

Automatische Kupplungssysteme im Schienengüterverkehr – eine Übersicht

Im Auftrag der SBB Cargo AG, Basel



**hwh Gesellschaft für Transport-
und Unternehmensberatung mbH**

Hübschstraße 44
D - 76135 Karlsruhe
Deutschland
www.hwh-transport.de

Autor:
Stefan Hagenlocher

Karlsruhe, den 25. Februar 2015

Inhalt

1. Auftrag und Zielsetzung der Studie	7
2. Vorgehensweise.....	9
3. Kupplungssysteme im Eisenbahnverkehr	11
3.1 Definition und Unterscheidungsmerkmale automatische Kupplungen.....	11
3.2 Technische und betriebliche Aspekte beim Einsatz von automatischen Kupplungen.....	15
3.3 Vorstellung der bestehenden Kupplungssysteme.....	16
3.3.1 Weltweite Verbreitung der bestehenden Kupplungssysteme	16
3.3.2 Die manuelle Schraubepufferkupplung	17
3.3.3 Kupplungen des Typs „Janney“	17
3.3.4 Kupplungen des Typs „Willison“.....	21
3.3.5 Kupplungen des Typs „Scharfenberg“	25
3.3.6 Sonstige Kupplungen	27
3.4 Beschaffungskosten der bestehenden Kupplungssysteme.....	28
4. Entwicklung von Anforderungen an automatische Kupplungen	31
5. Nutzenaspekte einer automatischen Kupplung.....	34
5.1 Analyse der wesentlichen Nutzenaspekte einer automatischen Kupplung.....	34
5.1.1 Nutzeneffekte durch Erhöhung der Arbeitssicherheit und Produktivität von Rangierpersonalen.....	35
5.1.2 Nutzeneffekte durch Erhöhung der Entgleisungssicherheit und Produktivität im Eisenbahnbetrieb	38
5.1.3 Nutzeneffekte durch durchgängige Stromversorgung und Telematik-anwendungen im Güterzug.....	39
5.1.4 Nutzeneffekte durch reduzierten Instandhaltungsaufwand an Güterwagen und der Schieneninfrastruktur.....	40
5.2 Entwicklung einer Nutzen-Matrix für die Stakeholder im Schienengüterverkehr	42
6. Analyse der bisher entwickelten Migrationskonzepte für automatische Kupplungen.....	44
6.1 Historische Einführung von automatischen Kupplungen weltweit.....	44
6.1.1 USA	44
6.1.2 Japan.....	45
6.1.3 UdSSR	45

6.2	Analyse der Ursachen für das bisherige Scheitern bei der Einführung einer automatischen Kupplung in Europa	46
6.2.1	1960er und 70er Jahre	46
6.2.2	Mitte der 1980er Jahre bis Ende der 1990er Jahre	47
6.3	Geeignete Nischensegmente für den Einsatz von automatischen Kupplungen	47
6.3.1	Einführung von automatische Kupplungen auf Relationen bzw. für einzelne Unternehmen	49
6.3.2	Einführung automatischer Kupplungen auf Verkehrskorridoren.....	50
6.3.3	Einführung automatischer Kupplungen in Ländern bzw. Regionen.....	51
6.3.4	Einführung automatischer Kupplungen in Branchen	52
6.4	Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines Migrationskonzepts.....	55
7.	Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die Einführung von automatischen Kupplungen in Europa	57
7.1	Kostenschätzungen bei der Einführung von automatischen Kupplungen für acht europäische Länder [Salin, E. 1966]	57
7.2	Kosten-Nutzen-Analyse Einführung von automatischen Kupplungen [Sünderhauf, B. 2009] ..	59
7.2.1	Betrachtete Nutzenaspekte in der Studie von Sünderhauf	61
7.2.2	Kritikpunkte an der Studie von Sünderhauf	64
7.3	Einsatz von automatischen Kupplungen im EWL in der Schweiz [Fumasoli, T. 2010)	66
8.	Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines Business Plans für die Einführung von automatischen Kupplungen	68
	Literaturverzeichnis	73

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Differenzierungsmerkmale Kupplungssysteme im Eisenbahnverkehr	11
Abbildung 2: Übersicht Schienenfahrzeugkupplungen (1).....	12
Abbildung 3: Übersicht Schienenfahrzeugkupplungen (2).....	14
Abbildung 4: Pendelstütze und Stabilisierungsgelenk bei Einsatz einer aMPK.....	15
Abbildung 5: Weltweite Verbreitung von Kupplungen im Schienengüterverkehr	16
Abbildung 6: UIC-Schraubekupplung	17
Abbildung 7: Wirkungsweise der Janney-Kupplung.....	17
Abbildung 8: Übersicht Kupplungssysteme des Typs „Janney“	18
Abbildung 9: AAR Typ E, E/F.....	19
Abbildung 10: AAR Typ F	19
Abbildung 11: AAR Typ H (Tightlock).....	20
Abbildung 12: Forschungsprojekt Fully Automated F-Type Tricoupler.....	20
Abbildung 13: Wirkungsweise der Willison-Kupplung	21
Abbildung 14: Übersicht Kupplungssysteme des Typs „Willison“	21
Abbildung 15: Kupplung SA3	22
Abbildung 16: Unicupler AK69e	23
Abbildung 17: Intermat	23
Abbildung 18: Transpact C-AKv	24
Abbildung 19: Modulare „SA3-Kupplung“ von Voith C-Akv	25
Abbildung 20: Übersicht Kupplungssysteme des Typs Scharfenberg	25
Abbildung 21: Scharfenbergkupplung Typ 10 (Schaku)	26
Abbildung 22: Scharfenbergkupplung Typ 140	27
Abbildung 23: Übersicht sonstige Kupplungssysteme	27
Abbildung 24: Sonstige Kupplungssysteme.....	28
Abbildung 25: Kosten einer Schraubekupplung	28
Abbildung 26: Kosten einer halbautomatischen Kupplung mit Leitungskupplung (Sünderhauf)	29
Abbildung 27: Kosten einer halbautomatischen Kupplung mit Leitungskupplung (Fumasoli)	29
Abbildung 28: Kosten einer vollautomatischen Kupplung (Fumasoli)	30
Abbildung 29: Übersicht Kosten verschiedener automatischer Kupplungen	30
Abbildung 30: Grundsätzliche Anforderungen an automatische Kupplungen	31
Abbildung 31: Automatisierungsgrade von automatischen Kupplungen	32
Abbildung 32: Nutzeneffekte durch automatische Mittelpufferkupplungen	34

Abbildung 33: Arbeitsschritte beim Kuppeln je Kupplungssystem	36
Abbildung 34: Arbeitsschritte beim Entkuppeln je Kupplungssystem	36
Abbildung 35: Zeitersparnis bei Verwendung von automatischen Kupplungen.....	37
Abbildung 36: Mögliche Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr.....	40
Abbildung 37: Nutzergruppen/Stakeholder Schienengüterverkehr	42
Abbildung 38: Nutzen je Nutzergruppe bei Einsatz einer automatischen Kupplung	43
Abbildung 39: Wirtschaftlichkeit bei der Einführung von automatischen Kupplungen	48
Abbildung 40: Mögliche Nischensegmente für die Einführung von automatischen Kupplungen	49
Abbildung 41: Analysierte Branchen in der Studie von [Stuhr, H. 2013]	52
Abbildung 42: Bewertungsmethodik Nutzwertanalyse in der Studie von [Stuhr, H. 2013].....	53
Abbildung 43: Kosten für die Umrüstung auf automatische Kupplungen [Salin, D. 1966]	58
Abbildung 44: Investitionskosten und Erträge bei Einführung automatischer Kupplungen.....	59
Abbildung 45: Kosten von halbautomatischen Kupplungen mit Druck- und Elektrokupplung	59
Abbildung 46: Kosten von Schraubenkupplungen je Waggon [Sünderhauf, B. 2009]	60
Abbildung 47: Nutzenkomponenten in der Studie von [Sünderhauf, B. 2009]	61
Abbildung 48: Betriebswirtschaftlicher Nutzen durch die Einführung von AK	64
Abbildung 49: Kosten von automatischen Kupplungen im Schweizer Binnen-EWLV	66

Abkürzungsverzeichnis

AK	Automatische Kupplung
aMPK	automatische Mittelpufferkupplung
ECM	Entity in Charge of Maintenance
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWLV	Einzelwagenladungsverkehr
MPK	Mittelpufferkupplung
UIC	International Union of Railways
OSShD	Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen
RB	Rangierbahnhof
TIS	Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr
Z-AK	Zugautomatische Kupplung

1. Auftrag und Zielsetzung der Studie

Der Technische Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS) setzt sich das Ziel, Basisinnovationen für einen innovativen Güterwagen 2030 zu fördern. Er verfolgt dabei einen ganzheitlichen Ansatz mit Fokus auf die Wirtschaftlichkeit von Basisinnovationen für Eisenbahngüterwagen. Daher beteiligen sich am TIS neben Wagenhaltern auch Eisenbahnverkehrsunternehmen, Verloader sowie Unternehmen aus der Waggonbau- und Zulieferindustrie. Seitens der Wagenhalter im TIS besteht grundsätzliche Bereitschaft, Basisinnovationen in Neubauten und Bestandsflotten einzusetzen. Der TIS definiert technische, betriebliche und wirtschaftliche Anforderungen an Basisinnovationen und tritt in einen Dialog mit der Industrie ein. Dabei koordiniert der TIS seine Aktivitäten mit Fördervorhaben wie z. B. Shift²Rail.

Am TIS beteiligen sich derzeit folgende Unternehmen im Rahmen einer Practice Group: AAE Ahaus Altstätter Eisenbahn AG, BASF SE, DB Schenker Rail AG, GATX Rail Germany GmbH, Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH, SBB Cargo AG, VTG AG, Waggonbau Graaf GmbH, Waggonbau Niesky GmbH. Begleitet wird der TIS durch einen wissenschaftlichen Beirat mit Herrn Prof. Dr. Hecht (TU Berlin) und Herrn Prof. Dr. König (TU Dresden) sowie durch einen fachlichen Beirat.

Der Lenkungskreis des TIS hat im Herbst 2014 die Initiierung einer Arbeitsgruppe „Innovative Kupplungssysteme“ beschlossen. In einem ersten Treffen der Arbeitsgruppe, bestehend aus Vertretern der Unternehmen BASF SE, DB Schenker Rail AG, Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH, SBB Cargo AG und VTG AG am 08.12.2014 in Basel wurde festgestellt, dass im Zusammenhang mit dem Innovationsfeld „Automatische Kupplung (AK)“ eine Vielzahl von wissenschaftlichen Studien, Fachaufsätzen, unternehmensinterner Überlegungen, Dokumentationen und Stellungnahmen mehrerer Branchenverbände bereits vorliegen.

Eine grundlegende Bearbeitung des Innovationsfeldes „Automatische Kupplung“ durch die TIS-Arbeitsgruppe wird erst dann als zielführend eingeschätzt, wenn vorab sämtliche relevanten und bereits vorhandenen Informationen in einer Übersicht zusammengestellt sind. Ansonsten besteht die Gefahr, dass durch die Arbeitsgruppe Doppelarbeiten vorgenommen werden oder bereits vorhandene Erkenntnisse durch die Arbeitsgruppe nicht zur Kenntnis genommen werden.

Im Auftrag der SBB Cargo AG hat die hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH daher die Aufgabe übernommen, eine Übersicht über den aktuellen Kenntnisstand bzgl. automatischer Kupplungssysteme zu erstellen. Diese Übersicht soll gleichzeitig als Ausgangspunkt für weitere Analysen seitens der TIS-Arbeitsgruppe „Innovative Kupplungssysteme“ dienen.

Weiterhin soll die vorliegende Arbeit dazu dienen, erste eigene Ansatzpunkte für ein Anforderungsprofil des TIS an automatische Kupplungen zu entwickeln, mögliche Nutzenaspekte einer automatischen Kupplung zu identifizieren, Möglichkeiten für zukünftige Migrationsszenarien zu untersuchen sowie einen ersten groben Ablaufplan für einen Business Plan für die Einführung einer automatischen Kupplung zu beschreiben.

Dabei liegt der Schwerpunkt weniger darauf, einen eigenen wissenschaftlichen Standpunkt zu erschließen, sondern den aktuellen Wissensstand in der Wissenschaft und Praxis wiederzugeben und weiterzuentwickeln.

Die vorliegende Studie stützt sich daher im wesentlichen auf wissenschaftliche Literatur zum Thema „automatische Kupplungssysteme“. Insbesondere sind dabei folgende Werke zu nennen, aus denen wiederholt Inhalte entnommen werden. Diese sind im Einzelnen:

- Fumasoli, T. (2010), Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz, Masterarbeit, Zürich.
- Ferstl, D. (2014), Automatische Kupplungen – eine Übersicht vor dem Hintergrund aktueller Überlegungen zum Einsatz im Europäischen Schienengüterverkehr, im Auftrag der Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH, München.
- Sünderhauf, B. (2009), Die automatische Mittelpufferkupplung (aMPK), Voraussetzung für eine Automatisierung des Schienengüterverkehrs in Europa, Grünstadt.
- Stuhr, H. (2013), Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung, Dissertation, Berlin.

Weiterhin wurden zwecks Erstellung der vorliegenden Arbeit Fachgespräche über den aktuellen Wissenstand über automatische Kupplungssysteme mit den Mitgliedern der TIS-Arbeitsgruppe „Innovative Kupplungssysteme“ geführt. Dabei wurde mit folgenden Personen gesprochen:

- Herr Michael Edinger (BASF SE),
- Herr Dominik Ferstl (Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH)
- Herr Ulrich Funke (DB Schenker Rail AG)
- Herr Dr. Gert Fregien (Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH)
- Herr Steffen Gahtow (VTG AG)
- Herr Jens-Eric Galdiks (SBB Cargo AG)
- Herr Juergen Hüllen (VTG AG)
- Herr Jürgen Mues (SBB Cargo AG)
- Herr Dr. Miroslav Obrenovic (DB Schenker Rail AG)

2. Vorgehensweise

Wie bereits beschrieben bestehen eine Vielzahl an wissenschaftlichen Studien, Aufsätzen, Veröffentlichungen, Präsentationen zum Thema „Automatische Kupplungssysteme im Schienenverkehr“. Um einen besseren Überblick zu erhalten, welche Kupplungssysteme im Schienenverkehr überhaupt existieren, erfolgt in Kapitel 3 eine Vorstellung der wesentlichen Kupplungstypen. Dabei werden zunächst Unterscheidungsmerkmale definiert, mit Hilfe derer Kupplungssysteme beschrieben werden können. Anschließend werden betriebliche und technische Aspekte beim Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung (aMPK) erörtert. Automatische Kupplungssysteme sind weltweit – mit Ausnahme Europas – verbreitet. Dabei kommen verschiedene Kupplungen des Typs Janney sowie Willison zum Einsatz. Die jeweiligen Kupplungssysteme werden zunächst in einer Übersicht und anschließend einzeln im Detail beschrieben. Abschließend in Kapitel 3 erfolgt eine erste Einschätzung der Beschaffungskosten für automatische Mittelpufferkupplungen.

In Kapitel 4 werden erste Thesen für ein Anforderungsprofil der TIS-Unternehmen an automatische Kupplungssysteme erstellt. Dieser Punkt ist wichtig und sollte im Verlauf des TIS-Projekts weiter ausgebaut werden. Je nach Anforderungsprofil stehen verschiedene Kupplungssysteme zur Auswahl. Diese Kupplungssysteme unterscheiden sich jedoch in der Höhe der Beschaffungskosten sowie in den jeweiligen Nutzeneffekten. Daher werden in Kapitel 4 als Arbeitsthese u. a. ein Anforderungsprofil für eine Basisversion einer automatischen Kupplung sowie für eine „High-End-Version“ entwickelt.

Neben der eigentlichen Funktion des Verbindens bzw. Trennens von Zugeinheiten erfüllen automatische Kupplungssysteme weitere Nutzenaspekte. So können beispielsweise mit Hilfe von automatischen Mittelpufferkupplungen schwerere Zuglasten gezogen werden. Weitere Vorteile werden bei den Instandhaltungskosten für Güterwagen und die Schieneninfrastruktur eingeschätzt. Zudem gelten automatische Kupplungen als Voraussetzung für die Einführung einer verlässlichen Stromversorgung in Güterzügen. In Kapitel 5 werden zunächst sämtliche Nutzenaspekte einer automatischen Mittelpufferkupplung beschrieben. Anschließend wird untersucht, welche Stakeholder des Schienengüterverkehrs (z. B. EVU, Wagenhalter, EIU, ...) vsl. am ehesten von den jeweiligen Nutzenaspekten einer AK profitieren werden. Hierzu wird eine Nutzen-Matrix vorgestellt, die zu einem späteren Zeitpunkt als Ausgangspunkt für eine Nutzen-Transfer-Systematik verwendet werden kann.

In Kapitel 6 werden verschiedene Migrationsszenarien für eine automatische Mittelpufferkupplung vorgestellt. Dabei liegt der Augenmerk zunächst auf den bisher in der Vergangenheit erfolgten Migrationen von aMPK in verschiedenen Ländern wie z. B. den USA; Russland oder Japan. Anschließend werden die erfolglosen Versuche der Einführung einer AK in Europa dargestellt. Dabei liegt der Fokus darauf, die Ursachen für das bisherige Scheitern zu ermitteln. Darauf aufbauend werden Migrationsstrategien untersucht, welche Nischensegmente sich ggf. für eine erfolgreiche Einführung einer AK im europäischen Schienengüterverkehr Europa eignen könnten. Beispielsweise könnte ein mögliche Migrationsstrategie darin bestehen, die AK zunächst auf geeigneten Relationen, bei einzelnen Kunden, Korridore, Branchen oder Regionen/Länder einzuführen. Abschließend erfolgt in Kapitel 6 eine Handlungsempfehlung für die Entwicklung einer Migrationsstrategie für die TIS-Arbeitsgruppe „Innovative Kupplungssysteme“.

Nach dem bereits mehrere Anläufe in Europa unternommen wurden, automatische Kupplungen im europäischen Schienengüterverkehr einzuführen, bestehen auch entsprechende historische Wirtschaftlichkeitsrechnungen zu diesem Thema. Die öffentlich zugänglichen Wirtschaftlichkeitsrechnungen werden in Kapitel 7 vorgestellt. Dabei wird besonders auf die identifizierten Nutzenaspekte eingegangen, die in den Wirtschaftlichkeitsrechnungen berücksichtigt worden sind.

In Kapitel 8 werden sämtliche entwickelten Handlungsempfehlungen bzgl. der Entwicklung eines Anforderungsprofils, der Entwicklung von geeigneten Migrationsszenarien für Nischensegmente sowie für die Entwicklung von Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die Migrationsszenarien zusammengefasst. Somit wird eine erste grobe Handlungsanweisung für die Entwicklung eines Business Plans für die Einführung einer automatischen Kupplung gegeben, die im Verlauf der Arbeiten des TIS weiterentwickelt werden sollte.

3. Kupplungssysteme im Eisenbahnverkehr

Weltweit kommen im Schienenpersonen- und Schienengüterverkehr unterschiedliche Kupplungssysteme zum Einsatz. Dabei bestehen verschiedene Unterscheidungsmerkmale, wie Kupplungssysteme beschrieben werden können. Zur besseren Einordnung werden diese Unterscheidungsmerkmale zunächst in Kapitel 3.1 vorgestellt.

Anschließend werden in Kapitel 3.2 einige technische und betriebliche Grundlagen beim Einsatz von Kupplungssystemen beschrieben. Die verschiedenen existierenden Kupplungssysteme werden in Kapitel 3.3 zunächst in einer Übersicht sowie anschließend einzeln vorgestellt.

Schließlich erfolgt in Kapitel 3.4 eine erste Einordnung der bekannten Kosten für den Einsatz der verschiedenen Kupplungssysteme – soweit hierfür öffentlich zugängliche Informationen vorliegen.

3.1 Definition und Unterscheidungsmerkmale automatische Kupplungen

Die Kupplungssysteme im Eisenbahnverkehr können nach [Stuhr, H. 2013] nach folgenden Kriterien unterschieden werden (vgl. Abbildung 1):

Abbildung 1: Differenzierungsmerkmale Kupplungssysteme im Eisenbahnverkehr

Automatisierungsgrad	Verteilung Kraftübertragung (Zug-/Druckkräfte)	Vertikale Beweglichkeit (Kupplungsspiel)
Manuell	Gemeinsam	Starr
Halbautomatisch	Getrennt	Beweglich
Vollautomatisch		

Zusätzlich:
automatische Leitungskupplung
(ja/nein, Luft- und/oder Elektroleitung,
Anzahl Leitungen,...)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Stuhr, H. 2013].

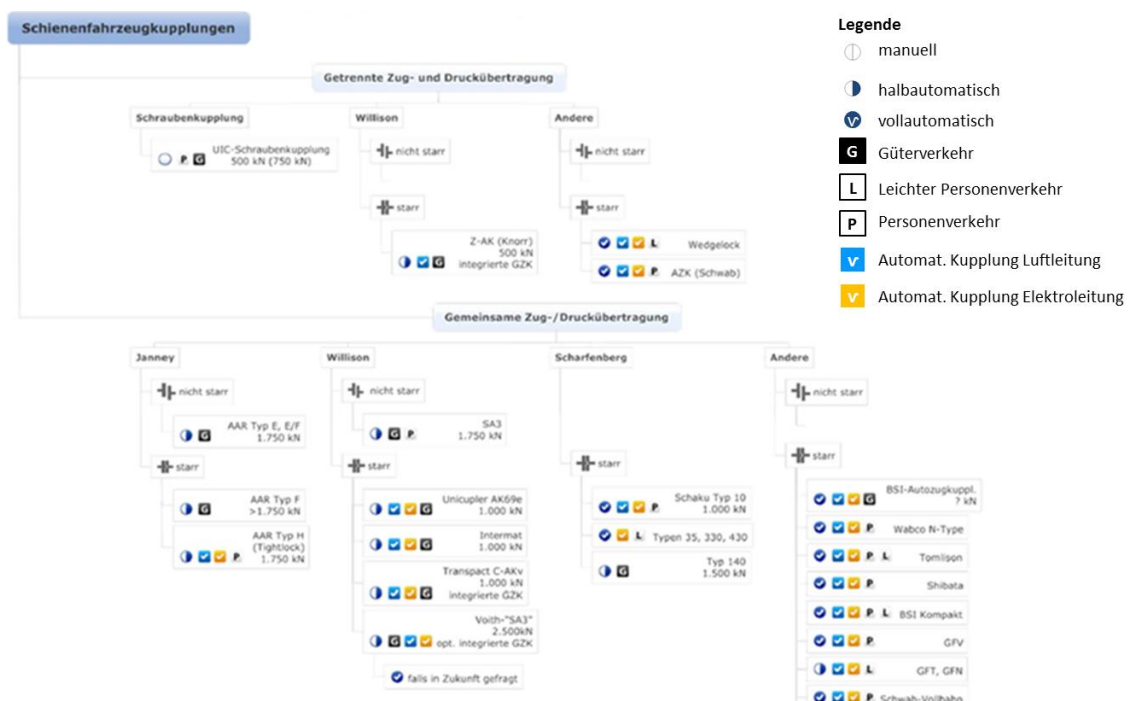
- **Automatisierungsgrad:** Die Unterscheidung erfolgt nach **manuellen, halbautomatischen und vollautomatischen** Kupplungen.
 - **Manuelle Kupplung:** Sowohl das Kuppeln als das Entkuppeln erfolgt von Hand
 - **Halbautomatische Kupplung:** Das Kuppeln der Fahrzeuge erfolgt automatisch, wenn diese aneinander gedrückt werden. Das Lösen der Kupplung erfolgt jedoch manuell. Je nach Kupplungssystem ist weiterhin zu unterscheiden, ob auch Luft- oder Elektroleitungen automatisch gekuppelt werden können.
 - **Vollautomatische Kupplung:** Das Kuppeln und Entkuppeln der Fahrzeuge geschieht automatisch. Dabei geschieht der Vorgang „Entkuppeln“ ferngesteuert, beispielsweise aus der Lok oder von einem anderen Ort aus. Bei vollautomatischen Kupplungen werden auch die Leitungen (Luft- und Elektroleitung) automatisch verbunden bzw. gelöst.

Zudem ist je nach Automatisierungsgrad und Kupplungssystem zu beachten, ob und wie viele Leitungen (z. B. Luftleitung oder elektrische Leitung) automatisch verbunden bzw. getrennt werden können.

- **Verteilung der Kraftübertragung:** Da zwischen den Fahrzeugen sowohl Zug- als auch Druckkräfte übertragen werden müssen, wird zunächst danach unterschieden, ob die **Zug-/Druckübertragung gemeinsam** über die Kupplung erfolgt oder **getrennt**. Für den Fall einer getrennten Zug-/Druckübertragung sind neben der Kupplung weitere Bauteile für die Druckübertragung (wie z. B. seitliche Puffer wie bei Einsatz der Schraubenpufferkupplung) erforderlich.
- **Vertikale Beweglichkeit der Kupplung (Kupplungsspiel):** Je nach vertikalem Spiel zwischen zwei gekuppelten Kupplungen wird zwischen **starr** und **beweglichen** Kupplungen unterschieden. Bei beweglichen Kupplungen können sich die Kupplungsköpfe in senkrechter Richtung gegeneinander verschieben. Bei starren Kupplungen wird dieses Gleiten an den Kupplungsflächen durch zusätzliche Elemente am Kupplungskopf verhindert.

Neben den drei oben aufgeführten Kriterien kann danach differenziert werden, ob das Kupplungssystem überwiegend im **Personen-** oder im **Güterverkehr** eingesetzt wird. Abbildung 2 stellt eine Übersicht der bekannten Schienenfahrzeugkupplungen entsprechend der oben dargestellten Unterscheidung dar.

Abbildung 2: Übersicht Schienenfahrzeugkupplungen (1)



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 6.

Ein Großteil der oben aufgeführten Kupplungssysteme verfügen über eine gemeinsame Zug- und Druckübertragung. Lediglich die in Europa eingesetzte UIC-Schraubenkupplung, die Z-AK von Knorr-Bremse sowie zwei ausschließlich für den Personenverkehr genutzte Kupplungen (Wedgelock und AZK (Schwab) haben eine getrennte Zug-/Druckübertragung.

Weiterhin zeigt sich, dass die meisten der bisher eingesetzten Kupplungssysteme halbautomatisch sind, d. h. das Kuppeln erfolgt automatisch, während das Lösen der Verbindung manuell erfolgen muss. Hierzu gehören die Kupplungssysteme AAR vom Typ Janney, die Willison-Typen SA3, Unicupler AK69e, Intermat, Transpact C-Akv und Voith „SA3“, die Scharfenberg-Kupplung Typ 140 aber auch die Z-AK von Knorr-Bremse (die aber eine getrennte Zug-/Druckübertragung aufweist).

Bei den halbautomatischen Kupplungen bestehen weitere Unterschiede darin, inwiefern eine automatische Leitungsverbindung (Luft- und/oder Elektroleitung) ermöglicht wird. Dies ist bei den Kupplungssystemen AAR der Typen E und F, aber auch bei der russischen SA3 nicht möglich.

Keine der im Güterverkehr eingesetzten Kupplungssysteme ist vollautomatisch. Zwar bestehen verschiedene vollautomatische Kupplungssysteme wie z. B. Scharfenberg-Kupplungen vom Typ 10, 35, 330 oder 430 oder die Kupplung Wabco N-Type. Diese sind jedoch ausschließlich im Personenverkehr im Einsatz. Bei den vollautomatischen Kupplungssystemen ist jeweils auch das automatische Trennen/Verbinden der Leitungen enthalten.

In der nachfolgenden Abbildung 3 werden die Kupplungssysteme nach den verschiedenen Differenzierungsmerkmalen wie Zug-/Druckübertragung, Automatisierungsgrad, Beweglichkeit der Kupplung, Einsatz im Güterverkehr/Personenverkehr etc. eingeordnet.

Abbildung 3: Übersicht Schienenfahrzeugkupplungen (2)

Kupplungssysteme	Kupplungstyp	Güter-/ Personen- verkehr	Flächen- deckender Einsatz im GV	Zulässige Zugkraft (kN)	Getrennte Zug-/ Druck- übertragung	Gemeinsame Zug-/ Druck- übertragung	Starre Kupplung	Bewegliche Kupplung	Manuelle Kupplung	Halbauto- matische Kupplung	Vollauto- matische Kupplung	Automatische Verbindung Luftleitung	Automatische Verbindung Elektroleitung
UIC Schraubenkupplung	Schraubenkuppl.	Güterverkehr	Ja	500	x	-			x	-	-	-	-
Z-AK (Knorr)	Willison	Güterverkehr	Nein	500	x	-			-	x	-	x	-
Wedgeloock	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	x	-			-	-	x	x	x
AZK (Schwab)	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	x	-			-	-	x	x	x
AAR-Typ E, E/F	Janney	Güterverkehr	Ja	1.750	-	x	-	x	-	x	-	-	-
AAR-Typ F	Janney	Güterverkehr	teilweise	> 1.750	-	x	x	-	-	x	-	-	-
AAR-Typ H (Tightlock)	Janney	Personenverkehr	Nein	1.750	-	x	x	-	-	x	-	x	x
Automated F-Type Coupler	Janney	Güterverkehr	Nein	1.750	-	x	x	-	-	-	x	x	x
SA3	Willison	Güterverkehr	Ja	1.750	-	x	-	x	-	x	-	-	-
Unicupler AK69e	Willison	Güterverkehr	Nein	1.000	-	x	x	-	-	x	-	x	x
Intermat	Willison	Güterverkehr	Nein	1.000	-	x	x	-	-	x	-	x	x
Transpact C-Akv	Willison	Güterverkehr	Nein	1.000	-	x	x	-	-	x	-	x	x
Voith "SA3"	Willison	Güterverkehr	Nein	2.500	-	x	x	-	-	x	-	x	x
Scharfenberg Typ 10	Scharfenberg	Personenverkehr	Nein	1.000	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Scharfenberg Typ 35,330,430	Scharfenberg	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Scharfenberg Typ 140	Scharfenberg	Güterverkehr	Nein	1.500	-	x	x	-	-	x	-	-	-
BSI-Autozugkupplung	Sonstige	Güterverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Wabco N-Type	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Tomlison	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Shibata	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
BSI Kompakt	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
GFV	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
GFT, GFN	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	x	-	x	x
Schwab-Vollbahn	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x
Schwab-Metro	Sonstige	Personenverkehr	Nein	?	-	x	x	-	-	-	x	x	x

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ferstl, D. 2014] und [Stuhr, H. 2013]

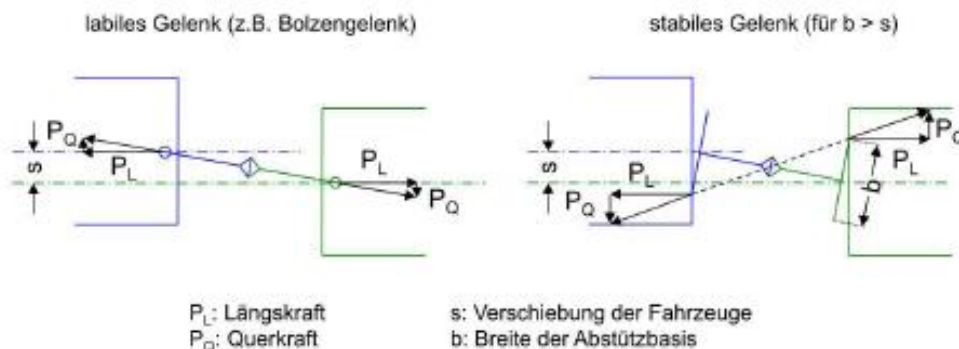
3.2 Technische und betriebliche Aspekte beim Einsatz von automatischen Kupplungen

Ein Kupplungssystem muss die Verbindung von Eisenbahnfahrzeugen hinsichtlich der mechanischen Übertragung von Zug- und Druckkräften gewährleisten.¹ Bei der Schraubenkupplung werden die Zugkräfte durch den Zughaken und die Schraubenkupplung selbst aufgenommen, während für die Aufnahme der Druckkräfte Seitenpuffer erforderlich sind. Die Puffer sind horizontal und vertikal gegeneinander verschiebbar, daher ist auch eine regelmäßige Pufferschmierung erforderlich. Bei mangelnder Überdeckung der Pufferteller in S-Bögen besteht die Gefahr von Überpufferung und damit eine erhöhte Entgleisungsgefahr.

Bei der automatischen Mittelpufferkupplung werden sowohl Zug- als auch Druckkräfte durch das Kupplungssystem übertragen. Allerdings kam es bei Betriebsversuchen mit einer aMPK Anfang der 60er Jahre in Europa zu mehreren Entgleisungen bei zweiachsigen Güterwagen. „Zurückgeführt wurden diese Entgleisungen darauf, dass die bei Längsdruckkräften im Zugverband an den Anlenkpunkten der Kupplungen bzw. an den Puffern entstehenden Querkräfte beim Einsatz der aMPK höher sind als beim Einsatz von Seitenpuffern.“²

Die Druckkraft-Übertragung in Form einer reinen Pendelstütze ist instabil. Eine Verschiebung erzeugt Querkräfte in Richtung einer weiteren Verschiebung (proportional zum Auslenkungswinkel, somit umgekehrt proportional zur Länge der Pendelstütze). Eine Stabilisierungsmöglichkeit besteht durch den Einsatz eines Stabilisierungsgelenks mit Druckplatte (vgl. Abbildung 4). Dadurch können kritische Querkräfte reduziert bzw. die Wirkungsrichtung sogar umgekehrt werden. Somit kann mit Hilfe des Einsatzes eines Stabilisierungsgelenks sogar eine Verbesserung bei der Entgleisungssicherheit gegenüber Seitenpuffern erzielt werden.

Abbildung 4: Pendelstütze und Stabilisierungsgelenk bei Einsatz einer aMPK



Quelle: Stuhr, H. 2013, S. 43.

Ein derartiges Stabilisierungsgelenk kommt beispielsweise bei der AK69e/Intermat sowie bei der C-AKv zum Einsatz. Während bei der Schraubenkupplung mit Seitenpuffer bereits eine Längsdruckkraft in Höhe von 150-200kN entgleisungskritisch wirken kann, liegt die zulässige Längsdruckkraft beispielsweise bei der C-AKv bei 700kN.³

¹ Vgl. Stuhr, H. 2013, S. 43.

² Stuhr, H. 2013, S. 43.

³ ebenda

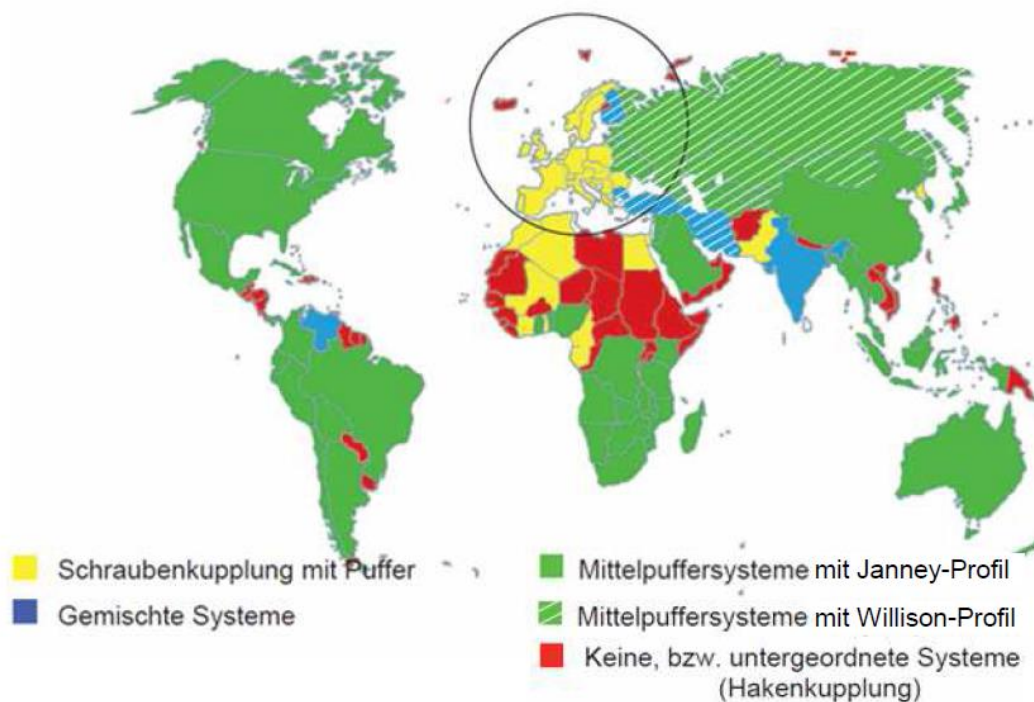
3.3 Vorstellung der bestehenden Kupplungssysteme

Im folgenden werden die bestehenden Kupplungssysteme näher beschrieben. Dabei wird auf die bereits in Abbildung 2 und 3 dargestellten Kupplungssysteme eingegangen. Allerdings werden nur die für den Güterverkehr geeigneten Kupplungssysteme beschrieben. Es wird darauf hingewiesen, dass in der Literatur bereits sehr gute Übersichten über die bestehenden Kupplungssysteme existieren. Daher wird an dieser Stelle auch auf die Beschreibungen von [Stuhr, H. 2014] und [Ferstl, D. 2014] verwiesen.

3.3.1 Weltweite Verbreitung der bestehenden Kupplungssysteme

Wie Abbildung 5 zeigt, werden nur noch in Europa sowie in einigen Ländern Afrikas Schraubenkupplungen mit Puffer eingesetzt. In Nord- und Südamerika, dem südlichen Teil von Afrika, Australien sowie in China, Japan und weiteren asiatischen Ländern haben sich dagegen Mittelpuffersysteme mit Janney-Profil durchsetzen können. In den Ländern der ehemaligen Sowjetunion sind Mittelpuffersysteme mit Willison-Profil im Einsatz. In einigen Ländern wie z. B. Finnland, der Türkei, Iran, Irak oder Indien sind gemischte Systeme im Einsatz.

Abbildung 5: Weltweite Verbreitung von Kupplungen im Schienengüterverkehr



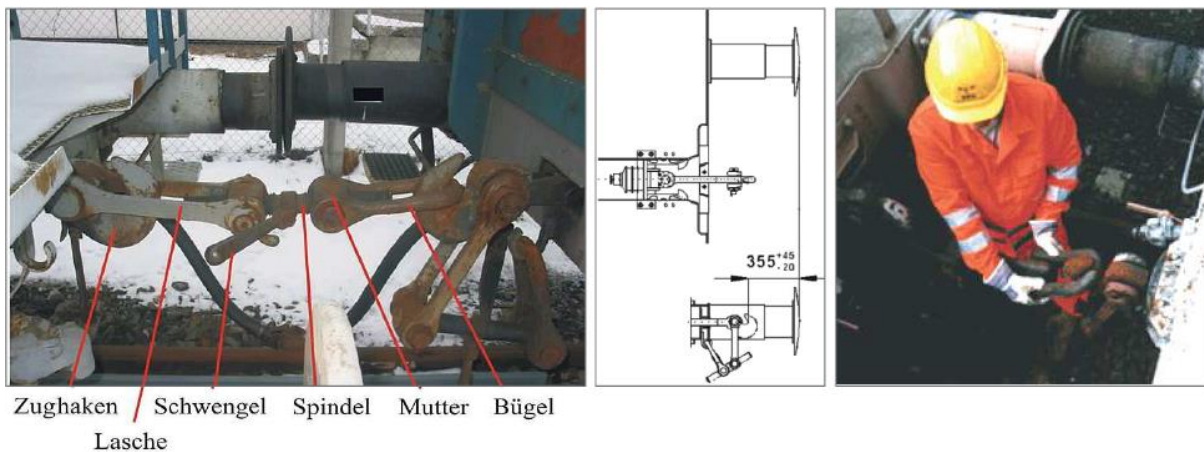
Quelle: Sünderhauf, B. (2009), S. 107.

3.3.2 Die manuelle Schraubenpufferkupplung

Die Schraubenkupplung ist in Europa die Standardkupplung im Schienengüterverkehr. Die Kupplung nimmt nur die Zugkräfte, nicht jedoch die Druckkräfte auf. Die Druckkräfte müssen daher über am Güterwagen befestigte Seitenpuffer aufgenommen werden.

Die maximale Zugkraft liegt bei 500 kN, die maximale Druckkraft bei 2.000 kN.

Abbildung 6: UIC-Schraubenkupplung

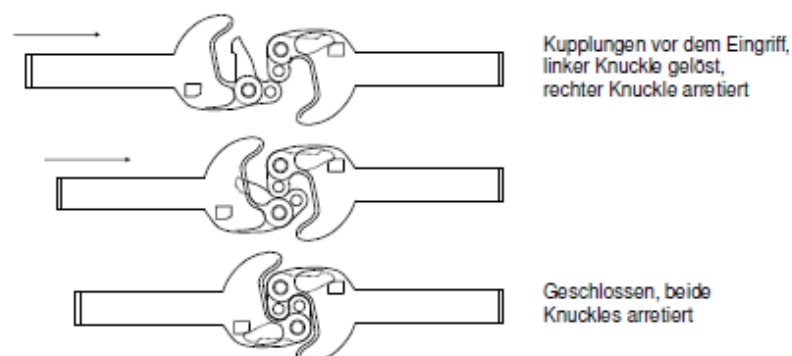


Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 9.

3.3.3 Kupplungen des Typs „Janney“

Kupplungen des Typs Janney werden auf den Erfinder Eli H. Janney zurückgeführt, der die sog. Janney-Kupplung um ca. 1870 erfunden hat. Ende des 19. Jahrhunderts wurde die Janney-Kupplung bei den Güterbahnen in den USA eingeführt und seitdem kontinuierlich weiterentwickelt. „Charakteristisches Merkmal der Janney-Kupplung ist der bewegliche Knuckle, ein Scharniergelenk, über das die Zugkraft übertragen wird. Der hintere Hebel des Knuckles wird nach dem vollständigen Ineingreifen der Kupplungsköpfe beim Aufdrücken zweier Wagen automatisch im jeweiligen Kupplungskopf arretiert. Zum Entkuppeln wird er über einen handbedienten Zugmechanismus an einer von zwei gekuppelten Kupplungen gelöst.“⁴

Abbildung 7: Wirkungsweise der Janney-Kupplung



Quelle: Stuhr, H. 2013, S. 30.

⁴ Stuhr, H. 2013, S. 29.

Janney-Kupplungen gibt es mittlerweile in verschiedenen Ausführungen wie z. B. die von der Association of American Railroads (AAR) definierten und im Güterverkehr eingesetzten AAR-Typen E und F (vgl. Abbildung 8). Dabei müssen bei den heute flächendeckend im Güterverkehr eingesetzten Kupplungen AAR Typ E und F jeweils die Luftleitungen bzw. falls vorhanden elektrischen Leitungen von Hand gekuppelt bzw. getrennt werden. Lediglich in einem Forschungsprojekt „Automated F-Type Tricoupler“ aus dem Jahr 2008 wird eine vollautomatische Version angeboten. Diese ist jedoch bis heute nicht im kommerziellen Einsatz.

Abbildung 8: Übersicht Kupplungssysteme des Typs „Janney“

	AAR Typ E, E/F	AAR Typ F	AAR Typ H Teightlock	Automated F-Type Tricoupler
Kupplungstyp	Janney	Janney	Janney	Janney
Güter-/Personenverkehr	Güterverkehr	Güterverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr
Flächendeckender Einsatz GV	Ja	Teilweise	Teilweise	Nein
Zulässige Zugkraft (kN)	1.750	>1.750	1.750	1.750
Getrennte Zug-/Druckübertragung	-	-	-	-
Gemeinsame Zug-/Druckübertragung	x	x	x	x
Starre Kupplung	-	x	x	x
Bewegliche Kupplung	x	-	-	-
Manuelle Kupplung	-	-	-	-
Halbautomatische Kupplung	x	x	x	-
Vollautomatische Kupplung	-	-	-	x
Autom. Verbinden Luftleitung	-	-	x	x
Autom. Verbinden Elektroleitung	-	-	x	x

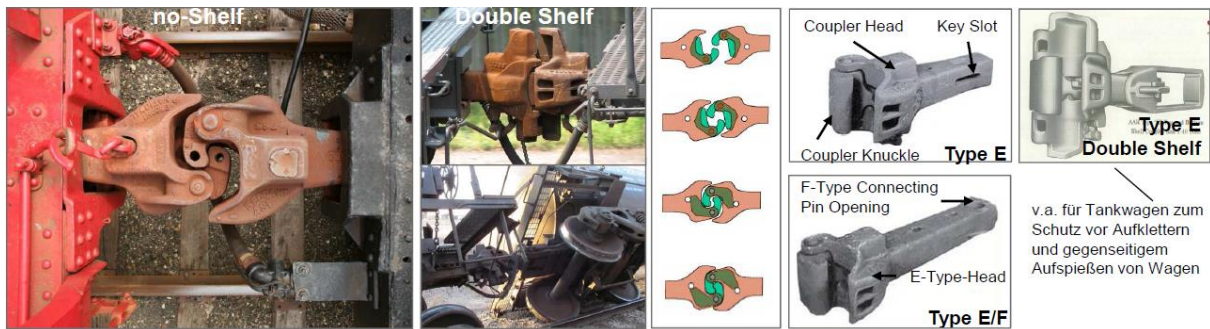
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ferstl, D. (2014)

3.3.3.1 AAR Typen E, E/F

Die Janney-Kupplung AAR Typen E, E/F sind seit 1932 bis heute die Standard-Kupplungen im Schienengüterverkehr in Nordamerika, China, Japan, Australien, Südafrika, Brasilien und weiteren Ländern. Die Verriegelung erfolgt automatisch, das Lösen der Verbindung manuell (allerdings nicht unter Zugspannung). Eine automatische Leitungskupplung besteht bei diesen Typen E, E/F allerdings nicht. Der Greifbereich der Kupplung ist relativ gering. AAR Typ E, E/F ist vertikal beweglich gekuppelt mit einem Längsspiel von ca. 20mm. Die zulässige Zugkraft beträgt 1.750kN. Schwerster Zug mit diesem Kupplungstyp war ein 32.000 to. Zug der Fortescue Railway. Typ E benötigt i. d. R. ein Standard Draft Gear als Zug-/Stoßmittelpuffer.

Verschiedene Hersteller in den USA (z. B. McConway&Torley Corp., ASF Keystone, Columbus Castings), Japan (z. B. Japan Steel Works, Nippon&Sunimoto) sowie China (z. B. CSR Qishuyan, Jiangsu Tedrail) produzieren die Janney-Kupplung Typ E, E/F.

Abbildung 9: AAR Typ E, E/F

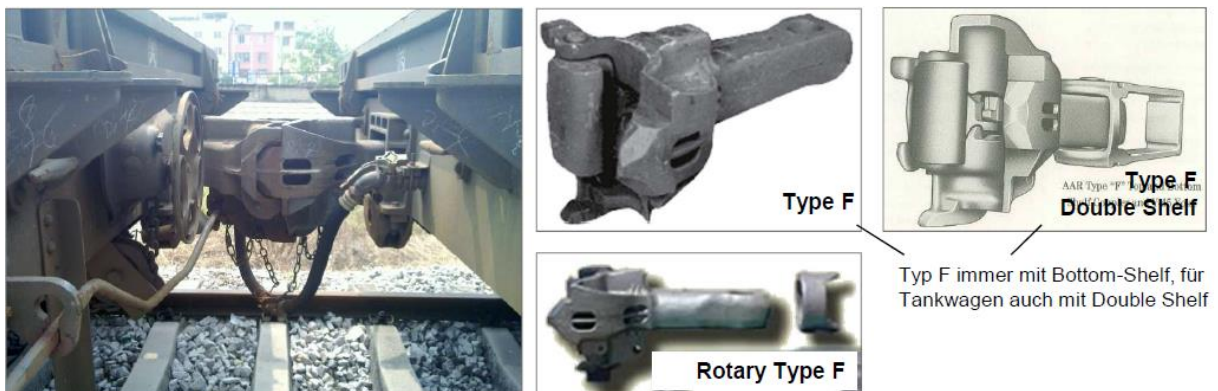


Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 14.

3.3.3.2 AAR Typ F

Die Kupplung AAR Typ F wird seit 1954 in Nordamerika vereinzelt bei Tankwagen, ansonsten vorwiegend bei Kipp-Schüttgutwagen eingesetzt. Das Kuppeln erfolgt automatisch, das Trennen der Verbindung muss manuell erfolgen (nicht unter Zugspannung). Hauptluftleitung sind manuell zu kuppeln, Elektroleitungen sind nicht vorgesehen. Der Typ F ist grundsätzlich kompatibel zu AAR Typ E. Im Gegensatz zu Typ E, E/F ist die Kupplung starr ausgerichtet, d. h. das vertikale Spiel beträgt ca. 10mm. Die Zugkraft ist gegenüber dem Typ E, E/F verstärkt und liegt somit bei über 1.750kN. Die Hersteller der AAR Typ F sind dieselben wie für AAR Typ E.

Abbildung 10: AAR Typ F



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 15.

3.3.3.3 AAR Typ H (Tightlock)

Die Kupplung AAR Typ H (Tightlock) wird seit 1947 ausschließlich im Personenverkehr überwiegend in Nordamerika eingesetzt. Die Verriegelung geschieht automatisch, das Trennen der Verbindung manuell (nicht unter Zugspannung). Die Leitungskupplung erfolgt i. d. R. nicht automatisch. Allerdings existieren vollautomatische Versionen mit Kupplung von Luft- und Elektroleitungen (z. B. BR 321 in Großbritannien). Die Kupplung ist kompatibel zu AAR Typ E und F. Weiterhin ist die Kupplung starr ausgerichtet mit einem geringen Spiel von ca. 2mm („Tightlock“). Die zulässige Zugkraft liegt wie bei den anderen AAR-Typen bei 1.750kN. Hersteller der Kupplung sind u. a. Columbus Castings (US), Texmaco (IN) und Voith Turbo Scharfenberg (DE).

Abbildung 11: AAR Typ H (Tightlock)



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 17.

3.3.3.4 Forschungsprojekt Fully Automated F-Type Tricoupler

Im Jahr 2008 wurde ein Prototyp einer vollautomatischen Janney-Kupplung, dem sog. Fully Automated F-Type Tricoupler durch Sharma&Associates Inc. (US) entwickelt und erprobt. Allerdings ist bisher kein kommerzieller Betrieb durchgeführt worden. Die Kupplung agiert vollautomatisch, d. h. die Verriegelung und Trennung erfolgt automatisch. Die Hauptluftleitung kann automatisch gekuppelt werden inkl. automatischer Betätigung des Absperrhahns. Ebenso kann eine elektrische Leitung automatisch gekuppelt werden. Die automatische Betätigung erfolgt entweder per Knopf am Wagen, per Bedienknopf von der Lok (über elektrische Leitung) oder per Funk von der Lok oder außerhalb des Zuges. Die sonstigen mechanischen Eigenschaften sind analog der AAR-Typ F-Kupplung.

Abbildung 12: Forschungsprojekt Fully Automated F-Type Tricoupler



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 19.

3.3.4 Kupplungen des Typs „Willison“

Die Willison-Kupplung wurde 1916 in den USA entwickelt. „Ebenso wie die Janney-Kupplung in der Grundform E handelt es sich um eine bewegliche Kupplung, die somit eine hohe Reibung an den Kupplungsflächen und den daraus resultierenden Verschleiß hat, und bei der die Leitungen getrennt von Hand gekuppelt werden müssen.“⁵ Im Gegensatz zur Janney-Kupplung erfolgt die Zugkraftübertragung nicht einzig über bewegliche Elemente des Kupplungsverschlusses.

Abbildung 13: Wirkungsweise der Willison-Kupplung



Quelle: Stuhr, H. 2013, S. 31.

Es bestehen verschiedene Kupplungssysteme vom Typ Willison. Am weitesten verbreitet ist die Kupplung SA3, die eine Weiterentwicklung der 1916 in den USA entwickelten Willison-Kupplung darstellt. Die Kupplungen Unicupler AK69e sowie Interimat wurden in den 60er Jahren in Europa entwickelt, jedoch nie eingeführt. In den 90er-Jahren erfolgte durch Knorr-Bremse die Entwicklung der Z-AK, welche jedoch nur in wenigen Fahrzeugen zum Einsatz kam. Anfang der 2000er-Jahre wurde die Transpact C-Akv entwickelt, welche ebenfalls nur in wenigen Fahrzeugen verbaut wurde. Eine neue Entwicklung stellt die modulare „SA3-Kupplung“ von Voith dar.

Alle in Abbildung 14 dargestellten Kupplungssysteme sind halbautomatische Kupplungen und für einen Einsatz im Güterverkehr vorgesehen. Lediglich die Z-AK von Knorr-Bremse hat eine getrennte Zug-/Druckübertragung und erfordert daher weiterhin Seitenpuffer. Mit Ausnahme der SA3 und teilweise der Z-AK können bei den anderen Kupplungssystemen Leitungen (Luft und elektrisch) automatisch verbunden werden.

Abbildung 14: Übersicht Kupplungssysteme des Typs „Willison“

	SA3	Unicupler AK69e	Interimat	Z-AK	Transpact C-Akv	Voith "SA3"
Kupplungstyp	Willison	Willison	Willison	Willison	Willison	Willison
Güter-/Personenverkehr	Güterverkehr	Güterverkehr	Güterverkehr	Güterverkehr	Güterverkehr	Güterverkehr
Flächendeckender Einsatz GV	Ja	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Zulässige Zugkraft (kN)	1.750	1.000	1.000	500	1.000	2.500
Getrennte Zug-/Druckübertragung	-	-	-	x	-	-
Gemeinsame Zug-/Druckübertragung	x	x	x	-	x	x
Starre Kupplung	-	x	x	x	x	x
Bewegliche Kupplung	x	-	-	-	-	-
Manuelle Kupplung	-	-	-	-	-	-
Halbautomatische Kupplung	x	x	x	x	x	x
Vollautomatische Kupplung	-	-	-	-	-	-
Autom. Verbinden Luftleitung	-	x	x	x	x	x
Autom. Verbinden Elektroleitung	-	x	x	-	x	x

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an Ferstl, D. (2014)

⁵ Stuhr, H. (2013), S. 31.

3.3.4.1 SA3

Die SA3 ist eine Weiterentwicklung der 1916 in den USA erfundenen Willison-Kupplung auf die russischen Verhältnisse. Die SA3 wurde in der Sowjetunion zwischen 1935 und 1953 eingeführt und ist dort seither die Standard-Kupplung. Aber auch in Finnland, der Türkei, Irak sowie in Erzzügen in Norwegen und Schweden kommt die SA3 zum Einsatz. Die SA3 ist eine bewegliche Kupplung mit einem Längsspiel von ca. 10mm. Die zulässige Zugkraft in Russland beträgt 1.320kN. Der bisher schwerste Zug weist eine Tonnage von 8.000 to. auf (Erzzüge der Malmtraffik in Norwegen).

Die Verriegelung erfolgt automatisch, das Trennen der Verbindung manuell. Leitungen können nicht automatisch gekuppelt werden. Bei Güterwagen erfolgt die Kraftübertragung über einen zentralen Zug-/Stoß-Mittelpuffer. Hersteller der SA3 sind u. a. in Russland (z. B. Uraltransmash, Promtractor-Promlit, Skepki) und in China (z. B. Chongqing Hengtai, CSR Qishuyan).

Abbildung 15: Kupplung SA3



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 21.

3.3.4.2 Unicupler Ak69e als europäische Mittelpufferkupplung seitens UIC

Die Kupplung Unicupler AK69e wurde durch die UIC als Standardkupplung für europäische Bahnen vorgegeben. Entwickelt wurde sie zwischen 1961 und 1970 durch Unicupler GmbH (später zu Knorr-Bremse). Eine flächendeckende Einführung hat nie stattgefunden.⁶ Heute ist die Kupplung lediglich im iranischen Güterverkehr sowie in Erzzügen der DB in Deutschland im Einsatz. Die Kupplung wird nicht mehr hergestellt. Da die Kupplung als europäische Standard-Kupplung vorgesehen war, ist diese kompatibel zur russischen SA3 sowie zur Kupplung Intermat (vgl. Kapitel 3.3.4.3).

Das Verriegeln erfolgt automatisch, das Lösen der Verbindung manuell. Automatisch können zwei Luftleitungen sowie sechs elektrische Leitungen bis 220V und 20A gekuppelt werden.

Die zulässige Zugkraft beträgt 1.000kN. Es handelt sich um eine starre Kupplung mit einem verbleibenden Längsspiel von wenigen mm. Der Kupplungskopf liegt zur vertikalen Beweglichkeit auf einer abgefederten Gleitschiene im Kopfstück auf.

Der bislang schwerste gezogene Zug weist eine Tonnage von 6.000 to. auf (Erzzüge Hansaport-Salzgitter bzw. Rotterdam-Dillingen).

⁶ Zu den Ursachen für das bisherige Scheitern bei der Einführung von automatischen Kupplungen in Europa vgl. Kapitel 6.2.

Abbildung 16: Unicupler AK69e



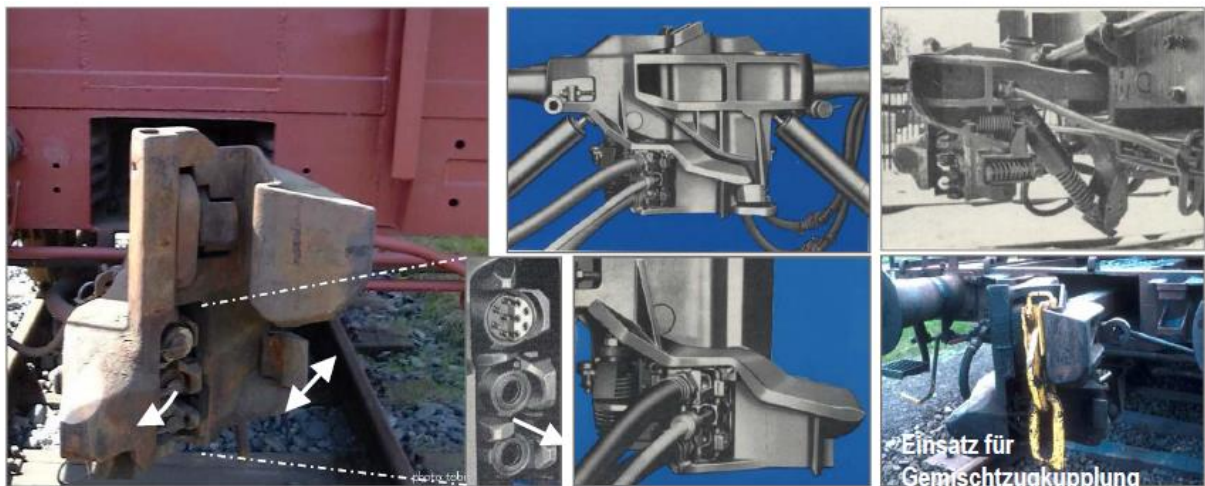
Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 23.

3.3.4.3 Intermat als europäische Mittelpufferkupplung seitens OSShD

Die Intermat wurde als Gegenstück zur Unicupler AK69e von der OSShD zwischen 1961 und 1970 zur Entwicklung bei der VEB Waggonbau Bautzen in Auftrag gegeben. Ein flächendeckender Einsatz ist nicht erfolgt.⁷ Daher wird die Intermat heute nicht mehr hergestellt. Als konzipierte europäische Standard-Kupplung ist die Intermat kompatibel zur SA3 sowie zur Unicupler AK69e.

Ebenso wie die Unicupler AK69e ist die Intermat eine halbautomatische, starre Kupplung. Das Verriegeln erfolgt dabei automatisch, das Trennen der Verbindung manuell. Analog zur AK69e können zwei Luftleitungen sowie sechs elektrische Leitungen automatisch verbunden werden. Die zulässige Zugkraft beträgt 1.000kN.

Abbildung 17: Intermat



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 24.

⁷ Zu den Ursachen für das bisherige Scheitern bei der Einführung von automatischen Kupplungen in Europa vgl. Kapitel 6.2.

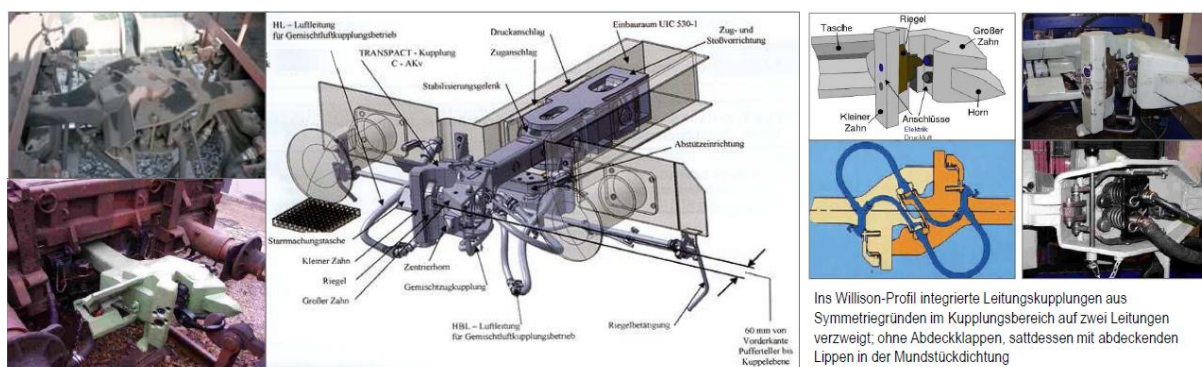
3.3.4.4 Transpact C-Akv

Die Transpact C-Akv wurde von SAB WABCO BSI (heute Faiveley Transport) zwischen 1994 bis 2002 basierend auf der UIC-Mittelpufferkupplung Ak69e weiterentwickelt. Ein flächendeckender Einsatz ist bisher nicht gelungen. Allerdings sind ca. 150 Güterwagen mit C-Akv-Kupplungen im Einsatz in Braunkohlezügen bei der DB Schenker Rail.

Bei der Transpact C-Akv handelt es sich um eine halbautomatische, starre Kupplung. Das Verriegeln erfolgt automatisch, das Lösen der Verbindung manuell. Es können zwei Leitungen (2xLuft oder Luft und Elektro) automatisch gekuppelt werden. Die zulässige Zugkraft beträgt 1.000kN.

Die Transpact C-Akv ist kompatibel zur SA3, AK69e sowie zur manuellen Schraubekupplung.

Abbildung 18: Transpact C-Akv



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 25.

3.3.4.5 Modulare „SA3-Kupplung“ von Voith

Auf der Innotrans 2014 wurde von Voith Turbo Scharfenberg eine neue modulare „SA3-Kupplung“ vorgestellt. Als Zielmärkte werden v. a. der russische und osteuropäische Markt gesehen. Ein Einsatz in Zentraleuropa wäre ebenfalls vorstellbar.

Für die Kuppelbarkeit bestehen verschiedene mechanische Varianten:

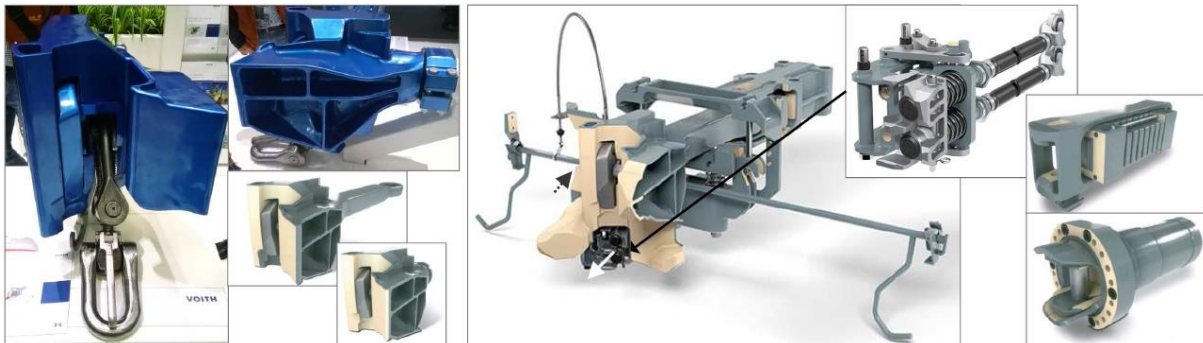
- als reine SA3 ohne Starrmachungsorgane,
- mit vertikaler Starrmachung zur Kompatibilität Ak69e und Internat,
- Optional integrierte Gemischtzugkupplung.

Das Entkuppeln kann entweder manuell (Standard) oder automatisch mittels Pneumatikzylinder erfolgen. Für die automatische Leitungskupplung bestehen ebenfalls verschiedene Varianten:

- Ohne automatische Leitungskupplung
- Automatische Kupplung von zwei Luftleitungen kompatibel zur Ak69e und Internat
- Induktive Datenübertragung.

Je nach Variante kann die modulare Kupplung starr oder beweglich ausgeführt werden. Die zulässige Zugkraft beträgt 2.500kN in Standardausführung sowie 1.500kN in Gemischtzug-Ausführung.

Abbildung 19: Modulare „SA3-Kupplung“ von Voith C-Akv



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 26.

3.3.5 Kupplungen des Typs „Scharfenberg“

Die Scharfenbergkupplung (Abk. Schaku) gehört zu den Mittelpufferkupplungen. Sie ermöglicht ein schnelles, einfaches und vor allem sicheres Kuppeln und Entkuppeln von Zügen. Entwickelt wurde die Kupplung von 1904 bis 1907 von Karl Scharfenberg in der Waggonfabrik L. Steinfurt AG in Königsberg. Heute ist die Schaku rund um die Erde in Zügen des Personenverkehrs aller Art im Einsatz, von der Straßenbahn bis zum Hochgeschwindigkeitszug, und in nahezu allen Staatsbahnen zu finden.⁸

Abbildung 20: Übersicht Kupplungssysteme des Typs Scharfenberg

	Scharfenberg Typ 10	Scharfenberg Typ 35,330,430	Scharfenberg Typ 140
Kupplungstyp	Scharfenberg	Scharfenberg	Scharfenberg
Güter-/Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr
Flächendeckender Einsatz GV	Nein	Nein	Nein
Zulässige Zugkraft (kN)	1.000		1.500
Getrennte Zug-/Druckübertragung	-	-	-
Gemeinsame Zug-/Druckübertragung	x	x	x
Starre Kupplung	x	x	x
Bewegliche Kupplung	-	-	-
Manuelle Kupplung	-	-	-
Halbautomatische Kupplung	-	-	x
Vollautomatische Kupplung	x	x	-
Autom. Verbinden Luftleitung	x	x	-
Autom. Verbinden Elektroleitung	x	-	-

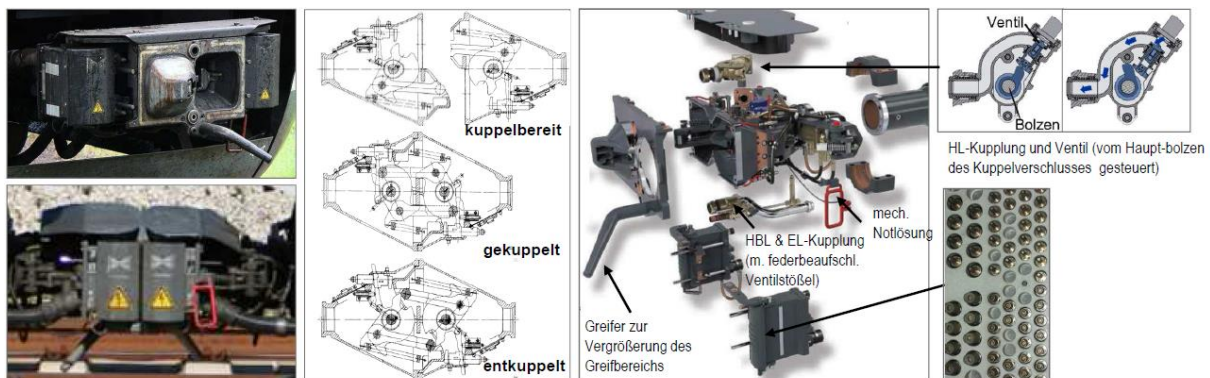
Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ferstl, D. 2014].

⁸ Vgl. Wikipedia

3.3.5.1 Scharfenbergkupplung Typ 10 (Schaku)

Im Jahr 2002 wurde der Typ 10 der Scharfenbergkupplung zum Standard für Hochgeschwindigkeitszüge erklärt und ist heute Bestandteil der Interoperabilitäts-Spezifikation (TSI).⁹ Die Kupplung agiert vollautomatisch inkl. der automatischen Kupplung der Hauptluftleitung zzgl. elektrischen Leitungen. Die Kupplung ist allerdings in ungekuppeltem Zustand abzudecken und gewährt keinen zuverlässigen Betrieb bei Vereisung. Daher ist die Kupplung i. d. R. beheizt. Somit kommt –abgesehen von den vergleichsweise hohen Kosten der Kupplung – alleine schon aus betrieblichen Gründen ein Einsatz im Schienengüterverkehr nicht infrage. Die zulässige Zugkraft beträgt 1.000kN, die zulässige Druckkraft 1.500kN.

Abbildung 21: Scharfenbergkupplung Typ 10 (Schaku)



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 28.

Neben der Scharfenbergkupplung Typ 10 bestehen weitere im Personenverkehr eingesetzte Scharfenbergkupplungen, wie z. B. Typ 35 (für all-electric-Fahrzeuge v. a. Metros), Typ 330 (v. a. für Stadt-/Straßenbahnen und Monorails) sowie Typ 430/530 (v. a. für Straßenbahnen und Monorails). Diese Typen werden jedoch im Rahmen dieser Untersuchung nicht weiter vorgestellt.

3.3.5.2 Scharfenbergkupplung Typ 140

Zwischen den beiden Weltkriegen führte die Deutsche Reichsbahn probeweise eine Scharfenberg-Kupplung des Typs 140 im Güterverkehr ein. Allerdings konnte sich die Technik nicht durchsetzen, insbesondere da die Kupplung sehr anfällig auf Verschmutzung reagierte. In Nischenverkehren wird dieses Kupplungssystem jedoch weiterhin eingesetzt und zwar seit mehreren Jahrzehnten im Hüttenwerksverkehr, v. a. bei Schlackewagen und Roheisenmischwagen. Die Kupplung verbindet sich automatisch, muss jedoch manuell getrennt werden. Eine automatische Leitungskupplung erfolgt nicht. Weiterhin ist die Kupplung nicht kompatibel zu anderen Scharfenberg-Kupplungen. Es handelt sich um eine starre Kupplung ohne Längsspiel. Die zulässige Zugkraft beträgt 1.500kN, die zulässige Druckkraft 2.500kN.

⁹ Vgl. Wikipedia.

Abbildung 22: Scharfenbergkupplung Typ 140



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 30.

3.3.6 Sonstige Kupplungen

Neben den Kupplungssystemen der Typen Janney, Willison oder Scharfenberg bestehen weitere Kupplungssysteme, die sich nicht einer der genannten Kategorien zuordnen lassen. Abbildung 23 gibt eine Übersicht über die Eigenschaften der sonstigen Kupplungssysteme. Überwiegend werden diese Kupplungssysteme im Personenverkehr eingesetzt. Eine Ausnahme stellt die BSI-Autozugkupplung dar, die in Autozugverkehren sowie bei Huckepackwagen zum Einsatz kommt. Das Modell wurde von SAB Wabco (heute Faiveley Transport) entwickelt. Inwiefern die Kupplung heute noch hergestellt wird, ist nicht bekannt.

In der Regel handelt es sich bei den unten genannten Kupplungssystemen um vollautomatische Kupplungen, bei denen auch die Luft- und Elektroleitungen automatisch gekuppelt werden können.

Abbildung 23: Übersicht sonstige Kupplungssysteme

	Wedglock	AZK (Schwab)	BSI Autozugkupplung	Wabco N-Type	Tomlinson	Shibata	BSI Kompakt	GFV	GFT, GFN	Schwab-Vollbahn	Schwab-Metro
Kupplungstyp	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige	Sonstige
Güter-/ Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Güterverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr	Personenverkehr
Flächendeckender Einsatz GV	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein	Nein
Zulässige Zugkraft (kN)	-	-									
Getrennte Zug-/ Druckübertragung	x	x	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Gemeinsame Zug-/ Druckübertragung	-	-	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Starre Kupplung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Bewegliche Kupplung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Manuelle Kupplung	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
Halbautomatische Kupplung	-	-	-	-	-	-	-	-	x	-	-
Vollautomatische Kupplung	x	x	x	x	x	x	x	x	-	x	x
Autom. Verbinden Luftleitung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x
Autom. Verbinden Elektroleitung	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x	x

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Ferstl, D. 2014].

In der unten stehenden Abbildung 24 werden die Kupplungssysteme BSI-Autozugkupplung, Wabco N-Type, Tomlinson, BSI-Kompaktkupplung, Shibata, GFN, GFT, GFV, Schwab Vollbahn sowie Schwab Metro graphisch vorgestellt. Da diese Kupplungssysteme für einen Einsatz im Schienengüterverkehr nicht geeignet scheinen, wird an dieser Stelle auf eine nähere Vorstellung der Systeme verzichtet.

Abbildung 24: Sonstige Kupplungssysteme



Quelle: Ferstl, D. (2014), S. 33-35.

3.4 Beschaffungskosten der bestehenden Kupplungssysteme

Im Folgenden werden die Kosten für die verschiedenen Kupplungssysteme, insofern diese in der Literatur vorzufinden sind, dargestellt. Um zu einem späteren Zeitpunkt exakte Wirtschaftlichkeitsrechnungen durchführen zu können, müssten die Kosten für die Kupplungssysteme in jedem Fall noch einmal direkt bei den Herstellern abgefragt werden. Daher stellen die folgenden Kostenangaben nur einen Orientierungswert dar.

Durch DB Schenker Rail werden die Beschaffungskosten für eine manuelle Schraubekupplung mit 1.500 € angegeben.¹⁰ [Sünderhauf, B. 2009, S. 124] gibt die Kosten für eine Schraubekupplung inkl. Puffer je Waggon mit ca. 3.000 € an, was geteilt durch zwei den Angaben der DB Schenker Rail entspricht.

Abbildung 25: Kosten einer Schraubekupplung

Bestandteile manuelle Schraubekupplung			
Bezeichnung	Kosten pro Stück	Anzahl pro Wagen	Kosten pro Wagen
Puffer	400 €	4	1.600 €
Zughaken	115 €	2	230 €
Schraubekupplung	200 €	2	400 €
Zugeinrichtung	360 €	2	720 €
Summe			2.950 €

Quelle: Eigene Darstellung nach [Sünderhauf, B. 2009, S. 124].

Für den Einbau einer automatischen Zug-Druck-Kupplung mit Luft- und Elektrokupplung sowie automatischer pneumatischer Entriegelung pro Waggon geht [Sünderhauf, B. 2009, S. 122] von folgenden Kosten aus:

¹⁰ Vgl. Wolf, Strobel, Fleischmann, 2010.

Abbildung 26: Kosten einer halbautomatischen Kupplung mit Leitungskupplung (Sünderhauf)

Kosten einer automatischen Kupplung			
Bezeichnung	Kosten pro Stück	Anzahl pro Wagen	Kosten pro Wagen
Kupplungskopf	2.500 €	2	5.000 €
Federwerk	1.000 €	2	2.000 €
Entkupplungszyylinder, Magnetventile etc.	250 €	2	500 €
Leitungen im Waggon			200 €
Einbaukosten			300 €
Summe			8.000 €

Quelle: Sünderhauf, B. 2009, S. 122.

Sünderhauf geht somit davon aus, dass die Kostendifferenz zwischen den Kosten pro Waggon für eine Schraubekupplung (3.000 €) und den Kosten pro Waggon für eine automatische Zug-Druck-Kupplung mit Luft- und Elektrokupplung sowie automatischer pneumatischer Entriegelung pro Waggon (8.000 €) **ca. 5.000 €** beträgt.

DB Schenker Rail geht hingegen davon aus, dass die Beschaffungskosten einer automatischen Kupplung C-AKv je Waggon ca. 16.000 € betragen. Der Kostenunterschied je Waggon liegt nach Einschätzung DB Schenker Rail entsprechend bei **ca. 13.000 €**.¹¹

Auch von [Fumasoli, T. 2010] werden Einschätzungen über die Einbau- und Beschaffungskosten von automatischen Kupplungssystemen dargestellt. Dabei sind die Beschaffungskosten für eine Schraubekupplung vergleichbar mit den vorherigen Einschätzungen (ca. 1.500 € je Schraubekupplung bzw. 3.000 € pro Waggon).

Eine halbautomatische Kupplung ohne Leitungskupplung (vergleichbar mit Janney-Kupplung, wie diese in den USA verwendet wird) kostet lt. Fumasoli ca. 4.700 € und ist demnach ca. 56 % teurer in der Beschaffung als die Schraubekupplung.

Die Beschaffungskosten für eine halbautomatischen Kupplung mit Leitungskupplung werden durch Fumasoli mit ca. 18.000 € je Waggon bereits wesentlich höher eingeschätzt (vgl. Abbildung 27). Diese Einschätzung entspricht jedoch eher der Größenordnung, welche von DB Schenker Rail für die Beschaffungskosten einer C-AKv genannt wurden (16.000 €), als den von Sünderhauf angenommenen 8.000 € je Waggon.

Abbildung 27: Kosten einer halbautomatischen Kupplung mit Leitungskupplung (Fumasoli)

Kosten einer halbautomatischen Kupplung mit Leitungskupplung			
Bezeichnung	Kosten pro Stück	Anzahl pro Wagen	Kosten pro Wagen
Kupplungskopf und Federwerk	9.000 €	2	18.000 €
Einbaukosten			300 €
Summe			18.300 €

Quelle: Fumasoli, T. 2010, Anhang A6

Die Beschaffungskosten für eine vollautomatische Kupplung mit einer automatischen Leitungskupplung von Luft- und Elektroleitungen werden durch Fumasoli auf ca. 41.000 € je Waggon eingeschätzt (vgl. Abbildung 28).

¹¹ Vgl. Wolf, Strobel, Fleischmann, 2010

Abbildung 28: Kosten einer vollautomatischen Kupplung (Fumasoli)

Kosten einer vollautomatischen Kupplung			
Bezeichnung	Kosten pro Stück	Anzahl pro Wagen	Kosten pro Wagen
Kupplungskopf und Federwerk	20.690 €	2	41.379 €
Einbaukosten			300 €
Summe			41.679 €

Quelle: Fumasoli, T. 2010, Anhang A6

Die folgende Abbildung 29 fasst die oben vorgestellten Einschätzungen der verschiedenen Autoren über die Beschaffungs- und Einbaukosten von verschiedenen Kupplungssystemen zusammen.

Abbildung 29: Übersicht Kosten verschiedener automatischer Kupplungen

Vergleich verschiedener Kostenschätzung Kupplungssysteme			
Kupplungssystem	Kosten pro Stück	Kosten pro Wagen	Quelle
Schraubekupplung inkl. Puffer	1.500 €	3.000 €	DB Schenker Rail (2010), Sünderhauf (2009), Fumasoli (2010)
AK mit Luft- und Elektrokupplung mit pneumatischer Entriegelung	4.000 €	8.000 €	Sünderhauf (2009)
C-Akv von Faiveley	8.000 €	16.000 €	DB Schenker Rail (2010)
Halbautomatische Kupplung ohne Leitungskupplung	2.350 €	4.700 €	Fumasoli (2010)
Halbautomatische Kupplung mit Leitungskupplung	9.150 €	18.300 €	Fumasoli (2010)
Vollautomatische Kupplung	20.840 €	41.680 €	Fumasoli (2010)

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Fumasoli, T. 2010], [Sünderhauf, B. 2009] und [Wolf; Strobel; Fleischmann, 2010]

Es zeigt sich, dass mit steigender Komplexität und Funktionalität eines Kupplungssystems die Beschaffungskosten deutlich ansteigen. So liegen die Beschaffungskosten einer C-Akv bereits über 5mal so hoch wie die einer Schraubekupplung. Eine vollautomatische Kupplung inkl. automatischer Leitungskupplung ist um den Faktor 14 teurer als eine Schraubekupplung.

Auch wenn die oben dargestellten Beschaffungskosten ggf. nicht mehr ganz aktuell sind, so geben diese dennoch einen guten Eindruck über die wirtschaftlichen Herausforderungen, die bei einer Umrüstung der Güterwagen in Europa auf automatische Kupplungssysteme zu bewältigen sind. Unter Annahme einer Anzahl von ca. 600.000 Güterwagen in Europa wären bei Umrüstung mit einer C-Akv ca. 9,6 Mrd. € zu investieren. Bei Umrüstung mit vollautomatischen Kupplungssystemen beträgt das erforderliche Investitionsvolumen bereits ca. 25 Mrd. €.

Daher liegt es nahe, dass zunächst die Anforderungen der Nutzer an ein automatisches Kupplungssystem genau definiert sein müssen, um die Art des Kupplungssystems bestimmen zu können. Dies erfolgt im folgenden Kapitel 4.

4. Entwicklung von Anforderungen an automatische Kupplungen

Wie bereits in Kapitel 3 beschrieben bestehen eine Vielzahl von unterschiedlichen Kupplungssystemen mit unterschiedlichen Eigenschaften. Je nach Anforderungen der Nutzer werden daher unterschiedliche Funktionalitäten einer AK gefragt sein.

Grundsätzlich können die Anforderungen an eine automatische Kupplung wie in Abbildung 30 dargestellt zusammengefasst werden:

Abbildung 30: Grundsätzliche Anforderungen an automatische Kupplungen



Grundvoraussetzung ist die Gewährleistung eines Mischbetriebs von Güterwagen mit Automatischer Kupplung und Schraubenpuffer-Kupplung.

Quelle: TIS-Arbeitsgruppe „Innovative Kupplungssysteme“, Dezember 2014.

Neben der eigentlichen Funktionalität des Verbindens und Trennens von Güterwagen, bestehen weitere Anforderungen in Form einer möglichen Erhöhung des zulässigen Zuggewichts und/oder der Zuglänge sowie an eine Stromversorgung im Güterwagen als Voraussetzung für den Einsatz von Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr.

Eine exakte Aufstellung der Anforderungen an eine automatische Kupplung kann im Rahmen dieser Arbeit nicht erfolgen. Hierfür ist eine inhaltliche Diskussion innerhalb der TIS-Arbeitsgruppe „Innovative Kupplungssysteme“ zwingend erforderlich. Jedoch können an dieser Stelle folgende Kriterien definiert werden, nach denen die Anforderungen an automatische Kupplungen entwickelt werden sollten:

- Automatisierungsgrad des Kupplungssystems
- Beweglichkeit der Kupplung (starr/flexibel)
- Verteilung der Kraftübertragung (gemeinsam/getrennt)
- Zielgrößen für max. Zug- und Druckkräfte
- Kompatibilität zu anderen Kupplungssystemen
- Zusätzliches Gewicht bzw. Gewichtseinsparung i. Vgl. zu Schraubenkupplung mit Puffern
- Zielkosten

Automatisierungsgrad des Kupplungssystems

Je nach gefordertem Automatisierungsgrad einer automatischen Kupplung kommen verschiedene Kupplungssysteme mit unterschiedlichen Beschaffungskosten und mit unterschiedlichen Nutzenaspekten für einen Einsatz infrage. Die folgende Abbildung 31 beschreibt dabei die möglichen Varianten eines Automatisierungsgrads einer automatischen Kupplung:

Abbildung 31: Automatisierungsgrade von automatischen Kupplungen

	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4	Variante 5
Die aMPK soll folgende Funktionalitäten erfüllen					
Automatisches Kuppeln	ja	ja	ja	ja	ja
Automatisches Kuppeln Luftleitungen	nein	ja	ja	ja	ja
Automatisches Kuppeln Elektroleitungen	nein	nein	ja	ja	ja
Automatisches Lösen der Verbindung und der Luft- und Elektroleitung per Knopfdruck am Wagen	nein	nein	nein	ja	ja
Automatisches Lösen der Verbindung und der Luft- und Elektroleitung zusätzlich ferngesteuert	nein	nein	nein	nein	ja

Quelle: Eigene Darstellung

Es wird insgesamt von fünf verschiedenen Varianten ausgegangen, die von einer halbautomatischen Kupplung mit einer Funktionalität vergleichsweise einer amerikanischen AAR Typ E oder russischen SA3 ausgehen (Variante 1 - Basisversion) bis hin zu einer ferngesteuert bedienbaren, vollautomatischen Kupplung (Variante 5 – High End-Variante). Bzgl. Variante 5 besteht derzeit nur ein im Jahr 2008 entwickelter Prototyp einer vollautomatischen Janney-Kupplung, dem sog. Fully Automated F-Type Tricoupler. Für dieses Kupplungssystem liegt allerdings bisher kein kommerzieller Betrieb vor. Allerdings werden derartige Kupplungssysteme (Variante 5) flächendeckend und weltweit im Schienenpersonenverkehr eingesetzt (z. B. Scharfenberg-Kupplungen vgl. Kapitel 3.3.5).

Es ist zwingend erforderlich, dass ein einheitliches Verständnis innerhalb der TIS-Arbeitsgruppe entwickelt wird, welche Anforderung an den Automatisierungsgrad der Kupplung gestellt werden soll.

Beweglichkeit der Kupplung

Weiterhin sollte die TIS-Arbeitsgruppe definieren, welche betrieblichen Eigenschaften bzgl. der Beweglichkeit der Kupplung erforderlich sind. So sind beispielsweise die meisten der bisher entwickelten automatischen Kupplungen für den europäischen Markt beweglich ausgelegt (AK69e, Intermat, C-AKv, „Voith SA3“), wohingegen die Z-AK von Knorr-Bremse als starre Kupplung ausgelegt war.

Verteilung der Kraftübertragung (gemeinsam/getrennt)

Auch hier sollte durch die TIS-Arbeitsgruppe eine Vorgabe erfolgen, inwiefern eine automatische Kupplung sowohl Zug- als auch Druckkräfte (gemeinsame Kraftübertragung, siehe AK69e, Intermat, C-AKv, „Voith SA3“) oder nur Zugkräfte (getrennte Kraftübertragung, siehe Z-AK) übertragen werden sollten. Von dieser Fragestellung hängt ab, ob die Seitenpuffer zwecks Übertragung der Druckkräfte erhalten bleiben sollen oder nicht.

Zielgrößen für max. Zug- und Druckkräfte

Es ist zwar davon auszugehen, dass die max. zulässigen Zug- und Druckkräfte bei einer automatischen Kupplung in jedem Fall diejenigen einer Schraubenkupplung übertreffen werden. Dies ist zumindest bei den bisher entwickelten automatischen Kupplungen der Fall gewesen. Nichtsdestotrotz sollten Vorgaben entwickelt werden, welche Zielgrößen für den europäischen Schienengüterverkehr als sinnvoll erachtet werden. Dabei ist davon auszugehen, dass sich diese Zielgrößen an den bisher bei bestehenden automatischen Kupplungen erreichten max. zulässigen Zug- und Druckkräften orientieren werden.

Kompatibilität zu anderen Kupplungssystemen

Als Mindestforderung sollte in jedem Fall die Kompatibilität zu einer Schraubenkupplung definiert werden. Inwiefern eine automatische Kupplung jedoch zu anderen automatischen Kupplungssystemen kompatibel sein sollte (z. B. die bei der DB Schenker Rail im Einsatz befindlichen AK69e bzw. C-AKv oder auch zur russischen SA3) sollte im weiteren Verlauf geklärt werden.

Zusätzliches Gewicht bzw. Gewichtseinsparung im Vergleich zu Schraubenkupplung mit Puffern

Weiterhin sollte geklärt werden, inwiefern sich das Gewicht einer automatischen Kupplung zu einer Schraubenkupplung inkl. Seitenpuffer deutlich unterscheidet, so dass im negativen Fall eine verringerten Zuladung eines Güterwagens resultiert.

Zielkosten

Voraussichtlich wird es erst dann sinnvoll sein, Zielkosten für ein ausgewähltes Kupplungssystem zu definieren, wenn eine Wirtschaftlichkeitsrechnung durchgeführt worden ist. Daher kann diese Anforderung erst zu einem späteren Zeitpunkt erfolgen. Ggf. kann aber vorab eine vorsichtige Abschätzung der ungefähren Bandbreite für die Beschaffungskosten von automatischen Kupplungssystemen erfolgen.

Die Definition der Anforderungen entsprechend obig gewählter Systematik, ggf. ergänzt um weitere Kriterien, sollte in jedem Fall als einer der ersten Schritte durch die TIS-Arbeitsgruppe durchgeführt werden.

5. Nutzenaspekte einer automatischen Kupplung

Im vorliegenden Kapitel werden zunächst die wesentlichen Nutzenaspekte, die aus einer Verwendung einer AK resultieren können, vorgestellt und analysiert (vgl. Kapitel 5.1). Der Nutzen einer AK fällt jedoch nicht zwangsläufig bei dem Investor für die Umrüstung der Güterwagen an. Daher werden in Kapitel 5.2 verschiedene Nutzergruppen im Schienengüterverkehr vorgestellt und untersucht, welche Nutzergruppe von welchem Nutzenaspekt vsl. profitieren wird.

5.1 Analyse der wesentlichen Nutzenaspekte einer automatischen Kupplung

Offensichtlich erhöht sich durch den Einsatz einer AK die **Arbeitssicherheit** für das eingesetzte Rangierpersonal und die **Produktivität der Rangierpersonale** kann erhöht werden. Weiterhin kann sich bei Verwendung einer automatischen Mittelpufferkupplung auch die **Entgleisungssicherheit erhöhen**. Zudem können **Produktivitätssteigerungen im Eisenbahnbetrieb** in der Form erzielt werden, dass das Fahren von längeren, schwereren und/oder ggf. auch schnelleren Güterzügen möglich wird. Die automatische Mittelpufferkupplung gilt weiterhin als Voraussetzung für eine durchgängige **Stromversorgung** in Güterzügen. Diese ist wiederum eine Voraussetzung für die Integration von „Intelligenz“ bzw. **Telematikanwendungen** in Güterwagen. Schließlich kann die automatische Mittelpufferkupplung zu einer **Verschleißreduzierung** bei Güterwagen und Schieneninfrastruktur und damit verbunden zu einer **Reduktion von Instandhaltungsaufwendungen** beitragen. Die durch den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung erzielten Nutzenaspekte können in vier Kategorien unterteilt werden (vgl. Abbildung 32).

Abbildung 32: Nutzeneffekte durch automatische Mittelpufferkupplungen

Nutzeneffekte durch automatische Mittelpufferkupplung	
Erhöhung Arbeitssicherheit und Steigerung Produktivität Rangierpersonal	
1	Erhöhung der Arbeitssicherheit für das Rangierpersonal
2	Reduzierung des manuellen Rangieraufwands
3	Aufrechterhaltung des Rangierbetriebs bei zukünftig zu erwartenden Rekrutierungsschwierigkeiten bei Rangierpersonalen aufgrund der demographischen Entwicklung
Erhöhung Entgleisungssicherheit und Produktivität im Eisenbahnbetrieb	
4	Erhöhung Entgleisungssicherheit durch Erhöhung der zulässigen Längskräfte
5	Beschleunigung Rangiervorgänge und damit verbunden Reduzierung der Wagnumlaufzeiten
6	Erhöhung der Produktivität pro Zug durch Bildung von längeren und schwereren Zügen
7	Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit durch Nutzung Bremsstellung "P"
Stromversorgung und Telematikanwendungen im Güterzug	
8	Integration einer durchgängigen Stromversorgung als Voraussetzung für die Einführung von Telematikanwendungen in Güterzügen
Reduzierung Instandhaltungsaufwand Güterwagen und Schieneninfrastruktur	
9	Reduzierung Instandhaltungsaufwand Güterwagen durch Entfall Pufferverschleiß und Pufferschmierer sowie verringerter Radsatzverschleiß aufgrund Reduktion der auf die Fahrzeuge wirkenden Querkräfte
10	Reduzierung Instandhaltungsaufwand Schieneninfrastruktur durch Reduktion der auf die Fahrzeuge wirkenden Querkräfte

Quelle: Eigene Darstellung

Die oben dargestellten Nutzeneffekte werden im Folgenden qualitativ beschrieben.

5.1.1 Nutzeneffekte durch Erhöhung der Arbeitssicherheit und Produktivität von Rangierpersonalen

Erhöhung der Arbeitssicherheit

Das manuelle Kuppeln ist eine zeitaufwendige, körperlich schwere und gefährvolle Arbeit.¹² Da die Kupplung von Güterwaggons bei Schraubenkupplungen manuell erfolgen muss, steht heute ein Rangierarbeiter während seiner Tätigkeit zwischen zwei Fahrzeugen im sog. Berner Raum¹³, um folgende Arbeitsschritte durchzuführen:¹⁴

- Einhängen der Schraubenkupplung,
- Andrehen der Spindel,
- Verbindung der Bremskupplung (Druckluft),
- Öffnen der Absperrhähne der Bremsluftleitung,
- Herstellung der elektrischen Stromversorgung (falls vorhanden).

Auch beim Entkuppeln muss der Rangierarbeiter in den Berner Raum eintreten und die entsprechenden Arbeitsschritte durchführen.

Laut [Sünderhauf, B. 2009, S. 128] ist derzeit zwar nicht zweifelsfrei zu ermitteln, wie viele Rangiermitarbeiter bei Arbeiten im Berner Raum zwischen den Fahrzeugen verletzt oder gar tödlich verletzt werden. Es ist jedoch davon auszugehen, dass trotz eines anzunehmenden deutlichen Rückgangs der Rangierunfälle in den letzten Jahrzehnten derartige Unfälle vorkommen. Eine monetäre Bewertung beispielsweise in Form von reduzierten Fehltagen aufgrund Arbeitsunfähigkeit kann an dieser Stelle nicht vorgenommen werden. In den USA konnte jedoch nach der Umstellung auf automatische Kupplungssysteme eine Reduzierung der Kupplungsunfälle auf etwa 10 % gegenüber dem vorherigen Umfang festgestellt werden.¹⁵

Erhöhung der Produktivität des Rangierpersonals

Je nach Art der Kupplung (manuell, halbautomatisch, vollautomatisch, Art und Weise der Leitungsverbindung) kann sich der Zeitaufwand für das Herstellen oder Lösen einer Kupplungsverbindung deutlich reduzieren. [Stuhr, H. 2013, S. 48-49] hat die einzelnen Prozessschritte beim Kuppeln bzw. Entkuppeln je nach Art der Kupplung wie folgt dargestellt:

¹² Vgl. Sünderhauf, B. (2009), S. 108.

¹³ Der Berner Raum bezeichnet bei Eisenbahnfahrzeugen (Lokomotiven, Eisenbahnwagen) einen definierten Bereich zwischen zwei sich berührenden Fahrzeug-Enden. Hier ist ein gesicherter Raum erforderlich, in dem das Personal der Bahn arbeiten kann, um die Fahrzeuge an der Kupplung zu verbinden (kuppeln) oder zu trennen. Der freizuhaltende Raum beträgt je Fahrzeug 200cm × 40cm × 30cm (Höhe×Breite×Tiefe) jeweils auf beiden Seiten zwischen Normalkupplung und Puffer. Beim Kuppeln zweier Fahrzeuge bleiben somit in der Tiefe 60 cm frei, vgl. Wikipedia.

¹⁴ Vgl. Sünderhauf, B. (2009), S. 109.

¹⁵ Vgl. Sünderhauf, B. (2009), S. 128.

Abbildung 33: Arbeitsschritte beim Kuppeln je Kupplungssystem

Schraubenkupplung	Halbautomatische Mittelpufferkupplung Beispiel C-Akv	Vollautomatische Mittelpufferkupplung
Fahrzeug bei-/aufdrücken	Fahrzeug aufdrücken	Fahrzeug aufdrücken
Gehen zur Kuppelstelle	Gehen zur Kuppelstelle	-
Berner Raum betreten	-	-
Schraubenkupplung einhängen	Sichtkontrolle des korrekten Einkuppelns	-
Spindel kurzdrehen	-	-
Luftkupplungen verbinden	-	-
Absperrhähne der Bremsluftleitung öffnen	Absperrhähne der Bremsluftleitung öffnen	-
Berner Raum verlassen	-	-
Kuppelstelle verlassen	Kuppelstelle verlassen	-

Quelle: Stuhr, H. (2013), S. 48.

Gemäß [Fumasoli, T. 2010, S. 32] variiert der Zeitbedarf für das Kuppeln und Entkuppeln erheblich und hängt davon ab, welche und wie viele Leitungen verbunden bzw. getrennt werden müssen, ob die Kupplung kurz bzw. lang gemacht wird und ob der Berner Raum eingeschränkt ist.

Nach eigenen Beobachtungen von [Fumasoli, T. 2010] dauert das vollständige Kuppeln bei Güterwagen ca. 30 bis 40 Sekunden. Dabei ist der Zeitbedarf für die Wegstrecke des Rangierers von Güterwagen zu Güterwagen nicht eingerechnet. Oben stehende Abbildung 33 zeigt deutlich, dass sich bei Verwendung einer halbautomatischen bzw. sogar vollautomatischen Kupplung die Arbeitsschritte für den Kupplungsvorgang deutlich reduzieren.

Demnach kommt [Fumasoli, T. 2010, S. 33] zu der Einschätzung, dass sich der Kupplungsvorgang bei einer halbautomatischen Kupplung im Vergleich zu einer Schraubenkupplung um ca. 70 % verkürzt. Unter der Annahme der Verwendung einer halbautomatischen Kupplung mit automatischer Leitungskupplung verkürzt sich der Zeitaufwand um ca. 80 %. Bei Verwendung einer vollautomatischen Kupplung ergibt sich eine Zeitersparnis im Vergleich zur Schraubenkupplung um ca. 90 %.

Aber auch beim Entkuppeln können unter Verwendung einer halbautomatischen bzw. vollautomatischen Kupplung wesentliche Arbeitsschritte eingespart werden (vgl. Abbildung 34).

Abbildung 34: Arbeitsschritte beim Entkuppeln je Kupplungssystem

Schraubenkupplung	Halbautomatische Mittelpufferkupplung Beispiel C-Akv	Vollautomatische Mittelpufferkupplung
Gehen zur Trennstelle	Gehen zur Trennstelle	-
Berner Raum betreten	-	-
Absperrhähne der Bremsluftleitung schließen	Absperrhähne der Bremsluftleitung schließen	-
Luftkupplungen trennen	-	-
Luftkupplungen in Kupplungshalter einhängen	-	-
Spindel langdrehen	-	-
Schraubenkupplung aushängen	Entriegeln der Kupplung	Auslösen der ferngesteuerten Entriegelung
SK in Kupplungshalter einhängen	-	-
Berner Raum verlassen	-	-
Trennstelle verlassen	Trennstelle verlassen	-
Fahrzeug abziehen	Fahrzeug abziehen	Fahrzeug abziehen

Quelle: Stuhr, H. (2013), S. 49.

[Fumasoli, T. 2010, S. 32] schätzt den Zeitbedarf eines Rangierers für das Entkuppeln eines Güterwagens auf ca. 20 bis 30 Sekunden ein. Beim Entkuppeln wird bei Verwendung einer halbautomatischen Kupplung eine Zeitersparnis im Vergleich zur Schraubenkupplung von ca. 60 % eingeschätzt. Unter Annahme der Verwendung einer automatischen Leitungskupplung ergibt sich

sogar eine Zeitersparnis von ca. 70 %. Bei einer vollautomatischen Kupplung wird von einer Reduzierung des Zeitaufwands von ca. 90 % ausgegangen.¹⁶

Die folgende Abbildung 35 zeigt die Einschätzung der Zeitersparnis unter Verwendung verschiedenener automatischer Kupplungssysteme beim Kuppeln bzw. Entkuppeln im Vergleich zu einer Schraubenkupplung auf.

Abbildung 35: Zeitersparnis bei Verwendung von automatischen Kupplungen

Zeitersparnis i.Vgl. zur Schraubenkupplung	Halbautomatische Kupplung	Automatische Leitungskupplung	Vollautomatische Kupplung
Kuppeln	70%	80%	90%
Entkuppeln	60%	70%	90%

Quelle: Fumasoli, T. 2010, S. 33.

Somit ist bei Verwendung von halbautomatischen bzw. vollautomatischen Kupplungssystemen von einer deutlichen Zeitersparnis im Rangiervorgang gegenüber einer manuellen Schraubenkupplung auszugehen. Es wird daher eingeschätzt, dass durch den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung ein erhebliches Potenzial zur Produktivitätssteigerung bei Rangierpersonalen besteht. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass sich etwaige Potenziale erst dann vollständig erschließen lassen, wenn die zu verbindenden bzw. zu trennenden Güterwagen sämtlich mit automatischen Kupplungen ausgestattet sind. Im Falle eines Mischbetriebs von automatischen Kupplungen mit Schraubenkupplungen erhöht sich dagegen der Zeitaufwand für das Kuppeln und Entkuppeln eher, da der Berner Raum durch die automatische Kupplung spürbar eingengt wird.

Rekrutierungsschwierigkeiten bei Rangierpersonalen können zukünftig die Aufrechterhaltung des Rangierbetriebs gefährden

Ein weiterer Nutzeneffekt einer automatischen Mittelpufferkupplung besteht darin, dass Eisenbahnen insbesondere in Volkswirtschaften mit einer annähernden Vollbeschäftigung zunehmend mit Schwierigkeiten bei der Rekrutierung von Rangierpersonalen rechnen. Die demographische Entwicklung mit einer zunehmend älter werdenden Gesellschaft sowie das weiter zunehmende Bildungsniveau insbesondere jüngerer Arbeitnehmer führen dazu, dass die Eisenbahnen bei den gering qualifizierten Tätigkeiten Rekrutierungsschwierigkeiten erwarten bzw. bereits dieser Herausforderungen gegenüberstehen.

Die Tätigkeit eines Rangierers gilt sowohl vom gesellschaftlichen Status als auch von der Höhe der Entlohnung nicht zu den bevorzugten Berufsbildern. Zudem ist die Arbeit körperlich extrem anstrengend. Um den zukünftigen Personalbedarf an Rangierern zu erfüllen, ist vsl. davon auszugehen, dass die Vergütung weiter deutlich ansteigen wird. Damit erhöhen sich jedoch auch die Kosten von Rangiervorgängen. Da eine Vielzahl der Rangiervorgänge insbesondere im Einzelwagenverkehr stattfinden, der unter hohem Wettbewerbsdruck insbesondere mit dem Verkehrsträger Straße steht, ist von einer weiteren Verschlechterung der Wettbewerbssituation des EWLV's im Vergleich zum Lkw auszugehen. Somit könnte die Einführung von automatischen Kupplungssystemen im Schienengüterverkehr zum einen dazu beitragen, dass die Personalkosten nicht weiter ansteigen sowie im Extremfall, dass überhaupt der Rangierbetrieb weiter aufrecht

¹⁶ Vgl. Fumasoli, T. (2010), S. 32.

erhalten werden kann, da keine größere Abhängigkeit von einzelnen Berufsgruppen besteht. Eine monetäre Bewertung diesen Nutzenaspektes dürfte jedoch vsl. eher schwierig sein.

5.1.2 Nutzeffekte durch Erhöhung der Entgleisungssicherheit und Produktivität im Eisenbahnbetrieb

Erhöhung der Entgleisungssicherheit

Die Verwendung einer automatischen Mittelpufferkupplung kann lt. [Chatterjee&Bensch, 1999, S. 33ff] zu einer Steigerung der Sicherheit gegenüber Entgleisungen beitragen, da die zulässigen Längsdruckkräfte im Vergleich zu einer Schraubekupplung erhöht sind. Kern der Problematik ist, dass Längskräfte im Zug Querkräfte und/oder Radentlastungen verursachen können. Dabei sind Druckkräfte kritischer als Zugkräfte, da die Gefahr von Instabilität besteht. Je größer der Überhang desto größere Auslenkungen sind möglich und somit geringer sind die tolerierbaren Längskräfte. Daher ist die Gefahr von Entgleisungen bei zweiachsigen Wagen auch höher. Bei automatischen Mittelpufferkupplungen bestehen positive Effekte durch Einsatz eines Stabilisierungsgelenks und durch Entfall von Reibungskräften an den Puffertellern. Dem stehen jedoch negative Effekte durch verstärktes Auflaufen infolge evtl. fehlender Vorspannung und eines Kupplungslängsspiels gegenüber. Inwiefern eine automatische Mittelpufferkupplung somit tatsächlich zu einer Reduzierung der Entgleisungsgefahr beitragen kann ist immer auch von dem eingesetzten Kupplungssystem und dem jeweiligen Einsatzfall ab.

Erhöhung der Produktivität im Eisenbahnbetrieb durch Fahren längerer Züge

Weiterhin kann der Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung zu einer Erhöhung der Produktivität im Eisenbahnbetrieb durch Erhöhung der Zugdimensionen Zuglänge und max. Zuggewicht beitragen.

[Sünderhauf, B. 2009, S. 137] geht davon aus, dass durch den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung eine Verdopplung der Zuglänge erreicht werden kann. Begründet wird dies dadurch, dass die Entgleisungsgrenze nach UIC bei zweiachsigen Waggons bereits bei ca. 200kN liegt. Bei einer C-AKv im Mischbetrieb liegt diese Grenze dagegen erst bei ca. 440kN und bei einer C-AKv im Betrieb ohne Seitenpuffer sogar bei ca. 700kN.¹⁷ Da die Schraubekupplung keine Druckkräfte aufnimmt, sind Seitenpuffer erforderlich. Diese seitliche Druckkraftweiterleitung kann bei langen Zügen und bei Fahrten durch enge Bögen unter ungünstigen Umständen zu Entleisungen führen.

Allerdings werden in den Überlegungen bremstechnische Implikationen beim Fahren von überlangen Güterzügen nicht berücksichtigt. Zudem bestehen bereits heute Pilotzüge in Frankreich ohne automatische Mittelpufferkupplung, die mit einer Länge von 1.500m gefahren werden. Weiterhin wird nicht berücksichtigt, dass für eine Erhöhung der Zuglänge auch infrastrukturseitige Voraussetzungen getroffen werden müssen (z. B. Verlängerung der Signalabstände, Verlängerung von Überholgleisen etc.).

¹⁷ Vgl. Martin, U. 2015.

Erhöhung der Produktivität im Eisenbahnbetrieb durch Fahren schwererer Züge

Aufgrund der manuellen Arbeit beim Kuppeln/Entkuppeln ist das Gewicht des Zughakens bei einer Schraubenkupplung auf 36kg limitiert.¹⁸ Aufgrund der Gewichtsbeschränkung ist auch die maximale Zugfestigkeit der Schraubenkupplung auf 500kN begrenzt. Somit wird auch das fahrbare Gesamtgewicht eines Zuges eingeschränkt. Zum Vergleich liegt die zulässige Zugkraft bei den verschiedenen automatischen Mittelpufferkupplungen (vgl. Kapitel 3.3) zwischen 1.000kN und 1.750kN. So werden lt. [Stuhr, H. 2013, S. 41] beispielsweise Erzzüge auf der Strecke Hamburg nach Salzgitter mit einer automatischen Mittelpufferkupplung Ak69e mit bis zu 6.000 Bruttotonnen gefahren, wohingegen mit einer verstärkten Schraubenkupplung lediglich max. 4.000 Bruttotonnen gezogen werden können.

Sicherlich ist auch die Erhöhung der max. Zugtonnage nicht für alle Gütergruppen relevant. Insbesondere aber für den Transport von schweren Massengütern könnte sich durch den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung eine deutliche Produktivitätssteigerung ergeben, was das obige Beispiel der Erzverkehre aufzeigt.

5.1.3 Nutzeffekte durch durchgängige Stromversorgung und Telematikanwendungen im Güterzug

Ein weiterer Nutzeffekt einer automatischen Mittelpufferkupplung kann darin liegen, dass über das automatische Verbinden/Trennen der Güterwagen auch eine automatische Verbindung von Leitungen, so z. B. auch einer elektrischen Stromleitung ermöglicht werden kann. Eine durchgängige Stromversorgung gilt als Voraussetzung, um einen flächendeckenden und v. a. auch praxistauglichen Einsatz von Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr zu ermöglichen.

Heute sind zwar bereits verschiedene Telematikanwendungen in Nischenverkehren im Einsatz. Diese werden überwiegend durch Strom aus Akkus betrieben. Auch wenn die Entwicklung von Stromspeichern in den vergangenen Jahren gewaltige Fortschritte erzielt hat (siehe z. B. Elektro-Auto), so bleibt weiterhin die Herausforderung bestehen, dass die Laufzeit des Akkus irgendwann endet. Somit muss der Akku ausgetauscht werden, was zu erhöhten Aufwendungen bei der Fahrzeugbetreuung führt.¹⁹

Zwar bestehen auch alternative Methoden der Energieerzeugung an Güterwagen wie z. B. Achsgeneratoren oder Photovoltaikanlagen. Diese werden sich aber vsl. nur in bestimmten Anwendungsbereichen durchsetzen können.

Mit einer durchgängigen Stromversorgung im Güterzug besteht die Möglichkeit, verschiedene Telematikanwendungen in den Schienengüterverkehr einzuführen. Der Technische Innovationskreis Schienengüterverkehr hat in seiner Arbeitsgruppe „Telematik und Sensorik“ die möglichen Anwendungen identifiziert sowie erste Nutzenrechnungen für den Einsatz dieser Anwendungen definiert.²⁰ Daher wird an dieser Stelle nicht vertiefend auf die verschiedenen Nutzeffekte von Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr eingegangen. Folgende Anwendungsfälle wurden durch den TIS definiert (vgl. Abbildung 36):

¹⁸ Vgl. Ebenda.

¹⁹ z. B. Kosten für neuen Akku und Personaleinsatz für Akku-Tausch, Kosten für Ausfall der Telematikanwendung im Güterwagen, wenn Akku leer ist

²⁰ Vgl. Deuter, M.; Heyder, B.; Hubach, K.; Loske, F.; Michler, O.; Morrocu, M.; Obrenovic, M.; Strassmann, P.; Thomas, M.; Troeger, L. (2014), Sachstandsbericht TIS-Arbeitsgruppe Telematik und Sensorik, Stand 06.05.2014, S. 10ff.

Abbildung 36: Mögliche Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr

Flottensteuerung	Ladungsinformation	Transportprozess (Zugbetrieb)
<ul style="list-style-type: none"> ▪ Track and Tracing ▪ Flottendisposition ▪ Laufleistungserfassung 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zustandsmonitoring der Ladung ▪ Beladungsmessung ▪ Überladung ▪ Gewichtsmessung ▪ Sendungspünktlichkeit 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Zugvollständigkeit ▪ Automatische Erfassung der Zugreihung ▪ Entgleisungen ▪ Rangierstöße ▪ Automatisierte Bremsprobe
	Unterstützungsprozess Instandhaltung	Unterstützungsprozess Sonstige
	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Überwachung des Verschleißvorrates ▪ Überwachung des technischen Zustandes ▪ Identifikation von Komponenten 	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Automatisierte Abrechnung ▪ Automatisierung des Be- und Entladeprozesses

Quelle: Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (2014).

Wie so oft bei Innovationen im Schienengüterverkehr besteht die Herausforderung bei der Implementierung von Telematikanwendungen u. a. darin, dass der Nutzen häufig bei einer Nutzergruppen anfällt, während der Aufwand beim Wagenhalter liegt. Somit wird eine große Herausforderung darin bestehen, den durch Telematikanwendungen erzielten Nutzen zumindest anteilig an den Investor für die Telematikanwendung zu transferieren (i. d. R. der Wagenhalter).

Grundsätzlich können die o. g. Telematikanwendungen auch ohne eine durchgängige Stromversorgung implementiert werden, wie z. B. mit Hilfe einer autarken Stromversorgung. Allerdings würde eine automatische Mittelpufferkupplung mit einer automatischen Leitungsverbindung die kritische Frage nach einer zuverlässigen und aufwandsneutralen Stromversorgung beantworten. Somit kann die automatische Mittelpufferkupplung erheblich dazu beitragen, Telematikanwendungen im Schienengüterverkehr zu implementieren.

5.1.4 Nutzeneffekte durch reduzierten Instandhaltungsaufwand an Güterwagen und der Schieneninfrastruktur

[Sünderhauf, B. 2009, S. 129] geht davon aus, dass durch den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung ein geringerer Verschleiß bei Radsätzen und in der Schieneninfrastruktur erzielt werden kann. Dies wird dadurch begründet, dass im Vergleich zu einer Schraubenkupplung die Querkräfte zwischen Rad und Schiene um den Faktor 3 bis 5 reduziert werden können. Somit reduziert sich auch der Verschleiß von Radsatz und Schiene. Entsprechend kann von einer Einsparung beim Instandhaltungsaufwand ausgegangen werden, da der Radsatz nicht mehr so häufig reprofiliert werden muss.

[Sünderhauf, B. 2009] stützt sich in seinen Annahmen auf den Einsatz der automatischen Mittelpufferkupplung C-AKv in Kohleverkehren der DB Schenker Rail zwischen Profen und Schkopau. Hier wird der Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung seit dem Jahr 2004 getestet. Die DB Schenker Rail bestätigt die Tatsache einer Reduzierung des Radsatz- und Schienenverschleisses in diesem Verkehr, weist aber auch daraufhin, dass der betrachtete Verkehr spezielle Eigenschaften aufweist, die nicht allgemein auf andere Verkehre übertragbar sind. So wird der betrachtete Verkehr

mit hohen Radsatzlasten und mit engen Kurvenradien gefahren. Um die Übertragbarkeit der in den Verkehr betrachteten Ergebnisse nachzuweisen, sind lt. DB Schenker Rail weitere Untersuchungen notwendig.²¹ Hierzu wurde zwischen 2008 und 2011 durch die DB Schenker Rail, Faiveley Transport sowie die Technische Universität Berlin ein Projekt „Innocoupler“ durchgeführt, welches allerdings aus dem Autor unbekanntem Gründen ohne abschließendes Ergebnis im Jahr 2011 eingestellt wurde.²²

Ein weiteres Einsparpotenzial besteht darin, dass bei einem vollständigen Einsatz von automatischen Mittelpufferkupplungen der Einsatz von Seitenpuffern an den Güterwagen nicht mehr erforderlich ist. Somit entfallen die Kosten für die Wartung bzw. für den verschleißbedingten Austausch der Seitenpuffer. Zudem ist bei Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung das zeit- und personalaufwändige Schmieren der Puffer nicht mehr erforderlich [vgl. Stuhr, H. 2013, S. 41].

[Sünderhauf, B. 2009, S. 132] geht zudem davon aus, dass die Lebensdauer einer automatischen Mittelpufferkupplung doppelt so lange ist wie die der Schraubekupplung. Somit müsste die automatische Mittelpufferkupplung weniger häufig während des Lebenszyklus eines Güterwagens ausgetauscht werden als die Schraubekupplung. DB Schenker Rail weist jedoch daraufhin, dass über die genaue Lebensdauer einer Schraubekupplung sowie einer automatischen Mittelpufferkupplung keine genauen Aussagen gemacht werden kann. Diese hängt stark von der Lebensdauer der jeweiligen Komponenten und der jeweiligen Laufleistung der Fahrzeuge ab. Nichtsdesotzt wird durch DB Schenker Rail ein Einsparpotenzial bestätigt, wenn auch geringer als durch [Sünderhauf, B. 2009] angenommen.²³

²¹ Vgl. Stang, P. (2010), Automatische Mittelpufferkupplung, Ergebnisse der Sünderhauf-Studie, Anlage zur Präsentation von DB Schenker Rail vom 20.04.2010.

²² Vgl. Stang, P. (2011), Coupling21 – Kosten-Nutzen-Analyse zur Einführung einer automatischen Kupplung, Präsentation von DB Schenker Rail vom 18.07.2011.

²³ Vgl. Stang, P. (2010), Automatische Mittelpufferkupplung, Ergebnisse der Sünderhauf-Studie, Anlage zur Präsentation von DB Schenker Rail vom 20.04.2010.

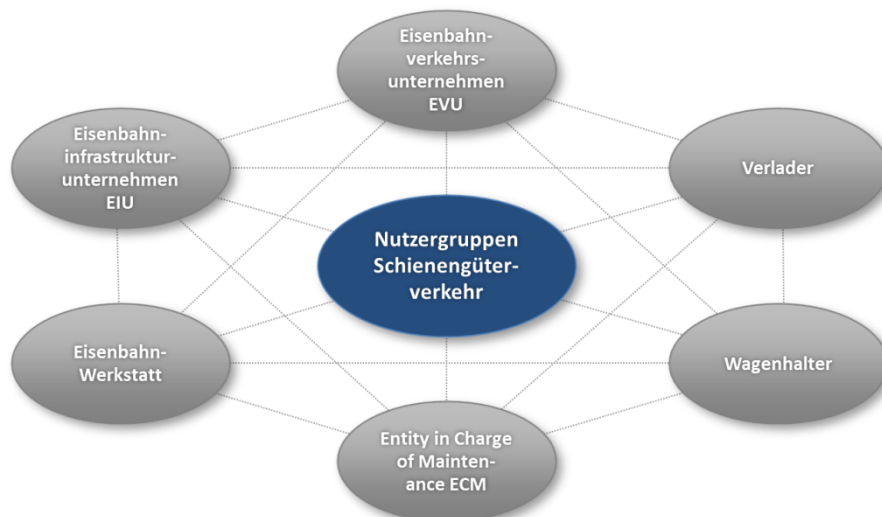
5.2 Entwicklung einer Nutzen-Matrix für die Stakeholder im Schienengüterverkehr

Wie in Kapitel 5.1 qualitativ aufgezeigt, bestehen diverse Nutzeneffekte durch den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung. Da die identifizierten Nutzeneffekte zumeist von verschiedenen Faktoren abhängig sind, ist eine quantitative Ermittlung in Form einer Nutzenberechnung anspruchsvoll. Hierzu erfolgt in einem späteren Kapitel eine Analyse der bisher durchgeführten Wirtschaftlichkeitsrechnungen bzgl. des Einsatzes von automatischen Mittelpufferkupplungen sowie eine Ableitung von Handlungsempfehlungen für die zukünftige Ausgestaltung einer Wirtschaftlichkeitsrechnung.

Ein weiterer Aspekt, der erschwerend hinzukommt, besteht darin, dass der Nutzen bei Verwendung einer automatischen Mittelpufferkupplung bei verschiedenen Akteuren entstehen kann. Häufig sind dies auch gerade die Nutzergruppen, die nicht für die Investition in diese Innovation verantwortlich sind. Diese ungleiche Verteilung zwischen Aufwand und Nutzen in den verschiedenen Anwendergruppen kann ein ernsthaftes Innovationshindernis darstellen, wenn es nicht gelingt, den entstehenden Nutzen an denjenigen zu transferieren, der auch den Aufwand hat. In der Regel ist dies der Wagenhalter, der in eine Innovation investiert und Mehraufwendungen im Vergleich zu einer Standardlösung tragen muss.

Daher ist es entscheidend, frühzeitig zu identifizieren, welche Nutzergruppen im Schienengüterverkehr von der Einführung einer automatischen Mittelpufferkupplung profitieren würden. Als mögliche Nutzergruppen werden dabei definiert (vgl. Abbildung 37):

Abbildung 37: Nutzergruppen/Stakeholder Schienengüterverkehr



Quelle: Eigene Darstellung

Für die im vorherigen Kapitel ermittelten Nutzeneffekte wird in Abbildung 38 qualitativ dargestellt, welche der genannten Nutzergruppen aus dem Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung einen positiven Effekt bzw. keinen Nutzen daraus ziehen kann.

Abbildung 38: Nutzen je Nutzergruppe bei Einsatz einer automatischen Kupplung

Nr.	Nutzen/ Nutzergruppen	EVU	Verlader	Wagenhalter	ECM	Werkstatt	EIU
Erhöhung Arbeitssicherheit und Steigerung Produktivität Rangierpersonal							
1	Erhöhung der Arbeitssicherheit für Rangierpersonal	x	x	-	-	-	-
2	Reduzierung des manuellen Rangieraufwands	x	x	-	-	-	-
3	Aufrechterhaltung Rangierbetrieb bei möglichen Rekrutierungsschwierigkeiten	x	x	-	-	-	-
Erhöhung Entgleisungssicherheit und Produktivität im Eisenbahnbetrieb							
4	Erhöhung Entgleisungssicherheit durch Erhöhung der zulässigen Längskräfte	x	x	x	x	-	x
5	Beschleunigung Rangiervorgänge/ Reduzierung der Wagenlaufzeiten	x	x	-	-	-	-
6	Erhöhung Produktivität durch Bildung von längeren und schwereren Zügen	x	x	-	-	-	x
7	Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit durch Nutzung Bremsstellung "P"	x	x	-	-	-	x
Stromversorgung und Telematikanwendungen im Güterzug							
8	Durchgängige Stromversorgung als Voraussetzung für Telematikanwendungen	x	x	x	x	x	x
Reduzierung Instandhaltungsaufwand Güterwagen und Schieneninfrastruktur							
9	Reduzierung IH-Aufwand durch Entfall Pufferverschleiß und Pufferschmierer sowie verringerter Radsatzverschleiß	x	x	x	x	-	-
10	Reduzierung IH-Aufwand Schieneninfrastruktur durch Reduktion der auf die Fahrzeuge wirkenden Querkräfte	-	-	-	-	-	x

Quelle: Eigene Darstellung

Besonders interessant ist die Einführung einer automatischen Mittelpufferkupplung gemäß Abbildung 38 insbesondere für Eisenbahnverkehrsunternehmen, da unter bestimmten Voraussetzungen in nahezu allen dargestellten Aspekten ein Nutzen gewonnen werden kann.

Aber auch für Verlader, die beispielsweise die Güterwagen ab der eigenen Werksgrenze mit einem eigenen Werksrangierdienst zu den Ladestellen rangieren, kann die automatische Mittelpufferkupplung Nutzen generieren. Es bestehen aber auch weitere Nutzergruppen, die von bestimmten Nutzeneffekten einer AK profitieren können, wie z. B. das Eisenbahninfrastrukturunternehmen, der Wagenhalter, das Entity in Charge of Maintenance oder auch das Instandhaltungswerk.

Entscheidend wird daher in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung sein, die jeweils auftretenden Nutzeneffekte quantitativ genau zu ermitteln und darzustellen, bei wem dieser Nutzeneffekt auftritt. Nur auf diese Weise kann zu einem späteren Zeitpunkt ein sog. Nutzen-Transfer-Modell entwickelt werden, welches einer der wesentlichen Voraussetzungen für eine erfolgreiche Migration der automatischen Mittelpufferkupplung am Markt sein dürfte.

6. Analyse der bisher entwickelten Migrationskonzepte für automatische Kupplungen

In den meisten Regionen weltweit kommen im Schienengüterverkehr Güterwagen mit automatischen Kupplungen zum Einsatz. Die Umstellung verlief in den Ländern zu verschiedenen Zeitpunkten, mit verschiedenen Umstellungsverfahren und teilweise auch mit unterschiedlichen Kupplungstypen. Während in einigen Regionen eine progressive Umrüstung über einen längeren Zeitraum erfolgte, wurde in anderen Regionen eine simultante Umrüstung aller Güterwagen durchgeführt (vgl. Kapitel 6.1).

In Europa wurden im 20. Jahrhundert mehrere Versuche der Einführung einer automatischen Kupplung unternommen. Die wesentlichen Ursachen des Scheiterns bei der Einführung einer AK in Europa werden in Kapitel 6.2 vorgestellt.

Neben der sog. Top-Down-Einführung einer AK, d. h. einer Umrüstung sämtlicher Güterwagen, besteht auch die Möglichkeit einer Bottom-Up-Einführung. Hierfür sind geeignete Nischensegmente zu identifizieren, bei denen der Einsatz einer AK zu einem Nutzen führt, auch wenn andere Verkehre weiterhin mit Güterwagen, die mit einer Schraubenkupplung ausgerüstet sind, laufen. Hierzu werden in Kapitel 6.3 Möglichkeiten vorgestellt, geeignete Nischensegmente für den Einsatz einer AK zu identifizieren.

Schließlich werden in Kapitel 6.4 Handlungsempfehlungen für die Entwicklung einer Migrationsstrategie für die Einführung einer AK in Europa vorgestellt.

6.1 Historische Einführung von automatischen Kupplungen weltweit

In vielen Regionen werden aktuell Mittelpuffersysteme eingesetzt. Dabei setzen die Staaten Nord- und Südamerikas sowie Australien, China, Japan, weitere asiatische Länder und Teile des südlichen Afrikas auf das Janney-Profil (vgl. Kapitel 3.3.3). In den Nachfolgestaaten der ehemaligen UdSSR hat sich hingegen das Willison-Profil durchgesetzt (vgl. Kapitel 3.3.4). Die Umstellung auf solche Kupplungssysteme fand überwiegend gegen Ende des 19. Jahrhunderts bzw. Anfang des 20. Jahrhunderts statt. Dabei unterschieden sich sowohl die Beweggründe für die Umstellung auf (halb-) automatische Kupplungssysteme, als auch die Durchführungsart der Umstellung in den einzelnen Regionen.

6.1.1 USA

Die sog. Janney-Kupplung wurde auf legislativen Druck gegen Ende des 19. Jahrhunderts in den USA großflächig eingeführt.

Nachdem frühere Kupplungssysteme (etwa die Link and Pin-Kupplung) durch den Einsatz eines Rangierers hohe Unfallzahlen und einen hohen Zeitaufwand durch das Kuppeln mit sich brachten und bereits einige Bundesstaaten Alleingänge gestartet hatten, dass alle neuen Fahrzeuge mit selbsttätigen Kupplungen ausgestattet sein müssen, nahm sich die *Interstate Commerce Commission* (Eisenbahnregulierungsbehörde der USA, 1887-1995) des Kupplungsthemas an. Es wurden eine Vielzahl verschiedener Systeme vorgeschlagen und auch patentiert, jedoch war keines dieser Systeme zufriedenstellend. Die individuellen Teilumrüstungen in einzelnen Bundesstaaten führte letztlich dazu, dass eine Mischung von verschiedenen selbsttätigen Kupplungen neben der alten Link

and Pin-Kupplung zum Einsatz gelangten, wodurch sich jedoch die Sicherheit der Rangierer beim Kuppeln noch weiter verschlechterte. Um 1890 waren in den USA über 38 verschiedene Formen von selbsttätigen Kupplungen im Einsatz.

Die hohen Unfallzahlen (1893 ereigneten sich 11.700 Unfälle mit 433 Toten) führten dazu, dass der Kongress im selben Jahr per Gesetz die vollständige Umstellung auf eine automatische Kupplung bis Anfang 1898 beschloss. 1887 wählte die *Master Car Builders' Association* die Janney-Kupplung zum Standard, die Umbaufrist wurde bis zum 01.08.1900 verlängert, und so ist dieses Kupplungssystem seit inzwischen über 100 Jahren großflächig im Einsatz.²⁴

Dieses Kupplungssystem ist seit Einführung, ohne Änderung der grundsätzlichen Wirkungsweise ständig weiterentwickelt worden und ist heute neben den USA auch in Kanada, Südamerika, Südafrika, Australien, Japan, China und Indien im Einsatz.²⁵

6.1.2 Japan

Japan vollzog die Umstellung in einem Simultanverfahren im Jahr 1925 binnen weniger Tage. In Japan wurden noch Anfang des 20. Jahrhundert Schrauben- bzw. Kettengliederkupplungen verwendet, die in Kombination mit Seitenpuffern zum Einsatz kamen. 1918 wurde der Beschluss zur Einführung einer selbsttätigen Mittelpufferkupplung des amerikanischen Janney-Systems gefasst. Nach sieben Jahren Vorlaufzeit wurden 1925 bei einer Simultanumstellung binnen weniger Tage die neuen Kupplungen montiert. Die Umrüstungen der Reisezugwagen und Lokomotiven fanden innerhalb weniger Tage statt, für die Umstellung der Güterwagen ruhte der Schienengüterverkehr, mit Ausnahme weniger Züge mit leicht verderblichen Gütern für einen Tag.²⁶

6.1.3 UdSSR

In der damaligen UdSSR vollzog sich die Umstellung auf selbsttätige Kupplungen progressiv von 1935 bis zum Jahr 1957.

Wie in Zentral- und Westeuropa waren die Fahrzeuge in der UdSSR zu Beginn des 20. Jahrhunderts mit einer Schraubenkupplung und Seitenpuffern ausgestattet. In den Jahren 1929 bis 1931 wurden verschiedene Kupplungsbauarten getestet, wobei das Kupplungssystem der Bauart Willison (1916 in den USA entwickelt) am Besten bewertet wurde. Durch weitere Anpassungen an die Gegebenheiten der sowjetischen Bahnen, z. B. Änderungen an der Verriegelungseinrichtung wurde dieses Kupplungssystem unter der Bezeichnung „SA3“ ab 1935 stückweise eingeführt, indem es zunächst bei allen neuen Fahrzeugen, zusätzlich zu den Seitenpuffern, montiert wurde. Auch durch den Zweiten Weltkrieg kam es zu Verzögerungen, so dass die Umstellung erst 1957 beendet werden konnte. Während der Umstellungsphase wurden bestehende ältere Wagen umgerüstet oder ausgemustert.

²⁴ Vgl. Stuhr, H. (2013), Anhang A.

²⁵ Vgl. Stuhr, H. (2013), S. 29.

²⁶ Vgl. Stuhr, H. (2013), Anhang A.

Da diese progressive Umstellung ein gemischtes Kuppeln zwischen Wagen mit und ohne neue Kupplung erforderlich machte, wurden die Seitenpuffer weiterhin zur Druckübernahme gebraucht und somit erst nach erfolgter kompletter Umstellung demontiert.²⁷

Dieses Kupplungssystem wird heute in Russland und den weiteren Nachfolgestaaten der ehemaligen UdSSR verwendet.

6.2 Analyse der Ursachen für das bisherige Scheitern bei der Einführung einer automatischen Kupplung in Europa

Im Gegensatz zu den in Kapitel 6.1 genannten Beispielen ist eine dauerhafte Umstellung auf automatische Kupplungssysteme in Europa (Ausnahme Finnland, dort Verwendung gemischter Systeme) nicht gelungen.

In Deutschland wurde bereits in den 1870er Jahren selbsttätige Kupplungen erprobt. In anderen Ländern Europas wurde u. a. auch die Janney-Kupplung getestet, jedoch ohne den gestellten Ansprüchen gerecht zu werden. Nach dem Ersten Weltkrieg wurde das Kupplungsthema vom zwischenzeitlich gegründeten UIC aufgenommen. Hintergrund waren auch hier Sicherheitsaspekte im Zusammenhang mit Rangier- bzw. Kupplungsunfällen. Ein gebildeter Sonderausschuss der UIC kam jedoch zu dem Ergebnis, dass zum einen auch mit der Schraubekupplung die Sicherheit für die Bediensteten weiter erhöht werden könne, zum anderen eine Umstellung, gleich ob simultan oder progressiv, wirtschaftlich nicht realisierbar sei.

Nach Ende des Zweiten Weltkrieges warf der Binnenverkehrsausschuss der Europäischen Wirtschaftskommission 1948 die Frage nach einer selbsttätigen Kupplung erneut auf. Jedoch besagten wesentliche Ergebnisse eines von der UIC angeforderten Berichts, dass nur eine gleichzeitige Umrüstung in allen aneinandergrenzenden Eisenbahnnetzen vorstellbar sei. Vordringlich zu dieser Zeit waren jedoch Investitionen in den Wiederaufbau und die Beseitigung von Kriegsschäden, so dass das Kupplungsthema erneut in der Versenkung verschwand. In Zusammenhang mit dem wirtschaftlichen Aufschwung der 50er Jahre wurde das Kupplungsthema wieder interessant.²⁸

6.2.1 1960er und 70er Jahre

1961 wurde von der UIC festgelegt, dass die automatische Kupplung zur russischen SA3 direkt kompatibel sein muss. Es wurden Kontakte zur OSShD geknüpft und eine „Gemeinsame Gruppe UIC/OSShD Selbsttätige Kupplung“ gegründet, um die Kompatibilität der auf beiden Seiten entwickelten Systeme zu gewährleisten. Als Ergebnis wurde 1975 die automatische Kupplung AK69e sowie die Intermat vorgestellt. Bis dato wurden die Zeitpläne für eine Umstellung bereits mehrfach verschoben. Die enormen Kosten für eine Umstellung, die sich wirtschaftlich nicht zu rechtfertigen schienen, rührten insbesondere daher, dass eine Umrüstung der Wagen simultan erfolgen sollte.²⁹ Dadurch sank bereits in der Entwicklungsphase der Kupplung die Bereitschaft der Bahnen zur Einführung der selbigen und die Einführung des Kupplungssystems war bereits bei ihrer

²⁷ Vgl. Ebenda.

²⁸ Vgl. Stuhr, H. (2013), Anhang A.

²⁹ Vgl. Sünderhauf, B. (2009), S. 115.

Vorstellung gescheitert. Einzig in Deutschland kam die AK69e im Schwerlast-Erzverkehr in den Regelbetrieb und ist es auch heute noch.

Als Folge dieser Entwicklung sind jedoch seit 1965 alle Neufahrzeuge für den Einbau einer automatischen Kupplung grundsätzlich vorbereitet.

6.2.2 Mitte der 1980er Jahre bis Ende der 1990er Jahre

Seit Mitte der 1980er Jahre wurde von der Deutschen Bundesbahn und der Fa. Knorr-Bremse AG die Idee einer automatischen Zugkupplung (Z-AK), die für die Druckübertragung weiterhin Puffer benötigt, aufgegriffen. Gleichzeitig gab es seitens des UIC intensive Bemühungen, durch die Erstellung eines Lastenheftes die technische Entwicklung in eine Richtung voranzutreiben, die einen gemischten Verkehr zwischen Wagen mit einer Z-AK-Kupplung und Wagen mit der Schraubenkupplung ermöglicht. Auch wenn durch den Verzicht auf bestimmte derzeit gültige Bedingungen des Lastenheftes für die AK (UIC-Merkblatt 522) die Herstellungskosten der Kupplung deutlich gesenkt werden konnten, konnte ein wirtschaftlicher Einsatz der Z-AK nicht ermittelt werden.

Das von der UIC im Juli 1995 und im April 2002 vorgelegte Lastenheft regelt Anforderungen an die automatische Zugkupplung (Z-AK) und an die mechanische Gemischtzugkupplung, die ihrerseits eine manuelle mechanische Verbindung von Fahrzeugen mit Z-AK und solchen mit Schraubenkupplung zulässt. Diese integrierte Gemischtzugkupplung sollte die manuelle Verbindung mit Fahrzeugen mit Schraubenkupplung sicherstellen. Damit war die Voraussetzung für eine europaweite Progressivumstellung gegeben. Die Einführung sollte 1999 beginnen. Bei Erprobungen stellten sich jedoch technische Probleme insbesondere mit der Festigkeit der Z-AK, entgleisungskritischen Längsdruckkräften durch das Kupplungsspiel und Funktionsbehinderungen des federbelasteten Riegelsystems im Winter bei Verschmutzung durch Eis und Schnee heraus. Infolgedessen wurden die mit einer Z-AK ausgerüsteten Wagen wieder umgerüstet.³⁰ Auch wenn diese technischen Probleme wohl zu lösen gewesen wären, so konnten sich die europäischen Eisenbahnverwaltungen aus politischen und finanziellen Gründen erneut nicht auf einen verbindlichen Einführungsstermin einigen, das Projekt wurde abgebrochen.³¹

6.3 Geeignete Nischensegmente für den Einsatz von automatischen Kupplungen

Die in den letzten Jahrzehnten bei der Einführung von automatischen Mittelpufferkupplungen in Europa gemachten Erfahrungen zeigen, dass ein vollständiger und auf europäischer Ebene abgestimmter Umstellungsprozess von Schraubenkupplung auf automatische Mittelpufferkupplung äußerst anspruchsvoll ist. Viele Akteure des europäischen Schienengüterverkehrs stehen daher einem weiteren Implementierungsversuch äußerst skeptisch gegenüber. Somit ist nicht davon auszugehen, dass auf absehbare Zeit ein neuer, zentral gesteuerter Anlauf für eine simultane, flächendeckende Einführung einer automatischen Mittelpufferkupplung in Europa unternommen wird.

³⁰ Sünderhauf, B. (2009), S. 115.

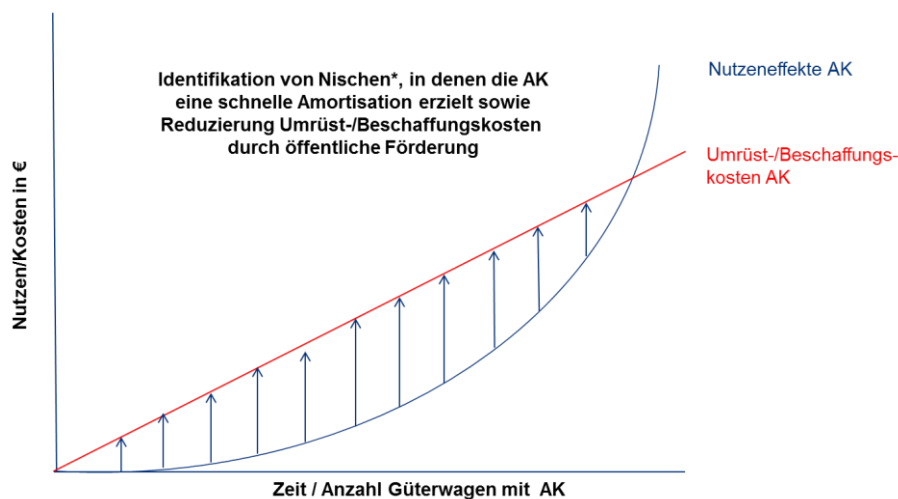
³¹ Stuhr, H. (2013), Anhang A.

Daher ist– falls überhaupt die Einführung einer AK erfolgen sollte – stattdessen von einer progressiven, über einen längeren Zeitraum laufenden Einführungsphase auszugehen. Ein großer Teil der identifizierten Nutzeneffekte bei Verwendung einer AK kann jedoch erst dann erschlossen werden, wenn bereits ein wesentlicher Teil der europäischen Wagenflotte entsprechend umgerüstet ist. Beispielsweise kann eine Erhöhung der Produktivität der eingesetzten Rangierpersonale erst dann erfolgen, wenn im Einzelwagenverkehr ein Großteil der Wagenflotte mit einer AK ausgerüstet ist.

Tatsächlich kann sich der Zeitaufwand für das Kuppeln/Entkuppeln von Güterwagen durch Rangierpersonale während einer Phase des Mischbetriebs sogar dadurch erhöhen, dass der sog. Berner Raum für das Rangierpersonal durch die Abmessungen der AK weiter eingeschränkt ist, weil die erforderlichen Seitenpuffer während des Zeitraums eines Mischbetriebs erhalten bleiben müssen. Somit verlängert sich aber auch die Zeitdauer, bis sämtliche Nutzeneffekte generiert werden können, und sich das Investment in eine AK wirtschaftlich rechnen kann. Dies reduziert die Wahrscheinlichkeit einer erfolgreichen Migration der AK im europäischen Schienengüterverkehr deutlich.

Daher ist es zwingend erforderlich, Teilbereiche (Nischen) des Schienengüterverkehrs zu identifizieren, in denen die Einführung einer AK bereits kurzfristig positive Effekte bewirkt, auch wenn eine europaweite Einführung erst in ferner Zukunft liegen sollte (vgl. Abbildung 39). Ziel ist es somit, Nischen zu identifizieren, in denen die automatische Kupplung unter bestimmten Voraussetzungen eine schnelle Amortisation erzielen kann.

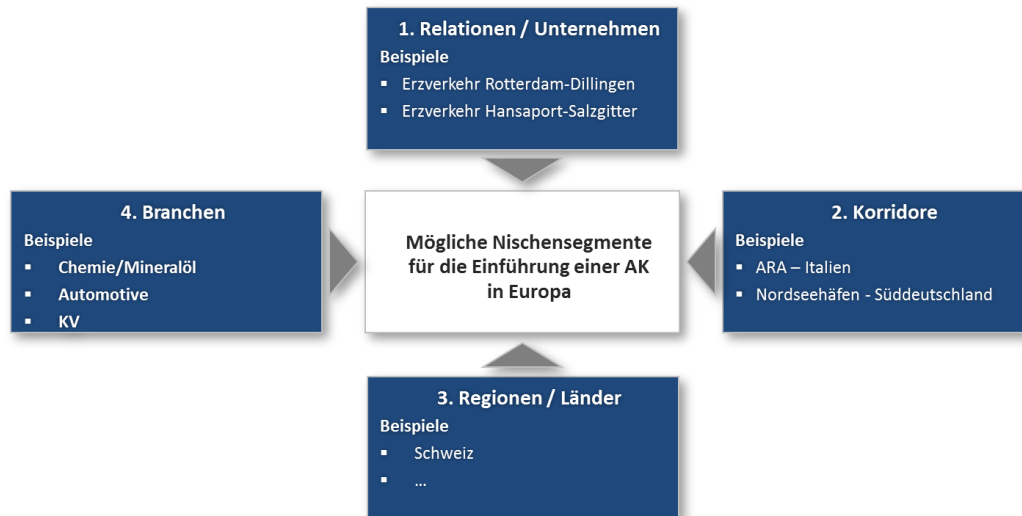
Abbildung 39: Wirtschaftlichkeit bei der Einführung von automatischen Kupplungen (schematische Darstellung)



Quelle: Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (2014).

Mögliche Teilsegmente des Schienengüterverkehrs können dabei u. a. sein (vgl. Abbildung 40):

Abbildung 40: Mögliche Nischensegmente für die Einführung von automatischen Kupplungen



Quelle: Eigene Darstellung

Dabei steht die Eignung der o. g. Teilsegmente immer unter der Prämisse, dass die dort eingesetzten Güterwagen überwiegend in diesem Verkehr/diesen Verkehren verbleiben und nicht oder nur selten anderweitig verwendet werden. Die Möglichkeiten einer Migrationsstrategie in den in obiger Abbildung dargestellten Nischensegmenten werden im folgenden beschrieben.

6.3.1 Einführung von automatische Kupplungen auf Relationen bzw. für einzelne Unternehmen

Eine erste mögliche Nische besteht darin, Verkehre auf bestimmten Relationen und für bestimmte Kunden zu identifizieren, bei denen der Einsatz einer AK bereits kurzfristig einen positiven Effekt bewirkt. Mögliche Vorteile des Einsatzes einer AK könnten z. B. beim Transport von schweren Massengütern auf immer wiederkehrenden Relationen durch die Anhebung der max. Zugtonnage oder durch einen reduzierten Instandhaltungsaufwand der Radsätze, Puffer und/oder der Schieneninfrastruktur bestehen.

Die DB Schenker Rail setzt die automatische Mittelpufferkupplung AK69e seit den 1970er Jahren in schweren Güterzügen in ausgewählten Relationen ein. Insgesamt 30 Triebfahrzeuge (BR151) sowie ca. 400 bis 500 Güterwagen (überwiegend Falrrs) sind bei DB Schenker Rail mit der AK69e ausgerüstet.³² Dabei werden Erzverkehre u. a. von Rotterdam nach Dillingen sowie von Hansaport nach Salzgitter gefahren.

Weiterhin setzt die DB Schenker Rail seit 2004 ca. 166 Güterwagen, die mit einer automatischen Mittelpufferkupplung C-AKv ausgestattet sind, in Braunkohleverkehren für die Mitteldeutsche Braunkohlengesellschaft mbH (MIBRAG) zwischen dem Tagebau Profen und dem Kraftwerk Schkopau ein. Die Umrüstung auf C-AKv erfolgte lt. DB Schenker Rail u. a. aus folgenden Gründen³³:

- anspruchsvolle Strecken- und Betriebsführung (u. a. Schieben in engen Gleisbögen),
- hohe Belastung der Gleisanlagen,

³² Vgl. Wolf; Strobel; Fleischmann (2010), Automatische Mittelpufferkupplung C-AKv zur Beförderung schwerer Züge, Präsentation von DB Schenker Rail vom 30.09.2010.

³³ Vgl. Ebenda.

- hohe Instandhaltungsaufwände insbesondere
 - o Spurkrankverschleiß an den Radsätzen
 - o Pufferverschleiß
 - o Verschleiß im Laufwerk.

Lt. DB Schenker Rail hat sich der Einsatz der C-AKv in den Verkehren der MIBRAG bewährt. So ist der Wartungsaufwand im Pneumatiksystem der Wagen zurückgegangen. Die verschleißbedingten Ausfallzeiten konnten halbiert werden. Die Probleme des Pufferbetriebs konnten beseitigt werden und haben ebenfalls dazu beigetragen, den Wartungs- und Instandhaltungsaufwand deutlich zu reduzieren. Die Anzahl von Radsatztauschen konnte reduziert werden, da durch den Einsatz der C-AKv die Querkräfte zwischen Rad und Schiene vermindert werden konnten.³⁴

Bei den o. g. Verkehren handelt es sich allerdings um sog. Inselverkehre, d. h. die Güterwagen werden ausschließlich dort eingesetzt und somit in keinem anderen Verkehr verwendet. Im Vergleich zu den ca. 600.000 Güterwagen, die in Europa eingesetzt werden, machen die ca. 500 bis 600 Güterwagen bei DB Schenker Rail, die mit einer aMPK ausgestattet sind, selbstverständlich jedoch nur einen Bruchteil aus.

Nichtsdestotrotz erscheint es sinnvoll, Kriterien für Relationen zu definieren, bei denen der Einsatz einer AK auch im Inselbetrieb kurz- bis mittelfristig zu amortisieren wäre. Auf Basis dieses Kriterienkatalogs sollten die bestehenden europäischen Bahnrelationen auf die mögliche Vorteilhaftigkeit eines Einsatzes von AK untersucht werden.

Neben der Untersuchung von einzelnen Relationen könnten dies beispielsweise auch Verkehre für einzelne Unternehmen sein, bei denen ausschließlich ein auf das Unternehmen ausgerichteter Wagenpark verwendet wird. Ein mögliches Beispiel könnten die Kali- und Salzverkehre der K+S AG sein. Mit einem jährlichen Bahntransportvolumen von ca. 7 Mio. to. sowie einer insbesondere auf K+S ausgerichteten Wagenflotte mit ca. 3.000 T-Wagen³⁵ könnten sich in diesem doch bereits sehr großen Inselverkehr ein mögliches Potenzial für den Einsatz einer AK ergeben.

Ggf. bestehen aber auch bei anderen Unternehmen, wie z. B. Stahlherstellern, ein auf das Unternehmen ausgerichteter Wagenpark. Insofern erscheint es sinnvoll, neben der Betrachtung von einzelnen Verkehren auch eine Analyse über einzelne Unternehmen durchzuführen, bei denen der Einsatz von Güterwagen mit AK sinnvoll erscheinen könnte.

6.3.2 Einführung automatischer Kupplungen auf Verkehrskorridoren

Eine weitere mögliche Nische könnte darin bestehen, auf bestimmten Verkehrskorridoren sukzessive nur noch mit AK ausgestattete Güterwagen zu verwenden. Allerdings wird gleich zu Beginn angemerkt, dass eine Einführung von AK auf Verkehrskorridoren um ein Vielfaches komplexer ist, als bei den unter Kapitel 6.3.1 aufgeführten Nischeneinsätzen auf definierten Relationen oder für einzelne Unternehmen.

Eine Möglichkeit wäre, sich an den EU-Verkehrskorridoren zu orientieren oder beispielsweise eine Kombination aus Verkehrskorridoren und Branchensegmentierung (vgl. auch Kapitel 6.3.4) zu entwickeln. Beispielsweise könnte analysiert werden, inwiefern die Einführung einer AK in Container-

³⁴ Vgl. Ebenda.

³⁵ Eigene Schätzung

Seehafenhinterlandverkehren von den deutschen Nordseehäfen sinnvoll wäre. In diesem Marktsegment Seehafenhinterlandverkehr auf einem Verkehrskorridor (z. B. von den deutschen Nordseehäfen nach Süddeutschland) agieren nur wenige KV-Operateure. Im konkreten Beispiel wären dies die Unternehmen TFG Transfracht Internationale Gesellschaft für kombinierten Güterverkehr mbH, boxXpress.de GmbH sowie die Hamburger Hafen und Logistik AG (HHLA) mit ihrer KV-Tochter Metrans. Auch wenn es sich bei dem vorgestellten Beispiel um ein relativ abgrenzbares Segment handelt, sprechen jedoch einige Aspekte gegen den Einsatz einer AK in diesem Segment.

Zum einen zeichnen sich KV-Züge normalerweise nicht durch ein hohes Zuggewicht aus. Hier könnte noch argumentiert werden, dass ggf. durch den Einsatz einer AK die Voraussetzungen für das Fahren von längeren Zügen oder für das Fahren von schnelleren Zügen geschaffen werden könnten. Allerdings spricht gegen den Einsatz einer AK auch, dass die KV-Operateure üblicherweise die KV-Tragwagen für bestimmte Vertragslaufzeiten von Wagenvermietgesellschaften anmieten. Es ist nicht gewährleistet, dass bei einer Rückgabe der mit AK ausgerüsteten KV-Tragwagen diese auch wieder an ein anderes Unternehmen auf demselben Korridor weitervermietet werden können. Auf diese Weise lässt sich aber auch kein in sich geschlossener Inselverkehr generieren.

Ggf. finden sich jedoch auch Beispiele für Verkehrskorridore, bei denen größere Erfolgchancen für eine Migration der AK bestehen. Daher sollte dieser Ansatz grundsätzlich nicht verworfen werden.

6.3.3 Einführung automatischer Kupplungen in Ländern bzw. Regionen

Ein weiteres mögliches Nischensegment für die Einführung einer AK wäre die Auswahl einer Region bzw. eines Landes. Dabei sollten insbesondere Regionen bzw. Länder mit einem hohen Anteil des Binnenverkehrs an dem gesamten Schienenverkehrsaufkommen gewählt werden. Da die Vorteile einer AK erst dann voll zum Tragen kommen, wenn alle in den Verkehren eingesetzten Güterwagen mit AK ausgerüstet sind, schließt sich der Einsatz der AK in Import-, Export- oder Transitverkehren durch diese Region bzw. Land für den ersten Schritt einer Migration zunächst einmal aus.

Eine mögliche Region bzw. Land könnte ggf. die Schweiz darstellen. Hierzu liegen auch erste wissenschaftliche Untersuchungen vor.

[Fumasoli, T. 2013] hat die Potenziale eines Einsatzes einer automatischen Mittelpufferkupplung im Einzelwagenverkehr der Schweiz untersucht. Die wesentlichen Ergebnisse dieser Untersuchung werden in Kapitel 7.3 zusammengefasst.

Auch durch [Bruckmann, D.; Fumasoli, T; Mancera, A., 2014, S. 29] wird in der im Auftrag für das Schweizer Bundesamt für Verkehr (BAV) erstellten Studie „Innovationen im alpenquerenden Güterverkehr“ die Einführung einer AK als grundsätzlich denkbar eingeschätzt. In Zusammenhang mit längeren Zügen und erhöhten Zugmassen könnte die AK einen Beitrag zur Produktivitätssteigerung auch im alpenquerenden Verkehr leisten. Allerdings wird durch die Autoren der Studie auch eingeschätzt, dass durch den Wegfall der Gotthard-Bergstrecke jedoch die Wirkung auf die Produktivität verhältnismäßig gering ausfallen könnte.

Insgesamt kann zum heutigen Zeitpunkt noch nicht abgeschätzt werden, ob der Einsatz einer AK im Schweizer Binnen-EWLV oder in sonstigen Bahnverkehren in der Schweiz wirtschaftlich darstellbar ist. Dafür sind weitere Wirtschaftlichkeitsberechnungen durchzuführen.

Allerdings ist der Gedanke einer „Keimzelle“ Schweiz für die Einführung einer AK in Europa äußerst interessant. Daher wird vorgeschlagen, die bisher durchgeführten Untersuchungen weiter zu vertiefen, um einen Business Case „Automatische Mittelpufferkupplung im Schweizer Schienengüterverkehr“ zu entwickeln.

Analog könnten weitere Regionen/Länder identifiziert werden, die ggf. ähnlich günstige Voraussetzungen wie die Schweiz bieten, wie z. B. einen hohen Anteil an Binnenverkehren o. ä. Hierzu müsste vsl. zunächst ein geeigneter Kriterienkatalog für die Identifikation von potenziellen Regionen/Ländern entwickelt werden.

6.3.4 Einführung automatischer Kupplungen in Branchen

[Stuhr, H. 2013] untersucht in seiner Dissertation „Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung“ Branchen und verschiedene technologische Varianten einer aMPK auf ihre potenzielle Eignung für eine Einführung der aMPK. Stuhr konzentriert sich in seinen Analysen auf folgende Branchen und Umrüstungs-Szenarien:

Abbildung 41: Analytierte Branchen in der Studie von [Stuhr, H. 2013]

	Montan	Chemie	Automotive	Kombinierter Verkehr
Fokus auf Branchen-segment	Stahlbrammen und -coils	Flüssige, gasförmige, verflüssigte Chemiegüter in Kesselwagen	Fertigfahrzeuge	Container, Sattelaufleger, Wechselbehälter
Nicht betrachtet	Erze, Kohle, Koks, Schrott	Mineralöl, Düngemittel	Komponenten, Zwischenwerks- und Zulieferverkehre	-
Szenario für Umrüstung	Umrüstung aller Brammen- und Coilwagen der DB Schenker Rail	Umrüstung aller Chemie- und Druckgaskesselwagen in dt. Binnenverkehr sowie in internat. Verkehr von/nach Deutschland	Umrüstung der Wagenflotte eines oder mehrerer Automobilspediteure	Umrüstung der Wagenflotte eines oder mehrerer KV-Operateure

Quelle: Eigene Darstellung in Anlehnung an [Stuhr, H. 2013, S. 129-159].

[Stuhr, H. 2013] bewertet die in obiger Abbildung dargestellten Branchensegmente mittels einer Nutzwertanalyse auf ihre Eignung für die Einführung einer aMPK. Hierzu entwickelt [Stuhr, H. 2013, S. 79ff.] eine umfangreiche Bewertungsmethodik, in der eine Vielzahl von Kriterien definiert und entsprechend ihrer Bedeutung gewichtet werden. Es würde an dieser Stelle zu weit führen, die von Stuhr entwickelte Bewertungsmethodik im Detail einzuführen. In Abbildung 42 wird daher nur die grundsätzliche Bewertungsmethodik von Stuhr inkl. der gewählten Gewichtung der Kriterien dargestellt.

Abbildung 42: Bewertungsmethodik Nutzwertanalyse in der Studie von [Stuhr, H. 2013]

0. Ebene	1. Ebene mit Gewichtung		2. Ebene mit Gewichtung		3. Ebene mit Gewichtung		4. Ebene mit Gewichtung		lfd. Nr.	Gesamtgewichtung
Potenzial	60%	relativer Vorteil	20%	Systemvorteil	70%	Kapazität Strecke			1	8%
					30%	Kapazität Anlagen			2	4%
			80%	Unternehmensvorteil	40%	Eigenvorteil	50%	Ressourceneinsatz	4	10%
							50%	Arbeitsbed./Sicherheit	6	10%
					60%	Kundenvorteil	(25%)	Transportdauer	7	(7%)
									(25%)	Flexibilität
							(35%)	Zuverlässigkeit	9	(10%)
									(15%)	Ladungsanforderungen
			40%	Widerstand	50%	Verfügbarkeit			11	20%
					50%	Einführung	70%	Komplexität		
	30%	Erprobbarkeit					13	6%		

Quelle: Stuhr, H. 2013, S. 111.

Die Nutzwertanalyse wird für die vier definierten Branchen sowie für jeweils 7 technologischen Varianten einer automatischen Mittelpufferkupplung durchgeführt. Somit ergeben sich insgesamt 28 Varianten für die Bewertung. Die 7 verschiedenen technologischen Varianten reichen von einer Basisversion, die als Funktionalität lediglich das automatische Verbinden der Kupplung erfüllt bis hin zu einer Maximal-Variante, in der vom Einsatz einer vollautomatischen Kupplung ausgegangen wird.³⁶

Zusammengefasst kommt die Studie von Stuhr zu folgenden Ergebnissen:

- Grundsätzlich wird die Variante einer automatischen Kupplung in einer Basisversion in jeder der vier untersuchten Branchen jeweils am höchsten bewertet. Dies wird insbesondere dadurch begründet, dass der Widerstand in der Branche gegen die Einführung einer aMPK mit dem Technologisierungsgrad der Technologievariante steigt. Da der Widerstand gegen die Einführung einer aMPK jedoch ein wesentlicher Parameter der Nutzwertanalyse ist erklärt sich die abnehmende Bewertung.
- Von den vier untersuchten Branchen erhält die Branche Automotive (Segment Fertigfahrzeugtransporte) die höchste Bewertung. Der ermittelte relative Vorteil einer aMPK im Vergleich zur Schraubekupplung fällt jedoch beim potenziellen Einsatzfeld Automotive vergleichsweise gering aus. Aufgrund des geringen Zusatznutzens einer aMPK in der Basisversion ist nicht davon auszugehen, dass die Akteure in der Automotive-Branche aus Eigeninitiative eine aMPK einführen werden.
- Der höchste relative Vorteil bei der Einführung einer aMPK im Vergleich zur Schraubekupplung besteht bei Chemieverkehren in Kesselwagen. Allerdings wird hier der Widerstand gegen die Einführung als sehr hoch bewertet. Ein Großteil der Chemieverkehre erfolgt im Einzelwagenladungsverkehr. Dies erklärt einerseits den hohen relativen Vorteil einer aMPK im Vergleich zur Schraubekupplung. Allerdings lässt sich dadurch auch der hohe Widerstand der Akteure gegen die Einführung erklären, da sich der Nutzeneffekt erst dann einstellen wird, wenn ein Großteil der Flotte an Kesselwagen mit aMPK ausgerüstet ist.
- An dritter Stelle der Bewertung landet das potenzielle Einsatzfeld „Kombinierter Verkehr“.
- Den niedrigsten Nutzwert erzielt in der Bewertung das potenzielle Einsatzfeld „Montan“ mit Brammen- und Coilverkehren.

³⁶ Vgl. Stuhr, H., 2013, S. 120ff.

[Stuhr, H. 2013, S. 207] kommt zu der Erkenntnis, dass eine kurzfristige Einführung einer technischen Variante einer aMPK mit hohem Technologisierungsgrad und Funktionsumfang aufgrund hoher Widerstände unrealistisch erscheint. Weiterhin wird festgestellt, dass eine technische Variante mit einem geringen Technologisierungsgrad in potenziellen Einsatzfeldern mit hohem Rangier- und Sortieraufwand, wie z. B. bei den Werksbahnen der Chemie- oder Stahlindustrie nennenswerte Vorteile bringen kann. Aufgrund der umfänglichen Quellen und Senken bei diesen Einzelwagenverkehren werden hier jedoch auch die Widerstände gegen die Einführung dieser Technologie am größten eingeschätzt.

Stuhr kommt insgesamt zu dem Schluss, dass eine Einführungsstrategie der aMPK darin bestehen könnte, zunächst in einem kleinen homogenen Bereich, wie beispielsweise den Automotive-Verkehren einen umfänglichen Pilotbetrieb mit einer hochtechnologisierten aMPK (z. B. vollautomatische Kupplung) zu etablieren. Anschließend könnte als zweites potenzielles Einsatzfeld der Versuch auf die Chemieverkehre ausgeweitet werden.

Die Untersuchung von Stuhr ist in jedem Fall die bisher umfangreichste Untersuchung bzgl. möglicher Einsatzszenarien für eine aMPK. Während in anderen Studien nahezu ausschließlich Untersuchungen über die Umrüstung der gesamten Güterwagenflotte in Europa angestellt werden, sieht Stuhr dies als kein realistisches Szenario an.

Allerdings werden die Ergebnisse der Nutzwertanalyse von Stuhr nicht durch eine Wirtschaftlichkeitsberechnung für die Einführung einer aMPK in verschiedenen Technologievarianten und in den untersuchten Branchen ergänzt. Dies hätte sicherlich auch den Rahmen der Studie von Stuhr deutlich überschritten.

Insgesamt stellt die Arbeit von Stuhr aber einen interessanten Ansatz dar. Die Entwicklung einer Migrationsstrategie für automatische Mittelpufferkupplungen in ausgewählten Branchen könnte als Einstieg in eine kontinuierliche Nutzung der aMPK im europäischen Schienengüterverkehr eine vielversprechende Möglichkeit sein.

6.4 Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines Migrationskonzepts

Eine wichtige Erkenntnis aus den bisherigen Ursachen des Scheitern einer Migration der AK in Europa (vgl. Kapitel 6.2) sowie den oben dargestellten möglichen Migrationsstrategien besteht darin, dass ein weiterer Top-Down-Ansatz, d. h. eine simultane oder progressive Umrüstung sämtlicher Güterwagen in Europa, als wenig erfolgsversprechend eingeschätzt wird. Stattdessen gilt es, mögliche Nischensegmente zu identifizieren.

Diese Nischensegmente sollten sich dadurch auszeichnen, dass ein möglichst geschlossenes System besteht und die Güterwagen überwiegend in diesem geschlossenen System verbleiben. Weiterhin sollte die AK in diesen Nischensegmenten eine möglichst kurzfristige Amortisation des Investments in die Umrüstung der Güterwagen mit einer AK ermöglichen. Ziel sollte es daher sein, mögliche Nischensegmente zu identifizieren und jeweils einen Business Case für diese Segmente zu entwickeln.

Daher wurden im vorherigen Kapitel vier Möglichkeiten aufgezeigt, Nischensegmente für die Migration einer MPK zu identifizieren.

Für die erste aufgezeigte Möglichkeit einer relations- und/oder unternehmensspezifischen Einführung einer aMPK gibt es bereits erste Beispiele. So verfügt die DB Schenker Rail über zwischen 400 bis 500 mit aMPK ausgerüstete Güterwagen. Diese Güterwagen kommen ausschließlich auf definierten Relationen im Schwerlastsegment, wie z. B. bei Erz- oder Kohleverkehren zum Einsatz. Lt. DB Schenker Rail ist der Einsatz einer aMPK auch wirtschaftlich interessant in diesen speziellen Verkehren.

Die zweite Möglichkeit der Einführung einer AK über einen korridorspezifischen Ansatz wird dagegen um ein Vielfaches komplexer eingeschätzt. Während im Ansatz einer relations- oder unternehmensspezifischen Migration i. d. R. nur eine Abstimmung zwischen dem EVU, dem Wagenhalter (bei EVU mit eigenen Güterwagen im Verbund mit der EVU-Funktion) und ggf. dem Kunden des EVU bzw. dem Verloader über die Umrüstung der Güterwagen mit AK erfolgen muss, bestehen beim Korridoransatz eine Vielzahl von Akteuren, die ggf. unterschiedliche Interessen zeigen. Auch kann vsl. in den meisten Fällen nicht sichergestellt werden, dass die eingesetzten Güterwagen ausschließlich auf diesem Korridor eingesetzt werden. Somit wird diese Variante als weniger erfolgsversprechend eingeschätzt.

Der dritte Ansatz einer regionalen bzw. landesspezifischen Migration einer AK erscheint auf den ersten Blick im Vergleich zum Korridoransatz wiederum um ein Vielfaches komplexer zu sein. Bei Auswahl einer Region bzw. eines Landes mit einem hohen Anteil der Binnenverkehre an der Schienenverkehrsleistung sowie einem möglichst für den Binnenverkehr dezidierten Wagenpark, kann dieser Ansatz aber eine interessante Migrationsvariante darstellen.

Der insbesondere von [Stuhr, H. 2013] aufgezeigte Ansatz der Migration einer AK in spezifische Branchen stellt eine weitere mögliche Variante dar.

Es wird als wahrscheinlich betrachtet, dass vsl. eine Kombination aus relations-, unternehmens-, länder- und branchenspezifischer Vorgehensweise eine erfolgsversprechende Variante einer Migrationsstrategie darstellen könnte.

Um mögliche Nischensegmente für den Einsatz einer AK zu identifizieren, wird daher folgende Vorgehensweise vorgeschlagen:

1. Entwicklung von TIS-Anforderungen an AK und Festlegung auf eine technologische Variante einer AK (halbautomatische ohne/mit Leitungskupplung, vollautomatisch,...). Ggf. auch Identifikation des erforderlichen technischen Entwicklungsbedarfs (falls technische Lösung gemäß Anforderung TIS noch nicht vorhanden).
2. Entwicklung von Kriterien zwecks Identifikation von möglichst geschlossenen Verkehrssystemen, in denen sich der Einsatz einer AK kurz- bis mittelfristig wirtschaftlich rechnen könnte.
3. Identifikation von Verkehren/Relationen, die sich für den Einsatz einer AK eignen könnten inkl. Entwicklung von Business Cases für die Einführung der AK auf diesen Relationen.
4. Identifikation von Unternehmen/Verladern, bei denen der Einsatz einer AK einen Mehrwert bieten könnte. Entwicklung von Business Cases für die Einführung der AK bei diesen Unternehmen.
5. Entwicklung eines Business Case für die Einführung der AK in einer Region bzw. ein Land wie z. B. in der Schweiz im Binnenschienenverkehr.
6. Entwicklung eines Business Case für die Einführung der AK in einer (Teil-)Branche wie z. B. den Fertigfahrzeugtransporten, Chemieverkehren oder Montanverkehre.
7. Integration der verschiedenen Business Cases in einer Wirtschaftlichkeitsrechnung und Analyse, welcher Anteil der in Europa vorhandenen Güterwagen durch die betrachteten Migrationsszenarien bereits mit einer AK ausgerüstet werden könnten.
8. Entwicklung eines Nutzentransfer-Modells, um sicherzustellen, dass der Investor bei der Einführung einer AK auch zumindest anteilig den Nutzen der Innovation erzielt.
9. Identifikation der erforderlichen politischen Unterstützung einzelner Staaten bzw. der EU z. B. über Anreizsysteme, Subventionen für die Umrüstung bzw. für den Betrieb der AK, Förderung der Weiterentwicklung der technischen Lösung einer AK, Förderung von Pilotverkehren usw.
10. Entwicklung einer weiteren Migrationsstrategie für die sonstigen Verkehre bzw. Güterwagen in Europa.

Nachdem in diesem Abschnitt verschiedene Migrationsstrategien für die Einführung einer AK in Europa vorgestellt wurden, erfolgt im nächsten Kapitel eine Übersicht über die bereits in der Vergangenheit durchgeführten Wirtschaftlichkeitsberechnungen für den Einsatz von automatischen Kupplungen im Schienengüterverkehr.

7. Wirtschaftlichkeitsrechnungen für die Einführung von automatischen Kupplungen in Europa

In der Vergangenheit wurden in Europa bereits mehrere Versuche unternommen, eine automatische Kupplung im Schienengüterverkehr einzuführen (vgl. auch Kapitel 6.2). In diesem Zusammenhang wurden auch verschiedene Wirtschaftlichkeitsberechnungen sowohl gesamtwirtschaftlich, als auch betriebswirtschaftlich von den einzelnen von einer möglichen Umstellung betroffenen Staatsbahnen durchgeführt. Auch wenn diese Umstellungsversuche bereits viele Jahre/Jahrzehnte zurückliegen, wird in Kapitel 7.1 exemplarisch die Studie „Die automatische Mittelpufferkupplung – Technischer Fortschritt als finanz- und wirtschaftspolitisches Problem,, von Edgar Salin aus dem Jahr 1966 zusammenfassend dargestellt. Salin hat in dieser Studie eine Kostenschätzung für die Umstellung auf aMPK in acht europäischen Ländern sowohl für eine simultane als auch eine progressive Umrüstung durchgeführt.

Wirtschaftlichkeitsrechnungen aus einzelnen Unternehmen wie z. B. der Deutschen Bundesbahn oder der SBB aus den 50er-70er Jahren liegen leider nicht vor. Zwar wären die Daten mittlerweile schon längst nicht mehr aktuell. Interessant wäre jedoch gewesen, welche Nutzeneffekte in den damaligen Wirtschaftlichkeitsrechnungen Eingang in die Berechnungen gefunden haben.

Eine neuere Wirtschaftlichkeitsrechnung wurde im Jahr 2009 von Sünderhauf vorgestellt.³⁷ Die wesentlichen Erkenntnisse aus der Studie von Sünderhauf sowie die zugrunde gelegten Nutzeneffekte und Kostenschätzungen werden in Kapitel 7.2 vorgestellt. Weiterhin erfolgt eine Einschätzung, welche Parameter der Kosten-Nutzen-Rechnung als realistisch angesehen werden und welche ggf. als zu optimistisch angesetzt wurden.

In Kapitel 7.3 werden die wesentlichen Erkenntnisse aus einer Studie von [Fumasoli, T. 2010] über den Einsatz der automatischen Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz zusammengefasst.

7.1 Kostenschätzungen bei der Einführung von automatischen Kupplungen für acht europäische Länder [Salin, E. 1966]

Edgar Salin hat im Jahr 1966 eine Kostenschätzung für die Einführung einer aMPK in sämtlichen Güterwagen in 8 europäischen Ländern (DE, FR, IT, AT, CH, NE, BE, LUX) erstellt.³⁸ Dabei unterscheidet Salin die Kostenschätzungen je nachdem, ob eine Umstellung aller Güterwagen gemäß eines Simultanverfahrens oder Progressivverfahrens durchgeführt wird.

Insgesamt kommt [Salin, E. 1966, S. 77] zu dem Schluss, dass eine Umstellung nach dem Simultanverfahren ca. 5,4 Mrd. DM und eine Umstellung nach dem Progressivverfahren ca. 4,7 Mrd. DM kosten würde. Nach heutiger Kaufkraft wären dies umgerechnet ca. 24,3 Mrd. € bzw. 21,1 Mrd. €. ³⁹ Allerdings ist auch zu berücksichtigen, dass zu dem damaligen Zeitpunkt von deutlich mehr umzurüstenden Güterwagen als heute ausgegangen wurde.

Eine wichtige Erkenntnis zum damaligen Zeitpunkt war jedoch, dass eine progressive Umstellung über viele Jahre deutlich kostengünstiger eingeschätzt wurde als das Simultanverfahren.

³⁷ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, Die automatische Mittelpufferkupplung (AK) – Voraussetzung für eine Automatisierung des Schienengüterverkehrs in Europa, Kosten-Nutzen-Analyse, Grünstadt.

³⁸ Vgl. Salin, E. (1966), Die automatische Mittelpufferkupplung, Technischer Fortschritt als finanz- und wirtschaftspolitisches Problem mit Kostenschätzungen für 8 europäische Länder, Tübingen.

³⁹ Kaufkraftberechnung entsprechend <http://www.lindcom.de/Lindcom/Home/Statistik/kaufkraft.pdf>

Beim Progressivverfahren ist Salin davon ausgegangen, dass der komplette Wagenbestand von Ende 1963 bis zum beabsichtigten Endtermin der Umrüstung im Jahr 1990 konstant bleibt. Sämtliche Wagen mit Baujahr vor 1955 werden innerhalb des Umrüstungszeitraums bis 1990 ausgemustert und durch Neubauten mit aMPK ersetzt. Dabei berücksichtigt Salin neben den Güterwagen der Staatsbahnen auch die damals vorhandenen Privatgüterwagenflotten.

[Salin, E. 1966, S. 36ff.] geht für seine Kostenberechnungen von folgenden Kostensätzen aus (vgl. Abbildung 43):

Abbildung 43: Kosten für die Umrüstung auf automatische Kupplungen [Salin, D. 1966]

	Kosten in DM
Beschaffung von 2 automatischen Zug-Druck-Aggregaten (MPK)	4.000
Einbau MPK	400
Umbau Untergestell von Wagen (Staatsbahn-Eigentum), die noch nicht auf MPK vorbereitet sind	2.000
Umbau Untergestell von Privatgüterwagen, die noch nicht auf MPK vorbereitet sind	4.000
Beschaffung und Einbau einer autom. Zug-Kupplung, die nicht für die Aufnahme der Druckkräfte vorgesehen ist (nur Simultanverfahren)	3.000
Beschaffung und Einbau des Zwischenstücks für das manuelle Kuppeln zwischen MPK und Schraubekupplung (nur Progressivverfahren)	500
Zusätzliche Kosten für den Einbau der Seitenpuffer bei Neubauwagen, die von Anfang an die MPK erhalten	3.000

Quelle: Eigene Darstellung nach [Salin, E. 1966, S. 36f.]

Kosten für die Zuführung der Wagen in die Werkstatt, Umsatzausfälle aufgrund Umrüstung der Güterwagen und Kapitalkosten wurden bei der Kostenberechnung nicht berücksichtigt.

Leider werden durch Salin nur die Kosten für die simultane oder progressive Umrüstung eingeschätzt, nicht jedoch die zu erwartenden Nutzeneffekte. Zwar werden mögliche Nutzeneffekte eingeschätzt, wie z. B. die verbesserte Unfallverhütung, die Einsparung von Arbeitskräften sowie die Möglichkeit der Rationalisierung. In Summe geht Salin aber davon aus, dass sich eine Wirtschaftlichkeit aus betriebswirtschaftlicher Sicht nur bedingt ergeben wird. Stattdessen argumentiert [Salin, E. 1966, S. 25.] mit dem erhöhten volkswirtschaftlichen Nutzen durch eine wettbewerbsfähigere Eisenbahn und plädiert daher für eine staatliche Förderung bei der Umrüstung der Güterwagen mit automatischen Kupplungen.

7.2 Kosten-Nutzen-Analyse Einführung von automatischen Kupplungen [Sünderhauf, B. 2009]

Prof. Sünderhauf hat im April 2009 eine Kosten-Nutzen-Analyse über den Einsatz einer aMPK im europäischen Schienengüterverkehr veröffentlicht.⁴⁰ Sünderhauf geht dabei von einer sukzessiven Umrüstung des Waggonparks aus. Seine Berechnungen in einer Kosten-Nutzen-Analyse basieren auf einer Umrüstdauer von 5 Jahren.

Insgesamt kommt Sünderhauf zu dem Ergebnis, dass sich die Umrüstung der Waggons auf aMPK betriebswirtschaftlich und vor allem auch volkswirtschaftlich innerhalb eines sehr kurzen Zeitraums rechnen würde (vgl. Abbildung 44).

Abbildung 44: Investitionskosten und Erträge bei Einführung automatischer Kupplungen nach [Sünderhauf, B. 2009] (kumuliert in Mio. €)

	Nutzungsdauer der aMPK						
	1 Jahr	2 Jahre	3 Jahre	4 Jahre	5 Jahre	...	30 Jahre
Investitionen	- 1.350	- 1.350	- 1.350	- 1.350	- 1.350		- 1.350
Betriebswirtschaftl. Erträge	586	1.172	1.758	2.344	2.930		17.580
Deckungsbeitrag I	- 764	- 178	408	994	1.580		16.230
Volkswirtschaftl. Erträge	2.150	4.300	6.450	8.600	10.750		64.500
Deckungsbeitrag II	1.386	4.122	6.858	9.594	12.330		80.730

Quelle: Eigene Darstellung nach [Sünderhauf, B. 2009, S. 154]

Sünderhauf stellt einmalig anfallenden Investitionen in Höhe von 1,35 Mrd € einen betriebswirtschaftlichen Ertrag von jährlich mindestens 586 Mio. € und einen volkswirtschaftlichen Ertrag in Höhe von jährlich mindestens 2,15 Mrd. € (jeweils nicht abgezinst) gegenüber. Gemäß Sünderhaufs Berechnung haben sich die Investitionen bereits im dritten Jahr betriebswirtschaftlich amortisiert. Unter Berücksichtigung der volkswirtschaftlichen Erträge in dieser Wirtschaftlichkeitsrechnung, ergibt sich bereits im ersten Jahr ein Überschuss von knapp 1,39 Mrd. €, nach 30 Jahren ein kumulierter Überschuss von von knapp 81 Mrd. €.

Prof. Sünderhauf geht bei seiner Kosten-Nutzen-Analyse von folgenden Kostenannahmen aus:

Kosten für die Umrüstung:

Kalkuliert wurden folgende Preise für eine Großserienfertigung von ca. 80.000 Kupplungen jährlich.

Abbildung 45: Kosten von halbautomatischen Kupplungen mit Druck- und Elektrokupplung [Sünderhauf, B. 2009]

	Preis pro Einheit	Anzahl	Gesamtsumme
Kupplungskopf	2.500 €	2	5.000 €
Federwerk	1.000 €	2	2.000 €
Entkupplungszylinder, Magnetventil etc.	250 €	2	500 €
Leitungen im Wagon	200 €	1	200 €
Einbaukosten	300 €	1	300 €
Summe			8.000 €

Quelle: Eigene Darstellung nach [Sünderhauf, B. 2009, S. 122]

⁴⁰ Vgl. Sünderhauf, B. (2009), Die automatische Mittelpufferkupplung (AK), Voraussetzung für eine Automatisierung des Schienengüterverkehrs in Europa, Grünstadt.

Zuführungskosten der Waggon zur Einbauwerkstätte, Kosten für entgangene Nutzung sowie Kapitalkosten werden in den Berechnungen vernachlässigt, da lt. Sünderhauf jeder Waggon im Schnitt etwa 2 bis 3 mal pro Jahr eine Werkstätte zur Reparatur oder Wartung aufsuchen muss.

Für den Einbau einer Schraubekupplung ergeben sich (nach Abbildung 46) knapp 3.000 €.

Abbildung 46: Kosten von Schraubekupplungen je Waggon [Sünderhauf, B. 2009]

	Preis pro Einheit	Anzahl	Gesamtsumme
Puffer	400 €	4	1.600 €
Zughaken	115 €	2	230 €
Schraubekupplungen	200 €	2	400 €
Zugeinrichtungen	360 €	2	720 €
Summe			2.950 €

Quelle: Eigene Darstellung nach [Sünderhauf, B. 2009, S. 124]

Somit resultieren ca. 5.000 € als Investitionskosten für eine aMPK im Vergleich zu einer Schraubekupplung in einem Neubauwaggon, für den Umbau eines bestehenden Waggon mit aMPK rechnet Sünderhauf mit einem Betrag von 8.000 €.

Umrüstvolumen bei einem Umrüstzeitraum von 5 Jahren

Sünderhauf geht von insgesamt ca. 180.000 Güterwaggon, die den deutschen Markt betreffen, aus. Weiterhin nimmt Sünderhauf an, dass jährlich ca. 6.000 Altwaggon ausgemustert werden. Über einen Umrüstungszeitraum von 5 Jahren werden somit 30.000 Neubauwaggon direkt in der Beschaffung mit aMPK ausgestattet (Kostendifferenz zu Ausrüstung mit Schraubekupplung ca. 5.000 € pro Waggon). Weiterhin müssen im 5-Jahres-Zeitraum ca. 150.000 Waggon von Schraubekupplung auf aMPK umgerüstet werden (Kosten pro Waggon ca. 8.000 €).

Finanzierungsaufwand

Bei einer Leasingfinanzierung mit einer Laufzeit über 90 % der AfA-Zeit (25 Jahre) errechnet sich eine Grundmietdauer von 22,5 Jahren. Mit den weiteren Annahmen wie beispielweise eines Vollamortisierungsvertrages ohne Restwert, einem kalkulatorischen Zinssatz von 5,5 % p. a. monatlichen Leasingraten vorschüssig, ergibt sich für das erste Jahr eine Leasingrate von 19,9 Mio. €, die jährlich um genau diesen Betrag bis zum letzten (fünften) Jahr der Umrüstung ansteigt und in diesem letzten Jahr 99,6 Mio. € beträgt. Für die fünf Jahre Umrüstzeit belaufen sich damit die Leasinggebühren auf insgesamt 298,9 Mio. €. Ab dem fünften Jahr bleibt die Jahresmiete bis zum Ende der Laufzeit des Leasingvertrages (22,5 Jahre) unverändert bei 99,5 Mio. €. Somit ergibt sich für die gesamte Laufzeit von 22,5 Jahren ein Gesamtbetrag an Finanzierungen von **2,24 Mrd. €**.⁴¹

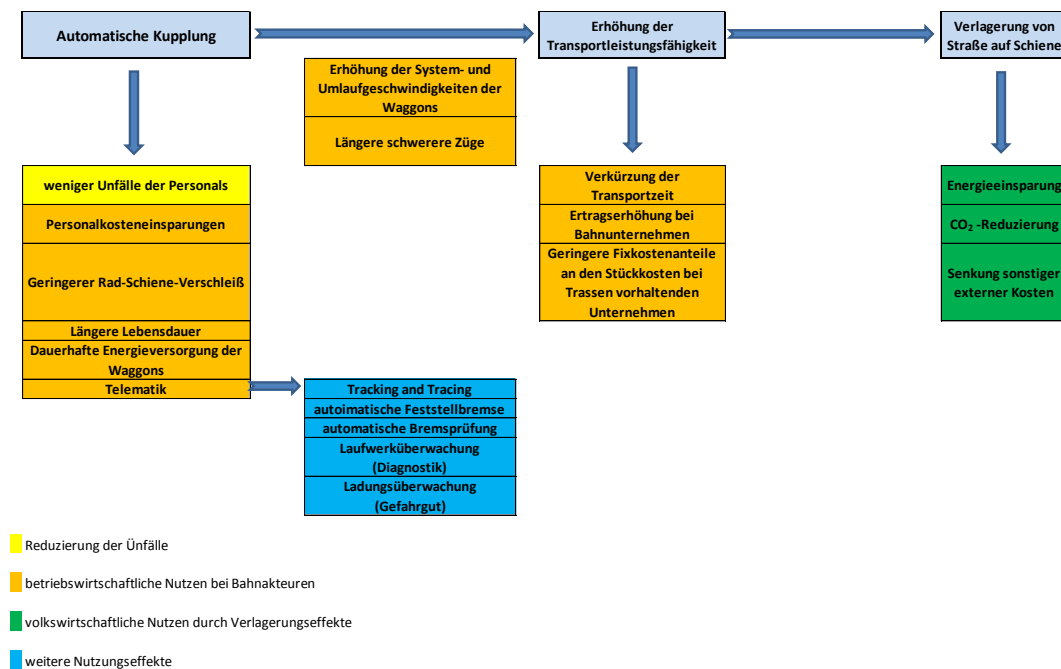
⁴¹ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 126.

7.2.1 Betrachtete Nutzenaspekte in der Studie von Sünderhauf

Prof. Sünderhauf sieht Nutzensvorteile auf mehreren Ebenen (vgl. Abbildung 47). Dabei unterscheidet Sünderhauf in

- Reduzierung der Unfallzahlen bei Bahnbeschäftigten
- Betriebswirtschaftlicher Nutzen
- Volkswirtschaftlicher Nutzen durch Verlagerungseffekte.⁴²

Abbildung 47: Nutzenkomponenten in der Studie von [Sünderhauf, B. 2009]



Quelle: Eigene Darstellung nach [Sünderhauf, B. 2009, S. 127]

Reduzierung der Unfallzahlen

„Die Wirtschaftlichkeit darf nicht in erster Linie stehen, wenn ein besserer Schutz menschlichen Lebens erreicht werden kann.“⁴³ – so argumentiert bereits Edgar Salin in seiner Studie von 1966. Auch in den USA war der Schutz der Bahnbediensteten ein Hauptgrund für die Umrüstung der Waggons Ende des 19. Jhd. (vgl. 6.1.1). Nach Umrüstung sank dort die Zahl der Kupplungsunfälle auf ca. 10 % des vorherigen Wertes.

Zwar haben sich in Deutschland die Zahl der Unfälle bei Bahnbeschäftigten gegenüber früher stark reduziert, doch ließe sich diese Zahl durch eine aMPK weiter reduzieren. Auf eine monetäre Bewertung des Nutzens wird bei Sünderhauf jedoch verzichtet.⁴⁴

⁴² Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 127ff.

⁴³ Vgl. Salin, E. (1966), Die automatische Mittelpufferkupplung, Technischer Fortschritt als finanz- und wirtschaftspolitisches Problem mit kosteneinschätzungen für 8 europäische Länder, S. 23, Tübingen.

⁴⁴ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 128.

Personalkosteneinsparungen

Der Einsatz von aMPK führt gegenüber der manuellen Schraubenkupplung unmittelbar zu einer wesentlich höheren Arbeitsproduktivität. Es sind direkte (durch Automatisierung des Kupplungsvorganges) und indirekte Personalkosteneinsparungen (durch Erhöhung der Arbeitsproduktivität des Rangierumfeldes) zu unterscheiden. Sünderhauf ermittelt für beides in Summe ein Einsparpotenzial von 120 Mio. € p. a. Für den Kalkulationszeitrahmen (22,5 Jahre) ergibt sich somit ein kumuliertes Einsparpotenzial in Höhe von ca. 2,7 Mrd. €. ⁴⁵

Geringerer Verschleiß bei Radsätzen und Schienen

Sünderhauf erstellt eine Vergleichsrechnung mit einem seit 2004 eingesetzten schweren Kohletransportzug, der bereits auf eine TRANSPACT-Mittelpuffer-Kupplung (C-AKv) umgerüstet wurde. Seit Einsatz der aMPK sind der Radsatzverschleiß, verschleißbedingte Waggonausfälle und voraussichtlicher Schienenverschleiß stark zurückgegangen.

Ca. ein Drittel weniger Radsätze mussten getauscht werden. Die Waggonausfallzeiten konnten um rund die Hälfte reduziert werden. Auch der Verschleiß an den Gleisen dürfte sich drastisch verringern, in der Übergangszeit ebenfalls der Verschleiß an den Puffern.

Sünderhauf geht von einem Beschaffungspreis in Höhe von 3.000 € für eine Welle mit 2 Vollrädern sowie von 1.000 € für Lagergehäuse, Rollenlager und Montage aus. Bei einer durchschnittlichen Nutzungsdauer von 30 Jahren ergeben sich kalkulatorische Verschleißbehebungskosten je Radsatz von 6.400 € bis 6.600 €, je Drehgestellgüterwagen somit 25.200 € bis 26.400 € (ohne Zinsen). Für die Verschleißminderung durch eine aMPK setzt Sünderhauf 20 % bis 30 % pro Jahr an und kommt somit auf ein Einsparpotenzial von 160 € bis 240 € pro Drehgestell-Güterwagen. Ausgehend von 180.000 Güterwaggons, von denen 130.000 als vierachsige Drehgestell-Waggons angenommen werden, ergeben sich 25 bis 37 Mio. € pro Jahr, über den Kalkulationszeitraum von 22,5 Jahren 562 bis 832 Mio. € Einsparpotenzial. ⁴⁶

Längere Lebensdauer der aMPK

Die Lebensdauer einer aMPK wird durch Sünderhauf mit 30 Jahren angenommen und ist damit doppelt so lange, wie die einer herkömmlichen Schraubenkupplung, die durchschnittlich nach 15 Jahren verschlissen ist.

Somit müssen bei herkömmlichen Schraubenkupplungen in 30 Jahren bei 180.000 Güterwagen rund 360.000 Kupplungen ausgetauscht werden. Bei Preisen von 1.500 € je Kupplung und Puffer errechnen sich für 30 Jahre Ersatzinvestitionen in Höhe von ca. 540 Mio. € oder 18 Mio. € pro Jahr. Da dieser Austausch bei aMPK entfällt, ist der monetäre Vorteil in dieser Höhe anzusetzen.

⁴⁵ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 128f.

⁴⁶ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 129ff.

Erhöhung der Transportleistungsfähigkeit durch Anstieg der Systemgeschwindigkeit und Umlaufgeschwindigkeiten der Waggons

Während DB-Güterwagen im Durchschnitt ca. 27 Einsätze und ca. 6.000 km pro Jahr fahren (Stand 1997) wird für Waggons mit aMPK eine Verdoppelung der Einsätze für möglich gehalten.⁴⁷ Auch wenn die Umlaufzahlen sich seitdem erhöht haben, wird die reine Fahrzeit mit unter 30 Tagen pro Jahr angenommen. Die Automatisierung durch aMPK führt nach Sünderhauf zu einer Erhöhung der Systemgeschwindigkeit bei Ganzzügen von ca. 20 %, im kombinierten Verkehr von ca. 10 % und im EWL von ca. 40 %. Damit verbunden geht Sünderhauf von einem Anstieg der gesamten Transportleistungsfähigkeit der Bahnen in Höhe von durchschnittlich 23,2 % aus, was einem Anstieg der Transportleistung um ca. 19 Mrd. tkm bedeutet.⁴⁸

Erhöhung der Transportleistungsfähigkeit durch längere Züge

Während durch herkömmliche Schraubenkupplungen dem Einsatz von längeren Güterzügen in Folge der zulässigen übertragbaren Zugkraft enge Grenzen gesetzt sind (maximales dem Rangierer zumutbares Gewicht des Zughakens und dessen Material), entfällt diese Begrenzung weitestgehend. Da die Schraubenkupplungen auch keine Druckkräfte aufnimmt, führt dies bei langen Zügen und bei Fahrten durch enge Bögen unter unglücklichen Umständen zur Entgleisung.

Die aMPK ermöglicht eine Ausweitung der Zug- und Druckdimension und damit eine Kapazitätserweiterung insbesondere auf dicht befahrenen Magistralen. Zusammen mit einer über die gesamten Zuglänge verteilten Bremsansteuerung und weiteren Rahmenbedingungen sind Zuglängen bis über 1.000m vorstellbar, bei Zügen mit Schraubenkupplung liegt das Maximum bei 700m.

Lt. Sünderhauf ergeben sich aus der Erhöhung der Transportleistungsfähigkeit durch höhere Systemgeschwindigkeit und längere Zügen für Güterbahnen in Deutschland jährliche Nutzenwerte in Höhe von ca. 417 Mio. €. ⁴⁹

Weitere Nutzungseffekte durch die aMPK als Innovationsbasis

Mit einer aMPK als Innovationsbasis sieht Sünderhauf die Möglichkeit, weitere Nutzenketten zu etablieren. Diese werden hier nur kurz, der Vollständigkeit halber dargestellt:

- Voraussetzung für Telematik durch dauerhafte garantierte Stromversorgung der Waggons,
- Ist-Zeit-Informationen über Waggonstandort durch GPS,
- Technische Zustandsüberwachung der Waggons,
- Überwachung des Ladegutes.⁵⁰

Weiterhin sieht Sünderhauf neben den betriebswirtschaftlichen auch volkswirtschaftliche Nutzeneffekte, die wie folgt zusammengefasst werden können:

- geringerer Energieverbrauch,
- geringere Klimaemissionen (CO₂), geringere Schadstoffemissionen
- kleinerer Flächenverbrauch,

⁴⁷ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 133.

⁴⁸ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 133ff.

⁴⁹ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S.142.

⁵⁰ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S. 148ff.

- geringere Boden- und Gewässerbelastung.⁵¹

Insgesamt kommt Sünderhauf in seiner Bewertung zu einem betriebswirtschaftlichen Nutzen durch Einführung einer aMPK bei insgesamt 180.000 Gütewagen in Höhe von ca. 580 bis 592 Mio. € jährlich (vgl. Abbildung 48).

Abbildung 48: Betriebswirtschaftlicher Nutzen durch die Einführung von automatischen Kupplungen [Sünderhauf, B. 2009]

	Betriebswirtschaftliche Nutzenwerte pro Jahr (in Mio. €)
Reduzierung der Unfallzahlen des Rangierpersonals	n.e.
Personalkosteneinsparungen	120
geringerer Verschleiß Rad / Schiene	25 - 37
Betriebswirtschaftliche Nutzen aus der Steigerung der Transportleistungsfähigkeit	
- DB Schenker Rail	225
- private Bahnunternehmen	192
- Trassenvorhalter	n.e.
aus längerer Lebensdauer AK	18
Gesamtnutzenwerte p.a.	580 - 592

Quelle: Eigene Darstellung nach [Sünderhauf, B. 2009, S. 153]

7.2.2 Kritikpunkte an der Studie von Sünderhauf

Als Reaktion auf die Studie von Sünderhauf wurde durch die DB Schenker Rail⁵² eine Analyse durchgeführt, in der die zu Grunde gelegten Kosten und Nutzeneffekte bei Einführung einer aMPK hinterfragt wurden. Folgende Kritikpunkte werden dabei angemerkt:

Einsparpotenzial an direkten Personalkosten (durch Reduzierung der Kuppelzeiten um 67 %)

Sünderhauf geht von 1,5 Mio. einzusparender Arbeitsstunden pro Jahr aus. Bei angenommenen 180.000 Güterwagen ergibt sich pro Wagen und Jahr eine Einsparung in Höhe von 500 Minuten. Für die Realisierung dieser Einsparung müsste ein Waggon pro Jahr zwischen 1.000 und 1.500mal gekuppelt werden. Diese hohe Anzahl an Kuppelvorgängen wird durch DB Schenker Rail als nicht realistisch eingeschätzt. Folglich ist das berechnete Einsparpotenzial in Höhe von **40 Mio. € p. a.** lt. DB Schenker Rail deutlich niedriger anzusetzen.⁵³

Einsparpotenzial an indirekten Personalkosten

Sünderhauf geht von einer generellen Erhöhung der Arbeitsproduktivität bei Verwendung einer aMPK aus und beziffert diese pauschal auf das doppelte bis dreifache der direkten Einsparungen. Diese Zahlen beruhen auf einer DB-Studie aus dem Jahre 1966. Heutige Arbeitsabläufe sind mit jenen von vor über 40 Jahren nicht mehr vergleichbar. Durch die Automatisierung zahlreicher Prozesse und

⁵¹ Vgl. Sünderhauf, B. 2009, S.143.

⁵² Stang, P. (2010), Automatische Mittelpufferkupplung, Ergebnisse der Sünderhauf-Studie, Anlage zur Präsentation von DB Schenker Rail vom 20.04.2010.

⁵³ Vgl. Stang, P. (2010, S.1.

eine damit verbundene Verzahnung weiterer Arbeitsabläufe sind Einsparungen in dem beschriebenen Umfang nicht mehr zu erreichen.

Reduzierungspotenzial durch verminderten Radsatzverschleiß (mind. 25 %)

Sünderhauf verweist auf einen, bereits mit C-AKv Kupplungen verkehrenden Kohleverkehr. Auch wenn die Berechnungen nachvollziehbar sind (Einsparungen **31 Mio. € p. a.**), so weist jedoch dieser Verkehr einige spezielle Charakteristika auf, so beispielsweise hohe Radsatzlasten, enge Kurvenradien etc. Es fehlt der Nachweis, dass die ermittelten Einsparpotentiale anpassungsfrei auch auf andere Verkehre übertragen werden können. Hierzu sind weitere Untersuchungen notwendig.

Einsparpotenzial durch längere Lebensdauer der AK, bzw. Wegfall von Ersatzinvestitionen für Schraubenkupplung

Die Studie geht ganz allgemein von einer Verdoppelung der Lebensdauer einer aMPK im Vergleich zu derjenigen einer Schraubenkupplung auf 30 Jahre aus. Dadurch ergäbe sich ein Einsparpotenzial von **18 Mio. € p. a.** Allerdings können über die exakte Lebensdauer einer Schraubenkupplung keine konkreten Aussagen gemacht werden. Zu sehr hängt diese von der individuellen Laufleistung des Fahrzeuges ab. Desweiteren unterscheiden sich auch die Lebensdauer einzelner Komponenten (Puffer, Zugeinrichtung, Haken etc.). Außerdem kommt statt eines jeweiligen Einbaus neuer Komponenten auch eine Aufbereitung der Teile in Betracht. Eine solche Aufbereitung ist deutlich kostengünstiger. DB Schenker Rail geht von Einsparungen im mittleren einstelligen Bereich aus.

Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Systems Bahn (mind. 30 %)

Sünderhauf geht von einer 10 %-igen Steigerung der Leistungsfähigkeit durch längere und schwerere Züge sowie einer 20 %-igen Steigerung durch Beschleunigung der System- und Umlaufgeschwindigkeit aus. Insgesamt sieht die Studie so ein Einsparpotenzial von **417 Mio. € p. a.** vorher.

Parallel zur Studie von Prof. Sünderhauf, gibt es das Projekt GZ 1000/1500, welches Verfahren zur Beherrschung der Zugdynamik bei längeren Zügen untersucht bzw. entwickelt. Dadurch könnte der Nutzeneffekt einer aMPK als Voraussetzung für das Fahren von längeren Zügen nicht mehr exklusiv bestehen. Für die Beschleunigung von System- bzw. Umlaufgeschwindigkeiten gilt, dass die Kupplungszeiten nur einen minimalen Anteil an der gesamten Umlaufzeit eines Wagens einnehmen. Wegen der dennoch notwendigen Durchführung der übrigen Tätigkeiten führt eine aMPK nicht zu einer nennenswerten Verkürzung der Wagenaufenthaltsdauer in den Zugbildungsanlagen. Insofern ist die erwähnte 30 %-ige Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Gesamtsystems ohne weitere Prozessverbesserungen nicht zu realisieren. Diese Verbesserungen sind jedoch unabhängig von der Einführung einer aMPK. Der Effekt einer AK auf die Erhöhung der Leistungsfähigkeit des Systems Bahn dürfte daher lt. DB Schenker Rail deutlich niedriger liegen als in der Studie von Prof. Sünderhauf ausgewiesen.

In Summe bestehen einige Kritikpunkte an der Studie von Prof. Sünderhauf, so dass davon auszugehen ist, dass die ermittelten Nutzeneffekte deutlich zu hoch liegen. Nichtsdestotrotz stellt die Studie von Sünderhauf den aktuellsten und sicherlich auch umfangreichsten Versuch dar, eine

strukturierte Wirtschaftlichkeitsrechnung für den Einsatz einer aMPK im Schienengüterverkehr aufzustellen.

7.3 Einsatz von automatischen Kupplungen im EWLV in der Schweiz [Fumasoli, T. 2010)

[Fumasoli, T. 2010] untersucht in seiner Studie „Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz“ die Potenziale für den Einsatz einer AK im Schweizer Einzelwagenladungsnetz. Dabei untersucht [Fumasoli, T. 2010] neben dem Einzelwagenladungsverkehr in der Schweiz insbesondere das Cargo Express Netz der SBB Cargo AG. Das Cargo Express Netz ist in der Produktion vom restlichen EWLV-Netz getrennt und besteht aus 52 der insgesamt 323 Bedienpunkten im Einzelwagenverkehrsnetz der SBB Cargo AG. „Cargo Express zeichnet sich durch einen verkürzten Nachsprung mit schneller Beförderung aus. Für Cargo Express werden primär die Rangierbahnhöfe Lausanne, Däniken und Mülligen – ein Teil des RB Limmatal – gebraucht. Täglich werden rund 350 Wagen im Cargo Express Netz befördert.“⁵⁴

Lt. [Fumasoli, T. 2010, S. 51] werden für die Abwicklung des Binnen-Einzelwagenladungsverkehrs der SBB Cargo rund 6.500 Güterwagen sowie 450 Triebfahrzeuge benötigt. Für das Cargo Express-Netz der SBB Cargo werden nach Einschätzung [Fumasoli, T. 2010, S. 51] ca. 100 Triebfahrzeuge und 1.000 Güterwagen benötigt.

Die Kosten für die Umrüstung des Fuhrparks für den Schweizer Binnen-EWLV sowie für das Cargo Express Netz werden wie folgt eingeschätzt (vgl. Abbildung 49):

Abbildung 49: Kosten von automatischen Kupplungen im Schweizer Binnen-EWLV [Fumasoli, T. 2010]

Umrüstkosten in Mio. CHF	Halbautomatische Kupplung		Vollautomatische Kupplung
	Ohne automatischer Leitungskupplung	Mit automatischer Leitungskupplung	
Binnen-EWLV Schweiz 360 Tfz, 4.767 Wagen	35,08	136,04	309,83
Cargo Express Netz 98 Tfz, 967 Wagen	7,28	28,24	64,31
Summe	42,36	164,28	374,14

Quelle: Fumasoli, T. 2010, S. 51.

In Summe geht Fumasoli je nach eingebautem Technologisierungsgrad einer AK von Umrüstungskosten für den Schweizer Binnen-EWLV in Höhe von 42 Mio. CHF bis 374 Mio. CHF aus.

Bei der Ermittlung der Nutzeneffekte einer AK geht [Fumasoli, T. 2010, S. 52ff.] von folgenden Kategorien aus:

- **Personaleinsparung:** Die Einführung einer halbautomatischen Kupplung ohne automatische Leitungskupplung würde zu keiner Personaleinsparung führen. Bei einer Lösung mit automatischer Leitungskupplung wird von einer Personaleinsparung von 176 Stellen ausgegangen. Bei der vollautomatischen Kupplung ist das Einsparpotenzial mit ca. 250 Arbeitsstellen am größten.

⁵⁴ Vgl. Fumasoli, T. (2010), Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz, Masterarbeit, Zürich, S. 47.

- **Arbeitssicherheit und Arbeitsschwere:** [Fumasoli, T. 2010, S. 51] geht davon aus, dass durch den Einsatz einer AK im Schweizer Binnen-EWLV je nach Kupplungstyp zwischen 145 bis 263 unfallbedingten Fehltagen pro Jahr vermieden werden könnten.

Als Ergebnis geht [Fumasoli, T. 2010, S. 54ff.] davon aus, dass sich ein Einsatz der halbautomatischen Kupplung mit automatischer Leitungskupplung am wahrscheinlichsten wirtschaftlich rechnen könnte. Bei dem Einsatz einer halbautomatischen Kupplung ohne Leitungskupplung werden zu geringe Nutzeneffekte erwartet. Eine vollautomatische Kupplung scheint hingegen zu hohe Umrüstkosten zu generieren.

Die Studie bewertet neben der Personleinsparung und der Arbeitssicherheit keine weiteren Nutzeneffekte bei der Einführung einer AK wie unter Kapitel 5.1 beschrieben. Auch wird in der Studie nicht weiter darauf eingegangen, inwiefern der untersuchte Wagenpark in sich geschlossen ist. Zum Beispiel wäre interessant zu überprüfen, ob der definierte Wagenpark ausschließlich im Schweizer Binnen-EWLV eingesetzt wird oder auch für weitere Verkehre genutzt wird. Zudem wäre auch zu untersuchen, inwiefern ausländische Güterwagen ohne AK, die in internationalen Verkehren in das Schweizer EWLV-System integriert werden, die möglichen Nutzeneffekte zunichte machen könnten.

Nichts desto trotz kommt die Studie zu interessanten Erkenntnissen, untersucht sie doch die Möglichkeiten einer Migration von AK in einem Land.

Neben der Analyse der Potenziale einer AK im Schweizer Binnen-EWLV werden durch [Fumasoli, T. 2010, S. 42ff.] weitere Potenziale beim Einsatz einer AK auch im Ganzzugverkehr in der Schweiz eingeschätzt. So ist beispielsweise lt. [Fumasoli, T. 2010, S. 42] die Länge von Kesselwagenzüge im Schweizer Flachland gewichtsbedingt auf ca. 520m und im alpenquerenden Verkehr auf ca. 280m beschränkt. Unter Verwendung einer AK könnte im Schweizer Flachland eine max. Zuglänge von 750m ausgenutzt werden, im alpenquerenden Verkehr scheinen Zuglängen bei Kesselwagenzügen von ca. 550m möglich. Ähnlich würde es sich mit dem Transport von weiteren schweren Transportgütern wie z. B. Stahlcoils o. a. verhalten. Allerdings sei darauf hingewiesen, dass durch die Öffnung des Gotthard-Basistunnels aufgrund der günstigeren Streckenführung mit geringeren Neigungsverhältnissen das Fahren von längeren und schwereren Zügen ermöglicht wird.

8. Handlungsempfehlungen für die Entwicklung eines Business Plans für die Einführung von automatischen Kupplungen

Die Analyse der bisher in der wissenschaftlichen Literatur entwickelten Kosten-Nutzen-Rechnungen bei der Einführung einer AK kommen zu interessanten, aber sehr unterschiedlichen Ergebnissen.

Während [Salin, E. 1966] bereits frühzeitig konstatiert hat, dass die Einführung einer AK im Schienengüterverkehr vsl. nicht betriebswirtschaftlich sein wird, jedoch aus volkswirtschaftlichen Gründen umgesetzt werden sollte, kommt [Sünderhauf, B. 2009] zu dem Schluss, dass die Einführung innerhalb weniger Jahre betriebswirtschaftlich amortisierbar ist. [Fumasoli, T. 2010] schätzt einen Einsatz der halbautomatischen Kupplung mit automatischer Leitungskupplung im Schweizer EWLV am wahrscheinlichsten als wirtschaftlich ein. Bei dem Einsatz einer halbautomatischen Kupplung ohne Leitungskupplung werden zu geringe Nutzeneffekte erwartet. Eine vollautomatische Kupplung scheint hingegen zu hohe Umrüstungskosten zu generieren.

[Salin, E. 1966] geht dabei von einer Umrüstung sämtlicher Güterwagen in acht europäischen Ländern aus und schätzt dabei nur die Höhe der Investitionskosten ab. Aussagen über mögliche betriebswirtschaftliche Nutzeneffekte werden in der Studie nur qualitativ getätigt.

[Sünderhauf, B. 2009] untersucht dagegen die Wirtschaftlichkeit einer Umrüstung mit AK von allen 180.000 in Deutschland verkehrenden Güterwagen. Dabei wird ein umfangreiches Szenario mögliche Nutzeneffekte beschrieben, auch wenn diese seitens DB Schenker Rail als zu optimistisch eingeschätzt werden (vgl. Kapitel 7.2.2).

[Fumasoli, T. 2010] geht hingegen von einem eingeschränkten Migrationsszenario und zwar von einer Einführung einer AK im Schweizer EWLV aus. Dabei werden die Umrüstkosten zwar abgeschätzt; bei den Nutzeneffekten beschränkt sich Fumasoli jedoch ausschließlich auf die beiden Einsparpotenziale Personaleinsparung und Arbeitssicherheit.

Aus den bisher dargestellten Analysen zu den Anforderungen an den Einsatz einer automatischen Mittelpufferkupplung (vgl. Kapitel 4), der Darstellung der Nutzenaspekte einer AK (vgl. Kapitel 5), der Entwicklung von Migrationsszenarien (vgl. Kapitel 6) sowie der in Kapitel 7 dargestellten historischen Wirtschaftlichkeitsrechnungen können folgende Empfehlungen/Schritte für die zukünftige Ausarbeitung eines Business Plans für die Einführung einer AK abgeleitet werden:

1. Definition der Anforderungen an eine AK
2. Ermittlung Einbau- bzw. Umbaukosten und Abschätzung Mengengerüst
3. Definition eines Migrationsszenario für die Einführung einer AK
4. Ermittlung der Nutzeneffekte
5. Entwicklung Kosten-/Nutzenmatrix für alle Stakeholder im Schienengüterverkehr
6. Erstellung eines Business Plans inkl. Entwicklung eines Nutzen-Transfer-Modells

Die einzelnen Schritte werden im folgenden jeweils kurz erläutert:

Zu 1.) Definition der Anforderungen an eine AK

In einem ersten Schritt sollte durch die TIS-Arbeitsgruppe exakt definiert werden, welche Anforderungen eine AK erfüllen sollte. Hierbei ist nach folgenden Varianten zu unterscheiden:

- **AK-Variante 1:** automatisches Kuppeln, manuelles Entkuppeln, keine automatische Kupplung von Luft- und/oder Elektroleitungen.
- **AK-Variante 2:** automatisches Kuppeln, automatisches Kuppeln von Luftleitungen, kein automatisches Kuppeln von Elektroleitungen, manuelles Entkuppeln, manuelle Entkopplung von Luftleitungen.
- **AK-Variante 3:** automatisches Kuppeln, automatisches Kuppeln von Luft- und Elektroleitungen, manuelles Entkuppeln, manuelles Entkuppeln von Luft- und Elektroleitungen.
- **AK-Variante 4:** automatisches Kuppeln, automatisches Kuppeln von Luft- und Elektroleitungen, automatisches Entkuppeln, automatisches Entkuppeln von Luft- und Elektroleitungen, Bedienung am Güterwagen.
- **AK-Variante 5:** automatisches Kuppeln, automatisches Kuppeln von Luft- und Elektroleitungen, automatisches Entkuppeln, automatisches Entkuppeln von Luft- und Elektroleitungen, Bedienung ferngesteuert von Lok, Stellwerk oder anderen Orten.

Je nach Komplexitätsgrad der Variante werden die Investitionskosten, aber auch die Nutzeneffekte bei der Einführung einer AK äußerst unterschiedlich ausfallen. So kann beispielsweise davon ausgegangen werden, dass die Einführung einer AK der Variante 1 (entspricht in etwa der Funktionalität einer AAR Typ E- oder SA3-Kupplung) die geringsten Investitionskosten ausweisen wird. Gleichzeitig wird der Nutzen einer solchen AK jedoch verhältnismäßig gering sein. Bei der Einführung einer AK der Variante 5 (vollautomatische, ferngesteuerte Mittelpufferkupplung) können vsl. sämtliche in Kapitel 5 dargestellten Nutzenaspekte erzielt werden, jedoch vsl. zu sehr hohen Investitionskosten.

Weiterhin sollten die technischen und betrieblichen Anforderungen vorab definiert werden. Hierzu gehören u. a. die Festlegung, ob eine starre oder flexible AK eingesetzt werden soll, welche maximalen Zug- und Druckkräfte zugrunde gelegt werden etc. Darüber hinaus sollten die Anforderungen an die Kompatibilität der AK zu anderen Kupplungssystemen definiert werden. Dabei gilt die Kompatibilität zur Schraubenkupplung als gesetzte Anforderung.

Zu 2.) Ermittlung Einbau-/Umbaukosten und Mengengerüst

Für die je nach ermittelten Anforderungsprofil definierte Variante einer AK sollten zunächst die exakten Kosten für den Einbau in einen Neubauwagen im Vergleich zum Einbau einer Schraubenkupplung ermittelt werden. Hierzu sind die bestehenden Kupplungssysteme daraufhin zu bewerten, ob diese den Anforderungen genügen. Für diesen Schritt sollte der Dialog mit den Kupplungssystemherstellern aufgenommen werden.

Zusätzlich sollten die zu erwartenden Umrüstkosten bei Bestandswagen ermittelt werden (Ausbau Schraubenkupplung und Puffer, Einbau AK). Anschließend sollte das Mengengerüst an Neubauwagen

und umzurüstenden Bestandswagen ermittelt werden. Für die Ermittlung des Mengengerüsts ist es jedoch zunächst erforderlich, ein geeignetes Migrationsszenario zu entwickeln.

Zu 3.) Definition eines Migrationsszenario für die Einführung einer AK

Es wird wie in Kapitel 6.3 bereits beschrieben nicht davon ausgegangen, dass ein weiterer Top-Down-Ansatz für die flächendeckende Einführung einer AK in sämtlichen europäischen Güterwagen gewählt wird. Stattdessen sollten potenziell interessante Nischensegmente identifiziert werden, in denen der Einsatz einer AK einen positiven Nutzeneffekt bringen könnte. Hierzu sollten geeignete Relationen, Verloader, Korridore, Regionen/Länder und/oder Branchen identifiziert werden. Die ausgewählten Nischensegmente sollten sich dadurch auszeichnen, dass weitgehend ein Inselbetrieb besteht, in dem der Nutzen der AK bereits zu einem größeren Anteil zur Geltung kommt. Gleichzeitig sollten die gewählten Nischen nicht so klein sein, so dass erst gar keine Ausstrahlwirkungen auf die anderen Segmente des Schienengüterverkehrs bestehen.

Bei der Definition eines Migrationsszenario sollte auch der voraussichtliche Umrüstungszeitraum festgelegt werden (z. B. Einbau AK nur bei Neubauwagen oder Umrüstung sämtlicher Wagen innerhalb von x Jahren).

Zu 4.) Ermittlung der Nutzeneffekte

In Abhängigkeit des gewählten Migrationsszenario und des je nach Anforderung gewählten Kupplungstyps (AK-Variante 1 bis 5) ergeben sich unterschiedliche Nutzeneffekte für den Einsatz einer AK. Dabei sollten folgende Nutzenaspekte detailliert und unter Einbeziehung von Fachkräften der beteiligten Stakeholder des ausgewählten Migrationsszenario analysiert werden:

- **Erhöhung der Arbeitssicherheit für das Rangierpersonal:**
 - Ermittlung von Rangierunfällen und damit verbundenen Folgen für die Gesundheit der Mitarbeiter.
 - Ermittlung der Ausfallkosten aufgrund von Rangierunfällen.
 - Abschätzung mögliches Vermeidungspotenzial bei Verwendung einer AK.
 - Ableitung von monetären Einsparpotenzialen.
- **Reduzierung des manuellen Rangieraufwands**
 - Ermittlung heutiger Rangieraufwand in den für das Migrationsszenario ausgewählten Verkehren (Anzahl Rangiermitarbeiter, Anzahl Arbeitsstunden, Kosten p.a.).
 - Ermittlung Rangieraufwand je Kupplungsvorgang (Kuppeln/Entkuppeln).
 - Abschätzung Zeitersparnis beim Kuppeln durch Einsatz AK.
 - Abschätzung inwiefern Mischbetrieb zwischen AK und Schraubenkupplung zu erhöhten Rangieraufwendungen führt.
 - Ermittlung monetäres Einsparpotenzial Rangieraufwand.
- **Aufrechterhaltung Rangierbetrieb bei zukünftig zu erwartenden Rekrutierungsproblemen**
 - Abschätzung der zukünftigen Aufwendungen für die Rekrutierung, Ausbildung und ggf. höhere Vergütung von Rangierarbeitern.

- **Erhöhung Entgleisungssicherheit**
 - Ermittlung bisheriger Entgleisungen, die dem Einsatz einer Schraubenkupplung zugerechnet werden können, und die unter Einsatz einer AK hätten vermieden werden können.
 - Abschätzung der Unfallkosten und Ermittlung Einsparpotenzial bei Einsatz einer AK im Vergleich zu Schraubenkupplung.
- **Beschleunigung Rangiervorgänge und damit verbunden Reduzierung Wagonumlaufzeiten**
 - Eine Beschleunigung der Wagonumlaufzeiten stellt sicherlich ein erhebliches Potenzial zur Produktivitätssteigerung im Schienengüterverkehr dar. Wie aber bereits durch DB Schenker Rail in einer Stellungnahme zur Studie von Prof. Sünderhauf dargestellt (vgl. Kapitel 7.2.2) ist eine Beschleunigung der Wagonumlaufzeiten nicht ausschließlich durch den Einsatz einer AK zu rechtfertigen.
 - Stattdessen müssten Szenarien für betriebliche Prozessverbesserungen entwickelt werden, und eine Optimierung der Wagonumlaufzeiten zumindest anteilig in der Wirtschaftlichkeitsrechnung für die Einführung einer AK berücksichtigt werden.
- **Erhöhung der Produktivität durch Bildung schwererer und längerer Züge**
 - Ermittlung der theoretisch möglichen, und unter gegebenen infrastrukturellen Voraussetzungen maximalen Zuglast und Zuglänge bei Verwendung einer AK im Vergleich zu einer Schraubenkupplung.
 - Identifikation von Verkehren aus dem gewählten Migrationsszenario, für die eine Erhöhung der Zuglast bzw. Zuglänge überhaupt grundsätzlich relevant ist.
 - Ermittlung eines Einsparpotenzials aufgrund des Fahrens von weniger, dafür aber längeren und schwereren Zügen.
 - Alternativ Ermittlung Potenzial für Erhöhung Trassenkapazität aufgrund des Fahrens von schwereren und längeren Zügen.
- **Erhöhung der Fahrgeschwindigkeit durch Nutzung Bremsstellung „P“**
 - Abschätzung, für wieviele Züge des gewählten Migrationsszenario eine höhere Fahrgeschwindigkeit aufgrund einer veränderten Bremsstellung überhaupt möglich ist.
 - Abschätzung, für wieviele Züge des gewählten Migrationsszenario ein positiver Nutzen aufgrund einer höheren Fahrgeschwindigkeit entsteht (z. B. aufgrund reduzierter Einsatzzeiten Triebfahrzeug und Triebfahrzeugführer je Verkehr, aufgrund Kundenanforderung in zeitkritischen Verkehren wie z. B. der Lebensmittel- oder Konsumgüterindustrie)
 - Abschätzung Potenzial einer möglichen Markterschließung neuer Kundensegmente aufgrund höherer Fahrgeschwindigkeiten (z. B. zeitkritische Verkehre wie z. B. Lebensmittel-, Konsumgüterindustrie oder Speditions-Hub-Hub-Verkehre).
 - Abschätzung Potenzial für Erhöhung Trassenkapazität aufgrund schnellerer Züge.
- **Stromversorgung und Telematikanwendungen im Güterzug**
 - Entwicklung eines Business Case Telematikanwendung gemäß Vorgehensweise TIS-Arbeitsgruppe „Telematik und Sensorik“.⁵⁵

⁵⁵ Vgl. Deuter, M.; Heyder, B.; Hubach, K.; Loske, F.; Michler, O.; Morrocu, M.; Obrenovic, M.; Strassmann, P.; Thomas, M.; Troeger, L. (2014), Sachstandsbericht TIS-Arbeitsgruppe Telematik und Sensorik, Stand 06.05.2014.

- **Reduzierung Instandhaltungsaufwand Güterwagen**
 - Ermittlung Einsparpotenzial durch Entfall Pufferverschleiß.
 - Ermittlung Einsparpotenzial durch Entfall Pufferschmierer.
 - Ermittlung Einsparpotenzial durch verringerten Radsatzverschleiß aufgrund Reduktion der auf die Fahrzeuge wirkenden Querkräfte.
- **Reduzierung Instandhaltungsaufwand Schieneninfrastruktur**
 - Ermittlung Einsparpotenzial Instandhaltungsaufwand Schieneninfrastruktur aufgrund der Reduktion der auf die Fahrzeuge wirkenden Querkräfte.

Aus den unter den o.g. Punkten ermittelten Nutzeneffekten kann eine gesamthafte Zusammenstellung sämtlicher Nutzeneffekte erstellt werden.

Zu 5.) Entwicklung Nutzen-Transfer-Matrix

Die im vorherigen Arbeitsschritt ermittelten Nutzenaspekte werden bei unterschiedlichen Stakeholdern des Schienengüterverkehrs wie z. B. EVU, EIU, Wagenhalter, Verloader etc. anfallen. Dabei ist darauf zu achten, dass bei der Ermittlung der Nutzenaspekte immer auch untersucht wird, welcher Stakeholder einen Nutzen in welcher Höhe erzielen kann.

Als Ergebnis dieses Arbeitsschritts entsteht eine Matrix mit den potenziellen Nutzeneffekten je Stakeholder bei Einführung einer AK in dem definierten Migrationsszenario.

Zu 6.) Entwicklung eines Business Plans

Aus den vorherigen Arbeitsschritten kann ein gesamthafter Business Plan für die Einführung einer AK im ausgewählten Migrationsszenario inkl. einer Wirtschaftlichkeitsrechnung erstellt werden. Der Business Plan sollte dabei zwingend auch eine Systematik beinhalten, wie ein Nutzen, der ggf. bei Stakeholdern des Schienengüterverkehrs anfällt, die nicht Investoren der Einführung einer AK sind, zumindest anteilig zurück an den Investor transferiert werden kann.

Insgesamt ist die Entwicklung eines Business Plans für die Einführung einer AK ein ambitioniertes Unterfangen, welches vsl. nur unter Beteiligung von Fachkräften aus den verschiedenen beteiligten Unternehmen (Stakeholdern) erstellt werden kann. Um die Akzeptanz für die Einführung einer AK in dem gewählten Migrationsszenario zu erhalten, ist die aktive Einbindung und permanente Abstimmung von Zwischenergebnissen zu empfehlen.

Literaturverzeichnis

- Bruckmann, D.; Fumasoli, T; Mancera, A. (2014), Innovationen im alpenquerenden Verkehr, Studie im Auftrag des Bundesamts für Verkehr, Zürich.
- Chatterjee, B.; Besch, J. (1999), Steigerung der Sicherheit im Eisenbahn-Güterverkehr bei Einsatz der vereinfachten kompakten automatischen Mittelpufferkupplung, erschienen in ZEV+DET Glaser's Annalen, Jg. 123, Nr. 1, S.33-36.
- Deuter, M.; Heyder, B.; Hubach, K.; Loske, F.; Michler, O.; Morrocu, M.; Obrenovic, M.; Strassmann, P.; Thomas, M.; Troeger, L. (2014), Sachstandsbericht TIS-Arbeitsgruppe Telematik und Sensorik, Stand 06.05.2014.
- Elsasser, K. (2003), Die Einführung der automatischen Kupplung erfordert langfristige Planung, Eine Geschichte des Scheiterns der europäischen Bahnen, in: M.Burri/K.Elsasser/D.Gugerli, Die Internationalität der Eisenbahn 1850-1970, Zürich, S. 285-293.
- Fumasoli, T. (2010), Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz, Masterarbeit, Zürich.
- Ferstl, D. (2014), Automatische Kupplungen – eine Übersicht vor dem Hintergrund aktueller Überlegungen zum Einsatz im Europäischen Schienengüterverkehr, im Auftrag der Knorr-Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge GmbH, München.
- Martin, U. (2005), Strategien zur Erschließung der Marktpotenziale der Eisenbahn“, technische und wirtschaftliche Potenziale sowie Risiken neuer Technologien im Eisenbahngüterverkehr, Berlin.
- o.V. (2011), Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Stephan Kühn, Winfried Hermann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS90/DIE GRÜNEN – Drucksache 17/4371, Automatische Mittelpufferkupplung im Eisenbahngüterverkehr, 20.01.2011, Berlin.
- Rehnert, W.; Link, H. (1971), Mit INTERMAT auf Strecken der Zukunft, veröffentlicht im Eisenbahn-Jahrbuch 1971, Transpress Verlag Berlin.
- Salin, E. (1966), Die automatische Mittelpufferkupplung, Technischer Fortschritt als finanz- und wirtschaftspolitisches Problem mit Kostenschätzungen für 8 europäische Länder, Tübingen.
- Siegmann, J.; Sauter-Servaes, T.; Stuhr, H.; Pätzig, M.; Witzmann, S. (2009), Studie zur zukünftigen Entwicklung der Produktionstechnologie im SGV, im Auftrag der SBB Cargo AG, Berlin.
- Sünderhauf, B. (2009), Die automatische Mittelpufferkupplung (AK), Voraussetzung für eine Automatisierung des Schienengüterverkehrs in Europa, Grünstadt.
- Stang, P. (2010), Automatische Mittelpufferkupplung, Ergebnisse der Sünderhauf-Studie, Anlage zur Präsentation von DB Schenker Rail vom 20.04.2010.
- Stang, P. (2011), Coupling21 – Kosten-Nutzen-Analyse zur Einführung einer automatischen Kupplung, Präsentation von DB Schenker Rail vom 18.07.2011.
- Stuhr, H. (2013), Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung, Dissertation, Berlin.
- Wolf; Strobel; Fleischmann (2010), Automatische Mittelpufferkupplung C-AKv zur Beförderung schwerer Züge, Präsentation von DB Schenker Rail vom 30.09.2010.