

Triebfahrzeugfahrsimulator

Anbindung des Führertisches

Stand: 5. November 2021

Prof. Dr. Wolfgang Evers

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
2	Mechanischer und elektrischer Umbau Führertisch	2
3	Umbau MFA	5
3.1	MFA 1/2nb	5
3.2	MFA 3/2b	9
3.2.1	Geschwindigkeitsanzeiger	10
3.2.2	Netzteil für 24 V	10
3.2.3	Eingang für Skalenbeleuchtung	12
3.2.4	Nachrüstung Fahrstufenanzeige	12
4	Anpassung pneumatische Bremse	13
4.1	Führerbremsventil	13
4.2	Zusatzbremsventil	13
4.3	Manometer	14
5	Schnittstelle von der Simulation zum Führertisch	16
5.1	Datenschnittstelle	16
5.2	Loksim3D	19
5.3	Zusi 2	21
5.4	Zusi 3	23
5.5	Hardwareausgabe	24
6	Schnittstelle vom Führertisch zur Simulation	26
6.1	Datenschnittstelle	26
6.2	Hardwareeingabe	27
6.3	Schnittstelle zu Loksim3D	29

7	Ansteuerung von Instrumenten mit 5 A oder 200 V	32
7.1	Stromverstärker	32
7.2	Spannungsverstärker	32
8	Ansteuerung der MFA über die serielle Schnittstelle	34
8.1	Physikalische Schnittstelle	34
8.2	Schnittstellenprotokoll	34
	Literaturverzeichnis	61

1 Einleitung

Für das Praktikum der Vorlesung „Elektrische Bahnen“ wird ein Triebfahrzeugsimulator aufgebaut. Als Simulationsprogramme kommen dabei für die Lehre die Software Loksim3D (<https://www.loksim3d.de>) und für Versuchszwecke die beiden Programme Zusi 2 und Zusi 3 Hobby (<https://www.zusi.de>) zum Einsatz.

In diesem Dokument wird die Realisierung der Anbindung der Hardware an die Simulationsprogramme erläutert. Zwei wesentliche Leitmotive bei dem Umbau bestehen darin, möglichst viel von der Originalsubstanz zu erhalten und zudem dem einen möglichst realistischen Eindruck während des Simulationsbetrieb zu gewährleisten. Damit sind das Zerlegen der MFA, der Umbau der Manometer auf Schrittmotoren oder der Betrieb des Führerbremsventils ohne Druckluft keine Optionen.

Um das Projekt schneller realisieren zu können, wurden mehr fertige Baugruppen eingesetzt, als dies möglicherweise bei einem Projekt im Freizeitbereich der Fall sein würde. Vielleicht kann die Beschreibung dennoch Anregungen für weitere Realisierungen geben.

2 Mechanischer und elektrischer Umbau Führertisch

Der Führertisch wurde von DBresale erworben und in Leipzig-Engelsdorf aus einem Bnrdzf 483.1 ausgebaut. Er wurde dann auf Europaletten angeliefert (Abbildung 2.1).



Abbildung 2.1: Führertisch vor Umbau

Da der Führertisch zu schwer ist, um ihn mit zwei Personen anzuheben, wurde ein Untergestell gebaut, so dass Raum entstand, um ihn mit einem Hubwagen anzuheben und verfahren zu können. Dies ist von allen vier Seiten aus möglich. Auch im Fahrzeug stand der Tisch auf einem Podest. Die Höhe ermöglicht eine Bedienung sowohl im Sitzen als auch im Stehen.

Zusammen mit dem Tisch wurde auch der Führerraumstuhl erworben, welcher auf einen Sockel gleicher Höhe montiert wurde, damit sich im Sitzen wieder der richtige Höhenbezug zum Tisch ergibt.

Zudem wurde ein Halter für einen 4k-Fernseher, welcher als Monitor für die Sicht durch das Frontfenster dient, an den Sockel und den Tisch angebaut. Insgesamt ist so eine stabile und kippsichere Konstruktion entstanden, die es erlaubt, den Simulator in der Hochschule zu bewegen.

Als Steuergerät zur Anbindung des Bedien- und Anzeigeelemente kommt eine modulare, Linux-basierte Steuerung vom Typ Revolution Pi zum Einsatz. Zu ihrer Integration wurde im linken Unterteil des Tisches, wo sich im Fahrzeug noch das Führerraumklimagerät befand, eine Platte mit drei Hutschienen und Kabelkanälen montiert. Neben dem Steuergerät nehmen die Hutschienen auch noch Reihenklemmen und weitere Elektronik auf. Leider stellte sich heraus, dass der Platz für drei Hutschienen wohl doch zu gering war und hier weniger mehr gewesen wäre. So konnte der angestrebte saubere Aufbau leider nicht erreicht werden.

Die Verkabelung wurde im Tisch belassen. Die Anbindung an die Elektronik erfolgt wie im Fahrzeug über die 37-poligen Rundstecker (Typ TE Connectivity 182926-1) und 24-polige HAN E-Stecker der Firma Harting. Der Stromlaufplan des Tisches wurde freundlicherweise von der Deutschen Bahn zur Verfügung gestellt.

Die Stromversorgung geschieht mit einem externen 24 V-Netzteil, so dass im Tisch mit Ausnahme der später erläuterten Tachometerspannung nur Kleinspannung verwendet wird.

Eine weitere Ausnahme ist die Fußnischenheizung. Diese wird aus einem Trenntransfor-



Abbildung 2.2: Führertisch nach Umbau

mator mit 200 V, 50 Hz versorgt und kommt im Lehrbetrieb nicht zum Einsatz.

Das Druckluftventil für die Fußbedienung des Makrofons wurde durch einen Schalter ersetzt. Die weiteren Umbauten sind in den folgenden Kapiteln beschrieben.

Kontakt	Stecker X1A	Stecker X2A
1	Codierstift	+ V-ist
2	+ Gleiten	0 V V-ist
	- Schleudern	
3	- Gleiten	0 V ext. (Fahrstufenanzeige)
	+ Schleudern	
4	nb	5 V ext. (Fahrstufenanzeige)
5	nb	
6	- Fahren	+24 V Instrumentenbeleuchtung
	+ Bremsen	
7	+ Fahren	+24 V Instrumentenbeleuchtung
	- Bremsen	
8	nb	0 V Instrumentenbeleuchtung
9	nb	0 V Instrumentenbeleuchtung
10	nb	Codierstift
11	nb	1er Fahrstufe 2 ⁰
12	nb	+24 V int. (Leuchtmelder)
13	500 Hz (LM 18)	+24 V int. (Leuchtmelder prüfen)
14	Kontakt 1000 Hz prüfen	Elektrische Bremse (LM 5)
15	Kontakt 1000 Hz prüfen	Hohe Abbremsung (LM 1)
16	nb	ZS aus (LM 2)
17	nb	HS aus (LM 6)
18	nb	T (LM 3)
19	nb	Prüftaster Lampen (LM 7)
20	Befehl 40 (LM 17)	Notbremse (LM 8)
21	nb	Sifa (LM 4)
22	1000 Hz prüfen (LM 19)	nb
23	Gemeinsame Indusi	nb
24	55 (LM 9)	nb
25	70 (LM 10)	nb
26	85 (LM 11)	1er Fahrstufe 2 ¹
27	nb	1er Fahrstufe 2 ²
28	nb	Codierstift
29	nb	nb
30	nb	nb
31	nb	1er Fahrstufe 2 ³
32	nb	10er Fahrstufe 2 ⁰
33	nb	nb
34	nb	0 V UE Versorgungsspannung
35	nb	10er Fahrstufe 2 ¹
36	nb	+24 V UE Versorgungsspannung
37	Codierstift	Instrumentenbeleuchtung „Ein“

Tabelle 3.1: Steckerbelegung MFA 1/2n

Die einzige Änderung war der Umbau der Geschwindigkeitsanzeige. Im Fahrzeug wird sie von einem kleinen permanenterregten Synchrongenerator, welcher an einer Radsatzwelle angeflanscht ist, gespeist. Dieser liefert eine geschwindigkeitsproportionale Spannung von bis zu 180 V, welche im Geschwindigkeitsanzeigeelement gleichgerichtet wird. Das Messwerk selber benötigt zum Maximalausschlag eine kleinere Spannung. Daher sind sowohl im Messwerk als auch auf einer Leuchtmelderkarte Widerstände und Trimpotenzimeter in Reihe in den Messkreis geschaltet. Mit dem Trimpotenzimeter im Anzeigeelement wird das Messwerk beim Hersteller kalibriert. Der Trimpotenzimeter auf der Leuchtmelderkarte ist hingegen im eingebauten Zustand der MFA zugänglich und dient dem Raddurchmesserabgleich.

Da die eingesetzte Steuerung keine so großen Spannungen liefern kann, wurden die Vorwiderstände und auf der Leuchtmelderkarte auch das Trimpotenzimeter überbrückt. Leider wurde der Gleichrichter nicht überbrückt, so dass die Kennlinie aufgrund Diodenschwellenspannung nun nicht linear ist, was in der Software ausgeglichen werden muss.

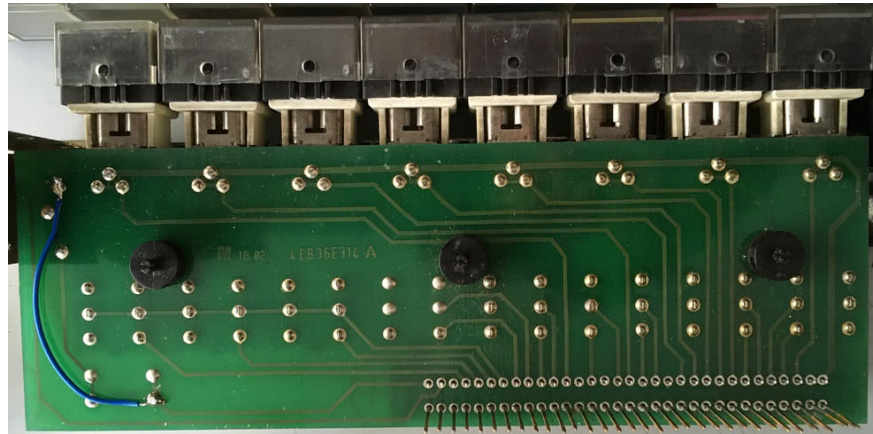


Abbildung 3.2: umgebaute Leuchtmelderkarte der MFA 1/2n

Mit dem Trimpotenzimeter im Anzeigeinstrument wurde der Endausschlag auf ungefähr 9,5 V eingestellt.

Um an das Innere des Anzeigeinstrumentes zu kommen, muss der Ring, der die Scheibe einfasst, aufgebördelt werden. Nach der Modifikation muss dies rückgängig gemacht werden, was aber ohne spezielles Werkzeug nur unvollständig gelingt, weswegen sich die Scheibe nach dem Umbau verdrehen lässt.



Abbildung 3.3: geöffneter Geschwindigkeitsanzeiger der MFA 1/2n



Abbildung 3.4: modifizierte Leiterkarte im Geschwindigkeitsanzeiger der MFA 1/2n

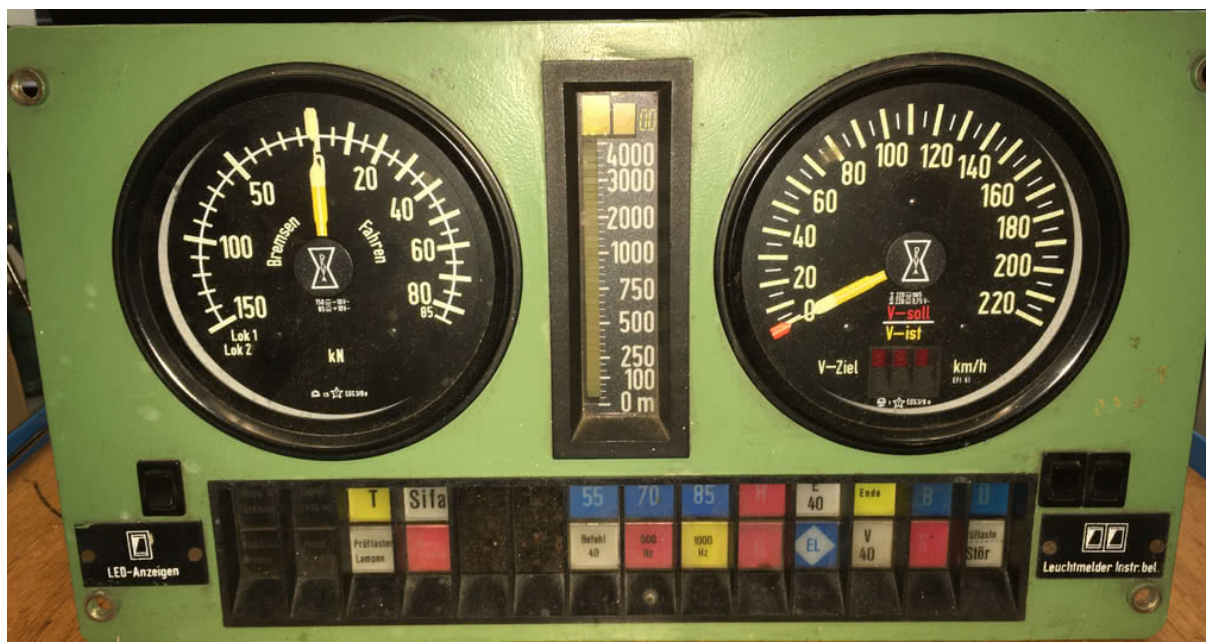


Abbildung 3.5: MFA 3/2b

3.2 MFA 3/2b

Im Rahmen der Abstellung vieler Maschinen der Baureihe 120 konnte eine MFA 3/2b (Abbildung 3.5) erworben werden, welche die Anzeige von LZB-Führungsgrößen erlaubt und zudem einen Geschwindigkeitsanzeigebereich bis $220 \frac{\text{km}}{\text{h}}$ und eine Zug-/Bremskraftanzeige mit für die meisten Baureihen geeigneten Kräften hat.

Die MFA ist über zwei 37-poligen Rundstecker (Typ TE Connectivity 182926-1) mit dem Führertisch verbunden. Diese sind gemäß Tabelle 3.2 belegt.

Kontakt	Stecker X1A	Stecker X2A
1	Codierstift	+ V-ist
2	- Sollwert Fahren	0 V V-ist
	+ Sollwert Bremsen	nb
3	+ Sollwert Fahren	nb
	- Sollwert Bremsen	nb
4	nb	nb
5	nb	nb
6	- Fahren	+ LED extern
	+ Bremsen	
7	+ Fahren	+ LED extern
	- Bremsen	nb
8	nb	0 V LED extern
9	nb	0 V LED extern
10	nb	Codierstift
11	0 V V-soll PWM	nb
12	+ V-soll PWM	+24 V int. (Leuchtmelder)
13	nb	+24 V int. (Leuchtmelder prüfen)
14	nb	Elektrische Bremse (LM 5)
15	nb	Hohe Abbremsung (LM 1)
16	V40-1	ZS aus (LM 2)
17	S-1	HS aus (LM 6)
18	0 V-LZB	T (LM 3)
19	Prüftaste/Stör-1	Prüftaster Lampen (LM 7)
20	Ü (+24 V) extern	Notbremse (LM 8)
21	nb	Sifa (LM 4)
22	nb	nb
23	Reserve-Kontakt	nb
24	Reserve-Kontakt	nb
25	Drucker-Interface	nb
26	nb	nb
27	nb	nb
28	nb	Codierstift
29	nb	nb
30	nb	nb
31	nb	nb
32	nb	nb
33	nb	nb
34	nb	0 V UE Versorgungsspannung
35	0 V Telegramm	nb
36	+60 V Telegramm	+110 V UE Versorgungsspannung
37	Codierstift	Instrumentenbeleuchtung „Ein“

Tabelle 3.2: Steckerbelegung MFA 3/2b

Da die Baureihe 120, wie alle elektrischen Neubaulokomotiven der Deutschen Bundesbahn, eine Bordnetzennspannung von 110 V hat, wird auch die MFA 3/2b mit dieser Spannung versorgt. Die maschinentechnischen Leuchtmelder müssen hingegen mit 24 V angesteuert werden, die die MFA 3/2b an X2A:12 bereitstellt.

3.2.1 Geschwindigkeitsanzeiger

Nach den mäßigen Erfahrungen mit den Umbau des Geschwindigkeitsanzeigers bei der MFA 1/2n wurde für die MFA3/2b davon abgesehen und der Geschwindigkeitsanzeiger aus einem dazu entworfenen Verstärker gespeist.

3.2.2 Netzteil für 24 V

Die MFA 3/2b wird in der Baureihe 120 aus dem 110 V-Bordnetz gespeist. Im Fahrsimulator wird hingegen aus Sicherheitsgründen ausschließlich Kleinspannung, also hier 24 V verwendet. Dies machte den Neuentwurf eines Netzteils mit einer Eingangsspannung von 24 V und potenzialgetrennten geregelten Ausgangsspannungen von 24 V / 1 A und 5 V / 3 A notwendig. Das neue Netzteil ist kompatibel zu dem vorhandenen Netzteil bzw. zu den für andere MFA ausgeführten 24 V-Netzteilen.

Die Leiterkarte hat Europakartenformat (160 mm x 100 mm) und an einer Schmalseite eine Messerleiste nach DIN 41612 Bauform C mit 32 Kontakten in Anordnung a+c, wie beispielsweise Harting 09031326921, mit einer Belegung nach Tabelle 3.3.

Anschluss	Funktion
4 a/c	U_E 0 V
6 a/c	U_E 24 V
10 a/c	Steuereingang ein/aus („1“= ein)
26 a/c	U_{A2} 24 V/1 A
22/28 a/c	U_{A1} 0 V
24/30 a/c	U_{A1} 5 V/3 A
32 a/c	U_{A2} 0 V

Tabelle 3.3: Steckerbelegung des Netzteils

Der Steuereingang schaltet das Netzteil aus, wenn er mit dem negativen Pin der Eingangsspannung verbunden wird. Diese Funktion ist durch das Stecken eines Jumper deaktivierbar.

Die Ausgangsspannungen sind dabei mit einer Isolationsspannung von 2250 V gegen die Eingangsspannung und ohne spezifizierte Isolationsspannung untereinander isoliert. Bei einer Eingangsspannung im Bereich von 9 V bis 36 V funktioniert das Netzteil ohne Leistungseinschränkung. Die Ausgangsspannungen haben eine Toleranz von $\pm 5\%$. Die Baugruppe ist verpolungs- und kurzschlussfest. Bezüglich der elektromagnetischen Störabstrahlung wird die EN 55032 Klasse B eingehalten.

Um die Realisierung möglichst einfach zu halten, basiert das Netzteil auf fertigen DC/DC-Wandlern. Dafür wurden die Typen TEN 20-2411WIR (5 V) und TEN 40-2415WIR (24 V) der Firma Traco ausgewählt.

Im Eingangskreis des TEN 20-2411WIR ist eine träge 4 A-Sicherung und eine antiparallele Diode für den Verpolungsschutz. Am Ausgang befindet sich eine Kapazität von $680\text{ }\mu\text{F}$ / 10 V. Ansonsten ist die Schaltung gemäß den Empfehlungen des Herstellers zum EMV-gerechten Design aufgebaut.

Im Eingangskreis des TEN 40-2415WIR ist eine flinke 8 A-Sicherung und eine antiparallele Diode für den Verpolungsschutz. Am Ausgang befindet sich eine Kapazität von $220\text{ }\mu\text{F}$ / 40 V. Ansonsten ist die Schaltung gemäß den Empfehlungen des Herstellers zum EMV-gerechten Design aufgebaut.

Da die Logik für die Freigabe der Wandler zwischen dem Eingang auf der Steckerleiste und dem Eingang der Wandler invertiert ist, kommt ein kleines zweipoliges Relais mit Ruhekontakt zum Einsatz.

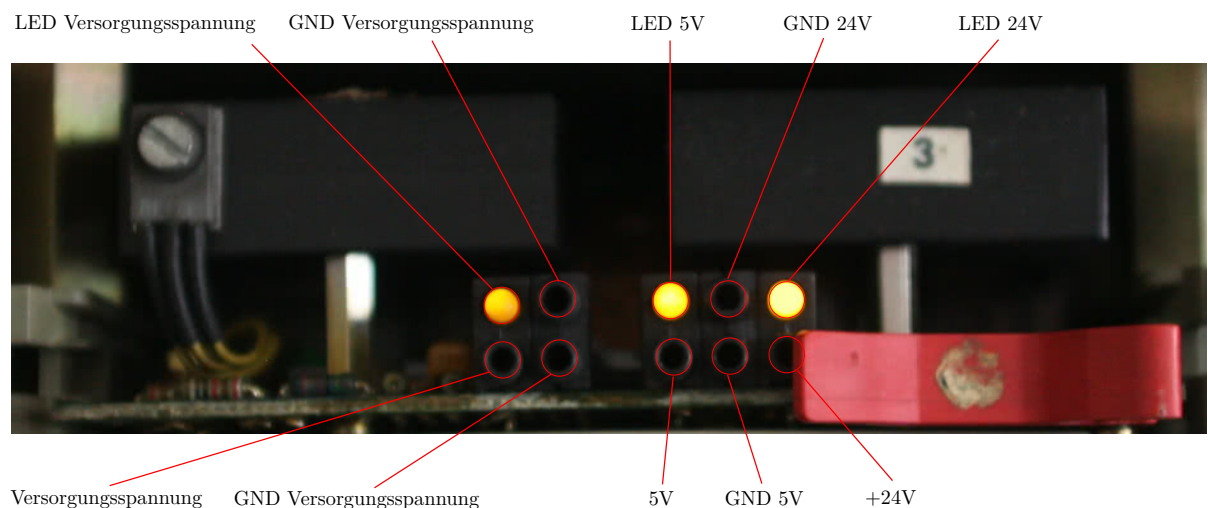


Abbildung 3.6: Leuchtdioden und Prüfbuchsen

Auf der anderen Schmalseite der Leiterkarte (Abbildung 3.6) befinden sich in gleicher Anordnung wie bei den vorgefundenen 110 V-Karte Prüfbuchsen und gelbe Leuchtdioden. Die Bauteile stammen von der Firma Mentor.

Das Layout der Leiterkarte hat große Kupferflächen für die stromführenden Bahnen. Dabei liegen die Massepotenziale vorwiegend auf der Bestückungsseite und die restliche Potenziale vorwiegend auf der Lötseite. Der Eingang ist durch mindestens 5 mm große Abstände klar von den Ausgängen getrennt.

Ist der Aushebegriff von Schroff noch erhältlich oder gibt es ein ähnliches Produkt?

3.2.3 Eingang für Skalenbeleuchtung

Der Eingang für das Einschalten der Skalenbeleuchtung mit ebenfalls mit 110 V geschaltet. Daher muss der Vorwiderstand für das geschaltete Relais angepasst werden

Beschreibung folgt.

Alle andere Funktionen werden hingegen im Fahrzeug mit potenzialfreien Kontakten angesteuert, welche aus der MFA 3/2b mit 24 V versorgt werden.

3.2.4 Nachrüstung Fahrstufenanzeige

Bei der Baureihe 120 mit Drehstromantrieb macht eine Fahrstufenanzeige keinen Sinn. Daher fehlt sie in der MFA3/2b auch.

Beschreibung Nachrüstung folgt.

4 Anpassung pneumatische Bremse

Da in den Fahrzeugen die Ansteuerung und die Energieübertragung der Bremse pneumatisch erfolgt, sind die entsprechenden Einrichtungen in dem Führertisch ebenfalls pneumatisch. Dies soll soweit wie möglich erhalten bleiben, um einen möglichst realistischen Eindruck der Simulation zu erzeugen.

4.1 Führerbremsventil

Im Führertisch ist ein Führerbremsventil vom Typ Knorr FHD 1P mit angebauten E-Bremssteller eingebaut. Im Fahrzeug gehört noch eine Relaiseinheit dazu, die hier aber nicht vorhanden ist. Während das Führerbremsventil nur einen Steuerdruck (A-Druck) erzeugt, füllt und leert die Relaiseinheit die Hauptluftleitung des Zuges.

Zum Einlesen der Stellung des Führerbremsventil wird dieses über den Anschluss der Hauptluftbehälterleitung (HB) mit einem Druck von 8 bar bis 10 bar gespeist. Mit einem Druck-Strom-Umformer (beispielsweise Festo SPTW) wird dann der Druck in der A-Leitung gemessen. In der Füllstellung muss dieser 5 bar betragen. In den Bremsstellungen muss der Druck bis auf 3,5 bar abgesenkt werden. Ob der Druck in der Schnellbremsstellung auf 0 bar fällt, ist noch nicht bekannt. Die Funktionalität für den Füllstoß und den Angleicher muss noch geklärt werden.

Zusätzlich zu den Druckluftanschlüssen verfügt das Führerbremsventil auch noch über einen elektrischen Anschluss mit zwei Kontakten, deren Funktion noch geklärt werden muss.

4.2 Zusatzbremsventil

Für das Zusatzbremsventil vom Typ Knorr Zb4 wurde keine brauchbare Möglichkeit der pneumatische Auswertung gefunden. Daher werden seitlich an das Ventil zwei Mikroschalter gesetzt. Um wenigstens beim Anlegen der Zusatzbremse ein zischendes Geräusch zu erzeugen, wird das Ventil mit Druckluft versorgt und an der Leitung zu den Bremszylindern wird ein Durchflussbegrenzer angebracht.

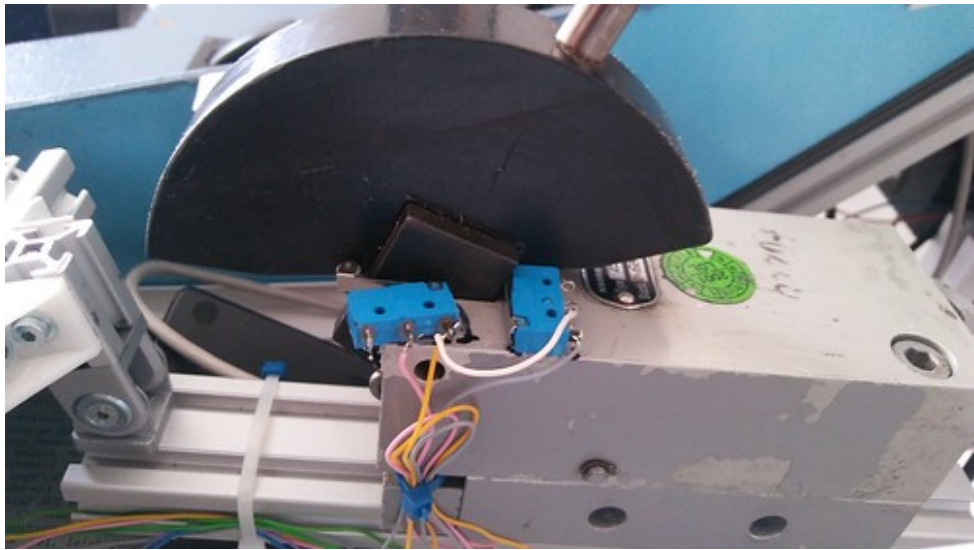


Abbildung 4.1: Mikroschalter am Zusatzbremsventil (Bild: Jens Eggert)

4.3 Manometer



Abbildung 4.2: Manometer der pneumatischen Bremse

Im Führertisch sind ein Doppel- und zwei Einfachmanometer eingebaut, die folgende Drücke anzeigen:

- Hauptluftleitung
- Hauptluftbehälterleitung
- Bremszylinder
- Zeitbehälter

Damit die Manometer die Werte aus der Simulation anzeigen, müssen sie mit entsprechenden Luftdrücken versorgt werden. Dazu wird die von außen eingespeiste Druckluft mit ungefähr 7 bar verwendet. Folglich kann der Druck der Hauptluftbehälterleitung bis maximal zu dem Druck der Speiseluft angezeigt werden, was in Kauf genommen wird.

Zur Einstellung des gewünschten Drucks werden zwei Möglichkeiten betrachtet:

- a) Proportional-Druckregelventil, beispielsweise Festo VEAA
- b) eigene Regelung aus zwei Ventilen und einem Drucksensor

Dabei wird der ersten Möglichkeit der Vorzug gegeben.

5 Schnittstelle von der Simulation zum Führertisch

Alle drei betrachteten Simulationsprogramme senden die Daten über die Ethernetschnittstelle zu der Fahrpultsteuerung, allerdings jeweils über ein eigenes proprietäres Protokoll. Es wurden drei Softwarefunktionen in Python 3 geschrieben, die zum restlichen Programm dieselbe Datenschnittstelle besitzen und somit leicht gegeneinander ausgetauscht werden können. Der erstellte Quelltext ist nach „LGPL2 oder neuer“ lizenziert und unabhängig vom verwendeten Betriebssystem nutzbar.

Im ersten Abschnitt wird diese Datenschnittstelle definiert. In den folgenden Abschnitten wird dann festgelegt, wie die Programmschnittstellen darauf abgebildet werden.

5.1 Datenschnittstelle

Die von der Simulation eingelesenen Daten werden in ein Dictionary mit dem Namen Anzeigedaten geschrieben. Anzeigedaten enthält folgende Schlüssel:

Schlüssel	Bedeutung	Einheit	Datentyp
Vist	Geschwindigkeit	km/h	float
Fzb	Zug-/Bremskraftkraft gesamt	kN	float
Fzba	Zug-/Bremskraft pro Achse	kN	float
Fzbsoll	Zug-/Bremskraft-Soll gesamt	kN	float
Fzbasoll	Zug-/Bremskraft-Soll pro Achse	kN	float
LMSchleudern	Leuchtmelder Schleudern	-	bool
LMGleiten	Leuchtmelder Gleiten	-	bool
LMHS	Leuchtmelder Hauptschalter aus	-	bool
LMZS	Leuchtmelder Zugsammelschiene	-	bool
LMEB	Leuchtmelder Elektrische Bremse	-	bool
LMHAB	Leuchtmelder Hohe Abbremsung	-	bool
LMNBrems	Leuchtmelder Notbremsung	-	bool
LMSifa	Leuchtmelder Sifa	-	bool

LMTuer	Leuchtmelder Türen	-	LM
FSt	Fahrstufe	1	int
LM85	Leuchtmelder 85	-	LM
LM70	Leuchtmelder 70	-	LM
LM55	Leuchtmelder 55	-	LM
LM1000Hz	Leuchtmelder 1000 Hz	-	LM
LM500Hz	Leuchtmelder 500 Hz	-	LM
LMB40	Leuchtmelder Befehl 40	-	LM
LMH	Leuchtmelder H (Nothalt)	-	LM
LMG	Leuchtmelder G (Geschwindigkeit)	-	LM
LME40	Leuchtmelder E40 (Ersatzauftrag)	-	LM
LMEL	Leuchtmelder EL	-	LM
LMEnde	Leuchtmelder Ende	-	LM
LMV40	Leuchtmelder V40	-	LM
LMB	Leuchtmelder B (Betrieb)	-	LM
LMS	Leuchtmelder S (Schnellbremsung)	-	LM
LMUe	Leuchtmelder Ü (Übertragung)	-	LM
LMStoer	Leuchtmelder Stör	-	LM
HupePZB	PZB-Hupe	-	Hupe
SchnarreLZB	LZB-Schnarre	-	Hupe
HupeSifa	Sifa-Hupe	-	Hupe
AFBVsoIl	AFB Soll-Geschwindigkeit	km/h	float
LZBVsoIl	LZB Soll-Geschwindigkeit	km/h	float
LZBVziel	LZB Ziel-Geschwindigkeit	km/h	float
LZBSziel	LZB Zielentfernung	m	float
LZBZeig	LZB-Führungsgrößen zeigen	-	bool
BRH	BRH-Wert (Brems Hundertstel)	%	int
BRA	BRA-Wert (Bremsart)	-	int
ZL	ZL-Wert (Zuglänge)	m	int
VMZ	VMZ-Wert (Höchstgeschwindigkeit)	km/h	int
ZDK	Zugdatenanzeige in der MFA	-	bool
Uol	Fahrleitungsspannung	V	float
Iol	Oberstrom	A	float

Umot	Motorspannung	V	float
Nmot	Dieselmotordrehzahl	/ min	float
DruckHB	Druck Hauptluftbehälter	bar	float
DruckHL	Druck Hauptluftleitung	bar	float
DruckZ	Druck Zeitbehälter	bar	float
DruckC	Druck Bremszylinder	bar	float
NVR	Eindeutige Fahrzeugnummer des Tfz	-	int

Datentyp LM

Wert	Verhalten
0	Aus
1	An
2	Blinken
3	Blinken invertiert

Datentyp Hupe

Wert	Verhalten
0	Aus
1	Intervall mit Frequenz 1
2	Intervall mit Frequenz 2
3	An

5.2 Loksim3D

Loksim3D schickt die Daten über vom Anwender frei zu definierende UDP-Ports. Das UDP-Protokoll ist verbindungslos und es erfolgt im Gegensatz zu den Zusi-Protokollen auch keine spezieller Verbindungsaufbau. Die zur Verfügung stehenden Signale sind in https://github.com/MMory/SEPreference/tree/SEP_Spec_0.95/spec erläutert. Die aktuell implementierten Signale sind in <https://www.loksimulatoren.de/forum/index.php?thread/8363-sep-schnittstelle-des-loksim3d/> aufgelistet.

Die zu erstellende Datei **Fahrpult-TH-Koeln.json** kommt in das Hauptverzeichnis des Programms, wo auch die Loksim.exe liegt.

Die hier getroffene Definition ist in folgender Tabelle wiedergegeben. Bei Variablen, die weniger als 8 bit in Anspruch nehmen, befindet sich nach einer Gruppe von 8 bit ein Querstrich in der Tabelle.

Telegramm auf UDP-Port 51435

Benennung	Beschreibung	Typ	Skalierung	Variable
IndLzbBef40	PZB-LM „Befehl 40“	indicator		LMB40
IndLzb1000	PZB-LM „1000Hz“	indicator		LM1000Hz
IndLzb500	PZB-LM „500Hz“	indicator		LM500Hz
IndLzbO	PZB-LM „85“	indicator		LM85
IndLzbM	PZB-LM „70“	indicator		LM70
IndLzbU	PZB-LM „55“	indicator		LM55
IndLzbH	LZB-LM „H“	indicator		LMH
IndLzbG	LZB-LM „G“	indicator		LMG
IndLzbE40	LZB-LM „E40“	indicator		LME40
IndLzbEl	LZB-LM „El“	indicator		LMEL
IndLzbEnd	LZB-LM „Ende“	indicator		LMEnde
IndLzbV40	LZB-LM „V40“	indicator		LMV40
IndLzbB	LZB-LM „B“	indicator		LMB
IndLzbS	LZB-LM „S“	indicator		LMS
IndLzbUe	LZB-LM „Ü“	indicator		LMUe
IndLzbStoe	LZB-LM „Stör“	indicator		LMStoer
IndLzbHupe	PZB-Hupe	indicator		HupePZB
IndLzbSchn	LZB-Schnarre	indicator		SchnarreLZB
IndLzbShow	LZB-Führungsgrößen anzeigen	digital		LZBZeig
IndLzbShowTd	LZB-Zugdaten im MFA anzeigen	digital		ZDK
Digblanc	Platzhalter	digital		
Digblanc	Platzhalter	digital		

IndBlanc	Platzhalter	indicator		
LzbSpeedPermitted	LZB Soll-Geschwindigkeit	uint16	0,1	LZBV Soll
LzbSpeedTarget	LZB Ziel-Geschwindigkeit	uint16	0,1	LZBV Ziel
LzbTargetDistance	LZB Ziel-Entfernung	uint16	1	LZBS Ziel
LzbBrakePercent	Bremshundertstel („BRH“)	uint16	1	BRH
LzbTrainLength	Länge des Zuges („ZL“)	uint16	1	ZL
LzbVMaxTrain	Max. Zuggeschw. („VMZ“)	uint16	1	VMZ
LzbBrakeTyp	Bremsart („BRA“)	uint4	1	BRA
IndMtMsO	LM Hauptschalter aus	digital		LMHS
IndMtHD	LM hohe Abbremsung	digital		LMHAB
IndMtEB	LM Elektrische Bremse	digital		LMEB
IndMtHvtl	LM Zugsammelschiene	digital		LMZS
IndMtEm	LM Notbremsung	indicator		LMNBrems
IndWhSp	LM Schleudern	digital		LMSchleudern
IndSlipp	LM Gleiten	digital		LMGleiten
IndDsd	LM „Sifa“	digital		LM Sifa
IndDsdAcu	Hupe „Sifa“	digital		Hupe Sifa
IndDoorSat	LM Türsystem SAT	indicator		LMTuer
IndDoorTav	LM Türsystem TAV	indicator		LMTuer
IndDoorAcu	Türsummer	indicator		
IndPanto	Stellung Stromabnehmer	unit4		
speed	Ist-Geschwindigkeit	uint16	0,1	Vist
DbcSpeedSet	AFB-Sollgeschwindigkeit	uint16	0,1	AFBV Soll
tractiveForceAbs	Zugkraft absolut kN	uint16	0,01	Fzb
brakingForceAbs	Bremskraft absolut in kN	uint16	0,01	-Fzb
ContactLineVoltage	Fahrleitungsspannung in V	uint16	1	Uol
ContactLineCurrent	Oberstrom in A	uint16	1	Iol
tractionModeSet	Vorgegebene Fahrstufe	uint8	1	FStW
tractionMode	Fahrstufe	uint8	1	FSt
mainBrakePipe	Hauptluftleitung in bar	uint16	0,001	DruckHL
brakeCylinderPressure	Bremszylinderdruck in bar	uint16	0,001	DruckC
mainAirReservoir	Hauptluftbehälter in bar	uint16	0,001	DruckHB
timeContainerPressure	Zeitbehälter in bar	uint16	0,001	DruckZ

Die Bedeutung der Leuchtmelder- und Hupenwerte muss dabei übersetzt werden:

indicator	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
LM	0	1	0	2	0	2	0	0	0	0	0	3	0	3	0	0
Hupe	0	3	0	1	0	2	0	0	0	0	0	1	0	2	0	0

5.3 Zusi 2

Zusi 2 schickt die Daten über der TCP-Port 1435. Das Programm in der Steuerung agiert dabei in der Zusi-Nomenklatur als TCP-Server.

Eine Linksammlung mit Musterimplementationen für diverse Programmiersprachen steht auf <https://forum.zusi.de/viewtopic.php?f=39&t=11779>.

Eine knappe Beschreibung findet man unter <https://github.com/Loksim3D/loksim3d-interfaces/blob/master/TCP/TCP-Variablen.md>. Hier die daraus ausgewählten Signale:

	ID	Bedeutung	Skalierung	Variable
2561	0A01	Geschwindigkeit	$1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	Vist
2562	0A02	Druck Hauptluftleitung	0,001 bar	DruckHL
2563	0A03	Druck Bremszylinder	0,001 bar	DruckC
2564	0A04	Druck Hauptluftbehälter	0,001 bar	DruckHB
2565	0A05	Zugkraft gesamt	0,001 N	Fzb
2566	0A06	Zugkraft pro Achse	0,001 N	Fzba
2568	0A08	Spannung	1 V	Uol
2569	0A09	Motordrehzahl	1 / min	Nmot
2573	0A0D	LZB Ziel-Geschwindigkeit	$1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	LZBVziel
2574	0A0E	LZB Soll-Geschwindigkeit	$1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	LZBV Soll
2575	0A0F	LZB Zielentfernung	1 m	LZBSziel
2576	0A10	Fahrstufe	1	FSt
2578	0A12	AFB Soll-Geschwindigkeit	$1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	AFBV Soll
2580	0A14	LM PZB 1000Hz		LM1000Hz
2581	0A15	LM PZB 500Hz		LM500Hz
2582	0A16	LM PZB Befehl		LMB40
2583	0A17	LM PZB Zugart U		LM55

2584	0A18	LM PZB Zugart M		LM70
2585	0A19	LM PZB Zugart O		LM85
2587	0A1B	LM LZB G		LMG
2590	0A1E	LM LZB Ende		LMEnde
2592	0A20	LM LZB B		LMB
2594	0A22	LM LZB Ü		LMUe
2596	0A24	LM Sifa		LMSifa
2597	0A25	LM Hauptschalter		LMHS
2599	0A27	LM Schleudern		LMSchleudern
2600	0A28	LM Gleiten		LMGleiten
2604	0A2C	LM Hohe Abbremsung		LMHAB
2607	0A2F	LM Türen		LMTuer
2608	0A30	LM Tfz-Nummer	?	NVR
2635	0A4B	LM LZB Zielentfernung	1 m	LZBSziel
2636	0A4C	LZB Soll-Geschwindigkeit	$1 \frac{\text{km}}{\text{h}}$	LZBV _{soll}
2654	0A5E	Bremshundertstel	1 %	BRH

5.4 Zusi 3

Zusi 3 schickt die Daten über der TCP-Port 1436. Der Aufbau des Telegramms und seine Signale sind in [3] erläutert.

Eine Linksammlung mit Musterimplementationen für diverse Programmiersprachen steht auf <https://forum.zusi.de/viewtopic.php?f=73&t=12650>.

Da Zusi 3 bereits den TCP-Server enthält, agiert der Führertischrechner hier als Client.

Hier die Liste der gewählten Signale und die Zuweisung zu den Variablen:

ID	Bedeutung	Variable
x0001 (1)	Geschwindigkeit	Vist
x0002 (2)	Druck Hauptluftleitung	DruckHL
x0003 (3)	Druck Bremszylinder	DruckC
x0004 (4)	Druck Hauptluftbehälter	DruckHB
x0009 (9)	Zugkraft gesamt	Fzb
x000A (10)	Zugkraft pro Achse	Fzba
x000B (11)	Zugkraft-Soll gesamt	Fzbsoll
x000C (12)	Zugkraft-Soll pro Achse	Fzbasoll
x000D (13)	Oberstrom	Iol
x000E (14)	Fahrdrahtspannung	Uol
x000F (15)	Motordrehzahl	Nmot
x0013 (19)	LM Hauptschalter	LMHS
x0015 (21)	Fahrstufe	FSt
x001B (27)	LM Schleudern	LMSchleudern
x001C (28)	LM Gleiten	LMGleiten
x0020 (32)	LM Hohe Abbremsung	LMHAB
x005E (94)	Druck Zeitbehälter	DruckZ
x0063 (99)	Motorspannung	Umot
x0064 x0002	LM Sifa	LMSifa
x0064 x0003	Summer Sifa	HupeSifa
x0065	Melder 1000 Hz an	LM1000Hz
x0065	Zugart Melder U an	LM55
x0065	Zugart Melder M an	LM70

x0065	Zugart Melder O an	LM85
x0065	Summer Indusi	HupePZB
x0065	Melder 500 Hz an	LM500Hz
x0065	Melder Befehl an	LMB40
x0065	BRH-Wert (Brems Hundertstel)	BRH
x0065	BRA-Wert (Bremsart)	BRA
x0065	ZL-Wert (Zuglänge)	ZL
x0065	VMZ-Wert (Höchstgeschwindigkeit)	VMZ
x0065	Melder H an	LMH
x0065	Melder E40 an	LME40
x0065	Melder Ende an	LMEnde
x0065	Melder B an	LMB
x0065	Melder Ü an	LMUe
x0065	Melder G an	LMG
x0065	Melder EL an	LMEL
x0065	Melder V40 an	LMV40
x0065	Melder S an	LMS
x0065	Melder Prüf/Stör an	LMStoer
x0065	Sollgeschwindigkeit in m/s	LZBVsol
x0065	Zielgeschwindigkeit in m/s	LZBVziel
x0065	Zielentfernung in m	LZBSziel
x0065	Anzeigemodus	ZDK
x0066	LM Türen	LMTuer
x008E	Baureihenangabe aus Fahrzeugdatei	NVR

5.5 Hardwareausgabe

Die Daten aus dem Dictionary werden mit Hilfe der Python-Bibliothek revpimodio2 auf die Ausgänge des Revolution Pi-Systems geschrieben. Dabei gilt folgende Zuordnung:

Variable	Bedeutung	Ausgangsname	Ausgang
LM1000Hz	Melder 1000 Hz an	aLM1000Hz	DIO1 O1
LM500Hz	Melder 500 Hz an	aLM500Hz	DIO1 O2
LMB	Melder B an	aLMB40	DIO1 O3
LM55	Zugart Melder U an	aLM55	DIO1 O4
LM70	Zugart Melder M an	aLM70	DIO1 O5
LM85	Zugart Melder O an	aLM85	DIO1 O6
LMSifa	LM Sifa	aLMSifa	DIO1 O7
LMHAB	LM Hohe Abbremsung	LMHAB	DIO1 O8
LMEB	Leuchtmelder Elektrische Bremse	aLMEB	DIO1 O9
LMTuer	LM Türen	aLMTuer	DIO1 O10
	Prüftaster Lampen	aLMPTL	DIO1 O11
LMNBrems	Leuchtmelder Notbremsung	aLMNBrems	DIO1 O12
LMHS	LM Hauptschalter	aLMHS	DIO1 O13
LMZS	Leuchtmelder Zugsammelschiene	aLMZS	DIO1 O14
LMUe	Melder Ü an	aLMUe	DIO2 O1
	Melder Störung		DIO2 O2
Fst	Fahrstufe Einer bit 0	aFstEb0	DIO2 O3
Fst	Fahrstufe Einer bit 1	aFstEb1	DIO2 O4
Fst	Fahrstufe Einer bit 2	aFstEb2	DIO2 O5
Fst	Fahrstufe Einer bit 3	aFstEb3	DIO2 O6
Fst	Fahrstufe Zehner bit 0	aFstZb0	DIO2 O7
Fst	Fahrstufe Zehner bit 1	aFstZb1	DIO2 O8
Fst	Fahrstufe Freigabe	aFstENB	DIO2 O9
HupeSifa	Sifa-Hupe	aHupeSif	DIO2 11
	Warnton Türen		DIO2 12
HupePZB	PZB-Hupe	aHupePZB	DIO2 13
Vist	Geschwindigkeit	aVist	AIO1 1/5
Fzba	Zugkraft pro Achse	aFzba	AIO1 2/6
Uol	Fahrdrahtspannung	aUol	AIO2 2/6
Iol	Oberstrom	aIol	AIO3 1/5

6 Schnittstelle vom Führertisch zur Simulation

6.1 Datenschnittstelle

Die von der Hardware eingelesenen Daten werden in ein Dictionary mit dem Namen Bediendaten geschrieben. Bediendaten enthält folgende Schlüssel:

Schlüssel	Bedeutung	Einheit	Datentyp
FSNS	Fahrschalter Nullstellung	-	bool
FSAB	Fahrschalter Ab-Befehl	-	bool
FSFA	Fahrschalter Fahrt	-	bool
FSAUF	Fahrschalter Auf-Befehl	-	bool
FSFGZ	Fahrschalter Freigabe Zugkraftvorgabe	-	bool
AFSZ	Fahrschalter Sollwert Zugkraft	%	float
RSR	Richtungsschalter R-Stellung	-	bool
RS0	Richtungsschalter 0-Stellung	-	bool
RSM	Richtungsschalter M-Stellung	-	bool
RSV	Richtungsschalter V-Stellung	-	bool
TSifa	Taster Sifa	-	bool
BSFE	Bremssteller Fahren Ein	-	bool
BSBE	Bremssteller Bremsen Ein	-	bool
BSSB	Bremssteller Schnellbremsen Ein	-	bool
ABSSW	Bremssteller Sollwert	%	float
TSAN	Taster Stromabnehmer nieder	-	bool
TSAH	Taster Stromabnehmer hoch	-	bool
THSA	Taster Hauptschalter Aus	-	bool
THSE	Taster Hauptschalter Ein	-	bool
TMF	Taster Makrofon	-	bool
Tw	Taster Indusi Wachsam	-	bool
Tf	Taster Indusi Frei	-	bool

Tb Taster Indusi Befehl - bool

6.2 Hardwareeingabe

Die Daten werden mit Hilfe der Python-Bibliothek revpimodio2 von den Eingängen des Revolution Pi-Systems in das Dictionary geschrieben. Dabei gilt folgende Zuordnung:

Eingang	Eingangsname	Bedeutung	Variable
DIO1 I1		Indusi-Prüftaster	
DIO1 I2		MFA-Reserve	
DIO1 I3		MFA-Prüftaster	
DIO1 I4		Leuchtmelder prüfen	
DIO1 I5		Störung quittieren	
DIO1 I6		Fahrschalter Schnell-Auf-Befehl	
DIO1 I7	eFSFGZ	Fahrschalter Freigabe Zugkraftvorgabe	FSFGZ
DIO1 I8	eFSAUF	Fahrschalter Auf-Befehl	FSAUF
DIO1 I9	eFSAB	Fahrschalter Ab-Befehl	FSAB
DIO1 I10	eFSFA	Fahrschalter Fahrt	FSFA
DIO1 I11	eFSNSA	Fahrschalter Nullstellung Aus	-
DIO1 I12	eFSNSE	Fahrschalter Nullstellung Ein	FSNS
DIO1 I13	eRSMV	Richtungsschalter M- oder V-Stellung	RSM
DIO1 I14	eFSSIFA	Fahrschalter Sifa-Taster	TSifa
DIO2 I1	eRSR	Richtungsschalter R-Stellung	RSR
DIO2 I2	eRS0	Richtungsschalter 0-Stellung	RS0
DIO2 I3	eRSV	Richtungsschalter V-Stellung	RSV
DIO2 I4	eBSBE	Bremssteller Bremsen Ein	BSBE
DIO2 I5	eBSFE	Bremssteller Fahren Ein	BSFE
DIO2 I6	eBSSBE	Bremssteller Schnellbremsen Ein	BSSB
DIO2 I7	eBSSBA	Bremssteller Schnellbremsen Aus	
DIO2 I8	eBSB3	Bremssteller Bremsventil 3 Ein	
DIO2 I9	eBSB2	Bremssteller Bremsventil 2 Ein	
DIO2 I10	eBSB4	Bremssteller Bremsventil 4 Ein	
DIO2 I11	eTBL	Taster Bremse lösen	TBL

DIO2 I12	eTSSB	Taster Schleuderschutzbremse	TSSB
DIO2 I13	eTSAN	Taster Stromabnehmer nieder	TSAN
DIO2 I14	eTSAH	Taster Stromabnehmer hoch	TSAH
DIO3 I1	eTHSA	Taster Hauptschalter Aus	THSA
DIO3 I2	eTHSE	Taster Hauptschalter Ein	THSE
DIO3 I3	eSLP	Schalter Luftpresser	SLP
DIO3 I4	eSLST	Schalter Lüfter stark	SLST
DIO3 I5	eSLSW	Schalter Lüfter schwach	SLSW
DIO3 I6	eTSAND	Taster Sanden	TSAND
DIO3 I7	eSZSE	Schalter Zugsammelschiene Ein	SZSE
DIO3 I8	eTZSA	Taster Zugsammelschiene An	TZSA
DIO3 I9		Taster FIS-Fortschaltung	
DIO3 I10	eTFSIFA	Fußtaster Sifa	TSifa
DIO3 I11	eTFMF	Fußtaster Makrofon	TMF
DIO3 I12	eTMF	Taster Makrofon	TMF
DIO3 I13	eTw	Taster Indusi Wachsam	Tw
DIO3 I14	eTb	Taster Indusi Befehl	Tb
DIO4 I1	eTf	Taster Indusi Frei	Tf
DIO4 I2	eTTFGTZ	Taster Türfreigabe TZ	TTFGTZ
DIO4 I3	eTTFGTZ0	Taster Türfreigabe TZ + 0	TTFGTZ
DIO4 I4	eSTFG0	Schalter Türfreigabe 0	STFG0
DIO4 I5	eSTFGR	Schalter Türfreigabe rechts	STFGR
DIO4 I6	eSTFGL	Schalter Türfreigabe links	STFGL
DIO4 I7	eTZLA	Taster Zugbeleuchtung Aus	TZLA
DIO4 I8	eTZLE	Taster Zugbeleuchtung Ein	TZLE
DIO4 I9	eSFL	Schalter Fernlicht	SFL
DIO4 I10		Schalter Heizen	
DIO4 I11		Schalter Lüften	
DIO4 I12			
DIO4 I13			
DIO4 I14			
AIO1 28/24	eAFSZ1	Fahrschalter Sollwert Zugkraft 1	AFSZ
AIO1 27/23	eAFSZ2	Fahrschalter Sollwert Zugkraft 2	AFSZ

AIO1 21/17		Sollwert Raumtemperatur	
AIO1 15/11	eABSSW	Bremssteller Sollwert	ABSSW
AIO1 14/12		Raumtemperatur	

6.3 Schnittstelle zu Loksim3D

Loksim3D kann entweder über eine Tastatur oder über eine Gamepad gesteuert werden. Da die Tastatur für andere Bedienhandlungen frei bleiben soll, erfolgt die Dateneingabe über die USB-Gamepadschnittstelle. Dazu wird ein Raspberry Pi Pico über die serielle Schnittstelle mit der SPS gekoppelt. Der Raspberry Pi Pico verhält sich auf der USB-Schnittstelle wie ein USB-Gamepad und reicht die Daten von der seriellen Schnittstelle weiter zur Gamepad-Schnittstelle. Dazu bekommt er CircuitPython 6.3 und eine für den Zweck erstelltes Python-Programm.

Die Gamepad-Tasten und -Achsen werden dabei wie folgt belegt:

Eingang	Nummer	Funktion
X-Achse	17	Führerbremsventil
Y-Achse	5	Dynamische Bremse
Z-Achse	9	Auf-Ab-Steuerung
RZ-Achse		Reserve
Button 1	25	Richtungsschalter Vorwärts, Taster
Button 2	26	Richtungsschalter Null, Taster
Button 3	27	Richtungsschalter Rückwärts, Taster
Button 4	13	Bügel Auf/Ab
Button 5	7	Hauptschalter Ein/Aus
Button 6	21	Schnellbremsung
Button 7	22	Nullstellung
Button 8	20	Sifataste
Button 9	4	PZB Wachsam
Button 10	3	PZB Frei
Button 11	24	PZB Befehl
Button 12	9	Makrofon
Button 13	31	Sanden Ein
Button 14	33	Licht Ein

Button 15	34	Fernlicht Ein
Button 16	8	Türen, Auf/Zu

Zuordnung Führerbremsventil

Eingangswert Minimum	Eingangswert Maximum	Bremsstufe
95	127	Fahr- und Füllstellung
78	94	1
61	77	2
44	60	3
-25	43	4
-42	-26	5
-59	-43	6
-76	-60	7
-94	-77	8
-127	-95	9

Zuordnung dynamische Bremse

Eingangswert Minimum	Eingangswert Maximum	Bremsstufe
-127	-95	0
-94	-77	1
-76	-60	2
-59	-43	3
-42	-26	4
-25	43	5
44	60	6
61	77	7
78	94	8
95	127	9

Zuordnung Fahrshalter mit Auf-Ab-Steuerung

Eingangswert Minimum	Eingangswert Maximum	Fahrschalterstellung
-127	-112	Ab
-111	111	Fahrt
112	127	Auf

7 Steuerung von Instrumenten mit 5 A oder 200 V

7.1 Stromverstärker

Die Anzeiger für Motor- und Oberstrom werden in älteren Triebfahrzeugen durch Stromwandler gespeist. Diese Wandler bilden den Maximalstrom meist auf 5 A ab. Als Anzeigeeinstrumente kommen entweder Dreheisenmesswerke oder Drehspulmesswerke mit Gleichrichter zum Einsatz. Während die Dreheisenmesswerke direkt mit dem Strom arbeiten und somit auch für den Betrieb mit Gleichstrom geeignet sind, scheinen bei den Drehspulmesswerken die Eingangsklemmen an einen weiteren Stromwandler angeschlossen zu sein, der den Strom vermutlich auf Ströme im mA-Bereich transformiert. Diesem folgt dann ein Gleichrichter und dann das Messwerk. Dieses bedingt zwangsweise den Betrieb mit Wechselstrom. Bei 16,7 Hz stimmt das auf dem Instrument angegebene Verhältnis zwischen Strom und Anzeige. Bei einer Messung mit 50 Hz hat das Instrument bereits bei einem geringfügig geringeren Strom als 5 A Vollausschlag gezeigt. Ein Betrieb mit 16,7 Hz ist daher anzustreben, aber ein Betrieb mit 50 Hz sollte auch möglich sein.

Die im Simulator eingesetzte Steuerelektronik kann jedoch nur einen Gleichstrom bis zu 20 mA oder eine Gleichspannung bis zu 10 V erzeugen. Daher wird ein Verstärker entwickelt, der eine Gleichspannung von 10 V in einen Strom von $I_{\text{eff}} = 5 \text{ A}$ bei einer Frequenz von vorzugsweise 16,7 Hz übersetzt. Schwankungen in der Eingangsspannung im Bereich von 16,8 V bis 30 V dürfen sich nicht auf das Übersetzungsverhältnis der Schaltung auswirken. Es ist zudem eine gute Linearität anzustreben. Der benötigte hohe Strom wird mit einem Ausgangsübertrager erzeugt. Der abgegebene Spannung braucht maximal 1 V zu betragen.

7.2 Spannungsverstärker

Die Geschwindigkeitsanzeiger wird in dem meisten Triebfahrzeugen mit einem permanentenregten Achsgenerator gespeist, der eine der Drehzahl und somit der Fahrgeschwindigkeit proportionale Spannung erzeugt. Diese Spannung erreicht bei Vollausschlag des Geschwindigkeitsanzeigers bis zu 200 V. Zudem werden bei vielen Fahrzeugen der Oberspannungsanzeiger aus einem Spannungswandler gespeist, der meist ein Übersetzungsverhältnis von 100:1 hat, also aus 15 kV eine Spannung von 150 V erzeugt.

Die im Simulator eingesetzte Steuerelektronik kann jedoch nur Spannungen bis zu 10 V erzeugen. Daher wird ein Verstärker mit einem Verstärkungsfaktor von 20 entwickelt, der maximal 200 V ausgeben kann und über den ganzen Spannungsbereich eine gute Linearität aufweist. Die benötigte hohe Spannung soll in der Schaltung aus 24 V Versorgungsspannung erzeugt werden. Schwankungen in der Eingangsspannung im Bereich von 16,8 V bis 30 V dürfen sich nicht auf das Übersetzungsverhältnis der Schaltung auswirken. Der abgegebene Strom soll aus Sicherheitsgründen maximal 20 mA betragen.

8 Ansteuerung der MFA über die serielle Schnittstelle

8.1 Physikalische Schnittstelle

Die Schnittstelle besteht auf der Empfängerseite im der MFA aus eine Optokoppler vom Typ PC900V in Reihe mit einem Widerstand. Für eine logische 1 müssen 60 V angelegt werden und für eine logische 0 entsprechend 0 V.

Zu diesem Zweck wurde eine potentialtrennender Pegelwandler entworfen. Das Signal wird zunächst von einem MAX232 vom V24-Normpegel auf TTL-Pegel gewandelt und danach mit Optokopplern potenzialgetrennt. Die Ausgangsschaltung besteht aus einem NPN-Transistor, der mit dem Emitter an Masse und mit dem Kollektor über einen 10 k Ω -Widerstand an +60 V angeschlossen ist. Die Schnittstelle ist parallel zu dem Widerstand geschaltet.

Für eine spätere Verwendung mit einem ZDE-Gerät (Zugdateneingabe) gibt es auch den Weg von 60 V zu V24-Normpegeln. Dafür wird ein Optokoppler über einen 10 k Ω -Widerstand an die LZB-Leitung angeschlossen und treibt seinerseits wieder den MAX232.

Die benötigten 60 V werden mit einer Reihenschaltung von zwei DC/DC-Wandler vom Typ Traco TMR 3-2423WIR erzeugt, die von dem MAX232 benötigte Spannung mit einem TMR 3-2411WIR. Die Baugruppe ist verpolungsfest. Bezüglich der elektromagnetischen Störabstrahlung wird die EN 55032 Klasse B eingehalten.

8.2 Schnittstellenprotokoll

Für die MFA wird ein Protokoll nach VÖV 6325 zum Einsatz. Es hat eine Übertragungsgeschwindigkeit von 1200 bit/s und 50 Telegrammbytes, welche jeweils aus einem Startbit, sechs Nutzdaten Bytes, einem Adress-/Datenbit, einen geraden Paritätsbit und zwei Stoppbits bestehen. Damit ergibt sich eine Übertragungsdauer von 458,33 ms. Das Telegramm wird zyklisch alle 562,5 ms gesendet.

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
1	0	0	Startbit des Startbytes	
	1	1	Startbyte	
	2	0	Startbyte	
	3	0	Startbyte	
	4	0	Startbyte	
	5	0	Startbyte	
	6	1	Startbyte	
	7	1	Adresse / Daten	
	8	1	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
2	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
3	0	0	Startbit		
	1	64	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	2	128	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	3	256	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	4	0	nicht relevant für MFA		
	5	0	nicht relevant für MFA		
	6	0	nicht relevant für MFA		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
4	0	0	Startbit		
	1	1	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	2	2	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	3	4	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	4	8	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	5	16	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	6	32	Sollgeschwindigkeit in km/h	LZBV	soll
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
5	0	0	Startbit		
	1	0	nicht relevant für MFA		
	2	0	nicht relevant für MFA		
	3	0	nicht relevant für MFA		
	4	0	nicht relevant für MFA		
	5	0	nicht relevant für MFA		
	6	0	nicht relevant für MFA		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
6	0	0	Startbit		
	1	320	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZB-Vziel	
	2	0	nicht relevant für MFA		
	3	0	nicht relevant für MFA		
	4	0	nicht relevant für MFA		
	5	0	nicht relevant für MFA		
	6	0	nicht relevant für MFA		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
7	0	0	Startbit		
	1	5	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZBVziel	
	2	10	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZBVziel	
	3	20	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZBVziel	
	4	40	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZBVziel	
	5	80	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZBVziel	
	6	160	Zielgeschwindigkeit in km/h	LZBVziel	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
8	0	0	Startbit		
	1	12,5 / 1600	Zielentfernung in m Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	2	25 / 3200	Zielentfernung in m Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	3	50 / 6400	Zielentfernung in m Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	4	100 / 12800	Zielentfernung in m Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	5	200 / 25600	Zielentfernung in m Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	6	400 / 51200	Zielentfernung in m Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Parität		
	9	0	Stoppbit		
	10	0	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
9	0	0	Startbit		
	1	0,1953125 / 25	Zielentfernung in m		
			Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	2	0,390625 / 50	Zielentfernung in m		
			Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	3	0,78125 / 100	Zielentfernung in m		
			Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	4	1,5625 / 200	Zielentfernung in m		
			Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	5	3,125 / 400	Zielentfernung in m		
			Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	6	6,25 / 800	Zielentfernung in m		
			Fein: WXZ = 0 / Grob: WXZ = 1	LZBSziel	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
10	0	0	Startbit		
	1	0	nicht relevant für MFA		
	2	0	nicht relevant für MFA		
	3	0	nicht relevant für MFA		
	4	0	nicht relevant für MFA		
	5	0	nicht relevant für MFA		
	6	0	nicht relevant für MFA		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
11	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
12	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	WXZ	Umsch. Auflösung Zielentfernung	LZBSZiel > 399 m
	3	D(VZ)	Absch. Zielgeschwindigkeitsanz.	LZBZeig nicht
	4	D(aZ)	Absch. analoge Zielentfernungsanz.	LZBZeig nicht
	5	D(dZ)	Absch. digitale Zielentfernungsanz.	LZBZeig nicht
	6	D(VS)	Absch. Sollgeschwindigkeitsanz.	LZBZeig nicht
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
13	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
14	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
15	0	0	Startbit		
	1	Stoe	LM-Dauerlicht Störung	LMStoer	
	2	V40	LM-Dauerlicht V40	LMV40	
	3	Bf40	LM-Dauerlicht Befehl 40	LMB40	
	4	Ende	LM-Dauerlicht Ende	LMEnde	
	5	S	LM-Dauerlicht S	LMS	
	6	EL	LM-Dauerlicht EL	LMEL	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
16	0	0	Startbit		
	1	G	LM-Dauerlicht G	LMG	
	2	H	LM-Dauerlicht H	LMH	
	3	B	LM-Dauerlicht B	LMB	
	4	Ü	LM-Dauerlicht Ü	LMUe	
	5	1000Hz	LM-Dauerlicht 1000 Hz	LM1000Hz	
	6	E40	LM-Dauerlicht E40	LME40	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
17	0	0	Startbit		
	1	Stoe	LM-Blinklicht Störung	LMStoer	
	2	V40	LM-Blinklicht V40	LMV40	
	3	Bf40	LM-Blinklicht Befehl 40	LMB40	
	4	Ende	LM-Blinklicht Ende	LMEnde	
	5	S	LM-Blinklicht S	LMS	
	6	EL	LM-Blinklicht EL	LMEL	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
18	0	0	Startbit		
	1	G	LM-Blinklicht G	LMG	
	2	H	LM-Blinklicht H	LMH	
	3	B	LM-Blinklicht B	LMB	
	4	Ü	LM-Blinklicht Ü	LMUe	
	5	1000Hz	LM-Blinklicht 1000 Hz	LM1000Hz	
	6	E40	LM-Blinklicht E40	LME40	
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittstelle
19	0	0	Startbit		
	1	55	LM-Dauerlicht 55	LM55	
	2	70	LM-Dauerlicht 70	LM70	
	3	85	LM-Dauerlicht 85	LM85	
	4	500Hz	LM-Dauerlicht 500 Hz	LM500Hz	
	5	0	nicht relevant für MFA		
	6	0	nicht relevant für MFA		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
20	0	0	Startbit		
	1	55	LM-Blinklicht 55	LM55	
	2	70	LM-Blinklicht 70	LM70	
	3	85	LM-Blinklicht 85	LM85	
	4	500Hz	LM-Blinklicht 500 Hz	LM500Hz	
	5	0	nicht relevant für MFA		
	6	0	nicht relevant für MFA		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
21	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
22	0	0	Startbit	
	1	Schnarr1	Schnarre Wert 1	
	2	Schnarr2	Schnarre Wert 2	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
23	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
24	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
25	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
26	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
27	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
28	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
29	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
30	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
31	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
32	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
33	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
34	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
35	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
36	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
37	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
38	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
39	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
40	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
41	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
42	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
43	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
44	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
45	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
46	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal Datenschnittstelle
47	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	0	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	
48	0	0	Startbit	
	1	0	nicht relevant für MFA	
	2	0	nicht relevant für MFA	
	3	0	nicht relevant für MFA	
	4	0	nicht relevant für MFA	
	5	0	nicht relevant für MFA	
	6	0	nicht relevant für MFA	
	7	1	Adresse / Daten	
	8	p	Gerade Parität	
	9	1	Stoppbit	
	10	1	Stoppbit	

Byte	Bit	Signal	Bedeutung	Signal	Datenschnittst
49	0	0	Startbit		
	1	0	Gerade Parität auf Bit 1 der Telegrammbytes 1-48		
	2	0	Gerade Parität auf Bit 2 der Telegrammbytes 1-48		
	3	0	Gerade Parität auf Bit 3 der Telegrammbytes 1-48		
	4	0	Gerade Parität auf Bit 4 der Telegrammbytes 1-48		
	5	0	Gerade Parität auf Bit 5 der Telegrammbytes 1-48		
	6	0	Gerade Parität auf Bit 6 der Telegrammbytes 1-48		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	p	Gerade Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		
50	0	0	Startbit		
	1	1	Telegrammende		
	2	1	Telegrammende		
	3	1	Telegrammende		
	4	1	Telegrammende		
	5	1	Telegrammende		
	6	1	Telegrammende		
	7	0	Adresse / Daten		
	8	1	Parität		
	9	1	Stoppbit		
	10	1	Stoppbit		

Für die Signale an die Leuchtmelder kommt folgendes Schema zu Einsatz:

LM-Dauerlicht	LM-Blinklicht	Verhalten
0	0	Aus
1	0	An
0	1	Blinken
1	1	Blinken invertiert

Für die Schnarre gilt:

Schnarre Wert 1	Schnarre Wert 2	Verhalten
0	0	Aus
0	1	Intervall mit Frequenz 1
1	0	Intervall mit Frequenz 2
1	1	An

Literaturverzeichnis

- [1] Deutsche Bahn *Stromlaufplan GVT 8 104 050-61*
- [2] Jens Eggert, Uwe Klein *Simulator Exchanging Protokoll*
Version 0.99
- [3] Carsten Hölscher *Zusi 3 - Dokumentation*
Stand 15. Mai 2021