

DAK-Demonstrator-Pilotprojekt zur Demonstration, Erprobung und Zulassung der Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) für den Schienengüterverkehr

Aktenzeichen: E12 5185.4/9

Zwischenbericht Abschluss Phase I Phase I – Zusammenfassung und Präsentation der Ergebnisse



Frankfurt, den 07.01.2022



Vorwort

Die DAC4EU Arbeitsgemeinschaft (DAC4EU = Digital Automatic Coupling for Europe), bestehend aus dem Konsortialführer DB AG, den Güterbahnen DB Cargo AG, Rail Cargo Austria AG und SBB Cargo AG sowie den Wagenhaltern Ermewa SA, GATX Rail Europe GmbH und VTG Rail Europe GmbH, hat am 30. Juni 2021 die Praxistests in der sogenannten Phase I zur Erprobung der Digitalen Automatischen Kupplungen (DAK) abgeschlossen. Das Projekt wird im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur (BMVI) seit Juni 2020 bis Dezember 2022 durchgeführt und mit rund 13 Millionen Euro finanziert. Das Pilotprojekt soll die technische Datengrundlage liefern, damit eine europaweite Migration einer DAK Typ 4 bis 2030 umgesetzt werden kann. Dabei war das Ziel von Phase I die Durchführung gezielter Einzeltests in kontrollierten Umgebungsbedingungen, um die Leistungsfähigkeit verschiedener Kupplungssysteme vergleichen zu können. Hierzu gehörten Kuppel- und Fahrversuche in verschiedenen Gleisgeometrien, bei verschiedenen Geschwindigkeiten und Beladungszuständen genauso wie Versuche in der Klimakammer bei verschiedenen klimatischen Bedingungen. Im Fokus der Untersuchungen stand sowohl das mechanische Verhalten der Kupplungsdesigns als auch die elektrischen Eigenschaften der Elektro-Kupplungen für die Übertragung von Strom und Daten.

Anlässlich der Beendigung von Phase I ist ein Bericht erstellt worden, der die ausgeführten Arbeiten in den betreffenden Arbeitspaketen 1 und 2 des Projekts beschreibt und die Ergebnisse aus den Versuchen vorstellt. Die Testergebnisse zeigen zum Einen die Funktionsweise der prototypisch entwickelten DAK der verschiedenen Hersteller, und können zum Anderen als Grundlage für eine technische Weiterentwicklung genutzt werden. Das vorliegende Dokument enthält eine Kurzfassung über die Durchführung der Versuche und über die Ergebnisse. Als Anhang sind sechs separate Dokumente mitzuberücksichtigen, in denen sich die ausführlichen Prüfberichte inklusive Messgraphen und Auswertungen der Ergebnisse, erstellt von der DB Systemtechnik, befinden. Auf diese Anhänge wird für weitere Detailsausführungen im folgenden Text verwiesen. Die Berichte sind aufgliedert in sechs Bereiche:

1. Messtechnik
2. Kuppel- und Fahrversuche
3. Nachschiebeversuche und Längsdruckkräfte
4. Klimakammerversuche
5. Elektrische Versuche
6. Versuche zu Strom- und Datenkommunikation

Inhaltsverzeichnis

1. Zusammenfassung.....	5
2. Aufbau eines Demonstrators (AP 1)	7
2.1 Konfiguration des Demonstrators	7
2.2 Aus- und Umrüstung des Demonstrators.....	8
3. Phase I – Praxistests zur DAK-Auswahl (AP 2.1 und AP 2.2).....	10
3.1 Kuppel- und Fahrversuche.....	11
3.1.1 Durchführung	12
3.1.2 Ergebnisse.....	14
3.2 Nachschiebeversuche unter Längsdruckkräften	17
3.2.1 Durchführung	17
3.2.2 Ergebnisse.....	19
3.3 Versuche in Klimakammer.....	20
3.3.1 Durchführung	21
3.3.2 Ergebnisse.....	22
3.4 Elektrische Versuche	23
3.4.1 Durchführung	23
3.4.2 Ergebnisse.....	23
3.5 Versuche zu Strom- und Datenkommunikation.....	24
4. Fazit.....	24
4.1 Verwendung der Daten im EDDP	25
4.2 Ausblick Phase II	25

Anhang

Anhang 1: DB Systemtechnik: Prüfbericht Messtechnik

Anhang 2: DB Systemtechnik: Prüfbericht Kuppel- und Fahrversuche

Anhang 3: DB Systemtechnik: Prüfbericht Nachschiebeversuche unter Längsdruckkräften

Anhang 4: DB Systemtechnik: Prüfbericht Klimakammerversuche

Anhang 5: DB Systemtechnik: Prüfbericht Elektrische Versuche

Anhang 6: OWITA: Prüfbericht Versuche zur Strom- und Datenkommunikation

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Zeitplan für das gesamt Projekt	6
Abbildung 2: Zeitplan Phase I.....	6
Abbildung 3: Konfiguration Demonstrator Phase I	7
Abbildung 4: Einbau der Kupplungen im DB Cargo Werk in Mannheim.....	8
Abbildung 5: Einbau Messtechnik.....	9
Abbildung 6: Beispiel Anschlussbox am Zags-Wagen	9
Abbildung 7: Kupplungsanschlussbox am Zags-Wagen auf der Seite der Schraubekupplung	10
Abbildung 8: April 2021 - Kuppelversuche mit Schwab-DAK, kurz vor dem Kuppelstoß.	11
Abbildung 9: Gleisplan der Versuchsanlage Görlitz	12
Abbildung 10: Gebrochene Kupplungsköpfe des Schwab-Designs.....	16
Abbildung 11: Gleisgeometrie für Nachschiebeversuche.....	18
Abbildung 12: Schematische Darstellung der Nachschiebeversuche.....	18
Abbildung 13: Vergleich der maximal erreichten Längsdruckkräfte unter den DAK-Prototypen	19
Abbildung 14: Bedingungen für Klimakammerversuche.....	21
Abbildung 15: Schematischer Ablauf der Klimakammerversuche	22

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Ladezustand 1 "voll-leer-leer"	13
Tabelle 2: Ladezustand 2 "voll-halbvoll-leer"	13
Tabelle 3: Ladezustand 3 "voll-voll-leer"	13
Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse.....	24

Verzeichnis der referenzierten Normen und Richtlinien

- UIC 530-2: Bahnanwendungen – Güterwagen – Fahrsicherheit, 5. Ausgabe, Dezember 2005
- DIN EN 15839: Bahnanwendungen – Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen – Güterwagen – Prüfung der Fahrsicherheit unter Längsdruckkräften; Deutsche Fassung EN 15839:2012+A1:2015

1. Zusammenfassung

In der neunmonatigen „Phase I“ wurden Detailtests an vier verschiedenen DAK Typ 4 Prototypen durchgeführt und mechanische, elektrische und pneumatische Kuppelfunktionen sowie potenzielle Systeme zur Strom- und Datenkommunikation getestet. Zum Zweck der Testdurchführungen wurden 16 DAK-Prototypen von vier Herstellern gekauft. Es handelt sich dabei um DAK vom Typ Scharfenberg von den Herstellern Dellner und Voith, DAK mit Schwab-Kupplungskopf vom Hersteller Faiveley Wabtec und DAK auf Basis des SA-3 Designs von CAF¹. Die Kupplungen wurden jeweils in drei Güterwagen eingebaut und dem vertraglich vereinbarten Testkonzept der offenen und international aufgestellten Industriepattform unter Beteiligung der Hersteller unterzogen. Neben Versuchen auf verschiedenen Gleisgeometrien, mit unterschiedlichen Beladungszuständen und bei unterschiedlichen Geschwindigkeiten, wurden die Kupplungen in der Klimakammer getestet und ihre Entgleisungssicherheit im Vergleich zur Schraubekupplung untersucht. Das Konsortium ist dabei davon ausgegangen, dass die Hersteller einsatz- und testbereite Kupplungen zur Verfügung stellen.

Im Laufe der Tests hat sich aber gezeigt, dass die DAK Prototypen die Anforderungen im Hinblick auf die technische Einsatzreife nicht erfüllt haben. An allen Prototypen waren technische Nachbesserungen notwendig. In Absprache mit dem AG wurde die Phase I verlängert, um den Herstellern ausreichend Zeit zu geben, die Nachbesserungen durchzuführen und anschließend im Projekt testen zu können. So wurde das ursprüngliche Testende von Februar 2021 auf Juni 2021 verlegt. Die beiden Scharfenberg-Prototypen sowie der Schwab-Prototyp sind zwischen Dezember 2020 und April 2021 sukzessive optimiert worden, um zumindest den Anforderungen des Testprogramms gerecht zu werden. Teilweise haben die Kupplungen auch die ursprünglich geforderten Spezifikationen nicht erfüllt. Auch hier konnten die Hersteller nachbessern, wobei bis zum Ende von Phase I einzelne Kupplungen nach wie vor nicht alle Spezifikationen erfüllen konnten (z.B. Durchmesser der Hauptluftleitung). Um die Entwicklung im Rahmen des Projekts zu dokumentieren, wurden die einzelnen DAK-Designs nach ihrer jeweiligen Nachbesserungsphase mit *Generation 2* (Scharfenberg-Design von Dellner) und *Version 1.2* (Scharfenberg-Design von Voith und Schwab-Design von Wabtec) gekennzeichnet. So lässt sich die Entwicklung der Prototypen auch nach Beendigung dieses Projekts nachvollziehen.

Bei dem SA3-Kupplungsdesign konnte, trotz drei großer und mehrerer kleinerer Reparaturversuche durch Experten von CAF und Dellner, die Testfähigkeit nicht hergestellt werden. Im Mai 2021 wurde das SA3-Design auf Bitten des Herstellers Dellner aus dem Versuchsprogramm genommen.

Abbildung 1 zeigt den Zeitplan des gesamten Projekts mit den beiden Phasen für die Erprobung.

¹ Anmerkung: Die Kupplungssparte von CAF ist im Frühjahr 2021 von Dellner übernommen worden

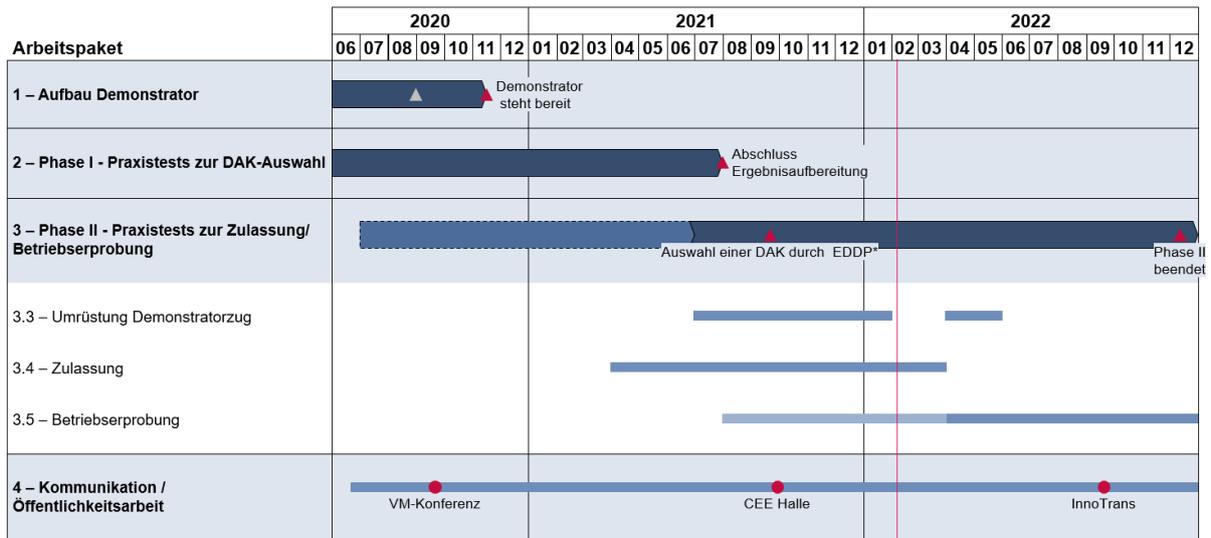


Abbildung 1: Zeitplan für das gesamt Projekt

Der Zeitplan in Abbildung 2 zeigt den Verlauf von Phase I im Detail.

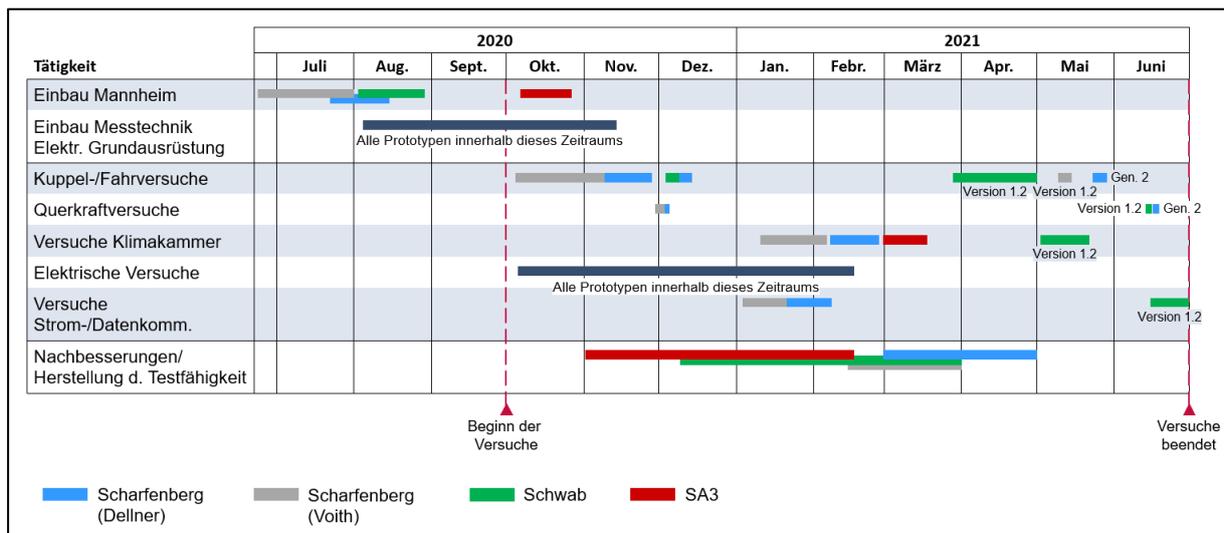


Abbildung 2: Zeitplan Phase I

Dank der Verlängerung der Testphase konnten die geplanten Testszenarien für die drei übrigen Kupplungsdesigns vollständig abgeschlossen werden. Es wurden in Summe über 2.500 Versuche durchgeführt, davon etwa 200 in der Klimakammer. Hier hat sich gezeigt, dass vor allem die Kuppelbarkeit bei Schneematsch und Eis für einzelne Kupplungen eine Herausforderung darstellt. Insgesamt konnten zu drei von vier Kupplungsdesigns umfassende Detailergebnisse gewonnen werden, die ein Datenvolumen von über 180 Gigabyte umfassen.

Die aufbereiteten Testergebnisse wurden im Juli 2021 an das EDDP² übermittelt. Das EDDP hat in der ersten Stufe der Auswahl einer Kupplung sogenannte KO-Kriterien Meetings durchgeführt. Die Testergebnisse wurden außerdem in den Basic Requirement Workshops im EDDP genutzt und dienten hier der weiteren Bewertung der Leistungsfähigkeit und des

² EDDP – European DAC Delivery Programme von Shift2Rail

eventuellen Optimierungsbedarfs der getesteten Designs. Hier waren die Testergebnisse eine wesentliche Grundlage für die Entscheidungsfindung. Am 21. September 2021 hat sich das EDDP entschieden, sich für die weiteren Betrachtungen auf das Scharfenberg-DAK-Design zu fokussieren und die anderen Desigs nicht mehr weiter zu berücksichtigen. Auf Basis dieser Entscheidung werden die weiteren Versuche in der nun anstehenden Phase II nur noch mit dem Scharfenberg-Design durchgeführt.

2. Aufbau eines Demonstrators (AP 1)

Das Arbeitspaket 1 diente dazu, den Demonstratorzug für die Versuche aufzubauen, indem insgesamt 12 Wagen mit den DAK-Prototypen ausgestattet und mit Messtechnik ausgerüstet wurden. In diesem Kapitel werden die Auswahl und Konfiguration der Wagen beschrieben sowie die verwendete Messtechnik. Weitere ausführliche Details zur Messtechnik sind im Bericht der DB Systemtechnik in Anhang 1 zu finden.

2.1 Konfiguration des Demonstrators

Für das Versuchsprogramm sind vier Wagengruppen mit jeweils drei Wagentypen bereitgestellt worden. Dabei handelt es sich um einen vier-achsigen Güterwagen (Eanos), einen zwei-achsigen Güterwagen (Hbbins) und einen vier-achsigen Tankwagen (Zags). Die drei Güterwagen-Typen repräsentieren über 265.000 Güterwagen von insgesamt ca. 685.000 im europäischen Fahrzeugregister ECVVR registrierten Güterwagen in Europa. Die Güterwagen wurden zunächst für den Ein- und Anbau der DAK inkl. Strom- und Datenleitung vorbereitet und die Komponenten konfektioniert bzw. die Messtechnik kalibriert.

In jede der vier Wagengruppen ist dann jeweils ein Kupplungsdesign eingebaut worden. So wurde das Testen eines jeden einzelnen Prototyps unter gleichen Bedingungen ermöglicht. Die Wagengruppen sind mit Schraubenkupplungen verbunden. Abbildung 3 stellt den Aufbau des Demonstrators bildlich dar.

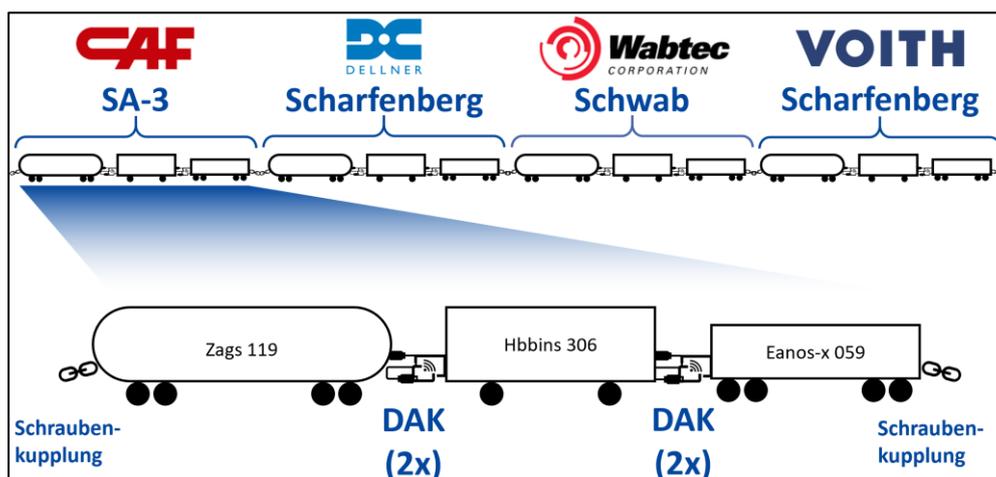


Abbildung 3: Konfiguration Demonstrator Phase I

2.2 Aus- und Umrüstung des Demonstrators

Der Einbau der Kupplungen wurde im DB Cargo Werk in Mannheim durchgeführt. Hier sind insgesamt 16 DAK-Prototypen in 12 Wagen verbaut worden. Abbildung 4 gibt einen Eindruck von den Einbauarbeiten.

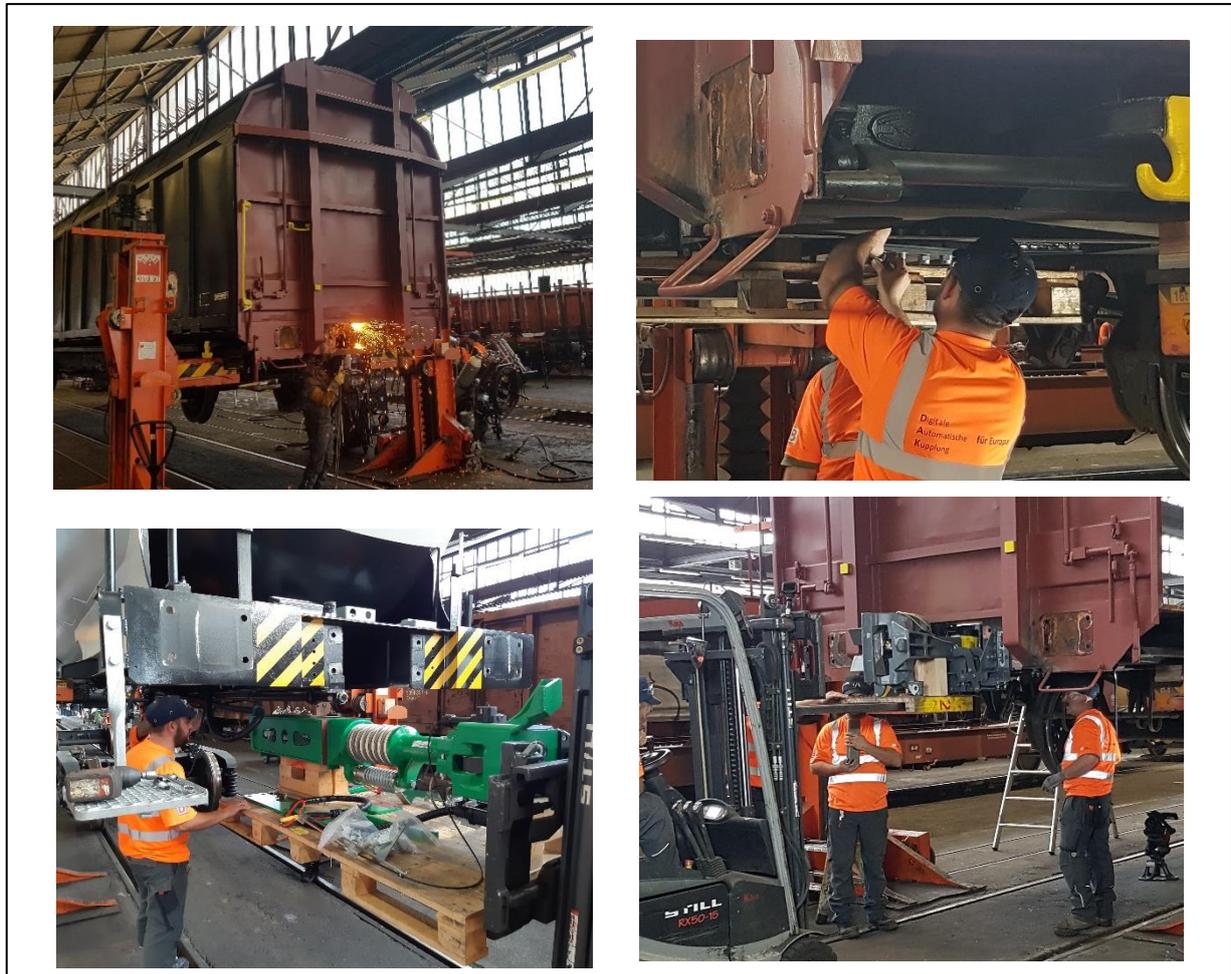


Abbildung 4: Einbau der Kupplungen im DB Cargo Werk in Mannheim

Für den Einbau der Kupplungen wurde eine feste Kooperation mit der Güterwagenwerkstatt von DB Cargo in Mannheim vereinbart. Diese Werkstatt ist zentraler Umrüst- und Reparaturstandort. Darüber hinaus konnte das Feedback der Mitarbeiter gesammelt und aufbereitet werden, um die Herausforderungen im Ein- und Umbau zu identifizieren und daraus Optimierungspotential ableiten zu können. Anschließend wurden sowohl Kupplungsköpfe als auch Wagen und Radsätze mit Messtechnik durch die DB Systemtechnik ausgestattet. Dazu wurden Anschlussboxen an den Wagen montiert, um mit einheitlichen Schnittstellen zu arbeiten und den Aufwand bei der elektrischen Verkabelung der Wagen deutlich zu verringern. Die „Zentrale Anschlussbox“ nimmt die gesamte Messtechnik während der Versuche für die Stromversorgung und die Datenkommunikation auf und wird über ein zentrales Kabel mit den „Kupplungsanschlussboxen“ (Abb. 6) verbunden. Das ist für alle Wagen identisch. Im Bereich jeder Kupplung wird eine kompakte „Kupplungsanschlussbox“ montiert. Diese dient im Bereich der DAK dazu, die noch nicht standardisierten Kabelkonzepte der Hersteller einheitlich anzuschließen. Dies ermöglicht das Arbeiten mit einer Hauptleitung an jedem Wagen.

Die folgende Abbildung 5 visualisiert das beschriebene Konzept. In Abbildung 6 und 7 sieht man die Anschlussboxen beispielhaft am Zags-Wagen montiert.

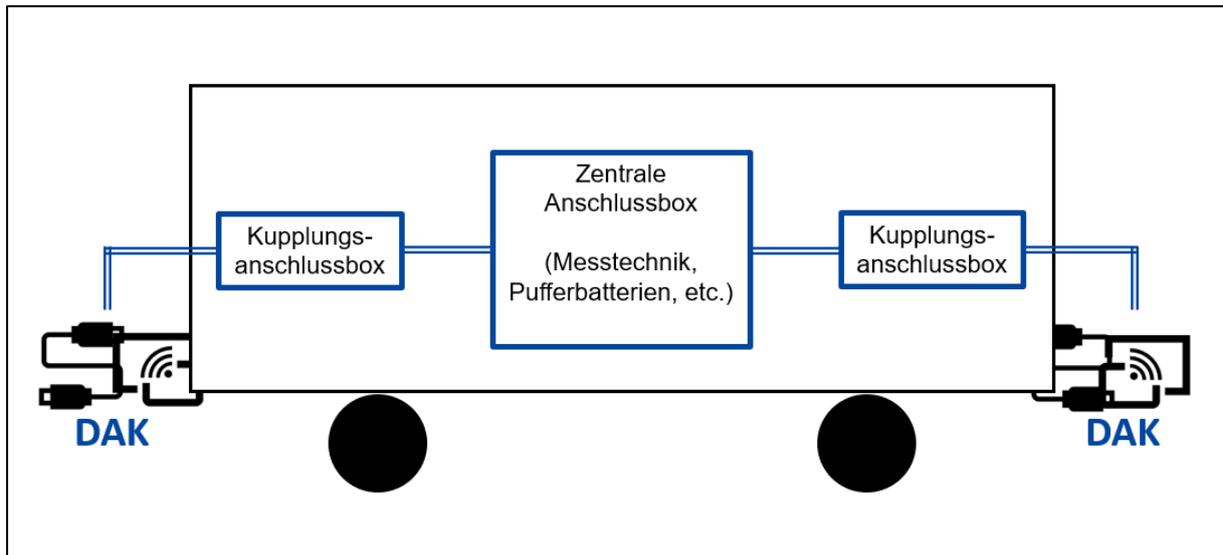


Abbildung 5: Einbau Messtechnik



Abbildung 6: Beispiel Anschlussbox am Zags-Wagen



Abbildung 7: Kupplungsanschlussbox am Zugs-Wagen auf der Seite der Schraubenkupplung

Die für die Versuche in Phase I auf den Güterwagen implementierte Messtechnik lässt sich in drei Gruppen einteilen:

- Messinstrumente, die für die mechanische und pneumatische Untersuchung notwendig sind,
- Messtechnik, die die Funktionalität der Energieversorgung nachweist und
- Messtechnik für die Untersuchung der Zuverlässigkeit der Datenkommunikation.

3. Phase I – Praxistests zur DAK-Auswahl (AP 2.1 und AP 2.2)

Die Tests wurden von der DB Systemtechnik von Oktober 2020 bis Juni 2021 auf dem Testgelände des TÜV Süd in Görlitz sowie auf dem Gelände der DB Systemtechnik in Minden (Klimakammer-Tests und Strom-/Datenversuche) durchgeführt. Grundlage für die Testdurchführung waren die im TIS (Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr; www.tis.ag) entwickelten und verabschiedeten funktionalen Anforderungen, die unter anderem im Rahmen dieses Projekts untersucht werden sollten. Basierend auf diesen Grundlagen wurde ein umfangreicher Versuchsplan entwickelt. Dieser wurde kontinuierlich angepasst, um den Diskussionen Rechnung zu tragen, die parallel auf europäischer Ebene stattfanden. So konnte sichergestellt werden, dass alle Anforderungen für die spätere Auswahldiskussion durch Versuche überprüft wurden. Das Hauptaugenmerk lag auf dem Testen der Funktionen mechanisches Kuppeln und der Verbindung von Luft-, Strom- und Datenleitungen. Im ETR-Magazin, Ausgabe Mai 2021, wurde zudem ein Artikel veröffentlicht, der das Testkonzept ausführlich beschreibt.³

³ Dr.-Ing. Wartzek, Fabian und Dr.-Ing. Jobstfinke, Daniel (2021), „Versuche zur Erprobung der Digitalen Automatischen Kupplung für Europa“, ETR, 05/2021, Seite 55-60

Jede Kupplung hat ein umfangreiches Testprogramm mit Fahr- und Kuppelversuchen, Nachschiebeversuchen unter Längsdruckkräften (hier auch kurz Nachschiebeversuche genannt), Klimakammer-Tests, elektrischen Versuchen und Versuchen zur Strom- und Datenkommunikation durchlaufen. Ein detaillierter Versuchsplan wurde dem BMVI im September 2020 vorgelegt. Einige Versuche sind von einem Filmteam begleitet worden, um das Pilotprojekt filmisch zu dokumentieren (Abbildung 8). In diesem Kapitel wird nun auf die Durchführung der Versuche eingegangen und die Ergebnisse werden vorgestellt. Ausführliche Details zu den jeweiligen Versuchsaufbauten, den Durchführungen und Ergebnissen sind in den jeweiligen Anhängen zu finden. Die darin enthaltenen Prüfberichte beschreiben die einzelnen Versuche im Detail und die Ergebnisse werden mit Messschrieben, Diagrammen, Bildern usw. untermauert.



Abbildung 8: April 2021 - Kuppelversuche mit Schwab-DAK, kurz vor dem Kuppelstoß.

3.1 Kuppel- und Fahrversuche

Die Kuppel- und Fahrversuche sind zusammen mit den Nachschiebeversuchen der Kern der mechanischen Untersuchung der Prototypen. Für den Nachweis der Kuppelbarkeit und des uneingeschränkten Betriebs ist eine Vielzahl von Versuchen mit verschiedenen Geschwindigkeiten in verschiedenen Geometrien durchgeführt worden. Alle notwendigen Gleisgeometrien waren in Görlitz auf einem abgesperrten Gelände verfügbar (Abbildung 9). Um die Signifikanz eines Ergebnisses und dessen Wiederholbarkeit besser beurteilen zu können, wurden die Versuche jeweils fünfmal durchgeführt. Details können in Anhang 2 gefunden werden.

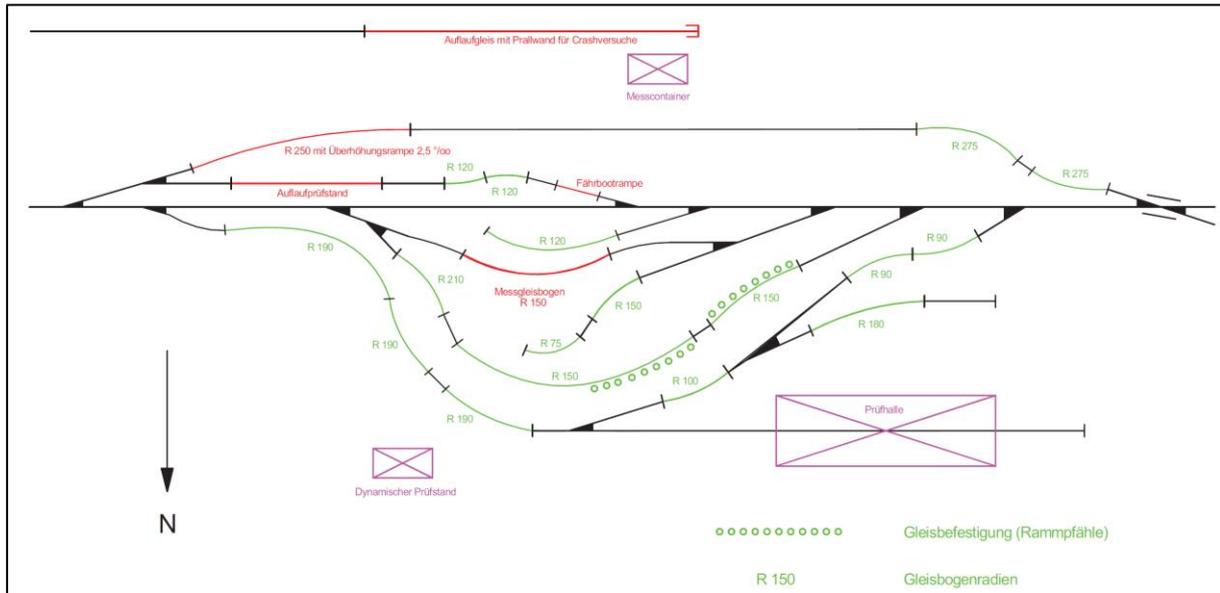


Abbildung 9: Gleisplan der Versuchsanlage Görlitz

3.1.1 Durchführung

Bei der Durchführung der Versuche wurden neben den unterschiedlichen befahrenen Gleisgeometrien und unterschiedlichen Geschwindigkeiten auch Versuche mit unterschiedlichen Beladungszuständen (Tabelle 1-3) durchgeführt. Hierbei sollten alle Extrembedingungen für die Kupplungen abgebildet werden. Der Ladezustand beeinflusst zum einen den vertikalen Höhenversatz, zum anderen ändern sich dabei die jeweils auf die Kupplungen wirkenden Kräfte. Bei Versuchen in verschiedenen Bogengeometrien konnte gezielt der Einfluss eines sich ändernden lateralen Versatzes getestet werden. Zusätzlich wurde mit den Kupplungsprototypen im gekuppelten Zustand die Befahrbarkeit bestimmter Gleisgeometrien getestet. Die Wagen sind dabei abwechselnd durch die Geometrien gezogen und geschoben worden.

Während der Fahrversuche wurden zwei Kriterien zur Bewertung der mechanischen Kupplung der DAKen herangezogen. Dies ist zum einen eine dauerhaft gewährleistete mechanische, pneumatische und elektrische Verbindung der DAKen (es kommt nicht zur Trennung) und zum zweiten ein Befahren der jeweiligen Gleisgeometrie ohne Einschränkungen

Erläuterung zu Tabelle 1-3:

- Fahrversuche mit gekuppelter Dreiwagengruppe
- Die auszuwertende Kuppelstelle bei Kuppelversuchen liegt zwischen den blau markierten Wagen

Tabelle 1: Ladezustand 1 "voll-leer-leer"

Ladezustand 1												
Spec-Nr.	Infrastruktur	Eanos	Hbbins	Zagns	Geschwindigkeit km/h						Fahren	Anzahl FahrV
					2	4	6	8	10	12		
3.1	gerades Gleis	vollbeladen	leer	leer	5	5	5	5	5	5		
3.2	190 m-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer	5	5	5	5				
4.1	190 m-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
4.2	190 m-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							geschoben	5
3.3	150 m-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer	5	5	5	5				
4.3	150 m-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
4.4	150 m-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							geschoben	5
3.4	190 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer	5	5						
4.5	190 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
4.6	190 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							geschoben	5
3.6	150 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	leer	leer	5	5						
4.9	150 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
4.10	150 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	leer	leer							geschoben	5
4.11	100 m -Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
4.12	100 m -Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							geschoben	5
4.13	75 m -Gleisbogen	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
		vollbeladen	leer	leer							geschoben	5
4.14	Rampe mit 2°30' Steigung	vollbeladen	leer	leer							gezogen	5
4.15	Rampe mit 2°30' Steigung	vollbeladen	leer	leer							geschoben	5

Tabelle 2: Ladezustand 2 "voll-halbvoll-leer"

Ladezustand 2												
Spec-Nr.	Infrastruktur	Eanos	Hbbins	Zagns	Geschwindigkeit km/h						Fahren	Anzahl FahrV
					2	4	6	8	10	12		
3.1	gerades Gleis	beladen	teilbeladen	leer	5	5	5	5	5	5		

Tabelle 3: Ladezustand 3 "voll-voll-leer"

Ladezustand 3												
Spec-Nr.	Infrastruktur	Eanos	Hbbins	Zagns	Geschwindigkeit [km/h]						Fahren	Anzahl FahrV
					2	4	6	8	10	12		
3.1	gerades Gleis	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5	5	5	5	5		
3.2	gerades Gleis	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5	5	5	5	5		
3.2	190 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5	5	5				
3.3	191 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5	5	5				
4.1	190 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
4.2	190 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5
3.3	150 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5	5	5				
3.4	151 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5	5	5				
4.3	150 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
4.4	150 m-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5
3.4	190 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5						
3.5	191 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5						
4.5	190 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
4.6	190 m-S-Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5
3.6	150 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5						
3.7	151 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	vollbeladen	leer	5	5						
4.9	150 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
4.10	150 m-S-Gleisbogen mit 6 m-Zwischengerade	vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5
4.11	100 m -Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
4.12	100 m -Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5
4.13	75 m -Gleisbogen	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
		vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5
4.14	Rampe mit 2°30' Steigung	vollbeladen	vollbeladen	leer							gezogen	5
4.15	Rampe mit 2°30' Steigung	vollbeladen	vollbeladen	leer							geschoben	5

3.1.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Kuppel- und Fahrversuche der getesteten Prototypen von Voith, Dellner und Wabtec stellen sich recht unterschiedlich dar. Gemeinsam haben die Kupplungen aller Hersteller, dass im Verlauf der Tests Defizite und Schwächen identifiziert wurden und an allen Kupplungsdesigns Nachbesserungen erforderlich waren. Nur durch die eingangs erläuterte Testverlängerung und die Nachbesserungen durch die Hersteller konnte eine umfassende Datenbasis für alle Prototypen im Test geschaffen werden. Im Folgenden werden die drei DAK-Designs einzeln betrachtet und die Erkenntnisse je Design zusammenfassend aufgeführt. Die genauen Auswertungen sind im Prüfbericht der DB Systemtechnik im Anhang 2 zu finden.

- Kupplung der Bauart Scharfenberg des Herstellers Voith

Die Kuppelvorgänge mit der ersten Version der Voith-DAK sind in zahlreichen Fällen fehlgeschlagen. Dieses Verhalten war vor allem bei den Geschwindigkeiten 6 km/h (18 von 72 Versuchen nicht erfolgreich) und 8 km/h (11 von 58 Versuchen nicht erfolgreich) zu beobachten und reproduzierbar (nach den ersten Versuchen im Jahr 2020 wurden nach Abschluss der Klimakammerversuche einige Versuche im Jahr 2021 wiederholt). In den Fällen, in denen der mechanische Kuppelvorgang erfolgreich war, lief auch der pneumatische Kuppelvorgang erfolgreich ab.

Die elektrischen Kuppelvorgänge sind in vielen Fällen als „nicht erfolgreich“ bewertet worden (z.B. 24 von 72 Versuchen nicht erfolgreich bei 6 km/h). Äußerlich zeigten die Kontakte häufig nach wenigen Versuchen deutliche Verschleißspuren. In vielen Fällen ist der Ausfall einzelner Kontakte aufgrund des Verschleißbildes ursächlich für das negative Ergebnis der Auswertung. Die Kontakte sind nicht repariert worden, so dass nach einem anfänglichen Schaden alle folgenden Versuche für die E-Kupplung ebenfalls als fehlerhaft identifiziert werden. Im Detail zeigt sich dann dass lediglich einzelne Kontakte dauerhaft ausgefallen sind.

Voith hat eine Version 1.2 erarbeitet und bereitgestellt, bei der der Kupplungskopf angepasst worden ist. Bei den Kuppelversuchen mit der dieser zweiten Version des DAK-Designs kam es bei den vorstehend genannten niedrigen und mittleren Geschwindigkeiten nicht mehr zu fehlgeschlagenen mechanischen Kuppelvorgängen. Lediglich bei Kuppelversuchen mit 12 km/h kam es zweimal zu einem Abprallen der Wagen ohne Kuppelvorgang. Die Probleme mit den Kontakten in der elektrischen Kupplung sind bei dieser Version der DAK unverändert.

Während der Kuppelversuche im Jahr 2020 kam es zu einem gebrochenen Gehäuse des Hauptluftleitungsventils. Dieser Schaden ist bei den Versuchen im Jahr 2021 wiederholt aufgetreten. Zur Fortführung der Versuche wurden daraufhin neue Ventilgehäuse von Beginn an mit Spanngurten zusätzlich gesichert. Voith hat hier an einer verstärkten Version gearbeitet, die aber nicht mehr rechtzeitig für die Versuche in Phase I zur Verfügung gestellt werden konnte.

Die Fahrversuche mit dem Scharfenberg-Design von Voith in der Version 1 verliefen insgesamt ohne Auffälligkeiten. Sämtliche Infrastrukturen konnten ohne Einschränkungen befahren werden.

- Kupplung der Bauart Scharfenberg des Herstellers Dellner

Die erste Generation des Scharfenberg-Designs von Dellner hat die geforderte mechanische Festigkeit nicht erfüllt, so dass hier Einschränkungen für die Kuppelstöße durch Dellner ausgesprochen wurden. Konkret waren Kuppelstöße mit Geschwindigkeiten über 10km/h untersagt. Mit dieser ersten getesteten Generation sind die mechanischen und pneumatischen Verbindungen bei den Kuppelvorgängen zu 100% erfolgreich getestet worden.

Die zweite Generation der Kupplung beinhaltet eine mechanische Aufrüstung der DAK und die Implementierung eines Stabilisierungsgelenks. Die Generation 2 wurde, außer in den Nachschiebeversuchen, nur in wenigen Versuchskonfigurationen der Kuppelversuche geprüft (22 Versuche bei 2 km/h; 7 Versuche bei 6 km/h; 11 Versuche bei 8 km/h; 1 Versuch bei 10 km/h und 8 Versuche bei 12 km/h). Dabei kam es nur bei einem Kuppelversuch zwischen Z- und H-Wagen im geraden Gleis zu einem fehlgeschlagenen Kuppelvorgang. Die erst im Laufe des Projekts spezifizierten Kuppelversuche mit 0,6 km/h konnten aus organisatorischen Gründen lediglich ohne Druckluftversorgung in der Generation 2 durchgeführt werden (insgesamt 7 Versuche). Die pneumatische Kupplung konnte daher in diesem Fall nicht bewertet werden. Bei den Kuppelversuchen mit den anderen Geschwindigkeiten gab es jedoch keine Auffälligkeiten der pneumatischen Kupplung, so dass auch für diesen Fall von einer sicheren Funktion ausgegangen werden kann.

Die elektrischen Kuppelvorgänge sind in vielen Fällen als „nicht erfolgreich“ bewertet worden (z.B. 27 von 27 Versuchen nicht erfolgreich bei 2 km/h). Äußerlich zeigten die Kontakte häufig nach wenigen Versuchen deutliche Verschleißspuren und ein Klemmen der beweglichen Kontaktseite. In vielen Fällen ist, analog zu den Ergebnissen der Voith-Kupplung, der Ausfall einzelner Kontakte ursächlich für das negative Ergebnis der Auswertung. In mindestens einem Fall haben sich allerdings die beiden E-Kupplungen gänzlich verfehlt.

Die Fahrversuche mit der Scharfenberg-DAK Generation 1 verliefen insgesamt ohne Auffälligkeiten. Sämtliche Infrastrukturen konnten ohne Einschränkungen befahren werden. Die Auswertung zeigt zwar in vielen Fällen Fehler bei der elektrischen Kupplung (elektrisches Kuppeln in 127 von 154 Versuchen nicht erfolgreich). Ursache hierfür sind allerdings höchstwahrscheinlich Beschädigungen an den Kontakten der Elektrokupplungen bei vorangegangenen Kuppelversuchen.

- Kupplung der Bauart Schwab des Herstellers Wabtec:

Bei ersten Versuchen mit der Wabtec Kupplung kam es zu massiven Beschädigungen von zwei getesteten Kupplungen bei Kuppelversuchen mit niedrigen Geschwindigkeiten (4 km/h) im geraden Gleis (Abbildung 10).



Abbildung 10: Gebrochene Kupplungsköpfe des Schwab-Designs

Daraufhin wurde von Wabtec die Vorgängerversion der gebrochenen DAK zur Verfügung gestellt, die verbaut und für die Tests verwendet werden konnte. Diese Vorgängerversion war deutlich robuster ausgeführt und im Gegensatz zu der beschädigten Version zweigeteilt. Mit den getesteten DAK-Prototypen sind die mechanischen Verbindungen bei den Kuppelvorgängen zu 100% erfolgreich getestet worden. Die pneumatische Kupplung hat in einigen Fällen nicht funktioniert (z.B. 12 von 104 Versuchen nicht erfolgreich bei 2 km/h). Das Kuppeln von Zags und Hbbins war in dem 100-Meter Bogen in Abhängigkeit von der Beladung des Hbbins nur teilweise möglich. Das Kuppeln von Zags und Hbbins war im 75-Meter Bogen nicht möglich. Bei den Tests sind konstruktive Schwächen an den beweglichen Teilen der Elektrokontaktkupplung aufgetreten, wodurch beim Großteil der Versuche die elektrische Verbindung in den Protokollen als nicht erfolgreich geschlossen geführt werden (z.B. 48 von 104 Versuchen nicht erfolgreich bei 2 km/h).

Mit den nachgerüsteten E-Kupplungen sind ausgewählte Nachttests durchgeführt worden. Dabei konnte nur ein begrenzter Geschwindigkeitsbereich nachbetrachtet werden. In diesen Nachttests waren die ergriffenen Maßnahmen erfolgreich. Es waren keine signifikanten Verschleißspuren bei den E-Kontakten erkennbar.

Die Fahrversuche waren mechanisch und elektrisch zu 100% erfolgreich. Es sind jedoch Probleme mit der pneumatischen Verbindung festgestellt worden (pneumatisch gekuppelt in 30 von 142 Versuchen nicht erfolgreich). Hier kam es zu kurzzeitigen Luftverlusten. Um die Versuchsdurchführung nicht zu beeinflussen, waren die Bremsen ausgeschaltet, so dass eine Wirkung auf das Steuerventil nicht betrachtet werden konnte. Darüber hinaus sollten bereits kleine Undichtigkeiten detektiert werden, so dass während der Versuche nicht durch das Triebfahrzeug nachgespeist wurde.

Im Laufe der Versuche hat sich gezeigt, dass die notwendige Kraft, um zwei entkuppelte Wagen zu trennen, immer größer geworden war. Gegen Ende der Versuche ließen sich zwei entkuppelte Wagen nur trennen, wenn der hintere Wagen blockiert und der vordere mit einem Triebfahrzeug abgezogen wurde. Dieses Verhalten konnte für allerletzte Versuche durch Wabtec behoben werden, in dem die Kupplungsköpfe mit Hilfe eines Adapters an der Kupplungsstange seitlich vorausgelenkt wurden. Hierdurch schien die Entkuppelkraft wieder

in einen akzeptablen Rahmen gefallen zu sein, dies konnte mangels Zeit aber nicht mehr ausreichend getestet werden.

3.2 Nachschiebeversuche unter Längsdruckkräften

Zu den mechanischen Versuchen zählen neben den Kuppel- und Fahrversuchen auch Nachschiebeversuche zur Untersuchung der Entgleisungssicherheit. Diese Nachschiebeversuche sind von der DB Systemtechnik an zweiachsigen Güterwagen der Bauart Hbbins 306 durchgeführt worden, welche an beiden Wagenenden mit einer DAK ausgestattet waren. Die Wagen wurden mit Sondermesstechnik ausgestattet, um unter anderem die Anhebewege der vier Räder, die Aufstands- und Querkraft zu messen.

Ziel der Versuche war vor allem die Ermittlung der ertragbaren Längsdruckkräfte bis zum Erreichen eines Beurteilungskriteriums gemäß UIC 530-2⁴ bzw. des Grenzkriteriums gemäß DIN EN 15839⁵. Als Beurteilungs- bzw Grenzkriterium wurden während der Versuche folgende Werte genutzt:

- (1) ein bestimmter maximal zulässiger vertikaler Anhebeweg eines nicht führenden Rades bzw.
- (2) eine größte zulässige Radsatzlagerquerkraft

In der UIC 530-2 sind als Zielgröße der ertragbaren Längsdruckkraft von Wagen mit automatischen Kupplungen 500 kN als obligatorischer Wert und 600 kN als empfohlener Wert definiert.

Im Folgenden wird die Durchführung der Versuche grob beschrieben und die wesentlichen Erkenntnisse aus diesen zusammengefasst. Eine detaillierte Ausführung ist in Anhang 3 zu finden.

3.2.1 Durchführung

Die Versuche wurden im 150 m-S-Gleisbogen mit 6 m Zwischengerade durchgeführt. In Abbildung 11 ist die Gleisgeometrie für den Versuch dargestellt. Dabei wurde gezielt der Hbbins-Wagen in der Mitte der Drei-Wagen-Konfiguration untersucht. Bekannt ist, dass zweiachsige Wagen am anfälligsten für das Entgleisen in solchen Versuchen sind. Die benachbarten Eanos- und Zags-Wagen waren voll beladen. Der Versuch ist schiebend gefahren worden, wobei vor den Wagen Bremswagen angekuppelt wurden, die das Aufbringen der Prüfkräfte durch die hinten angekuppelten Lokomotiven ermöglichten. Dieser Aufbau ist in Abbildung 12 skizziert.

⁴ UIC 530-2: Bahnanwendungen – Güterwagen – Fahrsicherheit, 5. Ausgabe, Dezember 2005

⁵ DIN EN 15839: Bahnanwendungen – Prüfung für die fahrtechnische Zulassung von Eisenbahnfahrzeugen – Güterwagen – Prüfung der Fahrsicherheit unter Längsdruckkräften; Deutsche Fassung EN 15839:2012+A1:2015

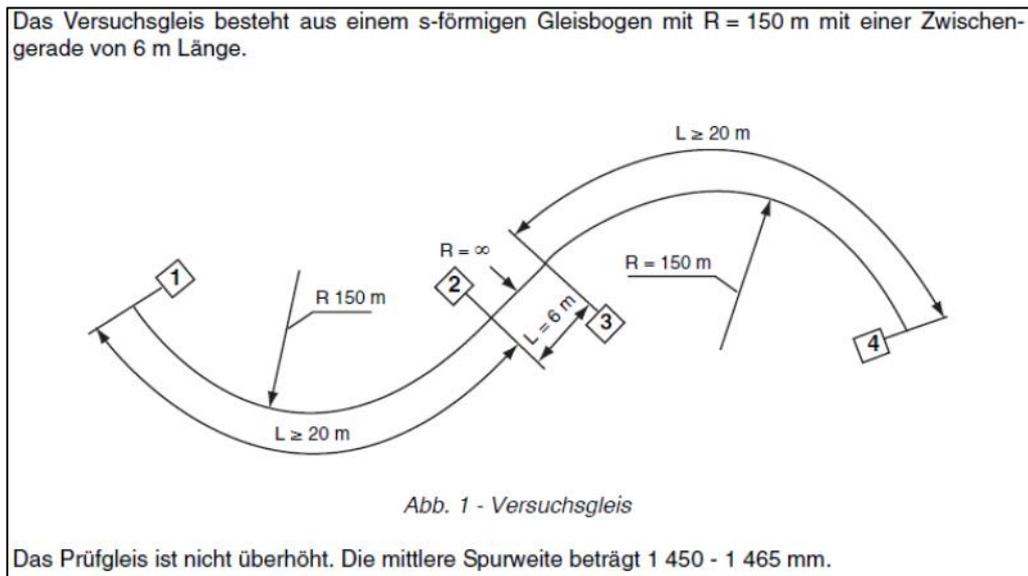


Abbildung 11: Gleisgeometrie für Nachschiebeversuche⁶

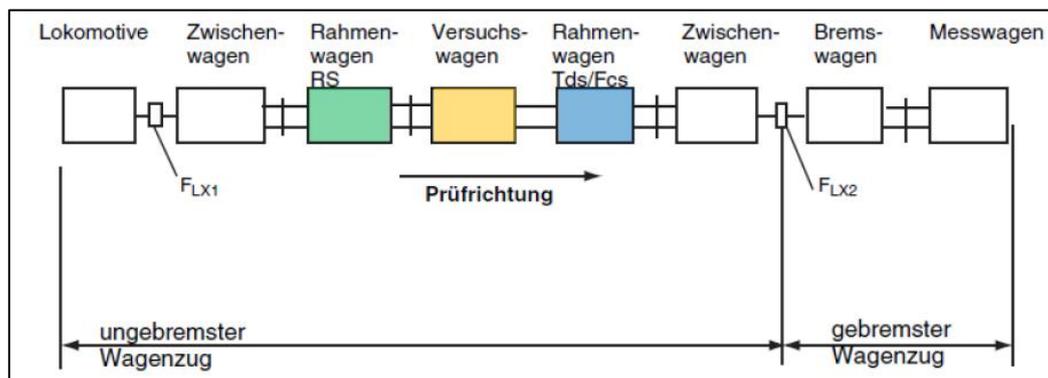


Abbildung 12: Schematische Darstellung der Nachschiebeversuche⁷

Gemäß den Vorgaben des UIC-Kodex und um die Grenzen der Kupplungen zu identifizieren, wurde die Längskraft, beginnend mit 100 kN , sukzessive gesteigert. Gemessen wurden dabei folgende Größen:

- Längsdruckkraft F_{Lxi}
- Radanhebungen d_{zij} an allen Rädern
- Radsatzlagerquerkräfte H_{yj} an allen Radsätzen
- Weg (z. B. 1 m-Marke)

Die bei Versuchen mit Schraubenkupplungen gemessene Pufferquerverschiebung entfällt bei Versuchen mit DAK. Der Weg wird indirekt über die Integration der gemessenen Geschwindigkeit errechnet.

⁶ Quelle: UIC Merkblatt 530-2, Güterwagen – Fahrsicherheit, 7. Ausgabe, Dezember 2011

⁷ Quelle: UIC Merkblatt 530-2, Güterwagen – Fahrsicherheit, 7. Ausgabe, Dezember 2011

3.2.2 Ergebnisse

In den Nachschieberversuchen hat keine der Kupplungen den bei einer Schraubenkupplung geforderten Mindestwert der ertragbaren Längsdruckkraft von 200 kN unterschritten. Bis auf die erste Generation der Scharfenberg Kupplung von Dellner, konnten alle Kupplungen das Referenzniveau der Schraubenkupplung deutlich (z.T. mehr als Faktor 2) übersteigen. Ein Vergleich der Maximalkräfte unter den Designs ist in Abbildung 13 gezeigt. Dabei ist zu beachten, dass die beiden Scharfenberg-Designs bei den genannten Werten entgleist sind. Beim Schwab-Design wurden die Versuche bei dem genannten Wert abgebrochen, da es bereits zu einer deutlichen Radreaktion gekommen war und eine Entgleisung auf Anweisung des Herstellers verhindert werden sollte. Zudem hat keine Kupplung die Grenzwerte für die Radanhebung und die größte zulässige Radsatzlagerquerkraft erreicht oder überschritten.

DIN EN 15839 definiert den größten zulässigen vertikalen Anhebeweg eines nicht führenden Rades mit 50 mm. Trotz Nicht-Erreichen des Grenzwertes für die Radsatzanhebung, sind bei den Versuchen Entgleisungen erfolgt. Dieser Umstand könnte Gegenstand weiterer Forschung sein und konnte nicht abschließend geklärt werden.

Die UIC 530-2 nennt eine nominelle Maximalkraft von 200 kN. Ein Aufschlag von 10% ist für Versuche relevant. Der nominelle Wert für die Maximalkraft hat ohne Aufschlag von 10 % Bestand. Die in der UIC 530-2 genannten Zielgrößen der ertragbaren Längsdruckkraft von Wagen mit automatischen Kupplungen (500 kN = obligatorischer Zielwert; 600 kN = empfohlener Zielwert) konnten von keiner Kupplung erreicht oder gar überschritten werden. Die Anwendbarkeit der Zielgrößen der ertragbaren Längsdruckkraft gemäß UIC 530-2 auf die vorliegend geschilderten Nachschiebeversuche und Kupplungsprototypen ist jedoch unklar und nicht abschließend geklärt. Die aus den Versuchen resultierende Datenbasis könnte jedoch für den weiteren Weg in Richtung europäischer Zulassung essentiell sein.

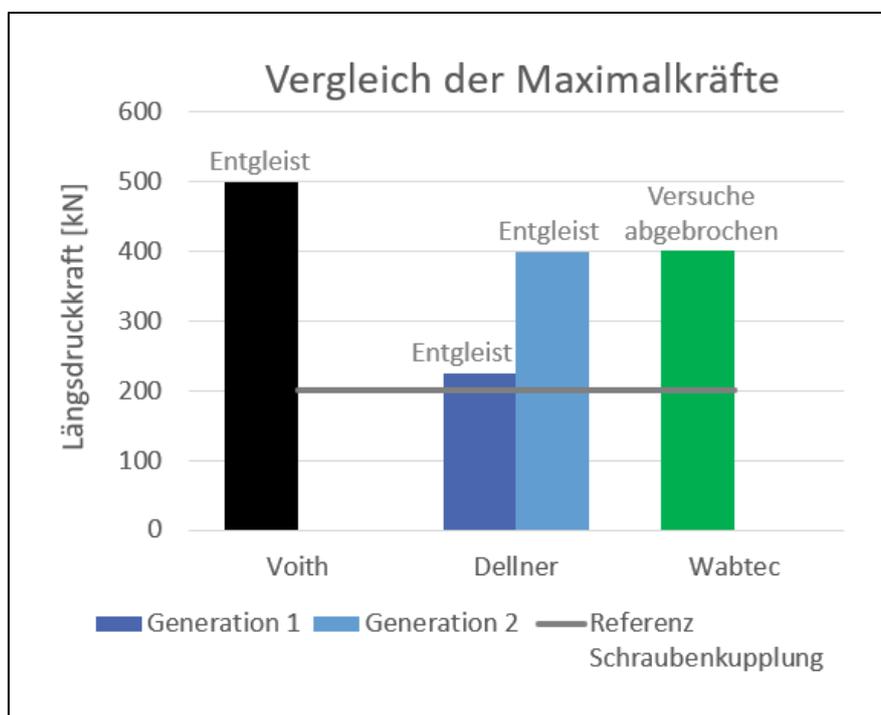


Abbildung 13: Vergleich der maximal erreichten Längsdruckkräfte unter den DAK-Prototypen

Im Folgenden werden die drei DAK-Designs einzeln betrachtet und die Erkenntnisse zusammenfassend aufgeführt. Die genauen Auswertungen sind im Prüfbericht der DB Systemtechnik in Anhang 3 zu finden.

- Kupplung der Bauart Scharfenberg des Herstellers Voith

Die Scharfenberg DAK des Herstellers Voith hat einmalig eine nominelle größte Längsdruckkraft von 475 kN ertragen, bevor es bei einem weiteren Steigerungsversuch zur Entgleisung kam. Die ertragbare Längsdruckkraft des Hbbins 306 mit Scharfenberg-DAK lag somit oberhalb des Mindestwertes von 200 kN, für zweiachsige Wagen mit Schraubenkupplung und Seitenpuffern. Der Grenzwert für die Radanhebung wurde bei keinem der gültigen Versuche erreicht oder überschritten, er lag bei ca. 9 mm.

- Kupplung der Bauart Scharfenberg des Herstellers Dellner

Die Scharfenberg DAK des Herstellers Dellner hat einen Versuch mit einer nominellen größten Längsdruckkraft von 225 kN ertragen. Bei einem Wiederholungsversuch kam es zur Entgleisung und die Versuchsfortführung wurde abgebrochen. Die ertragbare Längsdruckkraft des Hbbins 306 mit Scharfenberg-DAK lag oberhalb des Mindestwertes von 200 kN, für zweiachsige Wagen mit Schraubenkupplung und Seitenpuffern. Der Grenzwert für die Radanhebung wurden bei keinem der gültigen Versuche erreicht oder überschritten, er lag bei ca. 6 mm .

An der zweiten Generation der Bauart Scharfenberg des Herstellers Dellner war im Gegensatz zur ersten Generation ein Stabilisierungsgelenk implementiert. Ein Stabilisierungsgelenk erhöht die Toleranz der Kupplung gegenüber Längsdruckkräften. Das zweite Modell der Scharfenberg DAK des Herstellers Dellner hat einmalig eine nominelle größte Längsdruckkraft von 400 kN ertragen, bevor es bei einem Bestätigungsversuch zur Entgleisung kam. Die ertragbare Längsdruckkraft des Hbbins 306 mit Dellner-DAK lag somit oberhalb des Mindestwertes von 200 kN für zweiachsige Wagen mit Schraubenkupplung und Seitenpuffern. Der Grenzwert für die Radanhebung wurde bei keinem der gültigen Versuche erreicht oder überschritten, er lag bei ca. 6 mm.

- Kupplung der Bauart Schwab des Herstellers Wabtec

Die Schwab DAK des Herstellers Wabtec hat einen Versuch mit einer nominellen größten Längsdruckkraft von 400 kN ertragen. Die Versuchsleitung hat in Absprache mit dem Hersteller entschieden, keine Versuche mit höheren Kräften durchzuführen, um das Risiko einer Entgleisung zu vermeiden. Die ertragbare Längsdruckkraft des Hbbins 306 mit Schwab-DAK lag mit 400 kN über dem Mindestwert für zweiachsige Wagen mit Schraubenkupplungen und Seitenpuffern. Der Grenzwert für Radabhebung wurde in keinem der weiteren Bestätigungsversuche erreicht, er lag im Maximum bei 6 mm.

3.3 Versuche in Klimakammer

In der Klimakammer der DB Systemtechnik in Minden wurden Kuppel- und Entkuppelversuche bei unterschiedlichen Umgebungsbedingungen und Temperaturen (s. Abbildung 14) mit den Prototypen der beiden Scharfenberg- und des Schwab-Designs durchgeführt, um die Einhaltung der Funktionsfähigkeit der Kupplungen in klimatischen Extremsituationen zu überprüfen. Auch bei den Klimakammertests wurden die mechanischen, pneumatischen und elektrischen Verbindungen untersucht. Bei den Versuchen sollte sowohl das

Entkuppelverhalten einer verbunden klimatisierten Kuppelstelle untersucht werden als auch das Kuppelverhalten zweier unabhängig klimatisierter Kupplungsköpfe. Aufgrund der Entkuppelprobleme beim Schwab-Prototyp, konnte das Entkuppelverhalten auch nicht in der Klimakammer weiter untersucht werden.

Temperatur	Bedingungen	Anzahl
45°C	trocken	5
45°C	90% Luftfeuchtigkeit	5
0°C	feucht (Schneematsch)	5
-5°C	feucht (Schneematsch)	5
-10°C	trocken	5
-10°C	3-5 mm Eis auf Kupplungsstirnfläche, Kupplung (gekuppelt)	5
-25°C	trocken	5
-25°C	3-5 mm Eis auf Kupplungsstirnfläche Kupplung (gekuppelt)	5

Abbildung 14: Bedingungen für Klimakammerversuche

Bei den Tests befanden sich die Wagen in folgendem Beladungszustand (Ladezustand 1):

- o Eanos-Wagen: voll beladen
- o Hbbins-Wagen: leer
- o Zags-Wagen: leer.

Als kritische Situation wurde erachtet, wenn zwei leichte (unbeladene) Wagen ohne Höhenversatz mit Eis kuppeln (in diesem Fall der Zags-Wagen mit dem Hbbins-Wagen).

3.3.1 Durchführung

Vor der eigentlichen Versuchsdurchführung wurden die Wagen der in der Klimakammer eingestellten Temperatur und den gewählten klimatischen Umgebungsbedingungen ausreichend lange ausgesetzt, um eine homogene Temperierung der zu untersuchenden Bauteile sicherzustellen. In der Ausgangssituation wurden der Eanos- und Hbbins-Wagen gekuppelt in der Klimakammer positioniert. Dabei wurde der Eanos-Wagen mit Hemmschuhen festgelegt. Der Zags-Wagen stand entkuppelt am Ende der Klimakammer. Im nächsten Schritt wurde der H-Wagen vom E-Wagen entkuppelt, per Hand in die Mitte geschoben und ebenfalls mit einem Hemmschuh festgelegt. Auf der noch ungekuppelten Seite des Hbbins- wurde der Zags-Wagen mit ca. 2 bis 5 km/h aufgeschoben und ein Kuppelvorgang zwischen Zags- und Hbbins-Wagen durchgeführt. Um auch die Verbindung der Hauptluftleitung zu prüfen, wurden H- und E-Wagen wieder miteinander gekuppelt. Das in Abbildung 15 dargestellte Schema, zeigt die einzelnen Schritte nochmals auf.

Beim Schwab-Design musste von dem Verfahren abgewichen werden, da die entkuppelten Kupplungen zwischen E- und H-Wagen sich nicht per Hand auseinanderschieben lassen konnten. Dies wird im Prüfbericht der DB Systemtechnik in Anhang 4 ausführlich beschrieben.

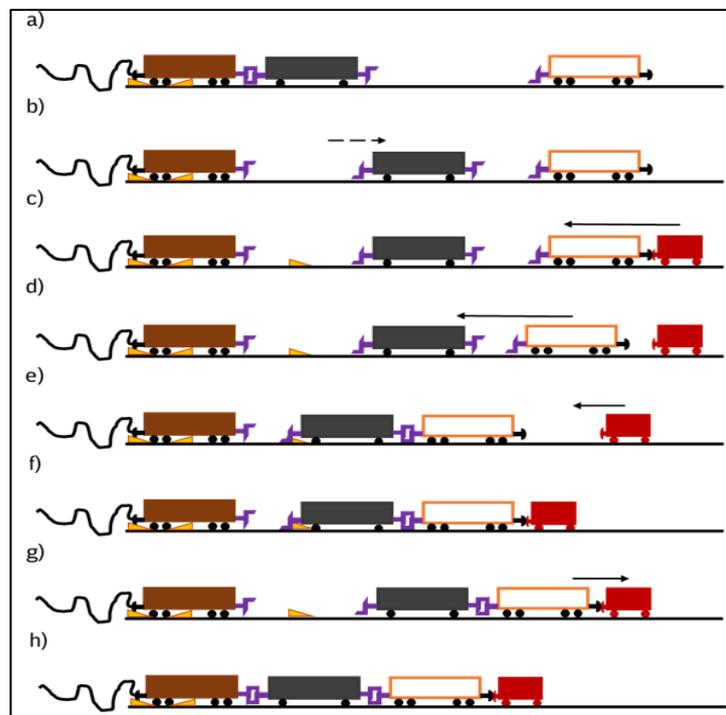


Abbildung 15: Schematischer Ablauf der Klimakammerversuche

3.3.2 Ergebnisse

Die Ergebnisse der Klimakammerversuche zeigen auf, dass alle drei DAK-Prototypen Probleme beim Kuppeln bei Schneematsch (Scharfenberg-Design von Dellner) und/oder Eis (alle drei Designs) hatten. Vor allem die E-Kupplungen konnten kaum bis gar nicht kuppeln, da die Abdeckklappen und Kontakte für diese Wetterbedingungen nicht geeignet waren. Auch das mechanische Kuppeln der Prototypen war bei Schneematsch, Schnee und/oder Eis nicht bei allen Versuchsdurchläufen erfolgreich, wobei das Scharfenberg-Design von Voith die besten Ergebnisse erzielt hat. Jedoch hat dieser DAK-Prototyp beim pneumatischen Kuppeln Probleme aufgezeigt, da der notwendige Druckaufbau nicht zustande gekommen ist. Das ließ auf eine Undichtheit in der Hauptluftleitung schließen, konnte jedoch nicht lokalisiert werden. Beim pneumatischen Kuppeln hat das Scharfenberg-Design von Dellner am besten abgeschnitten, denn mit jedem erfolgreichen mechanischen Kuppelvorgang, hat auch die pneumatische Verbindung funktioniert. Auch zu diesen Ergebnissen sind weitere Details und Auswertungen in Anhang 4 zu finden.

Bei dem Schwab-Design von Wabtec musste, wie zuvor erklärt, vom regulären Versuchsaufbau abgewichen werden, da die Kupplungen zwischen E- und H-Wagen in entkuppeltem Zustand nicht per Hand getrennt werden konnten. Es brauchte eine stärkere Zugkraft, so dass der H-Wagen freistehend positioniert für die Ausgangsposition wurde. Der Schwab-Prototyp konnte zwar bei Schnee mechanisch kuppeln, jedoch nicht bei Eis. Pneumatische und elektrische Verbindungen sind nur bei +45°C zustande gekommen. Für weitere Details siehe Anhang 4.

3.4 Elektrische Versuche

Jeder der vier DAK-Prototypen ist mit einer elektrischen Kupplung (E-Kupplung) ausgestattet. Bei dem Schwab- und SA3-Design sind die E-Kupplungen jeweils unterhalb der mechanischen Kupplung angebracht, bei den beiden Scharfenberg-Designs oberhalb. Sowohl die SA3- als auch die beiden Scharfenberg-DAK besitzen Feder-/Festkontakte und bei der Schwab-DAK sind Stift-/Buchsenkontakte verbaut. Auch für die E-Kupplungen ist ein gesondertes Testkonzept aufgesetzt worden, um ihre Funktionalitäten (Versorgung, ep-Bremse, Übertragung von Daten) zu prüfen. In einem weiteren ausführlichen Bericht beschreibt DB Systemtechnik jedes E-Kupplungsdesign im Einzelnen sowie die durchgeführten Versuche (s. Anhang 5). Im Folgenden sind die wesentlichen Punkte aufgeführt.

3.4.1 Durchführung

Insgesamt sind vier Messungen durchgeführt worden: (1) Messung des Übergangswiderstandes, (2) Isolationswiderstandsmessung, (3) Leistungsübertragung über den Zug und (4) Lade- und Entladeverhalten der Batterien. Dabei sind die Messungen des Übergangswiderstands und die Isolationswiderstandsmessungen vor Beginn der mechanischen Kuppelversuche sowie während und nach des Versuchsprogramms durchgeführt worden. Bei (1) waren die DAK-Prototypen in gekuppeltem Zustand, während sie bei (2) in einem ungekuppelten Zustand waren. Die Leistungsübertragung (3) wurde je Kupplungsdesign in dem 3er-Wagenverbund gemessen und in gekuppeltem Zustand. Das Lade- und Entladeverhalten der Batterien (4) wurde hingegen im gesamten Zugverbund mit neun Wagen getestet.⁸

3.4.2 Ergebnisse

Die Akzeptanzkriterien bei den Messungen der Übergangswiderstände sind bei den Scharfenberg- und Schwab-DAK-Prototypen nur teilweise erfüllt worden, da die Maximalwiderstände für die Versorgungs- und Datenleitungen (beim Scharfenberg-Design von Dellner) oder nur für die Datenleitungen (beim Scharfenberg-Design von Voith und bei Schwab) nur teilweise erfüllt worden sind.

Die Isolationswiderstände des Scharfenberg-Designs von Voith sind zu niedrig und könnten im Betrieb „zu unerwünschten Auslösungen der Isolationsüberwachungseinrichtung führen“.⁹ Somit haben die E-Kupplungen dieses Prototyps die Akzeptanzkriterien nicht erfüllt. Details zu den Messungen und Auswertungen sind ebenfalls in Anhang 5 zu finden.

Die Akzeptanzkriterien von (3) und (4) sind hingegen von allen E-Kupplungsdesigns erfüllt worden, was bedeutet, dass die Leistungsübertragung während des „Prüfzeitraums ohne Einschränkungen erfolgte“¹⁰ und dass „der praxisnahe Funktionstest für die elektrische Versorgung bestanden wurde.“¹¹

In Tabelle 4 sind die Ergebnisse der Messungen zusammengefasst:

⁸ Messungen erfolgten nur für das Schwab- und die beiden Scharfenberg-Designs, da das SA3-Modell zu diesem Zeitpunkt bereits durch Dellner zurückgezogen war.

⁹ S. Anhang 5: DB Systemtechnik: Prüfbericht Elektrische Versuche, Kapitel 4.4, Seite 17

¹⁰ S. Anhang 5: DB Systemtechnik: Prüfbericht Elektrische Versuche, Kapitel 5.4, Seite 21

¹¹ S. Anhang 5: DB Systemtechnik: Prüfbericht Elektrische Versuche, Kapitel 6.4, Seite 27

Tabelle 4: Zusammenfassung der Ergebnisse

E-Kupplung	E11 Übergangswiderstände (1)	E12 Isolationswiderstände (2)	E15 Leistungsübertragung (3)	E16 Lade-/Entladeverhalten der Batterien (4)
CAF	nicht erfüllt	erfüllt; (ohne Abschlussmessung)	nicht erprobt	nicht erprobt
Dellner	teilweise erfüllt	erfüllt	erfüllt	erfüllt
Voith	teilweise erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt	erfüllt
Wabtec	teilweise erfüllt	erfüllt bis auf 1 Kontaktstelle; nur teilweise Abschlussmessung	erfüllt	erfüllt

3.5 Versuche zu Strom- und Datenkommunikation

Ein wesentlicher Bestandteil einer DAK ist die Verbindung von Strom und Daten zwischen den Wagen. Im Rahmen des Projektes sind deshalb drei unterschiedliche Kommunikationssysteme getestet worden:

- ein System, das auf den Stromleitungen aufsetzt: Powerline PLUS,
- eine Funktechnologie zwischen den Wagen: Wireless LAN und
- einer 2-Draht-Lösung über separate Leitungen: CAN-FD.

Der Demonstrator wurde dazu von OWITA im Auftrag der DB Systemtechnik mit der entsprechenden Technik ausgerüstet. In Anhang 6 stellt OWITA die Ergebnisse einem ausführlichen Prüfbericht vor. Im Folgenden sollen die wesentlichen Punkte erläutert werden.

Ziel der Versuche zu Strom- und Datenkommunikation in Phase I ist es gewesen, eine passende Kommunikationstopologie für die Betriebserprobung in Phase II auszuwählen. Die Tests haben ergeben, dass alle drei Kommunikationssysteme für eine weitere Evaluierung in Phase II geeignet sind. Da die Messungen im stationären Zustand durchgeführt worden sind, werden die Versuche in Phase II, deren Fokus auf der Untersuchung während der Fahrt liegen, weitere entscheidende Ergebnisse für die Auswahl eines Kommunikationssystems für den Regelbetrieb liefern. Untersucht wurde der Daten- und Stromfluss sowohl in den einzelnen Wagengruppen als auch im gesamten Zugverbund mit 12 Wagen. Dabei ist die Verbindung zur Wagengruppe mit dem SA3-Design überbrückt worden. Bei den Messungen in den einzelnen Wagengruppen konnte keine Abhängigkeit zum Kupplungsdesign festgestellt werden. Im Zugverbund sind die Kommunikationssysteme auf Belastbarkeit und Störfestigkeit untersucht worden, wobei eine stabile Kommunikation demonstriert werden konnte.

4. Fazit

Am 30. Juni 2021 konnten die Versuche auf dem Testgelände der TÜV Süd Rail GmbH in Görlitz erfolgreich beendet werden. Nachdem die ursprünglich geplante Dauer der Versuche

um 4 Monate verlängert wurde, um den Herstellern ausreichend Zeit für Nachbesserungen einzuräumen, konnte das vertraglich vereinbarte Testprogramm für die drei verbliebenen Prototypen vollständig absolviert werden. Für das SA3-Design wurde durch den verantwortlichen Hersteller Dellner beschlossen, keine Nachbesserungen zur Herstellung der Testfähigkeit mehr durchzuführen und das Design aus den Versuchen zu nehmen.

Auch die Versuche zur Strom-/Datenkommunikation wurden beendet. Untersucht wurden sowohl die elektrischen Eigenschaften der Kupplungen als auch die Datenübertragungsfähigkeit über den Wagen hinweg. Hierzu wurden sowohl einzelne Kupplungen als auch die jeweiligen Wagengruppen und der Gesamtzug betrachtet. Damit steht für die drei Designs (Typ Scharfenberg von Voith und Dellner, sowie Schwab von Faiveley Wabtec) eine umfangreiche Datenbasis zur Verfügung, mit einer Vielzahl von Messwerten zum Verhalten bei verschiedenen Beladungszuständen, Geschwindigkeiten und Gleisgeometrien. Darüber hinaus liegen Messwerte und Erkenntnisse über das Verhalten bei unterschiedlichen klimatischen Bedingungen und zum Nachweis der Entgleisungssicherheit vor.

4.1 Verwendung der Daten im EDDP

Im Nachgang zu den Versuchen wurden die Daten umfangreich ausgewertet und in ein standardisiertes Format für die Übermittlung an das EDDP übertragen. Das EDDP ist ein von Shift2Rail etabliertes Gremium, das es sich zum Ziel gemacht hat, den Schienengüterverkehr in Europa durch die Einführung einer standardisierten DAK-Lösung zu modernisieren. Die weite Bandbreite an beteiligten Stakeholdern soll eine effiziente und wirtschaftliche Einführung einer DAK gewährleisten, denn u. a. sind dies Eisenbahnunternehmen, Infrastrukturbetreiber, Wagenhalter, Forschungseinrichtungen und Branchenorganisationen sowie politische Institutionen beteiligt.

Die Daten aus den Versuchen im DAC4EU-Projekt wurden im Juli 2021 im Rahmen von drei Workshops vorgestellt, bei denen die vorab definierten KO-Kriterien je Kupplungsdesign präsentiert und evaluiert wurden. Am 21. September 2021 hat das EDDP sich mit Hilfe der unter anderem von DAC4EU zur Verfügung gestellten Daten für das Scharfenberg-Design einer DAK Typ 4 ausgesprochen.

4.2 Ausblick Phase II

In Phase II wird der Demonstratorzug sukzessive auf 24 Wagen erweitert und das ausgewählte Kupplungsdesign wird im regulären Betrieb des SGV erprobt. Das Ziel ist es, den DAK-Prototyp in betrieblichen Situationen und Abläufen zu testen und Erfahrungen über das Einsatzverhalten im realen Betrieb zu gewinnen. In 2021 wird der Demonstratorzug zunächst auf ausgewählten deutschen Strecken verkehren, ab Anfang 2022 dann auch in der Schweiz und in Österreich. Zudem hat DAC4EU weitere EU-Staaten angefragt, um die Fahrten des Demonstrators auf europäischen Strecken auszuweiten. Dabei sollen weitere Erkenntnisse über die DAK Typ 4 mit dem Fokus auf dem operativen Handling gesammelt und die technischen Details aus Phase I weiter detailliert werden. Auch soll diese Phase genutzt werden, um die Vorteile der DAK zu präsentieren und den Demonstratorzug externen Stakeholdern vorzuführen. Die Betriebserprobung soll im Dezember 2022 abgeschlossen werden.