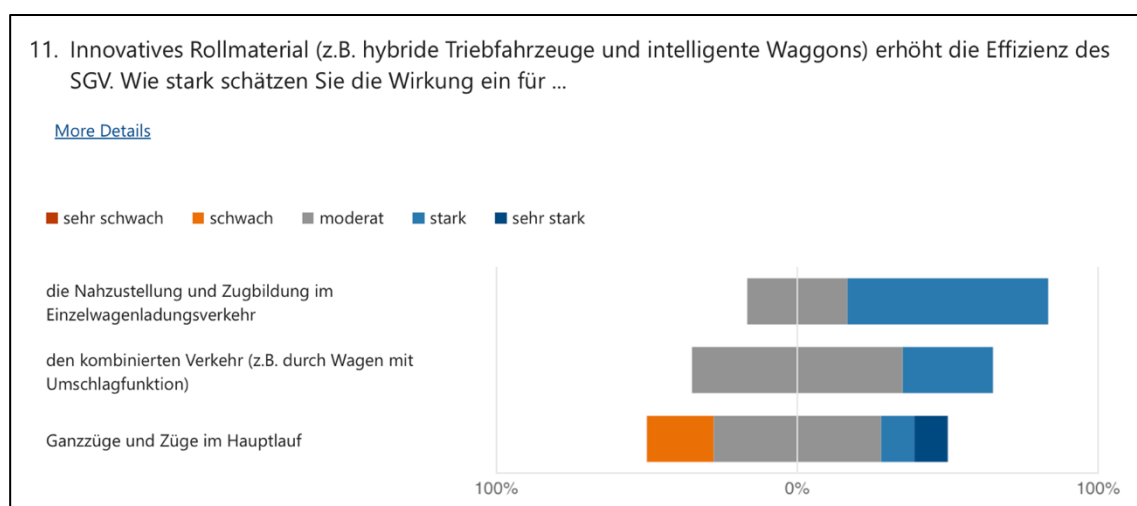


Abbildung 22: Validierungsfragebogen - innovatives Rollmaterial

Die Ergebnisse des Validierungsfragebogens unterstreichen die differenzierte Wirkung von innovativem Rollmaterial auf die verschiedenen Produktionsformen (Abbildung 22).

Die befragten ExpertInnen erwarten, dass innovatives Rollmaterial die Effizienz in der Nahzustellung und Zugbildung im EWLK sehr deutlich verbessern wird. Auch für den KV wird eine deutliche Verbesserung durch innovatives Rollmaterial erwartet. Für Ganzzüge hingegen wird das Verbesserungspotenzial durch innovatives Rollmaterial als geringer eingeschätzt.

Zusammenfassung der technischen Innovationen

Tabelle 3 fasst die Verbesserungspotenziale technischer Innovationen in Bezug auf die Produktionsformen des Schienengüterverkehrs zusammen und stellt diese den in Abschnitt 2.4 analysierten Ausgangsbedingungen gegenüber, die in Tabelle 1 dargestellt sind (Seite 16). Insgesamt zeigen die technischen Innovationen das Potenzial, die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs in allen Bereichen zu stärken.

Tabelle 3: Verbesserungspotenzial der technischen Innovationen bei den verschiedenen Produktionsformen im Vergleich zur Ausgangslage.

	Ganzzüge/Züge im Hauptlauf des EWLK und KV	EWLK (Nahzustellung und Zugbildung)	KV (Umschlag & Vor- und Nachlauf)
Räumliche Erschliessung	-- (keine Verbesserung) Keine systemischen Verbesserungen	+ (keine Verbesserung) Keine systemischen Verbesserungen	+ (Verbesserung) Kleine dezentrale Anlagen durch Automatisierung
Zeit	++ (leichte Verbesserung) Reduzierte Standzeiten durch DAK	0 (starke Verbesserung) Reduzierte Standzeiten durch DAK	0 (Verbesserung) Schnellerer Zugang und Umschlag durch Digitalisierung und Automatisierung
Qualität	+ (leichte Verbesserung) Verbesserte Zuverlässigkeit durch Automatisierung	0 (starke Verbesserung) Verbesserte Zuverlässigkeit durch Automatisierung	0 (Verbesserung) Erleichterte Disposition durch Digitalisierung
Kosten	++ (leichte Verbesserung) Reduzierter Personalaufwand durch DAK und Automatisierung beim Rangieren	- (Verbesserung) Reduzierter Personalaufwand durch DAK und Automatisierung beim Rangieren Aber: Nahzustellung in Gebieten geringer Nachfrage bleibt ressourcenintensiv (mehrmaliges Rangieren)	+ (Verbesserung) Effizienterer Umschlag durch Automatisierung und Digitalisierung Kürzerer Vor- und Nachlauf durch dezentrale Anlagen
Nachhaltigkeit	++ (keine Verbesserung) Keine systemischen Verbesserungen	++ (Verbesserung) Reduzierte Emissionen durch dekarbonisierte Rangierlokomotiven	+ (Verbesserung) Kürzerer Vor- und Nachlauf Dekarbonisierter Umschlag

Der EWLTV profitiert besonders stark von diesen Entwicklungen. Die DAK ermöglicht hier eine deutliche Reduzierung von Standzeiten und Personalaufwand, was zu kürzeren Transportzeiten, geringeren Kosten und erhöhter Zuverlässigkeit führt. Allerdings bleibt die Nahzustellung in Gebieten mit geringer Nachfrage weiterhin herausfordernd. Die Nachhaltigkeit des EWLTV kann durch den Einsatz dekarbonisierter Rangierlokomotiven verbessert werden.

Auch beim KV gibt es deutliche Verbesserungsmöglichkeiten. Kleinere, dezentrale Anlagen können die räumliche Erschliessung optimieren. Schnellerer Zugang, effizienterer Umschlag und verbesserte Disposition versprechen Vorteile in Bezug auf Zeit und Qualität. Kosteneinsparungen ergeben sich durch effizientere Umschlagsprozesse und kürzere Vor- und Nachläufe. Die Nachhaltigkeit profitiert von kürzeren Transportwegen und dekarbonisiertem Umschlag.

Ganzzüge und Züge im Hauptlauf des EWLTV und KV, die bereits relativ effizient operieren, können durch die technischen Innovationen weitere Verbesserungen erzielen. Reduzierte Produktionskosten, kürzere Transportzeiten und gesteigerte Qualität könnten diese Produktionsform für einen grösseren Teil des Transportmarktes attraktiv machen.

5.2.2 Personalentwicklung im SGV

Die Wettbewerbsfähigkeit des SGV hängt massgeblich von der Verfügbarkeit qualifizierten Personals ab. Insbesondere Lok- und Rangierpersonal spielen eine Schlüsselrolle für den effizienten Betrieb von Rangieranlagen und den gesamten Transportprozess. In den kommenden Jahren wird sich der Fachkräftemangel im SGV voraussichtlich weiter verschärfen, was den allgemeinen Arbeitsmarkttrends entspricht. Hauptgründe hierfür sind der demografische Wandel und die oft als herausfordernd wahrgenommenen Arbeitsbedingungen in der Branche (Wittenbrink, 2014).

Besonders betroffen ist das Rangierpersonal, dessen Arbeitsbedingungen als besonders anspruchsvoll gelten. Die Mitarbeitenden arbeiten bei jedem Wetter im Freien, verrichten körperlich anstrengende Tätigkeiten, sind einem erhöhten Unfallrisiko ausgesetzt und müssen Nacharbeit sowie unregelmässige Arbeitszeiten in Kauf nehmen. Im Vergleich dazu wird der Beruf des Lokpersonals weiterhin als attraktiver wahrgenommen. Daher wird der Mangel an Lokpersonal im Vergleich zum Mangel an Rangierpersonal als weniger kritisch eingestuft (Wittenbrink, 2014).

Die ExpertInneninterviews bestätigen weitgehend die in der Literatur beschriebenen Herausforderungen bezüglich des Fachkräftemangels im Schienengüterverkehr, setzen jedoch teilweise andere Schwerpunkte. Der Personalmangel wird oft als signifikantes Problem identifiziert, das die Wettbewerbsfähigkeit des Sektors beeinträchtigt. Mehrere ExpertInnen betonen insbesondere den Lokpersonalmangel als kritischen Faktor, der zu Verzögerungen und Betriebsstörungen führt (Interview 1, 15, 18). In einem Unternehmen werden in den nächsten 10 Jahren etwa 30 Prozent der Belegschaft in den Ruhestand gehen (Interview 10). Allerdings wird auch erwähnt, dass der Mangel an Lokpersonal stark von Lohn und Arbeitsbedingungen abhängt und die Vorstellung eines Mangels oft durch Lobbyarbeit und politische Aussagen verstärkt würde (Interview 13).

Die Ergebnisse des Validierungsfragebogens bestätigen die eher problematische Einschätzung hinsichtlich der Personalsituation. Die befragten ExpertInnen erwarten

aufgrund des Mangels an Lokpersonal grosse Kapazitäts- und Qualitätsprobleme (Abbildung 23). Darüber hinaus zeigt der Validierungsfragebogen, dass auch der Mangel an Rangierpersonal als kritisch eingestuft wird (Abbildung 24).

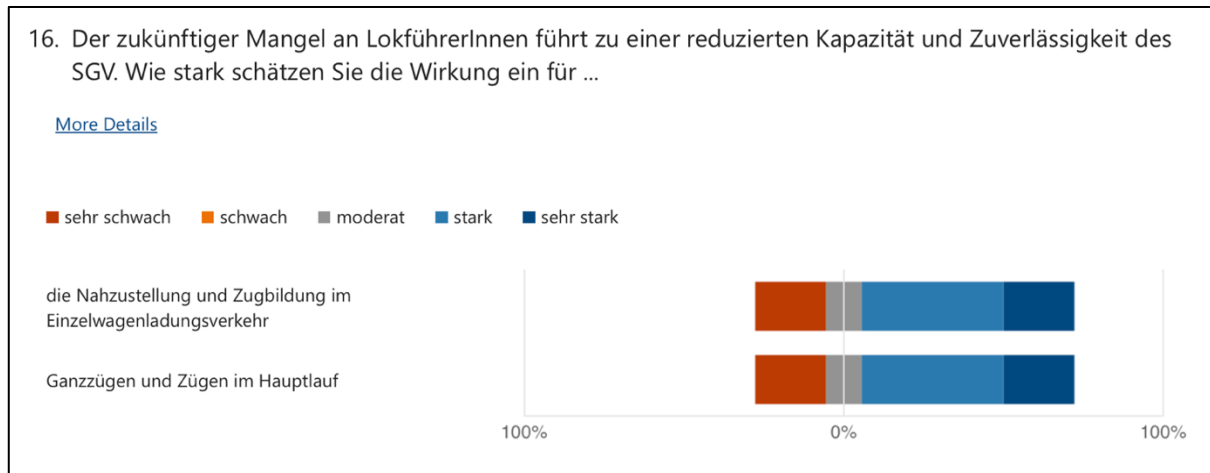


Abbildung 23: Validierungsfragebogen - Wirkung des Mangels an Lokpersonal

Um dem Personalmangel entgegenzuwirken, sind zwei Hauptansätze vielversprechend: Zum einen ist es erforderlich in die Ausbildung und Attraktivität der Berufe zu investieren, (Interview 3). Zum anderen die Implementierung von Automatisierungslösungen, die personalintensive Aufgaben reduzieren und gleichzeitig die Effizienz steigern können (Interview 4, 8, 15). Die erfolgreiche Umsetzung dieser Massnahmen könnte nicht nur den Personalmangel lindern, sondern auch die Gesamteffizienz und Wettbewerbsfähigkeit des SGV verbessern.

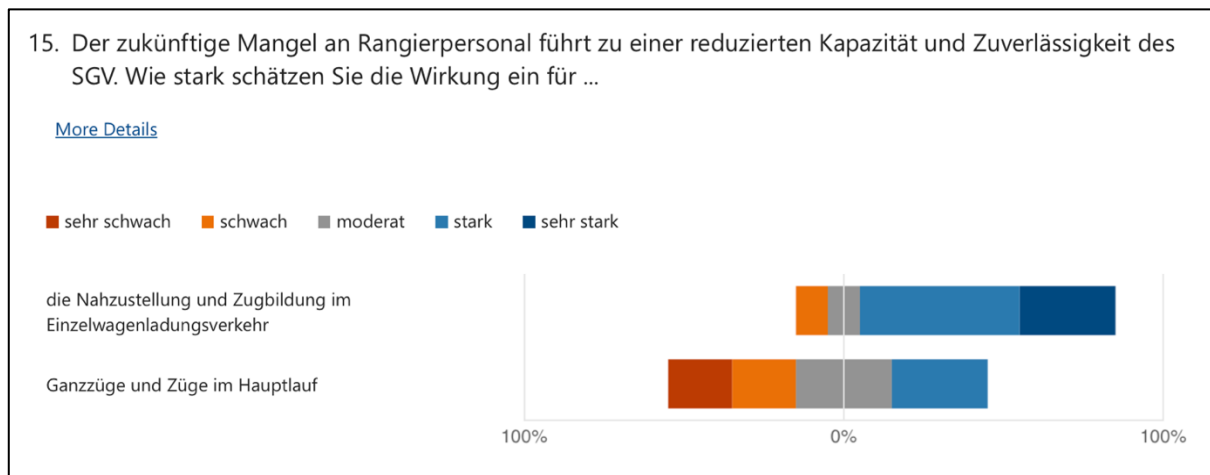


Abbildung 24: Validierungsfragebogen - Wirkung des Mangels an Rangierpersonal

5.3 Infrastrukturelle und raumplanerische Entwicklungen

Dieser Abschnitt beleuchtet die kritischen Infrastruktur- und Raumplanungsentwicklungen, innerhalb derer sich der SGV in den kommenden Jahren entwickeln wird (Abbildung 25). Die Analyse umfasst vier Aspekte, die in den folgenden Unterkapiteln detailliert betrachtet werden: Zunächst wird die wachsende Nachfrage im Schienenpersonenverkehr und deren Auswirkungen auf den SGV untersucht (Kapitel 5.3.1). Anschliessend werden die Herausforderungen des begrenzten Kapazitätsausbaus der Schieneninfrastruktur erörtert (Kapitel 5.3.2). Darauf folgt eine Betrachtung der

Folgen der urbanen Innenverdichtung für logistische Prozesse (Kapitel 5.3.3). Abschliessend wird die Bedeutung der raumplanerischen Sicherung von SGV-Anlagen diskutiert (Kapitel 5.3.4).

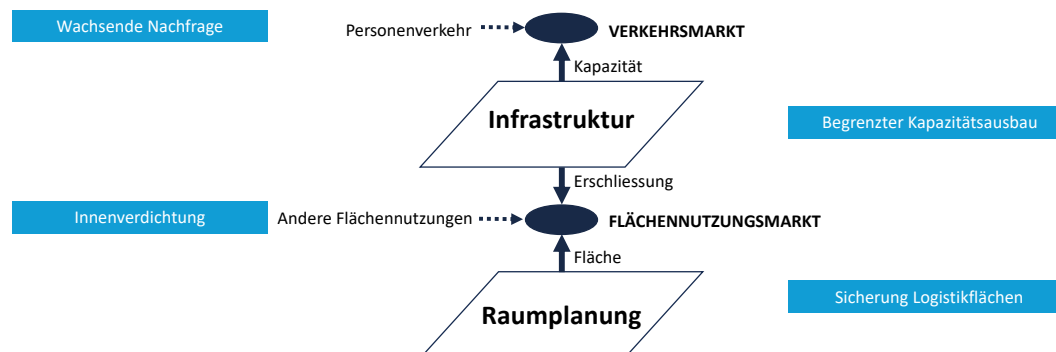


Abbildung 25: Infrastrukturentwicklungen

5.3.1 Wachsende Nachfrage im Schienenpersonenverkehr

Der Mischverkehr von Personen- und Güterzügen auf dem Schienennetz führt zu einer direkten Wechselwirkung zwischen den Kapazitäten beider Sektoren. Die ambitionierten Verkehrsverlagerungsziele im Personenverkehr verschärfen die Nutzungskonkurrenz um die begrenzten Trassenkapazitäten zusätzlich (Stuhr, Karch, Schneider, 2023).

Trotz klar definierter Ziele und Massnahmen zur Bereitstellung und Sicherung von Trassen für den Güterverkehr äusserte eine der ExpertInnen Zweifel daran, ob diese in der Praxis tatsächlich uneingeschränkt umgesetzt werden, insbesondere bei Konflikten mit dem Personenverkehr (Interview 5). Mehrere ExpertInnen betonten, dass die Priorisierung des Personenverkehrs (Interview 1, 2, 4, 12, 15), insbesondere in Bezug auf Taktfahrpläne und die Ausdehnung in zeitliche Randbereiche (Interview 10, 18), die Flexibilität des Güterverkehrs einschränkt.

5.3.2 Herausforderungen beim Kapazitätsausbau der Schieneninfrastruktur

Auf bestimmten Strecken des Schweizer Schienennetzes bestehen gegenwärtig Kapazitätsprobleme. Der geplante Ausbauschritt 2035 (STEP) zielt darauf ab, diese akuten Engpässe zu beseitigen. Allerdings zeigen Prognosen, dass diese Ausbauten auf einigen Streckenabschnitten voraussichtlich nicht ausreichen werden, um die prognostizierte Nachfrage bis 2050 zu bewältigen. So kommt eine Studie des Kantons Zürich (EBP, 2023) zu dem Schluss, dass die bis 2035 geplanten Ausbauten zwar die derzeitigen Kapazitätsprobleme lösen werden, jedoch bis 2050 erneut Kapazitätsengpässe zu erwarten sind (Abbildung 26). Um diesem langfristigen Bedarf gerecht zu werden, ist nach 2035 ein weiterer Ausbauschritt vorgesehen.

	Strecke	2018/2022		2035		2050	
		Anz. Trassen Regelstunde (HVZ)	Auslastung	Anz. Trassen Regelstunde (HVZ)	Auslastung	Anz. Trassen Regelstunde (HVZ)	Auslastung
Limmattal	Dietikon–Schlieren	← 3 (2) → 6 (4)	112% 72%	← 3 (3) → 10 (8)	79% 50%	← 3 (3) → 10 (8)	97% 61%
	Allstetten–Vorbahnhof	← 2 (2) → 2 (2)	89% 83%	← 3 (3) → 3 (5)	70% 56%	← 3 (3) → 3 (5)	85% 68%
	Allstetten–Hard–Oerlikon	← 1 (0) → 4 (2)	173% 77%	← 0 (0) → 8 (6)	>100% 51%	← 0 (0) → 8 (6)	>100% 58%
Furttal	Regensdorf–Seebach	← 5 (3) → 2 (1)	52% 49%	← 8 (8) → 2 (2)	31% 44%	← 8 (8) → 2 (2)	39% 52%
Linkes Seeufer	Thalwil–Pfäffikon SZ	← 2 (2) → 2 (2)	74% 68%	← 2 (2) → 2 (2)	79% 73%	← 2 (2) → 2 (2)	90% 83%
Zürich– Winterthur	Opfikon–Bassersdorf	← 2 (1) → 3 (2)	100% 60%	← 4 (4) → 4 (4)	56% 74%	← 4 (4) → 4 (4)	68% 89%
	Effretikon–Winterthur	← 2 (1) → 3 (2)	109% 71%	← 1 (1) → 0 (0)	83% >100%	← 1 (1) → 0 (0)	98% >100%
	Brüttenertunnel	-	-	← 4 (4) → 4 (4)	43% 61%	← 4 (4) → 4 (4)	49% 70%
		-	-				
Unterland	Glattpfug–Bülach	← 4 (2) → 4 (2)	41% 44%	← 4 (2) → 4 (2)	53% 54%	← 4 (2) → 4 (2)	58% 58%

Abbildung 26: Auslastung von Trassen auf ausgewählten Strecken im Kanton Zürich im Jahre 2022, 2035 und 2050. (EBP, 2023)

Die ExpertInneninterviews bestätigen den Bedarf an Kapazitätserweiterungen (z.B. Interview 11, 14). Es wird darauf hingewiesen, dass die geplanten Ausbauschritte bis 2035 zwar zusätzliche Kapazität schaffen werden, diese allein aber nicht ausreichen, um eine signifikante Verlagerung des Güterverkehrs auf die Schiene zu erreichen (Interview 17). Neben dem Ausbau der Streckenkapazität wird die Notwendigkeit betont, auch die Infrastruktur für SGV-Anlagen zu erweitern und zu modernisieren (Interview 1, 4, 16).

Eine Möglichkeit, die Kapazität des Schienengüterverkehrs zu erhöhen, besteht in der Nutzung längerer und schwererer Züge. Dadurch kann ein grösseres Transportvolumen mit weniger Fahrten bewältigt werden, was nicht nur die Infrastruktur effizienter auslastet, sondern auch die Kosten und den Fahrstromverbrauch pro Tonnenkilometer senkt (Allianz pro Schiene, 2016). Die ExpertInneninterviews zeigen, dass hier durchaus Potenzial gesehen wird, jedoch auch Herausforderungen bestehen. Einerseits wird argumentiert, dass längere Züge die Kapazität erhöhen könnten (Interview 2). Zudem könnte die Wirtschaftlichkeit verbessert werden, da die maximalen Gewichte und Längen derzeit oft nicht ausgeschöpft werden (Interview 10). Andererseits stehen diesen Überlegungen infrastrukturelle Beschränkungen gegenüber. Viele SGV-Anlagen und Streckenabschnitte sind nicht für solch lange Züge ausgelegt, was umfangreiche Anpassungen erfordern würde (Interview 3, 11). Zudem gibt es auch Argumente für kürzere Züge, insbesondere im Hinblick auf Flexibilität und häufigere Verbindungen (Interview 4).

5.3.3 Innenverdichtung und ihre Auswirkungen auf den Güterverkehr

Die Schweizer Bevölkerung wird Prognosen zufolge bis 2050 um etwa 20 Prozent wachsen, wobei sich dieses Wachstum vorwiegend auf die Agglomeration Zürich und den Raum Genfersee konzentrieren wird. Als Reaktion darauf setzt die Revision des Raumplanungsgesetzes auf eine Verdichtung und Siedlungsentwicklung nach innen (ARE, 2022). Diese Entwicklung führt zu einer verstärkten Konkurrenz um die begrenzten Flächen in urbanen Gebieten. Logistikflächen stehen dabei zunehmend in Wettbewerb mit Wohn- und Geschäftsnutzungen (Stadt Zürich, 2023).

Gleichzeitig wächst der Bedarf an lebenswerten Stadträumen, was eine Neuaufteilung des Strassenraums nach sich zieht. In der Folge wird generell weniger Verkehrsraum für den motorisierten Individualverkehr zur Verfügung gestellt, da dieser zugunsten des öffentlichen Verkehrs und der Radwege umgewidmet wird. Ein konkretes Beispiel für diesen Wandel bietet die Stadt Zürich mit ihrer Mobilitätsstrategie für das Jahr 2040 (Stadt Zürich, 2023). Diese sieht eine grundlegende Neuausrichtung in der Nutzung des Strassenraums vor. Während der Strassenraum heute primär dem Autoverkehr gewidmet ist, strebt die Stadt für die Zukunft eine vielfältigere Nutzung an. Ziel ist es, den Strassenraum sowohl für umweltfreundliche Fortbewegung als auch für Aufenthalt und soziale Interaktion zu öffnen (Abbildung 27).



Abbildung 27: Neuaufteilung des Strassenraums in der Dachstrategie Mobilität 2040 der Stadt Zürich. (Stadt Zürich, 2023, S.12)

Zudem werden die von Logistikflächen ausgehenden Verkehrsbelastungen aufgrund des erzeugten Lärms und der Emissionen kritisch betrachtet. Die Akzeptanz solcher Anlagen in der Nähe von Wohngebieten sinkt zusehends. Diese Entwicklungen setzen bestehende Logistikflächen und SGV-Anlagen unter Druck und erschweren die Etablierung neuer Anlagen (Stadt Zürich, 2023).

Die ExpertenInneninterviews bestätigen die zunehmende Flächenkonkurrenz in urbanen Gebieten als zentrale Herausforderung (Interview 7, 12). Sie bestätigen, dass durch Urbanisierung und Innenverdichtung der Druck auf Flächen stetig zunimmt, und dies zu Konflikten zwischen verschiedenen Nutzungsansprüchen führt, wobei Logistikflächen oft in Konkurrenz zu Wohn- und Geschäftsnutzungen stehen. Dies wiederum führt zu Schwierigkeiten, innovative Logistiklösungen mit städtebaulichen Zielen und Anwohnerinteressen in Einklang zu bringen.

Die Ergebnisse des Validierungsfragebogens unterstreichen die Herausforderungen, die sich aus der Innenverdichtung für den Güterverkehr ergeben. Die befragten ExpertInnen erwarten Engpässe bei Rangier- und Umschlagskapazitäten aufgrund der zunehmenden Flächenknappheit in urbanen Gebieten (Abbildung 28).

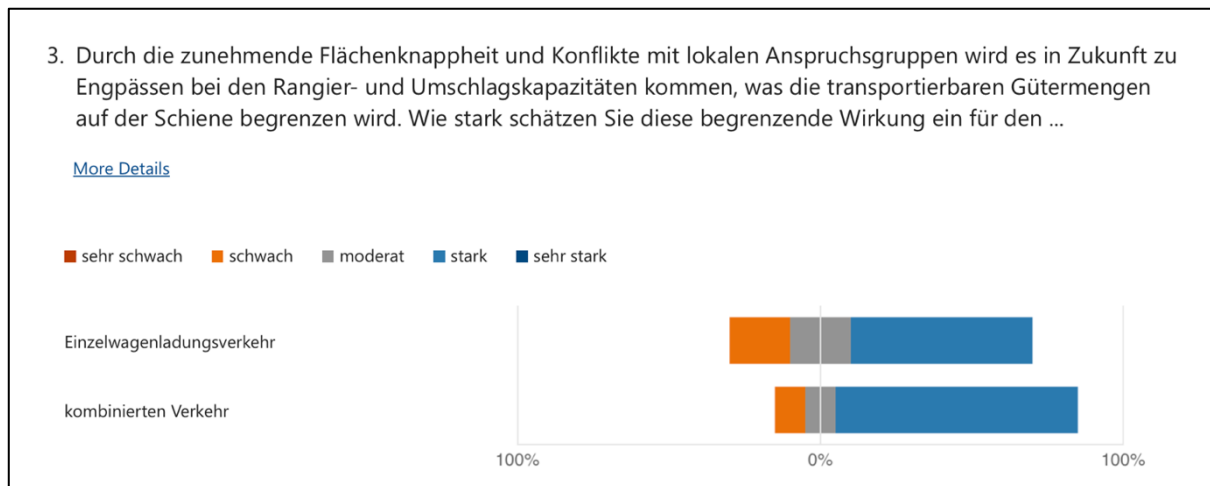


Abbildung 28: Validierungsfragebogen - Wirkung der Flächenkonkurrenz

5.3.4 Raumplanerische Sicherung von Güterverkehrsanlagen

Bei den Behörden wächst das Bewusstsein für die Bedeutung von Güterverkehrsanlagen im urbanen Raum, als auch für die Herausforderungen, denen diese Anlagen aufgrund des Siedlungsdrucks durch die Innenverdichtung ausgesetzt sind. Dies unterstreicht die Notwendigkeit, Logistik als integralen Bestandteil nachhaltiger Siedlungsentwicklungskonzepte zu betrachten und entsprechend zu berücksichtigen. Die zuständigen behördlichen Stellen arbeiten daher proaktiv an der Schaffung günstiger Rahmenbedingungen. Ein zentraler Aspekt dieser Bemühungen ist die richtplanerische und grundeigentümerverbindliche Sicherung der Umschlagstandorte. Ein Beispiel hierfür ist die Strategie des Kantons Zürich, die solche Massnahmen explizit vorsieht (EBP, 2023). Diese planerischen Schritte sind entscheidend, um die langfristige Verfügbarkeit und Funktionsfähigkeit der Logistikinfrastruktur in urbanen Räumen zu gewährleisten.

Die Interviews mit Behördenvertretern bestätigen den zunehmenden Druck auf Flächen in urbanen Gebieten aufgrund von Urbanisierung und Innenverdichtung. Sie unterstreichen die Herausforderung, Flächen für Logistik und Umschlag nachhaltig zu sichern, wobei ehemalige Bahnflächen teilweise trotz gegenteiliger Absichten umgenutzt werden (Interview 7, 12). Die Behörden verfolgen das Ziel, Flächen für den Schienengüterverkehr richtplanerisch zu sichern (Interview 7, 12, 14). Die Interviews zeigen auch die Komplexität der Interessenabwägung in der Siedlungsentwicklung. Während die Fachbehörden die Bedeutung von Logistikflächen erkennen, gibt es oft Schwierigkeiten, andere städtische Behörden und die Öffentlichkeit von dieser Notwendigkeit zu überzeugen. Es fehlt teilweise das Verständnis dafür, dass fehlende Logistikflächen zu mehr Schwerlastverkehr und Konflikten im öffentlichen Raum führen können (Interview 7, 12).

Eine ergänzende Massnahme hierzu von behördlicher Seite ist die Sensibilisierung der Logistikbranche und relevanter Anspruchsgruppen. Ziel ist es, das Verständnis für die Bedeutung der Logistik in städtischen Gebieten zu erhöhen und die Akzeptanz für notwendige logistische Infrastrukturen zu stärken (Interview 12). Dabei wird besonders die Rolle effizienter Logistikanlagen für eine nachhaltige Siedlungsentwicklung hervorgehoben.

5.4 Synthese und Zukunftsaussichten

Die Zukunft des Schienengüterverkehrs wird durch ein komplexes Zusammenspiel verschiedener Faktoren geprägt, die eine ganzheitliche Betrachtung erfordern. Diese Entwicklungen erstrecken sich über alle Ebenen des Gütertransports und umfassen sowohl nachfrage- als auch angebotsseitige Veränderungen sowie infrastrukturelle Herausforderungen. Aus den Entwicklungen ergeben sich ein hoher Wettbewerbsdruck für den SGV auf dem Transport-, Verkehrs- und Flächennutzungsmarkt (Abbildung 29). Im Folgenden werden die wesentlichen Aspekte dieser Entwicklungen zusammengefasst, und hieraus Konsequenzen für den Schienengüterverkehr abgeleitet.

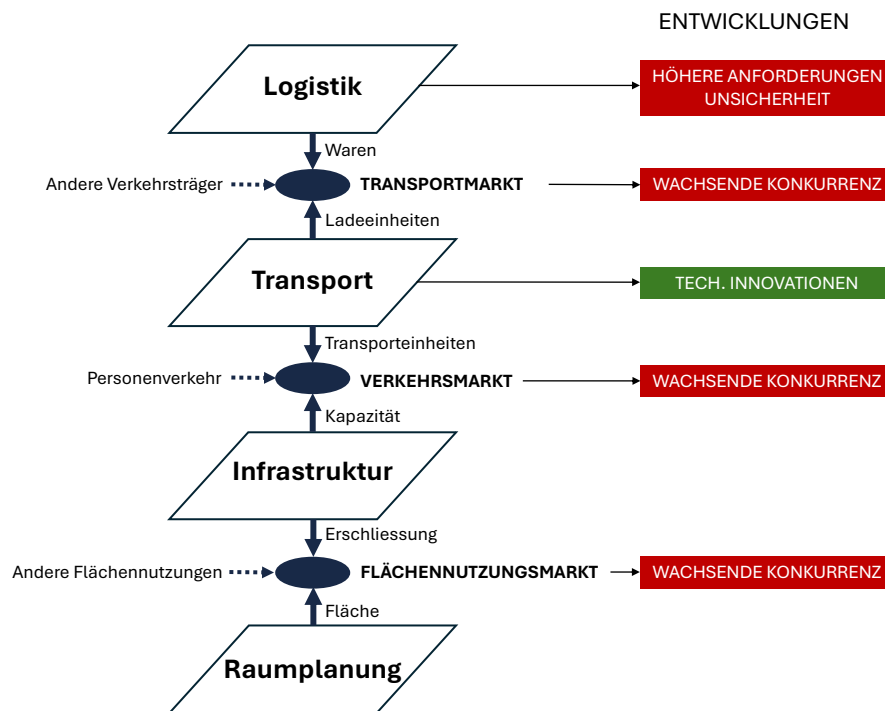


Abbildung 29: Zusammenfassung der Entwicklungen im Schienengüterverkehr.

Entwicklung der Nachfrage und des Transportmarktes

Wachsende Güterströme und ein wirtschaftlicher Strukturwandel führen zu veränderten Anforderungen an die Transportleistungen. Die Zusammensetzung des Transportvolumens verschiebt sich weiter von Massengütern zu hochwertigen Stückgütern und kleinteiligeren Sendungen über weiträumig verteilte Quellen und Ziele. Gleichzeitig steigen die Ansprüche an Transportqualität in Form von schnelleren Transporten und höherer Zuverlässigkeit. Zudem erfordern die zunehmenden Unsicherheiten in den Lieferketten Transporte von hoher Flexibilität, sowie strukturelle Flexibilität in den Logistikketten. Bessere Nachhaltigkeit der Transporte wird zunehmend vorausgesetzt; die Bereitschaft, dafür höhere Kosten zu tragen, bleibt allerdings gering. Im Transportmarkt zeichnen sich Innovationen im Strassenverkehr und Konzepte für den unterirdischen Gütertransport als potenzielle Konkurrenz für den Schienengüterverkehr ab.

Infrastrukturentwicklungen

Der Ausbau der Schieneninfrastruktur steht vor der Herausforderung, mit der prognostizierten Nachfrage Schritt zu halten. Da auch der wachsende

Schienenpersonenverkehr mehr Trassenkapazitäten benötigt, sehen die interviewten ExpertInnen für den SGV das Risiko von Kapazitätslücken.

Darüber hinaus führt die fortschreitende Innenverdichtung in Städten zu einer verstärkten Konkurrenz um begrenzte Flächen und erschwert die Sicherung sowie den Neubau von Güterverkehrsanlagen für den SGV. In diesem Kontext gewinnt die raumplanerische Sicherung von Güterverkehrsanlagen an Bedeutung, wobei Behörden zunehmend die Wichtigkeit der Integration von Logistik in nachhaltige Siedlungsentwicklungskonzepte erkennen. Dennoch bleibt die Durchsetzung logistischer Interessen auf lokaler Ebene eine Herausforderung. Die mit den Güterverkehrsanlagen einhergehende Verkehrserzeugung auf den Erschliessungsstrassen steht oft im Konflikt mit den Zielen der nachhaltigen Siedlungsentwicklung. Dies macht es schwierig, die Bedürfnisse des SGV mit den Anforderungen einer nachhaltigen urbanen Entwicklung in Einklang zu bringen.

Entwicklungen des Angebots

Die technischen Innovationen, insbesondere die DAK, Digitalisierung, Automatisierung und innovatives Rollmaterial, versprechen erhebliche Verbesserungen in Effizienz, Qualität, Sicherheit und Nachhaltigkeit. Dabei gibt es insbesondere beim EWLK und beim KV grosses Verbesserungspotenzial. Allfällige Kapazitätslücken der Infrastruktur können potenziell mit einer höheren Zugauslastung (längere oder schwerere Züge) abgedeckt werden, was allerdings entsprechende Infrastrukturen bedingt. Weitere Herausforderungen ergeben sich aus dem Fachkräftemangel, besonders beim Rangierpersonal.

6 Güterverkehrsanlagen der Zukunft

Dieses Kapitel synthetisiert die Erkenntnisse aus den vorangegangenen Analysen, um die systemischen Elemente eines zukunftsorientierten Konzepts für Güterverkehrsanlagen im SGV zu entwickeln (Leistungen 2, 3 und 4). Basierend auf den in Kapitel 5 identifizierten Entwicklungen und Herausforderungen werden hier drei zentrale Aspekte behandelt. Erstens werden die zukünftig relevanten Kriterien für die Verkehrsmittelwahl abgeleitet (Kapitel 6.1). Zweitens werden die Güterverkehrsanlagen definiert, die für diese zukunftsorientierten Produktionsnetzwerke erforderlich sind (Kapitel 6.2). Drittens werden Prinzipien zur räumlichen Analyse des Schienengüterverkehrs entwickelt (6.3).

6.1 Kriterien für zukunftsfähige Produktionsformen im SGV

Die in den vorherigen Kapiteln beschriebenen Entwicklungen im SGV bilden die Grundlage für die Ableitung von Kriterien, die zukünftig für marktgerechte Produktionsformen im SGV massgebend sein werden. In der folgenden Analyse werden diese Kriterien aus zwei komplementären Perspektiven betrachtet: Zum einen aus Sicht der Nachfrageseite (Logistikebene), die die Anforderungen der Verladenden und des Marktes widerspiegelt, zum anderen aus Sicht der Angebotsseite (Transport- und Infrastrukturebene), die die operativen und technischen Möglichkeiten des SGV berücksichtigt. Dabei werden auch die Potenziale, die sich aus den technischen Innovationen ergeben, in die Betrachtung einbezogen. Abbildung 30 visualisiert die Zusammenhänge zwischen diesen verschiedenen Aspekten und gibt einen Überblick über die im Folgenden diskutierten Kriterien.

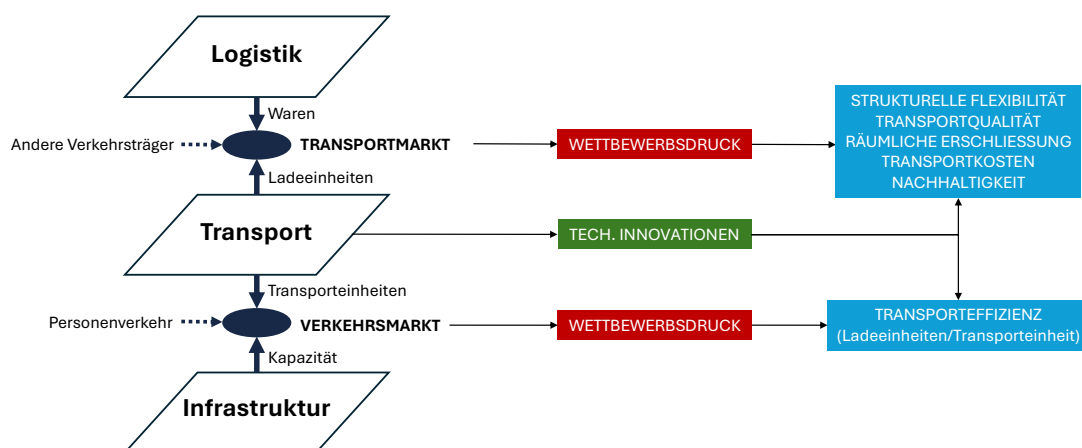


Abbildung 30: Kriterien für marktgerechte Produktionsformen

6.1.1 Nachfrageseitige Kriterien: Marktanforderungen und Kundenbedürfnisse

Aus Sicht der Nachfrageseite muss der SGV seine Wettbewerbsfähigkeit für die veränderten Warenströme steigern. Diese Veränderungen sind durch den wirtschaftlichen Strukturwandel bedingt, der zu einer Verschiebung von Massengütern hin zu hochwertigen Stückgütern führt. Konkret bedeutet dies, dass der SGV effiziente Lösungen für den Transport kleinerer Sendungsgrößen wie Paletten, Container, Wechselbrücken und einzelnen Wagenladungen anbieten muss, um mit dem Strassengüterverkehr konkurrenzfähig zu bleiben.

Gleichzeitig muss der SGV eine höhere geografische Abdeckung bieten, um der Dezentralisierung von Produktions- und Distributionsstandorten gerecht zu werden. Dies erfordert ein feinmaschiges Netz von Zugangspunkten zum SGV und flexible Lösungen für die Feinverteilung. Die Integration mit anderen Verkehrsträgern, insbesondere dem Strassenverkehr, könnte hierbei an Bedeutung gewinnen.

In Bezug auf die Transportqualität muss der SGV in mehreren Bereichen Verbesserungen erzielen. Die Gesamttransportzeit muss wettbewerbsfähig mit dem Strassenverkehr sein. Höhere Abfahrtsfrequenzen sind nötig, um Just-in-Time-Anforderungen zu erfüllen.

Der SGV muss pünktlich und zuverlässig sein, um Planbarkeit zu gewährleisten. Die Implementierung von Echtzeit-Tracking und proaktivem Störungsmanagement kann hierzu beitragen. Redundanzen im Netzwerk könnten zudem die Resilienz gegenüber Störungen erhöhen.

Trotz dieser höheren Qualitätsanforderungen müssen die Transportkosten wettbewerbsfähig bleiben. Dies erfordert Effizienzsteigerungen durch Automatisierung und Digitalisierung, insbesondere in personalintensiven Bereichen wie der Zugbildung und dem Umschlag.

Ein übergeordnetes Kriterium ist die strukturelle Flexibilität, welche die Fähigkeit von Transportdienstleistungen bezeichnet, sich an grundlegende Veränderungen und unvorhergesehene Ereignisse in der Lieferkette anzupassen. Dieses Konzept geht über die operative Flexibilität im Tagesgeschäft hinaus und umfasst die Anpassungsfähigkeit des gesamten Transportsystems an sich wandelnde Marktbedingungen und globale Herausforderungen. Strukturelle Flexibilität zielt darauf ab, die Versorgungssicherheit und Agilität der Lieferkette in einem zunehmend turbulenten Umfeld zu verbessern, um effektiv auf Nachfrageschwankungen und angebotsseitige Störungen zu reagieren. Dazu gehören robuste und resiliente Transportlösungen, die auch unter schwierigen Bedingungen zuverlässig funktionieren, sowie ausreichende Redundanzen in Angeboten und Infrastrukturen, um die Versorgungssicherheit auch in Krisenzeiten zu gewährleisten.

6.1.2 Angebotsseitige Kriterien: Anforderungen an Infrastruktur- und Produktionsprozesse

Für den SGV ergeben sich aus den oben definierten Nachfragekriterien mehrere spezifische Anforderungen: Zunächst ist ein flächendeckendes Netzwerkangebot mit vielen Punkt-zu-Punkt-Verbindungen erforderlich. Um einen flächendeckenden Netzzugang zu gewährleisten, sind kleine dezentrale Anlagen notwendig. Diese Anlagen müssen kosteneffizient betrieben werden können, was durch den Einsatz automatisierter und standardisierter Umschlagtechnologien ermöglicht werden kann.

Parallel dazu werden zentrale Anlagen zur Netzwerkintegration benötigt, die der Zugbildung und dem Schiene-Schiene-Umschlag dienen. Diese Anlagen fungieren als Drehscheiben im Netzwerk und ermöglichen die effiziente Bündelung von Warenströmen. Sie müssen in der Lage sein, grosse Mengen an Ladeeinheiten schnell und zuverlässig zu verarbeiten, um Verzögerungen im Netzwerk zu minimieren.

Um kurze Zugdurchlaufzeiten und Kosteneffizienz zu erreichen, kann die Nahzustellung und Zugbildung beziehungsweise der Umschlag (teil-)automatisiert werden. Automatisierte Rangiervorgänge, selbstfahrende Züge für die Nahzustellung und vollautomatische Umschlagprozesse in den SGV-Anlagen tragen nicht nur zur

Reduzierung von Personalkosten bei, sondern minimieren auch unproduktive Standzeiten, was die Gesamteffizienz des Systems erhöht.

Aus infrastruktureller Perspektive ist eine hohe Transporteffizienz für den SGV erforderlich. Die begrenzte Kapazität der Schieneninfrastruktur, insbesondere angesichts des wachsenden Personenverkehrs, erfordert eine optimale Nutzung. Dies kann primär durch den Transport vieler Ladeeinheiten pro Zug erreicht werden. Im Hauptlauf ist daher eine hohe Bündelung anzustreben, um die Infrastruktur effizient zu nutzen. Hier können intelligente Logistiksysteme genutzt werden, die in der Lage sind, Warenströme optimal zu konsolidieren, ohne dabei die Flexibilität und Geschwindigkeit des Gesamtsystems zu beeinträchtigen. Die Digitalisierung kann hier eine Schlüsselrolle spielen, um die erforderliche hohe Flexibilität zu gewährleisten. Sie ermöglicht eine bessere Planung, Steuerung und Überwachung der Transportprozesse. Darüber hinaus ermöglicht die Digitalisierung eine nahtlose Integration verschiedener Verkehrsträger, was für ein effizientes multimodales Transportsystem unerlässlich ist.

Schliesslich sind dekarbonisierte Antriebstechnologien sowohl beim Rollmaterial als auch bei den SGV-Anlagen notwendig, um die Nachhaltigkeitsanforderungen zu erfüllen und die Umweltauswirkungen des SGV zu minimieren. Dies kann zum Beispiel durch den Einsatz von elektrischen oder wasserstoffbetriebenen Lokomotiven auf Hauptstrecken sowie beim Rangieren und in der Nahzustellung erfolgen. In den SGV-Anlagen selbst können energieeffiziente und emissionsarme Technologien eingesetzt werden, um den ökologischen Fussabdruck des gesamten Systems zu reduzieren.

Um der Anforderung der strukturellen Flexibilität gerecht zu werden, könnte der SGV einen multimodalen und vernetzten Ansatz verfolgen. Dies würde bedeuten, dass nicht nur die einzelnen Produktionsformen optimiert werden, sondern die Produktionsformen stärker vernetzt und integriert werden. Eine solche Vernetzung von EWLK, KV und Ganzzügen böte die Möglichkeit, die spezifischen Stärken jeder Produktionsform zu nutzen und gleichzeitig Redundanzen im System zu schaffen. Durch diese Integration könnte der SGV flexibler auf Veränderungen in der Nachfrage oder auf Störungen reagieren. Beispielsweise liessen sich Güter, die normalerweise im EWLK transportiert werden, bei Bedarf schnell auf KV-Verbindungen umleiten, oder Teilladungen aus verschiedenen Produktionsformen könnten zu effizienten Ganzzügen gebündelt werden. Eine solche Vernetzung hätte das Potenzial, nicht nur die Resilienz des Gesamtsystems zu erhöhen, sondern auch die Ressourcennutzung zu verbessern und eine dynamischere Anpassung an sich ändernde Marktbedingungen zu ermöglichen. Somit könnte ein solch integrierter Ansatz dazu beitragen, die angesichts zunehmender Turbulenzen erforderliche strukturelle Flexibilität zu realisieren.

6.1.3 Marktgerechte Produktionsform: Kombination von EWLK und KV?

Obwohl technische Innovationen in vielen Bereichen Fortschritte ermöglichen, wird die Nahzustellung im EWLK ein ressourcenintensiver Kostenfaktor bleiben. Um dieses Problem zu adressieren, wird ein Ansatz vorgeschlagen, der EWLK und KV enger verknüpft. Dieser sieht vor, den EWLK auf Versender mit grossen Volumen zu konzentrieren, während kleinere Volumen über KV-Linienzüge abgewickelt werden. Im Hauptlauf würden EWLK- und KV-Volumen kombiniert. Dieses Konzept erfordert ein Netzwerk aus dezentralen Erschliessungsknoten und zentralen Netzwerkhub. Es

verspricht, die Stärken beider Produktionsformen zu nutzen und ihre Schwächen auszugleichen.

Die ExpertInneninterviews geben ebenfalls teilweise Hinweise auf das Potenzial einer engeren Vernetzung von EWLK und KV. Neue SGV-Anlagen sollten daher die Möglichkeit bieten, sowohl konventionelle Waren als auch KV-Ladungen zu handhaben. Dies könnte zu einem flexibleren Zugangssystem zur Güterbahn führen (Interview 10). Die ExpertInnen sehen auch Potenzial in innovativen Konzepten wie Linienzügen oder einem "Cargo-Metro"-System durch die Schweiz, die Elemente von EWLK und KV kombinieren könnten. Dabei wird auch eine bessere Standardisierung als sinnvoll erachtet, wobei Wagen flexibel genutzt werden können (Interview 19). Allerdings wird betont, dass solche Konzepte preislich attraktiv sein müssen, um mit bestehenden Angeboten konkurrieren zu können (Interview 5). Trotz des Potenzials für Synergien warnen einige ExpertInnen vor einer möglichen Kannibalisierung zwischen den Konzepten. Sie betonen, dass jede Produktionsform ihre spezifischen Stärken hat und dass es wichtig ist, diese zu erhalten. So wird betont, dass der EWLK insbesondere bei kurzen Strecken und für bestimmte Warengruppen oft effizienter ist, wenn lokal gebündelt werden kann, und dass er in Bezug auf die Ladekapazität pro Wagen Vorteile gegenüber dem KV bietet (Interview 11). Diese Sichtweise wird durch weitere ExpertInnen bestätigt, die hervorheben, dass der EWLK für bestimmte Warengruppen weiterhin zentral ist, für die im KV keine geeignete Transportgefäße zur Verfügung stehen (Interview 18). Gleichzeitig wird auch das Potenzial für eine gewisse Verlagerung vom EWLK zum KV gesehen, insbesondere wenn Bedienpunkte des EWLK eingestellt werden (Interview 16).

Die Ergebnisse des Validierungsfragebogens offenbaren eine stark divergierende Meinung unter den ExpertInnen bezüglich einer flexibleren Integration von KV und EWLK. Insbesondere das Konzept, die Nahzustellung im EWLK flexibel zwischen Schiene und Strasse aufzuteilen, um Gütermengen im Hauptlauf auf der Schiene zu halten, führte zu einer Dreiteilung der ExpertInnenmeinungen. Jeweils ein Drittel der Befragten befürwortet diesen Ansatz, steht ihm neutral gegenüber oder lehnt ihn ab (Abbildung 31).

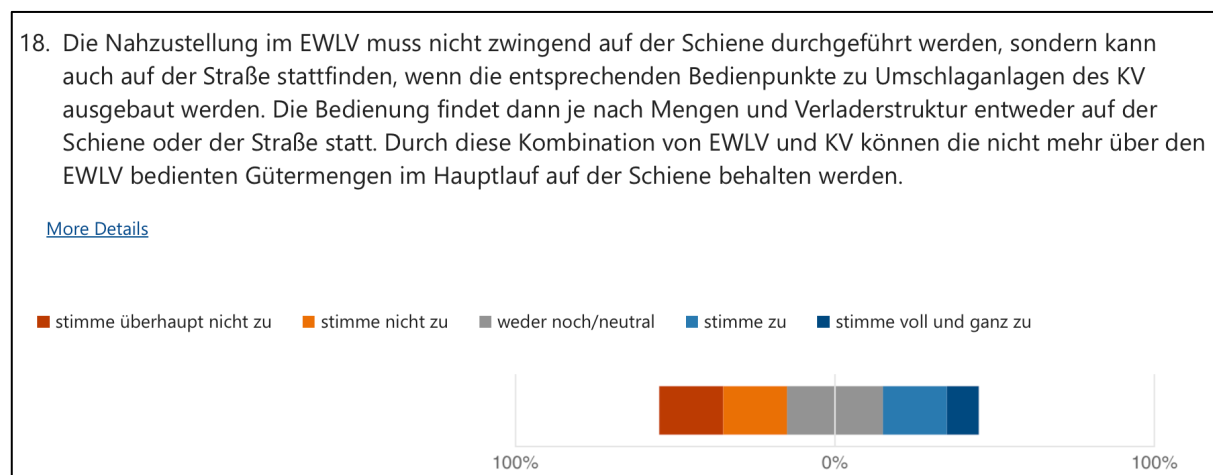


Abbildung 31: Validierungsfragebogen - Kombination von EWLK und KV

Diese geteilte Meinung unterstreicht die Komplexität und die potenziellen Herausforderungen bei der Umsetzung eines solch integrierten Ansatzes. Sie verdeutlicht, dass es keine einheitliche Sichtweise auf die optimale Gestaltung der Vernetzung zwischen EWLK und KV gibt. Die unterschiedlichen Standpunkte könnten auf

verschiedene Faktoren zurückzuführen sein, wie beispielsweise unterschiedliche Einschätzungen der operativen Machbarkeit des Transports von unterschiedlichen Warengruppen.

6.2 Definition und funktionale Anforderungen der Güterverkehrsanlagen

Aufbauend auf den in Kapitel 6.1 definierten Kriterien für marktgerechte Produktionsformen werden in diesem Abschnitt die funktionalen Anforderungen an die Knotenpunkte des Schienengüterverkehrsnetzes definiert. Diese Anforderungen berücksichtigen sowohl die Bedürfnisse der Nachfrage- als auch der Angebotsseite.

6.2.1 Kategorisierung der Güterverkehrsanlagen

Basierend auf den identifizierten Anforderungen lassen sich zwei Hauptkategorien von Güterverkehrsanlagen definieren.

Die erste Kategorie bilden die Hauptknoten, auch als multimodale Umschlagsplattformen bezeichnet. Hierbei handelt es sich um grossskalige Anlagen, die vorwiegend in Agglomerationen angesiedelt sind. Sie erfüllen eine duale Funktion: Einerseits dienen sie der Erschliessung der Agglomeration selbst, andererseits übernehmen sie eine wichtige Netzwerkfunktion durch den Umschlag von Schiene zu Schiene. Als zentrale Drehscheiben im Netzwerk ermöglichen diese Güterverkehrsanlagen eine effiziente Bündelung von Warenströmen und optimieren somit den überregionalen Güterverkehr. Ergänzend zu diesen Kernaufgaben stellen sie Flächen für erweiterte Logistikfunktionen bereit, wobei ein besonderer Fokus auf der City-Logistik liegt. Diese Multifunktionalität macht die Hauptknoten zu Schlüsselementen in der Gestaltung effizienter und nachhaltiger Güterverkehrskonzepte für die Schweiz und die urbanen Räume.

Die zweite Kategorie umfasst die Erschliessungsknoten. Dies sind kleinskalige Anlagen, deren Hauptfunktion der Netzzugang durch Gleisanschlüsse oder den Umschlag von Strasse zu Schiene ist. Sie ermöglichen einen flächendeckenden Zugang zum Schienengüterverkehrsnetz.

Beide Anlagenkategorien weisen gemeinsame funktionale Betriebsmerkmale auf. Dazu gehören ein automatisiertes Check-In sowohl strassen- als auch schienenseitig, ausreichend lange und beidseitig mit dem Hauptnetz verbundene Ladegleise zur Ermöglichung von Zugein- und -ausfahrt ohne Rangieren, ein (teil-)automatisierter Umschlag, sowie lange Öffnungszeiten für erhöhte Flexibilität und bessere Auslastung.

Das automatisierte Check-In erhöht die Effizienz durch Reduzierung von Wartezeiten und Personalaufwand. Es verbessert zugleich die Flexibilität, indem es einen reibungsloseren Zugang zur Güterverkehrsanlage ermöglicht. Zur Kostenoptimierung trägt es durch die Verringerung des Personalbedarfs bei. Lange Ladegleise, die beidseitig mit dem Hauptnetz verbunden sind, steigern die Effizienz, indem sie zeitaufwändige Rangiervorgänge minimieren. Sie erhöhen die Flexibilität durch die Möglichkeit, verschiedene Zuglängen ohne Umstellung zu bedienen. Kostenvorteile ergeben sich aus der Reduzierung von Rangieraufwand und -zeit. Der (teil-)automatisierte Umschlag verbessert die Effizienz durch schnellere und präzisere Abläufe. Er trägt zur Flexibilität bei, indem er eine gleichmässige Leistung über längere Zeiträume ermöglicht.

Kosteneinsparungen resultieren aus dem geringeren Personalbedarf und der Reduzierung von Handhabungsfehlern. Lange Öffnungszeiten erhöhen die Flexibilität, indem sie eine bessere Anpassung an Kundenanforderungen ermöglichen. Sie steigern die Effizienz durch eine gleichmässige Auslastung der Anlagen. Zur Kostenoptimierung tragen sie durch eine verbesserte Nutzung der vorhandenen Infrastruktur bei.

6.2.2 Funktionale und betriebliche Anforderungen an die Güterverkehrsanlagen

Die funktionalen Anforderungen an die SGV-Anlagen lassen sich, basierend auf dem in Kapitel 3 entwickelten Analysemodell, in vier Hauptkategorien unterteilen:

Im Bereich der Transportfunktionen ist zunächst der Umschlag von Strasse zu Schiene zu nennen, der den multimodalen Zugang zum Schienennetz ermöglicht. Ebenso wichtig ist der Umschlag von Schiene zu Schiene, der die effiziente Bündelung und Verteilung von Warenströmen unterstützt. Pufferlager für Ladeeinheiten erhöhen die Flexibilität und ermöglichen eine bessere Anpassung an Nachfrageschwankungen. Schliesslich sind Rangier- und Zugbildungsfunktionen notwendig für die Zusammenstellung effizienter Züge im Hauptlauf.

Bei der strassenseitigen Infrastruktur sind Ladestationen für E-LKW von Bedeutung, um die Dekarbonisierung des Vor- und Nachlaufs zu unterstützen. Zusätzlich spielt die Bereitstellung von Einrichtungen für Fahrpersonal, wie Sanitäranlagen und Verpflegungsmöglichkeiten, eine wesentliche Rolle. Solche Massnahmen verbessern nicht nur die Arbeitsbedingungen, sondern können auch die Attraktivität der Branche erhöhen und dazu beitragen, dem Fachkräftemangel entgegenzuwirken.

Im Bereich der Logistikfunktionen sind Flächen für Kommissionierung und Lagerung vorgesehen, die die Integration zusätzlicher Wertschöpfungsaktivitäten ermöglichen und effiziente urbane Logistiklösungen fördern. Die spezifischen Anforderungen und Funktionen dieser Flächen hängen massgeblich von den transportierten Güterarten sowie der räumlichen Anordnung der Schienengüterverkehrsanlagen ab. Der Sachplan Verkehr unterscheidet hierbei verschiedene Kategorien von Verladeanlagen: Anlagen für Industriecluster, Anlagen für regionale Logistikcluster, Anlagen in Agglomerationen für Industrie und Citylogistik sowie Anlagen in Nebenzentren und ländlichen Räumen, die Mischfunktionen erfüllen (ARE, 2021).

Hinsichtlich der raumplanerischen Anforderungen ist eine hohe Flächeneffizienz von entscheidender Bedeutung, um der zunehmenden Flächenkonkurrenz in urbanen Räumen zu begegnen. Angestrebt wird eine konfliktarme Integration in Siedlungsnähe, welche die Nähe zu Nachfragezentren bei gleichzeitiger Minimierung negativer Auswirkungen auf die Wohnqualität ermöglicht. Eine hohe Flächeneffizienz trägt zur Gesamteffizienz bei, indem sie eine optimale Nutzung des verfügbaren Raums ermöglicht und die Flexibilität durch die Integration verschiedener Funktionen auf begrenztem Raum erhöht. Zur Kostenoptimierung trägt sie durch die Reduzierung von Grundstückskosten und eine bessere Ausnutzung der Infrastruktur bei. Darüber hinaus unterstützt sie die nachhaltige Raumentwicklung durch Minimierung des Flächenverbrauchs.

Die konkrete Ausgestaltung und Gewichtung dieser Funktionen und Anforderungen variiert je nach Anlagenkategorie und spezifischem Standort. Hauptknoten decken

tendenziell ein breiteres Spektrum an Funktionen ab, während Erschliessungsknoten sich auf die Kernfunktionen des Umschlags und der lokalen Erschliessung konzentrieren. Eine mögliche Zuordnung der Funktionen zu den Kategorien wird in Tabelle 4 dargestellt.

Tabelle 4: Funktionale Anforderungen der Güterverkehrsanlagen

	Haupt-Knoten	Erschliessungs-Knoten
Transportfunktionen		
Umschlag Strasse-Schiene	x	x
Umschlag Schiene-Schiene	x	
Pufferlager für Ladeeinheiten	x	x
Rangieren/Zugbildung	x	
Transport-Infrastruktur		
Ladestation E-Lkw	x	x
Infrastruktur für Fahrer (Sanitäreinrichtungen, Verpflegung, etc.)	x	x
Logistikfunktionen		
Logistikflächen (Kommissionierung, Lager, City Logistik)	x	
Raumplanung		
Flächeneffizienz	x	x
Konfliktarm (Siedlungsnähe)	x	x

6.3 Räumliche Erschliessung und Verortung

Die zunehmende Urbanisierung und der damit einhergehende Siedlungsdruck stellen den SGV vor erhebliche Herausforderungen. Flächen für SGV-Anlagen sind knapp, und der Verkehr für Zustellung und Abholung der intermodalen Ladeeinheiten auf der Strasse erzeugt Konflikte mit der lokalen Bevölkerung. Um diesen Herausforderungen zu begegnen, werden Prinzipien zur räumlichen Analyse des SGV entwickelt, die sowohl eine Netzwerkperspektive als auch eine lokale Perspektive berücksichtigen.

6.3.1 Netzwerkperspektive: Effiziente Erschliessung und flächendeckende Abdeckung

Die Netzwerkperspektive befasst sich mit der Erschliessung und Abdeckung von Räumen durch den SGV. Aus den nachfrageseitigen Kriterien (siehe Abschnitt 6.1.1) ergibt sich, dass der SGV eine möglichst hohe geografische Abdeckung gewährleisten muss, um der zunehmenden Dezentralisierung von Produktions- und Distributionsstandorten gerecht zu werden. Dabei stellt sich die Frage, ob dieses Ziel besser durch eine grössere Anzahl kleiner, dezentraler Anlagen oder durch wenige leistungsfähige, zentralisierte Anlagen erreicht werden kann.

Zentralisierte Anlagen bieten aus der Angebotsperspektive erhebliche Vorteile, da sie aufgrund ihrer höheren Kapazitäten kosteneffizient betrieben werden können. Dies führt zu geringeren Stückkosten pro Einheit und ermöglicht einen effizienteren Gütertransport im Hauptlauf auf der Schiene. Allerdings gehen mit zentralisierten Anlagen auch

Nachteile einher, die sich aus prognostizierten Entwicklungen der Nachfrage und raumplanerischen Veränderungen ergeben.

Der wirtschaftliche Strukturwandel trägt dazu bei, dass sich Güterströme zunehmend fragmentieren und sich weiträumig verteilen. Transporte grosser Mengen auf festen Routen – etwa als Wagengruppen, Ganzzüge oder komplette Binnenschiffe – nehmen ab, während der Anteil kleinerer Sendungen wie Lkw-Ladungen, Wagenladungen oder noch kleinerer Einheiten zwischen weiträumig verteilten Quellen und Zielen steigt. In diesem Kontext erhöhen zentralisierte Anlagen die Distanzen für die kostenintensive Feinverteilung, sei es auf der Strasse im KV oder bei der Nahzustellung von Waggons im EWL. Diese längeren Transportwege führen zu höheren Kosten und einer grösseren Umweltbelastung. Somit wird der Transport auf der Schiene für viele Güterströme weniger konkurrenzfähig und aus Nachhaltigkeitsperspektive weniger effektiv.

Ein weiteres zentrales Kriterium auf der Nachfrageseite ist die strukturelle Flexibilität, also die Fähigkeit von Transportsystemen, sich an grundlegende Veränderungen und unvorhergesehene Ereignisse in der Lieferkette anzupassen. Hierbei spielen sowohl robuste und resiliente Transportlösungen als auch ausreichende Redundanzen in Angebot und Infrastruktur eine wesentliche Rolle, um die Versorgungssicherheit – auch in Krisenzeiten – zu gewährleisten. Zentralisierte Anlagen bieten jedoch weniger Redundanz als dezentrale Strukturen, die bei einem Ausfall einer Anlage eine grössere Flexibilität ermöglichen.

Zusätzlich weisen zentralisierte Anlagen einen grösseren Platzbedarf für Ladegleise und Pufferlager pro Standort auf. Sie ziehen zudem ein höheres Verkehrsaufkommen an, sowohl auf der Schiene als auch auf der Strasse im Falle von KV-Anlagen. Ab einer gewissen Grösse werden diese Anforderungen raumplanerisch problematisch: Zum einen ist es aufgrund des hohen Siedlungsdrucks in urbanen Räumen schwierig, ausreichend Flächen bereitzustellen, da diese oft für andere Nutzungen wie Wohn- oder Gewerbeflächen priorisiert werden. Zum anderen kann das erhöhte Verkehrsaufkommen an zentralisierten Standorten Konflikte mit den Zielen der Verkehrsreduzierung und -beruhigung auslösen.

Ein dezentrales System aus vielen kleinen Erschliessungsknoten bietet eine vorteilhaftere Lösung, um einen flächendeckenden Zugang zum Schienengüterverkehrsnetz zu ermöglichen. Es reduziert die Umschlagsvolumina pro Knoten, was zu einem geringeren Platzbedarf für Ladegleise und Pufferlager führt. Dieser Ansatz ist besonders in urbanen Gebieten vorteilhaft, da kleinere Anlagen sich besser in bestehende Strukturen integrieren lassen. Gleichzeitig fördern dezentrale Anlagen eine ausgewogenere Verteilung der Logistikaktivitäten, was wiederum Arbeitsplätze und wirtschaftliche Vorteile in verschiedenen Regionen sichern und schaffen kann.

Darüber hinaus ermöglichen kleinere, dezentrale Anlagen eine bessere räumliche Erschliessung. Für fragmentierte und weiträumig verteilte Güterströme bieten sie kürzere Transportwege für die Feinverteilung, was Kosten, Emissionen und Lieferzeiten reduziert. Zudem wird das Verkehrsaufkommen für die Feinverteilung pro Standort verringert, wodurch Belastungen und Emissionen in Wohngebieten sinken. Die Verteilung der Verkehrsbelastung auf mehrere Standorte trägt dazu bei, mögliche Konflikte zu entschärfen und die raumplanerische Sicherung von Flächen für Güterverkehrsanlagen zu erleichtern.

Ein weiterer Vorteil dezentraler Strukturen liegt in ihrer höheren strukturellen Flexibilität. Sie können besser auf lokale Schwankungen und spezifische Anforderungen reagieren. Zudem hat der Ausfall einer Anlage aufgrund der grösseren Anzahl an Standorten weniger Auswirkungen auf das Gesamtsystem.

Allerdings bringen dezentrale Strukturen auch Herausforderungen mit sich. Sie bieten geringere Skaleneffekte, da kleinere Anlagen oft höhere Betriebskosten pro Einheit verursachen, beispielsweise durch Personal- oder Energiekosten. Hinzu kommt die höhere Komplexität: Das Management eines dezentralen Netzwerks erfordert eine höhere Koordination der Prozesse und Kommunikation, was den Aufwand erhöht. Um die Kosteneffizienz trotz geringerer Einheiten pro Anlage zu gewährleisten, gibt es jedoch vielversprechende Entwicklungen, wie etwa die Digitalisierung, Automatisierung oder innovative Umschlagssysteme, die platzsparend und effizient sind. Darüber hinaus ermöglicht die Digitalisierung einen effizienten Betrieb auch bei Netzwerken mit hoher Komplexität.

Für eine flächendeckende Abdeckung und effiziente Erschliessung erweist sich aus der Netzwerkperspektive ein hybrides Modell als vorteilhaft. Dieses kombiniert zentrale, leistungsfähige Anlagen mit strategisch verteilten, kleineren Knotenpunkten, um die jeweiligen Vorteile beider Ansätze optimal zu nutzen.

6.3.2 Lokale Perspektive: Standortoptimierung und städtebauliche Integration

Die im Kapitel 5 dargelegten Entwicklungen im Schienengüterverkehr, wie das Wachstum des Güterverkehrs, die steigende Nachfrage nach Logistikdienstleistungen und die zunehmende Flächenknappheit, beeinflussen die räumliche Verortung von Anlagen erheblich. Der Sachplan Verkehr, Teil Programm des Bundesamts für Raumentwicklung bestätigt, dass diese Trends dazu führen, dass Logistikstandorte in Städten und Agglomerationen oft an raumplanerisch unerwünschten oder verkehrlich ungünstigen Lagen entstehen. Gleichzeitig gehen geeignete Standorte durch den wachsenden Siedlungsdruck zunehmend verloren (ARE, 2021). Aus lokaler Perspektive können geeignete Standorte durch zwei zentrale Prinzipien definiert werden: die strategische Anbindung an das Bahnnetz und die städtebauliche Integration in urbane Strukturen.

Aus der angebotsseitigen Perspektive ist eine strategisch günstige Lage zum Bahnnetz entscheidend, da sie eine optimale Anbindung an das übergeordnete Schienennetz gewährleistet. Die Nähe zu Hauptstrecken sollte hierbei ein zentrales Kriterium sein, da sie eine schnelle und effiziente Ein- und Ausfahrt der Züge ermöglicht. Dies führt zu kürzeren Transportzeiten und höherer Effizienz. Kleinere Erschliessungsanlagen entlang bestehender Hauptstrecken bieten zudem aus raumplanerischer Sicht Vorteile: An Standorten, die bereits stark durch Schienengüterverkehr frequentiert werden, sind die zusätzlichen Auswirkungen – wie Lärm und Emissionen – vergleichsweise geringer als bei Anlagen in Gebieten ohne vorherige Schienenverkehrsaktivitäten.

Aus der raumplanerischen Perspektive ist der zunehmende Siedlungsdruck ein zentrales Thema. Verkehrsbelastungen durch Lärm und Emissionen von Logistikflächen stossen in Wohngebieten auf immer weniger Akzeptanz, was die Nutzung bestehender Flächen erschwert und die Planung neuer Anlagen herausfordernd macht. Umso wichtiger ist die städtebauliche Integration der Anlagen. Dies umfasst sowohl die strategische Lage in der

Agglomeration als auch die Anbindung an das lokale Strassennetz. Die Zufahrt sollte idealerweise über Hauptverkehrsstrassen erfolgen, um Belastungen in sensiblen Wohngebieten zu minimieren. Ausserdem sollten Logistikanlagen bevorzugt an Standorten errichtet werden, die keinen oder nur geringen Einfluss auf lebenswerte Siedlungsräume haben.

Ein anschauliches Beispiel für die Herausforderungen bei der Integration neuer Logistikkonzepte in urbane Strukturen bietet die Ablehnung der geplanten „Cargo sous terrain“ (CST) Logistik-Hubs durch die Stadt Zürich. Aus Sicht der Stadt kollidieren die vorgeschlagenen Standorte mit bestehenden Nutzungen und städtebaulichen Zielen. Insbesondere bestehen Bedenken hinsichtlich des zusätzlichen Verkehrsaufkommens in Wohngebieten (Stadt Zürich, 2024).

7 Schlussfolgerungen

Diese Grundlagenstudie zur Zukunft der Güterverkehrsanlagen im SGV basiert auf einem systemischen Forschungsansatz, der bewusst breit angelegt ist, um der Komplexität des Untersuchungsgegenstands gerecht zu werden. Sie nutzt ein vierschichtiges Analysemodell, das die komplexen Zusammenhänge zwischen Nachfrage, Angebot, Infrastruktur und Raumplanung ganzheitlich erfasst. Der Forschungsprozess folgt einem integrierten Ansatz, der theoretische und empirische Methoden kombiniert. Durch die Verknüpfung verschiedener Perspektiven und Ebenen bietet die Studie einen umfassenden Einblick in die Herausforderungen und Potenziale des zukünftigen SGV und seiner Anlagen. Dabei konzentriert sich die Untersuchung bewusst auf grundlegende und systemübergreifende Elemente des SGV im Gesamtkontext, ohne auf spezifische Segmente wie SGV-Produktionsform oder Warenart im Detail einzugehen. Im Folgenden wird eine Synthese der Ergebnisse präsentiert, gefolgt von einer Diskussion möglicher Richtungen für weitere Forschung.

7.1 Synthese der Ergebnisse

Komplexe Herausforderungen für den Schienengüterverkehr

Die Zukunft des SGV wird durch Herausforderungen auf dem Transport-, Infrastruktur- und Flächennutzungsmarkt geprägt, die seine Wettbewerbsposition zunehmend unter Druck setzen. Auf dem Transportmarkt verschiebt sich die Nachfrage zu hochwertigen Stückgütern und kleinteiligeren Sendungen - ein Segment, in dem der SGV traditionell weniger wettbewerbsfähig ist. Die steigenden Anforderungen an Geschwindigkeit, Flexibilität und Zuverlässigkeit betonen ebenfalls die Stärken des Strassenverkehrs. Gleichzeitig reduzieren technische Innovationen im Strassenverkehr den ökologischen Vorsprung der Schiene.

Bei der Nutzung der Schieneninfrastruktur konkurriert der SGV zunehmend mit dem wachsenden Schienenpersonenverkehr um begrenzte Trassenkapazitäten, welches das Risiko von Kapazitätsengpässen für den Gütertransport erhöht, und in urbanen Gebieten führt die fortschreitende Innenverdichtung zu einem verschärften Wettbewerb um Flächen. Der durch die Güterverkehrsanlagen im lokalen Umfeld verursachte Verkehr steht oft im Konflikt mit Zielen der nachhaltigen Siedlungsentwicklung, was die Sicherung bestehender Güterverkehrsanlagen und den Güterverkehrsanlagenneubau sowie die Durchsetzung logistischer Interessen auf lokaler Ebene erschwert.

Der SGV steht damit auf sämtlichen Ebenen unter grossem Wettbewerbsdruck. Um die Wettbewerbsfähigkeit in einem sich wandelnden Marktumfeld zu erhalten und auszubauen, muss er sich in mehreren Bereichen weiterentwickeln. Zentral ist die Verbesserung der Fähigkeit, einzelne Paletten, Wagenladungen, Container und Wechselbrücken effizient über weiträumig verteilte Quellen und Ziele zu transportieren, bei gleichzeitiger Erfüllung steigender Anforderungen an Transportqualität, Flexibilität und Geschwindigkeit. Ebenso wichtig ist angesichts der steigenden Nachfrage und der Konkurrenz mit dem Personenverkehr die optimale Nutzung der begrenzten Trassenkapazitäten. Darüber hinaus steht der SGV vor der Herausforderung, seine Anlagen flächeneffizient zu gestalten und den Betrieb konfliktarm in das urbane Umfeld zu integrieren.

Potenzial technischer Innovationen zur Steigerung der Wettbewerbsfähigkeit

Um diese Herausforderungen zu bewältigen, kann der SGV auf vielversprechende technische Innovationen zurückgreifen. Insbesondere die digitale automatische Kupplung, sowie die fortschreitende Digitalisierung und Automatisierung bieten erhebliches Potenzial, um Prozesse zu optimieren, die Auslastung zu verbessern und die Reaktionsfähigkeit auf Marktanforderungen zu erhöhen. Diese Neuerungen versprechen vor allem im EWLK und KV deutliche Effizienzgewinne.

Schlüsselrolle der Güterverkehrsanlagen in der Transformation des SGV

Um diese Potenziale zu erschliessen, benötigt der SGV multifunktionale Knotenpunkte, die effizient, flexibel und nachhaltig operieren. Zwei Hauptkategorien von Anlagen zeichnen sich ab: grossskalige Haupt-Knoten in Agglomerationen, die sowohl der lokalen Erschliessung als auch der überregionalen Netzwerkfunktion dienen, und kleinskalige Erschliessungsknoten für den flächendeckenden Netzzugang. Beide Kategorien erfordern gemeinsame funktionale Betriebsmerkmale wie automatisiertes Check-In, ausreichend lange Ladegleise mit beidseitigem Anschluss ans Hauptnetz, um Rangiervorgänge zu minimieren, (teil-)automatisierter Umschlag und erweiterte Öffnungszeiten. Dazu müssen sie hohe Ansprüche an Flächeneffizienz und konfliktarme Integration in urbane Räume erfüllen. Zusätzlich können die Anlagen vielfältige Transport- und Logistikfunktionen integrieren, um den SGV wettbewerbsfähiger zu gestalten.

Den Güterverkehrsanlagen kommt daher eine zentrale Rolle zu, um ein wettbewerbsfähiges und siedlungsverträgliches Verkehrsangebot im SGV zu schaffen. Sie müssen sowohl Netzwerkfunktionen erfüllen als auch lokale Faktoren berücksichtigen. Um diese komplexen Anforderungen zu bewältigen, wurden in dieser Studie Prinzipien zur räumlichen Analyse des SGV entwickelt. Diese Prinzipien integrieren sowohl eine Netzwerkperspektive als auch eine lokale Sicht, was eine ganzheitliche Betrachtung ermöglicht. Durch die Anwendung dieser Prinzipien kann ein systematischer und transparenter Abgleich zwischen dem bestehenden Zustand und dem zukünftigen Bedarf erfolgen. Dies bildet die Grundlage für die Planung eines flächendeckenden, effizienten Netzwerkangebots und unterstützt gleichzeitig die nachhaltige Entwicklung des SGV in urbanen Räumen.

7.2 Weitere Forschung

Diese Studie wurde als qualitative Grundlagenuntersuchung konzipiert und konnte naturgemäss nicht alle Fragen abschliessend beantworten. Im Verlauf der Analyse der zukünftigen Entwicklung des SGV und seiner Anlagen wurden diverse vielversprechende Forschungspotenziale identifiziert. Um eine strukturierte Übersicht dieser Potenziale zu bieten, werden sie im Folgenden entlang der Ebenen des in dieser Studie entwickelten Analysemodells dargelegt.

Auf der Nachfrageseite (Logistikebene) stellt sich die Frage nach der zukünftigen Entwicklung der Güterarten und Losgrössen. Insbesondere der anhaltende Trend zu kleineren Sendungsgrössen und hochwertigeren Waren und dessen Auswirkungen auf den Schienengüterverkehr bedürfen weiterer Untersuchung. Zudem sollte erforscht werden, wie sich die wahrgenommene langfristige politische Unsicherheit über die Weiterführung des EWLK auf den Modalsplit auswirken könnte, etwa durch

Investitionsentscheidungen, die möglicherweise zugunsten des Strassenverkehrs getroffen werden.

Auf dem Transportmarkt ist die zukünftige Entwicklung der Nachhaltigkeitsbilanz des Schienengüterverkehrs im Vergleich zum Strassenverkehr ein wichtiger möglicher Forschungsbereich. Wie die divergierenden Einschätzungen der ExpertInnen zeigen, ist unklar, wie sich das Verhältnis angesichts technologischer Fortschritte in beiden Sektoren entwickeln wird. Eine detaillierte Untersuchung sollte analysieren, wie sich Innovationen wie Elektrifizierung, autonomes Fahren und Platooning im Strassenverkehr sowie Verbesserungen im Schienengüterverkehr (z.B. durch DAK) auf die relative Nachhaltigkeit auswirken. Diese Analyse sollte neben CO₂-Emissionen auch Faktoren wie Energieeffizienz, Staukosten, Flächenverbrauch und Lärmemissionen berücksichtigen. Die Ergebnisse könnten Impulse für die zukünftige Verkehrspolitik und die strategische Ausrichtung des Schienengüterverkehrs liefern, insbesondere im Hinblick auf Investitionsentscheidungen und die Gestaltung von Fördermassnahmen.

Im Bereich des Angebots (Transportebene) sind mehrere Aspekte von Interesse. Es gilt zu klären, wie sich die Marktsegmente des EWLK und eines zukünftig ausgebauten KV unterscheiden und ob diese Produktionsformen in Konkurrenz zueinanderstehen oder koexistieren können. Ein in diesem Bericht vorgestelltes Szenario sieht vor, dass der EWLK sich auf Versender mit grossen Volumen konzentrieren könnte, während kleinere Volumen über KV-Linienzüge abgewickelt würden. In diesem Zusammenhang ist auch die Frage relevant, ab welchem Sendungsvolumen der EWLK für Verloader attraktiv wird und wie sich dieses Grenzsendingvolumen durch die potenziellen technischen Verbesserungen im EWLK verändern könnte.

Zudem sollte untersucht werden, ob ein Transportkonzept mit kurzen, schnellen Linienzügen zwischen KV-Umschlaganlagen die Wettbewerbsfähigkeit der Schiene gegenüber der Strasse in der Schweiz stärken könnte und wie ein solches Konzept aussehen müsste. Eine detaillierte Effizienzanalyse könnte Aufschluss darüber geben, unter welchen Bedingungen der Umschlag von Wechselbehältern und deren Nahzustellung auf der Strasse effizienter ist als das Rangieren von Bahnwagen.

Auf der Infrastrukturebene steht die Analyse bestehender und zukünftiger Rangier-, Zugbildungs- und Umschlagstechnologien im Fokus. Dabei sollten nicht nur die Güterverkehrsanlagen selbst, sondern auch innovative Fahrzeugkonzepte mit Umschlagfunktion betrachtet werden. Die Auswirkungen einer vollständigen Automatisierung auf den Schienengüterverkehr und die SGV-Anlagenlandschaft in der Schweiz bedürfen ebenfalls einer gründlichen Untersuchung. Zudem sollten die Effizienzgewinne durch die DAK quantifiziert und die maximalen Umrüstungskosten pro Bahnwagen ermittelt werden, um Gesamtkosteneinsparungen quantifizieren zu können.

Die Raumplanungsebene wirft Fragen zur optimalen Verteilung, Anzahl und Dimensionierung von SGV-Anlagen in der Schweiz auf. Hierzu könnten quantitative Analysen anhand von Transportdaten sowie Optimierungs- und Simulationsmodelle wertvolle Erkenntnisse liefern. Es gilt zu untersuchen, ob SGV-Anlagen entlang der Strecke die Transportzeiten verkürzen können und wie sich dies mit der bestehenden Flächenkonkurrenz vereinbaren lässt. Auch das Potenzial kleinerer, durch Horizontalumschlag wirtschaftlich betriebener KV-Umschlagsanlagen für ein flexibleres System sollte erforscht werden.

Übergreifend ergeben sich weitere Forschungsfragen. Die zukünftigen Entwicklungen im Strassengüterverkehr sollten detaillierter analysiert werden, um die Gestaltung zukünftiger Güterverkehrsanlagen ganzheitlich zu betrachten. Aus internationaler Perspektive ist von Interesse, wie sich der Ausbau italienischer Häfen und der damit verbundenen Schieneninfrastruktur auf die Verkehrsströme in der Schweiz und ein mögliches KV-Netzwerk auswirken.

Literaturverzeichnis

- Aberle, G., 2009. Transportwirtschaft: Einzelwirtschaftliche und gesamtwirtschaftliche Grundlagen. Oldenbourg Wissenschaftsverlag, München.
- ARE, 2022. Verkehrsperspektiven 2050, Bundesamt für Raumentwicklung.
- Ballis, A., Golias, J., 2004. Towards the improvement of a combined transport chain performance. *European Journal of Operational Research* 152, 420–436.
- BAV, 2017. Konzept für den Gütertransport auf der Schiene.
- BAV, 2022a. Zukünftige Ausrichtung des Schienengüterverkehrs in der Fläche.
- BAV, 2022b. Weiterentwicklung der Rahmenbedingungen für den Schweizer Gütertransport.
- BBI, 2024. Botschaft zum Gütertransportgesetz (Totalr... [WWW Document]. Fedlex. URL <https://www.fedlex.admin.ch/eli/fga/2024/300/de> (abgerufen 23.02.2024).
- Behrends, S., 2011. Urban Freight Transport Sustainability the Interaction of Urban Freight and Intermodal Transport. Chalmers Tekniska Hogskola (Sweden).
- Behrends, S., Flodén, J., 2012. The effect of transshipment costs on the performance of intermodal line-trains. *Logistics Research* 4, 127–136.
- Bergenheim, C., Shladover, S., Coelingh, E., Englund, C., Tsugawa, S., 2012. Overview of platooning systems, in: *Proceedings of the 19th ITS World Congress*, Oct 22-26, Vienna, Austria (2012).
- Bieler, C., Sutter, D., 2019. Externe Kosten des Verkehrs in Deutschland - Straßen-, Schienen-, Luft- und Binnenschiffverkehr 2017.
- Bonafous, A., Raux, C., 2003. Transport Energy and Emissions: Rail, in: Hensher, D.A., Button, K.J. (Eds.), *Handbook of Transport and the Environment*. Emerald Group Publishing Limited, pp. 293–307. <https://doi.org/10.1108/9781786359513-016>
- Bontekoning, Y.M., 2000. The importance of new-generation freight terminals for intermodal transport. *Journal of Advanced Transportation* 34, 391–413. <https://doi.org/10.1002/atr.5670340305>
- BVBM, 1999. Richtlinien für das Packen von Ladung außer Schüttgut in oder auf Beförderungseinheiten (CTUs) bei Beförderung mit allen Verkehrsträgern zu Wasser und zu Lande (No. B 8087), *Verkehrsblatt*. Bundesministerium für Verkehr, Bau und Wohnungswesen.
- Christopher, M., 2023. *Logistics and supply chain management*. Pearson UK.
- Christopher, M., Holweg, M., 2011. “Supply Chain 2.0”: Managing supply chains in the era of turbulence. *International journal of physical distribution & logistics management* 41, 63–82.
- Ducruet, C., Lee, S.-W., 2006. Frontline soldiers of globalisation: Port–city evolution and regional competition. *GeoJournal* 67, 107–122.
- EBP, 2023. Kanton Zürich: Angebotsziele Schienengüterverkehr 2050.

Europäische Kommission, 2024. Folgen des Klimawandels - Europäische Kommission. https://climate.ec.europa.eu/climate-change/consequences-climate-change_de (abgerufen 21.03.2024).

Fleming, D.K., Hayuth, Y., 1994. Spatial characteristics of transportation hubs: centrality and intermediacy. *Journal of transport geography* 2, 3–18.

Geurs, K.T., van Wee, B., 2004. Land-use/transport interaction models as tools for sustainability impact assessment of transport investments: review and research perspectives. *European Journal of Transport and Infrastructure Research* 4, 333–355.

Gudehus, T., 2012. *Logistik 1*. Springer, Berlin, Heidelberg. <https://doi.org/10.1007/978-3-642-29359-7>

Gutiérrez, J., Kitchin, R., Thrift, N., 2009. Transport and Accessibility, *International Encyclopedia of Human Geography*.

Hesse, M., Rodrigue, J.-P., 2004. The transport geography of logistics and freight distribution. *Journal of transport geography* 12, 171–184.

Höft, U., 2018. Innovative Konzepte für den kombinierten Verkehr ein Überblick.

Hulten, L.A., 1997. *Container logistics and its management*.

ITF, 2022. *Mode Choice in Freight Transport*, ITF Research Reports. OECD Publishing, Paris.

Kjellsdóttir Ivert, L., Santén, V., Wide, P., Merkel, A., Brunner, S., 2022. Logistics setups in ports - to enhance the circularity of materials. Presented at the 34th annual NOFOMA conference, Reykjavík, Iceland.

Kreutzberger, E., 2006. Evaluation of pre-and post-haulage in intermodal freight networks, in: Jourguin, B., Rietveld, P., Westin, K. (Eds.), *Towards Better Performing Transport Networks*. London, Routledge 2006: 256.

Lakshmanan, T.R., 2011. The broader economic consequences of transport infrastructure investments. *Journal of transport geography* 19, 1–12.

Lumsden, K., 2007. *Fundamentals of logistics*. Chalmers University of Technology.

Martin, R., 2010a. Modalohr - die rollende Autobahn. *Zukunft Mobilität*. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/1276/konzepte/modalohr-umschlag-rollende-landstrasse-niederflur-doppelwagen/> (abgerufen 03.06.2024).

Martin, R., 2010b. Megaswing - das eigene intermodale Terminal. *Zukunft Mobilität*. <https://www.zukunft-mobilitaet.net/1400/konzepte/megaswing-das-eigene-intermodale-terminal/> (abgerufen 03.06.2024).

Roso, V., Woxenius, J., Lumsden, K., 2009. The dry port concept: connecting container seaports with the hinterland. *Journal of Transport Geography* 17, 338–345.

SBB, 2021. *Perspektive BAHN 2050 - Studie zum Kernsatz 5 und 2 Teil Güterverkehr*.

Selipa, E., 2022. Digital Automatic Coupling (DAC) – the backbone for full digital rail freight train operations in Europe. *Europe's Rail*. <https://rail-research.europa.eu:443/news/digital-automatic-coupling-dac-the-backbone-for-full-digital-rail-freight-train-operations-in-europe/> (abgerufen 23.08.2024).

SEV-Online, 2023. Einzelwagenladungsverkehr braucht Anschub – zum Beispiel in der Region Thun. SEV-Online. <https://sev-online.ch/de/aktuell/kontakt.sev/2023/ewlv-braucht-anschub-zum-beispiel-in-der-region-thun-202301-221217/> (abgerufen 24.07.2024).

Stadt Zürich, 2023. Strategie Stadtraum und Mobilität 2040.

Stock, J.R., Lambert, D.M., 2001. Strategic Logistics Management. McGraw-Hill, New York.

Stuhr, Karch, Schneider, Helge.S., Philipp, 2023. Schienengüterverkehr: Marktumfeld, Produktion, Technik und Innovation, 1. Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, Wiesbaden.

Tavasszy, L., Kaa, G. van de, Liu, W., 2020. Importance of freight mode choice criteria: An MCDA approach. *Journal of Supply Chain Management Science* 1, 27–44. <https://doi.org/10.18757/jscms.2020.4651>

Trip, Kreutzberger, E., 2002. Complex Bundling Networks and New-Generation Terminals: a synthesis. DUP Science, Delft.

Wandel, S., Ruijgrok, C., Nemoto, T., 1992. Relationships among shifts in logistics, transport, traffic and informatics-driving forces, barriers, external effects and policy options. *Logistiska Framsteg-Nordiska forskningsperspektiv på logistik och materialadministration*, Studentlitteratur, Lund 96–136.

Weidmann, U., Bruckmann, D., Dennisen, T., Ghandour, S., Khaligh, P., Kienzler, H.-P., Labinsky, A., Mertel, R., Sondermann, K.-U., Vetter, M., Wölfert, C., 2017. Innovationen im Intermodalen Verkehr (Report). ETH Zurich.

Werner, H., 2022. Supply Chains resilienter aufstellen. *Control Manag Rev* 66, 42–47. <https://doi.org/10.1007/s12176-022-0480-3>

Wiegman, B.W., Masurel, E., Nijkamp, P., 1999. Intermodal freight terminals: an analysis of the terminal market. *Transportation Planning and Technology* 23, 105–128. <https://doi.org/10.1080/03081069908717643>

Wittenbrink, P., 2014. Transportmanagement. Springer Gabler, Wiesbaden.

Woxenius, J., 2007. Generic Framework for Transport Network Designs: Applications and Treatment in Intermodal Freight Transport Literature, in: *Transport Reviews*. pp. 733–749.

Anlage 1 - Interviews

Interview 1: Logistikunternehmen, Leiter Schienengüterverkehr, 17. Mai 2024.

Interview 2: Transportunternehmen, Produktentwickler intermodale Transporte, 17. Mai 2024.

Interview 3: Senior Experte, Schienengüterterminals, 17. Mai 2024.

Interview 4: Logistikunternehmen, Leiter Schienengüterverkehr, 22. Mai 2024.

Interview 5: Senior Experte, Schienengüterverkehr, 28. Mai 2024.

Interview 6: Schienengüterterminal, Geschäftsführer, 28. Mai 2024.

Interview 7: Städtische Behörde, Projektleitung Verkehr, 29. Mai 2024.

Interview 8: Transportunternehmen, Geschäftsführer, 31. Mai 2024.

Interview 9: Senior Experte, IT intermodale Transporte, 31. Mai 2024.

Interview 10: Eisenbahninfrastrukturunternehmen, Geschäftsführer, 04. Juni 2024.

Interview 11: Einzelhandel, Führungskraft im Bereich Schienenverkehr, 13. Juni 2024.

Interview 12: Kantonale Behörde, Projektleitung Güterverkehr, 18. Juni 2024.

Interview 13: Eisenbahnverkehrsunternehmen, Führungskraft im Bereich Import-Export-Logistik, 20. Juni 2024.

Interview 14: Städtische Behörde, Projektleitung Verkehr, 24. Juni 2024.

Interview 15: Baustoffhandel, Führungskraft im Bereich Schienenverkehr, 25. Juni 2024.

Interview 16: Eisenbahnverkehrsunternehmen, Projektleiter intermodale Transporte, 26. Juni 2024.

Interview 17: Eisenbahnverkehrsunternehmen, Leiter intermodale Transporte, 28. Juni 2024.

Interview 18: Agrar- und Lebensmittelunternehmen, Führungskraft im Bereich Schienenverkehr, 08. Juli 2024.

Interview 19: Eisenbahnverkehrsunternehmen, Führungskraft im Bereich Schienenverkehr, 15. Juli 2024.

Anlage 2 – Interviewfragen

Semistrukturiertes Experteninterview für das Mandat «Güterverkehrsanlagen der Zukunft»

Der Inhalt dieses Gesprächs und alle zur Verfügung gestellten Informationen werden streng vertraulich behandelt und nicht an andere Gesprächspartner, Institutionen oder die Öffentlichkeit weitergegeben. Es werden keine direkten Zitate verwendet.

Der Hauptzweck dieses Interviews besteht darin, die **wichtigsten zukünftigen Entwicklungen** im **Schienengüterverkehr (SGV)** zu identifizieren und ihre **Auswirkungen auf die Produktionsmethoden** und damit auf die **Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs** in Zukunft einzuschätzen.

Hintergrund Informationen:

Der Güterverkehrsmarkt ist weitestgehend vom **Strassengüterverkehr dominiert**, welcher deutlich **höhere externe Kosten** verursacht als der Schienengüterverkehr. Mit den zunehmenden Folgen des Klimawandels ist es nötig den **Verkehrssektor zu dekarbonisieren**. Um dies im Güterverkehr zu erreichen, wird eine **Verlagerung von der Schiene auf die Strasse** gefördert. Die getroffenen Massnahmen, um die der **Verlagerungsziele** zu erfüllen, reichen jedoch nicht aus. Welche **Massnahmen** heute getroffen werden sollen hängt stark von **zukünftigen Entwicklungen** ab. Deswegen sollen diese identifiziert und ihre **Auswirkungen auf die Produktionsmethoden** (Ganzzugverkehr, Wagenladungsverkehr, Kombierter Verkehr und neue Produktionsmethoden) und die **Wettbewerbsfähigkeit** eingeschätzt werden.

Zuständigkeitsbereich und Rolle:

Name des Interviewten:	
Rolle im SGV:	
Position und Zuständigkeit:	
Interview Datum/Zeit:	

Verlader (Unternehmen aus diversen Industrien)	
Speditionen und Transportunternehmen	
Schienengüterverkehrsunternehmen (EVU G)	
Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU)	
Terminalbetreiber	
Behörden (Bund, Kantone, Gemeinden)	
Experten aus der Wissenschaft	

Allgemeine Angaben zum Unternehmen:

Stellen Sie bitte Ihr Unternehmen kurz vor. (Branche, Grösse, welche Märkte)	Offene Frage

Nutzung des Schienengüterverkehrs:

In welchem Ausmass nutzt Ihr Unternehmen den SGV heute? (Volumen, Strecken)	Offene Frage
Für welche Transporte nutzt Ihr Unternehmen den SGV und für welche nicht? Warum?	Offene Frage
Welche Bahnproduktionsform wird genutzt und auf welche ist das Terminal ausgerichtet?	Offene Frage

Generelle Fragen zum Schienengüterverkehr:

Welche sind die grössten Herausforderungen im Schienengüterverkehr?	Offene Frage
Was sind die grössten Herausforderungen für eine Verlagerung von der Strasse auf die Schiene?	Offene Frage
Welche Entwicklungen gibt es im Schienengüterverkehr?	Offene Frage

Fragen zu den Entwicklungen:

1) Welche Hindernisse gibt es heute, dass die Entwicklung noch nicht umgesetzt wurde?
2) Was muss passieren das sie umgesetzt wird?
3) Wie realistisch ist das Eintreten der Entwicklung?
4) In welchem Zeithorizont sehen sie, dass die Entwicklung sich durchsetzen wird?
5) Welche Entwicklungen denken Sie werden die grössten Veränderungen bewirken?

Liste der Entwicklungen:

Nachfrage
Steigende Nachhaltigkeitsanforderungen
Lärmreduktionsanforderungen an die Fahrzeuge
Multimodale Transportketten vollkommen elektrisch
Angebot
Ausbau der Infrastruktur (Terminals und Schienen)
Erhöhung der Kapazität der Transportgefässe

Verdichtung der Taktfrequenz
Neue Anforderungen an Güterverkehrsanlagen
Lokführer- und Fachkräftemangel
Technologie
Einführung der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) (Automatisches Koppeln, pneumatisches Bremsen, automatische Bremsprobe)
Digitalisierung der Kommunikation und Überwachung (Datenaustausch und Telematik)
Automatisation von Fahrt, Sicherungssystemen, Rangieren und Umschlagterminals
Flexibilität der Fahrzeuge betreffend Einsatzbereich und Wartung (Güterverkehrslokomotiven Batterieelektrisch, Predictive Maintenance)

Fragen zu den Güterverkehrsanlagen:

Kernfunktion eines Terminals ist der Umschlag von Gütern zwischen Verkehrsträgern.

Umschlag, um Transport effizient zu transportieren.

Wie ist die Erreichbarkeit und die Netzanbindung der Terminals? (Strassenanschluss, Verkehrliche Herausforderungen wie Stau etc.)	Offene Frage
Wie lange sind die Vor- und Nachlauf Strecken im Kombinierten Verkehr?	Offene Frage
Welche Funktionen der Güterverkehrsanlagen nutzt ihr heute?	Offene Frage
Welche Angebote der Güterverkehrsanlagen wollt ihr, oder eure Kunden in Zukunft nutzen?	Offene Frage
Wie seht Ihr die Zukunft des Wagenladungsverkehrs im Vergleich zum Kombiverkehr?	Offene Frage
Welche Netzwerkdimensionierung (viele kleine, wenige grosse) sind in Zukunft sinnvoll?	Offene Frage

Anlage 3 – ExpertInnen-Umfrage

Güterverkehrsanlagen der Zukunft

Es werden im folgenden Survey Hypothesen zu den Entwicklungen im Schienengüterverkehr (SGV) präsentiert, die wir aus der Literatur und den Interviews abgeleitet haben. Zu diesen Hypothesen möchten wir gern Ihre Einschätzung bekommen, ob zum Beispiel nach Ihrer Meinung ein beschriebener Effekt einer Entwicklung eine grosse Wirkung hat (kann die Wettbewerbsfähigkeit des SGVs signifikant verändern), oder vernachlässigbar ist (Effekt ist vereinzelt feststellbar, hat aber keine systematische Relevanz).

Die Hypothesen betreffen zum Teil den SGV im allgemeinen, es werden aber auch zum Teil die Wirkungen auf die unterschiedlichen Produktionsformen abgefragt. Hierzu gelten folgende Definitionen:

Ganzzüge verkehren als geschlossene Einheit vom Abgangs- zum Zielort (Anschlussgleis oder Umschlagterminal). Wenn regelmäßig große Mengen vom gleichen Start zum gleichen Zielort transportiert werden müssen, kommen sogenannte Shuttle-Züge zum Einsatz. Dabei bleiben die Zugskompositionen zwischen den Transporten unverändert.

Im **Einzelwagenladungsverkehr (EWLV)** werden einzelne Güterwagen oder Wagengruppen von Anschlussgleisen oder Verladerrampen gesammelt, zu Zügen zusammengestellt und in Rangierbahnhöfe geleitet (*Nahzustellung*). Dort werden sie nach Zielregion neu disponiert (*Zugbildung*). Nach dem Transport zum Zielbahnhof (*Hauptlauf*), erfolgt die Verteilung als Einzelwagen oder Gruppen auf Anschlussgleise, Verladeeinrichtungen oder Terminals.

Unter **Kombiniertem Verkehr (KV)** wird generell ein Transport verstanden, der mit mindestens 2 verschiedenen Verkehrsmodi durchgeführt wird. In der Schweiz ist damit in der Regel der Transport eines Wechselbehälters, Containers oder Sattelauflegers gemeint, der mit einem LKW in eine Umschlagsanlage (= KV Terminal) gefahren wird (*Vorlauf*), dort auf die Schiene verladen (*Umschlag*) und in eine andere Umschlagsanlage gefahren wird (*Hauptlauf*), wo der Wechselbehälter, Container bzw. Sattelaufleger wieder auf einen LKW verladen und zum Zielort gefahren wird (*Nachlauf*).

Vereinfacht werden daher folgende drei Produktionselemente in den Hypothesen verwendet:

1. Ganzzüge und Züge im Hauptlauf des EWLK und KV
2. Nahzustellung und Zugbildung des EWLK
3. Umschlag im KV

Dieser Fragebogen richtet sich an alle unsere Interviewpartner. Wir haben Verlager, Transportunternehmen und Behördenvertreter, sowie Wissenschaftler interviewt. Die Fragen in diesem Survey sind eine Zusammenfassung der diskutierten Inhalte. Nicht alle Fragen sind somit für alle Survey-Teilnehmer, relevant. Sollten Sie also zu einer Frage nichts sagen können, brauchen Sie diese auch nicht zu beantworten, sondern gehen zur nächsten Frage über..

Vielen Dank für Ihre Teilnahme an unserem Survey!

Infrastrukturentwicklungen (Teil 1/4)

1. Da die Verkehrsmenge auf der Schiene (sowohl im Güter- als auch im Personenverkehr) schneller wachsen wird als der Ausbau der Infrastruktur erfolgen kann, gibt es in Zukunft Engpässe bei Trassenkapazitäten für den SGV.

	keine	kaum	moderate	grosse	sehr grosse
Wie gross werden die Engpässe sein?	☐	☐	☐	☐	☐

2. Durch die Bereitstellung von Logistikfunktionen (z.B. Kommissionierung und Lagerung) an den Umschlagsplattformen, können mehr Konsum-, KEP- und Stückgütertransporte von der Strasse auf die Schiene verlagert werden.

	keine	kaum	moderat	gross	sehr gross
Wie gross wird die Verlagerungswirkung sein?	☐	☐	☐	☐	☐

3. Durch die zunehmende Flächenknappheit und Konflikte mit lokalen Anspruchsgruppen wird es in Zukunft zu Engpässen bei den Rangier- und Umschlagskapazitäten kommen, was die transportierbaren Gütermengen auf der Schiene begrenzen wird. Wie stark schätzen Sie diese begrenzende Wirkung ein für den ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
kombinierten Verkehr	☐	☐	☐	☐	☐

4. eventueller Kommentar zu den Infrastrukturentwicklungen

Technische Entwicklungen (Teil 2/4)

5. Der Einsatz der digitalen automatischen Kupplung (DAK) führt zu Zeitersparnissen und Effizienzsteigerungen. Wie stark schätzen Sie diese Wirkungen ein für ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
die Nahzustellung und Zugbildung im Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
Ganzzüge und Züge im Hauptlauf	☐	☐	☐	☐	☐

6. eventueller Kommentar zur Digitalen Automatischen Kupplung

7. Der durch die Digitalisierung ermöglichte Datenaustausch und Echtzeitinformationen erhöhen die Effizienz, Zuverlässigkeit und Flexibilität des SGV. Wie stark schätzen Sie die Wirkung ein für ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
die Nahzustellung und Zugbildung im Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
den kombinierten Verkehr	☐	☐	☐	☐	☐
Ganzzüge und Züge im Hauptlauf	☐	☐	☐	☐	☐

8. eventueller Kommentar zur Digitalisierung

9. Die durch die Automatisierung ermöglichte Reduzierung der Abhängigkeit vom Personal erhöht die Zuverlässigkeit, Flexibilität und Effizienz. Wie stark schätzen Sie die Wirkung ein für ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
die Nahzustellung und Zugbildung im Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
den kombinierten Verkehr	☐	☐	☐	☐	☐
die Ganzzüge und Züge im Hauptlauf	☐	☐	☐	☐	☐

10. eventueller Kommentar zur Automatisierung

11. Innovatives Rollmaterial (z.B. hybride Triebfahrzeuge und intelligente Waggons) erhöht die Effizienz des SGV. Wie stark schätzen Sie die Wirkung ein für ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
die Nahzustellung und Zugbildung im Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
den kombinierten Verkehr (z.B. durch Wagen mit Umschlagfunktion)	☐	☐	☐	☐	☐
Ganzzüge und Züge im Hauptlauf	☐	☐	☐	☐	☐

12. eventueller Kommentar zum Rollmaterial

13. Mit der Implementierung der oben genannten technischen Entwicklungen kann der SGV deutlich effizienter werden. Gleichzeitig gibt es technische Entwicklungen auf der Strasse, welche den Güterverkehr auf der Strasse effizienter machen können (E-LKW, Automatisierung, Platooning etc.). Unter Berücksichtigung der technischen Verbesserungsmöglichkeiten für Schiene und Strasse, wird die potentielle Wettbewerbsfähigkeit der Schiene...

deutlich schwächer	schwächer	unverändert	stärker	deutlich stärker
☐	☐	☐	☐	☐

14. eventueller Kommentar zur zukünftigen Wettbewerbsfähigkeit

Entwicklungen beim Personal (Teil 3/4)

15. Der zukünftige Mangel an Rangierpersonal führt zu einer reduzierten Kapazität und Zuverlässigkeit des SGV. Wie stark schätzen Sie die Wirkung ein für ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
die Nahzustellung und Zugbildung im Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
Ganzzüge und Züge im Hauptlauf	☐	☐	☐	☐	☐

16. Der zukünftige Mangel an LokführerInnen führt zu einer reduzierten Kapazität und Zuverlässigkeit des SGV. Wie stark schätzen Sie die Wirkung ein für ...

	sehr schwach	schwach	moderat	stark	sehr stark
die Nahzustellung und Zugbildung im Einzelwagenladungsverkehr	☐	☐	☐	☐	☐
Ganzzügen und Zügen im Hauptlauf	☐	☐	☐	☐	☐

17. eventueller Kommentar zum Personalmangel

Kombination von KV und EWL (Teil 4/4)

18. Die Nahzustellung im EWL muss nicht zwingend auf der Schiene durchgeführt werden, sondern kann auch auf der Straße stattfinden, wenn die entsprechenden Bedienpunkte zu Umschlaganlagen des KV ausgebaut werden. Die Bedienung findet dann je nach Mengen und Verloaderstruktur entweder auf der Schiene oder der Straße statt. Durch diese Kombination von EWL und KV können die nicht mehr über den EWL bedienten Gütermengen im Hauptlauf auf der Schiene behalten werden.

stimme überhaupt nicht zu	stimme nicht zu	weder noch/neutral	stimme zu	stimme voll und ganz zu
☐	☐	☐	☐	☐

19. Kommentar/Begründung zu Ihrer Einschätzung?

Zum Abschluss...

.... möchten wir Ihnen für Ihren Beitrag zu diesem Projekt danken. Vielen Dank für Ihre Zeit für das Interview und das Ausfüllen dieses Fragebogens!

20. Möchten Sie uns abschliessend noch etwas zum Thema Entwicklungen im Schienengüterverkehr mitteilen?

This content is neither created nor endorsed by Microsoft. The data you submit will be sent to the form owner.



Microsoft Forms