

Interaktion von Oberleitung und Stromabnehmer

Schnittstellen und ihre Anforderungen in der Europäischen Normung

Dr.-Ing. Albrecht Brodkorb
Wien, November 2018

Interoperabilität – Ziel

Ziel: gegenseitige Akzeptanz von Fahrzeugen und Infrastruktur

Freier Netzzugang

- Technische Kompatibilität
- Betriebliche Vereinbarkeit

Für alle Systeme ist zu klären welche Interfaces sind für Interoperabilität zu vereinheitlichen

- Welche Parameter gelten mit welchen Prüfwerten
- Wie wird dies nachgewiesen

Interoperabilität braucht klare Regeln

- RIV, RIC bereits aus UIC seit langem Usus
- Übergang von Triebfahrzeugen war früher die Ausnahme mit Einzelvertrag
→ Stromversorgung und Signaltechnik war nicht interoperabel

Wichtig: Freier Verkehr nur für Fahrzeuge; Infrastruktur ist stationär für alle gleich !!

Regeln und Vorschriften

Direktiven: Gesetzliche Basis für freien und ungehinderten Netzzugang

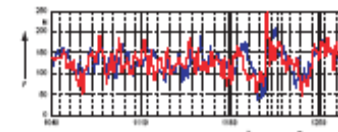
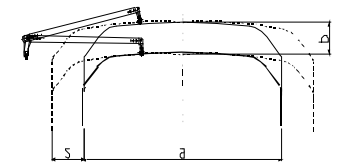
- TSI : Komponenten und Teilsysteme / Sichern technische Kompatibilität:
 - Basisparameter als Mindestanforderungen für jeweilige Auslegung und Nutzung
 - Regeln für die Prüfung und Nachweisführung
- Komplexe Zusammenhänge: Teilsysteme und Komponenten beeinflussen sich gegenseitig

Für Umsetzung Normen notwendig: Normenlandschaft Interaktion

- Systemnormen (EN 50122, EN 50163, ...)
- Komponentennormen (EN 50119, EN 50206,.....)
- Normen für zusammenhängende Anforderungen (Interaktion) (EN 15273,)
- Detaillierungen für EU-Netz (EN 50367, EN 50388)
- Regeln zur Nachweisführung (EN 50317, EN 50318, EN 50405, ..)

Schnittstelle Oberleitung / Stromabnehmer – Bewertungskriterien

Kriterium	Zielparameter	Bewertungsgröße
Sicherheit	<ul style="list-style-type: none"> • Entgleisungssicherheit • Freier Stromabnehmerdurchgang 	<ul style="list-style-type: none"> • Lage des Fahrdrahtes zum Gleis • Dynamische Bewegung von Stromabnehmer und Fahrdraht
Betriebszuverlässigkeit	Übertragung der abgeforderten Leistung	<ul style="list-style-type: none"> • Materialpaarung • Kontaktflächen
Lebensdauer	<ul style="list-style-type: none"> • Minimaler Verschleiß • Fahrdraht - Schleifleisten 	<ul style="list-style-type: none"> • Kontaktkräfte • Lichtbögen • Stromstärken
Beeinflussung	Geringe Funktionsstörung	Lichtbögen



EN 50367 - Technische Regeln Stromabnehmer-Oberleitung



Ziel: Technische Regeln im Standard zur Vereinfachung Gesetzgebung

Hauptinhalte (Nachführung aller Inhalte auf aktuellen Status):

- **Geometrie:**
 - Oberleitung (Fahrdrähtöhe, Seitenlage, Trennstellen)
 - Stromabnehmer (Profile)
- Material:
 - Werkstoffe für Fahrdrähte und Schleifleisten
- Interaktion:
 - Elektrische Belastbarkeit des Kontakts
 - Dynamische Interaktion
- Betriebliche Anforderungen
 - Stromabnehmeranordnungen bei der Zugbildung
- **Bewertungsregeln**
 - für Komponenten und zur Integration in Teilsysteme

Rot – umfangreiche Neuerungen bei aktueller Revision

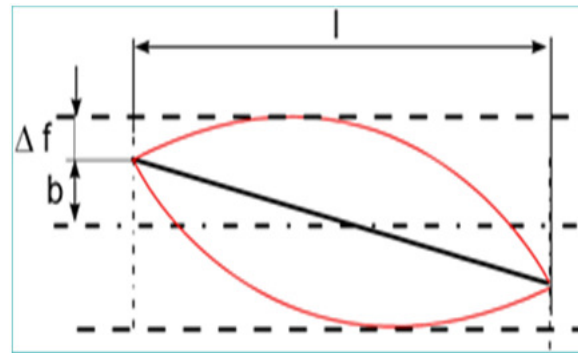
Oberleitungsgeometrie - Zusammenhänge

Oberleitungsparameter



- Toleranzen
- Umgebungstemperatur
- Verschleißzustand

Dynamische Fahrdrablage



- Wind
- Fahrdrabhöhe

Stromabnehmerbereiche



- Fahrzeugparameter / -verhalten
- Gleisparameter

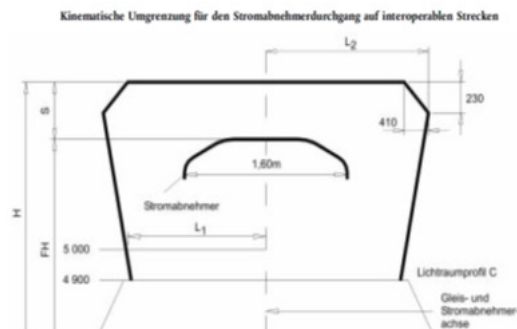
Zulässige Seitenlage – Entwicklung der Festlegungen

Historische Festlegung z.B. DBAG



- Empirisch
- Langjähriger Betriebserfahrung
- Stufenkurve zur einfachen Anwendung
- Zuordnung Grenzen nach UIC 606-1:1987

Berechnung nach TSI HS 2002



$$L_2 = 0,74 + 0,04 \cdot H + 0,15 \cdot H \cdot C - 0,075 \cdot C + 2,5 / R,$$

- e-zul max für EU-Pantograf:
 - 400 mm für 1600 mm Pant.
 - 550 mm für 1950 mm Pant.
- Feste Einsatzbedingungen
- Parameter HGV Netz + Fahrzeug

Berechnung nach TSI ENE 2014

Ansatz aus EN 15273

- Fahrdrathöhe 5,50 m
- Fahrzeug- und Gleisparameter
- nach TSI 2014 (INFRA und LOC&PAS)

Radius	Zulässige seitliche Verschiebung 1600 mm	Zulässige seitliche Verschiebung 1950 mm
R	e-zul	e-zul
[m]	[m]	[m]
1000000	0,353	0,528
3000	0,353	0,528
2500	0,341	0,516
750	0,284	0,459
500	0,274	0,449
250	0,253	0,428

- Variable Einsatzbedingungen
- Keine Unterscheidung
 - Freier Durchgang Stromabnehmer
 - Lagegrenze bei Interaktion

Revision der Berechnung nach TSI ENE:2014 dringlich → RfS 051 der ERA für EN 50367

Vorgehen – Laterale Lage vom Fahrdrabt zur Gleisachse

Trennen freier Durchgang für Stromabnehmer von zulässiger Fahrdrabtseitenlage bei Interaktion

Freier Durchgang

Freizuhaltender Raum für Durchgang Stromabnehmer mit Abständen entsprechend EN 15273 T Kap

Zulässige Fahrdrabtseitenlage

Kleinstwert aus Stabilitäts- und Betriebsgrenzwert für reale Randbedingungen (Fahrdrabthöhe, ..)
mit

Grenze des Versagens (Stabilitätsgrenze)

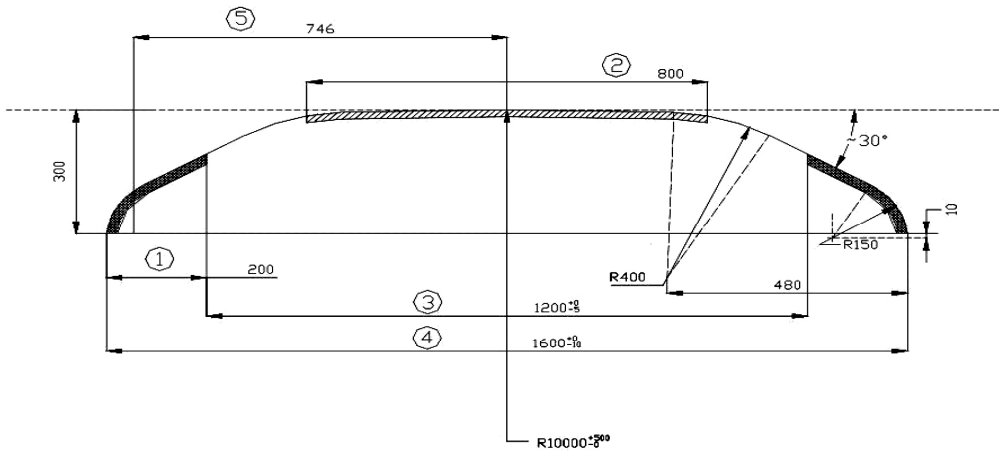
Grenzzustände des Versagens sind diejenigen, die zum „Abdrahten“ des Stromabnehmers vom Fahrdrabt führen können.

Grenze der Gebrauchstauglichkeit (Betriebsgrenze)

Grenzzustände der Gebrauchstauglichkeit sind diejenigen, bei welchen der Fahrdrabt den Arbeitsbereich der Stromabnehmerwippe verlässt.

(Entspricht Vorgehen in Eurocodes oder EN 50119 zur Tragfähigkeit)

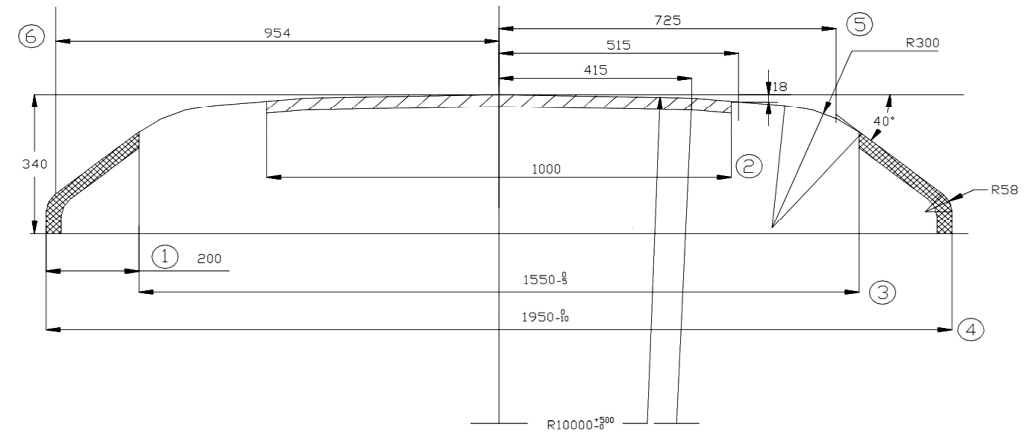
Geometrie der Stromabnehmer im EU-Netz



Legende:

1. Horn aus isolierendem Werkstoff (projizierte Länge 200 mm)
2. Mindestlänge der Schleifleiste (800 mm)
3. Arbeitsbereich (gleich Kontaktbereich) der Stromabnehmerwippe (1200 mm)
4. Länge der Stromabnehmerwippe (1600 mm)
5. Entgleisungsgrenze (746 mm)

Bild A.6 – Profil einer Stromabnehmerwippe mit einer Länge von 1600 mm



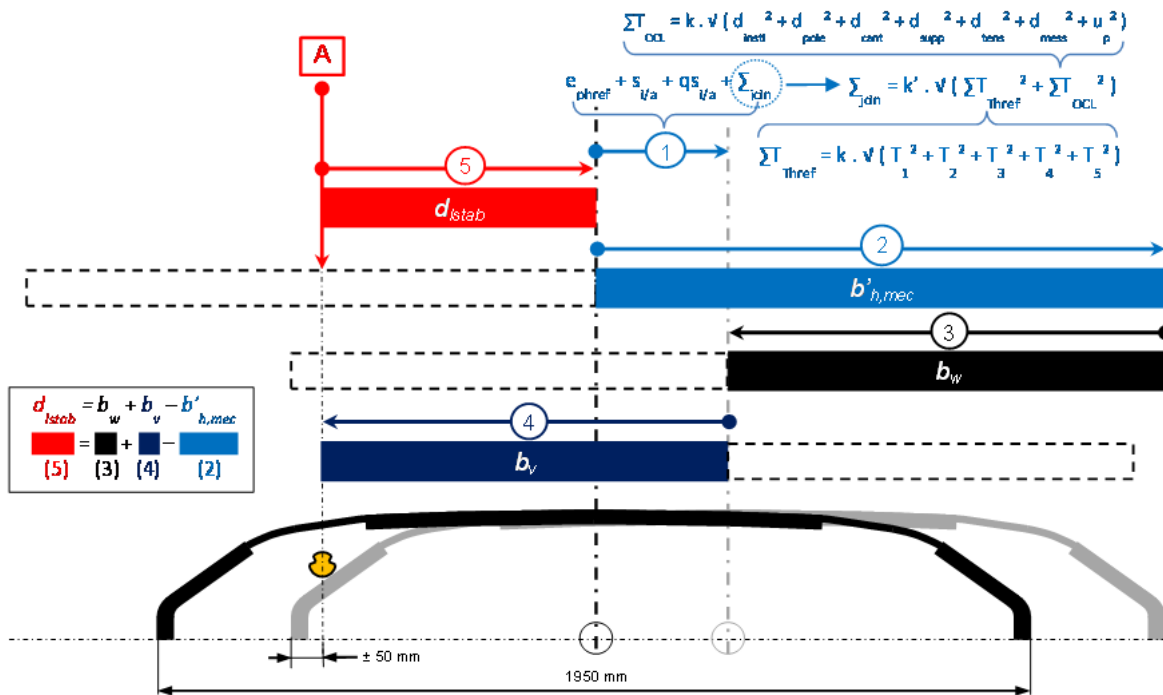
Legende:

1. Horn aus isolierendem Werkstoff (projizierte Länge 200 mm)
2. Mindestlänge der Schleifleiste (1000 mm)
3. Kontaktbereich der Stromabnehmerwippe (1550 mm)
4. Länge der Stromabnehmerwippe (1950⁰₋₁₀ mm)
5. Arbeitsbereich der Stromabnehmerwippe (1450 mm)
6. Entgleisungsgrenze (954 mm)

Bild A.7 – Profil einer Stromabnehmerwippe mit einer Länge von 1950 mm

Quelle prEN 50367:2018

Grenzwert der Stabilität



Berücksichtigt

- Unsymmetrische Beladung
- Toleranz der Federeinstellung
- Querschwingungen des Fahrzeuges
- Querverschiebung des Gleises
- Wanken durch Überhöhungsfehler
- Toleranz der Gleislage
- Toleranzen Fahrdrachtseitenlage

Berechnung für Referenzhöhe:

- ohne „Übergriff“ und Verschleiß Schleifleiste
- mit Höhentoleranz

Sicherheitszuschläge:

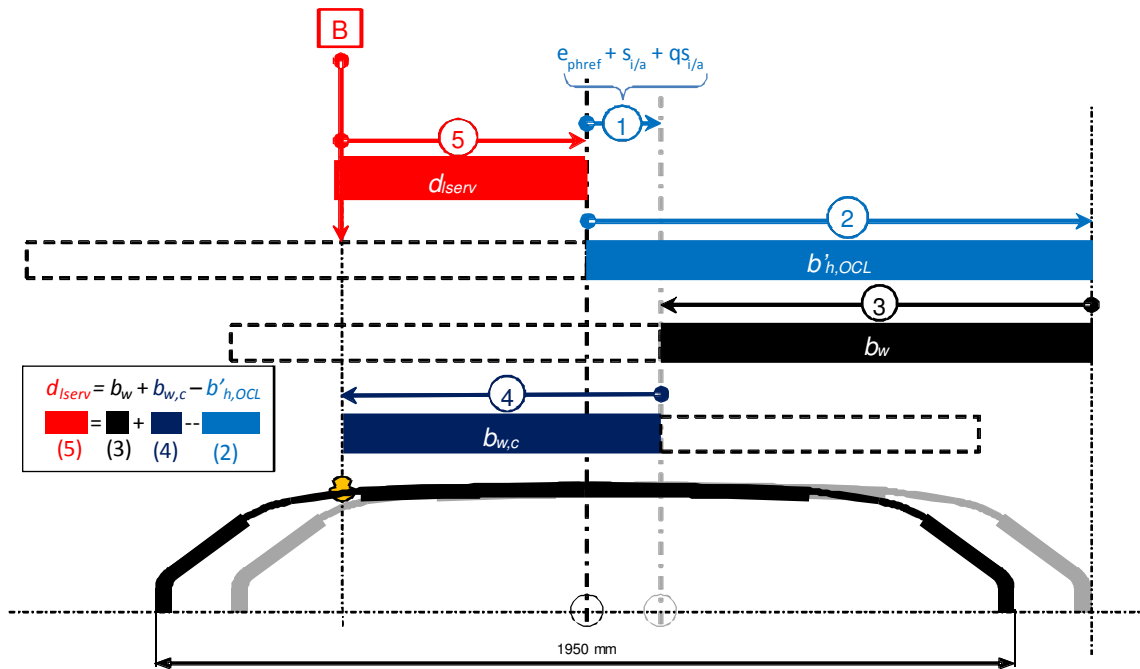
Σ_{ju} mit Fahrleitungstoleranz
 Σ_{jo} (für interopj=2)

$$d_{lv} = b_w^* - \frac{l_{max} - d}{2} - \frac{2500}{R} - \frac{s'_0}{L} \cdot (D - D_0) \cdot (h_{ref} - h_{c0}) - \left(e_{pu} + \frac{e_{po} - e_{pu}}{1,5} \cdot (h_{ref} - 5,0) \right) - \sqrt{T_T^2 + T_{ocl}^2}$$

Grenzwert der Gebrauchstauglichkeit

Nenngrößen des Rad-Schiene-Systems werden verwendet und daraus die mögliche Seitenlage des Fahrdrahtes errechnet.
(Nenngrößen Rad-Schiene-Systems lt. EN 15273-1 Kap. 8.1.1.2; EN 15273-3 Kap. 11)

Unterschied zu Stabilitätsgrenze
-- ohne Sicherheitszuschläge



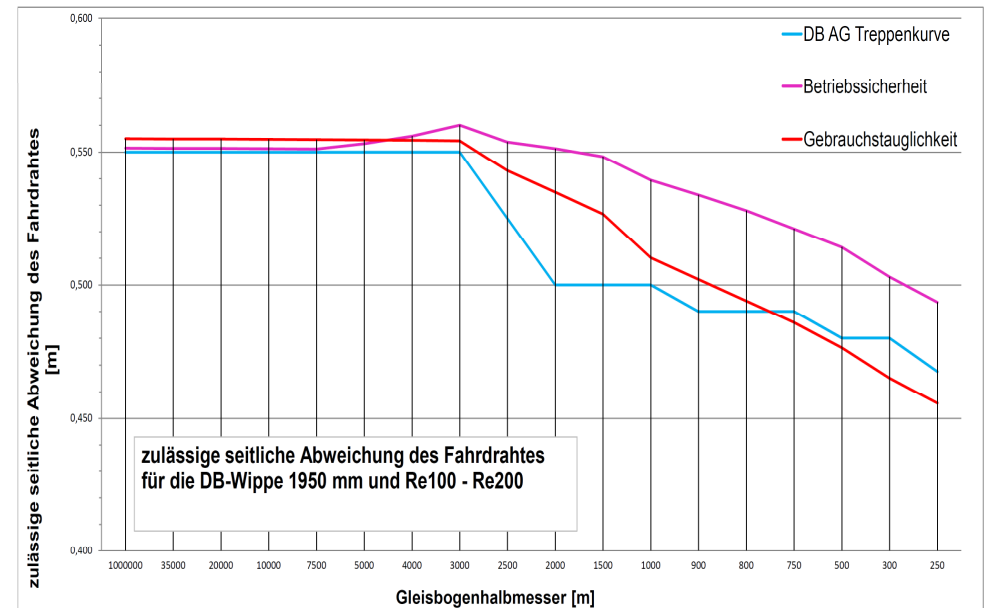
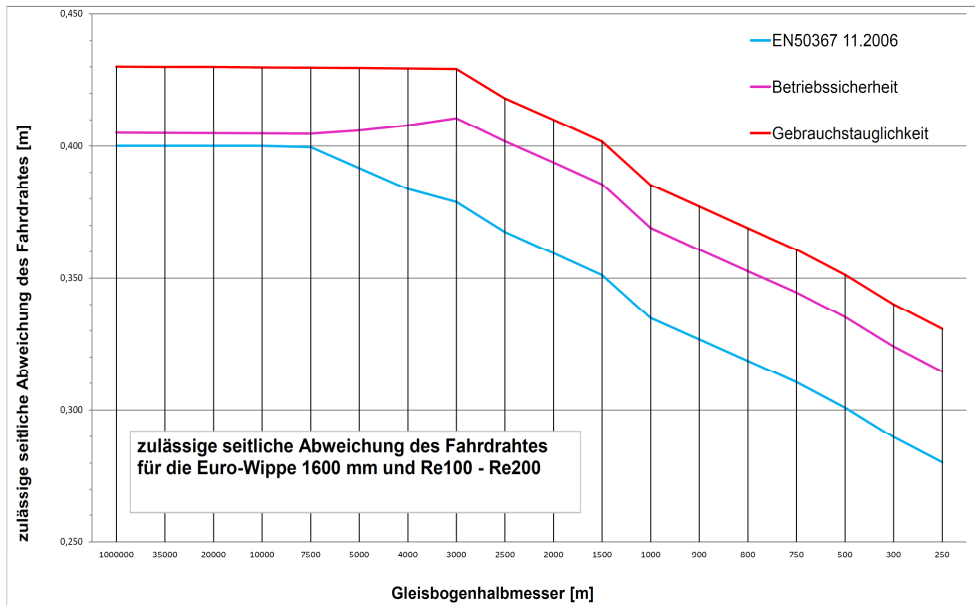
$$d_{lg} = b_{w,c} - \frac{l_{max} - d}{2} - \frac{2500}{R} - \frac{s'_0}{L} \cdot (D - D_0) \cdot (h_{ref} - h_{c0}) - \left(e_{pu} + \frac{e_{po} - e_{pu}}{1,5} \cdot (h_{ref} - 5,0) \right)$$

Beispielerggebnisse neue Berechnung



Stromabnehmer 1600 mm
(Maximalwert 400 mm)

Stromabnehmer 1950 mm
(Maximalwert 550 mm)



- Kettenwerk entsprechend RE 200 (Nennfahrdrathöhe 5,50 m)
- Fahrzeugdaten nach EN 15273 (incl. Revision 2018)
- Gleis nach TSI INFRA – konventionelles Netz

Status Revision EN 50367



Überarbeitung EN 50367

- Kommentierung erfolgt
- Einarbeitung Kommentare läuft
- Veröffentlichung geplant für 2020 Rechtzeitig mit Revision TSI ENE

Zulässige Seitenlage Fahrdrabt – Neues Berechnungsverfahren:

- Anwendbar für alle Fälle
- Basis EN 15273 (Grenzlinien)
- Abbildung bereits langjährig erprobter Systeme
- Enthalten in Revision EN 50367

Für Laterale Abweichung entsprechend Dringlichkeit

→ Gültige Technical Opinion zur TSI ENE Reg (EU) 1301/2014

Nachweis Dynamische Interaktion

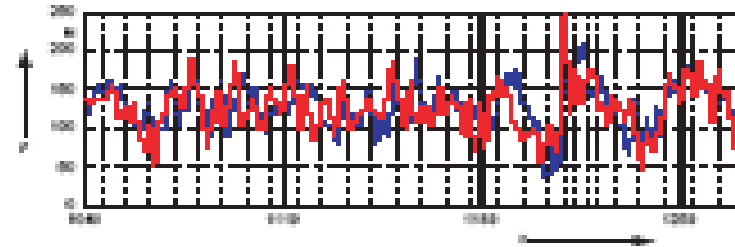
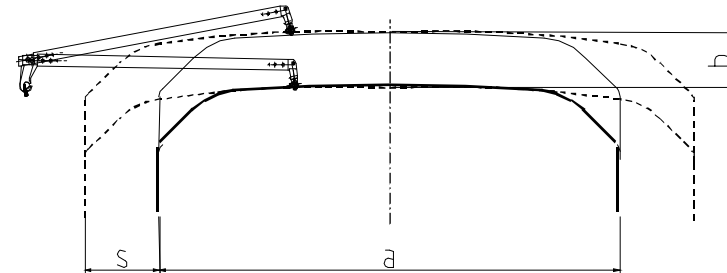
Sicherheitsgrenzwert:

vertikaler Stromabnehmerdurchgang

- Fahrdrahtanhub bei Stromabnehmerdurchgang

Betriebsgrenze:

- Kontaktgüte (Verschleiß, Kontaktunterbrechung)
- Kontaktkraft
- Lichtbögen



Essentiell zur Nutzung für freien Netzzugang:

- Einheitliche Bestimmungsmethoden (Messung / Simulation)
- Regeln zur Vergleichbarkeit der Ergebnisse

Prüfung der dynamische Interaktion Oberleitung / Stromabnehmer



Prüfverfahren komplex mit vielfältigen Einflüssen –

- Ausgedehntes System mit weiten Wertebereichen
- Einzeleinflüsse (Fehlerstellen)
- Umfangreiche Fremdeinflüsse
- Ergebnisse werden durch beide Partner beeinflusst (Stromabnehmer und Oberleitung)

Vergleichbarkeit nur mit umfangreichen Randbedingungen

- Streckenversuche als Messfahrten (Validierte Messsysteme nach EN 50317)
- Simulation mit Mathematischen Modellen (Validiert Simulationssysteme nach EN 50318)

Revision EN 50318 – Validierung von Simulationsmodellen



Ziel: Nutzbarkeit von Simulationen als Ersatz für Messungen bei Assessments

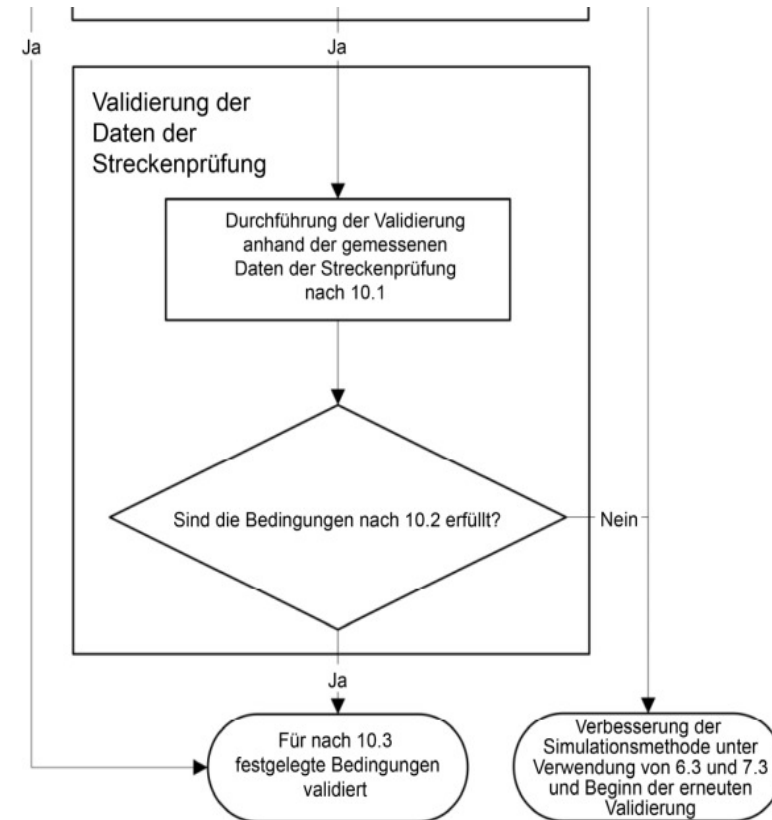
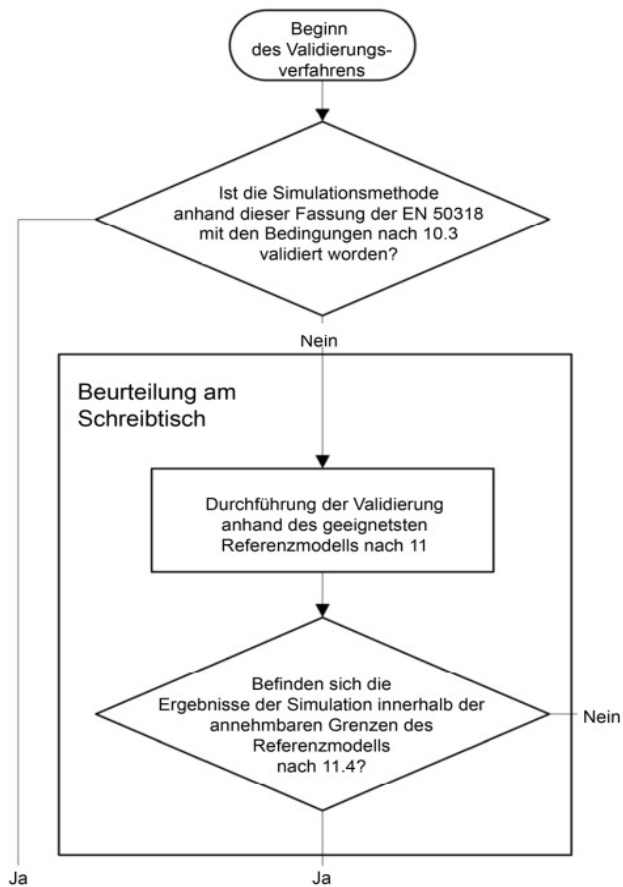
Erfordert:

- Akzeptanz bei allen Beteiligten
 - Komplexer Zusammenhang mit gegenseitigen Abhängigkeiten
 - TSI ENE gestartet mit HS (Anforderungen „Einfach“)

Status:

- Gültige Version EN 50318:2002 nicht mehr auf aktuellem Status
- Revision abgeschlossen neue Version bereit zur Veröffentlichung

EN 50318 - Validierungsprozess



Quelle prEN 50318:2018

Referenzmodelle – Berechnungsergebnisse

Tabelle 3 – Kombinationen der OCL- und Dachstromabnehmer-Referenzmodelle

Referenzmodell-Kombinations-ID	OCL-Typ siehe A.2	Dachstrom-abnehmer siehe A.3	Geschwindigkeit [km/h]	Mittelwert der Kontakt- kraft [N]	Anzahl Dach- stromab- nehmer	Abstand zwischen Dach- stromabnehmern [m]	Annehm- barer Ergebnis- bereich
1	Wechselstrom- Oberleitung ohne Y-Beiseil	AC	275	143	2	200	Tabelle A.6
2	Wechselstrom- Oberleitung ohne Y-Beiseil	AC	320	169	2	200	Tabelle A.6
3	Wechselstrom- Oberleitung mit Y-Beiseil	AC	275	143	2	200	Tabelle A.7
4	Wechselstrom- Oberleitung mit Y-Beiseil	AC	320	169	2	200	Tabelle A.7
5	Gleichstrom- Oberleitung ohne Y-Beiseil	DC	200	149	2	200	Tabelle A.8

Quelle prEN 50318:2018

Validierung Simulationsmodelle



Der Vergleich muss erfolgen für:

- die Standardabweichung der Kontaktkraft σ ;
- den maximalen Anhub am Stützpunkt für alle gemessenen Stützpunkte;
- den Bereich zwischen der vertikalen Position des Kontaktpunktes für das Spannungsfeld mit der maximalen Länge (ohne Überlappungen), falls gemessene Werte zur Verfügung stehen.

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

Tabelle 2 – Abweichung der simulierten dynamischen Werte

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

Quelle prEN 50318:2018

Zulässige Abweichungen erscheinen hoch müssen aber im Zusammenhang der Einflussgrößen gesehen werden.

Einflüsse auf die Ergebnisabweichung:

- Datengenauigkeit für Modelldaten
- Modellbildung
- Toleranzen der Einzelelemente
- Fahrzeugintegration Stromabnehmer
- Fremdeinflüsse (Wetter,..)
- Auswertebereiche
- Messgenauigkeit

Validierungsmodelle – Messergebnisse

Aufnahme kompletter Datensätze realer Messungen

Modellparameter für:

- AC - Oberleitung ohne Beiseil
- AC - Oberleitung mit Beiseil
- DC – Oberleitung als Doppelkettenwerk ohne Beiseil

→

- Validierung ohne spezielle Messfahrten möglich
- Vergleichbare Validierung für weiten Einsatzbereich

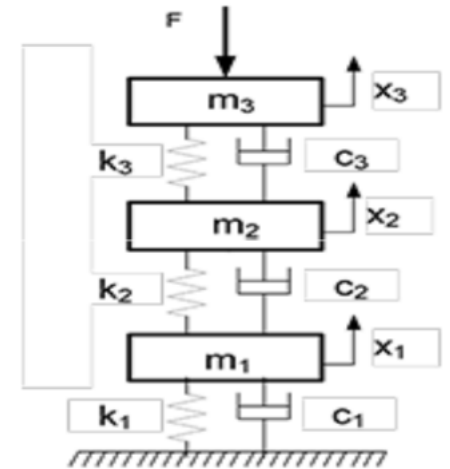
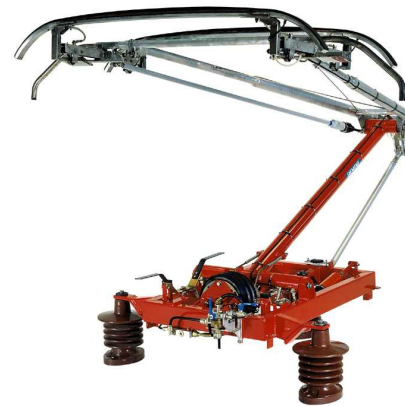
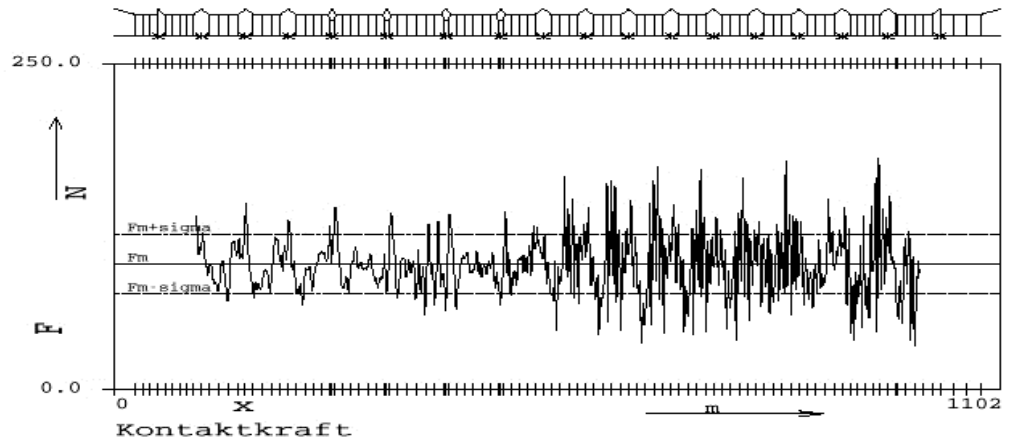
Aber:

Alle Datensätze von Hochgeschwindigkeitstrecken mit geringer Streuung der Parameter

Akzeptanz der Simulation

Problempunkte:

- Abbildung im Modell nur entsprechend Datenbereitstellung möglich
fehlende Besonderheiten wie Absenkungen, ..
 - Einfluss Einzelparameter unbekannt
Übertragung Ergebnisse
 - Zuordnung Messabschnitt zu Modell schwierig
 - Anlagenzustand variiert
Messzustand entspricht nicht Modellzustand
- Bewertung Einzelmodelle kann Akzeptanz verbessern



Validierung Stromabnehmermodell

Anhand der Messungen der angelegten Kraft und der Beschleunigung am Kontaktpunkt muss die gemessene scheinbare Masse ($m_{app,meas}$) in Kilogramm für den interessierenden Frequenzbereich festgelegt werden:

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

Die scheinbare Masse des Simulationsmodells muss in derselben Weise wie für die Messung am Prüfstand anhand der in der Simulationsumgebung festgelegten Werte für die angelegte Kraft und die sich ergebende Beschleunigung am Kontaktpunkt festgelegt werden:

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

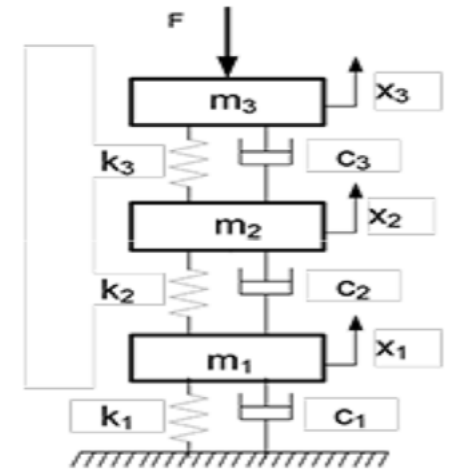
Die scheinbare Masse des Dachstromabnehmermodells ($m_{app,model}$) muss in Kilogramm berechnet werden; dabei müssen dieselben Frequenzen in demselben Frequenzbereich wie bei den Messungen verwendet werden.

Die Genauigkeit (Q) des Dachstromabnehmer-Simulationsmodells muss unter Verwendung der folgenden Formel berechnet werden, die auf den Größenordnungen der scheinbaren Masse basiert:

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

Für die Berechnung von Q müssen Frequenzen mit gemessenen Werten für die scheinbare Masse unter 2 kg weggelassen werden.

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



Bewertung Oberleitungsmodell

Beurteilung numerischer Modelle für Oberleitung auf Basis

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

→ Erfordert statische Messwerte + zugehörige Anlagenparameter

Tabelle 1 – Abweichung simulierter statischer Werte

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

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

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

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

Interaktion von Oberleitung und Stromabnehmer

Schnittstellen und ihre Anforderungen in der Europäischen Normung

SIEMENS
Ingenuity for life



Dr. Albrecht Brodkorb
Principal Key Expert
Siemens Mobility GmbH
MO TPE RE

Mozartstraße 33b
91052 Erlangen
Phone: +49 172 1088547

E-mail:
albrecht.brodkorb@siemens.com

[siemens.de/rail-electrification](https://www.siemens.de/rail-electrification)