



Multifunktionale Testanlagen

Diplomarbeitsbericht

Schule: TEKO Schweizerische Fachschule Bern

Klasse: B-TIS-21

Version: 1.0

Autor: Agon Thaqi

Ort, Datum: 28. Oktober 2024

I Management Summary

In einer zunehmend automatisierten und digitalisierten Umgebung verfolgt die SBB im Rahmen ihrer Kostensenkungsmassnahmen das Ziel, ihre Testanlagen für Fahrzeuge optimal zu nutzen und die Betriebskosten zu senken. Die Nutzung und das Management der bestehenden Testanlagen sollen durch den Einsatz moderner Technologien sowie durch Automatisierungsmassnahmen nachhaltig optimiert werden, wodurch wiederkehrende manuelle Konfigurationsaufgaben reduziert und Systemabläufe flexibler gestaltet werden.

Im Zuge dieser Diplomarbeit wurden die bestehenden APFZ-Testanlagen sowie die eingesetzten Technologien untersucht, darunter KNX, Ethernet und CAN-Bus-Systeme. Die Analyse umfasst sowohl Hardware- als auch Softwareebenen, um Möglichkeiten für die Automatisierung und verbesserte Vernetzung der Systeme aufzuzeigen.

Ziel ist es, eine umfassende Lösung zu entwickeln, die eine klare Entscheidungsgrundlage bietet, um zukünftige Investitionen in Testinfrastruktur und laufende Betriebskosten gezielt zu steuern.

Neben der technischen Analyse werden GUI-Entwürfe für orts- und fernbedienbare Benutzeroberflächen erarbeitet. Diese erweitern die Steuerungs- und Überwachungsmöglichkeiten und tragen zur Steigerung der Transparenz und Kontrolle bei. Durch gezielte Vorschläge zu CAPEX- und OPEX-Reduktionen wird die SBB in die Lage versetzt, nachhaltige Investitionsentscheidungen zu treffen.

Die Validierung erfolgt durch Funktionsnachweise mittels Testaufbauten und Mockups, die eine belastbare Grundlage zur Bewertung der vorgeschlagenen Massnahmen in Bezug auf technische Funktionalität und Wirtschaftlichkeit bieten.

Inhaltsverzeichnis

I Management Summary	2
1. Diplomand	8
1.1. Personalien	8
1.2. Beruflicher Lebenslauf.....	8
2. Wissenswertes über die Firma.....	9
2.1. SBB CFF FFS AG	9
3. Aufgabenstellung	10
3.1. Zweck des Dokuments	10
3.2. Ausgangslage	10
3.3. Detaillierte Aufgabenstellung.....	12
3.4. Ziele und Prioritäten	12
3.5. Zeitplan und Meilensteine.....	13
3.6. Rahmenbedingungen	14
3.6.1. Generelle Abgrenzung der Arbeit	14
3.6.2. Geleistete Vorarbeiten	14
3.6.3. Verwendung Erzeugnisse Dritter.....	14
3.6.4. Prozessbezogene Rahmenbedingungen.....	15
3.6.5. Produktbezogene Rahmenbedingungen	15
4. APFZ-Systeme	16
4.1. Geschichte APFZ-Systeme	16
4.2. Prinzipschema.....	20
4.2.1. System Generationen	21
4.2.2. Kundeninformationssystem (KIS)	22
4.2.3. Videoüberwachung (Video)	23
4.2.4. Automatische Fahrgastzählung (AFZ)	24
4.2.5. Fahrzeugplattform (FZPF).....	26
4.2.6. Mobile Router (OWL, APFZ 2.0)	27
4.2.7. Bordrechner (BR, APFZ 2.0)	28
4.2.8. Rail Server	29
4.2.9. Zukünftige Erweiterungen	30
5. Technische Grundlagen.....	31
5.1. KNX.....	31

5.1.1.	KNX-Buskabel.....	32
5.1.2.	Eigenschaften des KNX-Buskabel.....	32
5.1.3.	Leitungen des KNX-Buskabel.....	33
5.2.	Controller Area Network (CAN-Bus)	34
5.2.1.	Vorteile des CAN-Bus-Systems:.....	34
5.2.2.	Signale im CAN-Bus:	34
5.2.3.	Redundanz und Priorisierung:.....	35
5.2.4.	Kabellänge und Übertragungsrate im CAN-Bus-System	36
5.2.5.	Vorteile des CAN-Bus-Systems im Bahnverkehr	36
5.3.	Leittechnik Gateway (LT-GW)	37
5.4.	UIC-Leitung	39
5.4.1.	Funktionsweise der UIC-Leitung	39
5.4.2.	Türsteuerung.....	39
5.4.3.	Licht- und Beleuchtungssteuerung	40
5.4.4.	Notbremssteuerung.....	40
5.4.5.	Steuerung der Heizungs- und Klimaanlage	40
5.4.6.	Technische Eigenschaften der UIC-Leitung	40
5.4.7.	Bedeutung der UIC-Leitung im Bahnbetrieb	40
5.5.	Fahrzeugsignale.....	41
5.5.1.	Türsignale	41
5.5.2.	Radimpulsgeber	41
5.5.3.	GNSS (GPS).....	42
5.6.	Netzwerk	44
5.6.1.	OSI-Modell (Open Systems Interconnection Model).....	44
5.6.2.	VLANs (Virtual Local Area Networks).....	45
5.6.3.	Ring-Topologie.....	45
5.6.4.	RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol).....	46
5.7.	Mehrfachtraktion	47
5.7.1.	UIC-Leitung im MFT-Stecker.....	47
5.7.2.	CAN-Bus Signal im MFT-Stecker	47
5.7.3.	Netzwerkleitung im MFT-Stecker	48
6.	Analyse.....	49
6.1.	Vorgehensmethodik	49
6.2.	Anforderungen	49
6.2.1.	Anforderungen SBB Management.....	49
6.2.2.	Anforderungen SBB Benutzer der Testanlagen.....	50
6.2.3.	Funktionale Anforderungen	50

6.2.4.	Nicht-funktionale Anforderungen	50
6.3.	Übersicht der Testanlagen	51
6.3.1.	Testanlagen APFZ 2.0	51
6.3.2.	Testanlagen APFZ 1.0	55
6.3.3.	Steuern der Fahrzeugsignale APFZ 2.0	56
6.3.4.	Steuern der Fahrzeugsignale APFZ1.0	59
6.4.	Eingesetzte Technologien	60
6.4.1.	CAN-Bus	60
6.4.2.	Leittechnik-Gateway.....	62
6.4.3.	Ethernet APFZ-Netzwerk	64
7.	Varianten	66
7.1.	CAN-Bus	66
7.1.1.	Manuelle Steuerung	66
7.1.2.	Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais	66
7.2.	Leittechnik-Gateway.....	67
7.2.1.	Manuelle Steuerung	67
7.2.2.	Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais	67
7.3.	Mehrfachtraktion	68
7.3.1.	Manuelles Schalten des MFT-Steckers.....	68
7.3.2.	Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais	68
7.4.	Netzwerk	69
7.4.1.	Manuelles Schalten des Netzwerks.....	69
7.4.2.	Schalten des Netzwerkes mit einem Arista Switch	69
7.4.3.	Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais	69
7.5.	UIC-Leitung	70
7.5.1.	Manuelles Schalten der UIC-Leitung.....	70
7.5.2.	Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais	70
7.6.	Manuelle Verkabelung oder ein Bussystem.....	71
7.6.1.	Konventionelle Verkabelung mit Relais	71
7.6.2.	Kabelgebundenes Bussystem aus der Industrie.....	71
7.6.3.	Kabelgebundenes Bussystem aus dem Privat-Einsatz.....	72
7.6.4.	Funk Bussystem aus dem Privat-Einsatz	72
7.7.	Entscheid Systemauswahl.....	73
7.8.	Mögliche KNX-System Varianten	74
7.8.1.	Variante 1	74
7.8.2.	Variante 2	74
7.8.3.	Variante 3	75

7.8.4.	Variante 4	75
7.8.5.	Variantenvergleich	76
7.8.6.	Variantenwahl	78
7.9.	SWOT-Analyse	79
7.10.	Risikoanalyse	82
7.10.1.	Risiko 1: Technische Integrationsprobleme	82
7.10.2.	Risiko 2: Budgetüberschreitungen	82
7.10.3.	Risiko 3: Personalmangel und Know-how	82
7.10.4.	Risiko 4: Lieferengpässe bei Komponenten	83
7.10.5.	Risiko 5: Fehlende Abstimmung zwischen Abteilungen	83
8.	Wirtschaftlichkeit	84
9.	Umsetzung	85
9.1.	KNX-System	85
9.1.1.	ETS Programmiersoftware	85
9.1.2.	KNX IP-Netzwerk und TP-Linien	86
9.1.3.	Logiken, Sequenzen und Zeitfunktionen	90
9.1.4.	Grafische Bedienoberflächen	90
9.1.5.	Zu- und Wegschalten von UIC-Verbindungen und CAN-Bus	92
9.1.6.	Zu- und Wegschalten von APFZ-Peripheriegeräten	93
9.1.7.	Zu- und Wegschalten von Netzwerkverbindungen	94
9.1.8.	Umsetzung der Anforderungen	95
10.	Testing	96
10.1.	KNX-System	96
10.2.	Simulation mit der ETS Programmiersoftware	97
10.3.	Testaufbau Testbox	99
10.4.	POC Testanlage Domino	100
10.5.	Web-GUI Bedienoberfläche	101
10.6.	Rest/JSON Interface für Ansible	102
11.	Schlusswort	103
11.1.	Reflexion und Lessons learned	103
11.2.	Persönliches Fazit	104
11.3.	Danksagung	105
11.4.	Eigenständigkeitserklärung	106
12.	Anhang	107
12.1.	Tabellenverzeichnis	107
12.2.	Abbildungsverzeichnis	108
12.3.	Abkürzungsverzeichnis	110

12.4.	Glossar.....	111
12.5.	Quellenverzeichnis.....	112

1. Diplomand

1.1. Personalien

Vorname: Agon
Nachname: Thaqi
Geburtsdatum: 13. März 2000, Langenthal

Kontakt: Agon Thaqi
Haldenstrasse 38, 4900 Langenthal
Privat: +41 78 893 39 24
agon.thaqi@sbb.ch
agon_10@hotmail.com

1.2. Beruflicher Lebenslauf

Automatikmonteur EFZ 2015 - 2018

Ausbildung als Automatikmonteur EFZ bei Login SBB, Schwerpunktausbildung im Industrierwerk Biel/Bienne bei der SBB CFF FFS AG.

Instandhaltungstechniker Level 2 2018 – Juni 2022

Nach der erfolgreichen Ausbildung als Automatikmonteur EFZ begann ich als Instandhaltungstechniker Level 2 bei der SBB-Serviceanlage in Biel/Bienne.

- Elektrische Arbeiten an Fahrzeugen
- Umbau des Domino von APFZ 1.0 zu APFZ 2.0

Studium als Dipl.-Informatiker HF Systemtechnik Beginn Herbst 2021

Im Herbst 2021 begann ich mein Studium als Dipl. Informatiker HF.

BizDevOps Engineer Juni 2022 - Heute

Seit Juni 2022 arbeite ich in Bern beim SBB APFZ Betrieb, als BizDevOps Engineer.

- Helpdesk Support des APFZ-Betriebes
- Monitoring vom APFZ-System auf allen APFZ Flotten
- Behebung der Systemfehler über Luft
- Weiterentwicklung des Systems mit den Ingenieuren
- Fachliche Unterstützung der Servicemitarbeiter vor Ort bei schwerwiegenden Fehlern
- Inbetriebsetzung des APFZ-Systems auf verschiedenen Fahrzeugtypen

2. Wissenswertes über die Firma

2.1. SBB CFF FFS AG

Die Schweizerische Bundesbahnen AG (SBB) ist das nationale Eisenbahnunternehmen der Schweiz und wurde 1902 gegründet. Mit Sitz in Bern betreibt die SBB das grösste Bahnnetz des Landes und spielt eine Schlüsselrolle im nationalen und internationalen Personen- sowie Güterverkehr.

Die SBB gliedert sich in vier Hauptbereiche:

- **Personenverkehr:** Verantwortlich für den Transport von Fahrgästen im Fern- und Regionalverkehr, darunter viele S-Bahn-Linien.
- **SBB Cargo:** Kümmt sich um den nationalen und internationalen Güterverkehr.
- **Infrastruktur:** Zuständig für den Unterhalt und Ausbau des Schienennetzes sowie den Betrieb der Bahnhöfe.
- **Immobilien:** Entwickelt und verwaltet Liegenschaften rund um die Bahnhöfe, um städtische Räume attraktiv zu gestalten.

Ein besonderer Fokus liegt auf Digitalisierung und Nachhaltigkeit. Die SBB fördert den Schienenverkehr als umweltfreundliche Alternative, wobei rund 90 % des Energiebedarfs aus erneuerbaren Quellen wie Wasserkraft stammt. Innovationen wie die Automatisierung von Zügen sollen Effizienz und Pünktlichkeit weiter steigern.



Abbildung 1: SBB CFF FFS AG

3. Aufgabenstellung

3.1. Zweck des Dokuments

Das Dokument dient der SBB als Entscheidungsgrundlage mit welchen Technologien eine Hardware-Automatisierung in den APFZ-Testlaboren umgesetzt werden kann. Dabei werden die Fahrzeuge (Eisenbahn), die vorhandenen Testanlagen, die eingesetzten Technologien untersucht und Vorschläge für eine Umsetzung anhand von Kosten und dem Nutzenverhältnis erarbeitet. Ein Funktions-Nachweis muss für jeden Vorschlag nachgewiesen werden, damit die SBB ohne weitere Tests die Vorschläge umsetzen kann.

3.2. Ausgangslage

Die Applikationsplattform für Fahrzeuge APFZ 1.0 besteht aus der Fahrzeugplattform (FZPF) und den unten aufgeführten Fahrzeug-Applikationen (Applikationen). Die neuere Version APFZ 2.0 mit dem Namen TIMS besteht ebenfalls aus einer integrierten FZPF und darin sind diverse Applikation wie KIS usw. enthalten. Im Rahmen dieser Arbeit werden als Applikationen

- Videoüberwachung (Video)
- Automatische Fahrgastzählung (AFZ)
- Belegungserfassung
- Elektronische Sitzplatz Reservierung (EISi)
- Kundeninformation (KIS)
- Fahrzeugsysteme betrachtet. Das APFZ 1.0 respektive APFZ2.0/TIMS System kann in Zukunft um weitere Applikationen ergänzt werden und besteht aus zwei Grundelementen:
 - dem zentralen, ortsfesten Teil
 - den dezentralen, auf Fahrzeugen installierten Systemteilen

Diese beiden Teile kommunizieren über eine gesicherte Luftschnittstelle (mobile Kommunikation) über einen vom Fahrzeug aus aufgebauten VPN-Tunnel.

Eine Gesamtübersicht beider Systeme sieht wie folgt aus:

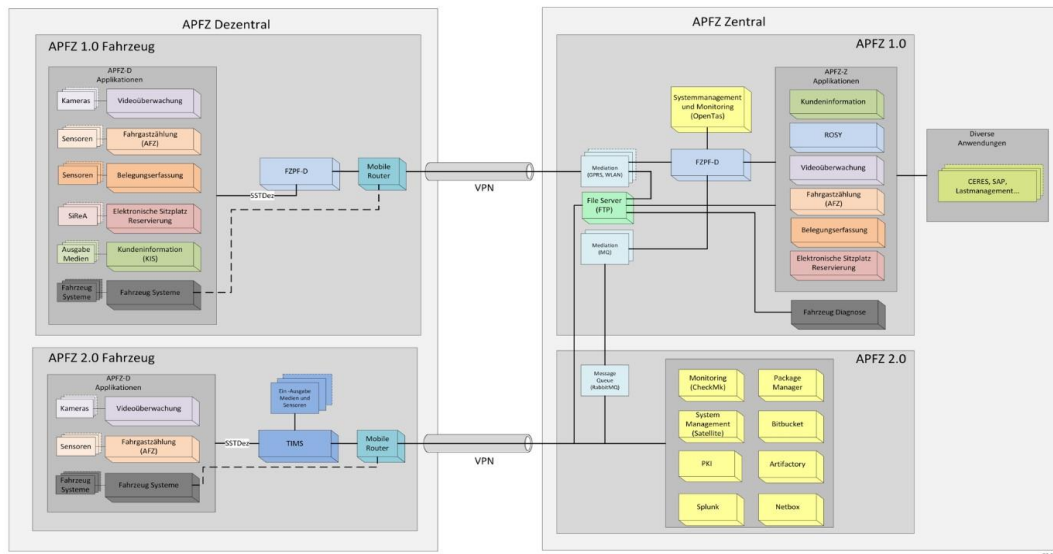


Abbildung 2: Prinzipschema AFPF-System

Die Applikationen sind Quellen oder Konsumenten von (Nutz-)Daten. Diese Daten werden über die FZPF transportiert, welche von den Umsystemen der SBB stammen.

Auch stellt die FZPF weitere Dienste zur Verfügung, die für das Funktionieren der Applikationen nötig sind (z.B. Stammdaten, Konfigurationsdaten usw.). Dabei gelten folgende Grundsätze:

- Die FZPF handhabt Querfunktionen der Applikationen. Sie stellt die gemeinsamen Services für die Applikationen zur Verfügung.
- Die FZPF verwaltet die Ressourcen für die gemeinsamen Funktionen (für alle Applikationen).
- Die FZPF manipuliert keine Applikationsdaten.
- Die FZPF stellt die Services für die Überwachung, das Konfigurationsmanagement und die Softwareupdates für die Applikationen zur Verfügung.
- Die FZPF erleichtert die Installation von neuen Applikationen. Dabei werden keine Änderungen an bestehenden Applikationen nötig.

Weiter erlaubt die FZPF die Migration bereits bestehender Applikationen. Als Konsequenz daraus ergibt sich, dass die APFZ ein offenes Systemdesign aufweist, welches die Anbindung von Applikationen gleicher Art, aber verschiedener Hersteller oder Versionen erlaubt. Dieses offene Systemdesign wird dadurch realisiert, dass die Schnittstellen zwischen den Subsystemen definiert werden. Für die Architektur der Subsysteme selbst werden nur wenige Vorgaben gemacht

3.3. Detaillierte Aufgabenstellung

Mit dem Konzept «Multifunktionale Testanlagen» soll der Bereich APFZ-Systeme die Transparenz erhalten, welche Stossrichtung für eine allfällige Automatisierung der Testanlagen vor allem im Hardware-Bereich sinnvoll und auch wirtschaftlich sind. Ebenfalls soll der Einfluss auf den Softwarebereich und die dafür notwendigen Änderungen kurz beschrieben werden.

Die eingesetzten Fahrzeuge, die vorhandenen Testanlagen und genutzten Technologien sollen beschrieben und eine Analyse über alle Themen durchgeführt werden.

Am Schluss soll der Diplomand in Zusammenarbeit der APFZ-Architekten und System-Ingenieure einen Vorschlag unterbreiten, welche Fahrzeuge, Testanlagen anhand der technischen Möglichkeiten und Wirtschaftlichkeit automatisiert werden sollen und welche nicht.

Ein Funktions-Nachweis für die vorgeschlagenen Themen muss erbracht werden.

3.4. Ziele und Prioritäten

- Analyse / Standortbestimmung der bestehenden 35 APFZ-Testanlagen.
- Analyse / Standortbestimmung der eingesetzten Systeme wie KNX, Ethernet, CAN, Gateways, Leittechnik und diskrete Fahrzeugsignale.
- Analyse / Standortbestimmung von eingesetzten Fahrzeugen der SBB.
- Ideensammlung bei den APFZ System Ingenieuren und Architekten.
- Analyse und Vorschlag für Automatisierungsmöglichkeiten für Umschalt- respektive Zusammenschalten von Systemen auf Hardware wie auch Software-Ebene.
- Vorschlag für Weboberflächen, GUIs und Schnittstellen für die Bedienung vor Ort und per Remote wie auch von Software-Installationssystemen wie Ansible Automation Plattform (RedHat).
- Untersuchung von Wirtschaftlichkeit, Organisation, Betrieb, CAPEX, OPEX-Berechnungen und SWOT-Analysen.
- Funktions-Nachweise mit Testaufbauten und Mockups sind Bestandteil der Diplomaufgabe

3.6. Rahmenbedingungen

3.6.1. Generelle Abgrenzung der Arbeit

Folgende Themen werden in dieser Arbeit nicht betrachtet:

- Entwicklungen im Software-Bereich von APFZ respektive TIMS.
- Die Aktivitäten in den Testlaboren dürfen den Arbeitsprozess wie auch das Testing der SBB oder deren Lieferanten nicht behindern, verzögern oder verunmöglichen.
- Automatisierte Netzwerk-Konfigurationen und Cyber-Themen. Diese sind auf unseren gemangten Netzwerken zu Komplex und würden den Rahmen dieser Diplomarbeit bei weitem sprengen.

3.6.2. Geleistete Vorarbeiten

Am Standort Wylerpark Gebäude A sind zwei grosse Testlabore vorhanden und bei Lieferanten stehen ebenfalls weitere Testanlagen zur Verfügung, welche jedoch in dieser Arbeit nicht betrachtet werden.

- 35 Testanlagen im Labor mit konventioneller Technik funktionsfähig aufgebaut.
- Konfiguration der Hardware ist statisch und kann nur bedingt manuell umgebaut werden.
- Zusätzliche Geräte und Ausrüstungen wie auf den Fahrzeugen sind oft nicht vorhanden.
- Ideen und Wünsche der Architekten und System Ingenieuren sind in den «Köpfen» vorhanden, jedoch nicht schriftlich dokumentiert.

3.6.3. Verwendung Erzeugnisse Dritter

- Datenblätter von Lieferanten
- Unterlagen aus dem Internet, www.knx.org
- Externe SW, Tools, Visio-Bibliotheken usw.

3.6.4. Prozessbezogene Rahmenbedingungen

Folgende Rahmenbedingungen auf Prozess-Ebene müssen beachtet respektive berücksichtigt werden:

- Die APFZ-Architekten und System-Ingenieure der SBB sind stark ausgelastet. Die für die Arbeiten notwendigen Ressourcen für den Prototypenbau und Know-How-Transfer müssen frühzeitig reserviert werden.
- Die Arbeiten und Prioritäten der SBB-Mitarbeiter können sich jederzeit ändern und es ist zu berücksichtigen, dass die SBB-Themen in einer höheren Priorität abgearbeitet werden als die Mitarbeit in dieser Diplomarbeit.
- Die Prozesse und Vorgaben der SBB müssen eingehalten werden. Insbesondere müssen die Testanlagen für Versuchsaufbauten und Messungen im Outlook vorgängig reserviert und nach der Benutzung wieder in ihren Ursprungszustand versetzt werden.
- Änderungen an den Testanlagen oder auch Labor-Equipment müssen mit einem Change Request im Jira-System erfasst und vom HW-Laborverantwortlichen freigegeben werden.
- Der Hauptfokus der Diplomaufgabe liegt darin, eine fundierte Entscheidungsgrundlage für die HW-Automatisierung in den APFZ-Testlaboren zu haben und mit «einfachen» Testaufbauten die Funktionsweise nachzuweisen. Ein voll funktionsfähiger Prototyp ist aufgrund des Zeitaufwandes (mind. 6 Monate) und der Kosten (ca. 500 kFr.) nicht realisierbar.

3.6.5. Produktbezogene Rahmenbedingungen

Folgenden Rahmenbedingungen müssen eingehalten werden:

- Gesetze und Normen in CH und EU
- Einbauvorschriften der Hersteller
- Betriebsvorschriften der Hersteller und SBB
- 4G/5G Vorschriften (Bakom)
- KNX-Verlegung von Buskabel und Topologien
- SEV, Berührungsschutz

4. APFZ-Systeme

4.1. Geschichte APFZ-Systeme

Die Kundeninformation am Zug war schon seit jeher ein wichtiger Aspekt bei der Eisenbahn. Was ursprünglich durch den Zugbegleiter (Kondukteur) erfolgte, wurde später durch Zuglaufschilder in unterschiedlichen Varianten aussen an den Wagen ergänzt.



Abbildung 4: SBB-Wagon



Abbildung 5: Zuglaufschilder von der SBB

Zur Beschriftung der Züge oberhalb des Führerstandes wurden mit den NPZ (heutige Domino) manuelle Rollbandanzeigen eingeführt, welche von innen im Führerstand bedient wurden.



Abbildung 6: Kurbel zur Bedienung der Rollbandanzeige

Mit der Einführung der DPZ für die Zürcher S-Bahn ab 1992 kam das erste KIS im heutigen Sinne mit automatischer Fortschaltung der Haltestellen. Als Anzeiger dienten automatisierte Rollbandanzeigen und erste Matrixanzeigen. Die Audio-Durchsagen wurden digital gespeichert und zum richtigen Zeitpunkt im Fahrgastraum ausgegeben. Die Eingabe der Zugleistung erfolgte über ein Bediengerät im Führerstand, die einzelnen Komponenten waren über den IBIS Wagenbus und für die Mehrfachtraktion über den IBIS Zugbus angeschlossen. Ein solcher Wagen- und Zugbus zeigte auch Möglichkeiten für weitere Funktionen wie der Steuerung der Wagenheizung. Im Gegensatz zu heute war die Programmierung von neuen Zugnummern noch sehr umständlich. Auf den Fahrzeugen mussten die EPROM (programmierte Chip-Speicher) ausgetauscht werden.

Auszug aus der Fahrzeugbeschreibung des DPZ:

Das integrierte Bordinformationssystem, kurz IBIS genannt, dient der automatischen, weitgehend bedienungsfreien Einstellung und Fernsteuerung von Geräten der Fahrgastinformation.

Im einzelnen werden folgende Geräte und Funktionen durch das IBIS gesteuert:

- Rollbandanzeigen oder Matrixanzeigen inkl. Fortschaltung für
 - Linien
 - Ziel
 - Routen,
- Haltestellen-Ansagegerät,
- Durchsagen des Lokführers,
- Wagenheizung in Parkstellung,
- Haltestellenchronometer.

Die automatische Einstellung der Fahrgast-Informationsmittel erfolgt im Regelfall aufgrund der Zugnummer, welche für die Zugfunk-Anlage vom Lokführer vor Beginn der Zugsfahrt eingegeben wird. Im IBIS wird automatisch die Zuordnung der Strecke resp. der Route zur eingegebenen Zugnummer hergestellt. Anschliessend erfolgt die entsprechende Ansteuerung der Rollbandanzeigen automatisch. Das IBIS sorgt während der Fahrt ferner dafür, dass das Ansagegerät zum richtigen Zeitpunkt die gewünschten Ansagen ausführt. Die Abarbeitung der Ansagen entlang der Fahrroute erfolgt aufgrund der im IBIS abgespeicherten Namen und Distanzen der Haltestellen in Verbindung mit dem Türfreigabe-Kriterium.

Abbildung 7: Fahrzeugbeschreibung DPZ

Mit der Einführung der ersten FLIRT bei SBB ab 2004 wurde die Systemarchitektur APFZ 1.0 eingeführt. Dies war der Start des Einsatzes von Ethernet Netzwerken im Zug und den erweiterten Möglichkeiten für Fernzugriff und Diagnose. Dies war auch der Start, bahntaugliche IT-Komponenten in Eisenbahnfahrzeuge einzubauen. Mit der Einführung von APFZ 1.0 wurde auch der Funktionsumfang auf Videoüberwachung, Notsprechstellen und AFZ erweitert. Ab diesem Zeitpunkt wurden alle neu ausgelieferten Regionalverkehrsfahrzeuge wie FLIRT, DTZ, Regio Dosto (RABe511) und GTW Seetal mit APFZ 1.0 ab Werk abgeliefert. Die Bestandsflotten DPZ und Domino wurden auf den Stand von APFZ 1.0 nachgerüstet.

Im Fernverkehr wurde mit dem Projekt APFZ FV ab 2012 die Flotten IC2000, EWIV, EC und ICN APFZ 1.0 (auch bekannt als Monolith) eingebaut.

Auf Grund von Obsoleszenz, neuen Technologien und neuen Anforderungen mussten bei den ersten FLIRT, allen Domino und allen DTZ ab 2008 das APZF-1.0-System erneuert werden. Hierzu wurde mit APFZ 2.0 eine neue Strategie gewählt: Neu wird das System nicht mehr bei einem Systemlieferanten beschafft, sondern die einzelnen Komponenten werden durch SBB durch offene Beschaffungsverfahren beschafft, die Software im Auftrag von SBB implementiert und die Systemintegration erfolgt durch SBB. Hierdurch wird der Markt geöffnet und dadurch die Abhängigkeit von einzelnen Firmen und das Risiko reduziert.

In der Zwischenzeit wurden alle Regionalverkehrsfahrzeuge von SBB auf APFZ 2.0 umgebaut. Für die Neubeschaffungen FLIRT TSI und IR-Dosto (RABe512) hat SBB APFZ 2.0 beigestellt. Mit der Modernisierung des ICN und der IC2000 Flotte hält APFZ 2.0 auch im Fernverkehr Einzug.

Durch die gesetzlich geforderten erhöhten Anforderungen an die Cyber Security wurde 2022 die APFZ 2.0 Architektur mit einem Rail Server ergänzt. Der Rail Server ist eine performante Firewall, welche nebenbei auch die Funktionen des Bordrechners und des Mobile Routers übernimmt. Dieser wurde erstmalig auf dem IC2000 AS und den RABe512 eingebaut. Bei den weiteren Projekten wird nach Möglichkeit nur noch der Rail Server eingebaut.

Die weiteren Fernverkehrsflotten werden schrittweise auch auf APFZ 2.0 ausgebaut werden, hierzu laufen aktuell Studien und Planungen.

4.2.1. System Generationen

Das APFZ-System ist ein Systemkonzept der SBB, welches die Kundeninformation, Fahrgast-sprechsystem, Fahrgastzählung und Videoüberwachung umfasst.

Das erste Systemkonzept APFZ 1.0 wurde 2006 entwickelt. Die Fahrzeugausrüstung wurde durch einen Lieferanten entwickelt, hergestellt, geliefert und im Fahrzeug integriert. Dadurch besteht über die ganze Lebensdauer eine direkte Abhängigkeit zum Lieferanten.

Später wurde das neue APFZ 2.0 Systemkonzept entwickelt, welches erstmals 2018 in einem Fahrzeug installiert wurde. Dies vereint den Kundeninformationsrechner mit der Fahrzeugplattform. Die Komponenten wurden durch SBB definiert und mit öffentlichen Beschaffungen bei unterschiedlichen Lieferanten beschafft. Die Software TIMS ist eine Auftragsentwicklung für SBB. Sämtliche Schnittstellen sind offen und bekannt. SBB ist der Systemintegrator. Im Gegensatz zu APFZ 1.0 bestehen viel geringere Abhängigkeiten zu Lieferanten, was die Kosten reduziert sowie die Austauschbarkeit und Wechsel auf neue Technologien massiv fördert.

Im Jahr 2022 wurde bei APFZ 2.0 mit dem Rail Server ein weiterer grosser Schritt gemacht. Die neue Hardware ist in erster Linie eine leistungsfähige Firewall (Cyber Security) und beinhaltet nebenbei auch den Bordrechner und den Mobilerouter.

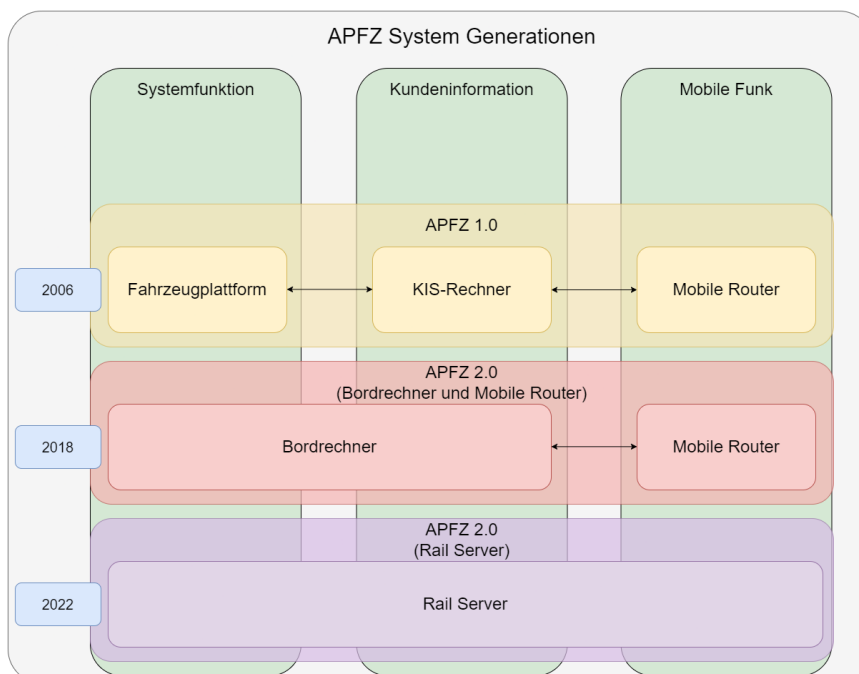


Abbildung 9: APFZ System Generationen

4.2.2. Kundeninformationssystem (KIS)

Das KIS ist ein zentrales System, das zur Bereitstellung von Fahrgastinformationen in Zügen und Bahnhöfen genutzt wird. Es dient der Echtzeit-Kommunikation und stellt sicher, dass Reisende über relevante Informationen wie Fahrpläne, Anschlussmöglichkeiten, Verspätungen, Zugformationen und Störungen informiert werden.

Das KIS verarbeitet Daten aus verschiedenen Quellen, um den Reisenden stets aktuelle Informationen zu liefern. Dies umfasst Ankunfts- und Abfahrtszeiten, Verspätungen und die Anzeige von Gleisänderungen.



Abbildung 10: KIS-Rechner

Die Informationen werden über verschiedene Kanäle bereitgestellt, einschliesslich Anzeigetafeln auf den Bahnhöfen, Durchsagen, Monitore in den Zügen und mobile Apps der SBB.

Das KIS ist mit verschiedenen Systemen vernetzt, darunter das Betriebsleitsystem, Zugsteuerungssysteme und Fahrplandatenbanken, um genaue und aktuelle Daten zu erhalten.

Das Ziel des KIS ist es, den Reisenden die bestmögliche Unterstützung und Orientierung zu bieten, insbesondere bei Fahrplanänderungen oder unvorhergesehenen Ereignissen wie Verspätungen oder Ausfällen.

4.2.3. Videoüberwachung (Video)

Die Videoüberwachung dient in erster Linie der Sicherheit der Fahrgäste sowie des Zugpersonals. In den Zügen sind strategisch Kameras installiert, die sowohl das Innere der Wagen als auch relevante Aussenbereiche überwachen. Diese Systeme tragen dazu bei, Vorfälle wie Vandalismus, Diebstahl oder Gewalt zeitnah zu erkennen und im Bedarfsfall entsprechende Massnahmen einzuleiten.

Die Aufzeichnung erfolgt kontinuierlich während des Zugbetriebs, wobei die Daten verschlüsselt gespeichert werden, um den Datenschutz der Fahrgäste zu gewährleisten. Der Zugriff auf diese Aufzeichnungen ist streng reguliert und nur autorisierten Personen gestattet, beispielsweise dem Sicherheitspersonal der SBB oder der Polizei, wenn es zu einem Vorfall kommt.

Eine wichtige Funktion der Videoüberwachung ist die Abschreckung potenzieller Straftäter. Durch die sichtbare Präsenz der Kameras in den Fahrzeugen wird das Sicherheitsgefühl der Fahrgäste erhöht und gleichzeitig das Risiko krimineller Handlungen verringert.



Abbildung 11: VNAS4200 Videorechner

Zusätzlich zur reinen Überwachung in Echtzeit werden die Daten in der Regel für eine begrenzte Zeit gespeichert, um bei nachträglichen Untersuchungen, etwa bei Beschwerden oder Unfällen, ausgewertet werden zu können. Die genaue Dauer der Speicherung ist gesetzlich geregelt, um einen Missbrauch der Daten zu verhindern.

Diese modernen Videoüberwachungssysteme liefern hochauflösende Bilder, selbst bei schlechten Lichtverhältnissen oder in stark belebten Bereichen. Dadurch wird eine präzise Nachverfolgung von Ereignissen ermöglicht, was die Handlungsfähigkeit der Sicherheitsteams bei der Analyse von Vorfällen deutlich verbessert.

4.2.4. Automatische Fahrgastzählung (AFZ)

Die automatische Fahrgastzählung (AFZ) ist ein System, das verwendet wird, um die Anzahl der ein- und aussteigenden Fahrgäste präzise zu erfassen. Diese Technologie spielt eine zentrale Rolle bei der Planung und Optimierung des Betriebs, indem sie verlässliche Daten zur Auslastung der Züge liefert.

Die Erfassung erfolgt über Sensoren, die in den Türen der Fahrzeuge integriert sind. Diese Sensoren arbeiten in der Regel auf Basis von Infrarot-Technologie oder Lichtschranken, um zu zählen, wie viele Personen den Zug betreten oder verlassen. Moderne Systeme sind oft in der Lage, zwischen verschiedenen Objekten zu unterscheiden, sodass etwa Gepäckstücke, Kinder oder Haustiere nicht als Fahrgäste gezählt werden.

Ein wesentliches Ziel der automatischen Fahrgastzählung ist es, die betriebliche Ressourcennutzung zu steigern. Die Daten zur Auslastung der Züge ermöglichen es der SBB, den Fahrzeuginsatz flexibel anzupassen, um Überlastungen in Spitzenzeiten zu vermeiden und Leerfahrten in weniger stark belasteten Zeiten zu reduzieren. Zudem unterstützen die erfassten Daten die Fahrplanplanung, indem sie helfen, die Nachfrage auf bestimmten Strecken oder zu bestimmten Zeiten besser vorherzusagen.



Abbildung 12: Black Box Master Web-Server

Ein weiterer Nutzen der AFZ liegt in der Berichterstattung an Verkehrsbehörden, die oft genaue Angaben zur Fahrgastnutzung im Rahmen von Abrechnungssystemen oder für die Subventionsberechnung verlangen. Hier liefert die automatische Fahrgastzählung verlässliche und objektive Daten.

Die AFZ-Daten verbessern den Komfort der Fahrgäste, da sie helfen, Überfüllung in Zügen zu vermeiden und so den Fahrkomfort erhöhen.

Die Technologie selbst arbeitet diskret im Hintergrund und beeinflusst den Reisenden nicht unmittelbar. Datenschutz steht dabei ebenfalls im Vordergrund, da keine persönlichen Daten erfasst werden, sondern lediglich anonymisierte Zählwerte, die für betriebliche Zwecke genutzt werden.

4.2.5. Fahrzeugplattform (FZPF)

Die Fahrzeugplattform ist ein zentrales System, das verschiedene technische Systeme und Anwendungen an Bord miteinander vernetzt und deren Steuerung ermöglicht. Es dient als Basisplattform für zahlreiche Anwendungen, die im Zugbetrieb relevant sind.



Abbildung 13: Fahrzeugplattform

Die FZPF ist dafür verantwortlich, dass unterschiedliche Systeme wie die Türsteuerung, die Klimaanlage, die Beleuchtung, das Kundeninformationssystem (KIS), die Videoüberwachung oder auch das automatische Fahrgastzählsystem (AFZ) miteinander kommunizieren können. Sie fungiert als zentraler Knotenpunkt, über den diese Systeme gesteuert, überwacht und koordiniert werden.

4.2.6. Mobile Router (OWL, APFZ 2.0)

Der Mobile Router (OWL) spielt eine zentrale Rolle in der Kommunikation zwischen dem Zug und externen Netzwerken. Er nutzt Mobilfunkverbindungen wie 4G/LTE, um eine stabile und kontinuierliche Datenübertragung zu gewährleisten. Diese Verbindung ist entscheidend, da sie dem Zug ermöglicht, in Echtzeit Informationen an die Betriebszentrale oder andere Systeme zu senden und gleichzeitig Daten von externen Quellen zu empfangen.

Zu den Hauptaufgaben des OWL gehört es, dem Train Information Management System (TIMS) und anderen Steuergeräten eine zuverlässige Internetverbindung bereitzustellen. Dies ist die Grundlage für die Echtzeitübertragung von Betriebsdaten, Wartungsinformationen oder Fahrgastinformationen. Darüber hinaus sorgt der Router dafür, dass diese Verbindungen auch während der Fahrt stabil bleiben, selbst wenn der Zug unterschiedliche Mobilfunknetze durchfährt. So wird der reibungslose Betrieb des Zuges gewährleistet, auch in Bereichen mit schwacher Netzabdeckung.

Durch diese Verbindung können aktuelle Betriebsdaten des Fahrzeugs überwacht und verwaltet werden, und es werden Informationen zur Fahrzeugposition, dem Zustand der Systeme und Fahrgastinformationen in Echtzeit übertragen.

Im Mobile Router ist ebenfalls ein GNSS-Modul für die Fahrzeug-Ortung wie auch die exakte Zeitbestimmung integriert.



Abbildung 14: Mobile Router (OWL)

4.2.7. Bordrechner (BR, APFZ 2.0)

Der Bordrechner vereint zwei wesentliche Komponenten, den FZPF-Rechner und den KIS-Rechner, in einem einzigen Gerät. Diese Integration reduziert die Komplexität der Fahrzeugsysteme, da mehrere Funktionen zentral über den Bordrechner gesteuert werden. Die vorher getrennten Aufgaben der beiden Systeme werden nun durch das TIMS (Train Information Management System) zusammengeführt.

TIMS gewährleistet die Steuerung und Überwachung aller wichtigen fahrzeuginternen Systeme, wie die Verwaltung der Fahrgastinformationen oder die Überwachung sicherheitsrelevanter Funktionen. Zudem ermöglicht TIMS eine zielgerichtete und leistungsfähige Verarbeitung von Betriebs- und Wartungsdaten in Echtzeit. Die zentrale Steuerung und das Zusammenführen der Daten aus verschiedenen Quellen sorgen für einen zuverlässigen und reibungslosen Fahrzeugbetrieb.



Abbildung 15: Bordrechner

4.2.8. Rail Server

Der Rail Server stellt die neueste Hardwaregeneration des APFZ 2.0 dar und vereint zwei zentrale Komponenten: den Bordrechner und den Mobile Router.

Diese Integration reduziert die Anzahl der Geräte im Fahrzeug und ermöglicht eine optimierte Verwaltung der Systeme. Der Rail Server übernimmt die Aufgabe, den gesamten Datenaustausch zwischen der Zentrale und dem Fahrzeug zu steuern. Dies umfasst sowohl betriebsrelevante Informationen als auch sicherheitskritische Daten, die für den Betrieb und die Überwachung des Zuges notwendig sind.

Ein besonders wichtiger Aspekt des Rail Servers ist die sichere Datenverbindung zur Zentrale. Um den Datenfluss zu schützen, ist der Rail Server mit einer Firewall ausgestattet, die unbefugte Zugriffe blockiert und so den sicheren Datenaustausch gewährleistet. Dies ist entscheidend, um sicherzustellen, dass sowohl fahrzeugseitige als auch zentrale Systeme geschützt bleiben und der Zugbetrieb nicht durch externe Eingriffe beeinträchtigt wird.

Der Rail Server vereint dabei sowohl die fortschrittliche Datenverarbeitung als auch den Schutz vor externen Bedrohungen in einer einzigen, leistungsstarken Einheit.

Auf dem Rail Server werden aktuell drei wesentliche Applikationen verwaltet: TIMS, AFZ und Check-MK.



Abbildung 16: Rail Server

4.2.9. Zukünftige Erweiterungen

Mit der Beschaffung des Rail Servers eröffnen sich für uns neue Möglichkeiten in der Systemarchitektur unserer Züge. Durch die Containerisierung können mehrere wichtige Systeme, wie beispielsweise die automatische Fahrgastzählung (AFZ) oder die Videoüberwachung, als Software-Container auf dem Rail Server betrieben werden.

Diese moderne Herangehensweise bringt zahlreiche Vorteile mit sich:

Zum einen reduziert sich der Hardwarebedarf erheblich. Während bislang für jedes System spezifische Hardwarelösungen erforderlich waren, können wir nun auf die zusätzliche Beschaffung von Hardware verzichten. Alle benötigten Anwendungen werden in isolierten Containern auf dem Rail Server ausgeführt, was nicht nur Platz und Kosten spart, sondern auch die Wartung vereinfacht.

Zum anderen ermöglicht uns die Container-Technologie eine grössere Flexibilität. Systeme können unabhängig voneinander aktualisiert oder erweitert werden, ohne dass der Betrieb des Rail Servers oder anderer Anwendungen gestört wird. Dies fördert die Skalierbarkeit und Anpassungsfähigkeit, insbesondere wenn in Zukunft weitere Systeme hinzukommen oder bestehende angepasst werden müssen.

5. Technische Grundlagen

5.1. KNX

KNX ist ein weltweit standardisiertes System für die Gebäudeautomation. Es ermöglicht die zentrale Steuerung und Vernetzung von Anwendungen wie Beleuchtung, Heizung, Lüftung, Jalousien und Sicherheitssystemen. KNX ist herstellerunabhängig, wodurch Geräte verschiedener Anbieter problemlos miteinander vernetzt werden können.

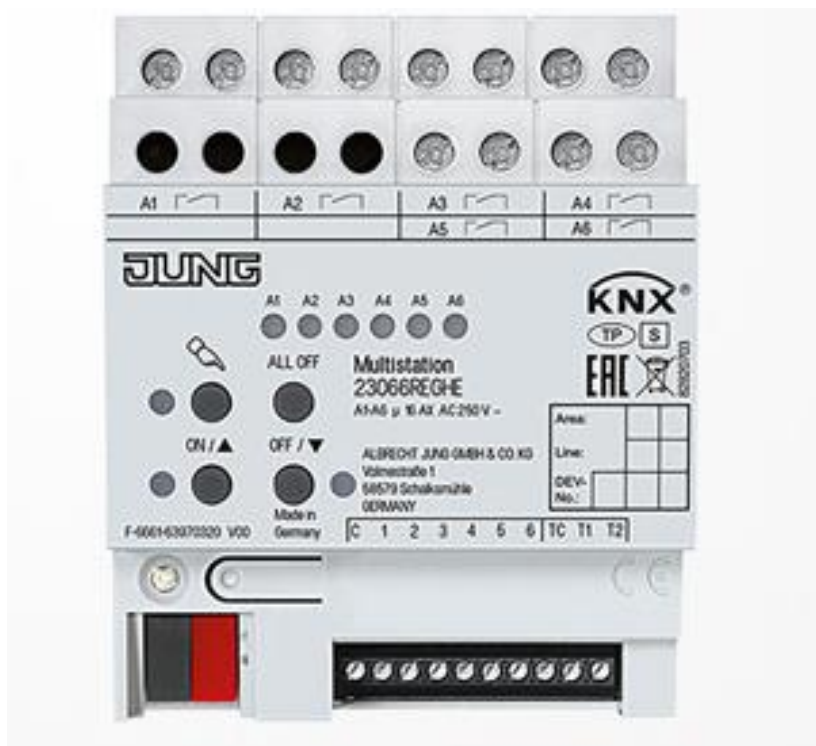


Abbildung 17: KNX-Multistation Modul

Das System arbeitet dezentral, sodass jedes Gerät direkt auf dem KNX-Bus kommuniziert. Dies macht es ausfallsicher und flexibel. Der KNX-Bus kann über verschiedene Medien wie Zweidrahtleitungen, Funk oder IP betrieben werden, was eine hohe Anpassungsfähigkeit bietet.

Durch die Integration verschiedener Systeme ermöglicht KNX eine intelligente, energiesparende und komfortable Automatisierung. Es eignet sich sowohl für kleine Wohnungen als auch für grosse Gebäude und lässt sich einfach erweitern. Die Programmierung erfolgt über die ETS-Software, die eine einfache Konfiguration der Geräte ermöglicht.

5.1.1. KNX-Buskabel

Das KNX-System nutzt ein speziell entwickeltes KNX-Buskabel, das für die Übertragung von Daten und die Spannungsversorgung der angeschlossenen Geräte verantwortlich ist. Dieses Kabel ist speziell auf die Anforderungen der Gebäudeautomation abgestimmt und sorgt für eine zuverlässige Kommunikation und Steuerung in vernetzten Systemen.

5.1.2. Eigenschaften des KNX-Buskabel

Das KNX-Buskabel besitzt spezielle Eigenschaften, die es ideal für den Einsatz in der Gebäudeautomation machen:

- **Vier Adern:** Zwei Aderpaare (rot/schwarz für Busspannung und Daten, gelb/weiß als Hilfsspannung, ist oft ungenutzt).
- **Verdrillt:** Die Paare sind verdrillt, um Störungen zu minimieren und die Signalqualität zu verbessern.
- **Busspannung:** Ca. 29 V DC für die Versorgung der KNX-Komponenten.
- **Datenübertragung:** Überträgt Steuerbefehle und Kommunikationsdaten zwischen KNX-Geräten.
- **Abschirmung:** Oft geschirmt, um gegen elektromagnetische Störungen geschützt zu sein.
- **Maximale Kabellänge:** Bis zu 1000 Meter bei richtiger Terminierung.
- **Leiterquerschnitt:** 0,8 mm², passend für die Daten- und Spannungsanforderungen.
- **Flexibel einsetzbar:** Unterputz, in Kanälen, oder direkt auf Putz verlegbar.
- **Grüner Aussenmantel:** Typischerweise grün, mit flammenhemmendem Material für Sicherheit.
- **Abgeschirmte und ungeschirmte Varianten:** Abhängig vom Bedarf an Störsicherheit.

5.1.3. Leitungen des KNX-Buskabel

Das KNX-Buskabel besteht aus vier Adern, die unterschiedliche Aufgaben übernehmen. Diese Adern sind in zwei Paare aufgeteilt: ein Paar für die Spannungsversorgung und ein Paar für die Datenübertragung.

Rote und schwarze Adern:

- Diese beiden Adern sind für die Übertragung der Kommunikationssignale zwischen den KNX-Geräten verantwortlich. Sie stellen die Datenverbindung im Bus-System her und ermöglichen es den Geräten, Informationen auszutauschen (wie Steuerbefehle für Licht, Heizung, etc.).
- Sie versorgen die KNX-Geräte auch mit einer geringen Busspannung (ungefähr 29 V DC), die jedoch hauptsächlich zur Versorgung der Kommunikationsschicht dient und nicht für den Betrieb von Lasten wie Beleuchtung oder anderen Systemen gedacht ist.

Weisse und gelbe Adern:

- Diese Adern werden meist nicht verwendet, da das rote und schwarze Paar bereits die Kommunikations- und Spannungsfunktionen erfüllt. Bei Bedarf könnten sie als Reserve oder für andere Zwecke in speziellen Installationen genutzt werden, aber im klassischen KNX-Bus-System sind sie meist ungenutzt.

Zusammengefasst

- **Rote Ader:** Dient als Kommunikationsleitung und führt gleichzeitig eine niedrige Busspannung (~29 V DC).
- **Schwarze Ader:** Ist die Masseverbindung (0 V) und bildet mit der roten Ader den Stromkreis.
- **Weisse und gelbe Adern:** Werden oft nicht genutzt, stehen aber als Reserve respektive Hilfsspannung zur Verfügung.

5.2. Controller Area Network (CAN-Bus)

Das CAN-Bus-System ist ein standardisiertes, serielles Bussystem, das entwickelt wurde, um den Datenaustausch zwischen verschiedenen elektronischen Steuergeräten (ECUs) in einem Fahrzeug zu ermöglichen. Diese Steuergeräte kontrollieren wichtige Funktionen wie Antrieb, Bremssysteme, Türsteuerung, Beleuchtung und Klimaanlage. Durch die Verbindung über den CAN-Bus können diese Systeme einwandfrei miteinander kommunizieren und sorgen so für einen reibungslosen Betrieb des Fahrzeugs.

5.2.1. Vorteile des CAN-Bus-Systems:

Ein Hauptmerkmal des CAN-Bus-Systems ist seine hohe Fehlertoleranz und die Fähigkeit zur Echtzeitkommunikation. Die Kommunikation erfolgt nach dem Broadcast-Prinzip, bei dem jede Nachricht von allen Steuergeräten empfangen wird. Jedes Gerät entscheidet, ob die empfangene Nachricht für seine Funktion relevant ist.

5.2.2. Signale im CAN-Bus:

Das CAN-Bus-System verwendet vier grundlegende Signale, die für die Datenübertragung und die Stabilität des Netzwerks wichtig sind:

- **CAN-High (positives Signal):** Trägt das dominante, positive Signal, das bei der Übertragung aktiv ist. Es repräsentiert den "High"-Zustand im System.
- **CAN-Low (negatives Signal):** Funktioniert als Gegenleitung zu CAN-High und trägt das „Low“-Signal. Gemeinsam mit CAN-High ermöglicht diese Leitung die zuverlässige Übertragung von Daten.
- **CAN-GND (Masse):** Diese Leitung dient als Masse oder Referenzspannung und stabilisiert die Kommunikation zwischen den Steuergeräten. Sie sorgt dafür, dass alle Geräte im Netzwerk die Daten korrekt interpretieren können.
- **CAN-SHLD (Schirmung):** Die Schirmung schützt die CAN-Leitungen vor elektromagnetischen Störungen (EMI), die in Fahrzeugen oft auftreten. Dadurch wird sichergestellt, dass die Kommunikation stabil und frei von Störungen bleibt.

5.2.3. Redundanz und Priorisierung:

Das CAN-Bus-System verwendet zwei Datenleitungen (CAN-High und CAN-Low), um Nachrichten zu übertragen. Diese redundante Struktur bietet eine hohe Ausfallsicherheit: Auch bei einer Störung in einer Leitung bleibt die Kommunikation über die andere Leitung bestehen.

Ein weiteres wichtiges Merkmal ist die Priorisierung von Nachrichten. Wichtige Informationen, wie die Steuerung des Bremssystems, erhalten Vorrang gegenüber weniger kritischen Signalen wie der Steuerung der Innenbeleuchtung. Dies garantiert, dass sicherheitsrelevante Funktionen immer eine ausreichende Bandbreite zur Verfügung haben.

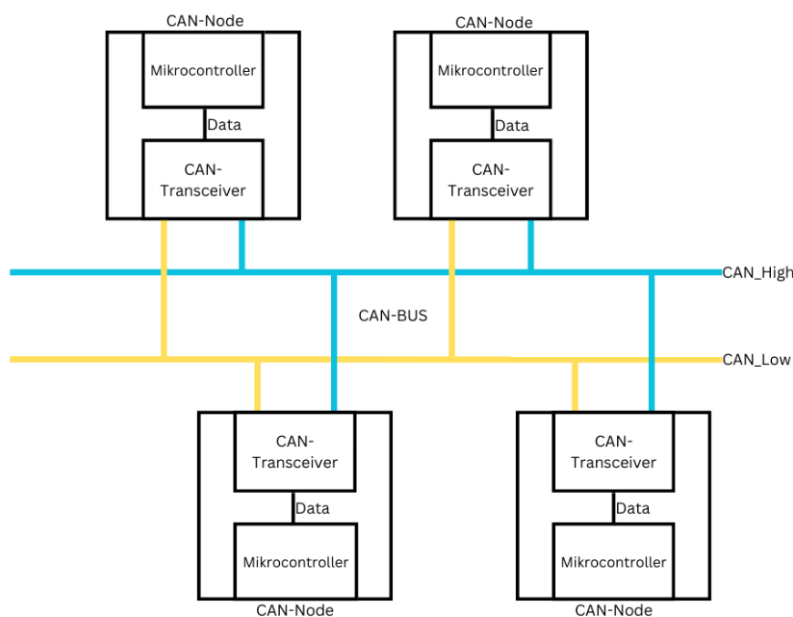


Abbildung 18: Aufbau CAN-Bus

5.2.4. Kabellänge und Übertragungsrate im CAN-Bus-System

Die maximale Länge der CAN-Bus-Kabel ist abhängig von der Übertragungsgeschwindigkeit und spielt auch in SBB-Fahrzeugen eine wichtige Rolle. Im Bahnbereich gelten folgende Richtlinien:

Bitrate	theoretische maximale Buslänge	effektive maximale Buslänge	Länge der Stichleitung
10 kBit/s	1000 m	964 m	
20 kBit/s	1000 m	964 m	7.5 m
50 kBit/s	1000 m	964 m	
100 kBit/s	650 m	614 m	3.75 m
125 kBit/s	500 m	464 m	
250 kBit/s	250 m	214 m	1.5 m
400 kBit/s	150 m	114 m	
500 kBit/s	115 m	79 m	0.75 m
800 kBit/s	50 m	14 m	
1 MBit/s	40 m	4 m	0.3 m

Abbildung 19: CAN-Bus Länge

Bei der SBB wird oft eine Übertragungsrate von 125 kbit/s bis 500 kbit/s verwendet, um eine ausreichende Reichweite bei hoher Signalstabilität sicherzustellen. Dadurch können Kabellängen von bis zu 500 Metern erreicht werden, was besonders für den Einsatz in komplexen Zugkonfigurationen von Vorteil ist. Sollte in grösseren Zügen eine noch grössere Reichweite erforderlich sein, können Repeater oder Signalverstärker eingesetzt werden, um die gesamte Kabellänge zu erweitern und die Signalqualität zu sichern.

5.2.5. Vorteile des CAN-Bus-Systems im Bahnverkehr

Für den Bahnverkehr bietet das CAN-Bus-System erhebliche Vorteile. Durch den modularen Aufbau können neue Systeme oder Funktionen einfach in das bestehende Netzwerk integriert werden, ohne dass umfangreiche Änderungen an der Fahrzeugverkabelung erforderlich sind. Zudem ermöglicht der CAN-Bus eine präzise Fehlerdiagnose, da jede Nachricht und jede Störung im Netzwerk erfasst und analysiert werden kann. Dies erleichtert die Wartung und trägt zur Betriebssicherheit bei.

5.3. Leittechnik Gateway (LT-GW)

Der Leittechnik Gateway spielt eine zentrale Rolle in der Kommunikation und Überwachung der komplexen technischen Systeme auf Zügen. Er fungiert als Schnittstelle zwischen den verschiedenen Subsystemen an Bord eines Fahrzeugs und der übergeordneten Leitstelle. Durch das Gateway können sowohl Daten von den Fahrzeugen in Echtzeit an die Leitstelle übermittelt als auch Steuerbefehle von der Leitstelle an das Fahrzeug gesendet werden.



Abbildung 20: Leittechnik Gateway

Der Leittechnik Gateway sammelt Informationen von verschiedenen elektronischen Steuergeräten (ECUs) und Bussystemen wie dem CAN-Bus, welche wichtige Daten über den Zustand der Fahrzeugkomponenten wie Bremsen, Türen, Antrieb und Klimaanlage liefern. Diese Daten werden gebündelt, verarbeitet und an die zentrale Steuerung übermittelt, wo sie zur Überwachung und Analyse verwendet werden. Dies ermöglicht es dem Zugpersonal oder der Leitstelle, potenzielle Fehler frühzeitig zu erkennen und darauf zu reagieren.

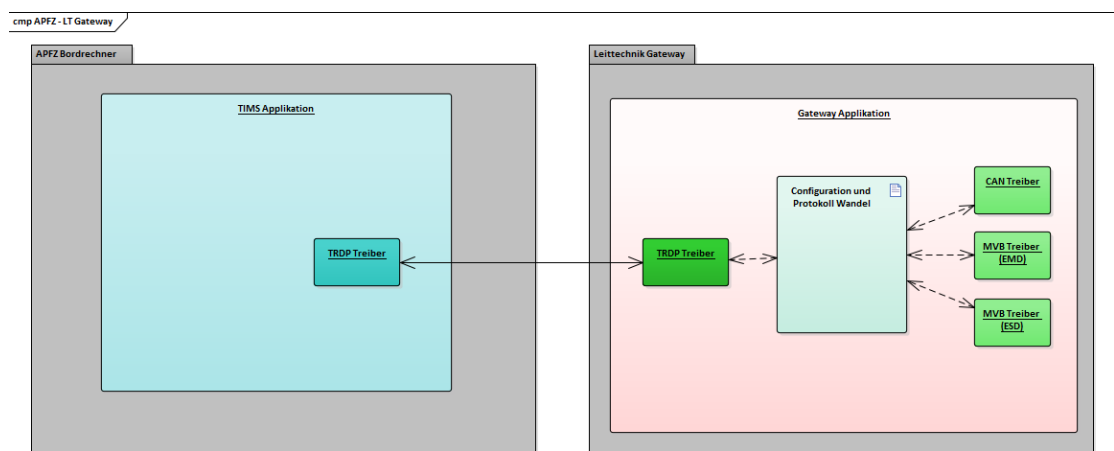


Abbildung 21: Systemübersicht TIMS - LT-GW

Ein weiterer zentraler Aspekt des Leittechnik Gateways ist die Fernwartung. Mit ihm kann das Wartungsteam Diagnosedaten abrufen, ohne physisch vor Ort sein zu müssen. Dies ermöglicht eine vorausschauende Instandhaltung, was die Betriebskosten senkt und die Zuverlässigkeit der Züge erhöht. Zudem können Software-Updates für die verschiedenen Steuergeräte zentral über dem Gateway eingespielt werden, was die Wartungsoptimierung des Betriebs erheblich steigert.

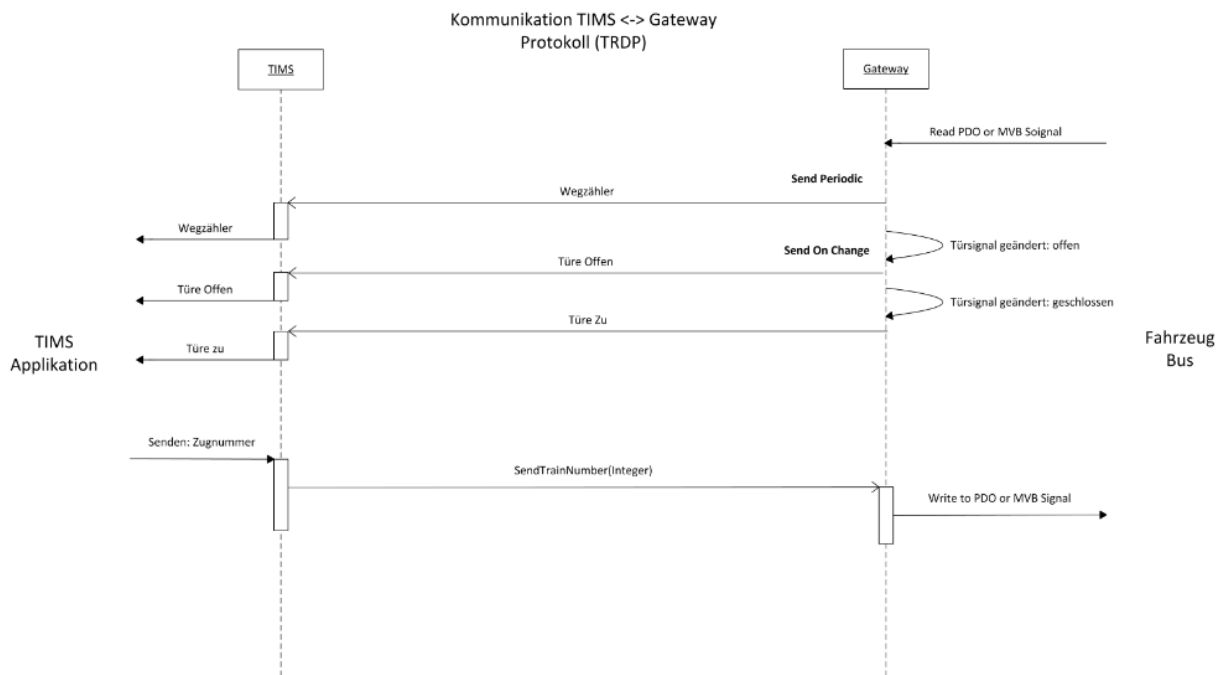


Abbildung 22: Kommunikation TIMS <-> Gateway Protokoll

Das Gateway trägt auch zur Kommunikation zwischen Fahrzeugen und der zentralen Bahninfrastruktur bei. Dies ist besonders wichtig für Funktionen wie die automatische Zugsteuerung (ATO) oder das europäische Zugsicherungssystem (ETCS). Hierbei ermöglicht der Leittechnik Gateway die reibungslose Integration dieser fortschrittlichen Technologien, die zur Erhöhung der Sicherheit und Leistungsfähigkeit im Bahnverkehr beitragen.

5.4. UIC-Leitung

Die UIC-Leitung (Union Internationale des Chemins de fer) ist ein unverzichtbares Kommunikationssystem in den Zügen und sorgt für die Steuerung und Übertragung wichtiger Signale zwischen den Wagen eines Zuges. Ihre Hauptaufgabe besteht darin, eine zuverlässige und standardisierte Verbindung für den Datenaustausch und die Steuerung der Zugkomponenten zu gewährleisten, insbesondere bei Mehrfachtraktionszügen, in denen mehrere Fahrzeuge miteinander gekoppelt sind.



Abbildung 23: UIC-Stecker

5.4.1. Funktionsweise der UIC-Leitung

Die UIC-Leitung ist als universelles System konzipiert, das eine Vielzahl von Steuerungs- und Kommunikationssignalen zwischen den Zügen transportiert. Sie ermöglicht es den einzelnen Fahrzeugen einer Zugkomposition, reibungslos miteinander zu kommunizieren und die Signale zentral zu steuern.

Im Folgenden werden die wichtigsten Funktionen erläutert, die über diese Leitung realisiert werden:

5.4.2. Türsteuerung

Die UIC-Leitung überträgt Signale, die für das koordinierte Öffnen und Schliessen der Türen im gesamten Zug sorgen. Dies ist von entscheidender Bedeutung, um sicherzustellen, dass alle Türen synchron arbeiten und der Zug nur abfährt, wenn alle Türen ordnungsgemäss verschlossen sind.

5.4.3. Licht- und Beleuchtungssteuerung

Auch die Steuerung der Beleuchtung, wie Front- und Schlusslichter sowie die Innenbeleuchtung der Wagen, wird über die UIC-Leitung geregelt. Dadurch können diese Funktionen zentral vom Führerstand aus kontrolliert werden, was die Sicherheit und Sichtbarkeit des Zuges erhöhen.

5.4.4. Notbremssteuerung

Im Falle eines Notbremsvorgangs überträgt die UIC-Leitung die entsprechenden Signale an alle Fahrzeuge der Zugkomposition. Diese Funktion stellt sicher, dass alle Wagen gleichzeitig und unmittelbar auf einen Notfall reagieren, um die Sicherheit der Passagiere und des Betriebes zu gewährleisten.

5.4.5. Steuerung der Heizungs- und Klimaanlage

Die Klimatisierungssysteme im Zug werden ebenfalls über die UIC-Leitung angesteuert. Dies erlaubt eine zentrale Kontrolle der Temperatur und Lüftung, um den Fahrgastkomfort in allen Wagen zu gewährleisten, unabhängig davon, ob es sich um moderne oder ältere Fahrzeugtypen handelt.

5.4.6. Technische Eigenschaften der UIC-Leitung

Die UIC-Leitung basiert auf einer robusten und standardisierten Technologie, die es ermöglicht, sowohl analoge als auch digitale Signale zuverlässig zu übertragen. Sie verwendet einen genormten Stecker, der eine einfache und zuverlässige Verbindung zwischen den Zugfahrzeugen herstellt, selbst wenn diese von unterschiedlichen Herstellern stammen. Diese Standardisierung sorgt dafür, dass Züge mit UIC-konformen Systemen problemlos miteinander kompatibel sind, was den Einsatz in internationalen Zugkompositionen vereinfacht. Die Leitungen sind so ausgelegt, dass sie auch unter extremen Umweltbedingungen zuverlässig arbeiten und eine stabile Signalübertragung garantieren.

5.4.7. Bedeutung der UIC-Leitung im Bahnbetrieb

Die Bedeutung der UIC-Leitung für den modernen Bahnbetrieb kann kaum überschätzt werden. Sie bildet die Grundlage für eine reibungslose Kommunikation zwischen den Wagen eines Zuges und ermöglicht es, dass alle Systeme synchron arbeiten. Durch diese koordinierte Steuerung wird nicht nur die Betriebsablauf gesteigert, sondern auch die Sicherheit der Passagiere erheblich verbessert. Die Möglichkeit, wichtige Informationen wie Notbremsbefehle und Türschliesssignale in Echtzeit zu übertragen, trägt dazu bei, dass der Zugbetrieb stets den höchsten Sicherheitsstandards entspricht.

5.5. Fahrzeugsignale

In den Fahrzeugen spielen Fahrzeugsignale eine entscheidende Rolle für die Steuerung und Überwachung der verschiedenen Systeme. Diese Signale sorgen dafür, dass sicherheitsrelevante und betriebsnotwendige Vorgänge wie das Öffnen und Schliessen der Türen oder die Erfassung der Geschwindigkeit korrekt und zuverlässig ablaufen.

5.5.1. Türsignale

Tür öffnen/schliessen: Diese Signale werden durch Schalter oder von der Zugleitung ausgelöst und von den Türsteuergeräten überwacht. Wenn die Türöffnungsanforderung aktiviert wird, prüfen die Steuergeräte, ob es sicher ist, die Türen zu öffnen. Dazu gehört das Überprüfen der Geschwindigkeit des Zuges (Türen dürfen nur im Stillstand oder bei sehr langsamer Fahrt geöffnet werden) und das Abgleichen der Sicherheitsparameter. Das Schliessen der Türen wird ebenfalls überwacht, und der Zug kann erst abfahren, wenn alle Türen sicher verschlossen sind.

5.5.2. Radimpulsgeber

Geschwindigkeits- und Wegerfassung: Radimpulsgeber, auch Tachogeneratoren genannt, messen die Drehzahl der Räder und erzeugen elektrische Impulse proportional zur Radbewegung. Diese Signale werden zur Ermittlung der Geschwindigkeit und des zurückgelegten Wegs verwendet. Sie sind insbesondere für die Zugsteuerung und das Bremssystem wichtig, da sie eine genaue Geschwindigkeitsüberwachung gewährleisten und bei der Steuerung der Bremssysteme (z.B. bei der Gleitschutzregelung) eine Rolle spielen.

5.5.3. GNSS (GPS)

Auf den Fahrzeugen wird das GNSS zur Positionsbestimmung und Zeitsynchronisation verwendet. Es ermöglicht die genaue Standortermittlung der Züge und stellt präzise Zeitdaten bereit, die für die Synchronisation der technischen Systeme an Bord wichtig sind.

Im Labor wird das GNSS nicht zur Positionsbestimmung genutzt, da die Testanlagen stationär sind und sich nicht bewegen. Wir nutzen aus dem GNSS Signal nur die exakte Zeitinformationen für die Uhrzeit Synchronisation mit dem APFZ-System.



Abbildung 24: RMS132 GPS Rack

Im Labor setzen wir den RMS132 GPS Rack Mount Splitter der Firma GPS Source ein.

Der RMS132 GPS Rack von GPS Source ist ein hochentwickeltes Signalverteilungssystem, das speziell für Anwendungen konzipiert ist, die mehrere GPS-Empfänger erfordern, ohne die Notwendigkeit, für jeden Empfänger eine eigene Antenne zu installieren.

Hauptmerkmale:

- **Signalverteilung:** Es kann ein GPS-Signal von einer einzigen Antenne empfangen und dieses Signal an mehrere GPS-Empfänger weiterleiten.
- **Eingebaute Verstärker:** Verstärkt das eingehende GPS-Signal, um sicherzustellen, dass es über grössere Entfernungen ohne Qualitätsverlust verteilt werden kann.
- **Modularität:** Das System ist modular aufgebaut und kann an die spezifischen Bedürfnisse angepasst werden, indem verschiedene Ein- und Ausgänge hinzugefügt werden.
- **Rack-montierbar:** Es wird in einem 19-Zoll-Rack installiert, was es ideal für den Einsatz in standardisierten technischen Umgebungen macht.
- **Anwendungsbereich:** Häufig verwendet in militärischen, industriellen und kommerziellen Anwendungen, wo genaue GPS-Zeit- und Positionssignale erforderlich sind.

Vorteile des RMS132 GPS Rack:

- **Kosteneffizient:** Anstatt mehrere Antennen zu installieren, reicht eine einzige Antenne, um mehrere GPS-Empfänger zu versorgen, was Installationskosten reduziert.
- **Platzsparend:** Durch die Rack-Montage und die Verteilung eines einzigen Signals auf viele Endpunkte wird der Platzbedarf minimiert.
- **Skalierbarkeit:** Dank der modularen Struktur kann das System je nach Bedarf erweitert oder angepasst werden.
- **Präzise Signalverteilung:** Der eingebaute Verstärker stellt sicher, dass die Signalqualität auch bei grösseren Entfernungen erhalten bleibt.

5.6. Netzwerk

Ein Netzwerk besteht aus verschiedenen miteinander verbundenen Geräten (wie Computern, Servern, Routern und Switches), die Daten austauschen und gemeinsame Ressourcen nutzen. Netzwerke ermöglichen die Kommunikation zwischen diesen Geräten, sowohl innerhalb eines lokalen Bereichs (LAN – Local Area Network) als auch über grössere Entfernungen hinweg (WAN – Wide Area Network). Netzwerkprotokolle wie TCP/IP sorgen dafür, dass die Daten korrekt übertragen werden und an ihr Ziel gelangen.

5.6.1. OSI-Modell (Open Systems Interconnection Model)

Das OSI-Modell beschreibt sieben Schichten, die die Kommunikation in einem Netzwerk steuern.

Jede Schicht hat eine spezifische Aufgabe:

- **Layer 1:** Physikalische Schicht (Physical Layer): Überträgt die Bits über die physische Verbindung (Kabel, Funk).
- **Layer 2:** Sicherungsschicht (Data Link Layer): Sorgt für den fehlerfreien Austausch von Daten zwischen zwei direkt verbundenen Geräten. MAC-Adressen werden hier genutzt.
- **Layer 3:** Vermittlungsschicht (Network Layer): Verantwortlich für die Weiterleitung von Daten zwischen verschiedenen Netzwerken. Hier arbeitet das Internet-Protokoll (IP).
- **Layer 4:** Transportschicht (Transport Layer): Gewährleistet den zuverlässigen Transport von Daten zwischen den Endgeräten, z. B. mit TCP oder UDP.
- **Layer 5:** Sitzungsschicht (Session Layer): Verwaltet die Sitzungen zwischen Anwendungen und sorgt für den Aufbau, die Verwaltung und den Abbau von Verbindungen.
- **Layer 6:** Darstellungsschicht (Presentation Layer): Konvertiert Daten in Formate, die von den Anwendungen verwendet werden können, z. B. durch Verschlüsselung oder Komprimierung.
- **Layer 7:** Anwendungsschicht (Application Layer): Stellt die Schnittstelle zur Anwendungssoftware bereit, wie E-Mail-Programme oder Webbrowser.

5.6.2. VLANs (Virtual Local Area Networks)

Ein VLAN ist ein virtuelles Netzwerk, das innerhalb eines physischen Netzwerks gebildet wird, um bestimmte Gruppen von Geräten voneinander zu trennen, auch wenn sie physisch miteinander verbunden sind. VLANs ermöglichen die logische Segmentierung eines Netzwerks, so dass der Netzwerkverkehr besser kontrolliert, verwaltet und gesichert werden kann. VLANs arbeiten hauptsächlich auf Layer 2 (Sicherheitsschicht), trennen aber die Broadcast-Domänen voneinander, was die Netzwerkleistung und Sicherheit verbessern.

VLANs bieten folgende Vorteile:

- **Sicherheitsisolierung:** Geräte in verschiedenen VLANs können nicht ohne weiteres miteinander kommunizieren, es sei denn, es wird eine spezielle Verbindung, z. B. durch einen Router, eingerichtet.
- **Effizienz:** VLANs verringern die Anzahl der Broadcasts im Netzwerk, indem sie den Datenverkehr auf spezifische Gruppen von Geräten beschränken.
- **Netzwerkverwaltung:** VLANs erleichtern die Verwaltung und Neustrukturierung des Netzwerks, da die physische Verbindung nicht verändert werden muss.

5.6.3. Ring-Topologie

Die Ring-Topologie ist eine Netzwerktopologie, bei der jedes Gerät mit genau zwei weiteren Geräten verbunden ist, sodass ein geschlossener Ring entsteht. Die Daten werden von Gerät zu Gerät weitergereicht, bis sie das Ziel erreichen. Diese Topologie ist einfach zu implementieren, jedoch problematisch bei einem Ausfall, da die gesamte Netzwerkkommunikation unterbrochen wird, wenn eine Verbindung im Ring ausfällt.

Moderne Netzwerke verwenden seltener Ring-Topologien, da diese anfälliger für Ausfälle sind. In bestimmten Anwendungen, wie redundanten Netzwerken, kommt jedoch immer noch eine erweiterte Version der Ring-Topologie zum Einsatz, die durch moderne Protokolle abgesichert wird.

5.6.4. RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol)

Um die Schwächen der Ring-Topologie zu überwinden, wird oft das RSTP (Rapid Spanning Tree Protocol) verwendet.

RSTP schützt Netzwerke vor Datenverkehrsschleifen, die bei der Ring-Topologie auftreten können.

RSTP blockiert redundante Pfade und sorgt dafür, dass Daten nur über den optimalen Pfad gesendet werden. Falls eine Verbindung im Netzwerk ausfällt, schaltet RSTP automatisch auf einen alternativen Pfad um, wodurch das Netzwerk stabil bleibt.

Vorteile von RSTP in Netzwerken:

- **Schleifenvermeidung:** Verhindert, dass Datenpakete endlos im Netzwerk zirkulieren.
- **Redundanz:** Schaltet bei Ausfällen automatisch auf alternative Verbindungen um, ohne dass das Netzwerk unterbrochen wird.
- **Schnelle Reaktionszeit:** RSTP erkennt Fehler schnell und stellt die Verbindung oft in weniger als einer Sekunde wieder her.

5.7. Mehrfachtraktion

Der MFT-Stecker (Mehrfachtraktionsstecker) übernimmt bei der SBB eine zentrale Rolle, um die Kommunikation und Steuerung in Mehrfachtraktionszügen sicherzustellen. Diese standardisierte Schnittstelle ermöglicht es, die verschiedenen Systeme und Steuergeräte der verbundenen Züge präzise miteinander zu vernetzen und zu koordinieren.



Abbildung 25: MFT-Stecker

5.7.1. UIC-Leitung im MFT-Stecker

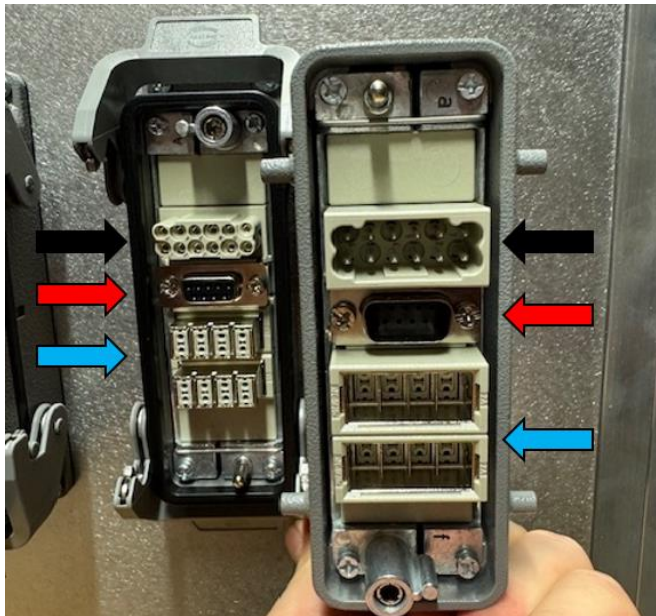
Ein wesentlicher Bestandteil des MFT-Steckers sind die UIC-Leitungen, die für grundlegende Steuerbefehle wie Türsteuerungen, Lichtsignale und Heizungsfunktionen zuständig sind. Diese Signale sorgen dafür, dass alle an der Zugkomposition beteiligten Einheiten synchron arbeiten und nach einheitlichen Vorgaben gesteuert werden.

5.7.2. CAN-Bus Signal im MFT-Stecker

Darüber hinaus überträgt der MFT-Stecker auch CAN-Bus-Signale, die eine schnelle und zuverlässige Kommunikation zwischen den elektronischen Steuergeräten ermöglichen. Diese Signale sind entscheidend für die Traktions- und Bremssteuerung sowie für die Fahrzeugdiagnose, wodurch eine präzise Steuerung und Überwachung aller Züge in der Mehrfachtraktion gewährleistet wird.

5.7.3. Netzwerkleitung im MFT-Stecker

Moderne SBB-Fahrzeuge nutzen zudem zunehmend Ethernet-basierte Netzwerke über den MFT-Stecker, um grosse Datenmengen zuverlässig zu übertragen. Diese Technologie wird hauptsächlich für Anwendungen wie Fahrgastinformationssysteme und Überwachungskameras verwendet, bei denen eine hohe Datenrate erforderlich ist.



- UIC-Leitung
- CAN-Bus
- Netzwerk

Abbildung 26: Offener MFT-Stecker

Der Einsatz des MFT-Steckers ermöglicht eine nahtlose Integration der Steuer- und Kommunikationssignale zwischen den Fahrzeugen, was zu einem koordinierten und sicheren Betrieb der gesamten Zugkomposition beiträgt.

6. Analyse

6.1. Vorgehensmethodik

Alle Arbeiten werden in Arbeitspakete aufgeteilt und mit dem Denim-Problemlösekreis bearbeitet. Diese Methode hat den Vorteil, dass ein Steuerungsteam Einfluss auf die Arbeit und Resultate ausüben kann. Das Steuerungsteam besteht aus Mitarbeitern aus der HW-Architektur, dem Testing und den Laboren, welche regelmässig die Ausführung (Inhalt) der Arbeiten begleiten und selbst auch beratend unterstützen.

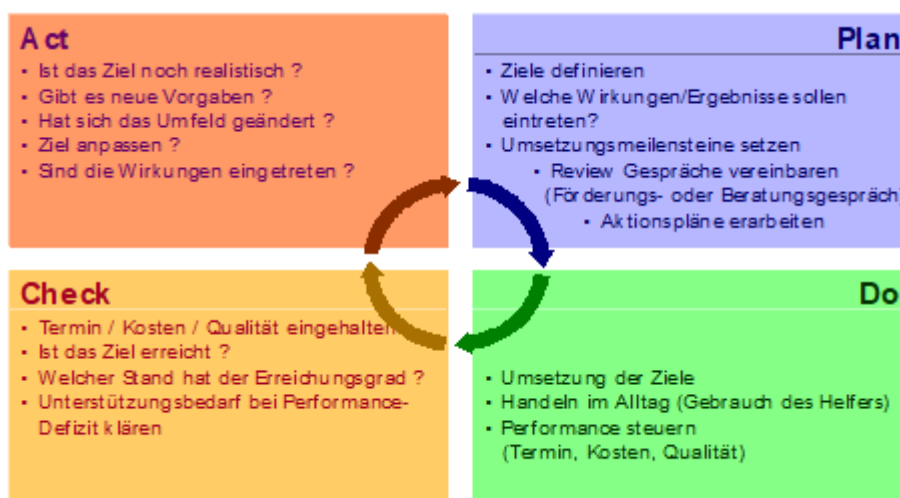


Abbildung 27: DENIM-Problemlösekreis

6.2. Anforderungen

In den folgenden Kapiteln werden die aufgenommenen Anforderungen aufgelistet.

6.2.1. Anforderungen SBB Management

- Kosteneinsparungen in den Testlaboren für Beschaffung, Betrieb und Stromverbrauch der APFZ-Testlaboren (Anschluss-Leistung von 140kW auf 70kW reduzieren).
- Reduktion von Fehleranfälligkeiten beim HW-Umbau von Testanlagen.
- Zügelaktion im Jahr 2028 von Wylerpark ins Wankdorf muss einfach und mit weniger Testanlagen erfolgen.
- Testanlagen müssen bei Nichtgebrauch heruntergefahren werden.

6.3. Übersicht der Testanlagen

Aktuell sind 35 verschiedene Testanlagen im Betrieb. Folgende Fahrzeuge (FZ) können damit in einer Labor-Umgebung

Aktuell sind 35 verschiedene Testanlagen im Betrieb. Folgende Fahrzeuge (FZ) können damit in einer Labor-Umgebung getestet werden:

6.3.1. Testanlagen APFZ 2.0


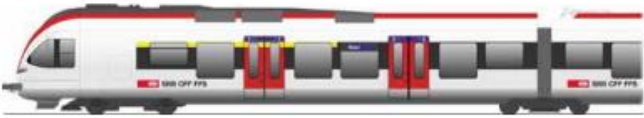

<p>Domino FZ1 und FZ2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • FZ-Simulator • UIC-Router • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>Flirt Legacy APFZ 2.0</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • UIC-Router • CAN-Bus • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>Flirt nA1 und nA2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • UIC-Router • CAN-Bus • AFZ • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • Rad Impulsgeber • Türsignale

Tabelle 1: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 1

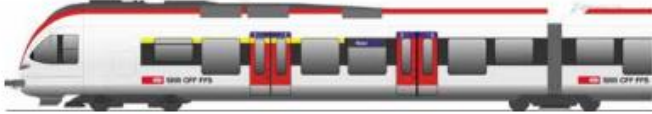



<p>Flirt TSI</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • FZ-Simulator • UIC-Router • CAN-Bus • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>DTZ</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>IC2000AD</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>IC2000AS</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Rail Server • LT-GW • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale

Tabelle 2: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 2




<p>Regio Dosto FZ1 und FZ2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • FZ-Simulator • UIC-Router • CAN-Bus • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>IR Dosto FZ1 und FZ2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Rail Server • LT-GW • MFT • FZ-Simulator • UIC-Router • CAN-Bus • AFZ • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>ICN FZ1 und FZ2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • AFZ • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • UIC-Router • CAN-Bus • Rad Impulsgeber • Türsignale

Tabelle 3: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 3

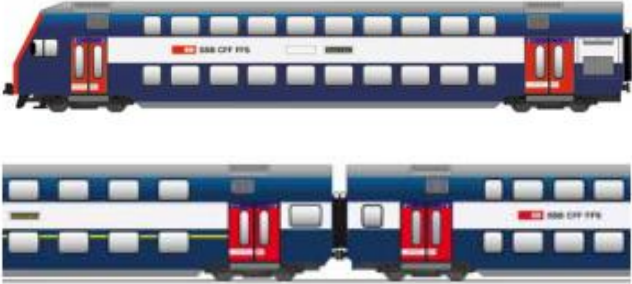
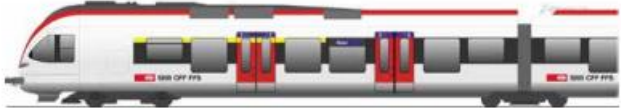
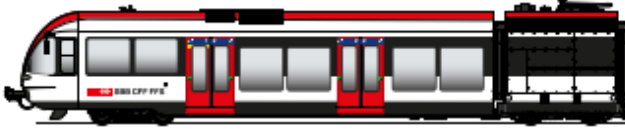

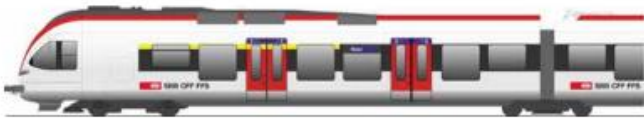




<p>DPZ + HVZ FZ1 und FZ2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>Flirt EVO FZ1 und FZ2</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Rail Server • LT-GW • MFT • FZ-Simulator • UIC-Router • CAN-Bus • AFZ • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>GTW</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Bordrechner • Mobile Router • LT-GW • MFT • FZ-Simulator • UIC-Router • CAN-Bus • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>FV (IC-Bt, EuroCity, EWIV) APFZ 2.0</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • TIMS • Rail Server • LT-GW • MFT • AFZ • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • FZ-Simulator • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale

Tabelle 4: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 4

6.3.2. Testanlagen APFZ 1.0

<p>Flirt Legacy APFZ 1.0</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • FZPF • Mobile Router • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>IC2000 (APFZ 1.0)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • FZPF • Mobile Router • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • AFZ • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>Giruno (FZ1 und FZ2)</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • FZPF • Mobile Router • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • CAN-Bus • UIC-Router • AFZ • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>SZU-Legacy</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • FZPF • Mobile Router • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • AFZ • UIC-Router • Rad Impulsgeber • Türsignale
<p>FV (EWIV, EC, ICBt) APFZ 1.0</p> 	<ul style="list-style-type: none"> • FZPF • Mobile Router • LED-Anzeigen • TFT-Bildschirme • UIC-Router • AFZ • Rad Impulsgeber • Türsignale

Bei den Testanlagen der SBB haben wir verschiedene Möglichkeiten, die Türsteuerung und andere Fahrzeugsignale zu steuern.

6.3.3. Steuern der Fahrzeugsignale APFZ 2.0

Bei den APFZ 2.0 Testanlagen werden die Steuerbefehle und Fahrzeugsignale mithilfe von Simulatoren gesendet. Diese Simulatoren ermöglichen es, verschiedene Betriebszustände zu simulieren und die Reaktionen der Türsteuerung sowie anderer Systeme zu beobachten. Diese Methode bietet den Vorteil, dass Szenarien realitätsnah nachgebildet werden können, ohne direkt an den physischen Systemen zu arbeiten.

Hier ist ein Simulator der Firma Stadler. Dieser kann ausschliesslich auf den Fahrzeugen von Stadler eingesetzt werden und ist nicht mit Fahrzeugen anderer Hersteller kompatibel. Mit einem Anschaffungspreis von circa CHF 100'000.- pro Simulator stellt er eine erhebliche Investition dar. Zudem begrenzt die eingeschränkte Verwendbarkeit auf Stadler-Fahrzeugen die Flexibilität im Betrieb.

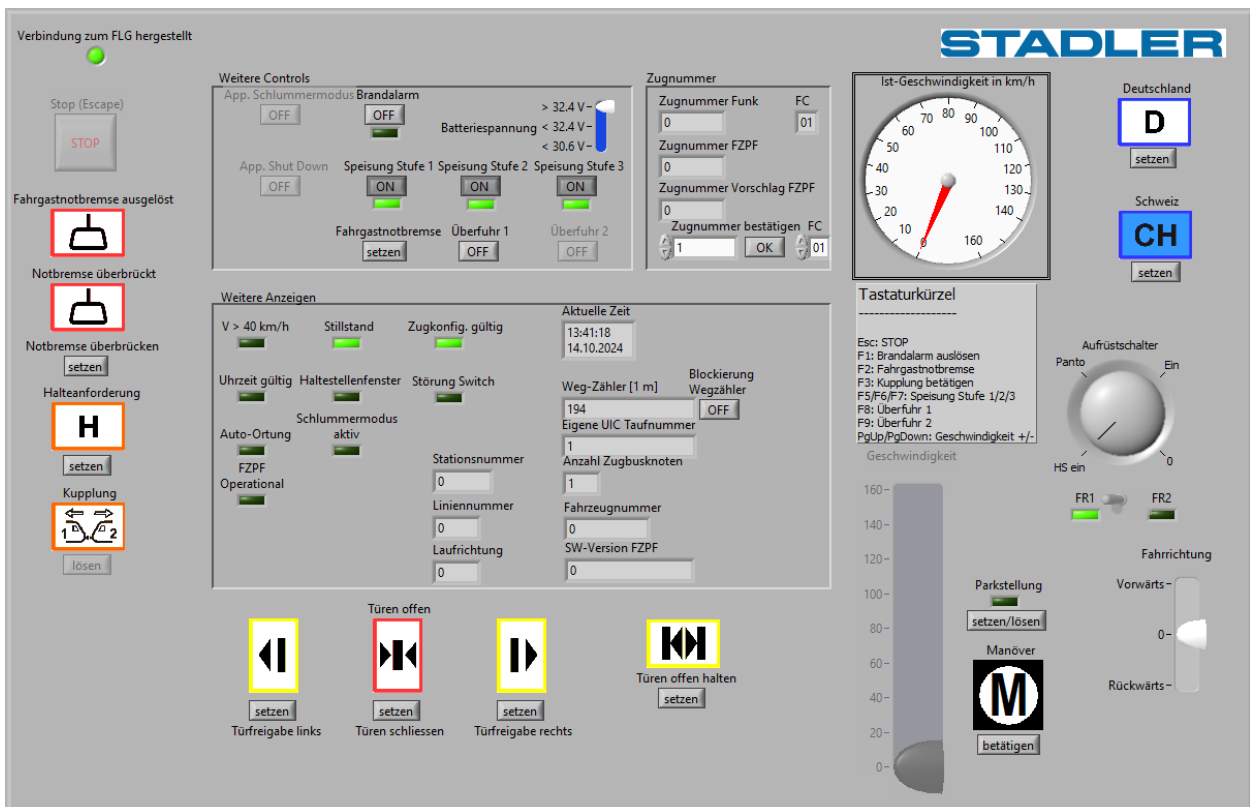


Abbildung 28: Stadler Simulator

Hier ist der von der SBB selbst entwickelte Simulator, der auf Fahrzeugen verschiedener Hersteller eingesetzt werden kann. Durch die Eigenentwicklung des Simulators sparen wir nicht nur erhebliche Kosten, sondern gewährleisten auch eine einheitliche und unkomplizierte Nutzung in unserer gesamten Testanlagen.

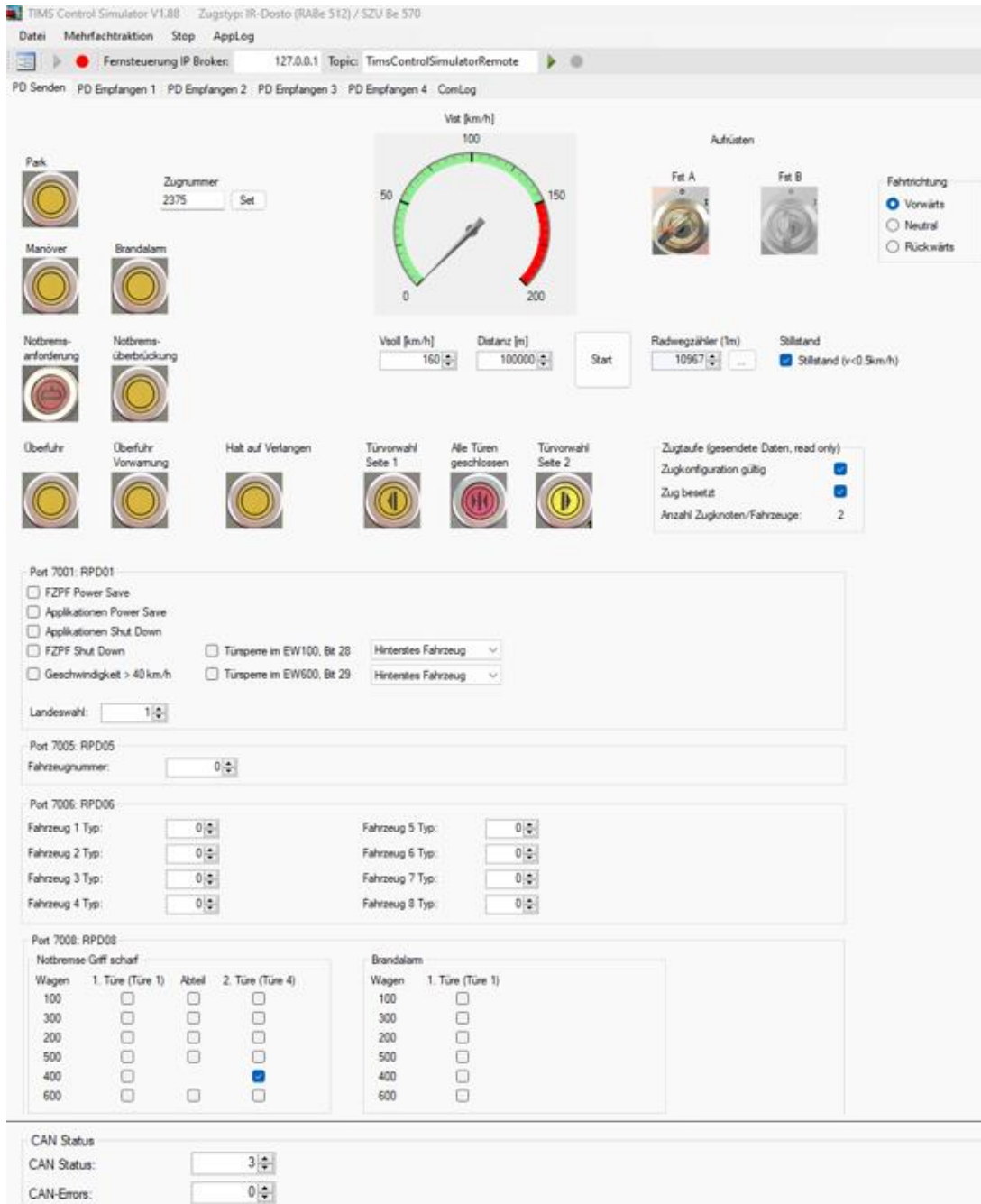


Abbildung 29: SBB-Simulator

In diesem Fenster kann mit dem SBB-Simulator die Mehrfachtraktion konfiguriert und angepasst werden.

Prozessdaten PD	IP-Adresse TIMS	UIC-Nr.	Führend
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="172.22.68.68"/>	<input type="text" value="2"/>	<input type="radio"/>
<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="text" value="172.22.68.69"/>	<input type="text" value="1"/>	<input checked="" type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="172.22.68.70"/>	<input type="text" value="3"/>	<input type="radio"/>
<input type="checkbox"/>	<input type="text" value="172.16.2.13"/>	<input type="text" value="4"/>	<input type="radio"/>

IP-Adresse Simulator: 192.168.0.1 IP-Adresse Default Gateway: 192.168.0.10

NEW_NODE - Timeout: [ms]

MD: ReplyTimeout verwenden

Abbildung 30: SBB-Simulator Mehrfachtraktion

6.3.4. Steuern der Fahrzeugsignale APFZ1.0

In den Testanlagen, die mit APFZ 1.0 ausgestattet sind, erfolgt die Steuerung der Fahrzeugsignale direkt über die Schalter auf den Testanlagen. Hierbei steuern wir die Signale, wie z.B. für das Öffnen und Schliessen der Türen manuell, um die Funktionsfähigkeit und Sicherheit dieser Systeme sicherzustellen.



Abbildung 31: Manuelles Schalten der Fahrzeugsignale

6.4. Eingesetzte Technologien

6.4.1. CAN-Bus

Der CAN-Bus (Controller Area Network) wird auf den Fahrzeugen als Kommunikationssystem zwischen den verschiedenen elektronischen Steuergeräten (ECUs) verwendet. Diese Steuergeräte regeln und überwachen wesentliche Funktionen des Zuges, sodass sie miteinander kommunizieren können, ohne dass eine direkte Verbindung zwischen jedem Steuergerät erforderlich ist.

Wichtige Anwendungsbereiche des CAN-Bus:

- **Türsteuerung:** Der CAN-Bus überträgt die Signale, die für das Öffnen und Schliessen der Türen notwendig sind. Dadurch wird sichergestellt, dass alle Türen korrekt und sicher gesteuert werden können.
- **Bremssteuerung:** Die Steuerung der Bremsen ist eine der sicherheitskritischsten Aufgaben des CAN-Bus. Er sorgt dafür, dass die Bremsbefehle an alle relevanten Teile des Fahrzeugs synchron übertragen werden, was besonders in Notfallsituationen wichtig ist.
- **Fahrgastinformationssysteme:** Über den CAN-Bus wird auch das Fahrgastinformationssystem (FIS) gesteuert. Dieses System liefert den Fahrgästen Informationen wie Ankunftszeiten, Haltestellen und Sicherheitsdurchsagen.
- **Klimasteuerung:** Der CAN-Bus überträgt auch die Signale für die Regelung der Klimaanlage und Heizung, sodass die Temperatur in den Wagen automatisch an die Umgebungsbedingungen angepasst wird.
- **Beleuchtung:** Die Steuerung der Innen- und Aussenbeleuchtung läuft ebenfalls über den CAN-Bus. So wird z. B. die Beleuchtung automatisch angepasst, wenn der Zug in einen Tunnel einfährt oder nachts fährt.

Warum CAN-Bus auf den Fahrzeugen verwendet wird:

- **Fehlertoleranz:** Der CAN-Bus ist sehr robust gegenüber Störungen. Bei Übertragungsfehlern können Nachrichten wiederholt werden, was für sicherheitskritische Funktionen wie die Bremssteuerung entscheidend ist.
- **Echtzeitkommunikation:** Durch die Priorisierung der Nachrichten stellt der CAN-Bus sicher, dass wichtige Informationen wie Bremsbefehle oder Notfallmeldungen Vorrang vor weniger dringenden Nachrichten haben.
- **Reduzierte Verkabelung:** Da mehrere Steuergeräte über denselben Bus kommunizieren können, wird der Verkabelungsaufwand erheblich reduziert, was Platz und Gewicht im Fahrzeug spart.

6.4.2. Leittechnik-Gateway

Der Leittechnik Gateway (LT-GW) dient als zentrale Schnittstelle für die Kommunikation zwischen den verschiedenen elektronischen Systemen an Bord eines Zuges und dem zentralen Train Information Management System (TIMS). Der LT-GW sammelt und überträgt wichtige Steuer- und Überwachungsdaten von den Fahrzeugsystemen und leitet diese an TIMS weiter. So wird der zuverlässige Betrieb des Zuges sichergestellt.

Anwendungsbereiche des Leittechnik Gateway (LT-GW) auf SBB-Fahrzeugen:

- **Kommunikation zwischen den Systemen:** Der LT-GW vermittelt Informationen zwischen den verschiedenen Systemen des Zuges, wie der Traktionssteuerung, dem Bremssystem, der Türsteuerung, dem Fahrgastinformationssystem (FIS) und der Klimatisierung. Diese Daten werden dann zentral im TIMS verarbeitet.
- **Überwachung sicherheitsrelevanter Systeme:** Der LT-GW sorgt dafür, dass sicherheitskritische Signale, wie beispielsweise die Notbremsanforderung oder die Überwachung der Bremsleistung, an das zentrale System weitergeleitet werden. Dadurch wird sichergestellt, dass das Zugpersonal oder die Leitstelle im Falle von Störungen sofort informiert wird.
- **Datenübertragung an TIMS:** Der LT-GW überträgt Echtzeitdaten, die von den verschiedenen Steuergeräten (z. B. Türen, Klimaanlage, Bremssystem) gesammelt werden, an das Train Information Management System. Dies ermöglicht eine zentrale Kontrolle und Überwachung aller Vorgänge im Zug, was den reibungslosen Betrieb und die Sicherheit erhöhen.
- **Integration von Diagnosedaten:** Der LT-GW integriert Diagnosedaten der Fahrzeugsysteme und ermöglicht so eine frühzeitige Erkennung von Fehlern oder Abweichungen. Dies erleichtert die Wartung und trägt zur Betriebszuverlässigkeit bei.

Warum wird der Leittechnik Gateway (LT-GW) eingesetzt?

- **Zentrale Steuerung:** Durch den LT-GW wird eine zentrale Steuerung und Überwachung des gesamten Fahrzeugsystems ermöglicht. Alle relevanten Daten laufen an einem Punkt zusammen und können schnell und präzise verarbeitet werden.
- **Sicherheitsoptimierung:** Der LT-GW stellt sicher, dass sicherheitskritische Informationen wie Bremsdaten oder Notfallmeldungen priorisiert und direkt an die richtigen Systeme weitergeleitet werden.
- **Vernetzung der Systeme:** Der LT-GW verbindet die verschiedenen Systeme des Zuges und sorgt dafür, dass sie miteinander kommunizieren können, ohne dass jedes System direkt mit jedem anderen verbunden sein muss.

6.4.3. Ethernet APFZ-Netzwerk

Das Ethernet-Netzwerk im APFZ-System spielt eine entscheidende Rolle für die Kommunikation und den Datenaustausch zwischen den verschiedenen Subsystemen im Zug. Dieses Netzwerk ermöglicht es, die zahlreichen Systeme an Bord reibungslos zu steuern und zu überwachen.

Funktionen des Ethernet-Netzwerks im APFZ

- **Kommunikation zwischen Steuergeräten:** Das Ethernet-Netzwerk verbindet die verschiedenen Steuergeräte im Fahrzeug, darunter Türsteuerungen, Bremssysteme, Klimaanlage und Fahrgastinformationssysteme (FIS). Durch die Ethernet-Verbindung wird sichergestellt, dass diese Systeme Daten schnell und zuverlässig austauschen können.
- **Datenübertragung in Echtzeit:** Da das Ethernet-Netzwerk hohe Übertragungsgeschwindigkeiten unterstützt, können wichtige Steuer- und Überwachungsdaten in Echtzeit übertragen werden. Dies ist besonders wichtig für sicherheitskritische Anwendungen wie die Bremssteuerung oder die Überwachung der Bahntüren.
- **Zentrale Steuerung und Überwachung:** Im Rahmen des APFZ-Systems werden alle relevanten Informationen von den verschiedenen Systemen im Fahrzeug gesammelt und über das Ethernet-Netzwerk an zentrale Steuergeräte wie das TIMS (Train Information Management System) weitergeleitet. TIMS ermöglicht es, alle diese Informationen zu verarbeiten und den Betrieb des Zuges nahtlos zu steuern.
- **Redundanz und Zuverlässigkeit:** Das Ethernet-Netzwerk im APFZ-System ist oft redundant ausgelegt, um die Ausfallsicherheit zu gewährleisten. Im Falle eines Netzwerkausfalls kann die Kommunikation über alternative Netzwerkverbindungen aufrechterhalten werden, was die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems erhöht.

Vorteile des Ethernet-Netzwerks im APFZ

- **Hohe Übertragungsgeschwindigkeit:** Ethernet bietet hohe Bandbreiten und ermöglicht die Übertragung grosser Datenmengen, was für die Kommunikation zwischen den verschiedenen Steuergeräten an Bord wichtig ist.
- **Skalierbarkeit:** Ethernet ist flexibel und skalierbar, was bedeutet, dass es leicht erweitert werden kann, um zukünftige Anforderungen an neue Systeme oder höhere Datenraten zu erfüllen.
- **Standardisierung:** Da Ethernet ein weit verbreiteter Standard ist, erleichtert es die Integration neuer Komponenten und Systeme in die bestehende Netzwerkinfrastruktur der Züge.

7. Varianten

In den folgenden Kapiteln folgt eine Beschreibung, wie die verschiedenen Systeme umgeschaltet werden können.

7.1. CAN-Bus

Der CAN-Bus in den SBB-Fahrzeugen überträgt vier wesentliche Signale:

- CAN-High: Positives CAN-Signal (dominant high)
- CAN-Low: Negiertes CAN-Signal (dominant low)
- CAN-GND: Masse (Ground)
- CAN-SHLD: Schirmung (Shielding gegen elektromagnetische Störungen)

Es gibt verschiedene Methoden, wie die CAN-Bus-Signale gesteuert oder ein- und ausgeschaltet werden können.

7.1.1. Manuelle Steuerung

Bei der manuellen Steuerung werden die CAN-Leitungen physisch getrennt oder verbunden, um die Signalübertragung zu steuern. Diese Methode ist besonders für einfache Wartungsarbeiten geeignet, jedoch zeitaufwendig und in grösseren Systemen unpraktisch.

Sie erfordert direkten Zugriff auf die Leitungen oder Verteilpunkte, an denen das Netzwerk physisch manipuliert werden kann.

7.1.2. Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais

Relais-Schaltungen bieten eine wirkungsvolle Methode zur automatisierten Steuerung von CAN-Bus-Signalen. Über KNX können Relais so konfiguriert werden, dass sie bestimmte CAN-Signale bei Bedarf ein- oder ausschalten.

KNX kann dafür programmiert werden, die CAN-High- oder CAN-Low-Leitungen zu trennen oder wieder zu verbinden, was es ermöglicht, die Steuerung zentral zu verwalten. Diese Methode ist besonders in grösseren Systemen vorteilhaft, da sie Flexibilität und Sicherheit bietet.

7.2. Leittechnik-Gateway

Um die Signale des LT-GW zu steuern, gibt es mehrere Methoden, die je nach Anforderung und Umgebung eingesetzt werden können:

7.2.1. Manuelle Steuerung

Die einfachste Methode, LT-GW-Signale zu steuern, besteht darin, die Steuergeräte physisch zu trennen oder zu verbinden. Dies kann direkt vor Ort durch Wartungspersonal durchgeführt werden, z. B. durch das Ein- und Ausstecken von Verbindungen oder das Betätigen von Schaltern.

Diese Methode eignet sich besonders für Wartungsarbeiten oder zur Fehlerbehebung, ist aber zeitaufwendig und erfordert physische Anwesenheit und direkten Zugang zu den Steuergeräten. Manuelle Eingriffe sind weniger flexibel und werden in der Regel nur bei spezifischen Arbeiten verwendet, bei denen die Automatisierung nicht möglich oder nicht notwendig ist.

7.2.2. Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais

Eine effektivere Methode zur Steuerung von LT-GW-Signalen bietet die Verwendung von Relais-Schaltungen, die über das KNX-System gesteuert werden.

Relais können über KNX zentral oder lokal gesteuert werden und die LT-GW-Signale gezielt ein- oder ausschalten. Dies ermöglicht eine Fernsteuerung der Systeme, ohne dass ein Mitarbeiter physisch eingreifen muss.

7.3. Mehrfachtraktion

Es gibt zwei primäre Methoden, um den MFT-Stecker zu steuern: manuelles Schalten und automatisierte Steuerung über KNX mit einer Relais-Matrix.

7.3.1. Manuelles Schalten des MFT-Steckers

Beim manuellen Schalten erfolgt das Trennen oder Verbinden des MFT-Steckers direkt vor Ort durch technisches Personal. Dies kann durch physisches Ein- oder Ausstecken des Steckers geschehen, um den Signalfluss zwischen den Fahrzeugen zu ermöglichen oder zu unterbrechen.

Das manuelle Schalten des MFT-Steckers bietet eine hohe Flexibilität, da es erlaubt, Fahrzeuge nach Belieben zu koppeln oder zu drehen. Diese Methode ermöglicht es, die Position der Fahrzeuge in der Zugkomposition einfach anzupassen, was besonders praktisch ist, wenn spezielle Konfigurationen oder Ausrichtungen erforderlich sind. Es macht den Prozess unkompliziert und anpassungsfähig, ideal für individuelle Anpassungen im Betrieb.

7.3.2. Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais

Die Automatisierung des MFT-Steckers kann durch den Einsatz von Relais-Schaltungen und KNX realisiert werden. Relais-Schaltungen werden dabei verwendet, um die Verbindung des MFT-Steckers automatisiert zu steuern. Die Relais-Schaltungen dienen als elektronische Schalter, die je nach eingehenden Befehlen vom KNX-System den MFT-Stecker ein- oder ausschalten können. Dies kann auf Basis vordefinierter Szenarien erfolgen, wie z.B. das Koppeln oder Entkoppeln von Fahrzeugen.

Die Automatisierung des MFT-Schaltens ist möglich, aber dafür wäre eine sehr komplexe Steuerungsmatrix nötig. Da dies zu aufwändig ist, wird dieser Punkt in dieser Arbeit nicht weiter behandelt.

7.4. Netzwerk

Die Steuerung dieses Netzwerks kann sowohl manuell als auch automatisiert über KNX und Relais-Schaltungen erfolgen.

7.4.1. Manuelles Schalten des Netzwerks

Bei der manuellen Steuerung wird das Netzwerk durch physisches Ein- oder Aus-Stecken von Netzwerk-Verbindungen gesteuert. Diese Methode wird häufig in Wartungssituationen oder bei kurzfristigen Netzwerkanpassungen verwendet, wenn technisches Personal vor Ort direkten Zugriff auf die Hardware hat.

Diese Methode bietet eine direkte Kontrolle, erfordert jedoch physische Anwesenheit und ist zeitaufwendig, wenn häufige Änderungen oder Eingriffe erforderlich sind.

7.4.2. Schalten des Netzwerkes mit einem Arista Switch

Das Umschalten des Netzwerks mit einem Arista Switch erfolgt durch Anpassungen an den Verbindungen über die Benutzeroberfläche oder die Kommandozeile. Diese Vorgehensweise wird oft genutzt, um das Netzwerk zu verändern oder um Verbindungen zwischen verschiedenen VLANs herzustellen.

Für den Wechsel können Ports neuen VLANs zugewiesen oder Routing-Einstellungen angepasst werden. Arista Switches ermöglichen es, schnell auf Veränderungen zu reagieren, was die Verwaltung des Netzwerks erleichtert.

7.4.3. Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais

Die automatisierte Steuerung des Netzwerks in den-Fahrzeugen kann durch den Einsatz von Relais-Schaltungen in Kombination mit dem KNX-System erfolgen.

Um dies bei der Multifunktionalen Testanlage realisieren zu können, bräuchte es für jedes Netzwerksignal einen unmanaged Switch, welcher dann mit Relais über das KNX ein- und ausgeschaltet werden kann.

Bei der Beschaffung der neuen Testanlagen wird dies in der Ausschreibung berücksichtigt. Zudem wird die Vorbereitung für Relais- und KNX-Module eingeplant. Dadurch bleiben die Testanlagen zukunftssicher und können an neue Anforderungen angepasst werden.

7.5. UIC-Leitung

Das Train Information Management System (TIMS) benötigt verschiedene Signale von der UIC-Leitung, um die Kommunikation und Steuerung der Fahrzeuge sicherzustellen. Diese Signale umfassen:

Signal 1: Fahrzeugsignale zur Datenkommunikation

Signal 2: Fahrzeugsignale zur Datenkommunikation

Signal 3: Fahrgastsprechstelle

Signal 4: Fahrgastsprechstelle

Um die UIC-Leitung gezielt ein- und auszuschalten, stehen zwei Steuerungsmethoden zur Verfügung: manuelles Schalten und automatisierte Steuerung über KNX mit einer Relais-Matrix.

7.5.1. Manuelles Schalten der UIC-Leitung

Beim manuellen Schalten wird die UIC-Leitung durch direktes Trennen oder Verbinden der physischen Leitungen gesteuert. Dies kann durch technisches Personal vor Ort erfolgen, z. B. durch das Ein- oder Ausstecken der Leitungen oder durch das Betätigen von Schaltern.

Diese Methode wird bei Wartungsarbeiten oder speziellen Betriebsfällen angewendet, bei denen eine schnelle und direkte Kontrolle erforderlich ist. Der manuelle Eingriff ist jedoch zeitaufwendig und erfordert physische Anwesenheit, was im laufenden Betrieb nicht immer ideal ist. Bei der manuellen Steuerung können die Signale, die für die Datenkommunikation und die Fahrgastsprechstelle benötigt werden, je nach Bedarf physisch getrennt oder verbunden werden.

7.5.2. Automatisierte Steuerung mit KNX und Relais

Eine automatisierte Lösung kann durch den Einsatz von Relais-Schaltungen in Kombination mit dem KNX-System erreicht werden. Relais agieren als Schalter, die die UIC-Leitung gezielt ein- oder ausschalten können.

Relais-Schaltungen können so konfiguriert werden, dass sie die Signale der UIC-Leitung automatisch steuern. So kann das TIMS-System weiterhin auf die notwendigen Signale zur Datenkommunikation und für die Fahrgastsprechstelle zugreifen, je nachdem, ob die UIC-Leitung aktiv oder deaktiviert ist.

7.6. Manuelle Verkabelung oder ein Bussystem

7.6.1. Konventionelle Verkabelung mit Relais

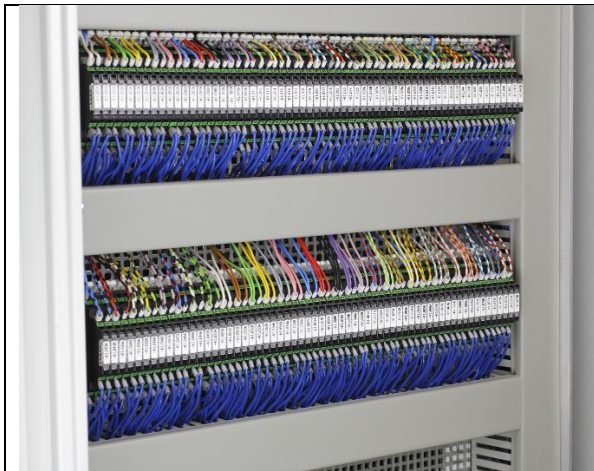


Abbildung 32: Konventionelle Verkabelung mit Relais

Vorteile:

- Robust und erprobt
- Einfache Implementierung
- Kostengünstig bei kleinen Systemen
- Direkte Schaltbarkeit

Nachteile:

- Hoher Verkabelungsaufwand
- Wartungsintensiv
- Geringe Flexibilität
- Platzbedarf

Tabelle 6: Konventionelle Verkabelung mit Relais

7.6.2. Kabelgebundenes Bussystem aus der Industrie



Abbildung 33: Industrielle Kabelgebundene Bussysteme

Vorteile:

- Reduzierter Verkabelungsaufwand
- Einfache Erweiterbarkeit
- Zentrale Steuerung und Überwachung
- Standardisierte Protokolle
- Zuverlässige Kommunikation
- Energieeffizienz

Nachteile:

- Hohe Installationskosten (Profibus)
- Abhängigkeit der Busleitung
- Signalbegrenzung
- Komplexere Fehlerbehebung
- Spezialwissen erforderlich

Tabelle 7: Kabelgebundenes Bussystem aus der Industrie

7.6.3. Kabelgebundenes Bussystem aus dem Privat-Einsatz

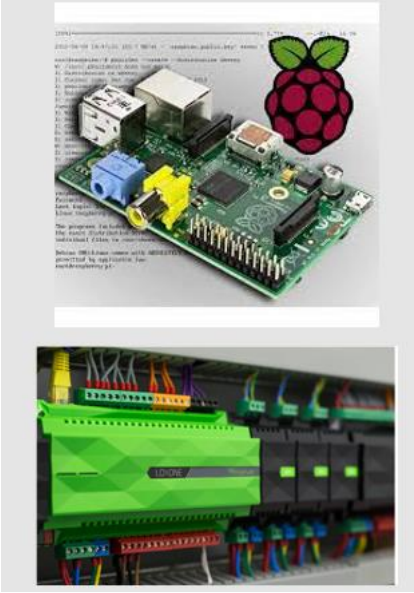
 <p>Abbildung 34: Private Kabelgebundene Bussysteme</p>	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kostengünstig • Einfache Einrichtung • Hohe Flexibilität • Anpassungsfähig • Vielseitig <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Begrenzte Reichweite • Aufwendige Verkabelung • Hoher Wartungsaufwand • Sicherheitsrisiken • Leistungsgrenzen
--	--

Tabelle 8: Kabelgebundenes Bussystem aus dem Privat-Einsatz

7.6.4. Funk Bussystem aus dem Privat-Einsatz


 <p>Abbildung 35: Private Funk Bussysteme</p>	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Kabellos • Einfache Einrichtung • Flexibilität • Erweiterbarkeit • Vielseitig <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reichweitenbegrenzung • Störanfälligkeit • Batteriewechsel erforderlich • Geschwindigkeitsbegrenzung
--	--

Tabelle 9: Funk Bussystem aus dem Privat-Einsatz

7.7. Entscheid Systemauswahl

Bezeichnung	Konventionelle Verkabelung mit Relais	Kabelgebundenes Bussystem aus der Industrie	Kabelgebundenes Bussystem aus dem Privat-Einsatz	Funk Bussystem aus dem Privat-Einsatz
Preis		 KNX Profibus		
Aufwand				
Stabilität				
Sicherheit				
Industrie				
Marktetabliert				
Know-How				

Tabelle 10: Entscheid Systemauswahl

Anhand der in der Tabelle dargestellten Analyse der verschiedenen Optionen haben wir uns entschieden, das kabelgebundene Bussystem aus der Industrie mit KNX zu wählen.

7.8. Mögliche KNX-System Varianten

7.8.1. Variante 1

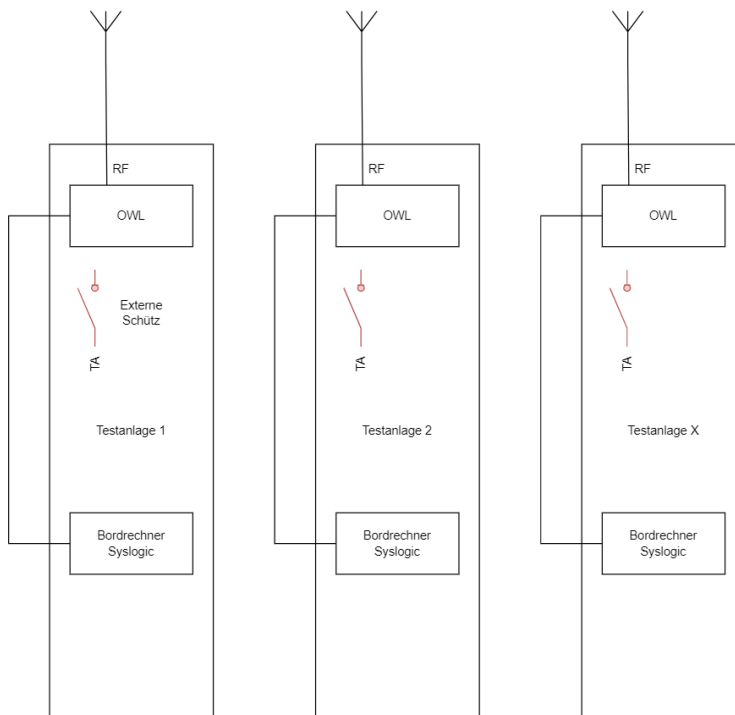


Abbildung 36: Blockschaltbild Variante 1

7.8.2. Variante 2

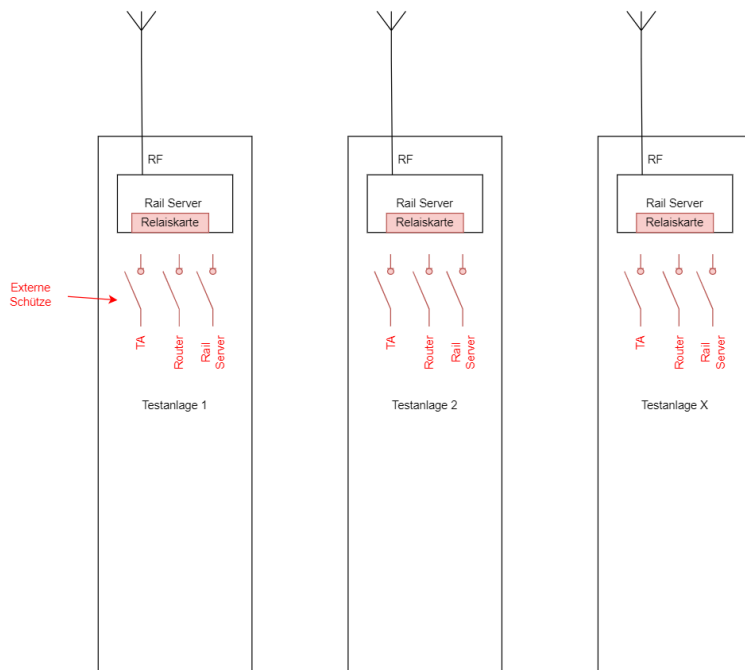


Abbildung 37: Blockschaltbild Variante 2

7.8.3. Variante 3

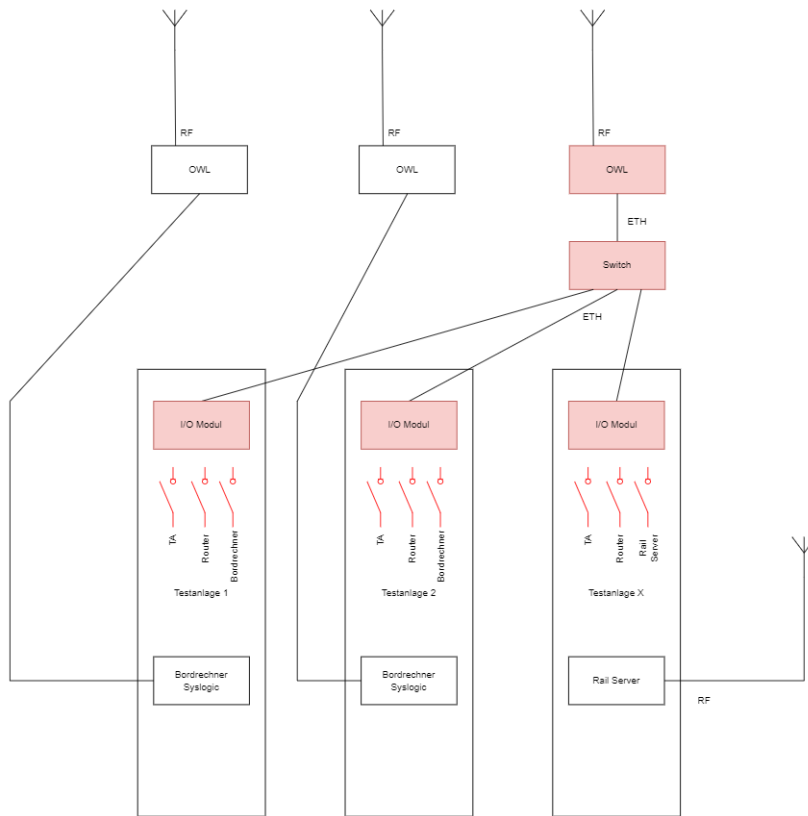


Abbildung 38: Blockschaltbild Variante 3

7.8.4. Variante 4

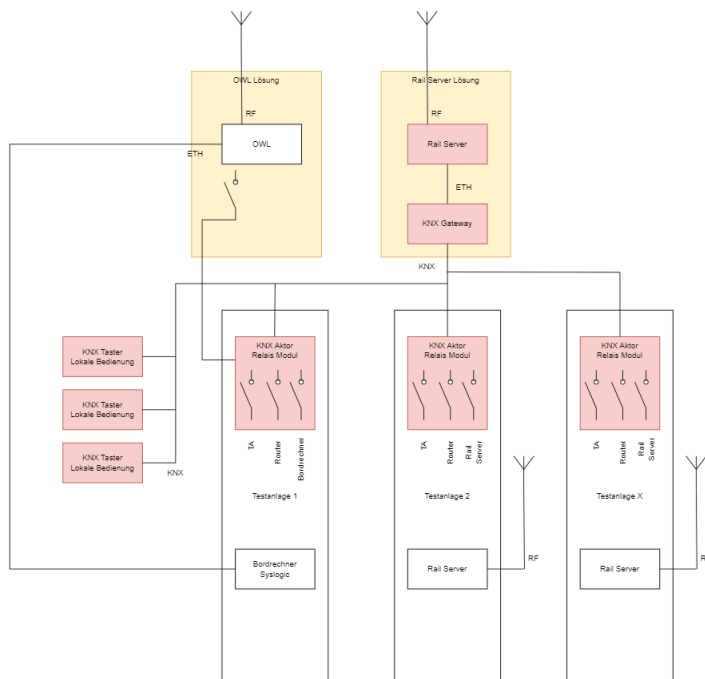














































Abbildung 39: Blockschaltbild Variante 4

7.8.5. Variantenvergleich

Die anhand der Anforderungen zusammengefassten Kriterien wurden in Zusammenarbeit mit dem SBB-Team in drei Kategorien eingeteilt:

	Erfüllt	besser	Ja
	Teilweise erfüllt	mittel	neutral
	Nicht erfüllt	schlechter	Nein

Tabelle 11: Bewertungstabelle für Erfüllungskriterien

Bezeichnung	Variante 1	Variante 2	Variante 3	Variante 4
Funktionsbeschreibung	Pro TA ein OWL I/O-Ausgang schaltet ein Relais	Rail Server mit Relaiskarte	Ein OWL mit mehreren I/O-Modul duagon	KNX-Installations-system mit I/O
Blockschaltbild	7.8.1	7.8.2	7.8.3	7.8.4
OWL ready				
Rail Server ready				
WYPA → Wankdorf ready				
Fernstart TA				
Fernstart Bord-rechner				
Fernstart Rou-ter				
NotAus				
Zeitrelais ready				
Logikfunktio-nen				
Kosten HW				
Aufwand kom-plett				
Vorteile	<ul style="list-style-type: none"> • OWL-Vari-ante schnel-ler umge-setzt 			<ul style="list-style-type: none"> • funktioniert für alle drei Mig-rationsschritte

				<ul style="list-style-type: none"> • günstige HW und Verkabelung • flexibel, da Funktionen/Logiken per SW programmierbar • Lieferantenunabhängig, Second Source
Nachteile	<ul style="list-style-type: none"> • es braucht drei Migrationsschritte vom OWL zum Rail Server und Wankdorf • Verdrahtungsaufwand sehr hoch • gekaufte Relais sind nicht für C-Last geeignet 	<ul style="list-style-type: none"> • Rail Server muss ständig laufen • Rail Server darf selbst nicht abstürzen • funktioniert nicht für OWL • Verdrahtungsaufwand sehr hoch • es braucht externe Schalterschütze 7.5kW 	<ul style="list-style-type: none"> • Verdrahtungsaufwand sehr hoch • sehr teure duagon HW pro TA 	<ul style="list-style-type: none"> • Gateway An-sible auf KNX muss geklärt werden
Geschätzte Kosten inkl. Aufwand	Material: 2'000.- Aufwand: 1 Tag/TA → 25 Tage → 25'000.-	Material: 14'000.- Aufwand: 1 Tag/TA → 25 Tage → 25'000.-	Material: 21'000.- Aufwand: 1.5 Tag/TA → 37.5 Tage → 37'500.-	Material: 12'000.- Aufwand: 0.5 Tag/TA → 12.5 Tage → 12'500.-
Totalkosten	27'000.-	39'000.-	58'000.-	24'500.-

Tabelle 12: Variantenvergleich

Migrations-Varianten von OWL auf Rail Server inklusive Zügelaktion:

Migrationsart	E-Kosten	Gesamt-Kosten	Bemerkungen
OWL-Variante 1 auf Rail Server Relaiskarte Variante 2	27'000.- + 39'000.-	66'000.-	evtl. Zeiteinsparung da Relaiskontakte teilweise schon verkabelt sind
OWL-Variante 1 auf I/O-Modul Variante 3	27'000.- + 58'000.-	85'000.-	
OWL auf Rail Server mit KNX-Variante 4	24'500.-	24'500.-	

Tabelle 13: Migrations-Varianten

7.8.6. Variantenwahl

Die Wahl fällt ausfolgenden Gründen auf ein KNX-System:

- Die Gesamtkosten sind am günstigsten
- Es werden alle Anforderungen erfüllt
- Eine Umsetzung mit OWL und Bordrechner kann sofort erfolgen und in einer zweiten Phase das neue Rail Server System

7.9. SWOT-Analyse

Die SWOT-Analyse zeigt, dass das Projekt zur Optimierung und Automatisierung der Testanlagen auf einem soliden Fundament steht. Die bestehende technische Infrastruktur und das fundierte Fachwissen der beteiligten Ingenieure bieten deutliche Vorteile, die den Erfolg des Projekts massgeblich unterstützen und eine zielgerichtete Umsetzung der geplanten Automatisierung ermöglichen. Besonders der Einsatz moderner Steuerungstechnologien wie KNX sowie die Möglichkeit der zentralen Steuerung über Weboberflächen stärken die Position des Projekts.

Allerdings gibt es auch Schwächen und Risiken, die bedacht werden müssen. Die hohen Anfangsinvestitionen für die benötigte Hardware und Software sowie die technische Komplexität bei der Integration der neuen Systeme in die bestehende Infrastruktur könnten den Projektfortschritt verzögern. Zudem erfordern die knappen personellen Ressourcen und die enge Abstimmung mit anderen Abteilungen besondere Aufmerksamkeit, um mögliche Engpässe frühzeitig zu erkennen und zu vermeiden. Diese Herausforderungen müssen sorgfältig geplant und überwacht werden, um reibungslose Abläufe zu gewährleisten.

Gleichzeitig bietet die Automatisierung erhebliche Chancen, insbesondere die Möglichkeit, die Testprozesse optimierter zu gestalten und die Betriebskosten langfristig zu senken. Durch die Automatisierung von Umschaltprozessen sowie die Fernsteuerung der Testanlagen wird nicht nur die Flexibilität der Anlagen erhöht, sondern auch die Transparenz der Daten verbessert. Langfristig könnte dieses Projekt zudem den Weg öffnen für weitere Automatisierungsinitiativen im Unternehmen und damit positive Auswirkungen auf die Produktivität und Wettbewerbsfähigkeit der SBB haben.

Dennoch bestehen Risiken, insbesondere durch potenzielle technologische Schwierigkeiten und unerwartete Kostensteigerungen während der Implementierung. Technische Probleme oder Verzögerungen bei der Integration könnten den Projektverlauf beeinträchtigen. Ein sorgfältiges Risikomanagement sowie eine kontinuierliche und klare Kommunikation zwischen den beteiligten Abteilungen sind entscheidend, um diesen Herausforderungen erfolgreich zu begegnen und das Projekt planmässig abzuschliessen.

Strength (Stärken)**Kosteneffizienz durch Automatisierung:**

- Reduzierung der Betriebskosten durch geringeren Personalbedarf und optimierte Ressourcennutzung.
- Automatisierte Testanlagen reduzieren die Fehleranfälligkeit durch weniger manuelle Eingriffe.

Optimierung der Testprozesse:

- Höherer Automatisierungsgrad führt zu schnelleren und optimierten Testzyklen.
- Automatisierte Umschaltprozesse zwischen den Systemen verhindern Verzögerungen und ermöglichen eine flexible Nutzung der Testressourcen.

Zentralisierte Steuerung:

- Eine zentrale Weboberfläche und Remote-Bedienung ermöglichen die einfache Verwaltung und Überwachung der Testanlagen, auch aus der Ferne.

Skalierbarkeit:

- Die modularen Automatisierungsvorschläge ermöglichen eine einfache Erweiterung oder Anpassung der Testanlagen an zukünftige Anforderungen.

Tabelle 14: SWOT-Analyse, Stärken

Weaknesses (Schwächen)**Hohe Anfangsinvestitionen (CAPEX):**

- Die Anschaffung und Implementierung der Automatisierungslösungen erfordern hohe Investitionen in Hardware und Software.
- Für den Aufbau eines voll funktionsfähigen Prototyps werden erhebliche Ressourcen benötigt, die kurzfristig schwer zu rechtfertigen sind.

Abhängigkeit von spezifischen Technologien:

- Die Automatisierung erfordert spezifische technische Lösungen, was zu Abhängigkeiten von bestimmten Herstellern und deren Produkten führen könnte.
- Schulung und Einarbeitung der Mitarbeiter in die neuen Systeme und Technologien erfordern Zeit und finanzielle Mittel.

Komplexität der Integration:

- Die Integration der verschiedenen bestehenden und neuen Systeme (KNX, Ethernet, CAN-Bus) erfordert eine komplexe Abstimmung, was zu Verzögerungen und zusätzlichen Kosten führen könnte.

Tabelle 15: SWOT-Analyse, Schwächen

Oppertunities (Chancen)**Erhöhung der Produktivität und Flexibilität:**

- Durch den Einsatz automatisierter Testprozesse können Tests rund um die Uhr durchgeführt werden, was die Auslastung und Effizienz der Anlagen erhöhen.
- Flexible Skalierbarkeit der Testanlagen ermöglicht es der SBB, bei zukünftigen Projekten schnell auf Veränderungen zu reagieren.

Langfristige Kosteneinsparungen (OPEX):

- Automatisierung der Testanlagen führt zu signifikanten Einsparungen bei den laufenden Betriebskosten, insbesondere durch geringeren Energieverbrauch und reduzierten Personalbedarf.
- Durch eine zentrale Verwaltung und Automatisierung der Testzyklen lassen sich langfristig Wartungs- und Administrationskosten reduzieren

Innovationsvorsprung und Wettbewerbsvorteil:

- Die Automatisierung und Modernisierung der Testanlagen könnten der SBB einen technologischen Vorsprung verschaffen und die Wettbewerbsfähigkeit in der Bahnbranche erhöhen.
- Umweltfreundlichere Testverfahren durch geringeren Energieverbrauch und optimierte Nutzung der Infrastruktur passen zu den Nachhaltigkeitszielen der SBB.

Tabelle 16: SWOT-Analyse, Chancen

Threats (Risiken)**Technologische Risiken:**

- Mögliche technische Probleme bei der Implementierung neuer Automatisierungstechnologien könnten zu Verzögerungen oder höheren Kosten führen.
- Die Abhängigkeit von spezifischen Technologien birgt das Risiko, dass zukünftige Entwicklungen oder Änderungen an diesen Systemen teuer oder zeitaufwendig werden.

Personalmangel und Know-how-Verlust:

- Da das bestehende Personal bereits stark ausgelastet ist, besteht das Risiko, dass nicht genügend Ressourcen für die Implementierung und den Betrieb der automatisierten Testanlagen zur Verfügung stehen.
- Know-how-Verlust durch eine schnelle Einführung neuer Technologien ohne ausreichende Schulung des Personals könnte zu Problemen bei der Wartung und Bedienung führen.

Wirtschaftliche Unsicherheiten:

- Schwankungen im Budget der SBB oder unerwartete wirtschaftliche Veränderungen könnten die geplanten Investitionen gefährden oder verzögern.
- Langfristige Einsparungen könnten durch unerwartete Betriebskosten oder technischen Wartungsaufwand beeinträchtigt werden.

Tabelle 17: SWOT-Analyse, Risiken

7.10. Risikoanalyse

7.10.1. Risiko 1: Technische Integrationsprobleme

- **Beschreibung:** Die Integration von neuen Automatisierungssystemen (KNX) in die bestehende Infrastruktur könnte auf technische Herausforderungen stossen. Dies kann zu Inkompatibilitäten zwischen den verschiedenen Systemen und Verzögerungen im Projektverlauf führen.
- **Wahrscheinlichkeit:** Möglich
- **Auswirkung:** Klein
- **Massnahmen zur Risikominderung:** Sorgfältige Planung und schrittweise Implementierung in einer Testumgebung, enge Zusammenarbeit mit Systemingenieuren und ausführliche Testläufe vor der Einführung in die Produktionsumgebung.

7.10.2. Risiko 2: Budgetüberschreitungen

- **Beschreibung:** Unerwartete Kostensteigerungen für Hardware, Software könnten das Projektbudget überschreiten und zusätzliche finanzielle Ressourcen erfordern.
- **Wahrscheinlichkeit:** Wahrscheinlich
- **Auswirkung:** Mittel bis Gross
- **Massnahmen zur Risikominderung:** Ein detailliertes Budget mit ausreichend Puffer für unvorhergesehene Ausgaben sowie regelmässiges Kostencontrolling. Frühzeitige Identifikation von Kostentreibern und Anpassung des Projektumfangs, um Budgetgrenzen einzuhalten.

7.10.3. Risiko 3: Personalmangel und Know-how

- **Beschreibung:** Mögliche Engpässe bei der Verfügbarkeit von qualifiziertem Personal und das fehlende technische Know-how für den Betrieb und die Wartung der neuen Automatisierungssysteme könnten zu Verzögerungen führen.
- **Wahrscheinlichkeit:** Möglich
- **Auswirkung:** Gross
- **Massnahmen zur Risikominderung:** Frühzeitige Schulung des bestehenden Personals sowie der rechtzeitige Einsatz externer Experten. Sicherstellung von Wissensübertragung und Aufbau von internen Kapazitäten zur langfristigen Wartung und Weiterentwicklung der Systeme.

7.10.4. Risiko 4: Lieferengpässe bei Komponenten

- **Beschreibung:** Externe Lieferanten für Hardware und Software könnten nicht rechtzeitig liefern, was zu Projektverzögerungen führt und den Zeitplan gefährdet.
- **Wahrscheinlichkeit:** Gering
- **Auswirkung:** Mittel
- **Massnahmen zur Risikominderung:** Abschluss langfristiger Lieferverträge, Aufbau von Backup-Lieferanten sowie frühzeitige Bestellung kritischer Komponenten. Ein flexibler Zeitplan für die Integration, der mögliche Verzögerungen einkalkuliert.

7.10.5. Risiko 5: Fehlende Abstimmung zwischen Abteilungen

- **Beschreibung:** Die erfolgreiche Einführung der Automatisierung erfordert die enge Zusammenarbeit mehrerer Abteilungen. Fehlende Kommunikation oder unklare Verantwortlichkeiten könnten zu Verzögerungen und Fehlentscheidungen führen.
- **Wahrscheinlichkeit:** Möglich
- **Auswirkung:** Mittel
- **Massnahmen zur Risikominderung:** Regelmässige Meetings, klar definierte Kommunikationswege und ein detaillierter Projektplan, der die Zuständigkeiten klar festlegt.

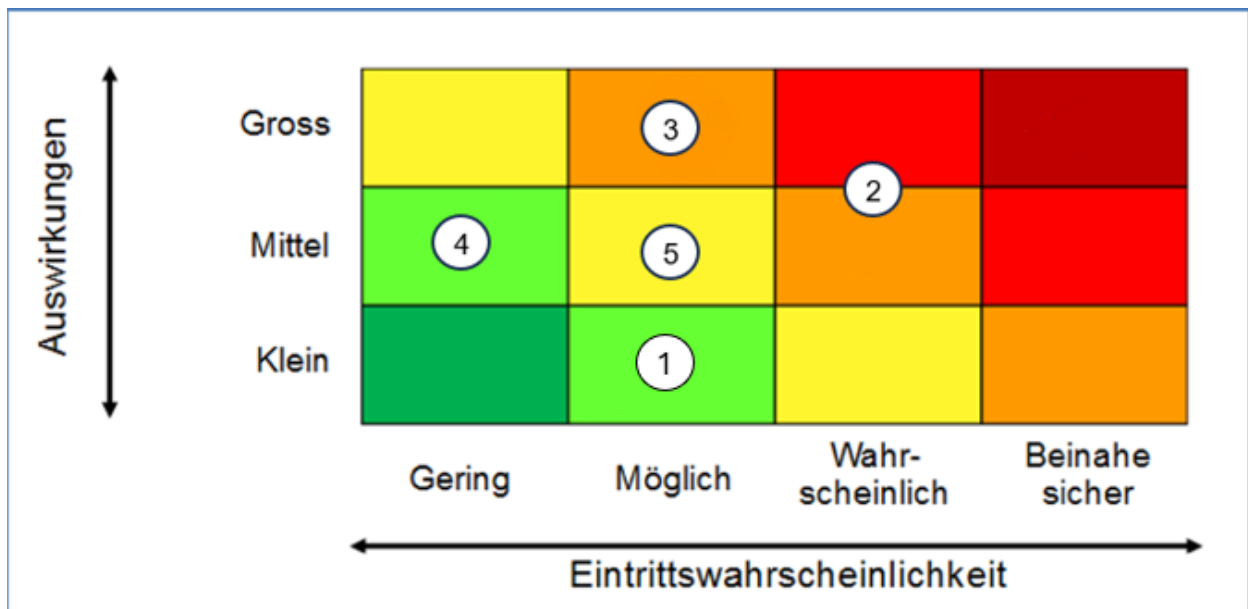


Abbildung 40: Matrix Risikoanalyse

8. Wirtschaftlichkeit

Die Wirtschaftlichkeit basiert auf die Kostenschätzung vom eingesetzten Material, den dazu notwendigen Aufwand und der Aufwandschätzung für die umkonfiguration im Testingbereich.

Wir gehen von folgenden Annahmen aus:

- Stundenansatz von 120 CHF pro Mitarbeiter
- Anzahl Testanlagen (36)
- Umkonfiguration Mehrfachtraktion pro Quartal: 1 mal mit 10 Testanlagen
- Umkonfiguration Fahrzeugsignale pro Monat: 1 mal mit 36 Testanlagen

Bestehende Testanlagen		Manuell			Automatisiert		
		Anzahl	Einmaliger Preis	Total Preis	Anzahl	Einmaliger Preis	Total Preis
Mehrfachtraktion	CAPEX Gerätekosten	10	1000	10000	10	25	250
	CAPEX Kosten Zeitaufwand	10	1920	19200	10	640	6400
	OPEX Kosten Zeitaufwand	40	30	1200	40	0	0
	Totalkosten			30400			6650
Fahrzeugsignale	CAPEX Gerätekosten	36	0	0	36	350	12600
	CAPEX Zeitaufwand	36	0	0	36	480	17280
	OPEX Zeitaufwand	432	480	207360	432	480	207360
	Totalkosten			207360			237240

Abbildung 41: CAPEX/OPEX Kostenschätzung

Umsetzungsvorschlag an SBB

- **Mehrfachtraktion:** Bei bestehenden sowie auch neuen Testanlagen umsetzen, da das Automatisierte System mit KNX deutlich günstiger ist als das manuelle Hahnstecker-system
- **Fahrzeugsignale:** Nicht umsetzen, da der Zeitaufwand bei allen Systemen identisch ist, jedoch beim KNX-system einen zusätzlichen Aufwand mit Installation der Geräte zur Folge hat.
- **Automatisierte Peripheriegeräte Ein-/Ausschalten:** Ist hier nicht aufgeführt, weil die Kosten einer Testanlage zwischen 250'000 CHF bis 700'000 CHF beträgt. Dies übersteigt die Kosten einer Automatisierten KNX Umschaltung um Faktoren.

9. Umsetzung

In den folgenden Kapiteln wird die Umsetzung der einzelnen Systeme und eingesetzten Technologien beschrieben.

9.1. KNX-System

Das eingesetzte KNX-System beinhaltet als wichtigste Elemente die Programmier-Software ETS, ein KNX-IP-Netzwerk, drei TP Twisted Pair KNX-Bus-Linie, KNS-IP Router und einige Sicherheitsthemen, die in den folgenden Kapiteln aufgeführt sind.

9.1.1. ETS Programmiersoftware

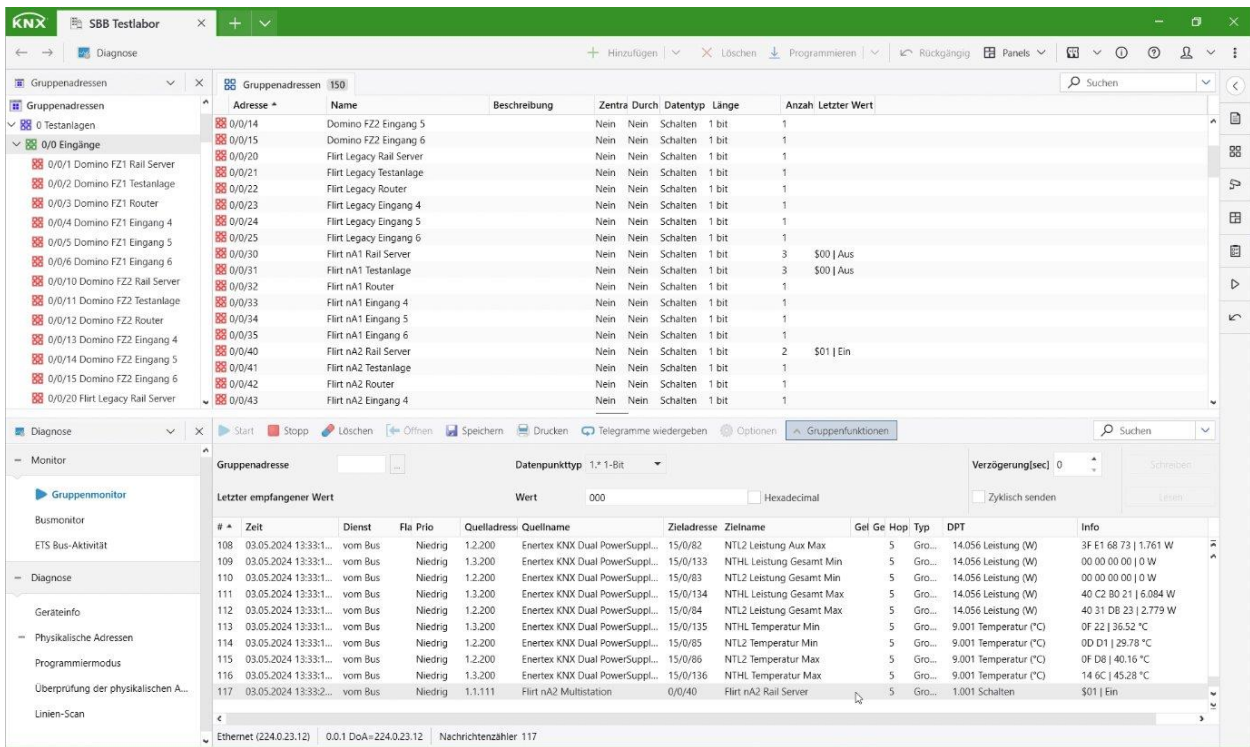


Abbildung 42: ETS Programmiersoftware

9.1.2. KNX IP-Netzwerk und TP-Linien

Die meisten Anwender von Computersystemen sind mit der IT-Welt vertraut, die Komponenten wie Notebooks, Drucker, WLAN-Accesspoints, Sicherheitslösungen wie Firewalls, Support-Center und vieles mehr umfasst. Weniger bekannt ist hingegen die OT-Welt (Operational Technology), die industriellen Steuerungen beinhaltet und oft nur geringe oder gar keine Sicherheitsvorkehrungen aufweist. Um diese beiden Welten zu vereinen, sind geeignete Schutzmassnahmen erforderlich. Für unser System verwenden wir ein von ISACA entwickeltes Zellschutzkonzept, das IT-Netzwerke mithilfe einer professionellen Firewall von den OT-Netzwerken trennt. Innerhalb der OT-Welt setzen wir ebenfalls Schutzmechanismen ein, die eine sichere Integration der einzelnen KNX-Komponenten in das KNX-System gewährleisten.

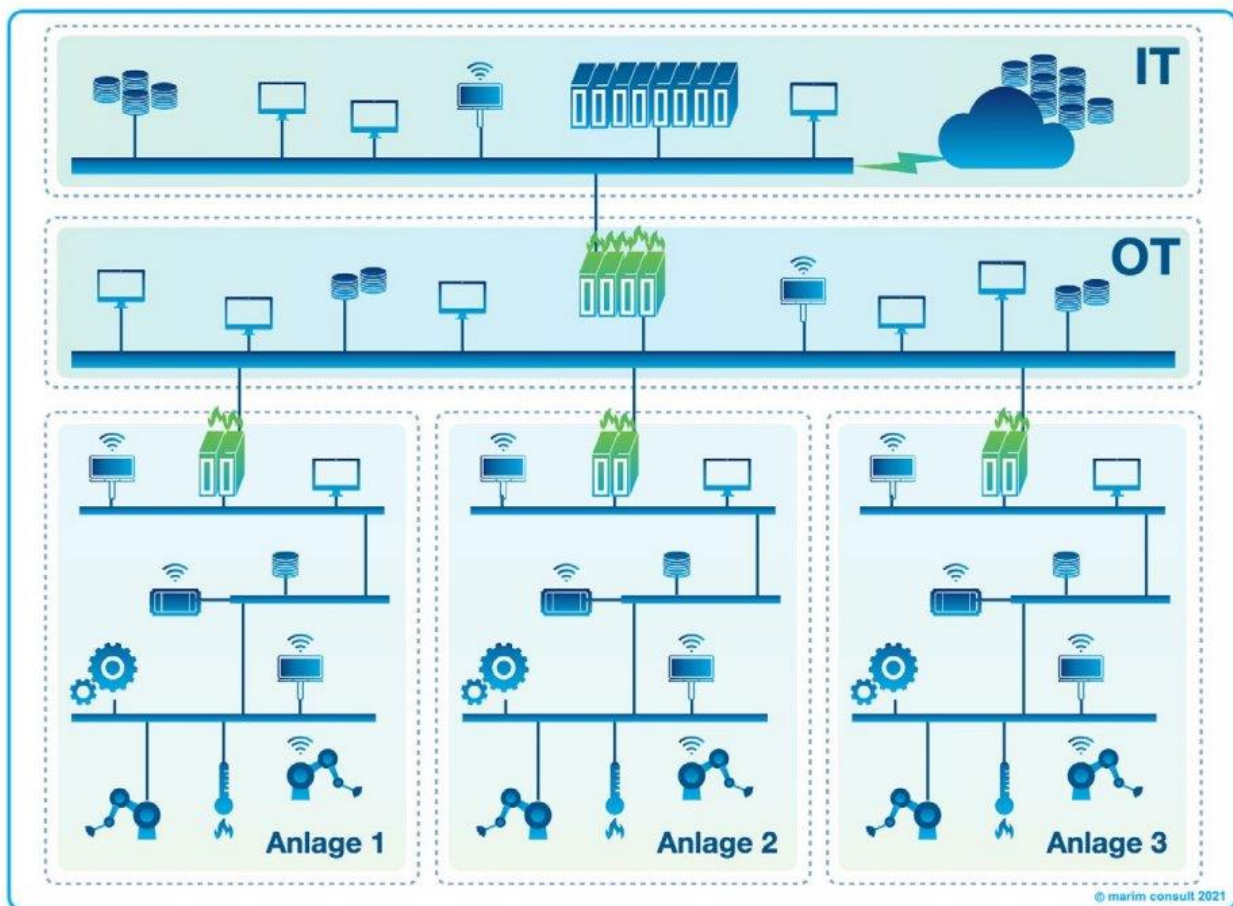


Abbildung 43: Zellschutzkonzept IT und OT-Systeme

Unterschiede zwischen OT- und IT-Systemen:

OT¹ unterscheidet sich in verschiedener Hinsicht von IT. So bestehen OT-Netzwerke aus einer Vielzahl von Hardwarekomponenten mit integrierter Firmware, proprietären Betriebssystemen sowie OT-spezifischen oder gar herstellereigenen Protokollen, die schwieriger zu katalogisieren und zu überwachen respektive zu aktualisieren sind als IT-Systeme. OT-Systeme sind auch mit grösseren Risiken behaftet als IT-Systeme, weil sie auf eine lange Lebensdauer (bis zu Jahrzehnten) ausgelegt sind.

OT-Netzwerke sind zudem weniger stark segmentiert, da sie ursprünglich für einen eigenständigen Betrieb konzipiert und nicht für die Integration in eine umfassende Umgebung geplant wurden. Dementsprechend wurde auch der Zugangskontrolle traditionell eher wenig Aufmerksamkeit geschenkt. Bei den Steuerungssystemen legten Hersteller von OT-Anlagen wie Siemens oder ABB in der Vergangenheit wenig Wert auf Cybersicherheit.

In der IT ist man strikte Zugangskontrolle und Segmentierung, Bedrohungsschutz auf Basis global gewonnener Threat Intelligence, verschlüsselte Kommunikation und umfassende Transparenz mithilfe systemübergreifender Inventarisierungs-, Monitoring- und Administrationslösungen längst gewohnt. Doch auf OT-spezifische Anforderungen waren gängige Cybersecurity-Lösungen für die IT bisher nicht vorbereitet.

Aus den genannten Gründen setzen wir in unserem Projekt auch eine verschlüsselte Datenübertragung der eingesetzten KNX IP-Router ein, welche auf Gerätespezifische Zertifikate basieren. Bei der Inbetriebnahme werden diese Geräte-Zertifikate in der Programmiersoftware ETS eingelesen und sogleich erzeugt die ETS ein neues Geräte-Zertifikat, welches mit dem eingesetzten Dongle der ETS wie auch einem Passwort-Zugangsschutz gesichert wird. Ohne diese Elemente kann man weder die Konfiguration der Geräte noch die Kommunikation mit AES 128 CCM² untereinander verändert oder gelesen werden.

Ein KNX IP-Router besteht aus einer Verbindung zu KNX TP³, die über die rot-schwarzen Klemmen zu den KNX TP-Komponenten führt, sowie einer Verbindung zur übergeordneten Linie, die mit Hilfe von IP realisiert ist (RJ-45 Anschluss).

OT Operational Technology umfasst elektronische Komponenten wie Sensoren und Aktoren, Industrie-Steuerungen usw.

CCM-Modus mit 128 Bit AES-Verschlüsselung, Datenverschlüsselung «Counter-Mode» mit Integritätssicherung «CBC-MAC-Mode

TP Twisted Pair Leitung

Auf IP-Ebene verfügt der KNX IP-Router über eine Router-Funktion, basierend auf KNXnet/IP-Routing, sowie mehrere Schnittstellen, die auf KNXnet/IP-Tunneling basieren.

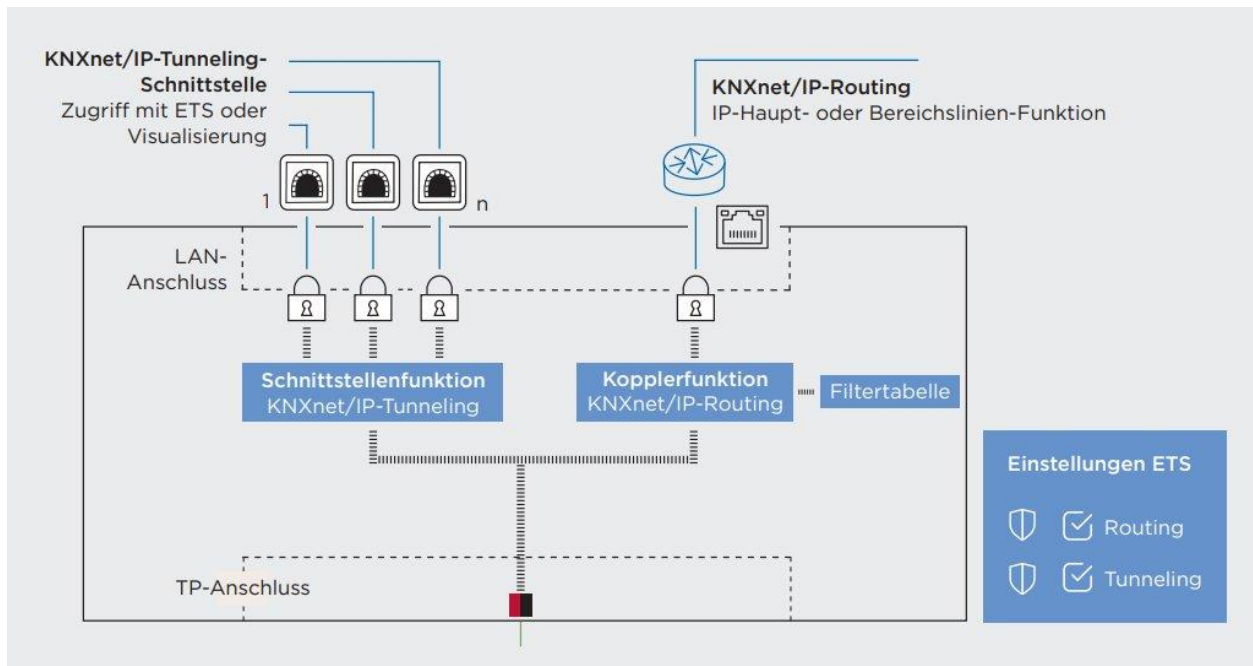


Abbildung 44: Übersicht KNX IP-Routing und Tunneling

Aus diesen Vorgaben wie auch den Funktionalitäten der eingesetzten KNX-Komponenten haben wir in Zusammenarbeit mit den SBB-Spezialisten aus dem Netzwerk- Cyber-Security und KNX-Bereich folgendes KNX-Grundsystem entwickelt und aufgebaut.

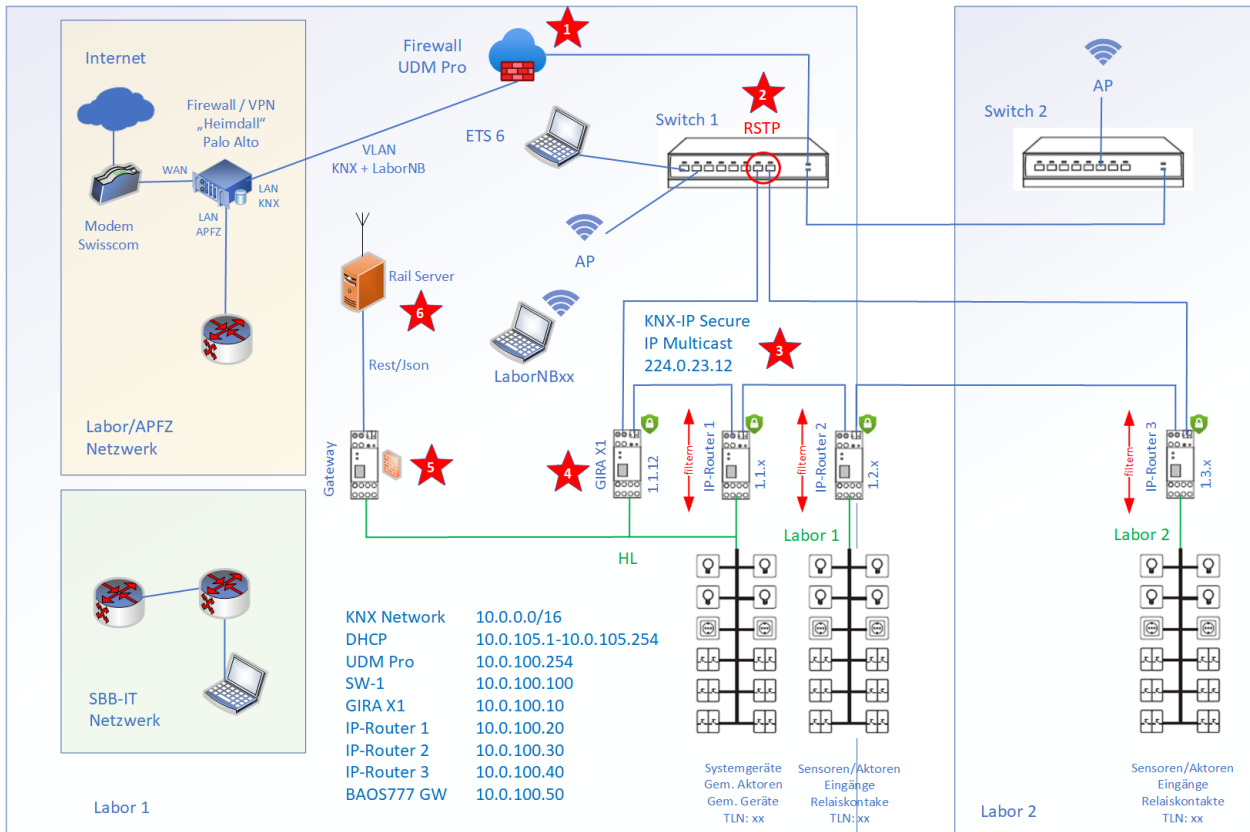


Abbildung 45: Übersicht KNX IP Netzwerk Layer 4

Nr.	Beschreibung
1	Professionelle Firewall für die Trennung IT-OT Netzwerke
2	RSTP Rapid Spanning Tree Protocol RSTP ist ein Netzwerk-Protokoll, um redundante Pfade in lokalen Netzen zu deaktivieren bzw. bei einem Ausfall zu aktivieren.
3	KNX-IP Secure Verschlüsselte Datenübertragung auf dem KNX-IP Netzwerk IP-Multicast Die KNX-IP Router kommunizieren auf einer fixen, vordefinierten IP-Adresse miteinander. Ein Ausfall des Netzwerkes wie auch der DHCP-Server auf der UDM spielt keine Rolle, die IP-KNX-Router funktionieren weiterhin.
4	Die KNX IP-Router wie auch der GIRA X1 Controller sind mit zwei RJ45-Netzwerk-Schnittstellen ausgerüstet. Das hat den Vorteil, dass diese Geräte ohne zusätzlichen Netzwerk-Switch miteinander direkt in einer Kette verbunden werden können. Andere IP-Router müssen einzeln an einen Switch angeschlossen werden und dann funktionieren sie nur in Abhängigkeit des Netzwerk-Switches.
5	Gateway für den Zugang vom APFZ-Mobilfunk-Netzwerk auf das KNX-System. Der Rail Server ist das zentrale Rechnersystem für APFZ und ist mit einer Palo Alto Firewall ausgerüstet. Der GW stellt dem APFZ-Netzwerk ein Rest/JSON Interface mit allen KNX-Objekten für das Ein-Aus-Schalten der Testanlagen zur Verfügung. Auch die Ansible Software-Verteilplattform kann auf diese KNX-Objekte zugreifen und so die Testanlagen steuern.
6	Rail Server, Hauptrechner des APFZ-Systems.

Tabelle 18: Beschreibung der Übersicht KNX IP Netzwerk Layer 4 Darstellung

9.1.3. Logiken, Sequenzen und Zeitfunktionen

Die Logiken wie AND, OR, EX-OR, kleiner usw. können direkt in einer einfachen Variante auf den KNX-Modulen (Sensor wie auch Aktor) genutzt werden. Für komplexe Logiken oder auch Sequenzen setzen wir den GIRA X1 Controller ein. Dieser Controller verfügt über einen grafischen Logik-Editor, eine hoch professionelle Visualisierung und kann mit zusätzlicher installierbarer Applikation mit weiteren Systemen oder Schnittstellen/Protokollen erweitert werden. Ebenfalls sind unzählige Zeitfunktionen nach Datum, Uhrzeit, Astro-Zeitfunktionen usw. einfach integrierbar.

9.1.4. Grafische Bedienoberflächen

Die grafischen Bedienoberflächen werden wir in Zukunft auf dem GIRA X1 Visualisierungs-Controller aufbauen. In diesem Controller ist auch ein grafischer Logik-Editor integriert und kann mit vielen weiteren Applikationen wie HUE, SONOS Schnittstellen oder Kommunikations-Protokollen ausgerüstet werden. Aufgrund der Komplexität und des grossen Funktionsumfangs dieses Controllers kann der POC für die Funktionsprüfung nicht im Rahmen dieser Diplomarbeit erledigt werden.

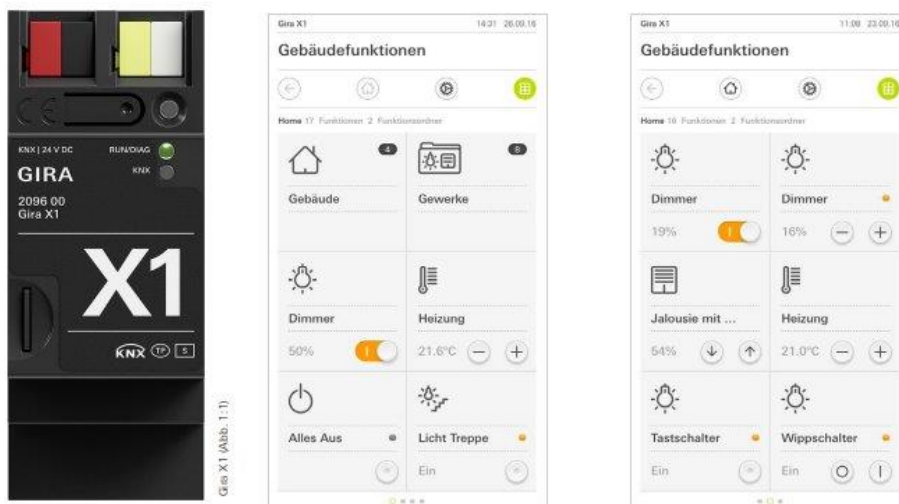


Abbildung 46: WEB Bedienoberfläche

Der grafische Logik-Editor des GIRA X1 Controllers sieht für einen Elektrozähler wie folgt aus:

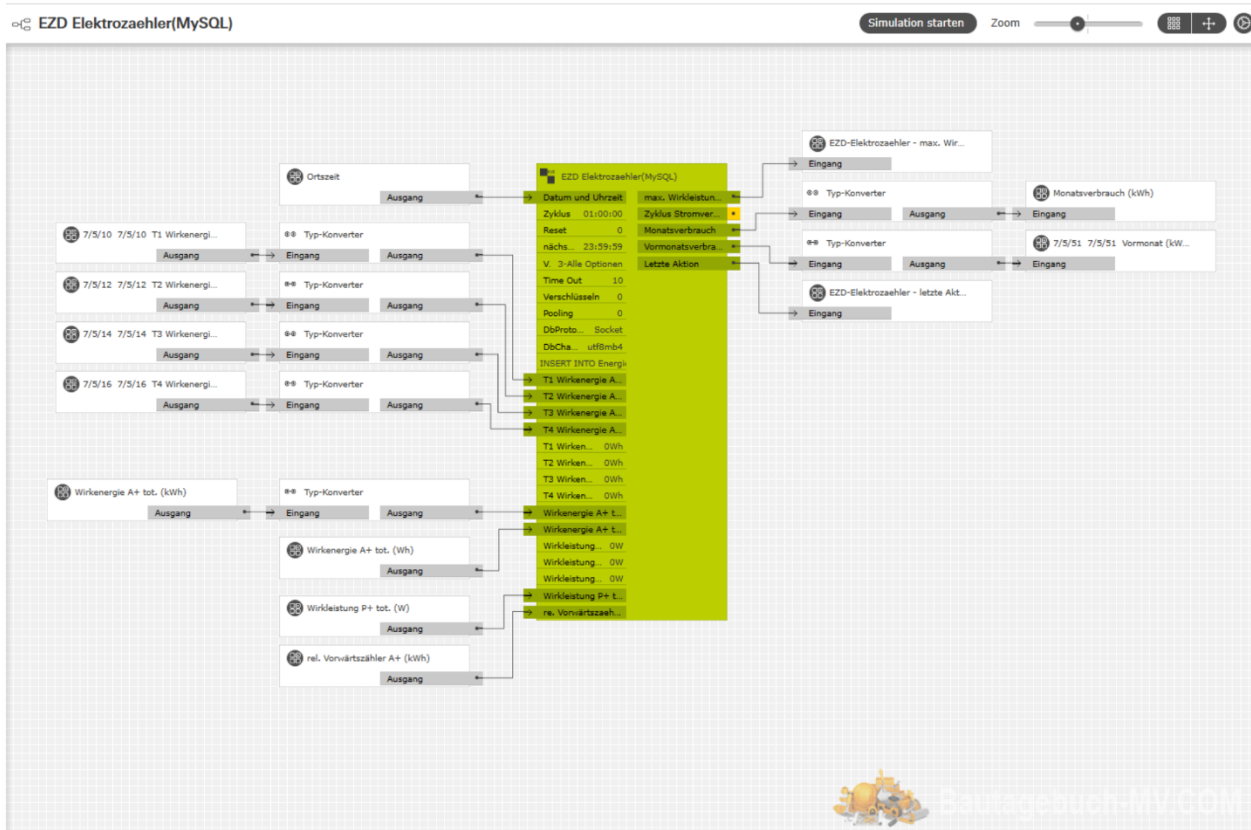


Abbildung 47: Grafischer Logik-Editor

Wir verwenden den kompakteren GW-Controller, den wir auch für das REST/JSON-Interface einsetzen. Dieser ermöglicht eine kompatible Visualisierung für unseren POC, die einfacher umzusetzen ist und gleichzeitig den Implementierungsaufwand der KNX-Objekte reduziert. Die gleichen KNX-Objekte können sowohl für das REST/JSON-Interface als auch für die Visualisierung genutzt werden, wodurch eine Ausstattung mit zwei Geräten entfällt.

Unsere Visualisierung basiert auf den Ein-/Ausschalt-Elementen der Domino-Testanlage und ist zusätzlich mit einer Sequenzlogik versehen, die zukünftige Umschaltungen von CAN-Bus, UIC-Leitungen und Fahrzeugsignalen auf der Testbox veranschaulicht.

9.1.5. Zu- und Wegschalten von UIC-Verbindungen und CAN-Bus

Das Zu- wie auch Wegschalten von UIC-Leitungen und CAN-Bus-Signalen geschieht immer, wenn sich zwei oder mehrere Züge zu einer Mehrfach-Traktion zusammenkoppeln. Damit wir dies auch bei den Testanlagen automatisiert ausführen können, setzen wir KNX-Schalt Aktoren ein. Diese KNX-Schalt Aktoren steuern dann eine Vielzahl von parallel angesteuerten Relais-Umschaltkontakte an, welche die jeweiligen Signale der beiden Züge miteinander koppeln. Für die UIC-Leitungen sind vier Schaltkontakte notwendig, für den CAN-Bus deren drei, welche miteinander verbunden werden müssen.

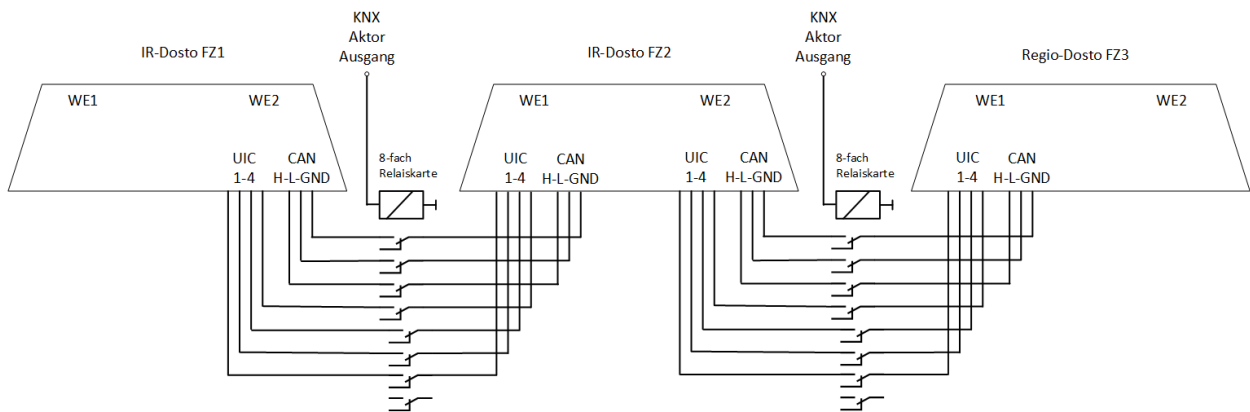


Abbildung 48: UIC-Verbindungen und CAN-Bus Schaltmatrix

Für die Schaltmatrix können Mehrfach-Kammrelais eingesetzt werden. Leider sind diese Relais aktuell teuer und kosten zwischen 150.- bis 250.- CHF. Wir setzen aus diesem Grund 8-fach Relaiskarten für 17.- oder sogar 16-fach Relaiskarten für 25.- ein, welche nur einen Bruchteil kosten und sehr einfach an die KNX-Aktoren angeschlossen werden können.

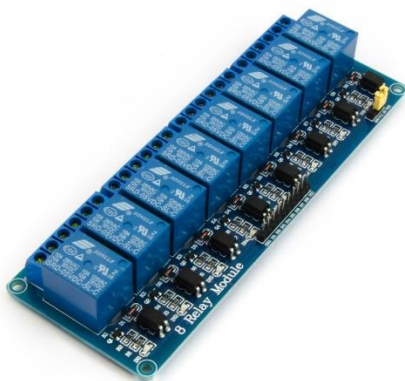


Abbildung 49: 8-fach Relaiskarte



Abbildung 50: 16-fach Relaiskarte

9.1.6. Zu- und Wegschalten von APFZ-Peripheriegeräten

Das Zu- wie auch Wegschalten von APFZ-Peripheriegeräten erfolgt in den meisten Fällen mit dem Trennen der Spannungsversorgung. Die Peripheriegeräte sind jeweils mit dem IP-Netzwerk mit dem APFZ-Netzwerk verbunden und durch das Trennen der Spannungsversorgungen können die Geräte zum Netzwerk oder auch wieder vom Netzwerk weggeschaltet werden. So können wir unterschiedliche, wie auch mehr oder weniger Peripheriegeräte zu einer individuellen Konfiguration eines Zuges automatisiert konfiguriert werden. Als KNX-Schaltaktor können KNX-Module mit bis zu 48 I/O-Ports eingesetzt werden. Diese I/O-Ports sind oft auch als Eingang oder als Ausgang in der ETS Programmiersoftware konfigurierbar.

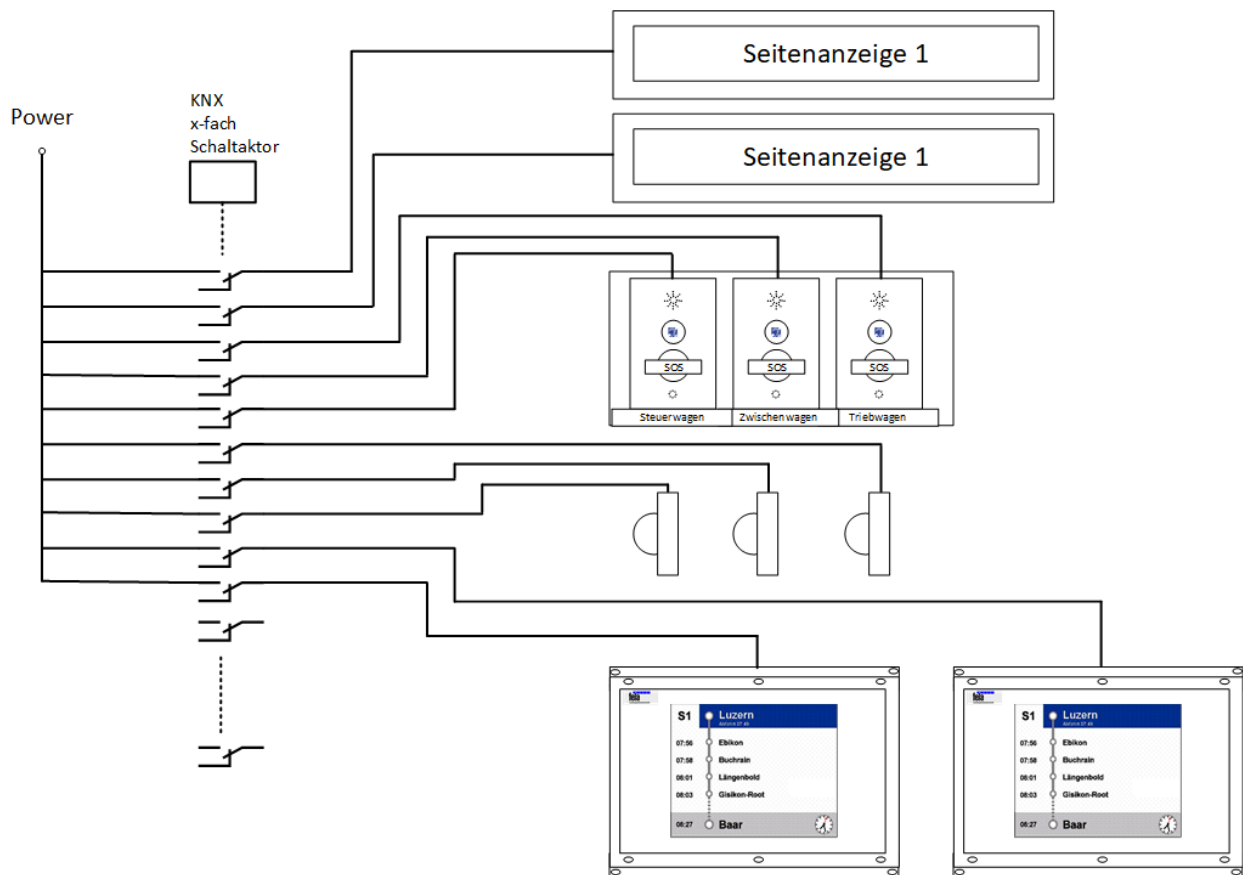


Abbildung 51: Peripheriegeräte Schaltmatrix

Ein von der SBB im Labor eingesetztes Modul für das Ein- respektive Ausschalten der OWL-Mobilfunk-Router ist folgendes KNX-Gerät. Es bietet 48 konfigurierbare Ein- respektive Ausgänge für das Schalten von APFZ-Peripheriegeräten.



Abbildung 52: KNX-Aktor Wienzierl 48 I/O

9.1.7. Zu- und Wegschalten von Netzwerkverbindungen

Das Zu- wie auch Wegschalten von Netzwerk-Verbindungen realisieren wir mit der Methode von unmanaged Switches, welche zwischen den umzuschaltenden Netzwerk-Verbindungen eingefügt werden. Durch das Trennen der Spannungsversorgung dieser unmanaged Switches, trennen wir auch automatisch die Netzwerk-Verbindung ohne das wir teure Netzwerk-Umschalt-Ausrüstungen einsetzen müssen.

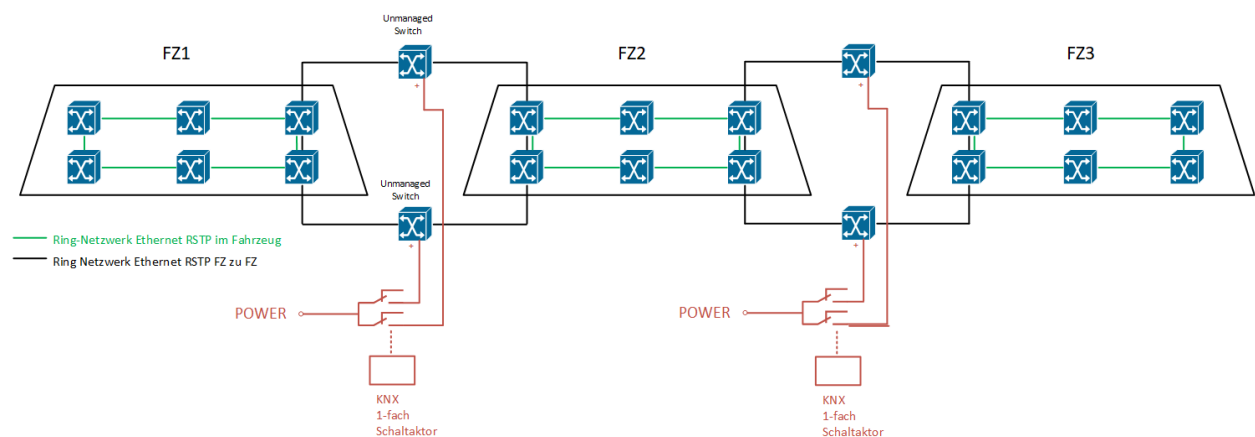


Abbildung 53: Schaltmatrix Netzwerk-Verbindungen

9.1.8. Umsetzung der Anforderungen

Nr.	Anforderung Testanlagen	Bestehende Testanlagen	Neue Testanlagen
01	Ein/Aus Lokal mit Schalter	KNX	KNX-Aktor
02	Ein/Aus OWL	KNX	KNX-Aktor
03	Ein/Aus Rail Server	KNX	KNX-Aktor
04	CAN-Bus	Manuell	KNX-Aktor
05	Leittechnik Gateway	Manuell	KNX-Aktor
06	UIC	Manuell	KNX-Aktor
07	Mehrfachtraktion	Manuell	KNX-Aktor
08	Fahrzeugsignale	Manuell	KNX, TIMS-Simulator
09	Netzwerk	Manuell	KNX-Aktor oder Arista Switch
10	Web-GUI Oberfläche	umgesetzt	umgesetzt
11	Logiken	umgesetzt	umgesetzt
12	Sequenzen	umgesetzt	umgesetzt
13	Zeitfunktionen	umgesetzt	umgesetzt
13	Remote Zugriff	Implementiert, benötigt Freigabe CISO	Implementiert, benötigt Freigabe CISO
14	Ansible Schnittstelle	Ansible + Web-GUI	Ansible + Web-GUI
15	Rest/JSON Schnittstelle	Integriert, nicht getestet	Integriert, nicht getestet

Tabelle 19: Umsetzung der Anforderungen

10. Testing

10.1. KNX-System

Das in den beiden Laboren integrierte KNX-System sieht wie folgt aus:



Abbildung 54: KNX-System Labor 1



Abbildung 55: KNX-System Labor 1

10.2. Simulation mit der ETS Programmiersoftware

In der ETS Programmiersoftware befindet sich ein Diagnose-Modul, mit welchem alle Funktionen, respektive Objekte im KNX-System analysiert wie auch simuliert werden können.

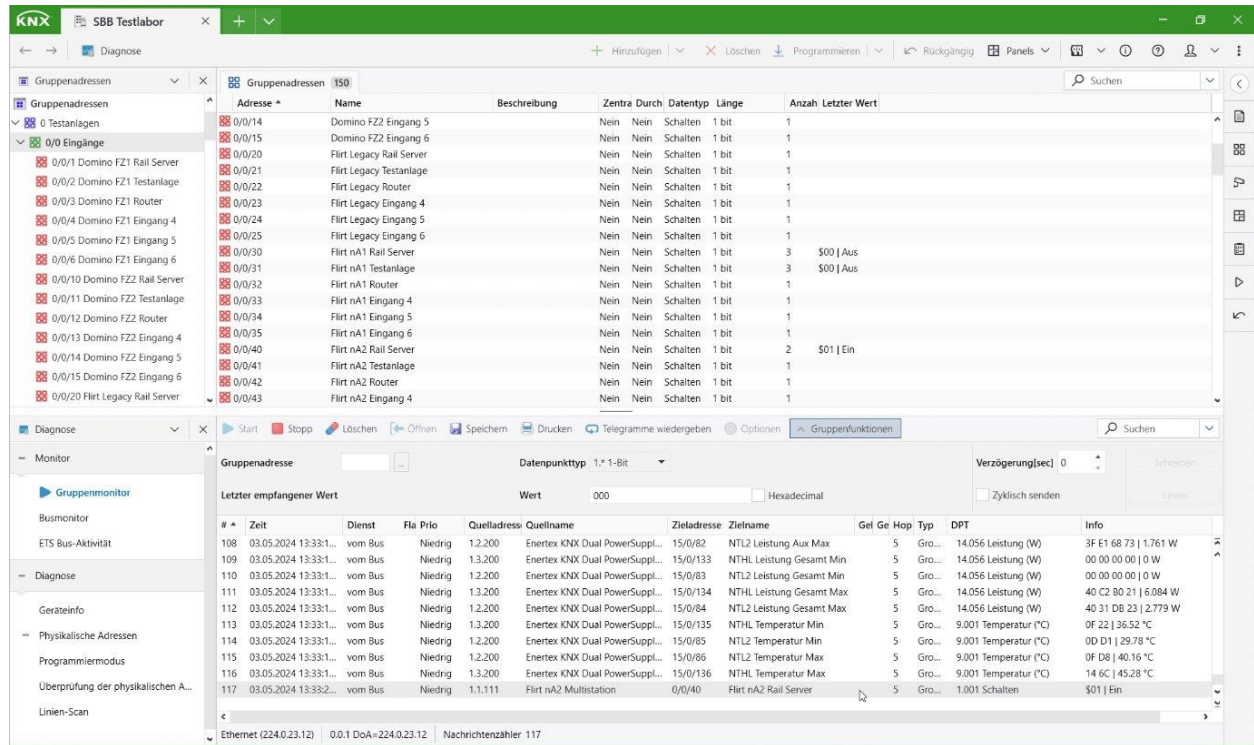


Abbildung 56: ETS Programmiersoftware Diagnose-Modul

Mit folgendem Hardware-Aufbau wurde das gesamte KNX-System auf dem Labor-Tisch aufgebaut und die Funktionen und Module entsprechend programmiert wie auch getestet. Danach erfolgte ein POC (Proof of Concept) an der Domino Testanlage FZ1 und FZ2.

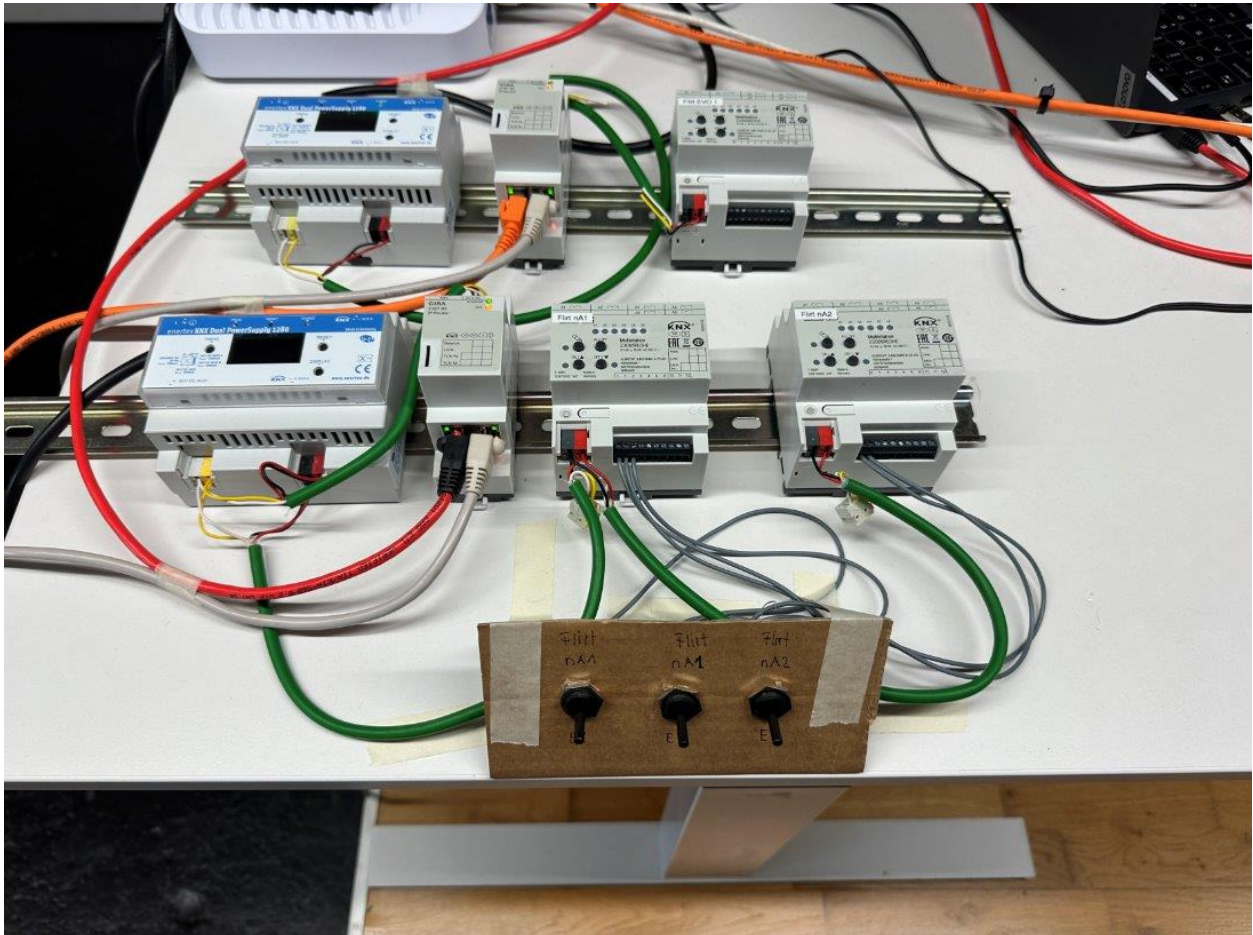


Abbildung 57: Testaufbau des KNX-Systems

10.3. Testaufbau Testbox

Für den POC der KNX-Eingänge (Sensoren) wie auch Ausgänge (Aktoren) haben wir eine Testbox mit dem JUNG KNX-Multistation Modul mit 6 Eingängen wie auch 6 Ausgänge aufgebaut. Diese Testbox wurde für die Programmierung wie auch die Tests der Verknüpfungen, Logiken und Umschalt-Sequenzen genutzt.

Erst nach vollständiger Funktionsüberprüfung wurden die in den Testanlagen eingebauten Module mit den entsprechenden Funktionen geladen und anschliessend mit einem POC auf der Testanlage Domino ausführlich getestet.

Das System läuft sehr stabil und zeigt bisher keine Fehler.



Abbildung 58: Testbox mit KNX-Modul

10.4. POC Testanlage Domino

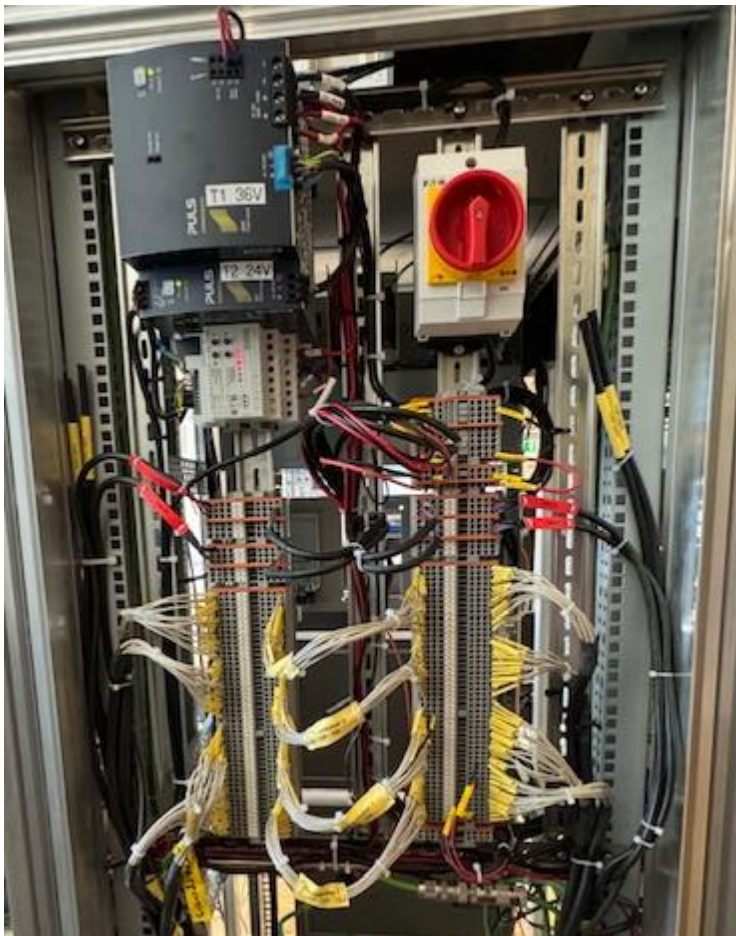


Abbildung 59: KNX Schalt Aktor in Testanlage

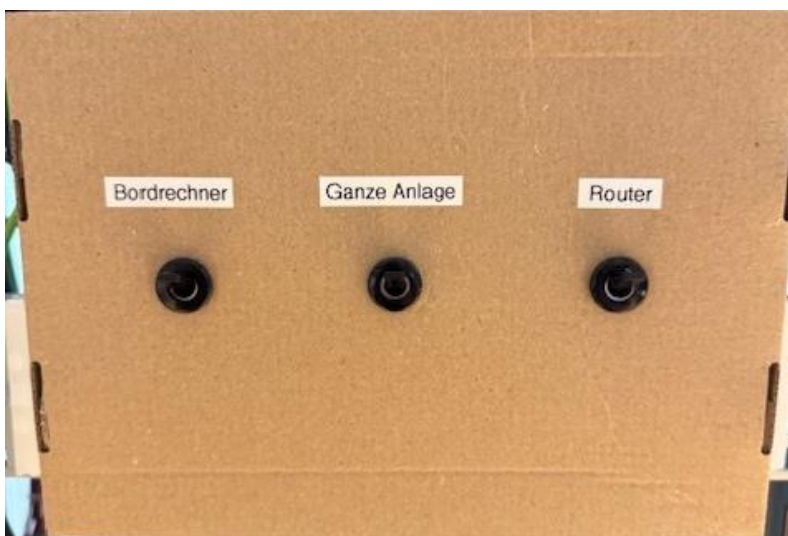


Abbildung 60: Lokale Bedienungselemente

10.5. Web-GUI Bedienoberfläche

Im Rahmen dieser Diplomarbeit wurde noch ein Web-GUI für die Ansteuerung des KNX-Systems realisiert. Den Schaltstatus des Rail Servers, der Testanlage wie auch des Mobile Routers kann so gesteuert wie auch angezeigt werden. Ebenfalls wurde eine Sequenzschaltung für das Umschalten von CAN-Bus, UIC-Leitungen usw. implementiert. Als weitere Funktion werden noch die Temperaturen der Testbox, respektive Testanlage, wie auch die Temperaturen der beiden Netzteile der KNX-Hauptlinie und des Labor 1 angezeigt.

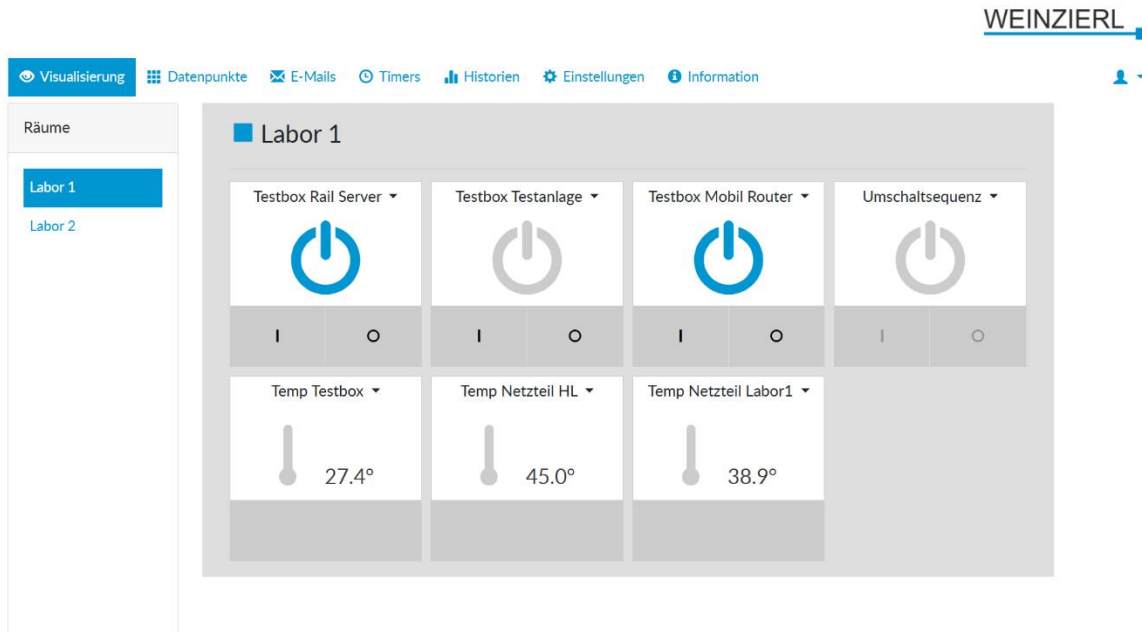


Abbildung 61: Web-GUI Visualisierung

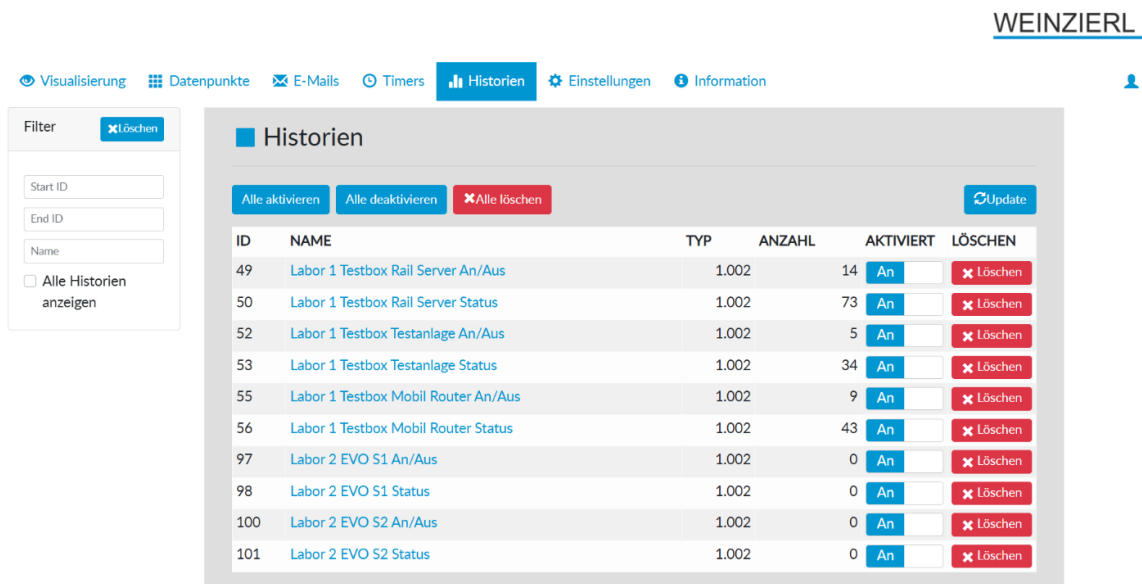


Abbildung 62: Web-GUI History

10.6. Rest/JSON Interface für Ansible

Das Rest/JSON Interface für das Ansible System sollte von der SBB integriert werden. Auf der KNX-Seite wurde dieses Interface umgesetzt. Leider hat der dafür verantwortliche SBB-Mitarbeiter einen neuen Job gefunden und dadurch konnte dieses Interface nicht vollständig aufgebaut und getestet werden.

Auf dem APFZ-Netzwerk dürfen nur zertifizierte und dafür verantwortliche Personen eine solche Integrationen vornehmen.

Wir haben daraufhin, wie bereits erwähnt, die Visualisierung in das Interface integriert, sodass zumindest ein Teil davon getestet werden konnte.

Die KNX-Objekte sind eingebunden und lassen sich über die Web-GUI steuern. Die Ansteuerung über das Rest/JSON Interface sollte aufgrund des grossen Einsatzes dieses Moduls ebenfalls funktionieren.

11. Schlusswort

11.1. Reflexion und Lessons learned

Diese Diplomarbeit bot umfassende Einblicke in die Herausforderungen und Möglichkeiten der Automatisierung von Testanlagen. Rückblickend zeigte sich, dass eine strukturierte Planung und die Fähigkeit zur Flexibilität essenziell sind, um ein solch komplexes Projekt erfolgreich umzusetzen.

Der Start verlief nicht ohne Hindernisse: Durch den laufenden Betrieb verzögerte sich mein tatsächlicher Diplomarbeitsbeginn um drei Wochen, was zu einem erheblichen Zeitdruck führte. Diese Verzögerung erforderte eine intensivere Selbstorganisation und den Einsatz zusätzlicher privater Zeit, um den Zeitverlust auszugleichen. Dieser Umstand hat mir die Bedeutung von guter Organisation und Belastbarkeit unter realen Projektbedingungen verdeutlicht.

Die Entwicklung des Proof of Concept (PoC) erwies sich als besonders anspruchsvoll, da sowohl technische Komplexität als auch ein straffer Zeitplan eine präzise und fokussierte Arbeitsweise erforderten. Durch die Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen aus verschiedenen Abteilungen konnte ich jedoch wesentliche Fortschritte erzielen. Die fachübergreifende Kooperation ermöglichte es mir, von vielfältigem Fachwissen zu profitieren und gleichzeitig neue Perspektiven und Lösungsansätze kennenzulernen.

Ein wesentliches Ergebnis dieser Arbeit ist das grosse Potenzial der Automatisierung, die Abläufe in den Testumgebungen stabiler, flexibler und zuverlässiger zu gestalten. Diese Erkenntnis unterstreicht den Nutzen automatisierter Prozesse für die Zukunft und die Chancen, die sich daraus für eine optimierter Ressourcennutzung ergeben. Gleichzeitig wurde deutlich, dass eine erfolgreiche Implementierung eine sorgfältige Planung und Anpassung der Strukturen voraussetzt.

Zusammenfassend hat mich diese Diplomarbeit sowohl fachlich als auch persönlich weiterentwickelt. Die Erfahrungen in Projektmanagement, technischer Umsetzung und Zusammenarbeit mit anderen Bereichen werden mir in zukünftigen Projekten helfen.

11.2. Persönliches Fazit

Die Arbeit an dieser Diplomarbeit war für mich eine intensive und bereichernde Erfahrung. Die Herausforderung, ein Projekt dieser Grössenordnung eigenverantwortlich zu planen und umzusetzen, hat mir sowohl fachlich als auch persönlich viel abverlangt. Trotz unerwarteter Schwierigkeiten und Zeitdruck habe ich meine Ziele erreicht, was mich stolz und zufrieden macht.

Die Verzögerungen zu Beginn des Projekts haben mir verdeutlicht, wie wichtig es ist, flexibel zu bleiben und sich gut zu organisieren, um auch unter schwierigen Bedingungen voranzukommen. Diese Fähigkeit wird mir in meiner beruflichen Zukunft sicherlich von grossem Nutzen sein. Besonders wertvoll war die gemeinsame Zusammenarbeit mit Kolleginnen und Kollegen aus verschiedenen Abteilungen, die mir neue Perspektiven und Fachkenntnisse vermittelt hat.

Rückblickend hat mich die Arbeit an dieser Diplomarbeit nicht nur in technischer Hinsicht weitergebracht, sondern auch in meiner persönlichen Entwicklung gestärkt.

Die Erfahrungen, die ich während dieses Projekts sammeln durfte, werde ich in zukünftige Herausforderungen einfliessen lassen und als Grundlage für mein weiteres berufliches Wachstum nutzen.

11.3. Danksagung

Mein besonderer Dank gilt meinem Arbeitgeber, der SBB, der mir die nötige Zeit und Unterstützung zur Verfügung gestellt hat, um diese Diplomarbeit erfolgreich abzuschliessen. Ebenso möchte ich meine aufrichtige Wertschätzung gegenüber den Abteilungen ICA und ICB ausdrücken, deren fachliche Expertise und kontinuierlicher Beistand massgeblich zum Gelingen dieses Projekts beigetragen haben.

Weiterhin möchte ich mich herzlich bei meinen Kolleginnen und Kollegen der SBB sowie bei meinem Betreuer für ihre wertvolle Unterstützung während der gesamten Bearbeitungszeit bedanken.

Abschliessend geht mein tief empfundener Dank an meine Familie und meine Lebenspartnerin, die mir während meiner Ausbildungszeit stets zur Seite stand und mich in allen Phasen dieser Arbeit bestärkt hat.

11.4. Eigenständigkeitserklärung

Ich, Agon Thaqi, bestätige hiermit, dass ich die vorliegende Diplomarbeit «Multifunktionale Testanlage» selbstständig verfasst und alle benutzten Quellen gekennzeichnet habe. Diese Arbeit wurde weder in gleicher noch in ähnlicher Form bereits einer Prüfungskommission vorgelegt.

Bern, 28. Oktober 2024

Ort, Datum



12. Anhang

12.1. Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 1	51
Tabelle 2: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 2	52
Tabelle 3: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 3	53
Tabelle 4: Testanlagen APFZ 2.0 Teil 4	54
Tabelle 5: Testanlagen APFZ 1.0 Teil 5	55
Tabelle 6: Konventionelle Verkabelung mit Relais	71
Tabelle 7: Kabelgebundenes Bussystem aus der Industrie	71
Tabelle 8: Kabelgebundenes Bussystem aus dem Privat-Einsatz	72
Tabelle 9: Funk Bussystem aus dem Privat-Einsatz	72
Tabelle 10: Entscheid Systemauswahl	73
Tabelle 11: Bewertungstabelle für Erfüllungskriterien	76
Tabelle 12: Variantenvergleich	77
Tabelle 13: Migrations-Varianten	78
Tabelle 14: SWOT-Analyse, Stärken	80
Tabelle 15: SWOT-Analyse, Schwächen	80
Tabelle 16: SWOT-Analyse, Chancen	81
Tabelle 17: SWOT-Analyse, Risiken	81
Tabelle 18: Beschreibung der Übersicht KNX IP Netzwerk Layer 4 Darstellung	89
Tabelle 19: Umsetzung der Anforderungen	95

12.2. Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: SBB CFF FFS AG.....	9
Abbildung 2: Prinzipschema AFPF-System	11
Abbildung 3: Zeitplan und Meilensteine	13
Abbildung 4: SBB-Wagon.....	16
Abbildung 5: Zuglaufschilder von der SBB.....	16
Abbildung 6: Kurbel zur Bedienung der Rollbandanzeige	17
Abbildung 7: Fahrzeugbeschreibung DPZ	18
Abbildung 8: Prinzipschema APFZ 2.0, Domino	20
Abbildung 9: APFZ System Generationen	21
Abbildung 10: KIS-Rechner	22
Abbildung 11: VNAS4200 Videorechner.....	23
Abbildung 12: Black Box Master Web-Server	24
Abbildung 13: Fahrzeugplattform.....	26
Abbildung 14: Mobile Router (OWL)	27
Abbildung 15: Bordrechner.....	28
Abbildung 16: Rail Server.....	29
Abbildung 17: KNX-Multistation Modul	31
Abbildung 18: Aufbau CAN-Bus	35
Abbildung 19: CAN-Bus Länge.....	36
Abbildung 20: Leittechnik Gateway	37
Abbildung 21: Systemübersicht TIMS - LT-GW	37
Abbildung 22: Kommunikation TIMS <-> Gateway Protokoll.....	38
Abbildung 23: UIC-Stecker	39
Abbildung 24: RMS132 GPS Rack	42
Abbildung 25: MFT-Stecker.....	47
Abbildung 26: Offener MFT-Stecker	48
Abbildung 27: DENIM-Problemlösekreis.....	49
Abbildung 28: Stadler Simulator	56
Abbildung 29: SBB-Simulator	57
Abbildung 30: SBB-Simulator Mehrfachtraktion	58
Abbildung 31: Manuelles Schalten der Fahrzeugsignale	59
Abbildung 32: Konventionelle Verkabelung mit Relais	71
Abbildung 33: Industrielle Kabelgebundene Bussysteme	71
Abbildung 34: Private Kabelgebundene Bussysteme	72
Abbildung 35: Private Funk Bussysteme	72
Abbildung 36: Blockschaltbild Variante 1	74

Abbildung 37: Blockschaltbild Variante 2.....	74
Abbildung 38: Blockschaltbild Variante 3.....	75
Abbildung 39: Blockschaltbild Variante 4.....	75
Abbildung 40: Matrix Risikoanalyse.....	83
Abbildung 41: CAPEX/OPEX Kostenschätzung.....	84
Abbildung 42: ETS Programmiersoftware.....	85
Abbildung 43: Zellschutzkonzept IT und OT-Systeme.....	86
Abbildung 44: Übersicht KNX IP-Routing und Tunneling.....	88
Abbildung 45: Übersicht KNX IP Netzwerk Layer 4.....	89
Abbildung 46: WEB Bedienoberfläche.....	90
Abbildung 47: Grafischer Logik-Editor.....	91
Abbildung 48: UIC-Verbindungen und CAN-Bus Schaltmatrix.....	92
Abbildung 49: 8-fach Relaiskarte.....	92
Abbildung 50: 16-fach Relaiskarte.....	92
Abbildung 51: Peripheriegeräte Schaltmatrix.....	93
Abbildung 52: KNX-Aktor Wienzierl 48 I/O.....	94
Abbildung 53: Schaltmatrix Netzwerk-Verbindungen.....	94
Abbildung 54: KNX-System Labor 1.....	96
Abbildung 55: KNX-System Labor 1.....	96
Abbildung 56: ETS Programmiersoftware Diagnose-Modul.....	97
Abbildung 57: Testaufbau des KNX-Systems.....	98
Abbildung 58: Testbox mit KNX-Modul.....	99
Abbildung 59: KNX Schalt Aktor in Testanlage.....	100
Abbildung 60: Lokale Bedienungselemente.....	100
Abbildung 61: Web-GUI Visualisierung.....	101
Abbildung 62: Web-GUI History.....	101

12.3. Abkürzungsverzeichnis

Begriff	Bedeutung
ACK	Acknowledgement
ATO	Automatic Train Operation
CAN	Controller Area Network
DHCP	Dynamic Host Configuration Protocol
EPROM	Erasable Programmable Read-Only Memory (Löschbarer Programmspeicher)
FZ	Fahrzeug / Fahrzeuge
GNSS	Global Navigation Satellite System
GUI	Graphical User Interface (Benutzeroberfläche)
IBIS	Integrated Board Information System
IP	Internet Protocol
LAN	Local Area Network
MFT	Mehrfachtraktion
OSI	Open Systems Interconnection
PoC	Proof of Concept
RMS	Rack Mount System für GPS
RSTP	Rapid Spanning Tree Protocol
TCP	Transmission Control Protocol
UIC	Union Internationale des Chemins de fer
VLAN	Virtual LAN
VPN	Virtual Private Network
WAN	Wide Area Network
www	World Wide Web

12.4. Glossar

Begriff	Bedeutung
AFZ	Automatische Fahrgastzählung
APFZ	Applikationsplattform für Fahrzeuge
BR	Bordrechner
CAPEX	Investitionsausgaben für längerfristige Anlagegüter, Aktivierbar, Capital Expenditures oder Capital Expenses
DEV	Entwicklungsbereich der SBB, Development
DIDOK	Datenbank der Dienststellendokumentation
DPZ	Doppelstock Pendelzug
ETS	Engineering Tool Software für KNX
FLIRT	Flinker Leichter Innovativer Regional-Triebzug
FV	Fernverkehr
FZPF	Fahrzeugplattform
IC	InterCity
ICx	Informations- und Kommunikationstechnologie, APFZ-System-Ingenieure SBB
ICN	InterCity Neigezug
KIS	Kunden-Informations-System
LT-GW	Leittechnik-Gateway
NPZ	Neuer Pendelzug
OPEX	Ausgaben für den täglichen Betrieb, Operational Expenditures
OWL	Mobile-Router von der Firma Hirschmann
RWR	Mobile-Router von der Firma Netmodule (Lieferant Wabtec)
RV	Regionalverkehr
SBB	Schweizerische Bundesbahnen
T-Systems (TSS)	Wichtigster Systembetreiber und wichtigster Besitzer von Hardware der SBB AG. T-Systems Schweiz AG in Zollikofen
TIMS	Zug-Information-Management-System, Train Information Management System

12.5. Quellenverzeichnis

- Datenblätter Lieferanten
- Interne Dokumente der SBB
- www.knx.org
- www.voltus.de
- www.knxshop4u.ch
- www.gira.de
- www.jung.de
- <https://yekta-it.de/einfuehrung-den-can-bus-grundlagen-und-funktionsweise>
- www.wikipedia.org
- www.chatgpt.com
- SharePoint SBB mit den Architekturzeichnungen und Übersichten