

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

## **Fachbericht „Identifikation von Standards bei der Strom-/Datenversorgung“**

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

**Erstellt durch:**

OWITA GmbH  
Campusallee 6  
32657 Lemgo

**Bearbeitet von:**

Prof. Dr. Stefan Witte  
Dr. Sebastian Gerke  
Dipl.-Ing. Roland Hess  
Kristian Röckemann

Lemgo, den 29. Juni 2020

## Disclaimer

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

## Inhaltsverzeichnis

	Zusammenfassung .....	5
1	Einleitung .....	8
2	Grundlegende Funktionen .....	9
2.1	Zugtaufe .....	10
2.2	Automatische Bremsprobe .....	11
2.3	Bestimmung des Bremsgewichts .....	12
2.4	Elektrische Ansteuerung der Handbremse .....	12
2.5	Kupplung von Wagen .....	13
2.6	Entkupplung von Wagen (ab AK 5) .....	13
2.7	Integritätsprüfung .....	14
2.8	Zugschlussleuchte .....	15
2.9	Sensorik .....	16
2.10	Telematik Daten .....	16
2.11	Sonstige Aktorik .....	16
2.12	Anbindung des Wagens an externe Kommunikationssysteme .....	16
3	Systemrandbedingungen .....	18
3.1	Zuglänge und Anzahl der Wagen .....	18
3.2	Minimale Wagenausrüstung .....	19
3.3	Migration und Fehlerszenarien .....	20
3.4	Elektrische Randbedingungen .....	20
3.5	System- und Technologieverfügbarkeit .....	21
3.6	Standard .....	22
4	Grundanforderungen und Grundkonzept .....	23
4.1	Auslegung des Energiebedarfs .....	23
4.2	Auslegung des Kommunikationsbedarfs .....	28
4.3	Vorhandene Standards für Kommunikationssysteme im Bahnbereich .....	32
4.4	Systemansätze Kommunikation .....	33
4.5	Bewertung und Technologieauswahl .....	38
5	Überblick Gesamtsystem .....	42
5.1	Systemkomponenten im Triebfahrzeug .....	42
5.2	Systemkomponenten im Wagen .....	44
6	Konzept Energiesystem .....	46
6.1	Anforderungen .....	46
6.2	Systemfestlegungen Energiesystem .....	47
6.3	Vorspezifikation der Systemkomponenten .....	50
7	Konzept Kommunikationssystem .....	54
7.1	Grundansatz .....	54
7.2	Begriffe und Bezeichnungen .....	55
7.3	Logische Systemzustände .....	57
7.4	Kommunikationsarchitektur .....	60
7.5	Systemkonzept Powerline .....	65

7.6	Systemkonzept segmentiertes CAN .....	67
7.7	Systemkonzept Funk.....	69
8	EP-Bremssystem (EP-Light) .....	74
8.1	Ansatz EP-Light-Bremse .....	75
8.2	Auslegung des Leitungsquerschnitts und Schutzmaßnahmen .....	75
9	Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise.....	77
9.1	Systementscheidungen.....	78
9.2	Standards entwerfen .....	79
9.3	Komponentenentwicklung, Interoperabilität und Zulassung.....	80
	Literaturverzeichnis .....	81
	Abbildungsverzeichnis.....	83
	Tabellenverzeichnis .....	85
	Abkürzungsverzeichnis .....	86
	Anlage 1: Tests zur DAK - Systementscheidung .....	87
1.	Ausgangsbasis zur Systementscheidung .....	87
2.	Einzelversuche .....	89
3.	Wagengruppen .....	90
4.	Umsetzung Testsystem (Konzept-Idee) .....	91
	Anlage 2: Tool zur Analyse der Energieverteilung im Güterzug.....	95
	Anlage 3: Begleitung durch Partner aus dem Bahnsektor .....	97

## Zusammenfassung

Die Digitale Automatische Kupplung (DAK) schafft, verbunden mit einem Energie- und Kommunikationssystem (EuK), die Basis für Automatisierungsfunktionen im Schienengüterverkehr (SGV). Die umzusetzenden Kernfunktionen sind Kuppeln und Entkuppeln, die Zugtaufe, die (elektro-pneumatische) Bremse, eine automatische Bremsprobe, die Sicherstellung der Zugintegrität, die Schaffung von Schnittstellen zum Telematik-System, die Integration von Sensoren und Aktoren (z.B. Schlusslicht) oder die Anbindung der Wagen an Mobilfunksysteme (5G), für die zukünftige Erweiterung der Kommunikationsfunktionalitäten. Für eine Einführung in den SGV werden dazu System- und Elektronikentwicklungen sowie Standardisierungen der genannten Funktionen und Systeme nötig. Dazu sind Technologien, Kommunikationsprotokolle und Informationsaustausche für einen interoperablen Betrieb auszuwählen und zu standardisieren. Dies beinhaltet insbesondere auch die Auslegung und Standardisierung für das Energie- und das Kommunikationssystem, die als grundlegende Systeme realisiert werden müssen. Das elektronische Gesamtsystem mit den Automatisierungsfunktionen im Zug wird dabei als ein verteiltes elektronisches System verstanden. Für die einzelnen Funktionen gibt es zentrale Komponenten auf dem führenden Triebfahrzeug (Masterkomponenten) und dezentrale Komponenten in den einzelnen Wagen (Slavekomponenten).

Als Randbedingung für die Migration wurde mit Vertretern des Sektors SGV<sup>1</sup> herausgearbeitet, dass der Güterzug die indirekte pneumatische Bremse mit der Hauptluftleitung als Rückfallebene beibehalten soll und eine Systemauslegung für eine Zuglänge von 750 m mit maximal 50 Wagen erfolgt. Längere Züge werden dann durch Segmente, die einen (ggf. zusätzlichen) Kommunikationskanal aufweisen müssen, gebildet. Die notwendigen Performanceparameter des Energie- und Kommunikationssystems sind an den grundlegenden Kernfunktionen ausgerichtet, es werden somit Mindestanforderungen mit geringen Reserven herangezogen, und es wird ein Grundkonzept für das Energiesystem und für das Kommunikationssystem abgeleitet. Für die Triebfahrzeuge sollte das System als „Add On“ ausgelegt sein.

Die Leistungsbetrachtung zur Auslegung des Energiesystems ergab, dass einem Wagen mindestens 30 W an elektrischer Leistung zur Verfügung gestellt werden sollten. Dazu wird vorgeschlagen, eine Festlegung bezogen auf die Wagenlänge vorzunehmen (2,5 W pro Meter Wagenlänge). Das Grundkonzept des Energiesystems basiert auf einer Leitung durch den Zug, in die am Triebfahrzeug die Energie mit einer Spannung von 110 V<sub>DC</sub> eingespeist wird. In den Wagen werden batteriegepufferte Wandler verbaut, die 24 V<sub>DC</sub> bereitstellen und die Leistungsentnahme begrenzen. Hierfür wurde eine grobe Vorspezifikation erarbeitet, um auf dieser Basis eine Umsetzung angehen zu können. Mit einer Energieleitung mit 16 mm<sup>2</sup> Kabelquerschnitt und Übergangswiderständen von zwei mal sieben mΩ pro Kupplungsschnittstelle erlaubt das System eine Mindestleistung von 2,7 W pro Meter Wagenlänge. Das ist ausreichend für die Anforderungen. Die Einspeisung erfolgt mit 110 V<sub>DC</sub> mit einem typischen Nennstrom von 25 A. Die Batteriekapazität sollte mit 65 Wh bis 100 Wh je nach Wagenlänge dimensioniert sein. Dies erlaubt bei ca. 30 Prozent Ladezustand einen Notbetrieb (ohne Einspeisung) von zwei Stunden. Das Schutzkonzept (keine Erdung, spannungsfrei kuppeln/entkuppeln) erfordert neben Kurzschlusskennungen ein zentrales Energiemanagement.

---

<sup>1</sup> Workshops mit Unternehmen des Technischen Innovationskreis Schienengüterverkehr (TIS), u.a. Deutsche Bahn, Ermewa, GATX, Rail Cargo Austria, SBB Cargo, VTG, Wascosa.

Für das Kommunikationssystem ist eine Netto-Datenrate (Informationsrate) von ca. 30 kbit/s notwendig. Hinzu kommt ein technologieabhängiger Overhead, der einen Faktor 3 bis 20 ausmacht. Latenzzeiten sollten unter einer Sekunde liegen. Heutige Bahn-Kommunikationssysteme aus dem Personenverkehr können nicht ohne Modifikation genutzt werden. Es gibt aber eine große Anzahl an Basistechnologien aus anderen Industrien, wie z.B. der Produktions- und Prozessautomation, die sehr geeignet sind. Grundsätzlich sind eine Powerline-Lösung, die keine zusätzlichen Kommunikationsleitungen benötigt, eine Nahbereichsfunklösung (WiFi) an der Kuppelstelle, die keinen elektrischen Kontakt erfordert und eine Zwei-Draht Kommunikationsleitung (CAN, Ethernet), die eine explizite weitere elektrische Kontaktstelle in der DAK schafft, vielversprechend und möglich. Eine Technologie- und Systementscheidung ist aber ohne Messungen am Zug (Verfügbarkeit) nicht solide möglich. Es sollen deshalb drei Systemansätze (Powerline, Funk, CAN) für eine Testphase weiterverfolgt werden.

Zur Ermöglichung der Tests wurden grobe Vorspezifikationen erarbeitet. Kernansatz ist die Schaffung eines transparenten Kommunikationssystems durch den Zug (Zugbus), das den Automatisierungsfunktionen Service Access Points (SAPs) als Interface anbietet. Dadurch wird die Zugbuskommunikation als System gekapselt. Die Automatisierungsfunktionen bekommen einen transparenten Zugriff, und Funktionsentwicklungen und deren Protokolle können nahezu unabhängig erfolgen, wenn die SAPs als Interface definiert sind. Für den Zugbus wurden Vorschläge für die logische interne Adressierung, Vereinbarungen zu Ausrichtungen und die Grundansätze zu Zuständen des Zugbussystems entwickelt. Die Konzeptansätze sind für das System Powerline PLUS mit einer Latenzzeit von ca. 600 ms und einer Bitrate größer ein Mbit/s, für ein CAN-FD basiertes System mit einer Latenzzeit von ca. 200 ms bei und einer Bitrate von ca. 800 kBit/s sowie für ein WiFi-basiertes Funksystem im 2,4 GHz ISM Band mit einer Latenzzeit von ca. 800 ms bei einer Bitrate von ca. zehn Mbit/s aufgezeigt. Es resultieren Kommunikationsknoten in jedem Wagen, die über die Zugtaufe initialisiert werden, den Datenaustausch im Zug für die einzelnen Technologien ermöglichen und die SAPs für die Automatisierungsfunktionen im Güterzug bereitstellen. Das Powerline PLUS System liegt als Entwicklungsprototyp weitestgehend vor, die anderen Systeme müssen explizit realisiert werden.

Für die aktuelle Entwicklungs- und Entscheidungssituation wird die elektrische Schnittstelle in der DAK deshalb elektrische Kontaktstellen für die Energieleitung sowie für eine Zwei-Draht-Kommunikationsleitungen aufweisen, und es müssen Antennen integriert werden können. Dabei werden elektrisch Aderpaare gekoppelt, da keine Erdung im Güterzug sichergestellt ist. Neben diesen Kontaktstellen sollte zusätzlich die Kopplung einer EP-Leitung vorgesehen werden, um ein EP-Bremssystem analog zum Projekt „Innovativer Güterwagen“<sup>2</sup>, das einzelne EP-Ventile in die Güterwagen integriert und die indirekte Ansteuerung der Bremse über die in den Triebfahrzeugen vorhandene EP-Leitung erlaubt, zu ermöglichen.

Eine Standardisierung sowohl des Energie- als auch des Kommunikationssystems ist erst nach einer Technologiefestlegung und entsprechenden wesentlichen Validierungen auf Basis von Tests sinnvoll möglich. Wichtige Parameter für eine System- und Technologiefestlegung sind dabei hohe Systemverfügbarkeiten (wobei quantifizierte Anforderungen noch nicht ganz klar sind) und die Technologieverfügbarkeit, um eine sofortige Systementwicklung zuzulassen. Es sind dafür die Auswahlkriterien und Entscheidungswege klar abzustimmen. Hier wird empfohlen, eine Technologie-Arbeitsgruppe (europäisch) aufzusetzen, die den Prozess

---

<sup>2</sup> vgl. BMVI-Forschungsprojekt „Aufbau und Erprobung Innovativer Güterwagen“ unter [www.innovativer-gueterwagen.de](http://www.innovativer-gueterwagen.de).

begleitet, die Entscheidungen ermöglicht und dann möglichst die finale System- und Protokollentwicklung bis zur Standardisierung und Zulassung vorantreibt.

Vor diesem Hintergrund wird zur Erreichung eines Standards für das Energie- und Kommunikationssystem eine dreistufige Vorgehensweise vorgeschlagen: Als erstes ist die Systementscheidung für eine DAK und für ein EuK zu treffen. Diese sollte auch auf Basis von Messungen in einem Testzug und mit einem abgestimmten Entscheidungsverfahren erfolgen. Für das ausgewählte Gesamtsystem kann dann ein Demonstratorzug aufgebaut werden. Dieser wird mit einem DAK-Typ ausgestattet, und es werden Funktionsmuster für das EuK auf Basis industriell verfügbarer Hardware integriert, auf der die notwendigen Implementierungen erfolgen. Es entsteht quasi ein Demonstrations- und Entwicklungssystem für das EuK (und die DAK). Ziele des Demonstratorzugs sind primär die Zulassung der DAK und sekundär die Erarbeitung und erste Validierung von Entwurfsstandards für das EuK. Dies kann mit paralleler Begleitung durch die Technologie-Arbeitsgruppen gelingen. Im dritten Schritt erfolgen dann die speziellen Komponentenentwicklungen für das EuK durch verschiedene Hersteller in Hard- und Software, optimiert für den Schienengüterverkehr und zulassungsfähig. Diese Systeme sollten in einem „Europäischen Demonstrator“ integriert und erprobt werden. Das sichert die Interoperabilität, die Standards werden fixiert und validiert, und das Energie- und das Kommunikationssystem können zugelassen werden. Parallel zum Entwurfsstandard können die Automatisierungsfunktionen im Zug abschließend entwickelt, erprobt und mit Vorliegen des Standards auch zugelassen werden.

Die Standardisierungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsschritte brauchen eine intensive (europäische) Begleitung mit den notwendigen personellen und finanziellen Ressourcen. Ein übergreifendes Projektteam aus Fachleuten (Bahnen, Industrie, Hochschulen, Zulassungsstellen, Behörden, etc.) könnte diesen Prozess forcieren, eine erfolgreiche Systementwicklung ermöglichen und so Basis für einen gemeinsamen europäischen Erfolg zur Stärkung des Schienengüterverkehrs sein.

## 1 Einleitung

Im Rahmen der Studie „Erstellung eines Konzeptes für die EU-weite Migration eines Digitalen Automatischen Kupplungssystems (DAK) für den Schienengüterverkehr“ im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr und digitale Infrastruktur wird das Thema „Energie- und Datenkommunikationssystem“ für Güterzüge behandelt. Es gilt, bekannte Technologien aus dem Bahnsektor und anderen Industriebereichen mit den Anforderungen für Automatisierungsfunktionen des SGV für ein Energie- und Kommunikationssystem (EuK) im Güterzug zusammenzuführen und dabei vorhandene Technologien und Standards zu bewerten. Als Ergebnis soll herausgearbeitet werden, auf welcher Basis man zu einem Standard für das EuK im SGV gelangen kann. Dafür notwendige Ansätze und Technologierandbedingungen sollen zusammengestellt und zumindest soweit vorsezifiziert werden, dass die Grundlage für eine erste Umsetzung gegeben ist.



## 2 Grundlegende Funktionen

In diesem Kapitel 1 werden die Funktionen im Güterzug beschrieben, die mit der DAK, einer Energiebereitstellung in den Wagen und einer Datenkommunikation durch den Zug realisiert werden sollen.

Für die Energiebereitstellung wird von einem Energiesystem ausgegangen, das hinreichende elektrische Leistung in den einzelnen Wagen eines Zuges bereitstellt und damit grundlegende elektronische Systeme in den Güterwagen ermöglicht. Bei der Datenkommunikation wird ein Zugkommunikationssystem benötigt (Zugbus), das aus Kommunikationsknoten in den einzelnen Fahrzeugen des Zuges besteht. Das Kommunikationssystem ermöglicht den elektronischen Systemen in den Fahrzeugen einen Datenaustausch durch den Zug. Beide Elemente sind somit die Basis für Automatisierungsfunktionen im Güterverkehr, die auf elektronischen Systemen in den einzelnen Wagen beruhen und eine Effizienzsteigerung im SGV ermöglichen.

Diese Funktionen - auch Anwendungen - wurden im Rahmen des Projekts mit Vertretern aus dem Bahnsektor<sup>3</sup> diskutiert und bewertet. Basis sind die Vorarbeiten, die im Rahmen der Studie „Energie- und Datenübertragung im Güterzug; Betrachtung grundlegender Rahmenbedingungen für die Automatisierung im Schienengüterverkehr, Technische Hochschule OWL, Dezember 2019“ [1] durch den TIS<sup>4</sup> erarbeitet wurden.

Der Fokus der Anwendungen liegt auf den Kernfunktionalitäten, welche zur Automatisierung der Zugbildungs- und Zugtrennungsprozesse erforderlich sind. Des Weiteren werden technologische Funktionen zur Digitalisierung des SGV (Integritätsprüfung für ETCS<sup>5</sup>) und für Sicherheits- und Wartungsfunktionen (Diagnose von Wagenzuständen und Ladegut) berücksichtigt. Diese Funktionen sind Basis für die Anforderungen an das EuK und werden im Weiteren erläutert und zusammen mit Entwicklungsrandbedingungen dargestellt.

*Die **DAK** schafft, verbunden mit einem Energie- und Kommunikationssystem, die Basis für Automatisierungen im SGV. Die dabei umzusetzenden **Kernfunktionen** sind neben Kuppeln und Entkuppeln, die Zugtaufe, die (EP-)Bremse, eine automatische Bremsprobe, die Sicherstellung der Zugintegrität, die Schaffung von Schnittstellen zum Telematik-System, die Integration von Sensoren und Aktoren (z.B. Schlusslicht) und die mögliche Anbindung an Mobilfunksysteme (5G).*

*Die Migration und Systemauslegung sollen auf Basis dieser grundlegenden Funktionalitäten erfolgen. Hierfür werden System- und Elektronikentwicklungen sowie **Standardisierungen der Funktionen** und Systeme, inklusive der notwendigen Protokolle und Informationsaustausche für einen interoperablen Betrieb nötig.*

<sup>3</sup> Im Rahmen des Projekts wurden die Funktionen in zwei Workshops am 12.09.2019 und am 15.10.2019 diskutiert und vorbewertet. Weitere Details finden sich dazu in Anlage 3.

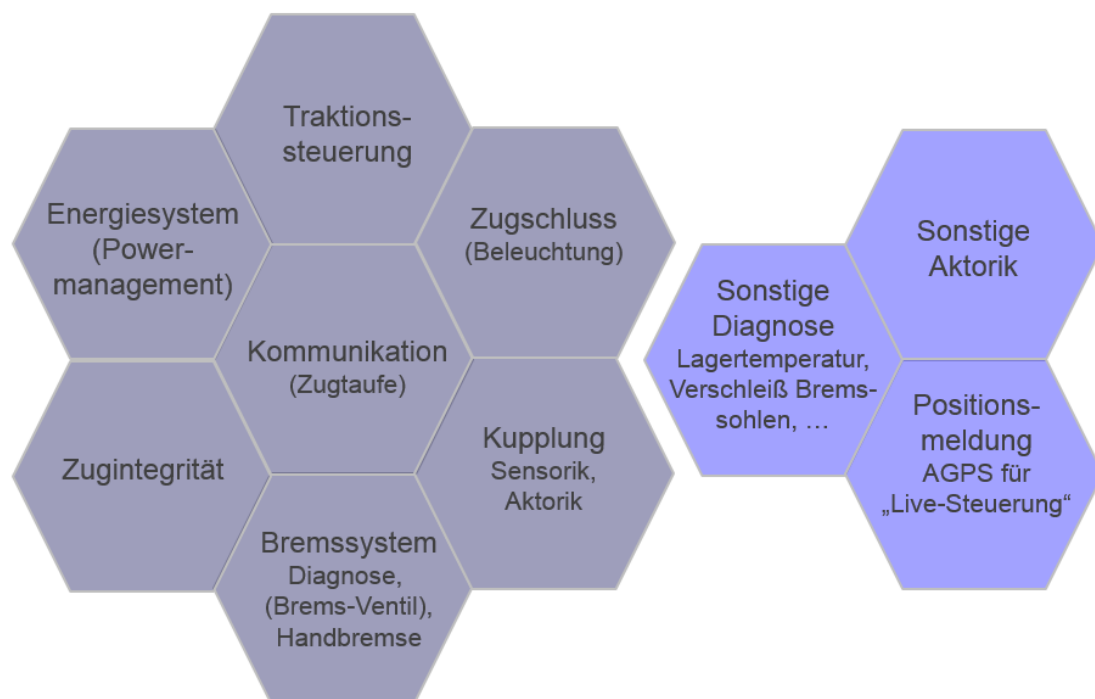
<sup>4</sup> TIS (Technischer Innovationskreis Schienengüterverkehr; [www.tis.ag](http://www.tis.ag))

<sup>5</sup> Für das Fahren auf bestimmten Strecken werden in den ETCS-Systemen ab Level 3 zukünftig Zugintegritätseinrichtungen im Zug vorhanden sein müssen.

**Hinweis:** Die Entwicklungsrandbedingungen sind für einzelne Funktionen (wie hier) grau hinterlegt und dokumentieren im Wesentlichen die im Rahmen der Untersuchung aufgetretenen Fragen, die für die Umsetzung von entsprechenden Systementwicklungen berücksichtigt werden sollten.

Einen Überblick zu den im Weiteren beschriebenen Kernfunktionen gibt die folgende Abbildung 1. Die hier dargestellten Funktionen sind grundlegend für die Automatisierung im SGV und erfordern interoperable, europäisch standardisierte Lösungen, die in neuen Systementwicklungen umgesetzt werden müssen. Die DAK als Kuppelstelle ist wichtige Basis, reicht aber nicht aus.

**Abbildung 1: Kernfunktionen zur Auslegung des Energie- und Kommunikationssystems**



Quelle: Owita GmbH

## 2.1 Zugtaufe

Unter der Zugtaufe ist die Initialisierung des Kommunikationssystems eines neu zusammengestellten Zuges zu verstehen [2]. Die Zugtaufe stellt die Funktionsfähigkeit des Kommunikationssystems für die elektronischen Systeme im Zug her. Sie ist eine grundlegende Aufgabe des Kommunikationssystems und beinhaltet im Wesentlichen die logische Adressierung der Kommunikationsknoten in den einzelnen Fahrzeugen, und integriert dabei die Ermittlung variabler zugspezifischer Parameter (Wagenreihenfolge, Ausrichtung der Wagen, letzter Wagen). Dies wird als Erstellung einer Zuordnungstabelle verstanden, in der zu den logischen Adressen im Kommunikationssystem die Wagennummern (weltweit einmalige Fahrzeugkennzeichnung) und deren Ausrichtung zugeordnet wird.

Der Prozess der Zugtaufe wird vom führenden Fahrzeug (Triebfahrzeug) initialisiert. Am Ende des Prozesses sind die Position jedes (intelligenten) Wagens und dessen Ausrichtung bekannt, und es ist das logische Adressierungsschema für das Kommunikationssystem aufgebaut. Auf dieser Basis kann eine Kommunikation von elektronischen Systemen zwischen

allen Fahrzeugen im Zug realisiert werden, und es können weitere systemübergreifende oder -spezifische Initialisierungsfunktionen durchgeführt werden. Nach der Zugtaufe erfolgt durch einen zyklischen Nachrichtenaustausch die kontinuierliche Sicherstellung, dass das System funktionsfähig ist. Der Prozess sollte eine maximale Zeitdauer von 120 Sekunden nicht überschreiten und ist zwingend mit der Entwicklung des Kommunikationssystems zu realisieren.

### **Konsequenz:**

Die Realisierung des Kommunikationssystems wird sehr stark technologieabhängig sein, ist aber für eine Systeminteroperabilität zwingend als erster Schritt zu standardisieren, wie es in anderen Systemen (z.B. UIC-Zugbus, ECP<sup>6</sup>) auch erfolgt ist.

### **Realisierungsrandbedingungen:**

Für die spätere Spezifikation sind folgende Aspekte zu beachten:

- Es wird elektrische Energie auf den Wagen benötigt, um die Zugtaufe durchzuführen, da ein Kommunikationsknoten im Fahrzeug elektrisch versorgt werden muss. Das zieht die Systemherausforderung nach sich, dass schon Energie vor dem Abschluss der Zugtaufe aufgeschaltet werden muss, falls keine ausreichende Energiepufferung auf den Wagen vorliegt.
- Im Kommunikationsknoten eines Fahrzeugs muss ein Zugriff auf die Wagennummer enthalten sein. Dazu muss die Systemparametrierung beim Einbau in die Wagen leicht (und sicher) realisierbar sein.
- Aus der Installation oder aus Systemeigenschaften muss sich eine Richtungserkennung ableiten lassen.
- Die De-Initialisierung muss definiert werden, damit ein Ausfall erkannt werden kann.

## **2.2 Automatische Bremsprobe**

Die automatische Bremsprobe ist die Initialisierung des Bremssystems und dessen Funktionsprüfung für einen neu zusammengestellten Zug [3]. Das ist heute in den Zugbildungsanlagen oder im Gleisanschluss ein sehr zeitaufwändiger und personalintensiver Vorgang. Die automatische Bremsprobe wird durch das führende Fahrzeug nach einer Zugtaufe möglich. Ziel ist es sicherzustellen, dass die geforderten bremstechnischen Eigenschaften für den neu zusammengestellten Zug vorliegen. Die Vorgaben für die Ansteuerung der Bremse erfolgen dabei über das Bedienelement für den Triebfahrzeugführer (Tf) und damit typischerweise über das Führerbremsventil [4]. Es wird davon ausgegangen, dass die Bremse im Güterverkehr weiterhin eine indirekte, über Druckluft angesteuerte Bremse bleibt. Die konkreten Aufgaben der Bremsprobe sind dabei:

- Sicherstellung, dass die Steuergrößen für die Bremse an alle Wagen übertragen werden und zu den notwendigen Aktionen führen.

---

<sup>6</sup> ECP (Electronically controlled pneumatic brakes): Ein überwiegend in den USA eingesetztes elektronisch gesteuertes Bremssystem für Güterzüge, das auf einer Powerline-Kommunikation mit LON-Technologie beruht.

- Ist die Steuergröße zum Anlegen der Bremse das Absenken der Hauptluftleitung (HLL) durch das Führerbremssventil, so ist in allen Fahrzeugen zu prüfen, dass der Druck in der HLL abgebaut wird.
  - Ist die Steuergröße zum Anlegen der Bremse ein Kommunikationsbefehl oder ein elektrisches Signal, so ist in allen Wagen zu prüfen, dass aufgrund des Steuerbefehls entsprechende Stellgrößen für die Bremsung angesteuert werden und der Druck in der HLL entsprechend abgesenkt wird [3]. Dies kann u.U. bremsensystemspezifisch sein.
  - Bei einer Steuergröße zum Lösen der Bremse, ist das Füllen der HLL durch Druckanstieg in der HLL bis zum gegebenen Sollwert und in der gegebenen Zeit sicherzustellen.
- Sicherstellen, dass die mechanischen Bremsen funktionieren (z.B. Anlegen und Lösen der Bremsklötze),
    - Wenn die HLL abgesenkt wird ist zu prüfen, dass die mechanischen Bremsen wirksam werden. Dazu wird innerhalb des Wagens durch Sensorik das Anlegen der Bremsklötze diagnostiziert und geprüft, ob die Voraussetzungen dafür genügend erfüllt sind (z.B. Druck im Bremsbehälter).
    - Wenn die HLL gefüllt ist wird durch Sensorik überprüft, dass sich die mechanischen Bremsen lösen.

#### **Realisierungsrandbedingungen:**

- Das Bremssystem muss Informationen über die Zugzusammensetzung haben (Fahrzeuge müssen angesprochen werden können). Diese Informationen müssen beim Kommunikationssystem „erfragt“ werden können.
- Das Kommunikationssystem muss initialisiert und funktionsfähig sein.
- Das Bremssystem benötigt für diese Funktionalität eine Energieversorgung auf den Wagen.

### **2.3 Bestimmung des Bremsgewichts**

Diese Aufgabe ist eine Funktion des Bremssystems. Es werden die Bremseigenschaften des Zuges ermittelt, die heute durch sein Bremsgewicht beschrieben sind, das Einfluss auf die zulässige Geschwindigkeit des Zuges hat [3]. Diese Funktion benötigt Kenntnisse über die Bremseigenschaften der Fahrzeuge und über das Gesamtgewicht der Fahrzeuge, was ggf. durch Sensoren erfasst werden muss.

### **2.4 Elektrische Ansteuerung der Handbremse**

Die elektrische Stellung der Handbremse erfolgt entweder durch manuelle Betätigung am Wagen, durch den Wagen selbst wenn der Betriebsdruck im Druckbehälter ein kritisches Maß erreicht, oder durch eine externe elektronische Ansteuerung. Ziel ist es, den Wagen im drucklosen Zustand gebremst zu haben (z.B. im Rahmen der Abstellung).

### Realisierungsrandbedingungen:

- Das Anlegen und Lösen der Handbremse benötigen Energie. Eine kritische Situation kann dann auftreten, wenn die im Wagen gespeicherte elektrische Energie nicht ausreicht, um das Anlegen und Lösen zu erreichen. Das kann dann einen manuellen Eingriff erfordern.
- Das Lösen muss vor der Bremsprobe durchgeführt werden können, wenn die mechanische Betätigung der Bremsklötze in der Bremsprobe überprüft werden soll. Wenn dies für Fahrzeuge mit angelegter Handbremse nicht aufgrund des Bremsprobeprozesses erfolgen soll, dann kann das Lösen auch vor der Abfahrt des Zuges erfolgen. Das Lösen dieser einzelnen Wagen ist dann jedoch zusätzlich zu überprüfen.

## 2.5 Kupplung von Wagen

Die mechanische Kupplung der Wagen erfolgt durch Auffahren oder Aufschieben der Wagen mit einem definierten Druck. Die DAK beinhaltet eine mechanische Kupplung, die Kupplung der HLL und die Kupplung der elektrischen und kommunikationstechnischen Verbindungen. Der Kuppelzustand muss von außen erkennbar sein und er muss elektronisch erfasst werden können. Dies ist eine Funktion des Zugintegritätssystems. Auf den Kupplungszustand muss aber auch das Kommunikationssystem zugreifen können, um so den letzten Wagen identifizieren zu können und in der Migration erkennen zu können, dass Fahrzeuge ohne elektronische Ausrüstung im Zug vorhanden sind. Als Kupplungszustand muss erkennbar sein: mechanisch gekuppelt, mechanisch verriegelt, elektrisch gekuppelt. Es muss festgelegt werden, welches System diese Information erfasst und bereitstellt.

### Konsequenz:

Es wird vorgeschlagen, dass die Kupplungsinformation durch das Kommunikationssystem erfasst und integriert wird, da dieses in jedem Wagen als Grundsystem vorhanden ist.

## 2.6 Entkupplung von Wagen (ab AK 5)

Zur automatischen Entkupplung der Wagen wird elektrische Energie benötigt, und es muss ein Entkupplungssignal gegeben werden können. Vor dem Entkuppeln muss die Energieversorgung durch das Triebfahrzeug unbedingt abgeschaltet werden, um beim Auseinanderziehen der Kontaktstellen einen Funkenüberschlag zu vermeiden. Dies bedingt das Vorhandensein einer Batterie mit einem ausreichenden Ladezustand im Fahrzeug, um die Entkupplung zu ermöglichen.

### Realisierungsrandbedingungen:

Die Realisierung dieser Funktion erfolgt noch nicht. Hierzu muss das Entkuppeln vom Prozess her sehr klar beschrieben werden. Vor dem mechanischen Entkuppeln (z.B. am Ablaufberg) ist ein elektronisches Entkuppeln nötig. Dazu muss die elektrische Kupplung über einen Motor getrennt werden, dies erfordert Energie auf dem Wagen. Nach der Trennung der elektrischen Kupplung muss davon ausgegangen werden, dass keine Kommunikation innerhalb des Zuges mehr möglich ist. Der Zugverband ist aufgelöst.

## 2.7 Integritätsprüfung

Eine wesentliche Systemfunktion ist die Sicherstellung der Zugintegrität. Dies bedeutet: Es fehlen keine Wagen und es sind keine neuen Wagen hinzugekommen, die Zuglänge ist unverändert und der Zug ist gekuppelt.

Um die Integrität des Zuges zukünftig innerhalb des Zuges selbst feststellen zu können, muss zwischen dem letzten Wagen und dem führenden Fahrzeug zyklisch ein Integritätssignal ausgetauscht werden [5]. Dazu muss in dieser Funktion folgendes integriert sein:

- Durch den in der Zugtaufe festgestellten letzten Wagen wird kontinuierlich überprüft, dass kein neuer Wagen hinzugekommen ist. Das Kommunikationssystem kann im Fahrzeug die Information „Letzter Wagen“ bereitstellen.
- Der letzte Wagen stellt einen zyklischen Signalaustausch mit dem Triebfahrzeug sicher, der abgesichert ist bzgl. Authentizität und Fehlerfreiheit der übertragenen Signale. Das Signal selbst besteht aus einer für die Integrität geeigneten Information.
- Dieses Signal beinhaltet Statusmeldungen des letzten Wagens, und das zyklische Vorliegen des Signals wird auf dem führenden Triebfahrzeug überprüft.

### Konsequenz:

Die Integrität muss zyklisch sichergestellt werden, um zukünftig ETCS-Level 3 fahren zu können. Die Anforderungen (Zykluszeiten) an die interne Integritätsprüfung müssen die Anforderungen aus ETCS-Level 3 erfüllen [6]. Daraus werden aber auch Anforderungen an die Verfügbarkeit des Kommunikationssystems resultieren.

### Realisierungsrandbedingungen:

Es ist ein System nötig, das auf ein durchgängiges Medium setzt, damit eine mechanische Trennung sicher erkannt werden kann. Bekannte Ansatzpunkte sind:

- Energieleitung / EP-Leitung
  - Elektrische Spannung am Ende des Zuges bedeutet, dass eine Durchgängigkeit vorhanden ist. Diese Information muss kommuniziert werden.
  - Durch die Modulation des Stromflusses am Ende des Zuges, ist eine Identifikation an der Einspeisestelle möglich. Die Leitung ist durchgängig.
  - Über eine Laufzeitmessung von Pulsen auf der Leitung können kontinuierlich die Leitungslänge und die Durchgängigkeit der Leitung überprüft werden.
- Hauptluftleitung (HLL)
  - Über Laufzeitmessungen von Druckimpulsen in der HLL können die Durchgängigkeit und Leitungslänge kontinuierlich überprüft werden.
  - Durch zyklische Übertragung von HLL-Statusdaten (Druck) kann eine Erkennung der Durchgängigkeit erfolgen.

#### ▪ Kommunikationsleitung

- Über die zyklische Übertragung einer Nachricht zwischen dem ersten und letzten Wagen mit einer Integritätsinformation (z.B. Spannung, HLL-Druck am letzten Wagen, Kommunikationssignal selbst) erfolgt die Überprüfung.
- Für den Nachweis der funktionalen Systemsicherheit kann es notwendig werden, hierfür ein spezielles, möglichst einfaches, unabhängiges System zu realisieren, welches ausschließlich zyklisch eine abgesicherte und authentifizierbare Nachricht mit der jeweiligen Information über das Kommunikationssystem austauscht. Das Kommunikationssystem selbst, wird dann als „nicht sicherer“ Übertragungskanal genutzt. Der Ausfall der Nachricht oder die Auswertung der übertragenen Informationen zeigen dann die Verletzung der Zugintegrität. D.h. dass der Kommunikationskanal selbst nicht sicher sein muss, die Sicherheit und Authentizität wird durch geeignete Codierungsmaßnahmen in der übertragenen Nachricht erreicht, ähnlich wie bei einer Kommunikation im Internet. Die Zuverlässigkeit des Kanals muss aber zwingend sehr hoch sein, um eine hohe Systemverfügbarkeit zu erreichen.

## 2.8 Zugschlussleuchte

Die Zugschlussleuchte soll am letzten Wagen eingeschaltet werden können [5]. Hierzu sind die Ausrichtung und der Status „Letzter Wagen“ durch das Kommunikationssystem bereitzustellen. Aus dieser Information wird durch das Zugintegritätssystem die Zugschlussleuchte geschaltet. Nach der De-Initialisierung des Zugverbandes oder mit dem Verlust des Status „Letzter Wagen“ durch eine neue Zugtaufe, wird die Zugschlussleuchte ausgeschaltet. Eine Zugtrennung oder ein Systemausfall des Kommunikationssystems oder ein Systemausfall der Energieversorgung führt nicht zum Ausschalten.

### Realisierungsrandbedingungen:

Die Fehlersituation ist klar zu definieren. Im Prinzip sollte die Schlussleuchte solange leuchten, solange der Wagen auf der Strecke ist. Das entleert jedoch die Batterie und führt dazu, dass eine spätere Initialisierung ggf. nicht möglich ist, oder erst nachdem sie über die Energieleitung wieder entsprechend geladen wurde. Folgende Konsequenzen ergeben sich daraus, die in einer Systementwicklung berücksichtigt werden müssen:

- Die Schlussleuchte muss möglichst energiearm realisiert werden.
- Es ist ggf. ein eigenes Akku-System für die Zugschlussbeleuchtung zu integrieren.
- Es sollte ein Notleuchtbetrieb mit geringerer Leistung realisiert werden können.

## 2.9 Sensorik

Die Wagen besitzen je nach Typ ggf. eine besondere Sensorik (z.B. Heißläufererkennung, Ladungsüberwachung). Die zur Verfügung stehende elektrische Leistung hierfür hängt von der Ausführung des Wagens und anderen Komponenten ab. Die Sensor-Informationen können die Basis für ein Zugdiagnosesystem sein, und müssen im Zug übertragen werden können.

## 2.10 Telematik Daten

Viele Güterwagen verfügen bereits über eine separate Telematik-Einheit. Diese ist komplett autark und wird deshalb im Konzept nur energetisch berücksichtigt. Die Versorgung der Telematik-Box findet nur statt, wenn eine Versorgung über das Energiesystem des Zuges erfolgt, ansonsten versorgt sich die Box mit einer eigenen Batterie.

### Realisierungsrandbedingungen:

Es ist denkbar, einen „Schnittstellenadapter“ zwischen Wagen und Telematik-Box zu realisieren. Dieser ermöglicht es, Daten der Wagensysteme im Telematik-System zur Verfügung zu stellen, oder Daten des Telematik-Systems in den Zug einzuspeisen.

## 2.11 Sonstige Aktorik

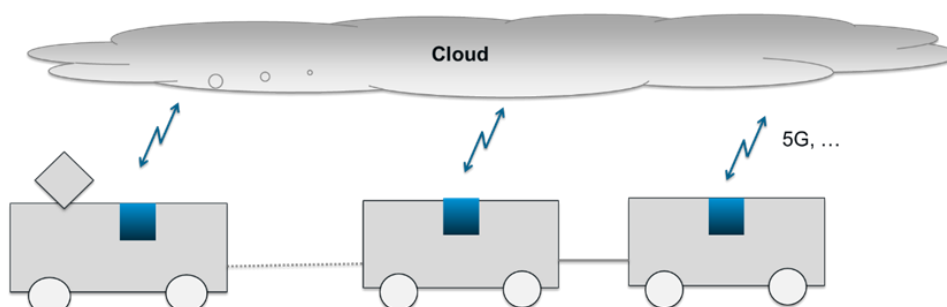
Zur Kategorie „Sonstige Aktorik“ gehören elektrische Antriebe zum Auf- und Zuschieben von Klappen sowie elektrisch gesteuerte Ventile bei pneumatisch betriebenen Stellgliedern. Bei elektrischen Antrieben kann unter Umständen kurzzeitig eine hohe Leistung benötigt werden, welche aus einer On-Board-Batterie gepuffert werden muss. Hierzu ist dann eine entsprechende Größe der Batterie zu dimensionieren, welche auch bei insgesamt kleiner Energiemenge die benötigte Leistung ohne Auswirkungen auf die Lebensdauer der Batterie zur Verfügung stellen kann.

Auch die Beleuchtung stellt eine besondere Aktorik dar. Es wird davon ausgegangen, dass es an einigen Wagen eine (manuell) einschaltbare Beleuchtung, z.B. an Klappen, Belade- und Entladevorrichtungen, geben wird. Diese Funktion wird batterieversorgt für eine begrenzte Zeit (z.B. zwei Stunden) zur Verfügung gestellt werden müssen.

## 2.12 Anbindung des Wagens an externe Kommunikationssysteme

Es muss im Wagen die Möglichkeit vorgehalten werden, eine Anbindung an ein externes Kommunikationssystem bereitzustellen.

**Abbildung 2: Anbindung der Wagen über externe Kommunikationssysteme (5G)**





Gedacht ist hier beispielsweise an eine WLAN-Anbindung an eine lokale Infrastruktur oder eine 5G-Anbindung des Wagens an ein Mobilfunknetz, um so über Clouddienste auch für eine Kommunikation im Zug mit einer hohen Datenrate für besondere Anwendungen (z.B. Bildübertragung) erreichen zu können (vgl. Abbildung 2). Dies ist erstmal für die Energiebetrachtung wichtig. Langfristig kann dieses System dann als weiteres Element zu einem grundlegenden zuginternen Kommunikationssystem ergänzt werden und Potenzial für neue, auch spezifische und individuelle, Funktionen eröffnen.

### 3 Systemrandbedingungen

Um aus den Funktionen Anforderungen an das Energie- und Kommunikationssystem ableiten zu können, gilt es, die Systemrandbedingungen zu fixieren. Diese Randbedingungen wurden ebenfalls in Diskussionen mit dem Sektor<sup>7</sup> abgeleitet und festgehalten.

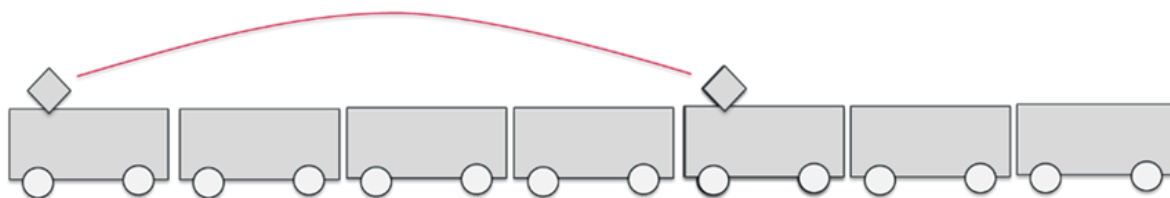
#### 3.1 Zuglänge und Anzahl der Wagen

Die Zuglänge für das System wird auf 750 m inklusive eines Triebfahrzeugs beschränkt. Die Anzahl der Wagen wird auf maximal 50 begrenzt. Für Züge bis 750 m kann dann ein EuK eingeführt werden, ohne das System der Bremssteuerung verändern zu müssen (keine Sicherheitsfunktion für die Bremse<sup>8</sup>).

Sollen unter dieser Randbedingung auch längere Züge gefahren werden, muss sichergestellt sein, dass das pneumatische Bremssystem die Bremsung sicher durchführen kann, es braucht also ein zweites Triebfahrzeug im System, das dann über einen sicheren Kommunikationskanal (nicht primär Zugbussystem) angesteuert werden kann. Ein solcher, zweiter Ansteuerweg könnte eine zugelassene Funkfernsteuerung sein. Dieses Thema ist nicht Bestandteil der aktuellen Projektbetrachtung.

Züge die länger als 750 m sind, erfordern also immer ein zweites Triebfahrzeug im System mit Energieeinspeisung und mit einer eigenen, sicheren Kommunikationsanbindung an das führende Triebfahrzeug (vgl. Abbildung 3).

**Abbildung 3: Betrieb längerer Züge durch Mehrfachtraktion**



Quelle: Owita GmbH

*Für die Auslegung des Energie- und Kommunikationssystem werden die Randbedingungen im Zug erläutert. Der Güterzug wird die indirekte pneumatische Bremse mit der Hauptluftleitung als Rückfalleben beibehalten. Deshalb sind 750 m Zuglänge und 50 Wagen die Auslegungsgrenzen.*

*Die Performanceparameter des EuK werden an den Kernfunktionen ausgerichtet (eher minimal).*

*Die elektrische Schnittstelle in der DAK beinhaltet die Kupplung für die Energieleitung, eine Zweidraht-Kommunikationsleitung und die EP-Steuerleitung. Alle Kuppelstellen benötigen die Kopplung von Aderpaaren (keine Erdung im Güterwagen).*

*Wichtig für das EuK sind eine hohe Systemverfügbarkeit (Anforderungen sind noch nicht definiert) und die Technologieverfügbarkeit, um eine sofortige Systementwicklung zuzulassen, wobei möglichst wenige Systemeingriffe auf dem Triebfahrzeug entstehen sollen.*

<sup>7</sup> Im Rahmen des Projekts wurden die Randbedingungen in zwei Workshop am 12.09.2019 und am 15.10.2019 diskutiert und bewertet. Weitere Details finden sich dazu in Anlage 3.

<sup>8</sup> Es sei darauf hingewiesen, dass diese Betrachtungen für Güterzüge mit Schraubenkupplung und Puffern gelten. Wie sich die Zugdynamik aufgrund der DAK verändert, muss ggf. zusätzlich betrachtet werden.

Ist ein zweites Triebfahrzeug im Zug vorhanden, so ist aber auch immer sicherzustellen, dass die Segmente zwischen zwei Triebfahrzeugen nicht länger als 750 m sind und aus nicht mehr als 50 Wagen bestehen.<sup>9</sup>

Dieser Ansatz ist Grundlage der Systemüberlegungen. Im Rahmen dieser maximalen Systemlänge im Zug sollen Energieversorgung und Kommunikation mindestens für eine festzulegende Kern-Funktionalität ausreichen, und eine Systemreserve von mindestens 30 Prozent für den Energieverbrauch und für die Kommunikationsbandbreite aufweisen.

### 3.2 Minimale Wagenausrüstung

Das EuK wird für eine Mindestausrüstung definiert und festgelegt. Die minimale Wagenausstattung soll die automatische Zugzusammenstellung (Kupplung) und die automatische Bremsprobe ermöglichen. Des Weiteren soll die Zugintegritätsprüfung in jedem Wagen integriert sein und eine EP-Bremse möglich werden.

Daher sind alle Wagen nach einer Migration mindestens mit folgenden Funktionalitäten ausgestattet<sup>10</sup>:

- Automatische Kupplung (AK Typ 4, AK Typ 5).
- Energieweiterleitung durch den Zug und Bereitstellung der für den Wagen vorgesehenen elektrischen Energie<sup>11</sup>.
- Kommunikation durch den Zug (Zugbus) mit
  - Zugtaufe
  - Kommunikationsfunktionalitäten
    - Repeater/Routing-Funktion für Informationspakete mit Sicherstellung der Anforderungen bezüglich Datenrate und Latenz.
    - Austausch von Daten mit wageninternen Systemen (Fahrzeugbus, Systemschnittstellen, ...). Hierfür müssen Schnittstellen festgelegt werden.
    - Umsetzung von spezifizierten Protokollen.
- EP-Bremse
- Automatische Bremsprobe
- Zugintegritätsprüfung

<sup>9</sup> Das bedeutet, dass ein 1500 m Zug mit einem Triebfahrzeug jeweils am Anfang und Ende des Zuges nicht zulässig ist.

<sup>10</sup> Die Funktionalitäten könnten alle in einer elektronischen Hardware realisiert werden oder es können im Wagen verteilte elektronische Systeme untergebracht werden. Für die spätere Standardisierung und für die Strukturklarheit wird davon ausgegangen, dass die Funktionalitäten als elektronische Systeme auch in der Hardware separiert sind. Das macht die Schnittstellenbetrachtung klarer, kann jedoch später auch anders (über systeminterne Schnittstellen in der Elektronik) implementiert werden.

<sup>11</sup> Es wurden auch andere Konzepte ohne Energieweiterleitung (ohne Leitung, z.B. nur Akku im Wagen) betrachtet. Dies erweist sich als wenig praktikabel, wie im Kapitel 3 ergänzend ausgeführt wird.

### 3.3 Migration und Fehlerszenarien

In einem Migrationsszenario, bei dem in einem Zugverband alte und neue Wagen, z.B. durch Kuppelwagen oder Hybridkupplungen verbunden sind, kann auf die Funktionalitäten nicht vollständig zurückgegriffen werden. Sofern sich ein ausgerüsteter Wagenverbund direkt hinter dem Triebfahrzeug befindet steht die Funktionalität - abgesehen von der Integritätsprüfung - für diesen Teilbereich zur Verfügung. Hierfür müssen die betrieblichen Prozesse und Abläufe (insbesondere für die Bremsprobe) neu definiert werden.

Darüber hinaus sind folgende Fehlerszenarien für ein System zu berücksichtigen:

#### **Ausfall der Kommunikation**

Der Ausfall der Kommunikation, entweder innerhalb des gesamten Zuges oder innerhalb eines Segmentes, muss von dem Triebfahrzeug erkannt werden. Beim Ausfall der Kommunikation

- steht die Zugintegritätsprüfung ggf. nicht mehr zur Verfügung,
- soll der Zug weiterhin fahrbereit bleiben und sicher angehalten werden können.

#### **Ausfall der Energieversorgung**

Beim Ausfall der Energieversorgung soll das elektrische Gesamtsystem mit einigen Kernfunktionen weiterhin für eine Mindestzeit funktionsfähig bleiben. Diese Zeit wird nach aktuellem Diskussionsstand für einige Stunden ausgelegt. In diesem Szenario sollen im Wesentlichen das Kommunikationssystem und die Zugintegritätsprüfung batterieversorgt sichergestellt werden. Weitere Funktionalitäten sind in diesem Szenario nicht vorgesehen. Als Rückfallebene für das Bremsen des Zuges bleibt das indirekte Bremssystem über die pneumatische Hauptluftleitung (HLL) bestehen.

#### **Bremse / Sicheres Anhalten**

Die indirekte pneumatische Bremse mit der HLL als Steuerleitung bleibt als Rückfallebene verfügbar. Um Wagen ohne EuK während einer Migrationsperiode koppeln zu können, muss eine HLL funktional vorhanden bleiben. Die Funktion eines späteren Bremssystems kann dann über das Kommunikationssystem, über eine EP-Leitung und weiterhin klassisch über die HLL erfolgen. Die Funktionalität Bremssystem muss im Rahmen einer Standardisierung festgelegt werden.

#### **Umrüsten der Triebfahrzeuge**

Zur Umrüstung der Triebfahrzeuge soll möglichst nicht in sicherheitsrelevante Systembereiche eingegriffen werden. Es sind Systementwürfe zu erstellen, die als „AddOn“ Funktion auf vorhandenen Triebfahrzeugen realisiert werden können.

### 3.4 Elektrische Randbedingungen

#### **Erdung der Fahrzeuge**

Es ist zu beachten, dass eine Erdung der Fahrzeuge nicht sichergestellt werden kann. Diese würde sehr umfangreiche Änderungen in den Radsätzen erfordern. Damit sind zwei Kontakte für eine Energieleitung zwingend.

## Kommunikationsleitung

Die Kontaktstellen für das Kommunikationssystem sollten in der DAK minimiert werden (Zuverlässigkeit und Komplexität der Kontaktstellen), so dass aus diesen Gründen als leitungsbasiertes Kommunikationssystem nur eine Zweidraht-Lösung sinnvoll ist.

Die Segmentlänge, in der das Kommunikationssystem ohne Repeater mindestens sicher funktionieren muss, wird auf 100 m festgelegt. Dieser Aspekt ist für ein kabelgebundenes System relevant. Ziel dabei ist die Möglichkeit, einen Elektronikausfall des Kommunikationssystems im Wagen überbrücken zu können. Die längsten Wagen sind ca. 34 m lang. Werden die Kommunikationsknoten am Wagenende montiert, so ist selbst im schlimmsten Fall noch immer ein Wagen zu überbrücken. Für typische Güterwagen mit Längen von 15 m bis 25 m lassen sich auch zwei bis drei Wagen auf diese Weise technisch überbrücken.

## EP-Bremse

Die EP-Bremse ist im Projekt „Aufbau und Erprobung Innovativer Güterwagen“ als eine EP-Light Lösung<sup>12</sup> erfolgreich implementiert und getestet worden. Um das weiter im System validieren zu können, ist eine elektrische Kontaktstelle für eine EP-Leitung vorzusehen.

## Kontaktstellen Kupplung

Die maximale Anzahl von elektrischen Kontaktstellen in der Kupplung wird auf sechs begrenzt. Jeweils zwei Kontakte für Energie, EP-Bremse und Kommunikation. Redundanzanforderungen oder kupplungssymmetrische Anforderungen können mehr reale, elektrische Kontaktstellen erfordern. Die später wirklich genutzten Kontaktstellen hängen vom realisierten Gesamtsystem ab.

## 3.5 System- und Technologieverfügbarkeit

### Systemverfügbarkeit

Die Anforderungen zur Systemverfügbarkeit liegen nicht quantifiziert vor. Die Digitalisierung und Automatisierung im SGV zielt generell auf eine Erhöhung der Systemkapazität, wobei durch neue Systemelemente die heute vorliegende Systemverfügbarkeit möglichst nicht reduziert werden sollte. Mit einem neuen System wird jedoch auch eine zusätzliche Fehlerwahrscheinlichkeit in das Gesamtsystem eingeführt, was genauere Verfügbarkeitsbetrachtungen erfordern wird.

### Konsequenz:

Diese Anforderungen zur Systemverfügbarkeit müssen im Rahmen erster Versuche (Folgeschritt) als Randbedingungen für eine Serienentwicklung herausgearbeitet und konkretisiert werden sowie mit den Bahnen abgestimmt sein.

---

<sup>12</sup> Die EP-Light Lösung wurde im Rahmen des Projekts „Aufbau und Erprobung Innovativer Güterwagen“ entwickelt. Sie basiert darauf, EP-Ventile zur Druckabsenkung in der Hauptluftleitung in den einzelnen Wagen zu installieren und direkt über die EP-Leitung anzusteuern.

## Technologieverfügbarkeit

Neben der Systemverfügbarkeit ist die Technologieverfügbarkeit entscheidend. Es wird nicht angestrebt, Basistechnologien für das EuK bahnspezifisch neu zu entwickeln, sondern es soll auf vorhandene und möglichst bewährte, am Markt verfügbare Technologien aufgesetzt werden. Dies soll Unternehmen die notwendigen Systementwicklungen ermöglichen, indem sichergestellt wird, dass Technologien über mehrere Quellen zugänglich sind (second source).

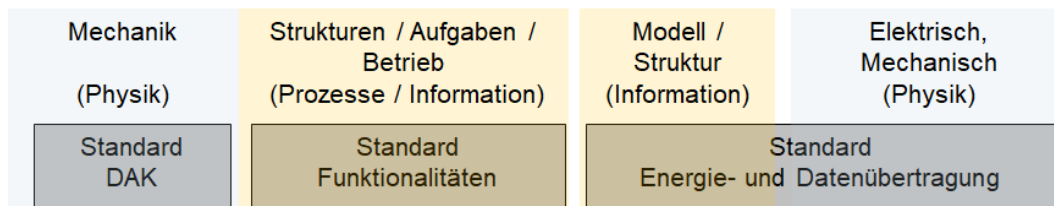
### Konsequenz:

Der Fokus wird auf vorhandene Standardtechnologien (keine neuen Chips) gelegt, die eine Einführung und Migration in den nächsten Jahren auch sicherstellen können. Trotzdem sind die Kommunikationssysteme auf Grundlage der Basistechnologie für das Einsatzfeld Bahn gezielt zu entwickeln (z.B. Zugtaufe).

## 3.6 Standard

Das Energie- und Kommunikationssystem muss es ermöglichen, dass verschiedene Hersteller hier Systementwicklungen durchführen können. Es ist deshalb eine Standardisierung des Systems nötig. Diese Standardisierungsanforderungen adressieren dabei sehr verschiedene Facetten, wie in der folgenden Abbildung 4 dargestellt:

**Abbildung 4: Aufgabengebiete zur Standardisierung**



Basis für Automatisierung und Effizienzsteigerung im Schienengüterverkehr

Quelle: Owita GmbH

Es ist eine Standardisierung der eigentlichen Kupplungsmechanik zu erreichen. Dabei ist festzulegen, welche Funktionalitäten wie umgesetzt werden und wie das System in die betrieblichen Prozesse und Strukturen eingebunden wird. Die zu standardisierenden Funktionalitäten (Bremsystem, Zugintegrität, ...) basieren auf einem EuK. Auch hierfür sind zum einen die elektrischen und mechanischen Eigenschaften festzulegen (Physical-Layer) aber eben auch Zugriffsverfahren und Routingverfahren im Netzwerk. Darüber hinaus stellt das Kommunikationssystem selbst eine eigene Funktionalität dar, für die Informationen, Protokolle und Schnittstellen (wie für alle anderen Funktionalitäten auch) festzulegen sind.

### Konsequenz:

Die Standardisierungsaspekte müssen als Folgeschritt adressiert werden, um ein interoperables System mit einem offenen Technologiezugang erreichen zu können. Hierzu ist eine EU-weite Standardisierungsgruppe zu etablieren.

## 4 Grundanforderungen und Grundkonzept

Aus den funktionalen Anforderungen und den Randbedingungen im Zug werden die Abschätzungen für die notwendige Leistungsfähigkeit des Energie- und Kommunikationssystems abgeleitet.

### 4.1 Auslegung des Energiebedarfs

Für das Energiesystem wird zunächst ein Minimalsystem definiert, welches die Kernfunktionen erfüllen kann. Zusätzlich wird eine Reserve festgehalten. Funktionalitäten, die darüber hinaus versorgt werden sollen, müssen entweder aus der Reserve versorgt werden oder benötigen eine weitere wagenspezifische Energiequelle (z.B. Achsgenerator, spezifische Batterie). Anwendungen, die sehr viel mehr Leistungen benötigen, wie z.B. Kühlcontainer, müssen durch andere Maßnahmen versorgt werden (z.B. separate Leitungen und Steckverbinder). Dieser Weg wird vorgeschlagen, um nicht sämtliche Güterwagengattungen mit einem möglicherweise überdimensionierten und damit auch kostenintensiveren Energieversorgungssystem ausrüsten zu müssen. Beispielsweise werden Schüttgutwagen für den Transport von Kohle sicherlich nicht einen vergleichbaren Energiebedarf aufweisen wie Güterwagen für den Transport von Tiefkühlprodukten. Hierfür wären dann Sonderlösungen zu etablieren.

#### 4.1.1 Leistungsbedarf

Die Abschätzung des Leistungsbedarfs der einzelnen Funktionen und der notwendigen Umsetzungselemente zeigt die folgende Tabelle 1.

*Aus den Kernfunktionen und den Randbedingungen für die Umsetzung im Zug werden die Anforderungen und ein Grundkonzept für das Energiesystem und für das Kommunikationssystem abgeleitet.*

*Die Leistungsbetrachtung ergab, dass ein Wagen mindestens 30 W an elektrischer Leistung benötigt. Dabei ist es sinnvoll, eine Festlegung auf die Wagenlänge vorzunehmen (2,5 W pro Meter Wagenlänge). Das Grundkonzept basiert auf einer Leitung (16 mm<sup>2</sup>) durch den Zug, in die am Triebfahrzeug die Energie mit einer Spannung von 110 V<sub>DC</sub> eingespeist wird. In den Wagen werden batteriegepufferte Wandler verbaut, die 24 V<sub>DC</sub> bereitstellen und die Leistungsentnahme begrenzen.*

*Für das Kommunikationssystem ist eine Netto-Datenrate (Informationsrate) von ca. 30 kbit/s notwendig. Hinzu kommt ein technologieabhängiger Overhead, der einen Faktor 3 bis 20 ausmacht. Latenzzeiten sollten unter einer Sekunde liegen. Heutige Bahn-Kommunikationssysteme können nicht ohne Modifikation genutzt werden. Es gibt aber eine große Anzahl an Basistechnologien aus anderen Industrien.*

*Grundsätzlich sind eine Powerline-Lösung, eine Funklösung (WiFi) an der Kuppelstelle und eine Zwei-Draht Kommunikationsleitung (CAN, Ethernet) vielversprechend und möglich.*

*Eine Technologie- und Systementscheidung ist ohne Messungen am Zug (Verfügbarkeit) nicht möglich. Es sollen deshalb alle drei Systemansätze verfolgt werden.*

*Es sind dafür die Auswahlkriterien klar abzustimmen und es ist eine Technologiegruppe (europäisch) aufzusetzen, die den Prozess begleitet und dann auch die finale System- und Protokollentwicklung vorantreibt.*

**Tabelle 1: Anwendungen und Leistungsbedarf pro Wagen**

Kategorie	Leistung	Nutzungsprofil	Quelle
Kommunikationsknoten	2 W aktiv, 0,05 W Standby	Permanent	Zugnetz, Batterie
Kommunikationsinterface SRD-Funk (optimiert) CAN-Interface Powerline PLUS (Prototyp) Powerline PLUS (Zielsystem) (HS Luzern, plc-tec AG)	500 mW 1 W 2x12 W 2x4 W	Permanent ab Zugtaufe, Batteriebetrieben bei Ausfall der Energieversorgung	Zugnetz, Batterie
EP-Light Bremsventil	8 W	Sporadisch	Zugnetz, Batterie
Entkuppeln (mechanisch, elektrisch)	240 W für 5s		Batterie
Diagnose	8 W	Permanent	Zugnetz
Versorgung Telemetrie	2 W	Permanent	Zugnetz
Batterieladung	Nach Auslegung	Gemischt	Zugnetz
Zugschlussleuchte	16 W	Einmal am letzten Wagen	Zugnetz, Batterie
Beleuchtung	4 W	Sporadisch	Batterie

Quelle: Owita GmbH

Bei den in Tabelle 1 dargestellten Leistungen handelt es sich um eher konservative Abschätzungen. Bei einer speziell für den Einsatzzweck entwickelten Hardware wird der Leistungsbedarf eher reduziert. Der summierte permanente Leistungsbedarf eines Wagens liegt somit minimal bei etwa 13 W (mit CAN-Interface, ohne Batterieladung), sporadisch bei bis zu 35 W und für Spitzen von fünf Sekunden bei etwa 280 W. Diese Spitzenleistung muss der Batterie entnommen werden und nicht dem Zugnetz.

Bei der Auslegung der Leistungen und der Batterie muss berücksichtigt werden, dass auch die Ladeleistung der Batterie erbracht werden muss, die von der Kapazität abhängig ist. Es wird üblicherweise mit zehn Prozent der Batteriekapazität pro Stunde geladen<sup>13</sup>. Weiterhin ist ein Netzteil zur Umrichtung der Zugnetzspannung auf die Wagennetzspannung notwendig [4]. Die Umrichtung der Spannung kann mit einem Wirkungsgrad von 90 Prozent angenommen werden.

Zusammengefasst sollte in einem minimalen Szenario mit einer kontinuierlichen Leistung von etwa 20 W gerechnet werden. Zuzüglich einer Reserve von 30 Prozent und Verlusten bei der Spannungsumrichtung sollten 30 W Dauerleistung mindestens für jeden Wagen bereitgestellt werden.

<sup>13</sup> Die Ladeleistung der Batterie kann stark variieren und ist technologieabhängig. Bei Lithium-Ion-Technologie sind deutlich höhere Ladeleistungen möglich.



## Einschub: Akku-basiertes Energiesystem im Wagen:

Ein weiterer denkbarer Ansatz (vgl. Elektromobilität) basiert auf einem reinen Akkubetrieb zur Energieversorgung. Hierbei wird jeder Güterwagen autark von einem eigenen Akku versorgt. Der Vorteil ist, dass eine Überdimensionierung des gesamten Energiesystems zur Versorgung einzelner (Spezial-)Wagen vermieden wird. Weiterhin ersetzt der Akku die Pufferbatterie während des Ruhezustands. Relevant für diesen Systemansatz ist die resultierende Größe bezogen auf den Energiegehalt des Akkus, wofür zunächst Randbedingungen festgelegt werden:

- Energieverbrauch im Ruhezustand: 100 mW
- Energieverbrauch im Betrieb: 20 W
- Nutzungszeiten: 30 Prozent Betrieb / 70 Prozent Ruhezustand
- 500 bis 1000 Ladezyklen über die gesamte Lebensdauer bei wirtschaftlicher Verwertung
- als Technologie wird ein LiFePO Energiespeicher angenommen.

Die dafür notwendigen Auslegungen, Kosten und Gewichte sind in der folgenden Tabelle 2 für unterschiedliche Ladeintervalle abgeschätzt. Je größer die Ladeintervalle sind, d.h. je seltener der Akku geladen wird, desto mehr Kapazität muss der Akku für den Betriebseinsatz bereitstellen. Kosten und Gewicht eines Akkus erhöhen sich dabei.

**Tabelle 2: Rahmenbedingungen für eine reine Batterielösung als Energieversorgung**

Ladeintervall/Wochen	Kosten/€	Gewicht/kg	Kapazität/kWh
1	407,9	10,2	1,0
4	1631,6	40,8	4,1
8	3263,2	81,6	8,2
24	9789,7	244,7	24,5
52	21211,0	530,3	53,0

Quelle: Owita GmbH

Es zeigt sich, dass die Systemkosten pro Wagen und auch die Batteriegewichte, neben den zusätzlichen infrastrukturellen Maßnahmen für Ladestationen der Batterien an Gleisanlagen, nicht zielführend sind.

### 4.1.2 Systemspannung

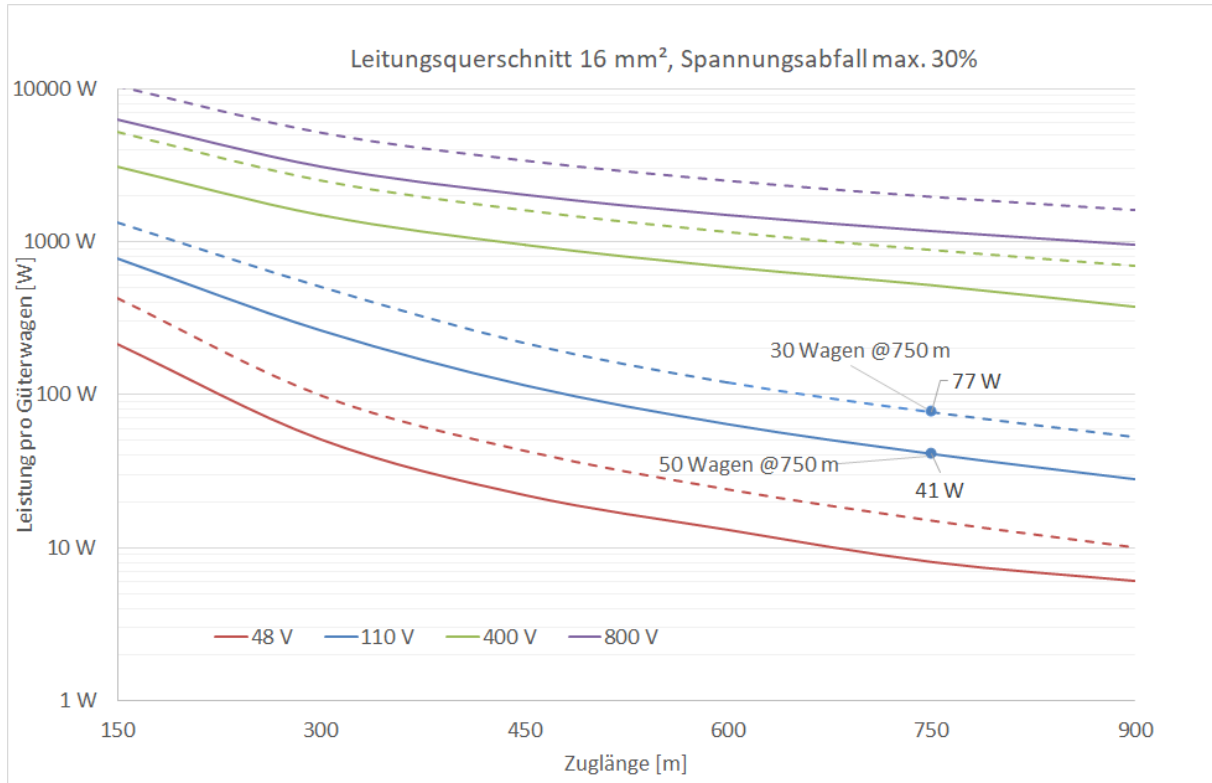
Die Auslegung der Systemspannung muss mehrere Aspekte und Einflussfaktoren berücksichtigen. Diese sind nicht nur technischer Natur, sondern berücksichtigen auch den Betriebsablauf.

#### Leistung pro Wagen

Aus physikalischer Sicht ist eine hohe Systemspannung sinnvoll, da so Übertragungsverluste über die lange Leitung im Zug minimiert werden können. Durch den bei höherer Spannung geringeren Stromfluss ist zudem ein geringerer Leitungsquerschnitt zur Übertragung nötig. Die folgende Abbildung 5 zeigt einige Rechnungen zu möglichen maximalen Leistungsentnahmen eines Wagens im Zug für unterschiedliche Einspeisespannungen und für eine unterschiedliche

Anzahl von Wagen im Zug (bedingt durch unterschiedliche Wagenlängen). Die möglichen maximalen Leistungen die pro Wagen entnommen werden hängen darüber hinaus von weiteren Systemparametern ab, wie dem Leitungsquerschnitt, den Übergangswiderständen an der Kuppelstelle und auch der mindestens notwendigen Spannung an einem Wagen.

**Abbildung 5: Maximale Wagenleistung in Abhängigkeit der Zuglänge**



Quelle: Owita GmbH

Diese Rechnung zeigt auf, dass die geforderten 30 W pro Wagen bei einer Spannung von 110 V<sub>DC</sub> [7] (und natürlich auch für höhere Spannungen) selbst im kritischen Fall (nur kurze Wagen im Zug) unter den Prämissen 750 m Zuglänge und maximal 50 Wagen im Zug erfüllt werden können.

Bei einer Eingangsspannung von 110 V<sub>DC</sub> werden die möglichen Leistungen pro Wagen mit zunehmenden Leitungsquerschnitten größer und sie werden größer, je mehr Spannungsabfall bis zum Leitungsende zugelassen werden kann, wie Tabelle 3 verdeutlicht.

**Tabelle 3: Zur Verfügung stehende Leistung in Abhängigkeit des Leitungsquerschnitts und der Spannung am letzten Wagen bei 110 V<sub>DC</sub> Eingangsspannung**

	77 V <sub>min,750m</sub>	70 V <sub>min,750m</sub>	66 V <sub>min,750m</sub>
16 mm <sup>2</sup>	40,7 W	45,7 W	48,0 W
25 mm <sup>2</sup>	55,5 W	62,4 W	65,5 W

Quelle: Owita GmbH

## Notwendige Schutzmaßnahmen

Aus technischer Sicht bedingt eine Spannung größer als  $120 V_{DC}$  oder  $60 V_{AC}$ <sup>14</sup> einen PE-Leiter (Erdung), um Schutzmaßnahmen zu realisieren. Eine konstruktive Erdung kann an den Wagen nicht hergestellt werden, da dies in den Wagen (Radsätzen) nicht gesichert ist. Alternativ könnte ein PE-Leiter durch den ganzen Zug bis in jeden Wagen geführt werden. Dies würde allerdings mindestens einen zusätzlichen Kontakt in der Kupplung und damit eine größere Fehlerwahrscheinlichkeit des elektrischen Versorgungssystems bedeuten. Zusätzliche technische Maßnahmen sind zur Überwachung des PE-Schutzleiters nötig und damit entstehen auch zusätzliche Kosten.

Ein weiterer Aspekt für Spannungen unterhalb von  $120 V_{DC}$  und  $60 V_{AC}$  besteht darin, dass sie nicht lebensgefährlich sind [8]. Qualifiziertes Personal darf auch bei eingeschalteter Spannung am System arbeiten. Dies könnte zur Identifikation von Fehlern im Betrieb helfen. Arbeiten an den Systemen dürfen unabhängig von der Systemspannung nur durch Fachpersonal oder durch elektrotechnisch unterwiesene Personen durchgeführt werden. Allerdings ist bei Missachtung dieser Vorschriften die Gefährdung der Personen bei Spannungen unterhalb von  $120 V_{DC}$  deutlich geringer.

### Konsequenz:

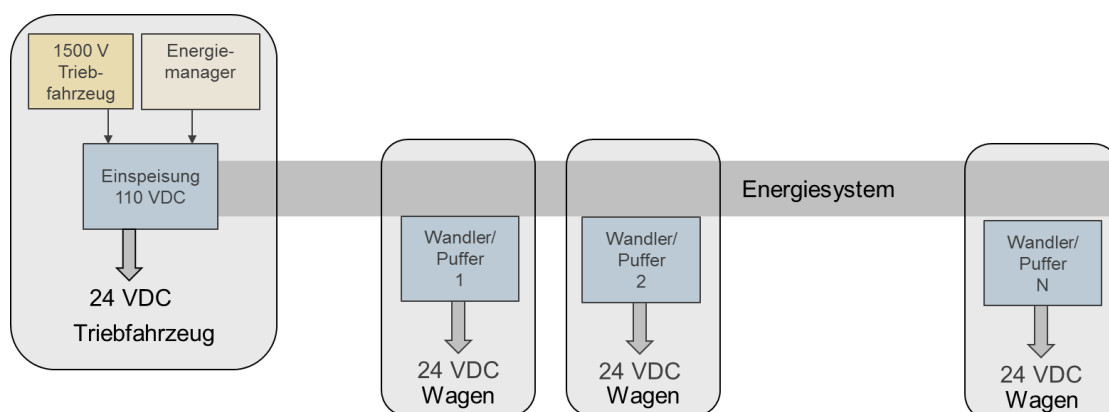
Zusammengefasst wird eine Systemspannung von **110 V<sub>DC</sub>** favorisiert<sup>15</sup>. Diese ist bereits in Bahnsystemen und normativ etabliert [7] (EN 50155).

Die folgende Vorspezifikation/Systemauslegung wird im folgenden Teil klären, welche Rahmenbedingungen zur Verwendung dieser Systemspannung notwendig sind.

### 4.1.3 Grundlegendes Konzept zur Energieversorgung im Zug

Basis für alle elektronischen Funktionalitäten in den Fahrzeugen ist eine Versorgung mit elektrischer Energie. Das grundlegende Konzept für das Energiesystem ist in der folgenden Abbildung 6 als erster Überblick erläutert.

**Abbildung 6: Grundlegendes Konzept der Energieversorgung**



Quelle: Owita GmbH

<sup>14</sup> AC wäre für eine Trennung von Steckkontakten unter Last besser, weil dies die Funkenbildung reduziert.

<sup>15</sup> Dieses Spannungsniveau und die Auslegung der Leistung wurden kritisch diskutiert, d.h. einzelnen Bahnen sehen einen höheren Leistungsbedarf, der über eine höhere Systemspannung „leicht“ zu erreichen wäre. Die Festlegung auf  $110 V_{DC}$  ist an dieser Stelle damit ein Kompromiss, der eine Systemeinführung erlaubt. Es ist technologisch denkbar, auf der gleichen Leitung (wenn Isolationsabstände passen) auch mit höheren Spannungen und damit größeren Leistungen zu arbeiten.

Das Energiesystem besteht im Grundansatz aus einer Einspeisestelle im führenden Triebfahrzeug und aus Verbrauchsstellen in den einzelnen Wagen. Die Energieverteilung durch den Zug erfolgt leitungsgebunden über die Energieleitung. Im führenden Triebfahrzeug (Lok) ist ein Generatorsystem vorhanden, das die elektrische Energie mit einer Spannung von  $110 V_{DC}$  in die Energieleitung einspeist. Dieses Generatorsystem speist sich aus der in dem jeweiligen Triebfahrzeug verfügbaren elektrischen Energie, z.B. über die Zugsammelschiene oder einen vorhandenen Generator. Das Einspeisesystem ist als AddOn-System für die vorhandenen Triebfahrzeuge zu konzeptionieren, denn es soll dazu möglichst kein Eingriff in zulassungsrelevante technische Einrichtungen der Triebfahrzeuge erfolgen. Gesteuert wird das Generatorsystem über einen Energiemanager, um Parameter zu modifizieren (z.B. maximale Ströme), die Versorgung ein- und auszuschalten oder aktuelle Istwerte (Strom, Spannungen) bereitzustellen. Dazu ist das System mit einer normierten Schnittstelle zu versehen, die dann z.B. über eine Bedieneinheit angesprochen werden kann.

Für die Verbrauchsseite gibt es in jedem Fahrzeug einen Wandler mit einer Speicherbatterie und einem lokalen Energiemanagement [9]. Dieses System stellt eine gepufferte elektrische Versorgung von  $24 V_{DC}$  im Fahrzeug bereit. Das System ist an die Energieleitung angebunden. Für ein Gesamtenergiemanagement im Zug ist es erforderlich, dass eine Kommunikation der lokalen Energiemanagementeinheiten mit dem Energiemanagement auf dem Triebfahrzeug erfolgen kann, und Funktionalitäten sowie notwendige Protokolle des Energiesystems (z.B. individuelle Leistungsvorgaben) entwickelt und standardisiert werden.

#### **Konsequenz:**

Das Energiesystem wird leitungsgebunden mit einer Spannung von  $110 V_{DC}$  und einem Leitungsquerschnitt von  $16 \text{ mm}^2$  als Minimalsystem vorgesehen [1]. Es sollte für die DAK die Möglichkeit vorgesehen werden, die Leitungen in  $25 \text{ mm}^2$  auszuführen, um zusätzliche Reserven zu schaffen.

## **4.2 Auslegung des Kommunikationsbedarfs**

Zur Auslegung des Kommunikationsbedarfs werden die Kernfunktionen herangezogen. Hier ist analog zur Betrachtung des Energiesystems zu berücksichtigen, dass nicht zu jedem Zeitpunkt alle Anwendungen bedient werden müssen. Eine weitere Einschränkung zur Berechnung des Kommunikationsbedarfs besteht darin, dass verschiedene Kommunikationssysteme auch eine unterschiedliche Protokollauslegung und Protokolloverheads bedingen. Beispielsweise würde bei einem Ethernet-basierten Kommunikationssystem auf IP-spezifische Protokolle zurückgegriffen werden, mit einem recht großen Overhead.

Daher wird hier zunächst der Netto-Bedarf bestimmt, der zur Übertragung der Informationen erforderlich ist. Hinzugerechnet werden muss dann ein protokollspezifischer Overhead je nach Kommunikationssystem. Um die notwendigen Datenraten, die das Kommunikationssystem bereitstellen muss, abzuschätzen, werden für die Kernfunktionen Signalannahmen zu den auszutauschenden Informationen gemacht. Die Signale, die nur in einer Initialisierungsphase ausgetauscht werden, sind dabei für die Abschätzung nicht berücksichtigt, weil sie im operativen Betrieb nicht zur Systemlast beitragen. Sie haben nur einen Einfluss auf die Zeitdauer der Initialisierung. Diese Annahmen sind im Folgenden zusammengestellt:

#### **Kommunikationssystem:**

Das Kommunikationssystem selbst wird auch für eigene Zwecke Informationen austauschen. Die Zugtaufe zur Feststellung der Reihenfolge und Ausrichtung der Wagen sowie der Vergabe logischer Adressen der Fahrzeuge im Zugverband mit der Übertragung von Identifikationsdaten (Wagennummer), erfolgt jedoch nur in der Initialisierungsphase. Der operative, zyklische Austausch bezieht sich auf Statusdaten, Steuerungsinformation und ggf. den Kupplungsstatus. Die Abschätzung hierfür zeigt Tabelle 4.

**Tabelle 4: Informationsaustausch Kommunikationssystem**

Kommunikationssystem	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Status / Fehlermeldung	4	50	1	1600
Zugtaufe-Wagen	40	50	0	0
Ansteuerung-Kommunikationsknoten	8	1	5	320
Kupplungsstatus (beide Seiten)	4	50	1	1600
				<b>3520</b>

Quelle: Owita GmbH

### Energiesystem:

Für die Implementierung von Energiemanagementfunktionen sowie zum Monitoring des Energiesystems (Spannungen, Ströme, etc.) wird der Austausch von Informationen zyklisch notwendig. Die Abschätzung hierfür zeigt Tabelle 5.

**Tabelle 5: Informationsaustausch Energiesystem**

Energiesystem	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Spannung auf der 110 V <sub>DC</sub> Leitung,	1	50	1	400
Strommessung Energieleitung	1	50	0,5	200
Leistungsbezug aus dem Zugnetz	1	50	0,5	200
Ladungsleistung der Batterie	1	50	0,2	80
Ladungszustand der Batterie	1	50	0,2	80
Stromverbrauch im Wagen	1	50	0,5	200
Statusmeldung Energiesystem	2	50	0,5	400
Ansteuerung Energiemanagment	4	1	1	32
				<b>1592</b>

Quelle: Owita GmbH

## Bremssystem:

Ein kommunikationsbasiertes Bremssystem (mit automatischer Bremsprobe [3]) benötigt als neue Funktion Daten zur Ansteuerung der Bremse, aber auch Status-, Diagnose- und Sensordaten, die zyklisch auszutauschen sind (vgl. Tabelle 6).

**Tabelle 6: Informationsaustausch Bremssystem**

Bremssystem	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Istwerte HL-Druck	2	50	1	800
Behälter Druck	1	50	1	400
Zylinder Druck	1	50	1	400
Position / Kraft Bremsgestänge	2	50	0	0
Ansteuerungen (Handbremse, Bremsstellung, ...)	2	1	1	16
Sensorik Brems Scheiben / Bremsklötze	8	50	1	3200
Statusbits Bremssystem / Fehlerbits	4	50	1	1600
Sollwert Bremse	1	1	5	40
				<b>6456</b>

Quelle: Owita GmbH

## Zugintegrität:

Zur Sicherstellung der Zugintegrität wird ein zyklischer, abgesicherter Austausch von Informationen zwischen dem letzten Fahrzeug und dem führenden Triebfahrzeug angenommen (vgl. Tabelle 7).

**Tabelle 7: Informationsaustausch Zugintegrität**

Zugintegrität	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Statusdaten	2	2	10	320
Sensorinformation	2	2	10	320
Authentifikation	6	2	10	960
Absicherung	4	2	10	640
				<b>2240</b>

Quelle: Owita GmbH

## Wagendiagnose:

Um Wagendiagnosen oder spezielle Aktoren im Zug anzubinden, müssen Sensordaten über den Zugbus ausgetauscht werden können. Auch wenn hier in der Realisierung später eine ereignisbasierte Kommunikation denkbar ist, wird für die Abschätzung von einem zyklischen Austausch ausgegangen. Hier sind zusätzlich typische Sensorsysteme denkbar (vgl. Tabelle 8):

**Tabelle 8: Informationsaustausch Wagendiagnose**

Wagendiagnose / Aktorik	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Entgleisungssensor	2	50	1	800
Heißläufererkennung	2	50	1	800
Flachstellendetektion	2	50	1	800
Telematik-Signale (Weitergabe)	3	50	0,5	600
Einschaltsignale	4	1	1	32
Statussignale	2	50	1	800
				<b>3832</b>

Quelle: Owita GmbH

## Ladungsüberwachung:

Neben den Fahrzeugdaten sind auch Sensoren für die Ladungsüberwachung denkbar, die hier durch einige typische Signale repräsentiert werden (vgl. Tabelle 9).

**Tabelle 9: Informationsaustausch Ladungsüberwachung**

Ladungsüberwachung	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Temperatur,	1	50	1	400
Gase (EX-geschützte Wagen),	2	50	1	800
Luftfeuchtigkeit,	2	50	1	800
Statussignale ( Klappen, Licht, ...)	2	50	1	800
Erschütterungen	3	50	1	1200
				<b>4000</b>

Quelle: Owita GmbH

## Mehrfachtraktion:

Die Mehrfachtraktion - auch wenn diese nicht explizit als Kernfunktion formuliert wurde - erfordert den Austausch von Informationen zwischen den beteiligten Triebfahrzeugen. Für eine Abschätzung sind vier Triebfahrzeuge im Zug berücksichtigt (vgl. Tabelle 10).

**Tabelle 10: Informationsaustausch Mehrfachtraktion**

Mehrfachtraktion	Bytes	Fahrzeuge (Sender)	Häufigkeit [1/ s]	Netto-Bitrate [Bit/s]
Status / Fehlermeldung	12	4	5	1920
Ansteuerung-Traktion	8	1	5	320
Sicherung, Authentifikation	12	1	5	480
				<b>2720</b>

Quelle: Owita GmbH

## Weitere Funktionen:

Neben diesen Kernfunktionen werden zukünftig auch Applikationen wie Live-Fernsteuerung auf Basis von Videoübertragen u.v.a. denkbar. Diese Funktionen erfordern jedoch einen sehr hohen Datenaustausch. Hierfür muss ein anderer Kommunikationskanal vorgesehen werden (z.B. Mobile 5G Kommunikation). Diese Anforderungen werden für das Kommunikationssystem (Zugbus) hier bewusst nicht berücksichtigt.

## Zusammenfassung Abschätzung erforderliche Datenrate

Diese Signalbetrachtungen führen zu einer Abschätzung der mindestens benötigten Daten, die pro Sekunde zu übertragen sind. Es ergibt sich ein Wert von 24,4 kbit/s. Berücksichtigt man einen Sicherheitsaufschlag von ca. 30 Prozent, da in der Abschätzung sicher nicht alle Aspekte berücksichtigt wurden, ist eine Netto-Datenrate (Informationsrate) von ca. 30 kbit/s für die Kernfunktionalitäten realistisch.

Zur Umrechnung in eine real benötigte physikalische Bitrate auf dem Zugbus sind die systemspezifischen Overheads durch Protokollstrukturen und Reserven zu berücksichtigen. Als Beispiel kann bei CAN mit einem Faktor von erfahrungsgemäß drei bis vier gerechnet werden, um aus der Informationsrate die Bitrate auf der Kommunikationsleitung zu bestimmen [10]. Eine Bitrate von 125 kBit/s wäre damit für ein CAN-System ausreichend in der Dimensionierung. Bei IP-basierten Systemen sollte mit einem Faktor von 10 bis 20 gerechnet werden, da der Overhead in den Protokollstrukturen im Verhältnis zu den Informationen deutlich größer ist. Für IP-basierte Kommunikationssystem ist damit eine Bitrate von 300 kBit/s bis 600 Kbit/s anzustreben. Diese Raten sind mit heutigen Technologien sehr gut erreichbar.

Neben der Nettodatenrate spielt auch die Latenzzeit eine wichtige Rolle, insbesondere wenn Echtzeitsysteme realisiert werden. Die Latenzzeit entspricht der Zeitdauer zwischen dem Initiieren/Ändern einer Information auf der Senderseite bis zum Empfang der Information beim Empfänger. Für die hier betrachteten Kernfunktionen sollte diese Latenzzeit kleiner als eine Sekunde sein.

## 4.3 Vorhandene Standards für Kommunikationssysteme im Bahnbereich

Die heute bekannten und vorhandenen Standards im Bahnbereich sollen vor dem Hintergrund der oben zusammengestellten Anforderungen kurz betrachtet werden.

- **WTB mit RS485 IEC 61375-2-1 (Teil des TCN<sup>16</sup>)** [11]: Der „klassische“ WTB weist eine Datenrate von ein Mbit/s über das UIC-Kabel bis 860 m auf (das würde ausreichen), ist aber nur für eine Teilnehmerzahl von bis zu 32 Busteilnehmer ausgelegt. Es braucht also eine Anpassung einer Technologie, die in der Industrie sonst an keiner anderen Stelle genutzt und eingesetzt wird.
- **WTB mit CAN IEC 61375-3-3 (Teil des TCN)** [12]: CAN wird bereits als Physical-Layer in Bahnanwendungen zur Kommunikation zwischen Triebfahrzeugen und Personenwagen genutzt. Auch innerhalb der Fahrzeuge ist CAN als Kommunikationssystem bereits etabliert. Beim IEC 61375-3-3 wird CAN mit dem Protokoll CANopen mit entsprechender Definition für ein CAN-Object-Dictionary verwendet. Dies bildet bereits definierte, auf den Personenverkehr zugeschnittene Funktionalitäten ab. Daher könnte aus diesem Standard bezüglich der Nachrichtenstrukturen nur ein kleiner Teil genutzt werden. Weiterhin ist das CAN-

<sup>16</sup> TCN: Train Communication Network in IEC61375-1



Bussystem für das TCN als durchgehende Leitung mit einer Gesamtausdehnung von 450 m spezifiziert (Datenrate 125 kBit/s). Für eine Zuglänge von 750 m muss eine andere Systemauslegung durchgeführt werden, weil 125 kBit/s nicht auf einer Leitungslänge von 750 m realisiert werden können. Deshalb braucht es bei der Verwendung eines CAN-Systems sowohl einen neuen Topologieansatz als auch eine Protokolldefinition für einen neuen Standard.

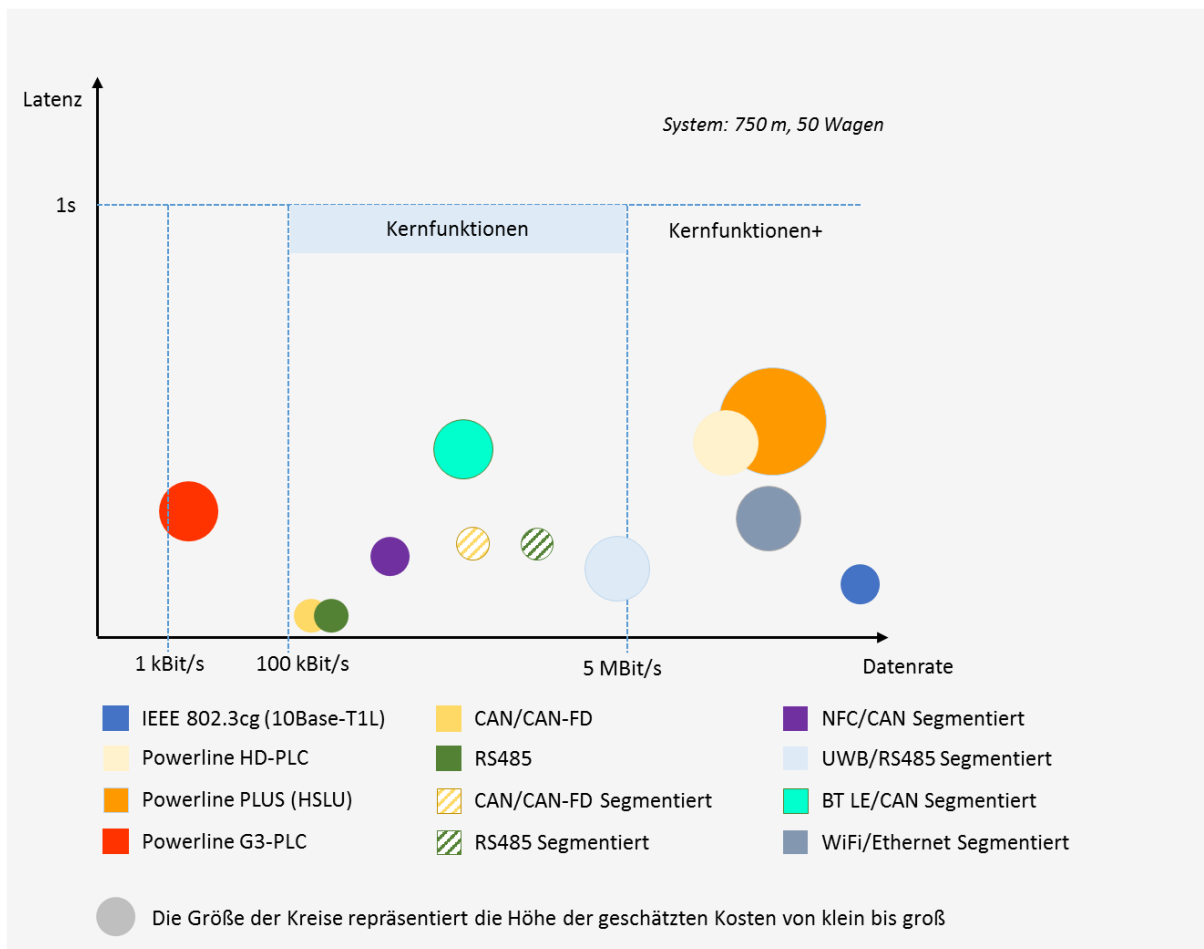
- **WTB mit Ethernet (Teil des TCN)** [13]: Der WTB auf Basis der 100 MBit/s Fast-Ethernet Kommunikation nutzt redundant ausgelegt Leitungen, braucht also mindestens acht Kommunikationsleitungen und damit acht Kontaktpunkte an jeder Kuppelstelle.
- **ECP-System (Powerline)**: Das primär in den USA eingesetzte System arbeitet mit 10 kBit/s auf einer Powerline Basis (LON Technologie). Es ist ausgelegt für ein elektronisches Bremssystem in Zügen. In der vorliegenden Konstellation erfüllt es die Anforderungen nicht.

Das bedeutet, dass die heute vorhandenen Technologien so nicht a priori geeignet sind. Es ist deshalb sinnvoll neue Technologieansätze zu betrachten, die in anderen Industriebereichen vorhanden und eingesetzt sind. Dies kann die für den Güterverkehr notwendigen geringen Kosten bei sehr hoher Verfügbarkeit und Robustheit ermöglichen und schafft gleichzeitig die besten Voraussetzungen, einen offenen Technologiezugang zu erreichen.

#### 4.4 Systemansätze Kommunikation

Als Basis der oben beschriebenen Anforderungen sind in der folgenden Abbildung 7 verschiedene Kommunikationstechnologien qualitativ eingeordnet. Die betrachteten Technologien zielen darauf ab, möglichst wenig Kontaktstellen an der Kuppelstelle zu haben. Die Darstellung zeigt für verschiedene Kommunikationstechnologien eine Einordnung der erreichbaren Datenrate (x-Achse) und der im System zu erwartenden Latenzzeit (y-Achse). Die Größe der Kreise repräsentiert die Systemkosten.

Abbildung 7: Datenrate, Latenz und Kosten der verschiedenen Lösungen bei 750 m Zuglänge



Quelle: Owita GmbH

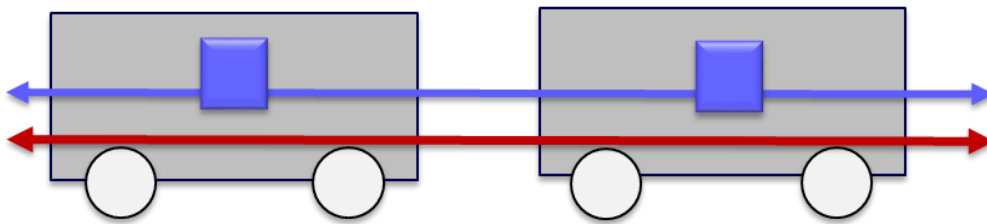
Die Eignung als zukünftige Technologie besteht primär in der Erfüllung der technischen Anforderungen. Sekundär sind weitere Eigenschaften wie Robustheit, Verfügbarkeit und Kosten der Systeme zu betrachten. Als Basisaussage wird hier deutlich, dass es durchaus eine Vielzahl von Technologieansätzen gibt, die potenziell für das Zugbussystem denkbar sind.

Neben den Technologien werden grundsätzlich drei verschiedene Topologie-Ansätze für die Kommunikation betrachtet. Die Grundansätze werden im Folgenden kurz erläutert.

#### 4.4.1 Segmentiertes Bussystem

Als segmentiertes Bussystem wird ein System bezeichnet, dass von Wagen zu Wagen leitungsgebunden kommuniziert. Die Nachrichten werden von einem Kommunikationsknoten im Wagen an den nächsten Wagen weitergeleitet. Durch die kurzen Distanzen zwischen den Wagen können deutlich größere Datenraten erreicht werden als bei durchgehenden Leitungen durch den ganzen Zug (vgl. Abbildung 8).

**Abbildung 8: Segmentiertes Bussystem**



Quelle: Owita GmbH

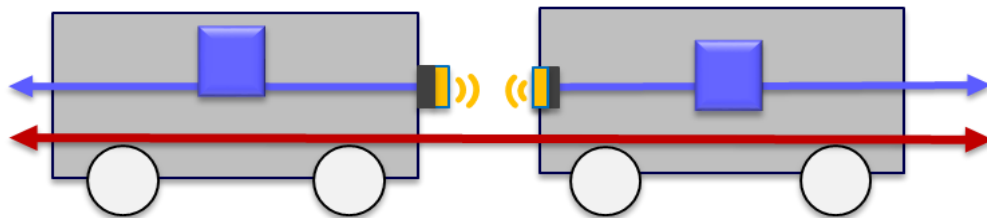
Als Beispiele für geeignete Technologien können hier CAN (Controller Area Network) bzw. CAN-FD (Controller Area Network with Flexible Datarate) und SPE (Single Pair Ethernet) in der 10 Mbit/s Variante (IEEE 802.3cg) genannt werden, die beide über eine Zwei-Draht-Verbindung funktionieren und in industriellen Anwendungen lange etabliert und verfügbar sind.

Wesentliche Randbedingung (aber auch offene Systemfragestellung) zur Realisierung eines leitungsgebundenen segmentierten Kommunikationssystems ist die Zuverlässigkeit der Kontakte für die Datenübertragung in der Kupplung. Beim Ausfall eines Kommunikationsknoten (Elektronik), ist eine Leitungsüberbrückung denkbar, so dass die Kommunikation nicht im ganzen Zug ausfällt.

#### 4.4.2 Segmentiertes System mit Technologiewechsel (Funk)

Beim segmentierten Systemansatz mit Technologiewechsel, wird ein gesondertes Übertragungsverfahren an der Kuppelstelle verwendet (bevorzugt ein kurzreichweitiges Funksystem), um auf elektrische Kontakte für die Kommunikation in der Kuppelstelle ganz zu verzichten (vgl. Abbildung 9).

**Abbildung 9: Segmentiertes Bussystem mit Technologiewechsel**



Quelle: Owita GmbH

Randbedingung zur Realisierung ist hier die Integration einer Antenne in die Kupplung, um eine kontaktlose Übertragung zu ermöglichen und gleichzeitig durch geringe Reichweiten und möglichst eine Schirmung durch die Kupplung, eine hinreichende Störfestigkeit für die Übertragung zu erreichen. Als geeignete Funk-Technologien werden WiFi (IEEE 802.11), Zigbee (IEEE 802.15.4) und Bluetooth (IEEE 802.15.1) oder NFC-Technik<sup>17</sup> angesehen, denn es sollten verfügbare Standards genutzt werden. Die 5G Technologie wird hier nicht als Basis für eine zuginterne Kommunikation gesehen, sondern wie im Kapitel 1 dargestellt als eine zukünftige Erweiterungsoption zur Anbindung einzelner Wagen an eine Cloud.

<sup>17</sup> NFC: Near field communication

Die Umsetzung erlaubt zwei Möglichkeiten:

- Eine erste Variante besteht darin, von einem Kommunikationsknoten im Wagen, in dem die Funksysteme verbaut sind, die Funk-Signale über ein Antennenkabel durch den Wagen zu den Antennen in den Kupplungen weiterzuleiten.
- Eine zweite Variante besteht darin, Funksysteme mit Antenne direkt an den beiden Kupplungen eines Wagens zu verbauen. Diese beiden Systeme an den Wagenenden kommunizieren dann wagenintern über eine interne Kommunikationsleitung mit einer Technologie, wie zum Beispiel CAN oder Ethernet. Dies ist in der Abbildung 8 oben dargestellt.

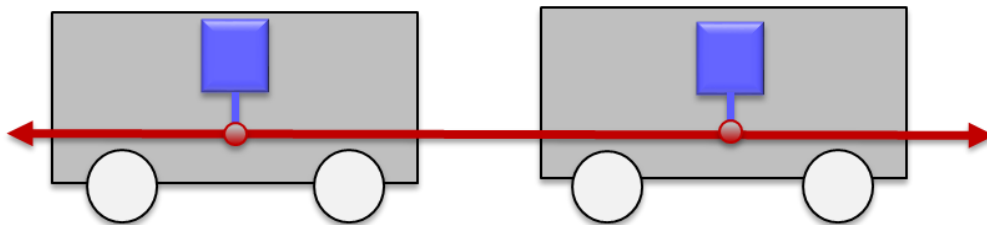
Eine Auswahl zwischen diesen Ansätzen ist primär durch Kosten und Systemrobustheit bedingt. Nach erster Einschätzung ist die Variante 2 zu empfehlen.

Offen bleibt die Frage, wie sehr die Funkschnittstelle durch äußere Beeinflussungen gestört werden kann. Es ist in dieser Konstellation zu beachten, dass der Ausfall einer Kontaktstelle hier mit dem Ausfall einer Elektronik oder der Antennen einhergeht. Die resultierende Verfügbarkeit muss dabei mindestens so gut sein, wie bei einer elektrischen Kontaktstelle. Hier fehlen aktuell belastbare Daten.

#### 4.4.3 Durchgehende Leitung (Powerline)

Als durchgehende Leitung wird ein System bezeichnet, bei dem die Leitung nicht durch die Verbindung von Kommunikationsknoten unterbrochen wird. Dies kann eine Kommunikationsleitung sein, oder eben auch die Energieleitung. Betrachtet wird das System Powerline PLUS von der Hochschule Luzern (HSLU), welches für Flugzeuge konzipiert wurde und nun auf bahntechnische Anwendungen adaptiert wird (vgl. Abbildung 10).

**Abbildung 10: Kommunikationssystem mit durchgehender Leitung**



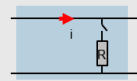
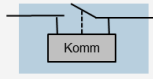

Quelle: Owita GmbH

Randbedingung für eine Realisierung des Powerline-Systems ist die Zuverlässigkeit von Kontakten in der Kupplung. Systemanforderungen ergeben sich gerade hier bei dem Energieverbrauch der Kommunikationsknoten und bei der Verfügbarkeit der wesentlichen Technologiekomponenten (Transceiver) am Markt.

#### 4.4.4 Grundlegende Ansätze zur Zugtaufe

Für die oben diskutierten grundlegenden Ansätze sind mögliche Mechanismen zur Zugtaufe (Bestimmung der Reihenfolge und Ausrichtung) zu betrachten. Tabelle 11 führt die bekannten Mechanismen zusammen.

**Tabelle 11: Verfahren zur Realisierung einer Zugtaufe**

Prinzip		Powerline	Segmentierte Leitung	Durchgehende Datenleitung	Funk Segmentierung
Widerstand und Strommessung (z.B. ECP)		x	(x)	(x)	(x)
Leitungstrennung durch Relais (z.B. WTB)				x	
Daisy Chain (z.B. Ethernet)			x	(x)	x
Laufzeitmessung (HL) (Implementierung nicht bekannt)		x	x	x	x
Laufzeitmessung elektrische Leitung		x	(x)	x	(x)
...					

Quelle: Owita GmbH

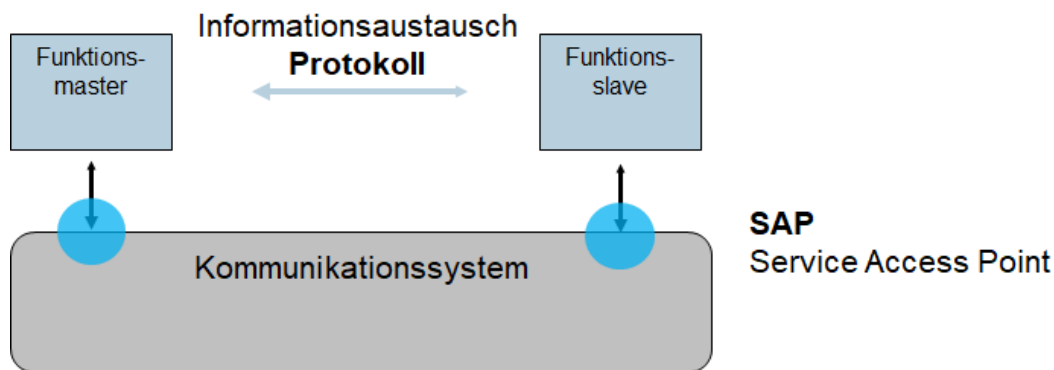
Dabei wird deutlich, dass nicht jedes Zugtaufverfahren für jeden Kommunikationsansatz möglich ist, d.h.: Eine Systementwicklung hängt signifikant von der Technologieauswahl für das Kommunikationssystem ab, und das wird eine spezifische Systementwicklung für den Güterzug auf Basis vorhandener Kommunikationstechnologie bedingen.

#### 4.4.5 Zugriff von Funktionalitäten auf das Kommunikationssystem

Die Funktionalitäten (Applikationen) werden als ein verteiltes System im Zug verstanden. Für eine Funktionalität sind Funktionselemente auf dem führenden Fahrzeug (mit Schnittstellen zum Triebfahrzeug) sowie Funktionselemente auf den Wagen nötig. Die Funktionselemente auf dem führenden Fahrzeug werden als Funktionsmaster verstanden, die Elemente auf den Fahrzeugen als Funktionsslaves. Zwischen den Elementen einer Funktionalität muss eine Kommunikation möglich sein (verteilt über den Zug), und es ist ein Protokoll festzulegen. Diese Protokollfestlegung muss für jede Funktionalität erfolgen, die im Zug realisiert werden sollen.

Der Austausch von Informationen mit Protokollen zwischen den verschiedenen Elementen einer Funktionalität erfolgt dabei über das Kommunikationssystem (vgl. Abbildung 11).

**Abbildung 11: Logischer Informationsaustausch über SAPs**



Quelle: Owita GmbH

Dazu müssen die Funktionalitäten über eine Schnittstelle zum Kommunikationssystem (einen Service Access Point, SAP [14]) auf Dienste des Kommunikationssystems zugreifen können. Hierfür ist dieser SAP als Hardware (Physical-Layer) und als Interface (Strukturierung der Datenübergaben) festzulegen. Die Funktionalitäten müssen dann jedoch nicht wissen, wie der Informationsaustausch über das Kommunikationssystem realisiert wird, und umgekehrt muss das Kommunikationssystem nicht wissen, wie die Informationen für die Funktionalität strukturiert sind. Insgesamt kann der Ansatz als ein SOA-Ansatz (Service Oriented Architecture) bezeichnet werden, der eine transparente Kommunikation ermöglicht [15].

#### 4.5 Bewertung und Technologieauswahl

Eine eindeutige Vorauswahl einer spezifischen Kommunikationstechnologie hat sich aus der ersten Betrachtung und den notwendigen Anforderungen an die Eigenschaften nicht ergeben. Für die Auswahl einer Technologie sind deshalb Parameter festzulegen. Dabei gibt es für die Kommunikationstechnologie einige Kernparameter, die zwingend erfüllt sein sollen, und sekundäre Parameter die zur Entscheidung beitragen. Hier werden technische Kriterien und nicht-technische Kriterien vorgeschlagen und erläutert, um eine Bewertung der Energie- und Kommunikationssysteme vornehmen zu können. Die Kriterien werden insbesondere zur Auswahl eines Kommunikationssystems als Entscheidungsgrundlage dienen. Dazu muss ein Konsens im Bahnsektor bezüglich der Parameter als auch bezüglich der Quantifizierung hergestellt werden.

##### Konsequenz:

Es ist als Folgeschritt notwendig, die Kriterien und eine entsprechende Entscheidungsmetrik zur Festlegung genau eines Kommunikationssystems mit Experten aus dem Bahnsektor abzustimmen.

##### 4.5.1 Parameter zur Technologiebewertung

Folgende Parameter sollten für eine Entscheidung Berücksichtigung finden:

###### Performance Kommunikation:

Als Performance Parameter sind die folgenden Parameter relevant:

- **Bandbreite des Kommunikationssystems:** Die Bandbreite soll mindestens die Anforderungen zur Erfüllung der Anwendungsszenarien erreichen und eine Reserve für zukünftige Funktionen beinhalten. Als kritische Größe für die Bandbreite wurden etwa 30 kbit/s Nettodatenrate ohne Verschlüsselung und Authentifizierung der Daten

berechnet. Abhängig vom Kommunikationssystem und den Protokollen können hier durchaus auch Datenraten von 0,6 Mbit/s nötig werden.

- Erreichbare Zykluszeiten und Latenz: Die Anforderung an die Zykluszeiten stellt keine große Herausforderung für heutige Kommunikationssysteme dar. Innerhalb von zehn Sekunden soll der Status aller Wagen abgefragt werden können. Events an alle Wagen (Bremsen) sollen innerhalb von einer Sekunde bis zum letzten Wagen übertragen werden können.
- MTU (Maximum Transfer Unit): Bezeichnet die maximalen Paketgrößen, die übertragen werden können. Je größer die MTU, desto flexibler können Kommunikationsprotokolle ausgelegt werden.
- Zeit zum Verbindungsaufbau: Der Verbindungsaufbau der Kommunikation im Zug gehört zur Prozesszeit der Zugtaufe. Die Zugtaufe soll innerhalb von 120 Sekunden inklusive des Austauschs des Status und der Feststellung von Wagenreihung und -richtung abgeschlossen sein.

### **Zuverlässigkeit Kommunikation:**

Die Zuverlässigkeit der Technologien ist, neben den Performance-Kriterien, die wichtigste Eigenschaft. Sind Performance und Zuverlässigkeitskriterien nicht erfüllt, dann ist ein Einsatz der Kommunikationstechnologie nicht sinnvoll möglich. Bei der Bewertung der Zuverlässigkeit sollten systemspezifische Einschränkungen für die einzelnen Kommunikationssystemvarianten herausgestellt werden. Hierzu zählen:

- Stabilität der Technologie,
- Störeinflüsse von außen,
- Möglichkeit/Aufwand für Redundanz.

### **Technologieverfügbarkeit und Zukunftsfähigkeit:**

Die Technologieverfügbarkeit betrifft zum einen die Anzahl der Hersteller, von denen man die Technologie heute beziehen kann. Zum anderen betrifft dies die noch zu erwartende Bezugsdauer der Technologie. Ist die Verbreitung der Technologie beispielsweise nur in Consumer-Produkten vorhanden, wird von einer geringeren Lebensdauer ausgegangen. Bei manchen Technologien spielt dies beispielsweise keine Rolle, da Transceiver auch aus passiven Bauelementen nachgebildet werden können (z.B. CAN, RS485) oder Implementierungen als Codes frei verfügbar sind.

### **Verbreitung der Technologie:**

Die Verbreitung der Technologie ist einerseits ein Maß für die Dauer der Verfügbarkeit und andererseits auch ein Maß für die verfügbare KnowHow-Basis. Je größer die Verbreitung einer Technologie, desto einfacher ist es, Experten und Tools für Entwicklungen, Wartung und Tests zu den Technologien zu finden.

### **Kosten:**

Die Kosten sind ein entscheidender Faktor für die Technologieauswahl. Hierzu sind neben den Erst-Installationskosten der Systeme auch die zu erwartenden Wartungskosten während der Lebenszeit der Wagen zu betrachten.

## Energiebedarf:

Kommunikationssysteme mit einem höheren Energiebedarf sind grundsätzlich nachteilig, da weniger Reserven für andere Systeme bleiben und auch weniger Energie für die Ladung der Batterien zur Verfügung steht.

### 4.5.2 Vorgehen Bewertung

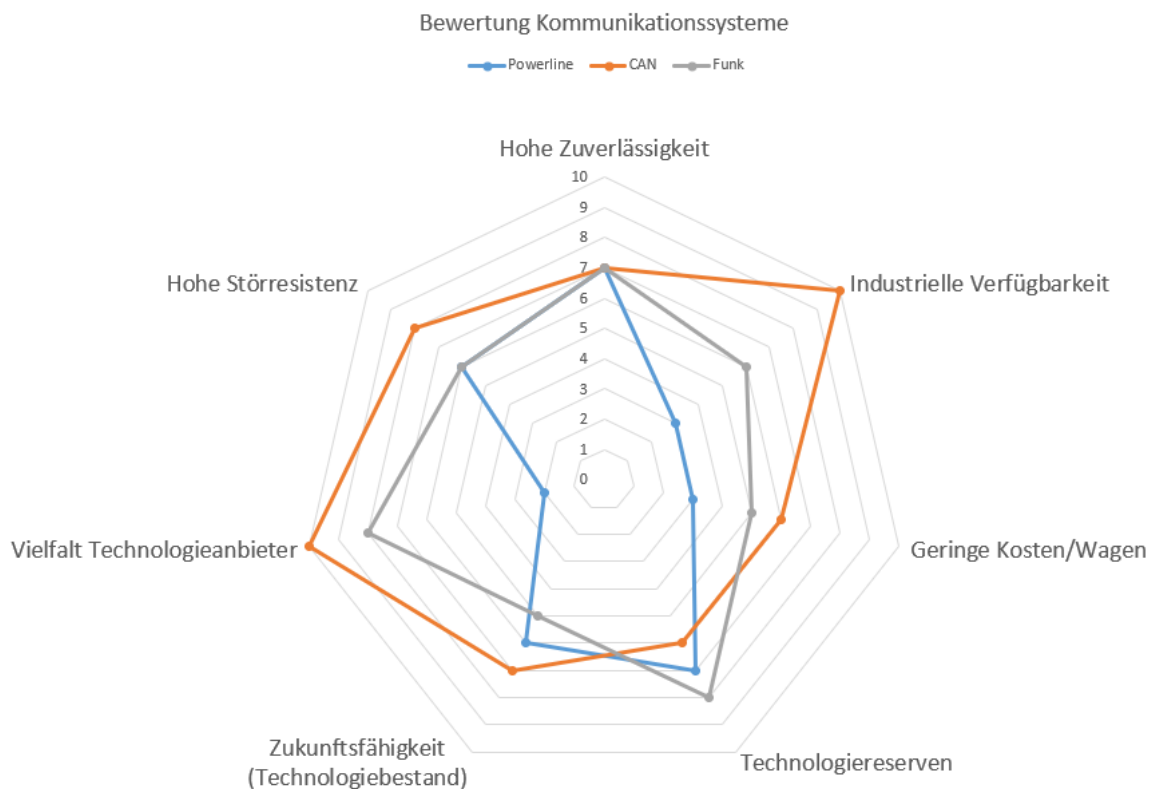
Für die Systemauswahl einer Kommunikationstechnologie und für einen Systemansatz sind folgende Kernparameter zu erfüllen:

- Die notwendige Datenrate und Zuverlässigkeit müssen erreicht werden.
- Es muss eine hinreichende Reserve in der Übertragungskapazität vorhanden sein.
- Die Technologie soll verfügbar sein und nicht bahnspezifisch entwickelt werden.
- Es sollten möglichst wenig Kontakte an der Kuppelstelle notwendig sein.

Als Kommunikationssystem wurden deshalb drei prinzipielle Systemansätze vorbewertet und aufgrund der Kriterien als zielführend angesehen: Powerline, segmentiertes CAN-System und kurzreichweitiges Funk-System. Eine Zwei-Draht-Ethernet-Lösung ist ebenfalls eine gute Option, in der die Technologieverfügbarkeit aktuell jedoch noch kritisch ist.

Zur Erstellung einer Bewertungsmetrik werden die Kriterien mit einem Erfüllungsgrad (1: sehr schlecht erfüllt, 10: sehr gut erfüllt) versehen. Gewichtet man jedes Kriterium noch mit einer Wichtigkeit, so kann durch Multiplikation von Erfüllungsgrad mit Wichtigkeit und anschließender Addition eine Gesamtbewertung für Systeme realisiert werden (vgl. Abbildung 12).

**Abbildung 12: Bewertung Kommunikationssysteme mit ersten Kriterien**





Eine abschließende Bewertung zur Auswahl eines Kommunikationssystems kann aber zurzeit nicht vorgenommen werden. Hierzu sind insbesondere zur Zuverlässigkeit der Systeme und Technologien Fragen offen, welche sich nur durch Praxistests der Kommunikationssysteme im Zusammenspiel mit den DAK beantworten lassen. Aus diesem Grund sind Spezifikationen der Kommunikation im Detail bisher nicht sinnvoll möglich, weil eine Technologieentscheidung getroffen werden muss.

**Konsequenz:**

Eine Spezifikation des Kommunikationssystems und der Protokolle wird technologieabhängige Elemente enthalten. Deshalb ist es vor einer Technologieentscheidung aktuell nicht sinnvoll möglich, eine komplette Systemspezifikation und Umsetzung des Kommunikationssystems vollständig zu erreichen. Es ist als Folgeschritt deshalb eine (europäische) Standardisierungsgruppe einzurichten, die die System- und Technologieentwicklung begleitet. Möglicherweise kann es zielführend sein, dazu eine Experten- und Entwicklungsgruppe aus Vertretern von Industrie, Bahn, Hochschulen, Zulassungsstellen und weiteren als übergreifendes europäisches Team zusammenzuführen.

**Konsequenz:**

Vor einer finalen Entscheidung zur Technologie und zum Systemkonzept für das Kommunikationssystem werden drei Kommunikationstechnologieansätze weiterverfolgt und messtechnisch untersucht. Diese werden im Weiteren ausgeführt und detailliert (Vorspezifikation).

## 5 Überblick Gesamtsystem

Ein Gesamtsystem für Automatisierungsfunktionen im SGV benötigt als Basis die Energieübertragung und die Kommunikation im Zug. Darüber hinaus werden für die Automatisierungsfunktionen verteilte elektronische Systeme im Zug notwendig. Diese bedingen Komponenten auf dem führenden Triebfahrzeug (Lok) und Komponenten in den Wagen. Das hier im Überblick skizzierte System soll die für das Gesamtsystem relevanten Komponenten beinhalten.

### 5.1 Systemkomponenten im Triebfahrzeug

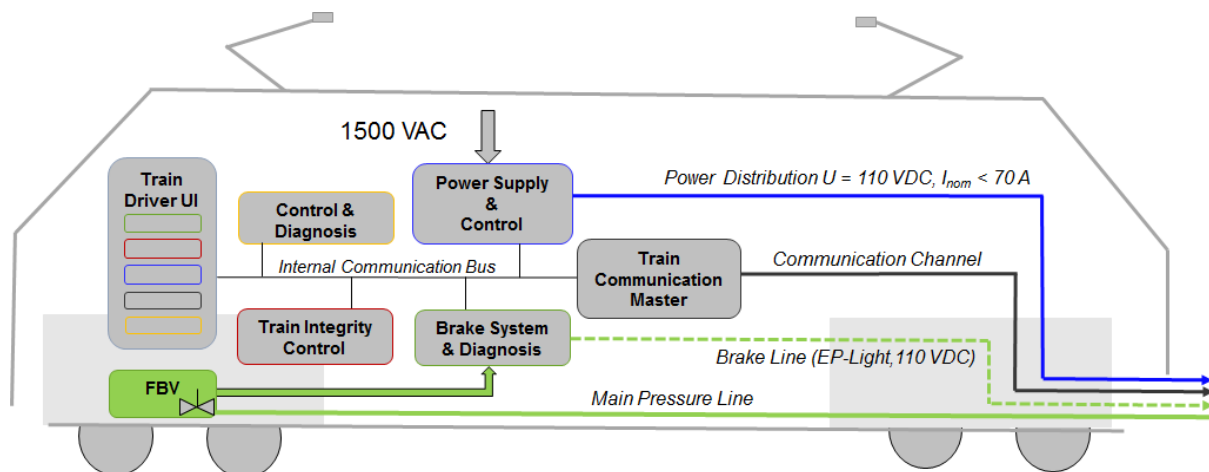
Ausgehend vom Triebfahrzeug als führendes Fahrzeug im Zug wird die Einspeisung der Energie und die Steuerung der Kommunikation erfolgen. Gleiches gilt für Steuerung oder Visualisierung der Automatisierungsfunktionen, insbesondere wenn eine Schnittstelle zum Triebfahrzeugführer nötig ist. Hierzu sind zusätzliche Komponenten im Triebfahrzeug zu installieren. Dabei sollen keine sicherheitsrelevanten Systeme im Triebfahrzeug verändert werden, um Kosten der Umrüstung zu begrenzen und Fragen der Zulassung zum jetzigen Zeitpunkt weitestgehend reduzieren zu können. Die Komponenten sind in Abbildung 13 dargestellt und werden im Weiteren erläutert.

*Das elektronische Gesamtsystem im Zug ist ein verteiltes elektronisches System. Für die einzelnen Funktionen gibt es zentrale Komponenten auf dem führenden Triebfahrzeug (Masterkomponenten) und dezentrale Komponenten in den einzelnen Wagen (Slavekomponenten). Strukturell können diese in den Fahrzeugen an einen internen Fahrzeugbus angebunden sein.*

*Für die Triebfahrzeuge sollte das System weitestgehend als „Add-On“ ausgelegt werden.*

*Komponenten unterschiedlicher Funktionen können auch als Softwarekomponenten auf einer Hardwareplattform realisiert werden.*

**Abbildung 13: Systemkomponenten im Triebfahrzeug**



Quelle: Owita GmbH

#### **Train Communication Master:**

Dieses Modul steuert soweit nötig die Zugbuskommunikation (Zugtaufe, Überprüfung, etc.) und stellt die Verbindung zwischen dem Triebfahrzeug-internen Kommunikationssystem (das die zusätzlichen neuen Systemkomponenten miteinander vernetzt) und dem Zug-Kommunikationssystem her. Das Triebfahrzeug-interne Kommunikationssystem stellt dabei

ein Fahrzeugbussystem dar, welches nicht auf dem bestehenden Kommunikationssystem des Triebfahrzeugs basiert, um eine Beeinflussung bestehender Systeme zu vermeiden.

### **Train Driver UI (MMI):**

Diese Komponente ist die Schnittstelle des Triebfahrzeugführers (Tf) zu den neuen Güterzug-Funktionalitäten. Sie zeigt dem Triebfahrzeugführer den Zustand der Automatisierungssysteme an und erlaubt eine Bedienung, bei der die primären Steuerungsmöglichkeiten im ersten Schritt folgende sind:

- Die Zugtaufe auslösen und visualisieren.
- Den Zug spannungsfrei schalten.
- Die Entkupplung vorbereiten.

Zusätzlich werden hier später weitere Automatisierungsfunktionen ansteuerbar sein, wie die automatische Bremsprobe, die Ansteuerung der EP-Bremse, und es werden Daten der neuen Zugdiagnosemöglichkeiten oder auch zur Zugintegrität hier angezeigt.

### **Internal Communication Bus:**

Zur Verbindung der einzelnen neuen Systemmodule auf dem Triebfahrzeug soll es einen internen Kommunikationsbus (Fahrzeugbus) geben. Dies kann technologisch der gleiche Kommunikationsbus sein, der auch im Zug vorhanden ist, oder es wird zur deutlichen Trennung eine andere Technologie eingesetzt. Für die Anbindung von Visualisierungen bietet es sich an, dass hier auf eine aus der Automatisierungstechnik bekannte Technologie zurückgegriffen wird, die Standardkomponenten einsetzbar macht. Die Schnittstelle zwischen dem Fahrzeugbus und dem Zugbus liegt im Kommunikationsknoten (Train Communication Master).

### **Control & Diagnosis:**

Dieses Modul stellt die zentrale Diagnostik des Gesamtsystems da. Es führt die Überwachungen und Statusmeldungen der einzelnen Systeme zusammen, leitet die daraus notwendigen, übergeordneten Konsequenzen ab, wie z.B. die Freischaltung oder Abschaltung der Energie. Es kann Steuerbefehle für die einzelnen Funktionalitäten erzeugen, sowie Warnungen an den Tf ausgeben.

### **Power Supply & Control:**

Dieses Modul stellt die Spannungswandlung von der im Triebfahrzeug vorhandenen Energiequelle (beispielsweise 1500 V<sub>AC</sub>) auf 110 V<sub>DC</sub> dar und implementiert die Sicherungssysteme zur Einspeisung in den Zug. Das Modul besitzt eine entsprechende Kommunikationsanbindung. Über diese Anbindung an den Zugbus können Energiemanagementfunktionalitäten für den ganzen Zug integriert werden. Es ist aber auch vorgesehen, dass Anforderungen durch das Modul Control & Diagnosis oder die Bedieneinheit (Tf) hier weitergegeben werden können.

### **Brake System & Diagnosis:**

Dieses Modul ist die Masterfunktion des Systems Bremse. Grundsätzlich geht es zunächst um die Aufnahme der Bremsbefehle via Führer-Bremsventil (FBV) und die Weitergabe dieser Information als Steuergröße auf den Zugbus (falls eine kommunikationsbasierte indirekte EP-Bremse implementiert wird). Darüber hinaus prüft diese Einheit das Bremssystem im Zug und sorgt für die notwendige Initialisierung und Überprüfung. Für Visualisierungen und Interaktion

mit dem Tf greift es über den Fahrzeugbus auf die Bedieneinheit zu. Das Modul wird für zwei Anwendungen benötigt:

- Automatisierte Bremsprobe: Das Anlegen und Lösen der Bremse wird bei der automatisierten Bremsprobe überwacht und mit den Diagnose-Parametern der Wagen verglichen.
- Ersatz der EP-Leitung: Ist keine separate EP-Leitung im Zug vorhanden, dann muss die Stellgröße aus dem Führerbremventil detektiert und über das Kommunikationssystem an die Wagen weitergegeben werden.

Zur Anbindung eines Brake System & Diagnosis Moduls in das Triebfahrzeug sollte eine Umsetzung auf ein  $110\text{ V}_{\text{DC}}$  Steuersignal für ein EP-Light-System bereits vorhanden sein. In diesem Fall ist eine Anbindung ohne Eingriff in sicherheitsrelevante Systeme denkbar.

### **Train Integrity Control:**

Dieses Modul realisiert die Funktionalität der Integritätsprüfung (Zugvollständigkeitserkennung) auf Seiten des führenden Triebfahrzeugs. Das System wird dem für ETCS-Anwendungen nötigen SIL aufweisen müssen [16]. Eine Anbindung an das ETCS-System des Triebfahrzeugs wird dafür zukünftig notwendig [5].

## **5.2 Systemkomponenten im Wagen**

In Abbildung 14 sind die notwendigen Basis-Systemkomponenten im Wagen zu sehen. Die Komponenten können ganz oder teilweise auch in einer einzelnen Hardware als Software-Funktionalitäten integriert sein.

### **Energiesystem:**

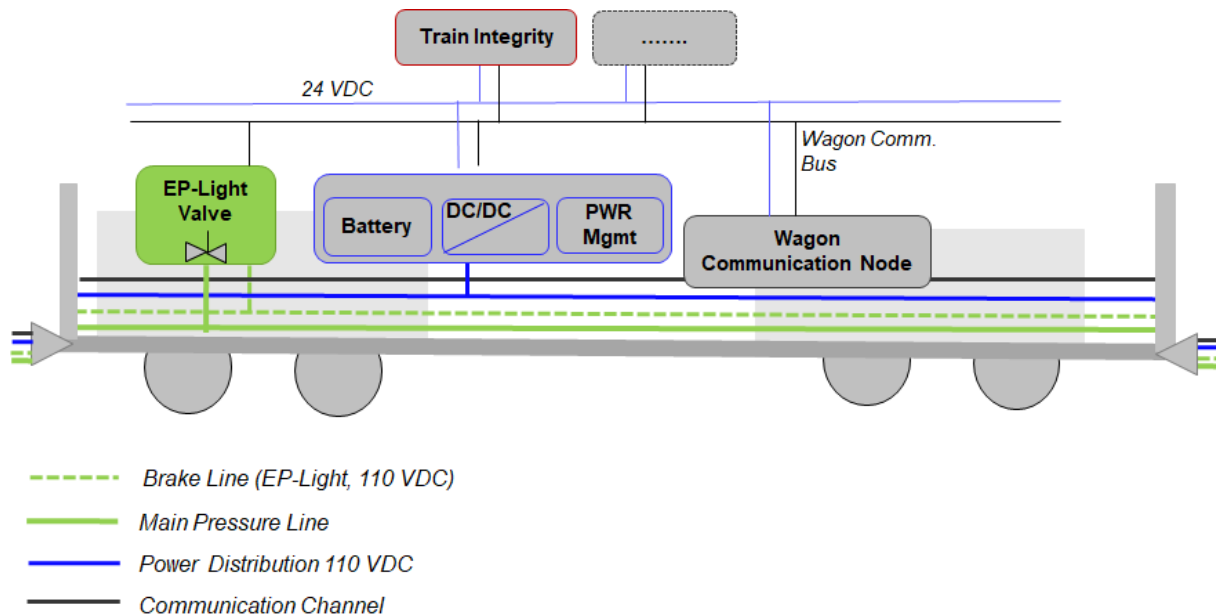
Das Energiesystem ist eine Kernkomponente im Wagen, das aus einem DC/DC-Wandler, einer Managementeinheit und einer Batterie besteht. Es stellt eine  $24\text{ V}_{\text{DC}}$  Versorgung im Wagen bereit und ist über das Zugkommunikationssystem mit der zentralen Energieversorgung und Control Einheit verbunden.

Der DC/DC-Wandler führt die Umsetzung der  $110\text{ V}_{\text{DC}}$  im Zugnetz auf das wageninterne Spannungsniveau von  $24\text{ V}_{\text{DC}}$  durch. Die Komponente Batterie bezeichnet das Batteriespeichersystem inklusive eines Batterie-Management-Systems (BMS).

### **Wagon Communication Node:**

Diese Komponente ist die physikalische Verbindung zum Zug-Kommunikationssystem. Hier ist die gesamte Kommunikationsfunktionalität realisiert. Dieser Kommunikationsknoten kommuniziert mit der zentralen Kommunikationseinheit auf dem Triebfahrzeug.

**Abbildung 14: Systemkomponenten im Wagen**



Quelle: Owita GmbH

### Train Integrity:

Diese Komponente ist für die Integritätsprüfung zuständig. Bei der Zugtaufe wird diese durch die Information „Letzter Wagen“ aktiviert. Es ist durchaus sinnvoll, die Komponente abgesetzt von anderen Teilen aufzubauen, um eine Zulassung (SIL<sup>18</sup> gemäß ETCS-Anforderungen) zu vereinfachen. Das Kommunikationssystem im Wagen und im Zug wird dann lediglich als „unsicherer Kommunikationskanal“ genutzt, um eine abgesicherte und authentifizierbare Nachricht zur Integritätskomponente im Triebfahrzeug zu übertragen.

### Zugschlussbeleuchtung:

Die Zugschlussleuchte ist auf jeder Seite des Wagens, welche von der zentralen Steuerung im Wagen über eine Bedieneinheit im Triebfahrzeug eingeschaltet werden kann. Es ist damit eine einfache weitere Applikation.

### EP-Bremse Light:

Diese Komponente beinhaltet die Funktionen, welche durch die elektrische Ansteuerung des Bremsventils bzw. eine automatisierte Bremsprobe (Sensorik) benötigt werden. Auch bei Realisierung der Ansteuerung der EP-Bremse durch eine separate EP-Bremsleitung, müssen die Informationen der benötigten Sensorik in Richtung Triebfahrzeug kommuniziert werden können. Deshalb ist eine Anbindung an den Kommunikationsknoten erforderlich.

<sup>18</sup> SIL: Der Safety Integrity Level beschreibt die Sicherheitsanforderungsstufe an ein System.

## 6 Konzept Energiesystem

In den vorherigen Kapiteln wurden die Anforderungen an das Energie- und Kommunikationssystem abgeleitet, mit der Konsequenz, dass für eine Systementscheidung (auch für die DAK) Voruntersuchungen nötig sind. Dazu müssen entsprechende Systeme zumindest als Funktionsmuster aufgebaut werden. Hierfür werden die Rahmenbedingungen für das Energiesystem weiter ausgeführt.

### 6.1 Anforderungen

Die Anforderungen an die Energieversorgung wie sie aus den Automatisierungsfunktionen für den Güterverkehr resultieren, wurden in Kapitel 3 abgeleitet. Bei einer speziell auf den jeweiligen Einsatzzweck angepassten und optimierten Hardware wird ein mittlerer Leistungsbedarf mit Reserven von 30 W pro Wagen erwartet. Das System ist batteriegepuffert.

Eine offene Anforderung ist noch die Batteriekapazität. Die Bestimmung der notwendigen Batteriekapazität erfolgt unter der Annahme einer notwendigen „Überbrückungszeit“, in der die Versorgung durch die Batterie gegeben sein muss. Außerdem wird die durchschnittliche Leistungsentnahme aus der Batterie benötigt, in die auch die Häufigkeit von automatischen Entkuppelungsvorgängen mit eingeht, da hierzu elektrische Energie benötigt wird.

Drei unterschiedliche Szenarien sind für die Energieversorgung und die konkrete Systemauslegung relevant:

1. Ein Wagen ist im fahrenden Zug und wird über die Energieleitung versorgt. In diesem Zustand wird die höchste durchschnittliche Leistungsaufnahme aus der Energieleitung erwartet, da zusätzlich zu den elektrischen Verbrauchern auch die Batterie nachgeladen wird.
2. Ein Wagen ist im fahrenden Zug ohne Versorgung über die Energieleitung (Fehlerfall bei Stromversorgung). Der Zug muss eine definierte Zeit im Stromsparmmodus batterieversorgt bewegt werden können. Dabei sollen mindestens das Kommunikationssystem und die Zugintegritätsprüfung versorgt werden. (Zeitbereich: einige Stunden)
3. Der Wagen ist unversorgt und steht im Abstellgleis oder zur Be- und Entladung. Der Wagen muss hinreichend Energie für das Entkuppeln, die Handbremsfunktion und die Versorgung relevanter Systeme (z.B. Weckfunktion Kommunikationssystem, Kommunikation zur Infrastruktur) bereithalten. (Zeitbereich: zwei bis drei Wochen und z.B. zehn Kuppelvorgänge).

*Es erfolgt eine Vorspezifikation für das Energiesystem, um auf dieser Basis eine Umsetzung angehen zu können. Über eine Energieleitung mit 16 mm<sup>2</sup> Kabelquerschnitt und Übergangswiderständen von 2x7 mΩ pro Kupplungsschnittstelle erlaubt das System eine Mindestleistung von 2,7 W pro Meter Wagenlänge. Das ist ausreichend für die Anforderungen. Die Einspeisung erfolgt mit 110 V<sub>DC</sub> mit einem typischen Nennstrom von 25 A. Die Batteriekapazität mit 65 Wh bis 100 Wh sollte je nach Wagenlänge dimensioniert sein und so bei 30 Prozent Ladezustand einen Notbetrieb von zwei Stunden erlauben. Das Schutzkonzept (keine Erdung, spannungsfrei kuppeln/entkuppeln) erfordert neben Kurzschlusserkennungen ein zentrales Energiemanagement.*

## 6.2 Systemfestlegungen Energiesystem

Das Bordnetz des Wagens ist so konzeptioniert, dass dem Zugnetz nur Energie entzogen werden kann. Es wird durch die Wagen keine Energie zurückgespeist. Zwar könnte eine batteriebasierte Rückspeisung in das Zugnetz ggf. für eine etwas längere Zeit im Fehlerfall der Energieversorgung wichtige Systeme versorgen, wird aber im Gesamtsystem für nicht kosteneffizient gehalten.

Das Energiesystem wird zur festen Definition der Leistungsentnahme ein Powermanagement mit zentralen und dezentralen Komponenten enthalten. Das Powermanagement für den Zug erfolgt zentral auf dem führenden Triebfahrzeug und bestimmt, wie viel zusätzliche Energie ein Wagen entnehmen darf (beispielsweise, um Batterien schneller laden zu können). Hierzu ist dezentral eine Powermanagementkomponente im Wagen erforderlich, z.B. als parametrierbares Netzteil. Einzelne Verbraucher (oder Verbrauchergruppen) müssen durch das dezentrale Powermanagement im Wagen auch abschaltbar sein.

Zur Quantifizierung der zur Verfügung stehenden Leistung werden im Folgenden die Anforderungen an die Stromversorgung im Zug definiert. Dies betrifft den Leitungsquerschnitt, die Kontaktstellen im elektrischen Koppler der Kupplungen, sowie den Übergang zwischen Kupplung und Wagen. Ziel ist es, über den Lebenszyklus realisierbare Maxima (worst case Abschätzungen) zu definieren.

**Hinweis:** Für die Berechnung und Auslegung des Energiesystems ist ein Tool erstellt worden, welches in Anlage 2 erläutert und vorgestellt wird.

### **Elektrische Eigenschaft der Kuppelstelle:**

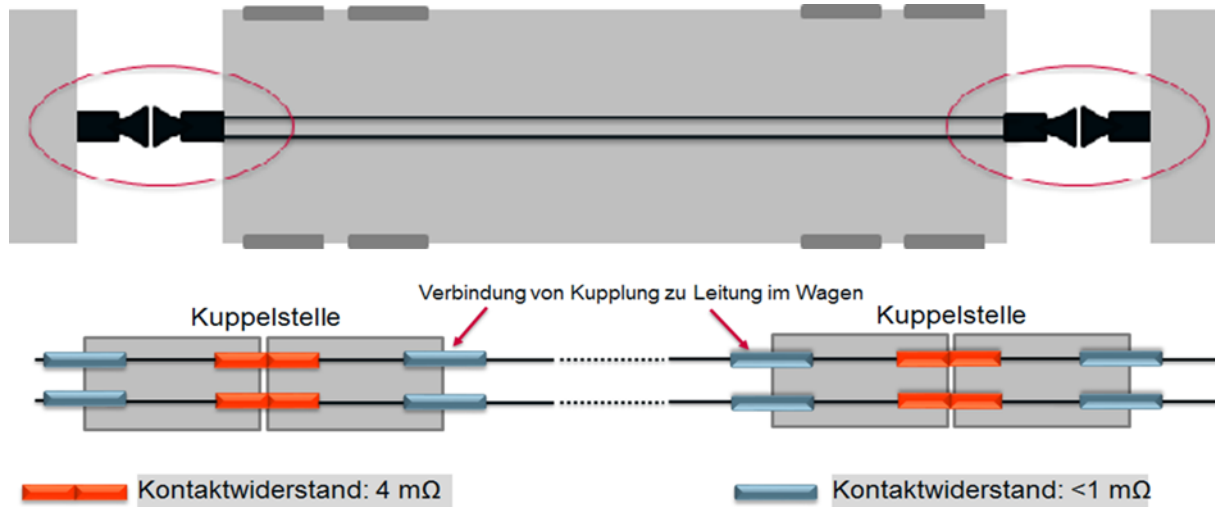
Um die Verluste an der Kuppelstelle berücksichtigen zu können, muss der elektrische Widerstand hierfür bestimmt werden. Dazu wird ein Aufbau wie in Abbildung 15 dargestellt betrachtet.

Die Kontaktstellen im elektrischen Koppler der Kupplung sind den Umweltbedingungen und mechanischer Belastung beim Kupplungs- und Entkupplungsprozess ausgesetzt. Als elektrischer Widerstand werden für typische Steckverbinder aus der Bahntechnik<sup>19</sup> über den Lebenszyklus (10.000 Steckvorgänge) etwa 4 mΩ angegeben. An den Verbindungsstellen vom Wagen zur Kupplung kann von einem deutlich geringeren Widerstand ausgegangen werden. Aus technischer Sicht muss hier nicht zwingend ein Stecker eingesetzt werden. Alternativ könnte auf eine Schraubverbindung mit Ringschuh zurückgegriffen werden. Daher wird hier von einem Widerstand pro Kontaktstelle von 0,8 mΩ ausgegangen. Die Widerstände wurden mit einem Sicherheitsaufschlag von 20 Prozent versehen. Dadurch wird insgesamt mit einem maximalen Widerstand, bedingt durch Steck- und Schraubkontakte, von 7 mΩ pro Wagen und Leitungsrichtung gerechnet.

---

<sup>19</sup> z.B. Fa. Harting.

**Abbildung 15: Elektrische Kontaktstellen am Wagen**



Quelle: Owita GmbH

### Kabelanforderungen und Verlustwiderstand Kabel:

Für die Energieleitung im Wagen wird ein 16 mm<sup>2</sup> Kupfer-Kabel vorgesehen [1]. Hierdurch ergibt sich ein Widerstand von 1,13 mΩ/m Kabellänge. Mit einer Längenzugabe von 20 Prozent (für Kabelverlegung) ergibt sich somit ein Wert von 1,35 mΩ/m Wagenlänge.

Insgesamt muss ein Wagen somit folgende elektrische Impedanz unterschreiten:

$$R_{\text{wagen}} = \text{Wagenlänge} * 1,35 \text{ m}\Omega + 7 \text{ m}\Omega$$

### Systemspannung:

Die Spannung wird mit einem Nominalwert von 110 V<sub>DC</sub> festgelegt. Auf Seite der Einspeisung (Triebfahrzeug) gelten folgende Spannungsbereiche:

$$U_{\text{min}} = 110 \text{ V}_{\text{DC}}$$

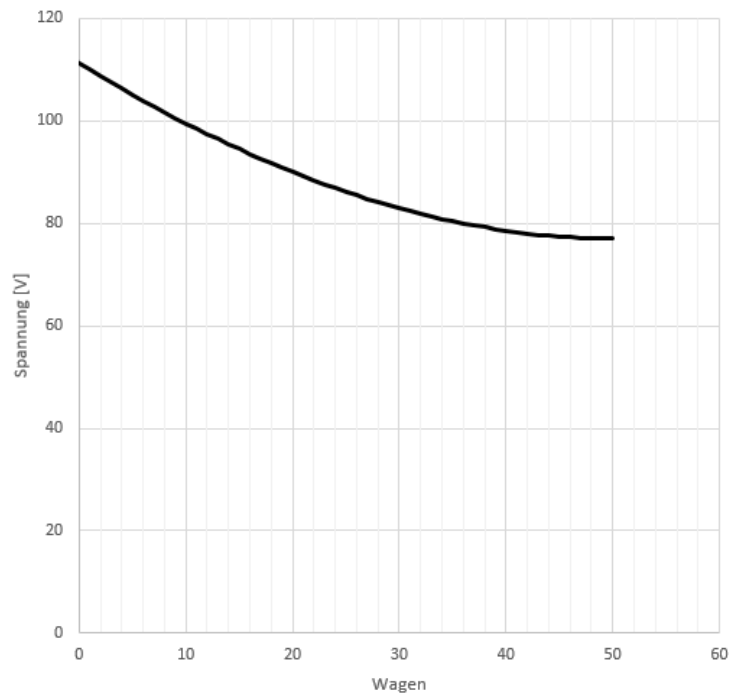
$$U_{\text{max}} = 116 \text{ V}_{\text{DC}} (U_{\text{min}} + 5\%)$$

Die Berechnung der Spannungsobergrenze folgt nicht der Norm EN 50155 mit dem Faktor 1,2 der Nominalspannung, da eine Spannung oberhalb von 120 V<sub>DC</sub> aufgrund der Schutzmaßnahmen unbedingt zu vermeiden ist [8].

Neben der definierten Einspeisespannung ergibt sich ein Spannungsabfall über die Leitung im Zug. Die Berechnung des Spannungsabfalls basiert auf der Definition der Leitungsimpedanz sowie der unteren Spannungsschwelle von 77 V<sub>DC</sub> nach EN 50155 [7] (Faktor 0,7 der Nominalspannung) (vgl. Abbildung 16).



**Abbildung 16: Spannungsverlauf im Zug mit 50 Wagen und 750 m Länge bei einer maximal möglichen Leistungsaufnahme von 41 Watt/Wagen**



Quelle: Owita GmbH

### **Systemleistung:**

Aus den Festlegungen ergibt sich eine maximal zur Verfügung stehende Leistung für jeden Wagen. Ist kein Powermanagement vorhanden, wird jedem Wagen diese berechnete Leistung garantiert. Die zur Verfügung stehende Leistung ist dabei auf die Länge des Wagens normiert. Somit dürfen längere Wagen eine höhere Leistung aufnehmen als kürzere Wagen. Die maximale Leistung des Wagens wird mit den LüP-Maßen<sup>20</sup> berechnet:  $P_{\max, \text{wagen}} = 2,7 \text{ W/m}$ .

Daraus errechnet sich für den mit 12,5 m kürzesten Wagen für diese Systemauslegung eine maximale Leistung von 34,1 W, die aus der Energieleitung entnommen werden darf. Diese erfüllt damit die Anforderungen.

### **Schutzkonzept:**

Die Erdung der Wagen kann grundsätzlich nicht konstruktiv sichergestellt werden. Um dennoch einen Potentialausgleich der Wagen sicherzustellen, wird die Kupplung elektrisch und niederohmig leitend mit dem Wagenkasten kontaktiert. Diese Verbindung ist unabhängig und potentialgetrennt von der Energieübertragung. An den Kupplungen muss bei Verbindung des mechanischen Teils eine elektrische Kontaktierung stattfinden, dieses kann über die mechanische Kupplung gegeben sein oder erfordert einen zusätzlichen Steckkontakt in der Kupplung.

### Netzauslegung und Schutzmaßnahmen im Zugnetz:

Die notwendigen Schutzmaßnahmen ergeben sich aus dem Netz-Standard, der umgesetzt wird. Als Netz wird ein Sicherheitskleinspannungsnetz (SELV) mit sicherer Trennung vom Einspeise-Netz (Einspeisestelle im Triebfahrzeug) vorgesehen (DIN-VDE 0100-7). Hierbei ist

<sup>20</sup> LüP = Länge über Puffer

keine Erdung der Wagen notwendig. Zur Umsetzung muss allerdings die Obergrenze von max. 120 V<sub>DC</sub> im Zugnetz sichergestellt werden.

#### Schutzmaßnahmen bei Einspeisung (Triebfahrzeug):

In der Einspeisestelle sind neben der Sicherstellung der Einhaltung der maximalen Systemspannung auch Einrichtungen zum Leitungsschutz und zum Schutz der Steckverbinder (Brandschutz) vorzusehen. Dies betrifft insbesondere die Erkennung von Kurzschlüssen im Zugnetz. Die entstehenden Kurzschlussströme können abhängig von der Entfernung zur Einspeisestelle sehr unterschiedlich sein. Zu beachten ist der hohe Gesamtwiderstand bei langen Zügen. Hierdurch sind die maximal auftretenden Ströme im System gering in Relation zum Betriebsstrom. Es kann deshalb unter Umständen sehr lange dauern bis eine thermische Sicherung auslöst. Dies erschwert vor allem den Kurzschlusschutz, da die magnetische Schnellauslösung nicht auslösen wird, wenn ein Kurzschluss am fernen Ende der Versorgungsleitung auftritt. Auftretende Kurzschlussströme an der Einspeisestelle (Triebfahrzeug) wurden am Anfang des Zuges mit 4350 A, am Ende des Zuges mit 29 A ermittelt.

Ein am Ende des Zuges auftretender Kurzschluss kann aufgrund der unschädlichen Höhe (Bemessung der Steckkontakte 70 A, Energiekabel ca. 80 A bei 16 mm<sup>2</sup>) ggf. akzeptiert werden, wenn dieser durch das Energiesystem (Diagnose der Wagen) erkannt und gemeldet wird.

### **6.3 Vorspezifikation der Systemkomponenten**

Der Systemaufbau im Wagen und die Umsetzung des Systems kann je nach Kupplung und Kommunikationssystem unterschiedlich ausfallen. Des Weiteren sollen den Wagenhaltern/Wagenbauern Freiheiten bezüglich der technischen Umsetzung gelassen werden. Daher werden in diesem Unterkapitel nur verbindliche Komponenten und deren Eigenschaften vorspezifiziert, um eine Umsetzung für notwendige Versuche machen zu können.

#### **6.3.1 Vorspezifikation Kabel**

Zur Verbindung der Kupplungen untereinander wird, unabhängig vom Kommunikationssystem, ein Energiekabel benötigt. Das Kabel mit einer nominalen Spannung von 110 V<sub>DC</sub> muss folgende Voraussetzungen erfüllen:

**Tabelle 12: Anforderungen Energiekabel**

Eigenschaft	Norm	Wert
Brandschutz	EN 50355:2013 [17]	
Spannungsfestigkeit	EN 50155 [7]	1.500 V
Verlegerandbedingungen	DIN EN 50343:2014 [18]	

Quelle: Owita GmbH

Alle Kabel müssen nach der Norm EN 50355 [17] geprüft sein. Für Wagen mit EX-Schutz und beim Transport von Gefahrgut können ggf. weitere normative Anforderungen bestehen.

### 6.3.2 Einspeisesystem auf dem führenden Fahrzeug

Das Einspeisesystem auf dem führenden Fahrzeug muss die elektrische Versorgung aller nachfolgenden Wagen gewährleisten. Dazu muss ein entsprechender Gleichstromsteller nachgerüstet werden, wobei zulassungsrelevante Änderungen auf dem Triebfahrzeug zu vermeiden sind. Änderungen sollten immer in enger Abstimmung mit den relevanten Triebfahrzeugherstellern erfolgen.

Die Einspeisestelle muss durch einen Bediener (Triebfahrzeugführer) über eine Bedienschnittstelle (HMI) gesteuert werden können. Während des Kupplungs- und Entkupplungsprozesses ist die Einspeisung auszuschalten (spannungsfrei kuppeln und entkuppeln). Ein unbeabsichtigtes Wiedereinschalten ist konstruktiv zu verhindern. Fehlverhalten des Systems sollte durch Diagnose überwacht und in einer Anzeige dargestellt werden. Mögliche detektierbare Fehler sind:

- Leerlauf, kein Strom;
- Überstrom, Kurzschluss;
- Unplausibler Strom, oszillierend, periodisch, springend, Unterbrechungen.

Sämtliche Zustände sind verwechslungsfrei auf dem HMI anzuzeigen. Ggf. ist ein Fernaufruf sinnvoll (für DAK Typ 4), so dass das Personal bei manuellem Betätigen der Kupplung jederzeit den Zustand überprüfen kann. Die elektrische Vorspezifikation des Einspeisesystems ist in der folgenden Tabelle 13 zusammengefasst:

**Tabelle 13: Parameter zur Überwachung der Einspeisung (ohne Powermanagement)**

Parameter	Wert
Nennspannung	110 V <sub>DC</sub> +5%/-0%
Nennstrom	< 25 A <sup>21</sup>
Timings:	
• Ausschaltzeit (Nennstrom $\searrow$ $\leq$ 10 mA)	1 s
• Einschaltzeit ( $\leq$ 10 mA $\nearrow$ Nennstrom)	1 s
Maximalstrom (<5 s)	I <sub>NENN</sub> x 1.2
Einschaltstromstoß	I <sub>NENN</sub> x 5
Diagnose Grenzwerte:	
• Minimalstrom	0.1 A
• Maximalstrom (16 mm <sup>2</sup> Kabel)	80 A (5 A/mm <sup>2</sup> )
• Strombelastbarkeit Steckkontakte bei 16 mm <sup>2</sup>	70 A

Quelle: Owita GmbH

### 6.3.3 Energiemanagement

Die maximale elektrische Leistung, die ein Wagen der Energieleitung entnehmen kann, wurde auf eine Leistung pro Meter normiert. Ist eine Leistungsüberwachung der einzelnen Wagen implementiert (Energie monitoring), dann kann durch ein zentrales Energiemanagement im Triebfahrzeug auch eine Zuweisung von höherer Leistungsentnahme an einzelne Wagen erfolgen. Insbesondere bei kürzeren Zügen könnte den Wagen deutlich mehr Leistung zur Verfügung gestellt werden als in einem Zug mit 750 m Länge. Diesen Ansatz verdeutlicht auch

<sup>21</sup> Der Nennstrom wurde mit dem Excel-Energietool (siehe Anlage) mit den Parametern 50 Wagen und 750 m Zuglänge berechnet.

die Abbildung 5 in Kapitel 3. Die zusätzliche Leistung kann beispielsweise zur schnelleren Ladung der Batterien genutzt werden. Eine weitere Funktion besteht in der kurzzeitigen Versorgung von Axtorik zur Be- und Entladung von Wagen. Werden alle Wagen in einen Sparmodus geschaltet, kann so einem großen Verbraucher kurzzeitig eine Leistung im unteren Kilowatt-Bereich zur Verfügung gestellt werden, um z.B. Türen/Klappen auffahren zu können. Hierzu ist anzumerken, dass die DC/DC-Wandler in den Wagen für die höhere Leistung ausgelegt sein müssen.

Zur Realisierung eines Energiemanagements werden ein Monitoring und eine Anomalieerkennung benötigt, so dass im Wagen zu Diagnosezwecken des Energiesystems, folgende in Tabelle 14 dargestellten Größen erfasst werden sollen.

**Tabelle 14: Wagen-Parameter an Energiemanagement**

Parameter	Einheit	Auflösung
Spannung auf 110 V <sub>DC</sub> Leitung	V	10 mV
Strom auf 110 V <sub>DC</sub> Leitung	A	10 mA
Eingangsstrom 110 V <sub>DC</sub> zu 24 V <sub>DC</sub> Netzteil	A	1 mA
Kapazität der Batterie	Wh	0,1 Wh
Ladungszustand der Batterie	%	1 %
Temperatur Spannungswandler	°C	0.5°C

Quelle: Owita GmbH

### 6.3.4 Systemkonzept und Auslegung für den Wagen

#### DC/DC Wandler (Netzteil)

In jedem Wagen werden DC/DC-Spannungswandler (Netzteile) zur Transformation der 110 V<sub>DC</sub> Spannung (nach Definition 77 V<sub>DC</sub> – 115 V<sub>DC</sub> [7]) zur Versorgung der Wagensysteme benötigt. Hierzu kann ggf. auf Standard-Technik mit Bahn-Zulassung zurückgegriffen werden (EN 50155). Dabei sind folgende Aspekte zu beachten:

- Einschaltstrom/Softstart: Bedingt durch die lange Leitungslänge und Filter in den DC/DC-Spannungswandlern, wird es zu hohen Einschaltströmen und möglichen Überspannungen beim unkontrollierten Einschalten der Versorgungsspannung kommen. Daher wird ein Softstart im Einspeisemodul benötigt, der die Spannung langsam ansteigen lässt und so Strom- und Spannungsspitzen auf der Versorgungsleitung verhindert. Bei der Auslegung der Einschaltcharakteristik ist darauf zu achten, dass die Kurzschlussstromtragfähigkeit der Steckkontakte eingehalten wird.
- Ausgangsleistung: Die Abgabeleistung des Netzteils muss parametrierbar sein, um ein intelligentes Energiemanagement umsetzen zu können.
- Schnittstelle: Das Netzteil muss eine Kommunikationsschnittstelle zur Wagensteuerung, zur Diagnose und Steuerung der Ausgangsleistung bereitstellen.
- Einschaltvorgang: Vor dem Einschalten der Versorgungsspannung muss sichergestellt werden, dass der Zug fertig zusammengestellt ist, bzw. dass die Versorgungsspannung eingeschaltet werden darf. Hierzu kann u.a. die Kommunikation mit einbezogen werden. Der genaue Ablauf ist vom Aufbau der Kupplung und vom Kuppelvorgang abhängig.
- Trennung vom Zugnetz: Je nach Ausprägung der Kupplung, kann eine Möglichkeit zur aktiven Trennung des Netzteils vom Zugnetz nötig sein. Sollte eine mechanische

Trennung der Kupplung durch Kupplungs-Kontakte erkannt werden, dann kann ggf. eine sofortige Trennung der elektrischen Systeme vom Zugnetz zum Schutz der Kupplungskontakte sinnvoll sein (Vermeidung eines stehenden Abriss-Funken bei DC-Strömen).

## Batterie und Batteriemangement

Bezüglich der geeigneten Batterien gibt es von der DB Systemtechnik bereits Untersuchungen<sup>22</sup>. Folgende Batterietechnologien sind, abhängig von den Einsatzbedingungen, geeignet:

- Bleiakkumulator (bereits heute vielfach in Bahnanwendungen vorhanden);
- Alternativen stellen ausgewählte Lithium-Zellen dar (Lithiumtitanat), diese erlauben Betriebstemperaturen von bis zu -40°C bis +70°C.

Es kann sinnvoll sein, für besondere Temperaturbereiche (Temperaturen unter -25°C, Klasse T2 und TX nach EN50155) andere Batterietypen zu verwenden (erweiterter Temperaturbereich für Fahrzeuge, die in Schweden und Finnland eingesetzt werden).

**Batteriekapazität:** Es wird eine (nutzbare) Batteriekapazität von **60 Wh bis 100 Wh** je nach Wagenlänge für sinnvoll erachtet. Je nach Ausprägung der zu versorgenden Systeme und des Energie-Grundbedarfs kann dies schwanken. Die Empfehlung basiert auf folgenden Randbedingungen:

- Es stehen 6 W bis 10 W bei einem kurzen Wagen zum Laden der Batterie zur Verfügung: Im Regelfall sollte eine Batterie pro Stunde mit 10 Prozent ihrer Kapazität pro Stunde geladen werden.
- Ein Wagen mit einer verbleibenden Batterie-Kapazität von 30 Prozent sollte sicher ein bis zwei Stunden batterieversorgt fahren können. Für diesen (Notfall-)Modus wird eine Leistung von 10 W angenommen. Hieraus ergibt sich eine notwendige (nutzbare) Kapazität von ca. 65 Wh.

**Batteriemangement:** Es muss ein Batteriemangementssystem vorhanden sein, das den Zustand der Zellen hinsichtlich der maximalen Kapazität und des aktuellen Ladezustands erfasst [9]. Defekte Zellen sollen erkannt werden. Die Ladeleistung der Zellen muss gesteuert werden können.

**Schnittstelle:** Es ist eine Kommunikationsschnittstelle vorzusehen, die relevante Parameter an die Wagensteuerung übergibt (Zustand der Zellen, Ladezustand, Spannung und Strom). Die Ladeleistung muss über die Kommunikationsschnittstelle konfigurierbar sein.

## Konsequenz:

Für die Umsetzung des Energiesystems kann für einen Funktionsprototypen auf vorhandene Industriekomponenten und Technologien zurückgegriffen werden. Für eine bahnzugelassene Umsetzung werden jedoch spezifische, optimierte Systementwicklungen nötig. Grundlage hierfür sind die Definition eines Funktionsprotokolls, die Validierung der Randbedingungen und der Vorspezifikation sowie die letztendliche Standardsierung des Energiesystems als Basis für ein interoperables System mit Komponenten verschiedener Hersteller.

<sup>22</sup> Untersuchung der DB-Systemtechnik: „Pufferbatterie für Güterwagen mit digitaler automatischer Kupplung (DAK)“ 19-58946\_TT.TVE32(2)\_Pufferbatterie\_Güterwagen\_DAK vom 06.12.2020.

## 7 Konzept Kommunikationssystem

### 7.1 Grundansatz

Das Kommunikationssystem im Zug lässt sich grundsätzlich in einen Zugbus und einen Fahrzeugbus aufteilen. Der Ansatz der strukturellen Trennung der Systeme ist bereits in Bahnanwendungen unter dem Begriff TCN (Train Communication Network) im Bereich des Personenverkehrs bekannt. Das TCN spezifiziert hierzu eine Reihe von Kommunikationssystemen verschiedener Physical-Layer (IEC 61375) für den Zugbus [14] [19].

Ziel des hier vorgezählten Kommunikationssystems ist es, den Zugbus in wesentlichen Aspekten zu definieren, um die Umsetzung von Funktionsmustern, insbesondere für notwendige Tests in Güterzügen mit DAK, zu ermöglichen. Dazu wird in jedem Fahrzeug ein Kommunikationsknoten als funktionale Systemkomponente des Zugbussystems benötigt.

Die Automatisierungsfunktionen im Güterwagen benötigen Funktionskomponenten im Wagen, die an den Zugbus angebunden sein müssen.

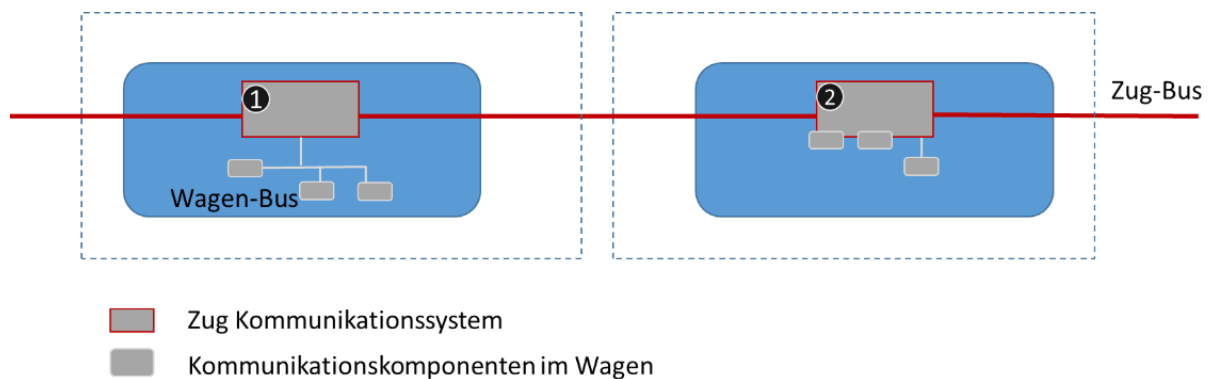
Dies verdeutlicht die Abbildung 17 strukturell. Die Funktionskomponenten können über ein separates Bussystem (Fahrzeugbus) an Kommunikationsknoten angebunden sein (1). Dazu muss eine Art Gateway-Funktion (Fahrzeugbus-Zugbus) im Kommunikationsknoten implementiert sein [20]. Alternativ kann die Anbindung der Funktionskomponenten vollständig bzw. teilweise im Kommunikationsknoten integriert sein (Softwaremodul im Kommunikationsknoten), bzw. eine individuelle Schnittstelle aufweisen (2).

*Für das Kommunikationssystem sind drei verschiedenen Ansätze (Powerline, CAN, Funk) weiter zu verfolgen, die hier als Grundkonzept ausgeführt und für einen Aufbau grob vorkonzeptioniert werden. Kernansatz ist die Schaffung einer transparenten Zugbus-kommunikation, die den Automatisierungsfunktionen Service Access Points (SAPs) als Interface anbietet. Damit wird die Zugbus-kommunikation als System gekapselt. Die Funktionsentwicklungen und deren Protokolle können unabhängig erfolgen. Verschiedene Zugbustechnologien sollen dieselben Interfaces anbieten.*

*Hierfür werden die logische, interne Adressierung, Vereinbarungen zu Ausrichtungen und Grundansätze zu Zuständen des Zugbussystems vorgeschlagen.*

*Die Konzeptansätze für das System Powerline PLUS mit einer Latenzzeit von ca. 600 ms bei einer Bitrate größer ein Mbit/s, für ein CAN-FD basiertes System mit einer Latenzzeit von ca. 200 ms bei einer Bitrate von ca. 800 kBit/s sowie ein WiFi-basiertes Funksystem im 2,4 GHz ISM Band mit einer Latenzzeit von ca. 800 ms bei einer Bitrate von 10 Mbit/s werden aufgezeigt.*

**Abbildung 17: Trennung von Zugbus und Fahrzeugbus**



Quelle: Owita GmbH

In den Untersuchungen zu möglichen Physical-Layern für ein Kommunikationssystem haben sich drei/vier verschiedene Ansätze für einen Zugbus ergeben. Die Ansätze können allerdings erst nach einer praktischen Evaluierung in Kombination mit den neuen automatischen Kupplungen abschließend bewertet werden. Das in diesem Kapitel beschriebene Kommunikationskonzept ist daher als Vorspezifikation sehr generell gehalten und bildet das Prinzip einer transparenten Zugbuskommunikation auf alle Technologievarianten ab und schafft damit Offenheit auch für zukünftige Systemerweiterungen.

Wie in der Beschreibung der Kernfunktionen deutlich wurde, wird sich der Informationsaustausch anwendungsspezifisch mit eigenem Datenaustausch und eigenen Funktionsprotokollen gestalten. Das Kommunikationssystem soll die Inhalte dieser Funktionsprotokolle transparent durch den Zug übertragen. Dazu wird die Schnittstelle einer Funktionalität zum Kommunikationssystem als Service Access Point (SAP) [14] realisiert. Jede Funktion greift über einen eigenen Service Accesspoint auf das Zugbussystem zu. Diese Zugriffs- und Austauschmechanismen (Interfaces) sind für die Funktionalitäten festzulegen.

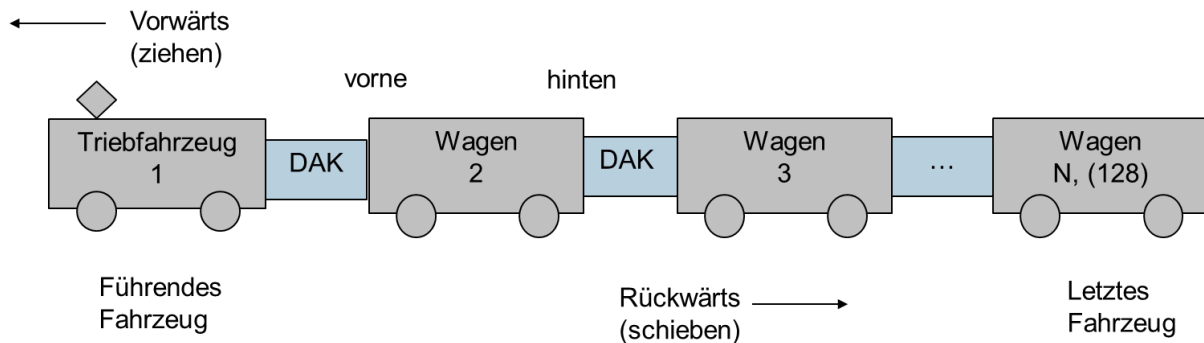
## 7.2 Begriffe und Bezeichnungen

Jeder Zug hat ein führendes Fahrzeug (typischerweise Triebfahrzeug [Lok]) und folgende Fahrzeuge (typischerweise Wagen). Zur Zugbildung und Diagnose sind zwingend eine individuelle (logische) Adressierung sowie eine Feststellung der Hauptfahrtrichtung der Fahrzeuge erforderlich. Dazu bedarf es zunächst der nachfolgenden Definition für ein Nummerierungsschema und für die Richtungsdefinition der Fahrzeuge im Zugverband.

### Logische Adressierung

Die logische Adressierung beschreibt die Vergabe von sequenziellen Adressen für Fahrzeuge im Zugverband. Die Vergabe von logischen Adressen für die Fahrzeuge wird bei der Zugtaufe vorgenommen [2]. Das führende Fahrzeug (Fahrtrichtung vorwärts) bekommt die logische Adresse „1“. Die logischen Adressen der folgenden Fahrzeuge werden ausgehend vom führenden Fahrzeug inkrementiert, wie Abbildung 18 verdeutlicht.

**Abbildung 18: Adressierungsschema im Zug-Verband**



Quelle: Owita GmbH

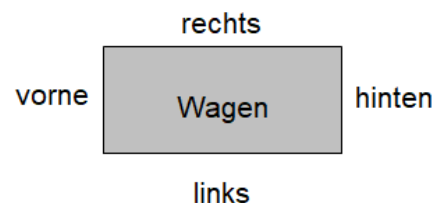
Neben der logischen Adresse verfügt jedes Fahrzeug über eine weltweit einmalige Kennzeichnung, die Wagennummer (oder Triebfahrzeugnummer). Mit der Zugtaufe erfolgt eine Zuordnung der Wagennummer zur logischen Adresse. Mit Hilfe und Kenntnis dieser Zuordnungs-Tabelle ist auch eine Adressierung von Wagen über die eindeutige Wagennummer möglich.

Solange der Zugverband keine neuen Fahrzeuge erhält oder bestehende Fahrzeuge trennt, bleiben die logischen Adressen gültig. Wird eine Änderung detektiert (z.B. anhängen von Fahrzeugen), werden alle zugewiesenen Adressen ungültig und es findet eine neue Adressvergabe statt.

### Ausrichtungen

Jedes Fahrzeug hat eine Ausrichtung im Zug, bzw. eine linke und rechte Seite. Als *vorne* wird die dem führenden Fahrzeug zugewandte Stirnseite bezeichnet, als *hinten* die dem führenden Fahrzeug abgewandte Stirnseite. Die Seiten rechts und links werden über die Blickrichtung von *hinten* hin zum führenden Fahrzeug definiert (vgl. Abbildung 19, als Sicht von oben).

**Abbildung 19:  
Orientierung des Wagens**



### Letzter Wagen

Die logische Adresse (N) des letzten Wagens entspricht der Anzahl der Fahrzeuge im Zug (wenn alle Fahrzeuge einen Kommunikationsknoten aufweisen). Eine logische Ansprache (Adressierung) des letzten Wagens erfolgt über die Nummer „N“. Zusätzlich wird für den letzten Wagen eine weitere logische Adresse (128) vergeben. Dadurch kann auf einfache Weise, z.B. ein Service zur Überwachung der Zugintegrität etabliert werden.

### Sonstige Adressierung

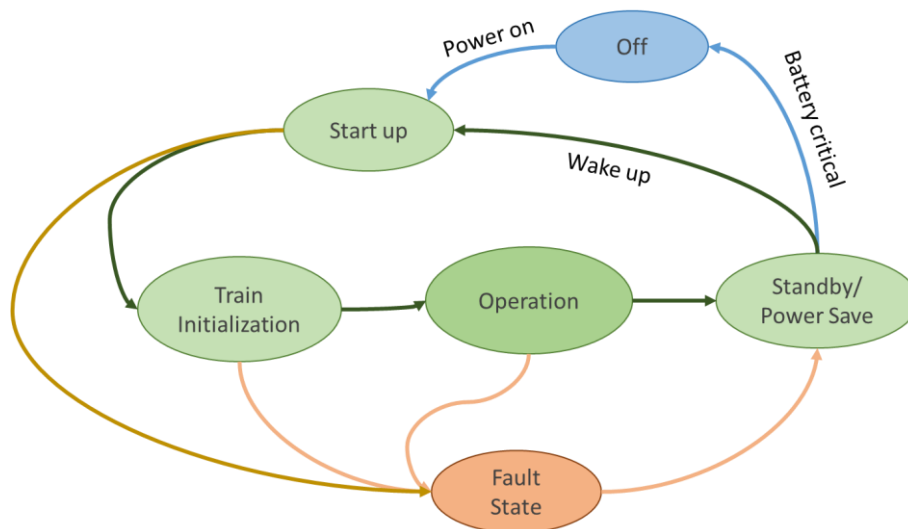
Sollen alle Fahrzeuge im Zug gleichzeitig angesprochen werden, spricht man von einer Broadcast-Adressierung. Hierfür ist eine logische Broadcast-Adresse vorzuhalten. Aber auch bestimmte Fahrzeuggruppen (z.B. alle Triebfahrzeuge im Zug) sollen gemeinsam gleichzeitig adressiert werden können. Hier spricht man von einer Multicast-Adressierung und es sind bestimmte Multicast-Adressen vorzuhalten.



### 7.3 Logische Systemzustände

Für das Kommunikationssystem lassen sich verschiedene Zustände und Phasen beschreiben. In Abbildung 20 ist eine erste grobe Zustandsstruktur dargestellt, die für einen Kommunikationsknoten implementiert werden muss.

**Abbildung 20: Zustände des Kommunikationssystems**



Quelle: Owita GmbH

#### 7.3.1 Zustand „Off“

Der Zustand wird erreicht, wenn im Wagen keine elektrische Versorgung mehr bereitsteht, d.h. der Ladezustand der Batterie zu niedrig ist. In diesem Zustand sind alle Systeme im Wagen abgeschaltet und können nur durch Einschalten der Spannungsversorgung (110 V<sub>DC</sub>) wieder aktiviert werden, was dazu führt, dass der Wagen wieder elektrische Energie hat.

#### 7.3.2 Zustand „Start up“

Durch „Power on“, ein spezielles Wake-Up-Event oder ein spezielles Reset-Event geht der Kommunikationsknoten in den Einschaltzustand „Start up“. Dieses Wake-up-Event oder Reset-Event (z.B. Timeout von Nachrichten durch den Kommunikationsmaster) ist technologieabhängig. Mit Übergang in diesen Zustand erfolgt ein Neustart des Kommunikationsknotens und der Kommunikationsknoten wird initialisiert.

- Er nimmt den Zustand „nicht getauft an“. Seine logische Adresse ist nicht initialisiert.
- Er arbeitet im Grundmodus und reagiert nur auf Broadcast-Adressen. Eine wichtige Funktion bei einem segmentierten Kommunikationssystem ist die Aktivierung der Weiterleitung aller Pakete auf dem Zugbus. Dies muss schon in diesem Zustand sichergestellt sein, damit alle Kommunikationsknoten vom Master erreicht werden können.
- Nach einer Timeout-Zeit geht der der Kommunikationsknoten wieder in den Standby-Modus.
- SAPs werden in dieser Phase nicht bedient (es arbeitet nur das Kommunikationssystem).

### 7.3.3 Zustand „Train-Initialization“

In dieser Phase wird davon ausgegangen, dass alle Teilnehmer auf dem Zugbus erreichbar sind. Jeder Wagen wird durch ein Kommando des Kommunikationsmasters aus dem Start-up-Zustand in den Modus „Initialisierung“ gebracht. In diesem Zustand ist eine Weiterleitung von Broadcast-Nachrichten wie im Start-up-Zustand gewährleistet. Der Master führt eine Initialisierung (Zugtaufe [2]) durch, die technologieabhängig realisiert werden muss. Nach diesem Schritt sind folgende Zustände erreicht:

- Der Kommunikationsmaster (im Triebfahrzeug) kennt alle Fahrzeuge im Zugverband (Anzahl, Reihenfolge, Wagennummer, Typ).
- Fahrzeuge haben ihre logische Adresse erhalten und kennen ihre Ausrichtung.
- Es ist der letzte kommunikationstechnische Wagen im Zug bestimmt und es ist bestimmt, ob dies der letzte Wagen im Zug ist.
- Fahrzeuge haben ihre SAPs initialisiert und der Kommunikationsmaster kennt die Services, die vom Wagen unterstützt werden.

Nach fehlerfreier Initialisierung aller Wagen (erfolgreiche Zugtaufe), wird der Zustand seitens des Kommunikationsmasters in „Operation“ versetzt.

Fällt in dieser Phase die Kommunikation mit dem Master des Kommunikationssystems aus, geht das System nach einer Timeout-Zeit wieder in den Start-up-Zustand zurück.

Schlägt eine Initialisierung zum x-ten Mal fehl, erfolgt ein Übergang des Kommunikationsknotens in den Fehlerzustand.

### 7.3.4 Zustand „Operation“

Der Zustand „Operation“ wird nach erfolgreicher Initialisierung (Zugtaufe) erreicht. In diesem ist das Kommunikationssystem im Zug initialisiert und kann von den Funktionalitäten genutzt werden: d.h.

- der Kommunikationsmaster prüft zyklisch die Kommunikationsfähigkeit im Zug und führt eine Eigendiagnose durch (ggf. interne Weiterleitung durch Leitungsumschaltung).
- Die Kommunikationsknoten ermöglichen eine transparente Kommunikation über den Zugbus und bedienen die SAPs entsprechend. Sie führen ihre Routingaufgaben für Nachrichtenpakete durch.
- Automatisierungsfunktionen im Zug (Funktionalitäten) können das Kommunikationssystem nutzen.

Folgende Zustandswechsel sind möglich:

- Vom Zustand Operation wird in den Zustand „Fault-State“ bei Eintreten eines gravierenden Fehlers gewechselt. Dies liegt vor, wenn eine Weiterleitung von Paketen nicht mehr möglich ist. Die konkreten Realisierungen und Auswirkungen sind dabei technologieabhängig. Wichtige Bedingungen sind aber:
  - Timeout Kommunikation: Für eine Zeit von 15 Minuten werden keine Telegramme auf dem Zugbus empfangen.
  - Eintreten von gravierenden (Kommunikations-)Fehlern.

- Der Wechsel vom Zustand Operation in den Zustand „Standby“ wird unter folgenden Bedingungen vom Wagen durchgeführt:
  - Der Master (auf dem Triebfahrzeug) versetzt die Wagen in den Zustand „Standby“
  - Es gibt ein Signal, dass eine Entkupplung bevorsteht (Zugauflösung).
  - Ggf. durch eine Kombination aus Timeout der elektrischen Versorgung und Timeout der Kommunikationsüberwachung: Die Versorgung über das Zugnetz (110 V<sub>DC</sub>) ist für eine Zeit unterbrochen und die Kommunikation ist unterbrochen (Triebfahrzeug wurde hart vom Zug getrennt). Hierzu muss das Energiesystem im Wagen ein Signal geben, das vom Kommunikationsknoten eingelesen werden kann.

### **7.3.5 Zustand „Standby“ oder „Power Save“**

Im Zustand „Standby“ ist das Zugbus-System nicht aktiv. Andere Systeme können in diesem Zustand je nach Art und Bedarf jedoch weiter versorgt sein.

### **7.3.6 Zustand „Fault-State“**

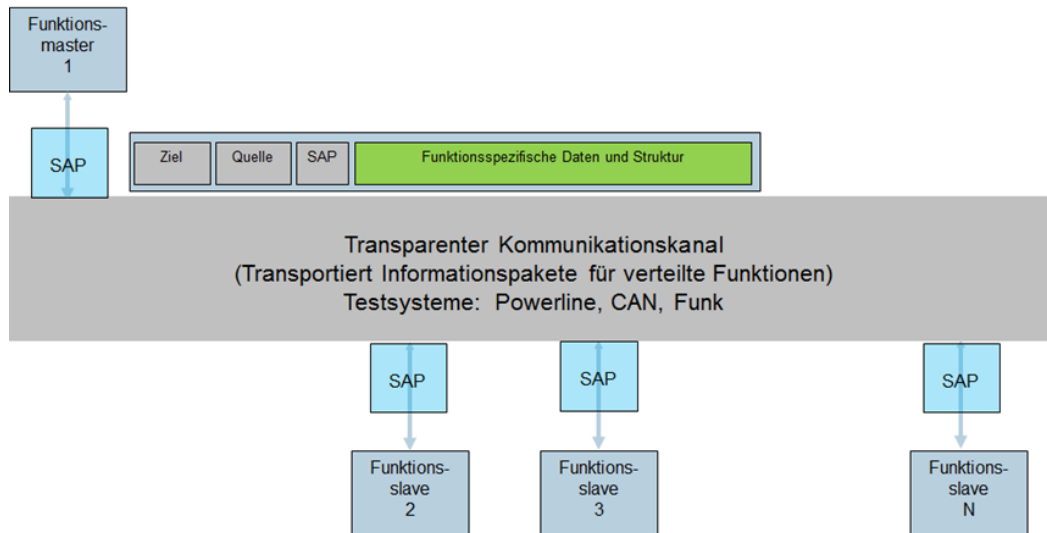
Im Fehlerzustand muss die Auswirkung sehr technologieabhängig gestaltet werden. Kernaspekte sind:

- Es muss der Kommunikationsmaster auf dem führenden Triebfahrzeug möglichst über die Situation informiert werden.
- Es muss das Integritätssystem am Zugende möglichst über die Situation informiert werden.
- Es muss möglichst ein zweiter Kommunikationsweg greifen (Überbrückung des Wagens).
- Die Systeme im Wagen können nicht mehr kommunizieren.

## 7.4 Kommunikationsarchitektur

Als Architektur für die Kommunikation wird ein SOA-Ansatz (Service Oriented Architecture [15]) vorgeschlagen, um eine Entkopplung der Anwendungen untereinander, sowie vom unterlagerten Kommunikationssystem zu erreichen. Es ermöglicht und hilft monolithische Hardware- und Programmstrukturen zu vermeiden, fördert so eine offene Architektur und schafft die Basis, um langfristige Kompatibilität zu erreichen.

**Abbildung 21: Anbindung der SAPs über einen physikalischen Kanal**



Quelle: Owita GmbH

Dieser Grundansatz ist für eine Anwendung (verteilte Funktion) in der Abbildung 21 verdeutlicht: Die Anwendung ist über einen SAP an das Kommunikationssystem angebunden. Jedes Fahrzeug, das Komponenten dieser Funktion hat, stellt über seinen Kommunikationssystemknoten diesen entsprechenden SAP zur Verfügung.

Das Kommunikationssystem stellt der Anwendung quasi Container mit einer spezifischen Datenbreite (MTU: Maximal Data Unit oder der Payload) für den Austausch von Datenpaketen zur Verfügung, die dann im Netzwerk weitergeleitet werden. Die Anwendung kann den Inhalt des Containers beliebig füllen – und damit spezifische Funktionsprotokolle implementieren. Für das Kommunikationssystem spielt der Inhalt der Anwendungsdaten keine Rolle. Die dafür notwendigen Strukturierungselemente des Kommunikationssystems zeigt die folgende Abbildung 22.

**Abbildung 22: Aufbau der Kommunikationslayer**

Service-Application-Layer		APP A	APP B	.....	APP N	
Service-Access-Point Layer		SAP A	SAP B	.....	SAP N	
Transport and Authentication	Transport-, Auth-Layer		Transport-, Auth-Layer (TCP/IP & TLS Auth)			
Fragmentation-Layer	CAN-FD Fragmentation					
Network-Layer	Network-Layer (CAN Bridge)					
			Network-Layer (Bridge / Switch)			
MAC-Layer	MAC-Layer CAN-FD		MAC-Layer Powerline		MAC-Layer RF	
Physical-Layer	Transceiver CAN-FD		PHY-Layer Powerline		PHY-Layer RF	

Quelle: Owita GmbH

Diese Elemente werden im Folgenden weiter erläutert und mit Anforderungen versehen.

### 7.4.1 Physical-Layer und MAC-Layer

Der Physical-Layer legt fest, wie ein informationstragendes Datensignal physikalisch realisiert und übertragen wird und legt das Übertragungsmedium (z.B. Kabel), sowie die Anbindung an das Medium (z.B. Stecker) fest. Der Physical-Layer kann in diesem Kontext zusammen mit dem MAC-Layer, als unterste Schicht des Kommunikationssystems betrachtet werden. Der MAC-Layer beschreibt die Strukturierung des informationstragenden Datensignals in Form eines Frames und legt Adressierungsverfahren und Zugriffsverfahren auf das Medium fest. Diese beiden Elemente sind für jede Kommunikationstechnologie (CAN, Ethernet, WLAN, ...) festgelegt und sie sind unterschiedlich. Als Konsequenz aus dem Physical-Layer einer Technologie für den Zugbus sind folgende Aspekte zu beachten:

- Senden von adressierten Datenpaketen: Der Technologie wird ein Paket mit Daten und einer Zieladresse übergeben. Die Zieladresse ist eine Hardware-Adresse der Technologie, die nicht mit der logisch vergebenen Adresse (siehe Kapitel 7.2, logische Adressierung) übereinstimmen muss.
- Senden von Broadcast Datenpaketen: Es wird der Technologie ein Paket mit Daten und einer Broadcast-Zieladresse übergeben. Die Zieladresse ist eine Hardware-Broadcast-Adresse, die nicht mit der logischen Adresse übereinstimmen muss.
- Empfang von adressierten Paketen: Pakete mit der eigenen Hardwareadresse werden empfangen und an die überlagerten Ebenen weitergegeben. Dies betrifft auch Pakete mit einer Hardware-Broadcast-Adresse.

### 7.4.2 Network-Layer

Der Network-Layer hat die Funktion der Weiterleitung von Datenpaketen in einem Netzwerk. Der Network-Layer entscheidet wie mit Paketen zu verfahren ist. Auf der Kommunikationsleitung eingehende Pakete werden entweder weitergeleitet oder im Falle der eigenen Adresse nur intern an die Komponenten im Fahrzeug weitergegeben.

*Hinweis: Im Falle der Funk-Kommunikation mit WiFi und bei Powerline PLUS oder einer Zwei-Draht-Ethernet-Lösung kann hier auf IP-Technologien (oder Switch-*

Technologien<sup>23</sup>) aufgesetzt werden. Für CAN-FD ist eine spezifische Zugbus-Lösung zu implementieren.

### 7.4.3 Fragmentation-Layer

Der Fragmentation-Layer ist eine optionale Ebene und muss nicht von jedem Kommunikationssystem implementiert werden. Der Fragmentation-Layer hat die Aufgabe Datenpakete aus der Applikation in Teilpakete zu trennen und einzeln zu versenden (und auf der Empfangsseite wieder zusammenzuführen), sofern die Maximum Transfer Unit (MTU) des Kommunikationssystems die für die Funktionen garantierten Paketgrößen unterschreitet.

*Hinweis: Im Falle der Funk-Kommunikation mit WiFi und bei Powerline PLUS oder einer Zwei-Draht-Ethernet-Lösung wird davon ausgegangen, dass die MTU mit 1500 Bytes ausreichend für die Kommunikation der Funktionen ist. Im Falle der CAN-FD Kommunikation kann, bedingt durch die MTU von 64 Bytes, ein Fragmentation-Layer notwendig werden*

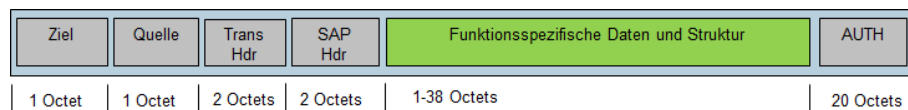
### 7.4.4 Transport- und Authentication-Layer

Der Transport-Layer ermöglicht den Datenaustausch zwischen Applikationen unterschiedlicher Kommunikationsteilnehmer quasi als eine Punkt-zu-Punkt Verbindung im Netzwerk. Er ist die Mittlerstelle für die Übertragung der Pakete zum Service-Access-Point-Layer in Richtung Applikation und zum Network-Layer oder ggf. dem Fragmentation-Layer in Richtung Übertragungssystem.

Ein wichtiger Aspekt des Layers ist die Möglichkeit zur Integration einer Authentifizierung und auch einer Verschlüsselung der Daten. Insbesondere die Authentifizierung der Daten kann zur Gewährleistung der Betriebssicherheit (z.B. Zugintegrität) eine wichtige Rolle spielen und sollte bedacht werden. Angestrebter Ansatz zur Authentifizierung ist eine PKI (Public Key Infrastructure) Lösung. Entsprechende Mechanismen hierzu müssen dafür jedoch noch ausgearbeitet werden.

*Hinweis: Beruht der Network-Layer auf IP-basierten Kommunikationstechnologien würde dieser Layer durch die Protokolle TCP bzw. UDP abgebildet werden. Hinzu kommt optional ein Protokoll zur Sicherung der Authentizität der Daten (ggf. TLS). Bei CAN oder CAN-FD muss hier ein eigenes Protokoll spezifiziert bzw. adaptiert werden. Einen Ansatz zeigt die Abbildung 23.*

**Abbildung 23: Protokollspezifischer Frame-Aufbau für CAN-FD mit Authentifizierung**



Quelle: Owita GmbH

Als maximale Payload (MTU) wird dem Application-Layer unter Nutzung von CAN-FD eine Anzahl von 38 Bytes zur Verfügung gestellt, welche in einem Frame übertragen werden können. Bei größeren Datenmengen ist die Übertragung in mehreren Frames durch Implementierung einer Fragmentierung möglich.

<sup>23</sup> Switche (Schalter) werden in Ethernet-basierten Netzwerken eingesetzt, um eine Weiterleitung von Daten-Frames innerhalb eines Netzwerkes (Ein Adressenbereich) zu ermöglichen. Auf einer Netzwerkebene finden sich eigentlich Router (IP), die Pakete zwischen Netzwerken weiterleiten. Hier wird technisch davon ausgegangen, dass innerhalb eines Zuges genau ein Netzwerk vorliegt, so dass für eine Paketweitergabe auf Switch-Technologien gesetzt werden kann.

#### **7.4.5 Service-Access-Point-Layer**

Im Service-Access-Point-Layer wird für jeden Service (jede Funktionalität, die das Kommunikationssystem nutzt) ein eigener SAP definiert. Je nach Service-Identität werden eingehende Pakete vom Zugbus an den zuständigen SAP weitergegeben. Wie der SAP mit dem Paket verfährt, kann für unterschiedliche Funktionalitäten auch unterschiedlich sein. Das Paket kann einer Applikation im Service-Application-Layer direkt zugeführt werden (interner Datenaustausch, wenn die Applikation als Softwaremodul im Kommunikationsknoten realisiert ist), es kann auf eine spezielle Schnittstelle geführt werden (z.B. serielle Schnittstelle), oder es kann für ein Fahrzeugbussystem aufbereitet werden, wenn die Applikation in einer externen Komponente realisiert ist. Im letzteren Fall hat der SAP quasi eine Gateway-Funktion zum wageninternen Fahrzeugbus.

#### **7.4.6 Service-Application-Layer**

Der Service-Application-Layer bildet die Funktionalität (die einzelnen Automatisierungsanwendungen im Güterzug) ab. Eine dieser Funktionalitäten ist das Kommunikationssystem selbst, das bestimmte Aufgaben wie die Zugtaufe oder die Bereitstellung von Statusinformationen zum Kommunikationssystem etc. erfüllt.

#### **7.4.7 Logische Adressen**

Während der Zugtaufe werden im Kommunikationssystem die Adressen der Kommunikationsknoten (in jedem Fahrzeug einer) aufsteigend ausgehend von der Fahrtrichtung vergeben [2]. Der Prozess der Vergabe wird über den SAP „Kommunikation“ geregelt, und die logische Adresse an den Network-Layer weitergegeben. Einen Vorschlag zeigt Tabelle 15. Das führende Fahrzeug vergibt i.d.R. die Adressen und erhält selbst die Adresse 1. Die Adresse 0 ist nicht vergeben und repräsentiert den „nicht initialisierten Zustand“. Das letzte Fahrzeug im Zugverband erhält zusätzlich die Adresse 128. Die Adressierung der Fahrzeuge erfolgt über diese logische Adresse im Zug. Zusätzlich können alle Fahrzeuge über die Broadcast-Adresse 255 angesprochen werden. Des Weiteren werden Multicast-Adressen für besondere Gruppen vergeben. Zur Adressierung aller Wagen wird die Adresse 251 verwendet, zur Adressierung aller angetriebenen Fahrzeuge wird die Adresse 252 verwendet. Nicht initialisierte Fahrzeuge können über die Adresse 253 angesprochen werden.

**Tabelle 15: Logische Adressen im Zugverband**

Adresse	Ziel Fahrzeuge
1	Führendes Fahrzeug
2 - 120	Reguläre Fahrzeuge
121-127	frei
128	Letztes Fahrzeug
129-250	frei
251 (Multicast)	Alle Wagen
252 (Multicast)	Alle angetriebenen Fahrzeuge
253 (Multicast)	Nicht initialisierte Fahrzeuge
254	frei
255	Broadcast: alle Fahrzeuge

Quelle: Owita GmbH

#### 7.4.8 Funktionsadressen für SAPs

Jedem SAP (Service Access Point) ist eine dedizierte Service-Nummer zugeordnet. Die Umsetzung der Service-Nummer im Protokoll kann sich abhängig vom Kommunikationssystem allerdings unterscheiden. Für das CAN-basierte System wird ein Byte zur Adressierung des SAPs vorgesehen. Einen Vorschlag hierzu zeigt die Tabelle 16.

**Tabelle 16: Adressierung von SAPs**

SAP Index	Funktion / System
1	Kommunikation
2	Energie
3	Kupplung
4	Bremse
5	Zugintegrität
6	Antrieb
7	Diagnose
8	Zugschluss
9-99	Reserviert
100-199	Wagenspezifische Sensorik/Aktorik
255	Testsystem

Quelle: Owita GmbH



## 7.5 Systemkonzept Powerline

Das Powerline-System basiert auf einer Kommunikation über das durchgehende Energiekabel. Als System hierzu wurde das zurzeit in der Entwicklung befindliche System Powerline PLUS ausgewählt. Bei der Powerline Übertragung werden die zu übertragenden Datenpakete auf die Energieleitung aufmoduliert. Für diese Bandpassübertragung wird ein gewisser Frequenzbereich benötigt, der durch eine Bandbreite und eine Mittenfrequenz gekennzeichnet ist. Auf der Leitung werden die hochfrequenten Signale gedämpft, so dass auf langen Leitungen Maßnahmen zur Signalauffrischung (Repeater) vorzusehen sind.

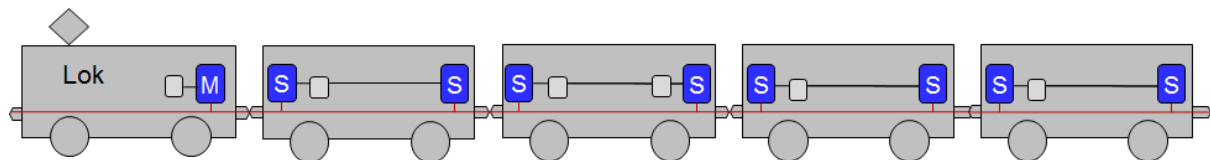
### 7.5.1 Detailierung von Systemstruktur und -topologie

Bei diesem System ist der Kommunikationsknoten auf dem Triebfahrzeug der Kommunikationsmaster (M) und die Kommunikationsknoten in den Wagen werden als Kommunikationsslave (S) bezeichnet. Um eine Strecke von 750 m Zuglänge (inklusive des Triebfahrzeugs) überbrücken zu können, bekommen einzelne Slaves im Initialisierungsprozess die Funktion von Repeatern (Relay Slaves / Relay Nodes). Diese leiten dann Frames (Pakete auf dem Physical-Layer) weiter. Datenpakete für den entsprechenden Wagen werden an die Wagen-internen Kommunikationssysteme weitergegeben (Abbildung 24, graue Kästen).

Zur Feststellung der Wagenrichtung sind zwei Kommunikationsknoten jeweils in der Nähe der Kupplung notwendig (Abbildung 24). Die Powerline-Modems, als Schnittstelle des Kommunikationsknoten zur Energieleitung, sind kapazitiv mit der Energieleitung gekoppelt. Es ist zu empfehlen, die Stichleitung in einer Wagenanschlussbox, bei der eine Verbindung zwischen der 110 V<sub>DC</sub> Versorgung und dem Powerline-Modem hergestellt wird, nicht zu lang werden zu lassen, um zusätzliche Reflektionen auf der Leitung zu vermeiden.

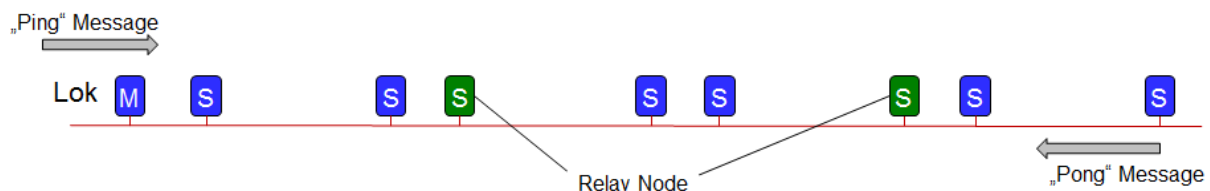
Die Versorgung des Modems erfolgt durch ein separates Netzteil bzw. durch die 24 V<sub>DC</sub> Versorgung in den Fahrzeugen.

**Abbildung 24: Powerline-System im Güterzug**



Quelle: Owita GmbH

**Abbildung 25: Nachrichtenfluss und Bus-Zugriff im Powerline System**

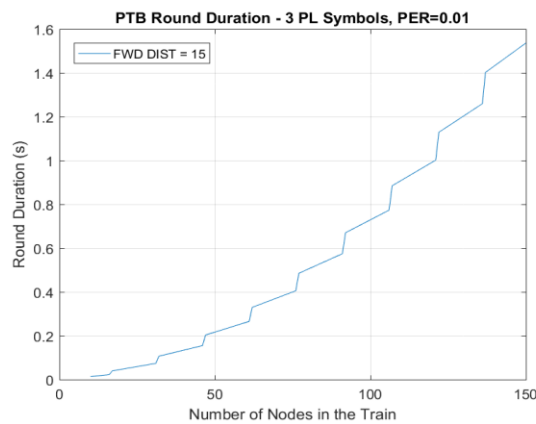


Quelle: Owita GmbH

Der Bus-Zugriff selbst wird durch den Master im Triebfahrzeug gesteuert, es liegt somit eine Master-Slave Kommunikationssteuerung vor, die als Verfahren Time Division Duplex (TDD [21]) verwendet. Dies ist in Abbildung 25 verdeutlicht: Der Master sendet eine Nachricht (Ping-Nachricht), welche sich über das gesamte Stromnetz im Zug ausbreitet. Durch die Signaldämpfung im Zug ist die Reichweite der Nachricht begrenzt und wird durch Relay-Slaves

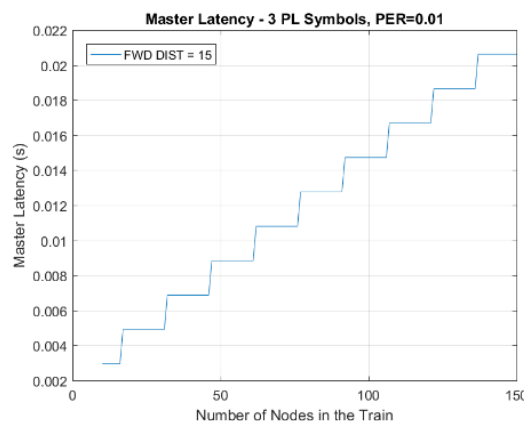
im gleichen Frequenzbereich wiederholt. Am Ende des Zuges wird die Nachricht dann durch den letzten Slave zum Master gespiegelt (Pong-Nachricht). Der angesprochene Teilnehmer (Slave) antwortet nach Erhalt der Nachricht vom Master mit den entsprechenden Antwortdaten. Die Kommunikation lässt sich hierbei in Kommunikationszyklen einteilen. In einem Zyklus fragt der Master alle Slaves mindestens einmal ab. Eine andere Reihenfolge oder Priorisierung von bestimmten Slaves wäre auch möglich. Die Zeit für einen Kommunikationszyklus ist somit linear von der Anzahl der Slaves und somit der Wagen im Zug abhängig. Hierzu wird von der Hochschule Luzern (HSLU)<sup>24</sup> eine Zeit (Zykluszeit/Round-Duration) von 700 Millisekunden bei einer Anzahl von 50 Wagen und 100 Slaves (Nodes) angegeben. Der Master hingegen hat die Möglichkeit mit jeder Ping-Nachricht Informationen, z.B. einen Befehl an alle Slaves zu senden. Somit beträgt die Latenz in diesem Fall lediglich ca. 15 Millisekunden bei gleicher Anzahl Wagen bzw. Slaves.

**Abbildung 26: Latenz für die Kommunikation von Slaves zu Master**



Quelle: plc-tec AG / HS Luzern

**Abbildung 27: Latenz für die Kommunikation von Master zu Slaves**



Quelle: plc-tec AG / HS Luzern

<sup>24</sup> Die Systementwicklung für das Powerline PLUS System erfolgt durch die plc-tec AG in Zusammenarbeit mit der Hochschule Luzern, SBB Cargo und deutschen Systemlieferanten.

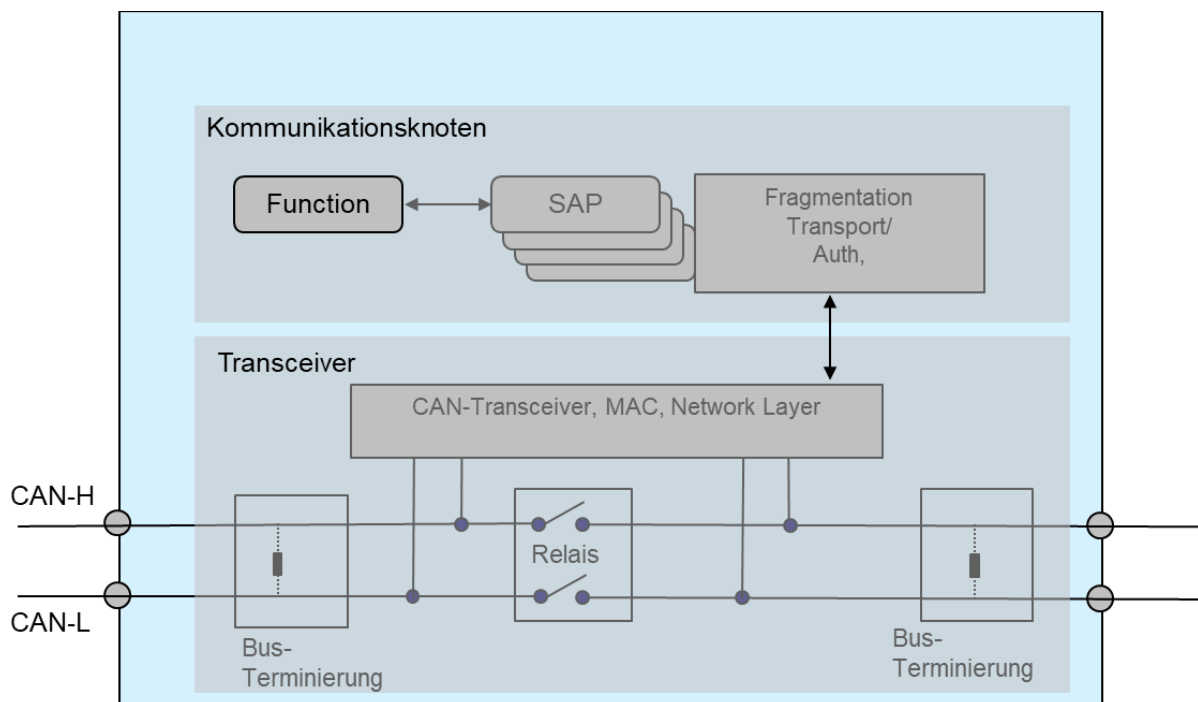
## 7.6 Systemkonzept segmentiertes CAN

Der Kommunikationsknoten für ein segmentiertes CAN-Netzwerk befindet sich direkt in der Kommunikationsleitung (CAN-H, CAN-L) zwischen den beiden Kupplungen. Als Leitungstyp sollte ein einfach geschirmtes Twisted-Pair-Kabel mit 0,75 mm<sup>2</sup> Leitungsquerschnitt benutzt werden.

*Hinweis CAN-Bus Kabel: Nach DIN 61375-2-1 sollten für die CAN-Kommunikation Kabel mit einem Querschnitt von 0,75 mm<sup>2</sup> (AWG 18) verwendet werden [11]. Bei Kabel-Übergängen (Sub-D Verbinder) sollen Querschnitte kleiner 0,56 mm<sup>2</sup> verwendet werden.*

Den grundlegenden Aufbau eines Kommunikationsknotens (keine redundante Auslegung) zeigt die Abbildung 28. Der Kommunikationsknoten ist in jede Wagenrichtung über eine CAN-Leitung an den jeweiligen Nachbarwagen angebunden. Die Nachrichtenweiterleitung, die Anbindung an die SAPs und die Funktionalitäten des Kommunikationsknotens sind als Software zu implementieren. Dabei kann jedes System eigenständig zyklisch oder bei Bedarf senden. Im Fehlerfall des Kommunikationsknotens kann die Leitung im Wagen durch ein Relais überbrückt werden, sodass die folgenden Wagen an das Zugbussystem angebunden bleiben. Hierzu ist auch erforderlich, im Bedarfsfall die Abschlusswiderstände abschalten zu können. Im Default-Zustand soll das System als segmentiertes Bussystem arbeiten.

**Abbildung 28: Interner Aufbau eines CAN-Kommunikationsgateways**



Quelle: Owita GmbH

### 7.6.1 Technologie-Parameter und Systemfestlegungen

Als CAN-Technologie soll CAN-FD verwendet werden, um eine größere Anzahl von anwendungs- und protokollspezifischen Daten in einem Frame transportieren zu können.

Als Bitrate zwischen zwei Fahrzeugen wird 500 kBit/s festgesetzt. Mit dieser Bitrate lassen sich bei CAN 125 m Distanz überbrücken [20] [22]. Hierdurch ist auch im Fehler-Modus bzw. im Migrationsszenario die Überbrückung eines langen Wagens ohne Reduktion der Datenrate möglich.

## 7.6.2 Funktionsbeschreibung Kommunikationsknoten

### 7.6.2.1 Einschaltzustand „Start up“

Im Zustand „Start up“ wird beim CAN-System die Durchleitung zwischen den Leitungen aktiv unterbrochen, und die Abschlusswiderstände werden eingeschaltet. Alle CAN-Frames, unabhängig von der Richtung des Empfangs, werden in der anderen Richtung weiter gesendet/gespiegelt (Hub-Verfahren). Es werden genauso entsprechende Broadcast-Pakete (protokollspezifische Adressierung) an die internen Kommunikationsschichten weitergegeben.

### 7.6.2.2 Initialisierungszustand

Im Initialisierungszustand erfolgt über die Protokollvereinbarungen für die Applikation „Kommunikationssystem“ via Kommunikations-SAP die Adressierung des Wagens im Zugverbund durch den Kommunikationsmaster (Triebfahrzeug) verbunden mit dem Austausch der notwendigen Initialisierungsinformation (Wagennummer). Nach erfolgreicher Adressierung kann der Wagen über die zugewiesene logische Adresse erreicht werden. Erst nach Abschluss des Adressierungsverfahrens wird durch den Kommunikationsmaster eine Umschaltung der Kommunikation in den Betriebsmodus durchgeführt.

Es sind innerhalb des Wagens über den SAP des Kommunikationssystems auch gezielte Informationen für die anderen Systeme abfragbar. Diese sind:

- Logische Adresse im Zug,
- Ausrichtung im Zug,
- eigene Wagennummer,
- Zustand des Kommunikationssystems.

Dieser Abfragemechanismus (Protokollstruktur) muss im Detail festgelegt werden. Darüber hinaus sind beim Master des Kommunikationssystems auch weitergehende Informationen abfragbar. Insbesondere wichtig für die Master der anderen Automatisierungsfunktionen im Güterverkehr, die sich auch auf dem Triebfahrzeug finden, sind:

- Liste Wagennummer / Logische Adressen,
- Anzahl Wagen.

### 7.6.2.3 Betriebszustand

Im Betriebszustand arbeitet der Network-Layer des Kommunikationssystems wie vorgesehen und leitet Nachrichten entsprechend ihrer Adressierungen weiter. Das bedeutet, dass logische/physikalische Adressen der Wagen abhängig von der Richtung gespeichert werden, und Frames nur in Richtung der Ziel-Adressen weitergegeben werden. Dies ist notwendig, um den Bus zu entlasten, und die Daten zielgerichtet zu senden.

### 7.6.2.4 Fehlerzustand

Der Fehlerzustand wird erreicht, wenn der Kommunikationsknoten im Wagen für eine definierte Zeit keine Frames empfängt. Werden dagegen viele CAN-Fehler detektiert, dann sollte das System in einen Notfallmodus wechseln, in dem nur noch Frames hoher Priorität übertragen werden (Integritätsprüfung).

### 7.6.3 Performance Parameter

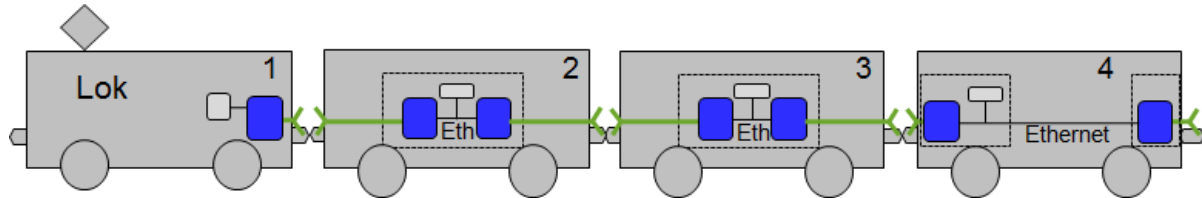
Bei Verwendung von CAN-FD wird das Datenfeld im CAN-Frame mit ca. fünf MBit/s gesendet [23]. Dadurch sind bei einer nominalen Bitrate im CAN-Bus von 500 kbit/s ca. bis zu ein Mbit/s Netto-Nutzdatenrate möglich. Durch das segmentierte System müssen Frames von jedem Wagen vollständig empfangen und wieder gesendet werden. Die Latenz pro Wagen wird mit maximal zwei ms angenommen, bei 50 Wagen ergibt sich eine Round-Trip-Time (RTT) von etwa 200 ms.

Die Zeit zum Verbindungsaufbau ist sehr gering, wenn die CAN-Transceiver permanent aktiv sind. Die Initialisierungszeit bei einem Zug mit 50 Wagen wird mit kleiner zehn Sekunden angenommen.

### 7.7 Systemkonzept Funk

Das (Nahbereichs-)Funksystem stellt sich wie das CAN-System als ein segmentiertes Kommunikationssystem dar. In den Kupplungsköpfen, in denen die elektrischen Kontakte verbaut sind, werden die Antennen zur Funk-Verbindung zwischen den Wagen platziert. Der Grund hierfür ist die sehr gute Abschirmung des Funkkanals. Somit kann das System quasi als Nahfeldkommunikation mit einer Punkt-zu-Punkt Verbindungen interpretiert werden. Im Unterschied zum CAN-System gibt es systembedingt keine Möglichkeit einen Wagen im Fehlerfall zu überbrücken (es sei denn, das Funksystem wird komplett redundant ausgelegt). Daher muss die Verfügbarkeit der Funkschnittstelle vergleichbar zur Verfügbarkeit der elektrischen Kontakte im CAN- und Powerline-System sein.

**Abbildung 29: Funksystem von Wagen zu Wagen als Zug-Kommunikationssystem**



Quelle: Owita GmbH

Der Funktransceiver, der das Funksignal erzeugt, kann entweder direkt in der Nähe der Kupplung verbaut werden oder zentral in einer Wagenbox.

Im Fall, dass die Funktransceiver zentral in einer Wagenbox verbaut sind (Wagen 2 in Abbildung 29), sind diese direkt an den Kommunikationsknoten im Wagen angebunden, und das Funksignal wird über eine Hochfrequenzleitung bis zur jeweiligen Antenne in den Kupplungen geführt.

*Hinweis: Zur Verwendung von Antennenkabeln wurden keine funktionalen, normativen Vorschriften für Anwendungen im SGV gefunden. Daher wird insbesondere bei Verwendung von Frequenzen bis 3 GHz ein Kabel nach RG213 empfohlen [24]. Die Dämpfung sollte bei einer Länge von 30 m und einer nominalen Signalfrequenz von 2400 MHz weniger als 15 dB betragen. Der Wellenwiderstand soll 50  $\Omega$  betragen.*

Wird der Transceiver in der Nähe der Kupplung verbaut, dann muss es eine wageninterne Kommunikationsverbindung zwischen den Transceivern geben (Wagen 4 in Abbildung 29), bzw. zwischen den Funktransceivern und dem Kommunikationsknoten im Wagen. Hierzu wird, wie in Abbildung 29 zu sehen, Ethernet vorgeschlagen.

*Hinweis: Für Ethernet-Verbindungen sind Kabel mit 2x2 Twisted-Pair-Adern zu verwenden (Cat 5e). Der Querschnitt beträgt üblicherweise 0,5 mm<sup>2</sup> [25].*

### 7.7.1 Technologie-Parameter und Systemfestlegungen

Bei der Auswahl eines geeigneten Funksystems wurden die folgenden Anforderungen zu Grunde gelegt:

- Verbreitung der Technologie,
- Verfügbarkeit der Technologie,
- Kosten,
- Anwendbarkeit in der Bahntechnik,
- Robustheit der Technologie,
- Leistungsfähigkeit der Technologie.

Mögliche Technologieansätze sind hier Bluetooth, Zigbee, NFC oder WiFi-Technologien. Nimmt man alle Anforderungen zusammen dann schneiden IEEE 802.11 Technologien (WiFi) am besten ab. Der einzige kritische Pfad, der zur Diskussion steht, ist die zukünftige Kompatibilität mit den heutigen Standards – aber das gilt für alle Funktechnologien deren Haupteinsatzfeld der Consumermarkt ist. Da mittlerweile eine Verbreitung der WiFi-Technologie in der Industrie vorhanden ist, wird jedoch davon ausgegangen, dass auch in 20 Jahren noch kompatible Hardware erhältlich sein wird. So wird WiFi als Basistechnologie für die funkbasierte Kommunikationsverbindung zwischen den Wagen in der Erprobung ausgewählt (Standards b/g).

*Hinweis: Dieser hier verfolgte Ansatz kann unmittelbar (mit sehr wenigen Modifikationen) auf ein Zwei-Draht-Ethernet-System übertragen werden, mit Nutzung einer elektrischen Kontaktstelle, wie für das CAN-System.*

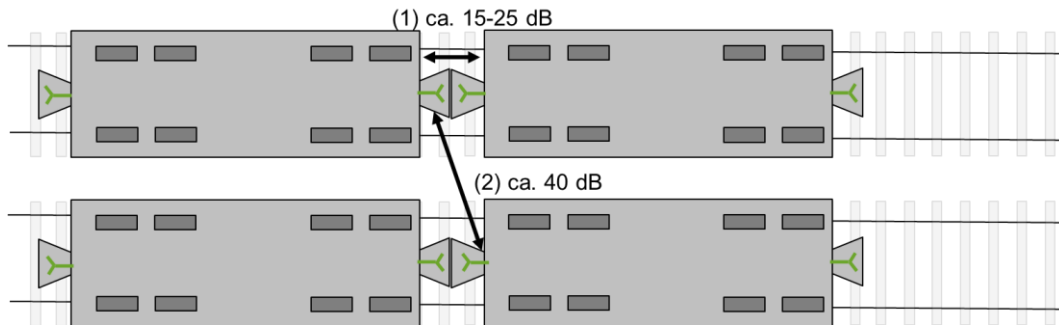
Weiterhin findet eine Konzentration auf das 2,4 GHz ISM-Band statt. Hierfür ist die Anzahl von Hardwareanbietern für Chipsätze extrem groß, und die Kosten sind sehr gering. Als Transceiver wird somit ein 802.11 b/g kompatibler Transceiver verwendet.

Zur Auslegung des WiFi-Funksystems ist insbesondere der Ort zur Anbringung der Antennen relevant. Die Auslegung erfolgt unter folgenden Bedingungen:

- Angestrebt wird eine sehr kurzreichweitige Kommunikation zwischen den verbundenen Wagenseiten. Findet eine Kommunikation über den Wagen hinweg statt, dann ist die korrekte Feststellung der Wagenreihung und Richtung gefährdet.
- Es sind geringe Störeinflüsse sicherzustellen. Züge fahren an bewohnten Gebieten vorbei, wo Heimnetzwerke ebenfalls im 2,4 GHz Band betrieben werden. Störungsmöglichkeiten von Außerhalb (und Störungen anderer Netze durch den Zug) sollen durch geeignete Antennenkonfiguration und Schirmungen minimiert werden.
- Das Nebensprechen zu anderen Zügen, insbesondere bei der Zugtaufe muss ausgeschlossen werden. Es besteht das Problem, dass eine Kommunikationsverbindung eindeutig mit dem mechanisch gekoppelten Wagen im Zugverbund und nicht etwa mit einem benachbarten Wagen auf dem Nebengleis durchgeführt wird (siehe Abbildung 30).

Um diese Aspekte zu gewährleisten, ist ein Einbau der Antenne in die elektrische Kupplung vorgesehen. Bei einem Abstand der Antennen von wenigen Zentimetern kann von einer Kanaldämpfung von wenigen 10 dB ausgegangen werden. Dies ermöglicht z.B. anhand der Signaldämpfung die Authentizität der Verbindung zu bewerten. Außerdem kann durch das Kupplungsgehäuse von einer hervorragenden Schirmung ausgegangen werden.

**Abbildung 30: Nebensprechen/Kommunikationskanal benachbarter Züge**

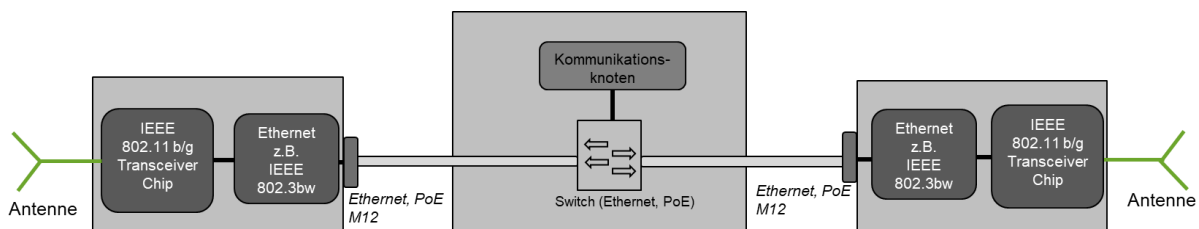


Quelle: Owita GmbH

## 7.7.2 Kommunikationsknoten

Ein Kommunikationsknoten für ein funkbasiertes Zugbusssystem mit Transceivern nahe an der Kupplungsstelle ist ein verteiltes System im Wagen. Jeder Transceiver (an den Wagenenden) braucht eine Versorgung und eine Kommunikationsanbindung zum eigentlichen zentralen Kommunikationsknoten im Wagen. Die Versorgung kann über einen Anschluss an das 24 V<sub>DC</sub>-Netz im Wagen erfolgen, oder alternativ durch eine PoE-Anbindung<sup>25</sup> über den Kommunikationsknoten. Der eigentliche Funk-Transceiver-Chip ist dann über einen intelligenten Umsetzer auf Ethernet angebinden, wie Abbildung 31 verdeutlicht.

**Abbildung 31: Komponenten im Kommunikationssystem mit Funk**



Quelle: Owita GmbH

## 7.7.3 Funktionsbeschreibung Kommunikationsknoten

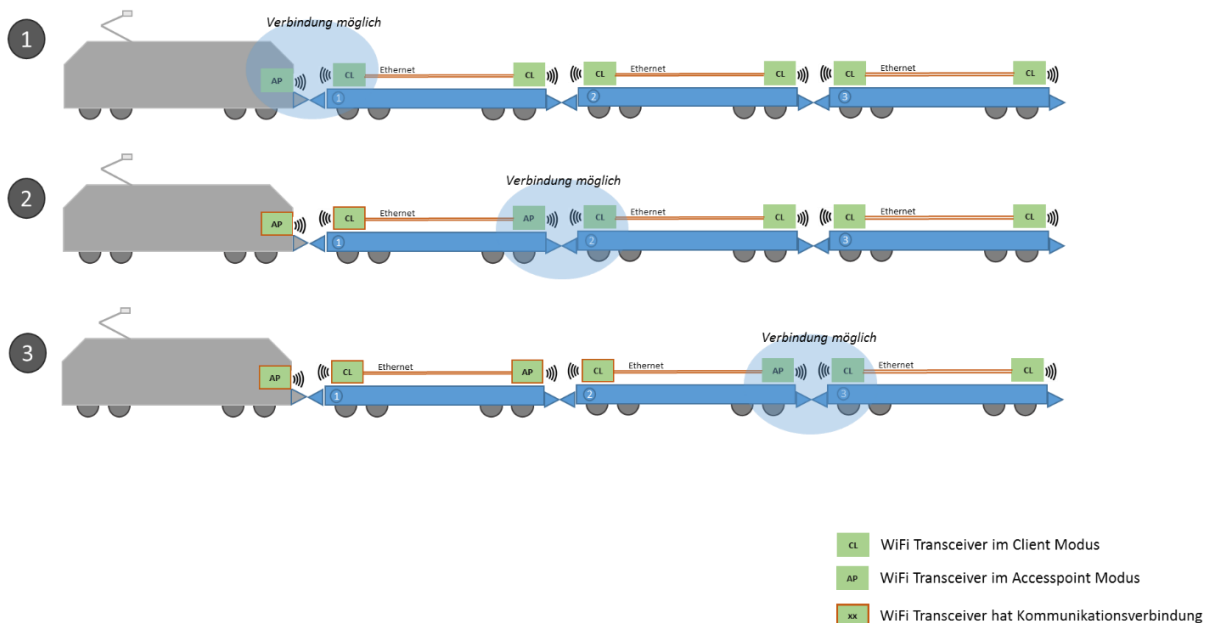
### Einschaltzustand „Start up“:

Beim Funksystem ist es erforderlich, zunächst eine Verbindung zwischen den Kommunikationspartnern aufzubauen. Hierzu sind alle Funktransceiver im Start-up-Zustand zunächst als WiFi-Client konfiguriert (siehe Abbildung 32, (1)). Das Triebfahrzeug ist als WiFi-Accesspoint konfiguriert. Vom Master (Triebfahrzeug) ausgehend wird die Verbindung zum ersten Wagen aufgebaut. Ist die Verbindung des Wagens zum Triebfahrzeug hergestellt, wird die zweite Wagenseite als Accesspoint konfiguriert. Der nächste Wagen kann sich dann mit dem als Accesspoint konfigurierten Transceiver verbinden (2). Auf diese Weise wird das

<sup>25</sup> PoE: Power over Ethernet

Kommunikationssystem im Zug bis zum letzten Wagen initialisiert. (Grundprozess der Zugtaufe).

**Abbildung 32: Initialisierung der WiFi-Verbindungen**



Quelle: Owita GmbH

### Initialisierungszustand:

Im Initialisierungszustand erfolgt seitens der Kommunikationsprotokolle (Kommunikations-SAP) eine Adressierung des Wagens im Zugverbund durch den Master (Triebfahrzeug). Nach erfolgreicher Adressierung kann der Wagen über die zugewiesene logische Adresse erreicht werden. Erst nach Abschluss des Adressierungsverfahrens wird durch den Master eine Umschaltung der Kommunikation in den Betriebsmodus durchgeführt.

### Betriebszustand:

Im Betriebszustand arbeitet der Network-Layer des Kommunikationssystems im Switch-Modus. Das bedeutet, dass logische/physikalische Adressen der Wagen abhängig von der Richtung gespeichert werden, und Frames nur in Richtung der Ziel-Adressen weitergegeben werden. Dies ist notwendig, um den Bus zu entlasten und die Daten zielgerichtet zu senden.

### Fehlerzustand:

Der Fehlerzustand wird erreicht, wenn der Kommunikationsknoten im Wagen für eine definierte Zeit keine Frames empfängt. Werden dagegen viele Paketfehler detektiert, dann sollte das System in einen Notfallmodus wechseln, in dem nur noch Frames hoher Priorität übertragen werden (Integritätsprüfung).

### 7.7.4 Performance Parameter

Bei Umsetzung des Funksystems mit IEEE 802.11g kann von einer Netto-Bandbreite von fünf bis zehn Mbit/s (Brutto 54 Mbit/s) ausgegangen werden. Kritisch bei der Umsetzung ist die Zeit zur Verbindung zwischen Accesspoint (AP) und Client von etwa einer Sekunde und der Umschaltzeit pro Wagen vom Client-Modus zum AP-Modus. Die Zeit zur Zugtaufe wird somit auf etwa 120 Sekunden bei 50 Wagen abgeschätzt.



Die Latenzzeit pro Wagen wird mit max. 10 ms angenommen. Die Round-Trip-Time (RTT) vom Master zum letzten Wagen und zurück bei einem Zug mit 50 Wagen wird mit maximal 1000 ms angenommen.

### **Konsequenz:**

Für jedes der Kommunikationssysteme und insbesondere für das Interface (SAP) sind detaillierte Spezifikationen nötig, die auch später für eine Standardisierung geeignet sind. Die hier skizzierten Vorspezifikationen und Randbedingungen sind dabei als Rahmenbedingungen zu beachten, aber müssen außerhalb dieses Projektes weitergeführt werden.

Für eine spätere DAK Entscheidung müssen funktionierende Kommunikationssysteme als Muster zu Verfügung stehen. Diese sollten möglichst auf Basis vorhandener Industriekomponenten (z.B. Steuerungen) umgesetzt werden, damit nicht für jedes Zugbussystem eine spezifische Hardwareentwicklung erfolgen muss. Dabei muss klar sein, dass eine Optimierung (Energiebedarf, Kosten, Bahntauglichkeit) erst nach einer Technologiefestlegung in einer Produktentwicklung erfolgen kann, und dafür auch der Standard geklärt sein muss.

## 8 EP-Bremssystem (EP-Light)

In der Aufarbeitung der Anforderungen und der Systemrandbedingungen werden das Vorhandensein und die Funktionalität der Hauptluftleitung als Steuerleitung für das indirekte, pneumatische Bremssystem als gesetzt angesehen.

Die Wagen sollen dennoch eine Möglichkeit zum gleichmäßigen Bremsen besitzen. Dies kann erfolgen, indem an vielen Stellen im Zug die HLL gleichzeitig entlüftet wird, und der Zug so gleichmäßiger als bisher über das Standard-Bremssystem gebremst wird. Die Rückfallebene der Entleerung der HLL nur durch das Triebfahrzeug bleibt aber bestehen. Somit ist das EP-System zunächst nicht sicherheitsrelevant.

Es bestehen zwei Möglichkeiten, wie das EP-Bremssystem gesteuert werden kann:

- **EP-Leitung:** Die EP-Leitung ist eine elektrische Leitung durch den Zug, welche ein 110 V<sub>DC</sub> Steuersignal direkt an die EP-Ventile führt, dass dann die HLL entlüftet und als indirekte Bremsansteuerung wirkt. Hierzu werden zwei Leitungen vom Triebfahrzeug durch den Zug geführt. Diese Variante hat für den Güterzug den Vorteil, dass heute bereits Systeme mit entsprechender Ansteuerung auf den Triebfahrzeugen verfügbar sind, und das Bremssystem unabhängig von anderen Systemen funktioniert. Der Nachteil besteht darin, dass zwei separate Leitungen mit entsprechenden Kupplungskontakten in jedem Wagen zusätzlich verlegt werden müssen.
- **EP-Steuerung über Kommunikation:** Hierbei wird das EP-Bremssystem über eine Steuergröße, die durch das Kommunikationssystem übertragen wird, am Wagen angesteuert. Der Vorteil liegt darin, dass keine separaten Leitungen in den Wagen verlegt werden müssen. Nachteilig ist, dass die Verfügbarkeit der EP-Bremse an der Verfügbarkeit des Kommunikationssystems hängt. Wenn diese geringer ist als die Verfügbarkeit der 110 V<sub>DC</sub> EP-Leitung, ist das kritisch. Ein weiterer Nachteil ist, dass in verschiedenen Triebfahrzeug-Baureihen eine Bremssteuerung für eine 110 V<sub>DC</sub> EP-Bremse bereits realisiert ist. In jedem Fall müsste eine zusätzliche Einrichtung zur Umsetzung des Bremssignals auf das Kommunikationssystem im Triebfahrzeug realisiert werden.

Die erste genannte Variante mit einer separaten EP-Leitung wurde als EP-Light-System im Projekt „Aufbau und Erprobung Innovativer Güterwagen“ erfolgreich umgesetzt. Es soll auch hier in Erwägung gezogen werden. Dieses System ist außerhalb des Energie- und Kommunikationssystems zu sehen. Für die elektrischen Leitungen und Kuppelstellen in der DAK ist es jedoch zu betrachten.

*Die positiven Erfahrungen aus dem Projekt „Innovativer Güterwagen“ sprechen für eine intensive Betrachtung eines EP-Light-Bremssystems, das einzelne EP-Ventile in die Güterwagen integriert, und die indirekte Ansteuerung der Bremse über die in den Triebfahrzeugen vorhandene EP-Leitung erlaubt.*

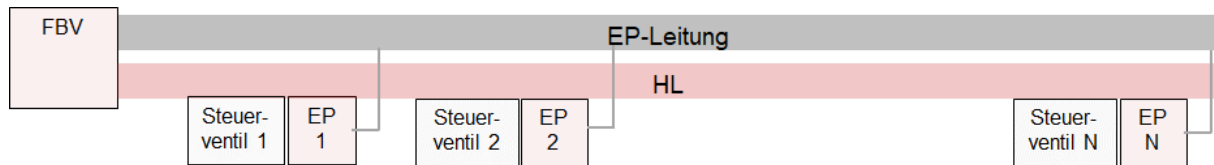
*Hierzu muss ein Leitungspaar mit einem Querschnitt von 4 mm<sup>2</sup> zusätzlich zum EuK im Zug verlegt und in der DAK elektrisch gekuppelt werden.*

*Die HLL bleibt als Rückfallebene bestehen. Automatisierungsfunktionen im Kontext Bremse benötigen jedoch ein neues, weiteres System, das auf dem Kommunikationssystem basiert.*

## 8.1 Ansatz EP-Light-Bremse

Beim EP-Light-System (vgl. Abbildung 33) wird über ein elektrisch gesteuertes Ventil pro Wagen die Hauptluftleitung entlüftet. Diese Ventile, werden über die klassische EP-Leitung angesteuert. Der Zug wird somit aber weiterhin indirekt gebremst. Die Ansteuerung der Bremse wird damit nicht vom EuK abhängig und funktioniert auch beim Ausfall dieser neuen Systeme.

**Abbildung 33: Bremssystem**



Quelle: Owita GmbH

Über die EP-Leitung, die im Güterzug neu integriert wird, erfolgt in den einzelnen Wagen die Ansteuerung von EP-Ventilen. Gleichzeitig erfolgt durch das Führerbremsventil (FBV) die Entlüftung der HLL, so dass auch die rein pneumatische Rückfalleben (bei Zuglängen bis 750 m) sichergestellt ist.

*Hinweis: Die elektrische Verbindung muss für die Tests der DAK realisiert sein, zumindest als elektrisches Testsystem. Die Bremse selbst muss nicht realisiert sein.*

Für neue Automatisierungsfunktionalitäten im Güterzug, wie die Bremsüberwachung oder die automatische Bremsprobe, ist aber eine zusätzliche kommunikationsfähige Funktionalität zu integrieren, die Signalzustände messen und Sensoren auswerten kann (Standardisierung). Diese Funktion könnte aber auch eine kommunikationsbasierte Bremsansteuerung (statt EP-Leitung) ermöglichen.

*Hinweis: Diese Funktionalitäten sind für einen zukünftigen Standard wichtig und müssen definiert werden. Für die Tests zur Bewertung der Migrationsoptionen muss dies nicht erfolgt sein.*

### Konsequenz:

Die Einführung eines EP-Light-System im Güterzug erfordert eine separate EP-Leitung und die notwendige Kuppelstelle in der DAK. Dies ist für eine Systemfestlegung zu berücksichtigen.

## 8.2 Auslegung des Leitungsquerschnitts und Schutzmaßnahmen

Für die Auslegung des Leitungsquerschnitts bei einer leitungsbasierten EP-Light-Bremse wird von folgenden Voraussetzungen ausgegangen:

- Bremsventile: Bis ca. 25 m Wagenlänge ein Ventil pro Wagen, darüber hinaus zwei Ventile pro Wagen;
- Zuglänge 720 m ohne Triebfahrzeug;
- Übergangswiderstände an Kupplung: 7 mΩ;
- Nennspannung: 110 V<sub>DC</sub>, Minimale Spannung am letzten Wagen: 77 V<sub>DC</sub> [7];

- Leistung je Ventil: 8 W.

Aus diesen Parametern lässt sich mit dem Energietool der OWITA GmbH (vgl. Anlage 2) der Leitungsquerschnitt für die EP-Leitungen zu 4 mm<sup>2</sup> bestimmen. Der Nennstrom für die EP-Ventile beträgt bei 13 W pro Wagen und 50 Wagen 7,5 A. Schutzmaßnahmen sind analog zur 110 V<sub>DC</sub> Versorgung vorzusehen.

## 9 Empfehlungen für die weitere Vorgehensweise

Das Arbeitspaket zur Identifikation von Standards bei der Strom-/Datenversorgung hat folgende Kernpunkte aufgezeigt, die hier nochmal komprimiert genannt seien:

Das Energiesystem und die Datenkommunikation im Güterzug sind Grundlagen, um Automatisierungsfunktionen für den SGV auf Basis einer DAK umsetzen zu können. Diese beiden Systeme müssen standardisiert sein und offene, transparente Anbindungen für Automatisierungsfunktionen ermöglichen.

Die Anforderungen für die Energieübertragung sind mit 2,5 W pro Meter Wagenlänge für Kernfunktionen überschaubar. Sie können auf Basis einer 110 V<sub>DC</sub> Lösung und einer zwei-adrigen Energieleitung (16 mm<sup>2</sup> Querschnitt [1]) gut umgesetzt werden. Ein solches System ist aber aktuell nicht im Einsatz und damit nicht unmittelbar verfügbar.

Die Anforderungen an das Kommunikationssystem sind für die Kernfunktionen mit einer notwendigen Netto-Datenrate von ca. 30 kBit/s sehr überschaubar, ebenso die Latenzzeitanforderungen von ca. einer Sekunde.

Die heute primär im Personenverkehr eingesetzten und standardisierten Kommunikationssysteme sind nicht unmittelbar für den Einsatz mit einer DAK im Güterzug geeignet und ausgelegt. Es sind immer Systemmodifikationen und Erweiterungen (auch im Standard) nötig. Deshalb sollten aus heutiger Sicht neue Lösungsansätze verfolgt werden, die möglichst wenig Verbindungen an der Kuppelstelle (DAK) benötigen und auf kostengünstigen, robusten, in der Industrie erprobten und verfügbaren Basistechnologien aufsetzen. Hier sind sehr verschiedenen System- und Technologieansätze (Powerline, Funk, segmentiertes CAN oder Zwei-Draht-Ethernet) vielversprechend, aber heute weder für das Anwendungsfeld standardisiert, noch in der notwendigen Form als transparentes Kommunikationssystem verfügbar.

Dabei wird folgende Problematik deutlich: es ist eine Technologieentscheidung nicht nur für die DAK mit deren Kuppelstellen, sondern auch für das Kommunikationssystem und für das Energiesystem nötig. Erst wenn diese Technologieentscheidungen getroffen sind, wird eine

*Die weitere Vorgehensweise sollte dreistufig sein. Als erstes ist eine Systementscheidung für die DAK und das EuK durchzuführen. Diese basiert auf Messungen in einem Testzug und auf einer abgestimmten Entscheidungs-metrik.*

*In einem Demonstratorzug sind dann Funktionsmuster auf Basis einer industriell verfügbaren Hardware als Demonstrations- und Entwicklungssystem für das EuK (und die DAK) aufzubauen, mit dem Ziel, die Standardisierung parallel durch Begleitung (Working Groups) anzugehen. Im Demonstrator wird eine Zulassung der DAK angestrebt werden und der Entwurfsstandard des EuK entsteht.*

*Im dritten Schritt erfolgt dann die spezielle Komponentenentwicklung für das EuK durch verschiedene Hersteller. Diese Systeme sollten in einem Europäischen Demonstrator erprobt, die Interoperabilität abgesichert, die Standards fixiert und das EuK zugelassen werden.*

*Auf dieser Basis können dann die Automatisierungsfunktionen im Zug abschließend entwickelt, erprobt und zugelassen werden.*

Standardisierung von Protokollen für das Kommunikationssystem selbst, für die Automatisierungsfunktionalitäten und insbesondere auch für die Schnittstelle von Automatisierungsfunktionalitäten im Fahrzeug zum Kommunikationssystem für eine transparente Übertragung möglich.

## 9.1 Systementscheidungen

Die notwendigen Entscheidungen und Standardisierungen haben eine europäische Dimension, um für den Schienengüterverkehr die notwendige Interoperabilität sicherstellen zu können.

Für diese Systementscheidungen sind Entscheidungskriterien notwendig, wobei zu einigen Aspekten, wie insbesondere zur Zuverlässigkeit der Systeme, Fragen offen sind, welche sich nur durch Praxistests der Energie- und Kommunikationssysteme im Zusammenspiel mit den DAK beantworten lassen. Aus diesem Grund sind insbesondere Spezifikationen der Kommunikation (zwei Systemansätze) im Detail bisher nicht sinnvoll möglich. Es ist also ein Weg zu beschreiben, wie ein Standard sinnvoll erreicht werden kann.

- Hierzu werden folgende Schritte sinnvoll und notwendig erachtet: Entscheidungsmetrik entwickeln und abstimmen: Im ersten Schritt sollten in einer neu zu etablierenden Arbeitsgruppe aus Expertinnen und Experten aus dem Sektor quantifizierte Anforderungen (Parameter) abgestimmt werden, und die Vorgehensweise zur Technologieentscheidung neben der DAK auch für das Energie- und Kommunikationssystem geklärt werden. Das finale Entscheidungsgremium sollte – über die EU - festgelegt werden.
- Messtechnische Tests mit den zur Auswahl stehenden Technologieansätzen: Diese Tests dienen im ersten Schritt der Quantifizierung von Bewertungs-Parametern und dem Sammeln von Erfahrungen mit einer grundlegenden Kommunikationstechnologie in Kombination mit einer DAK. Dazu müssen für die betrachteten Systeme Funktionsmuster aufgebaut und in einem Testzug bewertet werden. Dabei sollte angestrebt werden, die notwendigen Funktionsmuster möglichst auf Basis vorhandener Industriekomponenten zu realisieren (z.B. Industriesteuerungen), und auf dieser Plattform eine Implementierung der mindestens notwendigen Funktionen für das Energiesystem, das betrachtete Datenkommunikationssystem und für das Interface (SAPs) zu realisieren. Für diesen Umsetzungsschritt sind somit erste Protokollentwicklungen und detaillierte Vorspezifikationen nötig, die so aufzubereiten sind, dass sie auch als Startpunkt für einen Standardisierungsprozess herangezogen werden können. Auf dieser Systembasis sind umfangreiche Messungen und Tests durchzuführen und zu dokumentieren, die Grundlage im Entscheidungsprozess im festgelegten Entscheidungsgremium werden.

*Hinweis: In Anlage 1 werden weitergehende Vorschläge zur Umsetzung der Funktionsmuster ausgeführt.*

- **Entscheidung DAK- System, Energiesystem, Kommunikationssystem:** Auf Basis der Tests und Messungen muss im Entscheidungsgremium neben der DAK auch eine Festlegung für das Energie- und Kommunikationssystem erfolgen. Auf Basis dieser Technologieentscheidung sollte dann der Standardisierungsprozess gestartet werden.

## 9.2 Standards entwerfen

Für den Standardisierungsprozess des Energie- und des Kommunikationssystems sind zur Erreichung einer hinreichend kurzen Entwicklungszeit zum Standard folgende parallele Schritte sinnvoll:

- **1 - Entwickeln der SAPs für zwei Schnittstellen:**

Es erfolgt eine detaillierte Interfacebeschreibung für den Zugriff auf das Zugbuskommunikationssystem über SAPs. Dies wird für zwei Kommunikationsanbindungen bis ins Detail spezifiziert. Es sollte ein Fahrzeugbussystem sein (Vorschlag CAN) sowie eine direkte transparente Anbindung über eine serielle Schnittstelle. Wenn dieses Interface definiert (und auch implementiert) ist, wird es möglich, parallel die eigentlichen Automatisierungsfunktionen im Güterzug zu entwickeln und dann auch einfach an das Kommunikationssystem anzubinden.

- **2a - Kommunikationssystem und Kommunikationsstandard entwickeln:**

Für die ausgewählte Technologie muss die Vorspezifikation für das Kommunikationssystem soweit ergänzt werden, dass alle Kernfunktionen des Kommunikationssystems (Zugtaufe, Fehlerbehandlung, ...) umgesetzt werden können. Außerdem sind die festgelegten SAPs wie spezifiziert zu implementieren, um eine Anbindung von Funktionen zu ermöglichen. Diese Vorspezifikation ist auf der entsprechenden Hardware des Funktionsmusters zu implementieren, so dass auf Basis der Funktionsmuster ein erster Demonstratorzug als Demonstrations- und Entwicklungsplattform realisiert werden kann. Hierzu wird weiterhin die verfügbare industrielle Hardwareplattform genutzt.

- Dieser Prozess der Erweiterung der ersten Vorspezifikation in Richtung Standardisierung des Kommunikationssystems sollte von einer Standardisierungsgruppe aus Expertinnen und Experten mit Vertretern aus dem Bahn- und Industriesektor sowie aus Forschungseinrichtungen neu etabliert werden, versehen mit professionellen und finanziellen Möglichkeiten. Die Aufgabe dieser Gruppe („WG-Kommunikation“) ist die Standardisierung des Kommunikationssystems bis zum Standard zu begleiten.

*Vorschlag: Es wird vorgeschlagen, einen ersten Aufschlag für das Kommunikationssystem in einem Demonstratorzug zu implementieren, und die grundlegenden Ansätze zu validieren.*

- *Eine gute Lösung für eine effektive Umsetzung hierzu wäre geeignete Vertreter der verschiedenen Institution strukturiert als Team zusammenzubringen, mit der Aufgabe diesen Standard zu entwickeln und ggf. im zweiten Schritt als bahntaugliches System gemeinsam in Hard- und Software zu realisieren sowie die Teststrukturen für Interoperabilitätstests aufzubauen.*

- **2b. Energiesystem und Energiestandard entwickeln:**

Das Energiesystem muss als eine Funktionalität in der Spezifikation weiterentwickelt und umgesetzt werden. Dies betrifft insbesondere die Implementierung des Energiemanagementsystems (über einen SAP an die Kommunikation angebunden). Die Implementierung kann auch auf Basis der Funktionsmuster im Testzug erfolgen, wo die Implementierungen so weiterentwickelt werden, dass eine komplette

Implementierung als Demonstrations- und Entwicklungsplattform vorliegt. Auch hier wird die Begleitung durch eine „WG Energie“ vorgeschlagen.

- **Vorschlag:** *Ein erster Aufschlag hierzu sollte im Demonstratorzug implementiert und validiert werden.*

#### ▪ **2c – Entwicklung von weiteren Automatisierungsfunktionen:**

Mit der Festlegung der SAPs könnte parallel unmittelbar mit der Entwicklung und Implementierung weiterer Funktionen (z.B. automatische Bremsprobe, Bremssystem, Zugintegrität, etc.) begonnen werden. Hier schlagen die Autoren vor, zunächst ein „einfaches Beispielsystem“ zur Konzeptvalidierung zu entwickeln und im Demonstrator zu validieren. Der Entwicklungs- und Standardisierungsprozess für komplexere Funktionen sollte danach beginnen. Hierzu sollte ein paralleles Projekt entstehen mit Teams, die sich um die Prototypentwicklung und Spezifikation der Automatisierungsfunktionen kümmert, und auch die Basis der Funktions- Standards erarbeitet.

### **9.3 Komponentenentwicklung, Interoperabilität und Zulassung**

Nach der Validierung der grundlegenden Funktionen im Demonstratorzug mit Messungen und Entwicklungsiterationen auf Basis der Funktionsmuster(-Hardware) kann für das Kommunikationssystem ein erster Entwurf eines Standards durch die Arbeitsgruppe „Kommunikation“ erfolgen. Ebenso für das Energiesystem durch die Arbeitsgruppe „Energie“. Diese Standards sollten dann die Basis sein, um eine spezifische Hard- und Softwareentwicklung für die Komponenten des Zugbussystems und auch des Energiesystems anzugehen.

Ein Vorschlag zur weiteren Vorgehensweise ist:

- Unterschiedliche Unternehmen gehen eine Produktentwicklung für das Kommunikationssystem und für das Energiesystem an. So werden verschiedene Hersteller in den Entwicklungsprozess integriert, und das Thema Interoperabilität ist von Anfang an adressiert. Diese Systeme können dann in einem „Europäischen Demonstrator“ erprobt und zugelassen werden.
- Es werden parallel durch die Arbeitsgruppen „Kommunikation“ und „Energie“ Teststrukturen und Einrichtungen für die Qualifizierung von Komponenten und für Interoperabilitätstests aufgebaut.
- Die Entwicklung und Standardisierung der Automatisierungsfunktionen im SGV werden ebenfalls auf Basis der Funktionsstandards umgesetzt. Nach einer Zulassung des Energie- und Kommunikationssystems könnten sie ebenfalls im Rahmen eines europäischen Demonstrators erprobt und zugelassen werden.

Diese Standardisierungs-, Entwicklungs- und Umsetzungsschritte sind sehr umfangreiche Aufgaben und brauchen eine intensive (europäische) Begleitung mit den notwendigen personellen und finanziellen Ressourcen. Ein übergreifendes Projektteam aus Fachleuten (Bahnbetreibern, Bahn- und Zulieferindustrie, Zulassungsstellen, Hochschulen und Behörden) könnte diesen Prozess sehr forcieren, erfolgreiche, gemeinsame Systementwicklungen ermöglichen und so Basis für einen gemeinsamen europäischen Erfolg zur Stärkung des Schienengüterverkehrs sein.



## Literaturverzeichnis

- [1] S. Witte, R. Heß, S. Gerke, A. Steinmetz und K. Röckemann, „Energie- und Datenübertragung im Güterzug,“ TH OWL, Lemgo, 2018.
- [2] DIN EN 61375-1:2012, Elektronische Betriebsmittel für Bahnen – Zug-Kommunikations-Netzwerk (TCN); Teil 1: Allgemeiner Aufbau, 2015.
- [3] F. Minde, Grundlagen der Eisenbahnbremstechnik, 2007.
- [4] J. Ihme, Schienenfahrzeugtechnik, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019.
- [5] M. Enning, R. Pfaff und B. Schmidt, „Güterwagen 4.0 - Der Güterwagen für das Internet der Dinge Teil 3: Einführungsszenarien für aktive, kommunikative Güterwagen,“ ETR – Eisenbahntechnische Rundschau, pp. 60-63, 5 2018.
- [6] L. Schnieder, Communications-Based Train Control (CBTC), Berlin, Heidelberg: Springer, 2020.
- [7] DIN EN 50155:2017, Bahnanwendungen - Elektronische Einrichtungen auf Schienenfahrzeugen, 2018.
- [8] DIN EN 61140-1:2016-11, Schutz gegen elektrischen Schlag; Gemeinsame Anforderungen für Anlagen und Betriebsmittel, 2016.
- [9] V. Pop, H. J. Bergveld, D. Danilov, P. P. I. Regtien und P. H. I. Notten, Battery management systems, Dordrecht: Springer, 2008.
- [10] Microchip Technology Inc., „MCP2515 Datasheet,“ 01 2019. [Online]. Available: MCP2515. [Zugriff am 2020 04 29].
- [11] DIN EN 61375-2-1:2015, Elektronische Betriebsmittel für Bahnen - Zug-Kommunikations-Netzwerk; Teil 2-1: Wire Train Bus (WTB), 2015.
- [12] DIN EN 61375-3-3:2015, Elektronische Betriebsmittel für Bahnen - Zug-Kommunikations-Netzwerk (TCN) - Teil 3-3: CANopen-Consist-Netzwerk (CNN), 2015.
- [13] DIN EN 61375-3-4:2015, Elektronische Betriebsmittel für Bahnen - Zug-Kommunikations-Netzwerk (TCN) - Teil 3-4: Ethernet-Consist-Netzwerk (ECN), 2015.
- [14] L. Fendrich und W. Fengler, Handbuch Eisenbahninfrastruktur, Berlin, Heidelberg: Springer, 2019.
- [15] J.-P. Richter, H. Haller und P. Schrey, „Serviceorientierte Architektur,“ 18 11 2005. [Online]. Available: <https://gi.de/informatiklexikon/serviceorientierte-architektur>. [Zugriff am 27 04 2020].
- [16] C. Salander, Das Europäische Bahnsystem, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019.

- [17] DIN EN 50355:2013, Bahnanwendungen - Kabel und Leitungen für Schienenfahrzeuge mit verbessertem Verhalten im Brandfall - Leitfaden für die Verwendung, 2015.
- [18] DIN EN 50343:2014, Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Regeln für die Installation von elektrischen Leitungen, 2014.
- [19] H. Kirrmann und P. A. Zuber, „The IEC/IEEE Train Communication Network,“ IEEE Micro, pp. 83-92, 03/04 2001.
- [20] G. Schnell und B. Wiedemann, Bussysteme in der Automatisierungs- und Prozesstechnik, Wiesbaden: Springer Fachmedien, 2019.
- [21] ITWissen.info, „TDD (time division duplex),“ 18 08 2016. [Online]. Available: <https://www.itwissen.info/TDD-time-division-duplex.html>. [Zugriff am 27 04 2020].
- [22] ME-Meßsysteme, „CAN Bus Grundlagen,“ 18 08 2016. [Online]. Available: <https://www.me-systeme.de/docs/grundlagen/canbus/kb-canbus.pdf>. [Zugriff am 28 04 2020].
- [23] Microcontrol, „CAN FD - Eine Einführung,“ 2019. [Online]. Available: <http://www.microcontrol.net/wissen/bus-systeme/can-fd/>. [Zugriff am 28 04 2020].
- [24] Belden Inc., RG213 Detailed Specifications & Technical Data, 2017.
- [25] ISO/IEC 11801, Information technology — Generic cabling for customer premises, 2017.
- [26] Bundesamt für Sicherheit in der Informationstechnik, „Public Key Infrastrukturen (PKIen),“ [Online]. Available: <https://www.bsi.bund.de/DE/Themen/DigitaleGesellschaft/Elektronischeldentitaeten/sicherPKI/sicherheitsmechanismenPKI.html>. [Zugriff am 27 04 2020].

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Kernfunktionen zur Auslegung des Energie- und Kommunikationssystems .....	10
Abbildung 2: Anbindung der Wagen über externe Kommunikationssysteme (5G) .....	16
Abbildung 3: Betrieb längerer Züge durch Mehrfachtraktion .....	18
Abbildung 4: Aufgabengebiete zur Standardisierung .....	22
Abbildung 5: Maximale Wagenleistung in Abhängigkeit der Zuglänge .....	26
Abbildung 6: Grundlegendes Konzept der Energieversorgung .....	27
Abbildung 7: Datenrate, Latenz und Kosten der verschiedenen Lösungen bei 750 m Zuglänge.....	34
Abbildung 8: Segmentiertes Bussystem .....	35
Abbildung 9: Segmentiertes Bussystem mit Technologiewechsel.....	35
Abbildung 10: Kommunikationssystem mit durchgehender Leitung .....	36
Abbildung 11: Logischer Informationsaustausch über SAPs.....	38
Abbildung 12: Bewertung Kommunikationssysteme mit ersten Kriterien.....	40
Abbildung 13: Systemkomponenten im Triebfahrzeug.....	42
Abbildung 14: Systemkomponenten im Wagen .....	45
Abbildung 15: Elektrische Kontaktstellen am Wagen .....	48
Abbildung 16: Spannungsverlauf im Zug mit 50 Wagen und 750 m Länge bei einer maximal möglichen Leistungsaufnahme von 41 Watt/Wagen .....	49
Abbildung 17: Trennung von Zugbus und Fahrzeugbus .....	55
Abbildung 18: Adressierungsschema im Zug-Verband .....	56
Abbildung 19: Orientierung des Wagens .....	56
Abbildung 20: Zustände des Kommunikationssystems .....	57
Abbildung 21: Anbindung der SAPs über einen physikalischen Kanal.....	60
Abbildung 22: Aufbau der Kommunikationslayer .....	61
Abbildung 23: Protokollspezifischer Frame-Aufbau für CAN-FD mit Authentifizierung .....	62
Abbildung 24: Powerline-System im Güterzug.....	65
Abbildung 25: Nachrichtenfluss und Bus-Zugriff im Powerline System .....	65
Abbildung 26: Latenz für die Kommunikation von Slaves zu Master .....	66
Abbildung 27: Latenz für die Kommunikation von Master zu Slaves .....	66
Abbildung 28: Interner Aufbau eines CAN-Kommunikationsgateways.....	67
Abbildung 29: Funksystem von Wagen zu Wagen als Zug-Kommunikationssystem.....	69
Abbildung 30: Nebensprechen/Kommunikationskanal benachbarter Züge .....	71
Abbildung 31: Komponenten im Kommunikationssystem mit Funk.....	71
Abbildung 32: Initialisierung der WiFi-Verbindungen .....	72

Abbildung 33: Bremssystem .....	75
Abbildung 34: Strukturierung der Aufgabengebiete für eine Standardisierung .....	87
Abbildung 35: Verbindungen in der DAK .....	88
Abbildung 36: Systemstruktur beim Test einer DAK-Kuppelstelle .....	89
Abbildung 37: Vorgeschlagene Wagengruppen für die DAK-Versuche .....	90
Abbildung 38: Kopplung zwischen unterschiedlichen Wagengruppen .....	91
Abbildung 39: Testsystem „Triebfahrzeug“ .....	92
Abbildung 40: Testsystem „Wagen“ .....	93
Abbildung 41: Energietool mit Bedienschnittstelle in Excel .....	96

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Anwendungen und Leistungsbedarf pro Wagen.....	24
Tabelle 2: Rahmenbedingungen für eine reine Batterielösung als Energieversorgung .....	25
Tabelle 3: Zur Verfügung stehende Leistung in Abhängigkeit des Leitungsquerschnitts und der Spannung am letzten Wagen bei 110 V <sub>DC</sub> Eingangsspannung .....	26
Tabelle 4: Informationsaustausch Kommunikationssystem.....	29
Tabelle 5: Informationsaustausch Energiesystem.....	29
Tabelle 6: Informationsaustausch Bremssystem.....	30
Tabelle 7: Informationsaustausch Zugintegrität .....	30
Tabelle 8: Informationsaustausch Wagendiagnose .....	31
Tabelle 9: Informationsaustausch Ladungsüberwachung .....	31
Tabelle 10: Informationsaustausch Mehrfachtraktion.....	31
Tabelle 11: Verfahren zur Realisierung einer Zugtaufe.....	37
Tabelle 12: Anforderungen Energiekabel .....	50
Tabelle 13: Parameter zur Überwachung der Einspeisung (ohne Powermanagement) .....	51
Tabelle 14: Wagen-Parameter an Energiemanagement.....	52
Tabelle 15: Logische Adressen im Zugverband.....	64
Tabelle 16: Adressierung von SAPs .....	64
Tabelle 17: Testkomponenten im Triebfahrzeug (Kommunikation) .....	92
Tabelle 18: Testkomponenten Wagen .....	93

## Abkürzungsverzeichnis

AK	Automatische Kupplung
BMS	Batterie Management System
CAN	Controller Area Network
DAK	Digitale Automatische Kupplung
EP	Elektro-Pneumatisch
ETCS	European Train Control System
FBV	Führer Bremsventil
HLL	Hauptleitung (Pneumatisches Bremssystem)
IP	Internet Protocol
ISM	Industry Scientific Medical
LüP	Länge über Puffer
MMI	Mensch Maschine Interface
MTU	Maximum Transfer Unit
NFC	Near Field Communication
PKI	Public Key Infrastructure
PoE	Power over Ethernet
RTT	Round Trip Time
SAP	Service Access Point
SGV	Schienengüterverkehr
SIL	Safety Integrity Level
SOA	Service Oriented Architecture
SPE	Single Pair Ethernet
TCN	Train Communication Network
TCP	Transport Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
TLS	Transport Layer Security
UDP	User Datagram Protocol
UI	User Interface
WLAN	Wireless Local Area Network
WTB	Wire Train Bus

## Anlage 1: Tests zur DAK - Systementscheidung

Zurzeit werden von vier Herstellern unterschiedliche Prototypen für die DAK konzipiert und aufgebaut. Ziel der weiteren Schritte ist eine Systementscheidung, die auf Basis von Erprobungen und Tests erfolgen soll.

Hier wird ein dedizierter Vorschlag für ein mögliches Testkonzept für das Energie- und Kommunikationssystem vorgestellt.

### 1. Ausgangsbasis zur Systementscheidung

Um Aussagen über die Zuverlässigkeit der elektrischen Verbindungen treffen zu können, und somit auch Aussagen für einzelne Kommunikationssysteme ableiten zu können, müssen die Kupplungen untersucht werden. Hierzu sind allgemeine Messungen erforderlich, z.B. Kommunikationskanalmessungen mit Network-Analysatoren, um den Frequenzgang der Verbindungen festzustellen und frühzeitig Einschränkungen für die Kommunikation identifizieren zu können.

Zur Einordnung der Zuverlässigkeit ist die Beobachtung von Veränderungen über eine hohe Anzahl von Kupplungszyklen besonders relevant.

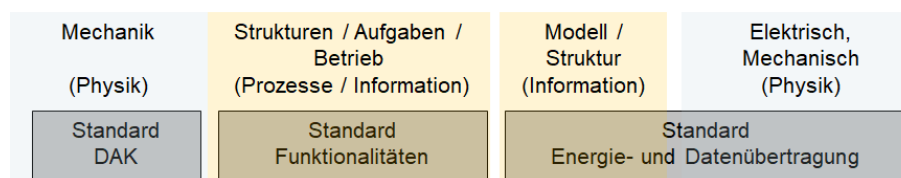
Beim Powerline-System ist der Versuch am Ganzzug mit einem Triebfahrzeug als Energieeinspeisung besonders relevant. Das Powerline-Kommunikationssystem muss in der Lage sein, über 750 m Zuglänge kommunizieren zu können.

Die Ergebnisse der Evaluierung der Kupplungen an den Einzelwagen werden zur Auswahl eines Kupplungssystems führen. Hierdurch ergeben sich auch Auswirkungen auf das Kommunikationssystem. Es sollte auch aus den Evaluierungen ein Kommunikationssystem ausgewählt werden, welches in einem Demonstratorzug weiter aufgebaut und getestet werden kann.

Eine Standardisierung des Gesamtansatzes erfordert die Festlegung von drei Kernbereichen, wie die Abbildung 34 verdeutlicht:

- Die DAK als Kuppelstelle zwischen den Fahrzeugen;
- Die Festlegung der Funktionalitäten im Gesamtsystem (Zugtaufe, Bremsprobe, Integrität, ...);
- Die Festlegung und Spezifikation des Energie- und des Kommunikationssystems.

**Abbildung 34: Strukturierung der Aufgabengebiete für eine Standardisierung**

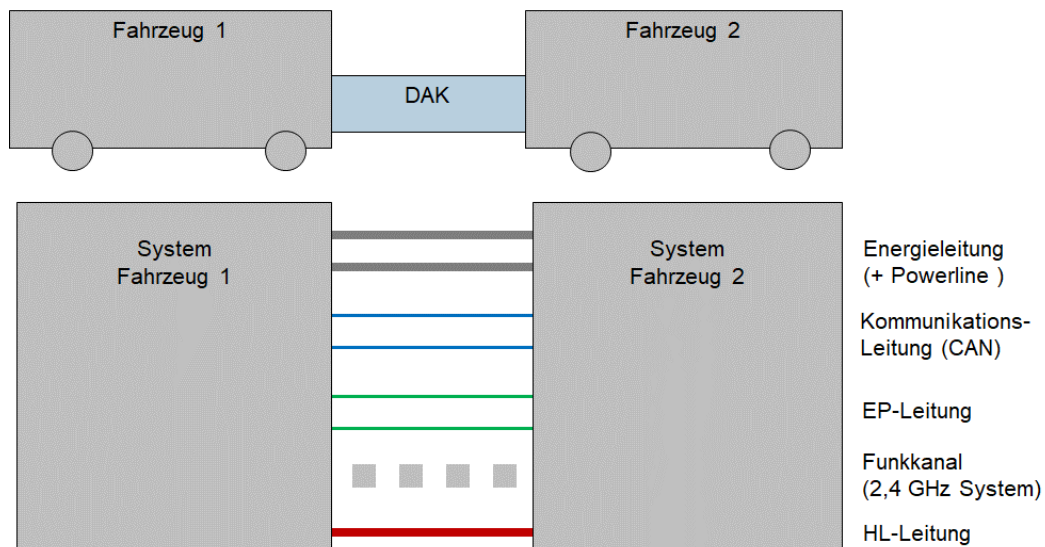


Quelle: Owita GmbH

Dabei haben sich folgende Rahmenbedingungen ergeben bzw. wurden herausgearbeitet:

- Es werden vier unterschiedliche DAK-Systeme von vier Herstellern entwickelt. Diese kuppeln alle neben der mechanischen Kupplung auch die HLL, die Energieleitung (zwei Adern), eine Kommunikationsleitung (zwei Adern) und die EP-Leitung (zwei Adern), wie Abbildung 35 verdeutlicht. Zusätzlich wird Einbauraum für eine Antenne vorhanden sein (Funkkanal) und es wird erwartet, den Kupplungszustand abfragen zu können.

**Abbildung 35: Verbindungen in der DAK**



Quelle: Owita GmbH

- Die Analyse des Energiesystems hat als Lösung ein 110 V<sub>DC</sub>-System mit minimaler Auslegung ergeben (2,7 W pro Meter Wagenlänge). Im Wagen soll mit 24 V<sub>DC</sub> gearbeitet werden.
- Für die Festlegung des Kommunikationssystems hat sich in der Analyse gezeigt, dass die Festlegung der finalen Bewertungs- und Auswahlkriterien aufgrund fehlender Erfahrungswerte im Güterverkehrsumfeld nicht ohne umfangreiche Systemtests und Praxisversuche möglich ist. Deshalb wurden drei bis vier Technologieansätze ausgewählt, die als Basis weiterverfolgt werden sollen.
  - eine Powerline-Übertragung;
  - ein segmentiertes CAN-System (und ggf. ein Zweidraht-Ethernet mit APL Technologie IEEE 802.3cg);
  - ein kontaktloses System (kurzreichweitiger Funk an der Kuppelstelle).

Vor diesem Hintergrund ist klar, dass es im Rahmen der vorliegenden Studie nicht möglich sein kann, eine Standardisierung zu erreichen, weil hierfür technologieabhängige Fragen zu berücksichtigen und die Funktionalitäten auch zu spezifizieren sind.

Die Systementscheidung wird wesentlich durch Messungen und Versuche begleitet werden. Die Versuche sind dabei in zwei Phasen aufgeteilt:

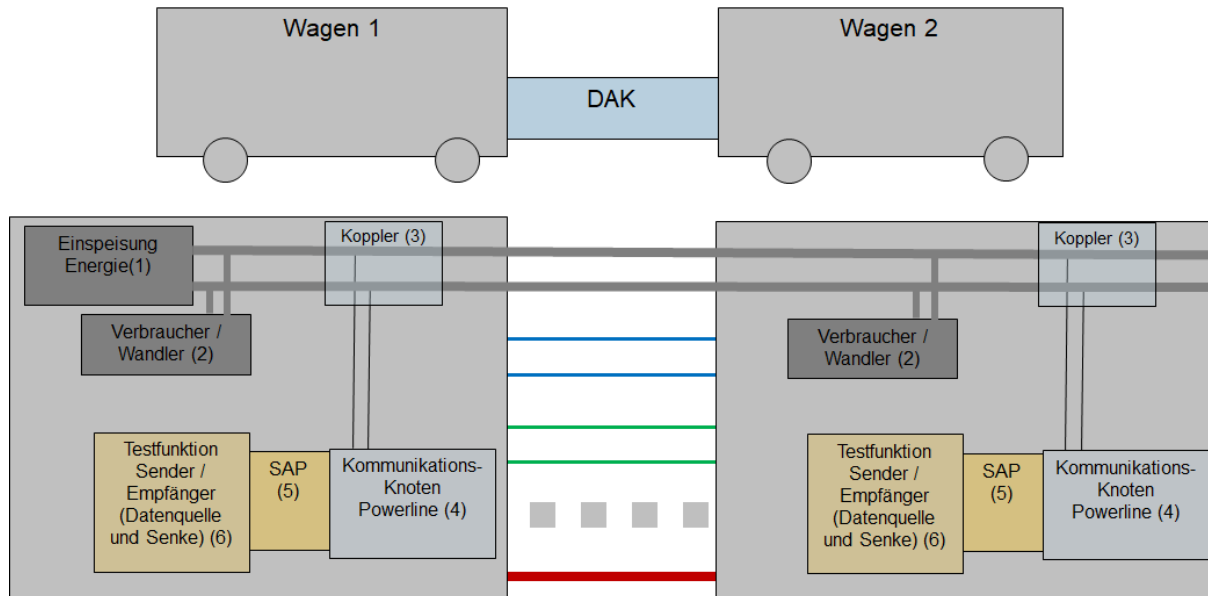
- Versuche mit einer Kupplungsstelle (**Einzelversuche**);
- Versuche mit Wagengruppen im Zug (**Wagengruppen**).



## 2. Einzelversuche

Die Einzelversuche zielen darauf ab, genau eine Kuppelstelle zu untersuchen, insbesondere hinsichtlich der entscheidungsrelevanten Parameter für die Energie- und Datenübertragung. Dies muss für alle zu betrachtenden Kommunikationssystemvarianten<sup>26</sup> erfolgen.

**Abbildung 36: Systemstruktur beim Test einer DAK-Kuppelstelle**



Quelle: Owita GmbH

Für die Versuche sind dafür verschiedene Grundkomponenten zu realisieren, wie aus der Abbildung 36 (für ein Powerline-System als Beispiel) deutlich wird. Benötigt werden:

1. Die Einspeisung in die Energieleitung, wie im Energiesystem konzipiert. Das Einspeisesystem weist passende Bedienschnittstellen auf und die für die Tests notwendigen Parametrierungsmöglichkeiten.
2. Das Verbrauchersystem (Wandler/Batterie im Wagen) und die Energieentnahme sind aufzubauen.
3. Für eine Powerline-Übertragung wird eine Signaleinkopplung in die Energieleitung nötig. Für das CAN-System ist eine entsprechende Anbindung an die Kommunikationsleitung nötig und für das Funksystem der Aufbau eines Funkkanals mit Antennen an der Kuppelstelle.
4. Es ist ein Kommunikationsknoten nötig, wie in Abbildung 36 für das Powerline-System dargestellt. Dieser Kommunikationsknoten ist analog für das CAN-System und für das Funk-System zu realisieren.
5. Der jeweilige Kommunikationsknoten wird mit einem kommunikationssystem-unabhängigen Service Access Point ausgestattet.
6. Es wird eine Testhardware mit Testfunktionalität benötigt, die eine Kommunikation realisiert und über den SAP einen Datenaustausch zwischen den Funktionselementen

<sup>26</sup> Es finden natürlich zusätzliche Versuche statt, die die mechanischen Eigenschaften bewerten, die pneumatischen und die operative Handhabung des Systems. Diese werden hier nicht betrachtet.

implementiert. Diese Testapplikation soll für alle Kommunikationssysteme, die untersucht werden, genutzt werden können.

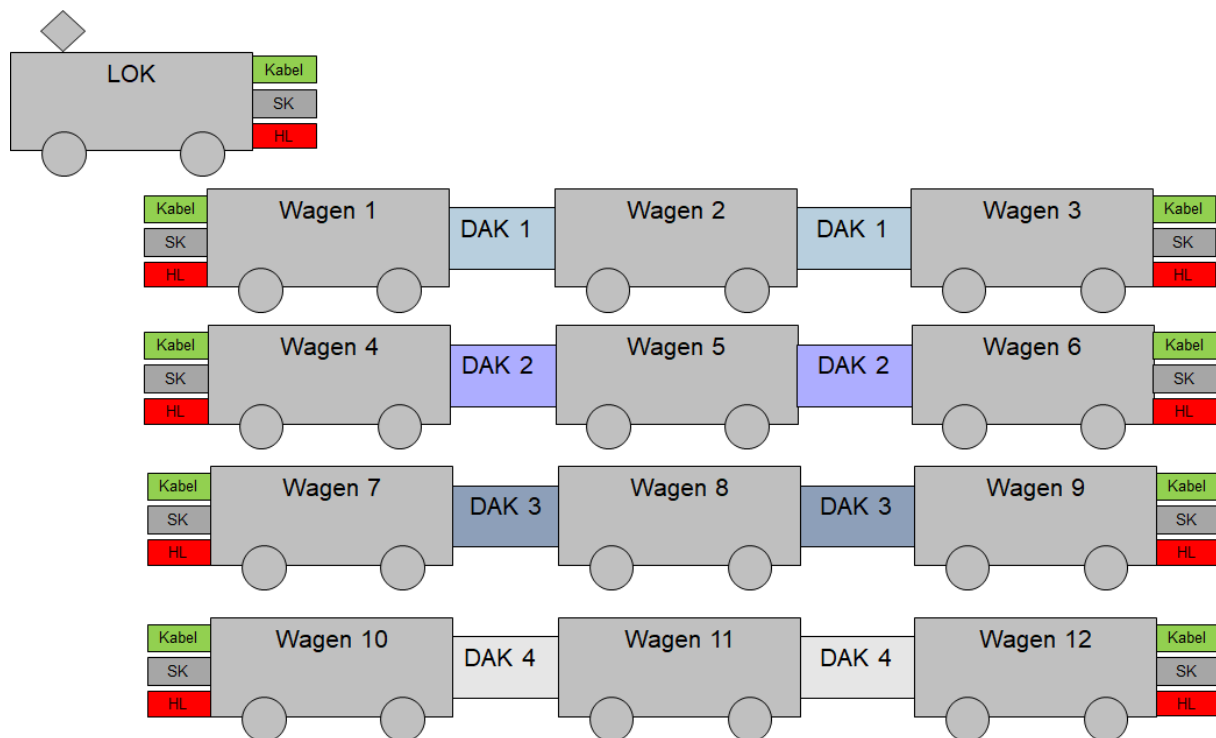
Neben diesen Kernkomponenten 1 bis 6, für die eine Vorspezifikation erstellt werden muss und die auch zu realisieren sind, werden Kabelverbindungen und Leitungen nötig, und es sind die Messprozesse (ggf. mit notwendigen Automatisierungen) und die Datenerfassungen zu realisieren.

*Hinweis: Die Daten der Testapplikation könnten auch in alle drei Kommunikationssysteme parallel eingespeist werden. Möglicherweise werden die Ergebnisse jedoch durch gegenseitige Störeinflüsse verfälscht.*

### 3. Wagengruppen

Neben der Untersuchung einer einzelnen Kuppelstelle werden erste Wagengruppen untersucht. Es werden dazu für jedes DAK-System drei Wagen ausgerüstet, wie in der folgenden Abbildung 37 verdeutlicht. Es werden in der Testphase jedoch keine Triebfahrzeuge mit einer DAK ausgerüstet.

**Abbildung 37: Vorgeschlagene Wagengruppen für die DAK-Versuche**



Quelle: Owita GmbH

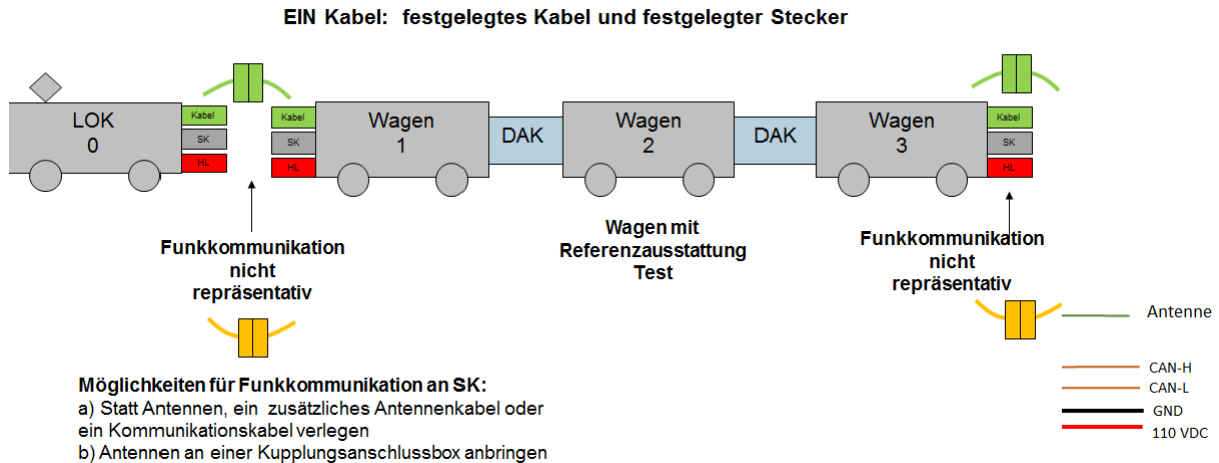
Dabei tritt eine Besonderheit auf: Da die einzelnen Kupplungen nicht kompatibel zueinander sind müssen die einzelnen Wagengruppen über eine separate Schnittstelle (Schraubekupplung, HLL, elektrische Verbindungen) miteinander gekuppelt werden. Hierzu ist es vorgesehen, an dieser Schnittstelle nur ein integriertes Kabel (Stecker/Buchse) zu nutzen.

*Vorschlag: Prüfung, ob sich das genutzte Kabelsystem im Projekt „Innovativer Güterwagen“ eignet.*

Ein besonderes Problem tritt in dieser Konstellation für das Funkkommunikationssystem auf. An den DAK-freien Schnittstellen wäre eine Funkkommunikation nicht repräsentativ (anderer

Kanal, andere Störempfindlichkeit). Deshalb muss hier eine Lösung gefunden werden, die entweder durch ein Antennenkabel oder ein anderes Kommunikationskabel realisiert werden kann.

**Abbildung 38: Kopplung zwischen unterschiedlichen Wagengruppen**



Quelle: Owita GmbH

Für die Durchführung von Versuchen mit Wagengruppen müssen letztendlich alle Versuchswagen mit den Systemelementen ausgestattet werden, wie für die Einzelwagenversuche schon aufgezeigt.

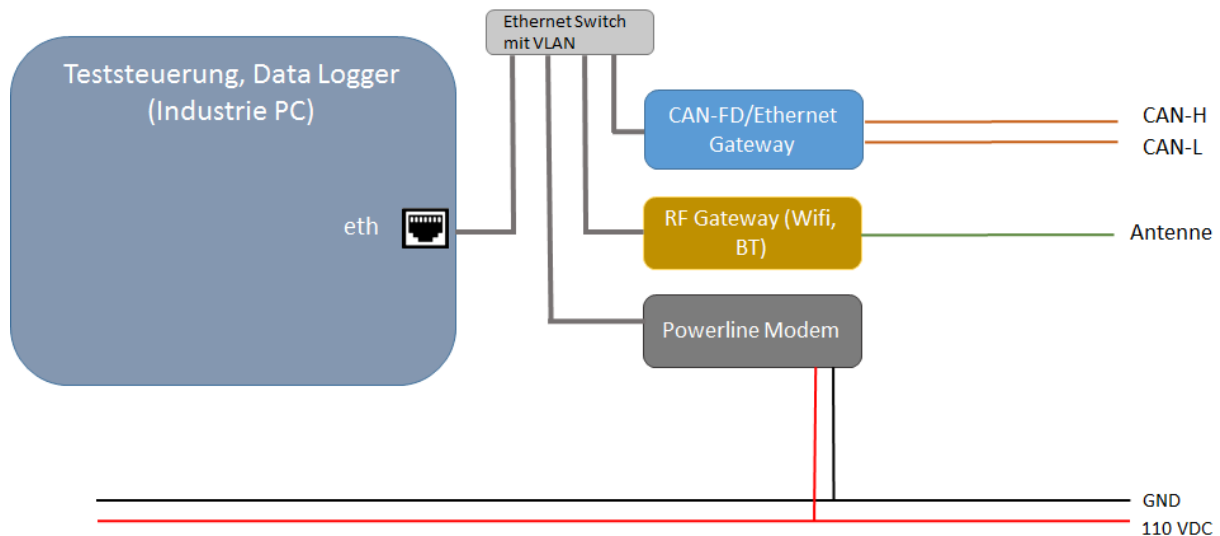
Eine erste Liste der notwendigen Systemkomponenten, die gebaut bzw. beschafft werden müssen, wird auf Basis des Konzeptionierungsstandes in Kap. 5 abgeleitet.

#### 4. Umsetzung Testsystem (Konzept-Idee)

Es wird vorgeschlagen, bei den Testaufbauten auf Standardkomponenten aus der Automatisierungstechnik zurückzugreifen. Dies gilt insbesondere für das CAN-Kommunikationssystem und das Funksystem. Das hat natürlich zur Konsequenz, dass die Hardware noch nicht alle gewünschten Funktionalitäten abbilden kann, aber die für eine Systementscheidung notwendigen Versuche können damit durchgeführt werden. Es entsteht somit ein erstes Testsystem.

Ziel des Testsystems ist ein vergleichbarer Kommunikationstest der drei Lösungsvarianten. Dazu wird vorgeschlagen, das Testsystem im Triebfahrzeug durch einen Industrierechner zur Teststeuerung und Datenerfassung sowie für die Testapplikation (Masterfunktionalität) zu realisieren, und alle Kommunikationssysteme über Ethernet (Hardware des SAP) an die Teststeuerung anzubinden. Um den Ethernet-Datenverkehr für die einzelnen Kommunikationssysteme voneinander zu trennen (bei parallelen Tests) und die Kommunikationswege steuern zu können, kann ein VLAN-fähiger Switch installiert werden. Die SAPs der einzelnen Kommunikationssysteme werden dann als Ethernet-Ports mit entsprechenden IP-Adressen und VLAN-Tags konfiguriert.

Abbildung 39: Testsystem „Triebfahrzeug“



Quelle: Owita GmbH

Die einzelnen Kommunikationstechnologien müssen über einen solchen SAP angebunden werden. Zum Test des CAN-Systems wird dazu eine Steuerung (mit Ethernet-Port) genutzt, an die CAN-Adapter angebunden werden können. Die Kommunikationsfunktionalität muss dann auf der Steuerung/Industrie-PC implementiert werden.

Für die Powerline-Lösung muss eine entsprechende Anbindung an die vorhandenen Module realisiert werden (falls nicht ohnehin vorhanden). Die Kommunikationsimplementierung für die Powerline-Technologie ist schon erfolgt und bei der SBB Cargo in ersten Tests.

Für das Funksystem (2,4 GHz-Funkkanal) kann über WLAN-Module oder über Bluetooth-Module die Kanalbedienung (Accesspoints) durch Industriestandard-Komponenten umgesetzt werden (jedoch vermutlich keine Zugtaufe).

Weiterhin wird vorgeschlagen, das System im Triebfahrzeug permanent mit Strom zu versorgen, um Start-up-Zeiten des Systems bei der Verbindung gering zu halten.

Die grundlegenden Komponenten des Mastersystems für die Tests der Kommunikationstechnik zeigt Tabelle 17:

Tabelle 17: Testkomponenten im Triebfahrzeug (Kommunikation)

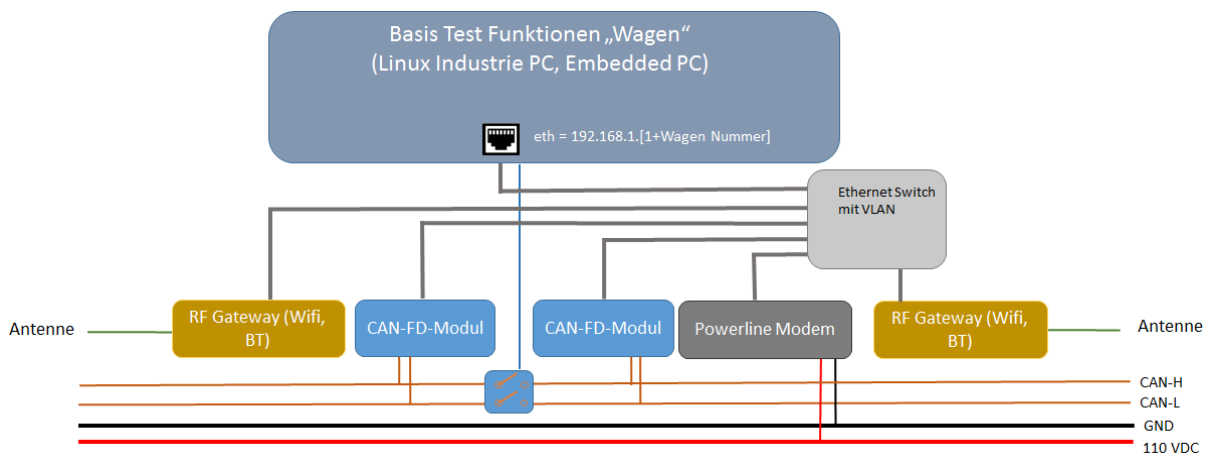
Bauteil	Anzahl pro Triebfahrzeug	Beschreibung/Voraussetzung
Industrie PC	1	Linux basiert
CAN/Ethernet-Gateway	1	
Ethernet Switch	1	Managed Switch mit VLAN-Funktion
RF Gateway (z.B. Wifi, Bluetooth)	1	Umschaltung zwischen Client- und Accesspointmodus über Ethernet-Schnittstelle
Powerline Modem	1	HS Luzern/plc-tec AG

Quelle: Owita GmbH

Zum Aufbau eines Testsystems für die Energieversorgung muss eine Einspeisung der 110 V<sub>DC</sub> aufgebaut werden. Hierzu könnte die Zwischenspannung von 1500 V<sub>AC</sub> auf 110 V<sub>DC</sub> umgesetzt werden. Dazu könnten statische Bordnetzumrichter zur Batterieladung eingesetzt werden, die heute in der Bahntechnik verwendet werden. Ggf. muss vor der Einspeisung in den Umrichter ein Trenntrafo geschaltet werden. Zwischen dem Ausgang der 110 V<sub>DC</sub> des Umrichters und der Einspeisung in die DAK sind Sicherungsmaßnahmen in Form eines Leitungsschutzschalters vorzusehen. Weiterhin muss die Spannung zumindest manuell abschaltbar sein.

Das Testsystem im Wagen (vgl. Abbildung 40 und Tabelle 18) sieht ähnlich aus wie auf dem Triebfahrzeug. Hier werden die Systeme ebenfalls an eine zentrale rechnergesteuerte Instanz über ein gemeinsames Ethernet-System angeschlossen. Im Unterschied zum Triebfahrzeug sind zwei CAN-Module vorgesehen, welche als Ethernet-Gateway ausgeführt sind und über ein Relais eine Durchleitung der CAN-Verbindung durch den Zug realisieren könnte.

**Abbildung 40: Testsystem „Wagen“**



Quelle: Owita GmbH

Als Embedded PC für die Testapplikation kann eine ARM-basierte-Hardware genutzt werden, da hier nicht viel Rechenkapazität nötig ist. Es ist allerdings bei der Auswahl darauf zu achten, dass die Startup-Zeit des Systems relevant ist.

**Tabelle 18: Testkomponenten Wagen**

Bauteil	Anzahl pro Wagen	Beschreibung/Voraussetzung
Embedded PC	1	Linux basiert, wenig el. Leistung
Ethernet Switch	1	Managed Switch mit VLAN-Funktion
CAN/Ethernet-Gateway	2	
Relais-Modul	1	zwei separate Kanäle für CAN-H, CAN-L
RF Gateway (z.B. Wifi, Bluetooth)	2	Umschaltung zwischen Client- und Accesspointmodus über Ethernet-Schnittstelle
Powerline Modem	1	HS Luzern

Quelle: Owita GmbH

*Hinweis: Auch wenn das Testsystem aus verfügbarer Hardware aufgebaut werden kann, sind die genaue Festlegung des Systems (Komponenten und Struktur), die Implementierung der notwendigen Software und die Implementierung der messtechnischen Erfassungen dringend notwendig. Die Gesamtfunktion muss vor einer Implementierung zur Vermessung der DAK-Systeme unter idealen Bedingungen validiert und im Labor aufgebaut werden.*

Zur Versorgung der Wagen im Zugverband kann ein Netzteil von 110 V<sub>DC</sub> auf 24 V<sub>DC</sub> eingesetzt werden. Dadurch wird die Spannung im Zugnetz auf die Bordspannung umgesetzt. Zum Test der Batterieversorgung des Wagens kann eine übliche 24 V USV<sup>27</sup> aus der Automatisierungstechnik verwendet werden. Bei der Auslegung des Testsystems ist darauf zu achten, dass der Gesamtverbrauch der Komponenten die 2,7 W/m Wagenlänge nicht übersteigt.

---

<sup>27</sup> USV: Unterbrechungsfreie Stromversorgung

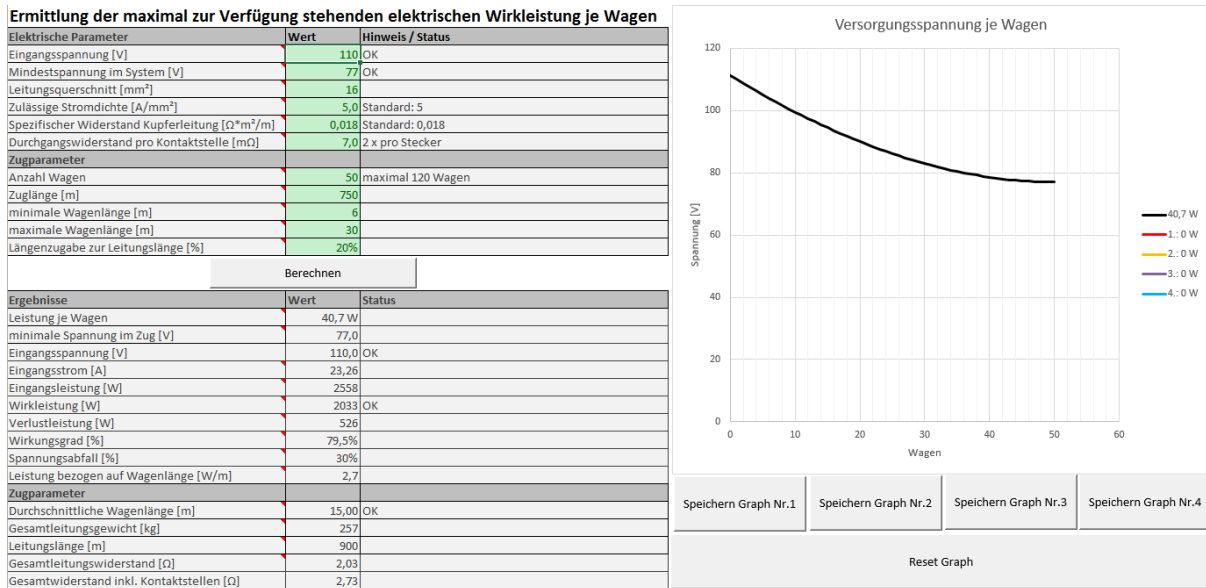
## Anlage 2: Tool zur Analyse der Energieverteilung im Güterzug

Zur Bestimmung von Leistungsentnahmen aus der Energieleitung im Zug unter verschiedenen Voraussetzungen (Parametern) wurde ein Excel-basiertes „Energie-Tool“ erstellt (vgl. Abbildung 41), mit dem die im Wagen zur Verfügung stehende Leistung errechnet werden kann.

Hierzu sind die folgenden Parameter-Eingaben möglich:

- Eingangsspannung: Die Eingangsspannung bezeichnet die Einspeisespannung durch das Triebfahrzeug in den Zug.
- Mindestspannung im System: Dieser Parameter beschreibt die minimale Spannung, die am letzten Wagen zulässig ist.
- Leitungsquerschnitt: Querschnitt des (Kupfer-)Kabels in mm<sup>2</sup>.
- Zulässige Stromdichte: Je nach Verlegung des Kabels und Kabelquerschnitt kann eine zulässige maximale Stromdichte festgelegt werden. Die Stromdichte kann je nach Zuglänge (insbesondere bei kürzeren Zügen) die maximale Leistung der Wagen begrenzen.
- Spezifischer Widerstand der Leitung: Üblicher Widerstand eines Kupferkabels. Bei anderen Materialien (z.B. Aluminium) könnten hier andere Werte gewählt werden.
- Durchgangswiderstand pro Steckkontakt: Der Durchgangswiderstand beschreibt zusammengefasst die Kontaktstellen zwischen den Kupplungen und vom Kupplungsanschluss and die Wagenverkabelung. Der Wert geht in die Berechnung doppelt ein, einmal für den Hin-Leiter, einmal für den Rück-Leiter.
- Anzahl der Wagen: Die Anzahl der Wagen im Zug definiert die Anzahl der Kontaktstellen, die auftreten.
- Zuglänge: Die Zuglänge definiert die Länge und damit den Gesamtwiderstand der Leitung.
- Minimale/Maximale Wagenlänge: Prüfwerte, um Plausibilität der Zuglänge und Anzahl der Wagen zu verifizieren.
- Längenzugabe zur Leitungslänge: Die Leitungen können in den Wagen oft nicht auf dem direkten Weg verlegt werden. Die Leitungslänge im Wagen ist somit länger als die Wagenlänge. Über diesen Parameter kann ein prozentualer Aufschlag auf die Zuglänge definiert werden.

**Abbildung 41: Energietool mit Bedienschnittstelle in Excel**



Quelle: Owita GmbH

Über den Button „Berechnen“ werden die internen Berechnungsfunktionen aktiviert. Über eine Solver-Funktion wird dann die Differentialgleichung der Leistungsbestimmung im Wagen gelöst.



### **Anlage 3: Begleitung durch Partner aus dem Bahnsektor**

Es wurden zwei Workshops mit Industriepartnern zum Thema Energie- und Datenkommunikation in Güterzügen durchgeführt.

Im ersten Workshop am 12.09.2019 wurden Unternehmen aus der Branche der Automatisierungstechnik eingeladen. Ziel des Workshops war die Diskussion der Konzeptentwürfe zur Energie- und Datenkommunikation für die DAK und Einschätzungen der Industriepartner hierzu. Details finden sich im Ergebnisprotokoll.

Teilnehmende Unternehmen: Aspöck, DB Systemtechnik, Deutsche Bahn, DB Cargo, GATX Rail Germany, Harting, hwh, Owita, Phoenix Contact, SBB Cargo, Siemens, VTG.

Im zweiten Workshop am 15.10.2019 wurden Unternehmen aus dem Bahnsektor, insbesondere Kupplungshersteller eingeladen. In diesem Workshop wurden ebenfalls die Konzepte diskutiert, und die Ergebnisse und entsprechende Konsequenzen aus den Workshops in die Konzepte übernommen. Details finden sich im Ergebnisprotokoll.

Teilnehmer: Axtone/ITT, DB Systemtechnik, Deutsche Bahn, DB Cargo, Ermewa, GATX Rail Germany, hwh, Knorr Bremse Systeme für Schienenfahrzeuge, Owita, Rail Cargo Austria, SBB Cargo, Tensor, Voith, Wabtec Europe, VTG.