



**DB Systemtechnik**

# Bericht

## Erprobung: Digitale Automatische Kupplung

### Phase II Elektrischer Teil Abschlussbericht

DAK-Dokument: 60226-05-DAK-Phase II - Elektrischer Teil  
DBST-Dokument: 23-60226-TT.TVE322-Ei-DAK Phase II Elektrischer Teil Bericht

Datum: 30.05.2023

Fachabteilung: TT.TVE 322



Die Ergebnisse beziehen sich ausschließlich auf die im Bericht beschriebenen Sachverhalte. Dieser Bericht darf nicht ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers veröffentlicht werden. Eine auszugsweise Vervielfältigung bedarf zusätzlich der Zustimmung des im Bericht genannten Auftragnehmers

**Änderungsverzeichnis**

| <b>Version</b> | <b>Datum</b> | <b>Änderungen</b> | <b>Bearbeiter</b>                     |
|----------------|--------------|-------------------|---------------------------------------|
| 1.0            | 30.05.2023   | Erstausgabe       | Florian Einsele /<br>Santiago Göpfert |

## **Inhaltsverzeichnis**

|   |           |
|---|-----------|
| <b>Änderungsverzeichnis</b>                                   | <b>2</b>  |
| <b>1 Verzeichnis der Abkürzungen</b>                          | <b>4</b>  |
| <b>2 Referenzen</b>   | <b>4</b>  |
| <b>3 Angaben zum Auftrag</b>                                  | <b>5</b>  |
| <b>4 Messung der Übergangswiderstände</b>                     | <b>6</b>  |
| 4.1 Versorgungsleitungen (110 V)                              | 6         |
| 4.2 Datenleitungen  | 7         |
| <b>5 Messung der Isolationswiderstände</b>                    | <b>9</b>  |
| 5.1 Versorgungsleitungen (110 V)                              | 9         |
| 5.2 Ansteuerleitungen (ep-Bremse)                             | 10        |
| <b>6 Messung der Stromversorgung bei Erprobungsfahrten</b>    | <b>12</b> |
| 6.1 Messfahrt ohne besondere Auffälligkeiten                  | 12        |
| 6.2 Messfahrt mit kurzzeitigen Unterbrechungen der Versorgung | 13        |
| 6.3 Statistische Auswertung der Kontaktunterbrechungen        | 16        |
| <b>7 Zusammenfassung und Ausblick</b>                         | <b>17</b> |
| <b>8 Unterschriften</b>                                       | <b>18</b> |

## 1 Verzeichnis der Abkürzungen

| Abkürzung   | Bedeutung  |
|---|--|
| DAK / DAC   | Digitale Automatische Kupplung / Digital automatic coupler                               |
| DB AG   | Deutsche Bahn AG   |
| DBST  | DB Systemtechnik GmbH  |
| E-Kupplung  | Elektrokontaktkupplung, dient zur Übertragung von Spannungen, Informationen und Signalen |
|   |  |
|   |  |
|   |  |
|   |  |
| Gängige Abkürzungen werden im Abkürzungsverzeichnis nicht erläutert |  |

## 2 Referenzen

- [1] Erprobung: Digitale Automatische Kupplung, Phase I, Elektrischer Teil, DB Systemtechnik GmbH, 05.01.2022.
- [2] DIN EN 60228:2005, Leiter für Kabel und isolierte Leitungen (IEC 60228:2004); Deutsche Fassung EN 60228:2005 + Corrigendum:2005.
- [3] „TIS working group Digital Automatic Coupler (DAC) - Requirements for the electrical contacts in the coupling“, 09.03.2020.
- [4] DAC SPEC and Test Concept V1.01, 27.04.2020.
- [5] DIN EN 50343:2014 Bahnanwendungen - Fahrzeuge - Regeln für die Installation von elektrischen Leitungen; Deutsche Fassung EN 50343:2014.
- [6] Erprobung: Digitale Automatische Kupplung, Phase II, Messtechnik, DB Systemtechnik GmbH, 22.03.2023
- [7] Erprobung: Digitale Automatische Kupplung, Phase II, Prüfbericht Datenkommunikation, Owita GmbH, 22.03.2023

### 3 Angaben zum Auftrag

Im Erprobungsprojekt zur Digitalen Automatischen Kupplung (DAK) für Güterwagen wurde die DB Systemtechnik GmbH beauftragt, elektrische Messungen zur Charakterisierung der Elektrokupplungen durchzuführen. Die Konzipierung und Auswertung der Ergebnisse wurde durch TT.TVE322 übernommen, Messungen durch TT.TVP242 durchgeführt.

Dieser Bericht umfasst die Ergebnisse der elektrischen Messungen, die im Zuge der Erprobungsphase II durchgeführt wurden. Es handelt sich dabei um die Widerstands- und Isolationsprüfungen an DAK-Kuppelstellen im stationären Zustand sowie um die Messung von Strom und Spannung während Zugfahrten im Erprobungsbetrieb.

| Auftraggeber   | Auftragnehmer  |
|--|--|
| Deutsche Bahn AG<br>Programm TecEx - ARGE DAK<br>Weilburger Straße 28<br>60326 Frankfurt am Main   | DB Systemtechnik GmbH<br>TT.TVP 11<br>Pionierstraße 10<br>32423 Minden (Westf.)  |
| Ansprechpartner:<br><br>Hr. Dr. Fabian Wartzek<br>Tel.: 069 265 12085<br><a href="mailto:Fabian.Wartzek@deutschebahn.com">Fabian.Wartzek@deutschebahn.com</a><br><br>Fr. Olga Heimann<br>Tel.: 069 265 32987<br><a href="mailto:Olga.Heimann@deutschebahn.com">Olga.Heimann@deutschebahn.com</a> | Ansprechpartner:<br><br>Hr. Alexander Meier-Böke<br>Tel.: 0571 393 2098<br><a href="mailto:Alexander.Meier-Boeke@deutschebahn.com">Alexander.Meier-Boeke@deutschebahn.com</a><br><br>Fr. Sina Lübke<br>Tel.: 0571 393 2990<br><a href="mailto:Sina.Luebke@deutschebahn.com">Sina.Luebke@deutschebahn.com</a> |

| Verteiler des Berichtes |                                    |
|-------------------------|------------------------------------|
| Auftraggeber            | 1 Exemplar als pdf-Datei           |
| Auftragnehmer           | Original zur elektronischen Ablage |

## 4 Messung der Übergangswiderstände

In der Erprobungsphase II wurden die Übergangswiderstände der Versorgungs- und Datenleitungen messtechnisch überprüft. Die Messungen fanden zwischen Januar und September 2022 statt. Für die Messdurchführung wurden die Versorgungs- und Datenleitungen des betreffenden gekoppelten Kupplungspaares von den Anschlusskästen an beiden Wagenenden abgeklemmt und an die Messtechnik angeschlossen.

Die so messtechnisch ermittelten Übergangswiderstände beinhalten neben den Übergangswiderständen an der Kontaktstelle der Elektrokupplung die Widerstandsbeiträge der Zuleitungen und Übergangswiderstände der Anschlüsse in den Elektrokupplungen. Für eine detaillierte Diskussion dieser Thematik wird auf den Zwischenbericht Elektrischer Teil der Phase I [1] verwiesen. Die Beschreibung der Messtechnik erfolgt im entsprechenden Teilbericht [6].

### 4.1 Versorgungsleitungen (110 V)

Bild 1 zeigt die Übergangswiderstände der Leitungen für die 110-V-Versorgung. Jedem Messpunkt auf der Abszisse entspricht die Messung aller Versorgungsleitungen eines gekoppelten Kupplungspaares. Bei den Kupplungen des Typs A entspricht dies zwei Messwerten, einem für die positive und einem für die negative Polarität der Versorgungsspannung, während bei den Kupplungen des Typs B jeweils zwei Leitungen je Polarität separat herausgeführt wurden, und man somit vier Messwerte je Messung erhält. Insgesamt wurden die Übergangswiderstände an zehn Kuppelstellen des Typs A und an 20 Kuppelstellen des Typs B vermessen.

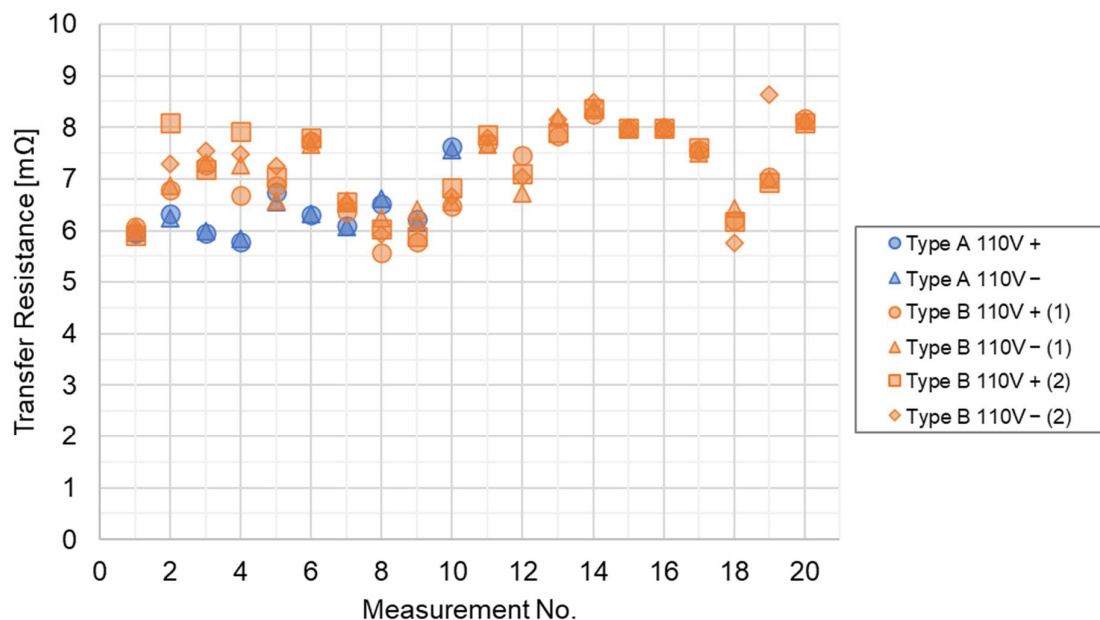


Bild 1: Übergangswiderstände der Versorgungsleitungen (110 V).

Insgesamt zeigen die Ergebnisse für beide Kupplungstypen ähnliche Werte mit Mittelwerten von 6,34 mΩ (Typ A) bzw. 7,21 mΩ (Typ B). Die Querschnitte der Zuleitungen betragen in beiden Fällen 16 mm<sup>2</sup>. Es ist kein eindeutiger zeitlicher Trend zu erkennen, der auf eine Degradation der Übergangswiderstände in den Elektrokupplungen durch Verschleiß hindeuten würde.

Der Widerstandsbeitrag der Zuleitungen ist erheblich: bei einer Zuleitungslänge je Kupplung von ca. 2,5 m beträgt dieser ca. 6,2 m $\Omega$  (nach EN 60228:2005 [2], 16 mm<sup>2</sup> Kupferleiter Kl. 5/6: 1,24 m $\Omega$ /m). Er liegt somit im selben Wertebereich wie der insgesamt ermittelte Übergangswiderstand einschließlich der Kontakte in den Elektrokupplungen. Eine detaillierte Diskussion dieses Sachverhalts findet sich in [1].

Unterschiede zwischen den ermittelten Widerständen gehen zu einem großen Teil auf unterschiedliche Längen der Zuleitungen je nach der Verlegung am Wagen zurück. Allerdings zeigen auch einzelne Messungen, die an einer einzigen Kuppelstelle durchgeführt wurden, deutliche Abweichungen, wobei die Zuleitungslänge in diesen Fällen identisch ist. Dies ist z.B. bei Kupplungstyp B, Messung Nr. 2 und 4, deutlich zu erkennen und weist auf eine Streuung des Widerstandswerts an einzelnen Kupplungskontakten hin.

## 4.2 Datenleitungen

Bild 2 zeigt die an den Datenleitungen derselben Kupplungsstellen ermittelten Übergangswiderstände. Bei beiden Kupplungstypen werden vier einzelne Datenleitungen herausgeführt, somit erhält man in beiden Fällen jeweils vier Messwerte. Erneut wurden zehn Kuppelstellen des Typs A und 20 des Typs B vermessen.

Die Mittelwerte liegen für Kupplungstyp A bei 181 m $\Omega$  und für Kupplungstyp B bei 134 m $\Omega$ . Die höheren Werte für Kupplungstyp A lassen sich auf einen geringeren Leitungsquerschnitt von hier 0,5 mm<sup>2</sup> gegenüber den bei Kupplungstyp B verwendeten Leitungsquerschnitt von 0,75 mm<sup>2</sup> zurückführen. Nach der EN 60228:2005 [2] betragen die längenabhängigen Widerstände 40,1 m $\Omega$ /m (0,5 mm<sup>2</sup>) bzw. 26,7 m $\Omega$ /m (0,75 mm<sup>2</sup>). Bei ca. 5,0 m Gesamt-Zuleitungslänge beträgt der rechnerische Widerstandsbeitrag der Zuleitungen 200,5 m $\Omega$  (0,5 mm<sup>2</sup>) bzw. 133,5 m $\Omega$  (0,75 mm<sup>2</sup>). Abweichende Leitungslängen und niedrigere tatsächliche Widerstandswerte der Leitungen erklären, dass die gemessenen Werte einschließlich Kontaktstellen in den Kupplungen durchschnittlich sogar etwas darunter liegen.

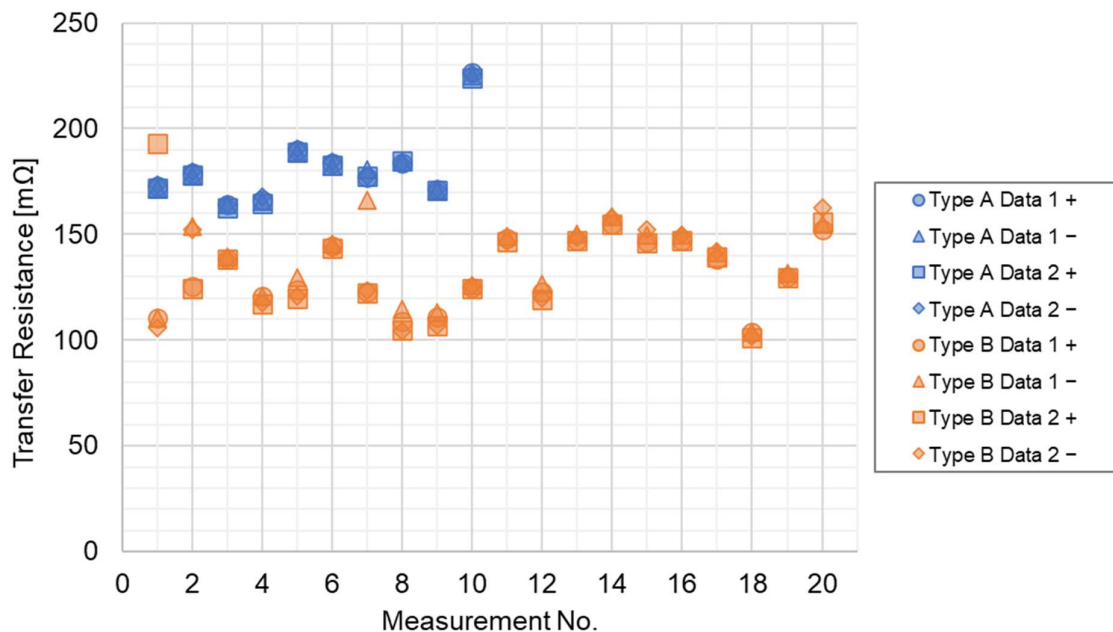


Bild 2: Übergangswiderstände der Datenleitungen.

Auch hier ist kein eindeutiger Trend über den Verlauf der Messungen während der Erprobung erkennbar. Die Variationen zwischen den einzelnen Messungen zeigen einen vergleichbaren Verlauf wie bei den Widerstandswerten der Versorgungsleitungen in Bild 1, die auf Unterschiede in den Zuleitungslängen zurückzuführen sind.

Ebenfalls ist bei einzelnen Kuppelstellen eine deutliche Streuung zwischen den Einzelmesswerten erkennbar, z.B. bei Kupplungstyp B, Messung 2 und 7. Erneut zeigt hier Kupplungstyp A ein stabileres Verhalten. Allerdings liegen für Kupplungstyp A nur halb so viele Messwerte vor wie für Kupplungstyp B.

Ergänzender Hinweis: Der Widerstandswert spielt für die Datenübertragung eine eher untergeordnete Rolle. Für die Charakterisierung der Übertragungsparameter des physikalischen Kommunikationskanals wird auf den entsprechenden Teilbericht zur Datenkommunikation [7] verwiesen.



## 5 Messung der Isolationswiderstände

Im Zuge der Messungen der Übergangswiderstände wurden auch die Isolationswiderstände der Versorgungsleitungen und der Steuerleitungen für die elektropneumatische Bremse gemessen. Die Messungen erfolgten gegenüber dem Massepotential der Elektrokupplungen an den von den Wagenstromkreisen getrennten Leitungen.

Das Messbereichsende des verwendeten Messgeräts liegt bei 3000 M $\Omega$ , vgl. hierzu die Beschreibung im entsprechenden Teilbericht [6]. Bei Messungen, die diesen Wert anzeigen, liegt der tatsächliche Isolationswiderstand somit bei mindestens 3000 M $\Omega$  oder höher.

Als Akzeptanzkriterium für den Isolationswiderstand wurde im Anforderungsdokument des TIS-Arbeitskreises [3] und in der AUCO-Testspezifikation [4] für einen einzelnen Elektrokontakt in einer Elektrokupplung ein Mindestwert von 800 M $\Omega$  festgelegt. Dieser Wert wurde hergeleitet aus einer Betrachtung eines Güterzugs bestehend aus 50 Wagen und den parallelen Beiträgen zum Gesamt-Isolationswiderstand, der gemäß EN 50343:2014 [5] einen Wert von 1 M $\Omega$  nicht übersteigen sollte, vgl. hierzu auch [1].

### 5.1 Versorgungsleitungen (110 V)

Bild 3 zeigt die Isolationswiderstände der Versorgungsleitungen. Bei Kupplungstyp A sind zehn Messungen an den beiden herausgeführten Anschlussleitungen durchgeführt worden, bei Kupplungstyp B sind es 20 Messungen an den vier separat herausgeführten Leitungen. Alle Messpunkte, die an Kupplungstyp A durchgeführt wurden, lagen bei wenigstens 3000 M $\Omega$  (Messbereichsende) und somit deutlich oberhalb des Spezifikationswerts von 800 M $\Omega$  (In Bild 3 sind die Werte der Messungen 5 bis 10 für beide A und B gleich). Bei Kupplungstyp B lag die Mehrzahl der Messpunkte ebenfalls bei 3000 M $\Omega$  (oder darüber), einzelne Kupplungen weisen jedoch niedrigere Werte auf.

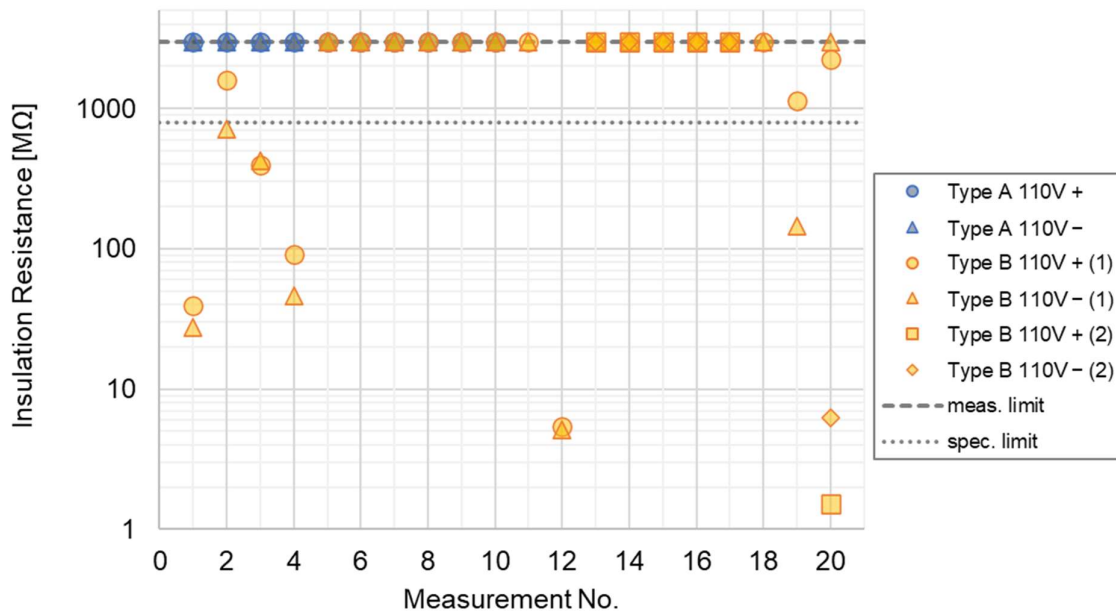


Bild 3: Isolationswiderstände der Versorgungsleitungen.

## 5.2 Ansteuerleitungen (ep-Bremse)

Die Isolationswiderstände wurden auch an den Ansteuerleitungen für die elektropneumatische Bremse „ep light“ gemessen, da diese ebenfalls mit 110 V betrieben werden. Bild 4 zeigt die Ergebnisse, die Ähnlichkeit mit den Ergebnissen in Bild 3 aufweisen.

Auch hier zeigt Kupplungstyp A Isolationswiderstände, die mindestens dem Messbereichsende des Messgeräts von 3000 M $\Omega$  entsprechen, während bei Kupplungstyp B einige Messwerte unterhalb des Spezifikationswerts von 800 M $\Omega$  liegen.

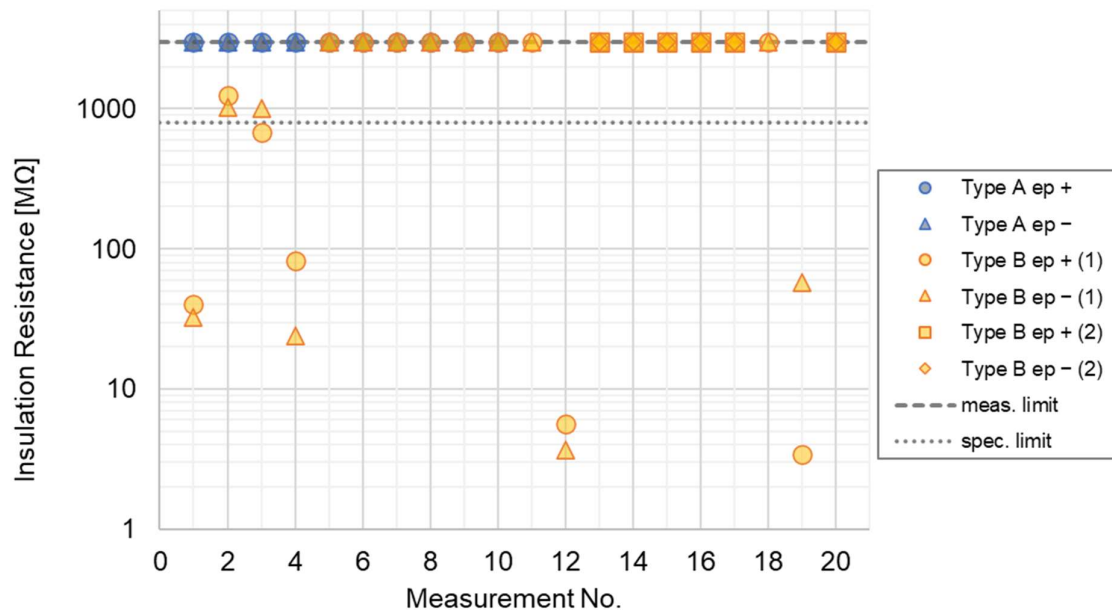


Bild 4: Isolationswiderstände der Ansteuerleitungen für die ep-Bremse.

Es ist bekannt, dass Feuchtigkeit, insbesondere in Verbindung mit Verschmutzung, den Isolationswiderstand von Kontaktstellen (Steckern, Kupplungen und dergleichen) erheblich herabsetzen kann, und dieser nach dem Abtrocknen der Kontaktbereiche häufig wieder ansteigt. Da die Messungen bei unterschiedlichen Wetterverhältnissen, je nach den örtlichen Gegebenheiten in einer überdachten Halle oder im Freien stattgefunden haben, ist ein witterungsbedingter Einfluss auf die Ergebnisse grundsätzlich denkbar.

In

Tabelle 1 sind die räumlichen Bedingungen (Messung in der Halle, Messungen im Außenbereich) und die Witterungsbedingungen während der Messungen aufgeführt. Die Messungen an den Kupplungen des Typs A fanden alle im Außenbereich bei trockener Witterung statt, während bei fünf Messungen (Nr. 3, 4, 12, 15, 16) an Kupplungen des Typs B feuchte Witterung herrschte. Bei einem Teil dieser Messungen (Nr. 3, 4, 12) lagen die Isolationswiderstände unterhalb des Messbereichs- bzw. Spezifikationsgrenzwerts, allerdings nicht bei allen (Nr. 15, 16). Und es gab auch Messungen mit niedrigeren Isolationswiderständen, die bei trockener Witterung durchgeführt wurden (Nr. 1, 2, 19).

Insgesamt zeigt sich somit kein eindeutiger Zusammenhang zwischen Witterung und Messergebnis. Nicht auszuschließen ist Restfeuchtigkeit, die durch vorangegangene Betauung oder feuchte Witterung bei einzelnen Messungen noch vorhanden gewesen sein könnte, trotz trockener Witterung während der tatsächlichen Messdurchführung.

Tabelle 1: Datum, Ort und Witterung während der Durchführung der Messungen.

| Typ A |            |       |           | Typ B |            |       |           |     |            |       |           |
|-------|------------|-------|-----------|-------|------------|-------|-----------|-----|------------|-------|-----------|
| Nr.   | Datum      | Ort   | Witterung | Nr.   | Datum      | Ort   | Witterung | Nr. | Datum      | Ort   | Witterung |
| 1     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 1     | 26.01.2022 | innen | trocken   | 11  | 29.03.2022 | außen | trocken   |
| 2     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 2     | 26.01.2022 | innen | trocken   | 12  | 30.03.2022 | außen | feucht    |
| 3     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 3     | 27.01.2022 | außen | feucht    | 13  | 06.09.2022 | außen | trocken   |
| 4     | 29.03.2022 | außen | trocken   | 4     | 27.01.2022 | außen | feucht    | 14  | 06.09.2022 | außen | trocken   |
| 5     | 29.03.2022 | außen | trocken   | 5     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 15  | 06.09.2022 | außen | feucht    |
| 6     | 29.03.2022 | außen | trocken   | 6     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 16  | 06.09.2022 | außen | feucht    |
| 7     | 05.09.2022 | außen | trocken   | 7     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 17  | 07.09.2022 | außen | trocken   |
| 8     | 05.09.2022 | außen | trocken   | 8     | 12.03.2022 | außen | trocken   | 18  | 07.09.2022 | außen | trocken   |
| 9     | 05.09.2022 | außen | trocken   | 9     | 29.03.2022 | außen | trocken   | 19  | 07.09.2022 | außen | trocken   |
| 10    | 05.09.2022 | außen | trocken   | 10    | 29.03.2022 | außen | trocken   | 20  | 07.09.2022 | außen | trocken   |

## 6 Messung der Stromversorgung bei Erprobungsfahrten

Während der Erprobungsfahrten werden die Wagen von einer Konstantspannungsquelle auf dem Messwagen mit der 110-V-Versorgungsspannung gespeist. Der Messwagen befindet sich zwischen dem Triebfahrzeug und dem ersten mit DAK ausgerüsteten Wagen. Die elektrische Verbindung erfolgt an den DAK-Kuppelstellen über die Elektrokupplungen, an den mit Schraubenkupplung verbundenen Wagen über ein Verbindungskabel. Letzteres betrifft die Kupplung von Messwagen zum ersten Wagen sowie die Kupplungen zwischen Wagengruppen, die mit unterschiedlichen DAK ausgerüstet sind.

Die Versorgungsspannung und der Strom auf der Versorgungsleitung wird an mehreren ausgewählten Stellen im Messzug kontinuierlich mit einer Abtastrate von 1200 Hz bzw. mit einer zeitlichen Auflösung von ca. 0,83 ms erfasst.

### 6.1 Messfahrt ohne besondere Auffälligkeiten

Bild 5 zeigt den zeitlichen Verlauf von Versorgungsspannung (oben) und Speisestrom (unten) bei einer typischen Messfahrt.

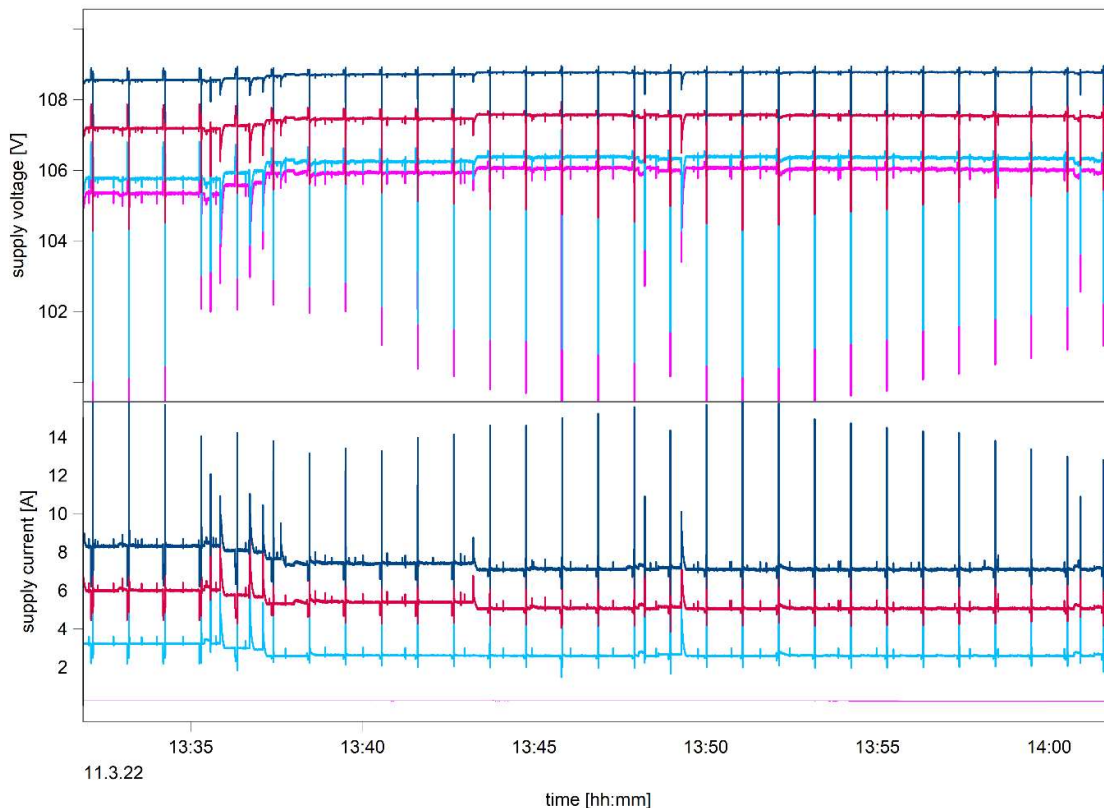


Bild 5: Versorgungsspannung und Speisestrom bei einer typischen Messfahrt.

Die Versorgungsspannung nimmt wegen der Widerstandsverluste in der Verkabelung und an den Kupplungen bzw. Steckverbindungen vom speisenden Wagen bis zum letzten Wagen ab (im Bild 5 entspricht dies den Messchrieben von oben nach unten). Es sind vier Kanäle für Spannung und Strom dargestellt. Die Spannungsdifferenz zwischen zwei Messstellen ist umso größer, je mehr Wagen sich zwischen den Messstellen befinden.

Der Strom an jeder Messstelle ist jeweils die Summe der hinter der Messstelle entnommenen Teilströme der auf die Messstelle folgenden Wagen und nimmt daher ebenfalls mit zunehmender

Entfernung vom speisenden Messwagen ab. Am letzten Wagen beträgt der gemessene Versorgungsstrom null. Diese Messstelle dient der Messung bei einer geänderten Wagenreihung.

Versorgungsspannung und -strom sind über die Messdauer von ca. 30 Minuten über längere Zeitabschnitte konstant. Die stufenförmigen Änderungen von Strom und Spannung sind das Ergebnis von Veränderungen der Verbraucherlast, Zu- und Abschaltvorgängen und somit ein typisches und erwartbares Verhalten. Diesem überlagert ist alle 63 Sekunden auf allen Messkanälen (Strom und Spannung) ein deutlicher, zeitsynchroner Ausschlag der Messwerte erkennbar. Hier fällt die Spannung jeweils kurzzeitig ab und die Ströme steigen kurzzeitig an. Dieses Verhalten wurde bereits in der Erprobungsphase I beobachtet und auf ein regelmäßiges Umschalten der unterbrechungsfreien Stromversorgungseinheiten (USV-Einheiten) auf den Wagen zurückgeführt. Vgl. hierzu Kapitel 6.3.3 in [1].

## 6.2 Messfahrt mit kurzzeitigen Unterbrechungen der Versorgung

Bild 6 zeigt den Verlauf von Versorgungsspannung und Speisestrom bei einer weiteren Messfahrt. Spannung und Strom zeigen über die erneut ca. 30-minütige Messdauer hinweg ein stabiles Verhalten, das von den 63-Sekunden-Impulsen der USV-Einheiten überlagert ist. Deren Amplitude nimmt mit zunehmender Messdauer ab, was auf eine Änderung des Ladezustands der USV-Batterien zurückzuführen sein dürfte.

Zusätzlich sind in unregelmäßigen zeitlichen Abständen Einbrüche der Versorgungsspannung auf dem vierten Kanal (niedrigstes Spannungsniveau, vom speisenden Messwagen am weitesten entfernte Messstelle, im Bild 6 in Magenta dargestellt) zu erkennen.

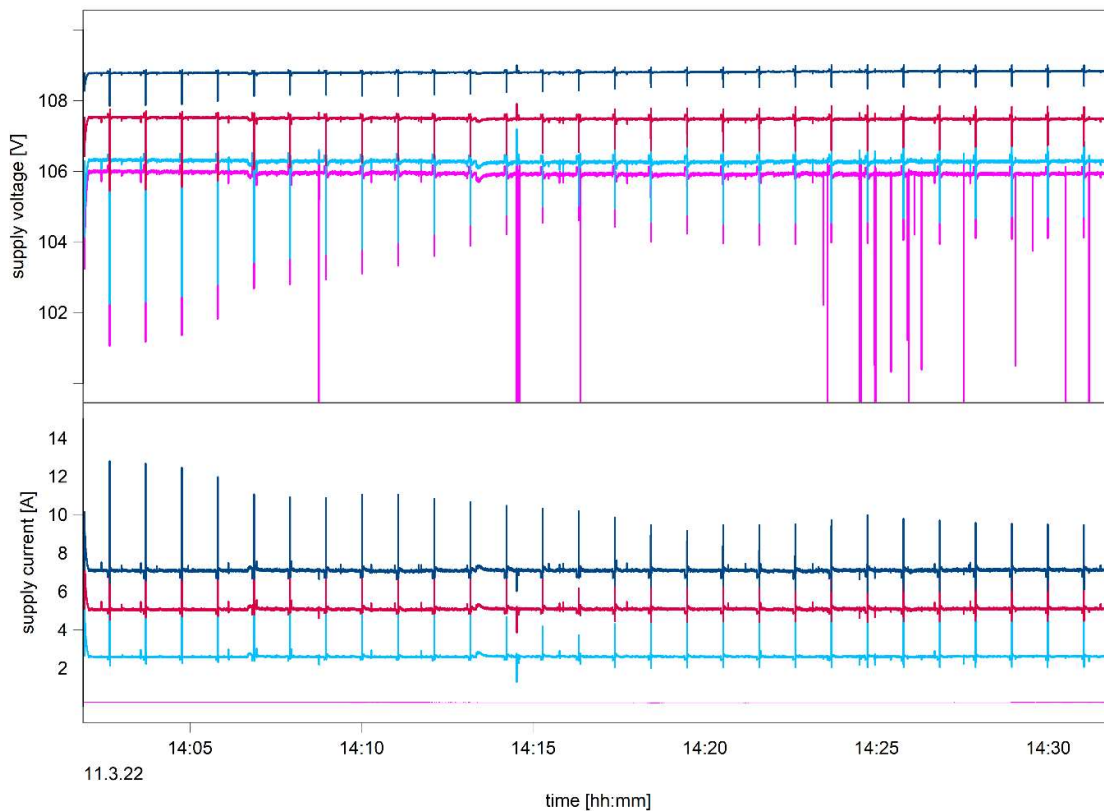


Bild 6: Versorgungsspannung und Speisestrom bei einer Messfahrt mit Unterbrechungen in der Versorgung.

Bei genauerer Betrachtung (Bild 7) ist zu erkennen, dass die Spannung stark absinkt und dass die Einbrüche im Gegensatz zu den von den USV-Einheiten hervorgerufenen 63-Sekunden-Impulsen keinem regelmäßigen Muster folgen. Da sich Einbrüche auf den vierten und damit letzten Kanal (vom Messwagen her betrachtet) beschränken, lässt sich die Ursache auf den Bereich zwischen der dritten und vierten Messstelle einschränken. Das Verhalten deutet auf spontane Unterbrechungen des Versorgungsstromkreises hin und es ist - ohne andere mögliche Ursachen grundsätzlich auszuschließen - möglich, dass es sich um eine Kontaktunterbrechung an einer der zwischen den beiden Messstellen verbauten Elektrokupplungen handelt.

Die Wagenverbraucher, die hinter der Unterbrechungsstelle liegen, werden während der Unterbrechung nicht versorgt. Dies sollte sich in geringeren Versorgungsströmen an den weiter vorne im Zug liegenden Strommessstellen zeigen.

Bild 8 zeigt eine Detailansicht einer der Unterbrechungen. Die Unterbrechungsdauer beträgt ca. 11 ms und die Spannung sinkt bis auf ca. 28 V ab. Erwartungsgemäß zeigt sich auf den Stromkanälen ein leichtes Absinken aller drei Messwerte, mutmaßlich als Ergebnis des Lastabfalls hinter der Unterbrechungsstelle. In der in Bild 9 angepassten Skalierung der Spannungsachse ist eine mit dem Absinken der Stromwerte zeitsynchrone Erhöhung der Spannungsmesswerte erkennbar. Als Folge des reduzierten Stroms und den damit einhergehend geringeren Leitungsverlusten ist dies nachvollziehbar.

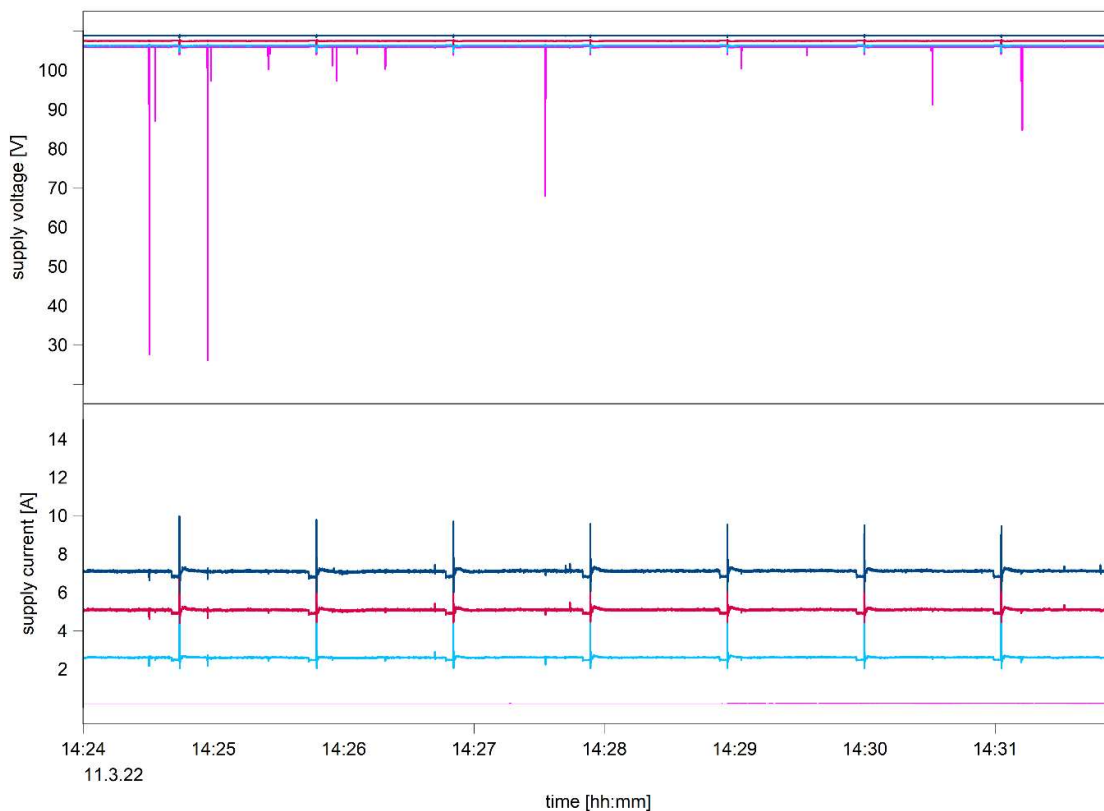


Bild 7: Messausschnitt mit mehreren Unterbrechungen der Versorgung.

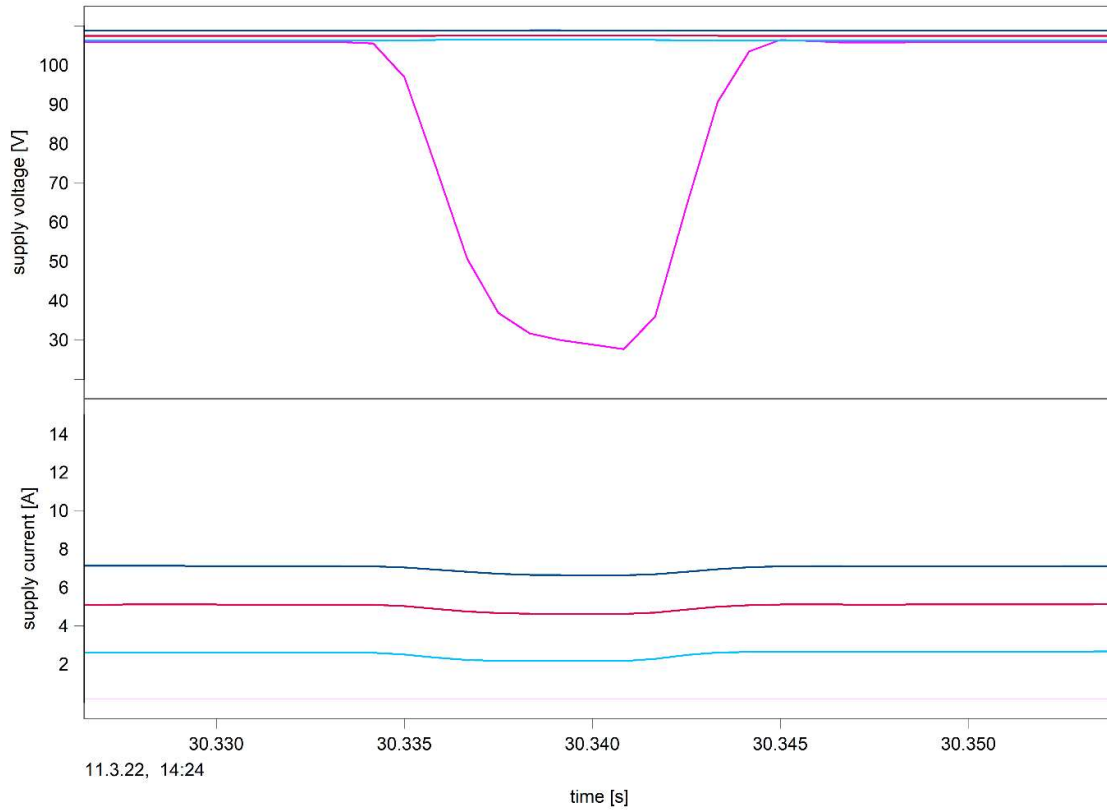


Bild 8: Detailansicht des Spannungs- und Stromverlaufs während einer Unterbrechung.

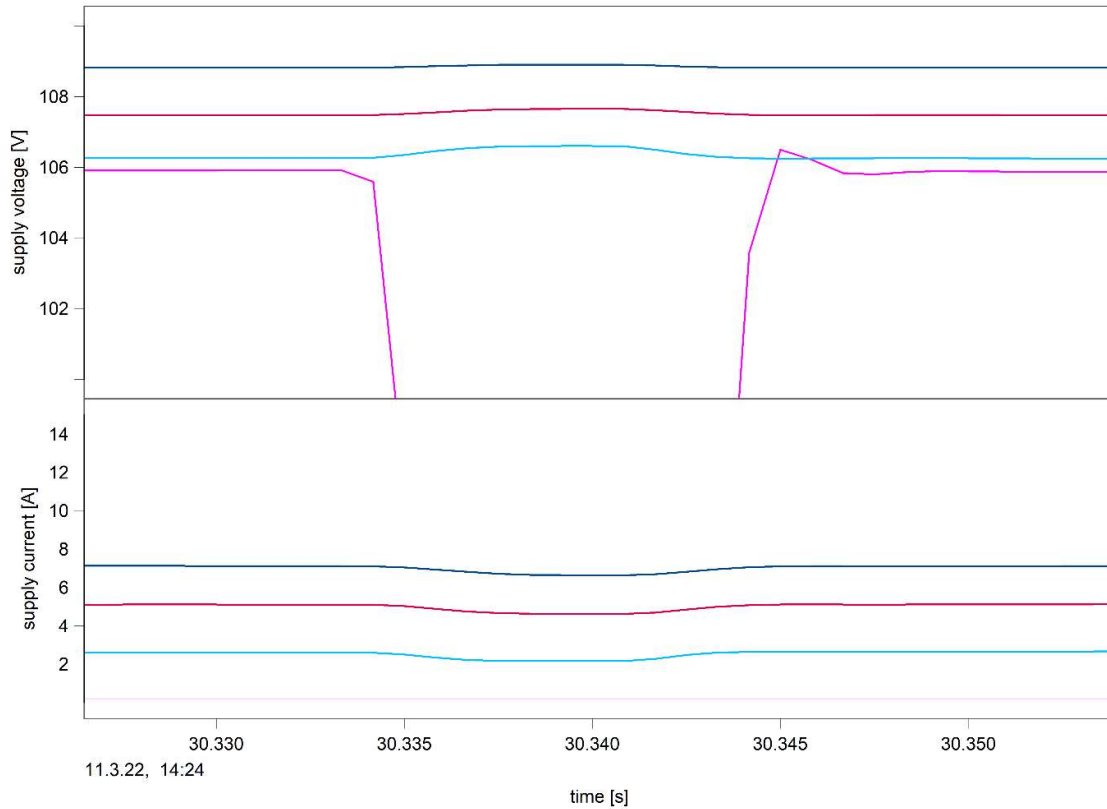


Bild 9: Zeitsynchrones Verhalten von Strom und Spannung während einer Unterbrechung.

### 6.3 Statistische Auswertung der Kontaktunterbrechungen

Zur Quantifizierung der Unterbrechungen wurde eine zehnstündige Messfahrt automatisiert ausgewertet. Als Unterbrechung wurden Spannungseinbrüche bis auf 90 V oder darunter definiert. Die Dauer der Unterbrechung wurde zwischen fallender und steigender Flanke bei Durchgang durch 90 V ausgewertet.

Bild 10 zeigt die daraus ermittelte Häufigkeitsverteilung der Unterbrechungen, kategorisiert in Gruppen von 2 ms Breite. Insgesamt wurden 64 Unterbrechungen registriert mit einer mittleren Unterbrechungslänge von 5,87 ms (Minimum 0,83 ms, Maximum 15,8 ms). Auf die Fahrtdauer von 10:05 h umgerechnet fand im Mittel eine (registrierte) Unterbrechung ca. alle 9,5 Minuten statt.

Die untere zeitliche Grenze der Unterbrechungen deckt sich mit der zeitlichen Auflösung der Messung von 0,83 ms (entspricht 1200 Hz). Es ist daher naheliegend anzunehmen, dass noch kürzere Unterbrechungen auftreten, die von der eingesetzten Messtechnik mit der konfigurierten Abtastrate nicht erfasst wurden. Hierbei ist anzumerken, dass die Messdatenerfassung über den betreffenden Zeitraum ein Kompromiss zwischen Abtastrate und dem Umfang der aufgezeichneten Daten darstellt.

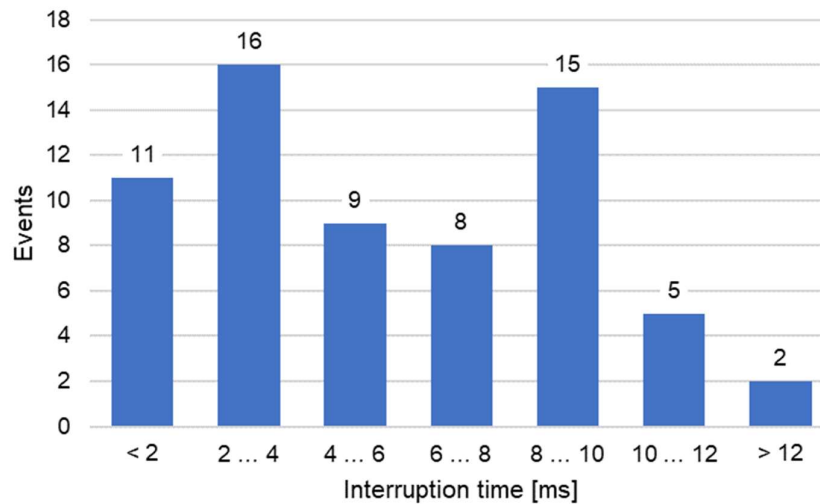


Bild 10: Häufigkeitsverteilung der Unterbrechungen der Spannungsversorgung während einer Messfahrt.



## **7 Zusammenfassung und Ausblick**

In der Erprobungsphase II wurden an den DAK-Elektrokupplungen statische Messungen des Übergangs- und Isolationswiderstands durchgeführt sowie Messungen der Versorgungsspannung und des Versorgungsstroms während der Erprobungsfahrten.

Die Übergangswiderstände der Elektrokupplungen – gemessen zwischen den herausgeführten Strom- und Datenleitungen beider Kupplungspartner – zeigten für beide untersuchten Kupplungstypen stabile Werte ohne zeitliche Degradation über den Verlauf der Erprobung. Der Zuleitungswiderstand ist der Haupteinflussfaktor, während die Widerstände der Elektrokupplungen und insbesondere die Kontaktwiderstände eine untergeordnete Rolle spielen.

Der Isolationswiderstand von Strom- und Bremsansteuerleitung unterschritt bei einigen Messungen an Elektrokupplungen des Typs B den in der Spezifikation gesetzten Mindestwert. Eine klare Korrelation zwischen Umgebungsbedingungen (insbesondere Feuchtigkeit) und den ermittelten Messwerten konnte nicht festgestellt werden. Die Isolationswiderstände der Kupplungen des Typs A zeigten bei allen Messungen Werte oberhalb der Spezifikationsgrenze.

Die Versorgungsspannung und der Versorgungsstrom wurden bei Messfahrten kontinuierlich erfasst. Bei einer Messfahrt wurden Unterbrechungen der Stromversorgung zwischen zwei Messstellen beobachtet und anschließend ausgewertet. Die erfassten Unterbrechungen dauerten zwischen ca. 0,8 ms (Auflösungsgrenze der Messungen) und ca. 15,8 ms an und sind mutmaßlich auf eine einzelne Kupplungsstelle zurückzuführen. Die Unterbrechungen können nachteilige Effekte auf die Haltbarkeit der Elektrokontakte (Kontaktverschleiß) haben. Außerdem können die Unterbrechungen möglicherweise erste Anzeichen einer dauerhaften Unterbrechung sein, falls mechanische Toleranzen die Ursache sind. Daher wurden zu dieser Thematik weitere Versuche durchgeführt, die im Teilbericht zur Datenkommunikation vorgestellt werden.

## 8 Unterschriften

freigegeben:

Thomas Klockow  
Leiter TT.TVE 322

erstellt:

Santiago Göpfert  
TT.TVE 322

--- Ende des Berichts ---