

	DIN EN 50641 (VDE 0115-641)	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, 35.240.60 Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Anforderungen an die Validierung von Simulationsprogrammen für die Auslegung von Bahnenergieversorgungssystemen; Deutsche Fassung EN 50641:2020 Railway applications – Fixed installations – Requirements for the validation of simulation tools used for the design of electric traction power supply systems; German version EN 50641:2020 Applications ferroviaires – Installations fixes – Exigences relatives à la validation des outils de simulation utilisés pour la conception des réseaux d'alimentation de traction; Version allemande EN 50641:2020 Gesamtumfang 75 Seiten DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE		

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2019-11-04 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2020-10-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN EN 50641 (VDE 0115-641):2017-12.

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.

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.

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.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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 50163:2004 ersetzt durch: EN 50163:2004/A2:2020	–	DIN EN 50163 (VDE 0115-102):2005-07 ersetzt durch: DIN EN 50163/A2 (VDE 0115-102/A2)	VDE 0115-102 ersetzt durch: (VDE 0115-102/A2)
EN 50388:2012 + AC:2012	–	DIN EN 50388 (VDE 0115-606):2012-12	VDE 0115-606
EN 50388-1	–	DIN EN 50388-1 (VDE 0115-606-1) ^a	VDE 0115-606-1
–	IEC 60050 (alle Teile)	b	–
–	IEC 60050-192:2015	b	–
–	IEC 60050-811:2017	b	–
–	IEC 60050-821:2017	b	–
^a In Vorbereitung.			
^b „Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe“, Online-Zugang: http://www.dke.de/dke-iev .			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 50163/A2 (VDE 0115-102/A2), *Bahnanwendungen – Speisespannungen von Bahnnetzen*; Deutsche Fassung EN 50163:2004/A2:2020

DIN EN 50388 (VDE 0115-606):2012-12, *Bahnanwendungen – Bahnenergieversorgung und Fahrzeuge – Technische Kriterien für die Koordination zwischen Anlagen der Bahnenergieversorgung und Fahrzeugen zum Erreichen der Interoperabilität*; Deutsche Fassung EN 50388:2012 + AC:2012

DIN EN 50388-1 (VDE 0115-606-1) (in Vorbereitung), *Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen und Bahnfahrzeuge – Technische Kriterien für die Koordination zwischen Anlagen der Bahnenergieversorgung und Fahrzeugen zum Erreichen der Interoperabilität – Teil 1: Allgemeines*

Bahnanwendungen –
Ortsfeste Anlagen –
Anforderungen an die Validierung von Simulationsprogrammen für die
Auslegung von Bahnenergieversorgungssystemen

Railway applications –
Fixed installations –
Requirements for the validation of simulation tools
used for the design of electric traction power
supply systems

Applications ferroviaires –
Installations fixes –
Exigences relatives à la validation des outils de
simulation utilisés pour la conception des
réseaux d'alimentation de traction

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2019-11-04 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, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, der Republik Nordmazedonien, 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

© 2020 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 50641:2020 D

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	6
1 Anwendungsbereich	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Symbole und Abkürzungen	10
5 Allgemeines	11
6 Beschreibung der Prüfung und der Modelle.....	14
6.1 Allgemeines	14
6.2 Gemeinsame Parameter	14
6.3 Beschreibung der Zugverbände	15
6.3.1 Art des Zugverbandes und mechanische Eigenschaften.....	15
6.3.2 Zug- und Bremskrafteigenschaften	16
6.3.3 Strombegrenzung während des Fahrens.....	17
6.3.4 Strombegrenzung während der regenerativen Bremsung	17
6.3.5 Zusätzliche Informationen über die Modelle der Zugverbände.....	18
6.4 Parameter für Gleichstrommodelle.....	19
6.4.1 Streckentrassierungsmodell	19
6.4.2 Zugverkehrsmodell	19
6.4.3 Modell der elektrischen Infrastruktur	20
6.5 Parameter für Wechselstrommodelle	22
6.5.1 Streckentrassierungsmodell	22
6.5.2 Zugverkehrsmodell	23
6.5.3 Modell der elektrischen Infrastruktur	24
6.5.4 Transformatormodell	25
6.5.5 Komplement- und Mehrleitermodell der elektrischen Wechselstrom-Infrastruktur	26
7 Plausibilität der erwarteten Ausgaben	28
7.1 Allgemeines	28
7.2 Validierung eines gefahrenen Fahrplans.....	28
7.3 Zusätzliche Informationen über Zugfahrten.....	31
7.4 Zusätzliche Informationen über die Ergebnisse für das Unterwerk	33
8 Verifizierung erwarteter Ausgaben	35
8.1 Allgemeines	35
8.2 Ergebnisse bezüglich der Züge	35
8.3 Ergebnisse bezüglich der Unterwerke.....	37
9 Validierung mit simulierten Werten.....	38
10 Bewertung	40
Anhang A (normativ) Ausfall eines Unterwerks, Ausgabeergebnisse für Züge: Grenzwerte der Validierung.....	41
Anhang B (normativ) Ausfall eines Unterwerks, Ausgabeergebnisse für ein Unterwerk: Grenzwerte	

für die Validierung	48
Anhang C (informativ) Festlegung von Referenzwerten und ihren Toleranzen	52
C.1 Toleranzen für die Festlegung der anzuwendenden Grenzwerte	52
C.2 Festlegung von Referenzwerten	53
Anhang D (informativ) Individuelle Graphen für jedes System sowie jede Betriebsbedingung	54
Anhang ZZ (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der abzudeckenden EU-Richtlinie 2016/797/EU	70
Literaturhinweise	71
Bilder	
Bild 1 – Validierungsschritte	13
Bild 2 – Allgemeine Beschreibung des Prüffalls.....	14
Bild 3 – Beispiel für ein Diagramm der Zugkraft für einen Zugverband bei Nennspannung.....	16
Bild 4 – Höchste Fahrstromstärke als eine Funktion der Spannung.....	17
Bild 5 – Regenerative Bremsung, Strombegrenzung bezogen auf die Spannung am Stromabnehmer.....	18
Bild 6 – Transformator- und Gleichrichtermodell für ein Standardsystem	22
Bild 7 – Transformatormodell für ein Standardsystem	25
Bild 8 – Transformatormodell für ein Unterwerk mit einem 2 × 25 kV – 50-Hz-System.....	25
Bild 9 – Geometrie von Wechselstromleitern (nur Wechselstrommodell).....	26
Bild 10 – Einsatz-Fahrplan mit erforderlichen Ereignissen für ein Gleichstromsystem	29
Bild 11 – Einsatz-Fahrplan mit erforderlichen Ereignissen für ein Wechselstromsystem	30
Bild 12 – Zeitabhängigkeit von Geschwindigkeit, Stromstärke, Zugkraft und Spannung; bestimmungsgemäße Bedingungen für AC 15 kV 16,7 Hz; Zug 101 mit erforderlichen Ereignissen.....	31
Bild 13 – Zeitabhängigkeit von Sammelschienenspannung und Gesamtstromstärke; bestimmungsgemäße Bedingungen für AC 15 kV 16,7 Hz; Bahnunterwerk km 0,0 (Bahnhof A) mit erforderlichen Ereignissen	34
Bild D.1 – DC 1,5 kV; Fall eines Ausfalls; Fahrplan	55
Bild D.2 – DC 1,5 kV; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für Zug 101.....	56
Bild D.3 – DC 1,5 kV; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für Unterwerk A	57
Bild D.4 – DC 3 kV; Fall eines Ausfalls; Fahrplan	58
Bild D.5 – DC 3 kV; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für Zug 101.....	59
Bild D.6 – DC 3 kV; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für alle Unterwerke.....	60
Bild D.7 – AC 15 kV 16,7 Hz, konzentrierte Elemente; Fall eines Ausfalls; Fahrplan.....	61
Bild D.8 – AC 15 kV 16,7 Hz, konzentrierte Elemente; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für Zug 101	62
Bild D.9 – AC 15 kV 16,7 Hz, konzentrierte Elemente; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für ein Unterwerk	63
Bild D.10 – AC 25 kV 50 Hz, konzentrierte Elemente; Fall eines Ausfalls; Fahrplan.....	64
Bild D.11 – AC 25 kV 50 Hz, konzentrierte Elemente; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für Zug 101	65
Bild D.12 – AC 25 kV 50 Hz, konzentrierte Elemente; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für ein Unterwerk	66
Bild D.13 – AC 2 x 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell; Fall eines Ausfalls; Fahrplan	67

	Seite
Bild D.14 – AC 2 x 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für Zug 101	68
Bild D.15 – AC 2 x 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell; Fall eines Ausfalls; Ergebnisse für ein Unterwerk	69
Tabellen	
Tabelle 1 – Mechanische Eigenschaften und Antriebseigenschaften eines Zugverbands	15
Tabelle 2 – Darstellung der Neigung entlang der Strecke	19
Tabelle 3 – Positionen der Bahnhöfe entlang der Strecke	19
Tabelle 4 – Darstellung des Fahrplans	20
Tabelle 5 – Eigenschaften der elektrischen Infrastruktur	21
Tabelle 6 – Beschreibung der Neigung entlang der Strecke, Wechselstromsysteme	22
Tabelle 7 – Positionen der Bahnhöfe entlang der Strecke	23
Tabelle 8 – Darstellung des Fahrplans	23
Tabelle 9 – Eigenschaften der elektrischen Infrastruktur	24
Tabelle 10 – Kenngrößen und Geometrie der einzelnen Leiter (nur Wechselstrommodell)	27
Tabelle 11 – Fahrplan des Gleichstrombetriebs, erforderliche Ereignisse	29
Tabelle 12 – Fahrplan des Wechselstrombetriebs, erforderliche Ereignisse	30
Tabelle 13 – Bestimmungsgemäße Bedingungen für AC 15 kV 16,7 Hz; Zug 101, erforderliche Ereignisse für Geschwindigkeit, Stromstärke, Zugkraft und Spannung	32
Tabelle 14 – Erforderliche Ereignisse für Sammelschienenspannung und der Gesamtstromstärke; bestimmungsgemäße Bedingungen für AC 15 kV 16,7 Hz; Bahnunterwerk km 0,0 (Bahnhof A)	34
Tabelle 15 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Züge in Bezug auf die Reisezeit, $U_{\text{mean useful}}$ und die mittleren Spannungen	36
Tabelle 16 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Züge in Bezug auf Momentanspannungen und Zeitschritte	37
Tabelle 17 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Unterwerke in Bezug auf Stromstärke und Spannung	38
Tabelle 18 – Tabelle über gegenseitige Anerkennung	39
Tabelle A.1 – Ausfall eines Unterwerks, Zugergebnisse für den Fall von DC 1,5 kV	41
Tabelle A.2 – Ausfall eines Unterwerks, Zugergebnisse für den Fall von DC 3 kV	43
Tabelle A.3 – Ausfall eines Unterwerks, Zugergebnisse für den Fall von AC 15 kV 16,7 Hz	44
Tabelle A.4 – Ausfall eines Unterwerks, Zugergebnisse für den Fall von AC 25 kV 50 Hz, konzentriertes Element	45
Tabelle A.5 – Ausfall eines Unterwerks, Zugergebnisse für den Fall von AC 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell	46
Tabelle A.6 – Ausfall eines Unterwerks, Zugergebnisse für den Fall von AC 2 x 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell	47
Tabelle B.1 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk $U_{\text{mean useful}}$, alle Fälle	48
Tabelle B.2 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk $U_{\text{mean useful}}$, Fall von DC 1,5 kV	49
Tabelle B.3 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk, Fall von DC 3 kV	50
Tabelle B.4 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk, Fall von AC 15 kV 16,7 Hz	50

Tabelle B.5 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk, Fall von AC 25 kV 50 Hz, konzentriertes Element	50
Tabelle B.6 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk, Fall von AC 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell	51
Tabelle B.7 – Ausfall eines Unterwerks; Ergebnisse für ein Unterwerk, Fall von AC 2 x 25 kV 50 Hz, Mehrleitermodell	51
Tabelle C.1 – Toleranzen für Gleichstromsysteme	52
Tabelle C.2 – Toleranzen für Wechselstromsysteme	53
Tabelle ZZ.1 – Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm, der TSI „Energie“ (Verordnung (EU) Nr. 1301/2014 vom 18. November 2014) und der Richtlinie 2016/797/EU	70

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (EN 50641:2020) wurde durch CLC/SC 9XC „Elektrische Versorgungs- und Erdungssysteme für öffentliche Transporteinrichtungen und Hilfsausrüstungen (ortsfeste Installation)“ des Technischen Komitees CLC/TC 9X „Elektrische und elektronische Anwendungen für Bahnen“ bearbeitet.

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): 2020-11-04
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die diesem Dokument entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2022-11-04

Dieses Dokument wurde unter einem Mandat erstellt, das von der Europäischen Kommission und der Europäischen Freihandelszone an CENELEC gegeben wurde, und unterstützt grundlegende Anforderungen der EU-Richtlinie(n).

Zum Zusammenhang mit EU-Richtlinien siehe informativer [Anhang ZZ](#), der Bestandteil dieses Dokuments ist.

Fachleute aus ungefähr zehn Mitgliedstaaten haben an der Erstellung eines völlig neuen Dokuments mitgearbeitet. Die Ergebnisse und die Daten stammen von den bekanntesten repräsentativen Simulationssoftwares in Europa und deren Experten. Dieses Dokument stellt ein Mittel zur Bewertung von Simulationsprogrammen dar und gibt denjenigen Gewähr, die auf die Ergebnisse der Simulationsprogramme angewiesen sind. Künftige Ausgaben werden andere Fälle wie den städtischen Verkehr miteinschließen.

1 Anwendungsbereich

Dieses Dokument legt Anforderungen an die Abnahme von Simulationsprogrammen fest, die zur Bewertung der Auslegung elektrischer Bahnenergieversorgungssysteme in Bezug auf die TSI Energie verwendet werden.

Dieses Dokument ist anwendbar auf die Simulation von Wechsel- und Gleichstrom-Bahnenergieversorgungssystemen im Rahmen der Bewertung nach Richtlinie (EU) 2016/797. Die in diesem Dokument definierten Methoden und Parameter sind ausschließlich zur Verwendung bei der Auslegung des elektrischen Bahnenergieversorgungssystems vorgesehen. Aus diesem Grund wird in diesem Dokument nur die Validierung von Programmen für alle im Teilsystem TSI Energie vorgesehenen Bahnsysteme berücksichtigt.

Dieses Dokument umfasst nicht die Validierung von Simulationsprogrammen durch Messungen.

Der Schwerpunkt dieses Dokuments liegt auf den Kernfunktionen des Simulationsprogramms, die die Gleichungen und Funktionen enthalten, mit denen die mechanische Bewegung der Züge sowie der Lastfluss des elektrischen Bahnenergieversorgungssystems berechnet werden können. Somit enthält dieses Dokument all die Anforderungen, die erforderlich sind, um nachzuweisen, dass ein Simulationsprogramm zur Zulassung elektrischer Bahnenergieversorgungssysteme nach TSI verwendet werden darf. Ein Simulationsprogramm, das die Abnahmeanforderungen der Prüffälle in diesem Dokument erfüllt, kann als Teil des TSI-Bewertungsverfahrens zur Bestimmung der TSI-Kompatibilität aller Systeme mit derselben Spannung und derselben Frequenz ohne weitere Anforderungen an zusätzliche Validierung verwendet werden.

Dieses Dokument enthält Regelungen zur Abänderung von Simulationsprogrammen, insbesondere die Beschränkung der Anwendbarkeit der Zertifizierung bei Abänderung von Programmen. Diese Regelungen konzentrieren sich auf Ermittlungen, wieweit die Kernfunktionen des Simulationsmodells abgeändert worden sind.

Dieses Dokument enthält ausschließlich die Anforderungen an den Nachweis der Algorithmen und der Berechnungen der Kernfunktionen. Die Verwendung eines zertifizierten Simulationsprogramms entsprechend dieses Dokuments weist per se weder berufliche Sorgfalt bei der Auslegung eines elektrischen Bahnenergieversorgungssystems nach noch wird dadurch sichergestellt, dass die in dem Programm verwendeten Simulationsmodelle und -daten für die Infrastruktur oder die Züge für eine gegebene Anwendung korrekt sind. Das Auswählen und die Anwendung irgendeines Modells und irgendwelcher Daten sowie einzelner Systemkomponenten in einer Auslegung sind daher Gegenstand weiterer Verifizierungsprozesse und außerhalb des Anwendungsbereiches dieses Dokuments. Sachkundige Entwicklung von Auslegungsmodellen sowie vollständige Kenntnis von den Beschränkungen der Auslegungsprogramme bleiben Anforderungen an jede Systemauslegung. Ungeachtet dieses Dokuments müssen sachkundige Entwickler weiterhin den Auslegungsprozess leiten.

Die in [Abschnitt 6](#) aufgeführten Prüffälle und -daten stellen kein vorhandenes Netz dar; diese Daten werden ausschließlich als ein theoretisches/virtuelles Netz zur Verifizierung der Kernfunktionalität verwendet.

ANMERKUNG Es wird ein neuer Prüffall erarbeitet, bei dem U-Bahnen, Straßenbahnen und Obusse berücksichtigt werden, die DC 600 V oder DC 750 V verwenden. Bis dieser Prüffall verfügbar ist, kann dieses Dokument auch auf U-Bahn-, Straßenbahn- und Obusanlagen angewendet werden. Dieser Prüffall wird auch Eisenbahnsysteme einbeziehen, die DC 750 V verwenden.

Darüber hinaus wird mit der Anwendung dieses Dokuments sichergestellt, dass die Ausgabedaten der verschiedenen Simulationsprogramme konsistent sind, wenn sie denselben Satz von Eingabedaten verwenden, die in [Abschnitt 6](#) aufgeführt sind.

Dieses Dokument gilt ausschließlich für die Simulation der Eigenschaften von elektrischen Bahnenergieversorgungssystemen bei ihrer Nennfrequenz für Wechsel- oder Gleichstromsysteme. Es berücksichtigt weder Untersuchungen hinsichtlich Oberschwingungen und elektrischer Sicherheit (z. B. Schienenpotenzial), noch Untersuchungen über ein breites Frequenzspektrum hinsichtlich Kurzschlüsse oder elektromagnetischer Verträglichkeit. Dieses Dokument ordnet nicht die Verwendung eines bestimmten Simulationsprogramms für die Validierung der Auslegung eines elektrischen Bahnenergieversorgungssystems an.

In diesem Dokument werden komplexe Modelle mit aktiven Komponenten, z. B. statische Frequenzumwandler, nicht berücksichtigt.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. 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 50163:2004, *Bahnanwendungen – Speisespannungen von Bahnnetzen*

EN 50388:2012, *Bahnanwendungen – Bahnenergieversorgung und Fahrzeuge – Technische Kriterien für die Koordination zwischen Anlagen der Bahnenergieversorgung und Fahrzeugen zum Erreichen der Interoperabilität*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die in **EN 50163:2004** und **EN 50388:2012** festgelegten Begriffe sowie 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>

3.1

Gutachter

(en: assessor)

Stelle, die eine Begutachtung durchführt

[QUELLE: IEC 60050-821:2017, 821-12-05]

3.2

elektrisches Bahnenergieversorgungssystem

(en: electric traction system

electric traction power supply system)

elektrisches Energieversorgungsnetz der Bahn, das für die Bereitstellung von Energie für Schienenfahrzeuge verwendet wird

[QUELLE: IEC 60050-811:2017, 811-36-21, modifiziert – in der englischen Fassung wurde „electric traction power supply system“ als Synonym eingefügt und Anmerkung 1 zum Begriff wurde entfernt.]

3.3

Antragsteller

(en: proposer)

Organisation, die die Simulation und die Validierung vorschlägt

Anmerkung 1 zum Begriff: Der Antragsteller ist üblicherweise der Eigentümer oder der Entwickler der Software.

3.4

Simulationsgenauigkeit

(en: simulation accuracy)

Indikator, der der Charakterisierung der Genauigkeit der Simulationsausgabe für eine Referenz (Messwert oder theoretisches Modell) in einem bestimmten Fall zugeordnet ist

3.5

Simulationsmethode

(en: simulation method)

Aufbau und Lösung eines numerischen Zeitschritt- oder Wegschritt-Modells der Zugbewegung sowie der elektrischen Bahnenergieversorgungsleistung

3.6

Simulationsprogramm

(en: simulation tool)

Software, in der eine oder mehrere Simulationsmethoden implementiert sind

3.7

Software-Qualitätsmanagement

(en: software quality management)

Managementsystem für eine zu aktualisierende Software

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Prozesse sind wie folgt:

- Software-Entwicklungsprozess, der die Entwicklungsanfrage, die Softwareprüfung und die Freigabe umfasst;
- Lebenszyklus-Prozess, der den Freigabepplan, die Versionierung mit Codeschutz und Änderungsprotokoll, die Fehlerverfolgung und die Dokumentation (Betriebsanleitung, Hilfesystem, Entwicklerleitfaden, sofern vorhanden) umfasst.

3.8

Streckentrassierungsmodell

(en: track layout model)

Modell, das die physikalischen Eigenschaften der Strecke wie Kurven, Tunnel und Neigungen beschreibt

3.9

Zugverband

(en: train set)

Kombination von Fahrzeugen, die miteinander gekuppelt sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Schiebelokomotiven sind auch Fahrzeuge

3.10

Zugverbandsmodell

(en: train set model)

Modell, das die elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Zugverbandes beschreibt

3.11

Zugverkehrsmodell

(en: train traffic model)

Modell des Zugsinsatzes und des Fahrplans für einen bestimmten Zeitraum

3.12

Validierung

(en: validation)

Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass die Anforderungen für eine spezifische bestimmungsgemäße Verwendung oder eine spezifische beabsichtigte Anwendung erfüllt worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Die Verifizierung ist eine Voraussetzung für die Validierung.

[QUELLE: IEC 60050-192:2015, 192-01-18, modifiziert – Anmerkungen 1 bis 5 zum Begriff wurden entfernt und eine neue Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

3.13

Verifizierung

(en: verification)

Bestätigung durch Bereitstellung eines objektiven Nachweises, dass festgelegte Anforderungen erfüllt worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: In diesem Dokument wird als allgemeiner Begriff der Begriff Bewertung verwendet. Unter Verifizierung wird üblicherweise die Bewertung von Modellen und Datenanalysen verstanden; die Verwendung des Begriffs Verifizierung ist spezifischer als die des allgemeinen Begriffs Konformität.

[QUELLE: IEC 60050-192:2015, 192-01-17, modifiziert – Anmerkungen 1 bis 3 zum Begriff wurden entfernt und eine neue Anmerkung 1 zum Begriff wurde hinzugefügt.]

4 Symbole und Abkürzungen

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

A	Koeffizient eines geschwindigkeitsunabhängigen Fahrwiderstands
a	Kniepunkt-Faktor (siehe EN 50388:2012 7.2)
AT	Autotransformator, Spartransformator (en: autotransformer)
ATPP	Standort der Parallel-Schaltstelle des Autotransformators, einschließlich Parallelschalten von CLS (en: autotransformer paralleling post including paralleling of CLS)
B	Koeffizient eines Fahrwiderstands für lineare Abhängigkeit von der Geschwindigkeit
C	Koeffizient eines Fahrwiderstands für quadratische Abhängigkeit von der Geschwindigkeit
CLS	Fahrleitungsanlage (Oberleitung oder Stromschiene) (en: contact line system)
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor für die Antriebs- und Hilfsbetriebeleistung
EMU	elektrischer Triebzug (en: electrical multiple unit)
F	Zugkraft
F_m	höchste Zugkraft
FR	Güterzugverband (en: freight train set)
F_{res}	Fahrwiderstand
HS	Hochgeschwindigkeitszugverband (en: high speed train set) ANMERKUNG: Dieser Begriff wird als allgemeiner Begriff verwendet und bezieht sich nicht auf ähnliche Definitionen in Richtlinie (EU) 2016/797.
I	Stromstärke
I_{aux}	Stromstärke für Hilfsbetriebe des Zugverbands (z. B. Klimaanlage)
$I_{braking}$	Bremsstromstärke des Zugverbands
I_{max}	höchste vom Zugverband bei U_n aufgenommene Stromstärke
Ind	induktives Verhalten
N/A	nicht anwendbar
P_{aux}	Wirkleistung der Hilfsbetriebe
P_{max}	höchste mechanische Leistung
PP	Parallel-Schaltstelle, bei der die CLS beider Gleise elektrisch verbunden sind (en: paralleling post)
R_{eq}	innerer Ersatzwiderstand eines Unterwerks

SP	Trennstelle der CLS für jedes Gleis (en: sectioning point)
SS	Unterwerk, einschließlich Parallelschaltung der CLS (en: substation including paralleling of CLS)
SUB	S-Bahn-Zugverband (en: suburban train set)
TSI	Technische Spezifikation für Interoperabilität
U_{di0}	Leerlaufspannung am Unterwerk bei einem Gleichstrom-Bahnenergieversorgungssystem
U_0	Leerlaufspannung am Unterwerk bei einem Wechselstrom-Bahnenergieversorgungssystem
U_{cc}	bezogene Kurzschlussspannung an einem Transformator
UIC60	Schienenprofil mit einer Masse von 60 kg/m
U_{max1}	höchste Dauerspannung (siehe EN 50163:2004)
U_{max2}	höchste nichtpermanente Spannung (siehe EN 50163:2004)
$U_{mean\ useful}$	mittlere nutzbare Spannung (siehe EN 50388:2012, 8.2)
U_{min2}	niedrigste nichtpermanente Spannung (siehe EN 50163:2004)
U_n	Nennspannung für ein bestimmtes elektrisches Versorgungssystem
U_p	Spannung am Stromabnehmer
v	Geschwindigkeit in km/h
v_1	Übergangsgeschwindigkeit 1 (Übergang von der Haftreibungskennlinie auf die Kennlinie der höchsten Spannung beim Fahren)
v_2	Übergangsgeschwindigkeit 2 (Übergang von der Kennlinie der höchsten Spannung beim Fahren auf die Kennlinie der Drehmomentbegrenzung)
v_3	höchste Geschwindigkeit
v_{max}	höchste zulässige Geschwindigkeit (Strecke, Zugverband)
Z_{TR}	Transformatorimpedanz
η	Traktions-/Bremswirkungsgrad
μ_r	relative Permeabilität

5 Allgemeines

Dieses Dokument berücksichtigt die Abnahme typischer impedanzbasierter Modelle elektrischer Bahnenergieversorgungssysteme bei der Grundfrequenz oder bei Gleichstrom. Es umfasst sowohl konzentrierte Impedanzmodelle als auch Mehrleiter-Impedanzmodelle, aber nicht komplexe Modelle von aktiven Modellen wie statische Frequenzumwandler.

Im Allgemeinen werden theoretische Untersuchungen hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen dem Betrieb der Bahnfahrzeuge und dem Energieversorgungssystem mit Hilfe einer Computersimulation verwendet, um detaillierte Informationen über ein Bahnenergieversorgungssystem zu erhalten. Dadurch werden die Kosten von Prüfungen unter Einsatzbedingungen minimiert und als Folge davon die für eine bestimmte Leistung des elektrischen Bahnsystems vorzunehmenden Investitionen optimiert.

Je nach der Art des Versorgungssystems (z. B. Wechsel- oder Gleichstromsystem) benötigen die Simulationsprogramme unterschiedliche Daten und unterschiedliche Systembeschreibungen. Der Anwendungsbereich der Simulation sollte daher im Voraus definiert werden; dabei sind die möglichen Versorgungssysteme zu berücksichtigen (siehe Bild 1). Der Bewertungsprozess der Simulation ist zweigeteilt. Zunächst muss ein Validierungsprozess durchgeführt werden, in dem besondere Eigenschaften der Ausgabegraphen der wesentlichen Simulation verglichen werden, um das Leistungsvermögen der Simulation bei kritischen

Ereignissen zu validieren. Danach muss die quantitative Verifizierung der Simulation bewertet werden, indem berechnete zentrale Werte mit den in diesem Dokument angegebenen Werten verglichen werden. Der in diesem Dokument festgelegte Verifizierungsprozess beruht auf einer Verifizierung, bei der ein definiertes Benchmark-Beispiel eines elektrischen Bahnenergieversorgungssystems und ein allgemeiner Satz von Eingabedaten verwendet werden, der die Infrastruktur (einschließlich Standorte der Bahnhöfe, Neigungen, Geschwindigkeitsbegrenzungen), die Arten der Zugverbände und den Fahrplan berücksichtigt.

ANMERKUNG Die Ausgabedatensätze wurden mittels Bewertung durch einige vorhandene Simulationsprogramme entwickelt, die derzeit bei der Auslegung elektrischer Bahnenergieversorgungssysteme verwendet werden und die daher einige Unterschiede in Kern-Algorithmen repräsentieren. Die Simulationsgenauigkeit der Ausgaben dieser Programme wurde verglichen und die zur Abdeckung der Abweichungen angewandten Toleranzen wurden für alle Programme angemessen berücksichtigt. Die in diesen Programmen festgestellte Abweichung beeinflusst nicht ihre Anwendbarkeit zur Verwendung bei TSI-Bewertungen; daher kann dieser Toleranzbereich bei der Abnahme neuer Programme angewandt werden. [Anhang C](#) enthält Angaben über die Berechnungsmethodik der Toleranzen zur Festlegung der anzuwendenden Grenzwerte.

Die folgenden Fälle werden in der Norm behandelt:

- DC 1,5 kV;
- DC 3 kV;
- AC 15 kV, konzentriertes Element;
- AC 25 kV, konzentriertes Element;
- AC 25 kV, Mehrleitermodell;
- AC 2x 25 kV, Mehrleitermodell.

Um eine annehmbare Verifizierung eines Simulationsprogramms zu erreichen, müssen die Ergebnisse des Simulationsprogramms mit den Ausgabeergebnissen verglichen werden, die in diesem Dokument entsprechend den in [Anhang A](#) und [Anhang B](#) beschriebenen Kriterien beschrieben sind.

Um das Simulationsprogramm mit Vertrauen anzuwenden, muss es zuerst sowie nach jeder die Simulationsergebnisse beeinflussenden Überarbeitung der Kernfunktionen der Software validiert werden. Falls die Änderung sich auf eine Kernfunktion auswirkt, ist eine erneute Validierung erforderlich. Die Validierung muss unter Einhaltung der in [Bild 1](#) dargestellten Schritte durchgeführt werden.

Kernfunktionen des Simulationsprogramms sind die Algorithmen zum:

- Lösen der Differenzialgleichungen bezüglich der Bewegung des Zugverbandes, die zu einem Energiebedarf an dem Stromabnehmer/den Stromabnehmern führt;
- Berechnen des Lastflusses (Strom-Spannung) des elektrischen Netzes mit den wechselnden, von den sich bewegend Lasten verursachten Konfigurationen.

Die Wechselwirkung zwischen mechanischen und elektrischen Kernfunktionen ist erforderlich, um eine integrierte Lösung zu erzielen, bei der eine fehlende elektrische Leistung die Bewegung des Zugverbandes, einschließlich Iterationen, falls erforderlich, beeinflussen wird.

Die Kernfunktionalität umfasst die Algorithmen der mechanischen Zugbewegung, den Lastfluss im elektrischen Netz und die Wechselwirkung zwischen den mechanischen und den elektrischen Kernfunktionen, die erforderlich ist, um eine integrierte Lösung zu erzielen.

Bei Änderungen dieser Kernfunktionen sowie bei Änderungen außerhalb des Kerns, z. B. Wechselwirkung mit dem Anwender, Darstellung und Vorbehandlung von Daten und Modellen vor deren Weiterleiten an den Kern sowie Nachbearbeiten von Daten aus dem Kern, ist eine vollständige Validierung durch einen Gutachter nicht erforderlich. Wenn ein validiertes Simulationsprogramm zertifiziert worden ist, darf die Stelle, die das Zertifikat hat, solche Änderungen entsprechend den Anforderungen an das interne Software-Qualitätsmanagement bewerten, um ein rückverfolgbares Auditverfahren für diese Änderungen zur Verfügung zu stellen.

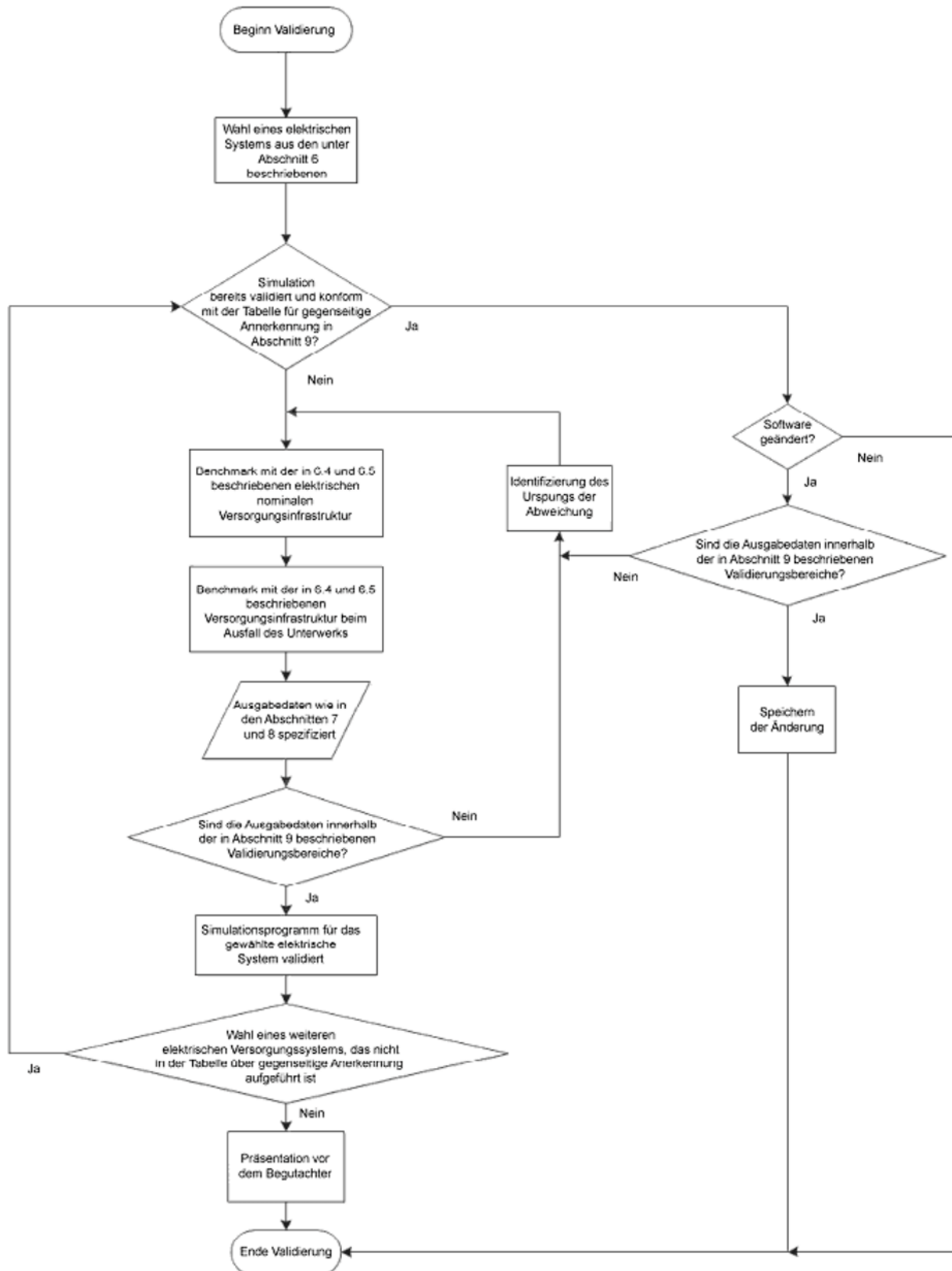


Bild 1 – Validierungsschritte

6 Beschreibung der Prüfung und der Modelle

6.1 Allgemeines

Gemeinsame Parameter, d. h. die sowohl für Wechselstrom- als auch für Gleichstromsysteme gelten, sind in 6.2 und 6.3 aufgeführt. Parameter, die für das Gleichstrom- bzw. das Wechselstromsystem spezifisch sind, sind in 6.4 bzw. 6.5 aufgeführt.

Die Konfigurationen und Daten der Prüffälle werden ausschließlich zum Zwecke der vorliegenden Norm verwendet. Sie stellen keine typischen Anwendungen für die Systemauslegung dar.

6.2 Gemeinsame Parameter

Der Prüffall beschreibt einen einfachen Verkehr auf einer oberirdischen, zweigleisigen, geraden Strecke. Obwohl es aufgrund der unterschiedlichen Versorgungssysteme einige Unterschiede gibt, bleiben einige Parameter bei allen Prüffällen gleich, insbesondere:

- Fahrplan des Verkehrs;
- Zugverband.

Die höchste Streckengeschwindigkeit beträgt 200 km/h für alle Arten von Zügen.

Die allgemeine Beschreibung des Falles geht aus Bild 2 hervor. Die Abstände sind für Gleichstromfälle in Tabelle 2 und Tabelle 3 bzw. für Wechselstromfälle in Tabelle 6 und Tabelle 7 angegeben.

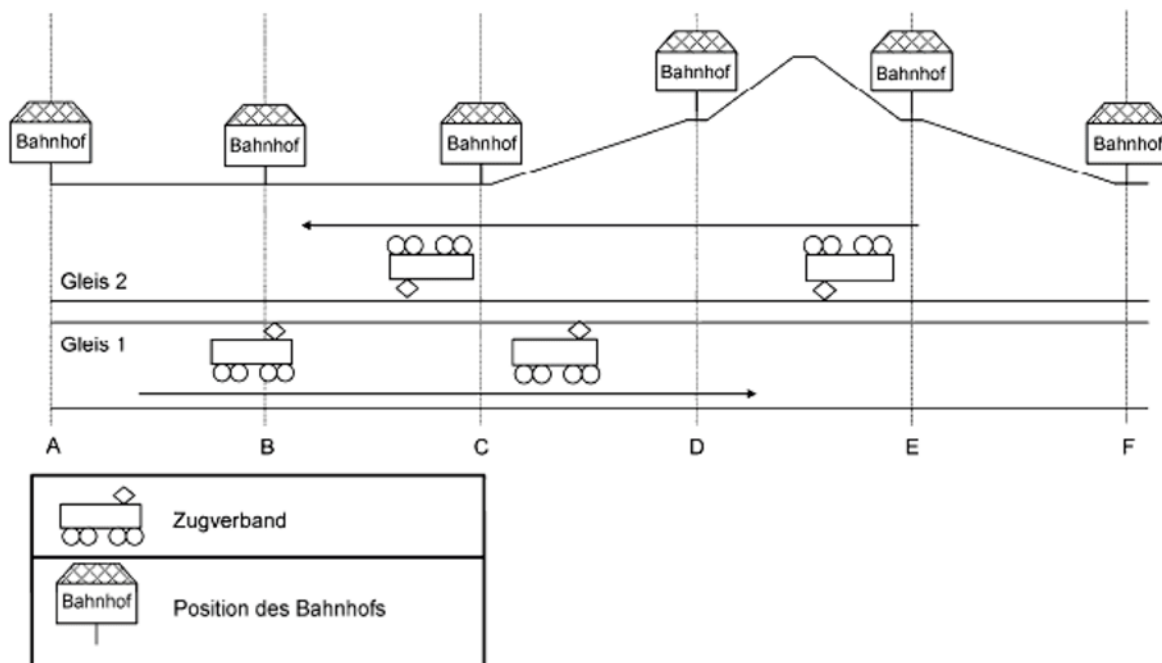


Bild 2 – Allgemeine Beschreibung des Prüffalles

Für den Prüffall werden durchgehend drei verschiedene Arten von Zugverbänden definiert:

- Hochgeschwindigkeitszugverband;
- S-Bahn-Zugverband;
- Güterzugverband.

6.3 Beschreibung der Zugverbände

6.3.1 Art des Zugverbandes und mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften der drei verschiedenen Arten von Zugverbänden dieses Prüffalls sind wie folgt:

- a) Hochgeschwindigkeitszugverband (HS): Lokomotive und Reisezugwagen;
- b) S-Bahn-Zugverband (SUB): EMU;
- c) Güterzugverband (FR): Lokomotive und Güterwagen.

Die Parameter müssen sein wie in Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1 – Mechanische Eigenschaften und Antriebseigenschaften eines Zugverbandes

Art	Einheit	HS	SUB (2 Einheiten)	FR
Geschwindigkeit v_1	km/h	110	50	80
Geschwindigkeit v_2	km/h	180	140	140
Geschwindigkeit v_3	km/h	220	160	160
Höchste zulässige Geschwindigkeit des Zugverbandes	km/h	220	160	100
Höchste Zugkraft F_m	kN	250	320	250
Zugkraft bei v_2	kN	152,8	114,3	143
Zugkraft bei v_3	kN	102	87,5	109,4
Gesamtmasse	t	580	400	1 580
Rotierende Masse	t	58	40	158
Wirkungsgrad (η)	–	85 %	85 %	85 %
Leistungsfaktor am Stromabnehmer (Fahren/ Bremsen und Hilfsbetriebe) ^a	–	0,96 ind.	0,96 ind.	0,96 ind.
Wirkleistung der Hilfsbetriebe P_{aux}	MW	0,5	0,4	0
A	kN	9,23	3,351 6	24,3
B	kN/(km/h)	0,015 8	0,008 208	0,084 7
C	kN/(km/h) ²	0,001 23	0,000 66	0,004 03
Lokomotive(n)	–	1	2 (EMU)	1
Reisezugwagen/Güterwagen	–	10	–	25
Höchste zulässige Verzögerung	m/s ²	0,8	1	0,5
^a Ausschließlich auf Wechselstromfälle anwendbar; bei Gleichstromfällen beträgt der Leistungsfaktor 1.				

Die individuellen Parameter für die Lokomotiven der Hochgeschwindigkeitszüge und der Güterzüge müssen wie folgt sein:

- Masse: 80 t.

Der Fahrwiderstand muss unter Verwendung dieser Formel definiert werden: $F_{res} = A + B \times v + C \times v^2$; dabei ist v die Geschwindigkeit in km/h. Die Koeffizienten A , B und C gelten für den gesamten Zugverband.

Darüber hinaus muss davon ausgegangen werden, dass:

- die Zugkraft für den SUB für den gesamten Zugverband bereitgestellt wird, sodass die zwei kombinierten Einheiten eine Gesamt-Zugkraft von 320 kN aufweisen;
- der Haftreibungswert und die Beschleunigung nicht genannt werden, weil angenommen wird, dass die Zugkraft unter allen Umständen auf das Gleis übertragen wird;
- es beim Bremsen möglich ist, unter allen Umständen mit der gewünschten Verzögerung zu bremsen;
- das Massemodell des Zugverbandes konzentriert ist;

ANMERKUNG 1 Wenn das Massemodell des Zugverbandes verteilt ist, kann eine Länge von 1 m verwendet werden.

- der Stromabnahmepunkt sich am vorderen Ende des Zuges befindet;
- der Wirkungsgrad (η) sich auf die gesamte Traktionskette bezieht, d. h. vom Stromabnehmer bis zu den Rädern, wobei die Hilfsbetriebeleistung unbeachtet bleibt;
- sowohl der Wirkungsgrad (η) als auch der Leistungsfaktor auf den gesamten Geschwindigkeitsbereich des Zugverbandes anwendbar sind;
- die Zugkraft von der Netzspannung abhängig ist, die durch die in 6.3.3 definierte Strombegrenzung verursacht wird.

ANMERKUNG 2 Einige Daten werden der Übersichtlichkeit wegen aufgeführt; präzise Formeln sind in diesem Dokument enthalten.

6.3.2 Zug- und Bremskrafteigenschaften

Die Zugkraft des verwendeten Zugverbandes wird entsprechend einer genormten, auf die Geschwindigkeit (v) bezogenen Zugkraft (F) festgelegt, die entsprechend einer Reihe von Parametern definiert wird. Das Modell und die Parameter werden im nachfolgenden Bild 3 beschrieben.

Der Kurvenverlauf der regenerativen Bremskraft muss derselbe sein wie der für die auf die Geschwindigkeit bezogene Zugkraft.

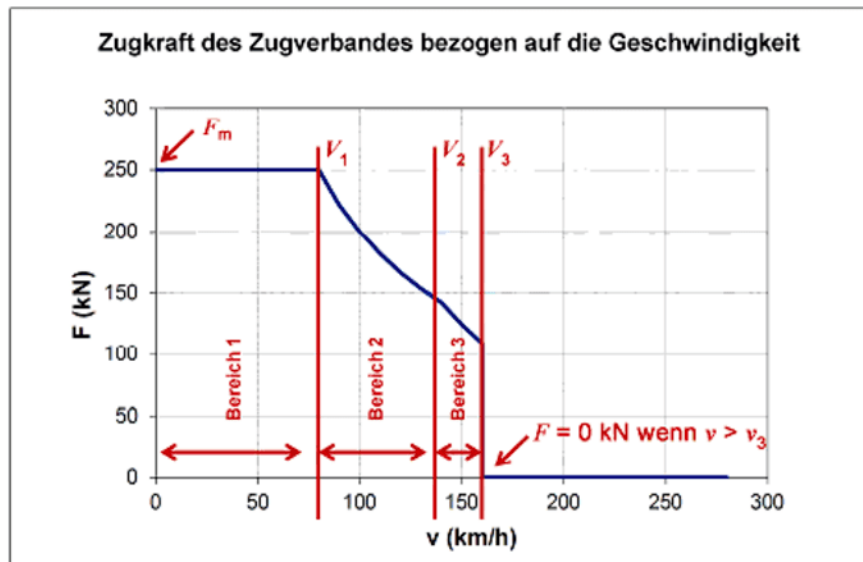


Bild 3 – Beispiel für ein Diagramm der Zugkraft für einen Zugverband bei Nennspannung

Das in Bild 3 dargestellte Verhalten der höchsten Zugkraft muss wie folgt sein:

- Bereich 1: $F = F_m$ von $v = 0$ km/h bis $v = v_1$;

- Bereich 2: $F = F(v_1) \times v_1 / v$ von $v = v_1$ bis $v = v_2$;
- Bereich 3: $F = F(v_2) \times v_2^2 / v^2$;
- wenn $v > v_3$, $F = 0$.

Die Eigenschaften von v_1 , v_2 und v_3 sind in 6.3.1 aufgeführt.

6.3.3 Strombegrenzung während des Fahrens

Nach EN 50388:2012, 7.2, muss die Strombegrenzung bezogen auf den Spannungspegel ausschließlich für die Betriebsart Fahren (und nicht für das regenerative Bremsen) berücksichtigt werden. Bild 4 ist typisch für die begrenzte Stromstärke:

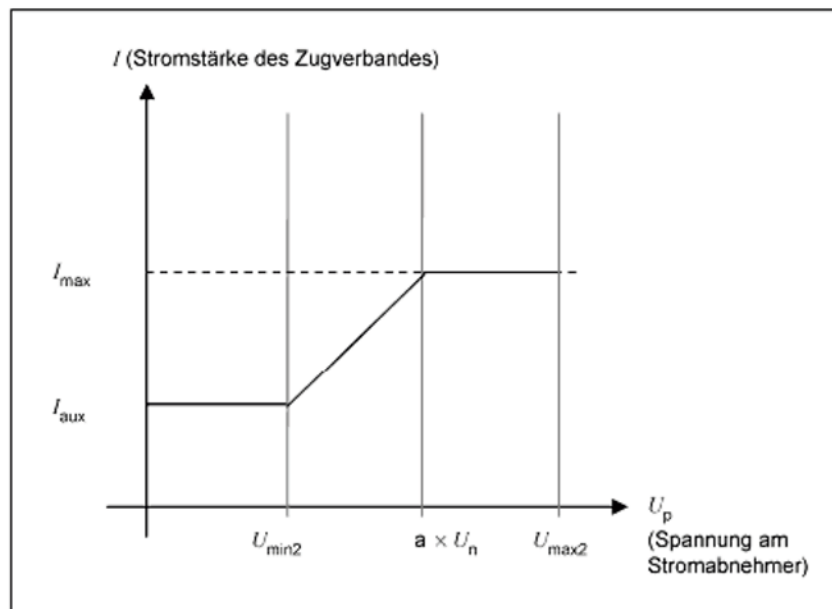


Bild 4 – Höchste Fahrstromstärke als eine Funktion der Spannung

Der Wert a muss sein wie in EN 50388:2012, 7.2, festgelegt; U_n , U_{min2} und U_{max2} müssen sein wie in EN 50163:2004 festgelegt. Die Strombegrenzung gilt für die Stromstärke am Stromabnehmer, und die Parameter I_{aux} und I_{max} müssen wie folgt berechnet werden:

- $I_{aux} = P_{aux} / (U_{min2} \times \cos \varphi)$;
- $I_{max} = (P_{max} / (\eta \times \cos \varphi) + P_{aux} / \cos \varphi) / U_n$; dabei ist P_{max} die höchste mechanische Leistung bei U_n .

Für den Gleichstromfall ist diese Gleichung unter Berücksichtigung eines Werts für $\cos \varphi$ gleich 1 anzuwenden.

ANMERKUNG Nach EN 50388:2012 ist I_{max} die höchste Stromstärke, die vom Zugverband bei U_n aufgenommen wird.

6.3.4 Strombegrenzung während der regenerativen Bremsung

Die Strombegrenzung aufgrund der regenerativen Bremsung muss sein wie in Bild 5 definiert.

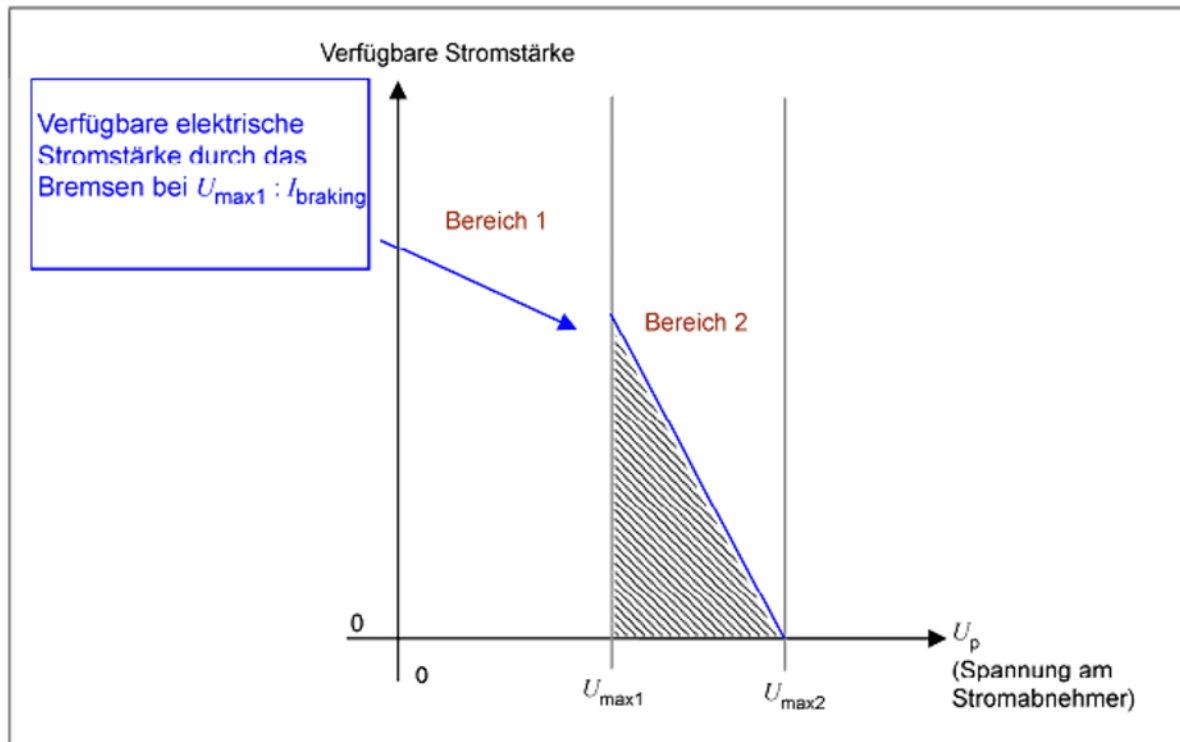


Bild 5 – Regenerative Bremsung, Strombegrenzung bezogen auf die Spannung am Stromabnehmer

$I_{braking}$ muss wie folgt berechnet werden:

$$I_{braking} = (\eta \times P_{max} - P_{aux}) / (\cos \varphi \times U_{max1})$$

Dabei ist

- η gleich 85 % entsprechend dem in 6.3.1 genannten Wert;
- P_{max} die höchste verfügbare mechanische Leistung, die durch die Kraft der regenerativen Bremsung in der Bremsphase bereitgestellt wird;
- $I_{braking}$ die Stromstärke am Stromabnehmer;
 - in Bereich 1 gibt es keine Begrenzung der regenerativen Stromstärke;
 - in Bereich 2 ist die Verringerung der verfügbaren regenerativen Stromstärke zwischen U_{max1} und U_{max2} streng linear.

6.3.5 Zusätzliche Informationen über die Modelle der Zugverbände

Die folgenden Parameter haben einen sehr begrenzten Einfluss und müssen nur zur allgemeinen Information angegeben werden:

- die Position des Stromabnehmers, an der die Spannung des Zugverbandes berechnet wird;
- die Referenzposition des Zugverbandes, bei der der Zug im Bahnhof anhält.

6.4 Parameter für Gleichstrommodelle

6.4.1 Streckentrassierungsmodell

6.4.1.1 Neigung der Strecke

Die Neigung der Strecke muss sein wie in Tabelle 2 festgelegt und basiert auf der Darstellung in [Bild 2](#):

Tabelle 2 – Darstellung der Neigung entlang der Strecke

Position km		Neigung ‰
Anfang	Ende	
0	20,5	0
20,5	29,5	5
29,5	30,5	0
30,5	34,5	10
34,5	35,5	0
35,5	39,5	-10
39,5	40,5	0
40,5	49,5	-5
49,5	52	0

Zum Beispiel bedeutet die erste Zeile in Tabelle 2, dass die Neigung von Position 0 km bis Position 20,5 km 0 ‰ beträgt.

Negative Neigungen bedeuten bergab in Richtung zunehmender Kilometrierung.

6.4.1.2 Standorte der Bahnhöfe

Die Positionen der Bahnhöfe müssen sein wie in Tabelle 3 festgelegt und basieren auf der Darstellung in [Bild 2](#):

Tabelle 3 – Positionen der Bahnhöfe entlang der Strecke

Bahnhof	Position km
Bahnhof A	0
Bahnhof B	10
Bahnhof C	20
Bahnhof D	30
Bahnhof E	40
Bahnhof F	50

6.4.2 Zugverkehrsmodell

Das Zugverkehrsmodell, einschließlich des Fahrplans, muss sein wie in [Tabelle 4](#) festgelegt.