

	DIN EN 50318 (VDE 0115-504)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE

ICS 29.280; 45.060.10

Ersatz für

DIN EN 50318**(VDE 0115-504):2003-04**

Siehe Anwendungsbeginn

**Bahnanwendungen –
Stromabnahmesysteme –
Validierung von Simulationssystemen für das dynamische
Zusammenwirken zwischen Dachstromabnehmer und Oberleitung;
Deutsche Fassung EN 50318:2018**

Railway applications –
Current collection systems –
Validation of simulation of the dynamic interaction between pantograph and overhead
contact line;
German version EN 50318:2018

Applications ferroviaires –
Systèmes de captage de courant –
Validation des simulations de l'interaction dynamique entre le pantographe et la caténaire;
Version allemande EN 50318:2018

Gesamtumfang 93 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2018-06-07 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2019-04-01.

Für **DIN EN 50318 (VDE 0115-504):2003-04** besteht eine Übergangsfrist bis 2021-12-07.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 50318 (VDE 0115-504):2017-02.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium UK 351.2 „Ortsfeste Anlagen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Änderungen

Gegenüber **DIN EN 50318 (VDE 0115-504):2003-04** wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Aufnahme zusätzlicher Definitionen von neuen verwendeten Begriffen ([Abschnitt 3](#));
- b) Verbesserung des Validierungsprozesses ([Abschnitt 5](#));
- c) Aufnahme eines Validierungsprozesses für Dachstromabnehmermodelle ([Abschnitt 6](#));
- d) genauere Spezifizierung der Anforderungen an die Daten für Oberleitungsmodellierung ([7.2](#));
- e) Aufnahme von Anforderungen an die statische Überprüfung des Oberleitungsmodells ([7.3](#));
- f) Hinzufügung mathematischer Parameter zu den erforderlichen Ausgabedaten, um die Abweichung von der Gaußschen Verteilung zu beschreiben ([Abschnitt 9](#));
- g) Verbesserung der Validierung mit gemessenen Werten ([Abschnitt 10](#));
- h) Hinzufügung gemessener Daten aus Streckenprüfungen für drei Haupttypen von Oberleitungen in [Anhang B](#), die eine Validierung für Standardsysteme ohne weitere Messung erlauben;
- i) Erweiterung der Referenzmodelle auf verschiedene Arten von Oberleitungen ([Abschnitt 11](#) und [Anhang A](#)) für eine einfache Überprüfung von Simulationen vor der Validierung.

Frühere Ausgaben

DIN EN 50318 (VDE 0115-504): 2003-04

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit europäischen und internationalen Dokumenten

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf ein Dokument ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils aktuellste Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe des Dokuments.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ist nachstehend wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäisches Dokument	Internationales Dokument	Deutsches Dokument	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
EN 50119:2009 + A1:2013	–	DIN EN 50119 (VDE 0115-601):2014-01	VDE 0115-601
EN 50206-1:2010	–	DIN EN 50206-1 (VDE 0115-500-1):2011-02	VDE 0115-500-1
EN 50317:2012	–	DIN EN 50317 (VDE 0115-503):2012-05	VDE 0115-503
EN 50367:2012 + AC:2013 + A1:2016	–	DIN EN 50367 (VDE 0115-605):2017-01	VDE 0115-605

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 50119 (VDE 0115-601):2014-01, *Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb*; Deutsche Fassung EN 50119:2009 + A1:2013

DIN EN 50206-1 (VDE 0115-500-1):2011-02, *Bahnanwendungen – Schienenfahrzeuge – Merkmale und Prüfungen von Stromabnehmern – Teil 1: Stromabnehmer für Vollbahnfahrzeuge*; Deutsche Fassung EN 50206-1:2010

DIN EN 50317 (VDE 0115-503):2012-05, *Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Anforderungen und Validierung von Messungen des dynamischen Zusammenwirkens zwischen Stromabnehmer und Oberleitung*; Deutsche Fassung EN 50317:2012

DIN EN 50367 (VDE 0115-605):2017-01, *Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung für einen freien Zugang*; Deutsche Fassung EN 50367:2012 + AC:2013 + A1:2016

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen –
Stromabnahmesysteme –
Validierung von Simulationssystemen für das dynamische Zusammenwirken
zwischen Dachstromabnehmer und Oberleitung**

Railway applications –
Current collection systems –
Validation of simulation of the dynamic interaction
between pantograph and overhead contact line

Applications ferroviaires –
Systèmes de captage de courant –
Validation des simulations de l'interaction
dynamique entre le pantographe et la caténaire

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2018-06-07 angenommen. CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim CEN-CENELEC Management Centre oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem CEN-CENELEC Management Centre mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, der ehemaligen jugoslawischen Republik Mazedonien, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, Serbien, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.



Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

CEN-CENELEC Management Centre: Rue de la Science 23, B-1040 Brüssel

© 2018 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 50318:2018 D

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	7
3 Begriffe	7
4 Symbole und Abkürzungen	11
5 Allgemeines	12
5.1 Typische Anwendung	12
5.2 Überblick über den Validierungsprozess.....	12
6 Modellierung des Dachstromabnehmers.....	15
6.1 Allgemeine Anforderungen	15
6.2 Anforderungen an die Eingabedaten.....	15
6.3 Validierung von Dachstromabnehmermodellen	16
7 Modellierung der Oberleitung	18
7.1 Allgemeine Anforderungen	18
7.2 Anforderungen an die Daten	18
7.3 Statische Überprüfung des Oberleitungsmodells.....	18
8 Simulationsparameter.....	19
9 Ausgabedaten	20
9.1 Allgemeines	20
9.2 Kontaktkraft	20
9.3 Verschiebung des Fahrdrabtes	21
9.4 Verschiebung im Dachstromabnehmer	21
10 Validierung mit gemessenen Werten	21
10.1 Allgemeines	21
10.2 Vergleichswerte	21
10.3 Grenzen der Validierung.....	22
11 Referenzmodell	23
11.1 Ziel des Referenzmodells	23
11.2 Daten des Referenzmodells	23
11.3 Simulationsparameter.....	24
11.4 Ergebnisse der Referenzmodelle	24
Anhang A (normativ) Spezifizierung der Referenzmodelle.....	25
A.1 Allgemeines	25
A.2 Daten der Oberleitung	25
A.2.1 Allgemeine Daten	25
A.2.2 Spezifische Daten für das Oberleitungsreferenzmodell „Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“	27
A.2.3 Spezifische Daten für das Oberleitungsreferenzmodell „Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil“	28

A.2.4	Spezifische Daten für das Oberleitungsreferenzmodell „Gleichstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“	29
A.3	Daten des Dachstromabnehmers	30
A.4	Ergebnisse der Simulationen für Referenzmodelle.....	31
Anhang B (normativ)	Spezifizierung der Modelle und Messergebnisse für die Validierung	35
B.1	Messergebnisse für eine Hochgeschwindigkeits-Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil.....	35
B.1.1	Simulationsdaten für das Oberleitungsmodell	35
B.1.2	Dachstromabnehmermodell	44
B.1.3	Messdaten für die Validierung des dynamischen Zusammenwirkens	45
B.2	Messergebnisse für eine Hochgeschwindigkeits-Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil	46
B.2.1	Allgemeines.....	46
B.2.2	Simulationsdaten für das Oberleitungsmodell	46
B.2.3	Daten für den Dachstromabnehmer.....	62
B.2.4	Berechnete und gemessene Daten für die Ruheposition der OCL für Validierung	63
B.2.5	Messdaten für die Validierung des dynamischen Zusammenwirkens	64
B.3	Messergebnisse für eine Hochgeschwindigkeits-Gleichstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil	64
B.3.1	Allgemeines.....	64
B.3.2	Simulationsdaten für das Oberleitungsmodell	64
B.3.3	Daten für den Dachstromabnehmer.....	81
B.3.4	Messdaten für die Validierung des dynamischen Zusammenwirkens	82
Anhang C (informativ)	Bezug zum TSI-Beurteilungsprozess.....	84
Anhang ZZ (informativ)	Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden EU-Richtlinie 2008/57/EG	87
Literaturhinweise		89

Bilder

Bild 1 – Beurteilungsprozess	14
Bild A.1 – Oberleitungsmodell „Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“	27
Bild A.2 – Oberleitungsmodell „Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil“.....	28
Bild A.3 – Oberleitungsmodell „Gleichstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“	29
Bild A.4 – Dachstromabnehmermodell	31
Bild B.1 – In Tabelle B.2, B.42 und B.49 aufgeführte Elemente des Auslegermodells.....	36
Bild B.2 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST1	55
Bild B.3 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST2.....	55
Bild B.4 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST3.....	55
Bild B.5 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST4.....	56
Bild B.6 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST5.....	56
Bild B.7 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST6.....	56
Bild B.8 – Prinzipielle Anordnung der Hänger für Spannfeldtyp ST7	57
Bild B.9 – Prinzipielle Anordnung des Stützpunktes für Masttyp MT1 (Zugbelastung).....	61

Bild B.10 – Prinzipielle Anordnung des Stützpunktes für Masttyp MT2 (Druckbelastung).....	61
Bild B.11 – Prinzipielle Anordnung des Stützpunktes für Masttyp MT3 (Rohrseitenhalter)	62
Bild C.1 – Beurteilung einer OCL entsprechend ENE TSI	85
Bild C.2 – Beurteilung eines Dachstromabnehmers entsprechend LOC & PAS TSI	86

Tabellen

Tabelle 1 – Abweichung simulierter statischer Werte.....	19
Tabelle 2 – Abweichung der simulierten dynamischen Werte.....	22
Tabelle 3 – Kombinationen der OCL- und Dachstromabnehmer-Referenzmodelle.....	24
Tabelle A.1 – Daten für Referenzfahrleitungen	26
Tabelle A.2 – Oberleitungsmodell „Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“ – Geometrie und Elastizität der Hänger	28
Tabelle A.3 – Oberleitungsmodell „Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil“ – Geometrie und Elastizität der Hänger	29
Tabelle A.4 – Oberleitungsmodell „Gleichstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“ – Geometrie und Elastizität der Oberleitung	30
Tabelle A.5 – Parameter für das Dachstromabnehmermodell	31
Tabelle A.6 – Ergebnisbereiche aus dem Referenzmodell „Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“	32
Tabelle A.7 – Ergebnisbereiche aus dem Referenzmodell „Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil“	33
Tabelle A.8 – Ergebnisbereiche aus dem Referenzmodell „Gleichstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil“	34
Tabelle B.1 – Mechanische Werte der Drähte und Seile.....	35
Tabelle B.2 – Mechanische Werte der Klemmen und weiterer OCL-Komponenten	36
Tabelle B.3 – Angaben über Vordurchhang auf offener Strecke sowie Überlappung.....	36
Tabelle B.4 – Angaben über Ausleger auf offener Strecke sowie Überlappung: Geometrie der Seitenhalter	37
Tabelle B.5 – Definition der Spannfelder der Nachspannlänge 1	37
Tabelle B.6 – Definition der Spannfelder der Nachspannlänge 2	37
Tabelle B.7 – Definition der Spannfelder der Nachspannlänge 3	38
Tabelle B.8 – Definition der Stützpunkte der Nachspannlänge 1	38
Tabelle B.9 – Definition der Stützpunkte der Nachspannlänge 2	39
Tabelle B.10 – Definition der Stützpunkte der Nachspannlänge 3	39
Tabelle B.11 – Längsspannweite = 44,7 m	40
Tabelle B.12 – Längsspannweite: 45,3 m	40
Tabelle B.13 – Längsspannweite = 45,5 m	40
Tabelle B.14 – Längsspannweite = 45 m	40
Tabelle B.15 – Längsspannweite = 49,5 m	40
Tabelle B.16 – Längsspannweite = 50 m	41
Tabelle B.17 – Längsspannweite = 49,8 m	41
Tabelle B.18 – Längsspannweite = 49,2 m	41
Tabelle B.19 – Längsspannweite = 49,2 m	41

Tabelle B.20 – Längsspannweite = 49,8 m	41
Tabelle B.21 – Längsspannweite = 50 m	41
Tabelle B.22 – Längsspannweite = 48,5 m	42
Tabelle B.23 – Längsspannweite = 49,5 m	42
Tabelle B.24 – Längsspannweite = 54 m	42
Tabelle B.25 – Längsspannweite = 50 m	42
Tabelle B.26 – Längsspannweite = 49,8 m	42
Tabelle B.27 – Längsspannweite = 49,2 m	42
Tabelle B.28 – Längsspannweite = 49,2 m	43
Tabelle B.29 – Längsspannweite = 49,8 m	43
Tabelle B.30 – Längsspannweite = 41 m	43
Tabelle B.31 – Längsspannweite = 38 m	43
Tabelle B.32 – Längsspannweite = 45 m	43
Tabelle B.33 – Längsspannweite = 40 m	43
Tabelle B.34 – Längsspannweite = 47,5 m	44
Tabelle B.35 – Längsspannweite = 49,5 m	44
Tabelle B.36 – Längsspannweite = 54 m	44
Tabelle B.37 – Längsspannweite = 49,8 m	44
Tabelle B.38 – Längsspannweite = 49,2 m	44
Tabelle B.39 – Parameter für das Dachstromabnehmermodell	45
Tabelle B.40 – Messergebnisse aus der Streckenprüfung	45
Tabelle B.41 – Mechanische Werte der Drähte, Seile und Rohre	46
Tabelle B.42 – Mechanische Werte der Klemmen und weiterer OCL-Komponenten	47
Tabelle B.43 – Position der Hänger und CW-Höhe am Hänger	54
Tabelle B.44 – Daten für die Stützpunkte	57
Tabelle B.45 – Parameter für das Dachstromabnehmermodell	63
Tabelle B.46 – Hängerlänge und Elastizität des Systems	63
Tabelle B.47 – Messergebnisse der Streckenprüfung	64
Tabelle B.48 – Mechanische Werte der Drähte und Seile	65
Tabelle B.49 – Mechanische Werte der Klemmen und weiterer OCL-Komponenten	65
Tabelle B.50 – Position der Hänger und CW-Höhe am Hänger	66
Tabelle B.51 – Daten für die Stützpunkte	78
Tabelle B.52 – Parameter für das Dachstromabnehmermodell	82
Tabelle B.53 – Messergebnisse aus der Streckenprüfung	83
Tabelle ZZ.1 – Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI „Lokomotiven und Personenwagen“ (Verordnung (EU) Nr. 1302/2014 der Kommission vom 18. November 2014) und der Richtlinie 2008/57/EG [2008 ABI. L191]	87
Tabelle ZZ.2 – Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI „Energie“ (Verordnung (EU) Nr. 1301/2014 der Kommission vom 18. November 2014) und der Richtlinie 2008/57/EG [2008 ABI. L191]	88

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 50318:2018) wurde von CLC/SC 9XC „Elektrische Versorgungs- und Erdungssysteme für öffentliche Transporteinrichtungen und Hilfsausrüstungen (Ortsfeste Installation)“ im CLC/TC 9X „Elektrische und elektronische Anwendungen für Bahnen“ erarbeitet.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem dieses Dokument auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2019-12-07
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2021-12-07

Dieses Dokument wird **EN 50318:2002** ersetzen.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

EN 50318:2018 enthält die folgenden wesentlichen technischen Änderungen gegenüber **EN 50318:2002**:

- Aufnahme zusätzlicher Definitionen von neuen verwendeten Begriffen ([Abschnitt 3](#));
- Verbesserung des Validierungsprozesses ([Abschnitt 5](#));
- Aufnahme eines Validierungsprozesses für Dachstromabnehmermodelle ([Abschnitt 6](#));
- genauere Spezifizierung der Anforderungen an die Daten für Oberleitungsmodellierung ([7.2](#));
- Aufnahme von Anforderungen an die statische Überprüfung des Oberleitungsmodells ([7.3](#));
- Hinzufügung mathematischer Parameter zu den erforderlichen Ausgabedaten, um die Abweichung von der Gaußschen Verteilung zu beschreiben ([Abschnitt 9](#));
- Verbesserung der Validierung mit gemessenen Werten ([Abschnitt 10](#));
- Hinzufügung gemessener Daten aus Streckenprüfungen für drei Haupttypen von Oberleitungen in [Anhang B](#), die eine Validierung für Standardsysteme ohne weitere Messung erlauben;
- Erweiterung der Referenzmodelle auf verschiedene Arten von Oberleitungen ([Abschnitt 11](#) und [Anhang A](#)) für eine einfache Überprüfung von Simulationen vor der Validierung.

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erarbeitet, das die Europäische Kommission und die Europäische Freihandelszone CENELEC erteilt haben, und unterstützt grundlegende Anforderungen von EU-Richtlinien.

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinie 2008/57/EC, siehe informativen [Anhang ZZ](#), der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Anhänge, die als „normativ“ ausgewiesen sind, sind Bestandteil der Norm. In dieser Norm sind [Anhang A](#) und [Anhang B](#) normativ.

1 Anwendungsbereich

Simulationstechniken werden verwendet, um im Rahmen der Vorhersage hinsichtlich der Qualität der Stromabnahme das dynamische Zusammenwirken zwischen Oberleitungen und Dachstromabnehmern zu beurteilen. Dieses Dokument legt funktionale Anforderungen an die Validierung solcher Simulationsmethoden fest, um das Vertrauen in die Ergebnisse von Simulationen sowie eine gegenseitige Akzeptanz dieser Ergebnisse sicherzustellen.

Dieses Dokument umfasst:

- Eingabe- und Ausgabeparameter der Simulation;
- Vergleich mit Messungen bei Streckenprüfungen sowie Eigenschaften dieser Streckenprüfungen;
- Validierung von Dachstromabnehmermodellen;
- Vergleich zwischen verschiedenen Simulationsmethoden;
- Grenzen für die Anwendung validierter Methoden bei der Beurteilung von Dachstromabnehmern und Oberleitungen.

Dieses Dokument gilt für die Stromabnahme von Oberleitungen durch auf Eisenbahnfahrzeugen angeordnete Dachstromabnehmer. Sie gilt nicht für O-Bussysteme.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente werden im Text in solcher Weise in Bezug genommen, dass einige Teile davon oder ihr gesamter Inhalt Anforderungen des vorliegenden Dokuments darstellen. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

EN 50119:2009, *Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Oberleitungen für den elektrischen Zugbetrieb*

EN 50206-1:2010, *Bahnanwendungen – Schienenfahrzeuge – Merkmale und Prüfungen von Stromabnehmern – Teil 1: Stromabnehmer für Vollbahnfahrzeuge*

EN 50317:2012, *Bahnanwendungen – Stromabnahmesysteme – Anforderungen und Validierung von Messungen des dynamischen Zusammenwirkens zwischen Stromabnehmer und Oberleitung*

EN 50367:2012, *Bahnanwendungen – Zusammenwirken der Systeme – Technische Kriterien für das Zusammenwirken zwischen Stromabnehmer und Oberleitung für einen freien Zugang*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <http://www.electropedia.org/>
- ISO-Online-Browsing-Plattform: verfügbar unter <http://www.iso.org/obp>

ANMERKUNG Weitere Definitionen aus den normativen Referenzen können verwendet werden.

3.1

Kontaktpunkt

(en: contact point)

<für einen Dachstromabnehmer> Ort, an dem der mechanische Kontakt zwischen einer Schleifleiste eines Dachstromabnehmers und einem Fahrdrabt besteht

3.2

Kontaktkraft

(en: contact force)

<für einen Dachstromabnehmer> vertikale Kraft, die von einem Dachstromabnehmer auf den Fahrdrabt bzw. die Fahrdrähte aufgebracht wird.

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Kontaktkraft ist die Summe der Kräfte an allen Kontaktpunkten eines Dachstromabnehmers.

3.3

statische Kontaktkraft

(en: static contact force)

vertikale Kraft, die von der Stromabnehmerwippe nach oben auf die Oberleitung ausgeübt wird

[QUELLE: EN 50206-1:2010, 3.3.5]

3.4

aerodynamische Kraft

(en: aerodynamic force)

auf den Dachstromabnehmer wirkende vertikale Kraft als Resultat der Luftströmung um die Dachstromabnehmerkomponenten

3.5

Mittelwert der Kontaktkraft

(en: mean contact force)

statistischer Mittelwert der Kontaktkraft

[QUELLE: EN 50317:2012, 3.5]

3.6

Standardabweichung

(en: standard deviation)

Wurzel aus der Summe der quadratischen Abweichungen der Ausgabewerte geteilt durch die um 1 verringerte Anzahl der Ausgabewerte

3.7

Schiefe

(en: skewness)

Parameter, der die Symmetrie der Form einer Datenverteilung quantifiziert

$$sk = \frac{\sum \frac{(F - F_m)^3}{n}}{\left(\sum \frac{(F - F_m)^2}{n} \right)^{\frac{3}{2}}} \quad (1)$$

3.8

Exzess der Kurtosis

(en: excess of kurtosis)

Parameter, der quantifiziert, ob die Form der Datenverteilung mit der Gaußschen Verteilung übereinstimmt

$$ek = \frac{\sum \frac{(F - F_m)^4}{n}}{\left(\sum \frac{(F - F_m)^2}{n} \right)^2} - 3 \quad (2)$$

3.9

Minimum der Kontaktkraft

(en: minimum of contact force)

kleinster Wert der Kontaktkraft während des Durchgangs des Dachstromabnehmers über den Auswertabschnitt

3.10

Maximum der Kontaktkraft

(en: maximum of contact force)

Höchstwert der Kontaktkraft während des Durchgangs des Dachstromabnehmers über den Auswertabschnitt

3.11

Kontaktverlust

(en: loss of contact)

physikalische Trennung der Stromabnehmerwippe vom Fahrdrabt

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einer Simulation entsteht dieser Zustand, wenn die Kontaktkraft Null oder weniger beträgt.

3.12

Simulationsmethode

(en: simulation method)

numerische Methode, die zur Beschreibung eines Systems (z. B. eines Dachstromabnehmer-Oberleitungssystems) einen festgelegten Satz von Eingabeparametern verwendet, um einen Satz von Ausgabewerten zu berechnen, der für das dynamische Verhalten dieses Systems repräsentativ ist

3.13

Dachstromabnehmermodell

(en: pantograph model)

ein- oder mehrdimensionales mathematisches Modell, das das dynamische Verhalten des Dachstromabnehmers beschreibt

3.14

Modell mit konzentrierten Parametern

Lumped-Parameter“-Modell

(en: mass – spring – damper – model)

(en: lumped parameter model)

Methode, die ein dynamisches mechanisches System (z. B. einen Dachstromabnehmer) als eine Reihe diskreter, konzentrierter durch Feder- und Dämpfungselemente miteinander verbundener Massen darstellt

3.15

Übertragungsfunktion <eines Dachstromabnehmers>

(en: transfer function <of a pantograph>)

Verhältnis der Eingangsgröße zur Reaktion des Dachstromabnehmers in Abhängigkeit von der Frequenz

3.16

Scheinmasse <eines Dachstromabnehmers>

(en: transfer function <of a pantograph>)

Übertragungsfunktion, die das Verhältnis zwischen der einwirkenden Kraft und der sich ergebenden Beschleunigung an dem Kontaktpunkt für den interessierenden Frequenzbereich beschreibt

3.17

Hardware-in-the-Loop

(en: hardware in the loop)

hybrides Simulations-/Prüfstandsmessverfahren, bei dem ein realer Dachstromabnehmer auf das Zusammenwirken mit einem Simulationsmodell der Oberleitung reagiert

3.18

Mehrkörpermodell

(en: multi-body model)

Methode, die ein dynamisches mechanisches System (z. B. einen Dachstromabnehmer) darstellt, das auf mit einander verbundenen starren oder flexiblen Körpern basiert

3.19

Stromabnehmerwippe

(en: collector head)

Teil des Dachstromabnehmers, der von einem Gestell getragen wird und Schleifleisten sowie Auflauhörner einschließt und eine Federung enthalten kann

3.20

Oberleitungsmodell

(en: overhead contact line model)

zwei- oder dreidimensionales mathematisches Modell, das das Verhalten einer Oberleitung für das Zusammenwirken mit Dachstromabnehmern beschreibt

3.21

Wellenausbreitungsgeschwindigkeit des Fahrdrahtes

(en: wave propagation speed of the contact wire)

Geschwindigkeit, mit der sich eine transversale Welle längs des Fahrdrahtes ausbreitet

3.22

maximaler Anhub am Stützpunkt

(en: maximum uplift at the support)

Maximalwert des vertikalen Anhubes des Fahrdrahtes an einem Stützpunkt

3.23

Auswerteabschnitt

(en: analysis section)

Teilabschnitt der Gesamtlänge des Oberleitungsmodells, über den die Simulation ausgewertet wird

3.24

interessierender Frequenzbereich

(en: frequency range of interest)

Frequenzbereich, in dem das dynamische Verhalten des Dachstromabnehmer-Oberleitungssystems berücksichtigt wird

Anmerkung 1 zum Begriff: Bei einer Validierung mittels Messungen korreliert dieser Bereich mit dem in [EN 50317](#) definierten Frequenzbereich.

3.25

dynamisches Zusammenwirken

(en: dynamic interaction)

Verhalten des/der Dachstromabnehmer(s) beim Kontakt zur Oberleitung, das durch Kontaktkräfte und vertikale Verschiebungen des/der Kontaktpunkte(s) beschrieben wird

3.26

Frequenzbandanalyse

(en: frequency band analysis)

Analyse in einem interessierenden Frequenzbereich mittels Frequenz-Unterbereiche, um besondere Themen zu untersuchen

3.27

Elastizität der Oberleitung

(en: elasticity of overhead contact line)

Anhub geteilt durch die auf den Fahrdraht wirkende Kraft im statischen Zustand

3.28

Bereich der vertikalen Position des Kontaktpunktes

(en: range of vertical position of the point of contact)

Unterschied zwischen der höchsten und der niedrigsten dynamischen Höhe des Kontaktpunktes in Bezug auf das Gleis während des dynamischen Zusammenwirkens zwischen dem Dachstromabnehmer und dem Fahrdrabt

4 Symbole und Abkürzungen

Für die Anwendung dieses Dokumentes gelten die folgenden Symbole und Abkürzungen.

Abkürzungen:

AW	Hilfsseil
CT	Gleismittellinie
CW	Fahrdrabt
CWH	Fahrdrabthöhe
HIL	Hardware-in-the-Loop
MT	Art des Stützpunktes
MW	Längstragseil
Mxx	Nummer des Stützpunktes oder des Mastes
OCL	Oberleitung
SDx	Nummer des Hängers zum Y-Beiseil
STx	Nummer des Spannungsfeldtyps als Referenz zur Spannungsfeldnummer im Bild
SW	Y-Beiseil

Symbole:

$a_{cp, meas}$	gemessene vertikale Beschleunigung am Kontaktpunkt
$a_{cp, model}$	simulierte vertikale Beschleunigung am Kontaktpunkt
C_s	strukturelle Dämpfungsmatrix
c_n	Dämpfung des Elementes n
D_x	Hängernummer
E	Elastizitätsmodul
e	Elastizität der Oberleitung
ek	Exzess der Kurtosis der Kontaktkraft
F	Kontaktkraft
$F_{applied, meas}$	auf den Kontaktpunkt wirkende, gemessene vertikale Kraft
$F_{applied, model}$	auf den Kontaktpunkt wirkende, simulierte vertikale Kraft
f_i	tatsächliche Frequenz
F_m	Mittelwert der Kontaktkraft
f_n	Höchstfrequenz
F_{sa}	Querkraft am Seitenhalter
f_1	Mindestfrequenz
K	Steifigkeitsmatrix

k_n	Steifigkeit des Elementes n
L_{dr}	Hängerlänge
$L_{x_{dr}}$	Länge des Hängers (für CW Nr. x)
L_{sa}	Länge des Seitenhalters
L_{sa}	Länge des Seitenhalters
M	Massenmatrix
$m_{app, meas}$	gemessene Scheinmasse
$m_{app, model}$	Scheinmasse des Modells
m_n	Masse des Elementes n
Q	Genauigkeit des Dachstromabnehmer-Simulationsmodells
sk	Schiefe der Kontaktkraft
X	Abstand zwischen linkem Mast und Hänger Nr. x
α, β	proportionale Dämpfungsziffer
σ	Standardabweichung der Kontaktkraft

5 Allgemeines

5.1 Typische Anwendung

Eines der Ziele bei der Anwendung dieser Norm ist es, das Verfahren zur Beantragung einer Zulassung einer Bauart einer Oberleitung oder eines Dachstromabnehmers zu unterstützen. In [Anhang C](#) zeigt [Bild C.1](#) den Weg hin zu einer Beurteilung eines OCL-Systems entsprechend den ENE TSI [1] und [Bild C.2](#) die Beurteilung eines Dachstromabnehmers entsprechend der LOC & PAS TSI [2] hinsichtlich der Europäischen Interoperabilität.

ANMERKUNG Andere Anwendungen, die sich nicht auf TSI-Zulassungen beziehen (z. B. Forschung, technische Entwicklungen usw.), dürfen andere Prozesse erfordern.

5.2 Überblick über den Validierungsprozess

Die theoretische Studie des dynamischen Zusammenwirkens zwischen Dachstromabnehmer und Oberleitung durch Computersimulation ermöglicht es, eine Vielzahl von Informationen über das System zu erhalten und die Kosten von Streckenprüfungen zu minimieren.

Damit die Ergebnisse der Simulation sicher genutzt werden können, ist die Simulationsmethode zu validieren. Die Validierung einer Simulationsmethode ist wie im [Bild 1](#) beschriebenen Prozess durchzuführen.

Eine nach dieser Norm validierte Simulationsmethode muss für die Anwendung auf Oberleitungs-Dachstromabnehmer-Kombinationen und -Bedingungen nur innerhalb der in [10.3](#) festgelegten Grenzen der Validierung erlaubt werden.

Eine neue Validierung muss durchgeführt werden, wenn die Bedingungen für die Anwendung der Simulation außerhalb der in [10.3](#) beschriebenen Grenzen für vorhandene Validierungen liegen.

Die Validierung einer Simulationsmethode muss in den in [Bild 1](#) gezeigten Schritten durchgeführt werden. Es handelt sich um die folgenden Schritte:

- 1) Ein erster Validierungsschritt muss in der Form einer „Beurteilung am Schreibtisch“ nach [Abschnitt 11](#) durchgeführt werden. Die relevantesten Referenzmodelldaten sind aus den in [Anhang A](#) aufgeführten Referenzmodellen für die Bedingungen, für die eine Validierung gefordert wird, auszuwählen.

ANMERKUNG Diese „Beurteilung am Schreibtisch“ wird das Vertrauen in die Simulationsmethode erhöhen. Da [Anhang A](#) nicht alle möglichen Lösungen und Kombinationen aufzeigen kann, muss aus dieser Teilmenge eine Wahl vorgenommen werden.

Bei der Validierung von Simulationsmethoden, die für neue Technologien mittels Verfahren implementiert werden, die sich vom heutigen Stand der Technik völlig unterscheiden, und bei denen Modelle mit den in [Anhang A](#) aufgeführten Daten nicht verwendet werden können, darf die „Beurteilung am Schreibtisch“ entfallen.

- 2) Die abschließende Beurteilung muss in der Form einer „Validierung mit gemessenen Daten aus Streckenprüfungen“ durchgeführt werden, die auf den Prüfergebnissen nach [10.1](#) basiert, um die Genauigkeit der Simulation nach [10.2](#) nachzuweisen.

[Anhang B](#) stellt Datensätze aus Messungen bei Streckenprüfungen nach [EN 50317](#) bereit, um die Validierung eines bestimmten Modells innerhalb der in [10.3](#) aufgeführten Grenzen zu ermöglichen.

Wenn die Genauigkeit nach entweder [10.2](#) oder [11.4](#) nicht erreicht werden kann, muss die Simulationsmethode nach [6.3](#) für Anpassungen des Dachstromabnehmermodells und nach [7.3](#) für das Oberleitungsmodell vor der erneuten Validierung verbessert werden.

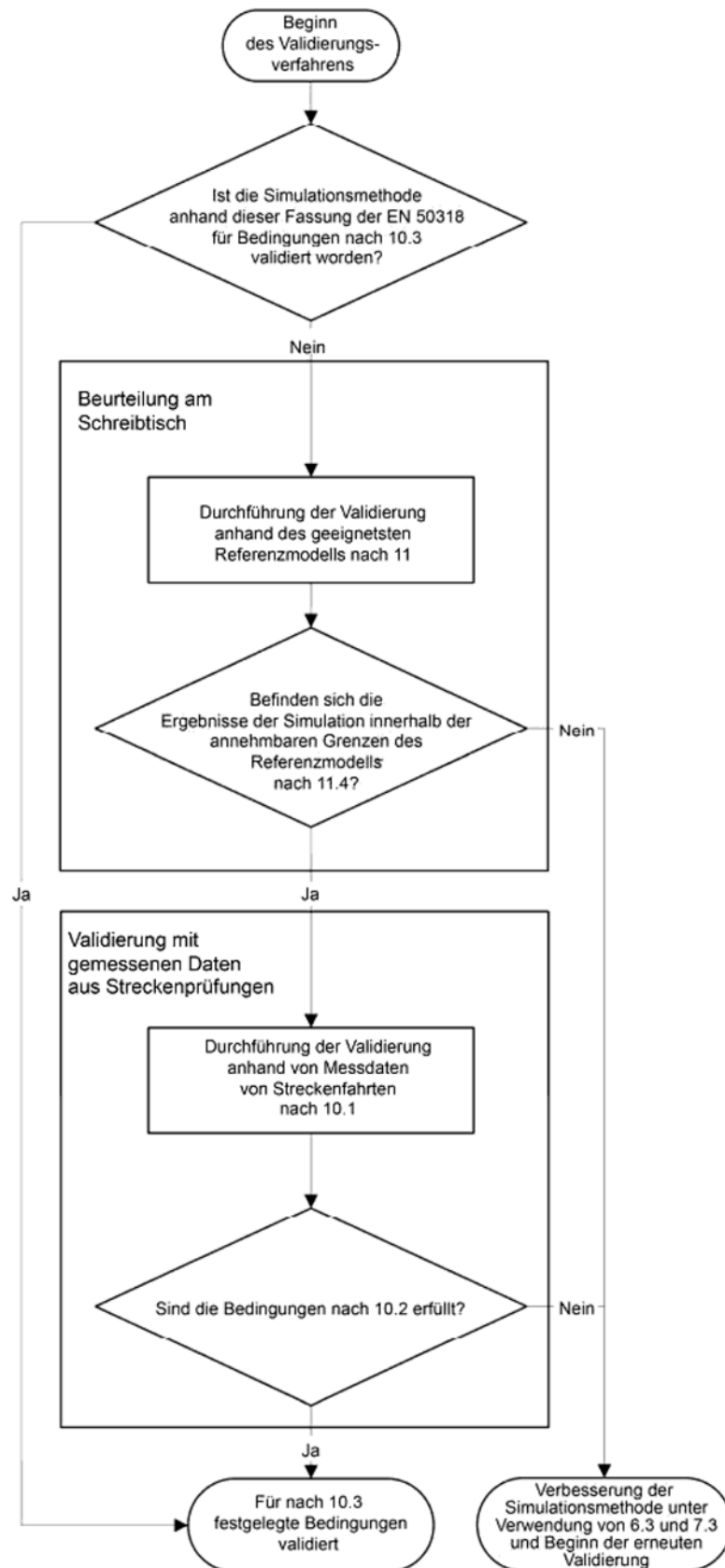


Bild 1 – Beurteilungsprozess

6 Modellierung des Dachstromabnehmers

6.1 Allgemeine Anforderungen

Ein Dachstromabnehmermodell muss hinsichtlich des Zusammenwirkens mit Oberleitungen die dynamischen Eigenschaften eines Dachstromabnehmers im interessierenden Frequenzbereich beschreiben.

Allgemein verwendete Dachstromabnehmermodelle sind:

- Modelle mit konzentrierten Parametern;
- Übertragungsfunktionsmodelle;
- Mehrkörpermodelle;
- physikalische Dachstromabnehmer unter Verwendung von Hardware-in-the-Loop (HIL).

Abhängig von den zu untersuchenden Phänomenen darf der Dachstromabnehmer in ein- oder mehrdimensionaler Geometrie modelliert werden.

Für die Modellierung aktiver Dachstromabnehmer müssen die Eigenschaften der Steuerung und die dynamischen Eigenschaften verfügbar sein.

Aerodynamische Auswirkungen auf den Dachstromabnehmer müssen mindestens durch die Erhöhung des Mittelwertes der Kontaktkraft als eine Funktion der Geschwindigkeit berücksichtigt werden.

6.2 Anforderungen an die Eingabedaten

6.2.1 Allgemeines

Je nach der Modellierungsmethode und den Eigenschaften des betreffenden Dachstromabnehmers müssen die für die ausführliche Beschreibung des Dachstromabnehmers geeigneten relevanten Parameter für die Simulation zur Verfügung stehen.

Wenn erforderlich, müssen für diese Parameter andere Abhängigkeiten (Arbeitsbereich, Zickzack, Nichtlinearitäten, Frequenz) berücksichtigt werden.

Allgemeine Parameter für Dachstromabnehmer sind:

- Kinematik;
- Übertragungsfunktion;
- Eigenfrequenzen;
- Massenverteilung;
- Freiheitsgrade in den Verbindungen;
- Dämpfungseigenschaften;
- Federeigenschaften;
- Reibungswerte;
- Steifigkeit;
- Anschlagbegrenzer;
- Einwirkungspunkte der statischen Kontaktkraft;
- Einwirkungspunkte der aerodynamischen Kräfte.

ANMERKUNG Die aerodynamischen Kräfte sind normalerweise von der Ausrichtung, der Arbeitshöhe und der Anordnung des Dachstromabnehmers sowie der Art des Zuges abhängig.

6.2.2 Modelle mit konzentrierten Parametern

Bei Modellen mit konzentrierten Parametern sind die folgenden Eingaben erforderlich:

- Massenwerte für mindestens zwei diskrete Massenelemente;
- Steifigkeitseigenschaften, die die diskreten Massen verbinden, einschließlich jeder Nichtlinearität (falls zutreffend);
- Dämpfungseigenschaften, die die diskreten Massen verbinden, einschließlich jeder Nichtlinearität (falls zutreffend);
- Reibungswerte (falls zutreffend);
- Anschlagbegrenzer (falls zutreffend);
- Einwirkpunkte der statischen und aerodynamischen Kräfte.

6.2.3 Mehrkörpermodelle

Bei Mehrkörpermodellen sind die folgenden zusätzlichen Eingaben erforderlich:

- Definition aller Teile des Modells einschließlich Massenverteilungen, Trägheitseigenschaften, Flexibilität (falls zutreffend);
- die Übertragung der Bewegungen beschreibende Kinematiken, Arten der Verbindungen sowie deren Anordnungen und Begrenzungen (falls zutreffend);
- auf das System ausgeübte innere Kräfte sowie deren Einwirkpunkte für Federn, Dämpfer und Reibungselemente;
- Einwirkpunkte der statischen und aerodynamischen Kräfte.

6.2.4 Übertragungsfunktionsmodelle

Bei Übertragungsfunktionsmodellen sind die folgenden Eingaben erforderlich:

- analytische Definition der Laplace-Transformationsfunktion, z. B. Nullstellen und Pole in dem interessierenden Frequenzbereich, zwischen der vertikalen Verschiebung des Kontaktpunktes und der Kontaktkraft.

6.2.5 Hardware-in-the-Loop

Bei Hardware-in-the-Loop wird der Dachstromabnehmer in seiner endgültigen Konfiguration am Prüfstand verwendet. Aerodynamische Auswirkungen müssen als eine angepasste statische Kontaktkraft implementiert werden.

6.3 Validierung von Dachstromabnehmermodellen

Die Validierung von Dachstromabnehmermodellen muss anhand eines Vergleichs der dynamischen Eigenschaften des Dachstromabnehmermodells mit denen des realen Dachstromabnehmers, wie sie an einem Dachstromabnehmer- Prüfstand gemessen wurden, erfolgen. Der Vergleich muss nach dem gleichen Prinzip wie das in **EN 50317:2012, 7.5**, definierte Verfahren „Kalibrierung des Messsystems“ durchgeführt werden.

Die Prüfung muss mit dem interessierenden Dachstromabnehmer durchgeführt werden, der auf eine typische Höhe innerhalb von 20 % bis 80 % des in **EN 50206-1** festgelegten Arbeitsbereiches ausgefahren ist. Die Kraft muss zentral auf die Stromabnehmerwippe angelegt sein.

Die Ergebnisse sind für 20 % bis 80 % des Arbeitsbereiches des Dachstromabnehmers verwendbar. Bei Werten außerhalb dieses Bereiches sind weitere Untersuchungen erforderlich.

Die Prüfung ist bei dem voraussichtlichen Mittelwert der Kontaktkraft durchzuführen, der für die höchste Auslegungsgeschwindigkeit des Dachstromabnehmers angemessen ist. Der Mittelwert der Kontaktkraft muss die in **EN 50367:2012, 7.3, Tabelle 6**, festgelegten Anforderungen für die festgelegte Geschwindigkeit erfüllen.

Messungen der wirkenden vertikalen Kraft (F_{applied}) und der sich ergebenden vertikalen Beschleunigung am Kontaktpunkt (a_{cp}) müssen unter Anwendung von sinusförmigen Anregungen für den interessierenden Frequenzbereich in angemessenen Schritten vorgenommen werden. Für Vergleichs- und Validierungszwecke muss die Anregung von 0,5 Hz bis 20 Hz in Schritten von 0,5 Hz erfolgen.

Die Intervalle dürfen bei Resonanzfrequenzen vermindert werden.

Die Anregungsamplitude muss so hoch sein, dass die statische Reibung in dem Dachstromabnehmer überwunden werden kann.

ANMERKUNG 1 Amplituden im Bereich entsprechend des größeren Wertes aus $\pm 15\%$ des Mittelwertes der Kontaktkraft und $\pm 20\text{ N}$ ergeben normalerweise repräsentative Werte.

Anhand der Messungen der wirkenden Kraft und der Beschleunigung am Kontaktpunkt muss die gemessene Scheinmasse ($m_{\text{app, meas}}$) in Kilogramm für den interessierenden Frequenzbereich ermittelt werden:

$$m_{\text{app, meas}} = \frac{F_{\text{applied, meas}}}{a_{\text{head, meas}}} \quad (3)$$

Die Scheinmasse des Simulationsmodells muss in derselben Weise wie für die Messung am Prüfstand anhand der in der Simulationsumgebung festgelegten Werte für die wirkende Kraft und die sich ergebende Beschleunigung am Kontaktpunkt ermittelt werden:

$$m_{\text{app, model}} = \frac{F_{\text{applied, model}}}{a_{\text{head, model}}} \quad (4)$$

Die Scheinmasse des Dachstromabnehmermodells ($m_{\text{app, model}}$) muss in Kilogramm berechnet werden; dabei müssen dieselben Frequenzen in demselben Frequenzbereich wie bei den Messungen verwendet werden.

Die Genauigkeit (Q) des Dachstromabnehmer-Simulationsmodells muss unter Verwendung der folgenden Gleichung berechnet werden, die auf Beträgen der Scheinmasse basiert:

$$Q = \left(1 - \frac{1}{(f_n - f_1)} \left(\sum_{i=1}^{n-1} (f_{i+1} - f_i) \left| 1 - \frac{\log |m_{\text{app, modell, i}}|}{\log |m_{\text{app, meas, i}}|} \right| \right) \right) 100\% \quad (5)$$

Frequenzen mit gemessenen Werten der Scheinmasse unter 2 kg müssen von der Berechnung von Q ausgeschlossen werden.

ANMERKUNG 2 Der Grenzwert von 2 kg wird festgelegt, um einen Nenner, der gegen Null geht, zu vermeiden.

Die Genauigkeit Q des Dachstromabnehmer-Simulationsmodells muss größer als 90 % sein für den gesamten Frequenzbereich von 0,5 Hz bis 20 Hz sowie für das Frequenzband 0,5 Hz bis 5 Hz.

ANMERKUNG 3 Der Genauigkeitswert Q quantifiziert die Unterschiede zwischen den Messungen am Prüfstand und dem Dachstromabnehmermodell in der Form von logarithmischen Kurven, die zur Darstellung der Scheinmasse verwendet werden. Dieser Wert beschreibt nicht eine absolute Genauigkeit.

Jede Veränderung an einer direkt mit einem Modellparameter verbundenen Dachstromabnehmer-Komponente muss akzeptiert werden, ohne dass eine erneute Validierung des Dachstromabnehmermodells gefordert wird. Eine erneute Validierung des Dachstromabnehmermodells ist bei allen anderen Änderungen erforderlich.

ANMERKUNG 4 Beispielsweise für Modelle mit konzentrierten Parametern sind die Masse und der Federkoeffizient an der Stromabnehmerwippe, m_3 bzw. k_3 nach Bild A.4, direkt mit den Modellparametern verbundene Komponenten.

Es darf ein Vergleich zwischen verschiedenen Dachstromabnehmermodellen für denselben Dachstromabnehmer durchgeführt werden, indem die aus den verschiedenen Modellen berechnete Übertragungsfunktion verglichen wird.

7 Modellierung der Oberleitung

7.1 Allgemeine Anforderungen

Hinsichtlich des Zusammenwirkens mit Dachstromabnehmern muss das Oberleitungsmodell die dynamischen Eigenschaften im interessierenden Frequenzbereich beschreiben.

Abhängig von den zu untersuchenden Phänomenen darf die Oberleitung in zwei- oder dreidimensionaler Geometrie modelliert werden.

Starre Oberleitungen (ROCL) haben sehr geringe vertikale Verschiebungen während des Betriebs. Die Validierung dieser Modelle sowie der Simulationen des Zusammenwirkens ist nur möglich für die Kontaktkraft in direktem Vergleich mit den gemessenen Ergebnissen.

ANMERKUNG Die Verschiebung einer starren Oberleitung während des Betriebs wird derzeit nicht hinreichend genau gemessen.

7.2 Anforderungen an die Daten

Das Oberleitungsmodell muss länger sein als der Auswerteabschnitt, so dass der Durchgang der Dachstromabnehmer nicht von den Einschwingvorgängen und Randeffekten des Modells beeinflusst wird. Für die Untersuchung besonderer Abschnitte der Oberleitung (z. B. Oberleitungen über Weichen usw.) darf die Länge des Auswerteabschnittes gekürzt werden. Je nach der Modellierungsmethode und den individuellen Oberleitungseigenschaften müssen die relevanten geometrischen und mechanischen Parameter der Oberleitung für die Simulation zur Verfügung stehen:

- Länge jedes Spannfelds, Abstand zwischen Stützpunkten;
- Position der Hänger;
- Fahrdrahthöhe (Durchhang, Hängertlänge, Fahrdrahtneigung);
- Systemhöhe an den Stützpunkten;
- Geometrie und Massenverteilung der Seitenhalter;
- Zickzack und Versatz aller Drähte;
- Anzahl und Arten der Drähte und Seile (Fahrdraht, Längstragseil, Hilfsseil, Y-Beiseil, Hänger usw.);
- Masse je Längeneinheit eines jeden Drahtes und Seils oder Dichte und Querschnitt;
- mechanische Spannung der Drähte und Seile. Wenn diese Spannung temperaturabhängig ist, muss diese Abhängigkeit angegeben werden;
- Eigenschaften und Steifigkeit des Abschnittes für die Längsträger in starren Oberleitungen;
- Masse der Verbindungen zwischen Drähten/Seilen und Hängern (Klemmen);
- mechanische Eigenschaften der Stützpunkte und Tragwerke;
- Kennlinie der Hängersteifigkeit;
- Dämpfung aller Komponenten der Oberleitung oder Wert für die Dämpfung des Systems, falls verfügbar.

ANMERKUNG Typische Werte für die Dämpfung (Dämpfungsgrad gegen kritische Dämpfung) der Oberleitung liegen zwischen 0,05 % und 0,2 %.

7.3 Statische Überprüfung des Oberleitungsmodells

Die Verwendbarkeit des Oberleitungsmodells muss durch einen Vergleich der Ergebnisse des im Modell berechneten statischen Verhaltens mit Messungen oder Auslegungsberechnungen überprüft werden.

Das Ergebnis der Berechnung aufgrund des Oberleitungsmodells im statischen Zustand muss beurteilt werden, um die bei der verwendeten Simulationsmethode implementierten numerischen Berechnungen zu validieren. Die folgenden Ergebnisse müssen extrahiert werden, um die Methode zu beurteilen:

- statische Position des Fahrdrahtes an jedem Hänger sowie am Seitenhalter;
- Elastizität der Oberleitung an denselben Punkten;
- Hängertlänge.

Die numerischen Ergebnisse müssen mit den Referenzergebnissen des [Anhangs A](#), des [Anhangs B](#), der Messungen oder der Berechnungen der Auslegung verglichen werden.

Diese Ergebnisse müssen mit dem numerischen Modell für ein Spannungsfeld verglichen werden und müssen sich dafür innerhalb der folgenden Bereiche befinden.

Tabelle 1 – Abweichung simulierter statischer Werte

Parameter	Erforderliche Genauigkeit
Position des Fahrdrahtes	$\pm 5 \text{ mm}$
Elastizität	$\pm 0,1 \text{ mm/N}$ oder $\pm 10 \%$ je nachdem, was höher ist
Hängertlänge	$\pm 10 \text{ mm}$

ANMERKUNG 1 Die Werte in Tabelle 1 gelten nicht für starre Oberleitungen.

ANMERKUNG 2 Die Bereiche für die Abweichung der Elastizität umfassen Fahrleitungen mit hohen und niedrigen Nachspannkräften.

Diese Validierung muss erneut durchgeführt werden, falls die Parameter der Oberleitung sich um mehr als die in [10.3.3](#) angegebenen Grenzwerte unterscheiden.

8 Simulationsparameter

Die Parameter des Dachstromabnehmers und der Oberleitung müssen entsprechend [Abschnitt 6](#) und [Abschnitt 7](#) vorgegeben werden.

Je nach der Modellierungsmethode und dem bei der Simulation zu untersuchenden Problem müssen die für die vollständige Beschreibung der Simulation geeigneten relevanten Parameter zur Verfügung stehen.

Allgemeine Parameter für Simulationen sind:

- Zuggeschwindigkeit;
- Auswerteabschnitt;

Der Auswerteabschnitt muss aus den Teilen des Oberleitungsmodells bestehen, bei denen der Durchgang von Dachstromabnehmern nicht von den Einschwingvorgängen und Randeffekten des Modells beeinflusst wird.

Der Auswerteabschnitt sollte in Abhängigkeit von den zu untersuchenden Phänomenen festgelegt werden. Siehe [Abschnitt 10](#) für Validierungszwecke und [Abschnitt 11](#) für die Referenzmodelle.

- Anzahl der Dachstromabnehmer und Abstand zwischen ihnen;
- statische Kontaktkraft jedes Dachstromabnehmers;
- aerodynamische Einflüsse auf jeden Dachstromabnehmer unter Berücksichtigung der Ausrichtung des Dachstromabnehmers;

ANMERKUNG Aerodynamische Einflüsse können durch die Spezifizierung des wirkenden Mittelwertes der Kontaktkraft in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit umfasst werden.

- Arbeitshöhe des Dachstromabnehmers, falls dieser von dem Dachstromabnehmermodell benötigt wird;
- Temperaturen der Seile und Drähte, falls diese für das Oberleitungsmodell relevant sind;
- Dämpfung der Oberleitung (wenn diese nicht nach 7.2 zur Verfügung gestellt wird);
- interessierender Frequenzbereich.

Abhängig von den zu untersuchenden Phänomenen muss der interessierende Frequenzbereich vorab festgelegt werden und sowohl mit dem Dachstromabnehmermodell, dem Oberleitungsmodell und der Simulationsmethode als auch mit dem Messsystem konsistent sein.

9 Ausgabedaten

9.1 Allgemeines

Die Simulation muss die Änderung der Kontaktkräfte sowie die Verschiebungen des Fahrdrabtes und des Dachstromabnehmers bei Stromabnehmerdurchgang längs des Oberleitungsmodells berechnen.

Die Ausgangsparameter müssen gefiltert werden, um Frequenzen außerhalb des interessierenden Frequenzbereiches auszuschließen.

Die Eigenschaften und die Art des Filters hängen von dem zu untersuchenden Problem ab. Siehe [Abschnitt 10](#) für Validierungszwecke und [Abschnitt 11](#) für einen Vergleich mit dem Benchmark.

Informationen über die verwendeten Filter sind zusammen mit den Ergebnissen als Ausgabedaten anzugeben.

Die Ausgabedaten der Simulation müssen für den Auswerteabschnitt untersucht werden.

Die nachfolgenden Abschnitte legen die Ausgabedaten für einen einzelnen Dachstromabnehmer fest. Wenn der Zug mehr als einen Dachstromabnehmer hat, müssen diese Ausgabedaten für jeden Dachstromabnehmer zur Verfügung stehen.

9.2 Kontaktkraft

Innerhalb des interessierenden Frequenzbereichs sollten die Ausgabedaten innerhalb zweier zusätzlicher Frequenzbänder untersucht werden, die sich auf Frequenzen beziehen, die sich bei Durchfahrt aus den Abständen der Hänger oder aus den Längen der Spanndfelder ergeben.

Für Validierungs- und Vergleichszwecke muss der interessierende Frequenzbereich von 0 Hz bis 20 Hz sein und die Frequenzbänder müssen von 0 Hz bis 5 Hz sowie von 5 Hz bis 20 Hz sein.

Wenn die Standardabweichung der Kontaktkraft in mehreren Bändern berechnet werden muss, kann die Berechnung im Zeitbereich mittels angemessener Bandpassfilter oder im Frequenzbereich durchgeführt werden. Beim Vergleich verschiedener Werte, z. B. numerischer und gemessener Werte, muss dieselbe Berechnungsmethode angewandt werden.

Erforderliche Ausgabedaten:

- zeitlicher Verlauf der Kontaktkraft;
- Mittelwert der Kontaktkraft F_m ;
- Standardabweichung der Kontaktkraft σ ;
- tatsächliches Maximum und tatsächliches Minimum der Kontaktkraft, $F_{\min}$ und $F_{\max}$;

- statistische Verteilung (Histogramm) der Kontaktkraft einschließlich Angaben über deren Schiefe und Exzess der Kurtosis .

ANMERKUNG Die statistische Verteilung mit Angaben über die Schiefe und die Kurtosis liefert Informationen über die Abweichung von der Gaußschen Verteilung.

9.3 Verschiebung des Fahrdrahtes

Erforderliche Ausgabedaten:

- maximaler Anhub des Fahrdrahtes an allen Stützpunkten des Auswerteabschnittes für jeden Dachstromabnehmer gesondert.

Der zeitliche Verlauf der vertikalen Position des Fahrdrahtes an jedem vorgegebenen Punkt muss für die Ausgabedaten verfügbar sein.

Wenn an besonderen Orten die kleinste Fahrdrathöhe nach [EN 50119:2009, 5.10.4](#), überprüft werden muss, müssen die größte nach unten gerichtete Bewegung des Fahrdrahtes sowie der Ort, an dem dies in diesen besonderen Abschnitten geschieht, während der Simulation berechnet werden.

9.4 Verschiebung im Dachstromabnehmer

Der zeitliche Verlauf der vertikalen Verschiebung an jedem vorgegebenen Punkt des Dachstromabnehmermodells muss für die Ausgabedaten verfügbar sein.

Wenn an besonderen Orten die größte Fahrdrathöhe nach [EN 50119:2009, 5.10.7](#), überprüft werden muss, müssen die größte nach oben gerichtete Bewegung des Fahrdrahtes sowie der Ort, an dem dies in diesen besonderen Abschnitten geschieht, während der Simulation berechnet werden.

10 Validierung mit gemessenen Werten

10.1 Allgemeines

Die Validierung einer Simulationsmethode muss durch einen Vergleich simulierter Ergebnisse mit gleichwertigen gemessenen Werten aus einer Streckenprüfung durchgeführt werden. Die Streckenprüfung muss mit einer Messeinrichtung nach [EN 50317](#) erfolgen. Die Bedingungen für die Validierung sind in 10.2 angegeben.

Nach [EN 50317:2012, 7.6](#), müssen die simulierten Ergebnisse für denselben Frequenzbereich wie die gemessenen Werte gefiltert werden und dieselbe Art von Filter muss verwendet werden.

Die gemessenen Werte werden als zeitliche Verläufe benötigt, wenn die für die Validierung erforderlichen statistischen Werte während der Messphase nicht vollständig ermittelt werden.

[Anhang B](#) stellt Datensätze aus Messungen bei Streckenprüfungen nach [EN 50317](#) bereit, um die Validierung eines bestimmten Modells innerhalb der in [10.3](#) aufgeführten Grenzen zu ermöglichen. Andere Messdaten, die die Anforderungen erfüllen, können auch für die Validierung verwendet werden.

ANMERKUNG Die in [Anhang B](#) aufgeführten Ergebnisse werden auf einer korrekten statistischen Basis ausgewertet. Für diese Ergebnisse ist ein zeitlicher Verlauf nicht erforderlich.

10.2 Vergleichswerte

Die Validierung muss durch einen Vergleich der simulierten und der gemessenen Werte der Kontaktkräfte und der Verschiebungen in der Oberleitung erfolgen.

Der Vergleich muss erfolgen für:

- die Standardabweichung der Kontaktkraft σ ;

- den maximalen Anhub am Stützpunkt für alle gemessenen Stützpunkte;
- den Bereich der Vertikalposition des Kontaktpunktes für das Spannungsfeld mit der maximalen Länge (ohne Überlappungen), falls gemessene Werte zur Verfügung stehen.

Der Vergleich für die Standardabweichung der Kontaktkraft muss auch unter Berücksichtigung einer Frequenzbandanalyse in den Frequenzbereichen 0 Hz bis 5 Hz sowie 5 Hz bis 20 Hz erfolgen, um ein erhöhtes Vertrauen in das Simulationsmodell zu erzielen.

Der zeitliche Verlauf der gemessenen Kontaktkraft wird für die Durchführung der Frequenzbandanalyse benötigt.

Die Abweichung der simulierten Werte von den gemessenen Werten muss innerhalb der Toleranzen nach Tabelle 2 liegen.

Tabelle 2 – Abweichung der simulierten dynamischen Werte

Parameter	Erforderliche Genauigkeit
Standardabweichung der Kontaktkraft σ	$\pm 20 \%$
Maximaler Anhub am Stützpunkt	-10 mm; +20 mm
Bereich der vertikalen Position des Kontaktpunktes	± 20 mm
Mittelwert der Kontaktkraft F_m	$\pm 2,5$ N
ANMERKUNG 1 Die Genauigkeit der Standardabweichung gilt für alle drei Frequenzbänder.	
ANMERKUNG 2 Bei Simulationen von Systemen mit starren Oberleitungen gelten nur die Grenzwerte für die Standardabweichung der Kontaktkraft.	

ANMERKUNG Die obigen Genauigkeiten berücksichtigen die Genauigkeit des Messsystems, die Reproduzierbarkeit der Messwerte und tatsächliche Bedingungen während der Streckenprüfung, die nicht in das Modell integriert worden sind, z. B.:

- Schwankungen bei der Zugspannung der Leiter zwischen den einzelnen Spannungsfelder;
- zufällige Schwankungen bei der Hängelänge;
- Wind quer zum Gleis, der die Aerodynamik des Dachstromabnehmers beeinflusst;
- Gleisunregelmäßigkeiten und Fahrzeugdynamik;
- lokale Ungenauigkeit des Abstands zwischen den Hängern oder lokale Ungenauigkeit der Längsspannweite;
- tatsächlicher Zustand des Fahrdrahtverschleißes, der die Fahrdrahtmasse beeinflusst.

Für die Validierung mit Messungen muss der Auswerteabschnitt mindestens zwei halbe Nachspannlängen und eine Überlappung umfassen.

10.3 Grenzen der Validierung

10.3.1 Anwendung der Simulationsmethode unter anderen Bedingungen

Um eine Simulationsmethode unter Bedingungen, die von denen der Validierung abweichen, zu nutzen sind Grenzen der Abweichungen notwendig.

Eine Validierung, die nach 10.2 erfolgt ist, darf für andere Dachstromabnehmer nach 10.3.2, für andere Oberleitungen nach 10.3.3 und für andere Simulationsparameter nach 10.3.4 genutzt werden.

10.3.2 Abweichungen der Dachstromabnehmer-Eigenschaften

Die Verwendbarkeit eines anderen Dachstromabnehmers darf durch Beurteilung des Dachstromabnehmermodells nach 6.3 nachgewiesen werden.

Änderungen in der Konfiguration des Dachstromabnehmers wie die Anzahl der voneinander unabhängigen Schleifleisten oder Dachstromabnehmer mit und ohne aktive Komponenten dürfen nicht akzeptiert werden.

10.3.3 Abweichungen der Oberleitungsparameter

Änderungen der Werte der Oberleitungsparameter (z. B. Zugkräfte, Material, Hängertypen, Querschnitte, mechanische Eigenschaften der Stützpunkte und Tragwerke, ...) müssen akzeptiert werden.

Änderungen der Anzahl der Fahrdrähte, Längstragseile, Hilfsseile und Y-Beiseile dürfen nicht akzeptiert werden.

10.3.4 Änderungen der Simulationsparameter

Änderungen der Simulationsgeschwindigkeit müssen bis zur Validierungsgeschwindigkeit plus 5 % der in EN 50119:2009, 5.2.4, beschriebenen Wellenausbreitungsgeschwindigkeit des Fahrdrahtes des validierten Modells akzeptiert werden.

Änderungen des Abstands zwischen den Dachstromabnehmern je Zug müssen akzeptiert werden.

Änderungen der statischen und aerodynamischen Kräfte der Dachstromabnehmer müssen akzeptiert werden.

Änderungen der Draht- bzw. Seiltemperaturen müssen akzeptiert werden.

Änderungen der Fahrdrahthöhe müssen akzeptiert werden.

Änderungen des interessierenden Frequenzbereiches dürfen nicht akzeptiert werden.

Änderungen zwischen einem oder mehr als einem Dachstromabnehmer je Zug dürfen nicht akzeptiert werden.

11 Referenzmodell

11.1 Ziel des Referenzmodells

Bevor eine Simulationsmethode genutzt wird, ist es wichtig, das erforderliche Vertrauen in deren Genauigkeit zu bekommen.

Für eine Simulationsmethode ist es zuallererst notwendig, diese unter Verwendung eines geeigneten Referenzmodells zu überprüfen.

11.2 Daten des Referenzmodells

Die Daten für die Oberleitungs-Referenzmodelle sind entsprechend Abschnitt 7 in Anhang A dargestellt. Die Daten für die Dachstromabnehmer-Referenzmodelle sind entsprechend Abschnitt 6 in Anhang A dargestellt.

Unterschiedliche Modelle werden für die unterschiedlichen Arten allgemein verwendeter Oberleitungen und Dachstromabnehmer zur Verfügung gestellt. Da das Benchmarking gegen ein Referenzmodell der erste Schritt vor dem Vergleich mit Streckenprüfungen ist, muss das Benchmarking unter Verwendung eines Referenzmodells durchgeführt werden, das für die tatsächliche Oberleitung und den bei den Streckenprüfungen verwendeten Dachstromabnehmer repräsentativ ist.

Die OCL- und Dachstromabnehmermodelle müssen aus den in Tabelle 3 festgelegten Kombinationen ausgewählt werden.

11.3 Simulationsparameter

Die Berechnungen müssen erfolgen für:

- die in Tabelle 3 angegebenen Geschwindigkeiten;
- zwei Dachstromabnehmer mit dem in Tabelle 3 aufgeführten Abstand;
- einen interessierenden Frequenzbereich von 0 Hz bis 20 Hz.

Die Dämpfung der Oberleitung muss berücksichtigt werden.

Für den Vergleich mit den Referenzmodellen wird der Auswerteabschnitt als eine Länge von 10 Spannfeldern, einschließlich der Randstützpunkte, in der Mitte des Oberleitungsmodells definiert.

Tabelle 3 – Kombinationen der OCL- und Dachstromabnehmer-Referenzmodelle

Referenzmodell-Kombinations-ID	OCL-Typ siehe A.2	Dachstromabnehmer siehe A.3	Geschwindigkeit [km/h]	Mittelwert der Kontaktkraft [N]	Anzahl Dachstromabnehmer	Abstand zwischen Dachstromabnehmern [m]	Annehmbarer Ergebnisbereich
1	Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil	AC	275	143	2	200	Tabelle A.6
2	Wechselstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil	AC	320	169	2	200	Tabelle A.6
3	Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil	AC	275	143	2	200	Tabelle A.7
4	Wechselstrom-Oberleitung mit Y-Beiseil	AC	320	169	2	200	Tabelle A.7
5	Gleichstrom-Oberleitung ohne Y-Beiseil	DC	200	149	2	200	Tabelle A.8

11.4 Ergebnisse der Referenzmodelle

Die Berechnungen nach der Simulationsmethode mittels der Daten der Referenzmodelle müssen Ausgabeergebnisse entsprechend [Abschnitt 9](#) erzeugen.

Die Ergebnisse müssen ferner unter Anwendung einer Frequenzbandanalyse für 0 Hz bis 5 Hz sowie für 5 Hz bis 20 Hz verglichen werden.

Die Simulationsergebnisse müssen in dem Frequenzbereich mit den festgelegten Grenzfrequenzen gefiltert werden.

Die Ergebnisse müssen sich innerhalb der in den Tabellen in [A.4](#) angegebenen Bereiche befinden.

Anhang A (normativ)

Spezifizierung der Referenzmodelle

A.1 Allgemeines

Die Daten für die Referenzmodelle ermöglichen für typische Modelle verschiedener Grundbauarten von Oberleitungen und Dachstromabnehmern die Überprüfung einer Simulationsmethode im Vergleich zu anderen.

A.2 Daten der Oberleitung

A.2.1 Allgemeine Daten

Dieser Anhang umfasst die Modelldaten für theoretische Oberleitungsmodelle, die auf üblichen vorhandenen Systemen basieren, die tatsächlich auf neuen Strecken verwendet werden.

Diese Daten können verwendet werden, um eine erste Überprüfung hinsichtlich der Verwendbarkeit einer Simulationssoftware vorzunehmen.

Die Grunddaten für die Oberleitungsarten sind in [Tabelle A.1](#) aufgeführt.

Wenn für ein Oberleitungsmodell weitere Parameter benötigt werden, müssen die für das mathematische Modell abgeleiteten Werte mit den Tabellendaten konsistent sein.

Das Modell besteht aus mehr als zehn identischen Spannfeldern.

Um für die Referenzmodell-Berechnungen einen Vergleich mit den in [A.4](#) angegebenen Ergebnisbereichen durchführen zu können, besteht der Auswerteabschnitt aus zehn einheitlichen Spannfeldern.

Der Stützpunkt des Längstragseils wird über ein Feder-Dämpfer Element mit den in [Tabelle A.1](#) aufgeführten Parametern mit einem Festpunkt verbunden. Der Fahrdraht wird über einen Seitenhalter mit den in [Tabelle A.1](#) aufgeführten Parametern mit einem Festpunkt verbunden.

Die Nachspannkräfte für den Fahrdraht und das Längstragseil sind konstant.

Die Höhen beziehen sich auf die Nennhöhe des Fahrdrahtes. Der Fahrdraht am Stützpunkt ist für die Nennhöhe des Fahrdrahtes bestimmend.

Die Dämpfung der Oberleitung muss auf einen dimensionslosen Dämpfungsgrad (Dämpfungsgrad gegen kritische Dämpfung) von 0,1 bis 0,15 % für die Oberleitung eingestellt werden.

Dieser Dämpfungsgrad kann durch die Verwendung einer strukturellen Dämpfungsmatrix C_s erreicht werden, die wie folgt definiert ist:

$$C_s = \alpha M + \beta K \quad (\text{A.1})$$

Dabei sind

M und K die Massen- bzw. Steifigkeitsmatrix der Oberleitung (Terme für Fahrdraht und Längstragseil) und

α $= 1,25 \times 10^{-2} \text{ s}^{-1}$

β $= 1,0 \times 10^{-4} \text{ s}$