
Forschungsprojekt des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI)

Symposium Innovativer Güterwagen

Ergebnisse Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



Berlin, den 11. April 2019

A

Einführung und Methodik

B

Wirtschaftlichkeit des innovativen Wagendesigns

C

Wirtschaftlichkeit der innovativen Komponenten

D

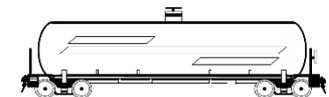
Hauptergebnisse der innovativen Güterwagen

Die Erprobung der innovativen Güterwagen und ihrer Komponenten wurde mit einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung unterlegt



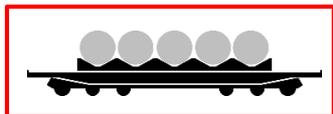
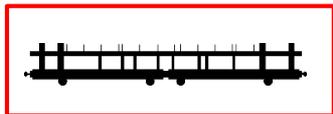
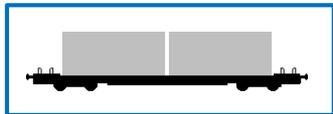
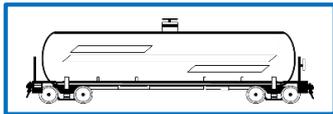
Für die vier innovativen Güterwagen wurde jeweils ein Ertragswert-Modell erstellt, um die Wirtschaftlichkeitsberechnung durchzuführen und folgende Kernfragen zu beantworten:

- Im Vergleich zum Referenzwagen – lohnt sich die Investition in einen innovativen Güterwagen wirtschaftlich? (je Güterwagenkategorie)
- Welche Komponenten lassen sich wirtschaftlich im innovativen Güterwagen einsetzen und sind diese Ergebnisse übertragbar auf andere Güterwagen?
- Welche innovativen Komponenten sind im Hinblick auf die Reduzierung von Energieverbrauch und Lärmemission besonders effektiv?
- Welche Effekte können zur Erhöhung der Wirtschaftlichkeit herangezogen werden (z.B. Instandhaltung, Prozess, Energie etc.)?



Überblick Wirtschaftlichkeitsbetrachtung – in vier Tools wurden die LCC und (Mehr-) Erlöse der IGW gegenübergestellt

4 Tools (auf Excel-Basis)



Input

Parameter	ID	Hersteller und Umrechnungsfaktor	Wertwert	Währung	Einheit	Werte für geplante Investitionsperiode	Werte
Einheit				€			
Radatz A	31		10.000	€	10	10.000	10.000
Radatz B	4		10.000	€	10	10.000	10.000
Radatz Referenz	34		10.000	€	10	10.000	10.000
Drehgestell A	8		10.000	€	10	10.000	10.000
Drehgestell B	11		10.000	€	10	10.000	10.000
Drehgestell Referenz	12		10.000	€	10	10.000	10.000
Digitale Bremsanlage	21		10.000	€	10	10.000	10.000
EP Bremse	16		10.000	€	10	10.000	10.000
Radatzbeschichtung A	24		10.000	€	10	10.000	10.000
Radatzbeschichtung B	6		10.000	€	10	10.000	10.000
Radachlaufbolzen A	28		10.000	€	10	10.000	10.000
Radachlaufbolzen B	23		10.000	€	10	10.000	10.000
Automatische Pufferschmiereinrichtung	33		10.000	€	10	10.000	10.000
Radachlaufbolzen A	28		10.000	€	10	10.000	10.000
Scheibenbremse	15		10.000	€	10	10.000	10.000
Scheibenbremse	14		10.000	€	10	10.000	10.000
Basis-Telematik	17		10.000	€	10	10.000	10.000
Einheitschassis	19		10.000	€	10	10.000	10.000
Fahrzeugstruktur (RW)	9		10.000	€	10	10.000	10.000
Fahrzeugstruktur (RW)	10		10.000	€	10	10.000	10.000
Strom-/Datenbusleitung 110 V	18		10.000	€	10	10.000	10.000



Output

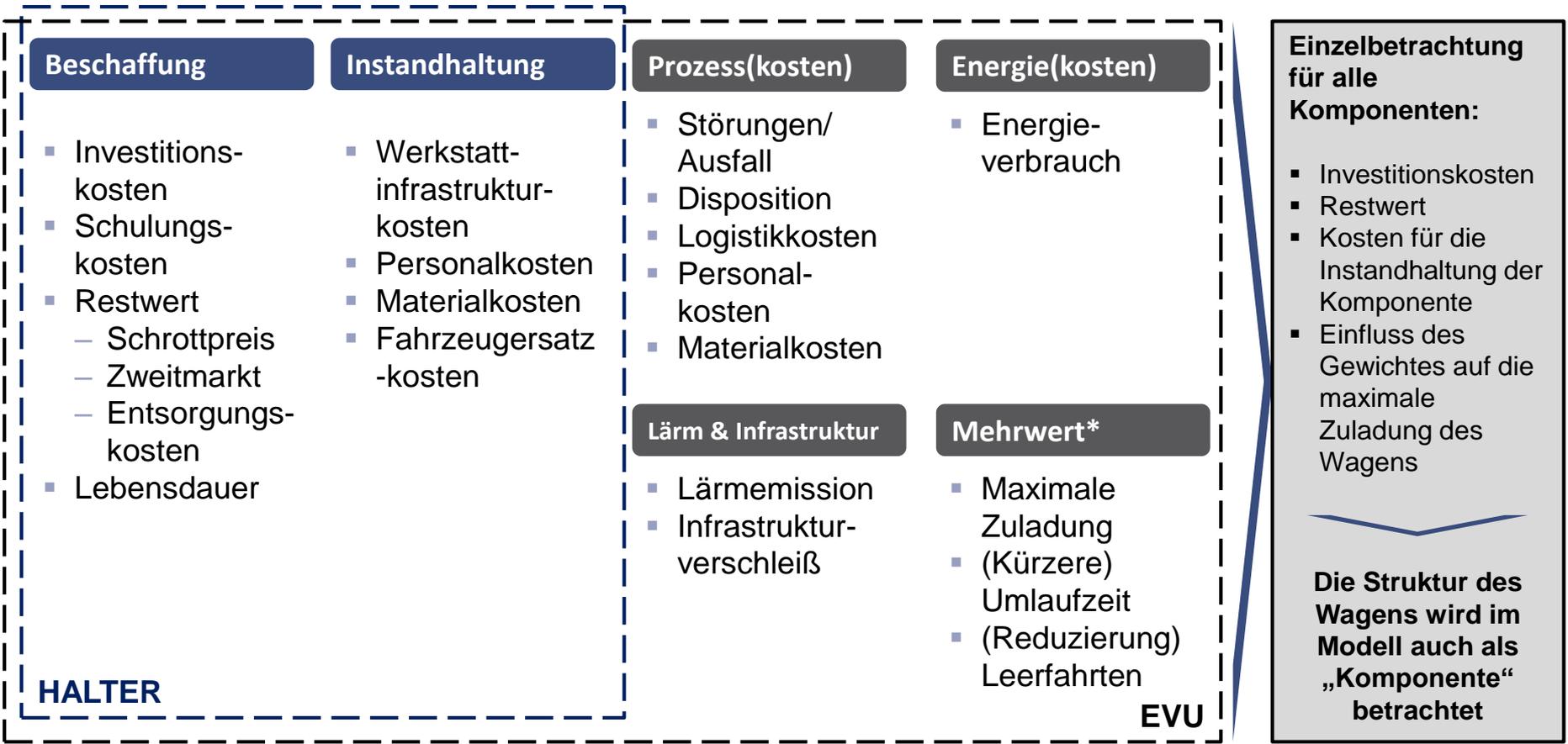
Modul	Wert
Einnahmen (Betreiber)	
Einnahmen (Halter)	
Fahrzeugstruktur (RW)	
Drehgestell	
Radatz A	
Scheibenbremse	
Radachlaufbolzen	
Radatzbeschichtung A	
Basis-Telematik	
EP-Bremse	
Strom-/Datenbusleitung 110 V	
Automatische Pufferschmiereinrichtung	
Digitale Bremsanlage	
Total Barwert	

Modul	Wert
Einnahmen (Betreiber)	
Einnahmen (Halter)	
Fahrzeugstruktur (RW)	
Drehgestell Referenz	
Radatz Referenz	
Klotzbremse	
Total Barwert	

Nutzung realer (vertraulicher) Input-Parameter von VTG / DB Cargo zur realitätsnahen Abbildung der IGW im Betriebseinsatz

Analyse der Auswirkungen innovativer Komponenten und des Designs auf die LCC und somit den Ertragswert des Wagens zur wirtschaftlichen Bewertung des Invest

Der Modellaufbau berücksichtigt zahlreiche Parameter aus der Halter- und Betreibersicht



* = zusätzliche Erlöse

A

Einführung und Methodik

B

Wirtschaftlichkeit des innovativen Wagendesigns

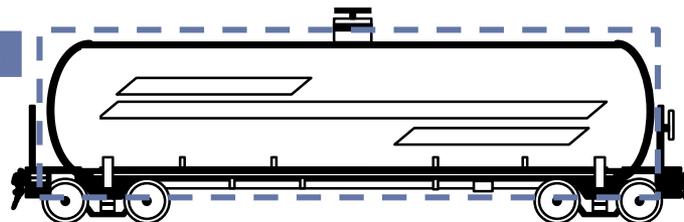
C

Wirtschaftlichkeit der innovativen Komponenten

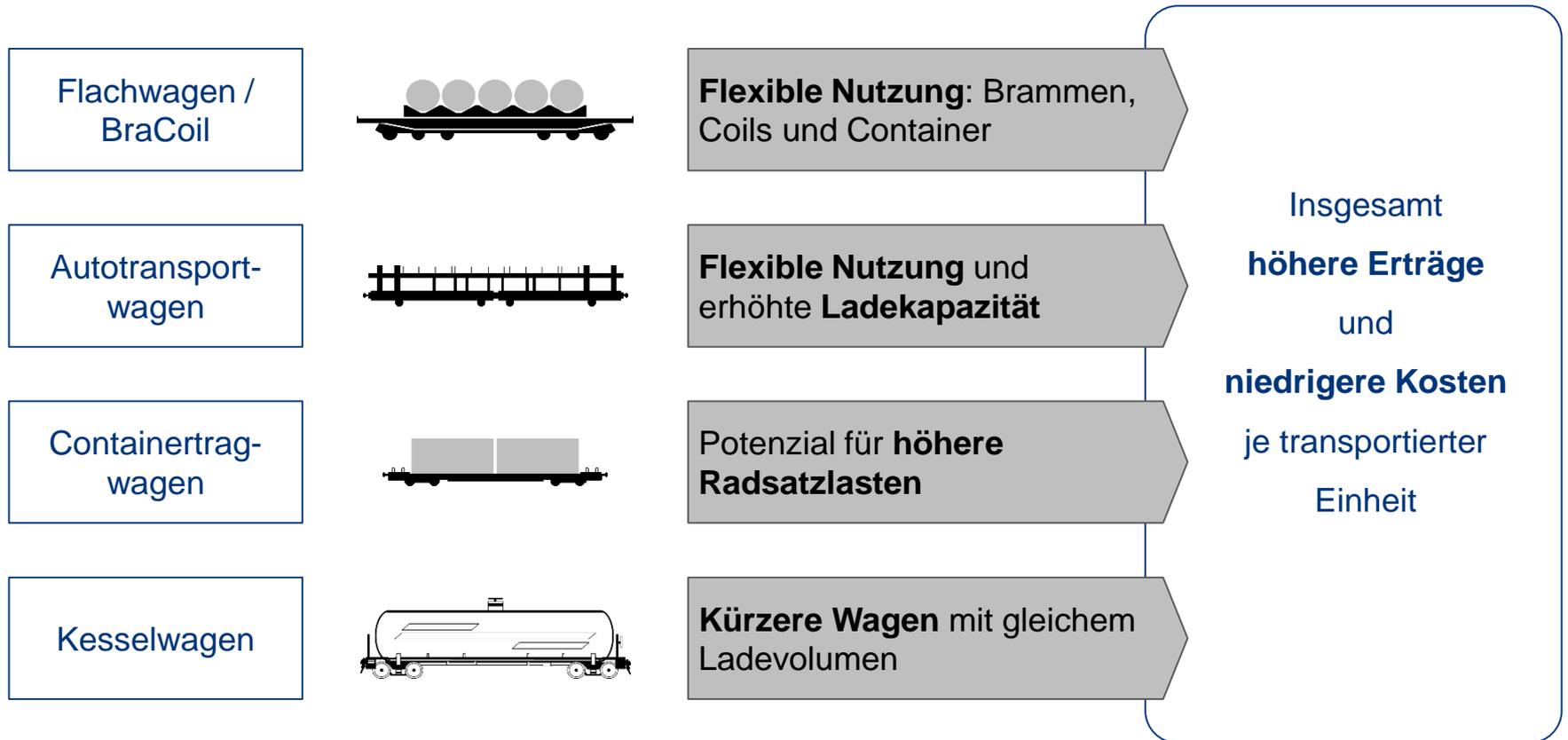
D

Hauptergebnisse der innovativen Güterwagen

Rahmen/Aufbau



Die innovativen Wagenkonzepte bzw. das neue Design der Güterwagen überzeugen in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung



Flachwagen: Flexibler Einsatz ermöglicht den Einsatz der Wagen Dreiecksverkehren somit effizienteren Flotteneinsatz

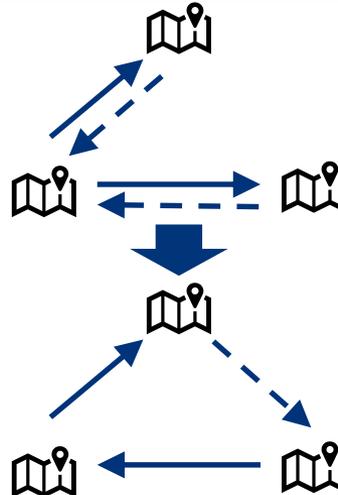


Flachwagen / BraCoil - Einsatz



Flexible Nutzung

Brammen, Coils und Container können mit demselben Flachwagen transportiert werden



Steigerung der operationellen Effizienz

Leerfahrten – v.a. durch den Einsatz der Wagen im „Dreiecksverkehr“ – werden von 50% auf 33% reduziert. Der Fahrzeugbedarf reduziert sich merklich.

Veränderung

Nutzen

Auswirkung

Autotransportwagen: Durch flexiblere Beladung können 1-2 Pkw mehr pro Güterwagen transportiert werden

Autotransportwagen - Einsatz



Erhöhter Nutzwert und flexiblere Dispositionsmöglichkeiten durch flexiblere und somit höhere Zuladung (1-2 Pkw)

Anstelle von 9 Fahrzeugen beim Referenz-Güterwagen können 11 und somit zwei zusätzliche Pkw im IGW transportiert werden – insb. die Höhenverstellung beider Lageebenen ermöglicht sowohl den Transport von Sportwagen (mit wenig Bodenfreiheit) sowie SUV (mit hohem Aufbau)

Effizienzsteigerung der Fahrzeuge im Betriebseinsatz um etwa 20%

Veränderung

Nutzen

Auswirkung

Containertragwagen: Auslegung auf 25 t Radsatzlast bietet zukünftige Potenziale (bei gleichem Gewicht des Wagens)

Containertragwagen - Einsatz



**Allein durch die Struktur des IGW (Containertragwagen)
ergeben sich keine Effekte für die Barwertberechnung.**

**Da der Wagen allerdings für 25 t Achslast ausgelegt wurde
und hierbei das Mehrgewicht einer stabileren Konstruktion kompensiert wurde,
bestehen Potenziale für die zukünftige Nutzbarkeit der Wagen (die bis zu 40 Jahre im Einsatz sind),
wenn die Schieneninfrastruktur entsprechend ausgebaut wird.**

Veränderung



Nutzen

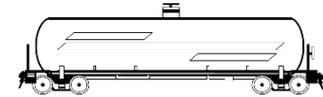


Auswirkung

Kesselwagen: Kürzere Baulänge bringt operative Vorteile



Kesselwagen - Einsatz



Kürzere Baulänge des IGW durch Einsatz eines innovativen Tankwerkstoffes führt zu Längeneinsparung bei gleichem Ladevolumen

Handlingkosten des IGW im Prozess sinken um 5% - im Einzelwagenverkehr ermöglicht die kürzere Baulänge besseres Handling in Zugbildungsanlagen sowie eine höhere Wagenanzahl im Zugverband

LCC des IGW sinken um 5%

Veränderung

Nutzen

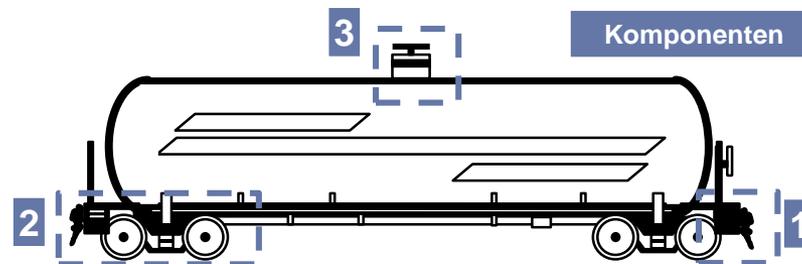
Auswirkung

A Einführung und Methodik

B Wirtschaftlichkeit des innovativen Wagendesigns

C Wirtschaftlichkeit der innovativen Komponenten

D Hauptergebnisse der innovativen Güterwagen



Die Vorteile der innovativen Drehgestelle im Betrieb zeigen sich insbesondere bei der Energieeinsparung



Die Vorteile der innovativen Drehgestelle im Betrieb zeigen sich insbesondere bei der Energieeinsparung

Gattung	Innovation des neuen Drehgestells	Mehrkosten [pro 100.000 km]	Energieeinsparung [pro 100.000 km]	Bewertung Wirtschaftlichkeit
Flachwagen/BraCoil	leichteres DG	-	ca. 40 EUR	✓
Containertragwagen	radial einstellbare RS	ca. 120 EUR	ca. 710 EUR	✓
Kesselwagen	radial einstellbare RS	ca. 430 EUR	ca. 430 EUR	0

- Die Ergebnisse hängen mit den spezifischen Eigenschaften der Wagengattungen zusammen:
 - Durch **hohe Laufleistungen** sind innovative Drehgestelle beim **Containertragwagen** sehr wirtschaftlich
 - Beim **Kesselwagen** sind die Drehgestelle des IGW **nicht so wirtschaftlich wie beim Referenzwagen** (da wirtschaftliche Vorteile, die in der Zukunft liegen, diskontiert werden)
- Innovative Drehgestelle könnten durch **günstigere Investitionskosten** und eine **Incentivierung ihrer Verschleißfreundlichkeit für die Infrastruktur** wirtschaftlicher werden, weshalb eine kommerzielle Weiterentwicklung dieser Innovation lohnenswert erscheint

Die moderne (leichte) Scheibenbremse zeigt – gerade bei höheren Laufleistungen – niedrigere Instandhaltungskosten

+ Instandhaltungskosten der Radsätze

- Die neuentwickelte Bremsscheibe ist deutlich leichter als konventionelle Scheiben und spart im Vergleich ca. 400 kg bei einem vierachsigen Güterwagen ein. Im Vergleich zur Klotzbremse kann der Gewichtsachteil der Scheibenbremse deutlich relativiert werden. In Einzelfällen (z.B. bei zweiseitig abgebremster Klotzbremse und Kopfträger) besteht sogar ein kleiner Gewichtsvorteil.
- Die im Projekt durchgeführten Verschleißmessungen zeigen, dass die Radsätze mit Scheibenbremse nach 150.000 km einen etwas geringeren Verschleiß der Radprofile i.Vgl. zu klotzgebremsten Radsätzen aufweisen. Eine damit verbundene Verschiebung der Instandhaltungszyklen, kann die Instandhaltungskosten der Radsätze deutlich senken.
- Im Projekt konnte nach Ablauf der Betriebserprobung (mit 150.000 km) nicht abschließend geklärt werden, ob die Bremsscheibe eine längere Standzeit (von über 1,5 Mio. km) aufweist.

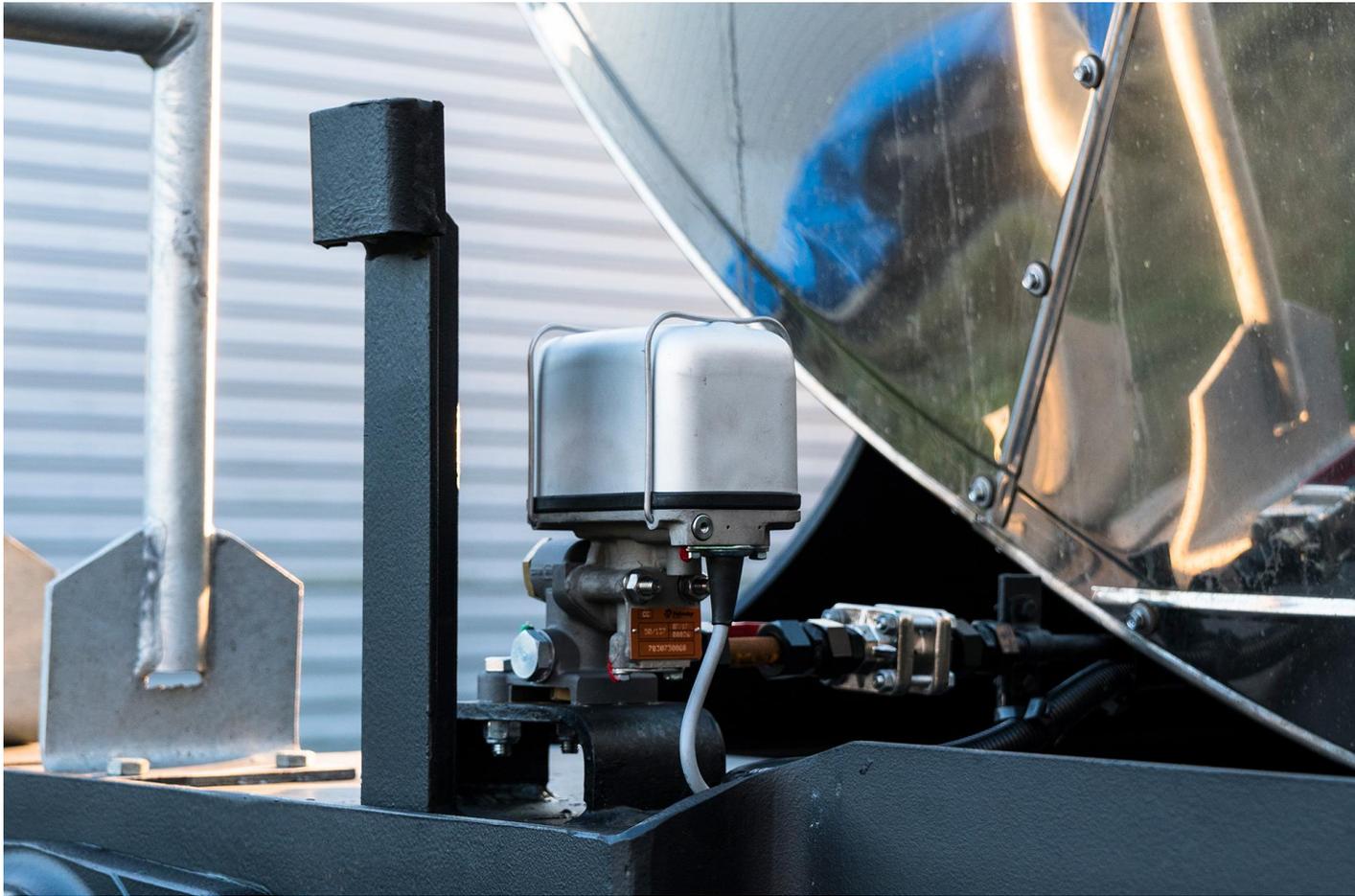
— Beschaffungskosten

- Die Beschaffungskosten für die Scheibenbremse sind deutlich höher als bei Klotzbremsen.



Wirtschaftlichkeit stark abhängig von zu erwartender Standzeit der neuen Bremsscheibe. Positive Effekte aus geringeren Instandhaltungsaufwendungen insbesondere für Güterwagen in ss-Verkehren (mit 120 km/h) und bei hohen Laufleistungen.

Energieeinsparungen durch die ep-Bremse sind möglich – der bei der Betriebserprobung gemessene Vorteil ist gering



Energieeinsparungen durch die ep-Bremse sind möglich – der bei der Betriebserprobung gemessene Vorteil ist gering

Versuchsaufbau

Güterwagen wurden im **Oktober 2018** im PCW im Okt mit vollgeladenen Wagen sowie mit und ohne EP-Bremse gefahren

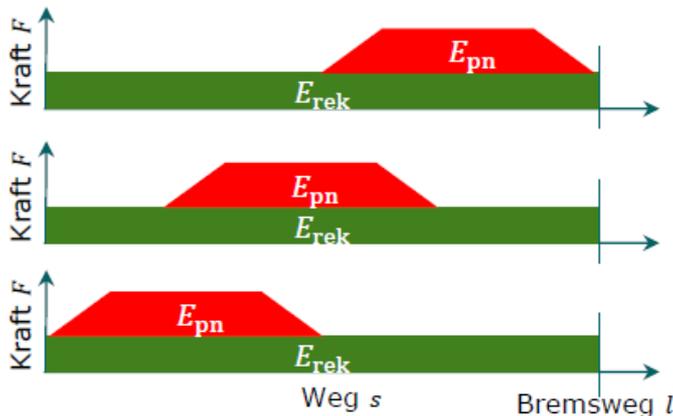
Vorteile EP-Bremse

- Bremskraftaufbau mit ep-Bremse deutlich schneller: Effekt abhängig von Bremsstellung – deutliche Verbesserung bei P- und marginale Verbesserung bei G-Bremsstellung
- Zeiteinsparung jedoch für Wirtschaftlichkeitsanalyse nicht relevant

Energieeinsparungspotenzial durch Vermeidung von Überbremsen im Test erreicht

Bremse ändert nicht Löseverhalten, Lokführer müssen im Umgang mit EP-Bremse geschult sein

Heutiges Bremsen



0,3%

Eine geringe Energieeinsparung konnten durch die ep-Bremse erreicht werden.



Ein höheres Einsparungspotenzial ist zu erwarten, wenn die Triebfahrzeugführer Erfahrung im Umgang der ep-Bremse sammeln konnten.

Die Strom- und Datenbusleitung als Enabler-Technologie hat sich bewährt – Opportunitäten durch Digitalisierung

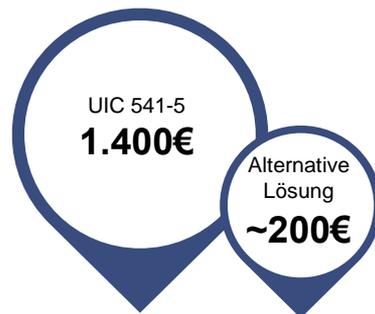
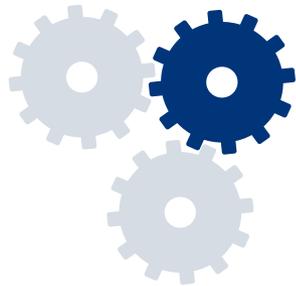


Die Strom- und Datenbusleitung als Enabler-Technologie hat sich bewährt – Opportunitäten durch Digitalisierung

Bei der Erprobung der innovativen Güterwagen wurde die Strom- und Datenbusleitung hauptsächlich für die ep-Bremse benutzt.

Das Potenzial einer Strom- und Datenbusleitung bei Güterwagen ist jedoch weitaus größer, da weitere Funktionen der Digitalisierung von Güterwagen unterstützt werden können, die im Betriebseinsatz mehrmals täglich bei jedem Güterwagen erforderlich sind:

- Automatische Bremsprobe
- Automatisierung bahntechnische Untersuchung
- Automatische Zugintegritätsprüfung



Wirtschaftlichkeitsbetrachtung

Die Strom- und Datenbusleitung wird erst bei deutlich niedrigen Investitionskosten wirtschaftlich.

Die aktuellen Produkte für den Einsatz in Personenzügen kosten ~1.400€ / Wagen. Das ist für den Güterverkehr nicht wirtschaftlich.

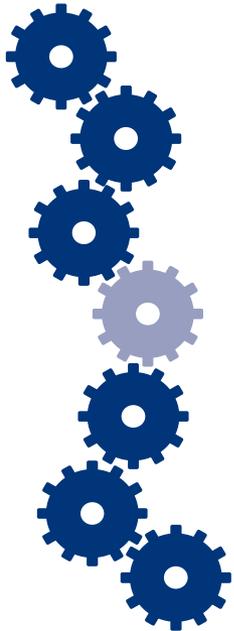
Im Projekt wurde eine Alternative ausgewählt und erprobt, die nur etwa 200€ kostet.

Die Basis-Telematik zeigt ein positives wirtschaftliches Potenzial beim (flächendeckenden) Einsatz von Güterwagen



Die Basis-Telematik zeigt ein positives wirtschaftliches Potenzial beim (flächendeckenden) Einsatz von Güterwagen

Wirtschaftlichkeit der Telematik wird durch Einsparungspotenziale in den Prozesskosten erreicht:



- Detektion von Rangierstößen und verursachungsgerechte Kostenzuweisung
- Verbesserte Disposition durch Tracking & Tracing
- Detektion und Dokumentation dynamischer Überlastungen
- Genauere Laufleistungserfassung
- Reduktion der Leerfahrtenanteile durch bessere Informationsgrundlage
- Beschleunigte Umlaufdurchführung durch zuverlässigere Positionsinformationen

Potenziale sind teilweise **laufleistungsabhängig** bzw. mit der Anzahl von Fahrten bzw. Be- und Entladungen eng verknüpft

Innovation ist auf 6 Jahre ausgelegt aufgrund der Entwicklungssprünge in der Technologie

Die digitale Bremsanzeige vereinfacht sicherheitsrelevante Prozesse – hohes Potenzial für die Zukunft



Die digitale Bremsanzeige vereinfacht sicherheitsrelevante Prozesse – hohes Potenzial für die Zukunft

Prozesskosten: Die digitale Bremsanzeige reduziert den Zeitaufwand für Bremsproben



Vollständige Bremsprobe: 1x pro Tag muss die Funktionalität der Bremsen vollständig überprüft werden. Der Wagenmeister geht mind. zweimal den kompletten Zug ab. Hinzu kommen noch ein bis zwei vereinfachte Bremsproben.

Vereinfachte Bremsprobe: 1-2x täglich

Automatische Bremsprobe: Mithilfe der verbauten Sensorik wird die BP automatisch durchgeführt und bei entsprechender Datenverbindung zentral angezeigt.

Instandhaltungskosten

- Reduzierung des Instandhaltungsaufwandes, da das Anheben des Wagenkastens zur Prüfung der Drehfannengelenkeinlage alle 4 Jahre nicht erforderlich ist

Beschaffungskosten und Zulassung

- Erhöht die Beschaffungskosten des Referenzwagens
- Die Vollautomatisierung der BP ist eine sicherheitsrelevante betriebliche Veränderung und ein Serienprodukt der digitalen Bremsanzeige benötigt eine Zulassung.

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Komponentenebene

Komponente	Flachwagen / BraCoil	Autotransportwagen	Containertragwagen	Kesselwagen
Innovative Drehgestelle	●	-	●	●
Innovative Radsätze	●	●	●	●
Innovative Scheibenbremse	-	-	●●	●
Radschallabsorber bzw. Ringelemente	●	●	●	●
Radsatzbeschichtung	●	●	●	●
Basis-Telematik	●	●	●	●
Automatische Pufferschmiereinrichtung	●	●	-	●
EP-Bremse mit Strom- und Datenbuskabel	●	●	●	●
Digitale Bremsanzeige	●	●	●	●

A

Einführung und Methodik

B

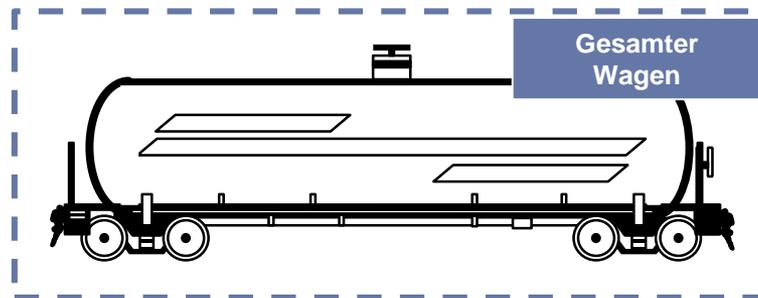
Wirtschaftlichkeit des innovativen Wagendesigns

C

Wirtschaftlichkeit der innovativen Komponenten

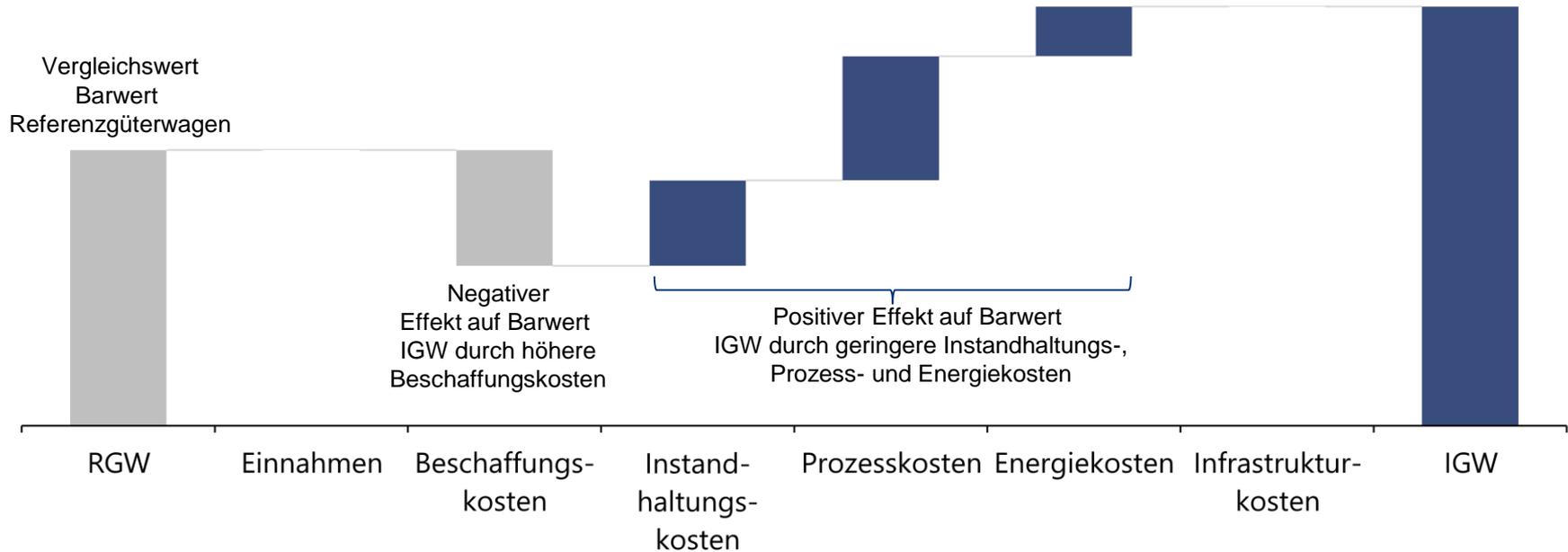
D

Hauptergebnisse der innovativen Güterwagen



Ergebnisse der Barwertberechnungen am Beispiel IGW Containertragwagen

Containertragwagen [Barwertveränderung – schematische Darstellung]



Für jeden IGW wurde eine Wirtschaftlichkeitsbetrachtung auf Basis der Barwert-Methode erstellt. Hier sind je IGW über 400 Inputparameter in die Modelle eingeflossen. Ausgehend vom Barwert des Referenzgüterwagens kann so ermittelt werden, durch welche Komponenten und Effekte positive oder negative Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit der IGW bestehen.

Lärmemissionen bei Güterwagen lassen sich durch Einbau entsprechender Komponenten deutlich reduzieren

Gattung	Komponenten	Mehrkosten je Wagen [EUR-Cent / km]	Lärmreduzierung ggü. TSI Noise Grenzwert [dB(A)]
Flachwagen/BraCoil		3,29	7
Autotransportwagen	Radsatzbeschichtung + Bonatrans Ringelement	1,61	3-4
Containertragwagen		0,86	6-7
Kesselwagen	Radsatzbeschichtung+ Syope Absorber	1,21	4-7

Eine Lärminderung kann nur unter höheren Kosten in der Beschaffung und Instandhaltung erzielt werden

Die IGW haben aufgrund ihrer Fahrzeugstruktur und/oder innovativen Komponenten eine höhere Energieeffizienz als die Referenzgüterwagen



Energieeffizienz IGW vs. RGW	Flachwagen / BraCoil	Autotransportwagen	Containertragwagen	Kesselwagen
Energieeffizienz	+3%	+2,6%	+2,5%	+1,8%

Haupttreiber	<ul style="list-style-type: none"> — Höherer Energieverbrauch durch mehr Eigengewicht + Fahrzeugdesign: 12% mehr Zuladung 10% weniger Leerfahrten 	<ul style="list-style-type: none"> + Fahrzeugdesign: 11 statt 9 Pkws/Fahrt 	<ul style="list-style-type: none"> Niedrigerer Energieverbrauch durch EP-Bremse und innovative Drehgestelle
--------------	--	--	--

Zusammenfassung

Ergebnisse der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung IGW



Wirtschaftliche Effekte aus innovativer Fahrzeugstruktur



Multi-Funktionalität
Reduzierung Leerfahrten



Höhere Zuladung
11 statt 9 Fahrzeuge



Innovativer Tankwerkstoff
ermöglicht gleiche Zuladung
bei 2m-kürzeren Wagen



Höhere Radsatzlast
bei gleichem Gewicht



**Zusätzlich:
Wirtschaftliche Effekte aus Komponenten**

- DG, Telematik, BMS
- Pufferschmiereinr.
- Innov. Radsätze*
ep-Bremse

- Telematik, BMS
- Pufferschmiereinr.
- Innov. Radsätze*
ep-Bremse

- Telematik, BMS
- Scheibenbremse,
ep, Pufferschmiereinr.
- Innov. Radsätze*

- Telematik, BMS,
Scheibenbremse
- Innov. Radsätze*.



**Zusätzlich:
Wirtschaftliche Effekte aus Energieeinsparung**



Geringerer Energie-
Verbrauch durch
Reduzierung Leerfahrten



Geringerer Energie-
Verbrauch je
Transporteinheit



Innovatives
Drehgestell



Innovatives
Drehgestell
ep-Bremse



**IGW gesamt:
Wirtschaftliche Effekte**



Legende: *Innovative Radsätze inkl. Radschallabsorber/Ringelement/Radsatzbeschichtung, DG = Drehgestell, BMS = Bremsmonitoring-System