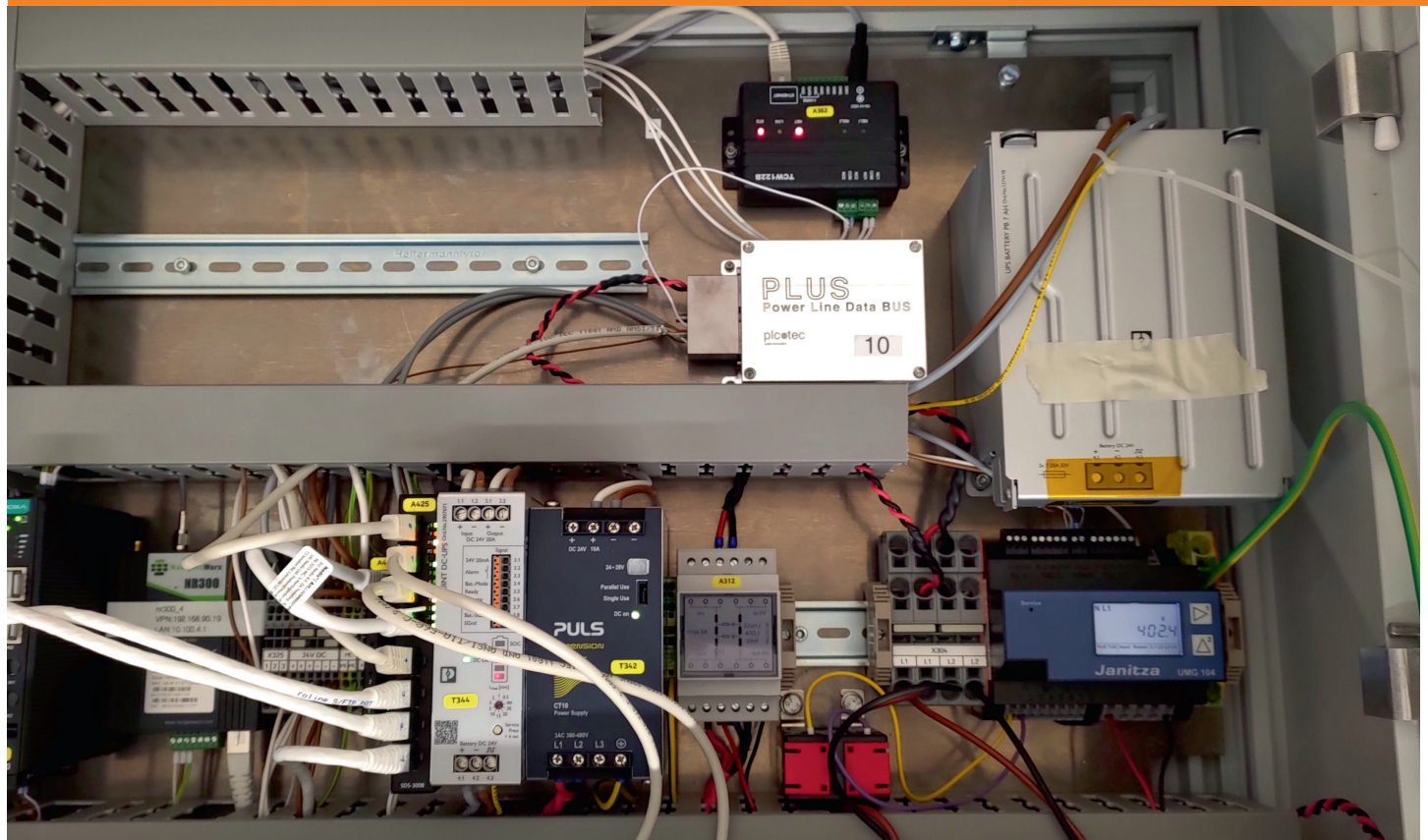




PTB-Box mit Powerline-PLUS-Gateway.

Digitale Automatische Kupplung für Güterzüge

Automatisierung | Die Migration von der Schraubenkupplung zur Digitalen Automatischen Kupplung (DAC) ist zentral für die Automatisierung und Digitalisierung des Schienengüterverkehrs. In einem Projekt werden nun die Spezifikationen der DAC und eine Systemarchitektur für den zukünftigen volldigitalen Güterzug in technischen und betrieblichen Tests der automatisierten Funktionen erprobt.

ULRICH DERSCH, FABIO LO PICCOLO

Um gegenüber dem Strassen-güterverkehr kompetitiver zu werden, muss die Schienengüterverkehrs-Branche die arbeitsintensive erste und letzte Meile automatisieren. Dafür ist die Digitale Automatische Kupplung (DAC) der Waggons entscheidend. Sie ist die zentrale Komponente des künftigen volldigitalen Güterzuges und wird in der Schweiz und in der EU angestrebt. Es gibt mehrere DAC-Typen: Während Typ 2 (DAC 2) die automatische mechanische Kupplung der Waggons inklusive der Druckluftleitungen umfasst, kuppelt die DAC 4 zusätzlich automatisch die Stromleitungen und

die Datenkommunikation zwischen den Waggons. Die DAC 5 integriert zusätzlich die Funktion der Fernentkupplung.

Strom und Daten auf dem ganzen Zug ermöglichen den Einsatz der digitalen und intelligenten Systeme für die automatisierten Zugfunktionen wie automatische Zugtaufe und Bremsprobe, intelligentes Energiemanagement, elektropneumatische Bremse und zustandsabhängige bzw. prädiktive Wartung. Dank solchen automatisierten oder ferngesteuerten Zugfunktionen können die betrieblichen Prozesse optimiert, Zeit gespart und eine höhere Effizienz erreicht werden,

mit höherer Arbeitssicherheit und -komfort und attraktiverem Berufsbild im Schienengüterverkehr.

Die für die Schweiz relevanten Spezifikationen und Normen werden derzeit auf europäischer Ebene definiert. Die Schweiz hat diesen Prozess bisher massgeblich mitgestaltet. So hat SBB Cargo die DAC 2 als erste Güterbahn Europas im kommerziellen Betrieb eingesetzt, wichtige Betriebserfahrungen gesammelt und unter anderem entscheidend zur europäischen Wahl des Scharfenberg-Kupplungskopfes für die DAC 2 beigetragen, nachdem sie diesen in den Jahren davor gemeinsam mit Voith getestet, weiterentwickelt und als

Betriebsphase	Automatisierungsfunktion	Details
Zugzusammenstellung: Kupplung der Waggons	Automatische Kupplung mit der DAC	Automatische Kupplung der Mechanik und der Luftdruckleitungen der Waggons sowie der E-Koppler für die Strom- und Datenverbindung über den gesamten Zug. Kein anstrengendes und gefährliches manuelles Kuppeln mehr. Am Ende sind Strom und Daten über den gesamten Zug verbunden.
Zugtaufe	Automatische Zugtaufe: Automatische Bestimmung der Reihenfolge und Richtung der Waggons	Erforderlich für das Funktionieren der Kommunikationssysteme der elektrischen Systeme im Zug. Nach der Inbetriebnahme des Zugs sind die Wagenreihenfolge, die Wagenausrichtung und der letzte Wagen dem Zug bekannt. Jedem Wagen wird eine logische Adresse zugewiesen, die in einer Zuordnungstabelle registriert wird. Jeder Waggon stellt einen sogenannten Kommunikationsknoten dar. Wesentliche Voraussetzung für alle Zugfunktionen bei einem voll ausgestatteten Zug. Am Ende wird die Zugliste beispielsweise auf einem Tablet angezeigt.
Bremsprobe	Automatische Bremsprobe	Kein zeitaufwendiges Ablaufen des Zugs durch das Personal mehr. Das automatisierte Bremsprobensystem erfasst alle relevanten Bremszustände mit Sensoren und überträgt und zeigt sie in Echtzeit auf einem mobilen Endgerät/Tablet an.
Zugfahrt: Überwachung/Steuerung der Zug-/Waggonsysteme	Zugintegrität	Die Überwachung der Zugvollständigkeit und die entsprechende Alarmierung müssen höchsten Sicherheitsanforderungen genügen. Die Überwachung erfolgt durch regelmässige Meldungen, die vom letzten Waggon an die Lokomotive gesendet werden.
	Verschiedene Waggonsysteme von der Lokomotive aus	Z.B. Bremssystem, Stromsystem, ...
	Multi-Traktion	Die Steuersignale müssen zwischen den über den Zug verteilten Lokomotiven ausgetauscht werden.
Rangieren	Fernabkopplung von Waggons von der Lokomotive aus	Das Abkuppeln eines Wagens oder einer Wagengruppe soll auch von der Lokomotive aus ermöglicht werden. Dies erfordert zusätzliche Aktoren an den Kupplungen, die mit einer sehr hohen Sicherheitsanforderung gesteuert und überwacht werden müssen.
Unterhalt	Prädiktiver Unterhalt (Condition Based Maintenance)	Dank der Verfügbarkeit von Strom- und Datenkommunikation auf dem Zug kann der Zustand kritischer Komponenten (wie der kritischsten E-Koppler und elektrischen Kontakte) mit geeigneten Sensoren überwacht und die Daten rechtzeitig an die Wartungseinrichtungen übermittelt werden, bevor es zu kostspieligen Ausfällen kommt.

Tabelle 1 Automationsfunktionen, die durch die DAC4/5 ermöglicht werden.

einzigste Bahnbetreiberin in Europa seit 2019 im Betrieb hatte. SBB Cargo wird daher in Europa als DAC-Pionierin wahrgenommen, deren Erfahrungen die europäischen Spezifikationen und Normen stark beeinflussen.

Projektziel und -überblick

Das Projektziel ist die Erprobung der DAC 4 und einer darauf aufbauenden Systemarchitektur für den Zug mit innovativen Systemkomponenten, durch technische und betriebliche Tests der dadurch ermöglichten automatisierten Funktionen auf einem eigenen DAC+-Testzug. Die gewonnenen Erfahrungen beschleunigen die technischen Migrationsprozesse für die (Teil-)Automatisierung auf der letzten Meile des Schienengüterverkehrs.

Eine grosse Herausforderung ist die zuverlässige Datenübertragung über die E-Koppler und deren elektrische Kontakte in der DAC. Diese sind sowohl beim harten Kuppeln der Waggons als auch bei Zugfahrten, bei denen sich die E-Koppler gegeneinander bewegen, starken mechanischen Belastungen ausgesetzt, zusätzlich zu Umwelteinflüssen wie Schmutz, Staub, Öl oder Eis. Sie sind damit sehr störungsanfällig, weshalb ihre Anzahl in der DAC minimal sein sollte.

Als eine Lösung dafür verwendet der Powerline PLUS Train Backbone (PTB) die Power Line Communication (PLC),

mit der die Daten über die Zug-Stromleitung und zwischen den Waggons über deren elektrische Kontakte in den E-Kopplern übertragen werden. Ein Schwerpunkt in diesem Projekt liegt auf der Zuverlässigkeit des PTB für den Einsatz in den betrieblichen Automationsfunktionen (Tabelle 1), mit gezielten Tests der E-Koppler und der elektrischen Kontakte.

Das Projekt wird von SBB Cargo und der Hochschule Luzern (HSLU) geleitet. Weitere Projektteilnehmer sind die PLC-Tec AG, Voith und PJM. Das Projekt wird durch das Bundesamt für Verkehr mitfinanziert.

Die «Powerline PLUS»-Technologie

Powerline PLUS nutzt die PLC-basierte Power Line Data Bus (PLUS) Technologie, die von PLC-Tec und ihrem Forschungspartner HSLU entwickelt wurde. PLUS zielt speziell auf sicherheitskritische Echtzeitanwendungen (Mission-and-Time Critical) in Flugzeugen, Zügen etc. ab. Dafür wurden äusserst robuste Kommunikationsprotokolle und -verfahren entwickelt, die mit schwierigen Kanalbedingungen wie Kanalverzerrungen und Rauschen umgehen können und gleichzeitig die Zuverlässigkeit maximieren, niedrige Latenzzeiten unterstützen und ein deterministisches Protokollverhalten bieten. Die physikalische Schicht von

PLUS, die auf der PLC-Norm IEEE1901 basiert, verwendet beispielsweise ein Mehrträger-Übertragungsschema (Orthogonal Frequency Division Multiplexing), das die spektrale Effizienz bei frequenzselektiven Kanälen optimiert. Starke Vorwärtsfehlerkorrekturtechniken werden gegen impulsives Rauschen eingesetzt. PLUS zielt nicht nur auf ein Kommunikationsprotokoll ab, das die erforderlichen Funktions- und Leistungsanforderungen erfüllt, sondern bietet auch die für sicherheitskritische Anwendungen nötige Entwurfsicherheit.

Powerline PLUS nutzt die PLUS-Technologie und passt sie an die Anforderungen des vollen digitalen Güterzugs an. Als kabelgebundene Technologie unterstützt Powerline PLUS die Übertragung von sicherheitskritischen Daten und bietet im Vergleich zu drahtlosen Lösungen eine höhere Sicherheit (Cyber Security), da es weniger anfällig für Angriffe von aussen ist.

PLC über die Zug-Stromleitung hat folgende Vorteile:

- Nur die Stromleitung und ihre elektrischen Kupplungskontakte in der DAC werden benötigt, aber keine elektrischen Datenkontakte und -kabel wie Ethernet, und somit die geringstmögliche Anzahl von elektrischen Kontakten aller drahtgebundenen Kommunikationstechnologien.

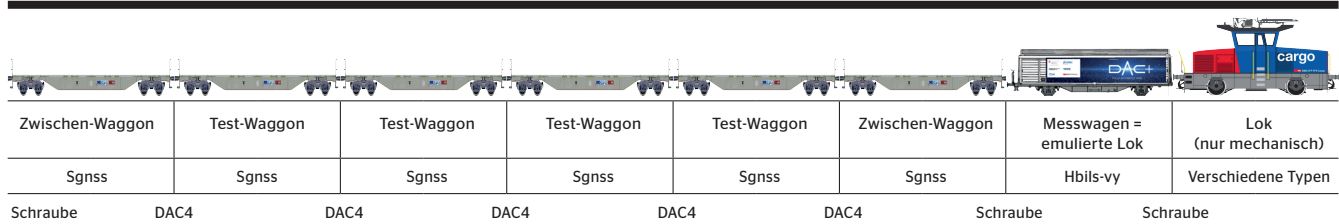


Bild 1 DAC+-Testzug.

- Stromleitungskontakte sind typischerweise grösser und robuster als Datenleitungskontakte.
- PLC-Signale werden sogar über eine Kontaktunterbrechung von bis zu 2 bis 3 mm über die Luft übertragen.
- Der im Vergleich zu Datenkontakten hohe Strom durch die Stromkontakte (wetting current) reinigt die Kontakte, indem er den Oberflächenwiderstand durchbricht – ein nützlicher Effekt bei lange stehenden Güterwagen.
- PLC ist nicht neu im Güterzug und wird seit mehr als 20 Jahren in Nordamerika für die Bremssteuerung eingesetzt.

In Summe werden mit PLC die Probleme mit elektrischen Kontakten in der DAC minimiert und die Zuverlässigkeit maximiert.

Zusätzlich zur robusten Datenübertragung wird das breitbandige PLC-Signal des PTB auch für weitere Funktionen verwendet, z. B. für die Zugtaufe oder die Zustandsüberwachung.

Europäische Projekte und Empfehlungen

Auf europäischer Ebene haben zwei grosse Projekte die Entwicklung der DAC seit 2020 vorangetrieben. Im Projekt DAC4EU (Digital Automatic Coupling for Europe) testet ein Konsortium von sieben europäischen Unternehmen (inkl. SBB Cargo) den Einsatz bestehender DAC-Prototypen an einem Testzug. Das European DAC Delivery Programme (EDDP) bringt alle wichtigen europäischen Akteure zusammen und koordiniert die verschiedenen Initiativen zur Umsetzung einer einheitlichen europäischen DAC in diversen Arbeitspaketen und Entscheidungsgremien.

EDDP hat seit 2020 einige Technologien für die DAC bewertet. Für das Backbone-Kommunikationssystem des volligitalen Güterzugs empfahlen sie im Mai 2022 zwei Technologien:

10BASE-T1L Single-Pair Ethernet (SPE) sowie Powerline PLUS. Für eine Entscheidung für eine der beiden Technologien sind weitere Tests der DAC erforderlich.

Die bisher vorliegenden Ergebnisse aus dem DAC4EU-Zug zeigen, dass Kontakte in den E-Kopplern bereits nach wenigen (100) Kupplungsvorgängen und (1000) Streckenkilometern beschädigt sein können. Zudem ist noch nicht klar, was bei beiden Kommunikationstechnologien zu kurzen Unterbrechungen der Datenströme während der Fahrt führt. Trotz solcher Unterbrechungen erzielt PTB die besten Ergebnisse und erfasst beispielsweise die Zugvollständigkeit und Wagenreihung zuverlässig.

Auf dem DAC+-Zug werden nun die automatisierten Zugfunktionen mit dem PTB auf ihre Zuverlässigkeit unter Betriebsbedingungen erprobt, mit Belastungen der E-Koppler, um eine Optimierung der Gesamtzuverlässigkeit (E-Koppler, PTB) zu erreichen.

Die Resultate werden unter anderem in das EU-Projekt TRANS4M-R eingebracht, in dem zurzeit die DAC europaweit spezifiziert und entwickelt wird, sowie in die Cenelec-Standardisierung.

DAC+-Testzug

Der DAC+-Testzug besteht aus sechs Sgnss-Waggonen als Testwagen und einem gedeckten Güterwaggon, der die Lokomotive emuliert, die Stromversorgung zur Verfügung stellt sowie Test-/Messgeräte für den ganzen Zug enthält (Bild 1).

Für die Ausrüstung der DAC 4 mit Energie- und Datenkopplung gibt es derzeit verschiedene Lösungen und Technologien. Die Systemarchitektur des Zugs und die Teilsysteme in diesem Projekt basieren auf den Ergebnissen von EDDP sowie auf den Vorarbeiten von SBB Cargo zur DAC 2.

Bild 2 zeigt die Architektur und die implementierten Komponenten der Testwagen, mit den Sgnss-Waggonen von SBB Cargo, den DAC 4 von Voith mit mechanischer Scharfenberg-Kupplung (2021 von EDDP als Standard ausgewählt) sowie E-Koppler-Prototypen mit vier Stromkontakten für das von EDDP spezifizierte 2-Phasen-400-V-AC-Stromsystem sowie zwei Kontakten für Testzwecke. Zudem sieht man die Wagon Tracker Box von PJM für die automatische Bremsprobe, mit verschiedenen Sensoren, Steuerungen und zentralem Tablet z.B. auf der Lokomotive. Dieses System haben PJM und SBB Cargo gemeinsam entwickelt und vorzertifiziert. Es ist bereits in SBB-Cargo-Wagen im Einsatz. Zudem zeigt Bild 2 die PTB-Box (Einstiegsbild) mit PTB-Gateways von PLC-Tec für den Zugdaten-Backbone über die Zug-Stromleitung, mit integrierten erweiterbaren Schnittstellen (Ethernet, CAN) für die Waggon- und Loksysteme, Energiesystem mit Umrichtern, Batterie sowie verschiedenen Test-/Messgeräten. Dazu kommen Verteilerkästen (Junction Boxes) an den Waggonenden sowie das Zug-Stromkabel (von Studer Cables). Zusätzlich sind an mehreren Stellen Sensoren und Messgeräte (nicht abgebildet) angebracht, beispielsweise 3D-Beschleunigungssensoren.

Testprogramm

Das Testprogramm umfasst Zug-Stillstandstests, Fahrten und Rangierabläufe. Getestet werden die folgenden automatisierten Zugfunktionen:

- Zugtaufe: Bestimmung der Wagenreihung und Richtung mit dem PTB Train-Topology-Detection-Protokoll TTD, das bereits erfolgreich am DAC4EU-Zug getestet wurde.
- Automatische Bremsprobe: Die Daten zwischen dem Wagon Tracker und dem Master Tablet in der Lok werden über den PTB übertragen.

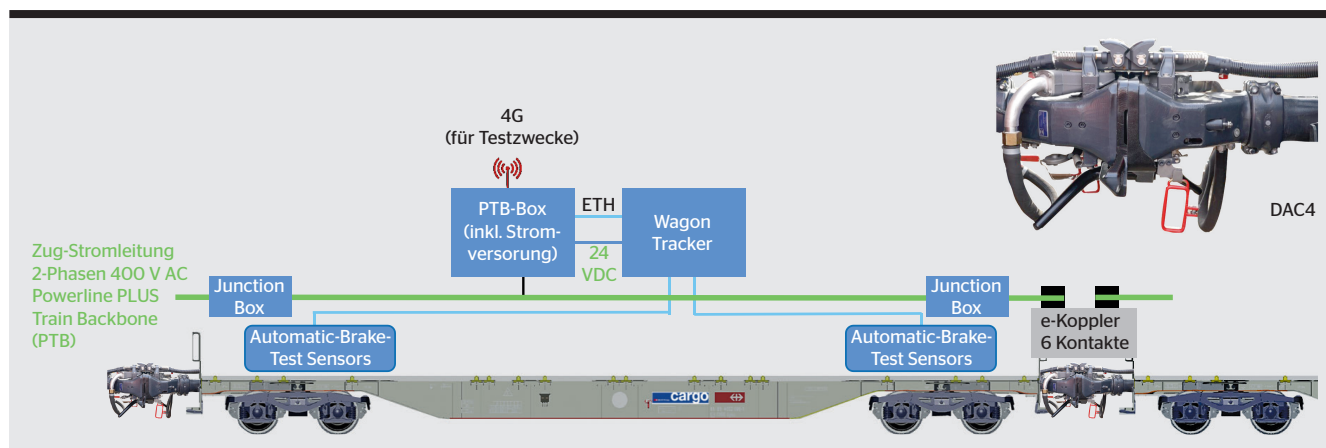


Bild 2 Architektur und Komponenten des Testzugs.

- Während der Fahrt: Daten zur Überwachung der Zugsysteme wie Zugintegrität, Stromverteilung und Kommunikationssystem werden zwischen der Lok und den Wagen über den PTB übertragen.

Besonderes Augenmerk gilt den Schäden an den E-Kopplern, um deren Ursprung, Eigenschaften und Auswirkungen auf die Kommunikation besser zu verstehen. Dazu zeichnen Sensoren während den Fahrten unter anderem das Verhalten auf von Signalunterbrüchen (Häufigkeit, Häufung, Dauer), mechanischen Einwirkungen wie Stöße auf die E-Koppler, wofür 3D-Beschleunigungssensoren

auf beiden Seiten der E-Koppler installiert sind, sowie die PTB-Performance wie Paketverlust, Latenz und Durchsatz. Diese Daten werden zeit-synchron aufgenommen, um gegenseitige Beeinflussungen zu detektieren.

Ausserdem werden zwei innovative Ansätze getestet, die die HSLU und SBB Cargo zurzeit gemeinsam entwickeln. Hierbei wird das breitbandige Powerline-PLUS-Signal zusätzlich zur Kommunikationsfunktion genutzt für die In-situ-Überwachung des Zustands der Kontakte in den E-Kopplern für eine prädiktive Wartung sowie für die Erkennung und Lokalisierung von

Erdungsfehlern nach der Zusammenstellung eines Zugs.

Die Tests werden iterativ in Kampagnen durchgeführt, zwischen denen die Resultate verarbeitet und Optimierungen, beispielsweise der E-Koppler, durchgeführt werden.

Autoren

Ulrich Dersch ist Geschäftsführer der PLC-Tec und war Dozent und Leiter des Kompetenzzentrums Intelligent Sensors and Networks an der HSLU.
→ plc-tec AG, 5607 Hägglingen
→ ulrich.dersch@plc-tec.ch

Fabio Lo Piccolo ist Projektleiter Development bei SBB Cargo.
→ SBB Cargo AG, 4600 Olten
→ fabio.lo_piccolo@sbbcargo.com

RÉSUMÉ

Attelage automatique numérique pour les trains de marchandises

Automatisation et augmentation de l'efficacité

Afin de devenir plus compétitif par rapport au transport routier de marchandises, le secteur du fret ferroviaire doit automatiser le premier et le dernier kilomètres, où beaucoup de travail doit être effectué. Dans ce contexte, la migration de l'attelage à vis vers l'attelage automatique numérique (Digital Automatic Coupling, DAC) représente un pas décisif vers l'automatisation et la numérisation du transport ferroviaire de marchandises.

Dans ce projet, les spécifications de l'attelage automatique numérique ainsi qu'une architecture de système pour le futur train de marchandises entièrement numérique sont testées, et ce, dans le cadre d'essais techniques et opération-

nels des fonctions automatisées sur un train d'essai DAC+. Pour ce faire, une technologie de communication par courants porteurs en ligne (power line communication, PLC) est employée, qui utilise la technologie PLUS (power line data bus) et l'adapte aux exigences du train de marchandises entièrement numérique. L'utilisation de la technologie PLC via la caténaire présente le grand avantage, en termes de fiabilité, de ne nécessiter que les contacts de couplage électrique de la caténaire, et aucun autre contact pour les données.

Les résultats de ce projet sont utilisés au niveau européen pour le développement du DAC.