



© Foto SBB

---

**Bundesamt für Verkehr BAV**

## **Innovationen im alpenquerenden Güterverkehr**

**Dr. Dirk Bruckmann**  
**Tobias Fumasoli**  
**Albert Mancera**

**Schlussbericht August 2014**

**IVT** *Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme*  
*Institute for Transport Planning and Systems*

**ETH**

Eidgenössische Technische Hochschule Zürich  
Swiss Federal Institute of Technology Zurich

# Innovationen im alpenquerenden Güterverkehr

Dr. Dirk Bruckmann  
ETH Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme (IVT)  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
8093 Zürich  
Telefon: +41 44 633 20 70  
Telefax: +41 44 633 10 57  
dirk.bruckmann@ivt.baug.ethz.ch

Tobias Fumasoli  
ETH Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme (IVT)  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
8093 Zürich  
Telefon: +41 44 633 40 42  
Telefax: +41 44 633 10 57  
fumasoli@ivt.baug.ethz.ch

Albert Mancera  
ETH Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme (IVT)  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
8093 Zürich  
Telefon: +41 44 633 28 38  
Telefax: +41 44 633 10 57  
albert.mancera@ivt.baug.ethz.ch

# Inhaltverzeichnis

<b>1</b>	<b>Kurzfassung</b>	<b>7</b>
<b>2</b>	<b>Auftrag und Ziele</b>	<b>8</b>
2.1	Ausgangslage	8
2.2	Zielsetzung des Projekts	9
<b>3</b>	<b>Innovation System Bahn</b>	<b>10</b>
3.1	Begriffe der Innovation und Systeminnovation	10
3.2	Innovationsmodelle	10
3.3	Auswahl und Kategorisierung der Innovationen	12
3.4	Einbezug des Bahnsektors	13
<b>4</b>	<b>Bewertung der Innovationen</b>	<b>14</b>
4.1	Bewertungsmethodik	14
<b>5</b>	<b>Systeminnovationen</b>	<b>16</b>
5.1	Pendelzüge	16
5.2	Zuglaufoptimierung	18
5.3	Automatische Bremsprobe	19
5.4	Hybrid- und Zweikrafttraktion	21
5.5	Harmonisierung der Zuglängen	22
5.6	Neue Technologien im UKV (Modalohr und Cargobeamer)	24
<b>6</b>	<b>Fahrzeuginnovationen</b>	<b>27</b>
6.1	Wagentelematik	27
6.2	Mittelpufferkupplung	28
6.3	Intra-Zugkommunikation	30
6.4	Bremsen	31
6.5	Umfassende Standardisierung von Rollmaterial und Umschlag	33
6.6	Energieversorgung auf dem Güterwagen	34
<b>7</b>	<b>Infrastrukturinnovationen</b>	<b>36</b>
7.1	Bessere Ausnutzung des Lichtraumprofils	36
7.2	Erhöhung der Achslast	38
<b>8</b>	<b>Prozessinnovationen</b>	<b>40</b>
8.1	Harmonisierung der Betriebsvorschriften	40
8.2	Flügelung von Güterzügen	41
<b>9</b>	<b>Synthese &amp; Empfehlungen</b>	<b>43</b>
	<b>Literatur</b>	<b>44</b>
	<b>Anhänge</b>	<b>46</b>
	Zusammensetzung der Expertengruppe	46
	Auszüge aus der TSI Infrastruktur	46

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1 Nutzwertschema nach Stuhr (2013) .....	14
Tabelle 2 Relativer Vorteil: Pendelzüge .....	17
Tabelle 3 Widerstand: Pendelzüge.....	17
Tabelle 4 Relativer Vorteil: Zuglaufoptimierung .....	18
Tabelle 5 Widerstand: Zuglaufoptimierung .....	19
Tabelle 6 Relativer Vorteil: automatische Bremsprobe .....	20
Tabelle 7 Widerstand: automatische Bremsprobe .....	20
Tabelle 8 Relativer Vorteil: Zweikrafttraktion .....	21
Tabelle 9 Widerstand: Zweikrafttraktion .....	22
Tabelle 10 Gängige Zuglängenbeschränkungen in Europa (König und Hecht, 2012).....	23
Tabelle 11 Relativer Vorteil: Harmonisierung Zuglänge.....	23
Tabelle 12 Widerstand: Harmonisierung Zuglänge.....	24
Tabelle 13 Relativer Vorteil: Neue Technologien im UKV.....	25
Tabelle 14 Widerstand: Neue Technologien im UKV.....	26
Tabelle 15 Relativer Vorteil: Wagentelematik .....	27
Tabelle 16 Widerstand: Wagentelematik .....	28
Tabelle 17 Relativer Vorteil: Mittelpufferkupplung .....	29
Tabelle 18 Widerstand: Mittelpufferkupplung .....	29
Tabelle 19 Relativer Vorteil: Intra-Zugkommunikation .....	30
Tabelle 20 Widerstand: Intrazugkommunikation.....	31
Tabelle 21 Anforderungen an die Bremsausrüstung (AB-EBV 2010) .....	32
Tabelle 22 Relativer Vorteil: Bremsen .....	32
Tabelle 23 Widerstand: Bremsen .....	33
Tabelle 24 Relativer Vorteil: Standardisierung .....	34
Tabelle 25 Widerstand: Standardisierung.....	34
Tabelle 26 Relativer Vorteil: Energieversorgung auf Güterwagen .....	35
Tabelle 27 Widerstand: Energieversorgung auf Güterwagen .....	35
Tabelle 28 Relativer Vorteil: Ausnutzung Lichtraumprofil .....	37
Tabelle 29 Widerstand: Ausnutzung Lichtraumprofil .....	38
Tabelle 30 Relativer Vorteil: Erhöhung Achslast.....	39
Tabelle 31 Widerstand: Erhöhung Achslast.....	39
Tabelle 32 Relativer Vorteil: Harmonisierung der Betriebsvorschriften .....	40
Tabelle 33 Widerstand: Harmonisierung der Betriebsvorschriften .....	41
Tabelle 34 Relativer Vorteil: Flügelung von Güterzügen.....	42
Tabelle 35 Widerstand: Flügelung von Güterzügen.....	42

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die fünf Bereiche des Systems Bahn (eigene Darstellung).....	10
Abbildung 2: Entscheidungsbaum zu privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung nach Brockhoff (1999) (eigene Darstellung) .....	11
Abbildung 3: Aktivitäten und Ergebnisse von Innovationsprozessen (Brockhoff, 1999) .....	11
Abbildung 4: mögliche Innovationen im System Eisenbahn (eigene Darstellung).....	12
Abbildung 5: Pendelzugeinheit der railCare AG (Quelle: railCare AG) und aufsteckbare Führerkabine (Quelle: ASK Cargojet) .....	16
Abbildung 6: Innovative UKV-Systeme (Quelle: lorry-rail.com, cargobeamer.com) .....	25
Abbildung 7: Überbreite Behälter auf Containertragwagen (Quelle: innofreight.ch) .....	36
Abbildung 8: Vergleich der Ladebegrenzungslinien nach EN 15273-3:2009 Anhang C (eigene Darstellung) .....	37
Abbildung 9: TSI-Streckenklassen (2011/275/EU) .....	46
Abbildung 10: Leistungskennwerte der TSI-Streckenklassen (2011/275/EU) .....	47



## Abkürzungen

AQGV	Alpenquerender Güterverkehr
ECM	Entity in Charge of Maintenance
EDGE	Enhanced Data Rates for GSM Evolution
EWL	Einzelwagenladungsverkehr
GPRS	General Packet Radio Service
GSM	Global System for Mobile Communications
KV	Kombinierter Verkehr
UKV	Unbegleiteter kombinierter Verkehr
NEAT	Neue Alpentransversale
NPV	Net Present Value
RB	Rangierbahnhof
RCP	Regionale Cargo Produktion
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
TCN	Train Communication Network
WLAN	Wireless Local Area Network
WPAN	Wireless Personal Area Network

# 1 Kurzfassung

Mit dem, 1994 vom Volk angenommenen Alpenschutzartikel und den damit verbundenen gesetzlichen Rahmenbedingungen wurde auf einen Zeithorizont von 2 Jahren nach Eröffnung des Gotthard-Basistunnels ein Ziel von maximal 650 000 alpenquerenden Lastwagenfahrten vorgegeben. Nach heutiger Einschätzung kann mit den bereits beschlossenen und umgesetzten Massnahmen dieses Ziel jedoch nicht mehr erreicht werden (UVEK, 2013). Daher ist es erforderlich, weitere Massnahmen zu prüfen, um den alpenquerenden Schienengüterverkehr gegenüber dem Strassentransport wettbewerbsfähiger zu gestalten. Eine Option hierzu stellen technische Innovationen im Schienengüterverkehr dar. Im vorliegenden Bericht werden daher alle, derzeit in einem nahezu anwendungsreifen Zustand befindlichen technischen Innovationen auf ihre Anwendbarkeit und ihre Effizienzwirkungen im alpenquerenden Güterverkehr hin untersucht. Die Innovationen werden unterteilt in:

- **Systeminnovationen**, die komplett neue Systemlösungen für Transportketten darstellen und damit mehr als einen Bereich (Rollmaterial, Infrastruktur und Angebot) des Gesamtsystems Bahn verändern.
- **Fahrzeuginnovation**, die Verbesserungen im Bereich des Rollmaterials und seiner Komponenten umfassen
- **Infrastrukturinnovationen**, die Verbesserungen der festen Anlagen umfassen und
- **Prozessinnovationen**, die bei bestehender Technologie die Abläufe im System Bahn optimieren.

Die Bewertung der Innovationen erfolgt auf einer qualitativen Ebene, wobei sowohl der relative Nutzen durch Effizienzgewinne als auch der Einführungswiderstand durch Initialkosten und laufende Betriebskosten untersucht wird. Die Einschätzungen der Auftragnehmer werden ergänzt durch eine Bewertung wichtigen Stakeholder aus dem Schienengüterverkehrssektor.

Die Untersuchung der Innovationen zeigte, dass es keine Innovationen gibt, die ihren spezifischen Nutzen ausschliesslich im alpenquerenden Güterverkehr erzeugen. Vielmehr gibt es eine Auswahl von Innovationen, die für den Eisenbahngüterverkehr im Allgemeinen Effizienzvorteile versprechen. Ein Teil dieser Innovationen bringt allerdings nur in Marktsegmenten Vorteile, die im alpenquerenden Verkehr von geringem Volumen sind bzw. sind nur für Nischenmärkte geeignet. Diese Innovationen werden für eine gezielte und effiziente Verlagerung des alpenquerenden Güterverkehrs nicht empfohlen. Dennoch verbleiben mit

- der Optimierung der Lichtraumprofile,
- der Vereinheitlichung der Betriebsvorschriften
- der Optimierung der Bremssysteme und
- der automatischen Bremsprobe und zusätzlichen Telematikanwendungen

Innovationen, bei denen sich eine Weiterentwicklung und eine Umsetzung von ersten Pilotanwendungen auch bei einer Anwendung in alpenquerenden Korridoren als sinnvoll erweisen können. Aufgrund der internationalen Verflechtungen im Schienengüterverkehr ist ein Schweizer Alleingang hier jedoch schon aufgrund der bei einem flächendeckenden Einsatz hohen Investitionskosten gerade auch in ausländische Fahrzeuge nicht empfohlen. Vielmehr ist hier in den internationalen Gremien auf eine koordinierte Umsetzung auf europäischer Ebene zu drängen.

## 2 Auftrag und Ziele

### 2.1 Ausgangslage

In den vergangenen Jahren sind in der Schweiz signifikante Veränderungen im Bereich der regulativen und finanziellen Einbettung des Schienengüterverkehrs durchgeführt worden. Ein wichtiger Bauteil bei der Neuausrichtung des Schienengüterverkehrs ist die Motion 10.3881 «Zukunft des Schienengüterverkehrs in der Fläche». Nachdem damit die finanziellen und organisatorischen Weichen für einen optimierten Schienengüterverkehr gestellt werden, blieb die Frage nach den Effizienzpotenzialen, die mit einer technologischen Weiterentwicklung des Schienengüterverkehrs erzielt werden können.

Mit der Annahme und Überweisung des Postulats 12.3331 «Stärkung der Anreize für die Verlagerung des alpenquerenden Schwerverkehrs durch Innovationen im Schienengüterverkehr» hat der Bundesrat vom Parlament den Auftrag erhalten, auch im Bereich der Innovationen im Schienengüterverkehr tätig zu werden. Konkret beauftragt wurde als erster Schritt, einen Bericht über die Potenziale verschiedener Innovationsmöglichkeiten im Schienengüterverkehr (u. a. automatische Mittelpufferkupplung, Instrumente der aktiven Ladungsüberwachung und Fahrzeugüberwachung, automatische Bremsprobe durch Einführung der Intra-Zugkommunikation) zu erarbeiten, allfällige Aufträge für die Durchführung von Pilot- oder Testversuchen zu erteilen und eine Strategie zur europaweiten Einführung der erfolgversprechenden Innovationen zu erarbeiten.

In seiner Stellungnahme hatte der Bundesrat bereits die Bereitschaft signalisiert, auf das Anliegen des Postulats einzutreten und einen solchen Bericht zu erstellen. Konkret lautete die Stellungnahme des Bundesrates: «Innovationen im Schienengüterverkehr sind eine Voraussetzung, damit der Schienengüterverkehr seine Produktivität steigern und seine Wettbewerbsposition gegenüber der Strasse zugunsten einer nachhaltigen Verlagerung stärken kann. Der Bundesrat ist bereit, einen Bericht zu erstellen, der eine Auslegeordnung über verschiedene Innovationsmöglichkeiten und deren grundsätzliche Umsetzbarkeit und Verlagerungspotentiale enthält. Darin wird auch die Umsetzbarkeit der vom Postulanten geforderten Pilot- oder Testversuche sowie der Strategie zur europaweiten Einführung der erfolgversprechenden Innovationen behandelt».

Gleichzeitig stellt sich mit der Inbetriebnahme des Gotthard-Basistunnels als wesentlichem Bauwerk der NEAT (Neuen Alpentransversale) die Frage, ob die mit der Inbetriebnahme erwarteten Verlagerungswirkungen erreicht werden können. Die Verlagerungswirkungen sollen zu einem nicht unerheblichen Teil durch die Kostensenkung in Bahnproduktion und damit verbundenen niedrigeren Angebotspreisen im Bahngüterverkehr erzielt werden. Es stellt sich jedoch nun die Frage, ob die für die prognostizierte Verlagerungswirkung angenommene Produktionskostensenkung tatsächlich erzielt werden kann. Hierbei ist im Rahmen der Studie zu prüfen, ob Innovationen im Bahngüterverkehr dazu beitragen können, die Produktionskosten weiter zu senken und schlussendlich einen zusätzlichen Beitrag zur Verlagerungswirkung der NEAT leisten können.

Bereits in den vergangenen Jahren sind im Auftrag des BAV (u. a. im Rahmen der Abgeltungsvereinbarungen mit SBB Cargo für den Wagenladungsverkehr) verschiedene Untersuchungen zu den Potenzialen von Innovationen im Schienengüterverkehr generell und zu Innovationen im Kombinierten Verkehr und zur Intrazugkommunikation als Basisinnovation im Besonderen erstellt worden. Ergebnis waren folgende Studien:

- IVT/SBB Cargo: Einsatzoptionen der Intra-Zugkommunikation. Studie im Rahmen der Abgeltungsvereinbarung Einzelwagenverkehr zwischen der SBB Cargo AG und dem BAV



- IVT/TU Berlin, Institut für Land- und Seeverkehr/SBB Cargo: Intra-Zugkommunikation. Wirtschaftliche Bewertung von Systemen zur Intra-Zugkommunikation im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz
- Kombiconsult/K+P Transport Consultants: Trends und Innovationen im unbegleiteten Kombinierten Verkehr in der und durch die Schweiz

Neben diesen Studien gibt es auch aus anderen Quellen eine grosse Zahl an Studien, die sich mit der Innovation im Schienengüterverkehr beschäftigen. Exemplarisch können hier genannt werden:

- TU Dresden / TU Berlin: Weissbuch Innovativer Eisenbahngüterwagen 2030 (König und Hecht, 2012)
- H. Stuhr: Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung (Dissertation an der TU Berlin, 2013)
- IVT ETH Zürich, SBB-Fonds für die Forschung zum Management im Verkehrsbereich: Innovationen im Bahnsystem (Bruckmann et al., 2013)

Die vorgenannten Studien decken bereits ein gewisses Feld im Bereich der Innovationen im Schienengüterverkehr ab. Dennoch gibt es, zum einen speziell zugeschnitten auf den alpenquerenden Verkehr noch keine Studie, die sich mit der Wirkung der Innovationen speziell in diesem Marktsegment befasst. Zum anderen fehlt bislang eine systematische Kategorisierung und Bewertung der Innovationen in Form von Steckbriefen, die es nicht unmittelbar im Eisenbahnsektor tätigen ermöglicht, sich schnell einen Überblick über die Innovationen und ihre Wirkungen zu verschaffen.

## 2.2 Zielsetzung des Projekts

Die nachfolgende Untersuchung hat das Ziel, eine Bewertung der verschiedenen von Experten und Politik vorgeschlagenen und teilweise auch in der öffentlichen Diskussion befindlichen technischen Neuerungen im Eisenbahngüterverkehr mit Blick auf die spezifischen Produktionsbedingungen und Marktanforderungen im alpenquerenden Güterverkehr vorzunehmen. Die Aussagen in den bereits erstellten Studien und Analysen zu Innovationen im Schienengüterverkehr sollen dafür gesichtet, synthetisiert und sofern erforderlich angereichert werden. Anschliessend sollen die Innovationen mit Blick auf den alpenquerenden Güterverkehr kategorisiert und bewertet werden. Die zentrale Fragestellungen sollen sein, mit welchen der analysierten Innovationen:

1. die Produktionskosten im alpenquerenden konventionellen Schienengüterverkehr gesenkt werden können (Aussagen zum Ausmass der Kostensenkung)
2. die Produktionskosten im alpenquerenden kombinierten Verkehr gesenkt werden können (Aussagen zum Ausmass der Kostensenkung)
3. neue Marktpotentiale (neue Kundensegmente, Warengruppen, Relevanz dieser Marktpotentiale) im alpenquerenden Güterverkehr erschlossen werden können)

Dabei wird eine erste Bewertung (vorwiegend qualitativ) des Kosten-Nutzen-Verhältnisses (wiederum spezifisch für den alpenquerenden Güterverkehr) vorgenommen (Investitionskosten vs. eingesparte Betriebskosten, Investitionskosten vs. zusätzliche Erlöse). Die Ergebnisse dieser Analyse dienen dazu, die Auswirkungen der Fertigstellung der NEAT auf die Erreichung des Verlagerungsziels im Güterverkehr verwendeten Modellannahmen zu Produktionsbedingungen und -kosten im alpenquerenden Güterverkehr zu überprüfen.

### 3 Innovation System Bahn

#### 3.1 Begriffe der Innovation und Systeminnovation

Um sich mit Systeminnovationen im Bereich der Bahn auseinandersetzen zu können, muss in einem ersten Schritt der Begriff der Innovation definiert werden. Da keine einheitliche Definition der Innovation vorhanden ist, soll eine entsprechende Definition hier abgeleitet werden.

**Innovation** wird umgangssprachlich als Sammelbegriff für alles Neue und Verbesserte verwendet (Bergmann und Daub, 2008). Dabei kann das Spektrum, in dem der Begriff Innovation verwendet wird von marginalen Detailänderung bis hin zu grundlegenden Neuerungen reichen. Wichtig bei der Innovation ist vor allem, dass die Idee von bestimmten Gruppen als neu empfunden wird.

Hinzu kommt, dass gemäss schumpeterscher Definition eine Innovation die Umsetzung einer Erfindung in eine Marktanwendung bedeutet (Stern und Jaberger, 2007). Nach Brockhoff (1999) kann eine Innovation neben der Einführung einer Erfindung (Invention) am Markt auch deren Anwendung im Produktionsprozess (sog. Prozessinnovation) sein. Damit wird klar, dass Erfindungen um ihrer selbst Willen, keine Innovation darstellen. Mit der Innovation muss immer eine Marktfähigkeit oder eine Umsetzung im Produktionsprozess und damit ein wirtschaftlicher Nutzen verbunden sein.

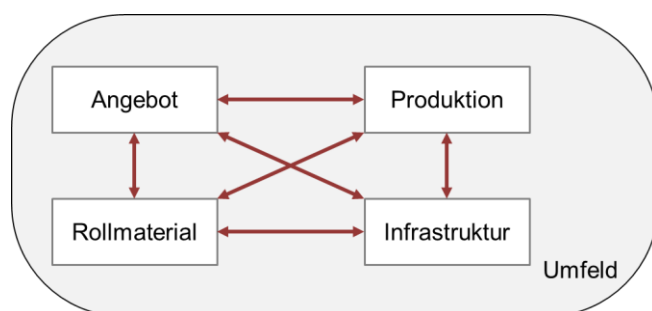


Abbildung 1: Die fünf Bereiche des Systems Bahn (eigene Darstellung)

**Systemorientierte Innovationen** (oder Systeminnovationen) sind Innovationen, bei denen mindestens zwei Bereiche des Systems Bahn (Abbildung 1) verändert werden müssen, um die Innovation umzusetzen. Das bedeutet, dass mindestens zwei der Bereiche Infrastruktur, Produktion, Rollmaterial und Angebot von der Innovation betroffen ist und angepasst werden muss. Damit verbunden ist – aufgrund der Struktur des Systems Bahn – dass auch mehrere Systembeteiligte in die Umsetzung der Innovation einbezogen werden müssen. Eine alleinige Veränderung der regulatoriven Einbindung von Innovationen begründet noch keine Systeminnovation, da häufig auch Innovationen, die nur einen Bereich des Systems Bahn betreffen, einer regulatorischen Einbindung in das Umfeld bedürfen.

#### 3.2 Innovationsmodelle

Das klassische Innovationsmodell (Abbildung 2 und Abbildung 3) geht von der linearen Abfolge der Innovationsschritte aus. Zunächst erfolgt die Forschung und Entwicklung mit dem Ergebnis neuer Produkte und Produktionsverfahren (Invention). Der nächste Schritt ist die Markteinführung der Inventionen, erst in diesem Moment werden diese als Innovation bezeichnet (vgl. Definition der Innovation). Wenn das Produkt erfolgreich ist, erfolgt eine Marktdurchsetzung (Diffusion). Wenn die Diffusion erfolgreich ist und sich zeigt, dass ein Produkt marktfähig ist, werden andere Marktteilnehmer die Innovation ebenfalls verwenden und nachahmen (Imitation).

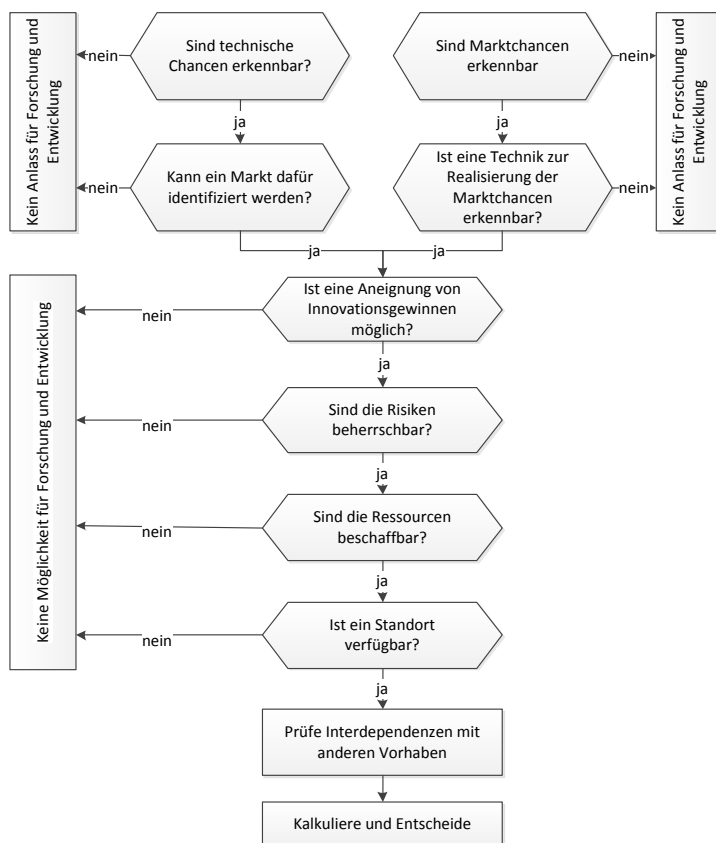


Abbildung 2: Entscheidungsbaum zu privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung nach Brockhoff (1999) (eigene Darstellung)

Wesentliche Grundlage für die Anwendbarkeit dieses Modells ist die Vereinigung der ersten drei Schritte (Forschung und Entwicklung, Markteinführung und Marktdurchdringung) unter der wirtschaftlichen Verantwortung eines Systemteilnehmers. Während Forschung und Entwicklung und die Markteinführung Kosten ohne entsprechende Erträge produzieren, erfolgt erst mit der Marktdurchsetzung eine Kompensation dieser Kosten durch entsprechende Erträge aus der Innovation.

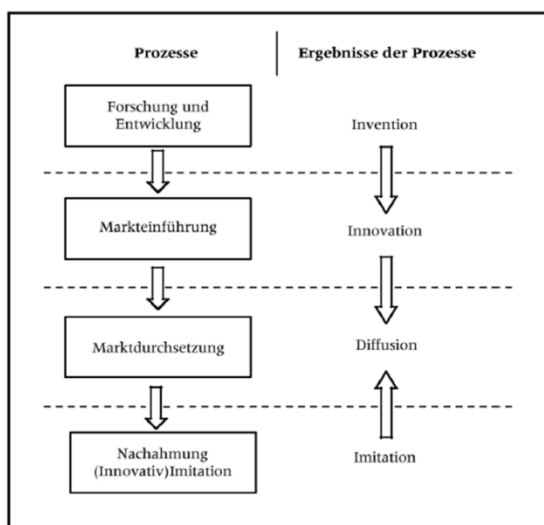


Abbildung 3: Aktivitäten und Ergebnisse von Innovationsprozessen (Brockhoff, 1999)

Bei Systeminnovationen ist zur Marktdurchsetzung und zur Erzeugung entsprechender Innovationsgewinne überwiegend eine Beteiligung anderer Marktteilnehmer erforderlich – und damit die Nachahmung erforderlich. Das Entscheidungsmodell nach Brockhoff zeigt dabei klar die Entscheidungsabläufe in Unternehmen, die dazu führen, dass Forschung und Entwicklung in diesem Unternehmen durchgeführt werden. Eine wesentliche Voraussetzung ist dabei die Möglichkeit, sich Innovationsgewinne anzueignen, um vorgängige Investitionen zu kompensieren.

### 3.3 Auswahl und Kategorisierung der Innovationen

Die untersuchten Innovationen im Schienengüterverkehr, welche potentiell einen Einfluss auf den alpenquerenden Güterverkehr haben, wurden anhand vorhergehender Studien (König und Hecht, 2012; Siegmann et al., 2009; Bruckmann et al., 2013) ausgewählt. Zudem wurde der Innovationskatalog den neusten Entwicklungen in der Industrie angepasst und anhand von Gesprächen mit Branchenvertretern angepasst.

Der Innovationskatalog wurde in folgende Kategorien eingeteilt:

- a) Systeminnovationen
- b) Fahrzeuginnovationen
- c) Infrastrukturinnovationen
- d) Prozessinnovationen

Diese Kategorien beziehen sich auf die Hauptbereiche des Systems Eisenbahn: Produktion, Rollmaterial und Infrastruktur (Abbildung 4). Der Bereich des Angebots an Güterverkehrsleistungen wird aus den Innovationsbetrachtungen ausgeklammert.

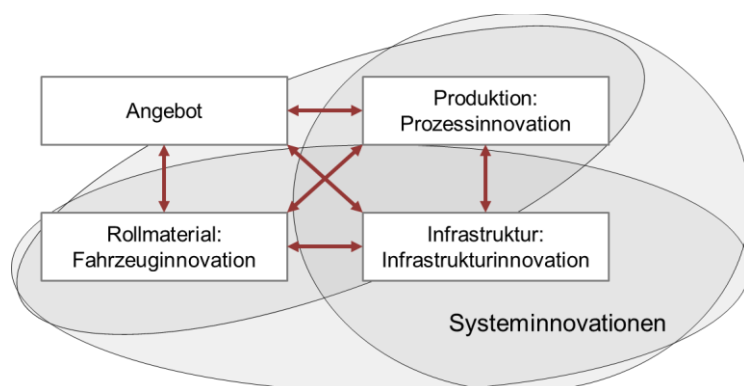


Abbildung 4: mögliche Innovationen im System Eisenbahn (eigene Darstellung)

**Fahrzeuginnovationen** umfassen alle Neuerungen im Rollmaterial. Das «Weissbuch innovativer Eisenbahngüterwagen 2030» identifiziert den Güterwagen – insbesondere die Fahrzeugkomponenten – als zentrales Bindeglied zwischen der Transportlogistik auf der Schiene und der Industrielogistik der Kunden der Güterbahnen (König und Hecht, 2012). Nebst den Innovationen beim Güterwagen, gehören auch Innovationen bei den Traktionsmitteln zu den Fahrzeuginnovationen.

**Infrastrukturinnovationen** beinhalten Anpassung an der Eisenbahninfrastruktur. Dies umfasst den eigentlichen Fahrweg, die Energieversorgung sowie die Zugsicherung. Darin enthalten sind auch bahneigene Kommunikationssysteme.

**Prozessinnovationen** sind Änderungen in der Bahnproduktion. Dies können einerseits interne Prozesse sein, aber auch durch Regulation vorgegebene Abläufe.

**Systeminnovationen** werden in Kapitel 3.1 (s. o.) beschrieben.

Angebotsseitige Innovationen werden nicht näher betrachtet, da das Angebot durch die Marktteilnehmer, d. h. Nachfrager und Anbieter, aufgrund unternehmerischer Überlegungen bestimmt wird. Eine hohe Nachfrage nach Güterverkehrsleistungen kann über das Verkehrsangebot eine *Pull*-Wirkung auf die Faktoren Infrastruktur, Rollmaterial und Produktion erzielen. Angebotskonzepte zu beeinflussen – um einen *Push*-Effekt auf die anderen Bereiche zu erzielen – ist für externe Akteure mitunter schwierig. Auch die Anpassung der Geschäftsmodelle von Eisenbahnunternehmen liegt ausserhalb der Betrachtungen. Die heute beobachtete De-Internationalisierung von Unternehmen ist auch weniger in der Angebotsseite anzusiedeln, sondern eher eine Folge von regulatorischen und betrieblichen Hürden im grenzüberschreitenden Verkehr.

### 3.4 Einbezug des Bahnsektors

Wesentlicher Bestandteil der Innovationsuntersuchung ist der Einbezug des Bahnsektors sowohl in die Auswahl der zu betrachtenden Innovationen als auch in die Bewertung der Innovation. Zu diesem Zweck wurde mit Stakeholdern<sup>1</sup> aus dem Bahnsektor am 11. November 2013 ein Workshop durchgeführt. Im Rahmen dieses Workshops wurde die Studie einschliesslich der Studienziele vorgestellt. Weiterhin wurde eine Auswahl der zu untersuchenden Innovationen präsentiert und es wurde um erste Einschätzungen hinsichtlich deren Wirksamkeit im alpenquerenden Verkehr gebeten. Die Einschätzungen zu den Innovationen sind in die jeweiligen Steckbriefe integriert. Mit den Ergebnissen dieses Workshops wurden bereits einige Innovationen aus der Untersuchung ausgeschlossen, die von den Akteuren aus der Praxis als wenig erfolgversprechend eingeschätzt wurden. Diese sind im Einzelnen:

- Neue Umschlagtechnologien, vor allem im Horizontalumschlag. Diese sind primär auf den Umschlag kleiner Mengen ausgerichtet und besitzen im alpenquerenden Verkehr maximal sehr geringes Potenzial. Neue Fahrzeug-/Umschlagtechnologien wie die Systeme *Modalohr* oder *Cargobeamer* sind davon ausgenommen und werden unter KV-Innovationen aufgeführt.
- Beschleunigter Güterverkehr (> 140 km/h) und Hochgeschwindigkeitsgüterverkehr (HGGV; > 200 km/h; Troche, 2005): Dieser besitzt für den Markt des alpenquerenden Güterverkehrs keine Relevanz. Selbst bei Einführung von einzelnen Hochgeschwindigkeitsverbindungen, ist mit diesen eine Verlagerung in grösserem Umfang nicht möglich.
- Güterwagen mit Rangierantrieb: Der Effizienzverlust durch die zusätzliche Masse der Antriebsaggregate ist zu gross. Ausserdem fehlen zu einem effizienten Einsatz Basistechnologien, um die Antriebe im Zug anzusteuern, wie eine Intra-Zugkommunikation. Diese Basistechnologien sind allerdings im Bericht beschrieben.
- Bogenschnelles Fahren mit Güterzügen: Die damit verbundene Achslastreduktion verringert die Wirtschaftlichkeit im alpenquerenden Verkehr zu stark. Ausserdem nimmt der Anteil an Strecken, bei denen bogenschnelles Fahren einen Fahrzeitgewinn erzeugt, mit Inbetriebnahme der NEAT deutlich ab.

---

<sup>1</sup> Zusammensetzung der Expertengruppe des Workshops gemäss Anhang

## 4 Bewertung der Innovationen

### 4.1 Bewertungsmethodik

Die Bewertungsmethodik für die gewählten Innovationen wird von Stuhr (2013) übernommen. Sie stellt den relativen Vorteil, der eine Innovation für ein System oder ein Unternehmen mitbringt, dem Widerstand gegenüber, welcher eine Umsetzung der Innovation verhindert (Tabelle 1). Diese Bewertungsmethodik dient im Rahmen dieser Studie der Strukturierung und der qualitativen Beurteilung der Innovationen.

Tabelle 1 Nutzwertschema nach Stuhr (2013)

0. Ebene	1. Ebene	2. Ebene	3. Ebene	4. Ebene
Potential	Relativer Vorteil	Systemvorteil	Kapazität	Strecke
				Anlagen
			Verschleiss öffentlicher Infrastruktur	
			Schienenverkehrslärm	
		Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz
				Verschleiss
			Arbeitsbedingungen und -sicherheit	
	Kundenvorteil	Transportdauer		
		Flexibilität		
		Zuverlässigkeit		
		Ladungsanforderungen		
	Widerstand	Einführung	Verfügbarkeit	
			Kompatibilität	Fahrweg
				Umschlag
Fahrzeuge				
Instandhaltungssystem				
Komplexität				
Erprobbarkeit				
Beobachtbarkeit				

Stuhr (2013) definiert in der Bewertungsmethodik, welche Fragen für eine fundierte Beurteilung beantwortet werden sollen und gelten hier als Orientierungshilfe.

#### Relativer Vorteil

- Kapazität (Strecke und Anlagen): *Führt die Innovation zu einer Erhöhung der Netzleistungsfähigkeit, ohne dass dafür zusätzliche Infrastrukturerweiterungen (drittes Gleis usw.) notwendig werden?*
  - *Strecke* beschreibt dabei alle Prozesse zwischen Zugbildung und Zugauflösung, d. h. auf der Fahrt des Zuges. Der Begriff Strecke folgt hier also nicht der Definition als Element der Bahninfrastruktur.
  - *Anlage* beschreibt alle Prozesse der Zugbildung und -auflösung, der Wagensortierung, des Absetzen und Aufnehmen von Güterwagen, sowie der Be- und Entladung. Das Element beschreibt somit die Infrastrukturbelegung von Betriebsanlagen des Güterverkehrs.
- Verschleiss öffentlicher Infrastruktur: *Führt die Innovation zu einer Reduzierung des Instandhaltungsaufwands der gemeinsam genutzten Infrastruktur?*

- Schienenverkehrslärm: *Führt die Innovation zu einer Reduktion der von einer Zugfahrt ausgehenden Lärmbelastung?*
- Ressourceneinsatz: *Reduziert sich durch die Innovation der bei gleicher Leistung benötigte Ressourcenaufwand bezüglich Personal, Material und Energieverbrauch, so dass diese Leistung mit einem geringeren Kostenaufwand erbracht werden kann?*
- Verschleiss: *Reduziert sich der Instandhaltungsaufwand an den mit der Innovation ausgestatteten Fahrzeugen und an der Infrastruktur, für die der aktive Adressat instandhaltungspflichtig ist?*
- Arbeitsbedingungen und -sicherheit: *Führt die Innovation zu einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen und der Arbeitssicherheit, so dass sich dies positiv auf den Unternehmenserfolg auswirkt?*
- Transportdauer: *Leistet die Innovation einen Beitrag zur Reduzierung der Transportdauer vom Versender zum Empfänger?*
- Flexibilität: *Ermöglicht es die Innovation den Eisenbahnunternehmen flexibler auf Kundenwünsche zu reagieren?*
- Zuverlässigkeit: *Leistet die Innovation einen Beitrag zur Erhöhung der Zuverlässigkeit gegenüber dem Kunden, insbesondere in Bezug auf die Einhaltung von Sollwerten und der frühzeitigen Information im Falle von Abweichungen?*
- Ladungsanforderungen: *Hilft die Innovation, den Transportvorgang in Abhängigkeit von der Beschaffenheit und den Anforderungen des Transportguts sowie den Verfahren bei der Be- oder Entladung zu verbessern?*

### **Widerstand**

- Verfügbarkeit: *Ist die Innovation bei einem angestrebten kurzfristigen Einführungsbeginn von rund fünf Jahren aller Voraussicht nach technisch verfügbar und zugelassen?*
- Kompatibilität (Fahrweg, Umschlag, Fahrzeuge, Instandhaltungssystem): *Ist die Kompatibilität der mit der Innovation ausgerüsteten Fahrzeuge zum bestehenden System gegeben, insbesondere bezüglich der Subsysteme Fahrweg, Fahrzeuge, Be- und Entladung sowie Instandhaltung, oder entsteht zur Gewährleistung ein zusätzlicher Aufwand? Wie gross ist dieser?*
- Komplexität: *Wie gross ist der Aufwand, um das notwendige Personal für den Einsatz der neuen Komponenten zu schulen? Wie gross ist der Kreis der einzuweisenden bzw. zu schulenden Personen? Wie viele Unternehmen und Standorte sind einzubinden?*
- Erprobbarkeit: *Kann die neue Technik mit verhältnismässig geringem Aufwand (Anzahl umzurüstender Wagen, Änderungen in der Betriebsorganisation usw.) unter möglichst realitätsnahen Bedingungen erprobt und hinsichtlich ihrer Alltagstauglichkeit und ihres Nutzens geprüft werden?*
- Beobachtbarkeit: *Kann die Innovation von anderen Betreibern beobachtet und in direkter Folge daraus bewertet werden?*

## 5 Systeminnovationen

### 5.1 Pendelzüge

#### 5.1.1 Beschreibung der Innovation

Damit bei einer Zugswende das Umsetzen der Lokomotive ans andere Zugsende entfällt, kann dem Zug eine zusätzliche Lokomotive, ein Steuerkopf oder ein Triebkopf angehängt werden. Damit die Lokomotive vom jeweils anderen Ende aus gesteuert werden kann, ist eine – kabel- oder funkbasierte – Vielfachsteuerung erforderlich. Während im Personenverkehr die meisten Zugseinheiten Pendelzüge sind, ist diese Massnahme im Güterverkehr wenig verbreitet. Einerseits kann durch die Verpendelung die Wagenzusammensetzung nicht – oder nur unter grossem Aufwand – geändert werden. Andererseits sind die Voraussetzungen für die Vielfachsteuerung – z. B. ein UIC-Kabel auf den Güterwagen – im Güterverkehr oft nicht gegeben. Es gibt deshalb im Güterverkehr nur wenige erprobte Pendelzüge.



Abbildung 5: Pendelzugeinheit der railCare AG (Quelle: railCare AG) und aufsteckbare Führerkabine (Quelle: ASK Cargojet)

Eine weitere Möglichkeit um (Container-) Züge zu verpendeln ist mit der aufsteckbaren Führerkabine in Entwicklung. Der sogenannte ASK Cargojet soll eine voll ausgerüstete Führerkabine zu bieten, welche flexibel auf die Zapfen von Containertragwagen aufgesetzt werden kann. Die Übermittlung der Steuerbefehle an die Lokomotive (im Schiebetrieb) geschieht über Funk. Der Vorteil der aufsteckbaren Führerkabine liegt – sofern alle regulatorischen und betrieblichen Voraussetzungen erfüllt sind – in der Kostenreduktion gegenüber (Rangier-) Lokomotiven und dem flexiblen Einsatz.

#### 5.1.2 Effizienzpotential

Durch die Verpendelung von Güterzügen werden Rangiervorgänge vereinfacht und die Zugbildung im eigentlichen Sinn fällt weg. Dadurch werden die Produktionsprozesse von personalintensiven Tätigkeiten befreit. Aufgrund der limitierten Länge von Anschlussgleisen müssen Cargo-Pendelzüge als Kurzzüge ausgebildet werden, welche dafür mit verhältnismässig hoher Traktionsleistung ausgestattet sind. Dadurch kann auch die Streckenfahrt optimiert werden und es können Trassen genutzt werden, welche normalerweise nur durch Personenverkehr genutzt werden können.



Tabelle 2 Relativer Vorteil: Pendelzüge

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Schnelle GV-Trassen
		Anlagen	Kein Ausziehgleis für das Umsetzen bei einer Zugswende nötig
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Weniger Personalbedarf durch Wegfall des Umsetzens/Lokwechsels
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	Weniger Rangiervorgänge durch Wegfall des Umsetzens/Lokwechsels
	Kundenvorteil	Transportdauer	Evtl. Verbesserung der Transportzeit durch schnellere Zugswende
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
Ladungsanforderungen		-	

### 5.1.3 Einführungshemmnisse

Cargo-Pendelzüge nutzen ihre Trassen aufgrund der meist geringen Zuglänge nicht optimal. Zudem verteuert das Vorhandensein eines zusätzlichen Führerstands und einer Vielfachsteuerung, bzw. Fernsteuerung den Betrieb im Vergleich zu herkömmlichen Güterzügen deutlich. Zudem erhöht die Verwendung von nicht freizügig einsetzbarem Rollmaterial den Aufwand für Instandhaltung und Reparatur. Die Führung von Kurzzügen in festen Einheiten im Güterverkehr erfordert zusätzlich Betriebskonzepte, welche eine hohe Laufleistung des Rollmaterials ermöglichen. Für diesen Zugstyp müssten Umschlaganlagen auf die schnelle Be- und Entladung des Zuges ausgelegt werden.

Das Konzept der aufsteckbaren Führerkabine steckt noch in der Entwicklung. Dabei sind vor allem regulatorische Hürden zu meistern, z. B. der Nachweis der Sicherheit der Triebfahrzeugführers, der sicheren Funkverbindung mit dem Triebfahrzeug oder der Kompatibilität mit den gängigen Zugsicherungssystemen.

Tabelle 3 Widerstand: Pendelzüge

Verfügbarkeit		-	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	Passende Umschlaganlagen erforderlich, da die Formation nicht geändert werden kann.
		Fahrzeuge	Zusätzlicher Führerstand, sowie Vielfachsteuerung erforderlich
		Instandhaltungssystem	Hohe Laufleistung des Rollmaterials erforderlich
	Komplexität		-
	Erprobbarkeit		-
	Beobachtbarkeit		-

### 5.1.4 Verlagerungspotential im AQGV

Aufgrund der obengenannten Argumente wird das Potential für Cargo-Pendelzüge im AQGV als gering eingeschätzt. Zwar ist die Führung von flinken Kurzzügen in Nischen des Transportmarktes denkbar, die mangelnde Wirtschaftlichkeit sowie mangelnde internationale Kompatibilität lassen solche Verkehre unwahrscheinlich erscheinen. Der Sektor sieht ebenfalls maximal eine Einsatzoption in Nischen.

## 5.2 Zuglaufoptimierung

### 5.2.1 Beschreibung der Innovation

Die Zuglaufoptimierung beschreibt die kapazitätsoptimale Steuerung von Zügen, wodurch ungeplante Rothalte vermieden werden und die Fahrplanstabilität erhöht wird. Die Grundidee ist die Schaffung einer «grünen Welle», durch eine Verlangsamung der Fahrt, falls die Durchfahrt beim nächsten Signal noch nicht frei ist. Ein vollständiges Abbremsen beim «Halt»-zeigenden Signal wird dadurch vermieden und der Zug kann den Konfliktpunkt mit einer maximalen Geschwindigkeit durchfahren.

Mit der «adaptiven Zuglenkung» (ADL) ist bei den SBB bereits ein Pilotprojekt in Umsetzung. Das System wird direkt an bestehende Dispositionsinstrumente von SBB Betrieb (Rail Control System, RCS) angebunden (Bruckmann et al., 2013). In einem bestimmten Optimierungskorridor werden Belegungskonflikte automatisch erkannt, Zugreihenfolgen bestimmt und ungeplante Signalhalte identifiziert. Aus diesen Daten werden optimale Geschwindigkeitsprofile berechnet und über GSM-R dem Lokführer auf ein Endgerät als Fahrempfehlung weitergeleitet.

### 5.2.2 Effizienzpotential

Durch die Vermeidung von ungeplanten Rothalten wird die Beschleunigungsphase nach einem Signal massgeblich verkürzt. Dadurch kann Energie gespart und auch Zeitverluste minimiert werden.

Längerfristige Optionen sind die vollautomatische Steuerung von Zügen durch hochbelastete Knotenbereiche oder die Harmonisierung der Geschwindigkeitsbänder von Personen- und Güterverkehr, was eine Erhöhung der Maximalgeschwindigkeiten im Schienengüterverkehr bedingt.

Tabelle 4 Relativer Vorteil: Zuglaufoptimierung

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Weniger Zeitverlust durch weniger ungeplante Rothalte. Bessere Befahrbarkeit kritischer Knotenbereiche
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Geringerer Energieverbrauch durch Verminderung ungeplanter Rothalte.
		Verschleiss	Geringerer Verschleiss durch weniger Haltevorgänge
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	Erhöhung der Zuverlässigkeit durch vorausschauende Vermeidung von Trassenkonflikten
Ladungsanforderungen		-	

### 5.2.3 Einführungshemmnisse

Für eine Umsetzung der Zuglaufoptimierung sind Investitionen ins Rollmaterial (Bordgeräte), die Betriebszentralen sowie die Personalausbildung erforderlich. Insbesondere für den internationalen Güterverkehr stellt dies eine grosse Hürde dar. Zudem ermöglicht erst eine Vollausrüstung aller Züge die volle Wirkungsentfaltung.

Tabelle 5 Widerstand: Zuglaufoptimierung

Verfügbarkeit		Pilotversuche geplant, Nischenanwendungen in Betrieb	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	Infrastrukturseitige Ausrüstung, insb. Betriebszentrale
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	-
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität	Schulung für Betriebspersonal und Triebfahrzeugführer erforderlich	
	Erprobbarkeit	In Nischenanwendungen erprobt	
Beobachtbarkeit	-		

## 5.2.4 Verlagerungspotential im AQGV

Die Zuglaufoptimierung bringt ihren Nutzen für das Gesamtsystem Eisenbahn, insbesondere in der Erhöhung der Fahrplanstabilität bei hochbelasteten Knoten. Eine direkte Wirkung auf den AQGV ist nicht ersichtlich.

## 5.3 Automatische Bremsprobe

### 5.3.1 Beschreibung der Innovation

Bei der automatischen Hauptbremsprobe werden die Bremsen aller Wagen eines Zuges vom Führerstand des Triebfahrzeuges aus geprüft, wodurch die manuelle Prüfung der Bremsen und das Umschreiten des Zuges entfällt. Dies benötigt die Intra-Zug-Kommunikation, sowie eine Prüfungsvorrichtung inklusive Energieversorgung auf jedem Wagen. Im Personenverkehr sind die meisten Fahrzeuge mit entsprechenden Einrichtungen ausgerüstet, im Güterverkehr hingegen fehlen sie komplett.

Damit die automatische Bremsprobe ihre Wirkung entfalten kann, ist die technische und betriebliche Zuguntersuchung vom Vorgang der Bremsprobe zu trennen. Für eine dezentrale Zuguntersuchung in den Anschlussgleisen der Kunden – statt in den Rangier- und Teambahnhöfen – sind die regulatorischen Rahmenbedingungen zu schaffen.

Die SBB planen die Erprobung der automatischen Bremsprobe in einem Pilotprojekt im Rahmen ihres Binnen-KV-Netzes. Dabei wird untersucht, für welche Verkehre und Relationen ein Vorteil erzeugt werden kann. Die Ergebnisse dieses Pilotbetriebes können dann auf den alpenquerenden Verkehr übertragen werden.

### 5.3.2 Effizienzpotential

In Kombination mit einer angepassten Zuguntersuchung kann die automatische Bremsprobe den Personal- und Zeitaufwand der Zugsbildung deutlich verringern. Dadurch kann die Standzeit des Rollmaterials verkürzt und die Produktivität erhöht werden. Da die Bremsprobe autonom durchgeführt werden kann, entfällt auch der Koordinationsaufwand zwischen RCP-Team und dem Triebfahrzeugführer weitgehend.

Tabelle 6 Relativer Vorteil: automatische Bremsprobe

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	-
		Anlagen	Verringerung Infrastrukturbelegung bei Zugbildung
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Verringerung Personal- und Zeitaufwand bei Zugbildung
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	Verbesserte Arbeitssicherheit, da weniger Arbeit «im Feld» anfällt
	Kundenvorteil	Transportdauer	Je nachdem ob die techn. Zuguntersuchung angepasst werden kann
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 5.3.3 Einführungshemmnisse

Die Hindernisse für die Einführung der automatischen Bremsprobe sind primär die fehlende Sensorik und fehlende Kommunikationsmittel auf Güterwagen. Sie sind eine Grundvoraussetzung für eine Optimierung der Prozesse der Zugsbildung. Aufgrund des heterogenen Rollmaterials im EWL, scheint dort eine mittelfristige Einführung unrealistisch. Chancen ergeben sich in Nischenangeboten und im kombinierten Binnenverkehr mit weitgehend homogenem Rollmaterial.

Tabelle 7 Widerstand: automatische Bremsprobe

Verfügbarkeit		Pilotprojekt bei SBB gestartet	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	Fahrzeuge müssen mit Sensorik und Kommunikationsmitteln ausgerüstet werden.
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität		Schulung für Fahrzeugführer und Rangierpersonal erforderlich
	Erprobbarkeit		Wird in Pilotprojekt erprobt
	Beobachtbarkeit		-

### 5.3.4 Verlagerungspotential im AQGV

Die automatische Bremsprobe wird derzeit in einem Pilotprojekt im kombinierten Binnenverkehr erprobt. Eine flächendeckende Einführung hätte einen grossen Einfluss auf das Gesamtsystem Güterbahnen. Für den AQGV im Bereich des Kombinierten Verkehrs mit seinen Shuttle-Zug—Kompositionen ist eine positive Wirkung zu erwarten. Allerdings ist der Effekt bezogen auf die Gesamtkosten eines alpenquerenden Güterzuges eher klein. Diese Wirkung tritt nicht spezifisch im AQGV ein, sondern ist auf alle Produktionskonzepte im Kombinierten Verkehr mit Shuttle-Zügen übertragbar.

## 5.4 Hybrid- und Zweikrafttraktion

### 5.4.1 Beschreibung der Innovation

Zweikraftlokomotiven sind Triebfahrzeuge, welche sowohl mit Energieversorgung über Fahrdraht, als auch fahrdrahtunabhängig verkehren können. Auf Strecken ohne Fahrdraht verkehren die Fahrzeuge i. d. R. per Dieselantrieb oder dieselelektrisch. Hybridfahrzeuge unterscheiden sich von Zweikraftlokomotiven durch das Vorhandensein von zwei verschiedenen, unabhängigen Energiespeichern. Üblicherweise wird nebst dem Dieseltank eine Batterie für die Rückgewinnung der Bremsenergie mitgeführt. Hersteller in Nordamerika (GE, Railpower Technologies) und in Europa (Alstom, Vossloh) führen solche «echten» Hybrid-Rangierlokomotiven in ihrem Portfolio. Grundsätzlich werden drei verschiedene Betriebskonzepte mit Zweikraft- und Hybridfahrzeugen unterschieden:

- Elektrische Streckenlokomotive mit thermischem Hilfsmotor, welcher die Bedienung der «letzten Meile» mit einer reduzierten Leistung ermöglicht.
- Zweikraft- oder Hybrid-Rangierlok für die Bedienung nicht-elektrifizierter Anschlussgleise, und mit genügend (elektrischer) Leistung für leichten Streckendienst ab Fahrdraht.
- Verpendelung einer festen Güterzugseinheit mit verschiedenen Triebfahrzeugen (z. B. separate Elektro- und Diesellok).

Alle Konzepte sind im kommerziellen Betrieb, bei den SBB die Rangierlokomotive *Eem 923*, bei der BLS die Streckenlokomotive Bombardier *TRAXX F140 AC3* mit «Last-Mile-Diesel». Auch der Cargo-Pendelzug von Railcare (Kapitel 5.1) erfüllt durch die Kombination einer Re 4/4 mit einem Dieseltriebkopf die Anforderungen an ein Zweikraftkonzept.

### 5.4.2 Effizienzpotential

Zweikraftfahrzeuge ermöglichen die Bedienung von nicht-elektrifizierten Gleisen ohne Wechsel des Traktionsmittels, z. B. in überkranten Terminals oder Anschlussgleisen, und reduzieren dadurch den Rangieraufwand. Dadurch muss an den Schnittstellen zwischen Streckenfahrt und Zustellung kein zusätzliches Fahrzeug und auch weniger Personal vorgehalten werden.

Tabelle 8 Relativer Vorteil: Zweikrafttraktion

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	-
		Anlagen	Rangierprozesse in Anschlussgleisen/ Verladeanlagen entfallen
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Weniger Rangierpersonal und Rangiermittel erforderlich
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	Evtl. Vorteile durch Entfall von Rangierprozessen
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 5.4.3 Einführungshemmnisse

Die Einführungshemmnisse von Triebfahrzeugen mit Zweikrafttraktion sind vor allem finanzieller Natur. Der Anschaffungspreis eines Zweikraftfahrzeugs ist deutlich höher als der eines vergleichbaren herkömmlichen Fahrzeugs. Zudem steigt die Komplexität des Unterhalts, da verschiedene Unterhaltszyklen für den thermischen und den elektrischen Antrieb vereint werden müssen.

*Tabelle 9 Widerstand: Zweikrafttraktion*

Verfügbarkeit		Verschiedene Systeme im kommerziellen Betrieb	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	Verschiedene Fahrzeugkonzepte auf dem Markt
		Instandhaltungssystem	Unterhalt deutlich aufwändiger
	Komplexität	-	
	Erprobbarkeit	Verschiedene Systeme im kommerziellen Betrieb	
	Beobachtbarkeit	Beobachtbarkeit durch andere Betreiber hoch	

### 5.4.4 Verlagerungspotential im AQGV

Züge mit Zweikrafttraktion haben das Potential, die Abläufe in überkranten Terminals massgeblich zu vereinfachen. Ob sie aber auch wirtschaftlich sind, hängt mitunter von der Preisentwicklung für solche Spezialfahrzeuge ab, sowie vom regulatorischen Schutz von lokalen Anbietern von Rangierleistungen. Insgesamt trägt damit die Zweikrafttraktion dazu bei, den Wettbewerb im alpenquerenden Verkehr zu erleichtern und ermöglicht neuen Anbietern den Marktzutritt. Damit ist mit dieser Innovation eine preissenkende Wirkung zu erwarten, sofern trotz der Mehrkosten von Zweikraftlokomotiven deutlich verringerte Produktionskosten zu erzielen sind.

## 5.5 Harmonisierung der Zuglängen

### 5.5.1 Beschreibung der Innovation

Die maximale Zuglänge ist ein massgebendes Effizienz- und Wirtschaftlichkeitskriterium im Schienengüterverkehr. Gerade im grenzquerenden Verkehr führen unterschiedliche Zuglängenbeschränkungen zu Produktivitätseinbussen, da die in Mitteleuropa übliche Maximallänge von rund 750 Meter im internationalen Verkehr nicht flächendeckend fahrbar ist. Betroffen ist besonders der alpenquerende Verkehr nach Italien, wo auf vielen Strecken die maximal erlaubte Zuglänge 550 Meter beträgt (Tabelle 10).

Eine Vereinheitlichung der maximalen Zuglängen auf den TEN-Strecken des Kernnetzes ist deshalb in der «TSI Infrastruktur» festgehalten (2011/275/EU, S. 66 f.). Für Neubaustrecken gilt dabei eine Zuglänge von mindestens 750 Meter, für Ausbaustrecken 600 Meter. Da Bestandesstrecken nicht erwähnt werden und die TSI nur das Kernnetz beinhaltet, ist zu befürchten, dass die Vereinheitlichung der Zuglängen nur sehr schleppend vorankommt. Die flächendeckende Angleichung der maximalen Zuglängen wäre aber die Mindestvoraussetzung für einen effizienten grenzüberschreitenden Schienengüterverkehr.

Tabelle 10 Gängige Zuglängenbeschränkungen in Europa (König und Hecht, 2012)

Land	Maximale Zuglänge	Bemerkungen
Schweiz	750 m	Gotthard Scheiteltunnel traktionsbedingt kürzer
Deutschland	740 m	Im Grenzverkehr mit Dänemark bis 835 m Machbarkeitsstudien für Züge 1500 m
Dänemark	835 m	
Belgien	600 m	
Schweden	730 m	880 m in Bremsstellung G
Italien	550 m	
Frankreich	750 m	Im Versuchsbetrieb bis zu 1500 m 850 m-Zügen auf den Korridoren Bettembourg– Le Boulou und Paris–Marseilles

Eine signifikante Erhöhung der maximalen Zuglängen steht demgegenüber nicht im Vordergrund, mitunter da ab einer gewissen Länge (ca. 1000 Meter) erweiterte Anforderungen an die Zug- und Stosseinrichtungen, sowie an die Bremssteuerung gelten. In Pilotversuchen wurden jedoch Zuglängen von rund 1600 Meter getestet, auf gewissen europäischen Strecken sind im kommerziellen Betrieb Zuglängen bis 880 Meter gestattet. Im Rahmen des EU-Projekts MARATHON werden derzeit in Frankreich Zuglängen bis 1500 Meter erprobt, mit verteilter Traktion durch Funkfernsteuerung.

Während eine Harmonisierung der Zuglängen auf den Güterverkehrskorridoren zwingend ist, scheint eine Verlängerung über das derzeit übliche Maximum von rund 880 Meter aufgrund der Implikationen für das Rollmaterial jedoch nicht wahrscheinlich.

### 5.5.2 Effizienzpotential

Die Steigerung der Zuglänge verspricht grosses Effizienzpotential. Im alpenquerenden Güterverkehr rechnet man aufgrund der Inbetriebnahme der neuen Basistunnels mit einer Steigerung der Produktivität von rund +30 Prozent. Dies aufgrund einer Verlängerung der Güterzüge von 550 Meter (27 Wagen) auf 710 Meter (35 Wagen) bei gleichzeitiger Reduktion der Traktionsmittel, da der Schiebedienst entfällt (HUPAC, 2012). Bei einer Verdoppelung der Zuglänge rechnet man überschlagsmässig mit einem Kapazitätswachstum von rund 50 Prozent, da auch die längere Belegungszeit der Blockabschnitte miteingerechnet wird.

Tabelle 11 Relativer Vorteil: Harmonisierung Zuglänge

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Höhere Produktivität durch gleichmässige Auslastung
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Höhere Produktivität
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 5.5.3 Einführungshemmnisse

Die Ausdehnung der maximalen Zuglängen ist mit zahlreichen Infrastrukturanpassungen verbunden. So sind beispielsweise Anpassungen an Leit- und Sicherungsanlagen nötig. Zudem sind die wenigsten Betriebsanlagen – Überholgleise, Umspannanlagen und Zugbildungsanlagen – auf grössere Zuglängen ausgelegt. Zudem erfordern Güterzüge länger als rund 1000 Meter zusätzliche Massnahmen in der Bremstechnologie, bei Zug- und Stosseinrichtungen sowie eventuell auch bei der Mehrfachtraktionssteuerung.

Tabelle 12 Widerstand: Harmonisierung Zuglänge

Verfügbarkeit			Erforderliche Technologien ohne weiteres verfügbar und zugelassen
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	Anpassungen an Leit- und Sicherungsanlagen erforderlich
		Umschlag	Betriebsanlagen nicht auf grössere Längen ausgelegt
		Fahrzeuge	Massnahmen in der Bremstechnologie, sowie Zug- und Stossvorrichtungen erforderlich
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität		Flächendeckende Umsetzung erforderlich
	Erprobbarkeit		Längere Züge in anderen Netzen zugelassen
	Beobachtbarkeit		Längere Züge in anderen Netzen zugelassen

### 5.5.4 Verlagerungspotential im AQGV

Gerade im AQGV sind die Zuglängen ein zentrales Thema. Mit der Eröffnung der Basistunnels wird es möglich, Züge mit der, in Mitteleuropa üblichen Länge von rund 750 Meter durch die Alpen zu führen, ohne dass Züge umformiert und mit zusätzlicher Traktion ausgerüstet werden müssen. Der Produktivitätszuwachs kann, je nach Entwicklung im italienischen Bahnnetz, bis zu 30 Prozent betragen.

Der Sektor sieht zunächst die Notwendigkeit im alpenquerenden Verkehr durchgehend eine Zuglänge von 750 m (bzw. 700 m plus Lokomotiven) zu ermöglichen. Für eine weitere Vergrösserung der Zuglängen ist ein Zusammenspiel von Infrastruktur und Rollmaterial erforderlich. Allerdings ist aus Sicht des Sektors nicht zu erwarten, dass für grössere Zuglängen Anpassungen am Rollmaterial, wie andere Kupplungen oder Bremssysteme durchgeführt werden.

## 5.6 Neue Technologien im UKV (Modalohr und Cargobeamer)

### 5.6.1 Beschreibung der Innovation

Im Zusammenhang mit der Diskussion um den 4-Meter-Korridor durch die Schweiz wurden auch Lösungsansätze mit speziellem Rollmaterial vorgeschlagen, welche auch den Verlad nicht kranbarer Sattelanhänger ermöglichen. Das System Cargobeamer ist in Deutschland, das System Modalohr ist in Frankreich im kommerziellen Betrieb. Beide Systeme benötigen keine Krananlagen in den Terminals, dafür aber andere ortsfeste Anlagen.





Abbildung 6: Innovative UKV-Systeme (Quelle: lorry-rail.com, cargobeamer.com)

Das System Modalohr besteht aus Taschenwagen mit drehbaren Wannern, welche in den dafür vorgesehenen Terminals von Sattelzügen direkt befahren werden können. Die Zugmaschine wird i. d. R. nicht auf dem Zug mitgeführt. Ähnlich gestaltet sich das System Cargobeamer, die Wannern sind allerdings parallel verschiebbar. Zudem ist es möglich, die (beladenen) Wannern auch mittels Greifkanten in einem herkömmlichen Terminal vom Wagen zu heben. Das System ermöglicht also den Umschlag nicht kranbarer Sattelanhänger in normalen Terminals.

Sowohl VIIA (Systembetreiber von Modalohr) als auch Cargobeamer testen ihre Fahrzeug, auf ihre Tauglichkeit für den Transport von Sattelanhängern mit 4 Meter Eckhöhe durch den Gotthard (Scheiteltunnel) ohne weitere Infrastrukturanpassungen. Beide Systemanbieter haben dem BAV Fördergesuche gestellt, welche jedoch noch hängig sind.

### 5.6.2 Effizienzpotential

Die Vorteile der erwähnten Systeme für den unbegleiteten kombinierten Verkehr liegen im Transport nicht-kranbarer Sattelanhänger – rund 80 Prozent aller Sattelanhänger in Europa (Mertel et al., 2012). Tests zeigen auch, dass es mit den angepassten Tragwagen grundsätzlich möglich ist, ohne weitere Profilausbauten Sattelanhänger mit 4 Meter Eckhöhe auf der bestehenden Gotthard-Achse zu befördern.

Tabelle 13 Relativer Vorteil: Neue Technologien im UKV

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Transport von 4m-Sattelanhängern ohne Infrastrukturanpassungen
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Teures Rollmaterial, teure Anlagen
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	Bei automatisierten Terminals nur wenig Personaleinsatz erforderlich.
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	Transport nicht-kranbarer Sattelanhänger

### 5.6.3 Einführungshemmnisse

Die Studie zum UKV durch den Gotthard zeigt, dass Systeme wie Modalohr oder Cargobeamer rund 30–40 Prozent höhere Systemkosten als der bestehende UKV generieren (Mertel et al., 2012), die Zahlen werden jedoch von den Systemherstellern und -betreiber dementiert. Unbestritten ist an den Spezialsystemen der verhältnismässig grosse Landbedarf der Anlagen und die hohen Kosten für die einzelnen Wagen. Zudem ist die Flexibilität dieser Transporte stark eingeschränkt, da Züge in diesen Systemen nur wenige Terminals anfahren können. Aufgrund ihrer ortsfesten Anlagen sind die Züge in diesen System auch nur auf ganz bestimmte Zuglängen ausgelegt. Eine zusätzliche Hürde ist die Tatsache, dass die Hersteller ihre Spezialwagen proprietär als Systemanbieter betrieben wollen.

Tabelle 14 Widerstand: Neue Technologien im UKV

Verfügbarkeit		Systeme in Entwicklung	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	Bestehende Umschlagsanlagen z. T. nicht nutzbar
		Fahrzeuge	Spezialfahrzeuge, mit anderen Verkehren nicht kombinierbar
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität	-	
	Erprobbarkeit	z. T. im kommerziellen Betrieb	
	Beobachtbarkeit	z. T. im kommerziellen Betrieb	

### 5.6.4 Verlagerungspotential im AQGV

Im alpenquerenden unbegleiteten kombinierten Verkehr dürfte der Anteil Sattelanhänger momentan bei rund 17–18 Prozent liegen (Mertel et al., 2012). Das Potential für zusätzliche Transporte durch die Erweiterung des UKV auf nicht-kranbare Sattelanhänger wird allerdings als gering eingeschätzt. Die Spezialsysteme werden vor allem als Ergänzung des Angebots an alpenquerenden Verkehren gesehen. Nichts desto trotz verfolgen beide Systemanbieter ihre Ideen eines alpenquerenden Angebots weiter – entsprechende Fördergesuche liegen dem BAV vor.

## 6 Fahrzeuginnovationen

### 6.1 Wagentelematik

#### 6.1.1 Beschreibung der Innovation

Telematik beschreibt im Allgemeinen das Erfassen, Übertragen, Verarbeiten, Ausgeben von Information (AB-EBV 2010). Im Güterverkehr bezieht sich der Begriff auf wagenbasierte Anwendungen und ist dadurch von der Zugkommunikation abzugrenzen. Wagentelematik bezweckt eine Erhöhung des Kundennutzens durch die Übertragung von Ortungsdaten (Tracking & Tracing) und die Erfassung des Zustands von Rollmaterial und Transportgut mittels geeigneter Sensorik. Dadurch erfährt der Endkunde den aktuellen Ort und Zustand seines Gutes und meist eine Prognose zur erwarteten Ankunftszeit. Im Strassengüterverkehr ist «Tracking & Tracing» Standard, während im Schienengüterverkehr dieses Qualitätskriterium nur selten erfüllt wird. Der Wagenhalter – meist nicht identisch mit dem Traktionär – gewinnt durch Wagentelematik wertvolle Daten zur Optimierung der Fahrzeuginstandhaltung.

#### 6.1.2 Effizienzpotential

Wagentelematik erzeugt in vielen Bereichen Zusatznutzen. Einerseits bei den Endkunden, welche durch Sendungsverfolgung (*track & trace*) die gesamte Transportkette mitverfolgen können oder auch bei Haftungsfragen (Schädigungen des Transportguts) auf Wagen- und Ladungsüberwachungsdaten zurückgreifen können. Andererseits gewinnen Wagenhalter und -mieter geeignete Daten zur Optimierung der Wagendisposition und die ECM (*Entity in Charge of Maintenance*) Daten für den leistungsabhängigen Unterhalt.

Ein Nutzen für das Gesamtsystem Bahn ergibt sich nur, falls es mittels Telematikanwendungen möglich ist, schwere Fehlfunktionen des Rollmaterials in Echtzeit an den Lokführer oder die Betriebszentrale weiterzuleiten. In der Schweiz besteht jedoch ein dichtes Netz an Zugkontrollleinrichtungen (ZKE), welche die Lauffähigkeit der Wagen überprüfen.

Tabelle 15 Relativer Vorteil: Wagentelematik

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	-
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		Verringerung des Verschleisses durch zeitgerechte Detektion defekter Wagen
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Evtl. durch optimierte Disposition Verkleinerung des Wagenpark möglich
		Verschleiss	Einführung des leistungsabhängigen Unterhalts möglich
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	Verbesserte Möglichkeiten zur Überwachung des Transportguts

### 6.1.3 Einführungshemmnisse

Telematik im Güterverkehr ist seit 2006 in der TSI «Telematikanwendungen für den Güterverkehr» (TAF TSI, 2006/62/EU) geregelt und umfasst die Funktionen Sendungsverfolgung in Echtzeit, Rangier- und Zugbildungssysteme, Trassenbuchungssysteme, sowie elektronische Begleitdokumente. Vor allem bei der Umsetzung der Sendungsverfolgung (*track & trace*) fehlt es aber weitgehend noch an einheitlichen Ansätzen. Einerseits ist die Zahlungsbereitschaft der Kunden für den Einsatz von Telematikmitteln auf Güterwagen sehr beschränkt, was die Einführung hemmt. Andererseits stecken viele Entwicklungen noch in den Kinderschuhen, da für die Anwendung im Bahnbereich grösste Anforderungen an Betriebssicherheit, Diebstahl- und Vandalismusschutz sowie an die autarke Energieversorgung gelten. In diversen Bereichen sind Pilotprojekte mit Telematikmitteln im Gang.

Tabelle 16 Widerstand: Wagentelematik

Verfügbarkeit		Diverse Geräte auf dem Markt, Anwendungen nur in Nischen	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	Ausrüstung/Nachrüstung der Fahrzeuge erforderlich
		Instandhaltungssystem	Instandhaltung der Telematikeinheiten im Rahmen der üblichen Unterhaltsarbeiten erforderlich
	Komplexität	-	
	Erprobbarkeit	Pilotprojekte im Gang	
Beobachtbarkeit	Wenig offensichtliche Wirkung		

### 6.1.4 Verlagerungspotential im AQGV

Ein Ausbau der Wagentelematik wirkt sich auf den gesamten Schienengüterverkehr positiv aus und bietet den Nutzern einen Mehrwert. Spezifische Wirkungen im AQGV sind einzig in wenigen Einzelfällen zu erwarten. So wäre es beispielsweise denkbar, dass Wagentelematik die Wiedereinführung von Gefahrguttransporten im EWL in Italien ermöglicht.

## 6.2 Mittelpufferkupplung

### 6.2.1 Beschreibung der Innovation

Die Mittelpufferkupplung– im Personenverkehr schon lange verbreitet – hat sich bislang im europäischen Güterverkehr nicht durchsetzen können. Gründe dafür sind einerseits die Notwendigkeit einer simultanen, systemweiten Einführung, andererseits höhere Anforderungen des Güterverkehrs an die Robustheit einer Kupplung.

Verschiedene Pilotprojekte haben sich immer wieder mit der Mittelpufferkupplung befasst. Einzelne Anwendungen sind in Europa auch im kommerziellen Einsatz, insbesondere für die Montanindustrie.

### 6.2.2 Effizienzpotential

Von der Mittelpufferkupplung verspricht man sich eine Erleichterung des Kupplungs- und Entkupplungsvorgangs und dadurch eine Erhöhung der Arbeitssicherheit des Rangierpersonals (Stuhr, 2013; Fumasoli 2010). Zudem verbessert die Mittelpufferkupplung die Laufeigenschaften eines Zuges durch eine bessere Verteilung der Längsdruckkräfte im Zug. Längerfristig kann auch das Leergewicht durch eine optimierte Wagenkonstruktion reduziert werden.

Tabelle 17 Relativer Vorteil: Mittelpufferkupplung

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	-
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Je nach eingesetzter Technologie geringerer Aufwand in Zugbildungsanlagen
		Verschleiss	Evtl. geringer durch bessere Verteilung der Längsdruckkräfte
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	Erhöhte Arbeitssicherheit durch Wegfall des Berner Raums
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 6.2.3 Einführungshemmnisse

Damit die Mittelpufferkupplung Nutzen bringt, ist eine systemweite, simultane Einführung nötig. Die mangelnde Kompatibilität zur heute gebräuchlichen Schraubenkupplung stellt somit eine grosse Einführungshürde dar. Mit beiden Systemen kompatible Kupplungen sind erprobt und erhältlich, verteuern jedoch die Umrüstung zusätzlich und verhindern teilweise die Realisierung des Nutzens der Mittelpufferkupplung. Anwendungen beschränken sich deshalb auf Pilotprojekte und Nischenanwendungen.

Tabelle 18 Widerstand: Mittelpufferkupplung

Verfügbarkeit		Basissysteme in anderen Ländern im kommerziellen Betrieb. Technologisch anspruchsvolle Systeme als Prototypen vorhanden		
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-	
		Umschlag	-	
		Fahrzeuge	Systeme nicht oder schlecht kompatibel zu bestehenden	
		Instandhaltungssystem	-	
	Komplexität		Umfangreiche Systemmigration erforderlich	
	Erprobbarkeit		Basissysteme in anderen Ländern im kommerziellen Betrieb	
	Beobachtbarkeit		Basissysteme in anderen Ländern im kommerziellen Betrieb	

### 6.2.4 Verlagerungspotential im AQGV

Im Zusammenhang mit längeren Zügen und erhöhten Achslasten könnte die Mittelpufferkupplung einen Beitrag zu erhöhter Produktivität im Güterverkehr leisten. Durch den Wegfall der Gotthard-Bergstrecke ist jedoch die Wirkung im AQGV gering. Dennoch sieht der Sektor den Bedarf das Thema zumindest nicht auszuschliessen.

## 6.3 Intra-Zugkommunikation

### 6.3.1 Beschreibung der Innovation

Die Intra-Zugkommunikation beschreibt – im Gegensatz zur Wagentelematik – die Erfassung, Verarbeitung und Übermittlung von Zugdaten. Intra-Zugkommunikation gilt als Basistechnologie für viele Anwendungen, beispielsweise die automatische Erfassung der Wagenreihung und die automatische Bremsrechnung. Auch zeitkritische Prozesse wie die elektropneumatische Bremssteuerung (ep-Bremse) oder – im Hinblick auf ETCS Level 3 – die Feststellung der Zugsintegrität gehören zur Intra-Zugkommunikation. Dies erfordert entsprechende Sensorik und Kommunikationsmittel auf jedem Fahrzeug im Zugsverband.

Während die Intra-Zugkommunikation über Leitungen (Zugbus, UIC-Kabel) im Personenverkehr Stand der Technik ist, bestehen im Güterverkehr nur Nischenanwendungen. Im Güterverkehr werden erste Versuche mit kabellosen Zugkommunikationssystemen durchgeführt. Mit der Innovation «Wagentelematik» bestehen zudem grosse Synergien, da teilweise dieselben Systeme verwendet werden können.

### 6.3.2 Effizienzpotential

Durch die Verwendung von Intra-Zugkommunikation lassen sich diverse Prozesse in der Zugbildung und bei der Fahrt automatisieren oder rationalisieren. Die Grundfunktionen umfassen die automatische betriebliche Zuguntersuchung, d. h. die Aufnahme und Kontrolle von Wagendaten, und die Bremsrechnung. Dadurch lassen sich Einsparungen im Personal und im Zeitaufwand für die Zugbildung erzielen. Je fortgeschrittener das System ist, desto mehr Funktionen können abgedeckt werden, z. B. die automatische Bremsprobe oder eine Zugsintegritätsprüfung in Echtzeit.

Tabelle 19 Relativer Vorteil: Intra-Zugkommunikation

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Ermöglicht ETCS Level 3 im Güterverkehr auf hochbelasteten Strecken
		Anlagen	Verkürzung der Aufenthaltszeit in Zugbildungsanlagen
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Verringert den Aufwand für die Aufnahme von Wagendaten
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	Weniger Arbeit «im Feld» für die Zugbildung erforderlich
	Kundenvorteil	Transportdauer	Evtl. Verringerung durch verkürzte Zugbildung
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 6.3.3 Einführungshemmnisse

Die Einführung der Intra-Zugkommunikation im Güterverkehr ist vor allem durch die Heterogenität des Rollmaterials erschwert. Im Gegensatz zur Wagentelematik kann die Intra-Zugkommunikation erst einen Nutzen generieren, wenn sich im ganzen Zug ein Kommunikationsnetz aufbauen lässt. Dies bedarf in der Regel der Vollausrüstung aller Wagen mit den entsprechenden Komponenten. Der

Koordinations- und Investitionsaufwand ist beachtlich, weshalb viele Eisenbahnunternehmen und Wagenhalter von einer Einführung dieser Systeme vorerst absehen.

Falls es sich um kabellose Systeme handelt, liegt eine zusätzliche Herausforderung in der Energieversorgung auf den Güterwagen. Es ist zwar möglich, Funktionen, welche punktuell Daten generieren und versenden, mit Batterien für mehrere Jahre ohne Eingriff zu betreiben. Sobald die Funktionen jedoch lückenlose und zeitechte Daten liefern sollen, reichen Batterien nicht mehr aus.

Tabelle 20 Widerstand: Intrazugkommunikation

Verfügbarkeit		Kabelbasierte Systeme aus dem Personenverkehr bekannt. Funkbasierte Systeme als Prototypen	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	Umfangreiche Nachrüstung von Güterwagen erforderlich
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität	Schulung von Lokpersonal erforderlich	
	Erprobbarkeit	Kann in Pilotanwendungen erprobt werden	
Beobachtbarkeit	-		

### 6.3.4 Verlagerungspotential im AQGV

Die Intra-Zugkommunikation erzeugt einen Nutzen im gesamten Schienengüterverkehr. Ein spezifischer Nutzen für den AQGV ist nicht erwiesen. Da es in der Schweiz bereits in grossem Umfang Zugkontrolleinrichtungen (ZKE) gibt, wird aus dem Sektor nur ein Bedarf gesehen, wenn zusätzliche Funktionen über die ZKE hinaus integriert werden.

## 6.4 Bremsen

### 6.4.1 Beschreibung der Innovation

Im Güterverkehr werden primär Klotz- oder Doppelklotzbremsen verwendet, welche direkt auf die Lauffläche der Räder wirken. Diese führen zu massgeblichen thermischen Belastungen der Räder, einer Aufrauung der Lauffläche und dadurch zu lauten Rollgeräuschen. Dieser Effekt kann durch den Einsatz von alternativen Bremsbelägen vermindert werden. In der Schweiz ist die Umrüstung auf K-Sohlen weit fortgeschritten, seit einem halben Jahr ist europaweit auch die LL-Sohle zugelassen. Da diese höhere Reibwerte als die herkömmlichen Grauguss-Sohlen aufweisen, erhöht sich der Radverschleiss. Eine Alternative ist der Einsatz von Scheibenbremsen, welche nicht auf die Laufflächen wirken und zugleich die Bremsleistung verbessern. Eine einheitliche Ausrüstung aller Wagen eines Zuges mit Scheibenbremsen ist jedoch Voraussetzung.

Die Änderung des Bremsentyps zieht weitere Anpassungen nach sich, beispielsweise den Gleitschutz, den automatischen Lastwechsel sowie eine Anzeige des Bremsenzustands für die Bremsprobe, da die Bremse unter Umständen nicht direkt eingesehen werden kann (Tabelle 21). Eine Anpassung der Bremsen könnte auch eine Führung von Güterzügen nach Reihe R oder gar N ermöglichen.

Tabelle 21 Anforderungen an die Bremsausrüstung (AB-EBV 2010)

	Reihe A			Reihe R (Reihe N)	
	-	s	ss		
Höchstgeschwindigkeit	80 km/h	100 km/h	120 km/h	140 km/h	160 km/h
Maximale Achslast	22,5 t	22,5 t	18–20 t	18 t (16 t)	
Lastwechsel	Manuell (2-stufig)			Automatisch	
Bremse	Klotzbremesen			Doppelklotzbremesen	Scheibenbremesen
Bremsverhältnis	$\lambda \leq 115 \%$			$\lambda_{\min} = 115\text{--}125 \%$	$\lambda_{\min} = 135\text{--}180 \%$
	Kein Gleitschutz nötig			Mit Kunststoff-Bremssohlen Gleitschutz notwendig	Gleitschutz notwendig

### 6.4.2 Effizienzpotential

Das Potential angepasster Bremsausrüstung von Güterwagen liegt primär in der Lärmreduktion. In der Schweiz sind die Umrüstungsarbeiten von Grauguss- auf K-Sohle weit fortgeschritten. In Deutschland und anderen europäischen Ländern ist die Umrüstung im Gang, wobei dort eher auf LL-Sohle umgerüstet wird.

Bei einem Wechsel von Klotz- auf Scheibenbremesen könnte ein besseres Bremsverhalten von Güterzügen erreicht werden, sofern alle Voraussetzungen (Gleitschutz, automatischer Lastwechsel) dafür auch erfüllt sind.

Tabelle 22 Relativer Vorteil: Bremsen

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Höhere Netzauslastung durch verkürzte Bremswege möglich
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		Verringerter Schienenverschleiss durch glattere Laufflächen
	Schienenverkehrslärm		Verringerung von Rollgeräuschen durch glattere Laufflächen
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Teurere Bremsklötze/Bremsbeläge
		Verschleiss	Erhöhter Radverschleiss
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	Evtl. bessere Trassen nutzbar
		Flexibilität	Evtl. bessere Trassen nutzbar
		Zuverlässigkeit	Evtl. bessere Trassen nutzbar
		Ladungsanforderungen	-

### 6.4.3 Einführungshemmnisse

Der Einsatz alternativer Bremssysteme wird vor allem durch die hohen Zusatzkosten verhindert. Ein mit Scheibenbremesen ausgerüstetes Drehgestell ist rund doppelt so teuer wie ein herkömmliches mit Klotzbremesen. Selbst die – relativ einfach umsetzbare – Umrüstung von Grauguss- auf Kunststoffsohlen kann nur durch Subventionierung und stufenweise Restriktionen vorangetrieben werden. Nebst den hohen Anschaffungskosten, schrecken viele Wagenhalter, bzw. ECM vor Anpassungen ihrer Instandhaltungskonzepte zurück.



Tabelle 23 Widerstand: Bremsen

Verfügbarkeit		Bei Klotzbremsen Umrüstung im Gang, Scheibenbremsen im GV wenig verbreitet	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	-
		Instandhaltungssystem	Annäherung an Personenverkehr
	Komplexität	-	
	Erprobbarkeit	-	
	Beobachtbarkeit	-	

#### 6.4.4 Verlagerungspotential im AQGV

Da der Nutzen verbesserter Bremssysteme vor allem der gesamten Infrastruktur sowie den Anwohnern lärmbelasteter Eisenbahnstrecken. Ein unmittelbares Verlagerungspotenzial ist nicht gegeben. Allerdings erhöhen lärmarme Bremsen die Akzeptanz von Streckenausbauten und zusätzlichen Zugleistungen im AQGV

### 6.5 Umfassende Standardisierung von Rollmaterial und Umschlag

#### 6.5.1 Beschreibung der Innovation

Der Güterstruktureffekt und die zunehmende interkontinentale Arbeitsteilung führt zu einer Containerisierung des Güterverkehrs, wodurch der Anteil der Containertragwagen auf der Schiene steigt. Dies führt wiederum dazu, dass Containertragwagen für immer mehr Verkehre verwendet werden, welche nicht dem kombinierten Verkehr im eigentlichen Sinn zuzurechnen sind. Dazu wird eine Vielzahl spezifischer Aufbauten entwickelt, z. B. für Holz, Papier-Recycling, Metallschrott oder landwirtschaftliche Produkte. Die Nutzer solcher Systeme sind jedoch erst in Nischenmärkten tätig. Eine vollständige Substitution des EWLK durch den kombinierten Verkehr ist langfristig nicht zu erwarten (Bruckmann, 2006; ProgTrans, 2006; Ecoplan und MDS Transmodal, 2006).

#### 6.5.2 Effizienzpotential

Eine umfassende Standardisierung sowohl der Wagenparks als auch der Ladeeinheiten verspricht eine höhere Flexibilität und Effizienz bei der Wagendisposition, eine Reduktion der Beschaffungskosten durch positive Skaleneffekte sowie eine Vereinfachung der Wageninstandhaltung.

Tabelle 24 Relativer Vorteil: Standardisierung

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	-
		Anlagen	Grössere Vielfalt von Gütern in der gleichen Anlage umschlagbar
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Optimierte Wagendisposition
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	Höhere Flexibilität durch einheitliches Rollmaterial
		Zuverlässigkeit	-
	Ladungsanforderungen	Einheitlicher Umschlag	

### 6.5.3 Einführungshemmnisse

Während der KV bereits weitgehend standardisiert ist, fehlen in anderen Verkehren die Anreize zu einer Umstellung auf standardisiertes Rollmaterial. Einerseits sind spezifische Güterwagen in grosser Zahl verfügbar und noch nicht im Ende ihres Lebenszyklus angelangt. Zudem bieten modulare Ladesysteme häufig Nachteile bei der Nutzlast oder der Ausnutzung des Lichtraumprofil und sind immer noch teuer in der Anschaffung, da es sich zur Zeit meist um Nischenanwendungen oder Pilotprojekte handelt.

Tabelle 25 Widerstand: Standardisierung

Verfügbarkeit		Anwendungen ausserhalb KV erst in Nischen		
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-	
		Umschlag	Zu bestehenden Anlagen kompatibel	
		Fahrzeuge	-	
		Instandhaltungssystem	-	
	Komplexität		Neue Geschäftsformen für Ladeeinheiten erforderlich (analog Wagenhalter)	
	Erprobbarkeit		In Nischenanwendungen in Betrieb	
Beobachtbarkeit		Hohe Sichtbarkeit		

### 6.5.4 Verlagerungspotential im AQGV

Der stark vom KV geprägte AQGV wird bereits heute weitgehend mit standardisiertem Rollmaterial betrieben. Weitere Anwendungen von standardisiertem Rollmaterial haben keinen direkten Einfluss auf transalpine Verkehre.

## 6.6 Energieversorgung auf dem Güterwagen

### 6.6.1 Beschreibung der Innovation

Die Energieversorgung auf dem Güterwagen ist eine Grundherausforderung für weitere Innovationen im Schienengüterverkehr. Grundlegende Telematikanwendungen arbeiten mit geringem Energiebedarf, weshalb Batterien für die Energieversorgung ausreichen. Für erweiterte Sensorik und Aktorik, Beleuchtung und Klimatisierung ist hingegen eine leistungsfähige Energieversorgung nötig. Abgesehen von den, im KV üblichen dieselgetriebenen Generatoren («Genset»), ist eine autarke

Energieversorgung für höhere Leistungen noch nicht entwickelt. Gerade für temperaturgeführte Transporte im kombinierten Verkehr sind Stromanschlüsse auf den Wagen wünschenswert, weshalb die Zugsammelschiene im Güterverkehr thematisiert wird.

### 6.6.2 Effizienzpotential

Die Energieversorgung bei Güterwagen ermöglicht, nebst der Deckung des Energiebedarfs von speziellen Transporten, eine Vielzahl von Innovationen mit Nutzen für die Kunden, die EVU, die ECM und die Infrastrukturbetreiber, z. B. Wagentelematik oder Intrazugkommunikation.

Tabelle 26 Relativer Vorteil: Energieversorgung auf Güterwagen

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Voraussetzung für Intrazugkommunikation
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Voraussetzung für Wagentelematik
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	Vereinfachung von Spezialtransporten
		Zuverlässigkeit	-
Ladungsanforderungen		Vereinfachung von Spezialtransporten	

### 6.6.3 Einführungshemmnisse

Einführungshemmnisse für die Energieversorgung auf Güterwagen sind einerseits die Umrüstungskosten, die Erfordernis einer flächendeckenden Einführung (bei der Zugsammelschiene) oder die noch nicht marktreife Technologie (bei autarken Systemen).

Tabelle 27 Widerstand: Energieversorgung auf Güterwagen

Verfügbarkeit		Technologie aus PV bekannt und zugelassen	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	Evtl. Anpassung der Prozesse in KV-Terminals
		Fahrzeuge	Zugsammelschiene bislang nicht vorhanden
		Instandhaltungssystem	Angleich der Instandhaltung an PV
	Komplexität		Gering
	Erprobbarkeit		Aus PV bekannt
Beobachtbarkeit		Aus PV bekannt	

### 6.6.4 Verlagerungspotential im AQGV

Besonders bei temperaturgeführten Transporten ist die Bahn im Nachteil gegenüber Strassentransporten. Deshalb darf davon ausgegangen werden, dass die Energieversorgung auf Güterwagen mindestens in diesem Segment zu einer Verlagerung führt.

## 7 Infrastrukturinnovationen

### 7.1 Bessere Ausnutzung des Lichtraumprofils

#### 7.1.1 Beschreibung der Innovation

Die Ausnutzung des maximalen Lichtraumprofils ist ein massgeblicher Faktor für die Nutzlast pro Meter Zuglänge. Eine schlechte Ausnutzung des Lichtraumprofils ist häufig bedingt durch uneinheitliche Profile im Eisenbahnnetz, insbesondere bei internationalen Verkehren. Zudem wird im kombinierten Verkehr das Lichtraumprofil aufgrund der Beschaffenheit der Behälter und deren Kompatibilität zu Normen des Strassenverkehrs schlecht ausgenutzt.



Abbildung 7: Überbreite Behälter auf Containertragwagen (Quelle: [innofreight.ch](http://innofreight.ch))

Eine bessere Ausnutzung des Lichtraumprofils bedingt deshalb sowohl die Vereinheitlichung der Profile, als auch die Verwendung von profilloptimiertem Rollmaterial oder Ladeeinheiten. Der Vor- und Nachlauf auf der Strasse im intermodalen Verkehr verhindert jedoch den Einsatz von Ladeeinheiten mit erweiterten Dimensionen weitgehend. Einzig in isolierten Systemen, ohne Vor- und Nachlauf auf öffentlichen Strassen, sind überbreite Behälter nutzbar. Erst wenige Anwendungen nützen das Lichtraumprofil dort besser aus (Abbildung 7).

Eine Vereinheitlichung der Lichtraumprofile auf den TEN-Strecken des Kernnetzes ist deshalb in der «TSI Infrastruktur» festgehalten (2011/275/EU, S. 66 f.). Die Schweiz ist dabei vor allem vom europäischen Güterverkehrskorridor 1 betroffen (2010/913/EU, S. 32). Für Neubaustrecken gilt gemäss TSI das Profil GC, für Ausbaustrecken Profil GB als Mindestanforderung. Jedoch reicht das Profil GB nicht aus, um Sattelanhänger mit 4 Meter Eckhöhe im unbegleiteten kombinierten Verkehr zu führen (Abbildung 8).

#### 7.1.2 Effizienzpotential

Das Effizienzpotential einer Erhöhung der Ausnutzung des Lichtraumprofils ist beachtlich. Das GC-Profil bietet gegenüber einem ISO-Container nahezu den doppelten nutzbaren Ladequerschnitt (König und Hecht, 2012). Eine konsequente Anpassung der Lichtraumprofile und der Güterwagen an das GC-Profil kann die Transportkapazität massgeblich erhöhen (Abbildung 8). Für leichte Güter rechnet man bei gleichbleibender Gütermenge mit einer Verringerung der benötigten Wagenzahl um ca. 30 Prozent (König und Hecht, 2012). Dürften zudem überbreite Behälter im Nahbereich von Containerterminals auf der Strasse transportiert werden, könnte auch der KV die vergrösserten Lichtraumprofile nutzen.

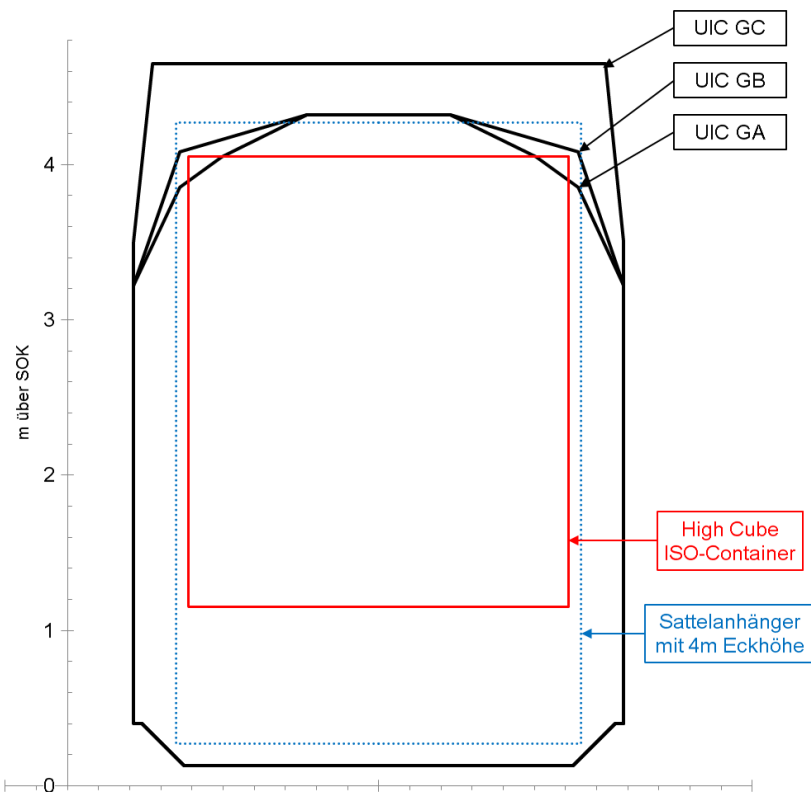


Abbildung 8: Vergleich der Ladebegrenzungslinien nach EN 15273-3:2009 Anhang C (eigene Darstellung)

Tabelle 28 Relativer Vorteil: Ausnutzung Lichtraumprofil

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Vergrößerung der Transportkapazität
		Anlagen	Bessere Ausnutzung von Ladegleisen
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Weniger Güterwagen erforderlich
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 7.1.3 Einführungshemmnisse

Vor allem im transalpinen Verkehr ist die Vergrößerung der Lichtraumprofile aufgrund der vielen Tunnels sehr aufwändig und teuer. Der bereits beschlossene Ausbau des 4 m-Korridors ist mit 940 Millionen Franken budgetiert und führt zu einer Vergrößerung der Lichtraumprofile auf das Profil EBV O3; dieses ist zwar grösser als das Profil UIC GB, jedoch kleiner als GC.

Nebst den grossen Investitionen in die Infrastruktur, müsste für eine Realisierung des Nutzens konsequent lichtraumoptimiertes Rollmaterial verwendet werden. Solange dieses Rollmaterial jedoch

nicht in ganz Europa freizügig eingesetzt werden kann, ist die Anwendung auf isolierte Strecken beschränkt.

*Tabelle 29 Widerstand: Ausnutzung Lichtraumprofil*

Verfügbarkeit		-	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	Aufwändige bauliche Massnahmen
		Umschlag	Überbreite Ladeeinheiten erforderlich
		Fahrzeuge	-
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität	Geringe Komplexität	
	Erprobbarkeit	In Nischenanwendungen in Betrieb	
Beobachtbarkeit	In Nischenanwendungen in Betrieb		

### 7.1.4 Verlagerungspotential im AQGV

Gemäss der Botschaft des Bundesrates zu Bau und Finanzierung eines 4-Meter-Korridors auf den NEAT-Zulaufstrecken (BBl 2013 3823) können jährlich bis zu 160 000 alpenquerende Sendungen von der Strasse auf die Schiene verlagert werden. Die Wirkungen auf den restlichen Güterverkehr – Ganzzugverkehr, Einzelwagenladungsverkehr und KV ohne Sattelaufleger – ist in diesen Zahlen nicht berücksichtigt.

## 7.2 Erhöhung der Achslast

### 7.2.1 Beschreibung der Innovation

Die Streckenklasse D4 – d. h. eine Achslast von 22,5 Tonnen und eine Meterlast von 8 Tonnen – ist derzeit der meistverbreitete Standard von Bahnstrecken in Europa. Eine Vereinheitlichung der Achslast auf den TEN-Strecken des Kernnetzes ist in der «TSI Infrastruktur» festgehalten (2011/275/EU, S. 66 f.). Für Neubaustrecken gilt gemäss TSI eine Achslast von 25 Tonnen, für Ausbaustrecken 22,5 Tonnen als Mindestanforderung. Die grössten Vorteile einer erhöhten Achslast ergeben sich im Transport von Massengut, insbesondere im Bergbau und der Siderurgie, welche in Europa jedoch nur auf wenigen Strecken relevant ist. Im Hinblick auf 90 Fuss lange Containerwagen mit zwei Drehgestellen (Projekt *VEL-Wagon*) könnte eine Erhöhung der Achslast auch im intermodalen Verkehr zu einem Thema werden (Carrillo Zanuy et al., 2011).

### 7.2.2 Effizienzpotential

Bei einer Erhöhung der Achslast von 22,5 auf 25 Tonnen ergibt sich im unbegleiteten kombinierten Verkehr – rein rechnerisch – eine Nutzlastserhöhung von 14,2 Prozent (KombiConsult und K+P, 2010). Dadurch kann die Produktivität pro Zug, bzw. pro Trasse verbessert werden.

*Tabelle 30 Relativer Vorteil: Erhöhung Achslast*

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Vergrößerung der Transportkapazität
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		Höherer Verschleiss
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	u. U. insgesamt weniger Achsen benötigt
		Verschleiss	u. U. insgesamt weniger Achsen benötigt
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	Vorteil für schwere Güter

### 7.2.3 Einführungshemmnisse

Wie beim Ausbau des Lichtraumprofils, ist auch bei einer Erhöhung der Achslast (und evtl. der Meterlast) mit grossen Investitionen in die Infrastruktur zu rechnen. Zusätzlich muss auch das Rollmaterial in der Lage sein, grössere Lasten abzubremesen, weshalb die Bremstechnologie in Güterwagen angepasst werden müsste. Im Betrieb führen höhere Achslasten zu grösserem Verschleiss an Infrastruktur und Rollmaterial, eventuell jedoch zu einer insgesamt geringeren Achszahl pro Zug. Unter Umständen müssen mit höheren Achslasten tiefere Maximalgeschwindigkeiten in Kauf genommen werden.

*Tabelle 31 Widerstand: Erhöhung Achslast*

Verfügbarkeit		-	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	Aufwändige bauliche Massnahmen
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	Anpassungen an Drehgestellen
		Instandhaltungssystem	Evtl. kürzere Instandhaltungszyklen
	Komplexität		-
	Erprobbarkeit		-
	Beobachtbarkeit		Erhöhte Achslasten bereits im kommerziellen Betrieb

### 7.2.4 Verlagerungspotential im AQGV

Eine Erhöhung der zulässigen Achslast könnte die Produktivität des gesamten Schienengüterverkehrs erhöhen. Das spezifische Potential im AQGV wird allgemein als gering eingeschätzt, da die meisten Sendungen im Kombinierten Verkehr volumenintensive Güter enthalten und damit nicht unmittelbar von der Achslastbeschränkung betroffen sind.

## 8 Prozessinnovationen

### 8.1 Harmonisierung der Betriebsvorschriften

#### 8.1.1 Beschreibung der Innovation

Durch die Einführung von Mehrsystemlokomotiven, welche verschiedenste Bahnstromsysteme und Sicherungssysteme befahren können, entfällt auf vielen internationalen Güterzügen bereits heute der aufwändige Lokomotivwechsel an der Grenze. Zudem wird die Koordinierung des Verkehrsmanagements für die europäischen Güterverkehrskorridore angestrebt (2010/913/EU). Ein verbleibendes Hindernis ist, nebst den Zollformalitäten, der Lokführerwechsel. Zusammen mit der technischen Interoperabilität soll deshalb auch die Interoperabilität des Bahnpersonals und die europaweite Harmonisierung der Betriebsvorschriften vorangetrieben werden. Dazu ist eine europaweit einheitliche Betriebssprache – analog zum Luftverkehr – erforderlich und nationale Besonderheiten müssen überwunden werden. Auch allgemeine Prinzipien, wie beispielsweise die Streckenkenntnis, müssen deshalb mit Bezug auf den internationalen Schienenverkehr kritisch hinterfragt werden. Die Einführung des europäischen Lokführerscheins ist lediglich als erster Schritt der Harmonisierungsbestrebungen anzuschauen.

#### 8.1.2 Effizienzpotential

Durch eine europaweite – oder zumindest korridorweite – einheitliche Betriebsführung können viele Prozesse an den Netzgrenzen vereinfacht werden. Die Personaleinsatzplanung gestaltet sich bei einer Harmonisierung der Betriebsvorschriften im internationalen Güterverkehr flexibler und kann sich nach betrieblichen Kriterien richten.

Tabelle 32 Relativer Vorteil: Harmonisierung der Betriebsvorschriften

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	-
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Personaleinsatzplanung nach betrieblichen Kriterien
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

#### 8.1.3 Einführungshemmnisse

Aufgrund der historisch gewachsenen nationalstaatlichen Bahnsystemen sind die Betriebsvorschriften in Europa extrem heterogen. Eine Vereinheitlichung beansprucht deshalb enorm viel Zeit, ohne umgehend Nutzen zu generieren. Zudem ist es auch eine Frage staatlicher Souveränität, ob nationale Regulatoren bereits sind, Kompetenzen an internationale Gremien abzugeben.



Tabelle 33 Widerstand: Harmonisierung der Betriebsvorschriften

Verfügbarkeit		-	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	-
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität	Hohe Komplexität durch heterogene Regelungen	
	Erprobbarkeit	-	
Beobachtbarkeit	Evtl. Analogien im Flug- und Schiffsverkehr		

### 8.1.4 Verlagerungspotential im AQGV

Eine Harmonisierung der Betriebsvorschriften hat Auswirkungen auf den gesamten internationalen Schienenverkehr, sowohl im Personen- als auch Güterverkehr, inklusive dem AQGV, welcher stark vom grenzüberschreitenden Verkehr geprägt ist. Es ist allerdings zu bezweifeln, dass ein Mass an Effizienzgewinn erzielt wird, welches an die Endkunden weitergereicht werden kann. Die Verlagerungswirkung auf die Schiene wird vom Sektor deshalb als gering eingeschätzt.

## 8.2 Flügelung von Güterzügen

### 8.2.1 Beschreibung der Innovation

Die Flügelung von Güterzügen – auch Train-Coupling and -Sharing – bezeichnet das Teilen von Zügen oder das Zusammenführen von Teilzügen zu Ganzzügen. Die eigentliche Formation der Teilzüge wird dabei nicht geändert. Im Personenverkehr ist das Konzept der Zugflügelung seit langem bekannt und wird mit der zunehmenden Verbreitung von festen Pendelzugseinheiten vermehrt auch im Regionalverkehr praktiziert. Im Güterverkehr lassen sich Flügelung kurze Züge auf dem Hauptlauf bündeln, was sich positiv auf die Netzkapazität auswirkt. Beim Zusammenfügen wird das Triebfahrzeug in seinem Zugsteil belassen, was eine Mehrfachtraktionssteuerung benötigt. Denkbar ist die Bündelung von Teilzügen verschiedener Produktionssysteme (z. B. KV und EWLK), sofern das Rollmaterial untereinander kompatibel ist.

### 8.2.2 Effizienzpotential

Durch die Flügelung von Güterzügen kann die Trassennutzung auf Hauptstrecken verbessert werden. Mehrere Kurzzüge können sich auf gemeinsamen Streckenabschnitten eine Trasse teilen, sofern die Fahrplanlage eine sinnvolle Bündelung zulässt. Auf den Strecken, welche gebündelt gefahren werden, verringert sich zudem der Personalaufwand. Der Aufwand für die Disposition des Lokpersonals nimmt jedoch zu.

Tabelle 34 Relativer Vorteil: Flügelung von Güterzügen

Systemvorteil	Kapazität	Strecke	Trassenbündelung
		Anlagen	-
	Verschleiss öffentlicher Infrastruktur		-
	Schienenverkehrslärm		-
Unternehmensvorteil	Eigenvorteil	Ressourceneinsatz	Weniger Personal benötigt
		Verschleiss	-
		Arbeitsbedingungen und -sicherheit	-
	Kundenvorteil	Transportdauer	-
		Flexibilität	-
		Zuverlässigkeit	-
		Ladungsanforderungen	-

### 8.2.3 Einführungshemmnisse

Gegen die Flügelung von Güterzügen spricht einerseits der grössere Aufwand der Personaldisposition, die höheren Anforderungen an die Pünktlichkeit und Zuverlässigkeit der Züge sowie die Kosten für die Anpassungen am Rollmaterial. Da die gebündelten Züge zudem mit mehr Triebfahrzeugen verkehren, ist mit insgesamt höheren Transportkosten zu rechnen.

Für die Bündelung von Güterzügen ist die Mehrfachtraktionssteuerung erforderlich. Die Fernsteuerung der, über den ganzen Zug verteilten Triebfahrzeuge kann entweder über Kabel oder funkbasiert geschehen. Die Funkfernsteuerung von Lokomotiven wurde in der Schweiz für den Schiebetrieb am Gotthard erfolgreich getestet, kam jedoch nicht zur Umsetzung im kommerziellen Betrieb (Siegmann et al., 2009; Bruckmann und Fumasoli, 2011). Die kabelbasierte Fernsteuerung ist aus dem Personenverkehr seit langem bekannt, kam bisher im Güterverkehr jedoch erst selten zum Einsatz. Die kabelbasierte Vielfachsteuerung erfordert die Umrüstung aller Güterwagen im Zugverband mit einem Steuerkabel.

Tabelle 35 Widerstand: Flügelung von Güterzügen

Verfügbarkeit		Technologie aus PV bekannt	
Einführung	Kompatibilität	Fahrweg	-
		Umschlag	-
		Fahrzeuge	Umrüstung für Vielfachsteuerung erforderlich
		Instandhaltungssystem	-
	Komplexität		-
	Erprobbarkeit		-
	Beobachtbarkeit		Technologie aus PV bekannt

### 8.2.4 Verlagerungspotential im AQGV

Der Nutzen der Zugflügelung und der Vielfachsteuerung von Güterzügen ist über den gesamten Güterverkehr verteilt. Ein spezifischer Nutzen für den AQGV ergibt sich evtl. im Hinblick auf die Zuglängenbeschränkungen im Verkehr mit Italien. Durch eine Flügelung könnte der Rangieraufwand an den Grenzbahnhöfen zwischen der Schweiz und Italien verringert werden, sofern Mehrsystemlokomotiven eingesetzt werden.

## 9 Synthese & Empfehlungen

Die vorgestellten Innovationen – bei einigen handelt es sich bereits um konkrete Entwicklungen – zeigen das Entwicklungspotential im Schienengüterverkehr auf. Die Wirkungen sind, zum Teil durch analoge Beispiele im Ausland, zum Teil durch Studien belegt.

Es lassen sich jedoch keine Innovationen identifizieren, welche ausschliesslich im alpenquerenden Güterverkehr Wirkung zeigen. Aus betrieblicher Sicht unterscheidet sich der alpenquerende Güterverkehr nicht massgeblich vom Schienengüterverkehr an anderen Orten. Die Expertengespräche haben deshalb auch gezeigt, dass die Herausforderungen im AQGV sich mit denen des Güterverkehrs generell decken.

Gleichzeitig ist es nicht möglich, Innovationen nur im alpenquerenden Verkehr einzusetzen und unter diesen Randbedingungen wirtschaftlich zu betreiben. Die meisten Innovationen bedingen eine umfassende, grossflächige Einführung; bei einer partiellen Einführung in kleinen Sparten stehen die Investitionen häufig in keinem Verhältnis zum Nutzen der Innovation.

Das Thema Innovation als Ganzes ist deshalb nicht auf den alpenquerenden Verkehr zu beschränken, sondern muss aus einer ganzheitlichen Sicht – aus der Sicht des Eisenbahnsystems Europa – betrachtet werden. Es sind deshalb prioritär Innovationen weiter zu verfolgen, welche auch auf europäischer Ebene Potential zur Umsetzung zeigen, damit von einer grösseren Nutzergruppe und mehr Systemanbietern profitiert werden kann. Insbesondere Wagentelematik und Intrazugkommunikation, sowie die Harmonisierungsbestrebungen bei der Infrastruktur zeigen eine grosse Wirkung und sind deshalb vorrangig weiter zu verfolgen.

Im Rahmen einer flächendeckenden Einführung von Innovationen kann aber der alpenquerende Güterverkehr als First-Mover und Testanwendung dienen. Hier sind insbesondere Innovationen von Interesse, die sich zunächst im abgegrenzten Streckennetz eines alpenquerenden Korridors mit einer begrenzten Zahl an Fahrzeugen umsetzen lassen. Diese sind:

1. Optimierung der Lichtraumprofile
2. Optimierung der Bremssysteme und automatische Bremsprobe
3. Zusätzliche Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr
4. Vereinheitlichung der Betriebsvorschriften

Um die Innovationen bis zu einer Einsatzreife weiterzuentwickeln, bedarf es gross angelegter Initiativen auf europäischer Ebene, wie beispielsweise Shift2Rail, deren fünftes Innovationsprogramm (IP5) Technologien für einen nachhaltigen und attraktiven Güterverkehr entwickeln soll. Hier sollte die Schweiz weiterhin unterstützen und ihr Know-how einbringen. Ein Alleingang der Schweiz bei der Umsetzung der Innovationen ist aufgrund der begrenzten Ressourcen aus rein verkehrspolitischer Sicht abzulehnen. Allerdings ist die Beteiligung an der Weiterentwicklung der Innovationen aus forschungs- und industriepolitischer Sicht zu begrüßen, da der Schienengüterverkehr einen technischen Nachholbedarf besitzt, der ein grosses Marktvolumen für innovative Produkte erzeugen kann.

## Literatur

- Bergmann, G. und J. Daub (2008) *Systematisches Innovations- und Kompetenzmanagement, Grundlagen – Prozesse – Perspektiven*, 2. Auflage, GWV Fachverlage, Wiesbaden
- Brockhoff, K. (1999) *Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle*, 5. Auflage, R. Oldenbourg Verlag, München
- Bruckmann, D. (2006) *Entwicklung einer Methode zur Abschätzung des containerisierbaren Aufkommens im Einzelwagenverkehr und Optimierung der Produktionsstruktur*, Dissertation an der Universität Duisburg-Essen, Essen
- Bruckmann, D. und T. Fumasoli (2011) *Einsatzoptionen der Intra-Zugkommunikation*, Studie im Rahmen der Abgeltungsvereinbarung EWLIV zwischen der SBB Cargo AG und dem Bundesamt für Verkehr, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich
- Bruckmann, D., T. Fumasoli, S. Herrigel und S. Schranil (2013) *Innovationen im Bahnsystem*, SBB-Fonds für die Forschung zum Management im Verkehrsbereich, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich
- Bruckmann, D., M. Hecht, J. Grotrian, T. Fumasoli, D. Bing, D. Jobstfinke, T. Homberger, P. Gantert, M. Rudin und J.-E. Galdiks (2013) *Intra-Zugkommunikation – Wirtschaftliche Bewertung von Systemen zur Intra-Zugkommunikation im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz*; Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich; Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Technische Universität Berlin; SBB Cargo AG, Basel
- Carrillo Zanuy, A., H. Boysen, J. Mašek, M. Buda, F. Janiček und J. Karabin (2011) *VEL-Wagon – State of the art and concept drafting*, Fachgebiet Schienenfahrwege und Bahnbetrieb, Technische Universität Berlin, Berlin, URL: <http://www.vel-wagon.eu/index.php/downloads>
- Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2010) *Ausführungsbestimmungen zur Eisenbahnverordnung (AB-EBV)*, Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern
- Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation UVEK (2013) *Bericht über die Verkehrsverlagerung vom November 2013, Verlagerungsbericht Juni 2011 bis Juni 2013*, Bern
- EU-Kommission (2006a) Entscheidung Nr. 2006/861/EG der Kommission vom 28. Juli 2006 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem «Fahrzeuge – Güterwagen» des konventionellen transeuropäischen Bahnsystems (CR WAG TSI)
- EU-Kommission (2006b) Verordnung Nr. 2006/62/EG der Kommission vom 23. Dezember 2005 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität (TSI) zum Teilsystem «Telematikanwendungen für den Güterverkehr» des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems (CR TAF TSI)
- EU-Kommission (2011) Beschluss Nr. 2011/275/EU der Kommission vom 26. April 2011 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems «Infrastruktur» des konventionellen transeuropäischen Eisenbahnsystems (CR INF TSI)
- EU-Parlament und -Rat (2011) Verordnung (EU) Nr. 913/2010 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 22. September 2010 zur Schaffung eines europäischen Schienennetzes für einen wettbewerbsfähigen Güterverkehr
- Fumasoli, T. (2010) *Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz*, Masterarbeit Frühjahrssemester 2010, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme (IVT), ETH Zürich, Zürich
- Hupac (2012) Sicherheit und Wettbewerbsfähigkeit: wo liegt das Gleichgewicht?, Vortrag VAP Generalversammlung 2012, Bernhard Kunz – CEO Hupac, Zürich, 10.05.2012

- König, R. und M. Hecht (2012) *Weissbuch Innovativer Eisenbahngüterwagen 2030*, Professur für Bahnverkehr, öffentlicher Stadt- und Regionalverkehr, TU Dresden und Fachgebiet Schienenfahrzeuge, Technische Universität Berlin
- KombiConsult und K+P (2010) *Trends und Innovationen im unbegleiteten Kombinierten Verkehr in der und durch die Schweiz*, Schlussbericht an das Bundesamt für Verkehr, KombiConsult GmbH, Frankfurt a. M. und K+P Transport Consultants, Freiburg i. Br.
- Mertel, R., K. Petri und K.-U. Sondermann (2012) Studie zum Transport von Sattelanhängern im unbegleiteten Kombinierten Verkehr durch die Schweiz, KombiConsult GmbH, Frankfurt a. M.
- Neuenschwander, R., H. Simmen und S. Newton (2006) *Kannibalisierungseffekt WLW – UKV*, Ecoplan AG und MDS Transmodal, im Auftrag des Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern
- Rommerskirchen, S., A. Greinus, A. Riese und E. Weyand (2006) *Kannibalisierungseffekt Wagenladungsverkehr – Unbegleiteter Kombiniertes Verkehr: Analyse intramodaler Verlagerungseffekte im alpenquerenden Schienengüterverkehr*, ProgTrans AG, im Auftrag des Bundesamt für Verkehr (BAV), Bern
- Schweizerischer Bundesrat (2013) *Botschaft vom 22. Mai 2013 zu Bau und Finanzierung eines 4-Meter-Korridors auf den Zulaufstrecken zur NEAT am Gotthard* (BBl 2013 3823), Schweizerische Bundeskanzlei, Bern
- Shift2Rail (2013) *Shift2Rail auf einen Blick – Shift2Rail Factsheet*, Union des Industries Ferroviaires Européennes UNIFE, URL: <http://www.shift2rail.org/publications/>
- Siegmann, J., T. Sauter-Servaes, H. Stuhr, M. Pätzig und S. Witzmann (2009) *Studie zur zukünftigen Entwicklung der Produktionstechnologie im SGV*, Fachgebiet Schienenfahrzeuge und Bahnbetrieb, Technische Universität Berlin, Berlin
- Stern, T. und H. Jaberg (2007) *Erfolgreiches Innovationsmanagement, Erfolgsfaktoren – Grundmuster – Beispiele*, 3. Auflage, GWV Fachverlage, Wiesbaden
- Stuhr, H. (2013) *Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung*, Dissertation an der Technischen Universität Berlin, Berlin
- Troche, G. (2005) *High-Speed Rail Freight – Sub-Report in Efficient Train Systems for Freight Transport*, KTH Railway Group, Report 0512, KTH Royal Institute of Technology, Stockholm

## Anhänge

### Zusammensetzung der Expertengruppe

Zur Diskussion der vorgestellten Innovationen wurde ein Workshop durchgeführt. Die Expertengruppe bestand aus folgenden Personen:

BLS AG	Jürgen Maier
SBB Cargo AG	Bernhard Adamek
Hupac SA	Piero Solcà
Wascosa AG	Irmhild Saabel
VAP	Frank Furrer
railCare AG	Philipp Wegmüller (entschuldigt)
Bundesamt für Verkehr BAV	Reto Schletti Arnold Berndt (entschuldigt)
IVT ETH Zürich	Dirk Bruckmann Tobias Fumasoli Albert Mancera

### Auszüge aus der TSI Infrastruktur

Tabelle 2

TSI-Streckenklassen für das Teilsystem „Infrastruktur“ des konventionellen Eisenbahnnetzes

TSI-Streckenklassen		Verkehrsarten		
		Personenverkehr (P)	Frachtverkehr (F)	Mischverkehr (M)
Streckenarten	Neue TEN-Strecke des Kernnetzes (IV)	IV-P	IV-F	IV-M
	Ausgebaute TEN-Strecke des Kernnetzes (V)	V-P	V-F	V-M
	Neue weitere TEN-Strecke (VI)	VI-P	VI-F	VI-M
	Ausgebaute weitere TEN-Strecke (VII)	VII-P	VII-F	VII-M

Abbildung 9: TSI-Streckenklassen (2011/275/EU)

Tabelle 3  
Leistungskennwerte der einzelnen TSI-Streckenklassen

		Lichtraumprofil	Achslast [t]	Streckengeschwindigkeit [km/h]	Zuglänge [m]
TSI-Streckenklassen	IV-P	GC	22,5	200	400
	IV-F	GC	25	140	750
	IV-M	GC	25	200	750
	V-P	GB	22,5	160	300
	V-F	GB	22,5	100	600
	V-M	GB	22,5	160	600
	VI-P	GB	22,5	140	300
	VI-F	GC	25	100	500
	VI-M	GC	25	140	500
	VII-P	GA	20	120	250
	VII-F	GA	20	100	500
	VII-M	GA	20	120	500

Anmerkungen: (P) = passenger traffic, (F) = freight traffic, (M) = mixed traffic, gauge GA, GB, GC are as defined in EN 15273-3:2009 Annex C.

Abbildung 10: Leistungskennwerte der TSI-Streckenklassen (2011/275/EU)