

„Erstellung eines Konzeptes für die EU- weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr“

Fachbericht „Technik DAK“

für das
Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
Invalidenstraße 44
D-10117 Berlin
Deutschland

Erstellt durch:

Technische Universität Berlin
Fakultät V
Verkehrs- und Maschinensysteme
Institut für Land- und Seeverkehr
Fachgebiet Schienenfahrzeuge

Bearbeitet von:

Prof. Dr. Markus Hecht
M.Sc. Mirko Leiste
B.Sc. Saskia Discher

Berlin, den 29. Juni 2020

Disclaimer

In diesem Fachbericht wird aus Gründen der besseren Lesbarkeit das generische Maskulinum verwendet. Weibliche und anderweitige Geschlechteridentitäten werden dabei ausdrücklich mitgemeint, soweit es für die Aussage erforderlich ist.

Inhalt

Zusammenfassung	5
1. Einleitung	7
2. Automatische Kupplungen im weltweiten Schienengüterverkehr	8
2.1 Nationale Erfahrungen bzgl. Migration und Umstellung auf AK.....	9
3. Stand der Technik	14
3.1 Grundlagen automatischer Kupplungen.....	14
3.2 Automatische Kupplungssysteme im SGV.....	18
3.3 Einbaubedingungen und Abstützung	34
3.4 Strom- und Datenleitung im SGV.....	41
4. Herausforderungen bei der Entwicklung einer europäischen DAK	45
4.1 DAK Automatisierungsgrad	46
4.2 Gewährleistung der Zuverlässigkeit.....	46
4.3 Betriebskonzept der DAK	46
4.4 Aktualität der Auslegungsgrundlagen	51
4.5 Wagenkastenintegration	51
4.6 Grad der Standardisierung	52
4.7 Verringerung des Fahrzeugabstandes.....	53
5. Stand der Forschung DAK	54
5.1 Literatur	54
5.2 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten	57
6. Rechtliche Rahmenbedingungen	61
6.1 Allgemeine Situation in Europa.....	61
6.2 Rechtliche Anforderungen für die DAK	63
6.3 Wichtige Normen und Regelwerke	71
6.4 Gefahrgutanforderungen	72
7. Sicherstellung einer Kompatibilität unterschiedlicher AK-Typen	75
7.1 Mögliche Varianten von Mischbetrieb in Europa	75
7.2 Fallunterscheidungen für Mischbetrieb ohne Abhilfemaßnahmen.....	77
7.3 Technische Bedingungen	78
7.4 Betriebliche Bedingungen.....	79

7.5	Typ 5 – Readyness.....	79
8.	Fazit.....	80
	Literaturverzeichnis	82
	Abbildungsverzeichnis	84
	Tabellenverzeichnis	86
	Abkürzungsverzeichnis	87

Zusammenfassung

Die Analyse der weltweiten Aktivitäten im Schienengüterverkehr (SGV) ergibt, dass keine vergleichbaren Ansätze zur Einführung einer Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) existieren. Die bestehenden Kupplungen des SGV, die Janney- und die SA3-Kupplung, stellen lediglich eine mechanische Verbindung automatisch her. Die aufwändige Automatisierbarkeit dieser Systeme ist unter anderem Ursache dafür, dass keine weitere Automatisierung über die mechanische Schnittstelle hinaus erfolgt ist.

Für Europa wird ein direkter Sprung von der Schraubenkupplung (SK) auf eine DAK vom Typ 4 vorgeschlagen. Eine DAK Typ 4 ermöglicht neben der mechanischen Verbindung, auch das automatische Kuppeln von Druckluft-, Strom- und Datenleitungen. Eine direkte Einführung einer vollautomatischen Kupplung vom Typ 5, die auch (automatisch) fernbedient entkuppelt werden kann, wird zunächst nicht empfohlen, um die Migration der DAK und die damit mögliche Digitalisierung des SGV in einem realistischen Zeitfenster zu ermöglichen.

Den Eigenschaften etablierter SGV-Kupplungssysteme werden vier Neuentwicklungen gegenübergestellt. Im Zuge des „Shift2Rail“ Forschungsvorhabens „FR8RAIL“ entwickelt die Firma CAF aktuell eine DAK in Anlehnung an die SGV-Kupplung „SA3“. Die anderen Entwicklungsaktivitäten basieren auf Kupplungen des Schienenpersonenverkehrs. Die Hersteller Voith und Dellner entwickeln Kupplungen mit dem Scharfenberg-Profil Typ 10, bekannt aus dem europäischen Hochgeschwindigkeitsverkehr. Die vierte Kupplung der Firma Wabtec basiert auf dem Schwab-Profil, welches vor allem in der Schweiz im Regionalverkehr zahlreich eingesetzt wird.

Im Vorfeld der Auswahl eines Kupplungstyps muss das zukünftige Betriebskonzept definiert und auch die Auslegungsgrundlagen aktualisiert werden. Dies gilt insbesondere bzgl. der Festigkeit und der Ausführung des Federapparates.

Eine im o.g. Projekt „FR8RAIL“ durchgeführte theoretische Bewertung zahlreicher AK führt zu einer sehr nahe beieinander liegenden Beurteilung der modernen Kupplungstypen. Dies ist insofern positiv, dass alle Kupplungstypen trotz der unterschiedlichen Eigenschaften ein großes Erfolgspotential aufweisen.

Es stellte sich hierbei deutlich heraus, dass die Entscheidung für ein Kupplungsprofil unabhängig vom Federapparat getätigt werden muss. Auch können gleiche Kupplungsprofile mit unterschiedlichen Federapparaten sinnvoll zu kombinieren sein, wie diverse Anwendungsbeispiele weltweit zeigen. Für zukünftige, vergleichende Versuche mit DAK sollte die Kombination verschiedener Aufhängungen und Kupplungsprofile berücksichtigt werden. Eine Entscheidung für eine Kupplung kann obendrein, aufgrund der sehr hohen Zuverlässigkeitsanforderungen, nur durch umfassende Tests mit gewissenhaft abgewogenen Szenarien getroffen werden.

Die Analyse der rechtlichen Situation ergibt, dass für eine Zulassung die europäische Gesetzgebung maßgeblich ist. Die DAK ist TSI-konform ausführbar. Diese sollte unabhängig vom Fahrzeug zugelassen werden und bereits die Anforderungen an die neuen Schnittstellen und die elektrische Ausrüstung abdecken. Gemäß aktuellen Planungen der European Union Agency for Railways (ERA) soll die DAK im Zuge der TSI-Revision 2022 als Interoperabilitätskomponente festgeschrieben werden. Der Zulassungsaufwand von Neufahrzeugen mit DAK ist dann identisch mit Fahrzeugen mit Schraubenkupplung. Die Umrüstung von Bestandsfahrzeugen erfordert gemäß den EU-Verordnungen eine erneute Inbetriebnahmegenehmigung. Dies muss jedoch dringend vermieden werden, da viele

Nachweise, insbesondere für ältere Bestandswagen, nicht mehr vorhanden sind, respektive nicht im heute erforderlichen Umfang erstellt worden sind. Intensive Abklärungen mit der ERA und den Nationalen Sicherheitsbehörden sind zur Findung einer Lösung notwendig, damit die Migration der DAK gelingen kann und die Sicherheit des SGV weiterhin gewährleistet ist.

1. Einleitung

Dieser Bericht ist ein Bestandteil der Studie zur „Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines digitalen automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr“, beauftragt und finanziert durch das deutsche Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI). Im Rahmen der Studie werden technische, betriebliche, organisatorische und finanzielle Herausforderungen der DAK-Migration umfassend analysiert und aufgezeigt.

Dieser Bericht widmet sich den technischen und betrieblichen Herausforderungen im Vorfeld einer DAK-Migration und analysiert zudem die rechtlichen Rahmenbedingungen.

Im Zuge der Untersuchungen wird die weltweite Verbreitung automatischer Kupplungen (AK) analysiert (vgl. Kapitel 2). In Kapitel 3 wird der Stand der Technik zur (D)AK vorgestellt. Dabei werden u.a. im SGV bereits etablierte AK sowie DAK-Neuentwicklungen beschrieben und deren Eigenschaften verglichen. Der Fokus liegt auf DAK, die potenziell für den europäischen SGV geeignet sind. Zudem wird die Einbausituation für europäische Fahrzeuge aufgezeigt.

In Kapitel 4 werden die wesentlichen technischen und betrieblichen Herausforderungen bei der Entwicklung einer Standard-DAK für Europa aufgezeigt.

Der aktuelle Stand der Forschung und Entwicklung mit Bezug zur DAK wird in Kapitel 5 vorgestellt. Des Weiteren wird die Zulassungssituation für Bestands- und Neubaufahrzeuge mit DAK dargestellt (vgl. Kapitel 6).

Es ist offensichtlich, dass das Fahren von Güterzügen mit (D)AK verschiedener Automatisierungsgrade (z.B. Güterwagen mit AK Typ 2 und DAK Typ 4 in einem Güterzug) zu Herausforderungen im Bahnbetrieb führen wird. Ebenso bestehen Anforderungen an eine DAK Typ 4 bzgl. einer möglichen Aufwärtskompatibilität zu einer DAK Typ 5 mit funkferngesteuerter Entkupplungsfunktion. In Kapitel 7 werden die wesentlichen Aspekte hierzu vorgestellt.

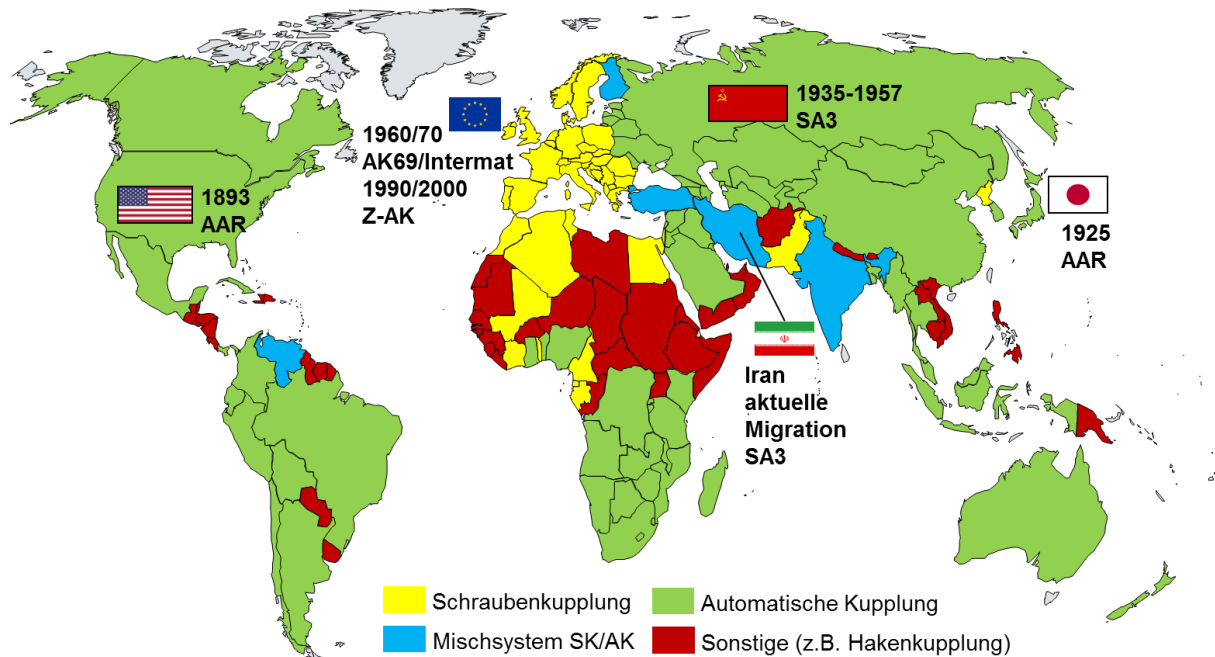
Schließlich wird in Kapitel 8 ein Fazit zu den im Bericht dargestellten Sachverhalten gezogen.

2. Automatische Kupplungen im weltweiten Schienengüterverkehr

Global betrachtet dominieren AK den Schienengüterverkehr und die Schraubenkupplung (SK) stellt im Wesentlichen eine veraltete europäische Sonderlösung dar.

Anhand der Weltkarte der Kupplungssysteme (vgl. Abbildung 1) ist klar erkennbar, dass nur in Europa¹ die SK mit Puffer verwendet wird, während in weiten Teilen Asiens, Afrikas, Australiens sowie Nord- und Südamerikas AK verwendet werden.

Abbildung 1: Weltweite Verbreitung von Kupplungssystemen



Quelle: hwh nach [1]

Mit Blick auf die Weltkarte fällt zudem auf, dass AK vor allem in Flächenstaaten eingesetzt werden. Aber auch andere Staaten, wie z.B. Malaysia, Südkorea und Japan, verwenden AK, weswegen diese in den folgenden Abschnitten gesondert vorgestellt werden. Charakteristisch für viele AK-Verkehre ist, dass sie über große Distanzen und in einheitlichen Wirtschaftsräumen operieren. Zudem sind die Verkehre geprägt durch hohe Anhängelasten und Zuglängen größer als ein Kilometer, da häufig schwere Güter, wie z.B. Montanerzeugnisse, transportiert werden.

Im Zuge der Entwicklung der Eisenbahn wurden zahlreiche AK entwickelt. Eine detailliertere Übersicht ist in [2] enthalten. Ein wesentliches Unterscheidungskriterium ist das Kupplungsprofil, auch Kupplungskopf genannt. Während im Schienenpersonenverkehr (SPV) eine Vielzahl an Kupplungsprofilen eingesetzt werden, haben sich im SGV zwei dominante Typen etabliert. Mit Abstand am häufigsten werden Kupplungen mit dem Janney-Profil eingesetzt. Dieser Typ wird unter anderem in den USA, in China, in Australien, aber auch in Südafrika eingesetzt. Kupplungen auf der Basis des Willison-Profiles stellen die zweithäufigste AK dar. Dieser Typ wird hauptsächlich in den ehemaligen GUS-Staaten und Anrainern eingesetzt. Obwohl sowohl die Janney-, die Willison- als auch die SK nicht ohne Hilfsmittel miteinander kompatibel sind, gibt es in vereinzelt Ländern auch Mischsysteme mit verschiedenen Kupplungstypen.

¹ In Staaten mit nennenswertem SGV-Aufkommen.

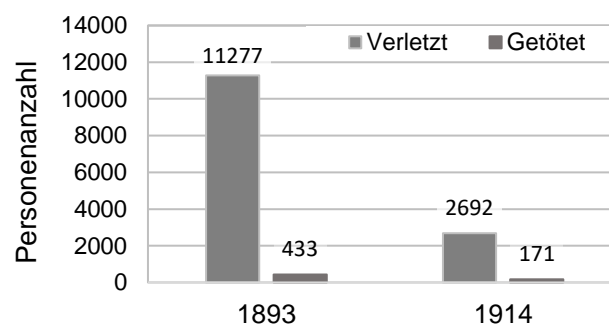
2.1 Nationale Erfahrungen bzgl. Migration und Umstellung auf AK

Die Umstellung von manuellen Kupplungssystemen auf AK erfolgte im Wesentlichen vor über 100 Jahren. Zu dieser Zeit war der SGV häufig staatlich organisiert und zudem bzgl. der Leistungsfähigkeit im Vergleich mit anderen Verkehrsträgern konkurrenzlos. Folglich stellte der SGV im Überlandverkehr die einzige Möglichkeit dar, Waren effektiv zu transportieren.

Bereits 1893 begann die Umrüstung in den USA. Insgesamt sieben Jahre dauerte der Umstellungsprozess, welcher nur per Gesetz aus Gründen der Arbeitssicherheit für den Verkehr über die Grenzen der Einzelstaaten eingeführt werden konnte. Im Jahr 1957 wurde die vollständige Umrüstung auf die AK in Russland erfolgreich abgeschlossen. Kriegsbedingt dauerte die Umstellung mehr als 20 Jahre. [3]

Angetrieben wurden die Bahnen insbesondere aufgrund der desolaten Sicherheitssituation für das Rangierpersonal. In der folgenden Abbildung 2 ist der Sicherheitseffekt in den USA durch die Einführung der AK bzgl. der verletzten und getöteten Personen dargestellt. 1893 wurden noch 11.277 Personen verletzt und 433 im Rangierbetrieb getötet. 1914 waren es dagegen „nur noch“ 2.692 Verletzte und 171 Tote, trotz deutlich angestiegener Verkehrsleistung.

Abbildung 2: Entwicklung der Sicherheit mit Einführung der AK in den USA



Quelle: [4]

In den folgenden Abschnitten werden die Aktivitäten im SGV mit Bezug zur AK in ausgewählten Ländern vorgestellt.

2.1.1 Türkei

In der Türkei sind zwei Kupplungstypen im Einsatz. Es wird sowohl die SK als auch die SA3-Kupplung vom AK Typ 1 eingesetzt.² Da es keine Informationen zu einer geplanten ganzheitlichen Umstellung auf eine AK gibt, kann davon ausgegangen werden, dass es auf absehbare Zeit in der Türkei zwei Kupplungstypen geben wird. Die Lokomotiven sind in der Regel mit Hybridkupplungen und Seitenpuffer ausgerüstet und können so universell eingesetzt werden. Bei Güterwagen existieren ebenfalls Kupplungshybride. Gemäß Recherchen und Auskünften aus dem türkischen Eisenbahnsektor wird vorrangig die SK eingesetzt. Die AK wird überwiegend für Erz- und Mineralölverkehre eingesetzt. Es finden wenig Verkehre im Mischbetrieb statt.

² Mehr Informationen zu den AK Typen/Automatisierungsgraden siehe Abschnitt 3.1.1.

2.1.2 Japan

In Japan wird seit 1925 die Janney-Kupplung eingesetzt. Die Umrüstung von der SK auf die AK erfolgte im genannten Jahr simultan an allen Wagen und Lokomotiven innerhalb weniger Tage (vgl. Abbildung 3). Für die erfolgreiche Umrüstung bedurfte es sieben Jahre Vorbereitungszeit. Durchgesetzt wurde die Umrüstung 1918 per Kaiserlichem Dekret.

Abbildung 3: Umrüstung einer japanischen Lokomotive von der SK auf AK-Typ „Janney“



Quelle: Kyoto Railway Museum 2018

Heutzutage weist der SGV in Japan einen geringen Anteil am Modalsplit auf. Dominiert wird der Modalsplit durch Fährverkehre entlang der Küsten. Dies ist vor allem der Topografie und der Bevölkerungsverteilung Japans geschuldet.

2.1.3 Iran

Auch im Iran gibt es zwei parallele Kupplungssysteme. Es sind sowohl AK (SA3-Kupplung und „AK69“) als auch die herkömmliche SK mit Seitenpuffern im Einsatz. Im Gegensatz zur Türkei stellt der Iran aktiv von der Schrauben- auf die SA3-Kupplung um. Vor ungefähr 15 Jahren wurde mit der Umrüstung begonnen. Der Umrüstungsgrad lag im August 2019 bei 98,3 %, sodass nur noch circa 400 Wagen mit der SK ausgerüstet sind. Die Umrüstung erfolgt im Wesentlichen flottenweise im Rahmen von natürlichen Wartungsintervallen. Bzgl. der Betriebsführung werden zum einen die Verkehre getrennt und zum anderen Kuppelwagen eingesetzt. Bei der getrennten Betriebsführung von AK und SK wird zum Teil auf kompatible Wagen gewartet, und damit einhergehende Verzögerungen billigend in Kauf genommen. Bei Mischverkehren werden Kuppelwagen eingesetzt (Beispielschema vgl. Abbildung 4). Diese sind zum Teil mit der „AK69“ und Seitenpuffern ausgerüstet. Warum die Wahl auf diesen Kupplungstyp gefallen ist, ist nicht bekannt. Transportiert werden vorwiegend Erze, Erdöl und Erdgase. Dies erfolgt im Wesentlichen in stark abgegrenzten Flotten, die z.B. Minenbetreibern oder Ölförderern zugehörig sind. Der Wagenbestand im Iran wird auf 23.000 bis 24.000 Wagen geschätzt.³

Abbildung 4: Verfahren für den Mischbetrieb in Iran



Quelle: TU Berlin

³ Aussage gemäß der Iran University of Science and Technology.

2.1.4 Europa

In Europa wird überwiegend die herkömmliche SK mit Seitenpuffern verwendet. Einige Verkehre, vor allem in Ländern mit russischer Breitspur und entsprechend nennenswerten wirtschaftlichen Beziehungen zu Russland setzen AK ein (vgl. Abbildung 5). Dies trifft z.B. für die baltischen Staaten und Finnland zu.

Abbildung 5: Übersicht über den Einsatz von AK in Europa



Quelle: TU Berlin auf Basis Openstreetmaps

2.1.4.1 Breitspurnetz in Europa

Wie bereits erwähnt wird im Baltikum und in Finnland die „SA3“ eingesetzt. Der Fokus wird an dieser Stelle auf Finnland gerichtet. Denn in Finnland werden sowohl die „SA3“ als auch die SK eingesetzt, was in Europa eine einzigartige Situation darstellt und vor allem für die Migrationsphase einer europäischen AK von Interesse ist. Die russischen AK-Wagen werden teils in SK-Zügen eingereiht. Dafür braucht es zum einen Kuppelwagen und zum anderen Hybridkupplungen mit Seitenpuffern, die beide Kupplungssysteme vereinen. Die Hybridkupplungen stellen hierbei SA3-Kupplungen mit einem SK-Adapter dar, welcher bei Bedarf in die AK und in den Zughaken des SK-Wagens eingehängt werden kann (vgl. Abbildung 6, orange lackierte Komponente). Ebenso ist es umgekehrt möglich, den Kupplungsbügel des SK-Wagens in ein entsprechendes Horn seitlich der SA3-Kupplung einzuhängen. Die SK kann dann wie gewohnt gespannt werden. Im Betrieb stellt sich jedoch eine Schrägstellung der AK ein.

Abbildung 6: Von links nach rechts: SA3-Kupplung mit Rangieradapter für SK hochgeklappt und im Eingriff im Zughaken der SK, „SA3“ mit eingehängten SK-Adapter und „SA3“ mit zusätzlichem Horn (rot eingekreist) auf der linken Seite zum Einhängen der SK als Zughakenersatz



Quelle: TU Berlin

Die Triebfahrzeuge (Tfz) in Finnland sind grundsätzlich mit beiden Kupplungstypen ausgerüstet. Für die Abwicklung des Rangierbetriebes gibt es zusätzliche Adapter für Rangierlokomotiven. Diese haben an der AK einen SK-Adapter, welcher sich vom Führerstand aus ferngesteuert in den Zughaken einhängen lässt (vgl. Abbildung 6, links), VAPITI-Kupplung genannt.

2.1.4.2 Normalspurnetz in Europa

Auf dem europäischen Normalspurnetz beschränkt sich der Einsatz von AK im Güterverkehr fast ausschließlich auf die Montanindustrie. Ausschlaggebend für den Einsatz der AK sind die vergleichsweise hohen Anhängelasten, die es erlauben, lange und vor allem schwere Züge zu fahren. Die europäischen AK-Verkehre sind in der Regel stark abgegrenzt und werden im folgenden Abschnitt vorgestellt.

Norwegen/Schweden

Zwischen Kiruna und Narvik verkehren die 8.600 t schweren Erz-Züge von MTAB IORE. Diese Anhängelasten werden durch den Einsatz der russischen SA3-Kupplung ermöglicht.

Deutschland/Niederlande

In Deutschland wird die „AK69“ zwischen Hamburg und Salzgitter im Eisenerzverkehr verwendet. Der Verkehr umfasst circa 400 Wageneinheiten der DB Cargo. Die „C-AKv“ wird dagegen bei den Erz-Zügen von Rotterdam nach Dillingen eingesetzt. Stand 2011 sind für diesen Verkehr 55 Wagen im Einsatz und 49 weitere Wageneinheiten in Planung. [5] Weiterhin ist die „C-AKv“ in Braunkohleverkehren zwischen Wählitz und Buna im Einsatz [6].

Großbritannien

In Großbritannien wird im Kohleverkehr die Janney-Kupplung eingesetzt. Betrieben werden diese Verkehre von DB Cargo UK. In Großbritannien werden zudem wenige Wagen mit drehbarer Janney-Kupplung verwendet, damit der Einsatz im „Rotary Dumper“ möglich ist. Ein Rotary Dumper, auch Rotationskipper genannt, ist eine Vorrichtung für offene Güterwagen mit Schüttgütern, welche beim Entladeprozess kopfüber entlädt, indem er um die Längsachse gedreht wird. Eine Voraussetzung für einen effektiven Einsatz des Rotary Dumpers ist eine, um die Längsachse drehbare Kupplung, da dadurch der Wagenzug nicht entkuppelt werden muss.

Schweiz

Als einzige bekannte Ausnahme abseits der Montanindustrie werden in der Schweiz seitens der SBB Cargo AK im inländischen Kombinierten Verkehr (KV) seit Mai 2019 eingesetzt. Die Kupplungen basieren auf der Scharfenberg-Kupplung (SchaKu) vom Typ 10.⁴ Derzeit sind circa 100 Güterwagen und 25 Triebfahrzeuge ausgerüstet, weitere Wagen sollen zeitnah folgen.

2.1.5 Sonstige Nationen

Malaysia

Malaysia, ein Schwellenland mit zunehmender wirtschaftlicher Bedeutung, setzt auf die Janney-Kupplung. Die Vorteile der AK in Bezug auf die Anhängelasten werden in Malaysia vorzugweise genutzt, um schwere Güter wie Erz, Stahl, Eisen, Granit, Zement, aber auch Holz zu transportieren. Sehr häufig werden aber auch Container befördert, wobei es sowohl ISO-Container als auch Container für den nationalen Transport von Lebensmitteln und Paletten gibt. Ebenso wie Japan hat der SGV einen vergleichsweise geringen Anteil am Modalsplit und deckt in der Regel nur die Hinterlandverkehre der großen Häfen ab. [7]

Südkorea

Erwähnenswert ist an dieser Stelle Südkorea, da es die Digitalisierung des SGV vorantreibt. Gemeinsam testeten das Korea Railroad Research Institute KRRI und Hyundai Rotem 2017 eine funkbasierte Traktions- und Bremssteuerung zur Fernsteuerung von Lokomotiven. Die erste Lokomotive wird dabei vom Triebfahrzeugführer gesteuert, der über Funk die zweite Lokomotive bedienen kann. [8] Diese Eigenentwicklung entspricht dem US-amerikanischen ECP-System von Wabtec und New York Airbrake (vgl. Kapitel 3.4.3). Auch in Südkorea wird die Janney-Kupplung eingesetzt, und auch hier hat der SGV einen, vergleichsweise geringen Anteil am Modalsplit. Dies liegt u.a. an der geografisch und politisch ungünstigen Lage.

⁴ Mehr Informationen zu der SchaKu sind im Kapitel 3.2.3 enthalten.

3. Stand der Technik

In diesem Kapitel wird eine Übersicht über den aktuellen Stand der Technik bzgl. AK im SGV gegeben.

Im ersten Schritt wird auf die wesentlichen Grundlagen automatischer Kupplungen eingegangen. Im Anschluss wird am Beispiel ausgewählter Kupplungstypen der Stand der Technik im Kontext der notwendigen Automatisierung des SGV aufgezeigt. Die Eigenschaften der Kupplungen werden im Anschluss zusammenfassend gegenübergestellt. Personenverkehrskupplungen werden nicht behandelt, aufgrund der deutlich geringeren Stückzahlen und der viel höheren Preise.

Da die Automatisierung des SGV zwangsläufig mit einer Strom- und Datenversorgung der Güterwagen verbunden ist, wird in diesem Kapitel ebenso ein Überblick über bisherige Aktivitäten in Europa und bereits existierende Systeme für die elektrische Ausrüstung von Güterwagen gegeben.

3.1 Grundlagen automatischer Kupplungen

3.1.1 Automatisierungsgrade automatischer Kupplungen

Bei SGV-Kupplungen wird klassisch zwischen den drei Automatisierungsgraden manuell, halbautomatisch und vollautomatisch unterschieden. Bei manuellen Kupplungen erfolgt sowohl das Kuppeln als auch das Entkuppeln der Fahrzeuge von Hand. Alle Medien werden ebenfalls manuell miteinander verbunden. Halbautomatische Kupplungen können automatisch mechanisch kuppeln, müssen aber weiterhin von Hand entkuppelt werden. Die Luftleitungen werden ebenfalls weiterhin manuell gekuppelt. Eine vollautomatische Kupplung kann sowohl automatisch kuppeln als auch automatisch entkuppeln, und auch die Leitungskupplung erfolgt automatisch.

Der Fokus der klassischen Einstufung liegt auf der Automatisierung der mechanischen Kupplung und lässt die Art sowie die Anzahl der gekuppelten Medien außer Acht. Folgerichtig wurde im Rahmen der Aktivitäten des Technischen Innovationskreises Schienengüterverkehr (TIS)⁵ zur AK für den SGV eine Neueinstufung vorgenommen. Es wurden fünf Automatisierungsgrade (Typ 1 bis 5) definiert. Diese unterscheiden sich primär in der Anzahl der automatisch kuppelnden Schnittstellen (vgl. Abbildung 7).

Typ 1 stellt das automatische Kuppeln der mechanischen Verbindung dar, analog zur halbautomatischen Kupplung. Typ 2 kuppelt zusätzlich die Hauptluftleitung (HLL) automatisch. Eine AK Typ 3 ermöglicht zusätzlich die automatische Verbindung von Stromleitung und der Typ 4 die Verbindung von Datenleitungen. Durch die automatische Verbindung von Strom- und Datenleitungen ist erst eine Kupplung vom Typ größer oder gleich 4 eine DAK. Während Typ 1 bis Typ 4 halbautomatische Kupplungen darstellen, ist eine Kupplung vom Typ 5 eine vollautomatische Kupplung gemäß klassischer Einstufung. Der Typ 5 ermöglicht das vollautomatische Kuppeln und Entkuppeln.

⁵ TIS: Technischer Innovationkreis Schienengüterverkehr, siehe Abschnitt 5.2.1.

Abbildung 7: Nomenklatur des TIS bzgl. der Einteilung der Automatisierungslevel einer AK

Automatisierungslevel	Typ 1	Typ 2	Typ 3	Typ 4	Typ 5
Mechan. Verbindung	✓	✓	✓	✓	✓
Hauptluftleitung		✓	✓	✓	✓
Stromleitung			✓	✓	✓
Datenverbindung				✓	✓
Automat. Entkuppeln					✓

Quelle: TU Berlin in Anlehnung an den TIS

3.1.2 Grundsätzlicher Aufbau einer automatischen Kupplung

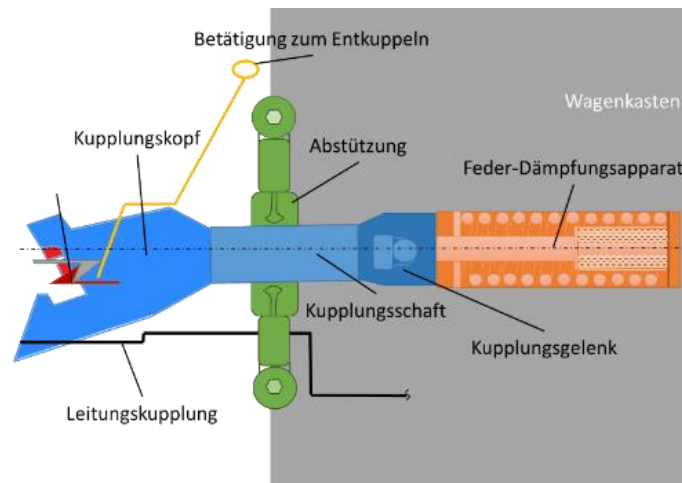
Grundsätzlich besteht eine AK aus den folgenden sechs Hauptbaugruppen:

- Kupplungskörper,
- Verriegelung,
- Betätigung,
- Abstützung,
- Feder-Dämpfungsapparat,
- Leitungskupplung.

Diese Baugruppen sind in Abbildung 8 dargestellt und werden an dieser Stelle kurz beschrieben. Der Kupplungskörper (in Abbildung 8 in blauer Farbe dargestellt) besteht aus dem Kupplungskopf, dem Kupplungsschaft und dem Kupplungsgelenk und bildet damit den Kern der AK. Gängige Typen sind in den nachfolgenden Abschnitten aufgeführt. Am Kupplungskopf befindet sich der Verriegelungsmechanismus (rot), welcher die Kupplung mit der Partnerkupplung möglichst formschlüssig verbindet. Die Verriegelung lässt sich durch die Betätigung zum Entkuppeln (gelb) lösen. Um den Kupplungskörper vor allem in vertikaler Richtung zu führen, wird eine Abstützung (grün) benötigt, die in verschiedenen Varianten ausgeführt sein kann und in Kapitel 3.3.2. näher beschrieben wird. Ebenfalls existiert noch eine Leitungskupplung (schwarz). Diese kann Luft, Strom und Daten umfassen. Der ganze Kupplungsapparat ist am Wagenkasten befestigt.

Zur Minimierung von Längsreaktionen innerhalb des Zugverbandes und von Kräften bei Auflaufstößen ist an den Kupplungskörper ein Feder-Dämpfungsapparat angeschlossen (orange). Dieser unterscheidet sich in der grundsätzlichen Funktionsweise nicht von den Varianten, wie sie auch bei SK verwendet werden.

Abbildung 8: Grundsätzliche Bauteile einer AK



Quelle: TU Berlin

Federapparat

Unabhängig vom Typ oder der Bauart der AK ist der Federapparat Bestandteil jeder AK. Dieser hat vor allem die Aufgabe, die Längsreaktionen während der Zugfahrt innerhalb des Zugverbandes bei Anfahr- und Bremsvorgängen, aber auch während der Fahrt zu minimieren. Ebenso trägt der Federapparat dazu bei, die Kräfte beim Auflaufstoß möglichst klein zu halten. Bzgl. der Anforderungen ist hier jedoch ein Zielkonflikt vorhanden. Aus längsdynamischer Sicht sollten Relativbewegungen zwischen den Güterwagen im Zugverband möglichst unterbunden werden. Eine vorgespannte, steife Federung der Kupplung mit degressiver Federkennlinie ist hierfür vorteilhaft. Für Stoßvorgänge hingegen ist eine progressive, möglichst weich beginnende Kennlinie ohne Vorspannung von Vorteil.

Im SGV werden heutzutage bereits unterschiedliche Feder-/Dämpferapparate verwendet. Bzgl. der Seitenpuffer gibt es in Europa vier genormte Kategorien (EN 15551), darunter auch einen speziellen Langhubpuffer. Für den Federapparat der DAK könnte es ebenso notwendig sein, mehrere Federkategorien zu entwickeln. Dies muss nicht zwangsläufig in Anlehnung zu den heutigen Kennlinien geschehen.⁶

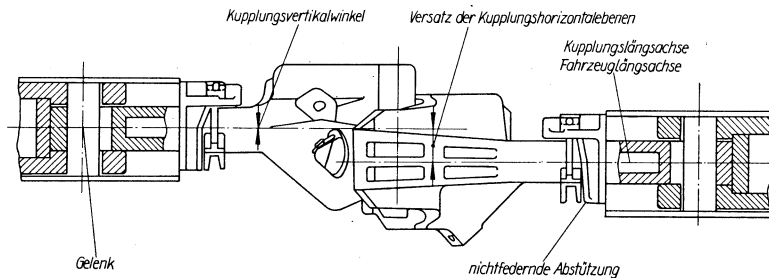
3.1.3 Starre und nicht-starre Kupplungen

Prinzipiell existieren zwei grundsätzliche Varianten von AK. Die Unterscheidung erfolgt dabei aufgrund der Art, wie der zwischen zwei Wagen vorhandene Höhenversatz der Fahrzeuginnenachsen ausgeglichen wird. Die einfachere der beiden Varianten ist die nicht-starre Ausführung bezüglich der Höhenlage der Kupplungsköpfe. Zu dieser Variante gehören die Janney- oder die Willison-Kupplungen, jeweils in der Standardausführung. Der Höhenversatz zwischen zwei Wagen führt zu vertikalen Verschiebungen zwischen den Kupplungsköpfen der Wagen, wobei die Kupplungslängsachse in der Höhe parallel zur Fahrzeuginnenachse des Wagens ist, an dem sie montiert ist. Der Vorteil dieses Prinzips ist der einfache Aufbau und die günstige Herstellung der Lagerung des Federapparates. Nachteil dieses Konzeptes ist der daraus resultierende, nicht unerhebliche Verschleiß an den Gleitstellen während der Fahrt sowie eine signifikant erschwerte Automatisierbarkeit. Das

⁶ Weitere Ausführungen hierzu vgl. Kapitel 4.4.

automatische Kuppeln von Leitungen ist so nicht möglich. Ein Beispiel für eine solche nicht-starre Kupplung ist in Abbildung 9 dargestellt, in diesem Fall eine SA3-Kupplung. [4]

Abbildung 9: Nicht-starre AK am Beispiel SA3-Kupplung

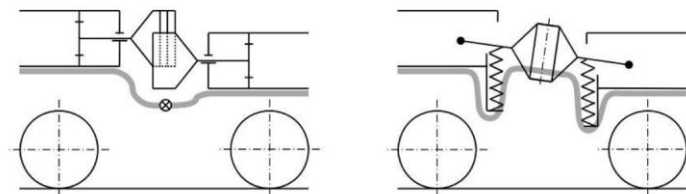


Quelle: [4]

Sollen außerdem Leitungen automatisch mitgekuppelt werden, wie es ab AK Typ 2 und höher vorgesehen ist, ist das mit einer nicht-starren AK nicht möglich. Die Leitungen müssen wie bei der SK eigenständig behandelt werden, weshalb eine nicht-starre AK für den Einsatz als DAK nicht in Frage kommt.

Neben der nicht-starren AK existiert ein zweiter Kupplungstyp, die starre Ausführung. Bekannte Kupplungen dieser Bauart sind die UIC-/ OSShD-Kupplungen „AK69“ und „Intermat“, die SchaKu, die Compact-Kupplung („C-AKv“) oder die Schwab-Kupplung. Bei der starren Kupplung wird der Höhenversatz zwischen den Wagen (Fahrzeuggängsachse) und somit auch der Kupplungslängsachse durch eine Winkelstellung der beiden Kupplungslängsachsen ausgeglichen. Kupplungs- und Fahrzeuggängsachse sind somit nicht parallel, und es existiert kein Versatz der Kupplungshorizontalebene, wie es bei der nichtstarren Variante der Fall ist. Entscheidender Vorteil der starren Lösung ist die geringe Bewegung der Kupplungsköpfe gegeneinander, was niedrigen Verschleiß und eine zueinander eindeutig definierte Stellung mit sich bringt. Dies ermöglicht es, die Leitungen automatisch mitkuppeln zu können. Der Unterschied zwischen den beiden Kupplungstypen ist in Abbildung 10 nochmals veranschaulicht.

Abbildung 10: Nicht-starre (links) und starre Kupplung (rechts)



Quelle: [3]

Aus Abbildung 10 wird ersichtlich, dass der Kupplungsschaft bei der starren Ausführung drehbar um die Querachse gelagert sein muss, dabei jedoch abzustützen ist, um ihn in Mittellage im ungekuppelten Zustand zu positionieren. Die Umsetzung erfolgt durch eine in der Regel vertikal abgefederte Abstützung. Die Kupplungslagerung bei starrer Ausführung muss so zwei Freiheitsgrade aufweisen: Drehung um die Hochachse und Drehung um die Querachse.

3.2 Automatische Kupplungssysteme im SGV

In diesem Abschnitt wird auf den Stand der Technik automatischer Kupplungen des SGV eingegangen. Aus dem Kapitel 2 wird bereits ersichtlich, dass im Schienengüterverkehr im Wesentlichen zwei Typen der AK eingesetzt werden. Zum einen sind dies Kupplungen, die auf dem Janney-Profil basieren. Diese stellen den weltweit dominierenden Kupplungstyp dar. Zum anderen ist die SA3-Kupplung, basierend auf dem Willison-Profil, vor allem in den Ländern der ehemaligen GUS Staaten sehr weit verbreitet. Diese beiden Kupplungstypen und zwei aktuell diskutierte innovative Kupplungen, adaptiert vom SPV, werden in diesem Kapitel hinsichtlich ihrer Eigenschaften beleuchtet und tabellarisch gegenübergestellt.

3.2.1 Janney

Grundsätzlich ist die Janney-Kupplung unter anderem wegen der eingeschränkten Kuppelbarkeit in Bögen nicht oder nur eingeschränkt für den Einsatz in europäischen Güterzügen geeignet. Für die vorliegende Studie ist vor allem die betriebliche Handhabung der Kupplung von Interesse.

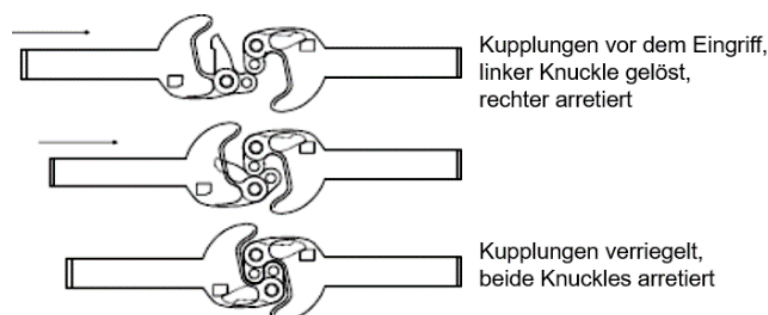
Historie

Die Janney-Kupplung wurde circa 1870 erfunden. Ende des 19. Jahrhunderts wurde sie erstmals in den USA bei Güterbahnen eingesetzt und seitdem stetig weiterentwickelt. Im Zuge des technischen Fortschrittes entstanden vier relevante anwendungsspezifische Derivate der Janney-Kupplung. Die Typen E und E/F sind seit 1932 die Standardkupplungen des SGV in Nordamerika, China, Japan, Australien, Südafrika und Brasilien. In Nordamerika werden seit 1947 zusätzlich noch die Typen F [9] und H eingesetzt. [2]

Funktionsprinzip

Alle Derivate der Janney-Kupplung basieren auf dem gleichen Prinzip und haben bis auf wenige Details auch einen identischen Aufbau. Über ein bewegliches Scharniergelenk, dem sog. Knuckle, erfolgt die Übertragung der Zugkräfte. Zudem verhindert der Knuckle, bzw. der dahinterliegende Verschluss, das Auseinandergleiten der Kupplungsköpfe im verriegelten Zustand. Während des Kuppelvorganges ist zuerst ein Knuckle arretiert und einer beweglich. Wenn diese beiden Gelenke ineinandergreifen, wird auch der zweite Knuckle arretiert, sodass die beiden Wagen miteinander verbunden sind (vgl. Abbildung 11).

Abbildung 11: Funktionsweise Janney-Kupplung



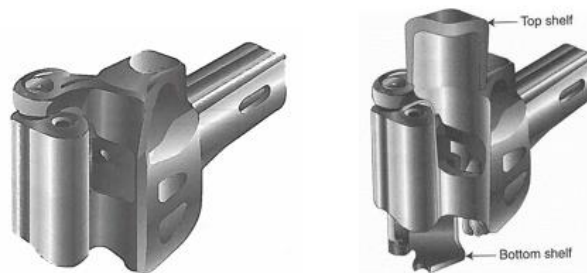
Quelle: [3]

Janney-Kupplungen sind in der Regel starr mit dem Wagenkasten verbunden. Die Kupplung muss deshalb viel Spiel aufweisen, da die Drehbewegung um die Hochachse bei Bogenein- und -ausfahrt an der Verbindungsstelle der Kupplungsmäuler erfolgt.

Ausführungen

Der „Typ E“ stellt im Wesentlichen die Grundausführung dar. Der „Typ E/F“ ist für besonders lange Güterwagen mit großem Überhang konzipiert worden und gewährleistet die Fahrt durch enge Bögen. Dafür ist das Kupplungsprofil geweitet und der Schaft verlängert worden. Beide Ausführungen zeichnen sich neben dem unbegrenzten Vertikalspiel durch ein hohes Längsspiel aus (ca. 20 mm [2]). Bei Entgleisungen ist vor allem der fehlende Vertikalanschlag kritisch, da die Kupplungsköpfe auseinanderdriften können und auf Kesselwagenböden dann wie ein Dorn wirken. Deshalb sind in den USA für Gefahrgutverkehre zusätzliche untere und obere Anschläge („Top Shelf“ und „Bottom Shelf“, vgl. Abbildung 12, rechts und Abbildung 12, links) vorgeschrieben. Der untere Anschlag ist zusätzlich beim Ausbau der Kupplung hilfreich, da diese, solange sie im Eingriff ist, nicht herunterfallen kann und dann einfach aus der Führung herausgezogen werden kann. Die Kombination der Anschläge sorgt für zusätzliche Sicherheit. Im Fall von zu hohen Kräften verkeilen sich die Kupplungsköpfe und die Kupplungen werden als Ganzes abgesichert. Ein Eindringen der Kupplung in den Kesselboden kann auf diese Weise vermieden werden. [9]

Abbildung 12: Janney-Kupplung Typ E in Standardausführung (links) und für Gefahrguttransporte mit „Top shelf“ und „Bottom shelf“ (rechts)



Quelle: [9]

Der „Typ F“ macht aus der höhenbeweglichen eine starre Kupplung und reduziert das Spiel im Kupplungskopf auf ca. zehn Millimeter [2]. Diese Reduktion erfolgt über zusätzliche Führungselemente. Das Kupplungsprofil des „Typ E“ wurde dafür seitlich um einen Dorn („Guided arm nose“) und eine entsprechende Fangtasche („Interlocking wing pocket“) erweitert (vgl. Abbildung 13, Mitte). Diese Anordnung ermöglicht eine Kompatibilität mit dem „Typ E“ und „E/F“. Grundsätzlich gilt, dass alle Janney-Kupplungen miteinander kompatibel sind [9]. 2008 wurde eine vollautomatische Kupplung (DAK Typ 5⁷) des „Typ F“ in den USA erprobt. Diese wurde - aus nicht näher bekannten Gründen - nicht über den Prototypen-Status hinaus entwickelt [2]. In Großbritannien wird die Buckeye-Kupplung, ein vollautomatisiertes Derivat der Janney Kupplung, im SPV eingesetzt (vgl. Abbildung 13, rechts).

⁷ vgl. Kapitel 3.1.1.

Abbildung 13: Janney-Kupplung mit Überpufferungsschutz (links), vollautomatischer Typ F (Mitte) und Buckeye-Kupplung aus England (rechts)



Quelle: TU Berlin

Der Typ H (Tightlock) ist ein weiteres Derivat der Janney-Kupplung. Dieser Kupplungstyp ist eine starre Ausführung der Janney-Kupplung. Aufgrund des geringen Kupplungsspiels von zwei Millimeter ist der Typ H für eine automatische Verbindung von Strom-, Daten- und Luftleitungen geeignet. Der Typ H wird nur im SPV eingesetzt. [2]

Verschleißverhalten

Aufgrund des hohen Kupplungsspiels wirken während der Fahrt hohe dynamische Kräfte, und die Kupplung ist entsprechend hohem Verschleiß ausgesetzt. Der Kuppelvorgang erfolgt über die beweglichen Knuckles. Folglich werden die Knuckles auch beim Kuppelvorgang hohem Verschleiß ausgesetzt.

Handhabung

Für das Entkuppeln reicht es, wenn eine der beiden Kupplungen entriegelt wird. Dafür gibt es Bedienelemente an den Stirnseiten der Güterwagen. Diese werden zum Teil nicht verwendet, beispielsweise in China. Es werden in diesem Fall spezielle „Entkupplungsgabeln“ verwendet. Mit diesen werden die Kupplungsköpfe direkt am Kuppelkopf entriegelt. Der Mitarbeiter bedient den Entriegelungsmechanismus mit der „Entkupplungsgabel“ ohne zwischen die Fahrzeuge zu treten. In den USA dagegen werden die Bedienelemente direkt am Güterwagen verwendet.

Eine große Herausforderung ist, dass sich die Janney-Kupplung schwer unter Zugkräfteinfluss entkuppeln lässt. Ein Wiederverriegeln von Kupplungen, im Fall von Fehlbedienungen, wenn z.B. im Rangierbahnhof die Trennstelle verwechselt wurde, ist dagegen möglich, solange die Kupplungen noch im Eingriff sind.

Janney-Kupplungen haben einen für europäische Anforderungen geringen Greifbereich und wegen der fehlenden Zentrierung müssen die Kupplungen in Bögen, insofern dies bei dem Derivat möglich ist, vorher per Hand ausgerichtet werden.

In den USA werden die Luftkupplungen manuell verbunden und durch Auseinanderfahren automatisch getrennt. Damit die Schläuche dabei nicht zu weit ausschlagen, werden sie mit dünnen Schraubenfedern etwas geführt.

Automatisierbarkeit

In der Regel sind alle Janney-Kupplungen halbautomatisch. Bezüglich der Automatisierbarkeit dieser Kupplung lässt sich grundsätzlich sagen, dass die klassischen Janney-Kupplungstypen „E“, „E/F“ und „F“ des SGV wegen des großen Längsspiels nur bedingt automatisierbar sind. Beim „Typ E“ verhindert das vertikale Spiel das Kuppeln von Leitungen. „Typ H“ ist hingegen automatisierbar. Allerdings tritt beim (Ent-) Kuppeln hoher Verschleiß auf. Es gibt bisher keine

Erfahrungen mit dem „Typ H“ im SGV, und auch hier besteht das Problem des relativ kleinen Greifbereichs.

Sonstige Eigenschaften

Alle Janney-Kupplungen sind einfach aufgebaut, witterungsbeständig und haben vergleichsweise geringe Anschaffungskosten.

3.2.2 Willison

Historie

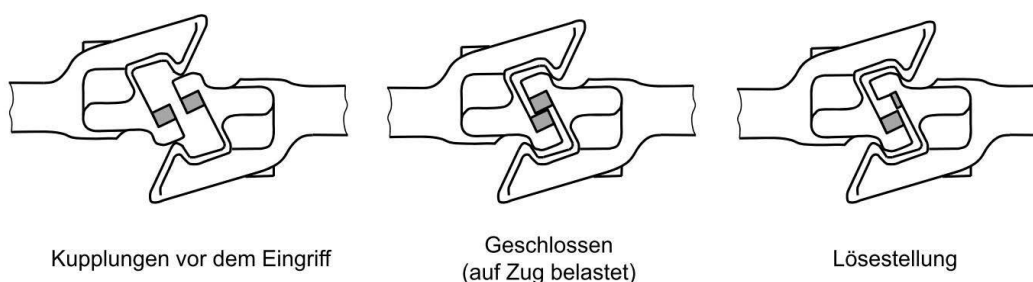
Die Willison-Kupplung ist eine AK, die 1916 in den USA aufgrund der Defizite der Janney-Kupplung entwickelt wurde und heutzutage viele verschiedene Varianten aufweist. Zwischen 1935 und 1957 wurde sie als „SA3“, eine Weiterentwicklung der Grundform der Willison-Kupplung, in der UdSSR eingeführt.

In den 1960er- und 1970er- Jahren wurde die „AK69“/„Intermat“, basierend auf dem Willison-Prinzip, als europäische AK mit Kompatibilität zur „SA3“ entwickelt. Allerdings müssen für den Gemischtbetrieb von „SA3“ und „AK69“/„Intermat“ extra Luftleitungskupplungen vorgehalten werden, da die „SA3“ wegen der nicht-starren Ausführung gar keine Medien automatisch kuppeln kann. Die Ausführung der Luftkupplungsköpfe im russischen SGV und bei der AK69/Intermat sind aber identisch.

Funktionsprinzip

Der Kuppelvorgang erfolgt über starre und bewegliche Elemente. Bzgl. der Funktionsweise ist in Abbildung 14 zu sehen, dass zwei Kupplungen zunächst ineinander gleiten und dann in ihrer Endposition arretiert werden. Die Kraftübertragung von Zug- und Druckkräften erfolgt über den massiv ausgeführten Kupplungskopf. Das Lösen und Verbinden der Leitungen erfolgt in der Regel per Hand, wie z.B. in Russland. Die Kupplungsverbindung ist sowohl in Längs- als auch in vertikaler Richtung spielbehaftet.

Abbildung 14: Kupplungsvorgang der Willison-Kupplungen



Quelle: [3]

Ausführungsvarianten

Die folgenden Ausführungsvarianten sind auf die Versuche, in Europa eine AK zu etablieren, zurückzuführen.

Die „AK69“ und die „Intermat“, welche bis auf wenige Details identisch sind, können automatisch zwei Luftleitungen und bis zu sechs Elektroleitungen kuppeln. Wegen des großen mechanischen Spiels sind die Leitungskupplungen sehr aufwändig und durch weiche Federn spielausgleichend gelagert.

In den 1990er Jahren kam es zur Entwicklung der „Z-AK“. Bei dieser Kupplung kann die Hauptluftleitung (HLL) automatisch gekuppelt werden, jedoch sind Seitenpuffer notwendig, da nur Zugkräfte übertragen werden. Daher ist die Kupplung sehr schwer und teuer und für diese Studie nicht relevant. [10]

Mit der zwischen 1994 und 2002 entwickelten „C-AKv“ können automatisch zwei Leitungen gekuppelt werden [2, 11]. Eine weitere Entwicklung mit dem Willison-Profil ist die modulare SA3-Kupplung von Voith, die allerdings noch kein Einsatzgebiet gefunden hat (vgl. Abbildung 15) [2]. Die „AK69“ und die „C-AKv“ finden nur vereinzelt im Schwerlastverkehr Verwendung (vgl. Kapitel 2.1.4). Die folgenden Abbildungen zeigen Beispiele dieser Kupplungen.⁸

Im Zuge des Shift2Rail-Projektes „FR8RAIL II“⁹ wird derzeit eine DAK Typ 4 basierend auf dem Willison-Prinzip entwickelt. Es wird erwartet, dass diese Kupplung den technischen und betrieblichen Anforderungen der einschlägigen UIC-Merkblätter entspricht. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie waren keine näheren Informationen über technische Details zu dieser Kupplung zu erhalten.

Abbildung 15: „AK69“ (oben links), „Modulare SA3“ von Voith (oben rechts), „Z-AK“ (unten links), „C-AKv“ (unten rechts)



Quelle: oben links TU Berlin, oben rechts Voith, unten links [10], unten rechts [6]

Automatisierbarkeit

Die SA3-Kupplung ist ein nicht-starres Derivat der Willison-Kupplung. Um Leitungen über den Kupplungskopf automatisch zu verbinden, muss das Spiel zwischen den Kupplungsköpfen unterbunden werden, sodass aufwendige Zentrierungs- und Fixierungslösungen notwendig sind. So geschehen ist dies bei den Derivaten „AK69“/„Intermat“, der „C-AKv“ sowie bei der „modularen SA3-Kupplung“.¹⁰ Aufgrund des weiterhin verbleibenden Spiels von mehreren Millimetern im Kuppelkopf, ist die automatische Leitungskupplung sehr komplex.

⁸ Mehr Informationen zur Verbreitung der Kupplungen und Grafiken sind in Kapitel 4.5. enthalten.

⁹ Mehr Informationen zu „FR8RAIL“ vgl. Kapitel 5.2.4.

¹⁰ Für die neuentwickelte Willison-Kupplung von CAF werden analoge Konstruktionsansätze erwartet.

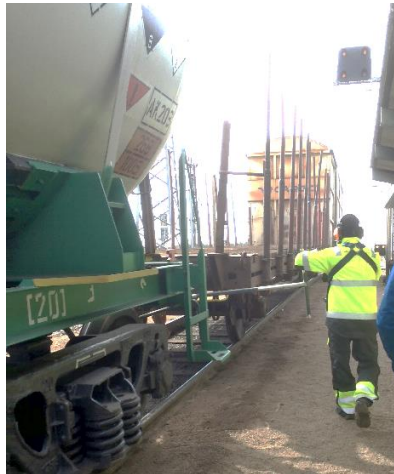
Wartungsaufwand

Willison-Kupplungen sind sehr robust, da ein Großteil der Last bei Zug über die starre „Nase“ übertragen wird und ein nur vergleichsweise geringer Teil über den beweglichen Verriegelungskeil. Im Betrieb entsteht, bedingt durch die Längs- und Querspiele, Verschleiß. [4] Aufgrund der sehr hohen Verschleißreserve sind Willison-Kupplungen in der Regel wartungsarm.

Handhabung

Ein wesentlicher Vorteil dieser Kupplung ist die betriebliche Handhabung. Es gibt vier Stellungen, die die Kupplung einnehmen kann: „Entriegelt“, „Kuppelbereit“ (ungekuppelt), „Pufferstellung“ und „Gekuppelt“. Die vorhandenen Bediengriffe werden in der Regel nicht genutzt und stattdessen „Entkupplungsgabeln“ zur direkten Bedienung am Kupplungskopf herangezogen. In Abbildung 16 ist ein solches Werkzeug im Einsatz in Finnland dargestellt.

Abbildung 16: Mitarbeiter entkuppelt Güterwagen mit SA3-Kupplung direkt am Kupplungskopf mit einer „Entkupplungsgabel“ in Finnland



Quelle: TU Berlin

Neben den genannten Betriebsstellungen ist es bei dieser Kupplung auch möglich, eine versehentliche Entriegelung zurückzunehmen. Insbesondere in Rangierbahnhöfen ist dies von Vorteil.

Ein Entriegeln der Kupplungen unter Zugkraft ist möglich. Im Fall der „SA3“ ist dies bis 7,5 kN, für die „C-AKv“ bis 20 kN [6] und für die „AK69“ bis 40 kN Zugkraft möglich. [4]

Zum Trennen von entriegelten Kupplungen mit Willison-Profil ist eine gewisse, nicht näher bekannte Zug-Trennkraft nötig, da auch im entriegelten Zustand die Kupplungen noch miteinander verhakt sind. Im Zusammenhang mit den Versuchen der „Z-AK“ offenbarte sich, dass dies für die Abläufe am Ablaufberg berücksichtigt werden muss. Ablaufende Wagen müssen im Vergleich zur SK zunächst so viel Abtrieb bekommen, dass die Kupplungen sich „enthaken“. Leichte Wagen „enthaken“ sich vergleichsweise spät und erreichen folglich eine deutlich verringerte Ablaufgeschwindigkeit. Wenn der nachfolgende Wagen vergleichsweise schwer ist und frühzeitig „enthakt“, läuft dieser schneller den Berg ab, und der Abstand zwischen den Wagengruppen verkürzt sich. Die Anforderungen an die Umstellzeiten der Weichen im Anschluss des Ablaufberges steigen durch den verkürzten Abstand der Wagengruppen deutlich. Der Effekt tritt insbesondere bei kleineren Ablaufbergen auf. [10]

Die Tests mit der „Z-AK“ liegen circa 20 Jahre zurück. Eventuell wurde die Technik in den Ablaufanlagen bereits erneuert. Inwiefern dieser Aspekt für die Stellwerkstechnik der Ablaufanlagen heutzutage noch relevant ist, ist daher unbekannt. Dadurch, dass Tests am Ablaufberg ohnehin unerlässlich sind, sollte das Ablaufen besonders leichter Wagen zusätzlich beobachtet werden. [10]

Der Greifbereich der Willison-Kupplungen ist typabhängig und im Vergleich zur Janney-Kupplung sehr groß für alle Derivate. Die „SA3“ bzw. die „AK69“/„Intermat“ erlauben ein Kuppeln bis zu einem Höhenversatz von ± 140 mm und einem Querversatz von ± 160 mm bzw. ± 220 mm im Fall der „AK69“/„Intermat“. ¹¹ Die „Z-AK“ hat einen Greifbereich von ± 120 mm vertikal und ± 190 mm horizontal. ¹² Der Greifbereich spannt eine rechteckige Fläche auf.

Für die „Z-AK“ ist eine minimale Kuppelgeschwindigkeit von 0,6 km/h bekannt. Für das Kuppeln von leichten Fahrzeugen wird ein höherer Wert vermutet. Die „AK69“/„Intermat“ sind für eine Kuppelgeschwindigkeit von 1,5 km/h ausgelegt worden. [4]

Witterungsresistenz

Es wird aufgrund der Erfahrungen aus Russland von einer grundsätzlich sehr guten Witterungsresistenz ausgegangen. Die „AK69“ und auch die „C-AKv“ werden seit Jahren erfolgreich eingesetzt. Informationen über witterungsbedingte Ausfälle sind nicht bekannt.

Sonstiges

Nachteilig wirkt sich das vergleichsweise hohe Gewicht aus. Die ertragbaren Kräfte der Willison-Kupplungen sind zum Teil sehr unterschiedlich. Im Fall der „AK69“/„Intermat“ [4] und „C-AKv“ betragen sie 2000 kN für Druck- und 1000 kN für Zugbelastungen [6]. Die SA3-Kupplung ist in der Grundform für Kräfte bis zu 2500 kN in Zug- und Druckrichtung ausgelegt. [4]

Es gibt viele erfahrene Hersteller und bereits sehr große Stückzahlen (bei Typ „SA3“). Auch ein Mischbetrieb mit der SK ist möglich und erprobt. Dafür sind jedoch Seitenpuffer und Adapter erforderlich. ¹³

3.2.3 Scharfenberg

Historie

Die Scharfenberg-Kupplung (SchaKu) wurde zwischen 1904 und 1907 entwickelt. 1925 wurde sie erstmals bei der S-Bahn Berlin und der Hamburger Hochbahn verwendet und ist seitdem weltweit im Einsatz. 2002 wurde der Typ 10 Standard für den Hochgeschwindigkeitsverkehr in Europa und genormt nach der EN 16019. [2]

In der Vergangenheit (unter anderem bereits im Jahr 1927) wurde bereits eine SchaKu eigens für den SGV entwickelt. Diese Kupplung setzte sich aber nie durch.

¹¹ Für die „C-AKv“ und „modulare SA3“ werden ähnliche Werte angenommen.

¹² Diese Kupplung dient als Beispiel der Streuung des Greifbereichs. Die Kupplung ist vergleichsweise neu und wurde in den 1990er Jahren für den europäischen SGV entwickelt.

¹³ Weitere Informationen vgl. Kapitel 2.1.4.1.

Abbildung 17: SchaKu von Voith in Limmattal 2019 (links), DAK Typ 4 Prototyp auf der „transport logistic“ Messe in 2019 (oben rechts), Hybridkupplungen hochgeklappt (unten links) und kuppelbereit (unten rechts)

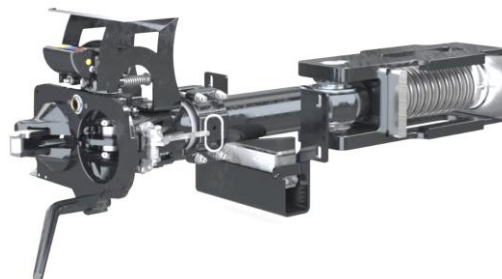


Quelle: TU Berlin

Im Rahmen des Forschungsprojektes „Innovativer Güterwagen“ des BMVI wurde eine SchaKu der Firma Voith im Feldversuch über 150.000 km eingesetzt.¹⁴ Eine erhöhte Entwicklungsaktivität gibt es seit ungefähr 2014, als die SBB Cargo mit ihrem umfassenden Innovationsprogramm begonnen hat. Seit 2017 wird in diesem Zusammenhang eine neue SchaKu vom Typ 10 für den SGV von Voith im „5L“-Demonstratorzug erprobt. Zuletzt wurde auf der Fachmesse „transport logistic“ 2019 eine SchaKu vom DAK Typ 4 unter dem Produktnamen „CargoFlex Typ Scharfenberg“ vorgestellt.

2019 begann zudem der erste kommerzielle Einsatz dieser SchaKu im Schweizer Binnen-KV mit ca. 100 Containertragwagen. Im Rahmen dessen werden auch Hybridkupplungen für 25 Lokomotiven eingesetzt. In Abbildung 17 sind die aktuellen Entwicklungen der SchaKu im Schweizer Binnen-KV und der DAK Typ 4 Prototyp seitens Voith dargestellt. Neben der Firma Voith entwickelt auch der Kupplungshersteller Dellner seit dem dritten Quartal 2019 aktiv eine SchaKu für den SGV. Die Kupplung basiert ebenfalls auf dem Typ 10 Profil. In Abbildung 18 ist ein Entwurf der Kupplung dargestellt. Zum Zeitpunkt der Erstellung der Studie waren nur wenige Details über die Kupplung bekannt. Die folgenden Informationen über die SchaKu basieren daher primär auf der SchaKu von Voith.

Abbildung 18: Entwurf der SGV-SchaKu von Dellner



Quelle: Dellner

¹⁴ Für weitere Informationen vgl. Kapitel 5.2.4.

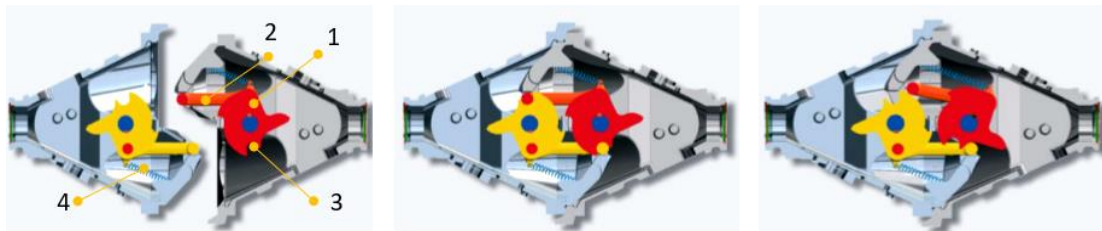
Funktionsprinzip

Charakteristisch für alle SchaKu sind der Kegel und der Trichter im Kupplungsprofil, die sich nebeneinander auf gleicher Höhe befinden. Beim Kuppeln wird der Kegel in den Trichter der anderen Kupplung geführt und zentriert. In jedem Kuppelkopf befindet sich ein drehbares Herzstück (1) (vgl. Abbildung 19). An diesem ist auf der einen Seite die sog. Kuppelöse (2) und auf der anderen Seite das Hakenmaul (3). Das Herzstück wird durch eine Feder (4) in seiner Position gehalten.

Sobald die Kuppelösen beim Kuppeln gegen die Herzstücke der gegenüberliegenden Kupplung drücken, drehen sich die eigenen Herzstücke, bis sich die Kuppelösen in den Hakenmäulern befinden. Danach federn die Herzstücke zurück in die Grundstellung. Der Kupplungsvorgang ist nun abgeschlossen und die Kupplungen sind fest miteinander verbunden. Die Kuppelösen befinden sich in der Parallelogramm-Stellung. Diese garantiert, dass über jede Öse nur die halbe Zugkraft übertragen wird, und die Kupplung sich nicht von selbst löst.

Beim Lösen wird ein Herzstück gegen die Federkraft gedreht, bis die Öse der entsprechenden Kupplung aus dem Hakenmaul gleitet. Dadurch, dass die andere Kupplung der Bewegung zwangsläufig folgt, sind beide Kupplungsköpfe durch die Betätigung des Lösemechanismus an einer Kupplung entriegelt. Der Ablauf ist in Abbildung 19 vereinfacht dargestellt. [12]

Abbildung 19: Funktionsweise der SchaKu



Quelle: [3]

Wartungsaufwand

Die Übertragung der Druckkräfte erfolgt über die massiv ausgeführte Stirnfläche der Kupplung. Zugkräfte werden dagegen über vergleichsweise kleine Flächen übertragen. Es wird daher vorrangig mit Verschleiß an der Verriegelung gerechnet. Im Wartungsfall muss in das Innere der Kupplung eingegriffen werden.

Die Firma Voith hat die Wartung der Kupplung an die bestehenden Wartungsintervalle im SGV angepasst. Größere Inspektionen an der Kupplung, insbesondere zur Überprüfung des Verriegelungsmechanismus, sind daher alle sechs bis acht Jahre vorgesehen. Dies gilt allerdings bei einer sehr intensiven Nutzung mit fünf Kupplungsvorgängen pro Tag. Die Schmierung der Kupplung (der Verriegelung) muss ungefähr alle drei Jahre zusammen mit den äußeren Dichtringen erneuert werden.

Handhabung

Bezüglich der betrieblichen Stellungen sind die Pufferstellung¹⁵, die entriegelte, die kuppelbereite und die verriegelte Stellung möglich. Die Pufferstellung muss immer paarig eingestellt werden.¹⁵

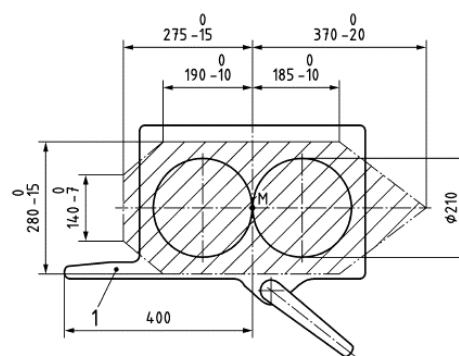
Zum Trennen zweier Kupplungen vom Typ Scharfenberg genügt es, wenn eine Kupplung entriegelt wird. Als Betätigungseinrichtungen wird bei der „CargoFlex“ derzeit auf Bowdenzüge

zurückgegriffen. Ein Zurücknehmen einer Entriegelung im Falle einer Fehlbedienung ist nur direkt am Kuppelkopf möglich. Dafür muss zwischen die Wagen getreten und beide Kupplungen manuell verriegelt werden.¹⁵ Es ist folglich nur im Ausnahmefall möglich.

Ein Entkuppeln unter Zugkraft ist bei Kupplungen vom Typ Scharfenberg aufgrund des Funktionsprinzips nicht möglich.¹⁶

Die Greifbereiche beider Hersteller Voith und Dellner sind identisch. Er beträgt vertikal ± 140 mm und horizontal zwischen $+ 275$ und $- 370$ mm. [13] [14] Der Greifbereich spannt kein Rechteck auf, wie in Abbildung 20 anhand der schraffierten Fläche zu erkennen ist. Es ist folglich nicht der gesamte Bereich abgedeckt. Wie am Verschleiß von Puffertellern sichtbar wird, überlagern sich in der Praxis die vertikalen und lateralen Extreme fast nie.

Abbildung 20: Greifbereich der SchaKu Typ 10 gemäß EN 16019:2014



Quelle: EN 16019:2014

Die minimale Kuppelgeschwindigkeit beider Kupplungen ist nahezu identisch. Diese beträgt im Fall der Dellner Kupplung 0,5 km/h und für die „CargoFlex“ 0,6 km/h. Voith empfiehlt für leichte Fahrzeuge eine Geschwindigkeit von ca. 1,0 bis 1,2 km/h. Dies wird auch für die Kupplung von Dellner angenommen.

Witterungsresistenz

Ein oftmals geäußerter Vorbehalt gegenüber dem Einsatz einer SchaKu im SGV ist¹⁷, dass dieser Kupplungstyp aufgrund der Öffnungen am Kupplungskopf für den Verriegelungsmechanismus empfindlich gegenüber Vereisungen und Verschmutzungen ist. In einem Klimakammertest wurde die Witterungsresistenz der „CargoFlex“ (vgl. Abbildung 21) dementsgegen erfolgreich bewiesen. Ein zusätzlicher Beleg für die Schmutz- als auch Witterungsresistenz der SchaKu sind die Kohlenverkehre mit SchaKu-Güterwagen in den 1940er Jahren [15].

Die Öffnung der HLL ist bei der „CargoFlex“ offen gestaltet. Die Ausführung am Tfz verfügt allerdings über eine schützende Membran. Eine Unterscheidung ist an dieser Stelle sinnvoll, da am Tfz immer eine Kupplung frei ist, und diese zudem direkt dem Fahrtwind von vorne ausgesetzt ist. Die Wagenkupplungen sind in der Regel gekuppelt und die letzte, offene, zeigt entgegen der Fahrtrichtung. Hinsichtlich der Abdichtung ist die Situation vergleichbar mit der

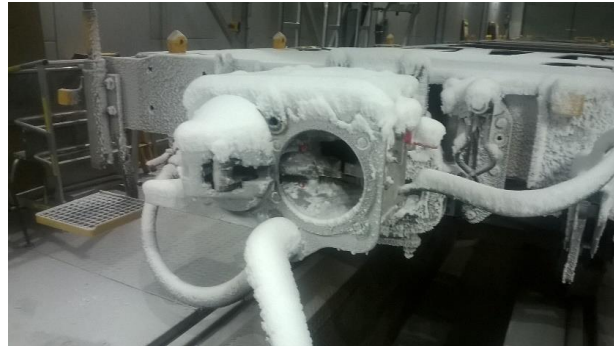
¹⁵ Angaben des Kupplungsherstellers Voith für die Kupplung „CargoFlex Typ Scharfenberg“

¹⁶ Zum Entriegeln der Kupplung muss das Herzstück gedreht werden. Dafür muss einer evtl. vorhandenen Zugkraft mit ungefähr gleicher Kraft entgegengewirkt werden.

¹⁷ Diese Information basiert auf zahlreichen Gesprächen mit Vertretern des Sektors.

heutigen Luftkupplung der HLL. Durch regelmäßiges Freiblasen wird diese auch heute von Schmutz befreit.

Abbildung 21: Klimakammertest der CargoFlex in Olten



Quelle: Voith

Automatisierung

Der Verriegelungsmechanismus erlaubt eine spielarme (gemäß EN 16019:2014 max. 0,8 mm) mechanische Verbindung der Kupplungen und ist dadurch sehr gut automatisierbar im Sinne der automatischen Verbindung von weiteren Medien, wie Druckluft-, Strom- und Datenleitungen. Die SchaKu ist bereits zu 100 % automatisiert und im SPV erprobt.

Sonstiges

Vorteilhaft ist, dass die SchaKu erprobt ist und es sehr viele Hersteller gibt, sodass eine vergleichsweise große Erfahrung vorhanden ist. Die weitverbreitete Anwendung im europäischen Personenverkehr erhöht die Verfügbarkeit von Abschleppfahrzeugen im Falle einer Havarie. Die Kupplung weist zudem im Vergleich zu den klassischen SGV-Kupplungen ein geringes Gewicht auf.

Die ertragbaren Kräfte betragen 2000 kN für Druck- und 1000 kN für Zugbelastungen. Die selbsttätige Wirkung der Bremse bei ungewollten Zugtrennungen durch ein Versagen der Verriegelung ist gewährleistet gemäß EN 16019:2014.

3.2.4 Schwab

In diesem Abschnitt wird analog zu den bereits vorgestellten Kupplungen nur der Kupplungskopf der Schwab Kupplung betrachtet. Der Schwab-Federapparat und die Aufhängung werden in Kapitel 3.3.2. separat vorgestellt.

Abbildung 22: Schwab-Kupplungen: SGV Ausführung im „5L“-Demonstrator aus 2018 in Muttenz im gekuppelten (links) und entkuppelten Zustand (Mitte), sowie in der Vollbahnausführung (rechts)



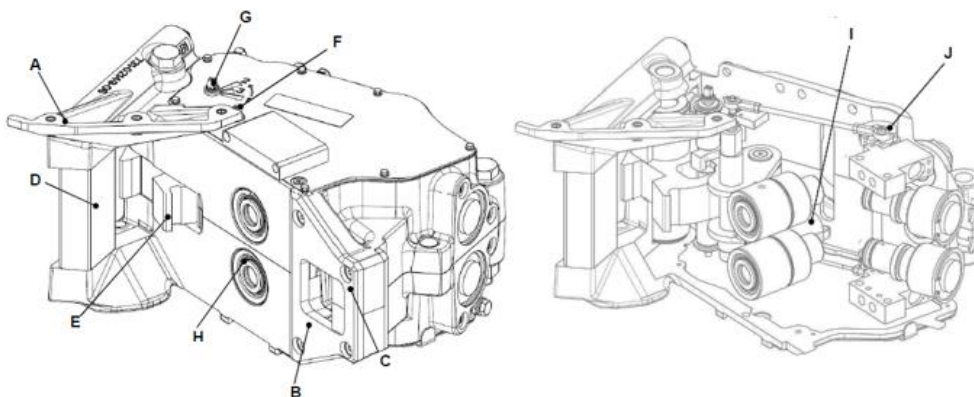
Quelle: TU Berlin

Historie

Im Jahr 2000 wurde der vollautomatische Kupplungstyp „Schwab FK“ entwickelt. Eingesetzt wird dieser im Personenverkehr, im Regionalbahnbereich, vor allem in der Schweiz. Aufgrund der Zusammenarbeit mit der SBB Cargo gibt es analog zur SchaKu intensive Entwicklungstätigkeiten für eine SGV taugliche Schwab-Kupplung. Es gibt aktuell mit Wabtec nur einen Hersteller, der die Schwab-Kupplung fertigt. Hintergrund ist ein Patentschutz, welcher gemäß dem Hersteller 2019 ausgelaufen ist. Im Rahmen des BMVI-Projekts „Innovativer Güterwagen“ wurde die Schwab-Kupplung in einem Feldversuch über 150.000 km eingesetzt.¹⁸ Auch im „5L“-Demonstrator der SBB Cargo wird die Schwab-Kupplung seit 2017 im SGV erprobt. Auf der Fachmesse transport logistic 2019 wurde eine DAK Typ 4 vorgestellt. Ab 2020 soll eine Hybridkupplung für Lokomotiven entwickelt werden. In Abbildung 22 ist die Schwab Kupplung in der SGV- (links und Mitte) und in der Vollbahnausführung für SPV dargestellt (rechts).

In Abbildung 23 ist der Kupplungskopf der Schwab-Kupplung sowohl in der Außenansicht als auch in der Innenansicht detailliert darstellt. Die dargestellte Ausführung stellt eine DAK Typ 5 in der SPV-Ausführung dar. Diese besitzt einen zusätzlichen Entriegelungsmotor (Bezeichnung „I“ in Abbildung 23), der das automatische Entkuppeln ermöglicht.

Abbildung 23: Kupplungskopf der Schwab–Kupplung



Quelle: Wabtec

Funktionsprinzip

Die Höhenzentrierung wird durch die Leitschaukel¹⁹ (A) und durch die Stoßfläche (B) durchgeführt. Die horizontale Zentrierung beim Kuppeln erfolgt über die schrägen Stirnflächen der Kupplungsköpfe. Dabei gleiten die Kupplungsköpfe aneinander vorbei, sodass die Flansche (C) jeweils in die „Öffnung“ zwischen der Backe (D) und dem Riegel (E) der gegenüberliegenden Kupplung gelangen. Beim Kuppeln drücken die Flansche gegen die Anschläge der Riegel. Die Riegel werden dadurch gedreht und rasten in der Aussparung der Stoßflächen ein. Die Kupplungen sind nun über die Riegel beider Kupplungen doppelt verriegelt.

Der Verriegelungsmechanismus ist bis auf den Riegel vollständig innerhalb des Kupplungskopfes untergebracht. Im Inneren des Kopfes sichert der Rollenhebel (F) den Riegel

¹⁸ Mehr Informationen zu den Forschungsprojekten und Feldtest vgl. Kapitel 5.2.

¹⁹ Die Leitschaukel der SGV-Ausführung ist deutlich größer, um den vertikalen Greifbereich zu erweitern (vgl. Abbildung 23 und Abbildung 24).

sowohl im gekuppelten als auch im entkuppelten Zustand. Der daneben befindliche Nockenhebel (G) sichert wiederum den Rollenhebel und steuert ebenfalls die Luftkupplung (H) bzw. das Ventil. Das Ventil ist über das/die Bestätigungsgetriebe/-scheibe (J) mit dem Nockenhebel verbunden. Zum Entkuppeln drückt der Nockenhebel den Rollenhebel auf. Der Nockenhebel kann über einen Entriegelungsmotor (I) angetrieben oder manuell bedient werden.

Die Kraftübertragung der Schwab DAK erfolgt ausschließlich über starre, nicht bewegliche Bauteile. Die Übertragung der Druckkräfte erfolgt über die Stoßflächen. Die Zugkräfte werden über die Innenflächen der „Backe“ (1) sowie das Gegenstück auf der Rückseite des Flansches (2) übertragen (vgl. Abbildung 24, rechts).

Abbildung 24: DAK Typ 4 Schwab-Kupplung (links), Schwab-Kopf mit rot markierten Verschleißplatten (rechts)



Quelle: Wabtec

Wartungsaufwand

Die Kupplungen zentrieren sich beim Kuppelvorgang durch Gleiten entlang der Stirnflächen. Um unnötigen Verschleiß zu vermeiden, und den Kuppelvorgang möglichst widerstandsfrei zu realisieren, muss der Kupplungskopf der Schwab-Kupplung ca. alle sechs Monate nachgeschmiert werden. Die Kraftübertragung über mehrere Flächen und starre Bauteile wirkt sich positiv auf den Verschleiß und die Instandhaltung aus. Dies betrifft sowohl die Häufigkeit der Wartungen als auch den Einzelaufwand. Für die Ertüchtigung der Kupplung muss nicht in das Innere der Kupplung eingegriffen werden. Es genügt, die außenliegenden Verschleißplatten und die Dichtringe zu tauschen. Dies kann mit wenigen Handgriffen realisiert werden (vgl. Abbildung 24, rechts).

Handhabung

Das Entkuppeln kann nur durch die Entriegelung beider Kupplungsköpfe erfolgen. Zum einen stellt dies einen zusätzlichen Schutz vor Zugtrennungen dar, denn ein Kupplungsverschluss allein ist in der Lage, die Verriegelung eines Kupplungspaares aufrecht zu erhalten. Andererseits erhöht dies den Aufwand des Rangierpersonals beim Entkuppeln. Ob dies zu Einschränkungen im Rangierbetrieb führt, sollte detailliert untersucht werden.

Im Fall einer Fehlbedienung kann die Entriegelung einer Kupplung ohne weiteren Aufwand wieder verschlossen werden. Dies muss in der aktuellen Ausführung direkt am Kupplungskopf getan werden. Eine Verlegung zur Stirnseite ist grundsätzlich möglich. Ein Entkuppeln ist bis zu einer Zugkraft von 300 kN möglich.

Der Greifbereich der Kupplung beträgt in der aktuellen Ausführung ± 290 mm in horizontaler und ± 120 mm in vertikaler Richtung. Der vertikale Greifbereich erfüllt die Greifbereichsanforderungen gemäß UIC 522. Nach oben und unten ist dieser jeweils 20 mm kleiner als der

der „AK69“/„Intermat“ sowie der SchaKu, die sich am vertikalen Greifbereich gemäß UIC 530-1 orientieren. Der horizontale Greifbereich ist dagegen in beiden Richtungen um 70 mm größer als bei der „AK69“/„Intermat“.²⁰ Der Greifbereich der Schwab-Kupplung ist rechteckig, sodass die gesamte aufgespannte Fläche als Greifbereich zur Verfügung steht.

Automatisierbarkeit

Bei der Schwab-Kupplung handelt es sich, ebenso wie bei der SchaKu, um eine bereits vollständig automatisierte und im SPV erprobte Kupplung. Wie eingangs in diesem Abschnitt genannt, ist bereits eine Schwab DAK Typ 4 auf der Messe transport logistic 2019 vorgestellt worden. Der vorgestellte DAK Typ 4 ist zudem bereits für den DAK Typ 5 vorbereitet. In der Abbildung 25 ist diese DAK Typ 4 Kupplung zu sehen. Im Bild ist eine blaue Box mit einem Schalter (links am Wagenkasten) zu erkennen, welcher die Kupplung entriegeln kann. Dadurch, dass dieser Schalter ferngesteuert werden kann, wird die Kupplung auch als „Typ 5 - Ready“ bezeichnet.

Abbildung 25: Prototyp DAK Typ 4, „Typ 5 – Ready“ ausgestellt auf der Messe transport logistic 2019 in München



Quelle: TU Berlin

Witterungsresistenz

Die Schwab-Kupplung besitzt einen innenliegenden Verriegelungsmechanismus. Dies wirkt sich positiv auf die Witterungsresistenz aus. Beim Kuppelvorgang gleiten die Kupplungskörper zudem aneinander vorbei, sodass Schmutz und Eis am Kupplungskopf abgeschabt werden. Dadurch, dass sich das Ventil zur Abdichtung der HLL im Inneren des Kupplungskörpers befindet, ist dieses vor Rangierstößen und dynamischen Belastungen geschützt. Dies birgt die theoretische Gefahr, dass sich Schmutz und Eis dort ablagern. Die Situation ist vergleichbar mit der heutigen Luftkupplung.²¹ In der Praxis ist dies gemäß Herstellerangaben im Bereich des SPV noch nicht aufgetreten und auch im Winter-/Klimakammertest der SBB Cargo (vgl. Abbildung 26) hat die Kupplung vollständig funktioniert.

²⁰ Mehr Information zur Gültigkeit des Greifbereiches vgl. Kapitel 4.3.4.

²¹ Für mehr Informationen vgl. Kapitel 3.2.3. zur SchaKu. Bei dieser tritt die gleiche Problematik auf.

Abbildung 26: Schwab-Kopf in der Klimakammer in Olten



Quelle: Wabtec

Sonstiges

Mit den ertragbaren Kräften von 1500 kN in Zug- und 2000 kN in Druckrichtung ist die Schwab-Kupplung eine der stärksten Kupplungen, die bisher für den europäischen Einsatz konzipiert worden sind. Dies ist vor allem für Schwerlastverkehre von Relevanz.

Analog zur SchaKu wird auch die Schwab-Kupplung an die Anforderungen des SGVs angepasst und unterliegt derweil stetigen Modifikationen. Aktuelle Entwicklungen sehen eine Implementierung der indirekten Wirkung der HLL²² sowie der Pufferstellung vor. Letzteres geschieht insbesondere auf Wunsch der SBB Cargo.²³

3.2.5 Zusammenfassung

Um die Kupplungssysteme vergleichen und die Eignung für eine europäische DAK zu evaluieren zu können, müssen Kriterien definiert werden. Die Automatisierbarkeit der mechanischen, der pneumatischen sowie der Strom-/Datenverbindungen stellen die wichtigsten Kriterien für die Auswahl des Kupplungskopfes dar, da dies die Hauptmotivationen für die Einführung einer DAK sind. Dadurch eignen sich die etablierten, starren SGV-Kupplungen, Janney und „SA3“, nicht als europäische DAK.

Bzgl. der Einsetzbarkeit (Betriebsstellungen, Greifbereich etc.) muss die DAK ein großes, kritisch abgewogenes Spektrum von Betriebssituationen und damit verbundenen Funktionalitäten abdecken. Es gilt immer, die richtige Balance zwischen tatsächlicher Notwendigkeit und gewünschten, aber nicht zwingend notwendigen Funktionen zu finden, um Kosten und Gewicht gering zu halten.

In Tabelle 1 sind die Eigenschaften der AK gegenübergestellt. Erkennbar ist, dass die Kupplungen Unterschiede im Funktionsumfang (z.B. Entkuppeln unter Zugkraft) und in den Kenngrößen (z.B. Belastbarkeit) besitzen. Seitens der Schwab-Kupplung und der SchaKu sei an dieser Stelle nochmals angemerkt, dass diese kontinuierlich weiterentwickelt werden. Bzgl. der Willison-Kupplungen sei noch erwähnt, dass die Firma CAF derzeit eine DAK basierend auf diesem Typ entwickelt. Dieser wurde im Rahmen der Studie aufgrund der fehlenden Verfügbarkeit von Informationen nicht berücksichtigt. Die tatsächliche Eignung als europäische DAK kann nur durch umfangreiche Tests nachgewiesen werden.

²² Die Schwab Kupplung wurde ursprünglich für den SPV entwickelt und im SPV ist die indirekte Wirkung der Bremse unabhängig von der HLL gelöst, da die EP-Bremse eingesetzt wird.

²³ Die Notwendigkeit der Pufferstellung wird im Abschnitt 4.3.2. erörtert.

Tabelle 1: Vergleich der Funktionalitäten automatischer Kupplungen des SGV

	Janney		Willison			SchaKu ²⁴	Schwab
	E, E/F	H	SA3	AK69e/ Intermat	C-AKv		
Erfahrung SGV	Ja	Nein	Ja	Ja	Ja	z.T.	Pilot
Belastbarkeit (Zug/Druck) [kN]	1750/2900		2500/2500	1000/2000		1000/2000	1500/2000
Greifbereich [mm]	V ± 30 H ± 60		V ± 140 H ± 160	V ± 140 H ± 220	V ± 120 H ± 190	V ± 140 H +370/-275	V ± 120 H ± 290
Vorauslenkung	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	Ja	
Entkuppeln unter Zugkraft [kN]	Nein		≤ 7,5	≤ 40	≤ 20	Nein	≤ 300
Pufferstellung	Ja		Ja			Möglich	
Wieder- verriegelung	Ja		Ja			Möglich, mit Einschränk- ungen	Ja
Zuverlässigkeit	Gut, Verschleiß- anfällig		Gut			Gut	Gut
Selbsttätigkeit der Bremse	Ja		Ja			Ja	
Kuppel- geschwindigkeit	-		-	ähnlich SchaKu, Schwab		~0,5-8 km/h	0,5-8 km/h
Ver- schleiß	Fahrt	Groß	Hoch, aber Verschleiß- tolerant	-		Unbedeutend	
	Kup- peln		Unbedeutend			Gering	Unbe- deutend
Wartungsaufwand	Mittel		Unbe- deutend	Gering	Gering	Gering	Sehr gering
Pneum. Verbindung	Nein	Ja	Nein	Ja		Ja	
Strom/Daten							

²⁴ Die Kupplungen der Firmen Voith und Dellner werden aufgrund der Ähnlichkeit zusammengefasst.

Kuppeleinsatzzeitpunkt S+D²⁵	-	Simultan	-	Simultan	Simultan, aber abgefedert	Verzögert
Schmutz-/Winterresistenz	Sehr gut	-	Sehr gut	Gut - sehr gut	Gut	Sehr gut
Gewicht	Sehr gering	Gering	Hoch	Sehr hoch	Gering	Gering

Quelle: TU Berlin

3.3 Einbaubedingungen und Abstützung

In diesem Abschnitt wird zunächst auf den Vorbereitungsgrad der Güterwagen für den Einbau der AK eingegangen. Im Anschluss werden mögliche Varianten der Kupplungsabstützung und deren Eigenschaften präsentiert.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass der Schaft, die Abstützung (inklusive der Federung) und die notwendigen Bauteile zur Montage der Kupplung an den Wagenkasten für:

- circa 2/3 des Kupplungsgewichtes,
- die Vorauslenkbarkeit der Kupplung,
- die Dynamik des Zuges bezüglich der Entgleisungssicherheit und
- das Crash-Konzept der Fahrzeuge, insbesondere der Tfz,

verantwortlich sind.

3.3.1 UIC-Einbauraum für die AK

Der Großteil der europäischen Güterwagen ist heutzutage auf den Einbau automatischer Kupplungen vorbereitet. Die Basis für die Umrüstbarkeit legten die internationalen Eisenbahnverbände UIC und OSShD fest, mit dem Inkrafttreten des UIC Merkblattes (MB) 530-1 zum 01.01.1974. Das MB war zum damaligen Zeitpunkt verbindlich für alle europäischen Mitglieder der UIC/OSShD.²⁶ Darin sind die Anforderungen an Neubaugüterwagen, die für die Aufnahme automatischer Kupplungen vorgesehen sind, festgehalten. Die Inhalte des MB werden nachfolgend kurz vorgestellt, da diese erklären, in welchem Detailgrad die heutigen Güterwagen für die AK vorbereitet sind. Des Weiteren können die genannten Anforderungen für die (Nachweis-)Prüfung der AK-Eignung von Bestandsgüterwagen herangezogen werden.

Im UIC MB 530-1 wird folgendes geregelt:

1. Bedingungen für die Gewährleistung der Kuppelbarkeit (vgl. Kapitel 4.3.4).
2. Festigkeits- und Gestaltungsbedingungen für die Untergestelle (Einbauraum).
3. Bedingungen für die Laufsicherheit.
4. Konstruktive Einbaubedingungen für die Kupplung und Zubehör.

²⁵ Gemeint ist hier der Zeitpunkt der Verbindung der Strom- und Datenleitung. Dies kann simultan mit der mechanischen Kupplung oder verzögert geschehen.

²⁶ Die UIC Merkblätter haben mit der Einführung der TSI ihre Bedeutung verloren. Für mehr Informationen vgl. Kapitel 4.5.

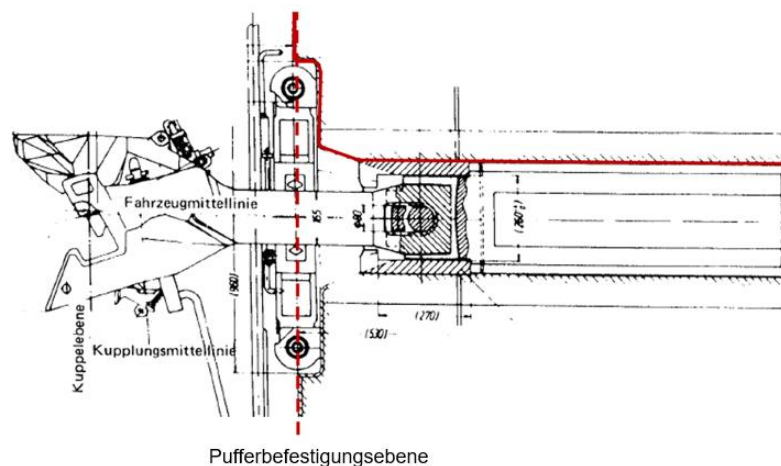
3.3.1.1 Festigkeits- und Gestaltungsbedingungen für die Untergestelle

In dem UIC MB 530-1 werden die Anforderungen an die Festigkeit von Güterwagen mit AK genannt. Demnach muss das Untergestell und der Einbauraum für statische Druckkräfte von 2000 kN und Zugkräfte von 1500 kN ausgelegt sein, um AK-tauglich zu sein. Die Festigkeitsanforderungen sind jedoch keine Pflicht im Zuge des Neubaus. Erst mit dem Einbau der Kupplung müssen die Anforderungen umgesetzt werden.

Mit der Einführung der Prüfvorschriften „ERRI B12 RP17“ in den 1980er Jahren und der EN 12663 in den 2000er Jahren wurden die Festigkeitsanforderungen für die AK ab Werk für die Zulassung gefordert.

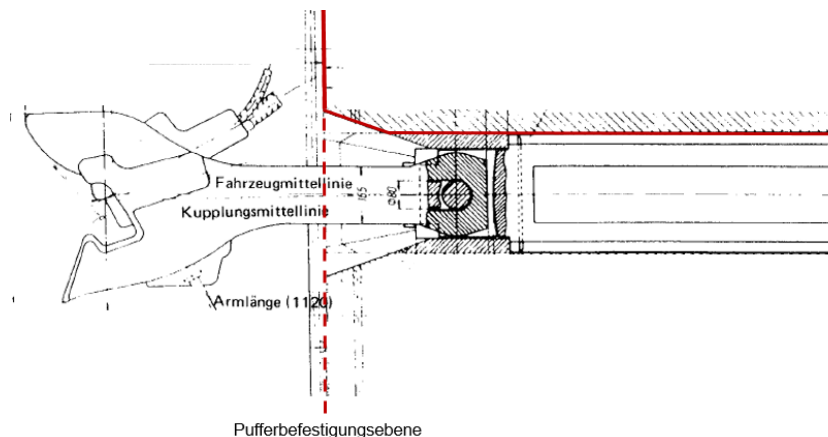
Des Weiteren wird in dem MB die Freihaltung des Einbauraumes für die AK und Abstützung für alle Neubaugüterwagen ab Werk verpflichtend gefordert. Es gibt zwei Ausführungen des Einbauraums in Abhängigkeit der Abstützung. Der Einbauraum der westeuropäischen Güterwagen ist für die Querbalkenabstützung und der Einbauraum für die osteuropäischen Güterwagen für die Federbeinabstützung optimiert worden. Der Einbauraum unterscheidet sich in der Pufferbefestigungsebene. Die UIC-konforme Querbalkenabstützung benötigt in diesem Bereich eine erweiterte Aussparung (Vergleich siehe Abbildung 27 und Abbildung 28). Weitere Unterschiede sind nicht bekannt.

Abbildung 27: UIC-Einbauraum für die „AK69“ mit Querbalkenabstützung



Quelle: [16]

Abbildung 28: UIC-Einbauraum für die „Intermat“ mit Federbeinabstützung



Quelle: [16]

Folglich ist der Einbauraum bei einem überwiegenden Anteil der Güterwagen vorhanden (vgl. Hauptbericht [Hagenlocher et. al. 2020]). Allerdings wurde durch die Einführung der TSI WAG im Jahr 2006 die Pflicht zur Ausrüstung von Güterwagen mit SK aufgenommen, wodurch seitdem das UIC-MB 530-1 nicht mehr angewandt werden muss. Dies führt dazu, dass insbesondere bei Güterwagen jüngeren Baujahrs (nach 2006) durchaus auch auf den Einbauraum für eine Mittelpufferkupplung verzichtet wurde.

Ein vorhandener Einbauraum ist allerdings vor allem für Fahrzeuge aus den 1980er Jahren oder älter kein eindeutiges Indiz für einen „einfachen“ Austausch der SK mit der AK. Entscheidend ist, ob das Fahrzeug bereits für den Einbau der AK ausgelegt wurde, oder ob eine zusätzliche Anpassung erforderlich ist. Es sind Festigkeitsnachweise für die Untergestelle der Fahrzeuge im Bereich des UIC-Einbauraumes erforderlich.

3.3.1.2 Bedingungen für die Laufsicherheit

Es wird in den MB 530-1 und 530-2 gefordert, dass alle AK-tauglichen Neubaugüterwagen Längsdruckkräfte (LDK) von mindestens 500 kN ertragen müssen, ohne zu entgleisen. Empfohlen wird darüber hinaus ein Wert von über 600 kN.

Es ist nicht bekannt, ob der höhere Wert umgesetzt wurde, und ob diese Anforderungen nach der Einführung der TSI WAG in 2006 weiterhin umgesetzt worden sind. Daher ist es evtl. notwendig, die ertragbare LDK separat nachzuweisen. Zur Ermittlung der maximal ertragbaren LDK wird im UIC MB 530-2 auf die ERRI-Berichte B125/RP5 und RP6 sowie auf die UIC-Website verwiesen. In den Berichten ist ein Berechnungsverfahren enthalten, und auch auf der Website der UIC²⁷ sind Diagramme zur Ermittlung der ertragbaren LDK veröffentlicht. Ob tatsächlich die aufwändigen Prüfversuche vermieden werden können, muss geprüft werden, da die Berechnungen auf der „AK69“/„Intermat“ basieren.

Hintergrund

Für die sog. Laufsicherheit von Güterwagen mit und ohne AK ist die sog. „ertragbare LDK“ ein wichtiges Maß, um das Entgleisungsrisiko, z.B. in S-Bögen, zu reduzieren. Mehrere konstruktive Merkmale des Güterwagens, wie z.B. die Verwindungssteifigkeit des Wagenkastens und der Radsatzabstand, beeinflussen die maximal ertragbaren LDK.

3.3.1.3 Konstruktive Einbaubedingungen für die Kupplung und Zubehör

Bzgl. der konstruktiven Einbaubedingungen für die Kupplung und deren Zubehör werden u.a. die Anforderungen an die Zug- und Druckanschläge sowie auch an die Abstützung genannt. Analog zu den Festigkeitsanforderungen sind diese auch nicht verpflichtend ab Werk umzusetzen, sondern erst mit der Umrüstung auf die AK. Bzgl. der Druckanschläge ist gemäß Aussagen der SBB Cargo und von Kupplungsherstellern bekannt, dass auf diese z.T. verzichtet wurde. Diese müssen zwingend nachgerüstet werden. Die Zuganschläge sind vorhanden, da die heutige SK diese bereits nutzt.

3.3.2 Abstützung

Die Abstützung muss derart konzipiert sein, dass sich die Kupplung leicht anheben, aber nur schwer absenken lässt, um den vertikalen Versatz der Kupplungslängsachsen auszugleichen. Dazu werden bei den UIC-Kupplungsabstützungen zwei unterschiedlich steife Federn (eine weichere, um das Anheben zu erleichtern und eine härtere, um ein Absenken der Kupplung

²⁷ vgl. <http://www.uic.org>.

zu verhindern) verbaut. Die Abstützung darf zudem die horizontale Beweglichkeit und die Zentrierung der Kupplung nicht einschränken. [4]

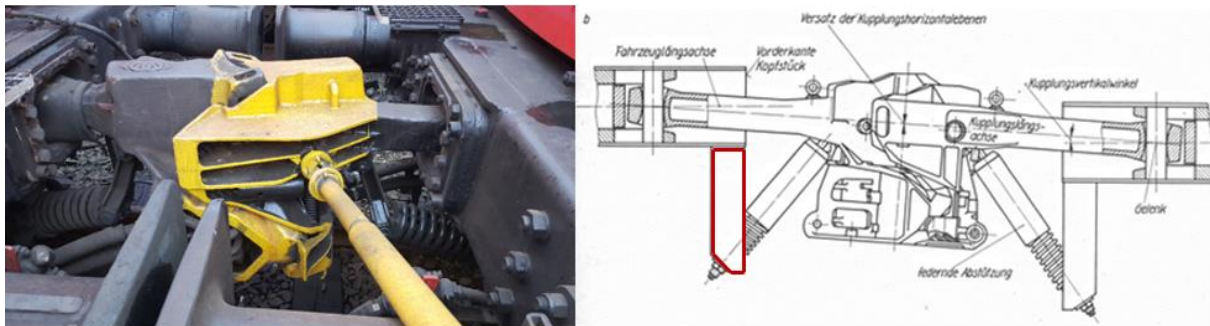
Für die Abstützung existieren drei wesentliche Ausführungsformen. Dies sind die:

1. Querbalkenabstützung bekannt als UIC/OSShD Variante 1, UIC MB 530-1,
2. Federbeinabstützung, bekannt als UIC/OSShD Variante 2, UIC MB 530-1 und
3. Horizontalabstützung, ein neuer Ansatz der Firma Wabtec.

Die Querbalkenabstützung sowie die Federbeinabstützung wurden anlässlich der Einführung der AK in den 1970/80er Jahren für die „AK69“ und die „Intermat“ entwickelt und im UIC MB 530-1 standardisiert.

Daneben existiert noch eine dritte Variante mit Horizontalabstützung. Die Horizontalabstützung wurde von Wabtec im Zuge der Weiterentwicklung der Schwab-Kupplung für den SGV entwickelt.

Abbildung 29: Federbeinabstützung an einem Tfz mit „AK69“ (links) und skizziert am Beispiel der Intermat-Kupplung (rechts)



Quelle: links TU Berlin, rechts [4]

Federbeinabstützung

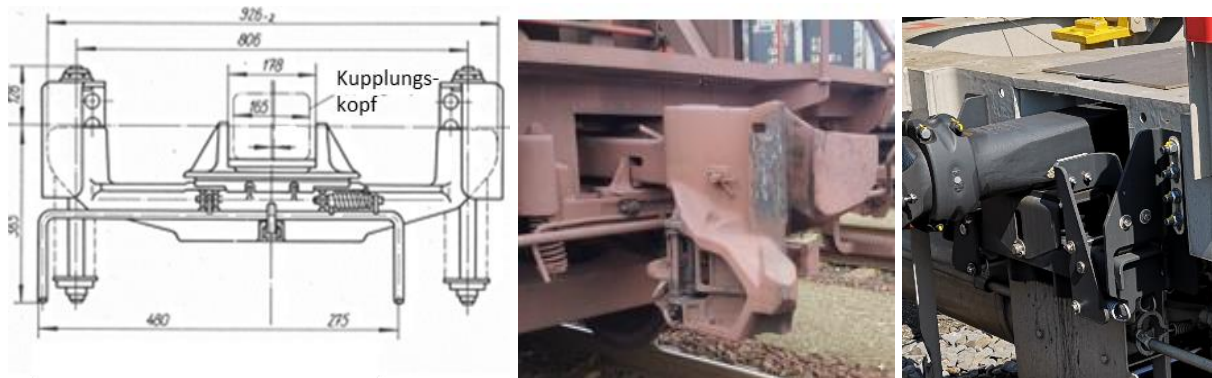
Die Federbeinabstützung wird/wurde vornehmlich angewandt bei der „Intermat“ in Osteuropa. In Deutschland wird eine angepasste Variante der Federbeinabstützung bei den Tfz im Erzverkehr von und nach Hamburg in Kombination mit der „AK69“ angewandt (vgl. Abbildung 29, links).

Die Federbeinabstützung (vgl. Abbildung 29, rechts) erreicht durch zwei auf Kugeln fixierten Kippunkten eine horizontale Mittenzentrierung der Kupplung. Im Innenraum der Feder befindet sich eine vorgespannte Zugvorrichtung, die dafür sorgt, dass die horizontal aus der Mittellage ausgelenkte Kupplung wieder in die Mittellage zurückkehrt.

Die maximale Mittenabweichung beträgt zwei Millimeter. Bei langen Wagen kann die am Kopfstück des Wagens montierte Abstützung mittels einer Ausklink-Einrichtung gelöst werden und so die Kupplung manuell, um mindestens acht Grad [16], vorausgeschwenkt werden, um auch unter widrigen Bedingungen zu kuppeln. Der Vertikalversatz der beiden Kupplungsköpfe wird durch die schrägstehende Feder ausgeglichen. [4]

Zur Montage der schrägstehenden Feder müssen zwei zusätzliche Bleche an das Kopfstück unterhalb des UIC-Einbauraumes für die AK angebracht werden (siehe rote Markierung in Abbildung 29, rechts). Der für die Federbeinabstützung vorhandene Einbaubereich benötigt keine erweiterte Aussparung in der Pufferbefestigungsebene und hat im Vergleich zur Querbalkenabstützung einen geringeren horizontalen Bauraumbedarf.

Abbildung 30: Schema der Querbalkenabstützung (links), am Beispiel der „AK69“ (Mitte) und im Binnen-KV der Schweiz mit der SchaKu



Quelle: links [4], mitte und rechts TU Berlin

Querbalkenabstützung

Die Querbalkenabstützung wird in der Regel in Kombination mit der „AK69“, der „C-AKv“ und heutzutage auch bei den neuentwickelten SGV-Derivaten der SchaKu eingesetzt. Bei der Querbalkenabstützung wird die Kupplung auf einem Querbalken geführt. In vertikaler Richtung erfolgt die Justierung durch zwei vertikale Federpaare, die den Balken tragen. In horizontaler Richtung sorgt eine horizontal angeordnete Feder, die den Balken verschiebt, für die Mittenzentrierung mit einer Genauigkeit von 20 mm. Die UIC-konforme Querbalkenabstützung wird ebenfalls im Bereich des Kopfstückes, im erweiterten UIC-Einbauraum für die AK, montiert. Sofern die Aussparung im UIC-Einbauraum fehlt, muss Abhilfe geschaffen werden. Ein Beispiel hierfür stellen die Güterwagen des AK69-Erzverkehrs in Deutschland dar, bei dem die Befestigungselemente der Abstützung an die Stirnseite der Wagen geschweißt worden sind (vgl. Abbildung 30, Mitte).

Wie bei der Federbeinabstützung ist bei der UIC-konformen Ausführung eine Ausklink-Vorrichtung vorhanden, mit der die Kupplung manuell, um mindestens acht Grad [16], vorausgeschwenkt werden kann. [4]

Im Binnen-KV der Schweiz wird eine vereinfachte Ausführung der Querbalkenabstützung eingesetzt (vgl. Abbildung 30, rechts). Diese verzichtet auf die Ausklink-Vorrichtung. Die Kupplung kann weiterhin manuell per Hand vorausgelenkt werden und wird alleinig durch die Reibung auf dem Querbalken festgehalten. Die Vorauslenkbarkeit ist in diesem Fall auf plus minus drei Grad reduziert. Die verringerte Vorauslenkbarkeit wird durch den vergleichsweise großen Greifbereich der SchaKu kompensiert.²⁸

²⁸ Aussage gemäß des Herstellers Voith.

Abbildung 31: Horizontale Aufhängung der Schwab DAK ohne (links) und mit UIC Einsatz (Mitte), abgeleitet von einer herkömmlichen, starren, festen Güterwagenkupplung (rechts)



Quelle: Wabtec

Horizontalabstützung

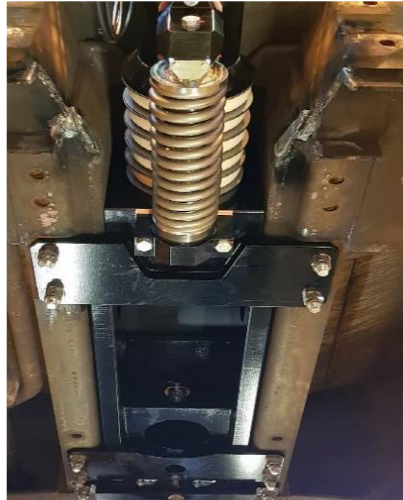
Im Rahmen der Entwicklung der Schwab-DAK hat Wabtec sowohl die Abstützung und die Wagenkastenintegration als auch die Positionierung der Federung als Ganzes neu konzipiert. Diese Ausführung basiert auf einer herkömmlichen, starren Güterwagenkupplung für die betrieblich nicht trennbare Verbindung zweier Wagen und ist somit bewährt und vergleichsweise günstig in der Herstellung (vgl. Abbildung 31, rechts). Die Übertragung der Kräfte erfolgt nicht wie bei den anderen Kupplungstypen mittels Stabilisierungsgelenk am Ende des Kupplungsschaftes, sondern direkt über die Längsfederung. Die Federung ist im Wesentlichen reduziert auf zwei große Federn und eine kleinere (untere) Feder, welche direkt am Kupplungsschaft angebracht sind (vgl. Abbildung 31, links und Mitte).

Die Mittenzentrierung erfolgt durch Vorspannung beider Federn. Die Übertragung der Druckkräfte erfolgt durch Spannung der vorderen Hauptfeder und Entlastung der hinteren. Bei Zugkräften ist es umgekehrt. Die vertikale Abstützung wird unterstützt durch die untere Feder, die parallel in horizontaler Richtung unter der vorderen Hauptfeder angeordnet ist (vgl. Abbildung 31, links und Mitte).

Am Kopfstück des Güterwagens wird keine weitere Abstützung benötigt, wodurch die Horizontalabstützung einen geringen Bauraum erfordert. Die Montage an das Untergestell erfolgt bei Bestandswagen über einen separaten Einsatz für den UIC- Einbauraum (vgl. Abbildung 31, Mitte und Abbildung 32). Dieser ist direkt an der Kupplung befestigt. Damit die Federanordnung in den UIC-Einbauraum passt, muss ein Blech im vorderen Bereich des Einbauraumes entfernt werden (vgl. Abbildung 32).

Für zukünftige reine AK-Wagen ist der UIC-Einbauraum und der entsprechende Einsatz nicht mehr notwendig, wodurch die Kupplung mit Horizontalabstützung direkt von außen an das Untergestell angebracht werden kann.

Abbildung 32: Blick von unten auf eine eingebaute AK mit Horizontalabstützung im UIC-Bauraum



Quelle: Wabtec/Schwab

Die Vorteile der Horizontalabstützung sind das deutlich niedrigere Gewicht, die Kompaktheit und die erwartungsgemäß niedrigen Lebenszykluskosten (LCC) im Vergleich zu den bisherigen Aufhängungs- und Federungsansführungen. Dieser Effekt verstärkt sich für zukünftige reine AK-Wagen, da auf den UIC-Einbauraum verzichtet werden kann, und zugleich die Montage von vorne durch wenige Handgriffe erfolgen kann.

Um diese Variante umzusetzen, braucht es jedoch z.T. noch tiefergehende Analysen. Zum einen muss die Fahrsicherheit, insbesondere im Fall von zweiachsigen Güterwagen, geprüft werden, da das sog. Stabilisierungsgelenk fehlt.²⁹ Zum anderen muss bei dieser Ausführung geprüft werden, inwiefern die bei dieser Variante auftretenden Querkräfte von der Wagenkastenstruktur aufgenommen werden können, und die Entfernung eines Bleches im Einbauraum akzeptabel ist. Es wird angenommen, dass die Entfernung des Bleches und die veränderte Kräfteinleitung keine negativen Auswirkungen auf die Festigkeit des Untergestells haben.

In der aktuell Entwickelten Ausführung (siehe Abbildung 32 sowie Abbildung 31, links und Mitte) ist keine Vorauslenkbarkeit vorgesehen. Eine Implementierung der Vorauslenkbarkeit ist jedoch möglich. Die Notwendigkeit der Vorauslenkbarkeit ist übergeordnet unabhängig von Kupplungstyp und der Aufhängung zu klären.³⁰

²⁹ Das Stabilisierungsgelenk reduziert den Eintrag von Querkräften in die Güterwagen und damit auch die Entgleisungswahrscheinlichkeit von Güterwagen.

³⁰ Für weitere Informationen vgl. Kapitel 4.3.4.

3.4 Strom- und Datenleitung im SGV

Weltweit verkehren Güterzüge vorwiegend ohne eine Strom- und Datenverbindung zwischen dem Tzf und den Güterwagen. In Europa gab es in den 1990er und frühen 2000er Jahren zwei Projekte mit der Zielsetzung, die Strom- und Datenübertragung in europäischen Güterzügen zu etablieren. Allerdings konnte sich der Innovationsansatz damals nicht in der Praxis etablieren. Im BMVI-Forschungsprojekt „Innovativer Güterwagen“³¹ wurde zwischen 2016 und 2019 eine Strom- und Datenleitung mit 110 V DC und CAN-Bus Technologie erprobt. Über diese Leitung wurde ein vereinfachtes elektro-pneumatisches (ep) Bremsventil angesteuert.

In den USA, Kanada und Australien haben sich Strom- und Datenleitungen im Zusammenhang mit ep-Bremssystemen etabliert. Diese Systeme und auch die europäischen Projekte werden nachfolgend vorgestellt.

3.4.1 Projekt EBAS

Das Projekt EBAS (elektronisches Bremsabfrage- und Ansteuerungssystem) unter der Leitung der Deutschen Bahn hatte die Verkürzung der Zugbildungs- und Abfertigungszeiten zum Ziel. Zwischen 1994 und 1996 wurden im Projekt eine beschleunigte Bremsprobe, eine Bremsdiagnose, eine elektrische Bremssteuerung sowie eine vereinfachte Wagenidentifizierung entwickelt. Als Technologie wurde eigens eine neun-polige Energie- und Kommunikationsleitung entwickelt, welche für 900 m lange Züge mit 64 Fahrzeugen ausgelegt wurde. Die Energie- und Kommunikationsleitung sah ein CAN-Bussystem und eine elektro-pneumatische Bremse vor. Anwendung fand das System auf 20 Containertragwagen sowie in CargoSprintern (Güterzug mit Steuerwagen). Letztere nutzen die Technik, um schnellere Verkehre im SGV durch einen Steuerwagenbetrieb zu realisieren.

3.4.2 FEBIS-Bremssteuerung

FEBIS steht für „*Freight Electronic Brake and Information System*“. In dem Projekt waren die DB, SNCF, SAB Wabco, Alstom und weitere Firmen involviert. Von 1999 bis 2001 wurde ein offenes Bordkommunikationssystem, das als Grundlage für europäische intelligente Güterzüge dienen sollte, entwickelt. Dabei wurde sowohl eine leitungsgebundene als auch eine funkgebundene Lösung entwickelt. Die leitungsgebundene Lösung setzte auf die LON-Powerline-Technologie, mit der die Daten- und Energieübertragung in einem Kabel erfolgen kann. Die Spannung des Systems beträgt 230 V DC und die Datenübertragung ist begrenzt auf 3,5 Kbit/s. Die funkgebundene Lösung umfasste ein Train-Talk-Protokoll mit einer Frequenz von 5,8 GHz und einer Reichweite von 100 m. Die Energieversorgung bei der Funkverbindung erfolgte über Radsatzgeneratoren. Für den Notfall besaß jeder Wagen bei der Bremslektronik noch eine Batterie und die UIC-Bremse als Rückfallebene. [17]

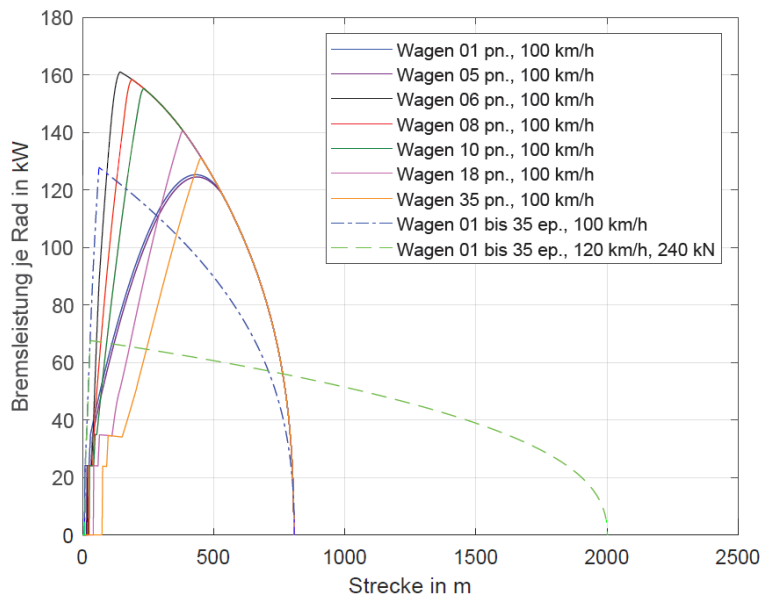
3.4.3 Ep-Bremsen im internationalen SGV

Eine Strom- und Datenleitung bietet u.a. die Möglichkeit, eine ep-Bremse einzusetzen. Die Nutzung einer ep-Bremse ermöglicht effektivere und gleichmäßigere Bremsvorgänge und birgt daher viele Vorteile für den SGV. Durch den Einsatz von ep-Bremsen kann die Rekuperation besser ausgeschöpft werden und auch die Fahrgeschwindigkeit erhöht werden. Zudem wird der Energieeintrag in die Räder beim Bremsen über den Zugverband harmonisiert. Dadurch werden Maximalbelastungen signifikant reduziert (vgl. Abbildung 33) und das Risiko von Radbrüchen sowie der Radsatzverschleiß vermindert. Dies ist vor allem relevant, da die Anforderungen an die Radsätze in den letzten 100 Jahren signifikant mit dem Anstieg der

³¹ Für weitere Informationen vgl. Kapitel 5.2.1.

Zuladung und Fahrgeschwindigkeit und dem Übergang von Grauguss- auf Verbundsohle gestiegen sind. [18]

Abbildung 33: Veranschaulichung des gleichmäßigen Energieeintrages in die Radsätze durch den Einsatz der ep-Bremse in Güterzügen



Quelle: [18]

Die Einführung der ep-Bremse in bestimmten Verkehren des SGV hat dazu geführt, dass sich eine Strom- und Datenleitung etabliert hat. Wabtec und New York Airbrake (NYAB)³² sind die wichtigsten Anbieter und vertreiben die ep-Bremssysteme unter den Namen „ECP“ bzw. „EP60“. Beide Systeme greifen auf eine direkte ep-Bremse mit einer standardisierten LON-Powerline für die Strom- und Datenübertragung zurück. Die Speisung und Energieversorgung erfolgt mit gängigen Spannungen, wie z.B. 230 V DC. Als Rückfallebene wird das pneumatische Bremssystem eingesetzt. Die automatische Bremsprobe und eine digitale Erstellung der Wagenliste bzw. Erfassung der Wagenreihung ist in diesem System bereits inkludiert.

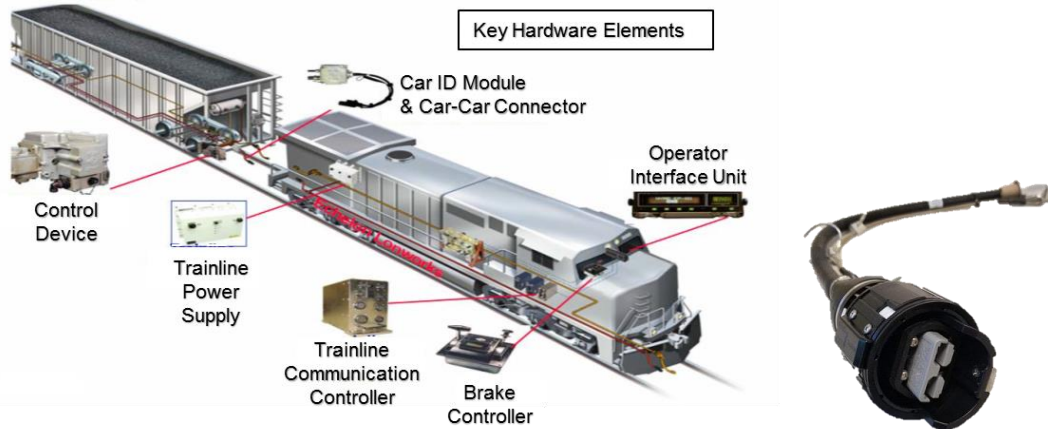
Die folgende Abbildung 34 zeigt das Funktionsschema dieser Bremse. Auf dem Führerstand gibt es eine Bedienungseinrichtung sowie eine Zug- und Bremskontrolle. Außerdem gibt es eine Stromleitung, die über Verbindungen zwischen den einzelnen Wagen durch den gesamten Zug verläuft. [19]

Die ECP-Bremssysteme werden weltweit, allerdings nur in vereinzelten Verkehren, bei AAR-Bahnen verwendet. Hervorzuheben ist die Verbreitung des Systems in Australien. Für die Erzminen von „Rio Tinto“ sind ca. 230 Tzf und 13.000 Wagen mit dem System ausgerüstet worden. Der Betreiber hat u.a. mit der Einführung des Systems im Jahr 2013 die Basis für den heutigen bereits vollautomatisierten, fahrerlosen Bahnverkehr gelegt. [20] Trotz der Vollautomatisierung des Bahnverkehrs werden die Strom- und Datenleitung sowie die HLL immer noch manuell gekuppelt.

³² NYAB ist ein Unternehmen der Knorr-Bremse Gruppe.

Abbildung 34: ECP-Bremse der Firma NYAB (links), Steckverbindung ECP Bremse (rechts)

Key locomotive and freight car components of an ECP brake technology system



Quelle: links [19], rechts Wabtec

Um die Strom- und Datenverbindungen auch bei Güterzügen zu etablieren, erfolgt hier ein kurzer Exkurs zu den Verbindungen im Personenverkehr. Diese können dann auf den Güterverkehr übertragen werden.

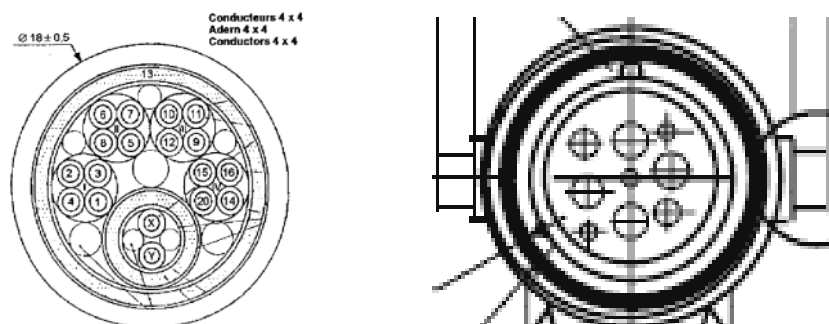
3.4.3.1 UIC-Steuerleitung/EP-Kabel

Stromleitung

Im SPV gibt es Strom- und Datenverbindungen nach UIC-Richtlinien. Dabei gibt es sowohl die UIC-Steuerleitung gemäß UIC MB 558 als auch das sog. „ep-Kabel“ der UIC für die ep-Bremse gemäß UIC MB 541-5/6.

Die UIC-Steuerleitung ist eine redundante Ausführung von Steckern und Buchsen am Wagenübergang und besteht aus einer 18-poligen Leitung mit einer Betriebsspannung von 24 V. Durch den recht geringen Querschnitt der Adern besitzen diese nur eine geringe Strombelastbarkeit (vgl. Abbildung 35, links).

Abbildung 35: links: Stecker der UIC-Steuerleitung gemäß UIC MB 558, rechts: Stecker des Kabels für die ep-Bremse gemäß UIC MB 541-5



Quelle: UIC

Die UIC-Standard-Steckverbindung für die ep-Bremse besteht aus einem neunpoligen Stecker zur Übertragung der Signale, der redundant ausgeführt ist. Die Energieversorgung von Verbrauchern ist über die Adern A und B mit 230 V AC 50 Hz möglich. Zwei Kanäle sind für die Datenbusleitung reserviert. Durch den größeren Leitungsquerschnitt sind diese stärker belastbar. Die nominale Steuerspannung beträgt 72 V oder 110 V DC und kommt von einer

Batterie oder einem Wandler. Der Aufbau der Steckverbindung nach UIC MB 541-5 ist in Abbildung 35 zu sehen.

Eine Vorabuntersuchung hat gezeigt, dass Leistungen von über zehn Watt je Wagen in den Leitungsquerschnitten von 1,5 mm² bei 50 Wagen bei einer 230 V Versorgung möglich sind. Diese Leitung würde auch eine ep-Bremse bedienen können. Geringere Spannungen von 48 V können bei kleinen Leitungsquerschnitten wegen des Spannungsabfalls an den Verbindungsstellen und der Leitungslänge nur kürzere Züge versorgen. [21]

Datenleitung

Bei der Datenkommunikation muss zwischen der Zug(bus)- und Fahrzeug(bus)ebene differenziert werden. Auf Fahrzeugebene bleibt die Anzahl der Teilnehmer stets konstant und Änderungen am Aufbau sind im Betrieb nicht zu erwarten. Das Einzelfahrzeug bleibt also ein geschlossenes System. Auf der Zugebene hingegen ändert sich durch Kuppeln und Entkuppeln laufend die Anzahl der Teilnehmer. Auf diese dynamischen Änderungen muss das System reagieren können. In der Praxis hat sich ein hierarchisch aufgebautes System zweier Feldbusse bewährt, die zusammen ein Train Communication Network (TCN) bilden. Diese Architektur und ihre Detailanforderungen sind in der EN 61375 genormt. Das UIC MB 556 fordert als Datenrate für den Fahrzeugbus mindestens 1,5 MBit/s. Eine Übersicht über die technischen Parameter aller Bussysteme gibt Tabelle 2. [21]

Tabelle 2: Technische Parameter für ausgewählte Fahrzeug- und Zugbussysteme

Bustyp	Name	Pole	Spannung	Anzahl Knoten pro Segment	Anforderungen
Zugbus	WTB	2	0...+3,5 V	32 (256)	Verdrilltes Adernpaar, Impedanz 120 Ohm
Fahrzeugbus	MVB	2	-7...+12 V	110	Verdrilltes Adernpaar
Fahrzeugbus	CAN(open)	2	-7...+12 V	110	Verdrilltes Adernpaar, Impedanz 120 Ohm
Zugbus, Fahrzeugbus	LON	2	---	2 ⁴⁸	Energieversorgungsleitung oder verdrilltes Adernpaar
Zugbus, Fahrzeugbus	Ethernet	8	-2,5...+2,5 V	1024	vier verdrillte Adernpaare

Quelle: [21]

4. Herausforderungen bei der Entwicklung einer europäischen DAK

Die Einführung einer DAK bringt eine Vielzahl von technischen und betrieblichen Herausforderungen mit sich, denn die DAK hat einen maßgeblichen Einfluss auf die zukünftige Gestaltung des Bahnbetriebes sowie auf die Fahrzeugtechnik und umgekehrt. Der Kupplungstyp bestimmt die zukünftigen Verfahren der Zugbildung als auch die Auslegung der Fahrzeugstruktur. Die zukünftige DAK muss sich einerseits mit ihren Eigenschaften in das System Bahn einfügen. Andererseits muss sich das System Bahn auch an die DAK anpassen bzw. die Chancen nutzen, die die Einführung bietet.

Aus dem vorherigen Kapitel zum Stand der Technik ging u.a. hervor, dass:

- mehrere Automatisierungsgrade AK existieren;
- es vier potenzielle Kupplungstypen und drei Abstützungsoptionen mit unterschiedlichen Funktionsumfängen und Einbauvoraussetzungen gibt und
- die Anforderungen an AK auf die historischen UIC-Merkblätter zurückgehen.

Im Zuge dieses Kapitels werden elementare technische und betriebliche Herausforderungen an die Entwicklung einer europäischen DAK detailliert vorgestellt. Zum Großteil müssen diese im Vorfeld der Auswahl eines geeigneten Kupplungstyps bewältigt werden, damit eine fundierte Entscheidung möglich ist. Bzgl. der folgenden Themengebiete besteht Handlungsbedarf bzw. ist der Bedarf von einheitlich Festlegungen gegeben:

- DAK Automatisierungsgrad;
- Gewährleistung der Zuverlässigkeit DAK;
- Betriebskonzept DAK
 - Handhabbarkeit der Kupplungen;
 - Notwendigkeit der Pufferstellung;
 - Notwendigkeit einer Entriegelungsaufhebung;
 - Greifbereich und Vorauslenkbarkeit;
- Aktualität der Auslegungsgrundlagen;
- Wagenkastenintegration der DAK;
- Grad der Standardisierung der DAK.

4.1 DAK Automatisierungsgrad

Eine DAK Typ 5³³ ermöglicht dem SGV mit Abstand den größten Effizienzsprung. Für die Einführung einer DAK Typ 5 gibt es jedoch noch einige Hemmnisse, die auf europäischer Ebene abzubauen sind. Es wird, vor allem aufgrund des unbekanntem Zeithorizonts der Lösungsfindung empfohlen, aktuell noch keine DAK vom Typ 5 einzuführen. Vielmehr ist der DAK Typ 4 für eine zeitnahe Einführung geeignet. Hinsichtlich der Funktionalität stellt der Typ 4 einen guten Kompromiss dar, da bereits alle notwendigen Schnittstellen für den Typ 5 automatisch gekuppelt werden. Es bedarf, im Vergleich zum Wechsel von der SK auf AK, wenig Aufwand, vom Typ 4 auf Typ 5 wechseln. Die Typ 4 Kupplung kann „upgrade-fähig“ gestaltet werden. Dies wird auch empfohlen.

Herausforderungen DAK Typ 5

Eine zentrale Herausforderung für den Typ 5 ist die Definition eines einheitlichen europäischen Betriebsstandards. Dazu müssen alle betriebsrelevanten Funktionen bzw. Verhaltensweisen der Kupplung definiert werden. Dazu zählen z.B. der Umgang mit abgekuppelten Zugteilen, der Mischbetrieb, die selbsttätige Wirkung der Bremse beim Fernentkuppeln sowie der Zustand der HLL im Zug- oder Rangiermodus. Vor allem müssen für den Typ 5 die Sicherheitsanforderungen für das Fernentkuppeln definiert werden, da dies bisher selbst im SPV nur vom Tzf gesteuert werden kann. Eine Fernauslösung seitens der Infrastruktur wäre vor allem im Rangierbahnhof und im Anschlussgleis von Vorteil.³⁴

Die Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit muss sehr hoch sein. Auch die Software darf die Interoperabilität nicht einschränken. Eine Abwärtskompatibilität der Software und der Kupplung muss gewährleistet werden. Ein letzter Punkt ist, dass Cyberangriffe erkannt und abgewehrt werden müssen, sodass z.B. durch Fehlzustände ein getrennter Zug nicht erkannt werden würde, was vermieden werden sollte.

4.2 Gewährleistung der Zuverlässigkeit

Essenziell ist eine hohe Zuverlässigkeit der DAK. Zum einen, da das Versagen einer einzigen Kupplung in der Regel die Abfahrt eines ganzen Zugverbands verhindert, mit den entsprechenden Konsequenzen für den Bahnbetrieb, die Infrastruktur und letztlich den Kunden. Zum anderen entfällt die Redundanz der SK, bei der immer zwei Kupplungen zur Verfügung stehen. Zur Vermeidung ähnlicher Situationen müssen alle Elemente, insbesondere die Schnittstellen zwischen den Güterwagen, witterungsbeständig und robust, d.h. eisenbahntauglich, sein. Sichtbar werden die hohen Zuverlässigkeitsanforderungen insbesondere dadurch, dass eine 98 %-ige Zuverlässigkeit pro Kupplung in einer Zuverlässigkeit von lediglich 40 % für einen Zug mit 45 Wagen resultieren würde. Deshalb muss die Zuverlässigkeit pro Kupplung bedeutend höher als 98 % sein.

4.3 Betriebskonzept der DAK

Eine gewichtige Herausforderung ist die Definition eines europäischen Betriebskonzeptes für die DAK. Das Konzept hat maßgeblichen Einfluss auf die Entscheidung für einen Kupplungstyp. Dafür ist es u.a. wichtig, betriebliche Zielbilder mit entsprechenden technischen Anforderungen zu entwickeln und diese miteinander zu vergleichen bzw. abzuwiegen. Ein bedeutendes Beispiel ist die zukünftige Gestaltung des Betriebsablaufs in den Zugbildungsanlagen. Das Betriebskonzept hat einen maßgeblichen Einfluss auf die

³³ Mehr Informationen zu den Automatisierungstypen automatischer Kupplungen siehe Abschnitt 3.1.1.

³⁴ Mehr Informationen zu den Herausforderungen einer DAK Typ 5 siehe Kapitel 7.

Komplexität der DAK in Bezug auf die Kuppel-/Betriebsstellungen der Kupplung. Mit der Anzahl der Betriebsstellungen erhöht sich die Komplexität der Kupplung mit den entsprechenden Auswirkungen auf den Preis, das Gewicht und die Instandhaltung. Weitere wichtige Aspekte, mit zum Teil tiefgreifenden Auswirkungen auf die mechanische Gestaltung der Kupplung, sind die Aufhebbarkeit einer Entriegelung von zwei miteinander gekuppelten Wagen (ohne auseinander fahren zu müssen), die Fähigkeit unter Zugkraft zu entkuppeln sowie das Verhalten der HLL bei gewolltem Entkuppeln.

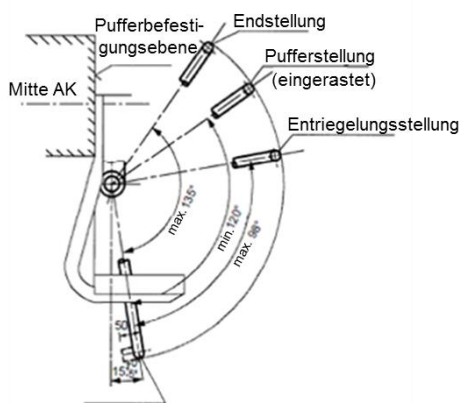
In den folgenden Abschnitten wird eine kurze Übersicht über wichtige betriebliche Fragen zur DAK gegeben.

4.3.1 Bedienelemente und Handhabbarkeit

Die Kupplung muss einfach und sicher in der Handhabung sein. Der Kraftaufwand des Personals für die Bedienung muss dauerhaft in einem vertretbaren Rahmen sein. Das Bedienelement muss deutlich erkennbar sein.

Ebenso sollten die Bedienelemente der Kupplung einheitlich zwischen den Herstellern sein. Die Vereinheitlichung der Bedienelemente gewährleistet eine routinierte und damit effektivere Arbeitsweise des Rangierpersonals. Vorbilder hierfür sind die „AK69e“ und die „Intermat“, welche durch das UIC MB 535-2 einheitlich definiert worden sind (vgl. Abbildung 36). Für die Janney-Kupplung gilt dies ebenso.

Abbildung 36: Bedieneinrichtungen gemäß UIC MB 535-2 inkl. Stellungen (links), gekuppelte „AK69“ mit deutlich erkennbarer Bedieneinrichtung in Gelb in der Grundstellung sowie separat vorhandenen Luftabsperrhähnen mit rotem Griff (rechts)



Quelle: links UIC, rechts TU Berlin

Eine grundsätzliche Anforderung ist, dass sich die Bedienelemente seitlich an den Fahrzeugenden befinden müssen. Die Bedienung der Kuppelstelle muss von jeder Wagenseite aus möglich sein. Mit Ausnahme der Schwab-DAK reicht es aus, die Betätigungseinrichtung diagonalversetzt anzubringen.³⁵ Die Anordnung der Bedienelemente muss gewährleisten, dass das Personal nicht zwischen die Wagen treten muss. Dies gilt auch für einen evtl. zusätzlich notwendigen Luftabsperrhahn (vgl. Abbildung 36), der z.B. bei der „AK69“ vorhanden ist. [12]

Weitere wichtige Themen sind das gewünschte Verhalten der HLL in der entriegelten Stellung, und die Möglichkeit, die Druckluft bei Bedarf aus der HLL abzulassen. Dies ist notwendig, da die HLL im entkuppelten Zustand verschlossen ist.

³⁵ Für weitere Informationen vgl. Kapitel 3.2.4.

4.3.2 Notwendigkeit der Puffer-/Stoßstellung

Bisher sind im europäischen SGV bei der „AK69“/„Intermat“, „C-AKv“ und auch bei der SA3-Kupplung folgende vier Stellungen realisiert:³⁶

1. Entkuppelt und kuppelbereit.
2. Pufferstellung: Entkuppelt und nicht kuppelbereit.
3. Gekuppelt und verriegelt.
4. Gekuppelt und entriegelt.

Während die bedeutendsten AK des weltweiten SGV³⁷ alle diese Stellungen einnehmen können, ist das für die vom SPV adaptierten AK vom Typ SchaKu und Schwab bzgl. der Pufferstellung derzeit nur mit Einschränkungen der Fall.

Die Pufferstellung ist immer dann vorteilhaft, wenn ein direktes Wiederverriegeln der Kupplungen unerwünscht ist. Zur Notwendigkeit der Pufferstellung gibt es verschiedene Ansichten. Nach eigenen Einschätzungen ist die Notwendigkeit alleinig davon abhängig, ob bei der Zugauflösung im Abstoß- oder im Abdruckbetrieb verfahren wird. Im klassischen Abstoßbetrieb ist die Pufferstellung vorteilhaft [12] und im Abdruckbetrieb in der Regel nicht.

Im folgenden Abschnitt werden kurz der Abstoß- und Abdruckbetrieb erklärt und damit ein vertiefter Einblick in die Problematik gegeben.

Der Abdruckbetrieb wird vor allem in großen Rangieranlagen mit Ablaufberg angewandt und gilt als energie- und ressourcensparend. Im Abdruckbetrieb wird, analog zur SK, die Wagenverbindung erst an einem Ablaufberg final aufgelöst bzw. im Fall der AK die Kupplung entriegelt. Für die AK ist nun eine erneute sofortige Kuppelbereitschaft erwünscht, denn nur so ist es möglich, die Wagen in den anschließenden Richtungsgleisen ohne Personalaufwand zusammen zu schieben und gleichzeitig automatisch zu kuppeln. Die Produktivitätseffekte ergeben sich folglich im Zuge der erneuten Zugbildung.

Der Abstoßbetrieb wird vor allem in kleineren Anlagen ohne Ablaufberg betrieben. Bei diesem Verfahren wird anstatt der Gravitation die Trägheit der Wagen genutzt, indem ein zuvor beschleunigter (geschobener) Zugverband abgebremst wird und eine abgekuppelte Wagengruppe an der Zugspitze weiter rollt. Die losgelöste Wagengruppe wird dann in der anschließenden Gleisharfe in das entsprechende Ordnungsgleis einsortiert. Im Anschluss müssen die Kupplungen wieder auf Kuppelbereitschaft umgestellt und mit einer Rangierlok zusammengeschoben werden. Der Ablauf muss für jede Wagengruppe wiederholt werden. [22] Die Pufferstellung ist notwendig, da beim Beschleunigen vor dem Abstoßvorgang ein Wiederkuppeln der Kupplung nicht ausgeschlossen werden kann. Dieses Rangierverfahren ist hochgradig personal-, technik- und energieintensiv.

Es wird davon ausgegangen, dass der Abstoßbetrieb als Rangierverfahren nicht mehr zeitgemäß ist, da es aufgrund des intensiven Personal-, Rangierlok- und Energiebedarfs nur sehr eingeschränkt wirtschaftlich abzubilden ist. Nach eigenen Einschätzungen ist die zwingende Notwendigkeit der Pufferstellung diesbezüglich nicht mehr gegeben. Da der SGV in Europa sehr vielseitig ist, kann an dieser Stelle keine abschließende Aussage über die Notwendigkeit der Pufferstellung gegeben werden. Es wird daher eine tiefere Untersuchung empfohlen.

³⁶ In Anlehnung an das UIC MB 535-2.

³⁷ Janney, SA3, AK69/Intermat gemäß [12].

4.3.3 Notwendigkeit einer Entriegelungsaufhebung

Bei der Zugauflösung kann es zur Verwechslung von Kuppelstellen kommen, sodass z.B. ein Wagenzug an der falschen Stelle entriegelt/getrennt wird. Es ist vorteilhaft, wenn die Entriegelung direkt wieder aufgehoben werden kann. Falls dies nicht möglich ist, müssten die Wagen/Kupplungen erst vollständig getrennt werden, um anschließend wieder gekuppelt zu werden. Mit der Entriegelungsaufhebung kann ein teils erheblicher Mehraufwand z.B. im Anschlussgleis vermieden werden. Auch am Ablaufberg würde dies die Produktivität deutlich beeinträchtigen und die teils hoch automatisierten Prozesse ausbremsen.

Die Aufhebung der Entriegelung ist z.B. bei der „SA3“ und der „AK69“ möglich. [12] Bei der Janney-Kupplung ist dies ebenfalls möglich. Da diese Anwendung im SPV nicht gebraucht wird, ist dies Status quo bei der SchaKu und Schwab DAK nicht der Fall.

4.3.4 Greifbereich und Vorauslenkbarkeit

Der Greifbereich einer AK beschreibt den max. zulässigen Höhen- und Querversatz der Kupplungsköpfe für ein selbsttätiges Kuppeln. Der tatsächliche Greifbereich hängt von der Infrastruktur und vom Fahrzeug ab. Seitens der Infrastruktur sind die Höhenabweichung und der Bogenradius des Gleises ausschlaggebend. Bzgl. der Wagengeometrie bestimmen der Überhang und der Radsatzabstand/Drehzapfenabstand die selbsttätige Kuppelbarkeit. [16] In Abbildung 37 sind die Einflussparameter am Beispiel eines Güterwagens grafisch dargestellt.

Abbildung 37: Übersicht über die Einflussparameter auf den Greifbereich von AK am Beispiel eines Güterwagens



Quelle: TU Berlin

Die UIC hat in mehreren Merkblättern den Greifbereich automatischer Kupplungen festgelegt.

Im UIC MB 522 wurde ein lateraler Greifbereich von ± 190 mm und ein horizontaler Höhenversatz von 120 mm als allgemeine Mindestanforderung an AK definiert. In den UIC MB 530-1/-2, die die Anforderungen an die „Intermat“ und die „AK69“ beinhalten, ist der Greifbereich auf 140 mm in vertikaler Richtung und ± 220 mm in horizontaler Richtung festgelegt worden. Die Randbedingungen haben sich seitdem z.T. deutlich geändert. Z.B. ist der damals als Auslegungsgrundlage verwendete UIC-Einheitswagen seit 2007 vollständig ausgemustert (vgl. Abbildung 38, links). Moderne Güterwagen für den Transport von schweren Gütern sind zu Gunsten der effektiven Ausnutzung der Zuglänge und Achslast kürzer geworden (vgl. Abbildung 38, Mitte). Güterwagen für Transporte mit Volumengütern sind deutlich länger geworden (vgl. Abbildung 38, rechts). Während kürzere Wagen die selbsttätige Kuppelbarkeit in engen Bögen begünstigen, ist dies bei längeren Wagen umgekehrt. Bzgl. der infrastrukturellen Bedingungen wurde im Zuge der „AK69“/„Intermat“-Entwicklung u.a. ein selbsttätiges Kuppeln im Übergang von der Geraden zu einem Gleisbogen mit einem Radius

von 135 m gefordert. [16]³⁸ Solche Bedingungen sind in der Regel selten und eher typisch für Anschlussgleise. Da viele Anschlussgleise zurückgebaut worden sind, ist es durchaus möglich, dass sich die Anforderungen in diesem Punkt verringert haben.

Abbildung 38: UIC Einheitswagen als Basis für die Ermittlung des Greifbereiches (links), neue Güterwagen aus dem Projekt „Innovativer Güterwagen“ (Mitte, rechts)



Quelle: links dybas, rechts www.innovativer-gueterwagen.de

Im Zuge der Entwicklung der „Z-AK“ sowie der „C-AKv“ wurden der Greifbereich und die Infrastrukturbedingungen gemäß UIC 522 herangezogen. [23] Der Greifbereich der „C-AKv“ weist somit einen geringeren Greifbereich als die „AK69“ auf. Beide Kupplungen werden aktiv in Deutschland eingesetzt³⁹ und es ist nicht bekannt, ob es diesbezüglich Einschränkungen gibt. Es wird angenommen, dass die wenigsten Güterwagen in stark gekrümmten Anschlussgleisen und/oder 150 m Bögen gekuppelt werden. Güterwagen mit SK und Seitenpuffer lassen sich auch heute nur eingeschränkt in engen Bögen kuppeln. Sobald der Bogen derart klein ist, dass sich die Seitenpuffer einseitig berühren, ist dies nicht mehr mit vertretbarem Aufwand möglich.

Manuelle Vorauslenkung

Eine Abhilfe zum Kuppeln im Bogenübergang ist die Möglichkeit des Vorauslenkens der Kupplung. Dafür wird die Zentrierung der Kupplung aufgehoben und vorab zur entsprechenden Seite ausgeschwenkt. Nach erfolgtem Kuppeln zentriert sich die Kupplung von selbst.⁴⁰ Die Vorauslenkung hängt ausschließlich von der Art der Abstützung ab. Eine Übersicht über die Abstützungsarten von AK ist in Kapitel 3.3.2. enthalten.

Die aktuell in der Entwicklung befindlichen Kupplungen unterscheiden sich im Greifbereich. Eine sinnvolle Wahl des Greifbereichs ist notwendig. Notwendige Führungshilfen, zur Realisierung bzw. Erweiterung des Greifbereiches, haben einen direkten Einfluss auf das Gewicht und den Preis der Kupplung. Der Greifbereich muss deshalb sinnvoll klein gewählt werden. Dafür sollte eine Wagenpark-, Infrastruktur- sowie Betriebsanalyse durchgeführt werden, um herauszufinden, wo in der Regel bei welchem Wagentyp gekuppelt wird.

Eine weitere Möglichkeit ist die Etablierung einer zusätzlichen DAK-Variante mit größerem Greifbereich sowie optionaler Vorauslenkbarkeit für ausgewählte Güterwagengattungen. Diesem Ansatz wurde z.B. in den USA mit der Einführung der Janney-Kupplung vom „Typ E/F“ gefolgt.

³⁸ Eine Übersicht die Infrastrukturanforderungen bzgl. der selbsttätigen Kuppelbarkeit ist im UIC MB 522 und 522-2 enthalten.

³⁹ vgl. Kapitel 2.1.4.2.

⁴⁰ Eine Übersicht mit vorauslenkbaren Kupplungen ist in Kapitel 3.3.2. enthalten.

4.4 Aktualität der Auslegungsgrundlagen

Die heutigen realen Betriebsanforderungen an Güterwagen und somit auch an die Kupplungen sind im ganzen Sektor nahezu unbekannt. Es ist daher nicht bekannt, wie oft ein Zugverband gebremst und beschleunigt wird, respektive wie stark die Kräfte in diesen Fällen sind. Gleiches gilt für Ablaufvorgänge. Bzgl. der Auslegung der Kupplung bedeutet dies, dass ausschließlich auf die Versuchsberichte der ORE/ERRI und die UIC-MB zurückgegriffen werden kann. Diese Berichte und Merkblätter sind im Rahmen der geplanten AK-Einführung in Europa ab den 1960er/70er Jahren, bzw. der „Z-AK“-Entwicklung in den 1990er Jahren entstanden und bilden aus vielerlei Gründen nicht mehr den Stand der Technik ab. Zum einen war damals die heutige Rechentechnik nicht verfügbar. Mit dieser ist es heutzutage möglich, unzählige Zugkombinationen mit vertretbarem Aufwand durchzurechnen.

Zum anderen haben sich die Charakteristika des Bahnbetriebs in den letzten 50 bis 60 Jahren gewandelt. Es sind z.B. die Geschwindigkeiten und Achslasten gestiegen, neue Bremssohlen wurden eingeführt, deutlich weniger zweiachsige Güterwagen sind im Einsatz und Jahreslaufleistungen der Güterwagen sind um ein Vielfaches gestiegen. Aufgrund dieser Veränderungen kann eine Auslegung basierend auf den historischen Unterlagen eine falsche Dimensionierung der Kupplung forcieren oder potenzielle neue Zugbilder verhindern.

Die o.g. Dokumente enthalten zudem kaum Differenzierungen in bestehenden Betrachtungen, stattdessen häufig Annahmen basierend auf Worst-Case-Szenarien. Für die Auslegung der Kupplung besteht somit gleichzeitig die Gefahr einer Überdimensionierung. Folglich ist der Sektor derzeit uneins, wie die Kupplung und der dazugehörige Federapparat ausgeführt werden müssen, und ob es Unterschiede zwischen Güterwagen, z.B. zweiachsigen und vierachsigen, braucht. Insbesondere die Notwendigkeit des Stabilisierungsgelenkes zur Gewährleistung der Entgleisungssicherheit ist noch unklar. Um eine möglichst langlebige und zugleich wirtschaftliche Kupplung für Europa zu erschaffen, wird eine Neudefinition der Anforderungen bzgl. der Auslegung der DAK empfohlen.

4.5 Wagenkastenintegration

Die Schnittstelle zwischen der Kupplung und dem Wagenkasten wurde durch die UIC durch das Inkrafttreten der Bauraumvorhaltung für die AK im UIC MB 530-1 wagenseitig vereinheitlicht.⁴¹ Alle Güterwagen mussten ab dem 01.01.1974 einen Bauraum für die AK freihalten. Dieser stellt vereinfacht einen Einschubschacht an den Stirnseiten der Wagen dar. Mit der Einführung der ersten TSI WAG zum 28.07.2006 wurde die Bauraumvorhaltung indirekt, durch die damalige Verpflichtung zur SK, aufgehoben. Dadurch kommen seit 2006 vermehrt Wagen in den Markt, bei denen aus Kostengründen auf die Vorhaltung des Einbauraums verzichtet wurde. Auch für diese Wagen muss eine Lösung gefunden werden. Dies ist vor allem wichtig, da es sich um vergleichsweise neue Wagen handelt.

Selbst wenn der Bauraum für die Kupplung vorhanden ist, ist keine „Plug and Play“-Situation vorhanden. Aus wirtschaftlichen Gründen wurde zum Teil auf die notwendigen Anschläge zur Übertragung der Längskräfte verzichtet.⁴² Des Weiteren ist der UIC-Einbauraum nicht zwingend auf die Druckkräfte in Bezug auf die Festigkeit ausgelegt. Dies gilt insbesondere für Fahrzeuge, die vor den 1990er Jahren gebaut worden sind. Daraus resultieren folglich ein erhöhter Montagebedarf und Nachrüstbedarf (z.B. Festigkeit) bei der Umrüstung.

⁴¹ Es gibt zwei Versionen des Einbauraums: eine für westeuropäische und eine für osteuropäische Bahnen; mehr Informationen vgl. Kapitel 3.3.1.

⁴² Keine Verpflichtung gemäß UIC vorhanden; mehr Informationen vgl. Kapitel 3.3.1.

Ein weiterer wichtigerer Punkt ist die Interaktion mit dem Federapparat. Die Wagenkastenstruktur muss in der Lage sein, die Kräfte der Kupplung dauerhaft aufzunehmen. Je nach Ausführung des Federapparates können Querkräfte in die Wagenkastenstruktur eingebracht werden oder Eingriffe in den UIC-Bauraum notwendig sein. In solchen Fällen muss geprüft werden, ob dies für den Wagenkasten zulässig ist.⁴³

4.6 Grad der Standardisierung

Eine Standardisierung ist bei komplexen Systemen mit vielen beteiligten Akteuren, wie es beim SGV der Fall ist, für einen reibungslosen und effektiven Betrieb essenziell. Dabei ist zwischen Elementen zu unterscheiden, die zwingend standardisiert werden müssen und jenen, bei denen eine Standardisierung empfehlenswert ist. Allgemein verpflichtend standardisiert werden müssen zum einen Anschlussmaße und Abmessungen sowie die Strom- und Datenspezifikationen. Darüber hinaus sollten auch Belastungsanforderungen sowie Gewichtsbegrenzungen standardisiert werden.

In Bezug auf die AK sollten die folgenden Komponenten standardisiert werden:

- **Profil des Kupplungskopfes und der Leitungskupplung:**

Die Profile des Kupplungskopfes und der Leitungskupplung müssen 100 % kompatibel sein. Abweichungen führen zu Fehl- bzw. nicht ordnungsgemäßer Funktion oder machen ein Kuppeln von Wagen unmöglich. Um die Kuppelbarkeit zwischen Kupplungen verschiedener Hersteller zu gewährleisten, ist eine Standardisierung nötig.

- **Betätigungseinrichtungen:**

Eine Standardisierung der Betätigungseinrichtungen ist zwar nicht für den Betrieb selbst notwendig. Gleichzeitig ist eine einheitliche Ausführung sinnvoll, um die Bedienung zu erleichtern und somit Abläufe zu beschleunigen und Bedienfehler zu vermeiden.

- **Schnittstelle zwischen Kupplungskörper und Feder-/Dämpfungsapparat:**

Eine gemeinsame Schnittstelle ist sinnvoll, da durch die Trennung von Feder- bzw. Dämpferproduktion von der reinen Metallverarbeitung mehr Zulieferer für die Herstellung von Kupplungskomponenten in Frage kommen.

Daneben bietet sich die Standardisierung sonstiger Komponenten der AK wie der Verriegelung, dem Schaft, dem Gelenk, Verbindern wie Muffen o.ä. sowie von Verschleißteilen an.

Allgemein lassen sich die Vorteile einer weitgehenden Standardisierung folgendermaßen zusammenfassen:

- **Kostenreduktion:**

Durch definierte Standards lässt sich insbesondere durch größeren Wettbewerb und niedrigere Entwicklungskosten eine Kostenreduktion erzielen.

- **Steigerung der Komponentenverfügbarkeit:**

Die potenziell höhere Anzahl an Zulieferern, der Wettbewerb zwischen diesen sowie die Verringerung der Bauteil-Diversität führt zu einer höheren Komponentenverfügbarkeit.

⁴³ Für weitere Informationen vgl. Kapitel 3.3.2.

▪ **Qualitätssteigerung:**

Durch anerkannte Standards in der Lieferkette und einem attraktiven Marktzugang für spezialisierte Hersteller lässt sich das Qualitätsniveau insgesamt anheben.

Als Vorbild für die Standardisierung ist die Janney-Kupplung zu nennen, welche in hohem Maße standardisiert und deshalb vergleichsweise günstig ist. Das gilt z.B. für den sog. Knuckle als häufigstes Verschleißteil (vgl. Kapitel 3.2.1.). Zudem lassen sich verschiedene Ausführungen kuppeln, z.B. der nichtstarre Typ E mit dem starren Typ H.

Es werden mehrere Ausführungen der DAK benötigt. Auch das heutige System mit SK und Seitenpuffer ist vielfältig. Es gibt z.B. verschiedene Ausführungen der SK hinsichtlich der maximalen Zuglast. Es existieren ebenfalls mehrere Pufferkategorien und spezielle Crash-Puffer für Gefahrguttransporte.

Bei allen Ausführungen der DAK muss der Kupplungskopf selbstverständlich bzgl. der Schnittstellen identisch sein, damit ein uneingeschränkt freizügiger Einsatz der Güterwagen möglich ist. Je nach Anwendungsgebiet müssen der Federapparat, der Schaft oder andere Komponenten den Bedürfnissen angepasst werden. Z.B. müssen sich die heute bereits existierenden Seitenpufferkategorien gemäß EN 15551 in den Ausführungsvarianten des AK-Federapparates wiederfinden.

Die Derivate der DAK sollten auch standardisiert werden. Dies kann z.B. über separate Normen für Unterbaugruppen erfolgen, wie z.B. für den Federapparat. Auch in diesem Fall kann die Janney-Kupplung als Vorbild gesehen werden.

4.7 Verringerung des Fahrzeugabstandes

Mit der Einführung einer DAK kann der Abstand zwischen den Fahrzeugen reduziert werden. Neben der gewonnenen Längskapazität im Zugverband, bietet dies die Möglichkeit den Luftwiderstand der Güterzüge zu reduzieren. Der Luftwiderstand ist mit Abstand der wichtigste Einflussparameter auf den Fahrwiderstand und somit den Traktionsenergiebedarf. Allgemeine Voruntersuchungen haben ergeben, dass eine Reduktion des Luftwiderstandes um 20 % den Energiebedarf zwischen fünf und sieben Prozent reduziert. [24]

5. Stand der Forschung DAK

Das folgende Kapitel gibt eine Übersicht über die wissenschaftliche Literatur mit Bezug zu AK im SGV. Außerdem werden derzeitige Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten evaluiert und die aktuellen Entwicklungsleistungen seitens der europäischen Bahnindustrie vorgestellt. Für weitere Informationen zu den bisherigen Forschungsaktivitäten im Eisenbahnsektor wird auf die Datenbank „Forschungsüberblick zur Eisenbahnforschung“ des BMVI verwiesen.⁴⁴

5.1 Literatur

5.1.1 Sünderhauf: Die automatische Mittelpufferkupplung

B. Sünderhauf verfasste 2009 „Die automatische Mittelpufferkupplung (AK) – Voraussetzung für eine Automatisierung des Schienengüterverkehrs in Europa“. Sünderhof führt darin eine Kosten-Nutzen-Analyse über den Einsatz einer AK im europäischen SGV durch. Die Betrachtung erfolgt auf Basis der AK „C-AKv“. Für die Umrüstung der Güterwagen werden fünf Jahre angenommen. Die Studie zeigt auf, dass die betriebs- und volkswirtschaftlichen Vorteile den Investitionskosten deutlich überlegen sind, obwohl die positiven Effekte für die Leit- und Sicherungstechnik nicht betrachtet worden sind. Betriebswirtschaftliche Aspekte der Untersuchung sind im Wesentlichen die Steigerung der Transportleistungsfähigkeit (längere, schwerere und schnellere Züge), höhere Umlaufgeschwindigkeiten, ein verringerter Rad-/Schiene-Verschleiß und die längere Lebensdauer der AK im Vergleich zur SK. Die volkswirtschaftlichen Kriterien resultieren vor allem aus der Verlagerung der Transporte von der Straße auf die Schiene.

Insbesondere bzgl. der Einschätzung der Nutzeneffekte der Verschleißminderung ist die Studie sehr optimistisch. Dies liegt daran, dass die Einspareffekte im Verschleiß von Rad und Schiene mit 20 % bis 30 % pro Jahr angenommen worden, obwohl diesbezüglich keine belastbaren Untersuchungen existieren. Ebenso ist die Steigerung der Transportleistung durch die AK mit 30 % sehr optimistisch angenommen worden. Die anvisierte Lebensdauer der AK beträgt zudem optimistische 30 Jahre. Bzgl. der Werkstattzuführungskosten wird auf die ohnehin bestehenden Werkstattaufenthalte und Wartungsintervalle verwiesen. Die Umstellung soll sukzessive bei Werkstattaufenthalten erfolgen, d.h. auch, dass die Migration ungesteuert für alle Branchen gleichzeitig erfolgt.

Für die Finanzierung schlägt Sünderhof vor, zumindest während des Migrationszeitraumes Leasingverträge für die Kupplungen abzuschließen. Auf diese Weise kann das Investitionsvolumen beschränkt werden. [1]

5.1.2 Stuhr: Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung

Eine aus dem Jahr 2013 stammende Schrift ist die „Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung“ von H. Stuhr. Er beschäftigt sich mit der Entwicklung eines Bewertungsverfahrens über den Nutzen einer AK. Es werden Verkehre elementarer Industrien (Montan-, Chemie- und Automobilindustrie) sowie der Kombinierte Verkehr (KV) betrachtet. Bzgl. der Technologien wurden sieben Szenarien hinsichtlich der technischen Ausrüstungsgrade untersucht. Beginnend mit einer rein mechanischen AK (Typ 1) werden ebenso die Kombination dieser mit ep-Bremse, Zugbus, automatischer Bremsprobe, erweiterten Zustandskontrollen und letztlich auch eine DAK vom Typ 5 betrachtet. Letztere

⁴⁴ Website: <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/forschungsueberblick-eisenbahnforschung.html>.

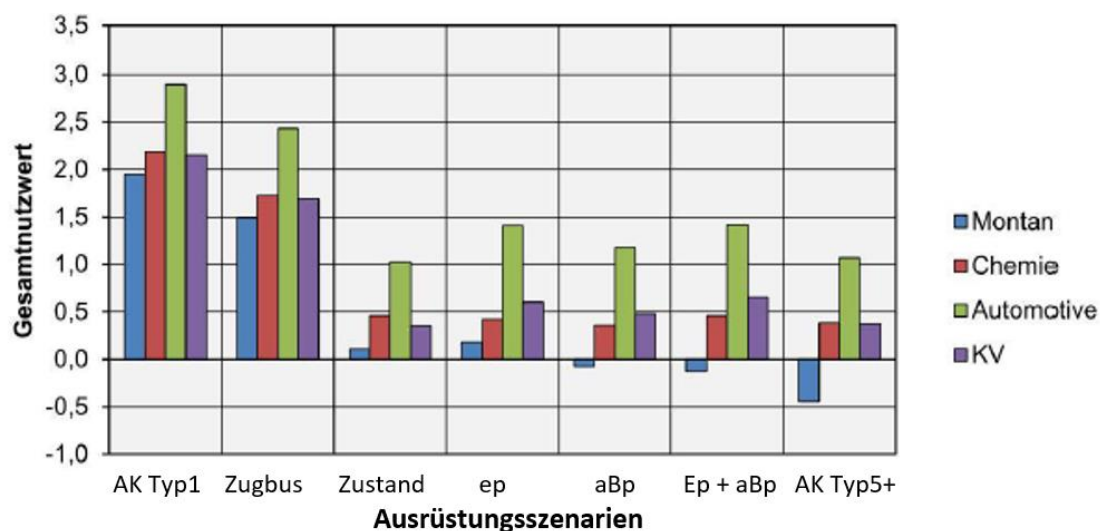
erfolgt nur in Kombination mit den anderen genannten Technologien, hier AK Typ 5+ genannt (vgl. Abbildung 39).

Im Zuge der Bewertung des Gesamtnutzens werden die Vorteile der Technologien für den Verkehr mit dem zu erwartenden Widerstand bzgl. der Einführung abgewogen. Die Gewichtung erfolgt zu Gunsten des Widerstandes. Dies ist aufgrund der historischen Migrationserfahrungen im europäischen SGV nachvollziehbar. Aufgrund dessen ergibt sich für den Einzelwagenverkehr (EWV) ein schlechter Gesamtnutzen. Erschwerend kommt für den EWV hinzu, dass Stuhr von einem dauerhaften Mischbetrieb von SK und AK Wagen ausgeht. Der Nutzen von Technologien, die eine 100 %-ige Ausrüstung des Güterzuges bedürfen (Bremsprobe, ep-Bremse, AK Typ 5), wird in dynamischen Flotten nicht angerechnet. Dies betrifft die Montan- und Chemieindustrie. Ganzzugverkehre der Automobilbranche und des KV profitieren von dieser Bewertung, obwohl diese im Vergleich zum EWV einen geringeren Nutzen von den Technologien haben.

Durch diese Betrachtungsweise kommt Stuhr zu einem konservativeren Ergebnis als Sünderhauf. Die Kernaussage ist, dass eine AK vom Typ 1 in allen Branchen grundsätzlich sinnvoll ist. Die Umrüstung aller Güterwagen in Europa wird trotzdem aufgrund der Widerstände als nicht realistisch eingeschätzt. In den Untersuchungen wird der Automobilindustrie der größte Nutzeneffekt zugesprochen. Die Montan- und Chemieindustrie haben die größten Vorteile, aber auch den größten Widerstand zu erwarten und deshalb gemäß dem gewählten Bewertungsschema einen geringeren Gesamtnutzen.

Gemäß Stuhr ist das langfristige Ziel eine AK mit einem hohen Funktionsumfang (um ep-Bremse etc. zu nutzen) zu schaffen, die zu Kapazitätssteigerungen führt. Als Ausblick führt er an, dass unbedingt die Auswirkungen auf die Netzkapazität untersucht werden müssen.

Abbildung 39: Eignung der AK und additiver Technologien in Abhängigkeit für ausgewählte Industriezweige



Quelle: [3]

5.1.3 Martin, von Molo, Ji, Körner, Podolskiy: Umfassende Einführung der Mittelpufferkupplung

Eine weitere Literaturquelle ist die „Umfassende Einführung der Mittelpufferkupplung – Perspektiven für Eisenbahninfrastrukturunternehmen“ von U. Martin, C. von Molo, K. Ji, M. Körner und I. Podolskiy aus dem Jahr 2015. Im Rahmen dieser Arbeit wird analog zu [3] eine AK mit elektrischer Versorgung und Datenverbindung betrachtet, als sog. noch nicht existierende „MPK+“. Es werden u.a. die Potentiale der Zugintegritätsprüfung, der Zugtaufe, der automatischen Bremsprobe sowie der automatisierten Bereitstellung von Informationen über Geschwindigkeit und Bremsvermögen, durch die Einführung einer MPK+ betrachtet.

Wesentlicher Unterschied zu anderen Arbeiten ist, dass diese sich mit den Effekten einer AK auf die Leit- und Sicherungstechnik (LST) im Zusammenhang mit der Einführung von ETCS-Level 3 beschäftigt. Dies erfolgt unter der Berücksichtigung des betriebs- und volkswirtschaftlichen Nutzens, der Migration und Interoperabilität.

Die Studie ermittelt ein deutlich positives Nutzen-/Kostenverhältnis und empfiehlt daher die Einführung einer MPK+. Die wirtschaftlichen Effekte der „MPK+“ sind allerdings differenziert zu betrachten. Ein Beispiel ist der Wegfall der streckenseitigen LST im Fall von ETCS-Level 3, der dem wirtschaftlichen Nutzen der MPK+ zugerechnet wird. Ein weiterer optimistischer Aspekt ist die erwartete Steigerung der Leistungsfähigkeit des SGV um 35 % durch längere und schwerere Züge sowie die Beschleunigung der Transportprozesse durch automatisches Kuppeln. [25]

5.1.4 Fumasoli: Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz

Die Untersuchung von T. Fumasoli aus dem Jahr 2010 behandelt „Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz“. Dabei wird die AK in diesem Bereich betrachtet und beurteilt, wie die Kosten für die Umrüstung und der Nutzen im Verhältnis stehen. Jedoch wurde der Nutzen hierbei nur hinsichtlich Personaleinsparung und Arbeitssicherheit beurteilt. Fumasoli kommt zu dem Schluss, dass der Einsatz der halbautomatischen Kupplung mit automatischer Leitungskupplung (AK Typ 2) wahrscheinlich am wirtschaftlichsten ist. [26]

5.1.5 Bruckmann, Fumasoli, Mancera: Innovationen im alpenquerenden Verkehr

Die Studie „Innovationen im alpenquerenden Verkehr – Studie im Auftrag des Bundesamtes für Verkehr“ von D. Bruckmann, T. Fumasoli, A. Mancera aus dem Jahr 2014 prüft, wie der SGV wettbewerbsfähiger werden kann. Dabei wird unter anderem die Einführung einer AK als neue Fahrzeuginnovation beurteilt. Die AK wird als grundsätzlich mögliche Option eingestuft. Insbesondere bei längeren Zügen und größeren Massen könnte die AK demgemäß zur Produktivitätssteigerung im alpenquerenden Verkehr führen.

Das Ergebnis wird sehr vorsichtig ausgedrückt und es wird keine sichere Aussage getätigt. Außerdem wird die Umsetzung nicht behandelt, sondern nur die theoretische Möglichkeit diskutiert. [27]

5.1.6 Chatterjee, Besch: Steigerung der Sicherheit im Eisenbahn-Güterverkehr bei Einsatz der vereinfachten kompakten aMPK

Bereits im Jahr 1999 beschäftigten sich B. Chatterjee und J. Besch mit der „Steigerung der Sicherheit im Eisenbahn-Güterverkehr bei Einsatz der vereinfachten kompakten automatischen Mittelpufferkupplung“. Dabei betrachteten sie die Wirkungen der „C-AKv“ und beschäftigten sich mit der Kraftübertragung in der Kupplung. Letztlich kommen sie zu dem

Ergebnis, dass mittels der „C-AKv“ höhere Längsdruckkräfte ertragbar sind, die für eine höhere Sicherheit sorgen. Diese Untersuchung beschäftigt sich nicht mit der Einführung der AK, sondern mehr mit den Wirkungen und Kraftübertragungen der „C-AKv“. [28] Daher können nicht allzu viele Informationen für die Einführung einer DAK gewonnen werden.

5.2 Forschungs- und Entwicklungsaktivitäten

5.2.1 Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung Innovativer Güterwagen“

Das Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen“ beschäftigte sich im Zeitraum zwischen September 2016 und April 2019 mit dem Aufbau und der Erprobung von vier innovativen Güterwagen (vgl. Abbildung 40). Dabei wurde die Gesamt-Projektleitung von der DB Cargo AG und der VTG AG wahrgenommen. Beteiligt waren diverse Projektpartner und finanziert wurde das Projekt durch das BMVI.⁴⁵

Ursprung für das Projekt war eine zuvor durch das BMVI durchgeführte Bestandsaufnahme zum Stand der Forschung und Entwicklung im Lärm- und Umweltschutz im SGV. Dabei stellte sich heraus, dass zwar gerade im Bereich Lärm verschiedene Forschungs- und Entwicklungsprojekte durchgeführt wurden, die Umsetzung von Ansätzen jedoch aufgrund der Kosten nicht erfolgte. Daher sollten beim Projekt „Innovativer Güterwagen“ mit bereits vorhandenen Komponenten und Technologien neue und innovative Güterwagen entwickelt und erprobt werden, verbunden mit der Erwartung, auf diese Weise die Einführung innovativer Güterwagen zu beschleunigen.

Abbildung 40: Übersicht über die neuentwickelten Güterwagen aus dem Projekt Innovativer Güterwagen



Quelle: www.innovativer-gueterwagen.de

Das Projekt verfolgte drei Ziele. Zum einen war dies die Reduzierung der Lärmemissionen von Güterwagen im Vergleich zu aktuellen Grenzwerten der TSI „Fahrzeuge – Lärm“ um drei bis sechs Dezibel(A). Zum anderen ging es um die Reduzierung der Traktionsenergie um drei bis acht Prozent durch ein verringertes Wagengewicht und den Einsatz von innovativen Drehgestellen mit radial einstellenden Achsen. Das dritte Ziel war die Verbesserung der Wirtschaftlichkeit durch geringere LCC-Kosten, indem innovative Komponenten verwendet wurden. Die Auswahl der innovativen Komponenten erfolgte auf der Basis eines umfassenden Technologiescreenings.

⁴⁵ Mehr Informationen siehe <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/forschungsprojekt-innovativer-gueterwagen.html> .

Dazu wurde ein Demonstrator-Zug entwickelt, der mit vier innovativen Güterwagentypen und jeweils drei Wagen je Typ, den entsprechenden konventionellen Typen als Referenzfahrzeugen mit jeweils drei Wagen je Typ sowie zwei Bestandsgüterwagen ausgerüstet war. Jeweils ein Wagen war leer, einer voll und einer teilbeladen. Insgesamt beinhaltete er somit zwölf innovative Güterwagen, acht Referenzwagen und drei Bestandsgüterwagen, wobei letztere mit einer AK versehen wurden. In Summe also 23 Güterwagen, die über circa 150.000 Kilometer getestet wurden (vgl. Abbildung 41).

Abbildung 41: Aufbau des Demonstratorzuges des Projektes Innovativer Güterwagen



Quelle: www.innovativer-gueterwagen.de

In den innovativen Güterwagen wurden innovative Drehgestelle, Scheibenbremsen und Radsätze sowie Telematik/Sensorik, Strom-/Datenbusleitungen, eine digitale Bremsanzeige und eine ep-Bremse eingesetzt. Die drei Bestandsgüterwagen im ersten Feld (vgl. Abbildung 41) besaßen AK der Typen Voith „CargoFlex“ und der Schwab-Kupplung.

5.2.2 Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS)

Der Technische Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS) verfasste 2012 das Weißbuch „Innovativer Eisenbahngüterwagen 2030 – Die Zukunftsinitiative 5L“.⁴⁶

Ziel des TIS ist das Identifizieren und Fördern von Basis-Innovationen für Güterwagen, welche die „5L“-Kriterien - leicht, leise, logistikfähig, laufstark und LCC-orientiert - erfüllen. Diese sollen über mehrere Schritte erreicht werden. Es beginnt mit innovativen Güterwagen, die zu einem intelligenten Güterzug zusammengefügt werden, sodass sich ein wettbewerbsfähiges Schienengüterverkehrssystem mit den damit einhergehenden Wachstumschancen ergibt. 2019 wurde dahingehend das TIS-Weißbuch „Intelligenter Güterzug“ veröffentlicht.⁴⁷

Kernpunkt des intelligenten Güterzuges ist eine digitale AK mit Strom- und Datenleitung, also eine DAK Typ 4, welche die Voraussetzungen für die Digitalisierung und Automatisierung des SGV schafft.

Nach Ansicht des TIS hat ein Güterwagen der Zukunft innovative Drehgestelle, Radsätze und Bremssysteme, was primär leicht, leise und verschleißarm bedeutet. Das Wagendesign zeichnet sich u.a. durch modulare Bauweise und Leichtbaukonzepte aus. Außerdem ist der Güterwagen der Zukunft mit Telematik ausgerüstet. Zusammen münden die Summe der Maßnahmen in erhöhter Wirtschaftlichkeit und geringeren Lebenszykluskosten.

Weitere Schwerpunkte für intelligente Güterzüge sind automatisierte Betriebsabläufe, Energie- und Datenmanagement sowie eine elektro-pneumatische Bremse. Des Weiteren weist der TIS ausdrücklich darauf hin, dass nur ein ganzheitlicher Ansatz unter Einbeziehung von Fahrzeug, Fahrweg inkl. LST und (politischen) Rahmenbedingungen, wie entsprechenden Fördermaßnahmen, zum gewünschten Erfolg, nämlich mehr Wachstum auf der Schiene, führt.

Aufgegriffen und umgesetzt wurden die Ideen in drei großen Projekten: dem „5L“-Demonstrator-Zug der SBB Cargo (vgl. Kapitel 5.2.2.), dem Innovativen Güterwagen der DB

⁴⁶ vgl. Website TIS; <http://www.tis.ag>.

⁴⁷ Mehr Informationen siehe <https://www.bmvi.de/SharedDocs/DE/Artikel/E/forschungsprojekt-innovativer-gueterwagen.html>

Cargo AG und der VTG AG (vgl. Kapitel 5.2.1.) sowie dem Innovativen Tankcontainerkonzept der BASF SE.

5.2.3 „5L“-Demonstrator der SBB Cargo AG

Die SBB Cargo entwickelt und testet zurzeit mit dem TIS und weiteren Partnern den „5L“-Demonstrator-Zug, mit dem die „5L“-Ziele⁴⁸ erreicht werden sollen. Die Projektlaufzeit wurde von April 2016 bis August 2021 festgelegt, während die Zug-Erprobung erst seit Sommer 2017 bis August 2021 zunächst in der Schweiz und seit Mitte 2019 auch europaweit erfolgt. Dabei sollen mindestens 400.000 km Laufweg zurückgelegt werden. Der „5L“-Demonstrator ist in der gleichnamigen „5L“-Initiative eingebettet. Das Ziel ist eine Steigerung der Effizienz in Rangierbahnhöfen und auf der Strecke. Dies soll über eine Automatisierung des Rangierbetriebs durch die Einführung eines Ein-Personen-Betriebs erreicht werden, was auch die automatische Bremsprobe einschließt. Als neue Komponenten werden zum einen die AK von Voith (SchaKu) und Wabtec (Schwab) eingesetzt. Zum anderen werden auch innovative Drehgestelle mit radial einstellbaren, wartungsarmen und innovativen Radsätzen, Scheibenbremsen, Schalldämpfungsmaßnahmen sowie Telematik und Sensorik wie RFID-Chips eingebaut. Auch das Wagendesign wird mit Behälterkonzept und Leichtbauweise optimiert.

Der „5L“-Demonstrator Zug besteht aus 16 Containertragwagen, die mit verschiedenen der eben benannten Innovationen ausgerüstet worden sind (vgl. Abbildung 42).

Abbildung 42: Innovation am 5L-Demonstrator: Scheibenbremse und Radschallabsorber (oben links), AK Voith (oben rechts), AK Faiveley (unten links) und Sensorik (unten rechts)



Quelle: TU Berlin

Bisherige Ergebnisse zeigen, dass mit Bestandstechnologie und geringfügigen Anpassungen gute Ergebnisse erzielt werden können. Das gilt sowohl für die Wirkung der Komponenten an sich als auch für das Zusammenspiel untereinander. So konnten die Lärmemissionen um mehr als fünf Dezibel gesenkt werden, die Wirtschaftlichkeit gesteigert und folglich gezeigt werden, dass es finanziell durchaus sinnvoll ist, Innovationen zu fördern und alte Standards abzulösen. In Bezug auf die AK wurde festgestellt, dass der Verschleiß sowohl an Wagen als auch der

⁴⁸ Innovative Güterwagen, die leise, leicht, laufstark, logistik-fähig und life-cycle-cost-orientiert sind (5L).

Infrastruktur durch den Einsatz einer AK verringert wird und Traktionsenergie eingespart werden kann.⁴⁹

5.2.4 Shift2Rail IP5 – FR8RAIL I+II

Ein kürzlich abgeschlossenes Projekt ist das Shift2Rail-Projekt „FR8RAIL“ aus dem Innovationsprogramm (IP) 5. Unter der Koordination von Trafikverket und diversen Beteiligten, wie z.B. CAF, wurde das folgende sehr allgemeingehaltene Projektziel ausgerufen: „Development of Functional Requirements for Sustainable and Attractive European Rail Freight“. Das Projekt lief zwischen dem 01.09.2016 und dem 31.08.2019.

Das Projekt diente u.a. dazu, die Basis für die Entwicklung einer AK zu schaffen. Dazu wurden mehrere AK-Typen hinsichtlich ihrer Eignung für den Schienengüterverkehr beurteilt.

Es gab die folgenden Beurteilungskategorien: Interoperabilität, Greifbereich, Witterungsresistenz, Zuverlässigkeit, Kuppelbarkeit von pneumatischen und elektrischen Verbindungen, Verschleiß, Dynamik, Belastbarkeit und Preis. Diese Kriterien sind mit verschiedenen Gewichtungsfaktoren in die Gesamtwertung eingegangen.

Die Gesamtwertung ergibt, dass Willison-basierte Kupplungen am besten für die Entwicklung einer europäischen AK geeignet sind, gefolgt von der BSI-Kupplung und der SchaKu. Die Willison-Kupplungen waren in fünf unterschiedlich gewichteten Bewertungsschemen die besten Kupplungen. Es sei jedoch angemerkt, dass bei der Beurteilung der Kupplungstypen vermehrt Wert auf die Interoperabilität, die Zuverlässigkeit, den Verschleiß und den Preis gelegt wurde und weniger auf die Automatisierbarkeit. Die automatische Verbindung von pneumatischen und elektrischen Leitungen wurde immer mit dem geringsten Faktor eins von fünf gewichtet. Die Automatisierbarkeit ist allerdings derzeit einer der Treiber für die aktuellen Bemühungen zur Einführung einer AK. [29]

Die Gesamtbewertung zugunsten der Willison-Kupplung ist differenziert zu betrachten, da nahezu alle Kupplungen im Punkteranking sehr dicht beieinanderliegen. In Abhängigkeit der Gewichtungen unterscheiden sich die drei genannten Kupplungen zum Teil um lediglich fünf Punkte in der Bewertung, was bei 123 (Willison), 122 (BSI) bzw. 121 (SchaKu) von 175 Punkten keinen sehr großen Unterschied macht. Auch der Unterschied zwischen der am besten und der am schlechtesten beurteilten Kupplung ist mit 18 Punkten in diesem Fall recht gering. Die Beurteilung könnte also mit anderen Gewichtungsfaktoren und anderen Einschätzungen schnell zu anderen Ergebnissen führen, insbesondere wenn die neuesten Entwicklungen der SchaKu- und Schwab-Kupplung in eine erneute Berechnung mit einfließen würden. Beispielhaft seien hier die Greifbereichserweiterung sowie die Ausweitung der Belastungsgrenzen der Schwab-Kupplung genannt.⁵⁰

Losgelöst von der Shift2Rail-Beurteilung des Rankings ist das Fazit vielmehr, dass alle Kupplungen bei entsprechend mehr oder weniger großen Anpassungen für den europäischen SGV adaptiert werden können. Aktuell wird in FR8RAIL II, basierend auf den Erkenntnissen vom Vorgängerprojekt, eine Willison-Kupplung vom Typ 4, gemäß Anforderungen der UIC, entwickelt.⁵¹

⁴⁹ Mehr Informationen über das Projekt siehe SBB Cargo Blog: <https://blog.sbbcargo.com/32342/5/>

⁵⁰ Mehr Informationen vgl. Kapitel 3.2.4.

⁵¹ Mehr Informationen vgl. FR8RAIL Website.

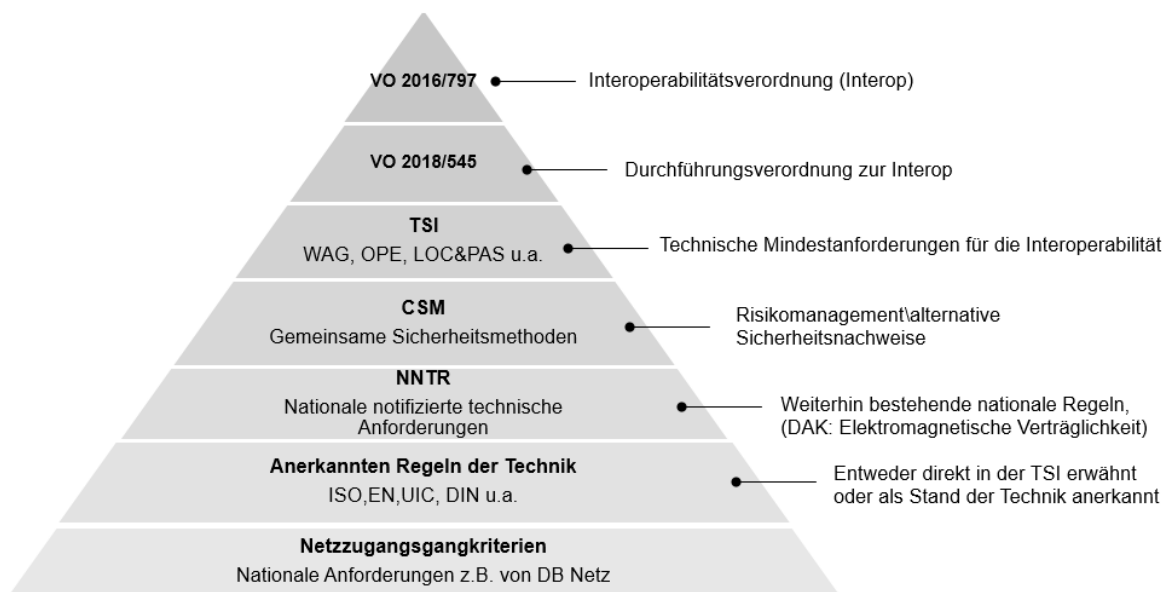
6. Rechtliche Rahmenbedingungen

In diesem Kapitel werden im ersten Schritt die rechtlichen Rahmenbedingungen aufgezeigt und im europäischen Kontext hierarchisch eingeordnet. Im zweiten Schritt werden DAK-relevante Aspekte aufgegriffen und die Zulassungssituation für Neu- und Bestandsfahrzeuge diskutiert.

6.1 Allgemeine Situation in Europa

In Abbildung 43 ist die rechtliche Situation in Europa in Form einer Hierarchie-Pyramide dargestellt. Die obersten vier Hierarchie-Stufen stellen allesamt EU-Verordnungen (VO) dar, die Gesetzescharakter haben.

Abbildung 43: Regelwerkspyramide für den internationalen europäischen Schienenverkehr inklusive Anmerkungen mit Relevanz zur DAK

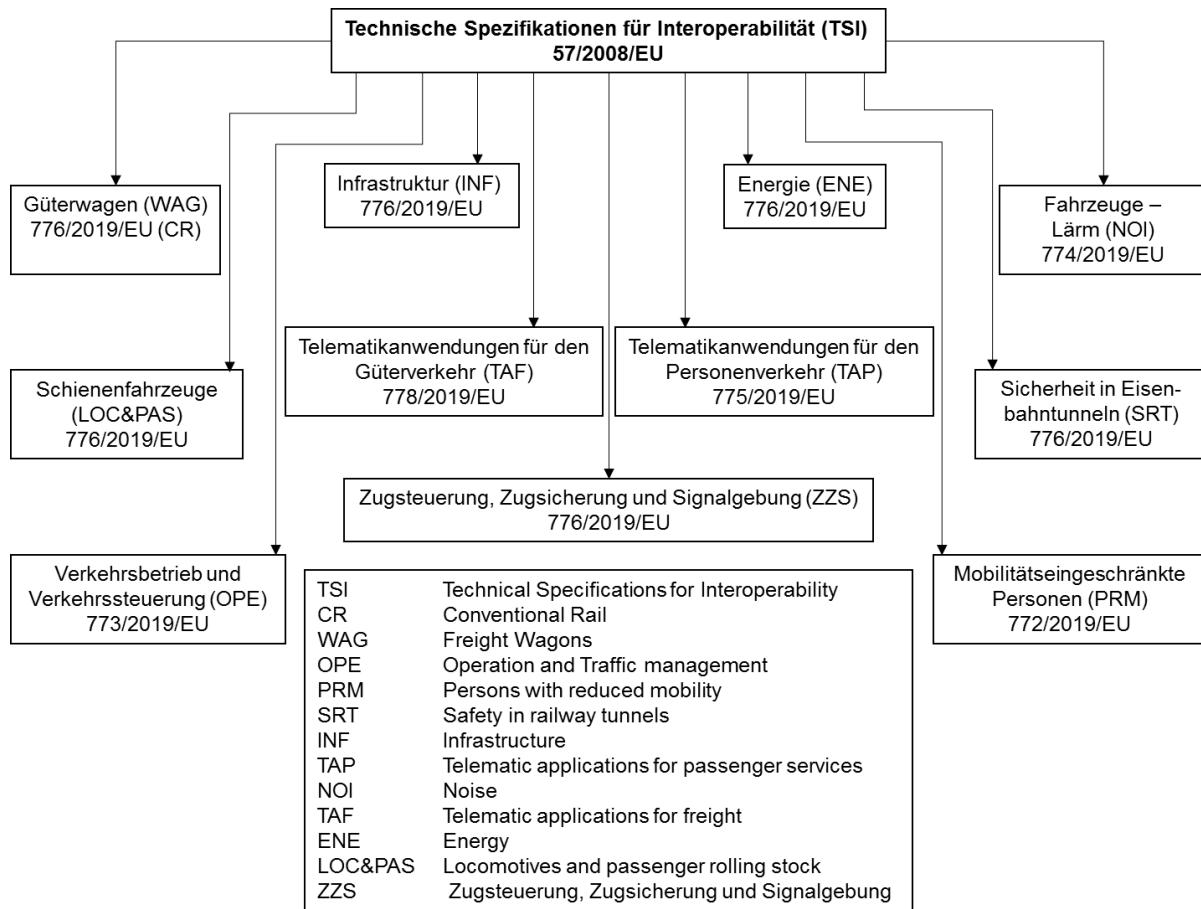


Quelle: TU Berlin

Auf den obersten zwei Ebenen stehen die Interoperabilitätsverordnung (Interop) und die Durchführungsverordnung (VO 2018/545) zu dieser. Die Interop definiert die Rahmenbedingungen für die Umsetzung der Interoperabilität des europäischen Schienenverkehrs und die Verfahren zur Inbetriebnahme von Fahrzeugen. Die Durchführungsverordnung erklärt, basierend auf der Interop, praktische Modalitäten für die Inbetriebnahme von Schienenfahrzeugen.

Eine Ebene darunter folgen die sog. Technischen Spezifikationen für die Interoperabilität (TSI). Diese erstrecken sich über alle relevanten Teilbereiche des Eisenbahnverkehrs und regeln die Grundlagen zur Erbringung möglichst barrierefreier europäischer Transporte auf der Schiene. Aus den TSI lassen sich vor allem Technik- und Sicherheitsanforderungen ableiten. In der Abbildung 44 sind übersichtshalber alle aktuell gültigen TSI aufgezeigt. Für die DAK sind vor allem die LOC&PAS, WAG und OPE TSI relevant.

Abbildung 44: Übersicht über die TSI



Quelle: TU Berlin

Unter den TSI ist die sog. CSM-VO 402/2013 verortet, welche es ermöglicht, alternative Sicherheitsnachweise mittels expliziter Risikoanalysen zu erbringen. Dies ist vor allem nützlich, wenn eine Innovation einer TSI widerspricht oder diese in einem Punkt ergänzt, sodass die rechtliche Situation schwierig einzuschätzen ist. Sofern die Innovation das Gesamtsicherheitsniveau nicht verletzt, ist der alternative Sicherheitsnachweis ein Mittel zur Zulassung.

Eine Ebene darunter folgen die national notifizierte technischen Regeln (NNTR). Die NNTR beinhalten nationale Richtlinien, welche zzgl. zu den TSI einzuhalten sind. Ein für die DAK relevanter Anwendungsfall ist z.B. die elektromagnetische Verträglichkeit (EMV). Da elektromagnetische Effekte die Leit- und Sicherungstechnik (LST) beeinflussen können und die LST auf absehbare Zeit nicht vereinheitlicht wird, wird dieses Thema auch in Zukunft immer von Bedeutung sein.

Auf der vorletzten Stufe folgen die anerkannten Regeln der Technik. Dies können ISO-, EN-, DE-Normen aber auch UIC-Merkblätter sein. Alle diese sind i.d.R. nicht bindend, verhelfen aber dennoch zu einem signifikant reduzierten Zulassungsaufwand. Sobald Normen oder UIC Merkblätter in einer TSI referenziert sind, bekommen diese Gesetzescharakter. Eine Übersicht befindet sich in Kapitel 6.3.

Auf der untersten Stufe sind die Netzzugangskriterien, welche die Eisenbahninfrastrukturunternehmen (EIU) herausgeben und von jedem Eisenbahnverkehrsunternehmen (EVU) einzuhalten sind.

6.2 Rechtliche Anforderungen für die DAK

In diesem Abschnitt werden alle als relevant eingestuft rechtlichen Anforderungen vorgestellt und hinsichtlich potenzieller Konflikte bewertet. Der Fokus liegt hierbei insbesondere auf der europäischen Gesetzgebung aufgrund der Einführung des vierten Eisenbahnpaketes und der damit einhergehenden Verantwortungsverlagerung zur ERA.

Im ersten Schritt werden Zulassungsverfahren für die DAK als einzelne Komponente betrachtet. Im zweiten Schritt wird auf die allgemeinen Zulassungsmodalitäten für Neufahrzeuge mit DAK und auf die umzurüstenden Bestandsfahrzeuge mit SK eingegangen, wobei die Bestandsfahrzeuge aufgrund der Notwendigkeit und der Komplexität den Schwerpunkt der Untersuchungen darstellen. Bzgl. der Bestandsfahrzeuge wird untersucht, ob eine Umrüstung der Kupplung eine neue Inbetriebnahmegenehmigung (IBG) zur Folge hat und inwiefern es die Möglichkeit gibt, eine „vereinfachte“ Zulassung durchzuführen.

6.2.1 Zulassungsmöglichkeiten

In diesem Abschnitt werden die Zulassungsmöglichkeiten der DAK als einzelne Komponente vorgestellt.

Zwischenprüfbescheinigung (ISV⁵²)

Für die Zulassung von DAK-Fahrzeugen ist es erstrebenswert, den Zulassungsaufwand so gering wie möglich zu gestalten. Vereinfacht gesagt, muss die DAK eine fahrzeugunabhängige Prüfbescheinigung bekommen, sodass Einzelprüfungen für die jeweilige Komponente für jedes/-n Fahrzeug/typ vermieden werden können. Dies wird heutzutage z.B. bei Seitenpuffern, Zughaken und SK mittels einer ISV praktiziert.

Bei einer Zwischenprüfbescheinigung handelt es sich um eine Prüfung von ausgewählten Teilen (z.B. Komponenten eines Teilsystems, z.B. TSI WAG). Ein Hersteller kann eine Komponente bzgl. der Einhaltung der TSI, auch ausgewählte Abschnitte, durch einen DeBo/NoBo⁵³ zertifizieren lassen. Ebenso muss der Hersteller die Randbedingungen für die Verwendung der Komponenten definieren. [Anhang IV 2016/797 Interop]

Für die DAK bedeutet dies, dass der Kupplungshersteller nachweist, dass die DAK den entsprechenden TSI entspricht. Je umfassender die ISV, desto geringer ist der Nachweisbedarf für die IBG von Fahrzeugen. Im besten Fall inkludiert die ISV bereits alle Schnittstellen der DAK 4, inklusive der Strom- und Datenleitung. Die Anforderungen/Nachweise des Systemschutzes (z.B. Erdung) und die Fahrzeug-/Fahrweg-Wechselwirkung (z.B. EMV) sind dann bereits durch die Kupplung abgedeckt.

Die Zulassung der DAK mittels ISV stellt, im Vergleich zur Interoperabilitätskomponente, einen, vergleichsweise schnellen Prozess dar. Eine DAK-Norm würde den Nachweisaufwand für die Hersteller vermutlich deutlich reduzieren.

Interoperabilitätskomponente (IK)

„[...] Interoperabilitätskomponenten sind Bauteile, Bauteilgruppen, Unterbaugruppen oder komplette Materialbaugruppen, die in ein Teilsystem eingebaut sind [...] von denen die Interoperabilität des Eisenbahnsystems direkt oder indirekt abhängt [...]“. [Artikel 2 VO 2016/797 Interop]

⁵² Intermediate statement of verification.

⁵³ Designated bzw. notified body.

Eine weitere Möglichkeit der Zulassung der DAK besteht in der Festschreibung der DAK in die LOC&PAS und WAG TSI als Interoperabilitätskomponente. Während die Vorteile gemäß eigenen Einschätzungen identisch mit denen der ISV sind,⁵⁴ sind die Anforderungen und der Aufwand ungleich höher. Eine IK muss im Gegensatz zur ISV mit den entsprechenden TSI vollständig im Einklang stehen. Zudem müssen die Verwendbarkeit und Instandhaltbarkeit der IK in jedem Mitgliedsstaat der EU gewährleistet sein. Als Nachweis werden entsprechende Konformitäts- oder Gebrauchstauglichkeitsbescheinigungen, ausgestellt von einer oder mehreren benannten Stellen, benötigt. [Artikel 8,9,10 VO 2016/797 Interop]

Auch wenn eine Normung der IK nicht verpflichtend gefordert wird, wird dies für die DAK empfohlen. Sobald eine IK in der TSI notiert ist, können die etwaigen Hersteller ihre Produkte von einem DeBo/NoBo zertifizieren lassen.

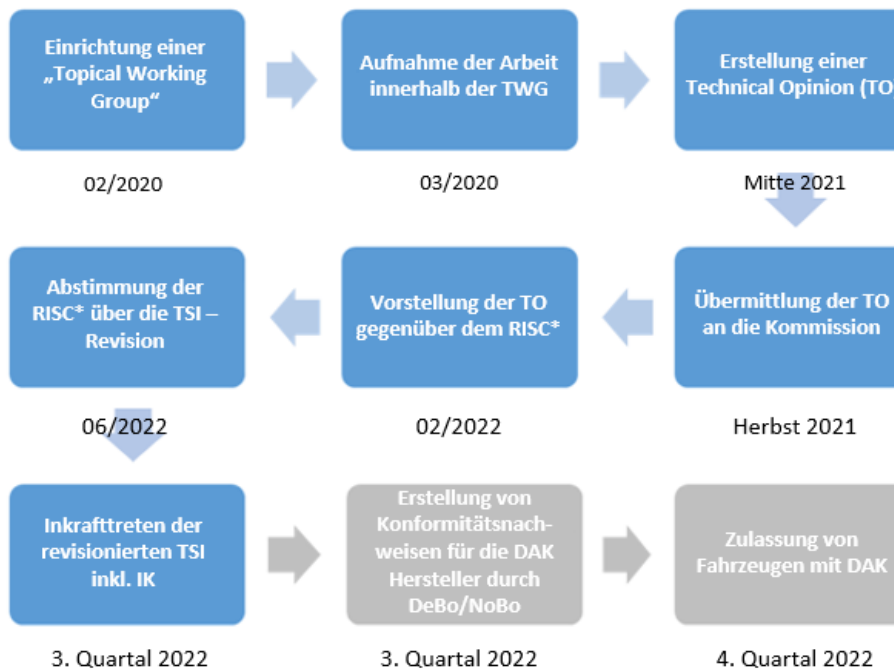
Nachteilig ist, dass eine IK nur im Rahmen einer TSI-Revision (alle fünf Jahre) eingebracht werden kann. In der Regel ist dies ein mehrjähriger europäischer Einigungsprozess in der Verantwortung der ERA, bei dem die Mitgliedsländer zustimmen müssen. Dadurch, dass die nächste TSI-Revision 2022 anvisiert ist, bietet sich die Möglichkeit, den IK Anerkennungsprozess vergleichsweise schnell abzuwickeln. Dieser Prozess wurde zu Beginn dieses Jahrs von der ERA angestoßen.

In Abbildung 45 ist die Agenda für die Erstellung der IK „DAK“ von der ERA skizziert. Der erste Schritt ist die Einrichtung einer „Topical Working Group“ (TWG) zur Integration der DAK in die LOC&PAS und WAG TSI. Dies kann z.B. durch die ERA oder durch die europäischen Vereinigungen des Bahnsektors, den sog. Representative Bodies, beantragt werden. Zu diesen gehören u.a. die UIC, UIP, CER und UNIFE. Die Representative Bodies bilden zugleich die Gruppenmitglieder. Die Aufgabe der TWG ist es, eine Technical Opinion (TO) zu erstellen. In dieser sind die technische Funktionsweise, die Anforderungen und viele andere Randbedingungen und Parameter festgehalten. Die „DAK Spezifikation“ (vgl. Anlage 3 zum Hauptbericht der Studie) kann für diesen Zweck die Grundlage bilden. Nach der Fertigstellung der TO wird die TO dem RISC⁵⁵ vorgestellt. Dieser Ausschuss besteht aus Vertretern der europäischen Kommission der jeweiligen Mitgliedsstaaten. Das RISC muss über die TO abstimmen. Im Fall einer Annahme der TO wird abschließend das EU-Parlament und der EU-Rat formal beteiligt und die revidierte TSI wird inkl. der DAK als IK verabschiedet. Sobald die DAK als IK in den TSI festgeschrieben ist, muss diese auch als IK zugelassen werden. Für den Fall, dass die DAK nicht in der nächsten TSI-Revision als IK gelistet wird, kann die DAK mittels ISV zugelassen werden.

⁵⁴ Für die DAK kann ebenso eine fahrzeugunabhängige Prüfbescheinigung erstellt werden.

⁵⁵ RISC: Railway Interoperability and Safety Committee

Abbildung 45: Ablaufschema für die Eintragung einer IK in die TSI inkl. anvisiertem Zeitplan



Quelle: Darstellung TU Berlin nach Angaben der ERA

Innovative Lösung

Einen Sonderweg stellt die „Innovative Lösung“ dar. Um eine Zulassung auch bei Verstößen oder Ergänzungen der TSI zu erhalten, gibt es die „Innovative Lösung“ als Zulassungsoption. Diese Option wurde eingeführt, um Innovationen im Bahnbereich kurzfristiger, außerhalb der fünfjährigen Revisionsintervalle der TSI, zu ermöglichen. Ob dies real möglich ist, ist allerdings unbekannt, da eine intensive Prüfung seitens der ERA erforderlich ist, und eine Stellungnahme der Mitgliedsstaaten bzw. der europäischen Verbände mit hoher Wahrscheinlichkeit zusätzlich notwendig ist. [Artikel 10a TSI WAG]

Eine Innovative Lösung kann im Zuge von TSI-Revisionen als Interoperabilitätskomponente aufgenommen werden. Die Zulassung der DAK auf diesem Weg wird nicht empfohlen.

6.2.2 Zulassung von Fahrzeugen mit DAK

Wie bereits erwähnt, müssen mit Inkrafttreten des vierten Eisenbahnpaketes fast alle Zulassungsgenehmigungen für Schienenfahrzeuge seitens der ERA erfolgen. Jedes zugelassene Fahrzeug wird im Zuge dessen im „Europäischen Register genehmigter Fahrzeugtypen“ (ERATV) eingetragen. Im ERATV wird u.a. zwischen Fahrzeugtypen und -versionen unterschieden. Ein Fahrzeugtyp entspricht ungefähr dem klassischen Gattungsbegriff. Von einem Fahrzeugtyp können im ERATV mehrere Versionen eingetragen werden, z.B. eine Version mit SK und eine mit DAK. Für die Eintragung eines neuen Fahrzeugtyps, z.B. bei einer Neuentwicklung, ist eine umfassende Zulassung des Fahrzeuges erforderlich. Technische Änderungen an bestehenden (eingetragenen) Fahrzeugtypen können in Abhängigkeit der Änderung entweder die Erstellung einer neuen Fahrzeugversion oder die eines neuen Fahrzeugtyps zur Folge haben. Ein Bestandsfahrzeug ist ein bereits genehmigtes Fahrzeug im ERATV. Hierbei kann es sich auch um ein Neufahrzeug handeln, welches konform zu einer Version eines Fahrzeugtyps im ERATV ist oder vereinfacht ausgedrückt auf einem bestehenden Fahrzeug basiert.

Die Verfahrensweisen und die Randbedingungen zur Zulassung sind in der Interop und in der Durchführungsverordnung geregelt. Die Interop beschreibt im Artikel 21 die Vorgehensweise für die IBG von Schienenfahrzeugen. Hierbei wird auf die Erstinbetriebnahmegenehmigung (EIBG) und auf die Änderung von Bestandsfahrzeugen eingegangen. Es werden i.d.R. folgende Nachweise bzw. Angaben über:

- a. die Verwendungsgebiete,
- b. die Einhaltung der entsprechenden TSI,
- c. die Einhaltung der nationalen Regeln (NNTR) des Verwendungsgebietes,
- d. die Nutzungsbedingungen und Beschränkungen,
- e. die Beibehaltung des Gesamtsicherheitsniveaus

(Risikobewertung für die DAK erforderlich auf Wagen- und Zugebene)

bzw. über die Änderung im Fall eines Bestandfahrzeuges gefordert.

Für die EIBG von Fahrzeugen mit einer DAK müssen all diese Nachweise dem Fahrzeugdossier bei der Zulassung (EG-Prüfung) beigelegt werden. Die DAK des entsprechenden Herstellers sollte vorab geprüft und zugelassen sein.⁵⁶ Die Einhaltung der entsprechenden Randbedingungen für den Einbau der DAK muss „lediglich“ nachgewiesen werden. Für neuentwickelte Fahrzeuge wird dieser Aufwand als gering eingeschätzt. Dies liegt insbesondere daran, dass die entsprechenden Nachweise, die für den Einsatz der DAK notwendig sind, vorhanden sind. Bei Bestandfahrzeugen ist dies nicht zwingend der Fall.

Auf die Punkte b) und c) sowie e) wird im Verlauf der folgenden Abschnitte eingegangen.

6.2.2.1 Zulassung von Bestandsfahrzeugen

Vorweggesagt kann an dieser Stelle die Fälligkeit einer erneuten IBG nicht eindeutig geklärt werden. Gemäß den EU-VO spricht einiges für eine Neuzulassung der Bestandsfahrzeuge. Die identifizierten kritischen Anforderungen werden in diesem Abschnitt vorgestellt. Diese Aspekte sollten gemeinsam mit der ERA geklärt werden, sodass auf der einen Seite die Migration der DAK nicht verhindert wird, und zum anderen weiterhin die Sicherheit des Gesamtsystems gewährleistet bleibt.

In den EU-VO wird unterschieden, ob eine „Änderung am bereits genehmigten Fahrzeug“ einen neuen Fahrzeugtyp oder eine neue Fahrzeugversion eines bestehenden Typs zur Folge hat. Die Erstellung eines neuen Fahrzeugtyps ist gleichbedeutend mit einer erneuten IBG. Das Fahrzeug muss dann gemäß den geltenden Richtlinien geprüft, und ein entsprechendes Fahrzeugdossier mit zahlreichen Nachweisen muss vorgelegt werden. Wird die Erstellung einer neuen Fahrzeugversion eines bestehenden Fahrzeugtyps gefordert, ist der Aufwand deutlich geringer. Es wird im ERATV eine neue Version des Fahrzeugtyps, z.B. mit DAK, eingetragen. Es sind nur die Nachweise für die DAK und die Einhaltung der Randbedingungen für den Einbau notwendig.

Für die Umrüstung von Bestandsfahrzeugen gibt es einige Herausforderungen. Die erste Herausforderung stellt bereits der Umgang mit dem Begriff „Bestandsfahrzeuge“ dar. Gemäß den EU-VO sind Bestandsfahrzeuge ausschließlich Fahrzeuge mit einem Eintrag im ERATV. Aktuell ist die Mehrheit der Fahrzeuge nur in den jeweiligen Nationalen Fahrzeugregistern registriert. Die umzurüstenden Fahrzeuge benötigen zwingend einen Eintrag im ERATV, damit

⁵⁶ D.h. für IK/Innovative Lösung liegen die EG-Erklärungen der Hersteller vor oder die entsprechenden ISV.

die ERA der Umrüstung generell zustimmen kann, bzw. damit überhaupt eine neue Fahrzeugversion mit DAK im ERATV erstellt werden kann. Das Verfahren für die Eintragung von Bestandsfahrzeugen in das ERATV ist unbekannt (auch seitens Sektor-Experten) und muss ggf. noch definiert werden.

Artikel 21 Absatz 12 Interop

Der Artikel 21 „Genehmigung für das Inverkehrbringen von Fahrzeugen“ der Interop stellt den wichtigsten Aspekt für die Klärung der Zulassungsfrage von Bestandsfahrzeugen dar. Bei jeder Änderung am Fahrzeug muss immer gewährleistet sein, dass dieser Artikel unberührt bleibt. Für Bestandsfahrzeuge hängt die Fälligkeit einer erneuten IBG davon ab, ob: „[...]

- a) die Änderung des Parameters gemäß TSI oder NNTR für die Prüfung der Konformität des Fahrzeuges mit den Verwendungsgebiet relevant ist, (Vorgaben durch TSI)
- b) das Gesamtsicherheitsniveau beeinträchtigt werden könnte,
- c) die TSI es bei der Änderung des Parameters vorschreibt. [...]“ [Artikel 21 Absatz 12 797/2016]

Zu a) Vorgaben durch TSI

Dieser Aspekt betrifft die funktionellen und technischen Spezifikationen des Teilsystems und seine Schnittstellen zu anderen Teilsystemen (Abschnitt 4.2 und 4.3). Kurzgefasst ist hiermit die TSI Konformität gemäß WAG, LOC&PAS und OPE TSI gemeint. Die DAK steht aller Voraussicht nach im Einklang mit den TSI Abschnitten.⁵⁷

Zu b) Gesamtsicherheitsniveau

Dieser Abschnitt ist ein kritischer Aspekt, da bereits ein möglicher Sicherheitseinfluss gemäß der Interop eine neue IBG zur Folge hat. Ebenso ist es unklar, wie ein „Gesamtsicherheitsniveau“ derart exakt quantifiziert werden kann, dass eine Entscheidung „Genehmigungspflicht“ oder „keine Genehmigungspflicht“ möglich wird.

Für einen Einfluss auf das Sicherheitsniveau spricht, dass die Kupplung, gemäß der WAG TSI, per se ein sicherheitsrelevantes Bauteil ist. Ferner führen elektrischen Anlagen gemäß der Interop am Fahrzeug grundsätzlich zu einer veränderten Sicherheitssituation. Gleiches gilt für die pneumatische Verbindung der HLL.⁵⁸ Diese stellt eine Änderung am Bremssystem dar und erfordert eine neue Sicherheitsbewertung (gemäß TSI WAG Abschnitt 4.2.4.2).

Bzgl. der Sicherheitssituation ist unabhängig vom Artikel 21 eine Bewertung gemäß CSM-VO notwendig. Auf der einen Seite wird davon ausgegangen, dass die DAK das Gesamtsicherheitsniveau erhöhen kann. Dafür spricht u.a., dass das Risiko für das Rangierpersonal reduziert wird, dass die Entgleisungssicherheit potenziell verbessert wird und sich ebenso die Anzahl der Fehlermöglichkeiten während der Zugbildung reduziert. Auf der anderen Seite führt die Einführung von elektrischem Strom auf den Güterwagen zu einer neuen Sicherheitssituation.

Bzgl. dieses Punktes sind Rücksprachen mit der ERA zwingend notwendig.

⁵⁷ Auch wenn bzgl. der notwendigen Anpassung der HLL-Schnittstellen eine Sicherheitsbewertung notwendig wird. Detaillierte Informationen zur TSI Konformität vgl. Kapitel 6.2.3.

⁵⁸ Hintergrund: Tabelle 1, der WAG und LOC&PAS TSI verweisen auf die Punkte 1.1.1, 1.1.3 und 2.4.1 Anhang III der Interop.

Zu c) Vorgaben durch TSI

Die Änderung der Art der Endkupplung führt (bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau) zunächst zu einer neuen Version des Fahrzeugtyps, die keiner neuen Genehmigung bedarf (WAG und LOC&PAS TSI Tabelle 11a/17a).

Gemäß der WAG TSI Abschnitt 7.2.2.2. ist eine neue IBG erforderlich, sobald die HLL mitgekuppelt und somit der TSI Anhang C 9/14 (UIC-Bremse)⁵⁹ nicht eingehalten wird.

Nach einer ersten Rücksprache mit der ERA stellte sich heraus, dass dieser Konflikt wahrscheinlich über eine Risikobewertung gemäß CSM-VO aufgelöst werden könnte und eine erneute IBG somit nicht erforderlich ist.

Durchführungsverordnung

In der Durchführungsverordnung sind vor allem die Artikel 14, 15 und 16 relevant. Darin wird definiert, ob ein neuer Fahrzeugtyp oder eine Version eines Fahrzeugtyps erstellt werden muss. Dies hängt für die DAK maßgeblich von zwei Punkten ab. Zum einen von der Einstufung der technischen Änderung gemäß Artikel 15 (1) und zum anderen vom Antragsteller bzw. vom Verhältnis des Antragstellers zum Inhaber der Fahrzeugtypgenehmigung [Artikel 15 (4)].

Gemäß Artikel 15 (1) führt die Änderung der Kupplung zu einer neuen Fahrzeugversion, solange der Artikel 21 Absatz 12 Interop erfüllt ist. Unabhängig von der Kupplung, ist eine Erstellung einer neuen Fahrzeugversion bei einer technischen Änderung nur möglich, wenn der Antragssteller gleich der Inhaber der Fahrzeugtypgenehmigung ist. Ist dies nicht der Fall, muss immer ein neuer Fahrzeugtyp erstellt und die IBG erneuert werden. Gemäß der Durchführungsverordnung ist der Inhaber einer Fahrzeugtypgenehmigung derjenige, der die Typgenehmigung für ein Fahrzeug beantragt und erhalten hat, oder dessen Rechtsnachfolger. Dies muss nicht zwingend der heutige Halter sein. Es kann sich auch um den einstigen Wagenhersteller selbst handeln. Hierbei liegt vermutlich die Annahme zugrunde, dass der Wagenhersteller sich am besten mit dem Fahrzeug auskennt.

6.2.3 TSI Konformität

Wie bereits im vorherigen Abschnitt erwähnt, sind für die DAK die LOC& PAS, OPE und WAG TSI schwerpunktmäßig relevant.

WAG TSI

Die WAG TSI regelt die technischen Anforderungen für das Teilsystem Güterwagen in Bezug auf die Interoperabilität. Dies betrifft z.B. die Fahrzeugstruktur, Begrenzungslinien, das Bremssystem, Umgebungsbedingungen, Entgleisungssicherheit, die Kupplung und den sog. Systemschutz. Viele dieser Aspekte, wie z.B. der Systemschutz und die Anforderungen an die Fahrzeugstruktur, haben einen Einfluss auf die DAK bzw. auf die Eignung der Wagen. Die Einhaltung entsprechender Normen und der Randbedingungen für den Einbau müssen nachgewiesen werden.

Der Fokus dieses Abschnittes liegt vor allem auf den Neuerungen, die die DAK mit sich bringt. Dies sind vor allem die Medien (Strom, Daten, Luft), die gekuppelt werden. Bezüglich der Strom- und Datenleitung sind folgende Aspekte zu beachten:

- Kompatibilität mit Zugortungsanlagen [Abschnitt 4.2.3.3]

⁵⁹ Mehr Informationen zur Konformität und den Vorgaben der jeweiligen TSI vgl. Kapitel 6.2.3.

Dieser Abschnitt verweist auf die Anforderungen an die elektromagnetische Verträglichkeit mit der Leit- und Sicherungstechnik, welche zwingend beachtet werden müssen.⁶⁰

- Schutz vor Risiken durch elektrischen Strom [Abschnitt 4.2.6.2]

In diesem Abschnitt wird auf die EN 50153:2014, die die Anforderungen an die Erdung und gegen direkten Kontakt definiert, verwiesen. Dieser Aspekt ist an dieser Stelle von großer Bedeutung, da Strom auf dem Güterwagen eine vergleichsweise unbekannt Anwendung im SGV ist. Zudem fließt der Rückstrom der Tfz auf elektrifizierten Strecken zum kleinen Teil über die Achslager und die Wagenstruktur zurück.

- Brandschutz [Abschnitt 4.2.6.1.2.3 & 6.2.2.8.3]

Das Brandverhalten installierter Kabel muss den Anforderungen der Normen EN 50355:2013 und EN 50343:2014 genügen.

Bezüglich der pneumatischen Verbindung [Abschnitt 4.2.4.2] wird in der TSI auf den aktuellen Standard verwiesen. Wenn dieser nicht eingehalten wird, muss demnach eine CSM-Bewertung durchgeführt werden. Die DAK ist folgendermaßen betroffen:

- **32 mm Innendurchmesser der HLL**

Dies wird in Deutschland durch den Kugeltest geprüft. Im Zuge des Tests wird eine Kugel mit 20 mm Durchmesser mit Druckluft von einem Wagenende zum anderen durch die HLL geschickt.⁶¹ Für die AK ist dies eine sehr große Herausforderung, da die HLL zum Teil winklig im Kopf verlaufen kann, und zum anderen Dichtungen und Ventile im Kupplungskopf hinderlich sind.

- **Die pneumatische Energie des Bremssystems darf nicht zu anderen als zu Bremszwecken verwendet werden.**

Dieser Punkt verhindert die Nutzung der Druckluft für potenzielle Aktoren am Kupplungskopf. Im Personenverkehr werden die Strom- und Datenkupplung über Druckluft aus der Speiseleitung (zehn bar), auch Hauptluftbehälterleitung genannt, verbunden. Da das Kuppeln und Entkuppeln beim Rangieren und nicht bei Zugfahrt erfolgt, kann allenfalls eine Sonderregelung für eine Typ 5 Kupplung das Entkuppeln mittels Druckluft aus der Bremsleitung erwirkt werden (Druckbereich 3,5 bis 5,0 bar).

- **Pneumatische Kupplung nach heutigem Standard:**

Die WAG TSI fordert die heutige manuell zu betätigende Luftkupplung der HLL.

In der WAG TSI ist die Endkupplung als „grundlegendes Konstruktionsmerkmal der Fahrzeuge“ gelistet. Die Änderung dieser ist ebenfalls ein Faktor zur Entscheidung der Fälligkeit einer IBG, mit dem Verweis auf den Artikel 15 Absatz (1) der Durchführungsverordnung. Demnach führt die Änderung der Art der Endkupplung (bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau und TSI Konformität) zu einer neuen Version des Fahrzeugtyps.

LOC&PAS TSI (1302/2014/EU)

Diese TSI gilt für das Teilsystem „Fahrzeuge – Lokomotiven und Personenwagen“. Der Geltungsbereich dieser TSI beschränkt sich ausschließlich auf Tfz/Triebzüge und Wagen, die in verschiedenster Weise dem Transport von Personen dienen bzw. diesen unterstützen

⁶⁰ Mehr Informationen vgl. Dokument: ERA/ERTMS/033281 rev. 4.0.

⁶¹ Bremstechnische Prüfung von Güterwagen im Rahmen der Abnahme nach § 32 EBO.

(Gepäckwagen, Autotransport, etc.). Da die LOC&PAS TSI bereits die AK „Scharfenberg Typ 10“ als Interoperabilitätskomponente enthält, konnten für eine neue DAK des SGV keine Konflikte identifiziert werden.

Analog zur WAG TSI ist die Endkupplung ein „grundlegendes Konstruktionsmerkmal der Fahrzeuge“, welches bei Änderung (bei gleichbleibendem Sicherheitsniveau und TSI Konformität) zu einer neuen Version des Fahrzeugtyps führt.

OPE TSI (773/2019)

Die OPE TSI „*Verkehrsbetrieb und Verkehrssteuerung*“ beschreibt die grundlegenden betrieblichen Anforderungen an einen sicheren Eisenbahnverkehr und bildet oftmals die Schnittstelle zwischen dem Betrieb und den technischen Anforderungen der Teilsysteme.

Es werden z.B. Sicherheitsverantwortungen und Sicherheitsanforderungen zur Zugbildung/-vorbereitung/-fahrt geregelt. Diese TSI betrifft die DAK insbesondere deshalb, weil die DAK das Element zur Zugbildung ist. Es muss gewährleistet sein, dass Züge (sicher) gebildet werden können. Die EVU müssen folglich die Randbedingungen für den Einsatz der DAK kennen. Ein Rettungskonzept für havarierte Fahrzeuge muss entwickelt werden. Es braucht folglich Rettungs-/Abschleppkupplungen und entsprechende Fahrzeuge (Abschnitt 4.2.3.6.3).

Diese TSI ist vor allem für die Digitalisierungsanwendungen im Anschluss der DAK Migration maßgeblich. Dies betrifft z.B. die Zugschlusserkennung/-signalisierung, Wagenreihung und vieles mehr.

6.2.4 Nationale Gesetze in Deutschland

In Deutschland gibt es eine Vielzahl von Gesetzen, die den Eisenbahnverkehr regeln. Eines der grundlegenden Gesetze ist das Allgemeine Eisenbahn Gesetz (AEG). Es setzt den Rechtsrahmen, u.a. für den sicheren Bahnbetrieb, die Aufsicht und die Verwaltung von Betriebserlaubnissen und ist die Ermächtigungsgrundlage für weitere Eisenbahngesetze.

Ein weiteres grundlegendes Gesetz ist die Eisenbahnbau- und Betriebsordnung (EBO). Diese regelt die Mindestanforderungen zur Gewährleistung der Sicherheit im Eisenbahnbetrieb. Folgende Paragraphen betreffen die DAK:

▪ **§ 23 Bremsen**

„Eine durchgehende Bremse ist selbsttätig, wenn sie bei jeder unbeabsichtigten Unterbrechung der Bremsleitung wirksam wird“. Dies ist unabhängig vom Gesetzescharakter eine elementare Anforderung für eine (D)AK vom Typ ≥ 2 .

▪ **§ 24 Zug- und Stoßeinrichtungen**

„Die Fahrzeuge sind in der Regel mit Schraubenkupplungen und Puffern nach Anlage 10 zu versehen; andere Zug- und Stoßeinrichtungen sind an Fahrzeugen für besondere Zwecke zulässig“. Der exakte Umgang mit diesem Paragraphen ist zu klären bzw. die Aktualität nach Einführung einer DAK zu prüfen. Dadurch, dass es in Deutschland und Europa bereits einige Verkehre mit automatischen Kupplungen gibt, sind keine Konsequenzen für den großflächigen Einsatz einer DAK zu erwarten.

▪ **§ 25 Freie Räume und Bauteile an den Fahrzeugenden**

„Die Fahrzeuge müssen so gestaltet sein, dass ein gefahrloses Kuppeln möglich ist. Die dafür erforderlichen Räume (Anlage 11) müssen bei Fahrzeugen mit Schraubenkupplungen und Seitenpuffern von festen Teilen frei sein, [...]“.

Für das Rangierpersonal ist der freie Raum am Fahrzeugende, der sog. „Berner-Raum“, heutzutage essenziell, da zum Kuppeln der Fahrzeuge zwischen die Fahrzeuge getreten werden muss. Mit der Einführung der DAK wird dies obsolet. Während der Migrationsphase ist dies jedoch ein gewichtiger Aspekt für eine Hybridkupplung. Eine Hybridkupplung ermöglicht es, sowohl die DAK als auch die SK zu kuppeln. Aufgrund der Abmessungen des Kupplungskopfes ist der Berner-Raum eingeschränkt und die Arbeitsbedingungen für das Rangierpersonal sind erschwert. Insgesamt steht dies der Migration nicht entgegen, denn es existiert bereits eine Lösung für die „C-AKv“ in Deutschland.

Zusätzlich zur EBO und dem AEG gibt es noch die Eisenbahn-Inbetriebnahme-genehmigungsverordnung (EIGV), welche die Anwendungsfälle der europäischen TSI regelt. Die EIGV gilt neben Neuzulassungen auch für die Nachrüstungen an Bestandsfahrzeugen. Gemäß EIGV fallen Güterwagen und Lokomotiven in der Regel immer in den Anwendungsbereich der TSI. Für den Einbau der DAK bzw. für die Umrüstung von der SK auf die DAK sind folglich die Anforderungen gemäß TSI maßgeblich.

6.3 Wichtige Normen und Regelwerke

In Abbildung 46 sind identifizierte Normen und Regelwerke mit Bezug zur DAK aufgelistet. Viele bekommen durch die Nennung in der TSI Gesetzescharakter. Für andere Aspekte gibt es bisher keine Normen, sondern nur UIC-Merkblätter.

Abbildung 46: Übersicht über die Anforderungen und Normen mit Relevanz für die DAK

Merkmal	Normen	Sonstige
Energieverzehr\Crash - Anforderungen	EN 15227 EN 15551	UIC 524, UIC 530
Zug-\Druckkräfte	EN 12663 EN 15551, EN 15566	UIC 524
Umgebungsbedingungen	EN 50125-1	
EMV		ERA/ERTMS/033281 rev. 4.0
Schutz vor Risiken durch Elektrizität	EN 50153	
Isolationskoordination	EN 50124-1	
Entgleisungssicherheit	EN 15839	
Brandschutz	EN 45545, EN 50355, EN 50343	
Betriebliche Handhabung	EN 16019*	UIC 522, UIC 535-2
Schnittstelle Fahrzeug		UIC 530-1
Kuppelgeschwindigkeit	EN 12663**	
Luftleitungsdurchmesser		TSI WAG Anhang C
Auslenkwinkel		UIC 530-1
Greifbereich		UIC 522, 530-1/-2
Gefahrgut		RID, ATEX

Verpflichtend gemäß TSI	Kein TSI Bezug	* nur für Typ 10	**indirekt aus der Norm abgeleitet
-------------------------	----------------	------------------	------------------------------------

Quelle: TU Berlin

6.4 Gefahrgutanforderungen

Einen wesentlichen Bestandteil des SGV macht der Transport von Gefahrgütern aus. Für die Gewährleistung eines Mindestsicherheitsniveaus entlang der ganzen Transportkette müssen Maßnahmen bzgl. der Transportsicherheit, aber auch bzgl. der Produkt- und Betriebssicherheit umgesetzt werden.

Die Transportsicherheit beschreibt die Sicherheit eines Gefahrguttransportes zwischen der Start- und der Zieldestination. Die Produkt- und Betriebssicherheit regelt die Anforderungen an explosionsgefährdete Zonen in Betrieben sowie die Anforderungen an Produkte, die in diesen Zonen eingesetzt werden dürfen.

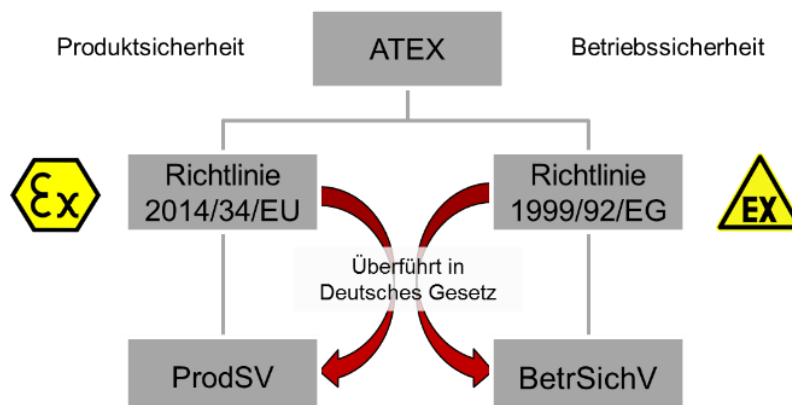
Die Transportsicherheit wird in Deutschland verkehrsträgerübergreifend für die innerstaatliche und grenzüberschreitende Beförderung gefährlicher Güter durch die „*Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt*“ (GGVSEB) geregelt.

Die GGVSEB basiert auf der Richtlinie 2018/217/EU. In der GGVSEB wird auf die folgenden verkehrsspezifischen Regelwerke verwiesen:

- RID⁶²: Schiene,
- ADR: Straße,
- ADN: Binnengewässer.

Für die Gewährleistung der Produkt- und Betriebssicherheit gibt es die ATEX⁶³-Richtlinien⁶⁴. Alles was die Produktsicherheit betrifft, wird in der europäischen Richtlinie 2014/34/EU geregelt. Die nationale Umsetzung für Deutschland erfolgt durch das „*Produktsicherheitsgesetz und Verordnungen*“ (ProdSV). Die Betriebssicherheit betreffende Angelegenheiten regelt die EU-Richtlinie 1999/92/EG, welche durch die „*Verordnung über Sicherheit und Gesundheitsschutz bei der Verwendung von Arbeitsmitteln*“ oder im Kurztitel „*Betriebssicherheitsverordnung*“ (BetrSichV) in deutsches Recht überführt ist (vgl. Abbildung 47).

Abbildung 47: Übersicht der Gefahrgutregelungen in der EU für Produkte und die Betriebssicherheit



Quelle: TU Berlin

⁶² Règlement concernant le transport international ferroviaire des marchandises dangereuses.

⁶³ Atmosphères explosibles.

⁶⁴ Produktsicherheit RIL 2014/34/EU, Betriebssicherheit RIL 1999/92/EG.

Verantwortliche Stellen für die Umsetzung und Anwendung der ATEX-Richtlinien in Deutschland sind u.a. die Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung, die Physikalisch-Technische Bundesanstalt und auf EU-Ebene das „European Committee for Standardization“, kurz CEN.

Diese drei Regelwerke bilden den rechtlichen Rahmen für Gefahrguttransporte in Europa, woraus sich die Anforderungen einer DAK ergeben, sofern diese bei Wagen zum Transport von Gefahrgut verbaut werden soll.

RID

Das Regelwerk für den Transport von Gefahrgut auf der Schiene, also für die Transportsicherheit, ist das RID. Darin werden die Anforderungen an die passive Sicherheit zum Schutz des Tanks bzw. Kessels definiert. In Abhängigkeit der Gefahrenklassen der zu transportierenden Stoffe sind unterschiedliche Maßnahmen zur Gefahrenabwehr vorgeschrieben. Als konkrete Gefahren werden Unfälle, Entgleisungen und Auflaufstöße genannt. Abwehrmaßnahmen können Energieverzehrelemente, Tankschutzschilder, die Einhaltung von Sicherheitsabständen zwischen Kopfträger zum Tank und insbesondere der Überpufferungsschutz bilden. Das Ziel des Überpufferungsschutzes ist es, im Falle eines Unfalls, die Untergestelle möglichst auf einer Ebene zu halten und ein Abheben der Wagen zu vermeiden. Es wird angenommen, dass eine AK das Risiko des Abhebens reduziert und somit einen positiven Einfluss auf die Sicherheit hat. Bei der Auslegung der AK muss beachtet werden, dass diese im Falle eines Unfalls abgeschert wird und nicht wie ein Dorn auf den Kesselwagen wirken kann. Konkret wird für die AK am Kesselwagen folgendes in der RID gefordert:

- **Energieaufnahme von mindestens 70 kJ je Wagenende**

Die ist eine allgemeine Mindestanforderung und entspricht dem gängigen Energieaufnahmevermögen der heutigen Seitenpuffer (siehe Abschnitt 6.8.3.1.6).

- **Energieaufnahme von mindestens 130 kJ je Wagenende**

Anforderung an Kesselwagen mit AK, die für den Transport von Flüssigkeiten und Gasen vorgesehen sind (siehe RID Sondervorschrift TE 22).

- **Wanderschutzeinrichtungen/Schutzschild an jedem Wagenende**

Zusätzlich zu der Sondervorschrift TE 22 müssen die AK mit Wanderschutzeinrichtungen ausgerüstet sein, damit die Kupplungen nicht ungewollt entkuppeln.⁶⁵ Des Weiteren wird ein Schutzschild zum Schutz des Tankbodens gefordert (siehe RID Sondervorschrift TE 25).

Die Energieaufnahme durch plastische Verformungen darf nicht unter normalen Betriebsbedingungen erfolgen, sondern muss durch reversible Einfederungen realisiert werden.

Als Maßstab für normale Betriebsbedingungen werden Auflaufgeschwindigkeiten bis zu zwölf Kilometer pro Stunde und Einzelpufferkraft von bis 1500 kN für das heutige System genannt. Inwiefern dies auf die AK übertragbar ist, muss geprüft werden.

Elektrische Ausrüstungen bei Gefahrgutwagen werden, im Gegensatz zu den anderen Verkehrsträgern, noch nicht bei der RID berücksichtigt. Hierbei gilt es gemeinsam mit den

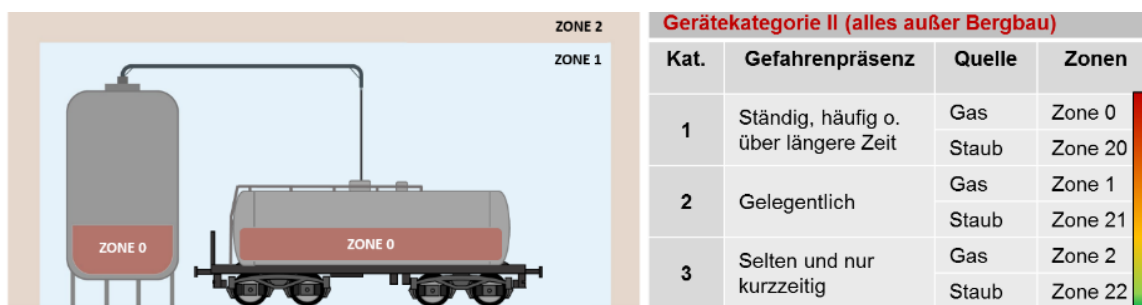
⁶⁵ Nicht näher in der RID benannt. Dies gilt vermutlich nur für nicht-starre Kupplungen, da die Kupplungen auseinandergleiten können, mehr Informationen vgl. Kapitel 3.2.1. zur Janney-Kupplung („Bottom/Top-Shelf“).

Regelwerksverantwortlichen zu klären, wie mit einer Stromleitung und elektrischen Geräten umzugehen ist, und wie ggf. die RID aktualisiert werden kann. Die RID wird alle zwei Jahre neu herausgegeben.

ATEX

Die ATEX-Richtlinien gewährleisten die Produkt- und Betriebssicherheit. Darin enthalten sind neben den Anforderungen für die Einfahrt in explosionsgefährdete Bereiche auch die Definition der Gefahrenzonen an sich. Außerdem werden die Gerätekategorien, welche die Gerätegruppen und Sicherheitsklassen zusammenführen, in Abhängigkeit der potenziellen Explosionsgefahr definiert. Die Unterscheidung von Gefahren durch explosive Atmosphären erfolgt dabei aufgrund von Staub oder Gas. Weitere anerkannte und umfassende „ex-Schutz“ Anforderungen an elektrische Komponenten sind in der IEC-Normreihe 60079 ausgeführt. Aus dieser Normreihe müssen die Anforderungen für die DAK und anderer elektrischer Komponenten abgeleitet werden. Ein Beispiel für Gefahrenzonen im Zusammenhang von Güterwagen mit Gefahrgut liefert Abbildung 48.

Abbildung 48: Gefahrenzonen bei Güterwagen mit Gefahrgut am Beispiel Kesselwagen Befüllung



Quelle: ecom-ex.com, angepasst

Bei diesem Beispiel handelt es sich um eine Kesselwagenbefüllung in der Gerätekategorie II. In diese Kategorie fällt grundsätzlich alles, was nicht Bergbau ist. Abhängig von der Gefahrenpräsenz, die von selten und nur kurzzeitig über gelegentlich bis hin zu ständig, häufig oder über längere Zeit reicht, erfolgt die Einstufung in die Kategorie 1, 2 oder 3. Dabei entspricht die gefährlichste Kategorie 1 den Zonen 0 bei Gas oder 20 bei Staub als explosiver Atmosphäre. Diese Zone ist der Bereich innerhalb des Kessels bzw. des Vorratsbehälters zur Befüllung des Wagens. Kategorie 2 bzw. Zone 1 oder 21 mit gelegentlicher Gefahrenpräsenz schließt den direkten Bereich um den Wagen und die Verladeeinrichtung ein. Das weitere Umfeld bildet schließlich Kategorie 3 bzw. Zone 2 oder 22 mit nur noch niedriger Gefahrenpräsenz. Diese Zonen sind insofern relevant, als dass ein Wagen die dafür vorgeschriebenen Voraussetzungen zur Einfahrt erfüllen muss, was auch die AK miteinschließt.

7. Sicherstellung einer Kompatibilität unterschiedlicher AK-Typen

In Kapitel 3.1.1. wurde eine Übersicht über den Funktionsumfang der unterschiedlichen AK-Typen gegeben. Der Automatisierungsgrad beim Kuppelvorgang reicht dabei von lediglich einer mechanischen Verbindung bei Typ 1 bis hin zur automatischen Verbindung von Hauptluftleitung, Stromleitung und Datenleitung bei Typ 4. Eine DAK Typ 5 ermöglicht das automatische Entkuppeln.

Dieses Kapitel zeigt zum einen denkbare AK-Mischsysteme, die damit verbundenen Herausforderungen sowie Abhilfen auf, um die Funktionalitäten der Kupplung bzw. der davon abhängigen Systeme zu gewährleisten. Zum anderen gibt das Kapitel durch diese Betrachtungsweise einen Überblick der Komplexität von Mischverkehren. Unterschiedliche AK sind aus betrieblicher Sicht und auch für eine barrierefreie Nutzung von Digitalisierungsanwendungen grundsätzlich zu vermeiden.

7.1 Mögliche Varianten von Mischbetrieb in Europa

Grundsätzlich ist es denkbar, dass sich in Europa Automatische Kupplungen aller Typen etablieren. Im Rahmen der Untersuchung wird dennoch angenommen, dass der Typ 1 aufgrund des verbleibenden Kuppelaufwandes wegen der obligatorischen HLL nahezu keine Verbreitung findet. Folgende AK Typen wurden in die Untersuchung des Mischbetriebes miteinbezogen:

- Typ 2: Mechanisch (M) + Pneumatisch (P);
- Typ 3: M + P + Stromleitung E;
- Typ 4: M + P + E + Datenleitung (D);
- Typ 5: M + P + E + D + automatisches Entkuppeln.

Ein Zug könnte dann beispielweise wie in Abbildung 49 dargestellt aussehen.

Abbildung 49: Beispiel für Güterzüge mit unterschiedlichen AK Typen



Quelle: TU Berlin

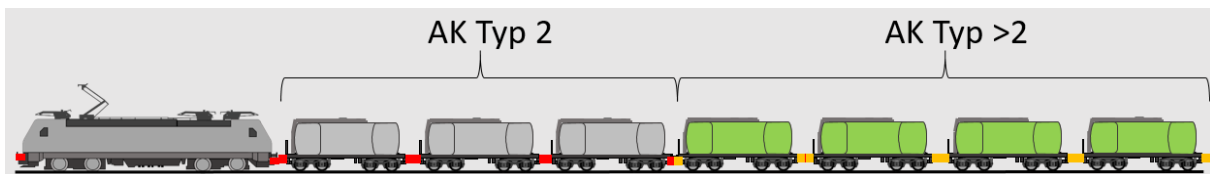
Aus diesem Grund müssen die Anforderungen für einen Mischbetrieb hinsichtlich der Kompatibilität zwischen den verschiedenen AK-Typen definiert werden. Dabei muss in erster Linie die Zugbildung, also die mechanische und pneumatische Verbindung, unabhängig vom Automatisierungsgrad uneingeschränkt möglich sein. Ein Mischbetrieb wird dabei mit gewissen Einschränkungen für die Nutzbarkeit von Automatisierungsfunktionen zwangsweise einhergehen. Diese lassen sich nicht vermeiden und müssen folglich bei Mischbetrieb in Kauf genommen werden, d.h. die Funktionalität verringert sich auf die des einfachsten (D)AK-Typs.

Des Weiteren sind Rückfallebenen zu berücksichtigen. Technische oder betriebliche Zusatzmaßnahmen für den Mischbetrieb sind, wenn immer möglich, zu vermeiden. D.h., besondere Maßnahmen kommen nur in Frage, wenn sicherheitsrelevante Funktionen auf den

Wagen eine elektrische Leitung oder Datenanbindung benötigen, da die Kupplung an sich nicht auf eine solche Anbindung zur Funktionserfüllung angewiesen ist. Technische Maßnahmen können z.B. eine autonome Stromversorgung oder eine Funklösung sein. Betriebliche Maßnahmen sind z.B. den entsprechenden Wagen aussetzen oder den Zug aufzuteilen. Die Verfahrensweise für die einzelnen Fälle ist im Betriebsregelwerk festzulegen. Wie die Verfahrensweisen aussehen können, veranschaulichen die beiden folgenden Beispiele.

Mischbetrieb Beispiel 1: Vorderer Zugteil mit niedrigerem AK Typ

Abbildung 50: Mischbetrieb Beispiel 1

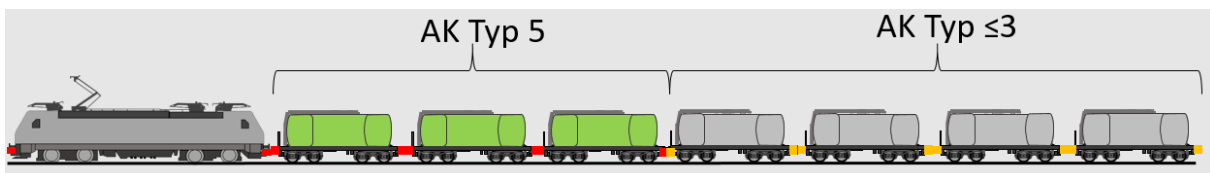


Quelle: TU Berlin

Bei diesem Beispiel hat der vordere Zugteil einen niedrigeren AK Typ als der hintere Zugteil, der gesamte Zugverband ist nicht mit der Strom- und/oder Datenleitung verbunden (vgl. Abbildung 50). Als Folge kann die Wagengruppe höherer Automatisierung ihr Potenzial nicht nutzen. Somit sind entweder alternative Maßnahmen notwendig oder die Rückfallebene im „Typ 2“ Modus ist zu nutzen. Im Fall der Rückfallebene ist der Zug betrieblich ein Zug mit „AK Typ 2“.

Mischbetrieb Beispiel 2: Hinterer Zugteil mit niedrigerem AK Typ

Abbildung 51: Mischbetrieb Beispiel 2



Quelle: TU Berlin

Bei diesem Beispiel hat der vordere Zugteil einen höheren AK Typ als der hintere Zugteil. Die vordere Wagengruppe könnte Automatisierungsfunktionen nutzen, dabei aber potenziell fehlerhafte Aussagen produzieren (vgl. Abbildung 51). Kritisch ist es, wenn z.B. die Wagenliste digital erstellt wird, da in dem Fall die letzte digitale Kupplung (bei diesem Beispiel hinter dem dritten grünen Wagen) nicht dem letzten Wagen im Zugverband entspricht. Die DAK müsste eigentlich auch die mechanische Verbindung prüfen, die rein mechanisch verbundenen hinteren Wagen liefern allerdings kein dafür notwendiges Signal. Daraus resultiert die Annahme, dass ein Mischbetrieb auf diese Weise unzulässig ist. Ob zulässige Ausnahmen existieren, ist zu überprüfen.

7.2 Fallunterscheidungen für Mischbetrieb ohne Abhilfemaßnahmen

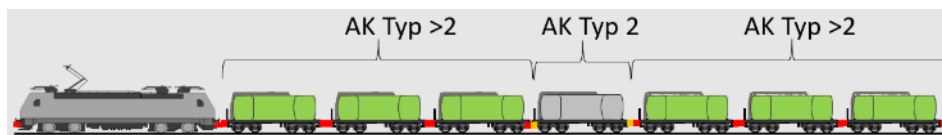
Aus den beiden Beispielen des vorherigen Abschnittes wird ersichtlich, dass nicht nur die Kombination der AK Typen 2 bis 5 innerhalb eines Zugverbandes von Bedeutung ist, sondern auch an welcher Position ein Wagen mit einem niedrigen AK Typ eingereiht ist. In diesem Abschnitt werden die Konsequenzen von Mischbetrieben bzgl. der Funktionalität aufgezeigt. Bei der Betrachtung unterbrechen AK vom Typ 2, Typ 3 oder Typ 4 die Übertragung von Daten, Strom und/oder Fernlösesignalen der AK höheren Typs. Obwohl die folgenden Anwendungsfälle auf Güterwagen bezogen sind, können diese gleichermaßen auf die Tzf übertragen werden.

7.2.1 Fall 1: Kombination von AK Typ 3/4/5 + AK Typ 2

In diesem Fall befindet sich mindestens ein Wagen mit einer AK Typ 2 im Zugverband zwischen Wagen eines höheren AK Typs (vgl. Abbildung 52).

Als Folge ist die Strom- und Datenverbindung (falls Typ 4/5) unterbrochen. Der Zugverband verkehrt als „AK Typ 2 Zug“. Das bedeutet, die Stromleitung muss abgeschaltet und die Datenverbindung inaktiv sein. Eine Fernsteuerung einer AK Typ 5 ist nicht möglich.

Abbildung 52: Fall 1: Kombination von AK Typ 3/4/5 + AK Typ 2



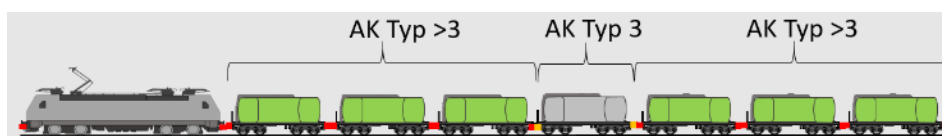
Quelle: TU Berlin

7.2.2 Fall 2: Kombination von AK Typ 4/5 + AK Typ 3

In diesem Fall befindet sich mindestens ein Wagen mit einer AK Typ 3 im Zugverband zwischen Wagen eines höheren AK Typs (vgl. Abbildung 53).

Als Folge ist die Datenverbindung unterbrochen. Der Zugverband verkehrt als „AK Typ 3 Zug“. Das bedeutet die Datenverbindung muss inaktiv sein, eine Fernsteuerung einer AK Typ 5 ist nicht möglich.

Abbildung 53: Fall 2: Kombination von AK Typ 4/5 + AK Typ 3

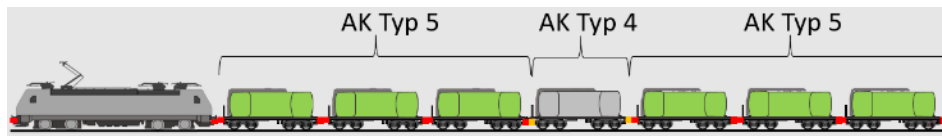


Quelle: TU Berlin

7.2.3 Fall 3: Kombination von AK Typ 5 + AK Typ 4

In diesem Fall befindet sich mindestens ein Wagen mit einer AK Typ 4 im Zugverband zwischen Wagen eines AK Typ 5 (vgl. Abbildung 54).

Abbildung 54: Fall 3: Kombination von AK Typ 5 + AK Typ 4



Quelle: TU Berlin

Die Folgen sind in der Theorie vergleichsweise gering. An allen Kuppelstellen mit mindestens einer AK Typ 5 ist ein selektives Entkuppeln des/der betreffenden Wagens/ -gruppe möglich.⁶⁶ Der Zugverband könnte als Gemischtzug mit Typ 4 und Typ 5 Wagengruppen verkehren. Hier muss im Betriebsregelwerk geklärt werden, wie mit der Situation umzugehen ist.

7.3 Technische Bedingungen

Um die Kompatibilität zwischen den unterschiedlichen AK-Typen zu gewährleisten und die Zusatzmaßnahmen für den Mischbetrieb zu minimieren, sollten die nachfolgenden vier Punkte in jedem Fall sichergestellt sein.

- **Abwärtskompatibilität**

Jede DAK muss als Rückfallebene eine AK Typ 2 darstellen, d.h. primär, eine mechanische und pneumatische Verbindung sicherstellen und dabei manuell von außen bedienbar sein. Der Kuppelzustand sollte von außen erkennbar sein.

- **Unabhängigkeit der (physikalischen) Schnittstellen**

Die Schnittstellen müssen unabhängig und typübergreifend für alle bei der AK-relevanten Verbindungen definiert werden. Das gilt folglich für die mechanische und pneumatische Verbindung bei Typ 2, die zusätzliche Stromverbindung bei Typ 3, die zusätzliche Datenverbindung bei Typ 4 und höher sowie das Protokoll bei Typ 5.

- **Normung und hohe Qualitätsstandards**

Wichtig ist die Vermeidung von Inkompatibilitäten zwischen Herstellern, auch gleichen DAK Typs. Daher ist eine Normung unter Berücksichtigung hoher Qualitätsstandards unbedingt erforderlich, alle mechanischen, pneumatischen, elektrischen und Datenverbindungen (M+P+E+D) müssen einheitlichen Standards entsprechen.

- **Softwareabhängigkeiten**

Zunächst ist im Fall von geplanten Softwareaktualisierungen immer erst die Frage zu beantworten, aus welchem Grund ein Update erfolgen soll und ob dieses wirklich notwendig ist, bevor es installiert wird. Sollte die Notwendigkeit bestehen, müssen höhere Softwareversionen abwärtskompatibel sein.

⁶⁶ In Abhängigkeit der zukünftigen Kupplung, Ausnahme Schwab AK vgl. Kapitel 3.2.4.

7.4 Betriebliche Bedingungen

Neben den technischen Bedingungen sind auch der Umgang mit Mischverkehren aus betrieblicher Sicht zu beleuchten und entsprechende Standards zu definieren.

▪ Informationsfluss

Der Triebfahrzeugführer muss wissen, ob Mischbetrieb vorliegt oder nicht. Dazu ist eine entsprechende Dokumentation über die im Zugverband befindlichen Kupplungstypen, z.B. in der Wagenliste oder als Anschrift am Wagen, notwendig. Außerdem muss zu jedem Zeitpunkt die Durchgängigkeit der elektrischen und Datenleitung mittels Statusinformationen im Führerstand angezeigt werden.

▪ Einheitliche Regelungen für den Mischbetrieb

Die Verfahrensweise für den Mischbetrieb und auch für Rückfallebenen muss eindeutig in den Regelwerken festgehalten werden. Sofern Abhilfen notwendig sind, sind die anzuwendenden Maßnahmen abhängig vom Automatisierungsgrad zum einen des betreffenden Wagens (z.B. ep-Bremse, Zugschluss) und zum anderen des betrieblichen Umfeldes (z.B. Bremsprobe, Wagentechnische Untersuchung).

7.5 Typ 5 – Readiness

Die Grundidee des digitalen automatischen Kupplungssystems für den Schienengüterverkehr ist die Existenz einer Basiskupplung, welche mit fünf Ausbaustufen im Sinne der Automatisierungsgrade (Typ 1 bis Typ 5) genutzt werden kann. Dazu sind einige Anforderungen zu erfüllen.

Der erforderliche Bauraum und die Schnittstellen für die Aktorik müssen vorgesehen werden.

Die Strom- oder Druckluftversorgung der Aktorik für die Entkupplungsfunktion muss gewährleistet sein, was insbesondere im abgestellten Fall eine Herausforderung darstellt, da Wagen im Gegensatz zu Tfz oftmals längere Zeit ohne entsprechende externe Versorgung abgestellt werden.

Routinen bzw. Rechte für Ent-/Kuppelgenehmigungen müssen entwickelt werden. Der Umgang mit Remotezugriff seitens der Infrastruktur muss geklärt werden und letztlich Anforderungen an die Cybersicherheit definiert werden.

8. Fazit

Im Zuge der Beschreibung des aktuellen Stands der Technik wird auf die weltweite Verteilung automatischer Kupplungssysteme und deren Einführungshistorie eingegangen. Am Beispiel der USA, Japans und Australiens wird deutlich, dass eine Migration große personelle und finanzielle Anstrengungen des Sektors erforderte. Die Einführung einer AK wurde in der Regel durch den Staat über verbindliche Gesetze gefordert und dadurch gefördert.

Die Nomenklatur des TIS mit fünf Automatisierungsgraden (von Typ 1 mit rein mechanischer Verbindung bis zu Typ 5 mit Kuppeln von Strom und Datenleitung sowie Fernentriegelung) wurde aufgegriffen und in den internationalen Kontext gesetzt. Die Analyse der AK des SGV ergibt, dass weltweit keine vergleichbaren Ansätze zur Einführung einer DAK existieren. Die bestehenden Systeme der Janney- und SA3-Kupplung stellen allein die mechanische Verbindung (Typ 1) her. Selbst wenn, wie im Fall von Australien, mehr als 10.000 Wagen mit einer elektro-pneumatischen Bremse ausgestattet sind, werden die Strom-/Datenleitung sowie die HLL weiterhin manuell gekuppelt. Die aufwändige Automatisierbarkeit dieser Systeme vor allem aus Gründen der Mechanik (Verschleiß, spielbehaftet) ist der Grund dafür.

Ein direkter Sprung von der SK auf eine DAK Typ 4 (automatische mechanische + HLL + Strom- + Datenverbindung) wurde vorgeschlagen, um die Digitalisierung des SGV in einem realistischen Zeitfenster zu ermöglichen. Die Herausforderungen zur Entwicklung einer DAK Typ 5 wurde als zu langwierig eingeschätzt.

Parallel zu den etablierten SGV-Kupplungen werden die Scharfenberg- und Schwab-Kupplungen aufgrund deren Automatisierungs- und Gewichtseinsparungspotentials, vorgestellt und verglichen. Diese werden derzeit aktiv an den europäischen SGV angepasst und werden als Option für Europa in Betracht gezogen. Eine wesentliche Herausforderung im Vorfeld der Auswahl eines Kupplungsprofils ist die Definition von Anforderungen. Diese sind noch nicht exakt definiert. Dies betrifft vor allem das Betriebskonzept bzgl. des Greifbereiches, der Vorauslenkbarkeit, der Pufferstellung und des HLL-Verhaltens bei Entriegelung.

Hier wird empfohlen, die Auslegungsgrundlagen bzgl. der Festigkeit und der Ausführung des Federapparates an die heutigen Ansprüche anzupassen. Diese basieren bisher auf den Erfahrungen aus den 1960er/70er Jahren.

Diese Fragen sollten im Vorfeld der Standardisierung geklärt werden, damit eine maßgeschneiderte Kupplung für Europa entwickelt bzw. ausgewählt werden kann. Es stellt sich hierbei deutlich heraus, dass die Entscheidung für ein Kupplungsprofil unabhängig vom Federapparat getätigt werden muss. Dies sollte in zukünftigen Versuchen berücksichtigt werden. Eine Entscheidung für eine Kupplung kann aufgrund der sehr hohen Zuverlässigkeitsanforderungen nur durch umfassende Tests mit gewissenhaft abgewogenen Szenarien, wie sie derzeit in Planung sind, getroffen werden. Kommerzielle Pilotverkehre unter realen Bedingungen, analog zum Binnen-KV der SBB Cargo, sind zusätzlich zu empfehlen, um eventuelle Nachbesserungen zu ermöglichen.

Für den Transport von Gefahrgut wird im Zuge der RID-Revision 2021 vorgeschlagen, die DAK und potenzielle elektrische Verbraucher zu berücksichtigen. Die Anforderungen an die elektrischen Verbraucher lassen sich bereits heute aus den ATEX-Richtlinien ableiten.

Für die Zulassung von Fahrzeugen mit DAK und der DAK selbst ist die EU-Gesetzgebung maßgebend. Die DAK als Komponente steht grundsätzlich im Einklang mit den relevanten TSI (LOC&PAS, OPE, WAG). Der praktikabelste Weg ist es, die DAK unabhängig vom Fahrzeug zuzulassen, analog zu den heutigen Seitenpuffern und Zughaken. Eine Zulassungsoption ist

die Etablierung der DAK als Interoperabilitätskomponente (IK) in der TSI. Dieser Prozess ist durch die ERA bereits im Zuge der TSI-Revision 2022 gestartet worden. Es wird empfohlen, mit der Entwicklung der IK neben den Schnittstellen auch die elektrischen Anforderungen abzudecken, sodass dies nicht für jeden Fahrzeugtyp erneut erfolgen muss. Die Zulassung von Neufahrzeugen mit DAK funktioniert dann analog zu den SK-Fahrzeugen. Gemäß den EU-Verordnungen müssen Bestandsfahrzeuge erneut zugelassen werden. Dies sollte aufgrund des damit verbundenen Mehraufwandes dringend vermieden werden. Es ist davon auszugehen, dass eine Vielzahl von Nachweisen für die Bestandswagen nicht mehr vorhanden oder nicht nachweislich dokumentiert worden sind. Intensive Gespräche mit der ERA und Nationalen Sicherheitsbehörden sind zur Findung einer Lösung notwendig, damit die Migration der DAK gelingen kann.

Literaturverzeichnis

- [1] *Sünderhauf, B.*: Die Automatische Mittelpufferkupplung (AK) – Kosten-Nutzen-Analyse. ALTAPLAN LEASING GmbH, Grünstadt Ausgabe April 2009.
- [2] *Hagenlocher, S.*: Automatische Kupplungssysteme im Schienengüterverkehr - eine Übersicht – im Auftrag der SBB Cargo AG, Basel. hwh Gesellschaft für Transport- und Unternehmensberatung mbH, Karlsruhe Ausgabe Februar 2015.
- [3] *Stuhr, H.J.*: Untersuchung von Einsatzszenarien einer automatischen Mittelpufferkupplung. Berlin, Technischen Universität Berlin, Dissertation, 2013.
- [4] *Töpfer, K.; Richter, B.; Otto, J. et al. (Hrsg.)*: Grundausrüstungen – Schienenfahrzeugtechnik. Ingenieurschule für Verkehrstechnik "Erwin Kramer" Dresden. transpress VEB Verlag für Verkehrswesen, Dresden, 1983.
- [5] Bundesministeriums für Verkehr, Bau und Stadtentwicklung: Automatische Mittelpufferkupplung im Eisenbahngüterverkehr – Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Dr. Anton Hofreiter, Stephan Kühn, Winfried Hermann, weiterer Abgeordneter und der Fraktion Ausgabe Januar 2011.
- [6] *Bartling, F.-P.; Bensch, J.; Driesel, M. et al.*: Einsatz der Transpact Mittelpuffer-Kupplung (C-AKv) im Kohleverkehr. In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau (2006), Heft 9, S. 594-598.
- [7] Shu-Ling Chen; JaganJeevan; Stephen Cahoon: Malaysian Container Seaport-Hinterland Connectivity: Status, Challenges and Strategies Ausgabe September 2016.
- [8] By Ko Jae: Korail completes trial operation of Korea's longest freight train, 2017, <https://pulsenews.co.kr/view.php?year=2017&no=333026> [Zugriff am: 25.04.2020].
- [9] REB: Guide to coupler and draft gear systems for freight cars, Freight car maintenance series, Railway Educational Bureau, Omaha, Neb., 2000.
- [10] *Hoffmann, E.*: Zulassungsversuche mit der automatischen Zugkupplung (Z-AK). In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau (2000), Heft 4, S. 222-230.
- [11] *Chatterjee, B.; Hetterscheidt, B.; Bensch, J.*: Das SAB WABCO C-AKv-Güterwagenkupplung bei der SNCF. In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 51 (2002), Heft 4, S. 207-211.
- [12] *Sachs, K.*: Elektrische Triebfahrzeuge – Ein Handbuch f. d. Praxis sowie f. Studierende in 3 Bden. Springer, Wien, New York, 1973.
- [13] Voith: Technische Daten CargoFlex Typ Scharfenberg, 2019.
- [14] Dellner: TIS group 2nd April 2020 Ausgabe April 2020.
- [15] *Schröder, E.*: Die selbsttätige Mittelpufferkupplung für Eisenbahnfahrzeuge. In: VDI Zeitschrift 84 (1940), Heft 42, S. 797-804.
- [16] UIC: UIC-Kodex 530-1 - Konstruktive Maßnahmen an Güterwagen im Hinblick auf die Einführung der automatischen Kupplung bei den Mitgliedsbahnen der UIC und bei den Mitgliedsbahnen der OSShD, o. O. Ausgabe April 1982.
- [17] *Minde, F.; Witte, S.*: FEBIS: Kommunikationsbasierte elektronisch gesteuerte Bremsen. In: ETR - Eisenbahntechnische Rundschau 50/2001, 50/2001.

- [18] *Hecht, M.; Gülker, M.; Jobstfinke, D.*: Güterzüge mit ep-Bremse und ETCS: Höhere Geschwindigkeiten, weniger Verschleiß. *In: ZEVrail 143*, 2019, 143.
- [19] Booz; Allen; Hamilton: Federal Railroad Administration ECP Brake System for Freight Service Ausgabe August 2006.
- [20] *Jackson, C.* Australia: Automated operation is paying off [online]. *In: Railway Gazette International 2019*, 2019, 2019 [Zugriff am: 03.03.2020], <https://www.railwaygazette.com/in-depth/australia-automated-operation-is-paying-off/55151.article>.
- [21] TU Berlin; RWTH Aachen; SCI Verkehr *et al.*: Technologiescreening – Aufbau und Erprobung von Innovativen Güterwagen Ausgabe 2016.
- [22] *Dalichow, U.; Dürr, K.; Fischer, K. et al.*: Rangierdienst A-Z. Transpress VEB Verlag f. Verkehrswesen, Berlin, 1980.
- [23] UIC: UIC-Kodex 530-2 – 6. Ausgabe Ausgabe Oktober 2008.
- [24] *Hecht, M.; Hofstetter, S.; Palinko, M.*: Potenzial der Widerstandsoptimierung von Güterwagen. *In: ZEVrail 143*, 2019, 143.
- [25] *Martin, U.*: Umfassende Einführung der Mittelpufferkupplung – Perspektiven für Eisenbahninfrastrukturunternehmen. Books on Demand GmbH, Neues verkehrswissenschaftliches Journal Heft 13, Books on Demand, Norderstedt, 2015.
- [26] *Fumasoli, T.*: Die automatische Kupplung im Einzelwagenladungsverkehr der Schweiz. Masterarbeit. IVT Institut für Verkehrsplanung und Transportsysteme, Zürich Ausgabe 2010.
- [27] *Bruckmann, D.; Fumasoli, T.; Mancera, A.*: Innovationen im alpenquerenden Güterverkehr. Schlussbericht August 2014. Eidgenössische Technische Hochschule Zürich Ausgabe August 2014.
- [28] *Bensch, J.; Chatterjee, B.*: Steigerung der Sicherheit im Eisenbahn-Güterverkehr bei Einsatz der vereinfachten kompakten automatischen Mittelpufferkupplung. *In: ZEVrail Glas. Ann. 123*, 1999.
- [29] *Funke, U.*: Development of Functional Requirements for Sustainable and Attractive European Rail – D5.1 – State of the Art on Automatic Couplers. Shift2Rail Ausgabe März 2017.

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Weltweite Verbreitung von Kupplungssystemen	8
Abbildung 2: Entwicklung der Sicherheit mit Einführung der AK in den USA	9
Abbildung 3: Umrüstung einer japanischen Lokomotive von der SK auf AK-Typ „Janney“	10
Abbildung 4: Verfahren für den Mischbetrieb in Iran	10
Abbildung 5: Übersicht über den Einsatz von AK in Europa	11
Abbildung 6: Von links nach rechts: SA3-Kupplung mit Rangieradapter für SK hochgeklappt und im Eingriff im Zughaken der SK, „SA3“ mit eingehängten SK-Adapter und „SA3“ mit zusätzlichem Horn (rot eingekreist) auf der linken Seite zum Einhängen der SK als Zughakenersatz	12
Abbildung 7: Nomenklatur des TIS bzgl. der Einteilung der Automatisierungslevel einer AK	15
Abbildung 8: Grundsätzliche Bauteile einer AK	16
Abbildung 9: Nicht-starre AK am Beispiel SA3-Kupplung	17
Abbildung 10: Nicht-starre (links) und starre Kupplung (rechts)	17
Abbildung 11: Funktionsweise Janney-Kupplung.....	18
Abbildung 12: Janney-Kupplung Typ E in Standardausführung (links) und für Gefahrguttransporte mit „Top shelf“ und „Bottom shelf“ (rechts)	19
Abbildung 13: Janney-Kupplung mit Überpufferungsschutz (links), vollautomatischer Typ F (mi.) und Buckeye-Kupplung aus England (rechts)	20
Abbildung 14: Kupplungsvorgang der Willison-Kupplungen.....	21
Abbildung 15: „AK69“ (oben links), „Modulare SA3“ von Voith (oben rechts), „Z-AK“ (unten links), „C-AKv“ (unten rechts)	22
Abbildung 16: Mitarbeiter entkuppelt Güterwagen mit SA3-Kupplung direkt am Kupplungskopf mit einer „Entkupplungsgabel“ in Finnland.....	23
Abbildung 17: SchaKu von Voith in Limmattal 2019 (links), DAK Typ 4 Prototyp auf der „transport logistic“ Messe in 2019 (oben rechts), Hybridkupplungen hochgeklappt (unten links) und kuppelbereit (unten rechts)	25
Abbildung 18: Entwurf der SGV-SchaKu von Dellner	25
Abbildung 19: Funktionsweise der SchaKu.....	26
Abbildung 20: Greifbereich der SchaKu Typ 10 gemäß EN 16019:2014	27
Abbildung 21: Klimakammertest der CargoFlex in Olten.....	28
Abbildung 22: Schwab-Kupplungen: SGV Ausführung im „5L“-Demonstrator aus 2018 in Muttenz im gekuppelten (links) und entkuppelten Zustand (mi.), sowie in der Vollbahnausführung (rechts).....	28
Abbildung 23: Kupplungskopf der Schwab-Kupplung	29

Abbildung 24: DAK Typ 4 Schwab-Kupplung (links), Schwab-Kopf mit rot markierten Verschleißplatten (rechts).....	30
Abbildung 25: Prototyp DAK Typ 4, „Typ 5 – Ready“ ausgestellt auf der Messe transport logistic 2019 in München	31
Abbildung 26: Schwab-Kopf in der Klimakammer in Olten.....	32
Abbildung 27: UIC-Einbauraum für die „AK69“ mit Querbalkenabstützung	35
Abbildung 28: UIC-Einbauraum für die Intermat mit Federbeinabstützung	35
Abbildung 29: Federbeinabstützung an einem Tzf mit „AK69“ (links) und skizziert am Beispiel der Intermat-Kupplung (rechts).....	37
Abbildung 30: Schema der Querbalkenabstützung (links),am Beispiel der „AK69“ (Mitte) und im Binnen-KV der Schweiz mit der SchaKu	38
Abbildung 31: Horizontale Aufhängung der Schwab DAK ohne (links) und mit UIC Einsatz (Mitte), abgeleitet von einer herkömmlichen, starren, festen Güterwagenkupplung (rechts)	39
Abbildung 32: Blick von unten auf eine eingebaute AK mit Horizontalabstützung im UIC-Bauraum	40
Abbildung 33: Veranschaulichung des gleichmäßigen Energieeintrages in die Radsätze durch den Einsatz der ep-Bremse in Güterzügen	42
Abbildung 34: ECP-Bremse der Firma NYAB (links), Steckverbindung ECP Bremse (rechts).....	43
Abbildung 35: links: Stecker der UIC-Steuerleitung gemäß UIC MB 558, rechts: Stecker des Kabels für die ep-Bremse gemäß UIC MB 541-5	43
Abbildung 36: Bedieneinrichtungen gemäß UIC MB 535-2 inkl. Stellungen (links), gekuppelte „AK69“ mit deutlich erkennbarer Bedieneinrichtung in Gelb in der Grundstellung sowie separat vorhandenen Luftabsperrhähnen mit rotem Griff (rechts).....	47
Abbildung 37: Übersicht über die Einflussparameter auf den Greifbereich von AK am Beispiel eines Güterwagens	49
Abbildung 38: UIC Einheitswagen als Basis für die Ermittlung des Greifbereiches (links), neue Güterwagen aus dem Projekt „Innovativer Güterwagen“ (Mitte, rechts)	50
Abbildung 39: Eignung der AK und additiver Technologien in Abhängigkeit für ausgewählte Industriezweige.....	55
Abbildung 40: Übersicht über die neuentwickelten Güterwagen aus dem Projekt Innovativer Güterwagen	57
Abbildung 41: Aufbau des Demonstratorzuges des Projektes Innovativer Güterwagen	58

Abbildung 42: Innovation am 5L-Demonstrator: Scheibenbremse und Radschallabsorber (oben links), AK Voith (oben rechts), AK Faiveley(unten links) und Sensorik(unten rechts)	59
Abbildung 43: Regelwerkspyramide für den internationalen europäischen Schienenverkehr inklusive Anmerkungen mit Relevanz zur DAK.....	61
Abbildung 44: Übersicht über die TSI	62
Abbildung 45: Ablaufschema für die Eintragung einer IK in die TSI inkl. anvisiertem Zeitplan	65
Abbildung 46: Übersicht über die Anforderungen und Normen mit Relevanz für die DAK....	71
Abbildung 47: Übersicht der Gefahrgutregelungen in der EU für Produkte und die Betriebssicherheit.....	72
Abbildung 48: Gefahrenzonen bei Güterwagen mit Gefahrgut am Beispiel Kesselwagen Befüllung	74
Abbildung 49: Beispiel für Güterzüge mit unterschiedlichen AK Typen.....	75
Abbildung 50: Mischbetrieb Beispiel 1	76
Abbildung 51: Mischbetrieb Beispiel 2	76
Abbildung 52: Fall 1: Kombination von AK Typ 3/4/5 + AK Typ 2.....	77
Abbildung 53: Fall 2: Kombination von AK Typ 4/5 + AK Typ 3	77
Abbildung 54: Fall 3: Kombination von AK Typ 5 + AK Typ 4	78

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Vergleich der Funktionalitäten automatischer Kupplungen des SGV.....	33
Tabelle 2: Technische Parameter für ausgewählte Fahrzeug- und Zugbussysteme	44

Abkürzungsverzeichnis

AAR	Association of American Railroads
AEG	Allgemeines Eisenbahn Gesetz
aMPK	Automatische Mittelpufferkupplung
AK	Automatische Kupplung
AK69	UIC-Kupplung mit Willison-Profil entwickelt für Westeuropa
ATEX	Atmosphères explosibles, europäische Richtlinien für die Betriebs-, Produktsicherheit in explosionsgefährdeten Bereichen
BMVI	Bundesministerium für Verkehr und digitale Infrastruktur
C-AKv	Compact – Automatische Kupplung vereinfacht
CSM	Common Safety Method for risk evaluation and assessment
DAK	Digitale Automatische Kupplung
DeBo	Designated Body
EBAS	Elektronisches Bremsabfrage- und Ansteuerungssystem
EBO	Eisenbahnbau- und Betriebsordnung
ECP	Electronically Controlled Pneumatic brakes
EIGV	Eisenbahn-Inbetriebnahmegenehmigungsverordnung
EIU	Eisenbahninfrastrukturunternehmen
Ep	elektro-pneumatisch
ERA	European Railway Agency
ERATV	European register of authorised types of railway vehicles – europäisches Fahrzeugregister
ERRI	European Rail Research Institute
ETCS	European Train Control System
EU	Europäische Union
EVU	Eisenbahnverkehrsunternehmen
EWV	Einzelwagenverkehr
ep-Bremse	Elektropneumatische Bremse
FEBIS	Freight Electronic Brake and Information System
GGVSEB	Gefahrgutverordnung Straße, Eisenbahn und Binnenschifffahrt
GHz	Giga-Hertz
GUS	Gemeinschaft unabhängiger Staaten
HLL	Hauptluftleitung
IBG	Inbetriebnahmegenehmigung
IK	Interoperabilitätskomponente

IP	Innovation Programme innerhalb von Shift ² Rail
ISO-Container	Genormte Großraumbehälter aus Stahl
ISV	Intermediate statement of verification - Zwischenprüfbescheinigung
KV	Kombinierter Verkehr
KRRI	Korea Railroad Research Institute
LCC	Life Cycle Cost (Lebenszykluskosten)
LDK	Längsdruckkraft
LOC&PAS TSI	Interoperabilitätsrichtlinie der EU für Triebfahrzeuge und Reisezüge
LON	Local Operator Network
LST	Leit- und Sicherungstechnik
MB	Merkblatt
MPK	Mittelpufferkupplung
NoBo	Notified Body
OPE TSI	Interoperabilitätsrichtlinie der EU für den Bahnbetrieb
OSShD	Organisation für die Zusammenarbeit der Eisenbahnen (Osteuropa)
RID	Règlement concernant le transport international ferroviaire de marchandise dangereuses, internationale Gefahrgutverordnung für die Schiene
RISC	Railway Interoperability and Safety Committee
SA3	Automatische Kupplung des SGV, die vorwiegend im russischen Bereich eingesetzt wird
SGV	Schienengüterverkehr
SK	Schraubenkupplung
SPV	Schienenpersonenverkehr
TCN	Train Communication Network
Tfz	Triebfahrzeug
TIS	Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr
TO	Technical Opinion
TSI	Technische Spezifikation der Interoperabilität
TWG	Topical Working Group
UIC	Union Internationale des Chemins de fer, intern. Eisenbahnverband
VDC	Volt, Direct Current (Gleichstrom)
VO	Verordnung
WAG TSI	Interoperabilitätsrichtlinie der EU für Güterwagen
Z-AK	Automatische Kupplung nur für Zugkraft