



## Innovationen im Bahnsystem

SBB-Fonds für die Forschung zum Management im Verkehrsbereich

Prof. Dr. Ulrich Weidmann

Dr. Dirk Bruckmann

Tobias Fumasoli

Sabrina Herrigel

Steffen Schranil

Februar 2015

## Innovationen im Bahnsystem

### SBB-Fonds für die Forschung zum Management im Verkehrsbereich

Prof. Dr. Ulrich Weidmann

ETH Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme (IVT)  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
8093 Zürich  
Telefon: +41 44 633 31 05  
Telefax: +41 44 633 10 57  
weidmann@ivt.baug.ethz.ch

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

Sabrina Herrigel

ETH Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme (IVT)  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
8093 Zürich  
Telefon: +41 44 632 75 19  
Telefax: +41 44 633 10 57  
sabrina.herrigel@ivt.baug.ethz.ch

Steffen Schranil

ETH Zürich  
Institut für Verkehrsplanung und  
Transportsysteme (IVT)  
Wolfgang-Pauli-Strasse 15  
8093 Zürich

## Inhaltsverzeichnis

1	Kurzfassung .....	7
2	Auftrag und Ziele .....	9
2.1	Thema und Ziele des Forschungsprojekts .....	9
2.2	Forschungsfrage .....	10
2.3	Stand der Forschung .....	11
2.4	Methoden .....	13
3	Innovation System Bahn .....	16
3.1	Begriffe der Innovation und Systeminnovation .....	16
3.2	Innovationsmodelle .....	17
3.3	Hindernisse bei der Innovation im System Bahn .....	18
3.4	Systeminnovationen in anderen Technologiefeldern .....	20
3.5	Akteure im Innovationsprozess .....	23
3.6	Zielsysteme der Systeminnovationen .....	26
4	Entscheidungs- und Finanzierungsmodelle (DB) .....	29
4.1	Analyse bestehender Finanzflüsse .....	29
4.2	Analyse bestehender Finanzierungsmodelle .....	30
4.3	Charakteristische Verläufe von Kosten und Erträgen bei Innovationen .....	34
4.4	Finanzierungsmodelle .....	37
5	Validierung der Entscheidungs- und Finanzierungskonzepte .....	39
5.1	Systematisierung der Ausgleichssysteme .....	39
5.2	Fallstudie 1: Energiespeicher auf Triebfahrzeugen .....	39
5.3	Fallstudie 2: Schnelle und flinke Güterzüge .....	48
5.4	Fallstudie 3: Adaptive Zuglenkung .....	57
6	Synthese .....	64
6.1	Beurteilung von Wirkung und Transaktionsaufwand .....	64
6.2	Regulatorische Einbindung .....	64
6.3	Beurteilung der Umsetzbarkeit von Innovationen .....	67
6.4	Bewertung der Kompensationsmodelle im Vergleich zu vollkostendeckenden Trassenpreisen .....	68
7	Gesamtbeurteilung und Empfehlungen .....	70
8	Literatur .....	71

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Rollen der Akteure im Innovationsprozess .....	26
Tabelle 2: Randbedingungen für die Umsetzung von Innovationen in Abhängigkeit der Effizienzwirkungen auf das Gesamtsystem und die beteiligten Akteure (beschränkt auf zwei Akteure) .....	27
Tabelle 3: Fallbeispiel für die Überkompensation der LSVA und den hierdurch erforderlichen Einsatz des Fahrzeugs im reinen Strassentransport (Darstellung IVT) .....	33
Tabelle 4: Generelle Stärken und Schwächen der Speicherapplikationen (Darstellung IVT) .....	42
Tabelle 5: Anforderungen an die Ausrüstung von Wagen bis 160 km/h (AB-EBV 2010) .....	49
Tabelle 6: Leistungskennzahlen gängiger Triebfahrzeuge [23] .....	50
Tabelle 7: Traktionierung gängiger Züge .....	50
Tabelle 8: Innovationspfade .....	52
Tabelle 9: Vorteile und Nachteile der Kompensationsmodelle .....	64
Tabelle 10: Rahmenbedingungen aus der Europäischen Regulation .....	67

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Die fünf Bereiche des Systems Bahn (eigene Darstellung) .....	16
Abbildung 2: Aktivitäten und Ergebnisse von Innovationsprozessen [5].....	17
Abbildung 3: Entscheidungsbaum zu privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung [5] (eigene Darstellung) .....	18
Abbildung 4: Entscheidungsbaum zu privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung nach [5] und Entscheidungsweg im Sektor Eisenbahn (rot dargestellt) (eigene Darstellung).....	20
Abbildung 5: Roadmap für Fahrerassistenzsysteme und dafür verwendete Sensoren, Quelle: [22] .....	21
Abbildung 6: Vernetzte Umfeldwahrnehmung durch Datenaustausch mit festen Datenbanken oder anderen Fahrzeugen, Quelle: [22].....	22
Abbildung 7: Rollen und Zielsysteme im System Bahn (eigene Darstellung) .....	25
Abbildung 8: Zahlungsflüsse im System Bahn (eigene Darstellung) .....	29
Abbildung 9: Beziehungen im System Bahn bei einem direkten Lärmbonus (eigene Darstellung).....	31
Abbildung 10: Beziehungen im System Bahn bei einer Kompensation über den Trassenpreis (eigene Darstellung) .....	31
Abbildung 11: Transaktionskosten für verschiedene Kompensationsmodelle für die lärmarme Umrüstung von Güterwagen (Quelle: [12]) .....	32
Abbildung 12: Charakteristische Kosten-/Nutzen-Kurven (eigene Darstellung).....	35
Abbildung 13: Charakteristische Kosten-/Nutzen-Kurven (eigene Darstellung).....	36
Abbildung 14: Charakteristische Break-even-Punkte (eigene Darstellung) .....	37
Abbildung 15: Kombination von abnehmendem Grenznutzen und progressivem Kostenverlauf führen zu einer Wirtschaftlichkeitslinse (eigene Darstellung) .....	37
Abbildung 16: Typischer Lastgang einer DC-Stadtbahnanwendung mit Taktverkehr [19] .....	41
Abbildung 17: Stationärer Schwungmassenspeicher einer Stadtbahnanwendung (Foto: Schranil).....	42
Abbildung 18: Platzverhältnisse im Maschinenraum einer europäischen Vollbahnlokomotive (Grafik: Bombardier Transportation) .....	42

Abbildung 19: Speicherintegration in den DC-Zwischenkreis (Abbildung: Hörmann Engineering).....	43
Abbildung 20: Wettbewerbsvorteil durch Technologieführerschaft des EVU?(eigene Darstellung).....	<b>Fehler! Textmarke nicht definiert.</b>
Abbildung 21: Hybridlok Eem 923 der SBB Cargo (Grafik: Stadler Rail).....	44
Abbildung 22: Veränderung der Zahlungsflüsse im System Bahn bei Energiespeicherung auf der Lokomotive (eigene Darstellung) .....	46
Abbildung 23: Kosten-Nutzen-Kurve bei der Energiespeicherung auf der Lokomotive (eigene Darstellung).....	47
Abbildung 24: Ausgewählte Bremsverhältnisse in der Bremstabelle 90, $v_{\max}$ 160 km/h (AB-EBV 2010) .....	49
Abbildung 25: Akteure im Schienengüterverkehr (eigene Darstellung) .....	52
Abbildung 26: Veränderung der Zahlungsflüsse im System Bahn bei Energiespeicherung auf der Lokomotive (eigene Darstellung) .....	55
Abbildung 27: Kosten-Nutzen-Kurve bei schnellen und flinken Güterzügen (eigene Darstellung).....	56
Abbildung 28: Übermittlung von optimalen Geschwindigkeitsprofilen in Form von Fahrempfehlungen von der Disposition an die Lokführer. (Softbee GmbH, IVT, Aargauer Zeitung).....	58
Abbildung 29: Zeitlicher Verlauf der Innovationsumsetzung (eigene Darstellung).....	59
Abbildung 30: Übersicht Akteursgefüge (eigene Darstellung).....	60
Abbildung 31: Veränderung der Zahlungsflüsse im System Bahn bei der Adaptiven Zuglenkung(eigene Darstellung) .....	62
Abbildung 32: Kosten-Nutzen-Kurve bei der Adaptiven Zuglenkung (eigene Darstellung).....	63
Abbildung 33: Komplexität der Umsetzung von Innovationen (eigene Darstellung) .....	68

# 1 Kurzfassung

Die klassischen Innovationsmodelle mit einer linearen Entwicklung der Innovation von der Grundlagenforschung über die angewandte Forschung hin zur Produktentwicklung und Markteinführung sind bei der Eisenbahn häufig nicht anwendbar, da Innovationen bei der Eisenbahn als komplexem Gesamtsystem häufig erst dann eine Wirkung entfalten, wenn diese von allen Systemteilnehmern umgesetzt werden. Insofern fallen Innovationskosten und Innovationsgewinne häufig bei unterschiedlichen Systembeteiligten (oder Rollen im System Bahn) an. Zur Verteilung der Innovationsgewinne sind daher Kompensationsmodelle erforderlich, die einen finanziellen Ausgleich zwischen den Profiteuren der Innovation und den Systembeteiligten, bei denen Mehrkosten entstehen, ermöglichen.

Die Komplexität der erforderlichen Kompensationsmodelle hängt von der Anzahl der beteiligten Akteure und deren Verknüpfung in der Wertschöpfungskette im System Bahn ab:

- Systeme mit nur zwei Beteiligten (einem Profiteur und einem Verlierer) sind deutlich einfacher zu handhaben als Systeme mit mehreren Beteiligten.
- Systeme mit direkten Zahlungsflüssen zwischen den Profiteuren und Verlierern sind einfacher als Systeme bei denen weitere Akteure in die Zahlungsflüsse integriert sind.
- Innovationen mit frühem Break-even lassen sich einfacher in ein Kompensationsmodell integrieren als Innovationen, die erst bei hohen Ausstattungsgraden oder sehr langfristig Gewinne im Gesamtsystem erwarten lassen.

Um potenzielle Kompensationsmodelle zu ermitteln und zu bewerten wurden im Rahmen dieser Arbeit daher drei Innovationen im System Bahn auf ihren Kompensationsbedarf und ihre Umsetzungshemmnisse untersucht:

- Schnelle und flinke Güterzüge zur Verbesserung der Angebotsqualität im Schienengüterverkehr,
- Die Energiespeicherung auf der Lokomotive zur Reduktion der Lastspitzen im Bahnenergie-netz und
- Eine adaptive Zuglenkung zur Erhöhung der Streckenkapazitäten und zur Reduktion des Energieverbrauchs.

Auf Grundlage der Fallbeispiele konnten fünf unterschiedliche Kompensationsmodelle ermittelt werden. Die genauere Analyse zeigt, dass es keines der Kompensationsmodelle ideal für alle Arten von Innovationen geeignet ist. Vielmehr muss je nach Art der Innovation und der Systembeteiligten ein geeignetes Modell gewählt werden:

- Eine **Veränderung bestehender Zahlungsflüsse** ist vor allem bei Innovationen mit wenigen Beteiligten, bei denen bereits heute ein Zahlungsfluss besteht sinnvoll. Hierunter fällt auch die Einführung vollkostendeckender Trassenpreise. Diese sind aber aufgrund der schlecht zu steuernden Wirkung zur Innovationsförderung schlecht geeignet.

- Die Einrichtung einer **direkten Kompensation** ist vor allem dann sinnvoll, wenn zwischen den Beteiligten nur sehr indirekte oder keine Zahlungsbeziehungen bestehen
- Eine **Vorfinanzierung der Innovation** durch den Profiteur ist vor allem bei Innovationen sinnvoll, die unter Berücksichtigung dieser zusätzlichen Kosten für den Profiteur schnell wirtschaftlich sind.
- Eine **Fondslösung** ist vor allem für Grundlagenforschung sinnvoll
- Innovation durch **regulatorischen Zwang** ist nur für sicherheits- oder umweltrelevante Innovationen sinnvoll.

## 2 Auftrag und Ziele

### 2.1 Thema und Ziele des Forschungsprojekts

Das lineare Innovationsmodell der klassischen Innovationstheorie sieht die Innovationsentwicklung und –umsetzung als einen linearen Prozess, in dem eine Innovation zunächst in der Grundlagenforschung und der angewandten Forschung und später in der Produkt- und Verfahrensentwicklung zur Marktreife gelangt und dann produziert und vermarktet werden kann. Wichtige Voraussetzung für das Funktionieren dieser Innovationskette ist die Möglichkeit, die Aufwendungen, die ein Unternehmen im Bereich der Forschung und Entwicklung getätigt hat, durch entsprechende Erlöse am Markt bzw. reduzierte Produktionskosten zu kompensieren. Bei der Eisenbahn ist aber eine exklusive Nutzung von Innovationen durch ein Unternehmen oft nicht möglich, da viele Innovationen erst dann einen Nutzen entfalten, wenn alle Beteiligten diese Innovation verwenden (Beispiel: automatische Kupplung, ETCS/ERTMS). Ausserdem ist aufgrund der Produktionsstrukturen nahezu immer eine Wechselwirkung zwischen Infrastrukturbetreiber und Eisenbahnverkehrsunternehmen vorhanden. Damit lässt sich aber das klassische lineare Innovationsmodell nicht mehr auf die Eisenbahn anwenden und es besteht der Bedarf an der Entwicklung anderer geeigneter Innovationsmodelle für den Eisenbahnbereich.

Die Bahnregulierung der Schweiz verlangt unter anderem die finanzielle Trennung von Verkehr und Infrastruktur. Die Finanzflüsse zwischen EVU und EIU haben sich auf die Trassenpreise zu beschränken. Die Kosten und Wirkungen von systemorientierten bahntechnischen Innovationen bewegen sich allerdings nicht immer innerhalb dieser regulatorischen finanziellen Grenzen. Oft ist für eine Innovation in der einen Sparte zu investieren, eine andere Sparte dagegen oder gar konkurrierende dritte EVU profitieren vom Nutzen.

Die finanzielle Abgrenzung der Sparten verunmöglicht einen direkten Nutzentransfer, womit für Innovationen mit systemischem Nutzen die wirtschaftliche Motivation fehlt. Bisweilen lassen sich entscheidende Fortschritte sogar erst durch mehrere simultane Veränderungen im System Angebot – Produktion – Rollmaterial – Infrastruktur erzielen, mit gleichzeitig sehr verteiltem Nutzen. Dadurch entziehen sich diese Innovationsfelder den klassischen Innovationstheorien.

Als ökonomisches Instrument für den Nutzentransfer könnte grundsätzlich der Trassenpreis dienen. Da er in der Schweiz aber lediglich die kurzfristigen Grenzkosten und damit etwa einen Fünftel der Vollkosten abbildet [39], bleiben die absoluten Anreize klein. Eine Kompensation der Innovationsaufwendungen im Trassenpreis über die direkten Wirkungen der Innovationen auf die kurzfristigen Grenzkosten hinaus, wäre nicht systemkonform und damit anfechtbar.

Innovation, insbesondere im Systemverbund Bahn, bleibt eine wesentliche Voraussetzung für ihre Zukunft. Da die finanziellen Mechanismen den Innovationsprozess nicht nur nicht unterstützen, sondern sogar bremsen, gewinnt die prozessuale und institutionelle Gestaltung des Innovationsprozesses an Bedeutung. Die betroffenen Akteure und deren spezifischen Interessenlagen bei möglichen Innovationen werden zentral. Im Zusammenhang mit diesem Entscheidungsprozess ist auch zu erwägen, ob und gegebenenfalls in welchen Fällen ein monetärer Nutzentransfer zwischen Akteuren zur Umsetzung

von Innovationen zwingend ist und in welchen Fällen bereits die Klärung der Finanzierung der Innovationskosten allein genügt.

Zusätzliche Innovationshemmnisse ergeben sich aus der Sicherung der Interoperabilität und der Zuordnung der Risiken und Nutzen durch Innovationen bei EVU im gegenseitigen Wettbewerb. Sehr schwierig umzusetzen sind Innovationen, die nur einen Nutzen generieren, wenn sie alle Marktteilnehmer einsetzen. Hier muss ein Abstimmungsprozess und Normierungsprozess zwischen den Wettbewerbern erfolgen, was naturgemäss in einer Wettbewerbssituation schwierig ist. Wenn weitere Stakeholder wie beispielsweise Wagenhalter ebenfalls tangiert sind, ergibt sich ein nahezu nicht zu leistender Koordinierungs- und Abstimmungsaufwand, insbesondere für das prozessführende Unternehmen. Innovationen in einem solchen Umfeld scheitern daher häufig an der fehlenden Einigung der Stakeholder.

Bei Innovationen, die auch bei Einsatz durch ein einzelnes EVU einen Nutzen generieren, scheuen First Mover häufig die Risiken, die sich bei einem Ersteinsatz ergeben, da die Innovationen bei einem späteren Erfolg auch von den Wettbewerbern übernommen werden. Eng damit verbunden ist die Frage, wie kleine Unternehmen – zu denen auf europäischer Ebene auch die SBB gehören – sich sinnvoll in den Innovationsprozess einbringen können und auch mit begrenztem Risiko Innovationen anstossen können.

## 2.2 Forschungsfrage

Die grundsätzliche mit der Thematik verbundene Forschungsfrage lautet damit:

***Welche prozessualen und institutionellen Mechanismen sind zur diskriminierungsfreien Förderung systemorientierter Innovationen zweckmässig und welches sind gegebenenfalls die finanziellen Implikationen, ohne dass zusätzliche staatliche Mittel beansprucht werden und ohne dass die intra- und intermodale Wettbewerbsfähigkeit zu einem beliebigen Zeitpunkt beeinträchtigt wird?***

Deren Beantwortung impliziert die Bearbeitung folgender Teilaspekte:

- Wie ist das klassische Innovationsmodell anzupassen, um die Gegebenheiten bei der Eisenbahn abbilden zu können?
- Die Innovationsfelder sowie deren Nutzenpotential sind zu systematisieren. Zweckmässige Innovationsstrategien in diesen Feldern sind festzulegen.
- Die beteiligten Akteure innerhalb und ausserhalb der SBB sind zu identifizieren, ebenso deren Interaktionen, Interessenlagen und Spielräume sowie das institutionelle Umfeld.
- Gestützt darauf sind Entscheidungsmodelle und Entscheidungsprozesse zu entwerfen, mutmasslich in Varianten, um den unterschiedlichen Konstellationen von Innovationen und Akteuren Rechnung zu tragen.
- Die finanziellen Anforderungen systemorientierter Innovationen sind bezüglich Zahlungszeitpunkt, Zahlungsfluss und Zahlungshöhe zu charakterisieren.

Es ist zu zeigen, welchen Einfluss die beschaffungsrechtlichen Randbedingungen sowie die unterschiedlichen Eignerstrukturen der EVU und der Rollmaterialeigner haben.

- Es ist darzustellen, wie sich auch kleinere EVU in den Innovationsprozess Bahn einbringen, wie die damit verbundenen Risiken für die SBB reduziert und Koordinationsprozesse auf europäischer Ebene optimiert werden können.
- Die Entscheidungs- und Umsetzungsmodelle sind hinsichtlich ihrer Funktionsweise, ihrer Wirksamkeit und ihres Transaktionsaufwandes zu beurteilen und zu validieren.
- Es sind Überlegungen zur Trägerschaft eingeführter Innovationen zu skizzieren, sei es in Form von Systemführerschaften oder in anderer Ausprägung.
- Es sind Modelle zur diskriminierungsfreien Finanzierung solcher Innovationen zu entwickeln, welche ohne zusätzliche Steuermittel auskommen.
- Wie wirken sich die unterschiedlichen potenziellen Modelle bei der Trassenpreisgestaltung grundsätzlich auf den Innovationsprozess aus.

## 2.3 Stand der Forschung

Die Innovation im Bahnsystem aus einer regulatorischen Sicht ist ein vergleichsweise junges Gebiet, da sich diese Fragen erst seit der Richtlinie EU 91/440 stellen. Die Forschung konzentriert sich seither eher auf die prinzipiellen Stärken und Schwächen der regulatorischen Modelle, die Diskriminierungsfreiheit oder die Trassenpreissysteme. Demgegenüber befasst sich die Professur für Verkehrssysteme des IVT seit einiger Zeit mit dem Innovationsmanagement im neuen regulatorischen Kontext. Sie kann damit für diese Forschungsidee auf verschiedene Vorleistungen aufbauen:

- *Innovation SBB-I-EB*: Bereits von rund 10 Jahren erfolgte bei der SBB, Division Infrastruktur ein Screening und die Selektion denkbarer Innovationen. Dabei wurden auch vertieft beschaffungsrechtliche Fragestellungen behandelt [31].
- *Studien zum Trassenpreissystem, insbesondere zum Lärmfaktor*: In verschiedenen Studien entwarf die Professur das Konzept des neuen Trassenpreissystems. Dabei wurden Modelle des Nutzentransfers zur Förderung einer nächsten Stufe des fahrzeugseitigen Lärmschutzes erarbeitet und evaluiert [19],[34],[35],[30],[37].
- *Neues Güterwagendrehgestell LEILA*: Die Professur wirkte an einer Markteinführungsstudie zum neuen lärmarmen Güterwagendrehgestell der TU Berlin mit, insbesondere hinsichtlich der Verschleissminimierung und des Energieverbrauches. Sie schätzte ab, ob die Zusatzinvestitionen durch trassenpreisseitige Anreize refinanzierbar sein könnten [36].
- *Produktionsverbesserungen im Wagenladungsverkehr*: In seiner Masterarbeit an der Professur erfasste und bewertete Herr Lukas Regli die Innovationspotentiale im Bahngüterverkehr. Diese Arbeit zeigt umfassend insbesondere Ansätze mit Systemcharakter [20].
- *Einsatzoptionen der Intra-Zugkommunikation*: SBB Cargo AG erhielt im Rahmen der Abgeltungsvereinbarung für den EWLK im Jahr 2011 vom BAV den Prüfauftrag zu Innovati-

onen im Wagenladungsverkehr (WLV) und insbesondere zu Einsatzmöglichkeiten einer Intra-Zugkommunikation. Die Professur erarbeitete eine Übersicht und Bewertung entsprechender Systeme im schweizerischen WLV und ermittelte die Haltung der Stakeholder zu diesem System [1].

- *Automatische Kupplung im WLV der Schweiz:* In seiner Masterarbeit an der Professur prüfte Herr Tobias Fumasoli die Einführung automatischer Kupplungstypen im EWLW Schweiz. Die Arbeit umfasste die technische und wirtschaftliche Machbarkeit sowie die betrieblichen und finanziellen Auswirkungen [14].

Zwischenerkenntnisse aus dem Stand der Forschung:

- Die Akteurskonstellation und die jeweiligen Interessenlagen haben einen entscheidenden Einfluss auf den Umsetzungserfolg systemischer Innovationen; strukturierte Entscheidungs- und Führungsprozesse, welche diese Gegebenheit berücksichtigen, fehlen weitgehend.
- Durch die Marktliberalisierung fehlen häufig neutrale unternehmensübergreifende Institutionen, die den Innovationsprozess vorantreiben. Oft zwingt der Handlungsdruck die grossen Unternehmungen wie die SBB, die Führung zu übernehmen, aber ohne Aussicht auf angemessene finanzielle Beteiligung anderer Partner und/oder einen nennenswerten Wettbewerbsvorteil.
- Der Trassenpreis wäre grundsätzlich für den diskriminierungsfreien Nutzentransfer prädestiniert. Die erforderlichen Faktoren sind konzeptionell vorgesehen oder liessen sich einführen. Mit seiner Orientierung an den kurzfristigen Grenzkosten sind diese aber viel zu schwach ausgeprägt, um Investitionen betriebswirtschaftlich zu rentabilisieren.
- Eine zusätzliche wesentliche Rolle hinsichtlich der Wirksamkeit von Innovationsfinanzierungen spielt die Eigentümerstruktur des Rollmaterials. Im Personenverkehr ist die zugsverantwortliche EVU im Allgemeinen gleichzeitig auch Rollmaterialhalter. Im Güterverkehr dagegen herrscht ein mehrstufiges Eigentum mit internationaler Komponente vor. Zwischen der zugsverantwortlichen EVU und dem Rollmaterialeigner, welcher eine Investition vornehmen soll, bestehen teilweise mehrere Zwischenstufen, was zu einem kaskadenartigen Wirkungsverlust der Innovationsförderung führt.
- Häufig sind nicht die Lebenszykluskosten der neuen Technologie hinderlich, sondern die erhöhten Erstinvestitionen. Dies trifft insbesondere im Güterverkehr zu.
- Das Bundesgesetz über das öffentliche Beschaffungswesen setzt der kooperativen Forschung und Entwicklung zwischen SBB und Industrie enge Grenzen. Dies verunmöglicht auch weitgehend eine Vorfinanzierung durch die Industrie.

## 2.4 Methoden

### 2.4.1 Allgemeine Projektstruktur

Die Arbeit gliedert sich in drei Hauptteile:

1. *Konzeptentwicklung*: Entwurf konzeptioneller Modelle für die Entscheidungsprozesse und die Finanzierung von Innovationen mit Systemcharakter, basierend auf einem Zielsystem und den Randbedingungen.
2. *Validierung*: Typisierung bahntechnischer Innovationsfelder mit Systemcharakter, Test ausgewählter Entscheidungsmodelle durch Fallstudien; Überprüfung der Praktikabilität.
3. *Synthese*: Beurteilung der Tauglichkeit und Wirksamkeit der Modelle, Evaluation bestgeeigneter Ansätze.

### 2.4.2 Methodischer Ansatz der Konzeptentwicklung

Der Entwurf der Entscheidungs- und Finanzierungsmodelle basiert auf den Methoden des Systems Engineering. Diese werden insbesondere für folgende Aspekte eingesetzt:

- Analyse und Typisierung der Akteure sowie ihrer gegenseitigen Beziehungen und Interessenlagen
- Systemanalyse der Werteflüsse
- Typisierung der mit den Innovationen verbundenen Kosten- und Nutzenarten sowie der resultierenden Zahlungsströme

Für das Zielsystem erarbeitet das IVT einen Vorschlag, basierend insbesondere auf den Konzern- und Divisionszielsetzungen. Der Zusammenhang zwischen Zielen wie Kostensenkung, Qualitätsverbesserung, Produktivitätserhöhung, Steigerung des Kundennutzens und Verfügbarkeitsverbesserung ist herzustellen und zu gewichten. Das Zielsystem ist mit den SBB zu verifizieren. Die Innovationsstrategien (First mover, Fast follower, Late adopter, Innovationsverzicht) werden aus bisherigen Arbeiten des IVT und der einschlägigen Theorie zum technischen Innovationsmanagement übernommen sowie adaptiert.

### 2.4.3 Methodischer Ansatz der Validierung

Zur Erfassung der Innovationen mit Systemcharakter werden die bisherigen Vorarbeiten des IVT genutzt, ebenso eine Auswertung der einschlägigen Literatur. Zudem ist ein Abgleich mit den Innovationsverantwortlichen der drei Divisionen hilfreich.

In früheren Untersuchungen zeigte sich, dass die Wirksamkeit verschiedener Innovationsanreize zweckmässigerweise an Fallbeispielen getestet wird. Dieser Ansatz soll auch in der vorliegenden Studie angewandt werden. Die Fallstudien sollen Innovationen umfassen, welche bei einer Sparte zu erhöhten Investitionen führen, bei anderen Sparten aber zu Einsparungen oder anderem Nutzen. In jeder Fallstudie sollen die beteiligten Akteure, die Kosten (Investitionen, Betriebskosten) und potenziellen

Nutzen(finanzieller, funktionaler, qualitativer Art) der Innovation für die Akteure aufgearbeitet werden.

Die Überprüfung erfolgt an drei Fallstudien:

- *Energiespeicher auf Triebfahrzeugen:* Der integrierte Taktfahrplan verursacht jeweils zur vollen und zur halben Stunde eine punktuelle Lastspitze des Fahrstrombedarfs von rund 300 MW. Da der Bahnstrom nicht ohne Weiteres mit dem Landesnetz kompatibel ist, muss diese Spitze im Bahnstromnetz der SBB vorgehalten werden, was die durchschnittlichen Gestehungskosten erhöht. Heute ist es technisch denkbar, zumindest einen Teil der erforderlichen Spitzenenergie auf den Triebfahrzeugen zu speichern; entsprechende Ansätze bestehen bereits im Nahverkehr. Dies würde eine Nachrüstung der Triebfahrzeuge zu Lasten der Personenverkehrs-EVU bedingen. Durch das Brechen der Lastspitze vereinfachte sich die Netzregelung und es wäre eine Verschlankung der erforderlichen Energienetzausbauten zu erwarten, wodurch insbesondere der Bereich Energie der SBB und sekundär alle Netznutzer über sinkende Energiepreise profitieren könnten. Im Regionalverkehr würde durch den kurzfristig erforderlichen Einbau dieser Energiespeicher der Abgeltungsbedarf tendenziell erhöht.
- *Schnelle und flinke Güterzüge:* Bisher spielten Höchstgeschwindigkeit sowie Beschleunigungs- und Bremsvermögen der Güterzüge für den Bahngüterverkehr eine untergeordnete Rolle. Dies begründet sich mit der mangelnden Bedeutung dieser Zugparameter für die Versender. Parallel dazu wurden allerdings diese Eigenschaften bei den Personenzügen stetig gesteigert, sodass sich die Zugseigenschaften der beiden Sparten auseinanderentwickelten. Je höher die Strecken ausgelastet sind, desto stärker beeinträchtigt dies die Streckenleistungsfähigkeit [33]. Gelingt es dagegen, die Güterzugseigenschaften jenen des Personenverkehrs anzunähern, so lässt sich die Netzleistungsfähigkeit steigern. Der Nutzen fällt somit primär bei der Infrastruktur an. Sekundär profitieren davon die Personenverkehrs-EVU. Hingegen sind erhebliche Kosten bei den Güter-EVU und den Wagenhaltern zu erwarten, ohne einen direkten Nutzen auf der Ertragsseite zu erzeugen.
- *Adaptive Zuglenkung / Zuglaufoptimierung / Automatische Zugführung in Knoten:* Die hochpräzise Einhaltung des Fahrplanes mit einer Bandbreite der Fahrschaulinien im Bereich weniger Sekunden erhöht die Strecken- und Knotenkapazität, wie dies die Praxis in Japan und eigene Studien zeigen [17]. Ansätze dazu werden bei der SBB mit der Zuglaufoptimierung und der Adaptiven Zuglenkung (ADL) umgesetzt. Langfristig ist es eine Option, die kapazitätsoptimale Steuerung von Zügen durch hochbelastete Knotenbereiche gänzlich einer Automatik zu übertragen. Jedenfalls sind Investitionen der EVU für Bordgeräte und Personalausbildung erforderlich. Zudem entfalten diese Ansätze erst bei Vollausrüstung aller Züge ihre Wirkung. Der Nutzen dagegen besteht vorab in einer Steigerung der Streckendurchlassfähigkeit und kommt der EIU sowie allen EVU zugute. SBB Energie profitiert zudem von Energieeinsparungen durch Ausrollen.

#### **2.4.4 Methodischer Ansatz der Synthese**

In der Synthese werden die Erkenntnisse aus der Konzeptentwicklung und aus den Fallstudien zusammengeführt. Die Hypothesen werden beantwortet.

#### **2.4.5 Randbedingungen**

Dem Projekt sind insbesondere folgende Randbedingungen gesetzt:

- Die rechtliche Situation wurde nur summarisch geprüft.
- Im Rahmen dieser Arbeit kann die Sinnhaftigkeit der Innovationen selbst nicht beurteilt werden; ebenso wenig wird ein abschliessender Überblick über alle innovativen Ansätze im Bahnsystem erarbeitet.

## 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 [3]. 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 Schlumpeterscher Definition eine Innovation die Umsetzung einer Erfindung in eine Marktanwendung bedeutet [25]. Nach Brockhoff kann eine Innovation neben der Einführung einer Erfindung (Invention) am Markt auch deren Anwendung im Produktionsprozess (sog. Prozessinnovation) sein [5]. Damit wird klar, dass Erfindungen um ihrer selbst willen keine Innovation darstellen, sondern dass mit der Innovation immer eine Marktfähigkeit oder eine Umsetzung im Produktionsprozess und damit ein wirtschaftlicher Nutzen verbunden sein muss.

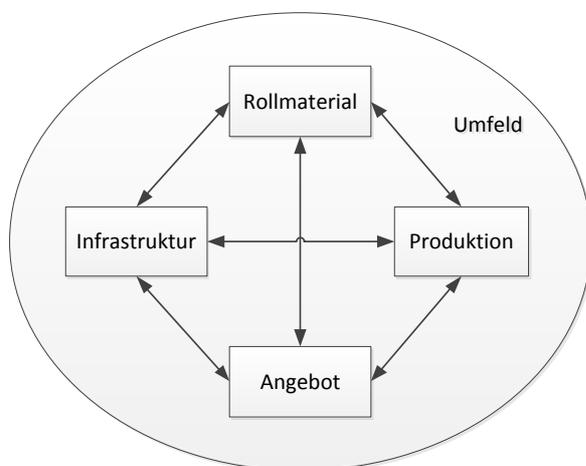
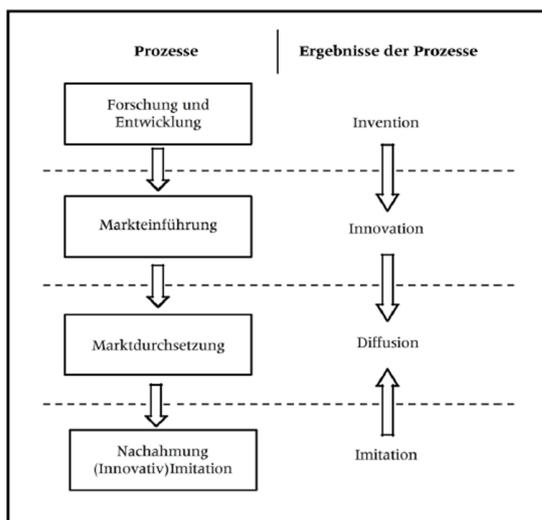


Abbildung 1: Die fünf Bereiche des Systems Bahn (eigene Darstellung)

**Systemorientierte Innovationen** (oder Systeminnovationen) sind Innovationen, bei denen mindestens zwei Bereiche des Systems Bahn (vgl. 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 sind und angepasst werden müssen. Aufgrund der Struktur des Systems Bahn ist damit verbunden, 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 (vgl. Abbildung 2) geht von der linearen Abfolge der Innovations-schritte 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).



7: Aktivitäten und Ergebnisse in Innovationsprozessen (Brockhoff 1999)

Abbildung 2: Aktivitäten und Ergebnisse von Innovationsprozessen [5]

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 sowie die Markteinführung Kosten ohne entsprechende Erträge produzieren, erfolgt erst mit der Marktdurchsetzung eine Kompensation dieser Kosten durch entsprechender Erträge aus der Innovation. 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 vorhergehende Innovationen zu kompensieren.

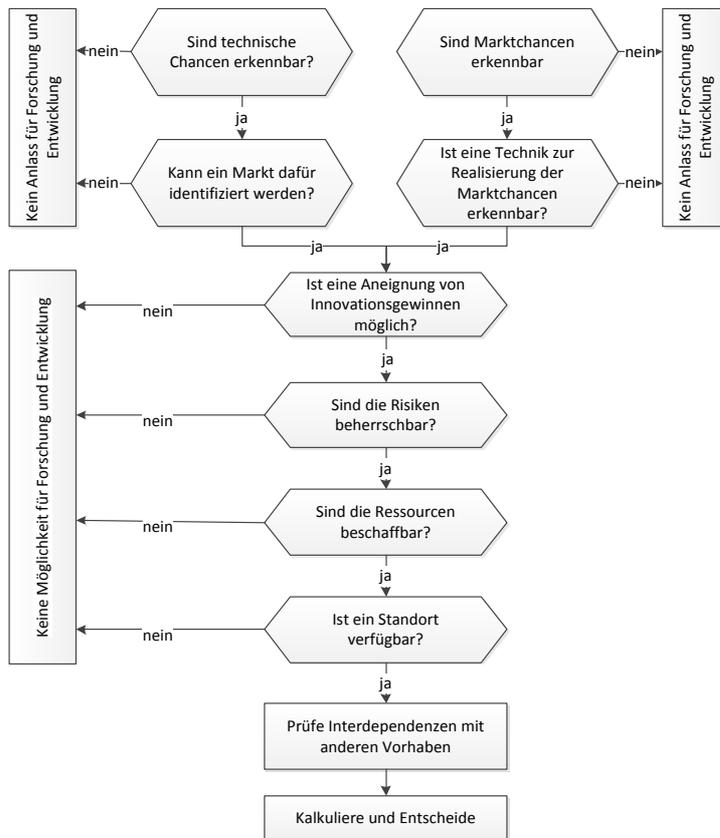


Abbildung 3: Entscheidungsbaum zu privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung [5] (eigene Darstellung)

### 3.3 Hindernisse bei der Innovation im System Bahn

Aufgrund der Struktur des Systems Bahn mit einer Vielzahl beteiligter Akteure im Innovationsprozess ergeben sich grosse Differenzen zur Innovation in herkömmlichen Unternehmen der produzierenden Industrie. Diese Innovationshemmnisse lassen sich in allen vier Prozessschritten des Innovationsprozess identifizieren:

- Die **Forschung und Entwicklung** erfolgt bei klassischen Unternehmen in der Regel unternehmensintern oder, wenn sie von Dritten durchgeführt wird, klar gesteuert durch das Auftrag gebende Unternehmen. Gerade klassische Unternehmen sind auf Forschung und Entwicklung angewiesen, um einen Innovationsvorsprung gegenüber ihren Wettbewerbern zu erhalten. Im Gegensatz dazu haben Eisenbahnverkehrs- und -infrastrukturunternehmen in der Vergangenheit die eigene Forschungs- und Entwicklung reduziert und sind zu einer funktionalen Ausschreibung von Leistungen gewechselt. Damit verbunden ist aber ein Wissensverlust und der Abgleich zwischen Markterfordernissen und dem Stand der Forschung und Wissenschaft wird schwieriger. Marktanforderungen können nicht schnell und unter eigener Regie in neue Produkte umgewandelt werden.

- Bei der **Markteinführung** von Innovationen im Bereich physischer Produkte erwirbt der Kunde das innovative Produkt und kann die Innovation direkt bei sich und zu seinem Nutzen anwenden. Da bei der Eisenbahn nur Transportdienstleistungen verkauft werden, erzeugt ein grosser Teil der technischen Innovationen im System keinen unmittelbaren Mehrwert bei Endkunden. Die Innovation wird von der Eisenbahn nur zur Erstellung der Transportdienstleistung verwendet – die Anwendung der Innovation verbessert diese Transportdienstleistung häufig nicht in einer für den Endkunden ersichtlichen Form.
- Bei der **Marktdurchsetzung** hat das innovative Unternehmen im klassischen Umfeld einen Marktvorteil durch die Innovation, da sein Produkt infolge der Innovation Eigenschaften aufweist, die es deutlich von Produkten anderer Unternehmen unterscheidet. Bei der Eisenbahn wird zum einen die Transportdienstleistung, wie bereits dargestellt, für den Kunden nur marginal durch eine Innovation verbessert. Zum anderen bedingen vielen Innovationen für ihre Umsetzung eine vollständige Marktdurchdringung. Hier kann das innovative Unternehmen kein Alleinstellungsmerkmal erzeugen, da es auf die Mitwirkung auch der Mitbewerber angewiesen ist. Damit wird der Prozessschritt der Nachahmung zwangsweise vorweggenommen.
- Aus Sicht des innovationsführenden Unternehmens ist eine **Nachahmung** der Innovation durch Wettbewerber nicht erwünscht. Diese wird aber bei der Eisenbahn häufig erforderlich, da Systeminnovationen erst dann ihre Wirkung entfalten, wenn alle Systembeteiligten und somit auch die Wettbewerber die jeweilige Innovation umsetzen. Damit sinkt naturgemäss die Bereitschaft in der Branche, sich im Bereich der Forschung und Entwicklung als innovationsführendes Unternehmen zu engagieren, da entsprechende Erträge nicht generiert werden können.

Für den in Abbildung 3 bereits dargestellten Entscheidungsbaum zu Innovationen folgt aus dieser Betrachtung, dass keine Aneignung von Innovationsgewinnen möglich ist – und damit die Unternehmen im Eisenbahnsektor keine Möglichkeit für Forschung und Entwicklung besitzen (vgl. Abbildung 4).

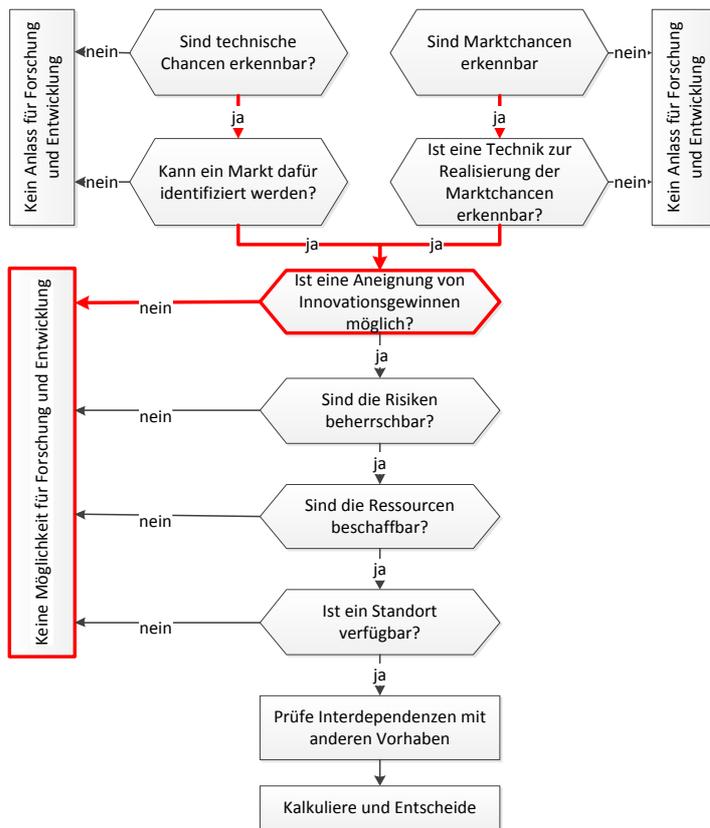


Abbildung 4: Entscheidungsbaum zu privatwirtschaftlicher Forschung und Entwicklung nach [5] und Entscheidungsweg im Sektor Eisenbahn (rot dargestellt) (eigene Darstellung)

### 3.4 Systeminnovationen in anderen Technologiefeldern

Zur Beurteilung von Systeminnovationen im Schienenverkehr ist eine Betrachtung von Innovationen in anderen Technologiefeldern durchaus sinnvoll. Als Beispiel sollen hier Fahrerassistenzsysteme im Strassenverkehr verwendet werden, da sich diese in den letzten Jahren verstärkt durchgesetzt haben und von den Akteuren als besonders innovativ empfunden werden. Dies ist neben dem tatsächlichen Innovationspotenzial von Innovationen im Strassenverkehr auch auf eine deutlich bessere Vermarktung eigentlich trivialerer Entwicklungen zurückzuführen: ein adaptives Kurvenfahrlicht ist nichts anderes als die Verknüpfung der Ansteuerung der Nebelscheinwerfer mit dem Lenkradeinschlag.

Die Entwicklung der Fahrerassistenzsysteme zeigt, dass von Beginn der Entwicklung an die Schnittstelle zwischen Fahrzeug und Fahrweg oder anderen Fahrzeugen nicht verändert worden ist. Das bedeutet, dass sämtliche Intelligenz und Sensorik auf dem einzelnen, damit ausgestatteten Fahrzeug vorgehalten wird. Wenn Schnittstellen zur Infrastruktur oder zu Drittsystemen verwendet werden, dann beschränken sich diese auf die Nutzung bereits sicher und genormt vorhandener Informationen. In der Entwicklung von Fahrerassistenzsystemen wurden verschiedene Technologien geprüft, die bereits vorhandenen Informationen zu ermitteln. Keine von diesen Technologien bedurfte aber einer besonderen Ausstattung an anderen Systemelementen als dem eigenen Fahrzeug.

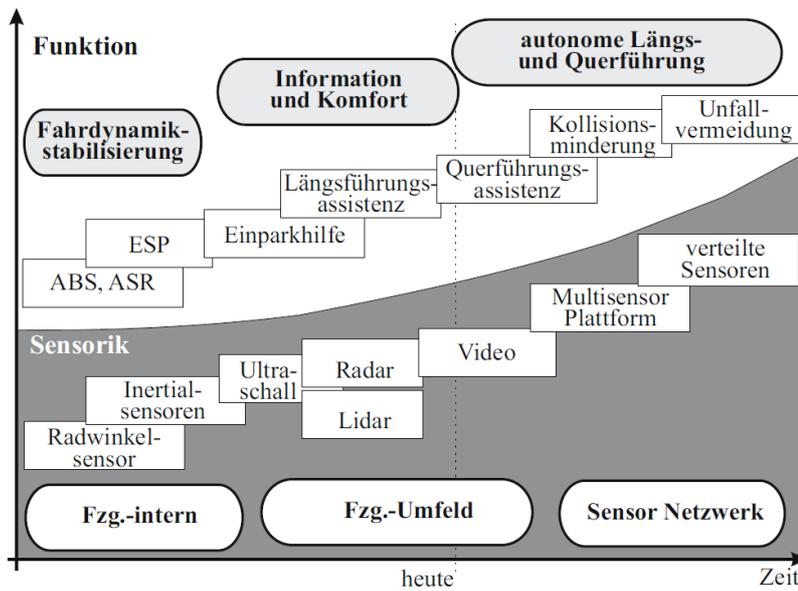


Abbildung 5: Roadmap für Fahrerassistenzsysteme und dafür verwendete Sensoren, Quelle: [27]

Spurassistenzsysteme verwenden ausschliesslich die Fahrbahnmarkierungen als Schnittstelle zur Infrastruktur, Navigationssysteme verwenden das öffentlich vorhandene Signal des Global Positioning Systems (GPS). Ergänzend wird bewusst damit gearbeitet, dass Systeme nicht jederzeit und unter allen Bedingungen sicher funktionieren müssen, da die letztliche Verantwortung dem Fahrzeugführer übertragen bleibt.

Die Weiterentwicklung der isolierten Systeme zu Systemen, die eine Interaktion zwischen unterschiedlichen Fahrzeugen oder zur Infrastruktur benötigen, kommt eher stockend voran (vgl. Abbildung 6). Hier stellt sich immer die Frage, wer diese Ausstattung bezahlt bzw. wie die Schnittstellen normiert werden können.

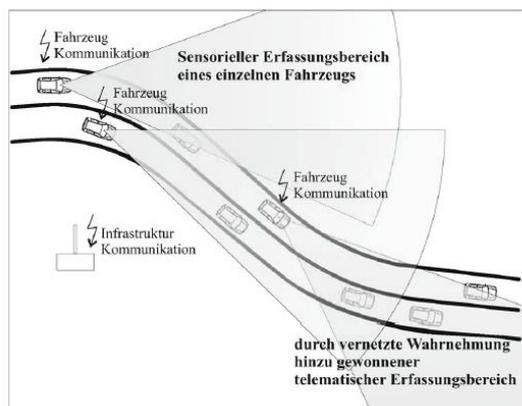


Abbildung 6: Vernetzte Umfeldwahrnehmung durch Datenaustausch mit festen Datenbanken oder anderen Fahrzeugen, Quelle: [27]

Damit lässt sich ableiten, dass unabhängig vom Verkehrsmittel, Systeme dann hohe Einführungshemmnisse haben, wenn diese mit einer Veränderung von Schnittstellen verbunden ist, die andere Systemteilnehmer wie Infrastrukturbetreiber oder andere Fahrzeuge zwingen, sich diesen veränderten Schnittstellen anzupassen.

Eine Analyse der Systeminnovationen in anderen Technologiefeldern zeigt, dass für einen Erfolg der Innovationen vor allem die Systemschnittstellen wichtig sind. Für den Erfolg eines Systems ist vor allem die Beibehaltung bestehender Schnittstellen wichtig. So sind Fahrerassistenzsysteme erst in dem Moment erfolgreich eingeführt worden, als diese optische Schnittstellen bzw. fahrzeugautonome Systeme wie Radar verwenden konnten. Damit war auf Seiten der Infrastruktur keine Anpassung erforderlich. Im Bereich des Strassenverkehrs kommt innovationserleichternd hinzu, dass die definitive Sicherheitsverantwortung beim Fahrer liegt. Ebenfalls leicht möglich ist eine Innovation dann, wenn die Schnittstellen von externen Stellen wie einer Regulierungsbehörde vorgegeben werden.

Für ein Scheitern einer Innovation sind folgende Faktoren zu identifizieren:

- Es müssen Infrastrukturanpassungen in grossem Umfang vorgenommen werden, bevor sichergestellt ist, dass Systeme nutzerseitig eine weite Verbreitung erfahren. Ein Beispiel ist hier das deutsche Forschungspaket Prometheus zu Fahrerassistenzsystemen, bei dem unter anderem sehr viele Baken etc. für die Ortung der Fahrzeuge erforderlich waren.
- Schnittstellen zwischen Wettbewerbern, zum Beispiel unterschiedlichen Fahrzeugherstellern müssen koordiniert werden. Die Wettbewerber müssen sich auf ein einheitliches System einigen.
- Systeme werden nicht den Einsatzszenarien entsprechend entwickelt und sind unter den geplanten Einsatzszenarien nicht kostengünstig zu betreiben.

### 3.5 Akteure im Innovationsprozess

Für die Position und die Haltung der einzelnen Akteure im Innovationsprozess muss zunächst seine Rolle im Gesamtsystem Bahn ermittelt werden. Dabei wird die Rolle als kleinste, im allgemeinen nicht mehr unterteilbare Funktion im System Bahn definiert. Das bedeutet, dass ein Akteur durchaus mehrere Rollen wahrnehmen kann, aber eine Rolle immer vollständig von einem Akteur ausgefüllt werden muss. Die Rolle im System Bahn lässt sich immer eindeutig einem der Bereiche Infrastruktur, Rollmaterial, Produktion, Angebot oder Umfeld zuordnen. Mit der Rolle im System Bahn sind auch immer klare Ziele und damit klare Optimierungsparameter für den Rolleninhaber verbunden. Wenn ein Akteur im System Bahn mehr als eine Rolle ausfüllt, entstehen somit interne Zielkonflikte, die in Zielsystemen mit mehr als einem und gegebenenfalls auch sich widersprechenden Optimierungsparametern verbunden sind.

Wichtige Rollen und die damit verbundenen Ziele im System Bahn sind:

#### Bereich Infrastruktur

**Infrastrukturbesteller:** Er bestellt und finanziert den Bau und den Betrieb von Infrastrukturanlagen. Er hat das Ziel, die (vorgegebene) Infrastrukturokapazität mit möglichst geringen Bau- und Betriebskosten bereitstellen zu lassen.

**Infrastrukturersteller:** Er baut die Infrastruktur. Er hat das Ziel, die Infrastruktur bei gegebenen Anforderungen möglichst kostengünstig zu erstellen.

**Infrastrukturbetreiber:** Er unterhält und betreibt die Infrastruktur. Er hat das Ziel, die Infrastruktur mit möglichst grosser Kapazität zu betreiben, um so möglichst hohe Trasseneinnahmen zu erzielen. Weiterhin hat er das Ziel die Infrastruktur mit möglichst geringen Kosten zu unterhalten.

#### Bereich Rollmaterial

**Wagenhalter:** Der Wagenhalter hat das Ziel Rollmaterial, das die gewünschten Transportbedürfnisse erfüllen kann mit, mit möglichst geringen Anschaffungs- und Unterhaltskosten zu betreiben.

**Triebfahrzeugeigner:** Der Triebfahrzeugeigner hat das Ziel, seine Triebfahrzeuge möglichst kostengünstig zu beschaffen und zu betreiben.

**Fahrzeugindustrie:** Die Fahrzeugindustrie hat das Interesse möglichst viele Fahrzeuge zu möglichst hohen Preisen zu verkaufen.

#### Bereich Produktion

**Ersteller von Transportleistungen:** Der Ersteller von Transportdienstleistungen möchte Transportdienstleistungen mit möglichst geringen eigenen Kosten erbringen. Damit verbunden sind niedrige Kosten für die Infrastrukturnutzung sowie für das Rollmaterial.

**Industrie im Bereich Produktion:** Hierunter fallen sämtliche Anbieter von produktionsrelevanten Systemkomponenten. Diese können zum Beispiel im Bereich von Dispositionssoftware oder von bestimmten Fahrzeugkomponenten tätig sein. Hier besteht ein Interesse möglichst viele Komponenten zu hohen Preisen zu verkaufen.

### Bereich Angebot

**Besteller:** Er bestellt Transportleistungen oder die Bereitstellung von Infrastrukturen, die als öffentliche Dienstleistung gewünscht werden, aber nicht eigenwirtschaftlich erbracht werden können. Primäres Ziel des Bestellers ist es, eine angestrebte Leistung zu möglichst geringen Kosten zu erhalten. Da Besteller zumeist Akteure aus dem politischen Bereich sind, haben diese ebenfalls ein Interesse ein Maximum an Verkehrsleistungen bei bestehender Infrastruktur zu erhalten

**Anbieter von Transportleistungen:** Die Anbieter von Transportleistungen haben ein Interesse ihre Transportleistungen zu einem möglichst geringen Preis und mit einer möglichst hohen Qualität zu erhalten. Ziel ist es mit dem Angebot die Erträge zu optimieren, sei es über zusätzliche Kunden oder durch eine höhere Zahlungsbereitschaft bei bereits vorhandenen Kunden.

### Bereich Umfeld

**Politik:** Die Politik verfolgt als primäres Ziel im Bereich der Bahn die Erbringung eines qualitativ hochwertigen Angebots mit möglichst geringem Bedarf an Besteller- und Abgeltungsleistungen. Weitere Ziele mit Bezug auf die Bahn sind aber unter anderem auch die Reduzierung der Lärm- und Schadstoffemission sowie des Energieverbrauchs, die Sicherung der Landeserschliessung sowie günstige Fahrpreise. Aufgrund der Vielfalt der politischen Landschaft ist hier eine abschliessende Auflistung der Ziele nicht möglich.

**Regulation:** Die Regulation setzt die rechtlichen Rahmenbedingungen im Rahmen des von der Politik vorgegebenen Handlungsrahmens. Primäre Ziele der Regulation sind derzeit ein sicherer Betrieb sowie die Sicherung der Interoperabilität und des fairen Wettbewerbs zwischen den einzelnen Verkehrsunternehmen. Weitere Ziele sind Massnahmen zur Verlagerung der Verkehre auf die Schiene.

**Kunden:** Diese sind die Leistungsbezieher sowohl im Personen- als auch im Güterverkehr. Beide Gruppen möchten ein gutes Verkehrs- oder Transportangebot zu geringen Preisen erhalten.

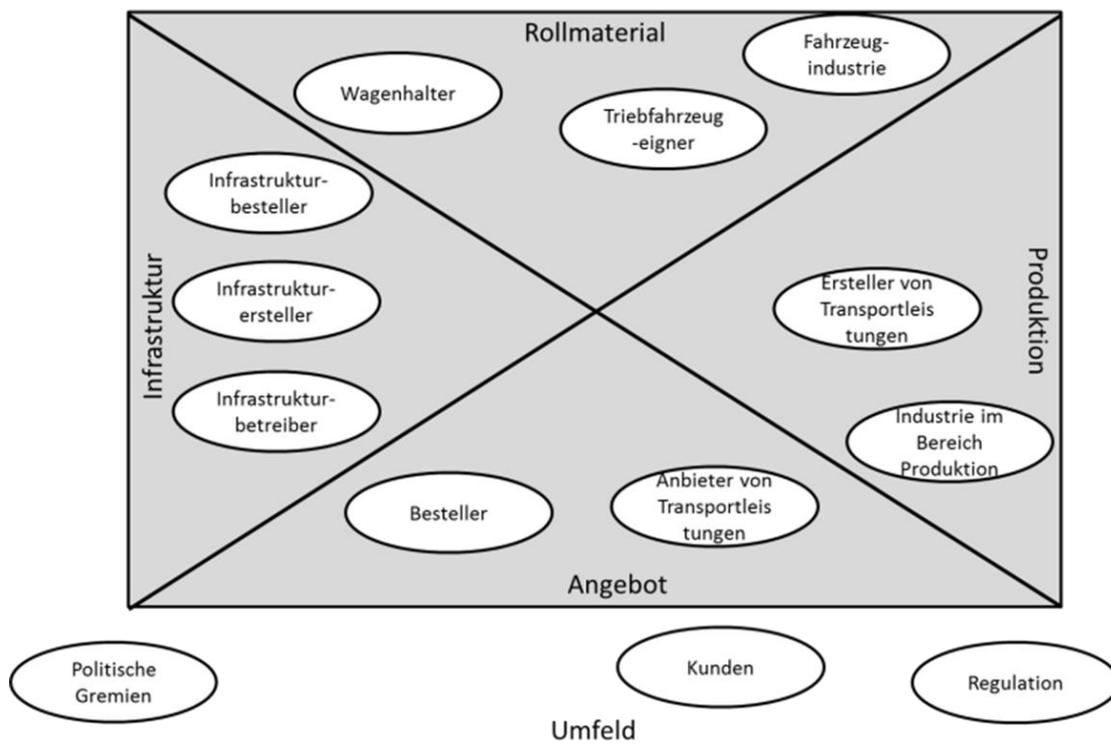


Abbildung 7: Rollen und Zielsysteme im System Bahn (eigene Darstellung)

Nun kann zur Verdeutlichung der Haltung im Innovationsprozess für jeden Akteur im System die Rolle bzw. die Rollen zugeordnet werden:

Tabelle 1: Rollen der Akteure im Innovationsprozess

Bereich	Infrastruktur			Rollmaterial			Produktion		Angebot		Umfeld		
	Infrastrukturbesteller	Infrastruktursteller	Infrastrukturbetreiber	Wagenhalter	Triebfahrzeugeigner	Fahrzeugindustrie	Ersteller von Transportleistungen	Industrie im Bereich Produktion	Besteller	Anbieter von Transportleistungen	Politische Gremien	Kunden	Regulation
SBB Infrastruktur		X	X										
SBB Regionalverkehr				X	X		X						
SBB Fernverkehr				X	X		X			X			
SBB Cargo				X	X		X			X			
Dritt-EVU (Güter)					X		X			X			
Dritt-EVU (PV)				(X)	(X)		X			(X)			
Andere Infrastrukturbetreiber		X	X										
Rollmaterialvermieter				(X)	(X)								
Versender/Empfänger im Güterverkehr				(X)					X				
BAV	X										(X)		X
Kantone	(X)								X		X		
Systemanbieter (Siemens, Bombardier,...)						X		X					
Triebfahrzeugherst. (Stadler,...)						X		(X)					

### 3.6 Zielsysteme der Systeminnovationen

Einzelinnovationen beziehen sich nur auf die einzelnen Elemente des Systems Bahn beziehen und führen damit nicht oder nur in geringem Umfang zu Wechselwirkungen zwischen den Systemelementen des Systems Bahn. Allenfalls sind begrenzte Wechselwirkungen zwischen Einzelinnovationen und dem auf diesem Einzelsystem basierenden Angebot zu erwarten. Als Beispiel seien hier Internetverbindungen im Zug genannt, bei denen ein Innovationsgewinn bereits durch die Installation des Systems in einem einzelnen Fahrzeug erzeugt werden kann. Damit ist das Ziel der Einzelinnovationen immer die Optimierung des einzelnen Akteurs.

Systeminnovationen berühren dagegen definitionsgemäss immer die Handlungssphäre von mindestens zwei Akteuren im System Bahn und damit auch die Schnittstellen zwischen diesen Akteuren. Für das Zielsystem von Systeminnovationen folgt daraus, dass eine Systeminnovation in der Regel das Gesamtsystem aller beteiligten Akteure optimieren muss. Dabei kann sich die Zielerreichung für einzelne Akteure durchaus verschlechtern. Dies erfordert in der Regel eine entsprechende Kompensation durch

die Akteure mit Innovationsgewinnen aus der Systeminnovation. In Ausnahmefällen kann sich auch im Rahmen einer Systeminnovation die Zielerreichung im Rahmen des Gesamtsystems verschlechtern, wenn der Systembeteiligte, bei dem Innovationsgewinne generiert werden können, das System so beherrscht, dass er die anderen Systembeteiligten zur Einführung der Innovation zwingen kann.

*Tabelle 2: Randbedingungen für die Umsetzung von Innovationen in Abhängigkeit der Effizienzwirkungen auf das Gesamtsystem und die beteiligten Akteure (beschränkt auf zwei Akteure)*

Effizienz des Gesamtsystems	Effizienz Akteur 1	Effizienz Akteur 2	Randbedingungen
steigt	steigt	steigt	Innovation ist Selbstläufer
steigt	steigt	konstant	Innovation ist einfach
steigt	steigt	sinkt	Kompensation erforderlich / Akteur 1 muss Umsetzungsmacht haben
konstant	steigt	sinkt	Kompensation erforderlich / Akteur 1 muss Umsetzungsmacht haben
sinkt	steigt	sinkt	Akteur 1 muss Umsetzung erzwingen können.

Hinsichtlich der den Akteuren zugrunde liegenden Zielsystemen als Summe der Ziele, in denen sie sich optimieren möchten, können aus der Literatur die bekannten übergeordneten Ziele für unternehmerische und für das Umfeld auch gesamtwirtschaftliche Tätigkeiten übernommen werden. Für Unternehmen gemäss Ihrer Definition als „rechtliche und wirtschaftliche Einheit verstanden, die sich mit der Absicht, Gewinne zu erzielen, am Markt betätigt und dabei für ihr Geschäftsfeld charakteristische Transformationsprozesse durchführt.“ [26] Dabei kommt das ökonomische Prinzip in Form des Maximal- bzw. Minimalprinzips zum Einsatz. Das heisst mit gegebenem Mitteleinsatz wird das grösstmögliche Ergebnis angestrebt bzw. ein gegebenes Ziel wird mit minimalem Mitteleinsatz erreicht, um im Endergebnis einen maximalen Gewinn zu erzielen.

Diese Gewinnmaximierung unterliegt allerdings Einschränkungen durch die soziale Verantwortung des Unternehmens. Hieraus lassen sich Sozialziele wie Arbeitssicherheit, Kündigungsschutz etc. ableiten. Ähnliches gilt auch für Umweltziele, die aus der Verantwortung für den Schutz der Umwelt abgeleitet werden.

Für Systeminnovationen im Eisenbahnbereich bedeutet dies, dass sie aus Sicht der am Markt tätigen Akteure ebenfalls primär der Steigerung des ökonomischen Unternehmensergebnisses dienen müssen. Allerdings können diese Innovationen zu einem gewissen Anteil auch Nebenziele im sozialen Bereich oder für die Umwelt erzielen. Sofern Innovationen allerdings diese Nebenziele als Hauptziel haben und darüber die ökonomische Wirkung der Innovation vernachlässigt wird oder aber der Nutzen der Innovation bei einem anderen Systemteilnehmer anfällt, sind diese Innovationen für Unternehmen nicht mehr umsetzbar. Solche Innovationen laufen den ökonomischen Interessen der beteiligten Unternehmen entgegen.

Für Innovationen, die bei einem einzelnen beteiligten Unternehmen zu einer verschlechterten Wirtschaftlichkeit führen, sind daher entsprechende Kompensationen erforderlich. Entweder durch den Systembeteiligten, welcher durch die Innovation einen Nutzen erzielen kann oder durch einen Besteller, der eine bestimmte Innovation aus Umweltgründen oder sozialen Gründen einführen möchte.

## 4 Entscheidungs- und Finanzierungsmodelle

### 4.1 Analyse bestehender Finanzflüsse

Grundlage für die Weiterentwicklung von Finanzierungsmodellen ist zunächst eine Analyse der Zahlungsflüsse im System Bahn:

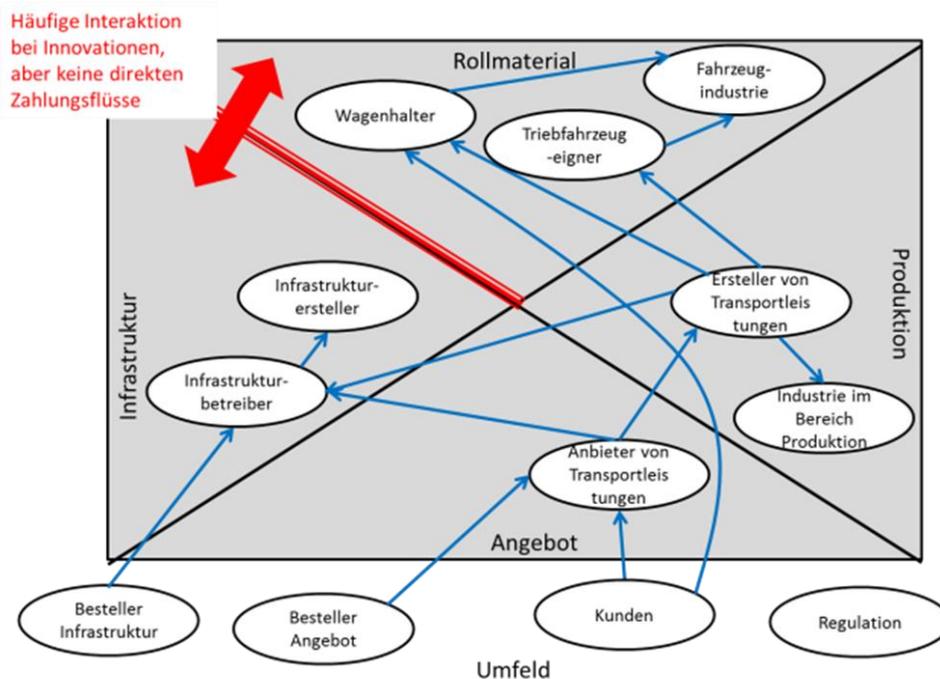


Abbildung 8: Zahlungsflüsse im System Bahn (eigene Darstellung)

Dabei zeigt sich, dass es enge Verflechtungen durch Zahlungsflüsse zwischen vielen Beteiligten im System Bahn gibt. Bei diesen bestehenden Zahlungsflüssen ist eine direkte und einfache Verrechnung von Innovationsgewinnen durch eine Anpassung dieser Zahlungsflüsse möglich. Dieser Verrechnungsoption steht auch nicht entgegen, dass bei Innovationen ein Zahlungsempfänger Effizienzgewinne aus der Innovation zieht, während der Zahlende Effizienzverluste erleidet. In diesem Fall muss der Zahlungsfluss zwischen den Systembeteiligten gekürzt werden.

Sofern allerdings kein direkter Zahlungsfluss vorhanden ist, gestaltet sich der Ausgleich der Innovationsgewinne deutlich schwieriger. In diesem Fall müssen die Zahlungsflüsse entweder im System eingeführt werden oder aber es müssen Kompensationen über mehr als eine Stufe erfolgen.

Die Einführung neuer Zahlungsflüsse verkompliziert das System deutlich, da eine Leistungsabrechnung zwischen Zahlungsempfänger und Zahlendem erfolgen muss. Als Grundlage dieser Leistungsabrechnung ist genau zu definieren, welche Innovationsgewinne und Innovationsverluste mit welchen Beträgen abzugelten sind. Die dazu erforderlichen Mengengerüste müssen zusätzlich erstellt und vom

jeweils anderen Partner geprüft werden. Hier besteht das Risiko eines zusätzlichen administrativen Aufwandes, der den Innovationsnutzen mehr als kompensiert.

Kompensationen über mehr als eine Stufe bergen immer das Risiko, dass die Zahlungen zumindest teilweise bei den Zwischenstationen verbleiben und damit entweder zu hohe Zahlungen geleistet werden müssen oder aber die Kompensation in nicht ausreichendem Umfang den Empfänger erreicht.

Hinsichtlich der Kompensationsstrukturen ist auffällig, dass gerade die Bereiche mit den voraussichtlich grössten Interdependenzen bei Innovationen, die Infrastruktur und das Rollmaterial, keine direkten Zahlungsflüsse aufweisen. Damit ergeben sich entsprechende Nachteile beim Nutzensausgleich von Innovationen in diesen beiden Bereichen und damit für einen nicht unerheblichen Teil der Innovationen.

## 4.2 Analyse bestehender Finanzierungsmodelle

Um Schlussfolgerungen aus bestehenden und aktuell konkret geplanten Finanzierungsmodellen für Innovationen ziehen zu können, werden diese nachfolgend beurteilt und es werden Schlussfolgerungen zu Optimierungspotenzialen bei zukünftigen Finanzierungsmodellen gezogen. Da die Untersuchung primär auf die Zahlungsflüsse während der Einführung und des Betriebs neuer Systeme abzielt, werden die klassischen Forschungs- und Entwicklungsförderinstrumente nicht berücksichtigt. Hierunter fallen unter anderem die Förderungen durch den Schweizer Nationalfonds (SNF), die Kommission Technologie und Innovation (KTI) oder auch die Europäischen Forschungsrahmenprogramme.

### 4.2.1 Lärmbonus

Zur Lärmreduktion im Schienengüterverkehr hat man sich bei neuen Wagen zu neuen lärmreduzierten Bremsbelägen (K-Sohle bzw. LL-Sohle) entschlossen. Aufgrund der Lebensdauer der Fahrzeuge von über 40 Jahren ist jedoch eine kurzfristige Modernisierung der Fahrzeuge durch die natürliche Fluktuation nicht zu erwarten [11]. Die Umrüstung bestehender Wagen lässt jedoch Kosten in Höhe von 4'500 bis 13'000 Euro pro Wagen erwarten, so dass insgesamt mehrere Milliarden Euro für eine kurzfristige Umrüstung der Fahrzeuge unter Einbezug des vorhandenen Rollmaterials erforderlich sind.

Für den Ausgleich dieser Aufwendungen, die primär beim Rollmaterialeigner anfallen, hat KCW eine Studie zum Vergleich unterschiedlicher Kompensationsmodelle erstellt [16] und insbesondere die mit diesem Modellen entstehenden Transaktionskosten ermittelt. Dabei wurden vier unterschiedliche Refinanzierungsmodelle betrachtet:

- Ein laufleistungsbasierter und nach Lärmmission differenzierter Bonus des Eisenbahninfrastrukturunternehmens an den Wagenhalter,
- Ein nach Lärmmission differenziertes Trassenpreissystem – mit Erfassung über bestehende Datensysteme,
- Ein nach Lärmmission differenziertes Trassenpreissystem – mit Erfassung über RFID und
- Eine direkte Subventionierung der Umstellung durch staatliche Stellen.

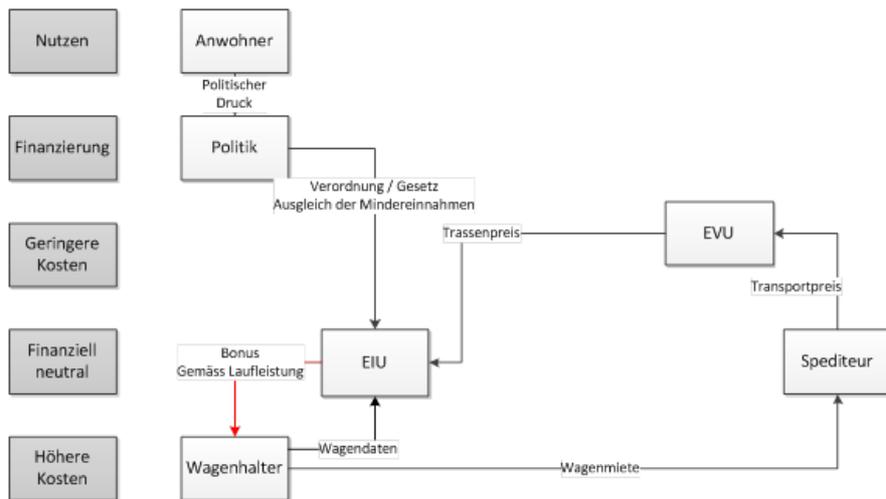


Abbildung 9: Beziehungen im System Bahn bei einem direkten Lärmbonus (eigene Darstellung)

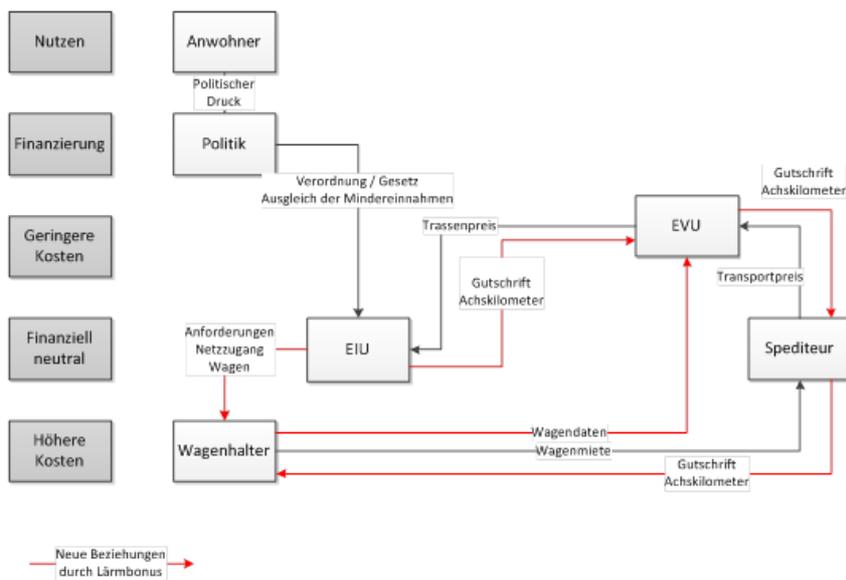


Abbildung 10: Beziehungen im System Bahn bei einer Kompensation über den Trassenpreis (eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Transaktionskosten zeigt sich, dass direkte Subventionierung und auch eine direkte Bonuszahlung des Infrastrukturbetreibers an die Wagenhalter eine sehr hohe Subventionseffizienz besitzen. Ein nach Lärmemission differenziertes Trassenpreissystem funktioniert im Gegensatz zu diesen direkten Zahlungsmodellen nur über den Umweg der Eisenbahnverkehrsunternehmen. Hier werden erhebliche Ineffizienzen durch komplizierte Zahlungsflüsse und neue Beziehungen im System (vgl. Abbildung 9 und Abbildung 10) erzeugt – die Transaktionskosten für dieses Kompensationsmodell liegen in der Grössenordnung der gesamten Kompensationsleistung (vgl. Abbildung 11).

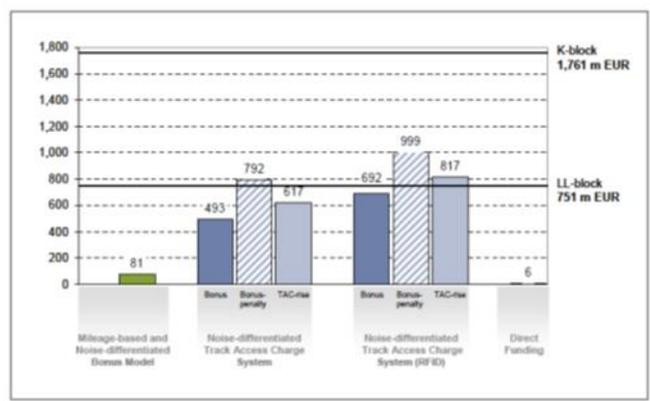


Abbildung 11: Transaktionskosten für verschiedene Kompensationsmodelle für die lärmarme Umrüstung von Güterwagen (Quelle: [16])

Hinsichtlich zukünftiger Kompensationsmodelle lassen sich folgende Erfordernisse als Randbedingung ableiten:

- Die Transaktionskosten müssen im Vergleich zur transferierten Summe klein sein.
- Zahlungsflüsse über viele Beteiligte erhöhen die Transaktionskosten und bergen das Risiko, dass Gelder im System versickern.
- Zahlungsflüsse und Ausgleichsmechanismen müssen direkt wirken.

#### 4.2.2 Sendungssubventionen im Kombinierten Verkehr

Gemäss der schweizerischen Verordnung über die Förderung des Bahngüterverkehrs (BGFV) mit Stand 2013 erhalten Strassentransporteure im Vor- und Nachlauf zu Transporten des Kombinierten Verkehrs eine (Teil-) Erstattung der leistungsabhängigen Schwerverkehrsabgabe. Die Erstattung ist nur an die Behältergrösse gekoppelt und betrug in 2013 24 CHF für kleine Wechselaufbauten und 20<sup>''</sup>-Container und 37 CHF für 40<sup>''</sup>-Container und grosse Wechselaufbauten.

Die ursprüngliche Intention dieser im Jahr 2001 eingeführten fixen Erstattung war das Anfahren des dem Zielort nächsten Terminals mit der Bahn und damit ein möglichst kurzer Strassenvor- und Strassennachlauf [12]. Im Jahr 2004 erfolgte eine Deckelung der LSVA-Rückerstattung auf die maximal geleisteten Abgaben, um eine Bevorzugung der im Nahbereich von KV-Terminals eingesetzten Fahrzeuge gegenüber anderen Transporteuren zu vermeiden.

Tabelle 3: Fallbeispiel für die Überkompensation der LSVA und den hierdurch erforderlichen Einsatz des Fahrzeugs im reinen Strassentransport (Darstellung IVT)

Behälter		2*20 Fuss	1*40 Fuss
Fahrtstrecke im KV-Vor-/Nachlauf	Km	20	20
LSVA-Satz	CHF/tkm	0.0205	0.0205
LSVA-Satz für das Fahrzeug (bei 40t zul. Gesamtgewicht)	CHF/km	0.81	0.81
LSVA (bei 2 * 20 km Fahrtstrecke)	CHF/Fahrt	32.40	32.40
LSVA-Erstattung	CHF/Fahrt	48.00	37.00
Überkompensation	CHF/Fahrt	15.60	4.60
Fahrten / Tag		4	4
KV-Fahrttage / Jahr		150	150
LSVA-Guthaben	CHF/Jahr	9360	690
<b>Erforderliche Kilometer im reinen Strassentransport</b>	<b>Km/Jahr</b>	<b>11512</b>	<b>851</b>

Diese Deckelung führt nun dazu, dass mit den im KV-Vor- und Nachlauf eingesetzten Fahrzeugen entsprechend LSVA produziert werden muss, so dass diese die durch die KV-bezogene LSVA-Erstattung übersteigt. Damit werden Fahrzeuge im KV-Vor- und Nachlauf eingesetzte Fahrzeuge bewusst auch für reine Strassentransporte eingesetzt, um dort entsprechende LSVA zu produzieren. Dabei können, wie das Fallbeispiel in Tabelle 3 zeigt, durchaus fünfstellige Kilometerzahlen im reinen Strassentransport erforderlich werden. Hierfür wird das Fahrzeug mit Vorteil auf Langstreckentransporten eingesetzt. Diese Langstreckentransporte laufen dem eigentlichen Zweck der Subventionierung entgegen, gerade Langstreckenverkehre auf die Schiene zu verlagern.

Hinsichtlich der Kompensationsmodelle ist hieraus anzuleiten, dass das Kompensationsmodell nicht zu eigentlich unerwünschtem Verhalten der Marktteilnehmer führen darf.

### 4.2.3 City-Maut

Die Analyse der Verkehrsmengen im Zuge Einführung einer City-Maut in London zeigt bei den Güterfahrzeugen im Vergleich der Jahre 2002 vor der Einführung mit dem Jahr 2003 nach der Einführung eine Verringerung der ein- und ausfahrenden Liefer- und Lastwagen von 12 %. Hiermit zeigte sich bei den Liefer- und Lastwagen im Vergleich zu den privaten Kraftfahrzeugen mit einem Rückgang von 33 % eine deutlich geringere Wirkung [22]. Noch deutlicher ist die Differenz, wenn man die Fahrleistungen im Mautgebiet betrachtet. Diese sind bei Lieferwagen und Lastwagen nur um 5% bzw. 7 % zurückgegangen, während bei den Personenwagen ein Rückgang um 34 % stattfand [21]. Da die Mautgebühr pro betroffenem Fahrzeug und Tag erhoben wird, deuten diese Zahlen statt auf einen Verlagerungseffekt eher auf die Änderung der Fahrzeugeinsätze hin. Die Verlagerer werden daher darauf achten, dass Fahrzeugeinsätze so geplant werden, dass ein Fahrzeug möglichst optimal im Mautgebiet eingesetzt wird und daher, wenn es einmal das Mautgebiet befahren hat, nur Touren im Mautgebiet absolviert. Fahrzeuge mit Funktionen ausserhalb des Mautgebietes werden auch nur ausserhalb des

Mautgebietes eingesetzt. Insofern wird der gewünschte Effekt einer Reduktion der Fahrleistungen nur in geringem Umfang erreicht.

Gleichzeitig ist zunächst zu erwarten, dass sich die Kosten für Gütertransporte in den betroffenen Bereichen erhöhen werden, da die Gebühr für das Einfahren in den bemauteuten Bereich als zusätzliche Kosten betrachtet werden. Hier zeigt sich jedoch, dass die Mautgebühr im Fallbeispiel bis zu einer Höhe von 15 GBP durch die Effizienzgewinne durch die Fahrzeitverringerung infolge der geringeren Strassenbelastung kompensiert werden kann [1]. Insofern hat die Mautgebühr eine tendenziell positive Wirkung auf die Kosten für Gütertransporte.

Hier zeigt sich, dass vordergründige Mehrkosten im System durch externe Effekte, die zunächst nicht berücksichtigt werden, kompensiert werden können – und nicht immer eine Kompensation erforderlich ist, wenn alle Effekte einer Massnahme einbezogen werden können.

### 4.3 Charakteristische Verläufe von Kosten und Erträgen bei Innovationen

Um geeignete Finanzierungsmodelle vor allem in der Einführungsphase von Innovation zu ermitteln, ist eine Betrachtung der den einzelnen Innovationen zugrunde liegenden Kosten- und Ertragsverläufen erforderlich. Diese werden nachfolgen in Abhängigkeit von der Innovationsart und der Kostenwirkung analysiert.

#### 4.3.1 Kostenverläufe

Bei der Ermittlung der Kostenverläufe sind zunächst, unabhängig von der Typisierung der weiteren Kostenverlaufskurven, Initialkosten für die Entwicklung der Innovation, für die Vorbereitung der Einführung, für die Schulung der Mitarbeiter etc. vorzusehen, die bereits vor der Inbetriebnahme des ersten Gerätes anfallen.

Hinsichtlich der weiteren Kostenverläufe sind drei Fälle zu unterscheiden:

- **Lineare Kostenverläufe:** Hier sind die Stückkosten pro eingebautem Teil konstant. Derartige Kostenverlaufskurven entstehen beispielsweise bei gleichartigem Einbau von Massenbauteilen aus anderen Technikbereichen in Eisenbahnumgebungen. Hier sind aufgrund der im Vergleich zum Gesamtmarkt geringen zusätzlichen absetzbaren Stückzahl keine weiteren Economies-of-scale zu erwarten. Jedes verbaute Stück hat bei gleichen Einbaubedingungen die gleichen Einbaukosten. Ein Beispiel für eine solche Kostenverlaufskurve ist der Einsatz von Kommunikationskomponenten im Zug (Repeater für Mobilfunk).
- **Degressive Kostenverläufe:** Hier nehmen die Kosten pro eingebautem Teil mit zunehmender Teileanzahl ab. Derartige Kostenverlaufskurven sind vor allem bei Innovationen zu erwarten, die speziell für den Eisenbahnbereich weiterentwickelt worden sind und zunächst in Testanwendungen oder als Prototypen erprobt werden. Anschliessend werden die Systeme weiterentwickelt und dann als optimiertes Produkt in grossen Mengen eingebaut. Eine andere Möglichkeit ist die Einführung nur begrenzt mit der alten Technik kompatibler Systeme, die zu-

nächst infolge der Inkompatibilität Mehrkosten verursacht. Je mehr Systeme eingeführt worden sind, desto wahrscheinlicher ist, dass nur noch die neue Technik in artreiner Form in einem Zug vorkommt und damit keine Mehrkosten für zusätzliche Kompatibilitätsanpassungen erforderlich sind. Ein Beispiel hierfür ist die automatische Kupplung.

- **Progressive Kostenverläufe:** Hier nehmen die Kosten pro eingebautem Teil mit zunehmender Zahl eingebauter Teile zu. Diese Kostenverlaufskurve tritt vor allem bei Systemen auf, bei denen zunächst die günstigen Fälle abgedeckt werden können und Fälle mit komplizierten Einbaubedingungen erst gegen Ende umgerüstet werden müssen. Derartige Verlaufskurven können beispielsweise bei der Einführung neuer Komponenten der Sicherungstechnik auftreten, wenn zunächst die leicht umzurüstenden Stellwerke in einfachen Bahnhöfen angepasst werden und komplizierte Fälle erst am Ende umgerüstet werden.

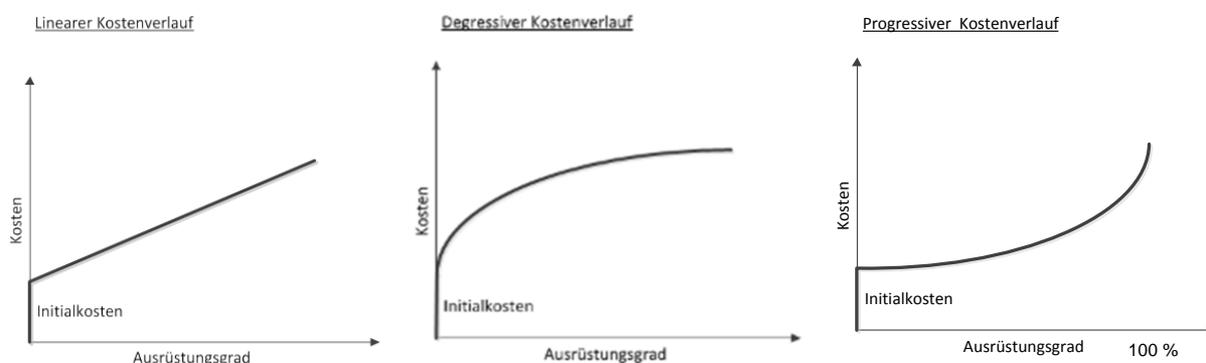


Abbildung 12: Charakteristische Kosten-Kurven (eigene Darstellung)

#### 4.3.2 Ertragsverläufe

Bei den Ertrags- oder Nutzenverläufen einer Innovation lassen sich analog zu den Kostenverläufen bestimmte charakteristische Kurven ableiten:

- **Lineare Nutzenerfassung:** Hier generiert jedes Ausrüstungselement denselben Nutzen. Derartige Nutzenverläufe sind beispielsweise bei der Einführung von gleichartigen Zusatzausstattungen in Fahrzeugen mit gleicher Kundenfrequenz und Ausstattung zu finden. So generiert die Einführung von Bildschirmen zur Information der Reisenden über Anschlüsse immer denselben Nutzen.
- **Zunehmender Grenznutzen<sup>1</sup>:** Hier nimmt der Nutzen eines Systems mit zunehmender Ausrüstungsquote zu. Hierunter fallen unter anderem Systeme, bei denen einzelne mit den Systemen ausgestattete Wagen mit anderen Wagen interagieren müssen, um einen Nutzen zu gene-

<sup>1</sup> Ein zunehmender Grenznutzen ist bei den traditionellen ökonomischen Theorien nicht vorgesehen, da man davon ausgeht, dass ab einem gewissen Punkt alle Produktionszweige einen abnehmenden Grenznutzen besitzen. Dennoch besitzt eine zunehmende Zahl von Informationsprodukten einen zunehmenden Grenznutzen. Auch für die Eisenbahn, Gasnetze oder ähnliche Netzwerkindustrien kann aufgrund der Economies-of-scale ein positiver Grenznutzen angenommen werden. [15]

rieren. Dabei kann als Sonderfall auftreten, dass ein bestimmter Mindestausrüstungsgrad erforderlich ist, um überhaupt einen Nutzen zu generieren. Ein Beispiel für eine derartige Nutzenverlaufskurve ist der Einsatz der Intra-Zugkommunikation, die erst bei Ausstattung eines grossen Teiles der Wagen eines Zuges einen Nutzen generiert.

- **Abnehmender Grenznutzen:** Hier nimmt der Grenznutzen mit zunehmender Zahl eingebauter Systeme ab. Ein Beispiel ist die adaptive Zuglenkung, die auf hochbelasteten Strecken einen deutlichen Kapazitätsgewinn bietet, aber auf Nebenstrecken nur einen geringen Nutzen aufweist.

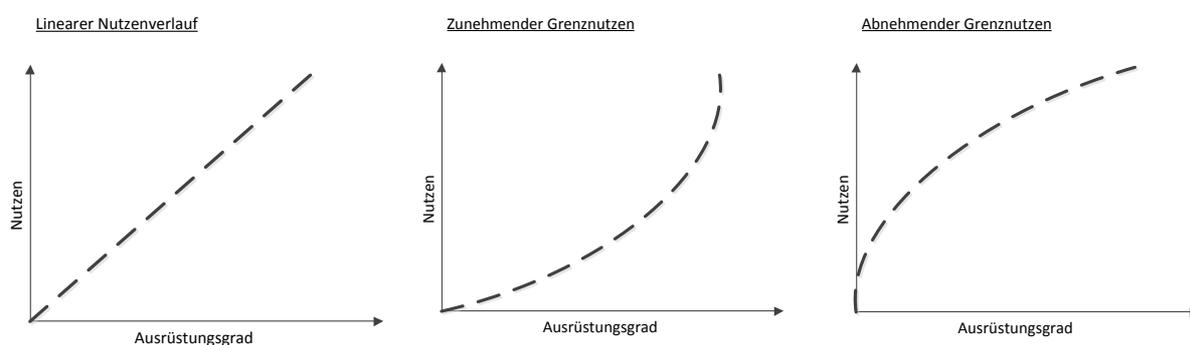


Abbildung 13: Charakteristische Nutzen-Kurven (eigene Darstellung)

### 4.3.3 Finanzierungsbedarfe

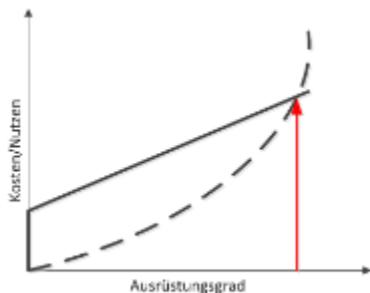
Die Finanzierungsbedarfe für Innovationen ergeben sich dann aus der Differenz zwischen den Kosten und dem Nutzen der ausgerüsteten Systeme. Wobei zwischen dem Finanzierungsbedarf in der Migrationsphase und einem dauerhaften Kompensationsbedarf im Betrieb zu unterscheiden ist.

- Der Finanzierungsbedarf in der Migrationsphase betrifft das System Bahn als Ganzes, welches in der Migrationsphase ineffizienter wird. Hier findet in der Summe aller Systembeteiligter eine Desoptimierung statt.
- Ein dauerhafter Kompensationsbedarf bezieht sich auf Zahlungsflüsse zwischen den Systembeteiligten zum Ausgleich dauerhafter Kosten-Nutzen-Ungleichgewichte innerhalb des Systems Bahn. Eine externe Finanzierung ist nicht erforderlich, da für das gesamte System Bahn ein Nutzen vorhanden ist.

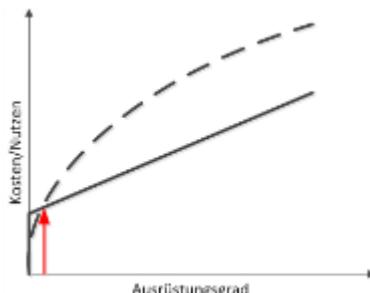
Hier betrachtet wird zunächst der Migrationsfall, in dem die Initialkosten der Innovation abzudecken sind. Diese Initialkosten sind die Differenz zwischen Kosten und Nutzen der Innovation in einer Migrationsphase. Als Grundsatz gilt dabei, dass spätestens mit Abschluss der Migrationsphase im laufenden Betrieb der Break-even erreicht werden muss. Damit können alle Fälle ausgeschlossen werden, in denen die Kosten eines Systems dauerhaft höher sind als seine Nutzen.

Die Überlagerung der Kosten-Ausstattungsgrad-Kurven mit den Nutzen-Ausstattungsgrad-Kurven zeigt dabei, dass die Frage, ob der Break-even bei einer geringen oder einer hohen Ausstattungsquote erreicht wird, primär vom Verlauf der Kostenkurve definiert wird. Damit erreichen Systeme mit abnehmenden Grenznutzen im Allgemeinen bei geringeren Ausstattungsgraden den Break-even als Systeme mit progressivem Grenznutzen.

Zunehmender Grenznutzen führt zu spätem Break-even



Abnehmender Grenznutzen führt zu frühem Break-even



Konstanter Grenznutzen führt zu Break-even bei mittleren Auslastungsgraden

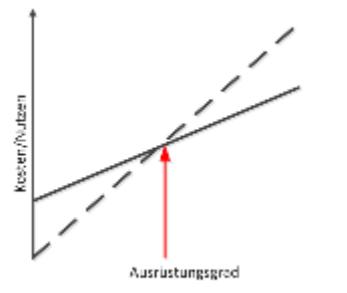


Abbildung 14: Charakteristische Break-even-Punkte (eigene Darstellung)

Ein Sonderfall kann auftreten, wenn einem abnehmenden Grenznutzen progressiv zunehmende Grenzkosten gegenüber stehen. Hier kann sich ein Ausstattungsbereich ergeben, in dem das System einen positiven Gesamtnutzen besitzt. Oberhalb und unterhalb dieser Wirtschaftlichkeitslinse wird aber keine Wirtschaftlichkeit erreicht.

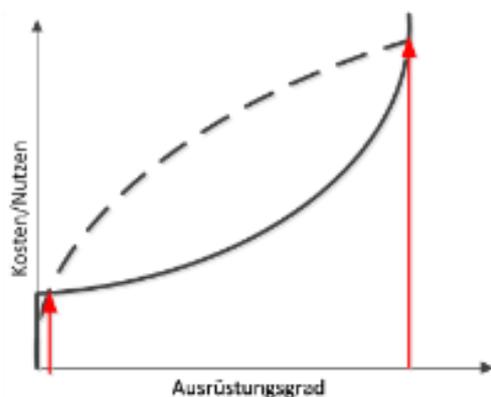


Abbildung 15: Kombination von abnehmendem Grenznutzen und progressivem Kostenverlauf führen zu einer Wirtschaftlichkeitslinse (eigene Darstellung)

## 4.4 Finanzierungsmodelle

Aus der Betrachtung der Kompensationsmodelle in anderen Bereichen sowie der Analyse der Zahlungsflüsse im System Bahn in den Fallbeispielen lassen sich folgende grundsätzliche Finanzierungsmodelle für Innovationen ableiten:

- **Veränderung bestehender Zahlungsflüsse:** Es werden bestehende Zahlungsbeziehungen der Höhe nach angepasst, um Kosten und Nutzen der Innovationen neu zu verteilen.

- **Direkte Kompensation:** Es werden neue Zahlungsbeziehungen zwischen den einzelnen Innovationsbeteiligten eingeführt, um die Kosten und Nutzen direkt auszugleichen.
- **Vorfinanzierung durch den Profiteur:** Der Profiteur der Innovation übernimmt die Vorfinanzierung und die Betriebskosten und refinanziert sich durch den eigenen Innovationsnutzen.
- **Regulatorischer Zwang:** Die Innovation wird durch Veränderung der regulatorischen Vorgaben zwingend vorgeschrieben.
- **Innovationsfonds:** Es wird ein Innovationsfonds aufgelegt, in dem alle Systembeteiligten Einzahlungen leisten und aus dem Innovationen finanziert werden.

Für die Fallbeispiele werden nachfolgend die erforderlichen Finanzierungsflüsse ermittelt und die potenziell möglichen Kompensationsmodelle diskutiert.

## 5 Validierung der Entscheidungs- und Finanzierungskonzepte

### 5.1 Systematisierung der Ausgleichssysteme

Zur Ableitung der potenziellen Finanzierungssysteme ist eine Systematisierung der Finanzflüsse erforderlich. Für die abgeleiteten generischen Finanzierungssysteme können dann aus den Fallbeispielen Vorschläge für geeignete Finanzierungsmodelle abgeleitet werden. Dabei sind die wesentlichen Kriterien für die Systematisierung:

- Die Anzahl der Beteiligten im Ausgleichssystem
- Die Anzahl der Stufen über welche die Finanzflüsse geleitet werden müssen

#### 5.1.1 Anzahl der Beteiligten

Hinsichtlich der Anzahl der Beteiligten ist sowohl auf der Geber als auch auf der Empfängerseite zu unterscheiden, ob es zwei oder mehrere Akteure gibt. Sofern auf der Geber- und Empfängerseite nur jeweils ein Akteur (also insgesamt zwei Akteure) vorhanden ist, ist eine Aufteilung des Finanzierungsbeitrages bzw. des zugewiesenen Förderung nach der individuellen Kosten- und Nutzenkomponente nicht erforderlich. Sobald mehrere Akteure involviert sind, muss neben der Höhe des Ausgleichs auch die Aufteilung des Ausgleichs auf die einzelnen Akteure definiert werden. Dieses verkompliziert einen Ausgleichsmechanismus zusätzlich und erschwert die Definition einer geeigneten Lösung.

#### 5.1.2 Stufen der Finanzflüsse

Hinsichtlich der Stufen der Finanzflüsse ist zu unterscheiden zwischen Ausgleichssystemen, die zwischen Akteuren eingerichtet werden, welche bereits direkte Finanzflüsse untereinander haben. In diesen Fällen kann tendenziell einfach der bereits bestehende Finanzfluss den neuen Gegebenheiten angepasst werden. Bei mehrstufigen Verbindungen ist immer das Risiko vorhanden, dass auch an der eigentlichen Innovation nicht beteiligte Akteure durch die zusätzlichen Finanzflüsse profitieren. In diesen Fällen ist zu prüfen, ob nicht die Einrichtung neuer Finanzflüsse, die einen direkten Ausgleich zwischen den Beteiligten ermöglichen, eine bessere Lösung sind.

## 5.2 Fallstudie 1: Energiespeicher auf Triebfahrzeugen

### 5.2.1 Generelle Aspekte der Bahnenergieversorgung

Sinn und Zweck der Bahnenergieversorgung (BEV) – unabhängig von der konkreten Ausführungsvariante – ist die Bereitstellung der für die Verkehrsaufgabe erforderlichen Traktionsenergie. Ein Großteil der leistungsfähigen Bahnen verfügt über eine elektrische Bahnenergieversorgung. Als sinnvolle Systemgrenze dieser Ausführungen wird jeweils das Landesnetz der allgemeinen Energieversorgung gewählt. Aus technischen und auch teilweise aus rein historischen Gründen sind folgende Stromsysteme üblich [4]:

- AC 25 kV / 50 Hz (z. B. Nordfrankreich, Ungarn)
- AC 15 kV / 16.7 Hz (z. B. Schweiz, Deutschland)
- DC 3.0 kV (z. B. Bestandsnetz Italien)
- DC 1.5 kV / 0.75 kV (z. B. städtischer Nahverkehr, Vorortsbahnen)

(AC: Alternating Current – Wechselstrom / DC Direct Current – Gleichstrom)

Insbesondere in der Schweiz existieren zahlreiche technische Exoten, die nur grob in dieses Raster passen (z. B. RhB mit AC 12 kV / 16.7 Hz oder Meterspurbahnen mit DC 1.2 kV). Im Gegensatz zur allgemeinen Energieversorgung weist die Bahnenergieversorgung die Besonderheit auf, dass die Last in Form der Triebfahrzeuge ortsveränderlich und zeitlich stark schwankend ausfällt. Dies begründet abweichende Auslegungsparameter gegenüber stationären elektrotechnischen Anwendungen.

Grundsätzlich stellt sich für die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) die Frage, ob sie eine zentrale BEV mit eigenem Verteilnetz zwischen Landes- und Bahnnetz aufbauen oder eine dezentrale BEV implementieren. Auf Grund der Sonderfrequenz der (meisten) schweizerischen Regelspurbahnen besteht eine zentrale BEV, welche den Ausgleich von Lastspitzen innerhalb des Netzes ein Stück weit leisten kann.

Schwächer belastete Bahnnetze sind in aller Regel nicht elektrifiziert. Dort dient vor allem Diesel als chemische Energiequelle. Der Vorteil der Unabhängigkeit vom Elektronetz wird durch den Nachteil der schwereren Traktionsausrüstung zumindest teilweise aufgewogen. Des Weiteren ist ein Netz an Tankstellen über das Netz verteilt anzulegen. Aus Überlegungen allfälliger Lückenschlüsse heraus ist es durchaus realistisch, auch an schwächer belastete Bahnnetze zu elektrifizieren und damit betriebliche Flexibilität zu gewinnen.

## 5.2.2 Idee der Speicherung

Wie bereits ausgeführt wurde, schwankt die Last im elektrischen BEV-Netz räumlich und zeitlich. Konkret werden bei konventionellen Anwendungen die maximalen Leistungen nur beim Anfahren benötigt, das BEV-System ist aber darauf zu dimensionieren. Etwas anders verhält sich dies im Hochgeschwindigkeitsverkehr, wo quasi während des gesamten Fahrzyklus (ohne Bremsen) hohe bis sehr hohe Leistungen bezogen werden. Für die konventionelle Anwendung dominieren über die Zeit somit mittlere bis geringe Traktionsleistungen. Exakt dieser Umstand bietet die Grundlage für Überlegungen bezüglich einer Energiespeicherung.

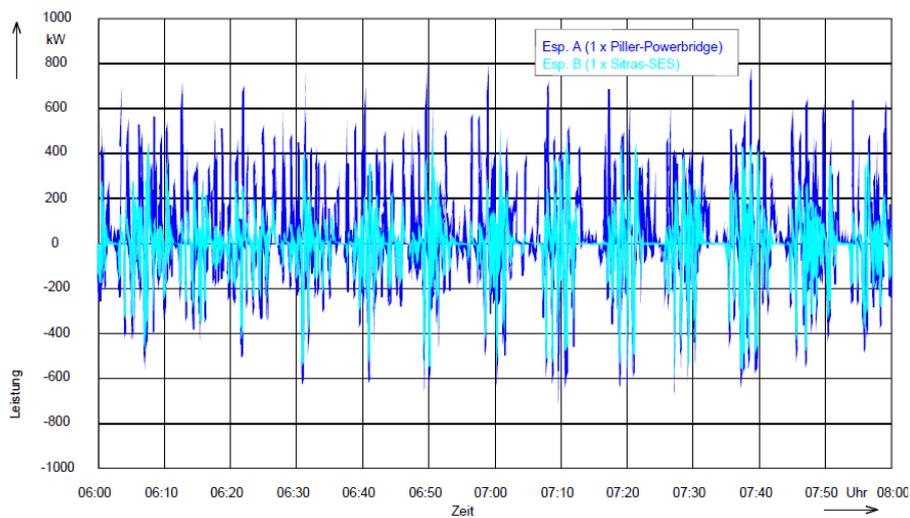


Abbildung 16: Typischer Lastgang einer DC-Stadtbahnanwendung mit Taktverkehr [23]

Eine schweizerische Besonderheit besteht im landesweiten Integralen Takfahrplan (ITF), welcher darauf ausgelegt ist, in allen wichtigen Knoten halbstündlich Verbindungen in alle Richtungen anzubieten. Dieses System ist für die Fahrgäste sehr komfortabel, begründet aber einen verglichen mit anderen Bahnproduktionsweisen höheren Ressourceneinsatz an Infrastruktur in den Bahnhöfen. Dazu gehört auch die Energie: Gleichzeitig fahren mehrere Züge ein und aus. Eine Kompensation über die zentrale BEV scheidet weitestgehend aus, da sich die Voll- und Halbknoten schweizweit wiederfinden und somit schweizweit entweder Bremsenergie frei oder Traktionsenergie benötigt wird. Güterverkehr oder S-Bahn-Verkehr glätten diese Spitzen bisher nur unzureichend. Vorbehaltlich des weiteren BEV-Ausbaus kommen bei gegebenem Produktionsverfahren Varianten der Energiespeicherung in Betracht.

Aus beiden Überlegungen heraus – mittlere Traktionsleistung und Bahnproduktionsprinzipien – stellt sich somit die Frage nach den Möglichkeiten eines Speichereinsatzes. Dabei existieren drei mögliche Zielsetzungen:

- Reduktion des Energiebedarfs durch Rekuperation von Bremsenergie
- Reduktion der installierten Leistung durch Glättung der Leistungsspitzen
- Verzicht auf Elektrifizierung

Im Fall der SBB steht vor allem eine mögliche Leistungsglättung im Mittelpunkt. Dies resultiert aus der oben beschriebenen Art der Bahnproduktion. Die Speicherung elektrischer Energie in grösseren Mengen bzw. mit steilerem Leistungsgradienten ist beim heutigen Stand der Technik noch immer nicht trivial. Grundsätzlich lässt sich elektrische Energie allerdings in den folgenden Formen technisch speichern [38]:

- mechanische Energie (Schwungmassenspeicher)
- chemische Energie (Akkumulator [„Batterie“])

- elektrisches Feld (Kondensator, Supercap)
- magnetisches Feld (Supraleitung)

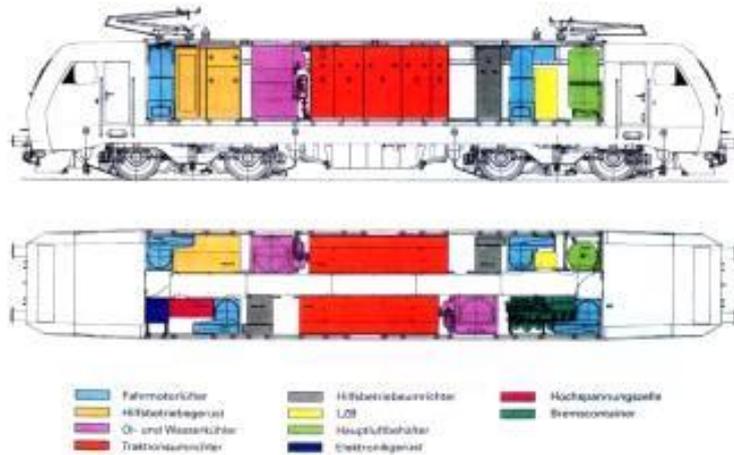


Abbildung 17: Stationärer Schwungmassenspeicher einer Stadtbahnanwendung (Foto: Schranil)

Abbildung 18: Platzverhältnisse im Maschinenraum einer europäischen Vollbahnlokomotive (Grafik: Bombardier Transportation)

Im Kontext von Leistungsglättung bzw. Energieeinsparung sind dabei jeweils die stationäre Anwendung neben der Strecke und die mobile Anwendung auf dem Triebfahrzeug eine zumindest theoretische Option.

### 5.2.3 Technische Realisierung

Es wurde bereits angesprochen, dass sowohl eine streckenseitige als auch eine fahrzeugseitige Implementierung eines Energiespeichers denkbar ist.

Tabelle 4: Generelle Stärken und Schwächen der Speicherapplikationen (Darstellung IVT)

Speicherapplikation	Fahrzeugseitig	Streckenseitig
Vorteile	- geringe Übertragungsverluste - vorhandener DC-Zwischenkreis	- quasi freier Bauraum
Nachteile	- Limite an Masse/Einbauraum	- höhere Leitungsverluste - kein serienmässiger DC-Kreis

Eine streckenseitige Speicherapplikation bedeutet die Übertragung der Rekuperationsleistung zum und vom Speicher, was wiederum mit längenabhängigen Übertragungsverlusten einher geht. Jedoch spielt der Einbauraum eine geringere Rolle. Die Fahrzeuganwendung erfordert demgegenüber das Unterbringen des Energiespeichers, wobei die Übertragungsverluste dank kürzerer Distanzen kleiner ausfallen. Beim Einsatz von mechanischer Energie (siehe „Idee der Speicherung“) steht eher der stationäre Anwendungsfall im Fokus, da die fahrzeugseitige Anwendung aus Sicherheitsgründen gegenüber der rotierenden Masse äusserst kritisch ist. Hingegen ist die Supraleitung beim heutigen Stand der Technik noch nicht kommerziell im Vollbahnbereich einsetzbar. Im Feld der Akkumulatoren gibt es vielversprechende Ansätze, die sich vor allem für die Fahrzeugintegration eignen. Gleiches gilt für Applika-

tionen aus dem Bereich des elektrischen Feldes (z. B. Supercaps), wobei es hier auch streckenseitige Anwendungen im Stadtbahnbereich gibt.

Erschwerend kommt hinzu, dass sich elektrische Energie nicht in Form von Wechselstrom speichern lässt. Bei abgestimmter Kapazität ist ein Kondensator für die Wechselstromanwendung sogar „unsichtbar“, was seit Jahrzehnten für die kapazitiv-induktive Konfiguration von Schwingkreisen genutzt wird. Damit bleibt der Gleichstrom als Ausweg. Dieser ist auf modernen Triebfahrzeugen in Form des Zwischenkreises zwischen Netz- und Motorstromrichter vorhanden. Somit sind zumindest alle elektrischen Umrichterfahrzeuge (Drehstromfahrzeuge), was quasi alle modernen Triebfahrzeuge umfasst, für eine Speicheranwendung prinzipiell geeignet. Dies impliziert allerdings die fahrzeugseitige Anwendung von Energiespeichern.

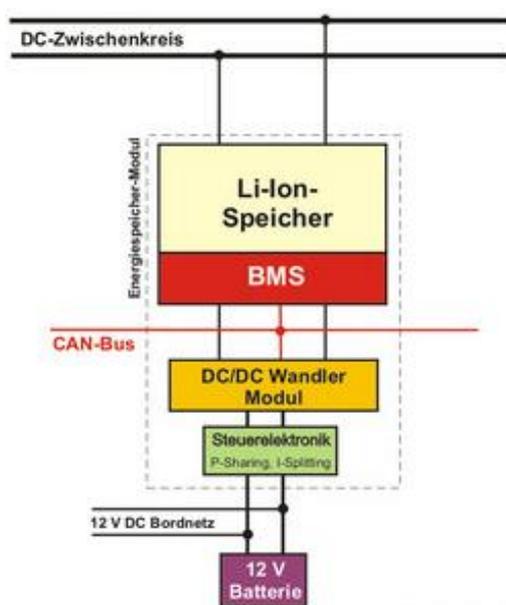


Abbildung 19: Speicherintegration in den DC-Zwischenkreis (Abbildung: Hörmann Engineering)

Bei Dieselfahrzeugen beschränkt sich die Energiespeicherung auf dieselelektrische Fahrzeuge, welche eine Kombination aus Dieselmotor, Generator, Stromrichter und (Drehstrom-) Motor darstellen. Man spricht hierbei von „hybriden Strukturen“, welche technisch eng verwandt mit Hybridantrieben sind. Auch hier kommt der Zwischenkreis für die Speicherung elektrischer Energie in Frage.

Bei allen fahrzeugseitigen Anwendungen ist der Einbauraum eng begrenzt. Auf Triebzügen, wo das Triebfahrzeug gleichzeitig als kommerzielles Transportgefäß fungiert, verstärkt sich diese Tendenz noch. Gleiches gilt für die Fahrzeugmasse, hier sind die zulässigen Achslasten einzuhalten. Dies ist wiederum bei Lokomotiven etwas unkritischer. In Einzelfällen wird dort sogar gezielt Ballast verbaut, um die zulässige Adhäsionsmasse auszuschöpfen. Nichts desto trotz verwenden moderne Eisenbahnverkehrsunternehmen im Personenverkehr zunehmend Triebzüge, vor allem um die sonst „tote“ Loklänge kommerziell zu verwenden. Das Umfeld für die Einführung von Energiespeichern ist damit bereits technisch anspruchsvoll. Bei Gleichstrombahnen gibt es bereits entsprechende Speicheranwendungen, sowohl bei Stadt- als auch bei Vollbahnen.

Unabhängig von diesen konkreten technischen Herausforderungen respektive der technischen Ausgestaltung der Energiespeicherung ist im Folgenden zu behandeln, welche Akteure in eine potenzielle Umrüstung von Triebfahrzeugen einzubeziehen sind und welche Interessenlagen diese Akteure aufweisen.

#### 5.2.4 Akteursgefüge dieser Fallstudie

Eine Umrüstung von bestehenden Triebfahrzeugen auf Energiespeicher würde durch die Eisenbahnverkehrsunternehmen erfolgen. Dadurch würden dort zunächst erst einmal die Kosten anfallen. Gegebenenfalls resultiert nach einem derartigen Eingriff in die Fahrzeugelektrik bzw. –steuerung eine neue Bauartzulassung, was neben Kosten vor allem eine Frage des Zeitaufwands darstellt. Gegebenenfalls lassen sich diese Umbaumaßnahmen als Anlass zur Verjüngung der Fahrzeugflotte nutzen, da ältere Fahrzeuge in klassischer Wechselstromtechnik nicht mit vertretbarem Aufwand auf Energiespeicher umrüstbar sind (Gleich- und Wechselrichter vor/hinter dem Energiespeicher erforderlich). Dies liesse sich im Idealfall im Sinne einer Technologieführerschaft und als Innovationsträger im Sinne des Marketings gegenüber dem Endkunden (Fahrgast) nutzen.

Der Hauptnutzen der Energiespeicherung läge ganz klar auf Seiten der Bahnenergieversorgung, also beim Infrastrukturbetreiber (EIU). Dieser könnte geplante BEV-Netzausbauten zumindest zeitlich verschieben oder sogar darauf verzichten. Auf alle Fälle liessen sich die hohen Spitzenleistungen bei Anfahrten glätten. Ein Risiko besteht allerdings in den Fragen der Netzregelung und der Blindleistungskompensation.

Anreiz zu einer entsprechenden Umrüstung könnte ein Trassenpreissystem bieten, in das der konkrete Energiebedarf einbezogen wird. Dadurch würden EVU mit Speicherfahrzeugen auf Grund des geringeren Gesamtenergiebedarfs profitieren.



Abbildung 20: Hybridlok Eem 923 der SBB Cargo (Grafik: Stadler Rail)

Im Fall des Einsatzes von Hybridfahrzeugen mit Energiespeicher im Güterverkehr lassen sich neue Produktionskonzepte entwickeln. Diese ermöglichen die Bedienung von Strecken und nicht elektrifi-

zierten Anschlüssen durch dasselbe Triebfahrzeug und insofern schlankere Produktionsprozesse respektive die Rationalisierung bestehender Prozesse.

Im Bereich Forschung und Entwicklung würden mit Einführung der Traktionsenergiespeicher vor allem im Bahntechnikbereich Akzente gesetzt, welche international wahrnehmbar wären und den nationalen Standort im Sinne der Technologieführerschaft ausbauen helfen könnten.

### **5.2.5 Ableitung finanzieller Anforderungen und Werteflüsse**

Die Ableitung der Werteflüsse für diese konkrete Innovation legt folgende Randbedingungen zugrunde:

- Der Infrastrukturbetreiber muss weniger Traktionsenergie in den Leistungsspitzen bereitstellen. Für ihn wird die Netzregelung durch Glätten der Anfahrleistungsspitzen idealerweise einfacher. Er spart Kosten, in dem er auf Netzausbauten für das Abdecken von Leistungsspitzen reduzieren kann.
- Der Triebfahrzeughalter muss zunächst in die Ausstattung seines Rollmaterials mit einer Speicherausrüstung investieren. Anschliessend kann er, sofern der Infrastrukturbetreiber die Leistungsabgabe aus dem Bahnstromnetz bei Lastspitzen einschränkt, von zusätzlicher Leistungsentnahme aus dem Stromspeicher profitieren. Sofern keine Leistungsregelung erfolgt, entsteht ihm allerdings kein konkreter Nutzen
- Für die Ersteller von Verkehrsleistungen ergeben sich keine unmittelbaren Auswirkungen, da diese weder für die Bereitstellung des Bahnstromnetzes noch für die für die Ausstattung der Triebfahrzeuge mit Energiespeichern verantwortlich sind. Allerdings laufen die Zahlungsflüsse zwischen Infrastrukturbetreiber und Triebfahrzeughalter derzeit über den Ersteller der Verkehrsleistungen. Der Infrastrukturbetreiber erhält einen Trassenpreis, der auch das Entgelt für den Energiebezug umfasst. Der Triebfahrzeughalter erhält eine Fahrzeugmiete, die sämtliche technische Funktionen des Fahrzeugs abdeckt.

Im Sinne der Systemklassifizierung des Akteursgefüges für Innovationen handelt es sich hierbei um ein System mit zwei unmittelbaren Beteiligten (Infrastrukturbetreiber und Triebfahrzeughalter) und einen mehrstufigen Zahlungsfluss (mit dem Ersteller von Verkehrsleistungen als zwischengeschaltete Instanz).

Die Werteflüsse im System verändern sich wie folgt:

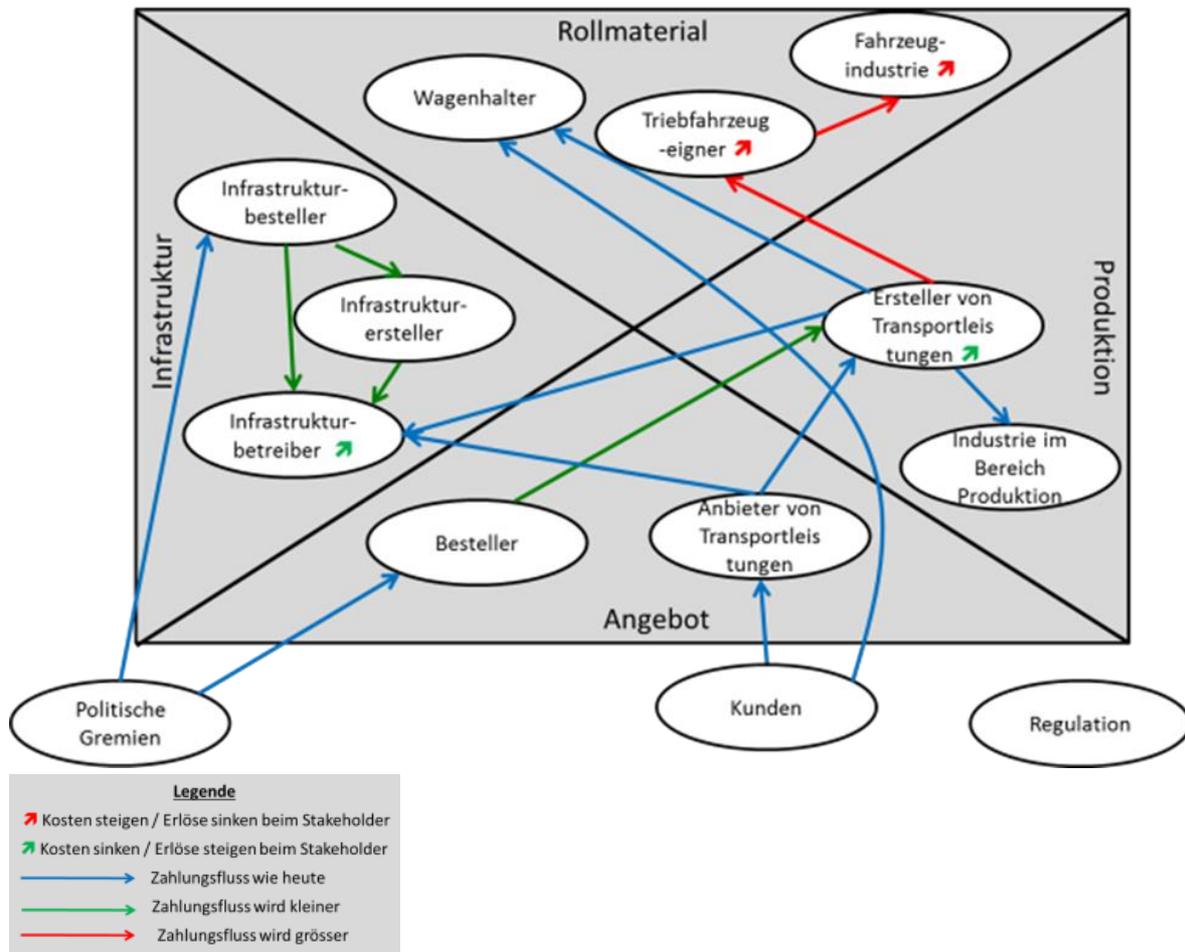


Abbildung 21: Veränderung der Zahlungsflüsse im System Bahn bei Energiespeicherung auf der Lokomotive (eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Kurven sind folgende Entwicklungen zu erwarten:

- **Kosten:** zunächst Initialkosten für Entwicklung, Zulassung und Einbaukonzepte, Stückkosten je ausgerüstetes Triebfahrzeug, mit steigendem Ausrüstungsgrad Skaleneffekte und andererseits zunehmende Spezifitäten bei Spezialserien bzw. Altfahrzeugen.
- **Nutzen:** Energieeinsparung wächst linear mit Ausrüstungsgrad, bei hohen Auslastungsgraden zusätzlich Verzicht auf teure Ausbauten im Bahnstromnetz (Ergebnis: Überlagerung dieser beiden Nutzenkurven).

Damit ergeben sich die in Abbildung 22 dargestellten Kosten-Nutzen-Verläufe im Gesamtsystem.

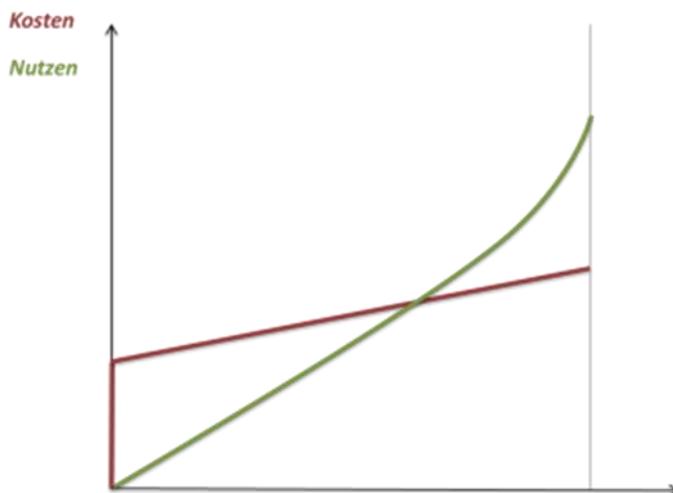


Abbildung 22: Kosten-Nutzen-Kurve bei der Energiespeicherung auf der Lokomotive (eigene Darstellung)

### 5.2.6 Ableitung von Entscheidungs- und Finanzierungskonzepten

Für die Umsetzung der Traktionsenergiespeicherung ist ein langfristiger finanzieller Ausgleich zwischen Infrastrukturbetreiber und Triebfahrzeugeigner erforderlich. Hierzu sind vier Optionen, drei mit einer finanziellen Kompensation und eine vierte rein technische möglich:

- Eine Kompensation über den Trassenpreis, der einen finanziellen Ausgleich zwischen Infrastrukturbetreiber und Fahrzeughalter über den Ersteller von Transportleistungen ermöglicht. Im Rahmen dieser Ausgleichsoption wäre ergänzend eine Änderung der Netzzugangsbedingungen hilfreich, so dass eine Energiespeicherung auf dem Fahrzeug vorgeschrieben ist und so das Risiko vermeidet, dass die rein finanzielle Kompensation auf den Zwischenstationen „versickert“.
- Eine andere Option ist es, die fahrzeugseitigen Komponenten durch den Infrastrukturbetreiber in das Fahrzeug einbauen und betreiben zu lassen. Hierfür erfolgt dann eine direkte Kompensation des Infrastrukturbetreibers an den Fahrzeugeigentümer. Der Vorteil ist hier der direkte Zahlungsfluss zwischen dem Profiteur der Innovation und demjenigen, der die Kosten zu tragen hat. Problematisch ist diese Finanzierungsform nur bei Fahrzeugen, die auf den Netzen unterschiedlicher Infrastrukturbetreiber eingesetzt werden.
- Die dritte Variante sind nutzungsabhängige Zahlungen des Infrastrukturbetreibers an den Fahrzeughalter für die Energiespeicherung. Hier liegt dann das finanzielle Risiko der Nichtnutzung der Energiespeicher beim Fahrzeugbetreiber. Dieser hat jedoch nur wenig Motivation, dieses Risiko einzugehen.
- Die vierte Option ist bei Lastspitzen eine technische Drosselung des Leistungsbezuges für das Triebfahrzeug, die vom Infrastrukturbetreiber gesteuert wird. Hier entsteht bei Einbau eines

Traktionsenergiespeichers ein unmittelbarer Nutzen für den Triebfahrzeughalter, da er die fehlende Leistungsentnahme aus dem Bahnstromnetz durch den Rückgriff auf den fahrzeugseitigen Energiespeicher kompensieren kann. Dieser Zusatznutzen der Triebfahrzeuge kann zu einem höheren Erlös bei der Vermietung der Triebfahrzeuge an Ersteller von Transportleistungen führen. Hierüber können dann wiederum die Investitionen in das Triebfahrzeug refinanziert werden.

Aus heutiger Sicht erscheint die vierte Alternative die Sinnvollste, da hier durch einfache administrative Massnahmen die Bereitschaft zur Einführung einer Traktionsenergiespeicherung erzielt werden kann. Die Ersteller der Transportleistungen als Erzeuger der Lastspitzen werden über höhere Mietpreise für die Triebfahrzeuge an der Finanzierung der Leistungen beteiligt. Der Bahnstromnetzbetreiber kann die von ihm nicht verursachten Lastspitzen auf Kosten der Verursacher reduzieren.

## **5.3 Fallstudie 2: Schnelle und flinke Güterzüge**

### **5.3.1 Ausgangslage**

Die Höchstgeschwindigkeit sowie das Beschleunigungs- und Bremsvermögen von Güterzügen spielt bislang für den Bahngüterverkehr eine untergeordnete Rolle. Von Einzelfällen – z. B. Postverkehren – abgesehen, begründet sich dies mit der mangelnden Bedeutung dieser Zugparameter für die Versender. Die stetige Weiterentwicklung dieser Eigenschaften bei den Personenzügen führte jedoch zu einer zunehmenden Diskrepanz zwischen Güter- und Personenverkehr. Einerseits divergieren die Anforderungen an die Infrastruktur, andererseits ist die Streckenleistungsfähigkeit bei hoher Streckenbelastung beeinträchtigt [33]. Gelingt es, die Geschwindigkeit und Fahrdynamik eines Güterzuges an jene des Personenverkehrs anzunähern, können Güterzüge auch nach Zugreihe R oder sogar N verkehren. Dadurch liessen sich Lücken zwischen Personenzugstrassen für den Güterverkehr nutzen und damit die Netzleistungsfähigkeit steigern.

Der Cargo-Pendelzug (CPZ), welcher im Baustellenverkehr für die Zürcher Durchmesserlinie verkehrte, ist zwar als Innovation anzusehen, gehört aber mit einer Maximalgeschwindigkeit von 120 km/h noch zum konventionellen Güterverkehr. Mit einer Länge von 164 m, einem Gesamtgewicht von 870 t und der Pendelfähigkeit erlaubt er jedoch eine flexiblere Trassennutzung [1].

### **5.3.2 Technische Anforderungen**

Im sogenannten ss-Verkehr fahren heute Güterzüge in der Zugreihe A mit bis zu 120 km/h. Für eine Änderung der Zugreihe sind weitere Anforderungen an die Bremse zu erfüllen (Tabelle 5 und Abbildung 23). Generell sind für höhere Geschwindigkeiten die Achslasten zu verringern. Zur Verminderung der Längsdruckkräfte wird zudem für höhere Geschwindigkeiten die elektropneumatische Bremse benötigt. Eine genügende Sicherung der Ladung wird ebenfalls vorausgesetzt.

Tabelle 5: Anforderungen an die Ausrüstung von Wagen bis 160 km/h (AB-EBV 2010)

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

Erschwerend zu den Anforderungen an die Wagen kommt die Verfügbarkeit von geeigneten Traktionsmitteln hinzu. Die SBB Cargo verfügt heute über keine Lokomotive mit einer Maximalgeschwindigkeit über 140 km/h (Tabelle 6), schnellere Lokomotiven werden im Personenverkehr eingesetzt.

**Bremsverhältnisse (%) in Abhängigkeit von Gefälle und Höchstgeschwindigkeit**

Gefälle %	Geschwindigkeit [km/h]																														
	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	140	145	150	155	160
0	6	8	10	12	14	17	20	23	26	30	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135
1	6	8	10	12	15	18	21	24	27	31	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	135
2	7	9	11	13	16	19	22	25	28	32	37	42	47	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	135
3	7	9	11	14	17	20	23	26	29	33	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	135
4	8	10	12	15	18	21	24	27	30	34	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	135
5	9	11	13	16	19	22	25	28	31	35	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	135
6	9	11	14	17	20	23	26	29	32	36	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	135	135
7	10	12	15	18	21	24	27	30	33	37	42	47	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	135	135
8	10	13	16	19	22	25	28	31	34	38	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	135	135
9	11	14	17	20	23	26	29	32	35	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	135	135
10	12	15	18	21	24	27	30	33	36	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	135	135
11	12	15	18	21	25	28	31	34	37	42	47	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	135	135	135
12	13	16	19	22	26	29	32	35	39	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	135	135	135
13	14	17	20	23	27	30	33	37	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	135	135	135
14	15	18	21	24	28	31	34	38	42	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	135	135	135	135
15	16	19	22	25	29	32	35	39	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	135	135	135	135
16	17	20	23	26	29	33	36	40	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	135	135	135	135
17	18	21	24	27	30	34	37	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	135	135	135	135	135
18	19	22	25	28	31	35	38	43	47	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	135	135	135	135	135
19	20	23	26	29	32	36	39	44	49	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	135	135	135	135	135
20	21	24	27	30	33	37	41	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	135	135	135	135	135
21	21	24	28	31	34	38	42	47	52	57	62	67	72	77	82	87	92	97	102	107	112	117	122	127	132	135	135	135	135	135	135
22	22	25	29	32	35	39	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	135	135	135	135	135	135
23	23	26	29	33	36	40	45	50	55	60	65	70	75	80	85	90	95	100	105	110	115	120	125	130	135	135	135	135	135	135	135
24	24	27	30	34	37	41	46	51	56	61	66	71	76	81	86	91	96	101	106	111	116	121	126	131	135	135	135	135	135	135	135
25	25	28	31	35	39	43	48	53	58	63	68	73	78	83	88	93	98	103	108	113	118	123	128	133	135	135	135	135	135	135	135
26	26	29	32	36	40	45	50	54	59	64	69	74	79	84	89	94	99	104	109	114	119	124	129	134	135	135	135	135	135	135	135

Abbildung 23: Ausgewählte Bremsverhältnisse in der Bremstabelle 90,  $v_{max}$  160 km/h (AB-EBV 2010)

Eine wichtige Rolle für die effiziente Trassennutzung spielt die Beschleunigung der Züge. Damit Güterzüge mit dem Personenverkehr mithalten können, sollten sie über eine ähnliche Traktionierung verfügen. Tabelle 7 zeigt aber, dass die Traktionierung von Güterzügen selten an die Leistung von Personenzügen herankommt. Ein Verhältnis von über 10 kW/t ist im Güterverkehr eher selten.

Tabelle 6: Leistungskennzahlen gängiger Triebfahrzeuge [28]

Typ	Anzahl Achsen [-]	Dienstmasse [t]	Dauerleistung [kW]	Höchstgeschwindigkeit [km/h]
Re 420 (Re 4/4 II)	4	80	4700*	140
Re 620 (Re 6/6)	6	120	7850*	140
Re 460	4	84	6100	230
Re 482 / Re 485 (Bombardier Traxx)	4	85	5600	140
Am 843 (dieselhydraulisch)	4	80	1500	100
Eem 923 (Stadler BUTLER, hybrid)	2	45	1500* (290 dieselel.)	100

\* Stundenleistung

Tabelle 7: Traktionierung gängiger Züge

Typ	Triebfahrzeuge	Bruttomasse	Dauerleistung	Relative Leistung
Intercity	Re 460	550 t	6100 kW	11.1 kW/t
Interregio	Re 4/4	350 t	4700 kW*	13.4 kW/t
ICN	RABDe 500 (Triebzug)	375 t	5200 kW	13.9 kW/t
DTZ S-Bahn Zürich	RABe 514 (Triebzug)	250 t	3200 kW	12.8 kW/t
Ferngüterzug	Re 6/6 + Re 4/4	1500 t	12 550 kW*	8.4 kW/t
Ferngüterzug	Re 6/6	1000 t	7850 kW*	7.9 kW/t
Nahgüterzug	Re 4/4	500 t	4700 kW*	9.4 kW/t
Zustellfahrt	Am 843	250 t	1500 kW	6.0 kW/t

\* Stundenleistung

### 5.3.3 Bisherige Bestrebungen

Der Güterverkehr lässt sich auf verschiedene Arten beschleunigen. Je nach angestrebter Höchstgeschwindigkeit kann entweder bestehendes Rollmaterial für höhere Geschwindigkeiten umgerüstet werden, Technologie aus dem Personenverkehr übernommen werden oder schnelles Rollmaterial eigens für den Güterverkehr entwickelt werden. Troche [29] unterscheidet im Schienengüterverkehr zwischen drei Geschwindigkeitskategorien:

- Konventioneller Güterverkehr, welcher mit maximal 120 km/h verkehrt. Mit kleinen Anpassungen könnten auch Geschwindigkeiten bis 140 km/h erreicht werden.
- Beschleunigter Güterverkehr, welcher mit Geschwindigkeiten zwischen 140 und 200 km/h verkehrt und
- Hochgeschwindigkeitsgüterverkehr mit Geschwindigkeiten über 200 km/h.

Obwohl Güterzüge heute im Normalfall mit maximal 120 km/h verkehren, ist eine Höchstgeschwindigkeit von 140 km/h denkbar. Kleinere Anpassungen, z. B. die Reduktion der Achslasten, könnten dazu ausreichen. Bei grösseren Umrüstungen bestehenden Rollmaterials sind Geschwindigkeiten von 140 bis 160 km/h möglich, vielleicht sogar mehr. Dazu muss stark in die Bremsanlage der Wagen eingegriffen werden, beispielsweise mittels neuen Drehgestellen mit Gleitschutz und Scheibenbremsen.

Unter dem Namen *InterCargoExpress* betrieb die DB kurzzeitig Güterverkehr mit erhöhter Geschwindigkeit. Dazu wurden 4-achsige Containertragwagen (Sgss-y) für eine Höchstgeschwindigkeit von 160 km/h nachgerüstet, indem sie neue Drehgestelle mit Scheibenbremsen, elektropneumatischer Bremssteuerung und Gleitschutz erhielten [29]. Zudem wurden die Container mit verriegelbaren Zapfen gesichert. Eine ähnliche Entwicklung existiert auch für die schwedische Post, allerdings mit einem 2-achsigen gedeckten Wagen (Gblss-y) für Geschwindigkeiten bis 160 km/h.

Für Geschwindigkeiten über 200 km/h steht eher die Verwendung von Rollmaterial des Personenverkehrs im Vordergrund, welches an die Bedürfnisse des Güterverkehrs angepasst wird. Beispiel dafür ist insbesondere der *TGV postal* der französischen Post, mit einer Maximalgeschwindigkeit von 270 km/h. Auch die DB prüfte den Einsatz von Güter-ICEs, liess das Konzept aber wieder fallen [29]. Ebenfalls aus dem Personenverkehr übernommen ist die *British Rail Class 325* für den Postverkehr in Grossbritannien mit einer Maximalgeschwindigkeit von 160 km/h [29].

Natürlich ist es auch möglich, schnelles Rollmaterial spezifisch für den Güterverkehr herzustellen. Bisher gibt es aber keine Anbieter für derartige Fahrzeuge und Eigenentwicklungen für den Güterverkehr widersprechen auch dem Grundsatz möglichst grosser Standardisierung, bzw. der Verwendung möglichst vieler Gleichteile. Mit dem Konzept *Euro Carex* besteht jedoch das Bestreben, Hochgeschwindigkeitsgüterverkehr im Flugersatzverkehr mit eigens dafür entwickelten Fahrzeugen zu etablieren [[www.eurocarex.com](http://www.eurocarex.com)]. Das System ist aber noch nicht operativ.

Tabelle 8: Innovationspfade

v <sub>max</sub>	Kategorie	Technische Entwicklung	Beispiel
≤ 120	Konventioneller Güterverkehr	–	Cargo-Pendelzug
140		Kleinere Anpassungen	-
160	Beschleunigter Güterverkehr	Grössere Anpassungen  PV-Technologie oder Eigenentwicklungen	InterCargoExpress (Sgss-y) GreenCargo (Gblss-y) British Rail Class 325
180			
200			
> 200	Hochgeschwindigkeits-güterverkehr	Ausschliesslich PV-Technologie oder Eigenentwicklungen	TGV postal, Euro Carex

### 5.3.4 Akteure und mögliche Innovationspfade

Nutziesser des schnellen Güterverkehrs ist primär die Infrastrukturbetreiberin aufgrund der Homogenisierung der Geschwindigkeitsbänder. Diese erhöht die Anzahl nutzbarer Trassen, die Fahrplanstabilität und die Flexibilität im Störfall. Bei den Güterverkehrsunternehmen ist hingegen ein weitaus geringerer Nutzen zu erwarten, da die Zahlungsbereitschaft für eine Erhöhung der Beförderungsgeschwindigkeit im Schienengüterverkehr generell klein ist. Die Kosten fallen primär bei den Wagenhaltern und ECM (*Entity in Charge of Maintenance*) an, welches nicht immer die Güterverkehrsunternehmung selbst ist (Abbildung 24: Akteure im Schienengüterverkehr (eigene Darstellung)). Da zur Zeit kein Markt für schnelles Rollmaterial im Güterverkehr besteht, sind auch keine positiven Skaleneffekte in der Rollmaterialbeschaffung zu erwarten.

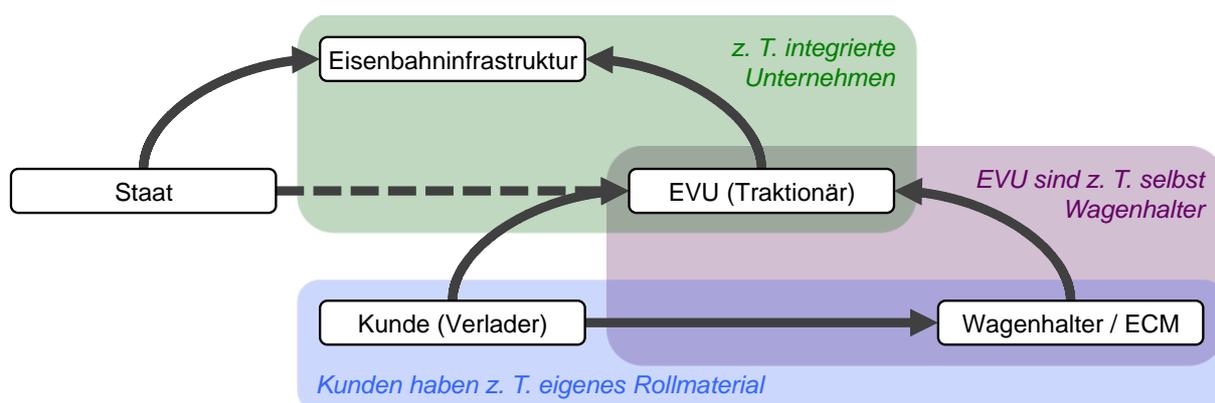


Abbildung 24: Akteure im Schienengüterverkehr (eigene Darstellung)

Erschwerend kommt im Güterverkehr dazu, dass der Traktionär, das EVU, nicht nur eigene Wagen befördert. In allen internationalen Produktionssystemen des Güterverkehrs – Ganzzugverkehr, kombinierter Verkehr und Einzelwagenladungsverkehr – sind praktisch immer Wagen anderer EVU oder

Wagenhalter in die Züge eingereiht. Eine Erhöhung der Maximalgeschwindigkeit der Wagen schon nur auf 140 km/h würden deshalb europaweit einheitliche und verbindliche Regelungen voraussetzen.

Die Trennung von Infrastruktur und Verkehr erlaubt es zudem nicht, die Kosten und Nutzen angemessen zu verteilen, als Kostentransfer ist einzig der Trassenpreis gestattet. Die obigen Beispiele des schnellen Güterverkehrs (mit Ausnahme von *British Rail*) entstanden noch vor der weitgehenden Desintegration des Eisenbahnsektors in Europa. Grenzüberschreitende schnelle Verkehre bestehen zurzeit nicht und scheinen auch erst seit der Einführung der TSI wieder ins Rampenlicht gerückt zu sein.

Die Schwierigkeiten von schnellen Güterzügen liegen also weniger in der technischen Umsetzung. Erheblichere Probleme machen der Systemcharakter, die Akteursstruktur und die Regulierung der Eisenbahn.

Für die Einführung schneller und flinker Güterzüge ist die Komplexität des Systems zu reduzieren. Der betroffene Wagenpark ist möglichst einzugrenzen und – zumindest in einer Pilotphase – das Angebot auf den Binnenverkehr zu beschränken. Nischenprodukte im Güterverkehr mit beschränktem Wagenpark bieten beispielsweise Autotransporte (bei welchen auch Rollmaterial für höhere Geschwindigkeiten von den Autoreisezügen noch vorhanden ist). Im Binnenverkehr bieten sich Shuttle-Konzepte wie beispielsweise im Binnen-KV der Schweiz für schnelleres Rollmaterial an.

Für einen effektiven Nutzentransfer sind alternative Finanzierungsmodelle für schnelle Güterzüge zu entwickeln. Dabei ist darauf zu achten, dass die Aufwendungen nicht nur bei den EVU liegen, sondern auch bei den Wagenhaltern und EIU. Dasselbe gilt für den Nutzen, welcher nicht nur bei den EIU anfallen sollte. EIU sollten direkt Wagenhaltern finanzielle Anreize geben können, damit diese bei Fahrzeugbeschaffungen höhere Geschwindigkeiten berücksichtigen können.

Bei der Regulierung ist darauf zu achten, dass die Geschwindigkeit von Zügen nicht aufgrund von historisch festgelegten Kategorien eingeschränkt wird. Viel eher ist eine funktionale Gliederung anzustreben, welche die technischen Parameter besser berücksichtigt. Ist ein Wagenhalter willens, in schnelles Rollmaterial zu investieren, sollen auch entsprechende Trassen für ein hochwertiges Güterzugssystem angeboten werden können.

### 5.3.5 Ableitung finanzieller Anforderungen und Werteflüsse

Die Wirkungen der schnellen und flinken Güterzüge sind wie folgt:

- Die Infrastrukturbetreiber können durch die homogenere Fahrdynamik aller auf einer Strecke verkehrenden Züge mehr nutzbare Trassen generieren. Daraus resultieren höhere Trasseneinnahmen bei gleichbleibenden Infrastrukturkosten.<sup>2</sup>

---

<sup>2</sup> Der Trassenpreis in der Schweiz soll eigentlich die Normgrenzkosten abbilden, so dass zusätzliche Trassen nur mit ihren effektiven variablen Kosten verrechnet werden können. Die praktische Umsetzung dieser Regelung zeigt jedoch, dass zusätzliche Trassen höhere Einnahmen generieren als dem Infrastrukturbetreiber an flexiblen Kosten entstehen.

- Den Wagen- und Triebfahrzeughaltern entstehen Kosten durch die Umrüstung des bestehenden Rollmaterial oder durch erhöhte Anforderungen an das Rollmaterial bei der Neubeschaffung.
- Die Ersteller von Transportleistungen verringern ihre Kosten durch kürzere Fahrzeiten. Diese bewirken kürzere Umlaufzeiten des Rollmaterials und damit einen geringeren Rollmaterialbedarf sowie einen geringeren Personalbedarf.
- Bei den Kunden und Anbietern von Transportleistungen steigt die Zahlungsbereitschaft für schnellere und qualitativ hochwertigere Verkehre.
- Die Anbieter von Transportleistungen profitieren durch den Gewinn zusätzlicher Verkehre beispielsweise bei zeitkritischen Gütern.

Im Sinne der Klassifizierung der Werteflüsse handelt es sich damit um ein System mit mehreren Beteiligten sowohl auf der Geberseite und dem Wagenhalter als einzigem Empfänger von Transferleistungen.

Aus den Veränderungen bei den einzelnen Beteiligten ergeben sich im System folgende Veränderungen der Werteflüsse:

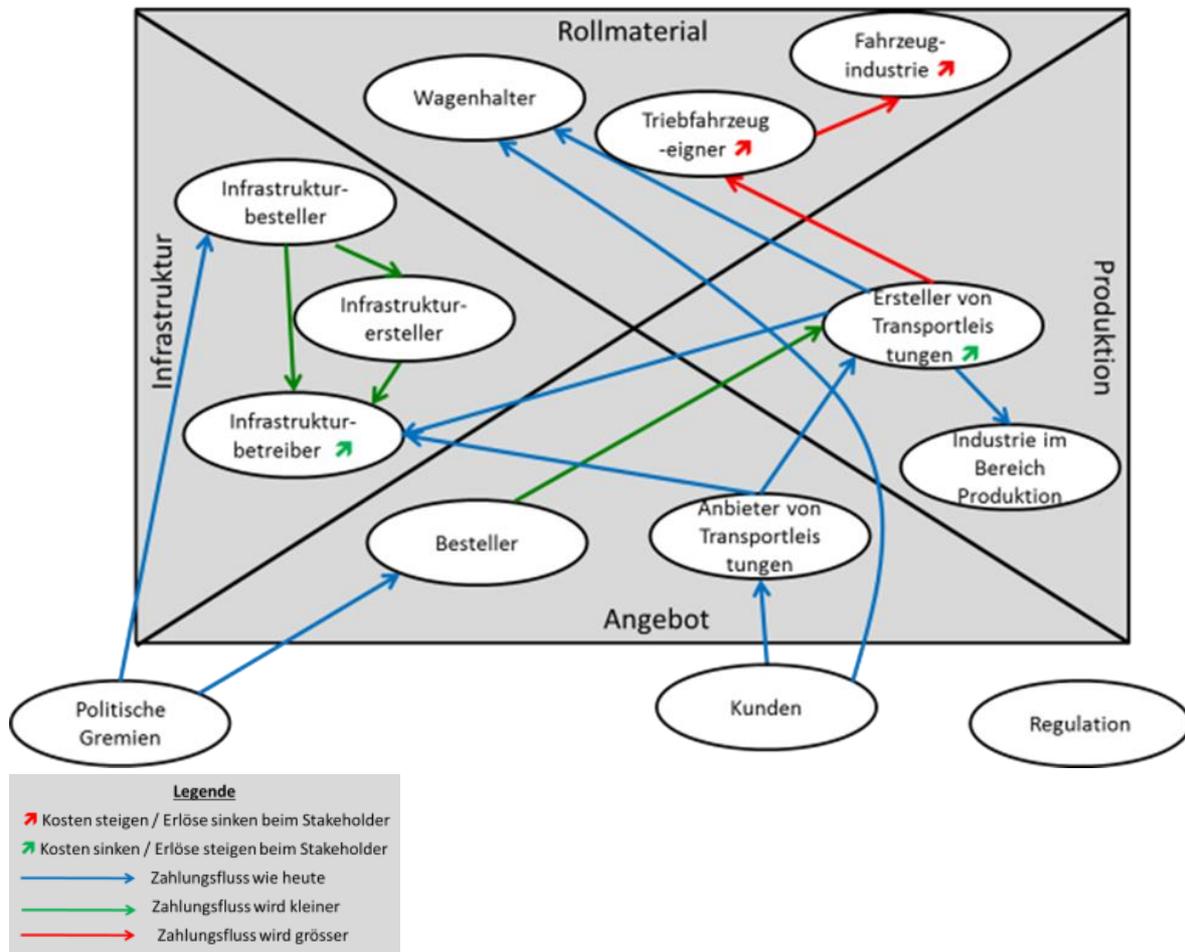


Abbildung 25: Veränderung der Zahlungsflüsse im System Bahn bei schnellen und flinken Güterzügen (eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Kurven sind folgende Entwicklungen zu erwarten:

- Kosten:** Es fallen geringe Initialkosten für die Konzeptentwicklung und die Vorbereitung der Fahrzeuge an. Sämtliche Komponenten des Systems sind am Markt verfügbar, werden aber für den hier genannten Zweck noch nicht eingesetzt. Die Umrüstkosten bzw. die Mehrkosten bei Neubauwagen sind linear pro Güterwagen, wobei tendenziell die Mehrkosten bei neubeschafften Güterwagen geringer sind als die Kosten für die Umrüstung bestehender Güterwagen. Bis 140 km/h Höchstgeschwindigkeit fallen auf der Triebfahrzeugseite keine Mehrkosten an, da heutige Güterzuglokomotiven in der Regel für 120 km/h zugelassen sind.
- Nutzen:** Die höhere Kapazitätsausnutzung durch homogenere Fahrdynamik ist für jeden betroffenen Zug erst dann zu realisieren, wenn der gesamte Zug (Lok und alle Wagen im Zug) mit den technischen Komponenten ausgestattet sind. In geschlossenen Systemen (bspw. KV-Netzen) ist damit vergleichsweise schnell ein Nutzen zu realisieren, da dort nur eine begrenzte Anzahl an Wagen eingesetzt wird. In offenen Systemen wie dem Einzelwagenverkehr ist na-

hezu die komplette Ausstattung aller Wagen in Europa erforderlich. Hier ist bis zu mittleren Ausstattungsgraden kein Nutzen zu erwarten, bei höheren Ausstattungsgraden nimmt der Nutzen progressiv zu.

Damit ergeben sich die in Abbildung 26 dargestellten Kosten-Nutzen-Verläufe im Gesamtsystem.

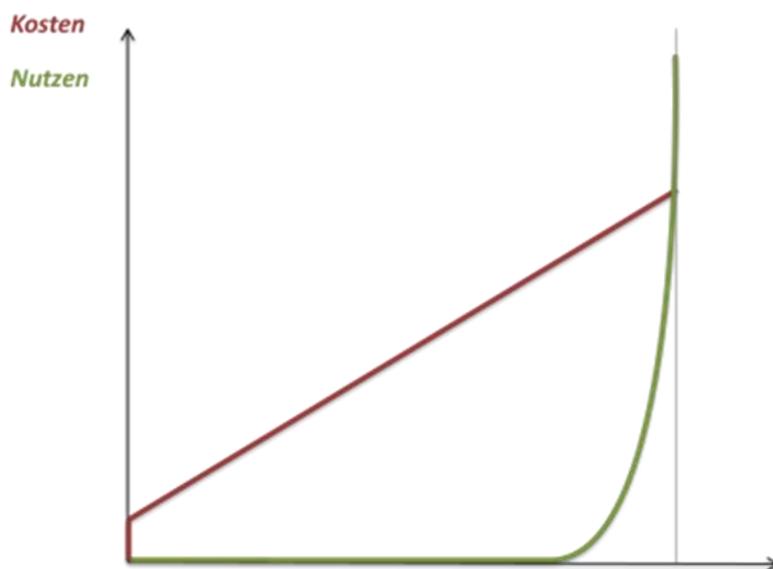


Abbildung 26: Kosten-Nutzen-Kurve bei schnellen und flinken Güterzügen (eigene Darstellung)

### 5.3.6 Ableitung von Entscheidungs- und Finanzierungskonzepten

Zur Umsetzung der Innovation ist vor allem ein finanzieller Ausgleich zwischen Infrastrukturbetreiber und Triebfahrzeugeigner erforderlich. Daraus ergeben sich drei Optionen für Kompensationsmodell: zwei mit einer finanziellen Kompensation und eine dritte rein regulatorische:

- Eine mehrstufige Kompensation, bei der zunächst die Trassenpreise für schnelle und flinke Güterzüge durch den Infrastrukturbetreiber gesenkt werden. Hierdurch reduzieren sich die Kosten für die Transporterstellung beim Ersteller von Transportleistungen, gleichzeitig kann dieser höhere Preise für Transportleistungen vom Anbieter von Transportleistungen erzielen, der diese wiederum an seine Kunden weitergeben kann. Der Mehrerlös und die Kosteneinsparungen beim Ersteller von Transportleistungen können in Form höherer Wagenpreise an den Rollmaterialhalter weiter gegeben werden.
- Ein Fonds in den alle Profiteure der Innovation gemäss ihrem persönlichen Nutzen einzahlen und aus dem die Nachrüstung der Wagen finanziert werden kann.

- Der Infrastrukturbetreiber kann bei der Trassenvergabe die Anforderungen an Güterzüge heraufsetzen, so dass nur noch für schnelle und flinke Güterzüge geeignete Trassen vergeben werden können.

In der derzeitigen Situation erscheint keine der drei Varianten geeignet, um die Einführung schneller und flinker Güterzüge zu beschleunigen. In der ersten Variante sind die Zahlungsflüsse derart komplex, dass ein Kosten-Nutzen-Ausgleich nicht stattfindet. Die zweite Variante erfordert einen sehr grossen Verwaltungsaufwand, da hier zunächst die einzelnen Nutzenbeiträge identifiziert und bewertet werden müssen. In der dritten Variante ist die politische Durchsetzbarkeit gefährdet, da die Eisenbahnverkehrsunternehmen immer wieder auf sehr einfach zu produzierende und preissensible Massengüterverkehre verweisen, bei denen auch geringe Qualitäten den Kunden ausreichen. Hier ein geeignetes Finanzierungsmodell zu finden, erscheint aus heutiger Sicht schwierig.

## **5.4 Fallstudie 3: Adaptive Zuglenkung**

Das Projekt der adaptiven Zuglenkung (ADL) ist die Umsetzung einer Innovation, die sich bei den SBB bereits im vollen Gange befindet. Sie wird in diesem Abschnitt als geglücktes Beispiel der Innovationseinführung mit ungleichmässiger Verteilung von Kosten und Nutzen präsentiert.

### **5.4.1 Grundidee der adaptiven Zuglenkung**

ADL ermöglicht eine engere Koppelung von der Planung/Disposition zur Durchführung (Fahrweise des Lokführers). Dadurch kann die Präzision im Produktionssystem verbessert werden und die Fahrplanstabilität kann trotz Mehrbelastung erhöht werden. Täglich finden auf dem SBB-Netz ca. 2000 ungeplante Rothalte statt, die potentiell mit ADL vermieden werden können. Bis zu 15 % der Personenzüge und 25 % aller Güterzüge sind von ungeplanten Rothalten betroffen. Grundidee bei der Lenkung ist eine Verlangsamung der Fahrt, falls die Durchfahrt beim nächsten Signal noch nicht frei ist. Diese Geschwindigkeitsreduktion wird so geplant, dass ein vollständiges Abbremsen beim Rotlicht möglichst vermieden wird. Durch frühzeitiges elektrisches Bremsen wird Energie produziert und durch die Vermeidung des Halts Energie gespart. Der Zug soll mit einer maximalen Geschwindigkeit durch den Konfliktpunkt fahren und kann somit einen Zeitverlust durch die Beschleunigungsphase verhindern. Die SBB rechnet mit einer Kosteneinsparung von 12 Mio. CHF pro Jahr.

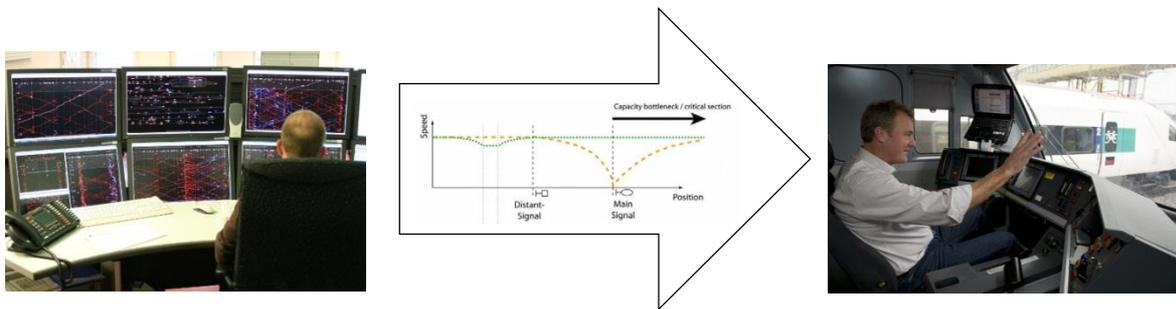


Abbildung 27: Übermittlung von optimalen Geschwindigkeitsprofilen in Form von Fahrempfehlungen von der Disposition an die Lokführer (Abbildung: Softbee GmbH, IVT, Aargauer Zeitung)

#### 5.4.2 Umsetzung bei den SBB

Das Projekt der adaptiven Zuglenkung konnte direkt an bestehende Verkehrsführungsinstrumente von SBB Betrieb zur Disposition (Rail Control System, RCS) geknüpft werden. Neu werden Belegungskonflikte automatisch erkannt, Zugreihenfolgen bestimmt und ungeplante Signalhalte identifiziert. Es wird ein Optimierungskorridor festgelegt. Auf einem getrennten Server werden aus diesen Daten optimale Geschwindigkeitsprofile berechnet und über GSM-R dem Lokführer auf ein Endgerät als Fahrempfehlung weitergeleitet.

Techniken zur Berechnung von optimalen Geschwindigkeitsprofilen für energiesparsamere Fahrweisen und Ideen zur Vereinfachung der Kommunikation zwischen Disponent und Lokführer gab es bereits vor dem Jahr 2007. Zur Auslösung des Projektes durch den SBB Konzern im Jahr 2007 kam es aber erst nach einer Kumulation unterschiedlicher Anstöße. Neben dem Hauptauschlaggeber der steigenden Energiekosten und dem zunehmenden Trend des Umweltbewusstseins, waren weitere Rahmenelemente von zentraler Bedeutung. So zum Beispiel das Vorhandensein genügend weit entwickelter Software im Betrieb zur Anknüpfung des neuen Projektes, effiziente Algorithmen zur Optimierung von Geschwindigkeitsprofilen, aber auch das Fortschreiten moderner Kommunikationsmittel. Weiter wurde der Auslöser durch die gegenwärtig aufwändige Kommunikation zwischen Disponent, Fahrleiter und Lokführer begünstigt. Und ganz am Schluss konnte ein Projektstart erst durch die Einwilligung von SBB Energie zur Übernahme der Hauptkosten für Projektplanung und Umsetzung eingeleitet werden.

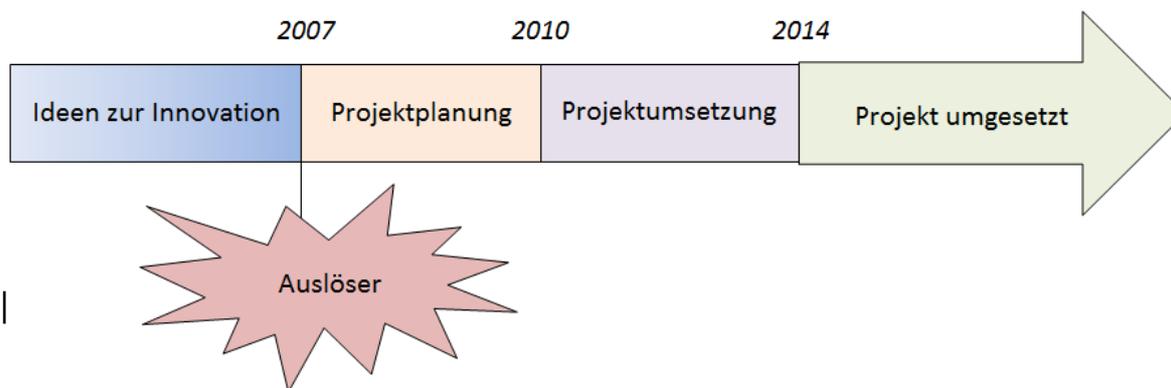


Abbildung 28: Zeitlicher Verlauf der Innovationsumsetzung (eigene Darstellung)

### 5.4.3 Akteursgefüge dieser Fallstudie

ADL wird als eine systemorientierte Innovation eingeordnet, bei der Kosten und Nutzen nicht gleichmässig verteilt anfallen. Während der Hauptnutzen an SBB Energie geht, müssen die Eisenbahnverkehrsunternehmen für die Kosten der Endgeräte in jedem Führerstand aufkommen. Ein voller Nutzen der Innovation ergibt sich zudem erst bei konsequenter Umsetzung bei allen Zügen eines Netzes.

Die Planung und Umsetzung des Projektes wurde von SBB Betrieb und Informatik durchgeführt. Testfahrten und Anpassungen in der Nutzung der neuen Software wurden in enger Zusammenarbeit mit den externen Hauptbetroffenen durchgeführt. Zu diesen gehören alle Lokführer, Disponenten, Fahrdienstleiter und Eisenbahnverkehrsunternehmen, die im Netz der SBB tätig sind. In einer untergeordneten Rolle ist auch die Umwelt mit Energieeinsparung und Reduktion von Lärmbelastung Mitprofitierer der ADL. Lieferanten von neuer Hardware und Software erhalten neue Bestellungen, hingegen jene der Infrastruktur weniger Abnutzungsreparaturen. Durch die zusätzliche Stabilisierung des Fahrplanes können Endkunden des Personen- und Güterverkehrs mitprofitieren. In Abbildung 29 sind alle betroffenen Akteure zusammengestellt.

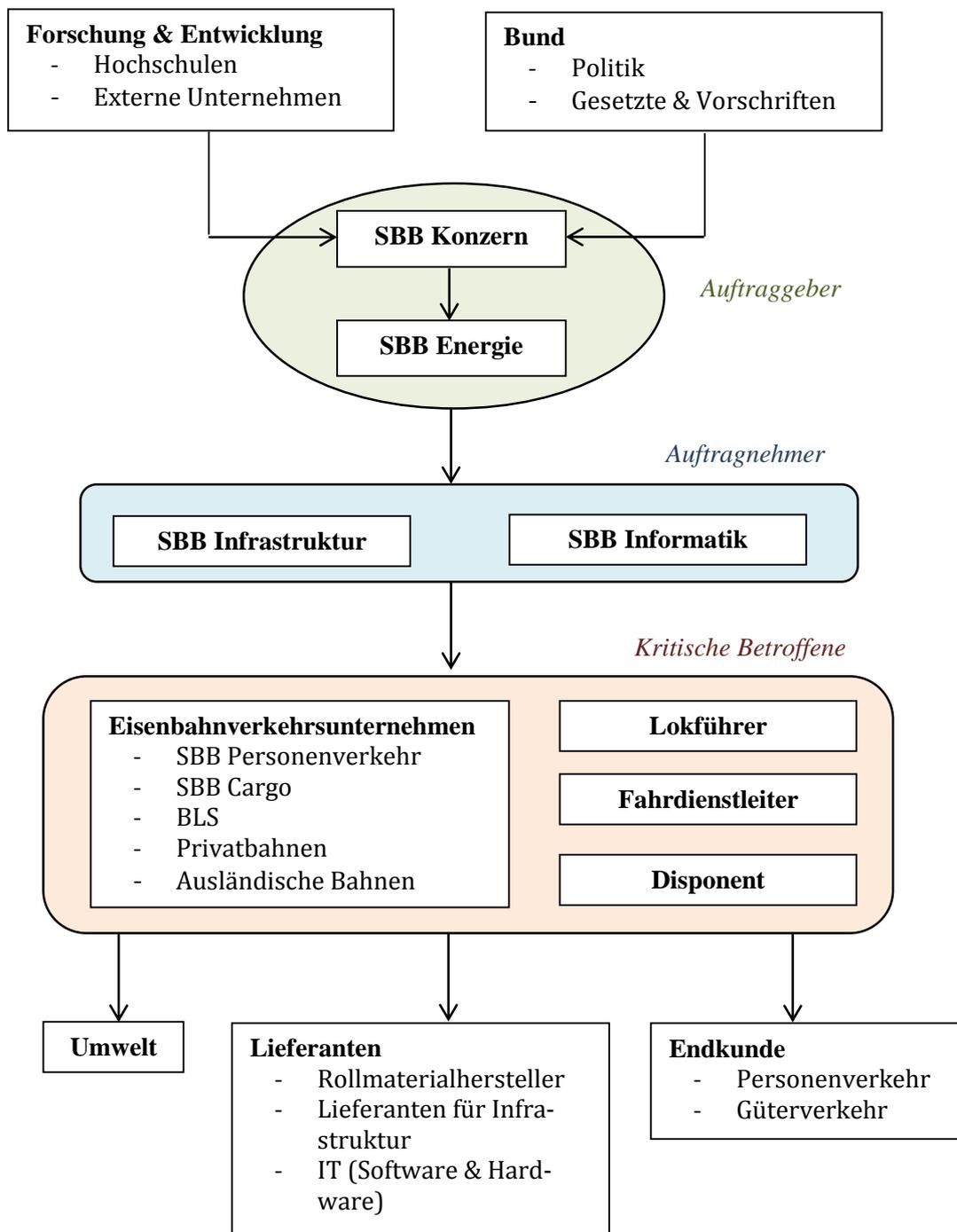


Abbildung 29: Übersicht Akteursgefüge (eigene Darstellung)

Bei der Planung und Umsetzung von ADL muss fortlaufend die Akzeptanz und das Mitwirken von kritischen Akteuren mit einbezogen werden. So werden für Lokführer zum Beispiel spezielle Schulungen veranstaltet, bei denen das Konzept von ADL miteinbezogen wird. Es wird darauf geachtet, dass ein Grossteil der Schulungen von Lokführern selbst geleitet wird, um mehr Vertrauen bei den restlichen der gleichen Gruppe zu gewinnen. Zudem wird die Entwicklung mehrmals mit Lokführer getestet und deren Feedback umgesetzt. So ist es zum Beispiel wichtig zu welchem Zeitpunkt neue Fahrempfehlungen versendet werden, damit der Lokführer nicht abgelenkt wird und trotzdem zum re-

levanten Zeitpunkt weiss, ob er seine Fahrweise ändern soll. Es wurden bereits sehr viele Wünsche bezüglich der Art und Genauigkeit der Übermittlungen miteinbezogen. Auch das Mitwirken von Disponenten und Fahrdienstleiter wird über übliche, jährliche Weiterbildungen gesichert.

Eine weitere Hürde ist das Absichern der Beteiligung aller Eisenbahnverkehrsunternehmen, welche die Kosten für die Endgeräte übernehmen müssen. Durch das Angebot einer ganzen Reihe von verschiedenen Endgeräten, von CAB Radio, Notebooks und Smartphone konnten die Kosten dafür minimiert werden. Zudem kann anhand bereits durchgeführter Testläufe gezeigt werden, dass der Verschleiss beim Rollmaterial reduziert werden kann.

Als zusätzliche Absicherung der Beteiligung aller EVU bei bleibenden Schwierigkeiten könnten Mechanismen von Kompensationsmodellen genutzt werden. So würde zum Beispiel ein Wechsel von der pauschalen Energierechnung für die EVU zur direkten Energieabrechnung die Nutzung von ADL zusätzlich begünstigen. Ein ähnlicher Effekt würde eine Erhöhung der Trassenpreise für nicht teilnehmende EVU bewirken. Auch ist geplant ADL längerfristig an das unabhängig von ADL geplante DMI (Driver Machine Interface) anzuhängen.

#### **5.4.4 Ableitung finanzieller Anforderungen und Werteflüsse**

Die Wirkungen der Adaptiven Zuglenkung sind wie folgt:

- Der Infrastrukturbetreiber gewinnt zusätzliche Kapazitäten im Netz durch die optimierte Zugnutzung. Hierdurch werden zusätzlich Trassenpreiseinnahmen erzielt
- Der Infrastrukturersteller muss geringe Beiträge zum Ausgleich der Betriebskosten seiner Infrastruktur entrichten.
- Die Eisenbahnverkehrsunternehmen fragen die zusätzliche Kapazität im Netz zumindest teilweise nach und haben so höhere Ausgaben für die Trassenpreise bei gleichzeitig höheren Einnahmen durch zusätzliche Nachfrage der Kunden (Endkunden aber auch Besteller der Transportleistungen im Nahverkehr). Gleichzeitig müssen die Eisenbahnverkehrsunternehmen zusätzliche Geräte auf ihren Fahrzeugen installieren, so dass höhere Zahlungen an die Industrie erfolgen müssen.

Im Sinne der Klassifizierung der Werteflüsse handelt es sich damit um ein System mit zwei Beteiligten (Eisenbahninfrastrukturbetreiber und Eisenbahnverkehrsunternehmen). Es gibt zwar weitere Beteiligte, diese können aber frei entscheiden, ob Sie tatsächlich an den veränderten Zahlungsflüssen teilnehmen möchten. Grundsätzlich können sowohl Industrie, als auch Kunden wie auch der Infrastrukturbesteller an ihrem bisherigen Verhalten festhalten.

Aus den Veränderungen bei den einzelnen Beteiligten ergeben sich im System folgende Veränderungen der Werteflüsse:

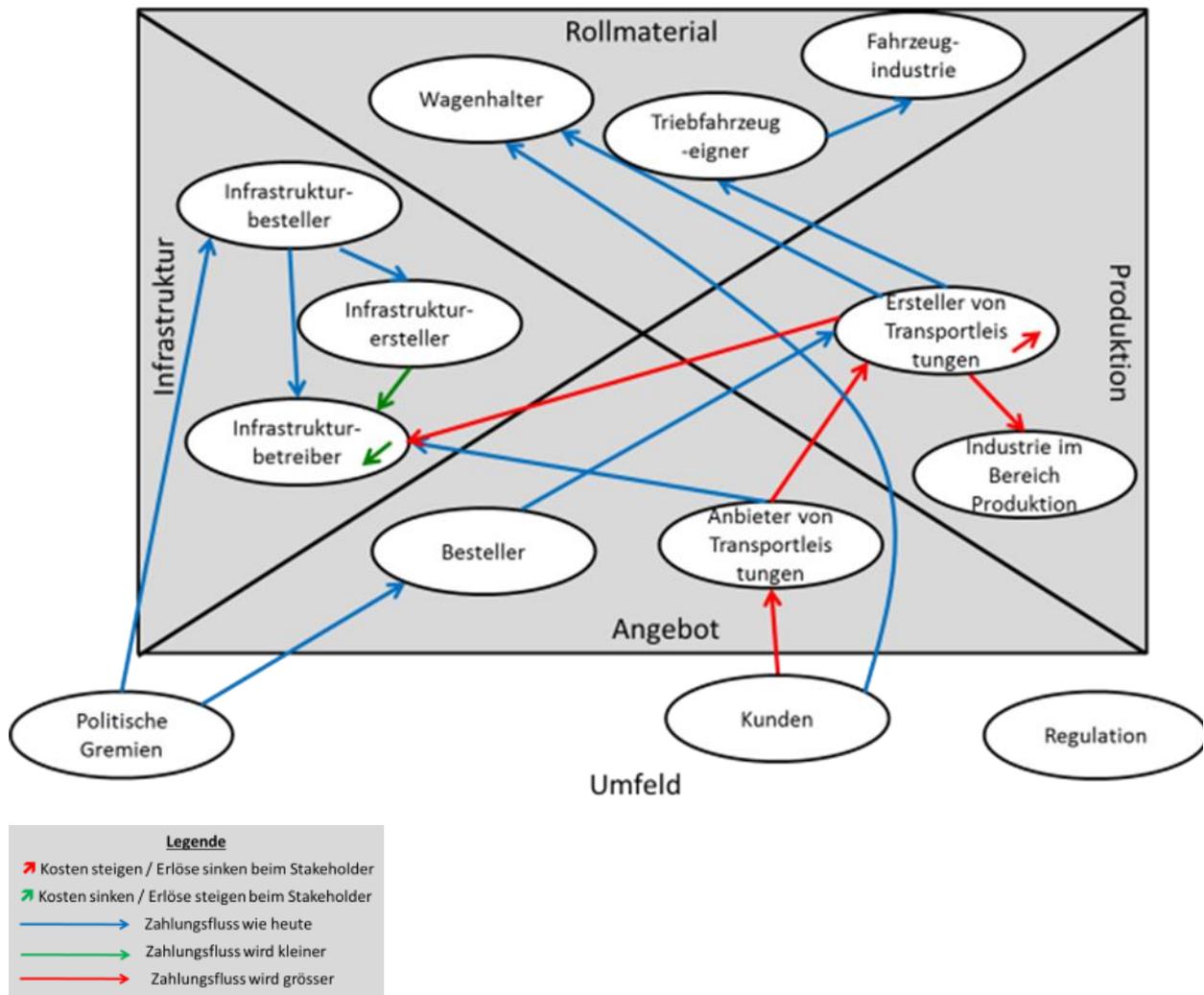


Abbildung 30: Veränderung der Zahlungsflüsse im System Bahn bei der adaptiven Zuglenkung(eigene Darstellung)

Hinsichtlich der Kosten-Nutzen-Kurven sind folgende Entwicklungen zu erwarten:

- **Kosten:** Es fallen Initialkosten für die Softwareentwicklung und die Erstausrüstung der Betriebszentralen sowie der Fahrzeuge mit den entsprechenden Geräten an. Im Betrieb fallen nur Kosten für die Softwarewartung, die Kommunikation und die Ersatzbeschaffung für veraltete Fahrzeuggeräte an. Damit sind hohe Initialkosten aber geringe Betriebskosten erforderlich.
- **Nutzen:** Durch die Interaktionen zwischen den Zugfahrten führt ein höherer Ausstattungsgrad auch zu höheren Optimierungspotenzialen bis dahin, dass ein einzelner nicht ausgestatteter Zug das Gesamtsystem empfindlich stören kann.

Damit ergeben sich die in Abbildung 31 dargestellten Kosten-Nutzen-Verläufe im Gesamtsystem.

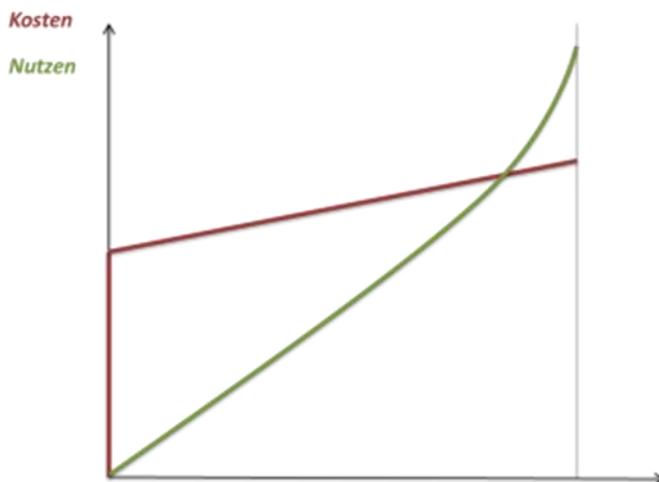


Abbildung 31: Kosten-Nutzen-Kurve bei der Adaptiven Zuglenkung (eigene Darstellung)

#### 5.4.5 Ableitung von Entscheidungs- und Finanzierungskonzepten

Für die Adaptive Zuglenkung lassen sich drei Kompensationsmodelle identifizieren:

- Durch eine Anpassung der Trassenpreise lassen sich die Innovationsgewinne auf Seiten der Infrastrukturbetreiber an die Eisenbahnverkehrsunternehmen weiter geben. Allerdings ist bei einer pauschalen Reduktion der Trassenpreise für alle Infrastrukturnutzer nicht sichergestellt, dass diese tatsächlich die Geräte für die Adaptive Zuglenkung auf der Lokomotive verfügbar haben und einsetzen. Ausserdem würde der Trassenpreis als grosser Kostenblock modifiziert, um den sehr kleinen Kostenblock der Ausrüstung der Triebfahrzeuge mit den Endgeräten für die Adaptive Zuglenkung gegen zu finanzieren.
- Eine Vorfinanzierung der Kosten der Eisenbahnverkehrsunternehmen durch den Infrastrukturbetreiber ist angesichts der geringen notwendigen Investitionen in die triebfahrzeugseitig verbauten Geräte ein sehr gut gangbarer Weg.
- Der Infrastrukturbetreiber kann durch die Integration der Adaptiven Zuglenkung in das Zug Sicherungssystem ETCS einen regulatorischen Zwang auf die Eisenbahnverkehrsunternehmen ausüben. Mit der Integration in ETCS haben Zugfahrten die Anweisungen aus der adaptiven Zuglenkung zwangsweise einhalten. Allerdings ergeben sich durch die Integration in das Sicherungssystem deutlich höhere Investitionskosten im Vergleich zur konventionellen Lösung.

Der Nutzen des Infrastrukturbetreibers übersteigt die Kosten für die Geräte um ein mehrfaches, so dass der Infrastrukturbetreiber ein sehr grosses Interesse an der Ausrüstung hat. Dies ermöglicht es dem Infrastrukturbetreiber, eine Vorfinanzierung der Geräte auf der Lokomotive vorzunehmen. Die Trassenpreise sind für derartig kleine Massnahmen ein zu grosser Hebel und die Integration in ETCS erhöhte die Kosten des Systems deutlich, ohne einen Mehrwert zu generieren. Im Endeffekt hat sich SBB Infrastruktur daher auch für den Weg einer Vorfinanzierung entschieden.

## 6 Synthese

### 6.1 Beurteilung von Wirkung und Transaktionsaufwand

Die Wirkungen und die Transaktionsaufwendungen der einzelnen Kompensationsmodelle wurden aufgrund der Fallbeispiele und weiterer Überlegungen abgeleitet. Zusammenfassend lassen sich die Vor- und Nachteile der Kompensationsmodelle der nachstehenden Tabelle entnehmen:

*Tabelle 9: Vorteile und Nachteile der Kompensationsmodelle*

Modell	Vorteile	Nachteile
Veränderung bestehender Zahlungsflüsse	Keine neuen Zahlungsbeziehungen. Systemeffekte können zwischen den Akteuren weiter gegeben werden.	Bei mehrstufigen Systemen: «Versickern» der Zahlungen im System. Veränderungen der Zahlungsflüsse können ungewollte Nebeneffekte haben. Ggf. hoher Transaktionsaufwand.
Direkte Kompensation	Keine «Versickern» von Zahlungen im System. Einfache Geber-Empfänger-Beziehungen. Geringer Transaktionsaufwand.	Bei mehreren Gebern und/oder Empfängern: Aufteilungsproblem der Zahlungsflüsse. Neue Zahlungs- und Abrechnungsbeziehungen.
Vorfinanzierung durch den Profiteur	Der Profiteur trägt das finanzielle Risiko und die Investments.	Eingriffe in die Handlungsautonomie anderer Systembeteiligter. Kostenabgrenzung ggf. schwierig.
Regulatorischer Zwang	Einführung der Innovation kann zwangsweise durchgesetzt werden.	Kann nur durch Akteure mit regulatorischer Macht (i.d.R. Infrastrukturbetreiber) durchgesetzt werden.
Fondslösung	Auch Innovationen mit sehr vielen Akteuren können finanziert werden.	Hoher Koordinations- und Überwachungsaufwand für den sinnvollen Mitteleinsatz.

### 6.2 Regulatorische Einbindung

#### 6.2.1 Generelle Einbindung

Für die Umsetzung heute nicht vorhandener Finanzierungslösungen von Innovationen muss eine Einbindung der Kompensationsmodelle in den regulatorischen Rahmen erfolgen. Dabei ergeben sich folgende Randbedingungen für die einzelnen Kompensationsmodelle:

- Die **Veränderung bestehender Zahlungsflüsse** kann vor allem durch die Veränderung der Trassenpreise<sup>3</sup> über die Integration zusätzlicher (möglicherweise auch nicht unmittelbar mit den Systemkosten verbundener) Preiskomponenten erfolgen. Derartige Kompensationsmodelle sind bereits zur Förderung der Umrüstung auf lärm arme Bremsen bei Güterwagen angewandt worden. Damit ist die Umsetzbarkeit dieser Kompensationsmethode nachgewiesen. Allerdings ist das Volumen der Kompensation auf den Trassenpreisanteil der Kosten der Eisenbahnverkehrsunternehmen bzw. der Erträge der Infrastrukturbetreiber begrenzt.
- Die **Einbindung neuer Zahlungsflüsse** in das System besitzt gegenüber der Veränderung bestehender Zahlungsflüsse ein deutlich grösseres Steuerungspotenzial. Allerdings ist die Einbindung neuer Zahlungsflüsse in das System regulatorisch schwierig umzusetzen. Ausserdem ist die Bemessung der Kompensationszahlungen schwierig zu bemessen, da eine genaue Abgrenzung der Aufwendungen und Erlöse durch eine Innovation schwierig ist. Dennoch sind bereits Methoden entwickelt worden, um derartige Zahlungsflüsse zu quantifizieren. Ein Beispiel ist der Nettokostenausgleich für Aufgaben, die im Rahmen eines Service Public wie beispielsweise der Post erbracht werden [13].
- Die **Vorfinanzierung durch den Profiteur** ist eine einfache und unkomplizierte Finanzierungsoption. Hier stellt sich nur die Frage, inwiefern diese Investitionen abgesichert werden können für den Fall, dass vorfinanzierte Geräte zweckentfremdet werden oder beispielsweise im Rahmen eines Unternehmenskonkurses verloren gehen.
- Der **regulatorische Zwang** zur Einführung bestimmter Systeme ist vor allem bei sicherheits- und umweltrelevanten Systemen einfach umzusetzen. Allerdings ist hier zu beachten, dass durch regulatorischen Zwang im Allgemeinen die Gesamtkosten des Systems steigen.
- Eine **Fondslösung** wäre durch eine Sonderabgabe der systembeteiligten Unternehmen zu finanzieren. Eine Erhebung über den Trassenpreis ist dabei eher auszuschliessen, da hierdurch die Systematik der Normgrenzkosten nicht mehr eingehalten würde. Die Verteilung des Fonds und die Entscheidung über die Finanzierung konkreter Umsetzungsprojekte wird als eher schwierig gesehen. Für Grundlagenforschung wäre ein solcher Fonds aber durchaus geeignet.

## 6.2.2 Einordnung in die Europäische Regulation

Die Europäische Union regelt in Artikel 107 des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union die grundsätzlichen Rahmenbedingungen für staatliche Beihilfen [7]. Die Schweiz hat diese Rahmenbedingungen im Freihandelsabkommen mit der Europäischen Union übernommen, sofern diese den Handel zwischen der Schweiz und der Europäischen Union beeinflussen [24]. Hinsichtlich der staatlichen Beihilfen gilt der übergeordnete Grundsatz, dass staatliche Beihilfen, „die durch die Be-

---

<sup>3</sup> Im Gegensatz zu den vollkostendeckenden Trassenpreisen sind hier auch Trassenpreisveränderungen möglich, die gezielt bestimmte Verhaltensweisen fördern (z.B. Lärmbonus, Verschleissfaktoren, Bonus für bestimmte Traktionsarten, Sicherungssysteme etc.). So kann durch die Integration zusätzlicher Preisfaktoren gezielt eine Kompensation der Wirkungen einer bestimmten Innovation erfolgen.

günstigung bestimmter Unternehmen oder Produktionszweige den Wettbewerb verfälschen oder zu verfälschen drohen, mit dem Binnenmarkt“ unvereinbar sind [7]. Als Ausnahmen grundsätzlich mit dem Binnenmarkt vereinbar sind Beihilfen sozialer Art an Verbraucher, zur Beseitigung von Schäden von Naturkatastrophen sowie zur Beseitigung der durch die deutsche Teilung verursachten wirtschaftlichen Nachteile. Vereinbar mit dem Binnenmarkt können ausserdem Beihilfen sein zur Regionalförderung, zur Förderung von Vorhaben von gemeinsamem europäischem Interesse, zur Förderung gewisser Wirtschaftszweige oder Wirtschaftsgebiete, zur Kulturförderung sowie sämtliche Beihilfen, die der Europäische Rat auf Vorschlag der Europäischen Kommission bestimmt. Alle diese Ausnahmen tangieren den Bereich der Bahninnovationen nicht. Damit gilt für diese Innovationsbeihilfen, dass sie den Wettbewerb nicht beeinflussen dürfen.

Die konkreten Regelungen für Innovationsbeihilfen im Eisenbahnsektor finden sich in der Regulierung zu staatliche Beihilfen an Eisenbahnunternehmen [10] sowie zu Forschung, Entwicklung und Innovation [7].

Aus der Regulierung zu staatlichen Beihilfen für Eisenbahnunternehmen [10] lassen sich folgende Rahmenbedingungen ableiten:

- Eine öffentliche Finanzierung des Infrastrukturausbaus kann als Beihilfe betrachtet werden. Sofern „alle Nutzer über [einen] gleichberechtigten und diskriminierungsfreien Zugang zu einer Infrastruktur, für die ein mit dem Gemeinschaftsrecht vereinbartes Entgelt gezahlt wird, so geht die Kommission in der Regel davon aus, dass die öffentliche Förderung keine Beihilfe darstellt.“ Damit sind Trassenpreisvergünstigungen in der Regel mit dem Beihilferecht vereinbar.
- Für die Förderung von Fahrzeugen sind Beihilfen möglich für eine Koordinierung des Verkehrs, für die Umstrukturierung von Eisenbahnunternehmen, für kleine und mittlere Unternehmen, für den Umweltschutz, als Ausgleich für gemeinwirtschaftliche Verpflichtungen sowie unter bestimmten Rahmenbedingungen für regionale Zielsetzungen. Insbesondere im Bereich des Umweltschutzes sind damit direkte Zahlungsflüsse möglich.
- Beihilfen für Massnahmen zur Koordinierung des Verkehrs und zur Interoperabilität sind möglich, wenn durch diese der intermodale Wettbewerb nicht unzulässig beeinträchtigt wird. Dieses ist nicht der Fall, wenn Mehrkosten bei der Infrastrukturnutzung oder Vorteile durch geringere externe Kosten gegenüber anderen Verkehrsträgern dem Eisenbahnunternehmen erstattet werden.

Beihilfen zur Forschung und Entwicklung sind möglich für die Grundlagenforschung, die industrielle Forschung und die experimentelle Entwicklung [7]. Damit können hierüber die Entwicklung von Innovationen gefördert werden, eine Markteinführung bereits marktreifer Innovationen ist hierüber jedoch nicht förderfähig. Die Höhe der Förderung ist abhängig von der Art der Forschung und Entwicklung und kann zwischen 25% bei der experimentellen Entwicklung und 100% bei der Grundlagenforschung liegen. Auch Prozess- und Betriebsinnovationen können förderfähig sein. Es gibt innerhalb der

europäischen Regulation keine konkreten Verbote, diesen Bereich auch über eine Abgabe aller Unternehmen des jeweiligen Industriesektors zu finanzieren.

Im Bereich der Personenverkehrsdienste gibt es zusätzlich die Möglichkeit, gemeinwirtschaftliche Leistungen abzugelten [8], sofern die Vergabe der gemeinwirtschaftlichen Leistungen im Selbsteintritt oder durch öffentliche Ausschreibung erfolgt. Hierüber können auch Innovationen im Bahnsystem finanziert werden, sofern diese im Rahmen eines Versorgungsauftrages erfolgen.

Für die einzelnen Finanzierungsmodelle ergeben sich damit aus den Europäischen Regulierungen folgende Rahmenbedingungen:

*Tabelle 10: Rahmenbedingungen aus der Europäischen Regulation*

Modell	Rahmenbedingungen aus der Europäischen Regulation
Veränderung bestehender Zahlungsflüsse	<b>Intramodal:</b> Alle Marktteilnehmer müssen gleich belastet werden. <b>Intermodal:</b> beschränkt auf die Mehrkosten der Infrastrukturnutzung und die vermiedenen externen Kosten im Vergleich zu anderen Verkehrsträgern
Direkte Kompensation	Für die <b>Innovationseinführung</b> schwierig umzusetzen, sofern die Innovation nicht als gemeinwirtschaftliche Leistung klassifiziert wird. Bei der <b>Forschung und Entwicklung</b> im Rahmen der zulässigen Förderhöchstsätze ist das Instrument gut geeignet.
Vorfinanzierung durch den Profiteur	Keine regulatorischen Rahmenbedingungen, sofern die Kompensation zwischen Wirtschaftsunternehmen erfolgt. Im Bereich der öffentlichen Unternehmen gelten die Regelungen der direkten Kompensation.
Regulatorischer Zwang	Keine Einschränkungen
Fondslösung	Im Rahmen der Grundlagenforschung, der industriellen Forschung und der experimentellen Entwicklung möglich. Bei der Markteinführung regulatorisch nicht umsetzbar.

### 6.3 Beurteilung der Umsetzbarkeit von Innovationen

Die Umsetzung von Innovationen gestaltet sich um so einfacher, je weniger komplex die zugrundeliegenden Kompensationsbedürfnisse sind und je weniger Systembeteiligte von einer Innovation betroffen sind. Insofern lassen sich begrenzte Innovationen in einzelnen Subsystemen der Bahn einfach umsetzen, während komplexe Systemoptimierungen eher schwierig einzuführen sind. Hier unterscheidet sich die Bahn nicht von anderen technischen Systemen. Auch im Strassenverkehr und in der Luftfahrt sind Systeme mit grossem Anpassungsbedarf nicht oder nur schwierig umzusetzen.

## Komplexität der Umsetzung von Innovationen

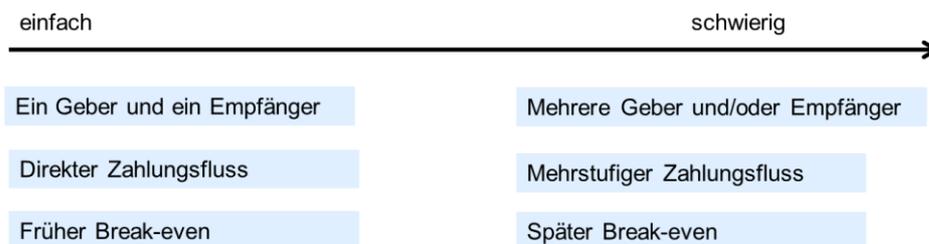


Abbildung 32: Komplexität der Umsetzung von Innovationen (eigene Darstellung)

### 6.4 Bewertung der Kompensationsmodelle im Vergleich zu vollkostendeckenden Trassenpreisen

Eine Umstellung der Infrastrukturnutzungsentgelte (vor allem Trassenpreise) auf Vollkostendeckung ist im Prinzip ein Sonderfall der Veränderung bestehender Zahlungsflüsse im System. Grundsätzlich ist bei einer solchen Umstellung zu bedenken, dass die langfristigen Planungen und Business Cases der beteiligten Unternehmen (Infrastrukturbetreiber und Eisenbahnverkehrsunternehmen) auf Trassenpreisen zu Normgrenzkosten basieren. Eine Verschiebung hin zu vollkostendeckenden Trassenpreisen führt nicht nur zu einer Mehrbelastung der Eisenbahnverkehrsunternehmen, sondern hat auch eine Verschiebung der Verhältnisse der Kostenkomponenten für die Eisenbahnverkehrsunternehmen zur Folge. Damit können Innovations- und Investitionsentscheidungen, die auf Basis von Trassenpreisen zu Grenzkosten ökonomisch sinnvoll gewesen sind, sich im Nachhinein als falsch erweisen. Vor allem Innovationen, die eine Optimierung des Personaleinsatzes oder des Rollmaterials zu Lasten der Infrastrukturnutzung ermöglichen, verlieren so ökonomische Vorteile.

Bei den Fallbeispielen wären – wie dort bereits beschreiben - vor allem die schnellen und flinken Güterzüge betroffen. Diese haben ein geringeres Gewicht und sind kürzer als konventionelle Güterzüge, so dass bei gleicher Transportleistung mehr Züge gefahren werden müssen. Hierdurch erhöhen sich der Bedarf an Trassen und damit die Trassennutzungsentgelte. Nutzen entsteht durch effizienteren Personal- und Triebfahrzeugeinsatz sowie in geringem Umfang durch zusätzliche Einnahmen. Bei vollkostendeckenden Trassennutzungsentgelten würde die Erhöhung der Trassennutzungsentgelte um ein Mehrfaches höher ausfallen als heute. Damit müsste aber der Nutzen entsprechend stärker steigen, so dass der Break-even später oder gegebenenfalls nicht erreicht wird.

Die Anpassung zu vollkostendeckenden Trassenpreisen würde zwar einen Beitrag zu einer verbesserten Finanzierung der Bahninfrastruktur durch die Nutzer leisten. Durch den grösseren Einfluss der Infrastrukturnutzungsentgelte wird eine Verschiebung bei den Innovationsstrategien der Eisenbahnverkehrsunternehmen hin zu Innovationen stattfinden, die die Effizienz der Infrastrukturnutzung verbes-

sern. Dafür werden Innovationen, die andere Bereiche des Systems Bahn optimieren, in geringerem Masse umgesetzt. Aufgrund der fehlenden Steuerungswirkung vereinfacht eine derartige Veränderung damit nicht Innovationen an sich. Insofern müssen für eine gezielte Förderung von Innovationen im System Bahn andere Finanzierungsmodelle gefunden werden.

## 7 Gesamtbeurteilung und Empfehlungen

Aus den vorhergehenden Überlegungen lässt sich, wie bereits die Fallbeispiele gezeigt haben, kein optimales Finanzierungsmodell für Innovationen ermitteln, sondern aufgrund der Vor- und Nachteile der Kompensationsmodelle sind für unterschiedliche Anwendungsfälle jeweils andere Kompensationsmodelle zu bevorzugen:

- Innovationen, die bei einem Systembeteiligten einen Nettonutzen (unter Berücksichtigung einer Übernahme der bei anderen Systembeteiligten anfallenden Kosten) generieren, können von diesem vorfinanziert werden. Hier ist nur eine Absicherung der Investition erforderlich.
- Für die Umsetzung einsatzreifer Innovationen sind je nach Verortung der Wirkungen bestehende Zahlungsflüsse anzupassen oder direkte Kompensationen einzuführen. Die Anpassung bestehender Zahlungsflüsse ist vor allem bei wenigen Beteiligten, die bereits einen Zahlungsfluss untereinander haben, zu bevorzugen.
- Für Grundlagenforschung ist eine Fondslösung anzustreben. Hierdurch lässt sich eine gleichmäßige Verteilung der hohen Innovationsrisiken unter allen Systembeteiligten erzielen.
- Regulatorischer Zwang ist nur bei sicherheits- oder umweltrelevanten Innovationen sinnvoll. Ansonsten verteuern regulatorische Regelungen nur das System Bahn.

Die Verwendung vollkostendeckender Trassenpreise ist eine unspezifische Fördermöglichkeit, die eine gezielte Förderung bestimmter Innovationen eher erschwert.

Die Einbindung in die Europäische Regulation ist an strenge Rahmbedingungen geknüpft. Der Trassenpreis sowie der regulatorische Zwang sind als Innovationsförderinstrument für die Einführung von Innovationen am einfachsten umzusetzen. Für die Forschung und Entwicklung sind auch direkte Zahlungen oder eine Fondslösung möglich. Eine Vorfinanzierung ist nur im Rahmen der Abgeltung gemeinwirtschaftlicher Leistungen im Personenverkehr sowie zwischen Wirtschaftsunternehmen möglich.

## 8 Literatur

- [1] Anderson, S.; Allen, J.; Browne, M. (2005) Urban logistics—how can it meet policy makers' sustainability objectives? *Journal of Transport Geography* **13** (1) 71-81
- [2] Balmer, P.; Gerber, P. (2009) Marti-Express-Shuttle – der erste normalspurige Cargo-Pendelzug der Schweiz *Schweizer Eisenbahn-Revue* **5/2009** 222–227
- [3] Bergmann, Gustav; Daub, Jürgen (2008) Systematisches Innovations- und Kompetenzmanagement, Grundlagen – Prozesse – Perspektiven, 2. Auflage, *GWV-Verlag*, Wiesbaden
- [4] Biesenack, Hartmut; George, Gerhard; Hofmann, Gerhard et. al. (2006): Energieversorgung elektrischer Bahnen, 1. Auflage, B. G. Teubner Verlag, Wiesbaden
- [5] Brockhoff, Klaus (1999) Forschung und Entwicklung: Planung und Kontrolle, 5. Auflage, *R. Oldenbourg Verlag*, München.
- [6] Bruckmann, Dirk; Fumasoli, Tobias (2011) Einsatzoptionen der Intra-Zugkommunikation: Studie im Rahmen der Abgeltungsvereinbarung Einzelwagenverkehr zwischen der SBB Cargo AG und dem Bundesamt für Verkehr, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme IVT, Zürich
- [7] Europäische Union (2006) Gemeinschaftsrahmen für staatliche Beihilfen für Forschung, Entwicklung und Innovation, Amtsblatt der Europäischen Union C323/1 vom 30.12.2006.
- [8] Europäische Union (2007) Verordnung (EG) Nr. 1370/2007 des Europäischen Parlaments und des Rates vom 23.10.2007 über öffentliche Personenverkehrsdienste auf Schiene und Strasse und zur Aufhebung der Verordnungen (EWG) Nr. 1191/69 und (EWG) Nr. 1107/70 des Rates, Amtsblatt der Europäischen Union L315/1 vom 23.10.2007.
- [9] Europäische Union (2008) Konsolidierte Fassung des Vertrages über die Arbeitsweise der Europäischen Union, Amtsblatt der Europäischen Union 115 vom 09.05.2008.
- [10] Europäische Union (2008a) Gemeinschaftliche Leitlinien für staatliche Beihilfen an Eisenbahnunternehmen, Amtsblatt der Europäischen Union C184/13 vom 22.07.2008
- [11] De Vos, P.H.; Bergendoff, M. ; Brennan, M. ; van der Zijpp, F. (2006) Implementing the retrofitting plan for the European rail freight fleet *Journal of Sound and Vibration* **293** (3-5) 1051-1057
- [12] Ecoplan (2012) Evaluation der LSVA-Rückerstattung und der Betriebsabteilung als Förderinstrumente im Kombinierten Verkehr *Schlussbericht zuhanden des Bundesamtes für Verkehr*.
- [13] Finger, Matthias; Trinkner, Urs (2014) Service Public in der Schweiz – Herausforderungen aus ökonomischer Sicht, *Swiss Economics Working Paper* 0043, Zurich
- [14] Fumasoli, T. (2010) Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz, Masterarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
- [15] Graf, Hans Georg (2009) Quartäre Evolutionsphase Wissensgesellschaft, in Popp, Reinhold; Schüll, Elmar: *Zukunftsforschung und Zukunftsgestaltung, Beiträge aus Forschung und Wissenschaft; Springer-Verlag*, Berlin, Heidelberg
- [16] KCW (2011) Studie zur Ermittlung von Transaktionskosten unterschiedlicher Anreizmodelle für die Umrüstung des Güterwagen-Bestandes auf Verbundstoff-Bremssohlen.
- [17] Lüthi, Marco (2009) Improving the Efficiency of Heavily Used Railway Networks through Integrated Real-Time Rescheduling, Dissertation, *Schriftenreihe des IVT* **147**, Zürich

- [18] Lüthi, Marco; Weidmann, Ulrich; Bepperling, Sonja-Lara; Hürlimann, Daniel (2009) Strategien für einen hochwertigen Betrieb von stark belasteten Eisenbahnnetzen, *ZEVrail*, **133** (6-7) 234–239
- [19] Moll, Stephan; Weidmann, Ulrich (2009) Anreizwirkung und Harmonisierung von Trassenpreissystemen – Ein struktureller Vergleich am Beispiel von Deutschland, Frankreich und der Schweiz, *Internationales Verkehrswesen*, **61** (11) 430–433
- [20] Regli, L. (2007) Produktionsverbesserungen im Wagenladungsverkehr, Masterarbeit, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
- [21] Santos, G. (2008) The London experience in Verhoef, E. et.al. *Pricing in road transport: A Multi-disciplinary perspective* 209 - 226
- [22] Santos, G.; Shaffer, B. (2004) Preliminary Results of the London Congestion Charging Scheme *Public Works Management & Policy* **9** (2) 164 - 181
- [23] Schranil, Steffen (2008) Stadt- und Regionalbahn Zwickau, Hauptseminararbeit an Professur für elektrische Bahnen, TU Dresden
- [24] Schweizerische Eidgenossenschaft und Europäische Wirtschaftsgemeinschaft (2005) Abkommen zwischen der Schweizerischen Eidgenossenschaft und der Europäischen Wirtschaftsgemeinschaft, SR 0.632.401, Stand am 29.03.2005.
- [25] Stern, Thomas; Jaberg, Helmut (2007) Erfolgreiches Innovationsmanagement, Erfolgsfaktoren – Grundmuster – Beispiele, 3. überarbeitete und erweiterte Auflage, *GWV Fachverlag*, Wiesbaden
- [26] Steven, Marion (2012) *BWL für Ingenieure*, 4. Auflage, *Oldenbourg Wissenschaftsverlag*
- [27] Stiller, Christoph (2005) Fahrerassistenzsysteme - Von realisierten Funktionen zum vernetzt wahrnehmenden, selbstorganisierenden Verkehr in *Fahrerassistenzsysteme mit maschineller Wahrnehmung*, herausgegeben durch Maurer, Markus und Christoph Stiller, *Springer-Verlag*, Berlin und Heidelberg
- [28] Stolz, Theo (2007) *Triebfahrzeuge der Schweiz*, Taschenlexikon, Stand 1. Januar 2006, Minirex, Luzern
- [29] Troche, G. (2005) High-speed rail freight – Sub-report in Efficient train systems for freight transport, KTH Railway Group, Report 0512
- [30] Weidmann Ulrich, Wichser Jost, Fries Nikolaus, Schmidt Philipp, Schneebeli Hannes (2007) Studie zu einem neuen schweizerischen Trassenpreissystem, *Schriftenreihe des IVT* **135**, Zürich
- [31] Weidmann, Ulrich (2003) Benchmarking: Motor der bahntechnischen Innovation, *Mitgliederversammlung der Vereinigung Schweizerischer Bahntechnik-Unternehmen*, Bern
- [32] Weidmann, Ulrich (2008) Innovationsförderung durch neues Trassenpreissystem – Die Fallstudie LEILA, *Jahrbuch 2008*, 207–219, Schweizerische Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft, St. Gallen
- [33] Weidmann, Ulrich; Frank, Patrick; Fumasoli, Tobias; Moll, Stephan (2012) Optimale Netznutzung und Wirksamkeit der Instrumente zu deren Lenkung, Studie im Rahmen des Forschungsfonds der SBB, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
- [34] Weidmann, Ulrich; Moll, Stephan (2010) Ein lärmabhängiges Trassenpreissystem für die Schweiz, *Schriftenreihe des IVT* (152), Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich

- [35] Weidmann, Ulrich; Moll, Stephan; Schmidt, Philipp (2009) Ein Trassenpreissystem aus Umweltsicht unter besonderem Augenmerk des Lärm, *Schriftenreihe des IVT (143)*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
- [36] Weidmann, Ulrich; Wichser, Jost (2010) Perspektiven des Bahngüterverkehrs im 21. Jahrhundert – Beobachtungen und Überlegungen, *Jahrbuch 2010*, 129–156, Schweizerische Verkehrswissenschaftliche Gesellschaft, St. Gallen
- [37] Weidmann, Ulrich; Wichser, Jost; Schmidt, Philipp (2008) Systemvorschlag für ein neues schweizerisches Trassenpreissystem, *Schriftenreihe des IVT (137)*, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
- [38] Weidmann, Ulrich; Wichser, Jost; Höppner, Silko; Kirsch, Uwe; Schranil, Steffen (2010) Regiotram Biel, Pflichtenheft Bahntechnik für Vorprojektphase, Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich
- [39] Wichser, Jost; Fries, Nikolaus; Schmidt, Philipp; Schneebeli, Hannes (2007) Studie zu einem neuen schweizerischen Trassenpreissystem, Zürich