

1 NEUE ELEKTRONIK- UND KOMMUNIKATIONSSYSTEME
2 FÜR DEN INTELLIGENTEN, VERNETZTEN
3 GÜTERWAGEN

4 FKZ 16ES0850K

5

6 **Konzept Güterwagen 4.0**

7

FH Aachen
Daniela WILBRING
8 Prof. Dr.-Ing. Manfred ENNING,
Prof. Dr.-Ing. Bernd SCHMIDT,
Prof. Dr. Raphael PFAFF

9 10. Juni 2019

10 Zweck des Dokuments

11 Dieses Dokument gehört zu den Dokumenten der FH Aachen im Verbundprojekt "Neue
12 Elektronik- und Kommunikationssysteme für den intelligenten, vernetzten Güterwagen"
13 - Güterwagen 4.0 - Teilvorhaben: "Entwicklung von Grundlagen für Aktorik, Sensorik
14 und Predictive Maintenance".

15 Dieses Dokument zeigt das Konzept des Güterwagens in genau diesen Punkten, also in
16 den Aspekten 'elektrische und pneumatische Aktorik', 'Sensorik' und 'Daten und Kom-
17 munikation'. Diese Punkte bilden die Basis für die Arbeitspakete 3, 4 und 5. Besonders
18 Wert wird auf das Verständnis des Konzeptes im Allgemeinen und Speziellen gelegt.
19 Dieses Dokument ist also als Teil folgenden Arbeitspakete zu sehen:

- 20 • AP 3: Entwicklung Aktorik
 - 21 – 3a: Konzeptentwicklung Aktorik und Aktor-Steuerung
- 22 • AP 4: Entwicklung Sensorik
 - 23 – 4a: Konzeptentwicklung Sensorik
- 24 • AP 5: Datenkommunikation
 - 25 – 5a: Entwicklung eines Hardware- und Software-Konzeptes für die Kommuni-
26 kation

27 Revisionshistorie

| | | | | |
|----|----------------|------------|--|----------|
| 28 | Versionsnummer | Datum | Beschreibung | Autor |
| | 1.0.0 | 15.02.2019 | Erstellung Konzept Güterwagen 4.0 | Wilbring |
| | 1.1.0 | 27.03.2019 | Einfügen von elektrischem und pneumatischem Konzept | Wilbring |
| | 1.1.1 | 01.04.2019 | Korrekturen elektrisches und pneumatisches Konzept | Wilbring |
| | 1.2.0 | 12.04.2019 | Ergänzung im elektrischen und pneumatischen Konzept | Wilbring |
| | 1.3.0 | 18.04.2019 | Ergänzung um sensorisches Konzept und Datenkommunikation | Wilbring |
| | | | | |
| | | | | |

29 Inhaltsverzeichnis

| | | |
|----|---|------------|
| 30 | 1. Einleitung | 1 |
| 31 | 2. Beschreibung des Gesamtsystems | 4 |
| 32 | 2.1. Der Güterwagen 4.0 | 4 |
| 33 | 2.1.1. Energieversorgung | 4 |
| 34 | 2.1.2. Bremse 4.0 | 5 |
| 35 | 2.1.3. Bedienen und Beobachten | 6 |
| 36 | 2.1.4. Intelligente Vernetzung | 6 |
| 37 | 2.2. Physischer Güterwagen 4.0 | 7 |
| 38 | 2.3. Virtueller Güterwagen 4.0 | 8 |
| 39 | 3. Konzept elektrischer Komponenten | 10 |
| 40 | 4. Konzept pneumatischer Komponenten | 12 |
| 41 | 5. Konzept sensorischer Komponenten | 15 |
| 42 | 6. Konzept Datenkommunikation | 16 |
| 43 | Quellenverzeichnis | I |
| 44 | A. Bremse 4.0 | III |

45 Abbildungsverzeichnis

| | | |
|----|--|----|
| 46 | 1. Zusätzliche Komponenten des Gesamtsystems | 7 |
| 47 | 2. Mögliche Darstellung des virtuellen Güterwagens mit IPv6-Netzwerkadresse[2] | 9 |
| 48 | 3. elektrische Komponenten des Gesamtsystems | 10 |
| 49 | 4. Pneumatische Komponenten des Gesamtsystems | 12 |
| 50 | 5. UIC-kompatible Druckluftbremse des Güterwagen 4.0 | 13 |
| 51 | 6. Sensorische Komponenten des Gesamtsystems | 15 |
| 52 | 7. Hardwarekomponenten zur Datenkommunikation des Gesamtsystems . . . | 16 |
| 53 | 8. Kommunikationsmöglichkeiten und angedeutete Rechnerstruktur eines ein- | |
| 54 | zeln Güterwagen 4.0 | 17 |
| 55 | 9. Kommunikation im Zugverband[1] | 18 |
| 56 | 10. Softwarestrukturdiagramm des Güterwagen 4.0 | II |

57 1. Einleitung

58 Das Konzept des Güterwagens wird in diesem Dokument weitreichender und detaillierter
59 als im Lasten- und Pflichtenheft beschrieben. Es orientiert sich am Arbeitsplan des
60 Verbundprojektes und stellt besonders die Bereiche der Arbeitspakete Entwicklung der
61 Aktorik und Sensorik und der Datenkommunikation dar.

62 Güterwagen verfügen bisher – von sehr wenigen Ausnahmen abgesehen – nicht über eine
63 Stromversorgung. Damit ist auch der Weg zu allen weiteren Innovationen in Richtung
64 Automatisierung und Vernetzung versperrt. Durch die Nutzung batteriebetriebener Te-
65 lematikboxen ist in den letzten Jahren die Möglichkeit geschaffen worden, Position und
66 Zustand eines Wagens über cloudbasierte Webplattformen zu beobachten. Dabei bleibt
67 die Dichte und der Umfang der Information aber sehr begrenzt.

68 Jeder Güterwagen 4.0 verfügt über eine Stromversorgung, durch die der Betrieb von
69 Datenverarbeitungs- und Kommunikationseinrichtung jederzeit – auch für gewisse Zeiten
70 im abgestellten Zustand – ermöglicht wird. Darüber hinaus ist das System so dimensio-
71 niert, dass auch aktive Eingriffe in den Zustand des Wagens durch elektrisch betriebene
72 Aktoren versorgt werden. Somit erfüllt der Wagen die Voraussetzungen für den Einstieg
73 in die Automatisierung.

74 Revolutionäre Ideen im Umfeld des Schienengüterverkehrs gab es schon zu genüge. Um
75 eine wirtschaftliche Migration zu erreichen, muss vor allem für den Einstieg eine sehr
76 sorgfältige Auswahl der ersten Teilziele der Automatisierung getroffen werden. Dabei
77 ist Effizienz das wesentliche Kriterium. Es müssen die Aufgaben gefunden werden, bei
78 denen die Anforderungen an die Teilsysteme des Güterwagens 4.0 (Stromversorgung,
79 Sensorik, Aktorik, Rechnertechnik, Kommunikation) aus Leistungs- und Sicherheitsa-
80 spekten möglichst gering sind, dabei aber ein größtmöglicher Nutzen erzeugt wird.

81 Nutzenpotenziale gibt es im lokbespannten Hauptlauf (Zugfahrten) durchaus. Zu nen-
82 nen wären die ep-Bremse sowie die Zugvollständigkeitskontrolle. Wirtschaftliche Vor-
83 teile ergeben sich aus höheren Zuggeschwindigkeiten, weniger Verschleiß und langfristig
84 die Möglichkeit der Einführung von Zugsicherungstechniken ohne infrastrukturgestützte
85 Gleisfreimeldung (ETCS Level 3). Sobald man ein System auf den Güterwagen bringt,
86 welches durch Fehlfunktion theoretisch ein Sicherheitsrisiko für eine Zugfahrt werden
87 kann, sind aber die Zulassungsanforderungen sehr hoch, was zu hohen Systemkosten
88 führt.

89 Für den Einstieg in die Migration bietet sich an, sich zunächst auf die Nebenprozesse zu
90 konzentrieren. Dies umfasst die Automatisierung aller Schritte, die heute durch Rangierer
91 und teilweise durch Wagenmeister bei der Abfertigung von Zügen durchgeführt werden.
92 Also konkret die situationsrichtige Bedienung von Handbremsen, das Vornehmen von

93 Bedienhandlungen zum Einstellen des konventionellen Bremssystems eines Wagens, das
94 Aufnehmen und Verarbeiten von Daten zum Zugverband sowie die Durchführung der
95 Bremsprobe.

96 All diese Prozesse sind grundsätzlich gut durch Automatisierung zu erledigen. Wenn
97 der letzte Schritt der Zugvorbereitung im sicheren Abschalten aller Aktoren besteht, ist
98 der Zug danach ganz „normal“, was insbesondere die Anforderungen an Sicherheit und
99 Verfügbarkeit des technischen Systems und damit dessen Kosten deutlich reduziert.

100 Nachteilig bei dieser Fokussierung ist jedoch, dass einzelne Güterwagen 4.0 nur einen
101 sehr begrenzten positiven Einfluss auf die Arbeitseffizienz haben. Für die automatische
102 Bremsprobe müssen z.B. alle Wagen entsprechend ausgestattet sein. Deshalb müssen
103 auch die Potenziale gesucht und gefunden werden, die abseits der auf den eigentlichen
104 Bahnbetrieb bezogenen Arbeitsprozesse liegen.

105 Hohen Nutzen kann Datenverarbeitung und Automatisierung schon an der Ladestelle
106 stiften. Das Spektrum der Möglichkeiten reicht von der papierlosen Abwicklung über die
107 automatisierte Be- und Entladung bis zu autonom durchgeführten Fahrzeugbewegungen
108 innerhalb eines Werksgeländes. Je nach Anwendungsfall kann der wirtschaftliche Nutzen
109 an der Ladestelle bereits die Systemkosten mehr als aufwiegen, so dass für den bahnbe-
110 trieblichen Prozess nur noch gefordert werden muss, dass der Wagen den Normalbetrieb
111 nicht stört.

112 Je mehr Güterwagen 4.0 zum Alltag werden, um so mehr Situationen ergeben sich, in de-
113 nen auch im gemischten Einzelwagenverkehr Bedienabläufe im Bahnbetrieb vereinfacht
114 werden. Forcieren kann man die Migration, in dem man Verkehre sucht, bei denen sich
115 günstige Ansätze an den Ladestellen mit möglichst „reinrassigen“ Güterwagen 4.0 Zügen
116 im Hauptlauf kombinieren lassen. Diese Eintrittstore können im Bereich des Kombinier-
117 ten Verkehrs, aber auch in der Automobillogistik und in anderen Branchenverkehren
118 liegen, bei denen eine kleinteilige Bedienung auf der Werksebene mit Gannzügen oder
119 Wagengruppen im Hauptlauf kombiniert werden.

120 Für viele solcher Anwendungen ist die Fähigkeit der autarken Bewegung von besonderer
121 Bedeutung. Daher ist Bestandteil des Konzepts Güterwagen 4.0 auch ein einfacher Ran-
122 gierantrieb und dessen separate (da leistungs- und energiestärkere) Stromversorgung.

123 Beginn mit dem Gesamtkonzept

124 Dann elektrisches Konzept klarer gezeigt

125 Dann pneumatisches Konzept ausführlicher

126 Dann Sensoren

127 und dann Daten und Datenkommunikation.

128 AP 5: In Kapitel 6 werden bahnbetriebliche geeignete Nachbereichsfunktechniken für
129 die Kommunikation zwischen Wagen, Wagen und Lok, Wagen und Bediener sowie Wa-
130 gen und Ladung besprochen. Neben einer hohen Daten- und Sabotagesicherheit wird
131 auf Störfestigkeiten, kurze Latenzzeiten und Echtzeitverfügbarkeit geachtet. Dadurch
132 soll eine Verfolgung der Güter, eine kontinuierliche Überwachung und eine statistische
133 Auswertung der Betriebs- und Logistikprozesse ermöglicht werden. Es erfolgt eine An-
134 forderungsanalyse, eine Spezifikation und Konzeption.

135 2. Beschreibung des Gesamtsystems

136 Der neue intelligente Güterwagen soll in Zukunft selbst wissen, was wann mit ihm ge-
137 macht wurde, wo er war und welche Wartungszyklen wie eingehalten wurden. Ebenso
138 soll auch eine Überwachung des aktuellen Zustandes und Rückschlüsse auf die Zukunft
139 mittels Sensoren zur vorausschauenden Instandhaltung möglich sein.

140 Des Weiteren soll er physisch bei der Zugvorbereitung helfen. Erst nur durch aktive
141 Unterstützung bei der Feststellbremse, sodass keine Hemmschuhe benötigt werden, Ver-
142 stellen der Bremsstellung, automatisches Durchführen einer Bremsprobe oder Hilfe bei
143 Zugtrennungen. Später aber auch durch ein gewisses Maß an selbstständigem Rangier-
144 vermögen.

145 Ebenfalls geplant ist eine digitale Unterstützung bei der Zugvorbereitung. Hier sind vor
146 allem Unterstützungen im Bereich automatische Bremsberechnung und Bremsprobe, aber
147 auch bei der Zugzusammenstellung geplant.

148 Dafür werden einerseits Sensoren und Aktoren am Wagen angebracht, andererseits auch
149 eine Stromversorgung und ein Bordrechner mit Betriebssystem.

150 Diese Punkte sorgen ebenso für mehr Effizienz in der Zugvorbereitung, nicht nur im
151 Einzelwagenverkehr, auch im Bereich der Ganzzüge und dem Kombinierten Verkehr,
152 die in den Betriebsstätten ebenfalls alleine oder in kleinen Wagengruppen vorbereitet
153 werden, als auch bieten sie angenehmere Arbeitsplätze, bessere Überwachung der Wagen
154 und kosteneffizientere Instandhaltung durch genauere Wartungsintervalle.

155 2.1. Der Güterwagen 4.0

156 Die einzelnen Komponenten bestehen aus Kombinationen der hier vorgestellten Subsys-
157 teme. Darum sollen diese auch hier noch einmal kurz behandelt werden.

158 2.1.1. Energieversorgung

159 Die dauerhafte Versorgung des Güterwagens mit Energie stellt ein Novum im Güterver-
160 kehr dar. Vor allem die Nachspeisung der Pufferbatterie durch verschiedene Quellen
161 soll die Akzeptanz erhöhen. In Abbildung 1 ist der Güterwagen 4.0 mit Radsatzgene-
162 rator und externer Ladeschnittstelle gezeigt (Kapitel 3). Zusätzlich denkbar sind auch
163 eine Aufladung über die Automatische Kupplung, handgekuppelte Kabelstränge von ei-
164 nem Wagen zum nächsten bei fest verbundenen Wagengruppen, Solarpanels oder sogar

165 Brennstoffzellen.

166 Die Batterie (Kapitel 3) speist wiederum sämtliche Aktoren, Sensoren und die Bord-
167 elektronik. Diese Speisung erfolgt sowohl bei der Fahrt zur Aufnahme von Daten der
168 Sensoren sowie der Aktorik der ep-Bremse, als auch bei Stillstand. Hier müssen Ladema-
169 nagement und Betriebssystem dafür sorgen, dass alle notwendigen Prozesse weiterlaufen,
170 alle Anderen aber heruntergefahren werden, oder die Aktualisierung von Daten seltener
171 erfolgt.

172 **2.1.2. Bremse 4.0**

173 Die Bremse des Güterwagen 4.0 bietet folgende Funktionen:

- 174 • TSI-konformes Steuerventil mit den Bremsstellungen G und P (Kapitel 4)
- 175 • Fernbetätigte Endabsperrröhne (Kapitel 4)
- 176 • Fernbetätigung verschiedener Bremsfunktionen (Kapitel 4)
 - 177 – Schnelllösen
 - 178 – Bremse aus
 - 179 – Bremsstellung
 - 180 – Feststellbremse
 - 181 – ep-Bremsen
 - 182 – Lastabbremung
- 183 • Anzeige der Zustände der Umstelleinrichtungen durch mechanische Aussenanzeigen
- 184 • Anzeige des Zustands (drucklos, druckbeaufschlagt) der pneumatischen Kupplung
185 (Kapitel 4)
- 186 • Messung des C-Drucks (Kapitel 4)

187 **2.1.3. Bedienen und Beobachten**

188 Wird von Manfred geschrieben

189 **2.1.4. Intelligente Vernetzung**

190 Der Güterwagen 4.0 ist als 'intelligenter' Wagen im Sinne der Industrie 4.0 im Schienen-
191 verkehr geplant. Dafür benötigt er, neben der Energieversorgung und der teilautomati-
192 sierten Bremse, auch einen Bordrechner, der diese 'Intelligenz' liefert.

193 Auf diesem Rechner soll als Betriebssystem das sogenannte 'WagonOS' installiert sein.
194 Dieses bietet als Open Source-System ein offenes Betriebssystem mit vielen Ausbaumög-
195 lichkeiten. Das WagonOS bietet den Nutzern des Güterwagen 4.0 diesen auf genau die
196 benötigten Anwendungsfälle zu Optimieren und sogar die Möglichkeit eigene Applika-
197 tionen zu erstellen.

198 Des Weiteren liegen auf dieser Speichereinheit dezentral alle für die Zugbildung und In-
199 standhaltung wichtigen Informationen über den Wagen. Dazu gehören bauartspezifische
200 Parameter wie Gewicht, Länge, Achszahl, maximal Zuladung und Höchstgeschwindigkeit
201 genauso wie wagenspezifische Informationen wie Besitzer, Laufleistung, Informationen
202 aus den Sensoren, letzte Wartungen und nächste Instandhaltungszyklen.

203 Diese Informationen liegen ebenso als 'Digitaler Zwilling' in einer Cloud. Bei Verbindung
204 des Wagens zum Internet und Änderung der Informationen auf dem Wagen wird dieser
205 Zwilling regelmäßig aktualisiert.

206 Im Verband mit anderen Wagen verhält sich der Güterwagen 4.0 'sozial' und teilt alle
207 notwendigen Informationen über sich mit den anderen Wagen und der Lok als gleichbe-
208 rechtigte Partner. Durch die Verbindung von Wagen zu Wagen ist keine durchgehende
209 Internetverbindung notwendig. Die Informationen können lokal ausgetauscht und später
210 synchronisiert werden.

211 Im Projekt umgesetzt werden soll davon eine reduzierte Form des WagonOS. Eine Ent-
212 wicklung des vollständigen Betriebssystems findet nicht im Rahmen dieses Projektes
213 statt.

214 Diese reduzierte Form des Betriebssystems soll eine Speicherung und Auswertung aller
215 relevanter Daten auf dem Bordrechner ermöglichen. Eine weitere Datenspeicherung als
216 'Digitaler Zwilling' findet in der Cloud statt.

2.2. Physischer Güterwagen 4.0

Das Gesamtsystem, bestehend aus elektrischer, pneumatischer, sensorischer und Datenkomponenten ist in der Abbildung 1 zu sehen.

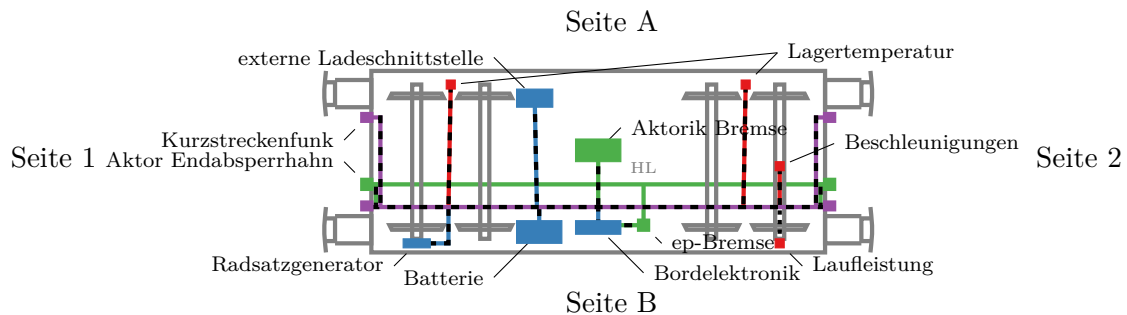


Abbildung 1: Zusätzliche Komponenten des Gesamtsystems

Abgebildet ist im Hintergrund in grau ein gebremster, vier-achsiger (in zwei Drehgestellen) Güterwagen, mit Puffern und Schraubenkupplung. Eine genaue Bauart ist und soll nicht erkennbar sein. Die elektrischen Komponenten sind in blau, die pneumatischen Komponenten in grün, die sensorischen Komponenten in rot und die Datenkomponenten in violett eingefärbt. Zusätzlich sind die Elemente, die mit Strom versorgt werden auch mit einer schwarzen, gestrichelten Linie verbunden.

Das Konzept des Güterwagens besteht aus vier großen Unterpunkten, die hier beschrieben werden.

- Stromversorgung des Güterwagens,
- Teilautomatisierung des Güterwagens durch Aktoren,
- Zustandsüberwachung des Güterwagens durch Sensoren und
- Intelligenter Vernetzung zwischen Güterwagen und weiteren Bahnanlagen.

Diese Punkte werden in folgenden Unterkapiteln einzeln beleuchtet. Nach einer Beschreibung des virtuellen Güterwagens folgt die Stromversorgung mit ihren Komponenten, anschließend erfolgt eine Ausführung über pneumatische Komponenten, die der Teilautomatisierung durch Aktoren entspricht. Im Anschluss folgt ein Kapitel über die Zustandsüberwachung mittels Sensorik und später eine Ausführung über die Systeme, die dem Wagen 'Intelligenz' bieten sollen.

238 2.3. Virtueller Güterwagen 4.0

239 Für eine, wie die bereits beschriebene, intelligente Vernetzung der Güterwagen wird
240 nicht nur ein physischer Güterwagen mit Sensoren und Aktoren sowie deren Auswertung
241 benötigt, sondern auch eine Kommunikationsmöglichkeit. Für diese wird eine virtuelle
242 Entsprechung des Güterwagens benötigt: der virtuelle Güterwagen 4.0.

243 Jeder Güterwagen 4.0 besitzt einen 'Digitalen Zwilling'. In ihm werden alle Zustände
244 und Aktorstellungen gespeichert. Siehe dazu auch 6. Für die Speicherung der Daten
245 und Kommunikation mit anderen Wagen wird das bereits angesprochene Betriebssystem
246 'WagonOS' benötigt.

247 Die Architektur dieser offenen Güterwagen-Software stützt sich auf folgende Punkte:

- 248 • Internettechnologien
- 249 • IPv6-basiert
- 250 • Dezentral
- 251 • Zukunftssicher

252 Durch die Wahl von Internettechnologien sind beliebige Übertragungsmöglichkeiten wähl-
253 bar und kombinierbar.

254 Durch eine Basierung auf IPv6 ist eine eindeutige Identifizierung jedes Wagens möglich.
255 Zur eindeutigen Zuordnung soll die UIC-Wagennummer auch der Netzwerkadresse ent-
256 sprechen. Siehe dazu auch Abbildung 2.

257 Alle Wagen sollen hierarchisch gleich gestellt sein. außerdem darf keine Abhängigkeit
258 zu Netzwerkverbindungen oder Servern bestehen. Darum soll durch Dezentralität und
259 lokalen Netzwerken immer eine lokale Verbindung bestehen. In dieser wird eine lokale
260 Hierarchie gebildet.

261 Im Verband mit anderen Wagen verhält sich der Güterwagen 4.0 sozial und teilt alle not-
262 wendigen Informationen über sich mit den anderen Wagen und der Lok als gleichberech-
263 tigte Partner. Dazu gehören bauartspezifische Parameter wie Gewicht, Länge, Achszahl,
264 maximal Zuladung und Höchstgeschwindigkeit genauso wie wagenspezifische Informatio-
265 nen wie Besitzer, Laufleistung, Informationen aus den Sensoren, letzte Wartungen und
266 nächste Instandhaltungszyklen.

267 Aufgrund der vielen unterschiedlich konfigurierten Güterwagen und Zugängen zu Daten

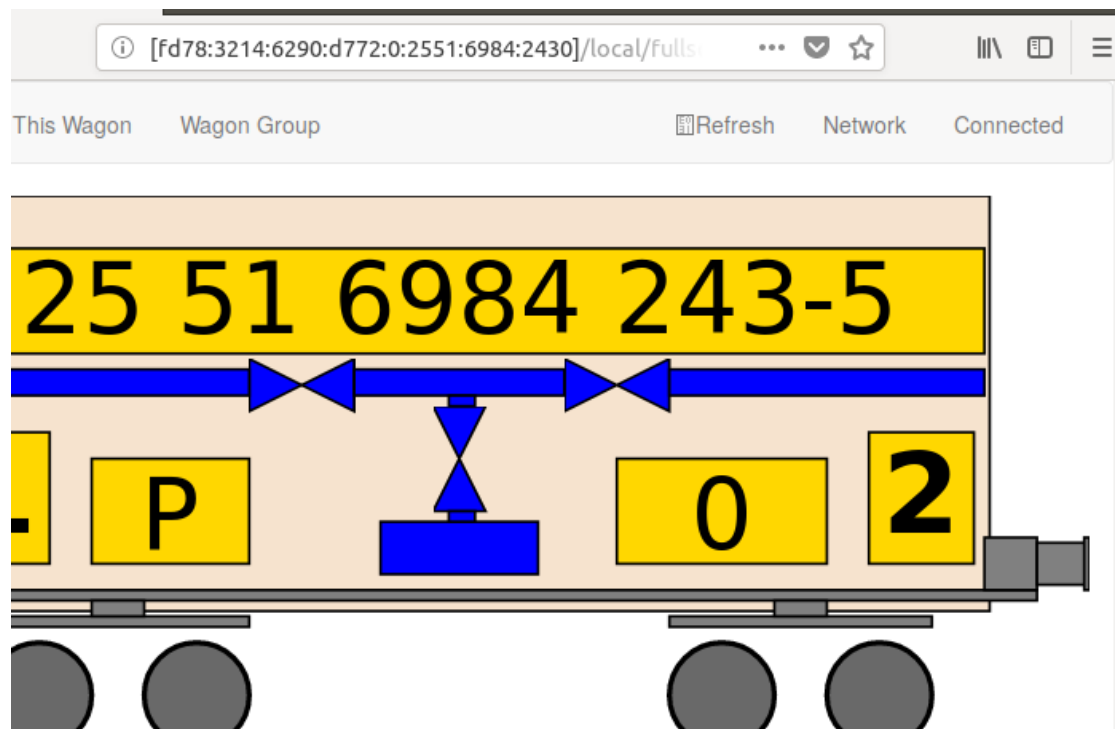


Abbildung 2: Mögliche Darstellung des virtuellen Güterwagens mit IPv6-Netzwerkadresse[2]

268 und Akten wird eine NoSQL-Technologie als Datenbankformat gewählt. Diese sorgt auch
269 bei unterschiedlichen Versionen und Daten für eine zukunftssichere Datenbank.

270 Eine weitere Beschreibung des Bordrechners ist in Kapitel 3 zu finden, die Beschreibung
271 der Kommunikation in Kapitel 6 zu finden.

272 3. Konzept elektrischer Komponenten

273 In diesem Kapitel werden die elektrischen Komponenten innerhalb des Konstruktes
274 Güterwagen 4.0 mit ihrem Konzept einzeln beschrieben. Dieses Kapitel ist zugehörig
275 zum Arbeitspaket 3 - Entwicklung Aktorik; genauer AP 3a: Konzeptentwicklung Akto-
276 rik und Aktorsteuerung und behandelt die elektrischen Komponenten; die pneumatischen
277 Aktoren werden im folgenden Kapitel beschrieben.

278 Die elektrischen Komponenten sind in Abbildung 3 farblich hervorgehoben. Für den
279 Demonstrator sind drei große, elektrische Module geplant: Batterie, Bordelektronik und
280 die Ladeelektronik, bestehend aus dem Radsatzgenerator und einer Ladeschnittstelle zur
281 externen Aufladung (alle in blau dargestellt). Zusätzlich müssen auch alle weiteren Ak-
282 toren und Sensoren sowie Datenschnittstellen außerhalb dieser Elektronik mit Spannung
283 versorgt werden (hier in schwarz gestrichelt dargestellt).

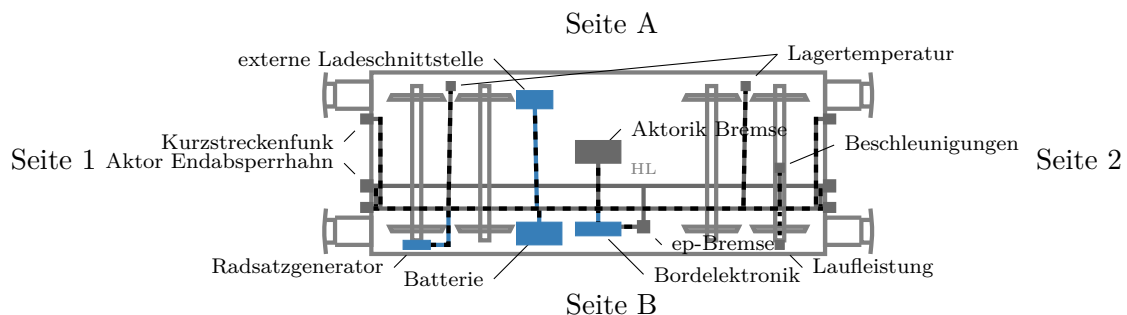


Abbildung 3: elektrische Komponenten des Gesamtsystems

284 Für den serienreifen Güterwagen 4.0 ist auch eine Aufladung der Batterie durch eine
285 Automatische Kupplung oder fest verlegte Kabel denkbar, diese sollen für den Demons-
286 trator aber noch nicht betrachtet werden.

287 **Achsdeckelgenerator** Das elektrische Konzept sieht vor, dass ein Radsatz- oder Achs-
288 deckelgenerator im Umlauf des Wagens genug Energie produziert um alle notwendigen

289 Komponenten zu speisen sowie zusätzlich eine Pufferbatterie für den geplanten und un-
290 geplanten Fall des Stillstandes lädt.

291 **Externe Ladeschnittstelle** Zur Aufladung der Systembatterie im Stillstand wird ei-
292 ne externe Ladeschnittstelle benötigt. Diese ist auch für Lokomotiven üblich und soll
293 übernommen werden. Für die Demonstratoren ist sie besonders wichtig, da sie keinen
294 Üblichen Umlauf fahren.

295 **Batterie** Die Batterie benötigt genügend Leistung für eine übliche Speisung der Bord-
296 elektronik, der Aktoren und Sensoren sowie einen Puffer bei ungeplanten Zeitverzöger-
297 ungen bei einem üblichen Wagenumlauf.

298 **Bordelektronik** Die Bordelektronik steuert alle für den Güterwagen notwendigen Pro-
299 zesse. Dazu gehören sichere und nicht sichere Prozesse.

300 Bei sicheren Prozessen wird von außen reiner Lesezugriff gewährt. Bei nicht sicheren
301 Funktionen ist auch ein Schreibrecht von außen zu geben. Siehe dazu auch die Systeme-
302 marchitektur des Rechners im Kapitel 6.

303 Zu den sicheren Funktionen gehören:

- 304 • Steuerung der pneumatischen und elektrischen Aktoren,
- 305 • Kommunikation mit den Sensoren,
- 306 • Speicherung der Daten der Sensoren,
- 307 • Steuerung und Regelung des Lademanagments,
- 308 • Kommunikation mit anderen Güterwagen 4.0 und Lokomotiven.

309 Nicht sichere Funktionen dagegen können von außen im Stand und von entsprechen
310 autorisierten Personen beschrieben werden. Zu diesen gehören:

- 311 • Kommunikation mit dem Bediener
- 312 • Speicherung weiterer Informationen über den Güterwagen,
- 313 • Kommunikation mit der Cloud zur Aktualisierung des 'Digitalen Zwillings'.

4. Konzept pneumatischer Komponenten

In diesem Kapitel werden die pneumatischen Komponenten mit ihrem dahinterstehenden Konzept einzeln beschrieben. Dieses Kapitel ist zugehörig zum Arbeitspaket 3 - Entwicklung Aktorik; genauer AP 3a: Konzeptentwicklung Aktorik und Aktorsteuerung und behandelt die (pneumatischen) Aktoren.

Die pneumatischen Komponenten sind in Abbildung 4 in grün farblich hervorgehoben.

Für den Demonstrator ist eine teilautomatisierte Bremssteuerung geplant. Diese beinhaltet die Aktorik des Güterwagens 4.0 - siehe dazu Abbildung 5 auf Seite 13 und den Anhang A zur Bremse 4.0 - die Aktoren an den Endabsperrhähnen und ep-Assist. Das Steuerventil 4.0 besteht neben dem Steuerventil gemäß EN 15355 und sowie den gegenüber einem üblichen Güterwagenbremssystem unveränderten A- und R-Kammern auch aus einigen Aktoren.

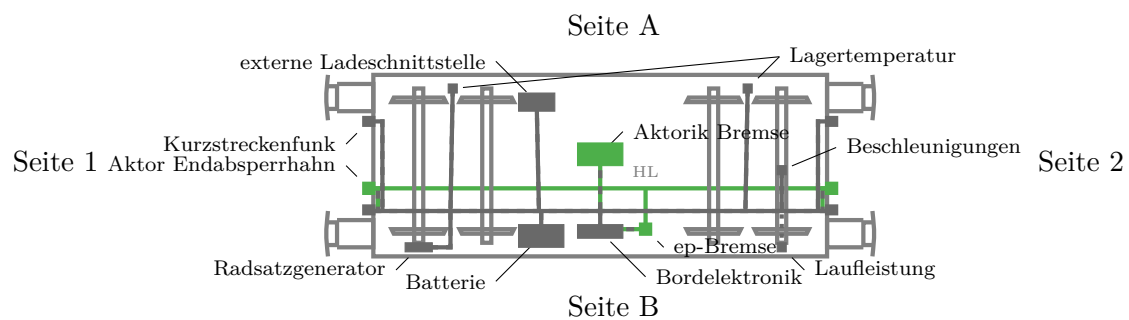


Abbildung 4: Pneumatische Komponenten des Gesamtsystems

Alle Aktoren, abgesehen von denen für ep-Assist, sollen vor Fahrtantritt abschaltbar sein, um ein dem üblichen Güterwagen gleichwertiges Verhalten während des Hauptlaufs zu gewährleisten. Damit sie nach Abschaltung in der zuletzt eingestellten Position bleiben werden durch Stellmotoren betätigte Kugelhähne verwendet. Diese halten sicher ihre Stellung auch ohne Stromversorgung. Für die Funktion ep-Assist wird ein Magnetventil, das bestromt die HL lokal entlüftet, eingesetzt.

Die Bremse 4.0 besteht aus der Hauptluftleitung, dem Bremsgestänge, dem Steuerventil 4.0, einem Relaisventil, zwei C-Druck-Sensoren, der Feststellbremse und ep-Assist.

Hauptluftleitung Die Hauptluftleitung (HL) besteht aus der HL selbst, den Endabsperrhähnen (02.02), die bei der Bremse 4.0 als Muffenkugelhahn ausgeführt werden, zwei Schauzeichen (02.02) für den Druck der HL und der Schlauchkupplung nach EN

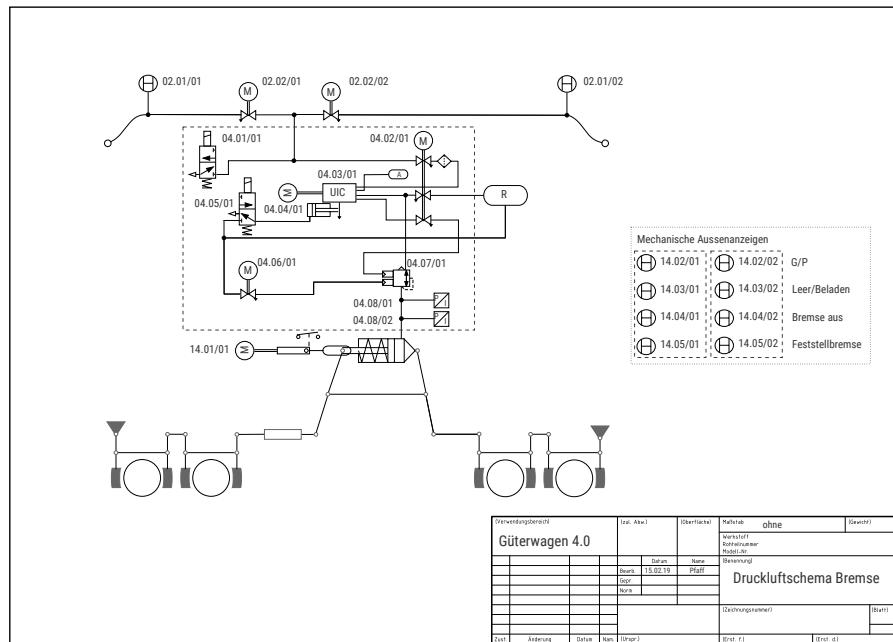


Abbildung 5: UIC-kompatible Druckluftbremse des Güterwagen 4.0

337 15807.

338 **Endabsperrrhahn** An beiden Enden des Wagens werden die Endabsperrrhähne durch
 339 Muffenkugelhähne DN32 mit elektrischem Antrieb ausgestattet. Diese sorgen für eine
 340 sichere Trennung und Kupplung von Wagen durch automatisches Öffnen und Schlie-
 341 ßen. Zusätzlich bieten sie eine wichtige Unterstützung zur automatischen Bremsprobe,
 342 da sie direkt ansteuerbar sind. Sie verfügen über eine manuelle Notbetätigung sowie
 343 Rückmeldeschalter.

344 **Bremsgestänge** Das Bremsgestänge bleibt wie gewohnt. Ein ggf. bestehender mecha-
 345 nischer Lastwechsel wird in Stellung Beladen arretiert. Die Lastabbremse wird im
 346 Relaisventil (04.07)realisiert und mit einem Kugelhahn (04.06) automatisiert.

347 **Steuerventil** Das Steuerventil 4.0 besteht aus einem UIC/TSI-kompatiblen Steuerventil
 348 (04.03) mit A-Kammer, einer G/P-Umstellvorrichtung mit visueller Zustandsanzeige
 349 (14.02), Schnell- lösen und Bremse aus. Für die Funktion Bremse aus wird der Zustand
 350 ebenfalls visuell angezeigt (14.04).

351 **Relaisventil** Das Relaisventil (04.07) wird für die automatische Lastabbremung ver-
352 wendet. Dazu besitzt es ein Vorsteuerventil (04.06) mit Rückmeldeschalter. Zur Überwachung
353 des Zustands und als Rückfallebene wird auch hier eine visuelle Zustandsanzeige über die
354 Lastwechselstellung in der Komponente (14.03) umgesetzt.

355 **C-Druck-Sensor** Der C-Druck (Bremszylinderdruck) wird mit P/I-Wandlern (04.08)
356 zwischen Relaisventil und Bremszylinder gemessen und u.a. für die Bremsprobe benötigt.
357 Es werden zwei Sensoren mit unabhängiger Messung verwendet. Dies ermöglicht eine
358 Zweikanaligkeit für diesen Messwert.

359 **Feststellbremse** Die Feststellbremse besteht aus einem Stellmotor mit mechanischer
360 Übersetzung, einem Rückmeldeschalter (14.01) und einer visuellen Zustandsanzeige (14.05).
361 Durch die Einführung der automatischen Feststellbremse fällt das Legen von Hemm-
362 schuhen vor dem Wagen weg.

363 **ep-Assist** Bei ep-Assist wird die HL lokal entlüftet. Ein ep-Lösen findet nicht statt¹.
364 Die elektrische Ansteuerung sorgt für kürzere Durchschlagzeiten, für weniger Verschleiß
365 durch weniger auffahren und kürzere Bremswege durch schnelle Bremsanspruchzeiten.
366 Dafür wird ein 3/2-Wege-Ventil (04.01), mindestens DN 7, in bestromtem Zustand die
367 HL entlüftend, eingesetzt.

368 **Zustandsanzeige pneumatische Aktoren** Die pneumatische Bremse benötigt aufgrund
369 der veränderten Technik diverse Zustandsanzeigen. Diese sind sämtlich elektro-mecha-
370 nisch oder elektro-pneumatisch ausgeführt, damit sie auch eine sichere Anzeige bieten,
371 wenn das System vor der Zugfahrt abgeschaltet wird.

372 Folgende Zustandsanzeigen sind vorgesehen:

- 373 • Druckanzeige der Schlauchkupplung (02.01), 1 je Wagenende
- 374 • Zustand G/P-Umsteller (14.02), 1 je Wagenseite
- 375 • Zustand Lastwechsel (14.03), 1 je Wagenseite
- 376 • Zustand Bremse (eingeschaltet / ausgeschaltet) (14.04), 1 je Wagenseite

¹Dafür würde eine Hauptbehälterluftleitung benötigt werden, diese ist im Allgemeinen bei Güterwagen nicht vorhanden, darum kann und soll diese Funktion nicht umgesetzt werden. Die indirekte Bremsfunktion bleibt vorhanden.

- Zustand Feststellbremse (14.05), 1 je Wagenseite

5. Konzept sensorischer Komponenten

In diesem Kapitel werden die sensorischen Komponenten des Güterwagen 4.0 einzeln beschrieben. Dieses Kapitel ist zugehörig zum Arbeitspaket 4 - Entwicklung Sensorik; genauer AP 4a: Konzeptentwicklung Sensorik und behandelt den sensorischen Teil des Güterwagen 4.0 inklusive Condition Monitoring.

Die sensorischen Komponenten sind in Abbildung 6 in rot farblich aufgezeigt. Für den

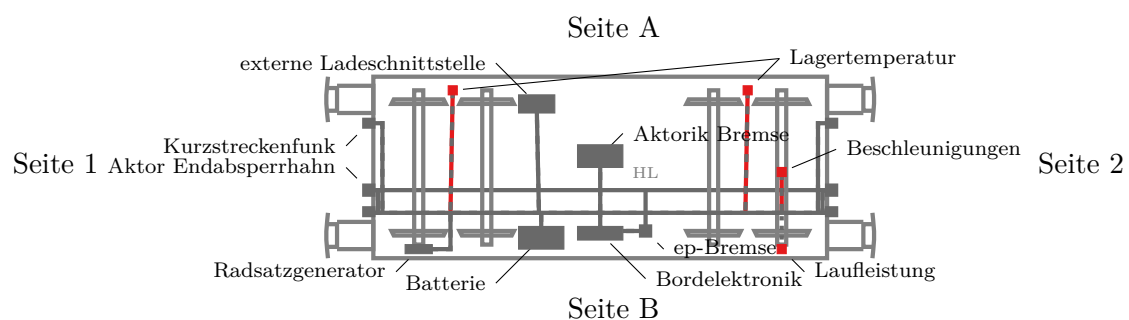


Abbildung 6: Sensorische Komponenten des Gesamtsystems

Demonstrator ist eine Teilausstattung mit Sensoren geplant. Diese dienen zum Auslesen von Aktoren sowie zur Zustandsüberwachung des Wagens.

Folgende Zustände von 4.0-Komponenten sollen überwacht werden:

- Batteriestand
- Pneumatische Kupplung
- Steuerventilstellung
- Relaisventilstellung
- Stellung der HL-Ventile
- Stellung der Feststellbremse

- C-Druck

Zusätzlich soll auch der Zustand des Wagens überwacht werden. Dafür sind folgende Sensoren vorgesehen:

- Lagertemperatur
- Beschleunigungen in x-, y- und z-Richtung
- Laufleistung/Radumdrehung

6. Konzept Datenkommunikation

In diesem Kapitel geht es um die konzeptuelle Ausführung der Datenkommunikation. Es teilt sich auf in die Teile Hardware und Software und ist zugehörig zum Arbeitspaket 5 - Datenkommunikation; genauer AP 5a: Entwicklung eines Hardware- und Software-Konzepts für die Kommunikation und behandelt die Ausführung der notwendigen Daten und deren Kommunikationsmöglichkeiten in Hard- und Software. Auch die Rechnerarchitektur wird hier beschrieben.

Die entsprechenden Hardwarekomponenten sind in Abbildung 7 in violett farbllich markiert. Damit die Wagen untereinander sozial interagieren können, ist eine Kommunikati-

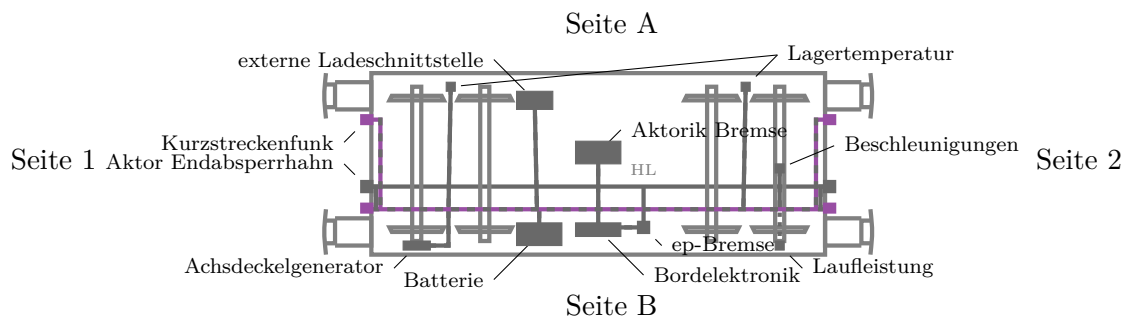


Abbildung 7: Hardwarekomponenten zur Datenkommunikation des Gesamtsystems

on untereinander ebenso notwendig wie Informationen über sich selbst. Zur Verarbeitung und Sicherung eigener Daten werden Sensoren und Aktoren ausgelesen und im Digitalen Zwilling gespeichert.

Dieser Digitale Zwilling wird bei der Kommunikation mit anderen Wagen, der Lok oder

412 mobilen Device je nach Autorisierung mit Lese- oder Lese- und Schreibzugriff ausgetauscht.
 413

414 Der Wagen besitzt, siehe Abbildung 8, zwei, an den Längsseiten angebrachte, Möglichkeiten für den Kurzstreckenfunk zur Kommunikation mit Nachbarwagen, sowie zwei
 415 WLAN-Antennen mit eigener CPU an zwei gegenüberliegenden Ecken als Kommunikationsschnittstelle zum Bediener sowie zur Überbrückung nicht ausgerüsteter Wagen im
 416 Wagenzug. Zusätzlich hat jeder Wagen zur Ortung und Zeitsynchronisation eine GPS-Antenne und - je nach Ausstattung - eine optionale Möglichkeit für den Fernfunk mittels
 417 GSM, GSMR, UMTS oö zum Übersenden von Daten in die Cloud. Die Kommunikation mit Sensoren und Aktoren läuft direkt über den Hauptrechner. Dieser ist leistungsstärker und beinhaltet neben der Verarbeitung der Sensor- und Aktordaten auch das
 418 Batteriemanagementsystem, sowie die Digitale Identität.
 419
 420
 421
 422
 423

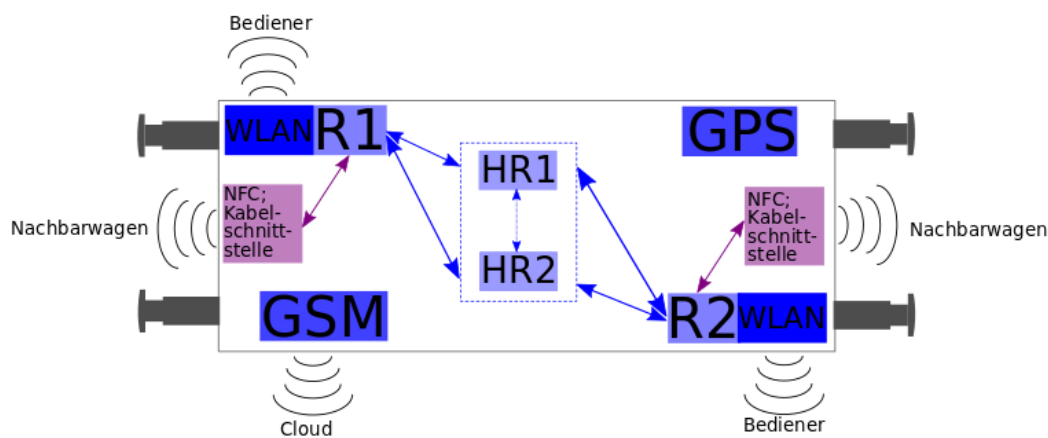


Abbildung 8: Kommunikationsmöglichkeiten und angedeutete Rechnerstruktur eines einzelnen Güterwagens 4.0

424 Die Kommunikation im Wagen findet über ein Bussystem mit geringem spezifischen
 425 Energiebedarf statt. Für erste Tests ist EtherCAT angedacht.

426 Die Kommunikation der Wagen untereinander findet entweder, bei nicht vollständig aus-
 427 gerüsteten Wagenzügen, über ein WLAN-Mesh (siehe Abbildung 8, blau) in mittlerer
 428 Distanz oder direkt über eine Kurzdistanz-Verbindung (lila) statt. Diese Kurzdistanzver-
 429 bindungen können kabelgebunden über Ethernet, NFC, WLAN mit 60GHz oder Blue-
 430 Tooth entstehen. Eine sinnvolle Auswahl wird im Projekt getroffen. Bei beiden Kom-
 431 munikationswegen ist wichtig, dass diese sicher und unempfindlich gegenüber Störungen
 432 und Manipulation ist. Sie soll außerdem über Kurz- und Mittelstreckenfunk redundant
 433 ausgeführt sein, was zu einer höheren Sicherheit und Zuverlässigkeit führt. Siehe dazu
 434 auch Abbildung 9.

435 Zusätzlich soll auch noch eine optionale Verbindung zu einer Cloud im Fernbereichsfunk

zur Verfügung stehen. Diese erhält allerdings nur einen Lesezugriff um eine Manipulation über die Cloud so schwierig wie möglich zu gestalten.

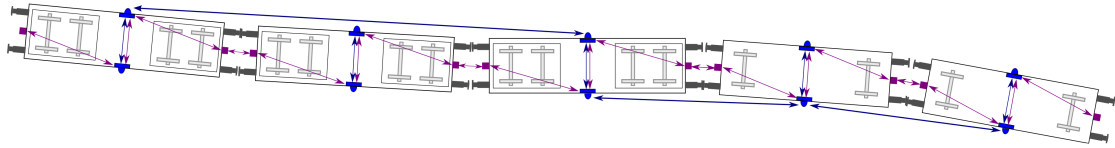


Abbildung 9: Kommunikation im Zugverband[1]

Die Kommunikation mit dem Bediener erfolgt lokal innerhalb des wageneigenen WLANs, bzw. des Wagenzuges eigenen WLAN-Meshs. Eine genaue Ausarbeitung dieser Kommunikation erfolgt im Projekt. Möglich wären beispielsweise einzelne Bedienelemente mittels RFID oder QR-Code anzuwählen und am mobilen Endgerät zu bedienen.

Bei einer Vollausrüstung von Wagen mit Kommunikation von Wagen zu Wagen über Funk und innerhalb der Wagen über EtherCAT ist diese Kommunikation kaum störbar. Hier bietet der Güterwagen auch volles Potential für Zugautomatisierungen inklusive Zugtaufe, Bremsprobe und ep-Bremsen. Sogar ETCS Level 3 kann möglich sein.

Aber auch bei nur einer Teilausrüstung der Wagen kann eine Nutzentfaltung durch Digitalisierung von Prozessen an der Ladestelle stattfinden. Eine Automatisierung ist dann in Verbindung mit stationärer Technik im Betrieb möglich.

Die Vernetzung zur Lok kann mittels eines Dongles an der UIC 556-Schnittstelle über das Wire-Train-Bus-Gateway stattfinden. Dies ist als Idee angedacht, wird aber nicht im Projekt umgesetzt.

Rechnerstruktur Damit eine sichere Datenhaltung und -übertragung möglich ist, wird die in Abbildung 8 gezeigte Rechnerarchitektur für den Hauptrechner vorgeschlagen. Diese ist eine Überlegung, muss aber noch nicht für das Labormuster oder den Demonstrator aufgebaut werden.

Der in der Mitte gezeigte Hauptrechner besteht aus zwei getrennten Kernen. Diese sorgen für eine Zweikanaligkeit im sicherheitskritischen Bereich. Ebenfalls zweikanalig ausgeführt ist, wie oben beschrieben, die Kommunikation mit den anderen Wagen.

Angedeutet sind der Bediener, dessen Schnittstelle der Nahbereichsfunk darstellt, das GSM-Modul, die Schnittstelle zur Cloud und die Sensoren, Aktoren und Kommunikationseinheiten im Wagen.

Die beiden Kerne im Hauptrechner tauschen sich gegenseitig rückkopplungsfrei aus und geben ihre Befehle zweikanalig an Sensoren, Aktoren und die Kommunikationseinheiten

464 im Wagen weiter. Die zurückkommenden Informationen (rote Pfeile zu Rechner 1 und
465 Rechner 2) werden von den Rechnern verarbeitet und im Speicher gesichert.

466 Befehle aus der Nahbereichsschnittstelle werden vom Bediener gegeben und nach Auto-
467 risierung verarbeitet.

468 **Softwarestruktur** Die Softwarestruktur, siehe das Diagramm in Abbildung 10, zeigt den
469 Hauptrechner HR sowie die beiden Kommunikationsmodule R1 und R2 im Güterwagen
470 4.0. Angenend dazu sind andere Wagen und ein Bediener angedeutet. Alle Rechner sind
471 mit einem Linuxsystem auszustatten. Zu erkennen ist, dass die beiden Kommunika-
472 tionsrechner nur Schnittstellen zum Hauptrechner und zur Kommunikation mit weiteren Wa-
473 gen sowie zum Bediener haben. Der Hauptrechner dagegen ist leistungsstärker und ver-
474 arbeitet alle hereinkommenden Daten. Dazu gehört das BMS, die Digitale Identität, alle
475 Sensor- und Aktordaten. Ebenso wird hier die Zugzusammenstellung und Zugtaufe eben-
476 so wie der virtuelle Bremszettel verarbeitet. Er bietet die Intelligenz des Güterwagens
477 4.0.

478 Die Software selbst soll vorallem intern arbeiten und über generische Netzwerkschnitt-
479 stellen kommunizieren. So kann ein häufiges verändern der Software durch Änderungen
480 in der Hardware vermieden werden. Die Kommunikation mit der Hardware kann dann
481 beispielsweise über eine REST-Schnittstelle erfolgen.

482 Quellenverzeichnis

- 483 [1] Manfred Enning. „Auf dem Weg zum autonomen Betrieb der Letzten Meile“. In:
484 *Autonomes, teilautomatisiertes Fahren und Assistenzsysteme im Schienenfahrzeug-*
485 *betrieb - Breidenbach und Frost* (3.04.2019). URL: folgt.
- 486 [2] M. Enning; R. Pfaff; B. Schmidt. „Innovationen im Betrieb: Vollautomatische
487 ”Briefkasten“-Anschlussbedienung - Gleisanschlussverkehr 4.0“. In: *1. BME-VDV-*
488 *Gleis- anchlusskonferenz* (17.10.2018). URL: [www.vdv-akademie.de/downloads-](http://www.vdv-akademie.de/downloads-archiv-tagungen-und-seminare/bme-vdv-gleisanschluss-konferenz2018/)
489 [archiv-tagungen-und-seminare/bme-vdv-gleisanschluss-konferenz2018/](http://www.vdv-akademie.de/downloads-archiv-tagungen-und-seminare/bme-vdv-gleisanschluss-konferenz2018/).

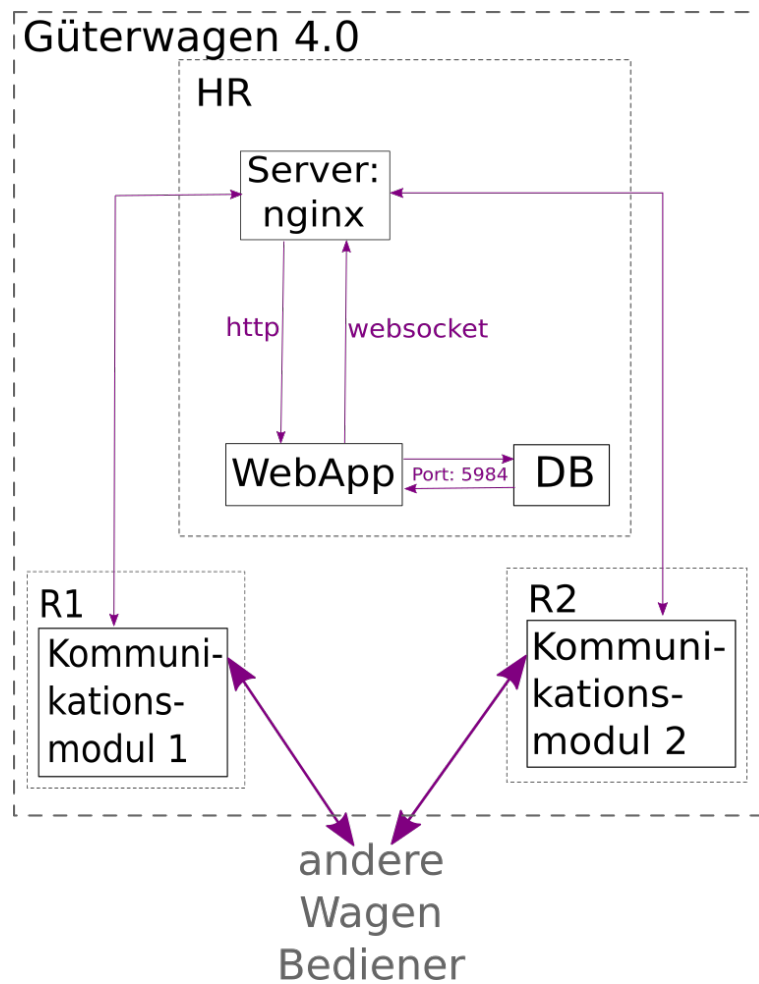


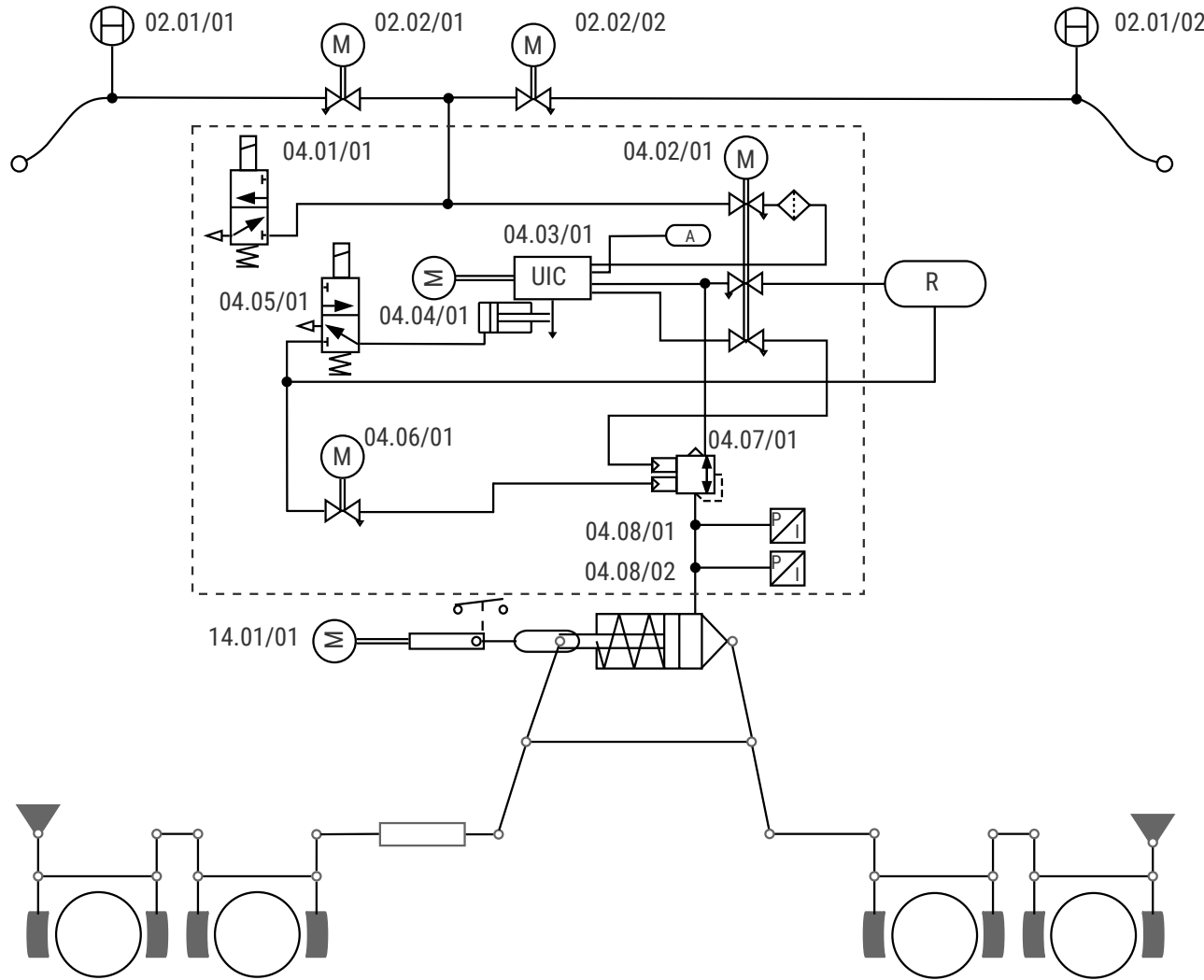
Abbildung 10: Softwarestrukturdiagramm des Güterwagen 4.0

490 A. Bremse 4.0

491 Das vollständige Druckluftschema der Bremse 4.0, bereits beschrieben in Kapitel 4, ist
 492 auf der nächsten Seite zu sehen. Die Komponenten dazu lassen sich in Tabelle 1 finden.

| Pos. | Anzahl | Bezeichnung | Zeichnung / Kommentar |
|-------|--------|-----------------------------------|--|
| 02.01 | 2 | Aussenanzeige glsHL | Vergleichbar mit C-Druck-Anzeige |
| 02.02 | 2 | Endabsperrhahn 1,25" | z.B. Muffenkugelhahn Heco, Rückmeldekontakte |
| 04.01 | 1 | ep-Bremsen | Mg-Ventil NC |
| 04.02 | 1 | Kombinationsventil | Mechanisch gekuppelte Kugehähne, ein |
| | | Bremse aus | Antrieb, Rückmeldekontakte |
| 04.03 | 1 | Steuerventil | z.B SW4 mit G/P-Umstellung |
| 04.04 | 1 | Umstellantrieb G/P | Stellantrieb, Rückmeldekontakte |
| 04.05 | 1 | Vorsteuerventil | Mg-Ventil NC |
| | | Schnelllösen | |
| 04.06 | 1 | Umstellventil Lastab- bremsung | Kugelhahn 1/4", Rückmeldekontakte |
| 04.07 | 1 | Relaisventil | z.B. Faiveley VCAV |
| 04.08 | 2 | C-Druck-Sensor | 0-5 bar, 4...20 mA |
| 14.01 | 1 | Antrieb Feststellbremse | tbd, z.B. von PJM |
| 14.02 | 2 | Außenanzeige G/P | Mechanisch, Konstruktionsteil |
| 14.03 | 2 | Außenanzeige Leer/Beladen | Mechanisch, Konstruktionsteil |
| 14.04 | 2 | Außenanzeige Bremse aus | Mechanisch, Konstruktionsteil |
| 14.05 | 2 | Außenanzeige Feststell- bremse | Mechanisch, Konstruktionsteil, 3 Zustände |

Tabelle 1: Stückliste zum Druckluftschema der Bremse 4.0



Mechanische Aussenanzeigen

| | | |
|------------|------------|-----------------|
| ⊕ 14.02/01 | ⊕ 14.02/02 | G/P |
| ⊕ 14.03/01 | ⊕ 14.03/02 | Leer/Beladen |
| ⊕ 14.04/01 | ⊕ 14.04/02 | Bremse aus |
| ⊕ 14.05/01 | ⊕ 14.05/02 | Feststellbremse |

| | | | | | | | | | |
|----------------------|----------|-------|------|-------------|----------|--------------|--|------|------------|
| (Verwendungsbereich) | | | | (zul. Abw.) | | (Oberfläche) | Maßstab | ohne | (Gewicht) |
| Güterwagen 4.0 | | | | | | | Werkstoff Rohteilnummer Modell-Nr. | | |
| | | | | Bearb. | Datum | Name | (Benennung) | | |
| | | | | Gepr. | 15.02.19 | Pfaff | Druckluftschema Bremse | | |
| | | | | Norm | | | | | |
| | | | | | | | (Zeichnungsnummer) | | (Blatt) |
| Zust. | Änderung | Datum | Nam. | (Urspr.) | | | (Erst. f.) | | (Erst. d.) |