

**Hochleistungsprüfanlage der ÖBB –
ein Beitrag zur Qualitätssicherung
der Bahnerdung-Rückstromführung**

SAE-FB-ET
DI Dr. Gerold Punz

Hochleistungsprüfanlage der ÖBB – ein Beitrag zur Qualitätssicherung der Bahnerdung-Rückstromführung

Normative Grundlagen

Hochleistungsprüfanlage der ÖBB Infrastruktur AG (HPA)

Messtechnische Umsetzung

Normative Grundlagen

- VERORDNUNG (EU) Nr. 1301/2014 DER KOMMISSION vom 18. November 2014 über die technische Spezifikation für die Interoperabilität des Teilsystems „Energie“ des Eisenbahnsystems in der Europäischen Union
- EN 50122-1 Ausgabe: 2017-11-01
- ÖBB Regelwerksgruppe 12.11
Rückstromführung und Bahnerdung
- ÖBB Regelwerk 12.15.02
Überprüfung der Rückleitung und Bahnerdung in und im Einflussbereich von Bahnstromanlagen

Normative Grundlagen – TSI ENE

- **Punkt 4.2.18 Schutz vor dem elektrischen Schlag**

Die elektrische Sicherheit der Oberleitungsanlage und der Schutz vor elektrischem Schlag ist durch Erfüllung der Norm EN 50122-1:2011+A1:2011 Abschnitte 5.2.1 (nur für öffentliche Bereiche), 5.3.1, 5.3.2, 6.1 und 6.2 (mit Ausnahme der Anforderungen für Gleisstromkreise) zu gewährleisten. In Bezug auf die Sicherheit von Personen und die zulässigen Grenzwerte der Spannungen sind die Abschnitte 9.2.2.1 und 9.2.2.2 (AC) sowie die Abschnitte 9.3.2.1 und 9.3.2.2 (DC) der Norm maßgebend.

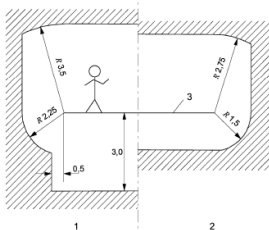
Nachweis ist gegeben durch die Errichtung

- **der Traktionsstromanlage und 50 Hz Anlage gemäß ÖBB Regelwerke z.B.**
 - für Oberleitungsanlagen RW 12.10.01 Vorgaben für die Planung und Ausführung der ÖBB Oberleitungsanlage,
 - Regelwerksgruppe 12.11 Rückstromführung und Bahnerdung
 - Regelwerksgruppe 12.05 Energieversorgung und Schutzsystem

Normative Grundlagen - EN 50122-1

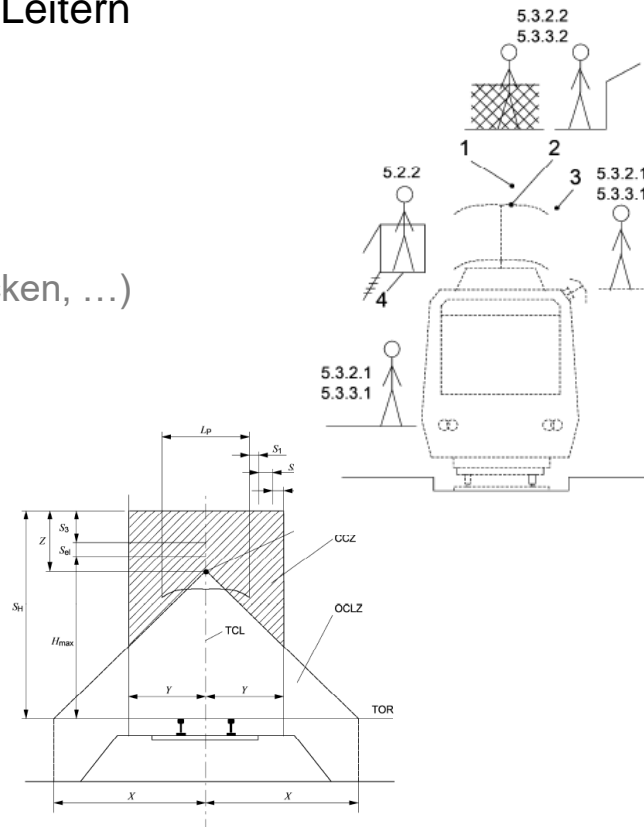
Schutz gegen direktes Berühren von aktiven Leitern

- Abstand
- Schutz durch Hindernisse (Abschranken, Abdecken, ...)



Schutz indirektes Berühren und unzulässige Berührungsspannungen

- Anschluss an die Rückleitung



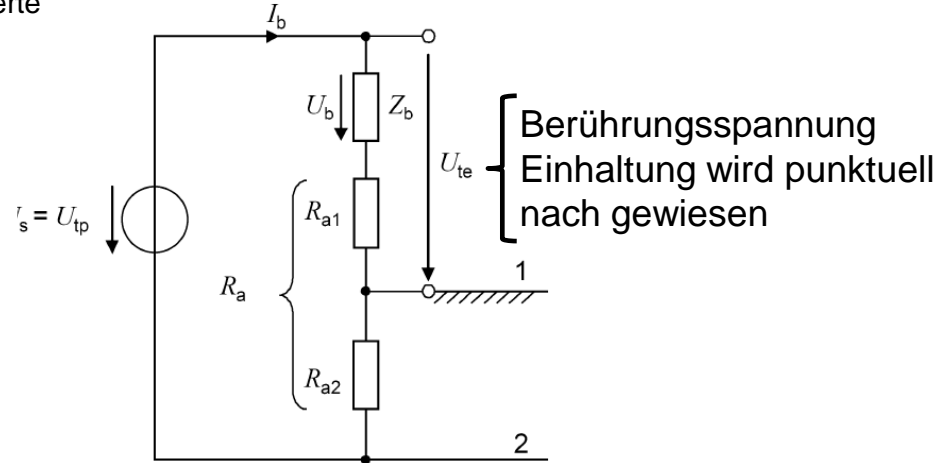
Normative Grundlagen - EN 50122-1 Berührungsspannungen

Gemäß Kap 9.1.2. werden alle in Abschnitt 9 angegebenen Werte für die Körper- und die Berührungsspannung als vertretbare Höchstwerte angesehen.

Tabelle 4 – Zulässige Berührungsspannungen $U_{te, max}$ bei Wechselstrombahnen in Abhängigkeit der Zeitdauer

t	$U_{te, max}$ Langzeit	$U_{te, max}$ Kurzzeit
s	V	V
> 300	60	–
300	65	–
1	75	–
0,9	80	–
0,8	85	–
0,7	90	–
< 0,7	–	155
0,6	–	180
0,5	–	220
0,4	–	295
0,3	–	480
0,2	–	645
0,1	–	785
0,05	–	835
0,02	–	865

Legende
 t Zeitdauer
 $U_{te, max}$ zulässige Berührungsspannung



Legende

- 1 Standfläche
- 2 Erde
- U_s Quellenspannung
- U_{tp} unbeeinflusste Berührungsspannung
- U_{te} Berührungsspannung
- U_b Körperspannung
- I_b Körperstrom
- Z_b Gesamt-Körperimpedanz
- R_{a1} zusätzlicher Widerstand für Schuhe
- R_{a2} zusätzlicher Widerstand der Standfläche
- $R_{a2} = \rho_s \times 1,5 \text{ m}^{-1}$
- ρ_s spezifischer Widerstand der Standfläche [in Ωm]
- $U_{tp, max}(t) = U_{te, max}(t) + I_b(t) \cdot R_{a2}$

Normative Randbedingungen

Kurzzeitbedingungen:
 $Z_b=1000\Omega$, $R_{a1}=1000\Omega$
 Langzeitbedingungen:
 $Z_b=2200\Omega$, $R_{a1}=0\Omega$

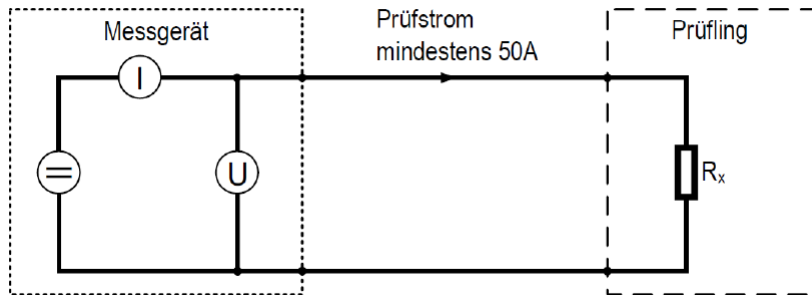
Praxis: $Z_b+R_{a1}=2200\Omega$

Überprüfung der Rückleitung und Bahnerdung in und im Einflussbereich von Bahnstromanlagen

- RW 12.15.02 Regelwerk ist grundsätzlich für die Prüfungen
 - von Rückleitungen- und Bahnerdungen,
 - der „inneren Erdung von Stahlbetonbauwerken“ in der Nähe von Bahnstromanlagen mit einer Nennwechselspannung über 15 kV und einer Nennfrequenz von 16,7 Hz und
 - der 50 Hz Energietechnikanlagen (z.B.: WHZ-Anlagen, Anlagen im Kundenbereich, ...) im Einflussbereich von Bahnstromanlagenbei allen Neu- und größeren Umbauten anzuwenden.

Prüfung der inneren Erdung von Stahlbetonbauwerken

Prüfschaltung



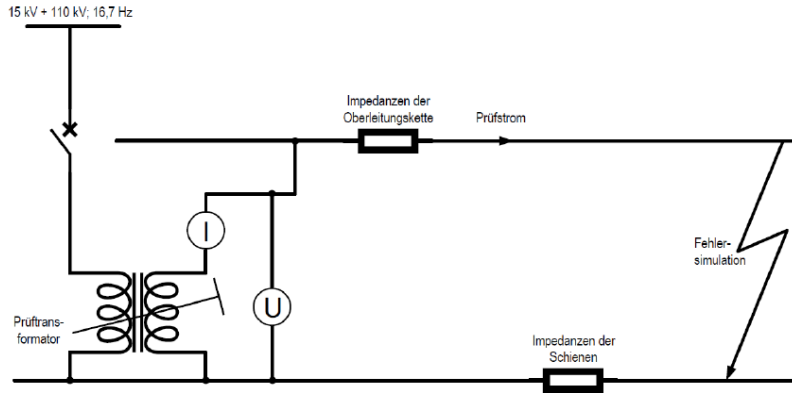
Prüfvorgang:

Grundsätzlich hat eine Widerstandsmessung nach Strom/Spannungsmethode mit einem Strom von mindestens DC 50 A analog zu ÖVE/ÖNORM E 8383, Anhang N mit einer Mindestprüfdauer von 3 s zu erfolgen. Während der Messung darf sich der Widerstandswert nicht verändern.

Prüfergebnis:

- Widerstandswert $\leq 0,02$ Ohm – innere Erdungsverbinding in Ordnung
- Widerstandswert $> 0,02$ Ohm – Widerstandswert muss auf Plausibilität überprüft werden.

Prüfschaltung



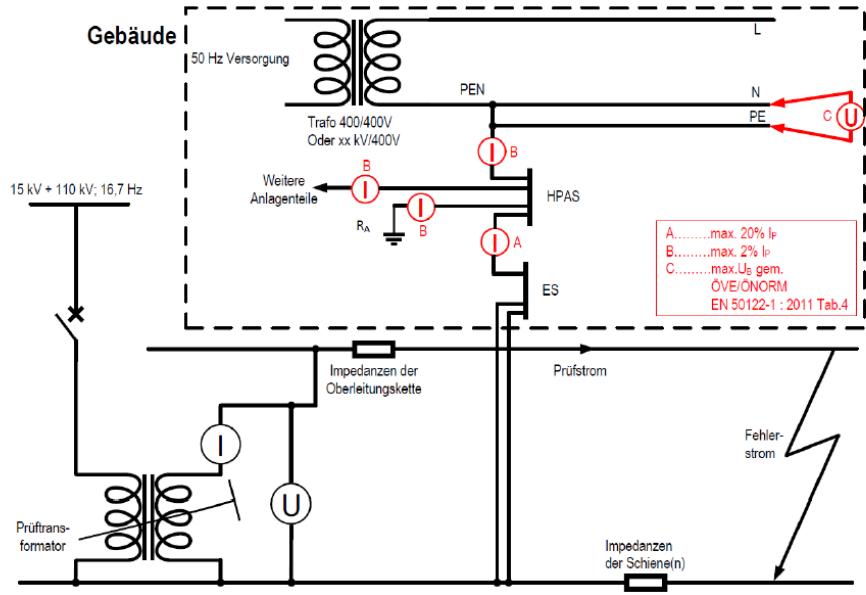
Prüfvorgang:

- Erstellung einer Prüfschleife im Oberleitungsnetz
- **Verwendung einer von 16,7 Hz abweichenden Frequenz**, wobei der Prüfstrom mindestens 100 A (frequenzselektive Messung) betragen muss
- **Messfrequenz 16,7Hz**, Verwendung eines Prüfstromes von mindestens 500 A mit der Grundschwingung von 16,7 Hz, wobei die Beeinflussung durch Traktionsströme und Traktionsrückströme beurteilt werden muss.

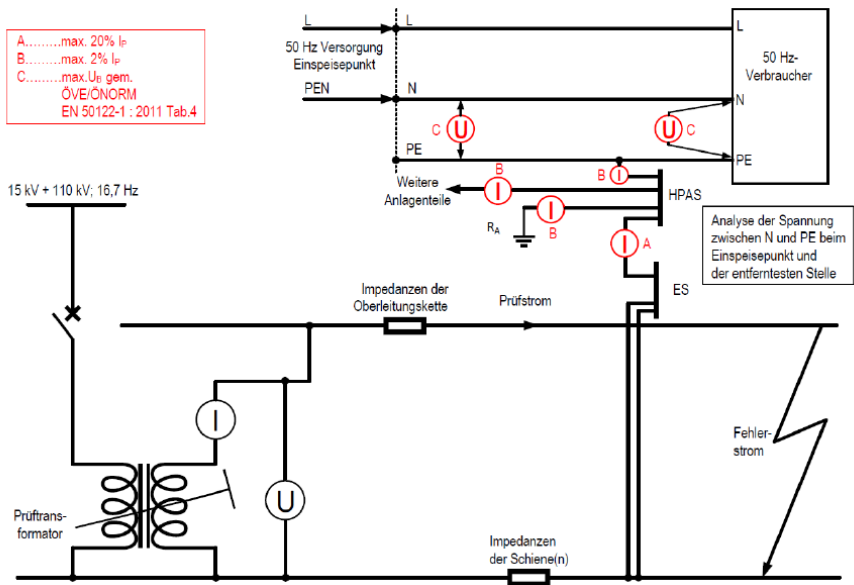
Prüfergebnis:

- Die Messungen sind für Betriebsströme von 1000 A pro Gleis sowie 30 kA Kurzschlussstrom zu bewerten.
- Berührungsspannungen (U_{te}) für Kurzzeitbeeinflussung (60ms) und Langzeitbeeinflussung (>300s) müssen eingehalten werden

Prüfschaltung TN- Netz



Prüfschaltung TT- Netz



Grenzwert der Potenzialdifferenzmessungen:

Die gemessene Spannung zwischen N- und PE-Leiter darf maximal 1/5 der zulässigen Berührungsspannung im 16,7 Hz-Spektrum gemäß ÖVE/ÖNORM EN 50122-1 Tabelle 4 betragen.



	Zu Skalierender Strom	Belastungsdauer	Zulässige Berührungsspannung	1/5 der zulässigen Berührungsspannung
Betriebsfall	1 kA	bis 300 s	60 V	12 V
Störfall	30 kA	bis 0,1 s	785 V	157 V

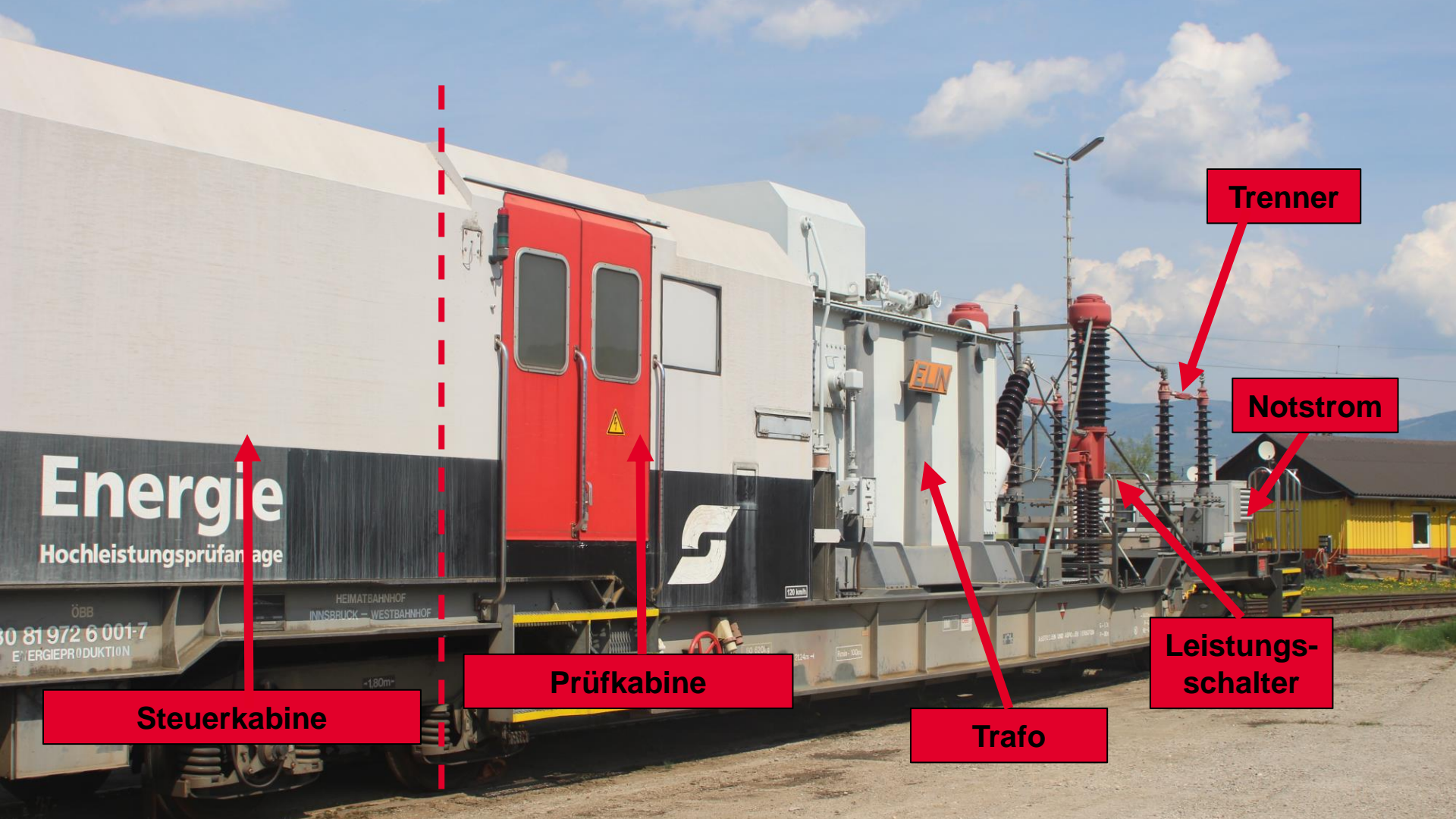
Tabelle 1: Auszug aus ÖVE/ÖNORM EN 50122-1 Tabelle 4

Hochleistungsprüfanlage der ÖBB – ein Beitrag zur Qualitätssicherung der Bahnerdung-Rückstromführung

Normative Grundlagen

Hochleistungsprüfanlage der ÖBB Infrastruktur AG (HPA)

Messtechnische Umsetzung



Energie
Hochleistungsprüfanlage

öBB
0 81972 6 001-7
ENERGIEPRODUKTION

HEIMATBAHNHOF
INNSBRUCK - WESTBAHNHOF

-180m-

Prüfkabine

Steuerkabine

Trafo

Trenner

Notstrom

Leistungsschalter

Mechanisch/Lauftechnisch

Montage der Prüfanlage auf einem Tiefladewaggon

- Länge ca. 21 m
- Gewicht ca. 88t

Transportgeschwindigkeit $v_{max}=100\text{km/h}$
Profil des Tiefladewaggon nach UIC 505-1
(geeignet auch für Strecken außerhalb Österreichs)

Alle Meß- und Prüfeinrichtungen sind auf dem Tiefladewaggon integriert

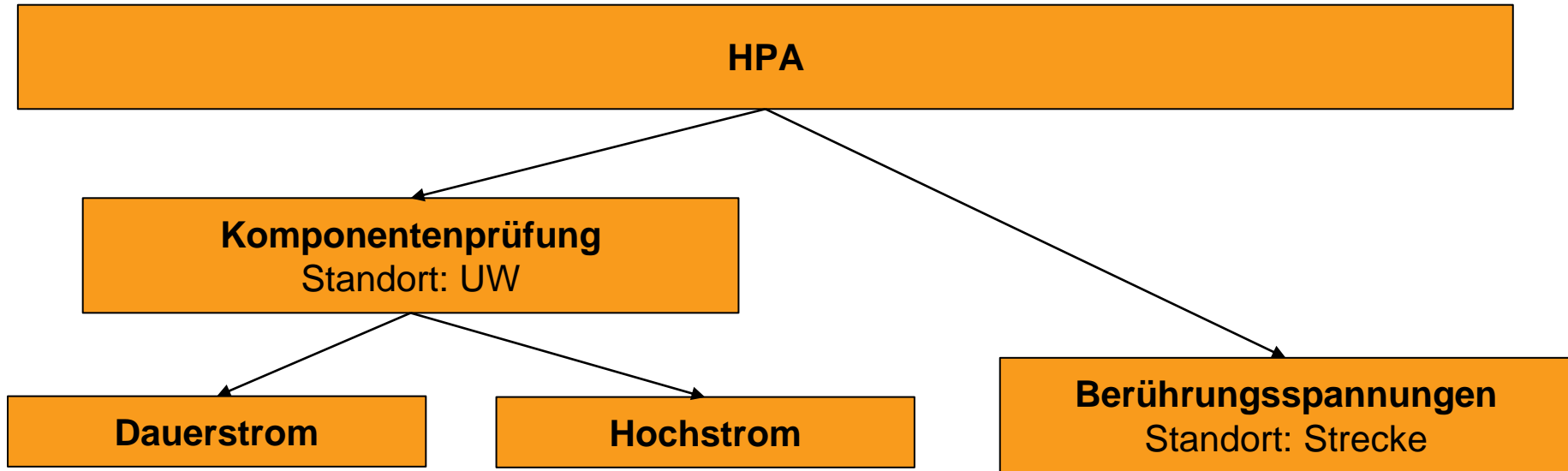
Hauptkomponenten

- Trenner - Leitungsschalter – Transformator
- Prüfkabine
- Meßkabine

Elektrisch

Eingangsspannungen:	115kV	57.5 kV	15 kV
Kurzschlussprüfungen:			
Prüfstrom:	16-50kA	10-45kA	9-25kA
Dauerbelastungen:			2-4kA (1h-3h)
Verhalten als Konstantstromquelle			
Leerlaufspannungen	500V-1kV		

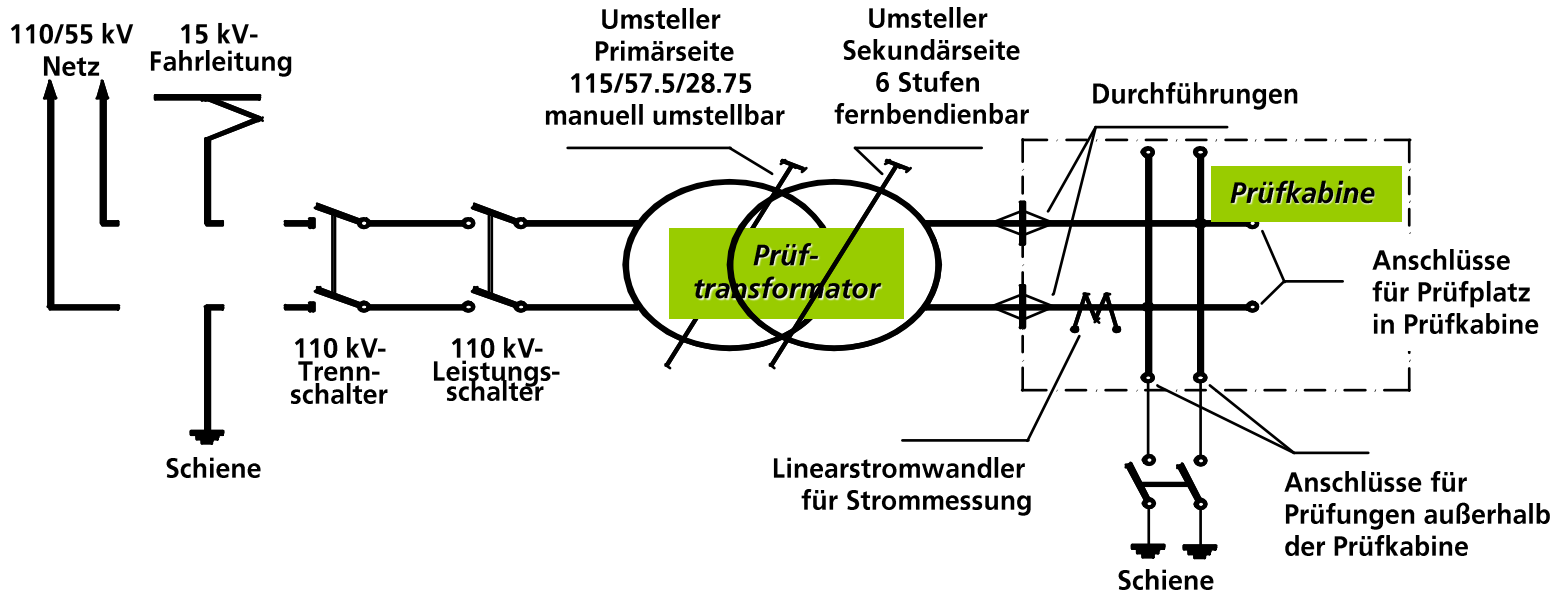
Thermischer Trafoschutz erfolgt über Monitoring (Sensoren im Trafo)

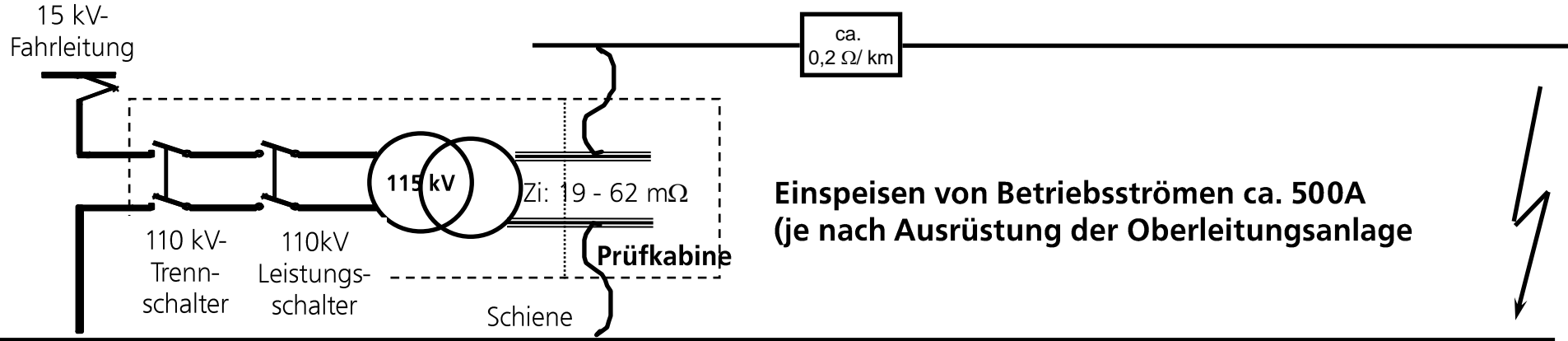


- Temperaturverlauf bei konstantem Strom

- $I_k = 30 \text{ kA}$, $t = 60 \text{ ms}$
- Dokumentation von Momentanwerten von Strom und Spannung
- Phasengenaue Zuschaltung

- HPA als Konstantstromquelle
- Fernsteuerung
- Protokollierung von Strom und Spannung





Hochleistungsprüfanlage der ÖBB – ein Beitrag zur Qualitätssicherung der Bahnerdung-Rückstromführung

Normative Grundlagen

Hochleistungsprüfanlage der ÖBB Infrastruktur AG (HPA)

Messtechnische Umsetzung

Rahmenbedingungen für die messtechnische Umsetzung

aus EN 50122-1

Anhang E
(normativ)

Messverfahren für Berührungsspannungen

Die Messung der Berührungsspannung muss wie nachfolgend beschrieben durchgeführt werden.

Die Berührungsspannung muss über einen Widerstand gemessen werden, welcher dem Körperwiderstand Z_b , und dem zusätzlichen Widerstand R_{a1} entspricht, siehe Bild D.1. Er muss mindestens betragen:

- $Z_b + R_{a1} = 1\,000\ \Omega + 1\,000\ \Omega = 2\,000\ \Omega$ für Kurzzeitbedingungen;
- $Z_b + R_{a1} = 2\,200\ \Omega + 0\ \Omega = 2\,200\ \Omega$ für Langzeitbedingungen.

ANMERKUNG In der Praxis darf ein Wert von $2\,200\ \Omega$ für alle Bedingungen benutzt werden.

Die Messelektrode zur Nachbildung der Füße muss eine Gesamtfläche von $400\ \text{cm}^2$ haben und muss mit einer Mindestkraft von $500\ \text{N}$ auf dem Boden aufliegen. Alternativ darf eine Messelektrode mit $2\ \text{cm}$ Durchmesser und $30\ \text{cm}$ Länge verwendet werden. Das entspricht einer Elektrode mit $2,2\ \Omega/\text{cm}$.

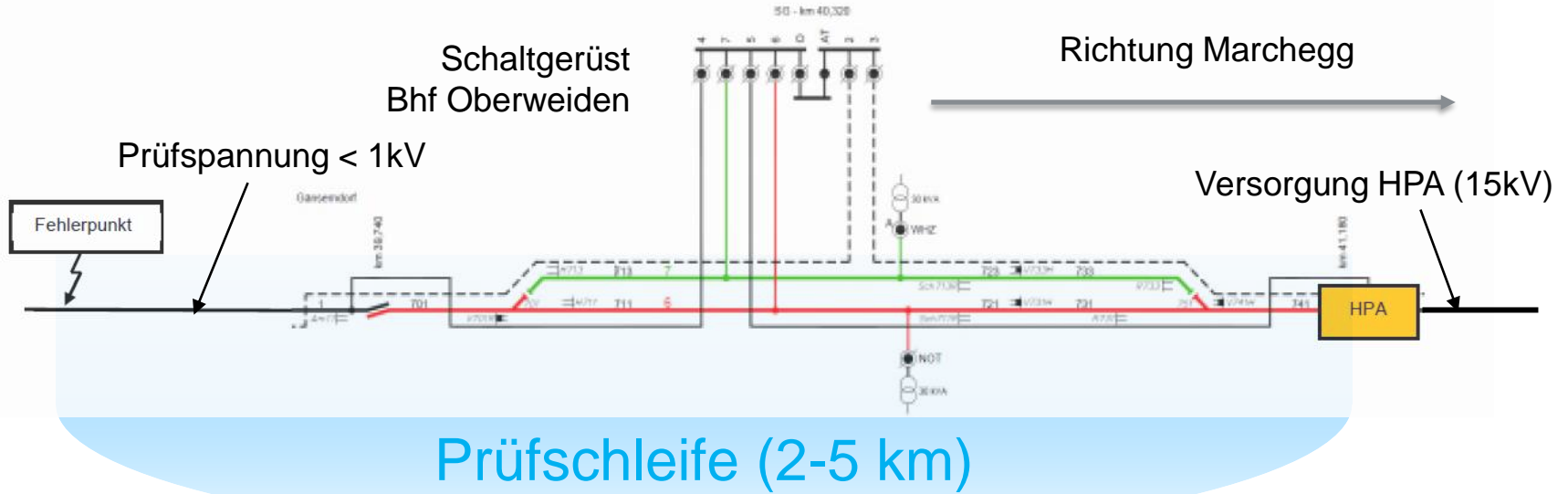
Bei der Messung der Berührungsspannung bei Beton oder ausgetrocknetem Boden muss zwischen der Fußelektrode und der Erde ein nasses Tuch oder ein Wasserfilm vorhanden sein. Die Fußelektrode muss in einem Abstand von mindestens $1\ \text{m}$ vom Körper des elektrischen Betriebsmittels angeordnet werden.

Zur Nachbildung der Hand kann als Messelektrode z. B. eine Spitzenelektrode verwendet werden. Hierbei sind Farbanstriche (jedoch nicht Isolierungen) zuverlässig zu durchstoßen.

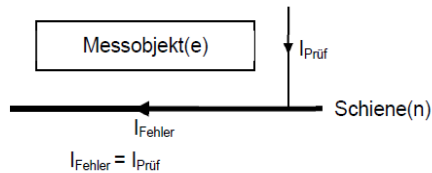
Eine Klemme des Spannungsmessgeräts muss mit der Handelektrode, die andere mit der Fußelektrode verbunden werden. Es genügt, solche Messungen in einer Anlage stichprobenartig vorzunehmen.

ANMERKUNG Die Berührungsspannung ist stets geringer als die unbeeinflusste Berührungsspannung. Es ist eine einfache Abschätzung möglich, indem man ein Spannungsmessgerät mit hohem Innenwiderstand und eine geeignete Messelektrode benutzt.

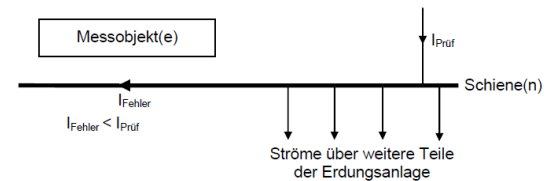




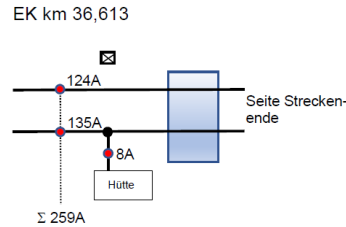
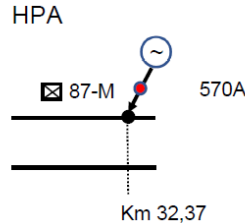
Fehler beim Messobjekt ($I_F = I_P$)



Fehler vom Messobjekt entfernt ($I_F < I_P$)



- Fehlerstrom ist an jeder Messtelle unterschiedlich (für jedes Betrachtete Objekt wird der Fehlerstrom I_F festgelegt (aus Messungen))



Gemessene Berührungsspannung (U_{TM}) wird auf einen Betriebsstrom von $I_B=1000A/Gleis$ und $I_K=30kA$ hochgerechnet

$$U_{Te} = U_{TM} * \frac{I_B \text{ oder } I_K}{I_F}$$

- Für alle Messergebnisse muss gelten $U_{te, \max} > U_{Te}$ dann ist die Forderung aus der EN 50122-1 Kap 9.1.2. (alle in Abschnitt 9 angegebenen Werte für die Körper- und die Berührungsspannung werden als vertretbare Höchstwerte angesehen) erfüllt

Hochgerechnete Messergebnisse

Spannung Objekt - Objekt	gemessen		Umrechnungen		Bemerkung
	U _{lm} [mV]	I _{fehler} [A]	Betrieb	Fehler	
			U _T [mV]	U _T [V]	
Brücke km 34,893: r.d.B, Seite Streckenende: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	9.000,0	263	34.221	1.027	
Brücke km 34,893: l.d.B, Seite Streckenanfang: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	7.300,0	263	27.757	833	
Brücke km 34,893: l.d.B, Seite Streckenende: Geländer nach Brücke gegen Geländer auf Brücke	36,0	263	137	4	
Brücke km 33,728: l.d.B, Seite Streckenende: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	1.300,0	234	5.556	167	
Brücke km 33,728: r.d.B, Seite Streckenende: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	1.200,0	234	5.128	154	
Brücke km 33,728: l.d.B, Seite Streckenanfang: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	1.570,0	234	6.709	201	
Brücke km 33,003: l.d.B, Seite Streckenanfang: Zaun Mauer gegen Geländer Brücke	3.900,0	216	18.056	542	
Brücke km 33,003: r.d.B, Seite Streckenanfang: Zaun Mauer gegen Geländer Brücke	1.780,0	216	8.241	247	
Brücke km 32,740: l.d.B, Seite Streckenanfang: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	5.100,00	251	20.319	609,6	
Brücke km 32,740: r.d.B, Seite Streckenanfang: Geländer Mauer gegen Geländer Brücke	5.150,00	251	20.518	615,5	

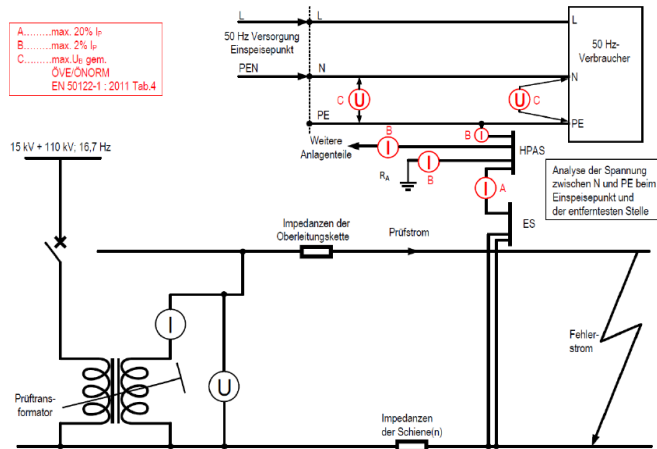
Maßnahmen erforderlich

Ort	Messpunkt	gemessen		Umrechnungen		Bemerkung
		U _{lm} [mV]	I _{fehler} [A]	U _T [mV]	U _T [V]	
Bz. Oberwiden, Bahnhofssteig	1. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	2.000,0	220	9.091	273	
	1. Lichtpunkt, Stpkt. metallischer Deckel	6.700,0	220	30.455	914	
	1. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenanfang, Stpkt. Pflasterung mittig	118,0	220	527	16	keine leitfähige Verbindung zwischen den Stehern!
	1. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenende, Stpkt. Pflasterung mittig	2.600,0	220	11.818	355	
	OL - Mast 11, Stpkt. Pflasterung	1.300,0	220	5.909	177	
	3. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	4.000,0	220	18.182	545	
	2. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenanfang, Stpkt. Pflasterung mittig	2.900,0	220	13.182	395	
	2. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenende, Stpkt. Pflasterung mittig	3.200,0	220	14.545	436	
	4. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	3.000,0	220	13.636	409	
	Anfang Zaun, Stpkt. Pflasterung	14,0	220	64	2	
	5. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	3.500,0	220	15.909	477	
	5. Lichtpunkt, Stpkt. metallischer Deckel	5.500,0	220	25.000	750	
	3. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenanfang, Stpkt. Pflasterung mittig	180,0	220	818	25	
	3. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenende, Stpkt. Pflasterung mittig	4.300,0	220	19.545	588	
	Zaun hinter 3. Bahnhofschild	90,0	220	409	12	
	OL - Mast 13, Stpkt. Pflasterung	3.700,0	220	16.818	505	
	7. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	4.300,0	220	19.545	588	
	Zaun hinter 7. Lichtpunkt	105,0	220	477	14	
	4. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenanfang, Stpkt. Blindenleitsystem mittig	70,0	220	318	10	keine leitfähige Verbindung zwischen den Stehern!
	4. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenende, Stpkt. Blindenleitsystem mittig	6.400,0	220	29.091	873	
	9. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	3.900,0	220	17.727	532	
	9. Lichtpunkt, Stpkt. metallischer Deckel	380,0	220	1.727	52	
	OL - Mast 15, Stpkt. Pflasterung	2.900,0	220	13.182	395	
	10. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	2.900,0	220	13.455	404	
	6. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenanfang, Stpkt. Pflasterung mittig	4.200,0	220	19.091	573	keine leitfähige Verbindung zwischen den Stehern!
	6. Bahnhofschild, Steher Seite Streckenende, Stpkt. Pflasterung mittig	200,0	220	909	27	
12. Lichtpunkt, Stpkt. Pflasterung	2.200,0	220	10.000	300		
Wartekoje: Metallrahmen links, Stpkt. Blindenleitsystem außen	1.400,0	220	6.364	191		
Wartekoje: Metallrahmen rechts, Stpkt. Blindenleitsystem außen	1.300,0	220	5.909	177		

Empfohlene Maßnahmen gemäß OVE EN 50122-1



Beispiel Messungen der 50Hz Beeinflussung Spannung zwischen PE und N Leiter im TT Netz

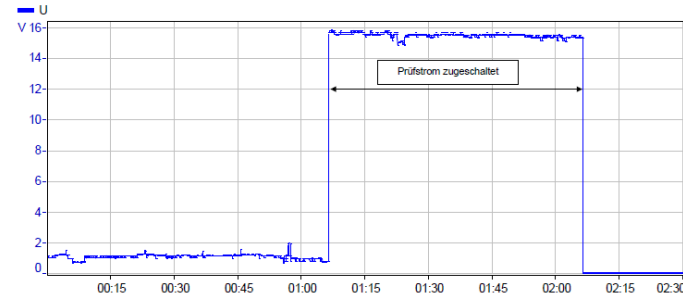


Hinweis auf eine unzulässige Verbindung des Gebäudes/PE Leiter oder N Leiter mit der Schiene

Spannung zwischen N - Leiter und PE - Leiter						
Geprüfte Steckdosen	Art	gemessen			Umrechnungen	
		ohne Prüfstrom	mit Prüfstrom	Prüfstrom	Betrieb	Fehler
		[V _{eff}]	[V _{eff}]	[A]	I _N = 1000A [V]	I _K = 30KA [V]
NSP - Raum: Steckdose neben Waschbecken	1-	0,95	15,70	510	26,9	667,6

Tabelle 4-5: Messergebnisse Spannung zwischen N – und PE – Leiter, Logger

Hinweis-3: Gemäß Prüfanweisung 12.15.02 Punkt 6.3.2., Abbildungen 2 und 3, darf die Spannung zwischen N – und PE – Leiter bei einer Ausführung der 50Hz – Anlage als TN – oder TT – Netz maximal 12V im Betrieb und 157V im Fehlerfall betragen. Diese Werte werden deutlich überschritten.



- Die ÖBB Infrastruktur besitzt mit der HPA eine Prüfeinrichtung um den Nachweis der baulich richtigen Umsetzung der Regelwerke in Rückstromführung / Bahnerdung für Oberleitungsanlagen und 50 Hz Anlagen zu erbringen
- Es werden bei den Messungen immer wieder „falsche (zu viele) oder fehlende“ Erdungsverbindungen gefunden
- Die Messungen sind für den „Qualitätserhalt = Bewusstseinsbildung“ bei der Errichtung der Anlagen auf alle Fälle erforderlich



Danke für die Aufmerksamkeit