

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

Einsprüche bis 2018-01-17

 Ersatz für E DIN EN 50641
 (VDE 0115-641):2015-06

Entwurf
Bahnanwendungen –
Ortsfeste Anlagen –
Anforderungen für die Validierung von Simulationsprogrammen für die
Auslegung von Bahnenergieversorgungssystemen;
Deutsche Fassung prEN 50641:2017

Railway applications –

Fixed installations –

Requirements for the validation of simulation tools used for the design of traction power supply systems;

German version prEN 50641:2017

Applications ferroviaires –

Installations fixes –

Exigences relatives à la validation des outils de simulation utilisés pour la conception des systèmes d'alimentation de la traction;

Version allemande prEN 50641:2017

Anwendungswarnvermerk

Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2017-11-17 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal des DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 216 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn dieser Norm ist

Nationales Vorwort

Die Deutsche Fassung des europäischen Dokuments prEN 50641:2017 „Bahnanwendungen – Ortsfeste Anlagen – Anforderungen für die Validierung von Simulationsprogrammen für die Auslegung von Bahnenergieversorgungssystemen“ (Entwurf in der Umfrage) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden.

Da die Deutsche Fassung noch nicht endgültig mit der Englischen und der Französischen Fassung abgeglichen ist, ist die englische Originalfassung der prEN 50641:2017 beigelegt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen Text.

Das europäische Dokument prEN 50641:2017 „Railway applications – Fixed installations – Requirements for the validation of simulation tools used for the design of traction power supply systems“ wurde vom SC 9XC „Electric supply and earthing systems for public transport equipment and ancillary apparatus (Fixed installations)“ des Europäischen Komitees für Elektrotechnische Normung (CENELEC) erarbeitet und von CENELEC den Nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen späteren „Schluss-Entwurf“ prEN nur 2 Monate beträgt und zum „Schluss-Entwurf“ prEN keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der „Entwurf“ prEN als Deutscher Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit noch vor der formellen Abstimmung berücksichtigen zu können.

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.

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.

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden Deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Deutsche Fassung

**Bahnanwendungen –
Ortsfeste Anlagen –
Anforderungen für 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
traction power supply systems

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

Dieser Entwurf für eine Europäische Norm wird den CENELEC-Mitgliedern zur CENELEC-Umfrage vorgelegt.
CENELEC Termin: 2017-10-27

Er wurde von CLC/SC 9XC erstellt.

Wenn aus diesem Entwurf eine Europäische Norm wird, sind die CENELEC-Mitglieder 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.

Dieser Entwurf für eine Europäische Norm wurde von CENELEC in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch) erstellt. 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.

Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevanten Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Warnvermerk: Dieses Schriftstück hat noch nicht den Status einer Europäischen Norm. Es wird zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt. Es kann sich noch ohne Ankündigung ändern und darf nicht als Europäische Norm in Bezug genommen werden.



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

CEN-CENELEC Management Centre: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2017 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Projekt: 63218

Inhalt

Seite

Europäisches Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich	5
2 Normative Verweisungen	5
3 Begriffe	5
4 Symbole und Abkürzungen	7
5 Allgemeines	9
6 Beschreibung der Prüfung und der Modelle.....	12
6.1 Allgemeines	12
6.2 Gemeinsame Parameter	12
6.3 Festlegung der Zugverbände	13
6.3.1 Art des Zugverbandes und mechanische Eigenschaften.....	13
6.3.2 Zug- und Bremskrafteigenschaften	14
6.3.3 Strombegrenzung während des Fahrens.....	15
6.3.4 Strombegrenzung während der Nutzbremmung	16
6.3.5 Zusätzliche Informationen zu Modellen der Zugverbände	17
6.3.6 Höchste zulässige Geschwindigkeit des Zugverbandes	17
6.4 Parameter für Gleichstrommodelle.....	18
6.4.1 Streckentrassierungsmodell	18
6.4.2 Modell des Zugverkehrs	19
6.4.3 Modell der elektrischen Infrastruktur	19
6.5 Parameter für Gleichstrommodelle.....	21
6.5.1 Streckentrassierungsmodell	21
6.5.2 Modell des Zugverkehrs	22
6.5.3 Modell der elektrischen Infrastruktur	22
6.5.4 Transformatormodell	23
6.5.5 Komplement- und Mehrleitermodell der elektrischen Wechselstrom-Infrastruktur	24
7 Plausibilität von erwarteten Ausgaben	26
7.1 Allgemeines	26
7.2 Validierung eines gefahrenen Fahrplans.....	26
7.3 Validierung von Zugfahrten	27
7.4 Validierung von Ergebnissen des Unterwerks	30
8 Verifizierung von erwarteten Ausgaben	31
8.1 Allgemeines	31
8.2 Ergebnisse bezüglich der Züge.....	31
8.3 Ergebnisse bezüglich der Unterwerke.....	33
9 Validierung mit simulierten Ergebnissen	34
10 Bewertung	36

Anhang A (normativ) Infrastruktur bei Nennbedingungen, Ausgabeergebnisse für Züge: Grenzwerte für die Validierung.....	37
Anhang B (normativ) Infrastruktur bei Nennbedingungen, Ausgabeergebnisse für Unterwerke: Grenzwerte für die Validierung.....	52
Anhang C (normativ) Ausfalls eines Unterwerks, Ausgabeergebnisse für Züge: Grenzwerte der Validierung	58
Anhang D (normativ) Ausfalls eines Unterwerks, Unterwerksergebnisse: Grenzwerte für die Validierung	71
Anhang E (normativ) Individuelle Graphen für jede(s) System und Infrastruktur für eine Betriebsbedingung	77
Anhang ZZ (informativ) Zusammenhang zwischen dieser Europäischen Norm und den grundlegenden Anforderungen der Richtlinie EU 2008/57/EG	107

Europäisches Vorwort

Dieses Dokument (prEN 50641:2017) wurde von dem Technischen Komitee CLC/TC 9XC „Electric supply and earthing systems for public transport equipment and ancillary apparatus (Fixed installatios)“ ausgearbeitet.

Das vorliegende Dokument wird derzeit der Umfrage unterzogen.

Nachstehende Daten werden vorgeschlagen:

- spätestes Datum, zu dem das Vorhandensein der Änderung auf nationaler Ebene angekündigt werden muss (doa): dor + 6 Monate
- spätestes Datum, zu dem die Änderung auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): dor + 12 Monate
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der Änderung entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): dor + 36 Monate
(bei der Abstimmung zu bestätigen oder zu ändern)

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.

1 Anwendungsbereich

Diese Europäische Norm beschreibt Anforderungen an die Abnahme von Simulationsprogrammen für die Beurteilung der Auslegung von Bahnenergieversorgungssystemen.

Die Simulationsergebnisse ermöglichen die Berechnung des/der durch EN 50388:2012, Abschnitt 8, geforderten Qualitätsindexes/-indexe.

Diese Europäische Norm ist anwendbar für die Simulation von Wechsel- und Gleichstrom-Bahnenergieversorgungssystemen, einschließlich für die in den TSI festgelegten Strecken.

Diese Europäische Norm behandelt nicht die Validierung von Simulationsprogrammen durch Messungen.

Die geforderten Mindestfunktionalitäten werden in dieser Europäischen Norm festgelegt (Abschnitte 5, 6, 7 und 8). Die vorausgehende Feststellung gilt unabhängig davon, wie viele zusätzliche Funktionen das Simulationsprogramm hat, z. B. Energieeffizienz, erweiterte regenerative Bremsung, Berechnung von Belastungswinkeln usw.

ANMERKUNG Es wird ein Entwurf für einen neuen Prüffall erarbeitet, bei dem U-Bahnen, Straßenbahnen und Oberleitungsbusse mit Verwendung von 600 V – 750 V Gleichstrom berücksichtigt werden. Bis dieser Prüffall verfügbar ist, kann diese Norm auch auf Systeme von U-Bahnen, Straßenbahnen und Oberleitungsbusse angewendet werden. Dieser Prüffall wird auch Eisenbahnsysteme mit Verwendung von 750 V einbeziehen.

Darüber hinaus wird mit der Anwendung dieser Norm sichergestellt, dass die Ausgabedaten der verschiedenen Simulationsprogramme konsistent sind, wenn sie denselben Satz von Eingabedaten verwenden.

Diese Europäische Norm gilt ausschließlich für die Simulation der Kennwerte von Bahnenergieversorgungssystemen bei ihrer Nennfrequenz für Wechsel- oder Gleichstromsysteme. Sie gilt nicht für Studien hinsichtlich Oberschwingungen, elektrischer Sicherheit oder elektromagnetischer Verträglichkeit über ein breites Frequenzspektrum.

Diese Europäische Norm ordnet nicht die Verwendung eines bestimmten Simulationsprogramms für die Validierung der Auslegung eines Bahnenergieversorgungssystems an.

Diese Norm dient nicht dazu, die Notwendigkeit der Erfahrung eines qualifizierten Konstrukteurs für Stromversorgungen und der Erfüllung anderer Normen, z. B. EN 50388 zu umgehen.

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, *Railway applications – Supply voltages of traction systems*

EN 50388:2012, *Railway Applications – Power supply and rolling stock – Technical criteria for the coordination between power supply (substation) and rolling stock to achieve interoperability*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach EN 50163:2004, EN 50388:2012 und die folgenden Begriffe.

3.1

Gutachter

unabhängige(r) Dritte(r), der (die) eine Konformitätsbewertung durchführt

Anmerkung 1 zum Begriff: Im TSI wird dieser „Benannte Stelle“ (NoBo; en: Notified Body) genannt.

3.2

Simulationsgenauigkeit

Indikatoren, die der Charakterisierung der Genauigkeit der Simulationsausgabe für eine Referenz (Messwert oder theoretisches Modell) in einem bestimmten Fall zugeordnet sind

3.3

Simulationsverfahren

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

3.4

Simulationsprogramm

Software für die Umsetzung eines oder mehrerer Simulationsverfahren

3.5

Bahnenergieversorgungssystem

elektrisches Bahnstromsystem, um Energie für Schienenfahrzeuge bereitzustellen

3.6

Zugverband

Kombination von Schienenfahrzeugen

3.7

Zugverbandsmodell

Modell zur Beschreibung der elektrischen und mechanischen Eigenschaften des Zugverbandes

3.8

Zugverkehrsmodell

Modell des Zugsinsatzes und des Fahrplans für einen bestimmten Zeitraum

3.9

Streckentrassierungsmodell

Modell zur Beschreibung der physikalischen Eigenschaften der Strecke wie beispielsweise Kurven, Tunnel und Neigungen

3.10

Verifizierung

Bestätigung durch Überprüfung sowie Bereitstellung des objektiven Nachweises, dass die festgelegten Anforderungen erfüllt worden sind

Anmerkung 1 zum Begriff: Während Konformitätsbewertung in dieser Norm als der allgemeine Begriff verwendet wird, wird unter Verifizierung üblicherweise die Bewertung von Modellen und Datenanalysen verstanden, und die Verwendung dieses Begriffes ist spezifischer als die des allgemeinen Begriffes Konformität.

3.11

Validierung

Bestätigung durch Überprüfung sowie Bereitstellung des objektiven Nachweises, dass das Produkt, das System oder der Prozess für einen spezifischen Verwendungszweck geeignet ist

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

3.12

Software-Qualitätsmanagement

Ein Managementsystem für eine Software, die aktualisiert wird, das die folgenden Prozesse umfasst:

- Software-Entwicklungsprozess, einschließlich der Schritte Entwicklungsauftrag, Softwareprüfung und Freigabe;
- Lebenszyklus-Prozess mit dem Plan der schrittweisen Freigabe, Versionierung mit Codeschutz und Änderungsprotokoll, Fehlerverfolgung, Dokumentation (Betriebsanleitung, Hilfesystem, Entwicklerleitfaden, sofern vorhanden)

3.13

Antragsteller

Organisation, die die Simulation und Validierung vorschlägt Dies sind üblicherweise die Softwareeigentümer und/oder -entwickler

4 Symbole und Abkürzungen

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

A	Koeffizient eines geschwindigkeitsunabhängigen Fahrwiderstands (en: coefficient of running resistance independent of speed)
a	Kniepunkt-Faktor (siehe EN 50388:2012 7.2) (en: knee point factor)
AT	Autotransformator (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 (en: Coefficient of running resistance for linear dependence of speed)
C	Koeffizient eines Fahrwiderstands für quadratische Abhängigkeit von der Geschwindigkeit (en: Coefficient of running resistance for quadratic dependence of speed)
CLS	Fahrleitungsanlage (Oberleitung oder Stromschiene) (en: Contact Line System)
$\cos \varphi$	Leistungsfaktor für die Traktions- und Hilfsenergie
EMU	Elektrischer Triebzug (en: Electrical Multiple Unit)
F	Zugkraft (en: Tractive Effort)
F_m	höchste Zugkraft (en: maximum tractive effort)
FR	Güterzug (en: Freight Train set)
F_{res}	Fahrwiderstand (en: running resistance)
HS	Hochgeschwindigkeitszug (en: High speed train set)
	diese Bezeichnung wird als allgemeiner Begriff verwendet und bezieht sich nicht auf die in der Richtlinie 2008/57/EG angegebene Definition
I	Strom
I_{aux}	Strom für Hilfsausrüstungen des Zugverbands (z. B. Klimaanlage)

I_{braking}	Bremsstrom des Zugverbands (en: Braking current of the train set)
I_{max}	höchster vom Zugverband bei U_n aufgenommener Strom
Ind	induktives Verhalten
N/A	Nicht anwendbar
P_{aux}	Hilfs-Wirkleistung (en: Auxiliary active power)
P_{max}	Höchste mechanische Leistung (en: maximum mechanical power)
PP	Parallel-Schaltstelle (en: Paralleling Post)
R_{eq}	innerer Ersatzwiderstand eines Unterwerks (en: Equivalent internal resistance of a substation)
SP	Trennstelle (en: Sectioning Point)
SS	Unterwerk einschließlich Parallelschaltung von CLS (en: Substation including paralleling of CLS)
SUB	S-Bahn-Zug (en: Suburban train set)
TSI	Technische Spezifikation für Interoperabilität (en: Technical Specification of Interoperability)
U_{di0}	Leerlaufspannung am Unterwerk bei einem Gleichstrom-Bahnenergieversorgungssystem
U_0	Leerlaufspannung am Unterwerk bei einem Wechselstrom-Bahnenergieversorgungssystem
U_{cc}	Kurzschlussspannung an einem Transformator
UIC60	Bahnprofil mit einer Masse von 60 kg/m
U_{max1}	höchste dauerhafte Spannung (siehe EN 50163:2004)
U_{max2}	höchste nicht dauerhafte Spannung (siehe EN 50163:2004)
$U_{\text{mean useful}}$	mittlere nutzbare Spannung (siehe EN 50388:2012, Clause 8.2) (en: mean useful voltage)
U_{min2}	niedrigste nicht dauerhafte Spannung (siehe EN 50163:2004)
U_n	Nennspannung für ein bestimmtes elektrisches Versorgungssystem
U_p	Spannung am Stromabnehmer (en: Current collector voltage)
v	Geschwindigkeit in km/h
v_1	Übergangsgeschwindigkeit 1 (Übergang von Haftreibungskennlinie auf Kennlinie höchster Spannung beim Fahren) (en: transfer from adhesion characteristic to maximum voltage characteristic of drive)
v_2	Übergangsgeschwindigkeit 2 (Übergang von Kennlinie höchster Spannung auf Kennlinie der Drehzahlbegrenzung) (en: transfer from maximum voltage characteristic to torque limitation characteristic of drive)

v_3	höchste Geschwindigkeit
$v_{\max}$	höchste zulässige Geschwindigkeit (Strecke, Zugverband)
Z_{TR}	Transformatorimpedanz (en: transformer impedance)
η	Traktions-/Bremswirkungsgrad
μ_r	Relative Permeabilität

5 Allgemeines

Theoretische Untersuchungen hinsichtlich der Wechselwirkungen zwischen dem Betrieb der Schienenfahrzeuge und dem Stromversorgungssystem mit Hilfe einer Computersimulation werden im Allgemeinen verwendet, um ausführliche 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 Umfang der Simulation sollte daher im Voraus festgelegt werden, wobei die möglichen Versorgungssysteme zu berücksichtigen sind (siehe [Bild 1](#)).

Der Bewertungsprozess der Simulation ist zweigeteilt. Erstens muss ein Validierungsprozess ausgeführt werden, in welchem spezifische Kennlinien des Ergebnisdiagramms der wesentlichen Simulation verglichen werden, um das Leistungsvermögen der Simulation bei kritischen Ereignissen zu validieren. Zweitens muss die quantitative Verifizierung der Simulation bewertet werden, indem wesentliche berechnete Werte mit den in der vorliegenden Norm angegebenen Werten verglichen werden. Der in der vorliegenden Europäischen Norm festgelegte Validierungsprozess beruht auf einer Verifizierung, bei der ein festgelegtes Benchmark-Beispiel eines Bahnenergieversorgungssystems verwendet wird und ein allgemeiner Satz von Eingabedaten, der die Infrastruktur (einschließlich Standorte der Bahnhöfe, Neigungen, Geschwindigkeitsbeschränkungen), die Arten der Zugverbände und den Fahrplan berücksichtigt.

In diesen Fällen mit einpoligen 15-kV- und 25-kV-Systemen werden in der Norm derzeit nur Ergebnisse für die Modellierung mit konzentrierter Impedanz verwendet. Die Verwendung von Mehrleitermodellen ist für den AT-Fall vorgesehen. In der Tabelle zur gegenseitigen Anerkennung in [Abschnitt 9](#) ist die implizite Validierung mit anderen Systemen angegeben.

ANMERKUNG Es wird erwartet, dass dies zukünftig erweitert wird, um Mehrleitermodelle für alle Wechselstromsysteme abzudecken.

Um eine annehmbare Validierung eines Simulationsprogramms zu erreichen, müssen die Ergebnisse des Simulationsprogramms mit den Ausgabeergebnissen verglichen werden, die in dieser Europäischen Norm gemäß den in den Anhängen A bis D beschriebenen Kriterien angegeben sind.

Um das Simulationsprogramm vertrauensvoll anzuwenden, muss es anfangs 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 Befolgung der in [Bild 1](#) dargestellten Schritte durchgeführt werden.

Kernfunktionen des Simulationsprogramms sind die Algorithmen zum:

- Lösen der Differenzialgleichungen bezüglich der Bewegung des Zugverbandes, die bei dem/den Stromabnehmer(n) zu einem Energiebedarf führt;
- Berechnen des Lastflusses (Strom-Spannung) des elektrischen Netzes mit den wechselnden, von den sich bewegendenden Lasten verursachten Konfigurationen, wobei der berechnete Zugspannungspegel einen Wert aufweist, der das mechanische Leistungsvermögen des Zuges beeinflusst (verringert), und Imple-

mentieren einer Rückkopplung zur Beeinflussung der Bewegung des Zugverbandes einschließlich Wiederholungen, sofern erforderlich.

Jede Änderung dieser Funktionen stellt eine Änderung einer Kernfunktionalität dar. Aus der Einbeziehung dieser Kernfunktionen an dieser Stelle ist jedoch nicht zu schlussfolgern, dass diese Funktionen einer spezifischen Bewertung unterzogen werden: der Validierungsprozess ist auf der Grundlage des Vergleichs der Ergebnisse gemäß der vorliegenden Norm durchzuführen. Siehe [Abschnitt 9](#) der vorliegenden Norm.

Die Validierungsprozesse der vorliegenden Norm müssen für die Annahme eines Simulationsmodells als allein ausreichend erachtet werden, vorausgesetzt, dass sie auf die Version eines Modells angewendet wurden, die für die Verwendung bei einer Auslegung eines Bahnenergieversorgungssystems vorgeschlagen wurde. Wenn geringfügige Verbesserungen implementiert werden, dürfen diese alternativ intern durch die Organisation, die Eigentümer des Modells ist, gemäß der vorliegenden Norm anerkannt werden, ohne einen weiteren Nachweis der Validierung, vorausgesetzt, dass die Organisation ein Software-Qualitätssicherungssystem gemäß geeigneter Normen implementiert hat. In diesem Sinne wird eine geringfügige Verbesserung als eine beliebige Änderung erachtet, die keine wesentlichen numerischen Algorithmen der Simulation ändert.

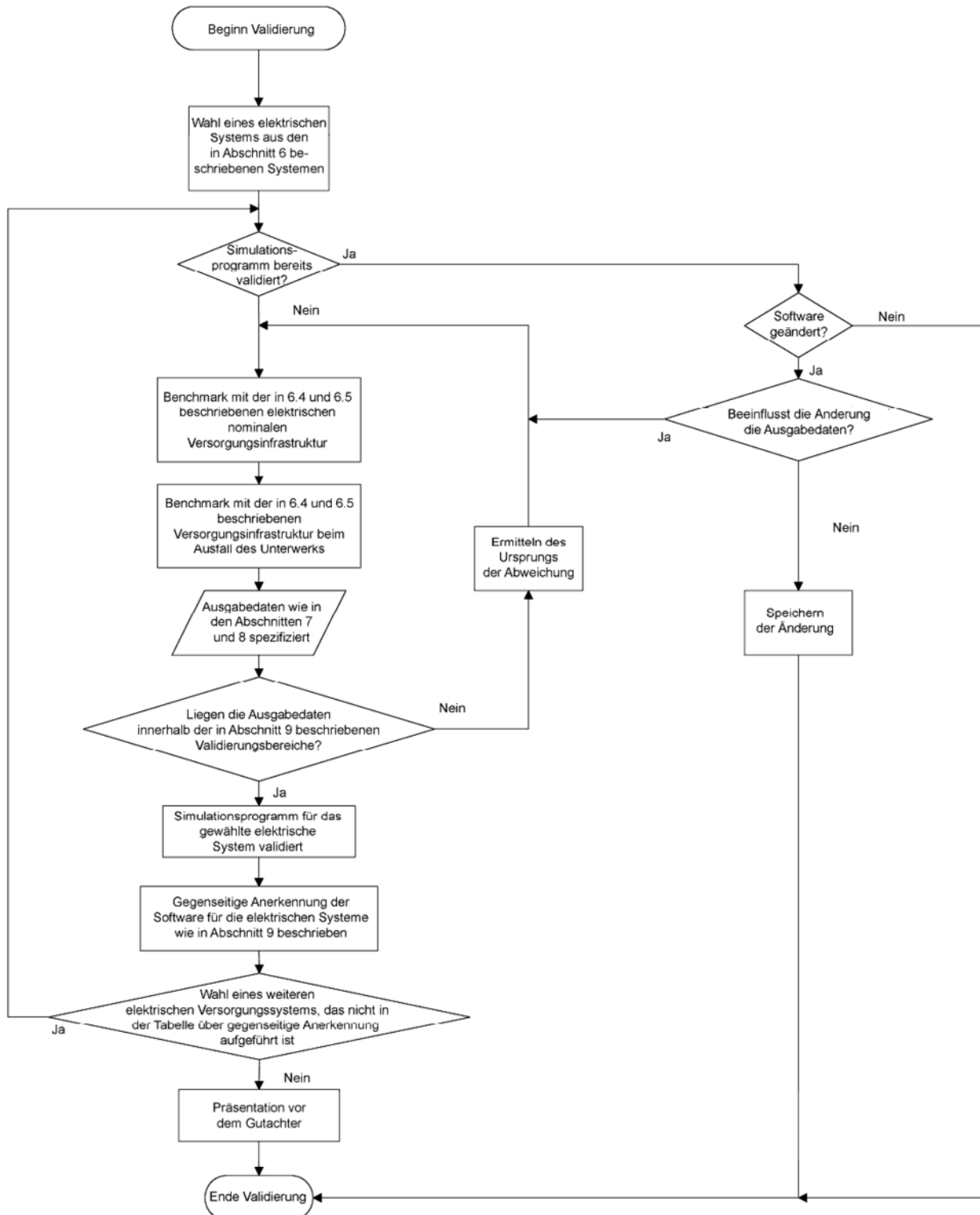


Bild 1 – Validierungsschritte

6 Beschreibung der Prüfung und der Modelle

6.1 Allgemeines

Für Wechsel- und Gleichstromsysteme gemeinsame Parameter werden in 6.2 und 6.3 aufgeführt. Für Gleich- bzw. Wechselstromsysteme spezifische Parameter werden 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 verschiedenen Versorgungssysteme einige Unterschiede gibt, bleiben einige Parameter bei allen Prüffällen identisch:

- Fahrplan des Verkehrs;
- Zugverband.

Die höchste Betriebsgeschwindigkeit der Strecke beträgt 200 km/h für alle Arten von Zügen.

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

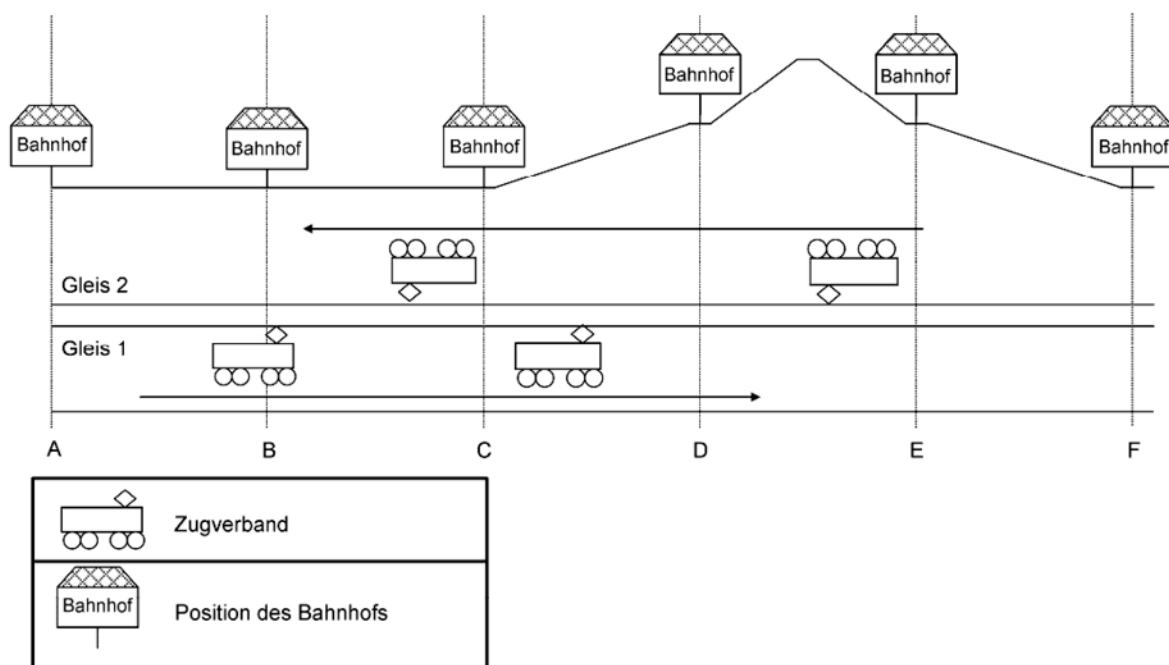


Bild 2 – Allgemeine Beschreibung des Prüffalles

Drei verschiedene Arten von Zügen werden für den gesamten Prüffall festgelegt:

- a) HS Hochgeschwindigkeitszug;
- b) SUB S-Bahn-Zug;
- c) FR Güterzug.

6.3 Festlegung der Zugverbände

6.3.1 Art des Zugverbandes und mechanische Eigenschaften

Die mechanischen Eigenschaften für die folgenden drei verschiedenen Arten von Zugverbänden werden nachgenannt für diesen Prüffall festgelegt:

- a) Hochgeschwindigkeitszug (HS): Lokomotive und Wagen;
- b) S-Bahn-Zug (SUB): EMU;
- c) Güterzug (FR): Lokomotive und Wagen.

Die Parameter sind in Tabelle 1 festgelegt.

Tabelle 1 – Mechanische Eigenschaften und Traktionseigenschaften 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 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 ^a am Stromabnehmer (Traktions-/Brems- und Hilfsausrüstungen)	–	0,96 ind.	0,96 ind.	0,96 ind.
Hilfs-Wirkleistung 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
Wagen/Waggon	–	10	–	25
Höchste zulässige Verzögerung	m/s ²	0,8	1	0,5
Länge ^b	m	265	150	315
^a Ausschließlich auf Wechselstromfälle anwendbar; bei Gleichstromfällen beträgt der Leistungsfaktor 1.				
^b Längen sind zur Information angegeben.				

Die individuellen Parameter für die Lokomotiven der HS- und FR-Zugverbände sind wie folgt:

- Masse: 80 t;
- Länge: 15 m.

ANMERKUNG 1 Längen sind zur Information angegeben.

Der Fahrwiderstand wird unter Verwendung dieser Formel festgelegt: $F_{\text{res}} = A + B \times v + C \times v^2$, 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-Zugverband für den gesamten Zugverband bereitgestellt wird, und dass die zwei kombinierten Einheiten daher eine Gesamt-Zugkraft von 320 kN aufweisen;
- der Haftreibungswert nicht genannt wird, 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;
- die Länge des SUB-Zugverbandes für zwei Einheiten bereitgestellt wird, sodass die Länge einer Einheit 75 m beträgt;
- das Massemodell des Zugverbandes konzentriert ist.

ANMERKUNG 2 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 zu den Rädern, wobei die Leistung der Hilfsausrüstung 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 Strombegrenzung verursacht wird, wie in [6.3.3](#) festgelegt.

6.3.2 Zug- und Bremskrafteigenschaften

Die Zugkraft des verwendeten Zugverbandes wird entsprechend einer genormten, auf die Geschwindigkeit (v) bezogenen Zugkraft (F) festgelegt, die gemäß einer Reihe von Parametern festgelegt wird. Das Modell und die Parameter werden im Folgenden in [Bild 3](#) festgelegt.

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

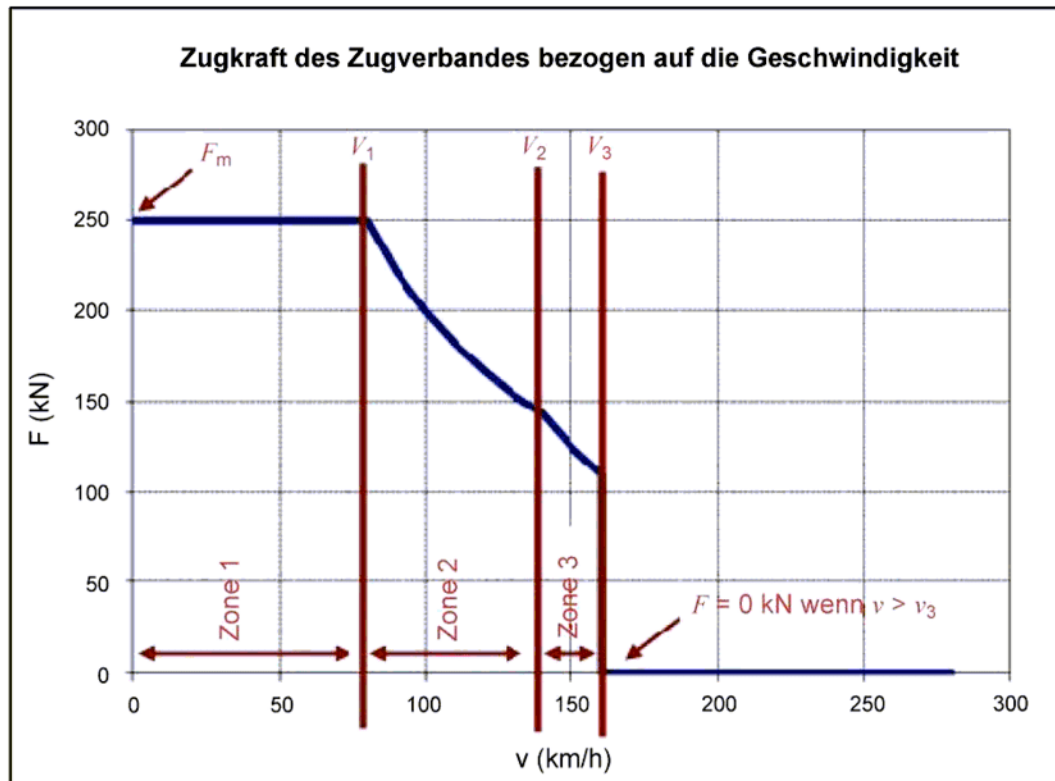


Bild 3 – Beispiel für ein Diagramm der Zugkraft für einen Zugverband bei Nennspannung

Gemäß Bild 3 ist das Verhalten der höchsten Zugkraft dann:

- 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 genannt.

6.3.3 Strombegrenzung während des Fahrens

Gemäß EN 50388:2012, 7.2, muss die Strombegrenzung bezogen auf den Spannungspegel lediglich für die Betriebsart Fahren (und nicht für die Nutzbremsung) berücksichtigt werden. Bild 4 ist typisch für den begrenzten Strom:

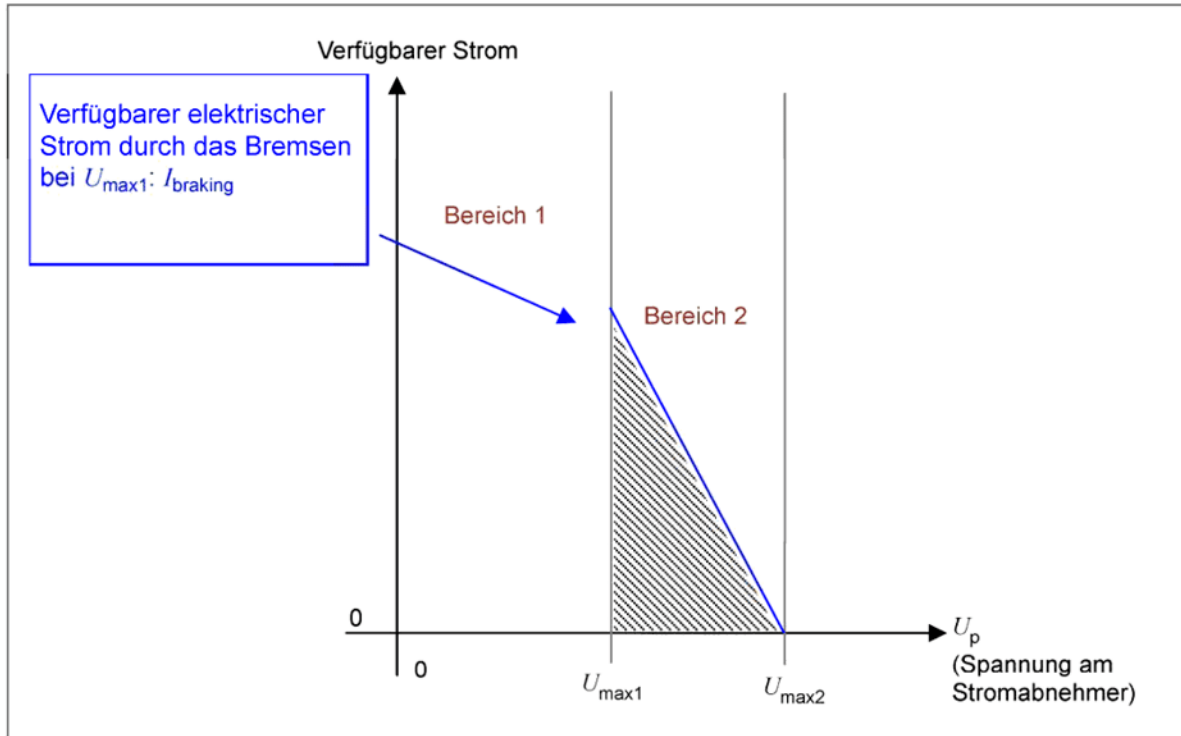


Bild 5 – Nutzbremsung, Strombegrenzung bezogen auf die Spannung am Stromabnehmer

I_{braking} ist festgelegt als:

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

Dabei

- muss η mit 85 % angesetzt werden, gemäß dem in 6.3.1 genannten Wert;
- ist P_{max} die höchste verfügbare mechanische Leistung, die durch die Nutzbremskraft in der Bremsphase bereitgestellt wird;
- ist I_{braking} der Strom am Stromabnehmer;
- gibt es in Bereich 1 keine Begrenzung des regenerativen Stroms;
- ist im Bereich 2 die Verringerung des verfügbaren regenerativen Stroms zwischen U_{max1} und U_{max2} streng linear.

6.3.5 Zusätzliche Informationen zu Modellen 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.

6.3.6 Höchste zulässige Geschwindigkeit des Zugverbandes

- HS/Zugverband $v_{\text{max}} = 220 \text{ km/h}$;
- SUB/Zugverband $v_{\text{max}} = 160 \text{ km/h}$;
- FR/Zugverband $v_{\text{max}} = 100 \text{ km/h}$;

6.4 Parameter für Gleichstrommodelle

6.4.1 Streckentrassierungsmodell

6.4.1.1 Neigung der Strecke

Die Neigung der Strecke ist in Tabelle 2 festgelegt, beruhend auf der in [Bild 2](#) getroffenen Festlegung.

Tabelle 2 – Festlegung 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 von Position 0 km bis Position 20,5 km die Neigung 0 ‰ beträgt.

Negative Neigungen bedeuten Bergabfahrt in Richtung zunehmender Position.

6.4.1.2 Standorte der Bahnhöfe

Die Positionen der Bahnhöfe entsprechen den Festlegungen in [Bild 2](#), wobei die Werte hierzu in Tabelle 3 angegeben sind:

Tabelle 3 – Positionen der Bahnhöfe auf der Strecke

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

Tabelle 5 – Eigenschaften der elektrischen Infrastruktur

Bahn- energie- versor- gungs- system	Bahnhof	A		B		C		D		E		F
DC/ 1,5 kV	Position (km)	0,0	7,5	10,0	15,0	20,0	22,5	30,0	32,5	40,0	45,0	50,0
	Bestimmungs- gemäßer Betrieb	SS	PP	SS	SS	SS	PP	SS	PP	SS	SS	SS
	Ausfall Unter- werk	SS	PP	SS	SS	SS	PP	PP	PP	SS	SS	SS
	CLS	Dauerhafte Parallelschaltung des CLS jedes Gleises nur in SS und PP 29,5 mΩ/km je Gleis										
	Gleis	Gleiswiderstand: 20 mΩ/km je Gleis, falls Schiene/Gleis nicht dauerhaft parallel geschaltet ist, ist Schiene/Gleis alle 250 m parallel zu schalten										
	Besonderheit	Kein Erdungskabel, Schienen nicht geerdet										
DC/ 3 kV	Position (km)	0,0		10,0		20,0			33,0		45,0	
	Bestimmungs- gemäßer Betrieb	SS		PP		SS			PP		SS	
	Ausfall Unter- werk	SS		PP		PP			PP		SS	
	CLS	Dauerhafte Parallelschaltung des CLS jedes Gleises nur in SS und PP 59 mΩ/km je Gleis										
	Gleis	Gleiswiderstand: 20 mΩ/km je Gleis, falls Schiene/Gleis nicht dauerhaft parallel geschaltet ist, ist Schiene/Gleis alle 500 m parallel zu schalten										
	Besonderheit	Kein Erdungskabel, Schienen nicht geerdet										
Legende												
CLS		Fahrleitungsanlage										
PP		Standort der Parallel-Schaltstelle										
SS		Standort des Unterwerks, einschließlich des Parallelschaltens										

Die Gleisnummerierung ist in [Bild 2](#) festgelegt und kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Gleis 1: zunehmende km;
- Gleis 2: abnehmende km.

Für direkte Verbindungen mit vernachlässigbarem Widerstand darf ein Widerstandswert von 0,1 mΩ angenommen werden, falls ein Wert ausdrücklich vom Simulationsprogramm gefordert wird.

Die Ersatzschaltung der Spannungsquelle für ein Gleichstromunterwerk ist in [Bild 6](#) dargestellt:

Tabelle 7 – Positionen der Bahnhöfe entlang der Strecke

Bahnhof	Position km
Bahnhof A	0
Bahnhof B	20
Bahnhof C	40
Bahnhof D	60
Bahnhof E	80
Bahnhof F	100

Bahnhöfe müssen Vorbeifahren und Kreuzen von Zügen zulassen.

6.5.2 Modell des Zugverkehrs

Das Modell des Zugverkehrs, einschließlich des Fahrplans, ist in Tabelle 8 festgelegt.

Tabelle 8 – Fahrplanfestlegung

Zug Nr.	Art des Zugverbandes	Abfahrtsposition	Abfahrtszeit hh:mm	Endposition	Zusätzliche Informationen
101	HS	Bahnhof A (0 km)	00:00	Bahnhof F	
201	SUB	Bahnhof A (0 km) Bahnhof B (20 km) Bahnhof C (40 km) Bahnhof D (60 km) Bahnhof E (80 km)	00:05 00:24 00:38 00:52 01:06	Bahnhof F	Halt an jedem Zwischenbahnhof Mindestaufenthaltszeit an jedem Bahnhof: 1 min
103	HS	Bahnhof A (0 km)	00:30	Bahnhof F	
301	FR	Bahnhof A (0 km)	00:35	Bahnhof F	
102	HS	Bahnhof E (100 km)	00:10	Bahnhof A	
104	HS	Bahnhof E (100 km)	00:40	Bahnhof A	

Die folgenden zusätzlichen Informationen sind zu verwenden:

- alle Züge müssen die kürzeste Fahrzeit verwenden;
- es bestehen feste Abfahrtszeiten für alle Bahnhöfe und eine feste Mindestaufenthaltszeit von 1 min bei Verspätung;
- nach der Ankunft am letzten Bahnhof wird der Zug unverzüglich aus der Simulation entfernt;
- es gibt keine Aufenthaltszeit am ersten und am letzten Bahnhof (außer wenn es aus Sicht der Durchführung zweckdienlich ist);
- jeder Zug muss am Bahnhof F sowie am Bahnhof A halten;
- alle Züge beginnen mit einer Geschwindigkeit von 0 km/h;
- es gibt keine Einschränkungen der Zugfahrt aufgrund von Signaltechnik.

6.5.3 Modell der elektrischen Infrastruktur

Die verschiedenen Infrastrukturkonfigurationen werden für jede Art von Bahnenergieversorgungssystemen definiert, wobei folgende Eigenschaften in [Tabelle 9](#) festgelegt sind.

In Wechselstromsystemen werden die Daten für die Schiene nicht verwendet und sind lediglich informativ, wenn das Modell der konzentrierten Impedanz verwendet wird.

Tabelle 9 – Eigenschaften der elektrischen Infrastruktur

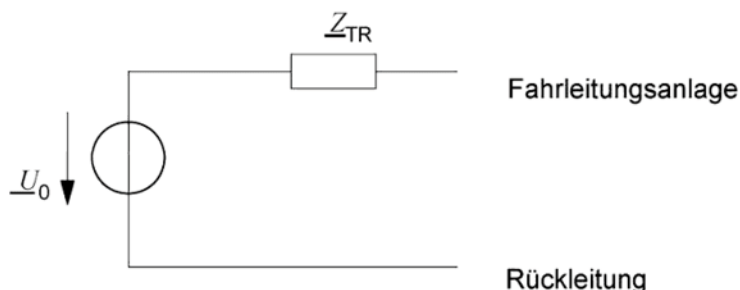
System	Bahnhof	A	B	C		D	E	F
	Position (km)	0,00	20,00	40,00	50,00	60,00	80,00	100,00
AC/15 kV 16,7 Hz	Bestimmungsgemäßer Betrieb	SS	PP	PP	PP	PP	PP	SS
	Ausfall Unterwerk	SS	PP	PP	PP	PP	PP	PP
	CLS und Schleifenwiderstand der Schiene	Konzentrierte Impedanz für ein Gleis: (0,1 + j.0,1) Ω/km Dauerhafte Parallelschaltung des CLS jedes Gleises nur in SS und PP						
AC/25 kV 50 Hz	Normalbetrieb	SS	PP	PP	SP und PP	PP	PP	SS
	Ausfall Unterwerk	SS	PP	PP	PP	PP	PP	PP
	CLS und Schleifenwiderstand der Schiene	Konzentrierte Impedanz für ein Gleis: (0,15 + j.0,45) Ω/km Dauerhafte Parallelschaltung der CLS jedes Gleises nur in SS und PP						
AC/(2 × 25) kV 50 Hz	Bestimmungsgemäßer Betrieb	SS	ATPP	ATPP		ATPP	ATPP	ATPP
	Ausfall des Autotransformators	SS	ATPP	ATPP		ATPP	PP	
	CLS und Rückleitung	Siehe Tabelle 10 und Bild 8 Dauerhafte Parallelschaltung der CLS jedes Gleises nur in SS, PP und ATPP Parallelschalten und Verbinden von Schienen alle 250 m Erdungswiderstand des Unterwerks beträgt 1 Ω						
	ANMERKUNG Angabe der Ergebnisse für „Ausfall des Autotransformators“ unter Berücksichtigung von PP für D, PP für E; ATPP für F. Sofern keine Ergebnisse für die vorgenannt gegebene Situation verfügbar sind, sind stattdessen PP, PP und ATPP für D, E und F zu verwenden.							
	Legende							
AT Autotransformator-Standort mit einem AT. AT-Werte sind in 6.3.13 angegeben.								
CLS Fahrleitungsanlage								
PP Standort der Parallel-Schaltstelle								
SP Trennstelle (en: Sectioning Point)								
SS Standort des Unterwerks. einschließlich des Parallelschaltens								

Die Gleisnummerierung ist in [Bild 2](#) festgelegt und kann wie folgt zusammengefasst werden:

- Gleis 1: zunehmende km;
- Gleis 2: abnehmende km.

6.5.4 Transformatormodell

Ein einfaches konzentriertes Transformatormodell entsprechend der Darstellung in [Bild 7](#) muss verwendet werden.



Legende

U_0 Leerlaufspannung am Unterwerk bei einem bestimmten elektrischen Versorgungssystem

Z_{TR} Transformatorimpedanz

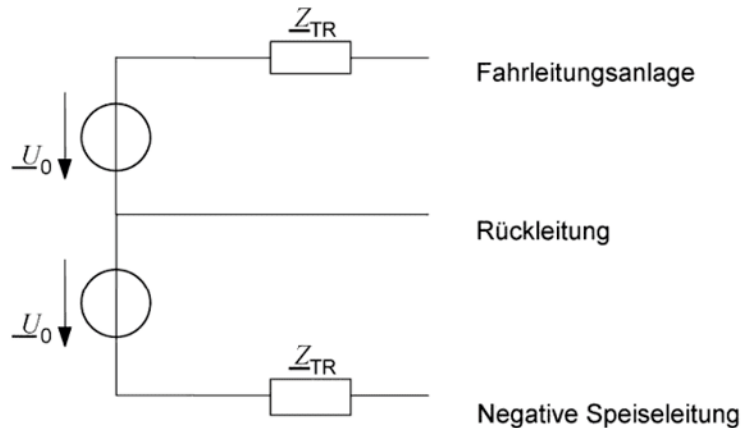
Bild 7 – Transformatormodell für ein Standardsystem

Als Leerlaufspannung jedes Unterwerks muss der als $U_{\max 1}$ in EN 50163 genannte Wert verwendet werden.

Gemäß Bild 7 müssen die Werte für jedes System dem Folgenden entsprechen:

- AC/15 kV – 16,7 Hz: $Z_{TR} = (0,05 + j 0,5) \Omega$ und $U_0 = 16,5$ kV,
- AC/25 kV – 50 Hz: $Z_{TR} = (0,2 + j 2) \Omega$ und $U_0 = 27,5$ kV.

Im Fall von (2×25) kV – 50 Hz: $Z_{TR} = (0,2 + j \cdot 2) \Omega$, $U_0 = 27,5$ kV gemäß Bild 8. Ein spezifisches Modell ist für (2×25) kV – 50 Hz zu verwenden, wie in Bild 8 dargestellt. Das in Bild 8 angegebene Modell bezieht sich auf die Ersatz-Transformatorimpedanz Z_{TR} betrachtet von der Sekundärwicklungsseite.



Legende

U_0 Leerlaufspannung am Unterwerk bei einem bestimmten elektrischen Versorgungssystem

Z_{TR} Transformatorimpedanz

Bild 8 – Transformatormodell für ein Unterwerk mit (2×25) kV – 50-Hz-System

ANMERKUNG 1 Das in Bild 8 angegebene Modell schließt die Impedanz der Primärwicklung ein.

ANMERKUNG 2 Die Richtung der Pfeile ist in prEN 50388–1 erläutert.

6.5.5 Komplement- und Mehrleitermodell der elektrischen Wechselstrom-Infrastruktur

Zwischen zwei elektrischen Abschnitten (z. B.: für Systeme 25 kV – 50 Hz und (2×25) kV – 50 Hz) darf keine Länge für den neutralen Abschnitt verwendet werden.

Bei Wechselstromsystemen kann gewählt werden, ob ein Modell der konzentrierten Impedanz oder ein Mehrleitermodell verwendet wird. Die Wahl zwischen dem Modell der konzentrierten Impedanz oder dem Mehrleitermodell führt zu unterschiedlichen Ergebnissen. Ein genauer Vergleich zwischen den zwei Modellarten kann daher nicht vorgenommen werden.

Beim Mehrleitermodell muss die in Bild 9 dargestellte Geometrie angewendet werden, wobei die in Tabelle 10 genannten Leiterkenngrößen zu verwenden sind.

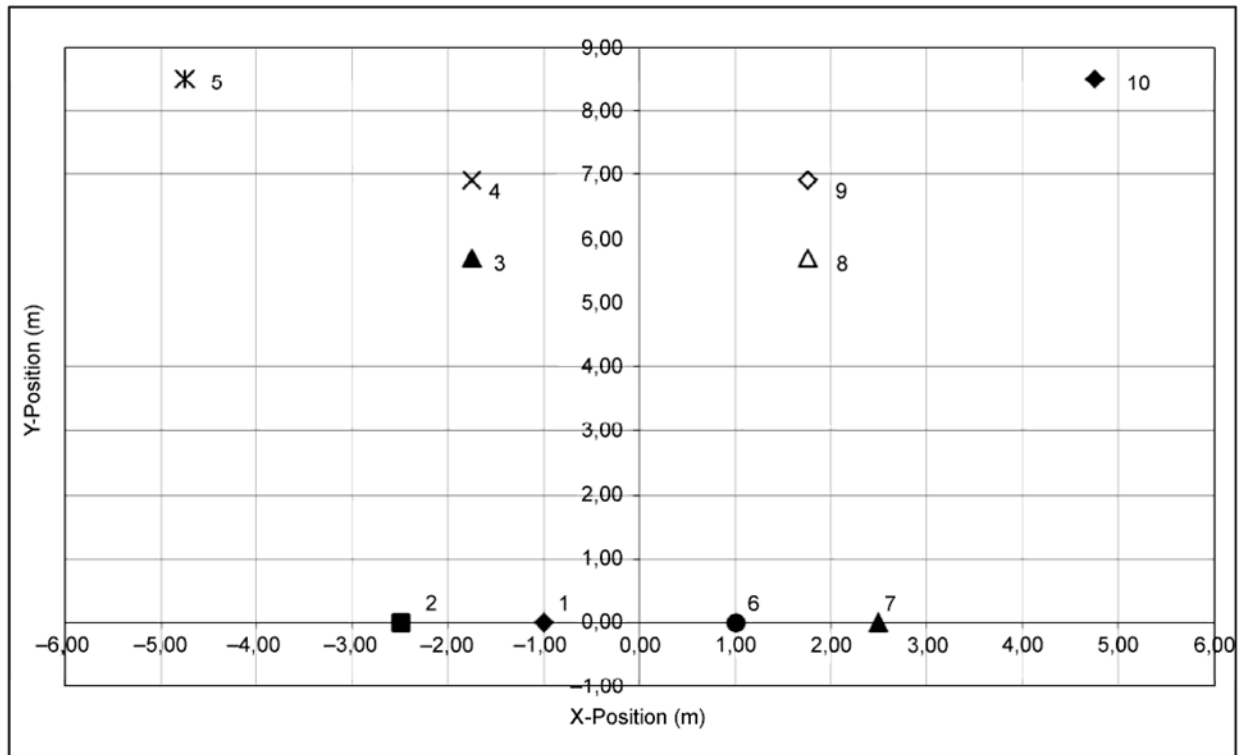


Bild 9 – Geometrie von Wechselstromleitern (nur Wechselstrommodell)

Beruhend auf Bild 9 sind nachgenannt in Tabelle 10 die Kenngrößen für jeden Leiter angegeben:

Tabelle 10 – Individuelle Kenngrößen und Geometrie von Leitern (nur Wechselstrommodell)

Leiter Nr.	Gleis	Leiter	Verwendung	Bemerkung	x	y	Material	Querschnitt (mm ²)	Spezifischer Widerstand (1e ⁻⁸ Ohm·m)	Äquivalenter Radius (mm)	Relative Permeabilität (μr)
1	1	Schiene UIC60	Rückleitung		-1,00	0,00	Stahl	7 000	20,00	75	50
2	1	Schiene UIC60	Rückleitung		-2,50	0,00	Stahl	7 000	20,00	75	50
3	1	Fahrdrabt	Speisestrom		-1,75	5,70	Kupfer	120	1,60	6	1
4	1	Tragseil	Speisestrom		-1,75	6,90	Bronze	70	3,00	5	1
5	1	Speiseleitung	Negative Speiseleitung	Nur für den Fall (2 × 25) kV	-4,75	8,50	Aluminium	288	2,80	10	1
6	2	Schiene UIC60	Rückleitung		1,00	0,00	Stahl	7 000	20,00	75	50
7	2	Schiene UIC60	Rückleitung		2,50	0,00	Stahl	7 000	20,00	75	50
8	2	Fahrdrabt	Speisestrom		1,75	5,70	Kupfer	120	1,60	6	1
9	2	Tragseil	Speisestrom		1,75	6,90	Bronze	70	3,00	5	1
10	2	Speiseleitung	Negative Speiseleitung	Nur für den Fall (2 × 25) kV	4,75	8,50	Aluminium	288	2,80	10	1

ANMERKUNG Tragseil ist auch als Längstragseil bekannt.

Zusätzliche Daten werden benötigt, um die Leiterimpedanzen zu berechnen:

- spezifischer Erdbodenwiderstand: 100 $\Omega \cdot \text{m}$;
- Ableitungsbelag Gleis – Erde: 1 S/km.

Für das Wechselstromsystem mit (2 × 25) kV sind die folgenden Eigenschaften für den AT zu verwenden:

- Bemessungsleistung: 10 MVA (vollständige Wicklung);
- Kurzschlussspannung U_{cc} (%): 1 % bei 55 kV.

In diesem Fall entspricht ein U_{cc} (%) von 1 % bei einer Bemessungsleistung von 10 MVA einer Impedanz

(in Ω) von $0,01 \times \frac{(55 \text{ kV})^2}{10 \text{ MVA}}$. Der Wert des Impedanzwinkels des AT ist 80°.

7 Plausibilität von erwarteten Ausgaben

7.1 Allgemeines

Die nachgenannt aufgeführten graphischen Darstellungen müssen Teil der gelieferten Dokumente für die Validierung durch den Gutachter sein.

In den [Tabelle 11](#), [12](#) und [13](#) aufgeführte Ausnahmen müssen überprüft werden, um nachzuweisen, dass sie in den graphischen Darstellungen identifiziert werden können.

Kurven und Tabellen in diesem Abschnitt sind Beispiele auf der Grundlage eines 15-kV-Systems, wobei jedoch für die Auswertung einzelne Graphen für jedes System und Betriebsbedingungen in [Anhang E](#) bereitgestellt werden.

Die Überprüfung ist anhand der Kurvenformen auszuführen und nicht anhand spezifischer Werte. Der quantitative Vergleich muss gemäß der Festlegung in [Abschnitt 8](#) vorgenommen werden.

7.2 Validierung eines gefahrenen Fahrplans

Der Einsatz-Fahrplan, der als graphische Zeit-Standort-Darstellung angegeben ist ([Bild 10](#)), muss aufzeigen, dass alle in [Tabelle 11](#) aufgeführten Ereignisse in die Ausgabedaten eingeschlossen sind.

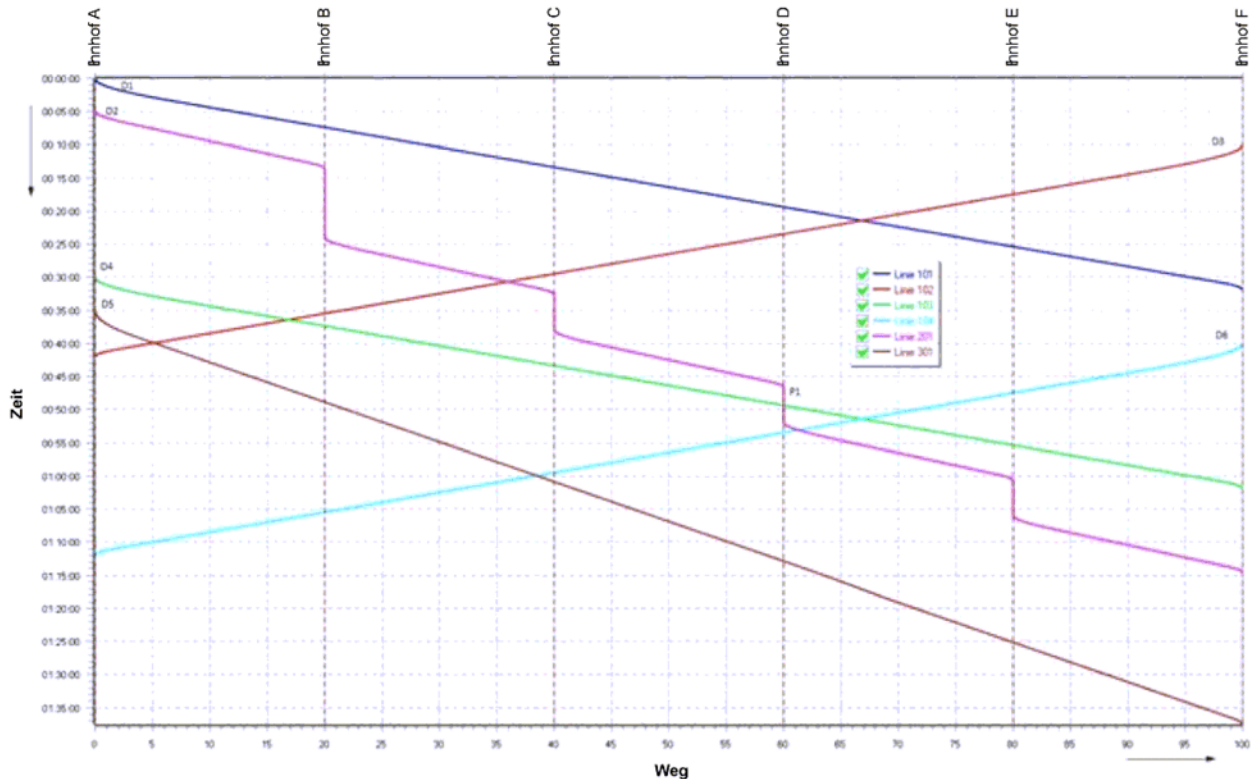


Bild 10 – Einsatz-Fahrplan mit erforderlichen Ereignissen

Tabelle 11 – Fahrplan des Betriebs im bestimmungsgemäßen Einsatz mit 15 kV 16,7 Hz Wechselstrom, erforderliche Ereignisse

Wert	Ereignis		Bedingung
	Nr.	Beschreibung	
Abfahrtszeiten	D1	00:00:00 von Bahnhof A	Abfahrt Zug 101 (HS)
	D2	00:05:00 von Bahnhof A	Abfahrt Zug 201 (SUB)
	D3	00:10:00 von Bahnhof F	Abfahrt Zug 102 (HS)
	D4	00:30:00 von Bahnhof F	Abfahrt Zug 103 (HS)
	D5	00:35:00 von Bahnhof A	Abfahrt Zug 301 (FR)
	D6	00:40:00 von Bahnhof A	Abfahrt Zug 104 (HS)
Durchfahrt	P1	Vorbeifahren von Zug 103 (HS) an Zug 201 (SUB)	In Bahnhof D (km 60)

7.3 Validierung von Zugfahrten

Das Ergebnis von Zug 101 muss als Graph der Werte von Geschwindigkeit, Strom, Antriebs-/Bremskraft und Stromabnehmer-Spannung in Abhängigkeit vom Standort dargestellt werden (Bild 11), um die gültige Simulation eines Zugverhaltens nachzuweisen.

Die in Tabelle 12 aufgeführten erwarteten Ereignisse müssen überprüft werden, um nachzuweisen, dass sie in die graphische Darstellung einbezogen wurden.

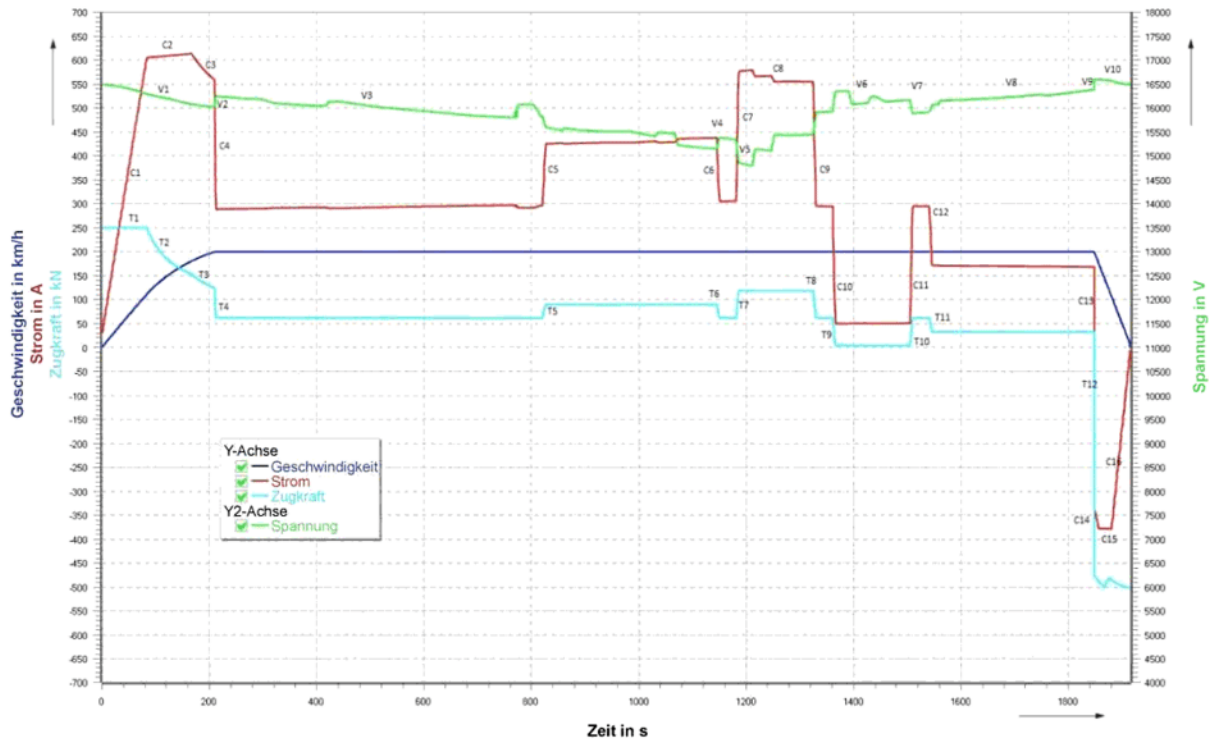


**Bild 11 – Zeitabhängigkeit von Geschwindigkeit, Strom, Antriebsleistung und Spannung;
Bestimmungsgemäße Bedingungen Wechselstrom AC 15 kV 16,7 Hz; Zug 101 mit
erforderlichen Ereignissen**

**Tabelle 12 – Bedingungen Wechselstrom AC 15 kV 16,7 Hz; Zug 101 erforderliche Ereignisse für
Geschwindigkeit, Strom, Antriebsleistung und Spannung (1 von 2)**

Wert	Ereignis		Bedingung
	Nr.	Beschreibung	
Strom	C1	Starker Anstieg des Stroms	Während des Beschleunigens, $0 \text{ km/h} \leq \text{Geschwindigkeit} \leq 110 \text{ km/h}$
	C2	Langsamer Anstieg des Stroms	$110 \text{ km/h} \leq \text{Geschwindigkeit} \leq 180 \text{ km/h}$
	C3	Reduzierung des Stroms	$180 \text{ km/h} \leq \text{Geschwindigkeit} \leq 200 \text{ km/h}$
	C4	Starke Reduzierung des Stroms	Erreichen der Höchstgeschwindigkeit 200 km/h
	C5	Starker Anstieg des Stroms	Erreichen der ersten positiven Neigung
	C6	Starke Reduzierung des Stroms	Erreichen des flachen Abschnitts in der Nähe von Bahn- hof D
	C7	Starker Anstieg des Stroms, Pegel größer als bei Ereignis C5	Erreichen der zweiten und größeren positiven Neigung
	C8	Schrittweise Reduzierung des Stroms	Aufgrund externer Ereignisse und Bewegung in Richtung von Unterwerk F
	C9	Starke Reduzierung des Stroms, Pegel ungefähr gleich zu Ereignis C6	Erreichen des flachen Abschnitts zwischen den Bahn- höfen D und E
	C10	Starke Reduzierung des Stroms, geringer Pegel, jedoch größer null	Erreichen der ersten negativen Neigung
	C11	Starke Reduzierung des Stroms, Pegel ungefähr gleich zu Ereignis C6	Erreichen des flachen Abschnitts in der Nähe von Bahn- hof E

Tabelle 12 (2 von 2)

Wert	Ereignis		Bedingung
	Nr.	Beschreibung	
	C12	Starke Reduzierung des Stroms, geringer Pegel, jedoch größer als bei Ereignis C10	Erreichen der zweiten negativen Neigung
	C13	Starke Reduzierung des Stroms auf einen negativen Wert	Einleiten des Bremsprozesses zum Bahnhof F
	C14	Langsame Reduzierung des Stroms	200 km/h $\geq$ Geschwindigkeit $\geq$ 180 km/h
	C15	Konstant negativer Strom	180 km/h $\geq$ Geschwindigkeit $\geq$ 110 km/h
	C16	Starker Anstieg des Strom auf einen Wert von null	Während des Bremsens zu Bahnhof F 110 km/h $\geq$ Geschwindigkeit $\geq$ 0 km/h
Netzspannung	V1	Langsame Reduzierung der Spannung	Bewegung weg von Bahnhof A
	V2	Starker Anstieg der Spannung, Pegel geringer als Anfangsspannung	Bei Eintreten von Ereignis C3
	V3	Langsame Reduzierung der Spannung, unterbrochen durch externe Ereignisse	Bis Ereignis C6
	V4	Starker Anstieg der Spannung	Aufgrund von Ereignis C6
	V5	Starke Reduzierung der Spannung	Aufgrund von Ereignis C7
	V6	Schrittweiser Anstieg der Spannung	Als Ergebnis von Ereignis C9 und C10
	V7	Starke Reduzierung der Spannung	Als Ergebnis von Ereignis C11
	V8	Langsamer Anstieg der Spannung	Bewegen zum Bahnhof F (Unterwerk)
	V9	Starker Anstieg der Spannung	Einleiten des Bremsprozesses zum Bahnhof F
	V10	Langsame Reduzierung der Spannung	Während des Bremsens zu Bahnhof F, aufgrund von Ereignis C16
Zugkraft	T1	Konstanter Wert	Während des Beschleunigens, 0 km/h $\leq$ Geschwindigkeit $\leq$ 110 km/h
	T2	Hyperbolische Reduzierung	110 km/h $\leq$ Geschwindigkeit $\leq$ 180 km/h
	T3	Hyperbolische Reduzierung zweiten Grades	180 km/h $\leq$ Geschwindigkeit $\leq$ 200 km/h
	T4	Starke Reduzierung der Zugkraft auf einen konstanten Wert (Fahrleitungs- und Fahrwiderstand)	Erreichen der Höchstgeschwindigkeit 200 km/h, bis zum Erreichen der ersten positiven Neigung
	T5	Starker Anstieg der Zugkraft	Erreichen der ersten positiven Neigung
	T6	Starke Reduzierung der Zugkraft	Erreichen des flachen Abschnitts in der Nähe von Bahnhof D
	T7	Starker Anstieg der Zugkraft, Pegel größer als bei Ereignis T5	Erreichen der zweiten und größeren positiven Neigung
	T8	Starke Reduzierung der Zugkraft, Pegel ungefähr gleich zu Ereignis T6	Erreichen des flachen Abschnitts zwischen den Bahnhöfen D und E
	T9	Starke Reduzierung der Zugkraft, geringer Pegel, jedoch größer null	Erreichen der ersten negativen Neigung
	T10	Starker Anstieg der Zugkraft, Pegel ungefähr gleich zu Ereignis T6	Erreichen des flachen Abschnitts in der Nähe von Bahnhof E
	T11	Starke Reduzierung der Zugkraft, geringer Pegel, jedoch größer als bei Ereignis T9	Erreichen der zweiten negativen Neigung
	T12	Starke Reduzierung der Zugkraft auf einen negativen Wert	Einleiten des Bremsprozesses zum Bahnhof F

7.4 Validierung von Ergebnissen des Unterwerks

Die Ergebnisse des Unterwerks müssen als Graph der Werte von Gesamtstrom und Sammelschienen-
spannung in Abhängigkeit von der Zeit dargestellt werden (Bild 12).

Die in [Tabelle 13](#) aufgeführten erwarteten Ereignisse müssen überprüft werden, um nachzuweisen, dass sie
in die graphische Darstellung einbezogen wurden.

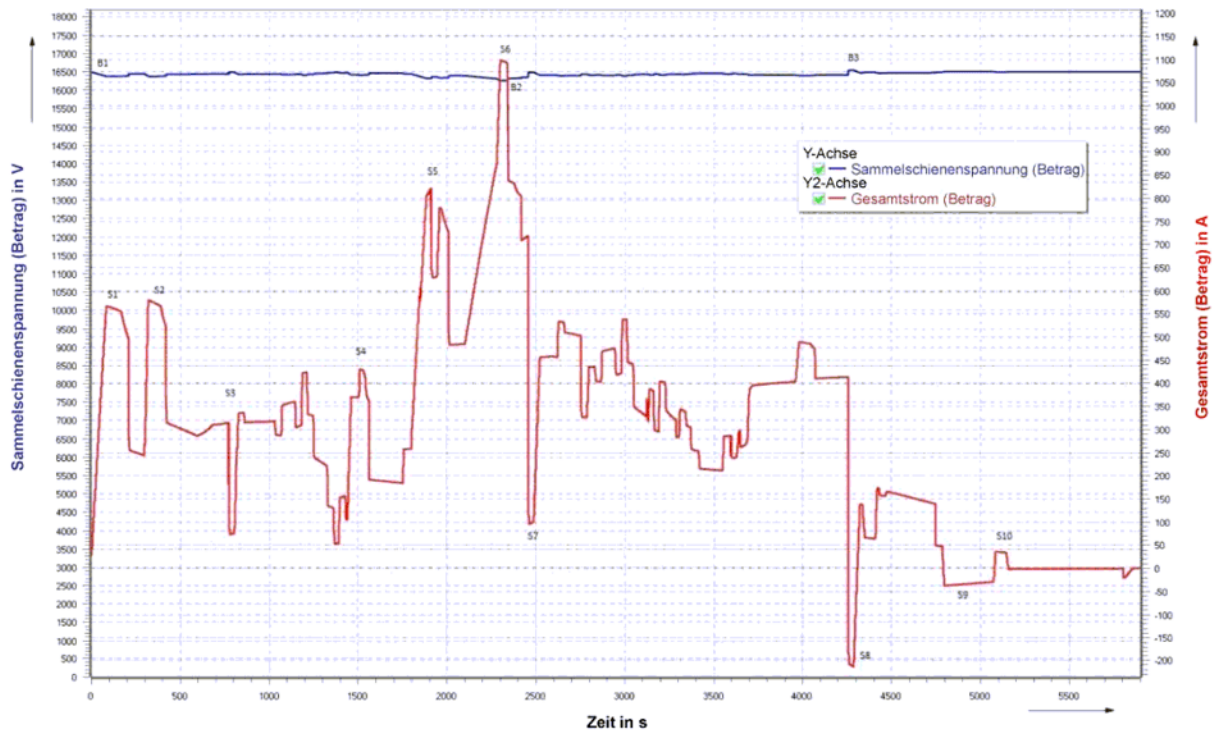


**Bild 12 – Zeitabhängigkeit von Sammelschienen-spannung und Gesamtstrom;
Bestimmungsgemäße Bedingungen Wechselstrom AC 15 kV 16,7 Hz; Bahnunterwerk km 0,0
(Bahnhof A) mit erforderlichen Ereignissen**

**Tabelle 13 – Zeitabhängigkeit von Sammelschienenspannung und Gesamtstrom;
Bestimmungsgemäße Bedingungen Wechselstrom AC 15 kV 16,7 Hz; Bahnunterwerk km 0,0
(Bahnhof A)**

Wert	Ereignis		Bedingung
	Nr.	Beschreibung	
Sammel- schiene- spannung	B1	Langsame Reduzierung der Spannung	Während des Beschleunigens von Zug 101 (HS)
	B2	Starke Reduzierung der Spannung	Als Ergebnis des hohen Gesamtstroms Cx
	B3	Starker Anstieg der Spannung	Ergebnis der Rückspeisung in das einspeisende Netz
Gesamtstrom des Unterwerks	S1	Stromspitze	Verursacht durch Beschleunigen von Zug 101 (HS)
	S2	Stromspitze	Verursacht durch Beschleunigen von Zug 201 (SUB) bei Verlassen von Bahnhof A
	S3	Niedriger Strom	Zug 201 kommt in Bahnhof B an, Zug 201 fährt nur mit konstanter Geschwindigkeit
	S4	Stromspitze	Verursacht durch Beschleunigen von Zug 201 (SUB) bei Verlassen von Bahnhof B
	S5	Stromspitze	Verursacht durch Beschleunigen von Zug 103 (HS) bei Verlassen von Bahnhof A
	S6	Stromspitze	Verursacht durch gleichzeitiges Beschleunigen von Zug 201 (SUB) bei Verlassen von Bahnhof C und Zug 301 (FR) bei Verlassen von Bahnhof A
	S7	Niedriger Strom	Zug 103 (HS), 201 (SUB) und 301 (FR) fahren gleichzeitig nur mit konstanter Geschwindigkeit
	S8	Negativer Strom (Rückspeisung ins einspeisende Netz)	Zug 104 (HS) bremst während des Ankommens an Bahnhof A, andere Züge fahren mit konstanter Geschwindigkeit im Abschnitt nahe des Unterwerks F (km 100,00)
	S9	Negativer Strom (Rückspeisung ins einspeisende Netz)	Zug 301 (FR) bremst auf konstante Geschwindigkeit auf der negativen Neigung beim Ankommen in Bahnhof E
	S10	Positiver niedriger Strom	Zug 301 (FR) nimmt Strom auf in flachem Abschnitt nahe Bahnhof E

8 Verifizierung von erwarteten Ausgaben

8.1 Allgemeines

Folgende Ausgaben werden erwartet:

- Spannungen der Züge am Stromabnehmer (U_p) entsprechend den Festlegungen in den Tabellen;
- $U_{\text{mean useful}}$ für den Abschnitt (von Bahnhof A bis Bahnhof F) und für jeden Zug;
- Reisezeit für jeden Zug;
- Strom fließt vom Unterwerk: Höchstwert/gleitender Mittelwert 1 min/5 min;
- aufgenommene und rückgespeiste Energie.

Zum Zweck eines einfachen Vergleichs wird die in EN 50388:2012, Gleichung (B.2), enthaltene Festlegung von $U_{\text{mean useful}}$ übernommen.

8.2 Ergebnisse bezüglich der Züge

Die Ergebnisse müssen unter Verwendung der gleichen Anzahl signifikanter Zahlen wie der hier angegebene Referenzwert bereitgestellt werden.

Tabelle 14 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Züge in Bezug auf Reisezeit und $U_{\text{mean useful}}$

A	B	C	D
Zug Nr.	Art des Zuges	Reisezeit s	$U_{\text{mean useful}}$ (Zug) V
101	HS		
102	HS		
103	HS		
104	HS		
201	SUB		
301	FR		
Anmerkung			EN 50388:2012, B.2

Tabelle 15 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Züge in Bezug auf die mittleren Spannungen

A	B	E	F	G	H	I
Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V				
		Zone (Position ist in km angegeben)				
		DC: 0 km ≤ x < 9 km	DC: 9 km ≤ x < 19 km	DC: 19 km ≤ x < 29 km	DC: 29 km ≤ x < 39 km	DC: 39 km ≤ x ≤ 49 km
		AC: 0 km ≤ x < 19 km	AC: 19 km ≤ x < 39 km	AC: 39 km ≤ x < 59 km	AC: 59 km ≤ x < 79 km	AC: 79 km ≤ x ≤ 9 km
101	HS					
102	HS					
103	HS					
104	HS					
201	SUB					
301	FR					
Anmerkung		Summe aller Spannungen am Stromabnehmer in diesem Bereich, ungeachtet der Betriebsart des Zuges (Fahren, Leerlauf oder Bremsen), geteilt durch die Anzahl der Datenpunkte für den betreffenden Zug				

Tabelle 16 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Züge in Bezug auf Momentanspannungen und Zeitschritte

A	B	J	K	L	M	O	P
Zug Nr.	Art des Zuges	Niedrigste Spannung V	Höchste Spannung V	Energieaufnahme aufgenommen kWh	rückgespeist kW h	Kleinsten Zeitschritt s	Größter Zeitschritt s
101	HS						
102	HS						
103	HS						
104	HS						
201	SUB						
301	FR						
Anmerkung		Kleinste Spannung am Stromabnehmer mit einem größten Zeitschritt von 5 s. Informationen über den Zeitschritt sind in den Spalten O und P anzugeben.	Höchste Spannung am Stromabnehmer mit einem größten Zeitschritt von 5 s. Informationen über den Zeitschritt sind in den Spalten O und P anzugeben.	Das Zeitintegral über die gesamte Bahnfahrt für die positive Leistung am Stromabnehmer.	Das Zeitintegral über die gesamte Bahnfahrt für die negative Leistung am Stromabnehmer.		

Zu den Indikatoren:

- Spalte C: Die Reisezeit ist die Differenz zwischen der letzten Ankunft und der ersten Abfahrt, einschließlich aller Zwischenhalte;
- Spalte D: $U_{\text{mean useful}}$ (Zug), nur wenn die Zugkraft > 0;
- Spalte E bis I: Die „Mittlere Spannung im Bereich“ wird für einen bestimmten Bereich berechnet: dies ist die Summe aller Spannungen am Stromabnehmer in diesem Bereich, ungeachtet der Betriebsart des Zuges (Fahren, Leerlauf oder Bremsen), geteilt durch die Anzahl der Datenpunkte für den betreffenden Zug;
- Spalte J und K: Mindest- und Höchstwerte der Spannung. Wenn die Zeitschritte für die Simulation größer als 1 s sind, müssen die Einzelheiten von Zeitschritten in den Spalten O und P angegeben werden.

Das Mittelungsverfahren muss auf dem arithmetischen Mittelwert beruhen.

8.3 Ergebnisse bezüglich der Unterwerke

Die Ergebnisausgabe für ein Unterwerk muss den Festlegungen in Tabelle 17 entsprechen.

Tabelle 17 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Unterwerke in Bezug auf Strom und Spannung

Art des Bahnenergieversorgungssystems	Position des Unterwerks km	$U_{\text{mean useful}}$ (Bereich) V	Höchster Momentanstrom A	Höchster gleitender Mittelwert des Stroms (A) des Unterwerks über eine Periode von (min)	
				1 min	5 min
DC/1,5 kV	0				
	10				
	15				
	20				
	30				
	40				
	45				
	50				
DC/3 kV	0				
	20				
	45				
AC/15 kV 16,7 Hz	0				
	100				
AC/25 kV 50 Hz	0				
	100				
AC/(2 × 25) kV 50 Hz	0				
Anmerkung		– EN 50388:2012, B.2. – Der Bereich erstreckt sich von 0 km bis 50 km. – Bei Wechselstromsystemen erstreckt sich der Bereich von 0 km bis 100 km.			

Tabelle 18 – Tabelle der Ergebnisausgabe für die Unterwerke in Bezug auf die Energie

Art des Bahnenergieversorgungssystems	Position des Unterwerks km	Gelieferte Energie kWh	Rückgespeiste Energie kWh
DC/1,5 kV	0		
	10		
	15		
	20		
	30		
	40		
	45		
	50		
DC/3 kV	0		
	20		
	45		
AC/15 kV 16,7 Hz	0		
	100		
AC/25 kV 50 Hz	0		
	100		
AC/(2 × 25) kV 50 Hz	0		
Anmerkung			

Die Indikatoren für gleitende Mittelwerte müssen auf dem arithmetischen Mittelwert beruhen.

9 Validierung mit simulierten Ergebnissen

Vor der Durchführung einer Validierung muss der Antragsteller die spezifischen elektrischen Versorgungssysteme identifizieren, für welche die Validierung gefordert wird.

Der Antragsteller muss für jedes gewählte System den Fall elektrischer Nennbedingungen als auch den Fall eines Ausfalls eines Unterwerks simulieren, siehe 6.4.3 für Gleichstrom und 6.5.3 für Wechselstrom.

Zur Einhaltung der vorliegenden Norm muss der Antragsteller für die Software eine Validierung in Bezug auf Ereigniskurven und -Tabellen entsprechend den Festlegungen in Abschnitt 7 vornehmen und dann nachweisen, dass die Ergebnisse innerhalb der Grenzwerte liegen. Die resultierenden Ausgabedaten müssen dann zusammen mit den niedrigsten und höchsten Werten beigefügt werden, die in den folgenden Anhängen festgelegt sind:

- elektrische Infrastruktur bei Nennbedingungen, Ausgabedaten für Züge: [Anhang A](#);
- elektrische Infrastruktur bei Nennbedingungen, Ausgabedaten für Unterwerke: [Anhang B](#);
- Ausfall eines Unterwerks, Ausgabedaten für Züge: [Anhang C](#);
- Ausfall eines Unterwerks, Ausgabedaten für Unterwerke: [Anhang D](#).

Der Antragsteller muss nachweisen, dass die Ergebnisse der Software innerhalb der in den Tabellen angegebenen Grenzwerte liegen. Ungeachtet dessen wird akzeptiert, dass bis zu 10 Ergebnisse je System außerhalb der Grenzabweichung liegen dürfen, sofern die Kurvenform richtig ist (siehe 7.3 und 7.4). Außerdem dürfen je System und je Fall für die folgenden Parameter, Reisezeit, $U_{\text{mean useful}}$ und aufgenommene Leistung, insgesamt nur zwei Werte außerhalb der Grenzabweichung akzeptiert werden (d. h. für alle Simulationen).

Sowohl Modelle mit konzentrierten Parametern als auch Mehrleitermodelle dürfen im Rahmen der vorliegenden Norm angewendet werden. Bei Modellen mit konzentrierten Parametern wird eine Netz-Ersatzimpedanz verwendet, während bei Mehrleitermodellen die vollständige Querschnitts-Geometrie des Leiters zusammen mit der Wechselwirkung elektromagnetischer Felder abgebildet wird. Ein gewisser Grad der gegenseitigen Anerkennung für die Anwendung beider Modelle auf das Spektrum von Arten von Bahnenergieversorgungssystemen (in Bezug auf Spannung und Frequenz) ist ohne zusätzliche Validierung zulässig. Die Anwendungen mit zulässiger gegenseitiger Anerkennung sind in Tabelle 19 angegeben.

Nach der Anwendung der in [Abschnitt 6](#) festgelegten Eingaben wird die Software für ein bestimmtes Stromversorgungssystem validiert, falls die Ausgabedaten – nach Berechnung – innerhalb der in [Abschnitt 8](#) und den dazugehörigen Anhängen festgelegten Grenzwerte liegen.

Gegenseitige Anerkennung ist zulässig, wenn die Frequenz oder die von Impedanzen abhängige Frequenz und die Spannungsebenen Eingabeparameter für die Software sind.

Tabelle 19 – Tabelle über gegenseitige Anerkennung

				Implizite Validierung				
				DC	AC	AC mit AT	AC	AC mit AT
				Alle Spannungen ^(c)	Konzentriertes Element	Konzentriertes Element	Mehrleitermodell	Mehrleitermodell
	DC	1,5 kV		Ja	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
		3 kV		Ja	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar	Nicht anwendbar
	AC	15 kV 16,7 Hz	Konzentriertes Element	Nicht anwendbar	Ja	(b)	(a)	(a)
		25 kV 50 Hz	Konzentriertes Element	Nicht anwendbar	Ja	(b)	(a)	(a)
		(2 × 25) kV 50 Hz	Konzentriertes Element	Nicht anwendbar	Ja	Ja	(a)	(a)
		25 kV 50 Hz	Mehrleitermodell	Nicht anwendbar	(a)	(a)	Ja	(a)
		(2 × 25) kV 50 Hz	Mehrleitermodell	Nicht anwendbar	(a)	(a)	Ja	Ja

(a) Sondervalidierung erforderlich.

(b) In den Fällen, in denen ein Einphasen-Modell für ein AT-System genügt (d. h. für die Berechnung des Profils der Stromabnehmerspannung auf der Strecke und der AT-Last, aber nicht für die Berechnung der Belastung der Leiter oder des Schienenpotentials), gelten Modelle, die für ein „konzentriertes 15 kV-Element“ oder ein „konzentriertes 25 kV-Element“ validiert sind, auch für die Simulation solcher Einphasen-AT-Modelle, wobei die Leitungsimpedanz aufgrund des kurzen Abstands (etwa 4 km) zwischen ATs als quasi-linear anzusehen ist.

(c) Validierungen für Gleichstrom schließen auch 600 V DC und 750 V DC ein. Städtische Nahverkehrssysteme sind ausgeschlossen, bis dieser Fall zur Verfügung steht.

Der Antragsteller für die Software benötigt für die Zertifizierung des Simulationsprogramms einen Dritten (Gutachter), und muss angeben, welche Arten von Bahnenergieversorgungssystem(en) zu validieren sind.

10 Bewertung

Der Validierungsprozess muss beschränkt werden auf:

- Vergleich qualitativer Ausgabegraphen mit Ereigniskurven und zugehörigen in der vorliegenden Norm angegebenen Tabellen, entsprechend den Festlegungen in [Abschnitt 7](#);
- Vergleich von simulierten Daten mit in der vorliegenden Norm angegebenen Werten, entsprechend den Festlegungen in [Abschnitt 8](#);

Die um Validierung bittende Partei (Antragsteller) muss einen Bericht mit dem folgenden Inhalt verfassen:

- Name und Version der Software;
- Kurzbeschreibung der Software;
- verantwortlicher Anbieter der Software;
- Auswahl des Umfangs der Validierung (Stromversorgungssystem);
- Bestätigung, dass die verwendeten Eingabedaten in Übereinstimmung mit der vorliegenden Europäischen Norm sind;
- Liste über weitere, auf freiwilliger Basis verwendete Eingabedaten;
- Ausgabedaten in Übereinstimmung mit dem Format der vorliegenden Europäischen Norm ([Tabelle 14](#) und [Tabelle 18](#));
- Erklärung, dass die ermittelten Werte den in den Anhängen der vorliegenden Europäischen Norm genannten Grenzwerten entsprechen.

Aufgrund dieser Informationen muss der Gutachter die Konformität mit der vorliegenden Europäischen Norm bestätigen und eine Konformitätserklärung ausstellen.

Anhang A (normativ)

Infrastruktur bei Nennbedingungen, Ausgabeergebnisse für Züge: Grenzwerte für die Validierung

**Tabelle A.1 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Gleichstromfälle in Bezug auf
Reisezeit und $U_{\text{mean useful}}$**

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Reisezeit s	$U_{\text{mean useful}}$ (Zug) V
DC/1 500 V	Mindestwert	101	HS	1 015	1 564
		102	HS	1 018	1 598
		103	HS	1 016	1 564
		104	HS	1 018	1 593
		201	SUB	1 960	1 667
		301	FR	1 937	1 627
	Höchstwert	101	HS	1 035	1 624
		102	HS	1 038	1 658
		103	HS	1 036	1 624
		104	HS	1 038	1 653
		201	SUB	1 980	1 727
		301	FR	1 957	1 687
DC/3 000 V	Mindestwert	101	HS	1 009	3 211
		102	HS	1 018	3 223
		103	HS	1 009	3 213
		104	HS	1 018	3 214
		201	SUB	1 960	3 359
		301	FR	1 937	3 319
	Höchstwert	101	HS	1 029	3 271
		102	HS	1 038	3 283
		103	HS	1 029	3 273
		104	HS	1 038	3 274
		201	SUB	1 980	3 419
		301	FR	1 957	3 379

Tabelle A.2 – Fall mit Nennbedingungen, Zugergebnisse für Gleichstromfälle in Bezug auf die „Mittlere Spannung im Bereich“ von 0 bis 20 km

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V	
				Bereich (Positionen sind angegeben in km)	
				0 bis 9	9 bis 19
DC/1 500 V	Mindestwert	101	HS	1 433	1 643
		102	HS	1 657	1 640
		103	HS	1 434	1 643
		104	HS	1 657	1 640
		201	SUB	1 639	1 716
		301	FR	1 615	1 695
	Höchstwert	101	HS	1 533	1 743
		102	HS	1 757	1 740
		103	HS	1 534	1 743
		104	HS	1 757	1 740
		201	SUB	1 739	1 816
		301	FR	1 715	1 795
DC/3 000 V	Mindestwert	101	HS	3 156	3 245
		102	HS	3 426	3 254
		103	HS	3 156	3 255
		104	HS	3 422	3 249
		201	SUB	3 411	3 415
		301	FR	3 385	3 394
	Höchstwert	101	HS	3 276	3 365
		102	HS	3 546	3 374
		103	HS	3 276	3 375
		104	HS	3 542	3 369
		201	SUB	3 531	3 535
		301	FR	3 505	3 514

Tabelle A.3 – Fall mit Nennbedingungen, Zugergebnisse für Gleichstromfälle in Bezug auf die „Mittlere Spannung im Bereich“ von 20 km bis 50 km

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V		
				Bereich (Positionen sind angegeben in km)		
				19 bis 29	29 bis 39	39 bis 50
DC/1 500 V	Mindestwert	101	HS	1 481	1 554	1 728
		102	HS	1 618	1 549	1 546
		103	HS	1 481	1 554	1 727
		104	HS	1 608	1 535	1 546
		201	SUB	1 673	1 720	1 743
		301	FR	1 543	1 656	1 883
	Höchstwert	101	HS	1 581	1 654	1 828
		102	HS	1 718	1 649	1 646
		103	HS	1 581	1 654	1 827
		104	HS	1 708	1 635	1 646
		201	SUB	1 773	1 820	1 843
		301	FR	1 643	1 756	1 950
DC/3 000 V	Mindestwert	101	HS	3 136	3 045	3 471
		102	HS	3 369	3 146	3 056
		103	HS	3 133	3 045	3 468
		104	HS	3 364	3 107	3 056
		201	SUB	3 445	3 408	3 491
		301	FR	3 231	3 297	3 797
	Höchstwert	101	HS	3 256	3 165	3 591
		102	HS	3 489	3 266	3 176
		103	HS	3 253	3 165	3 588
		104	HS	3 484	3 227	3 176
		201	SUB	3 565	3 528	3 611
		301	FR	3 351	3 417	3 900

**Tabelle A.4 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Gleichstromfälle in Bezug auf
Mindest- und Höchstspannungen**

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mindestspannung V	Höchstspannung V
DC/1 500 V	Mindestwert	101	HS	1 245	1 892
		102	HS	1 246	1 891
		103	HS	1 245	1 885
		104	HS	1 246	1 890
		201	SUB	1 444	1 900
		301	FR	1 347	1 900
	Höchstwert	101	HS	1 345	1 950
		102	HS	1 346	1 950
		103	HS	1 345	1 950
		104	HS	1 346	1 950
		201	SUB	1 544	1 950
		301	FR	1 447	1 950
DC/3 000 V	Mindestwert	101	HS	2 613	3 824
		102	HS	2 615	3 822
		103	HS	2 613	3 791
		104	HS	2 614	3 784
		201	SUB	2 965	3 840
		301	FR	2 879	3 840
	Höchstwert	101	HS	2 733	3 900
		102	HS	2 735	3 900
		103	HS	2 733	3 900
		104	HS	2 734	3 900
		201	SUB	3 085	3 900
		301	FR	2 999	3 900

Tabelle A.5 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Gleichstromfälle in Bezug auf Energiepegel

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Energieaufnahme	
				Aufgenommen kWh	Rückgespeist kWh
DC/1 500 V	Mindestwert	101	HS	1 360,4	2,7
		102	HS	1 345,6	0,0
		103	HS	1 361,0	6,0
		104	HS	1 345,3	0,0
		201	SUB	1 177,8	27,3
		301	FR	1 471,6	0,0
	Höchstwert	101	HS	1 400,4	22,7
		102	HS	1 385,6	18,3
		103	HS	1 401,0	26,0
		104	HS	1 385,3	18,5
		201	SUB	1 217,8	47,3
		301	FR	1 511,6	1,0
DC/3 000 V	Mindestwert	101	HS	1 367,4	13,3
		102	HS	1 345,4	11,4
		103	HS	1 367,9	21,3
		104	HS	1 345,2	12,9
		201	SUB	1 175,8	53,0
		301	FR	1 471,3	0,0
	Höchstwert	101	HS	1 407,4	33,3
		102	HS	1 385,4	31,4
		103	HS	1 407,9	41,3
		104	HS	1 385,2	32,9
		201	SUB	1 215,8	73,0
		301	FR	1 511,3	10,0

**Tabelle A.6 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit
15 kV 16,7 Hz in Bezug auf Reisezeit und $U_{\text{mean useful}}$**

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Reisezeit s	$U_{\text{mean useful}}$ (Zug) V
AC/15 kV 16,7 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
	Höchstwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe

Tabelle A.7 – Fall mit Nennbedingungen, Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 15 kV 16,7 Hz in Bezug auf die „Mittlere Spannung im Bereich“ von 0 bis 39 km

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V	
				Bereich (Positionen sind angegeben in km)	
				0 bis 19	19 bis 39
AC/15 kV 16,7 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
	Höchstwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe

Tabelle A.8 – Fall mit Nennbedingungen, Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 15 kV 16,7 Hz in Bezug auf die „Mittlere Spannung im Bereich“ von 39 km bis 100 km

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V		
				Bereich (Positionen sind angegeben in km)		
				39 bis 59	59 bis 79	79 bis 100
AC/15 kV 16,7 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
	Höchstwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe

**Tabelle A.9 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit
15 kV 16,7 Hz in Bezug auf Mindest- und Höchstspannungen**

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mindestspannung V	Höchstspannung V
AC/15 kV 16,7 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
	Höchstwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe

Tabelle A.10 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 15 kV 16,7 Hz in Bezug auf Energiepegel

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Energieaufnahme	
				Aufgenommen kWh	Rückgespeist kWh
AC/15 kV 16,7 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
	Höchstwert	101	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		102	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		103	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		104	HS	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		201	SUB	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe
		301	FR	Verfügbar in der nächsten Ausgabe	Verfügbar in der nächsten Ausgabe

**Tabelle A.11 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 50 Hz in
Bezug auf Reisezeit und $U_{\text{mean useful}}$**

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Reisezeit s	$U_{\text{mean useful}}$ (Zug) V
AC/25 kV 50 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	1 870	25 993
		102	HS	1 870	25 899
		103	HS	1 870	25 520
		104	HS	1 870	25 689
		201	SUB	1 870	26 080
		301	FR	1 870	26 118
	Höchstwert	101	HS	1 957	26 393
		102	HS	1 964	26 299
		103	HS	1 957	25 920
		104	HS	1 964	26 089
		201	SUB	4 258	26 480
		301	FR	3 833	26 518
AC/25 kV 50 Hz Mehrleitermodell	Mindestwert	101	HS	1 881	25 961
		102	HS	1 887	25 855
		103	HS	1 880	25 473
		104	HS	1 887	25 639
		201	SUB	4 092	26 041
		301	FR	3 682	26 080
	Höchstwert	101	HS	1 957	26 461
		102	HS	1 964	26 355
		103	HS	1 957	25 973
		104	HS	1 964	26 139
		201	SUB	4 259	26 541
		301	FR	3 833	26 580
AC/(2 × 25) kV 50 Hz Mehrleitermodell	Mindestwert	101	HS	1 909	25 842
		102	HS	1 916	25 571
		103	HS	1 909	25 523
		104	HS	1 917	25 326
		201	SUB	4 164	25 888
		301	FR	3 748	26 053
	Höchstwert	101	HS	1 929	26 896
		102	HS	1 936	26 614
		103	HS	1 929	26 565
		104	HS	1 937	26 360
		201	SUB	4 184	26 944
		301	FR	3 768	27 117

Tabelle A.12 – Fall mit Nennbedingungen, Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 50 Hz in Bezug auf die „Mittlere Spannung im Bereich“ von 0 bis 39 km

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V	
				Bereich (Positionen sind angegeben in km)	
				0 bis 19	19 bis 39
AC/25 kV 50 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	26 735	26 209
		102	HS	26 123	25 786
		103	HS	26 362	25 184
		104	HS	26 769	25 413
		201	SUB	26 741	26 672
		301	FR	26 507	26 566
	Höchstwert	101	HS	27 135	26 609
		102	HS	26 523	26 186
		103	HS	26 762	25 584
		104	HS	27 169	25 813
		201	SUB	27 141	27 072
		301	FR	26 907	26 966
AC/25 kV 50 Hz Mehreitermodell	Mindestwert	101	HS	26 706	26 176
		102	HS	26 071	25 745
		103	HS	26 327	25 123
		104	HS	26 726	25 351
		201	SUB	26 697	26 611
		301	FR	26 460	26 517
	Höchstwert	101	HS	27 206	26 676
		102	HS	26 571	26 245
		103	HS	26 827	25 623
		104	HS	27 226	25 851
		201	SUB	27 197	27 111
		301	FR	26 960	27 017
AC/(2 × 25) kV 50 Hz Mehreitermodell	Mindestwert	101	HS	26 567	26 061
		102	HS	26 297	26 223
		103	HS	26 406	25 647
		104	HS	26 431	26 120
		201	SUB	26 509	26 247
		301	FR	26 234	25 994
	Höchstwert	101	HS	27 651	27 124
		102	HS	27 370	27 293
		103	HS	27 484	26 694
		104	HS	27 510	27 187
		201	SUB	27 591	27 319
		301	FR	27 304	27 055

Tabelle A.13 – Fall mit Nennbedingungen, Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 50 Hz in Bezug auf die „Mittlere Spannung im Bereich“ von 39 km bis 100 km

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mittlere Spannung im Bereich V		
				Bereich (Positionen sind angegeben in km)		
				39 bis 59	59 bis 79	79 bis 100
AC/25 kV 50 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	24 745	25 376	26 947
		102	HS	26 180	25 016	26 438
		103	HS	24 565	24 739	26 818
		104	HS	25 552	24 498	26 322
		201	SUB	25 525	25 225	26 922
		301	FR	25 295	26 442	27 266
	Höchstwert	101	HS	25 145	25 776	27 347
		102	HS	26 580	25 416	26 838
		103	HS	24 965	25 139	27 218
		104	HS	25 952	24 898	26 722
		201	SUB	25 925	25 625	27 322
		301	FR	25 695	26 842	27 666
AC/25 kV 50 Hz Mehreitermodell	Mindestwert	101	HS	24 660	25 304	26 897
		102	HS	26 135	24 923	26 404
		103	HS	24 472	24 641	26 764
		104	HS	25 492	24 379	26 283
		201	SUB	25 469	25 138	26 863
		301	FR	25 230	26 384	27 213
	Höchstwert	101	HS	25 160	25 804	27 397
		102	HS	26 635	25 423	26 904
		103	HS	24 972	25 141	27 264
		104	HS	25 992	24 879	26 783
		201	SUB	25 969	25 638	27 363
		301	FR	25 730	26 884	27 713
AC/(2 × 25) kV 50 Hz Mehreitermodell	Mindestwert	101	HS	25 075	25 549	25 932
		102	HS	26 123	25 134	24 567
		103	HS	24 780	25 001	25 747
		104	HS	25 827	24 702	24 176
		201	SUB	25 662	25 297	26 008
		301	FR	25 909	26 359	26 905
	Höchstwert	101	HS	26 099	26 592	26 991
		102	HS	27 189	26 159	25 569
		103	HS	25 792	26 022	26 798
		104	HS	26 881	25 710	25 162
		201	SUB	26 709	26 330	27 069
		301	FR	26 967	27 434	28 003

Tabelle A.14 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 50 Hz in Bezug auf Mindest- und Höchstspannungen

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Mindestspannung V	Höchstspannung V
AC/25 kV 50 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	22 644	27 299
		102	HS	22 952	27 284
		103	HS	22 461	27 288
		104	HS	22 793	27 299
		201	SUB	22 514	27 248
		301	FR	24 767	27 300
	Höchstwert	101	HS	23 044	27 699
		102	HS	23 352	27 684
		103	HS	22 861	27 688
		104	HS	23 193	27 699
		201	SUB	22 914	27 648
		301	FR	25 167	27 700
AC/25 kV 50 Hz Mehradriges Modell	Mindestwert	101	HS	22 274	27 103
		102	HS	22 616	27 084
		103	HS	22 091	27 090
		104	HS	22 454	27 103
		201	SUB	22 137	27 046
		301	FR	24 525	27 100
	Höchstwert	101	HS	23 074	27 903
		102	HS	23 416	27 884
		103	HS	22 891	27 890
		104	HS	23 254	27 903
		201	SUB	22 937	27 846
		301	FR	25 325	27 900
AC/(2 × 25) kV 50 Hz Mehroleitermodell	Mindestwert	101	HS	23 969	26 937
		102	HS	23 657	26 713
		103	HS	23 719	26 788
		104	HS	23 256	26 864
		201	SUB	23 978	26 848
		301	FR	25 247	26 951
	Höchstwert	101	HS	24 947	28 036
		102	HS	24 623	27 803
		103	HS	24 687	27 882
		104	HS	24 205	27 961
		201	SUB	24 956	27 943
		301	FR	26 277	28 051

Tabelle A.15 – Fall mit Nennbedingungen; Zugergebnisse für Wechselstromfälle mit 50 Hz in Bezug auf Energiepegel

Elektrisches Versorgungssystem		Zug Nr.	Art des Zuges	Energieaufnahme	
				Aufgenommen kWh	Rückgespeist kWh
AC/25 kV 50 Hz Konzentrierte Elemente	Mindestwert	101	HS	2440,1	70,9
		102	HS	2424,0	71,5
		103	HS	2440,2	70,9
		104	HS	2424,0	71,5
		201	SUB	1748,0	175,0
		301	FR	2705,8	206,7
	Höchstwert	101	HS	2591,0	90,9
		102	HS	2574,0	91,5
		103	HS	2591,1	90,9
		104	HS	2574,0	91,5
		201	SUB	1856,1	195,0
		301	FR	2873,1	226,7
AC/25 kV 50 Hz Mehrleitermodell	Mindestwert	101	HS	2440,1	60,8
		102	HS	2424,3	61,4
		103	HS	2440,6	60,9
		104	HS	2424,6	60,9
		201	SUB	1750,1	165,0
		301	FR	2705,8	196,1
	Höchstwert	101	HS	2591,0	100,8
		102	HS	2574,3	101,4
		103	HS	2591,5	100,9
		104	HS	2574,6	100,9
		201	SUB	1858,4	205,0
		301	FR	2873,1	236,1
AC/(2 × 25) kV 50 Hz Mehrleitermodell	Mindestwert	101	HS	2465	72
		102	HS	2448	73
		103	HS	2466	73
		104	HS	2448	73
		201	SUB	1769	166
		301	FR	2736	195
	Höchstwert	101	HS	2566	89
		102	HS	2548	89
		103	HS	2566	89
		104	HS	2547	89
		201	SUB	1841	203
		301	FR	2847	238