

Helge Stuhr
Philipp Schneider
Stefan Karch

Schienengüterverkehr

Marktumfeld, Produktion, Technik und
Innovation



Springer Gabler

Schienengüterverkehr

Helge Stuhr · Philipp Schneider · Stefan Karch

Schienengüterverkehr

Marktumfeld, Produktion, Technik und
Innovation

Helge Stuhr 
Technische Universität Berlin
Berlin, Deutschland

Philipp Schneider 
DB Netz AG
Berlin, Deutschland

Stefan Karch 
Railway Design & Innovation AG
Neunkirch, Schweiz

ISBN 978-3-658-38752-5 ISBN 978-3-658-38753-2 (eBook)
<https://doi.org/10.1007/978-3-658-38753-2>

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

© Der/die Herausgeber bzw. der/die Autor(en), exklusiv lizenziert an Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH, ein Teil von Springer Nature 2023

Das Werk einschließlich aller seiner Teile ist urheberrechtlich geschützt. Jede Verwertung, die nicht ausdrücklich vom Urheberrechtsgesetz zugelassen ist, bedarf der vorherigen Zustimmung des Verlags. Das gilt insbesondere für Vervielfältigungen, Bearbeitungen, Übersetzungen, Mikroverfilmungen und die Einspeicherung und Verarbeitung in elektronischen Systemen.

Die Wiedergabe von allgemein beschreibenden Bezeichnungen, Marken, Unternehmensnamen etc. in diesem Werk bedeutet nicht, dass diese frei durch jedermann benutzt werden dürfen. Die Berechtigung zur Benutzung unterliegt, auch ohne gesonderten Hinweis hierzu, den Regeln des Markenrechts. Die Rechte des jeweiligen Zeicheninhabers sind zu beachten.

Der Verlag, die Autoren und die Herausgeber gehen davon aus, dass die Angaben und Informationen in diesem Werk zum Zeitpunkt der Veröffentlichung vollständig und korrekt sind. Weder der Verlag, noch die Autoren oder die Herausgeber übernehmen, ausdrücklich oder implizit, Gewähr für den Inhalt des Werkes, etwaige Fehler oder Äußerungen. Der Verlag bleibt im Hinblick auf geografische Zuordnungen und Gebietsbezeichnungen in veröffentlichten Karten und Institutionsadressen neutral.

Planung/Lektorat: Susanne Kramer

Springer Gabler ist ein Imprint der eingetragenen Gesellschaft Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH und ist ein Teil von Springer Nature.

Die Anschrift der Gesellschaft ist: Abraham-Lincoln-Str. 46, 65189 Wiesbaden, Germany

Geleitwort 1

Klimaschutz und Energieversorgung sind derzeit die zentralen Themen, die Politik, Wirtschaft und Bevölkerung beschäftigen. Und die gestörten Lieferketten wirbeln die Logistikketten erheblich durcheinander. Welche Rolle kann der Schienengüterverkehr zur Lösung dieser zentralen Themen spielen? Diese Frage rückt zunehmend in der Mittelpunkt der Diskussion.

Die Verkehrspolitik auf europäischer und nationaler Ebene hat ambitionierte Ziele definiert, die einen deutlich höheren Modal-Split-Anteil der Schiene vorsehen.

Die Schiene kann die Herausforderungen meistern, wenn die erforderlichen Kapazitäten bei Infrastruktur und Ressourcen geschaffen werden. Neben technischen Innovationen wird es auch darum gehen, kluge Köpfe für die Schiene zu gewinnen. Denn nur mit gut ausgebildeten Menschen kann es gelingen, den Schienengüterverkehr in die Offensive zu bringen.

Die Schiene hat gute Voraussetzungen für Digitalisierung, Automatisierung, E-Mobilität und Energieeffizienz. Diesen Wettbewerbsvorteil sollten wir gemeinsam nutzen, um den Modal-Split-Anteil der Schiene erheblich auszubauen.

Zudem bietet der Sektor Schienenverkehr sehr gute Verdienst- und Aufstiegsmöglichkeiten in einem attraktiven Arbeitsumfeld.

Wir freuen uns daher sehr über das Erscheinen des Fachbuches Schienengüterverkehr, mit dem ein wichtiger Baustein zur Qualifizierung aber auch Begeisterung von Menschen für die Eisenbahn gelegt wird.

Packen Sie mit an, wenn es darum geht, ein klimafreundliches und energiesparendes Verkehrssystem in den nächsten Jahren entscheidend voranzubringen.

Ihr Joachim Berends
Vorstand Bentheimer Eisenbahn AG
und VDV-Vizepräsident Schienengüterverkehr

Geleitwort 2

Der Eisenbahnverkehr ist in den letzten Jahren weltweit stark gewachsen. Auch in Deutschland gibt es – abgesehen vom Rückgang in der Covid 19 Pandemie – eine steigende Nachfrage im Schienenverkehr. Der Transport auf der Schiene ist aufgrund seiner Energieeffizienz und eines bereits sehr hohen Elektrifizierungsanteils für die Erreichung der Klimaziele im Verkehr ein wichtiger Erfolgsfaktor oder, wie es ERRAC, das European Rail Research Advisory Council schreibt: „There is no green future without railways“. Investitionen sind notwendig und Innovationen möglich. Vereinfachungen und effizientere Abläufe werden auf „der ersten und letzten Meile“ ebenso gebraucht wie im grenzüberschreitenden Verkehr in Europa. Ein wettbewerbsgerechter Ordnungsrahmen und Digitalisierung im Dienste besserer Logistikfähigkeit und effizienter bahnbetrieblicher Prozesse werden die Wettbewerbsfähigkeit des Schienengüterverkehrs stärken.

Viele Industrien wie die Chemie- und Mineralölwirtschaft, die Montanindustrie oder die Automobilindustrie – aber auch Verlagerer anderer Branchen, die entsprechende Mengen bewegen – sind auf leistungsfähige Bahnen angewiesen. Aktuelle Klagen über abnehmende Zuverlässigkeit im Schienengüterverkehr in Deutschland unterstreichen den Bedarf an Fachkräften, an guten Konzepten und ihrer beherzten Umsetzung.

Im vorgelegten Werk ist es den Autoren sehr gut gelungen, Wissenswertes zum Schienengüterverkehr aktuell und umfassend aufzubereiten. Die Darstellung reicht von der Organisation europäischer Bahnsysteme über die juristischen Rahmenbedingungen bis zu wichtigen physikalischen Grundlagen des Eisenbahnverkehrs. Betriebliche und technische Grundlagen werden ebenso wie Fahrzeuge und Produktionssysteme detailliert behandelt, bevor das Kapitel zu Innovationen wichtige und aktuelle Einsichten vermittelt.

Für Interessierte in Management, Planung und Betrieb, für Wirtschaft und Wissenschaft sowie für unterschiedliche Fachdisziplinen bietet das Werk gleichermaßen Aktualität, fachliche Tiefe und einen guten Überblick über alles Wissenswerte im Schienengüterverkehr.

Dortmund
im Juli 2022

Prof. Dr. -Ing. Uwe Clausen
Institutsleiter, Fraunhofer-Institut für
Materialfluss und Logistik IML, Dortmund
Institutsleiter, Institut für Transportlogistik der TU Dortmund

Geleitwort 3

Europa ohne Bahn ist wie Emmentaler Käse ohne Löcher. Resiliente Logistik-Ketten bestehen jedoch nicht aus Löchern, sondern aus verbindlichen Gliedern. Ich bin überzeugt: Nur gemeinsam können wir die aktuellen Herausforderungen im Schienengüterverkehr meistern. Wir wollen Schritt für Schritt an den Herausforderungen wachsen und dabei widerstandsfähiger sowie zugleich flexibler und kundenorientierter werden – damit wir weiterhin eine tragende Rolle für Wirtschaft, Gesellschaft und Nachhaltigkeit übernehmen.

Die Bahngeschichte in Europa lehrt uns, dass man es dank intelligenter Allianzen und Bündnisse über Grenzen hinweg schaffen kann, ein hochgradig verwobenes und verbundenes Schienennetz und eine funktionierende Bahninfrastruktur zu entwickeln. Zentral dabei sind Innovationen – und die Zusammenarbeit. Das aktuelle Umfeld mit den prekären Lieferketten zeigt uns, dass wir uns wieder mehr auf die gemeinsamen Interessen und Handlungen fokussieren müssen, um bei den Kunden und am Markt Mehrwert zu erbringen. Die Basis dafür sind motivierte Mitarbeitende.

«The new normal» fordert uns alle sehr. Eine Krise jagt die nächste. Die üblichen Lösungsansätze reichen nicht mehr, um Einfluss auf die neue Normalität zu nehmen. Wir wollen eine gute Arbeitssituation einerseits für Talente und andererseits für «Bahn-Silberrücken» schaffen. Zugleich müssen wir flexibel und verbindlich für unsere Kunden unterwegs sein. Nebst einer grossen Portion Vertrauen benötigen wir dafür neue Fähigkeiten, neue Szenarien, neue Denkweisen – basierend auf einem soliden Systemverständnis, wozu das vorliegende Buch einen wesentlichen Beitrag liefert.

Schlussendlich zählt nur das, was beim Kunden ankommt. Für Güter die Bahn – von Menschen für unsere Kunden.

Isabelle Betschart Kühne
Leiterin Produktion und Mitglied der
Geschäftsleitung SBB Cargo AG

Vorwort und Danksagung

Als ich im Herbst 2019 meinen Lehrauftrag für das Fach Schienengüterverkehr an der TU Berlin aufgenommen habe, fehlte mir ein gutes, inhaltlich passendes und aktuelles Lehr- oder Fachbuch, das ich den Studierenden als Begleitlektüre zur Lehrveranstaltung hätte empfehlen können. Also fing ich recht bald an, zunächst allein an einem Vorlesungsskript zu schreiben. Es ist im Endeffekt zu einem größeren Projekt geworden. Das Ergebnis halten Sie in den Händen.

Ich bin froh, dass ich Philipp und Stefan als Autoren für die Schwerpunkte Infrastruktur und Betrieb sowie Fahrzeuge gewinnen konnte und dankbar für die gute Zusammenarbeit, in der sich letztendlich jeder in allen Teilen ausführlich eingebracht hat.

Gemeinsam danken wir allen Unterstützern, die große oder spezifische Teile kritisch gegengelesen, Rat gegeben sowie bei der Quellenarbeit unterstützt haben und vieles mehr. Dieser Dank geht somit insbesondere an Daniel Christoph, Dr. Johannes Friedrich, Dr. Christoph Gabrisch, Malte Günther, Ulrich Häffner, Richard Herrmann, Hans-Joachim Holdefehr, Dr. Christian Kuhn, Katharina Lechner, Gerhard Leitner, Georg Lennarz, Jürg Lütscher, Frank Minde, Ulrich Neumann, Sassan Rabet, Simon Söser, Volker Spahn, Lars Wiegelmann sowie Xu Zhang. Wir bedanken uns darüber hinaus bei Joachim Berends, Prof. Dr. Uwe Clausen und Isabelle Betschart Kühne für ihre Geleitworte.

Die Eisenbahn als umweltfreundliches Verkehrsmittel liegt uns allen dreien sehr am Herzen. Die Vermittlung von Fachwissen zum System und das Verstehen von Zusammenhängen, Rahmenbedingungen und ihren Folgen sehen wir als eine wichtige Voraussetzung für einen nachhaltigen Erfolg des Systems an. Insofern hoffen wir, mit diesem Buch einen kleinen Beitrag dazu leisten zu können.

Helge Stuhr
mit Philipp Schneider
und Stefan Karch

Inhaltsverzeichnis

1 Der Schienengüterverkehr – Bedeutung, Marktumfeld und organisatorischer Rahmen	1
1.1 Einleitung	1
1.2 Der SGV als Teil des Gesamttransportmarkts aller Verkehrsträger	3
1.2.1 Übersicht der Verkehrsträger	3
1.2.2 Entwicklung der Transportleistung und des modalen Anteils	9
1.2.3 Nachfragerrelevante Effekte	12
1.2.4 Externe Effekte und Kosten (Umweltrelevanz)	13
1.3 Organisation des europäischen Bahnsektors	18
1.3.1 Historische Ausgangslage	18
1.3.2 Liberalisierung und Harmonisierungsbestrebungen	19
1.3.3 Aktueller rechtlicher Rahmen	25
1.3.4 Übersicht der Akteure	28
1.4 Die besondere Rolle der Güter-EVU	30
1.4.1 Zugangsvoraussetzungen	30
1.4.2 Wirtschaftliche Rahmenbedingungen	31
1.4.3 Konkurrenz und Kooperation	41
1.5 Zielstellungen und Herausforderungen	43
1.5.1 Politisch-gesellschaftliche Zielvorstellungen	44
1.5.2 Prognosen	45
1.5.3 Herausforderungen	47
1.5.4 Zusammenstellung der Kernmerkmale des SGV	52
Literatur	54
2 Grundlagen zu Betrieb und Infrastruktur	61
2.1 Physikalische Eigenschaften	62
2.2 Bahnbetrieb	65
2.2.1 Sicherung der Zugfolge	66
2.2.2 Betriebsverfahren und -durchführung	69
2.2.3 Unterscheidung von Zug- und Rangierfahrten	71

2.2.4	Besondere Rolle des Rangierens	73
2.2.5	Betriebsplanung	80
2.2.6	Betriebsqualität	90
2.3	Bahninfrastruktur	93
2.3.1	Bahnanlagen	93
2.3.2	Infrastrukturparameter und betriebliche Wechselwirkungen	94
2.3.3	Netzzugangsstellen und Güterverkehrsanlagen	99
2.3.4	Eigenschaften europäischer Eisenbahnnetze	108
2.4	Ausblick	114
	Literatur	118
3	Fahrzeuge	123
3.1	Einordnung der Fahrzeuge	123
3.2	Anforderungen und Eigenschaften	124
3.2.1	Fahrgeschwindigkeit	124
3.2.2	Zuglänge	127
3.2.3	Zugmasse	128
3.2.4	Fahrdynamik und Zugfolge	132
3.2.5	Technischer Netzzugang	133
3.2.6	Bremstechnik des Güterzugs	135
3.2.7	Bedingungen für die Zugbildung	143
3.2.8	Prozess der Zugbildung	144
3.2.9	Ökologische Aspekte	145
3.3	Triebfahrzeuge	147
3.3.1	Konzept der Energiezuführung	147
3.3.2	Einsatzbereiche	150
3.3.3	Typische Triebfahrzeugkonzepte je Einsatzbereich	155
3.4	Güterwagen	160
3.4.1	Einsatzfelder von Güterwagen	160
3.4.2	Fahrzeugkonzepte für Güterwagen	162
3.4.3	Einteilung und Bezeichnung der Güterwagen	165
3.4.4	Typische Güterwagen	167
3.5	Fahrzeugvorhaltung	180
3.5.1	Organisatorische Rahmenbedingungen	180
3.5.2	Zulassung der Fahrzeuge	180
3.5.3	Praktische Verwendung von Güterwagen	181
3.5.4	Instandhaltung	182
	Literatur	185
4	Produktionssysteme	187
4.1	Übersicht der Produktionsstrukturen	187
4.2	Ganzzugverkehr	192
4.2.1	Definitionen	192
4.2.2	Merkmale, Einsatzbereiche und Wettbewerb	193

4.2.3	Notwendige Ressourcen	195
4.2.4	Umlaufbildung	197
4.2.5	Regel- und Sonderzüge	203
4.2.6	Abruf- und Sammelverfahren	205
4.3	Einzelwagenverkehr	205
4.3.1	Definition	205
4.3.2	Merkmale, Einsatzbereiche und Wettbewerb	206
4.3.3	Netzgestaltung	210
4.3.4	Rangierbahnhöfe	214
4.3.5	Kapazitätsbuchung im EWV	218
4.4	Kombinierter Verkehr	220
4.4.1	Definitionen	220
4.4.2	Merkmale, Einsatzbereiche und Wettbewerb	223
4.4.3	Akteure	225
4.4.4	Produktionskonzepte	226
4.4.5	Intermodale Transporteinheiten	227
4.4.6	Umschlagbahnhöfe	231
4.4.7	Umschlaggeräte	233
4.4.8	KV-Profile und Strecken-Kodifizierungen	236
4.4.9	Horizontalumschlag	236
	Literatur	237
5	Innovationen	241
5.1	Abgrenzung, Anforderungen und Zuordnung	241
5.1.1	Innovationsbegriff	241
5.1.2	Anforderungen und Innovationszuordnung	244
5.2	Weiterentwicklung der Produktionsstrukturen	245
5.2.1	Verbesserte Verknüpfung der Verkehrsträger Straße und Schiene	246
5.2.2	Ausdehnung der Performance-Bereiche der vorhandenen Produktionssysteme	247
5.2.3	Produktionssystem für den Low-Performance-Bereich	248
5.2.4	Train-Coupling and -Sharing: Produktionssystem zwischen Ganzzug und Einzelwagenverkehr	250
5.3	Kupplungstechnologie	251
5.3.1	Einleitung	251
5.3.2	Status quo – die Schraubekupplung	252
5.3.3	Alternative Technologien und ihre Verbreitung	253
5.3.4	Vorteile der angestrebten Umrüstung	256
5.3.5	Migration	258

5.4	Bremstechnologie	260
5.4.1	Einleitung	260
5.4.2	Elektrisch angesteuerte Druckluftbremse	261
5.4.3	Automatische Bremsprobe	264
5.5	Digitalisierung	265
5.5.1	Einleitung	265
5.5.2	Schaffung digitaler Datenaustauschplattformen	266
5.5.3	Telematik	269
	Literatur	271
	Glossar	273



Der Schienengüterverkehr – Bedeutung, Marktumfeld und organisatorischer Rahmen

1

Zusammenfassung

Das erste Kapitel gibt eine grundlegende Einführung zum Thema Schienengüterverkehr (SGV). Dabei ordnet es die Bahn als Transportmittel für Güter zunächst in den Gesamttransportmarkt aller Verkehrsträger ein und beschreibt dessen Einsatzfeld und die entsprechende Aufkommensentwicklung. Es folgt die Darstellung der Organisation des europäischen Bahnsektors, wobei die Liberalisierungs- und Harmonisierungsbestrebungen sowie der resultierende rechtliche Rahmen im Fokus stehen. Aus dem Blickwinkel der zentral im SGV-Markt stehenden Eisenbahnverkehrsunternehmen werden die wirtschaftlichen Rahmenbedingungen betrachtet, bevor der Blick nach vorne gerichtet wird und ausgehend von den gesellschaftlichen und politischen Zielvorstellungen die Wachstumsaussichten und Herausforderungen des SGV dargestellt werden. Das Kapitel schließt mit einer Zusammenstellung der Kernmerkmale des SGV und gibt damit sowohl eine Zusammenfassung zum ersten Kapitel als auch einen Ausblick auf die folgenden.

1.1 Einleitung

Der Gütertransport auf der Schiene ist zu einem Hoffnungsträger im Rahmen der notwendigen Nachhaltigkeit im Verkehrssektor geworden. Seit seiner Liberalisierung Anfang der 1990er Jahre hat der Schienengüterverkehr (SGV) bei weitestgehend unveränderten infrastrukturellen Voraussetzungen seine Leistungsfähigkeit stark gesteigert, festzumachen beispielsweise an der Verdopplung der Transportleistung im deutschen SGV im Zeitraum von 1993 bis 2017 (Abschn. 1.2.2). Seinen Anteil am Mix der Verkehrsträger ist dabei jedoch nicht wesentlich gestiegen. Nun soll dies in kurzer Zeit gelingen.

Mit dem Pariser Klimaschutzabkommen wurde das Ziel der Treibhausgasneutralität in der zweiten Hälfte des laufenden Jahrhunderts obligatorisch, womit der Treibhausgasausstoß und -abbau im Gleichgewicht zu stehen haben (Netto-Null-Ziel). Hierfür sind zuvorderst die CO₂-Emissionen zu senken. Das deutsche Klimaschutzgesetz schreibt in einem Stufenplan – Minderung bis 2030 von 65 %, bis 2040 von 88 %¹ – das Erreichen der „Klimaneutralität“ bis 2045 vor. Die österreichische Bundesregierung strebt dieses Ziel bereits für das Jahr 2040 an. In der Schweiz ist die Netto-Null laut Beschluss des Bundesrats für 2050 verankert. (UBA 2021a) (Bundesregierung o. J.) (BMK o. J.c) (Bundesrat 2021).

Der Verkehrssektor ist von dieser Entwicklung stark betroffen, da sich in den letzten Jahrzehnten die Nutzung von fossil gespeisten Antrieben mit hoher Leistungs- und Speicherdichte, wie z. B. Verbrennungsmotoren und Turbinen-Strahltriebwerke, durchgesetzt hat. Der kontinuierliche Wechsel zu nachhaltigen Antrieben kennt bisher nur zwei prinzipielle Optionen und ist daher besonders anspruchsvoll. Erste Option ist der Einsatz elektrischer Antriebe mit direkter oder indirekter Speisung, d. h. durchgehender Stromversorgung oder Energiespeicherung auf dem Fahrzeug mittels Akku- oder Brennstoffzellentechnologie. Die zweite Option ist mit dem Einsatz von Verbrennungsmotoren unter Anwendung von nachhaltig erzeugten Kraftstoffen, wie z. B. Wasserstoff oder „eFuels“ gegeben.

Für welche Einsatzfelder diese beiden Möglichkeiten jeweils geeignet sind, wird gerade in der Fachöffentlichkeit intensiv diskutiert. Dabei zeichnet sich bereits ab, dass erneuerbare Energien am Anfang des Dekarbonisierungsprozesses knapp sein werden (BMK 2021, S. 9). Daher ist es von großer Bedeutung, den Energiebedarf für den Transport von Menschen und Gütern niedrig zu halten.

Somit werden ab jetzt die Verkehrsträger mit geringeren Leistungsanforderungen von Vorteil sein, woraus sich die wiederkehrende Bedeutung der Eisenbahn ergibt. Der spezifische Energiebedarf von Bahnsystemen ist aufgrund der Spurführung, des Rad-Schiene-Kontakts sowie der Zugbildung um ein Vielfaches geringer als der von Straßen- und Luftfahrzeugen (Abschn. 1.2.4). Zudem erlaubt die Spurführung eine direkte Speisung von Energie über die Oberleitung oder Stromschiene, sodass die Notwendigkeit zu deren Zwischenspeicherung im Fahrzeug durch Batterien oder Tanks entfällt.

Aus diesem Grund wird die Eisenbahn als Schlüsselement bei der Umsetzung einer Mobilitätswende angesehen, deren Ziel die Verschiebung des Schwerpunkts vom motorisierten Straßenverkehr hin zu nachhaltigen Verkehrsformen ist (BMVI 2020a, S. 8). Für den Güterverkehrsbereich bedeutet dies – wie eingangs formuliert – eine angestrebte Anteilssteigerung des SGV im Verkehrsträgermix insbesondere zulasten des Straßengüterverkehrs.

Die Transportbranche befindet sich in einem permanenten Wandel. Die soeben beschriebenen Notwendigkeiten stellen dabei das aktuelle, gerade beginnende Kapitel

¹ Basisjahr 1990.

dar. Es folgt dem Kapitel des Wandels von der reinen Transportwirtschaft zur Logistik mit Schlagworten wie Just-in-Time und Just-in-Sequence und der einhergehenden Forderung der maximalen Flexibilität im Sinne der Warenproduktion in einer globalisierten Welt, z. T. mit vollständiger Unterordnung der „Bedürfnisse“ des Transportsystems und der Umwelt. *Green Logistics* lautet nun das neue Ziel mit dem Ergebnis, dass Wirtschaftsbereiche, die lange den Blick ausschließlich auf den Straßengüterverkehr gerichtet hatten, nun wieder die Eisenbahn – zumindest prüfend – in ihr Blickfeld nehmen.

Somit steigt auch die Notwendigkeit, das Wissen über den Verkehrsträger Schiene für den Güterverkehr, welches in Teilbereichen ggf. verloren gegangen ist, wieder zu verbreitern und auf den aktuellen Stand der Entwicklungen anzupassen. Dieses Ziel verfolgt das vorliegende Buch. Es richtet sich dabei an alle, die in der SGV-Branche auf der Anbieterseite tätig sind oder auf der Nachfragerseite den Transport ihrer Güter organisieren; an langjährige Praktiker*innen, die sich weiterbilden, ebenso an diejenigen, die aus der Ausbildung oder dem Quereinstieg kommend im Transportbereich tätig werden wollen; an Entscheidungsträger*innen in Unternehmen, Politik, Ministerien und Behörden, denn Wissen und Verstehen sind wichtige Voraussetzungen für gute Entscheidungen.

Was kann der SGV leisten, was sind seine Stärken und Schwächen, welche bahnbetrieblichen Grundlagen gilt es zu beachten, welche Ressourcen sind notwendig, welches sind die gültigen und kritisch zu hinterfragenden Randbedingungen? Dies sind nur einige der Leitfragen, die hinter dem Aufbau des Buchs stehen und zu denen – wenn auch nicht in jedem Fall mit einer eindeutigen Antwort – den Leser*innen² das notwendige Wissen für ein solides Verständnis an die Hand gegeben werden soll.

1.2 Der SGV als Teil des Gesamttransportmarkts aller Verkehrsträger

1.2.1 Übersicht der Verkehrsträger

Im kontinentalen Güterverkehr Europas kommen als Verkehrsträger die Straße, die Eisenbahn, die Binnenschifffahrt, Rohrfernleitungen sowie der Luftverkehr zum Einsatz. Hinzu kommt in den Küstenregionen noch das sogenannte Short-Sea-Shipping, d. h. kontinentale Frachtschifftransporte (von europäischen zu europäischen Ländern), sei es mit Fähren (roll-on, roll-off), Container-, Stückgut- oder Massengutschiffen. Im interkontinentalen Transport ist die Hochseeschifffahrt dominierend.

²Im Folgenden wird bei Funktions- und Berufsbezeichnungen im Bahnbetrieb und im SGV zur einfacheren Lesbarkeit auf geschlechtliche Differenzierung verzichtet. Dies adressiert jedoch in gleicher Weise Personen jeglichen Geschlechts (weiblich, männlich, divers).

► **Generelle Güterarten (definiert über den Ladevorgang)**

Stückgut

Transportgut, bei dem jedes Stück bei der Be- und Entladung einzeln behandelt wird, d. h. wo jede Wareneinheit einen eigenen Ladevorgang bedingt. Größe und Form können dabei stark variieren, ggf. ist das Gut selbst rollfähig und entsprechend rollend verladbar, wie im Fall von Pkw und anderen Fahrzeugen. Reicht diese Menge nicht zur effektiven Nutzung von mindestens einem ganzen Transportgefäß, d. h. eines Lkw, einem Güterwagen oder einem Ladebehälter im Kombinierten Verkehr, so spricht man von Sammelgut – mehrere Stückgüter verschiedener Kunden müssen gesammelt transportiert werden.

Massengut

Festes oder flüssiges Gut, das zum Be- oder Entladen geschüttet (Schüttgut) oder gepumpt werden kann, d. h. wo nicht jedes Teilchen (Korn) beim Ladevorgang einzeln behandelt wird bzw. beim flüssigen Gut nicht das einzelne Flüssigkeitsgebilde verladen wird. Beispiele festen Massenguts sind Erze, Kohle, Granulate und Agrarprodukte, wie Getreide. Beispiele flüssigen Massenguts sind Mineralöl und flüssige Chemikalien.

Massenstückgut

In großen Mengen relativ homogen auftretende Stückgüter, bei denen bei der Verladung mehrere Stück auf einmal gegriffen werden können. Beispiele sind palettierte Waren, darunter auch Getränke im Kasten, Rundholz (Stämme) und Stahlprodukte (Zwischenprodukte, Rohre); teilweise als Untergruppe des Masseguts geführt.

Jeder Verkehrsträger hat seine individuellen Vor- und Nachteile, die, je nach Beschaffenheit des jeweiligen Transportguts und der Sendungsrelation – d. h. dem Start und Zielort – den einen oder anderen Verkehrsträger aus Sicht des Transportkunden attraktiver machen. Im Folgenden werden die einzelnen Verkehrsträger in der Reihenfolge ihrer Bedeutung im kontinentalen Verkehr – gemessen anhand der Transportleistung – kurz charakterisiert.

- **Straßengüterverkehr:** Der Straßengüterverkehr hat von allen Verkehrsträgern die höchste Netzdichte und mit Abstand die meisten Zugangspunkte zum Transportsystem. Dies ist sicherlich einleuchtend: Alle produzierenden oder verarbeitenden Betriebe sind an das allgemeine Straßennetz angebunden, womit für diese direkt die Voraussetzung zur Teilnahme am Straßengüterverkehr gegeben ist. Neben der dadurch gegebenen maximalen räumlichen Flexibilität ist der Straßengüterverkehr auch zeitlich sehr flexibel, hier gilt die Analogie zum motorisierten Individualverkehr im Personenverkehr. Die vergleichsweise kleinen Einheiten (die Lkws) können ohne zeitliche Bindung und ohne Notwendigkeit aufwändiger Sammelprozesse flexible Haus-zu-Haus-Verkehre anbieten.

Technisch geeignet ist der Lkw für nahezu alle Güterarten. Ausgeschlossen sind im Wesentlichen Sendungen, bei denen die Größe oder das Gewicht des einzelnen

Stücks die Ladefähigkeit eines Lkw überschreitet, wie zum Beispiel beim Transport von landwirtschaftlichen Fahrzeugen wie Mähdreschern (Größe) oder Zwischenprodukten der Stahlindustrie wie Brammen (Gewicht). Ausnahmen stellen besonders geplante und gesicherte Spezialtransport dar. Beim Transport großer Mengen über feste Relationen – wo die Vorteile der kleinen Einheiten und der Flexibilität nicht greifen – mangelt es dem System jedoch an Effizienz. Der Ausbau der Autobahnnetze und der Selbsteintritt von Speditionen – d. h. Betrieb eigener Lkw-Flotten statt Konzentration auf die Organisation von Transporten unter Einbindung aller Verkehrsträger ohne eigene, auszulastende Fahrzeuge – sowie das Größenwachstum und die technische Weiterentwicklung der Fahrzeuge haben den Straßengüterverkehr neben seiner ursprünglichen Kernkompetenz der regionalen Sammlung- und Verteilung auch zum dominierenden Verkehrsträger im Fernbereich werden lassen (Abschn. 1.2.2). Die geringen Nutzungshürden, ein großer Fahrzeugmarkt, niedrige Lohnkosten für die Fahrer sowie ein stark ausgeprägter Wettbewerbsmarkt vieler kleiner, mittelständischer und großer Fuhrunternehmen führten – im Vergleich zu den anderen Verkehrsträgern und unter Beachtung der genannten Ausnahme – zu geringen Transportkosten. Diesen Vorteilen (aus Sicht der Transportkunden) stehen einige negative Aspekte aus gesamtgesellschaftlicher Sicht gegenüber, die insbesondere aus dem ausgedehnten Einsatz im Fernbereich resultieren. Vordringlich handelt es sich dabei um den hohen Schadstoffausstoß der bislang fast ausschließlich eingesetzten Dieselmotoren (Luftverschmutzung und Klimabelastung), der hohe Flächenverbrauch sowie Staus und Unfälle mit den entsprechenden Folgekosten. Durch den vorgesehenen Einsatz alternativer Antriebe (elektrisch, eFuels, Wasserstoff) und eine zunehmende Automatisierung des Fahrens kann mit deutlichen Verbesserungen gerechnet werden.

- **SGV:** Die Netzdichte ist wesentlich geringer als im Straßengüterverkehr (Tab. 1.1). Dies betrifft zum einen die Gesamtlänge leistungsfähiger Strecken, die im Straßengüterverkehr den Bundesstraßen und -autobahnen entsprechen würden. Zum anderen – und das mit größerer Relevanz für die Bedeutung des Systems – ist die filigrane Feinverzweigung und damit die Flächenabdeckung mit Zugangsstellen viel geringer.

Die Eisenbahn ist, wie der Lkw, technisch für nahezu alle Güterarten geeignet und zeichnet sich durch ihre Bündelungsfähigkeit und Massenleistungsfähigkeit sowie einem im Vergleich zum Lkw geringeren spezifischen Energiebedarf (Energieauf-

Tab. 1.1 Netzlängen der Verkehrsträger Straße, Schiene und Binnenschiff

Land	Straße (km)	Schiene (km)	Binnenwasserstraße
Deutschland	890.872 ^{1,2}	38.600 ^{1,3}	7675 km ⁴
Österreich	127.000 ^{5,6}	5600 ^{5,6}	351 km ⁴
Schweiz	83.274 ^{7,8}	5196 ^{7,9}	/

¹⁾BMVI (2020b, S. 53, 103, 114); ²⁾Straßen des überörtlichen Verkehrs und sonstige Straßen 2017;

³⁾Betriebslänge 2017; ⁴⁾(Eurostat o. J.); ⁵⁾(2019; VCÖ o. J.); ⁶⁾2019; ⁷⁾(BFS o. J.); ⁸⁾2020; ⁹⁾2015

wand pro Tonnenkilometer (tkm)) aus. Mit verschiedenen Produktionssystemen (Kap. 4) adressiert der SGV unterschiedliche Transportanforderungen, insbesondere in Bezug auf die Transportmenge pro Transportvorgang. So belädt beim *Ganzzugverkehr (GV)* ein Kunde einen ganzen Zug, der in der Regel nur ein Ziel ansteuert und ggf. leer zurückfährt (Pendel). Beim *Einzelwagenverkehr (EWW)* werden hingegen einzelne Güterwagen oder Wagengruppen über ein abgestuftes System von Zügen und Zugbildungsanlagen (ZBA) transportiert. Der *Kombinierte Verkehr (KV)* dient dem Transport von genormten Transportbehältern wie Containern, Wechselbehältern und Sattelaufliegern oder ganzen Lkw, die regionale Sammlung und Verteilung dieser Behälter erfolgt über die Straße. Hinsichtlich der Flexibilität muss der SGV systembedingt – maßgeblich aufgrund der größeren Fahrzeugdimensionen (Gefäßgröße) und der geringeren Netzdichte – gegenüber dem Lkw generell einige Abstriche machen. Der Einsatz elektrischer Triebfahrzeuge minimiert den lokalen Schadstoffausstoß, je nach Wahl der Energiequelle für den Strom kann die Klimabilanz gut gestaltet werden. Weitere Merkmale finden sich in Abschn. 1.5.4.

- **Binnenschifffahrt:** Die Netzlänge der Binnenschifffahrt (Flüsse und Kanäle) ist nochmals um ein Vielfaches kürzer als bei der Eisenbahn, infolgedessen auch die Netzdichte geringer. Die Leistungsfähigkeit des Systems hängt maßgeblich von der Größe der einsetzbaren Schiffe ab, welche durch die Auslegung der jeweiligen regionalen Fluss- und Kanalinfrastruktur (inkl. Schleusen) begrenzt ist. Dies betrifft neben der Länge und Breite der Schiffe auch deren Tiefgang und deren Höhe (durch die Höhen der zu unterquerenden Brücken). Unter anderem hierdurch bedingt liegt in Deutschland eine starke Konzentration auf das Rheingebiet vor, welches weit über 50 % des Güterumschlags der deutschen Binnenhäfen auf sich vereint (BMVI 2020b, S. 66). Verstärkt ist diese Konzentration auch in der Schweiz und Österreich sichtbar: auf die drei Rheinhäfen Basel Kleinhüningen, Birsfelden und Muttenz Au im Falle der Schweiz und auf die Donau, March, Enns und Traun im Falle von Österreich. Eisgang, Hoch- und Niedrigwasser können den Binnenschiffsverkehr negativ beeinflussen. Die Transportgeschwindigkeit ist sehr gering, wodurch sich eine Affinität zu niedrigwertigen Massengütern ergibt.
- **Rohrfernleitungen:** Bei Rohrfernleitungen handelt es sich um ein spezifisches Transportsystem für flüssige oder gasförmige Güter, überwiegend aus dem Energiesektor. Wesentliche Transportgüter sind Rohöl und Erdgas.
- **Seeschifffahrt:** Diese unterteilt sich in die interkontinentale Hochseeschifffahrt und die Short-Sea- und Feeder-Schifffahrt, die auf den küstennahen Gewässern verkehren (z. B. für Deutschland relevant auf Nord- und Ostsee). Feederschiffe übernehmen eine Sammel- und Verteilfunktion für die interkontinentalen Hochseeschiffe. So fahren diese aus Amerika oder Asien die großen Nordseehäfen an und Sendungen für den Ostseeraum werden dort auf Feederschiffe umgeschlagen. Die Short-Sea-Schifffahrt bedient kontinentale Relationen, hierunter fallen zum Beispiel auch Fracht-Fährverkehre.

- **Luftverkehr:** Wesentlicher Vorteil des Luftverkehrs ist die gegenüber den anderen Verkehrsträgern hohe Geschwindigkeit. Die Sendungen sind bezüglich ihrer Größe aber auch hinsichtlich ihres Gewichts stark begrenzt. Die hohen Transportkosten, maßgeblich beeinflusst durch den hohen Energiebedarf des Fliegens, machen den Luftverkehr nur für hochpreisige, eilige Güter interessant. Dies führt dazu, dass diese Transportform am Aufkommen als auch an der Transportleistung gemessen im kontinentalen Transport eine untergeordnete Rolle spielt (also an beiden Messgrößen, die auf dem Ladungsgewicht und nicht dem Warenwert basieren). Zugangspunkte zum System sind die Flughäfen, womit ein Zu- und Abtransport von/zu diesen Knotenpunkten mit einem anderen Verkehrsträger erfolgen muss. Zum Einsatz kommen zum einen reine Frachtflugzeuge, ein relevanter Mengenanteil wird jedoch als Beiladung zu Passagierflügen abgewickelt.

Hintergrundinformation: Das *Basis- und Overlay-System*

In einer modellhaften Sichtweise auf das Zusammenwirken der Verkehrsträger stehen diese in mehreren Ebenen übereinander (Abb. 1.1). Über einem *Basis-System*, das die grundsätzliche Erreichbarkeit aller relevanten Orte sicherstellt, kommen die *Overlay-Systeme*, die in einem jeweils größeren Netz – d. h. Anbindung von weniger Orten – zusätzliche Kapazitäten mit ihren jeweils verkehrsträgerspezifischen Merkmalen zur Verfügung stellen.

Das Basis-System ist mit dem Straßenverkehr gegeben, flächendeckend und frei zugänglich. Die jeweiligen Vorteile der Overlay-Systeme Eisenbahn und Luftverkehr – höhere Kapazitäten, höhere Geschwindigkeiten, höhere Sicherheit, im Fall der Bahn niedrigerer Energiebedarf – sind grundsätzlich nicht ohne höhere spezifische Kosten zur Vorhaltung und Nutzung der jeweiligen Infrastrukturen realisierbar. Hieraus ergibt sich zwingend die geringere Netzdichte dieser Systeme. Es ist für jeden Knoten und jede Kante im Overlay-System ein im Vergleich zum Basis-System höheres Minimalaufkommen notwendig, um diese wirtschaftlich zu betreiben.

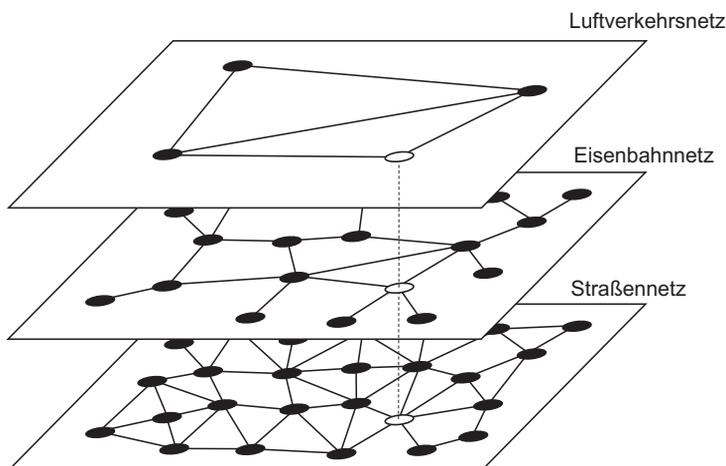


Abb. 1.1 Basis- und Overlay-Systeme, Hervorhebung eines gemeinsamen Netzknotens als Übergangspunkt zwischen den Systemen

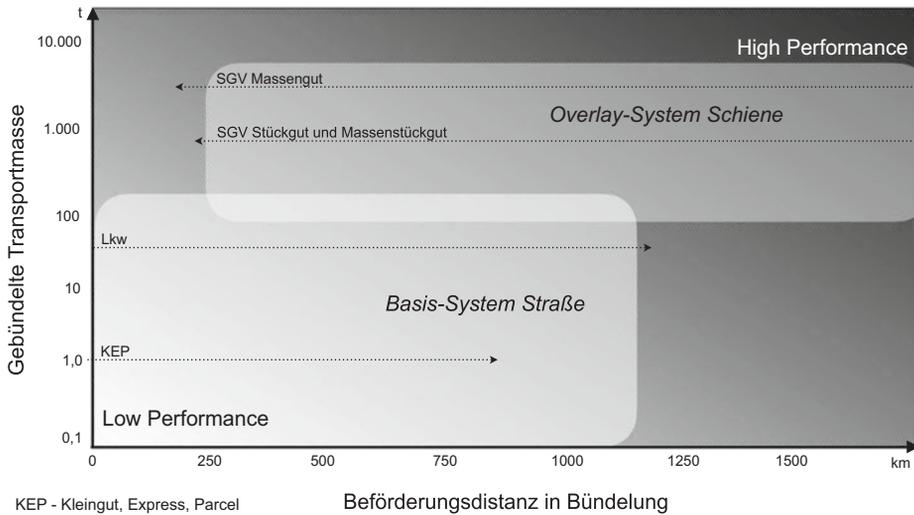


Abb. 1.2 Performance-Vergleich des Basis-Systems zum Overlay-System Schiene

Während die Verkehrsträger – d. h. die *Layer* (Ebenen) – bei den sich überlagernden Verbindungen in Konkurrenz zueinander stehen (*intermodale Konkurrenz*), obliegt dem Basis-System die Aufgabe der regionalen Sammel- und Verteilfunktion für die Knoten der Overlay-Systeme, d. h. hier ist eine *intermodale Kooperation* notwendig. Durch den Ausbau des Autobahnnetzes im Basis-System ist dieser Layer weit in die primären Domänen der Overlays – Kapazität und Geschwindigkeit – vorgedrungen.

Abb. 1.2 stellt die Performance der Verkehrsträger Straße und Schiene vergleichend dar. Als Performance wird in diesem Sinne die Leistungsfähigkeit des jeweiligen Verkehrsträgers gesehen, beschrieben durch die Kombination der mittleren Transportentfernung pro Sendung mit der mittleren gebündelten Transportmenge pro Fahrzeugeinheit (Lkw oder Zug) auf dem Transportabschnitt mit maximaler Sendungsbündelung³. In die Flächen, die die jeweiligen Schwerpunktbereiche markieren, sind zudem Beispiele üblicher Referenzmengen pro Einheit eingezeichnet.

► Intra- und intermodale Kooperation oder Wettbewerb

Intramodal

= zwischen verschiedenen Unternehmen innerhalb eines Verkehrsträgers.

Intermodal

= zwischen den Verkehrsträgern.

³In Abgrenzung dazu stellt Abb. 4.3 die mittlere Transportentfernung pro Sendung gegenüber der mittleren Sendungsgröße dar.

1.2.2 Entwicklung der Transportleistung und des modalen Anteils

Der SGV stellt in Zentraleuropa nach dem Straßengüterverkehr – jedoch mit einigem Abstand zu diesem – gemessen an der Transportleistung den zweitwichtigsten Verkehrsträger dar. Betrachtet man die nationale Ebene, fallen lediglich die Niederlande und Luxemburg heraus – hier reiht sich die Binnenschifffahrt zwischen Straßen- und Schienengüterverkehr ein (Eurostat 2022a). Abb. 1.3 zeigt den modalen Anteil des SGV in Deutschland, Österreich und der Schweiz sowie der Europäischen Union im Vergleich (Liniendiagramm, rechte Achse). Als Balken (linke Achse) ist die jeweilige nationale Transportleistung eingezeichnet. Die Binnenschifffahrt – ohne Darstellung – hat mit 8 % (2019) in Deutschland noch eine wesentlich größere Bedeutung als in Österreich (2,4 %) oder gar der Schweiz (0,1 %).

Abb. 1.4 stellt für die Entwicklung in Deutschland eine längere Zeitachse und die Anteile der konkurrierenden Verkehrsträger dar. Zu erkennen ist eine Verdoppelung der Transportleistung des SGV vom Jahr 1993, d. h. dem letzten Jahr vor der Bahnreform (Abschn. 1.3.2), bis zum Jahr 2017. Dass dieses starke absolute Leistungswachstum nicht zu einem entsprechend nennenswerten Wachstum des modalen Anteils des SGV geführt hat, liegt am Wachstum des Gesamtmarkts und insbesondere des Straßengüterverkehrs, der seine Transportleistung im selben Zeitraum ebenso nahezu verdoppelt hat (+93 %, Verdopplung von 1991 bis 2018) (UBA o. J.).

Beim Blick noch weiter zurück kehrt sich die Reihenfolge der Bedeutung der Verkehrsträger Straße und Schiene für den Gütertransport um. So lag der Anteil des SGV

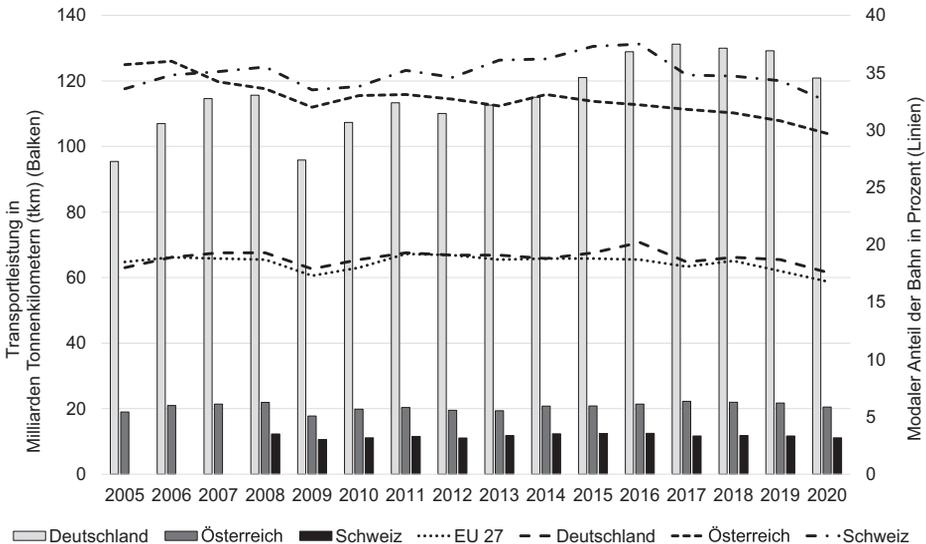


Abb. 1.3 Entwicklung der Transportleistung und des modalen Anteils des SGV in Deutschland, Österreich und der Schweiz. (Eigene Darstellung, Angaben aus Eurostat 2022a, Eurostat 2022b und BMVI 2022, S. 245)

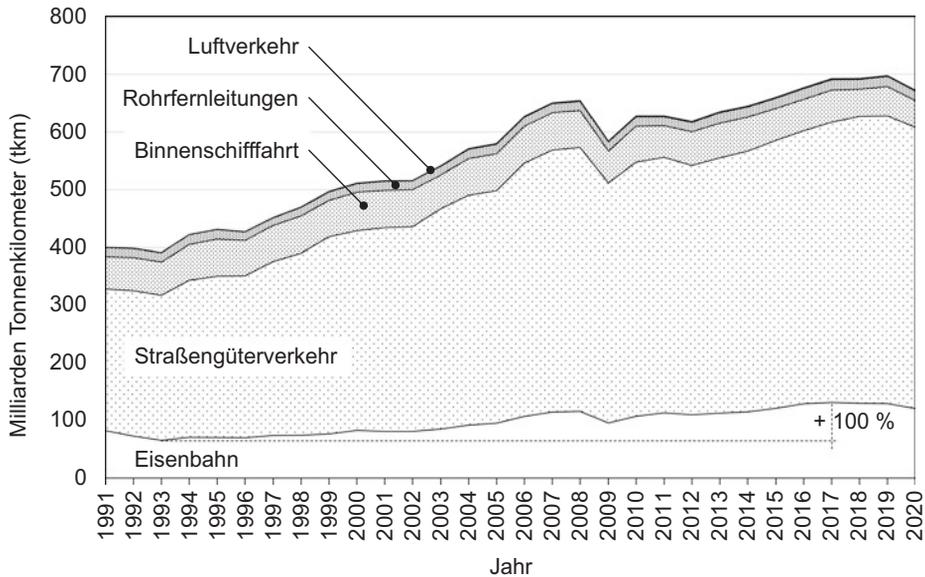


Abb. 1.4 Entwicklung der Güterverkehrsleistung in Deutschland nach Verkehrsträgern⁴. (Eigene Darstellung, Angaben aus UBA o. J.)

in Westdeutschland Anfang der 1950er Jahre gemessen an der Transportleistung aller Verkehrsträger noch über 50 %. Dann sank sein Anteil bis zur ersten Hälfte der 1980er Jahre unter 30 % und in der ersten Hälfte der 1990er Jahre (Deutschland gesamt) unter 20 % (BMVBS 2003, S. 231, S. 238–239⁵). Auf dem Gebiet Ostdeutschlands hingegen wurde – planwirtschaftlich gesteuert – der Anteil der Eisenbahn durchgängig bis zum Ende der DDR bei rund 70 % gehalten (Spektrum 2001), es folgte dann zusammen mit dem Einbruch der Wirtschafts- und Transportmärkte auf diesem Gebiet eine Angleichung mit dem Gesamteffekt des zuvor benannten gesamtdeutschen Werts. Ab dann erfolgte bundesweit eine Stabilisierung des modalen Anteils der Bahn, in den Jahren vor der Finanzkrise von 2008 konnten bis zu diesem Jahr sogar leichte Zugewinne verzeichnet werden (BMVBS 2011, S. 247). Mit Einwirkung der Krise auf den Transportmarkt im Jahr 2009 wurde dieser positive Trend zwischenzeitlich unterbrochen, um sich dann mit leichten Auf- und Abs wie in Abb. 1.3 erkennbar im Bereich knapp unter 20 % zu bewegen.

⁴Vermerke in der zitierten Quelle: Luftverkehr: Fracht- und Luftpost, ohne Umladungen; Rohrfernleitungen: ab 1996 nur Rohöl; Jahr 2020: zum Teil vorläufige Werte. Quellenangabe in der zitierten Quelle: Umweltbundesamt mit den Daten des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur.

⁵Zu Einschränkungen/Abgrenzungen und Änderungen in der Statistikerfassung im Betrachtungszeitraum siehe zitierte Quelle S. 236–239.

In Österreich und der Schweiz zeigen sich tendenziell gleiche historische Entwicklungen wie in (West-) Deutschland. Jedoch konnte durch frühzeitig gestellte politische Rahmenbedingungen – in der Schweiz mit Fokus auf den Alpen transit – der Rückgang des Anteils der Bahn auf einem höheren Niveau angehalten werden. In beiden Ländern leistete die Bahn 1950 noch einen Anteil von etwas über 70 % an der Transportleistung. Die Marke von 50 % wurde in Österreich im Jahr 1970, in der Schweiz 10 Jahre später unterschritten. Anfang der 1990er Jahre sank der modale Anteil der Bahn in Österreich dann auf unter 40 %. Nach knapp 31 % im Jahr 2009 zeigt die aktuelle Statistik einen Wert von 27,9 % für 2019. Die Schweizer Angaben ab 1990 bis 2019 zeigen eine permanente Schwankung im Bereich von 35 bis 40 %, zuletzt (2019) 37 %. (BFS 2021; BMUJF o. J., S. 22–12; BMVIT 2012, S. 142; Statistik Austria o. J.).

Hintergrundinformation: Fokus Alpen transit in der Schweiz

Der Fokus der Verkehrsverlagerungsbemühungen in der Schweiz liegt auf dem alpenquerenden Güter transitverkehr. Entsprechend liegt für diesen Teilbereich der modale Anteil der Bahn mit 70,5 % (2018) weit über dem im Haupttext benannten Wert, der zusätzlich nationale Verkehre, Im- und Exportverkehre und – im geringen Maße – nicht alpenquerende Transitverkehre enthält.

Wesentliche Hintergründe dieses hohen Wertes sind auf der einen Seite die hohe Investitionsbereitschaft in die notwendige Eisenbahninfrastruktur – dazu zählen vor allem die Neue Eisenbahn-Alpen transversale (NEAT) mit dem Gotthard-Basistunnel als Kernstück und der Vier-Meter-Korridor zum Transport von Sattelaufliegern auf der Bahn mit 4 m Eckhöhe. Auf der anderen Seite ist ein wesentlicher Aspekt die Verlagerungswirkung durch die Lkw-Maut „Leistungsabhängige Schwerverkehrsabgabe“ (LSVA), die ein Vielfaches über der deutschen Maut liegt⁶.

Gestützt sind diese Maßnahmen durch einen breiten Rückhalt in der Bevölkerung, der sich seit Anfang der 1990er Jahre in mehreren Volksabstimmungen gezeigt hat. Als Erfolg zeigt sich nicht nur ein gesteigener modaler Anteil der Bahn in einem wachsenden Transportmarkt, sondern eine absolute Reduktion der jährlich die Alpen überquerenden Lkw von rund 1,4 Mio. im Jahr 2001 auf 832.000 Fahrten im Jahr 2018. Das im Güterverkehrsverlagerungsgesetz gesetzte Ziel, bis 2 Jahre nach Eröffnung des Gotthard-Basistunnels die Anzahl der alpenquerenden Lkw auf 650.000 zu begrenzen, konnte damit jedoch noch nicht erreicht werden. (UVEK o. J.).

Zu beachten ist bei diesen langen Zeitreihen die Vervielfachung des gesamten Transportbedarfs. Als Beispiel sei hier auf die Schweizer Statistik zurückgegriffen, die für 2019 rund die 9-fache Transportleistung gegenüber 1950 ausweist (eigene Berechnung mit Daten aus BFS (2021)). Somit bedeuten die beschriebenen Anteilsreduzierungen am Modal Split nicht entsprechende absolute Rückgänge. Der langfristige Trend zeigt in

⁶So zahlt ein Lkw mit Abgasnorm Euro 6 in der Schweiz 2,28 Rappen pro Kilometer und Tonne der Fahrzeuggesamtmasse (BAZG 2022), was im Falle von 40 t Gesamtmasse und einer Distanz von 100 km zu 91,20 Franken führt, also ca. 90,00 € (Kurs vom 25.06.2022). Ein entsprechendes Fahrzeug kommt in Deutschland mit dem Satz von 18,3 €-Cent pro km (Fahrzeug über 18 t und ab 4 Achsen) (Toll Collect o. J.) für dieselbe Entfernung auf lediglich 18,30 €.

allen drei Ländern zumindest bis Ende der 1990er Jahre ein Wachstum der jeweiligen absoluten Transportleistung (BMVBS 2003, S. 236–237; BFS 2021; BMUJF o. J., S. 22–23). Es schließt sich dann jedoch zumindest für Österreich und die Schweiz eine gewisse Stagnation an (z. T. erkennbar in Abb. 1.3), während in Deutschland trotz der Einbrüche bei der Finanzkrise von 2008 sowie der Coronakrise (2020) insgesamt ein positiver Trend erkennbar bleibt.

Prognosen zur erwarteten zukünftigen Entwicklung finden sich in Abschn. 1.5.2.

1.2.3 Nachfragerrelevante Effekte

Die Entwicklungen der Transportwirtschaft und der produzierenden Wirtschaft beeinflussen sich gegenseitig, jeweils unter dem weiteren Einfluss der sie umgebenden Rahmenbedingungen wie der nationalen und internationalen gesamtwirtschaftlichen und politischen Entwicklungen und dem technischen Fortschritt. Wirft man den Blick zurück, so hat neben und nach der Erfindung der Dampfmaschine der Ausbau der Eisenbahnnetze die Industrialisierung in der stattgefundenen Form durch die Möglichkeit des nun massenhaften Gütertransports überhaupt erst ermöglicht. Blickt man hingegen auf den im vorigen Abschnitt beleuchteten Zeitraum von der Mitte bis zum Ende des 20. Jahrhunderts mit der dargestellten Bedeutungsverschiebung vom SGV zum Straßengüterverkehr und darüber hinaus auf die Zeit bis zum heutigen Tage, so ist zu konstatieren, dass wesentliche Effekte von außerhalb der Transportwirtschaft massiven Einfluss auf deren Entwicklung hatten. Auf drei Effekte mit besonderer Bedeutung für den SGV wird im Folgenden kurz eingegangen (Aberle 2000, S. 86 ff.):

- **Güterstruktureffekt:** Dieser Effekt beschreibt den Wandel der Zusammensetzung des Transportaufkommens durch die anteilmäßige Reduktion von Massengütern (wie Rohstoffen) bei gleichzeitigem Wachstum des Anteils hochwertiger Stückgüter (z. B. Zwischen- und Endprodukte). Daraus folgt eine Reduktion des Transportbedarfs großer Mengen auf festen Relationen mit großen Sendungsgrößen (Transportmenge bei einem Transportvorgang, z. B. Wagengruppe, ganzer Zug oder ganzes Binnenschiff), wobei hingegen der Transportbedarf vieler kleiner Sendungsgrößen (z. B. Lkw- bzw. Wagen-Ladung oder weniger) zwischen flächig verteilten Aufkommensquellen und -senken wächst.
- **Logistikeffekt:** Der Einfluss „moderner Logistikkonzepte in Industrie und Handel“ (Aberle 2000, S. 88) auf die Transportbedarfe und damit einhergehend gesteigerte Anforderungen an die Verkehrsträger wird als Logistikeffekt bezeichnet. Wesentliches Schlagwort ist Just-in-Time bei kleinen Sendungsgrößen und erhöhter Lieferfrequenz; der Effekt ist somit nicht unabhängig vom Güterstruktureffekt. Damit gehen erhöhte Ansprüche hinsichtlich der Zuverlässigkeit (Terminsicherheit) und Flexibilität der Transportleistung einher sowie ihrer informationstechnischen Abbildung und Kommunikation zwischen den Beteiligten.

- **Integrationseffekt:** Dieser Effekt bezieht sich auf die Zunahme internationaler und globaler Transportströme als Folge der internationalen Integration des Wirtschaftslebens u. a. durch Schaffung von internationalen Binnenmärkten und Freihandelsabkommen und einer gesteigerten weltweiten Arbeitsteilung in der Produktion. Während der Eisenbahn eine durch die Internationalisierung der Verkehre wachsende durchschnittliche Transportentfernung entgegenkommt, musste beziehungsweise muss sie sich einer einhergehenden Veränderung der Transportströme anpassen⁷. Der Effekt zeigt sich zum Beispiel in einer starken Konzentration des Aufkommenswachstums bei der Eisenbahn auf den Relationen von und zu den großen Seehäfen (sogenannter Hinterlandverkehr), d. h. im Vor- bzw. Nachlauf der globalen maritimen Transportströme.

1.2.4 Externe Effekte und Kosten (Umweltrelevanz)

Die Erzeugung und Durchführung von Verkehr haben neben den gewünschten Zielen – der Mobilität von Personen sowie der Ortsveränderung von Gütern – negative Auswirkungen auf die Umwelt und die Gesellschaft. Diese Auswirkungen werden häufig als *externe Effekte* beschrieben und als *externe Kosten* quantifiziert.

„...Externe Effekte“ treten auf, wenn die Situation eines Wirtschaftssubjekts durch Konsum oder Produktionstätigkeit anderer berührt wird, ohne dass diese Auswirkungen über das Preissystem ausgeglichen werden. Von „externen Kosten“ spricht man, wenn sich die Situation des betroffenen Subjekts verschlechtert.“ (Brenck et al. 2007)

Zusammengefasst und auf den Verkehr bezogen ergibt sich:

„Unter „externen Kosten des Verkehrs“ versteht man diejenigen Kosten, die durch die Mobilitätsteilnehmenden verursacht, jedoch nicht von ihnen selber getragen werden“ (Bieler und Sutter 2019, S. 4).

Ein wesentlicher und aufgrund der verstärkten Bemühungen zum Klimaschutz sehr aktueller Aspekt der externen Effekte ist die *Klimawirkung*, d. h. die Belastung der Umwelt durch Treibhausgase aus dem Verkehrsgeschehen.⁸ Hier zeigt sich ein starker Unterschied zwischen dem im Verkehrsgeschehen dominierenden Lkw auf der einen und der Bahn, dicht gefolgt vom Binnenschiff, auf der anderen Seite (Abb. 1.5). Der Luft-

⁷Hierzu zählt zum Beispiel die Überwindung von Interoperabilitätsproblemen im internationalen Verkehr (Abschn. 2.3.4), die so beim Lkw nicht gegeben sind.

⁸Die folgend dargestellten Zahlenwerte gemäß UBA (2020) und Bieler und Sutter (2019) basieren auf Daten aus Deutschland. Die implizierte generelle Aussage zur Umweltfreundlichkeit der einzelnen Verkehrsträger kann jedoch als weitestgehend allgemeingültig und damit auch auf die Schweiz und Österreich übertragbar angesehen werden. Werte auf EU-Ebene finden sich beispielsweise in Schrotten et al. (2019).

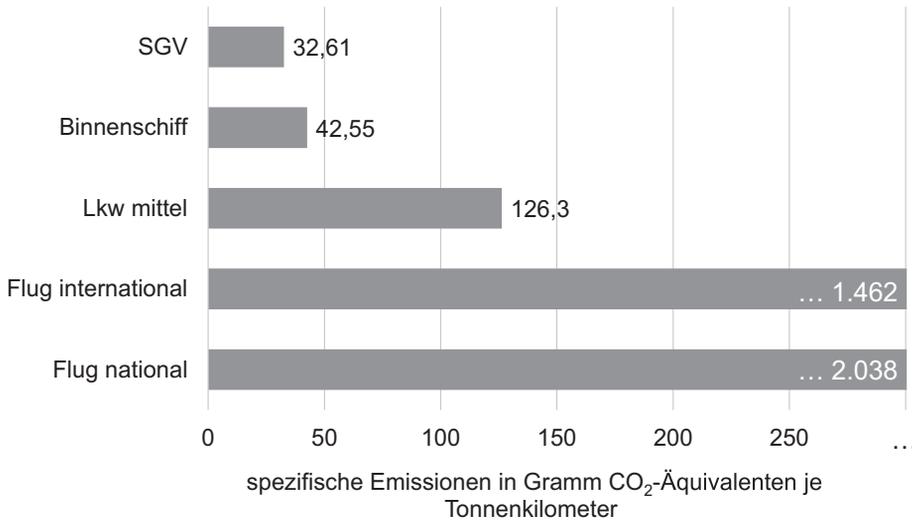


Abb. 1.5 Klimawirkung des Güterfernverkehrs. (Eigene Darstellung, Werte aus UBA 2021b, S. 41)

verkehr befindet sich im Vergleich zu allen weiteren in einer eigenen Größenordnung. Beim Lkw ist zu beachten, dass der dargestellte Mittelwert wesentlich durch die im Fernverkehr dominierenden Fahrzeuge bis 40 t bestimmt ist und kleine Fahrzeuge auf ein Vielfaches dieser mittleren Belastung kommen. Neben Treibhausgasemissionen aus dem Betrieb und der Energiebereitstellung sind die Emissionen der Herstellung und des Unterhalts von Fahrzeugen und Infrastruktur beinhaltet, beim Flugverkehr die zusätzliche Klimawirkung⁹ (UBA 2020, S. 149).

Geringste Emissionswerte weist die Eisenbahn auch bei den zu den Luftschadstoffen zählenden Stickoxiden (NO_x) und Partikeln (PM₁₀) auf (ohne Abbildung, bei variierenden Abständen zu Lkw und Binnenschiff) (UBA 2020, S. 129 f.).

Die aufgeführten Werte gelten für den Ist-Zustand, d. h. derzeitige Antriebs- und Einsatzkonzepte. Es ist zu erwarten, dass sich durch Weiterentwicklung der Lkw-Technologie, vor allem der früher oder später anstehende Abschied vom Dieselmotor (zunächst im Nahverkehr), der Umweltvorsprung der Bahn reduzieren wird. Der Vorteil des wesentlich geringeren Rollwiderstands bei der Bahn durch das Prinzip Stahlrad auf Stahlschiene, der für ein System mit Gummireifen aus Asphalt oder Beton „uneinholbar“ ist, wird jedoch langfristig bleiben (Tab. 1.2).

⁹durch Wasserdampf (H₂O), Stickoxide (NO_x), Partikel (PM₁₀ und PM_{2,5}) und Schwefeldioxid (SO₂).

Tab. 1.2 Emissions-relevanter Vergleich SGV zum Straßengüterfernverkehr

		Antriebstechnik	Fahrwiderstand	
			Luftwiderstand	Rollwiderstand
Straßengüterverkehr	Heute	Dieselmotor, Versuch-/ Pilotverkehre mit alternativen Antrieben (u. a. elektrisch)	Hoch durch Einzel-fahrzeuge	Hoch durch Kombination Gummireifen auf Asphalt
	Zukunft	Lokal emissionsfrei oder emissions-reduziert (elektrisch mit Oberleitung an Autobahnen, Brennstoffzelle, alternative Kraftstoffe, u. a. Rekuperation beim Bremsen)	Vorteil durch „virtuelle Kupplung“ (Fahren mehrerer Lkw mit automatischer Abstandshaltung im minimalem Fahr-zeugabstand)	Perspektivisch geringe Reduktion durch Weiter-entwicklung Reifentechnologie und ggf. Fahrbahn-oberflächen
SGV	Heute	Überwiegend elektrisch (lokal emissionsfrei), sonst Dieselmotor	Vorteil durch Zugbildung (Güterwagen im Windschatten des ersten Fahrzeugs, reduziert durch unterschiedliche Fahrzeugprofile, u. a. gedeckte Wagen nach Flach-wagen in einem Zug)	Stahlrad auf Stahl-schiene, damit nur 1/10 gegenüber Gummireifen auf Asphalt beim Lkw (Fengler 2013, S. 277)
	Zukunft	Durchgängig lokal emissionsfrei (Aus-bau Streckenelektri-fizierung, neue lokal emissionsfreie Antriebskonzepte wie beim Lkw)		

„Trotz einer weitgehenden Elektrifizierung der Straße wird die elektrifizierte Schiene, sowohl im Personenverkehr als auch im Güterverkehr, weiterhin zu den energieeffizientesten Formen der Beförderung zählen. [...] Eine Tonne, die auf der Bahn transportiert wird, benötigt im Schnitt nicht einmal ein Drittel der Energie, die mit einem maximal effizienten E-LKW mit Oberleitung benötigt wird¹⁰“ (BMK 2021, S. 9 f.)

Solange emissionsfrei hergestellte elektrische Energie („grüner Strom“) nicht in ausreichender Menge auch zur Deckung des gesamten Energiebedarfs zur Verfügung steht, bleibt dieser Vorteil des geringeren Energieverbrauchs relevant.

¹⁰ „Spezifische Energieeffizienz-Analyse der SCHIG, basierend auf unterschiedlichen Einsatzbedingungen und Auslastungsgraden“