

Aktuelle Messmethoden nach DIN EN 61340-4-1 Ed. 2.0 und 61340-4-5

Personenerdungssysteme

Ableit- bzw. leitfähige Bodensysteme sind die Basis einer funktionsgerechten EPA-Schutzzone (Electrostatic Protected Area) und eine der wichtigsten und kostenintensivsten Komponenten innerhalb der ESD-Schutzmaßnahmen (Electro Static Discharge). Die Bodensysteme haben die Aufgabe, Aufladungen von Personen beim Gehen zu minimieren, sowie eventuell bereits vorhandene Personenaufladungen schnell über den Boden zu Erdpotenzial (in der Regel zu Schutzerde PE) abzuleiten.

Der derzeit gültige ESD-Standard DIN EN 61340-5-1 (08-2001) [3] definiert für die Personenerdung eindeutig die Anforderung an die Handgelenkbanderung mittels System „Handgelenkband/Erdungsleitung“ (Ableitwiderstand $R_{GSystem} \leq 35 \text{ M}\Omega$). Auf die alternative Personenerdung bei stehender Tätigkeit durch das System „Mensch/Schuhe/Boden“ wird nur in einer Fußnote hingewiesen und ein Ableitwiderstand $R_{ESystem} < 35 \text{ M}\Omega$ empfohlen.

Bereits die Veröffentlichungen „Personenerdung über das System Boden/Schuhwerk“ [5] zum 5. ESD-Forum 1997 und „Untersuchungen der ESD-Tauglichkeit von leitfähigen Industrieböden in ESD-Schutz-zonen“ [6] zum 6. ESD-Forum hatten gezeigt, wie wichtig die Analyse des Systems Boden-Schuhwerk in Kombination mit einer Person ist.

Die Internationale Normengruppe IEC TC101 „Electrostatics“ beschäftigt sich derzeit mit der Überarbeitung der IEC 61340-5-1 / TR2 (12-1998). Im ersten von der DKE (Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE) veröffentlichten deutschen Entwurf, der DIN IEC 61340-5-1 Ed. 2.0 (05-2004) [4], wird die Anforderung an das System „Mensch/Schuhe/Boden“ wie folgt beschrieben: „Bei stehenden Tätigkeiten kann das Personal über ein Handgelenkbandensystem oder das System Boden-Schuhwerk geerdet werden. Wenn das System Boden/Schuhwerk verwendet wird, muss eine der beiden folgenden Bedingungen erfüllt werden:

AUTOREN
 Rainer Pfeifle, Technischer Leiter,
 Wolfgang Warmbier, und Obmann
 der Normengruppe K 185 Elektrostatik im DKE

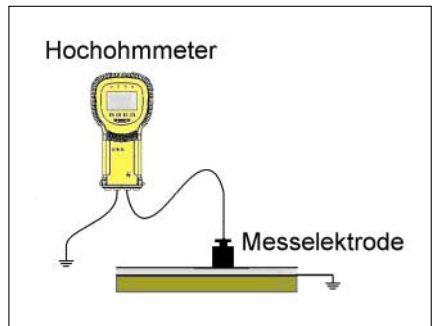


Bild 1: Messung des Ableitwiderstandes nach DIN EN 61340-4-1 Edition 2.0

A: Der Gesamtwiderstand des Systems (von der Person über das Schuhwerk und den Boden zur Geräteerde) muss weniger als 35 MΩ sein, oder

B: Das maximal am Körper generierte Potenzial muss kleiner 100 V sein."

Das für die Bewertung des Systems „Mensch/Schuhe/Boden“ erforderliche Prüfverfahren ist im März 2005 als DIN EN 61340-4-5 [2] erschienen. Im Dezember 2004 ist außerdem die Edition 2.0 der überarbeiteten DIN EN 61340-4-1 [1], welche die Messung des elektrischen Widerstandes von Bodenbelägen und verlegten Fußböden beschreibt, erschienen.

Wichtige Änderungen DIN EN 61340-4-1
 Es gibt einige wichtige Änderungen bzw. Neuerungen in der DIN EN 61340-4-1 Edition 2.0 (12-2004) [1].

Ableitwiderstand R_G nach DIN EN 61340-5-1 (08-2001) Mensch mit ESD-Schuhen Schuhe im getragenen Zustand stehend auf einer Metallplatte	Anforderung nach DIN EN 61340-5-1 (08-2001) $R_G \leq 3,5 \times 10^7 \Omega$ ($\leq 35 \text{ M}\Omega$)	
Beide Schuhe	7,6 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
Linker Schuh	14,2 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
Rechter Schuh	12,8 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt

Tabelle 1: Messung Personenableitwiderstand zu einer Metallplatte

ESD-Bodensysteme	Ableitwiderstand R_G nach DIN EN 61340-4-1 (12-2004)	Anforderung nach DIN EN 61340-5-1 (08-2001) $R_G < 1 \times 10^9 \Omega$ ($< 1 \text{ G}\Omega$)
Epoxidharzbeschichtung (Typ A)	85 kΩ ($U_M = 10 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
Epoxidharzbeschichtung (Typ B)	32 kΩ ($U_M = 10 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
PVC-Belag	38 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
Synthesekautschukbelag	32 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
ANTI-Ermüdungsmatte (Polyurethan)	320 kΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt
Versiegelung auf Polyurethanbasis	6,2 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$)	Anforderung erfüllt

Tabelle 2: Messung Ableitwiderstand nach DIN EN 61340-4-1 Ed. 2.0 [1]



Bild 2: Beispiel einer Messelektrode nach DIN EN 61340-4-1 Ed. 2.0 bzw. DIN EN 61340-2-3



Bild 4: Beispiel einer Handelektrode aus Edelstahl

Die Edition 2.0 bezieht sich ausschließlich auf die Prüfverfahren zu Widerstandsmessungen und enthält keine Klassifizierungen bzw. Anforderungen mehr.

Die aus der DIN IEC 61340-4-1 (04-1997) bekannte Klassifizierung nach ECF (Elektrostatisch leitender Fußboden $R_E \leq 1 \times 10^6 \Omega$), DIF (Elektrostatisch ableitfähiger Fußboden $1 \times 10^6 \Omega \leq R_E \leq 1 \times 10^9 \Omega$) und ASF (Astatischer Fußboden – Körperspannung-Aufladbarkeit $< 2 \text{ kV}$) ist in der Edition 2.0 nicht mehr vorhanden. Da diese Klassifizierung jedoch z. B. für Lieferanten von Fußbodensystemen sinnvoll ist, soll die Klassifizierung in der Edition 2.0 der IEC 61340-5-1/5-2 wieder definiert werden:

Die in der DIN IEC 61340-4-1 (04-1997) spezifizierte Schiedselektrode (Gewicht 5 kg, mit Leitgummi) existiert in der DIN EN 61340-4-1 Edition 2.0 (12-2004) nicht mehr. Für harte, unnachgiebige Oberflächen gilt die Messelektrode mit kreisrundem Leitgummi mit einer Shore-A-Durometerhärte von 60 ± 10 , Kontaktfläche $65 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ und Gewicht $2,5 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$. Für nachgiebige Oberflächen, wie beispielsweise bei textilen Fußbodenbelägen, soll die Messelektrode eine Kontaktfläche von $65 \text{ mm} \pm 5 \text{ mm}$ ohne Leitgummi und ein Gewicht von $5 \text{ kg} \pm 0,25 \text{ kg}$ haben. Für die Messungen des Ableitwiderstandes von ESD-Bodensystemen (Bild 1) wird die Verwendung der internationalen 2,5 kg-Messelektrode (Bild 2) mit leitfähigem Gummi empfohlen. Diese Messelektrode ist bereits in der DIN EN 61340-2-3

Synthesekautschuk- bzw. PVC-Belägen ist nicht zu empfehlen.

Das Prüfverfahren nach DIN EN 61340-4-5 [2] liefert die Grundlage für die Charakterisierung eines „Boden-Schuhwerk“-Systems, indem der elektrische Widerstand

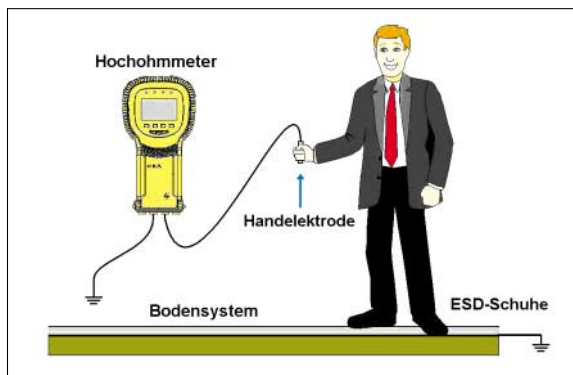


Bild 3: Messung Personenableitwiderstand R_{System} „Mensch/Schuhe/Boden“

(12-2000) [7] beschrieben und hat sich in der Praxis auch für die Messung an ESD-Bodensystemen bewährt.

Die Verwendung der 5 kg-Messelektrode ohne leitfähigen Gummi für ableit- bzw. leitfähige Bodensysteme wie z. B. Epoxidharzbeschichtungen,

KOMPAKT

Um ableit- bzw. leitfähige Bodensysteme und auch das System „Mensch/Schuhe/Boden“ zum Schutz von elektronischen Bauelementen vor Personen-entladungen bewerten zu können sind die Prüfverfahren DIN EN 61340-4-1 Ed. 2.0 (12-2004) [1] und DIN EN 61340-4-5 (03-2005) [2] anzuwenden.

und die Aufladbarkeit von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person gemessen wird.

Messung des elektrischen Widerstandes

Für die Messung des elektrischen Widerstandes „Mensch/Schuhe/Bodensystem“ (Bild 3) gilt:

Vor dem Beginn der Prüfung ist das Prüfungsschuhwerk an beiden Füßen mindestens zehn Minuten zu tragen. Die Minusmessleitung des Hochohmmeters ist mit dem erdungsfähigen Punkt R_C oder mit Schutzterde R_E zu verbinden. Die Plusmessleitung wird mit der Handelektrode (Bild 4) verbunden. Beide Füße sind auf den Bodenbelag zu stellen und die Handelektrode ist fest zu umfassen.

$15 \text{ s} \pm 2 \text{ s}$ nach Anlegen der Prüfspannung wird der Wert abgelesen (Prüfspannung 10 V für Widerstände $< 1 \times 10^6 \Omega$, 100 V für Widerstände $> 1 \times 10^6 \Omega$), Messung für „nur“ linken Fuß auf Bodenbelag und nur „rechten“ Fuß“ auf Bodenbelag wiederho- ►

ESD-Bodensysteme	Systemwiderstand $R_{G\text{System}}$ „Mensch/Schuhe/Boden“ mit ESD-Schuhen nach DIN EN 61340-4-5 (03-2005)	Anforderung nach DIN IEC 61340-5-1 (Entwurf 05-2004) $R_G < 3,5 \times 10^7 \Omega$ ($< 35 \text{ M}\Omega$)
Epoxidharzbeschichtung (Typ A)	42 GΩ ($U_M = 100 \text{ V}$) nur linker Schuh: 89 G Ω nur rechter Schuh: 86 G Ω	Anforderung um mehr als Faktor x 1 000 überschritten
Epoxidharzbeschichtung (Typ B)	39 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$) nur linker Schuh: 86 M Ω nur rechter Schuh: 78 M Ω	Anforderung um 4 M Ω überschritten
PVC-Belag	14,5 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$) nur linker Schuh: 31 M Ω nur rechter Schuh: 27 M Ω	Anforderung erfüllt
Synthesekautschukbelag	16,8 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$) nur linker Schuh: 34 M Ω nur rechter Schuh: 33 M Ω	Anforderung erfüllt
Anti-Ermüdungsmatte (Polyurethan)	9,6 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$) nur linker Schuh: 19 M Ω nur rechter Schuh: 18 M Ω	Anforderung erfüllt
Versiegelung auf Polyurethanbasis	16,6 MΩ ($U_M = 100 \text{ V}$) nur linker Schuh: 35 M Ω nur rechter Schuh: 32 M Ω	Anforderung erfüllt

Tabelle 3: Messung Personenableitwiderstand $R_{G\text{System}}$ nach DIN EN 61340-4-5 [2]

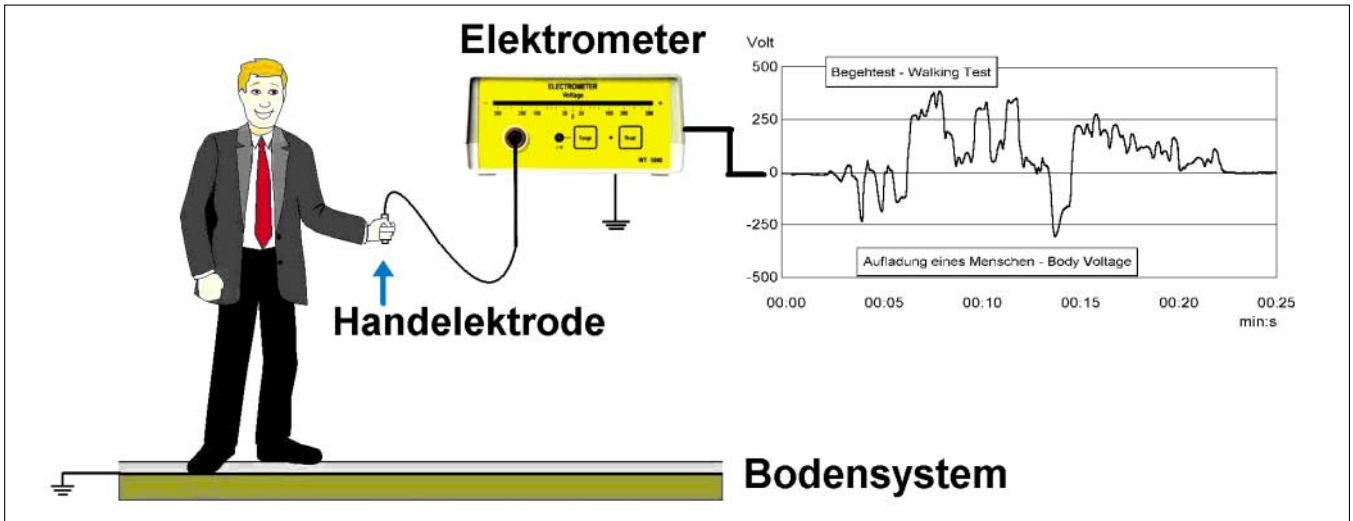


Bild 5: Aufladbarkeit einer Person beim Gehen über einen Boden

len. Bei Laborprüfungen sind an fünf verschiedenen Stellen Messungen durchzuführen, bei verlegten Bodenbelägen mindestens fünf Messungen je 500 m².

Messung Aufladbarkeit

Für die Messungen der Aufladbarkeit einer Person beim Gehen über einen Boden (Bild 5) wird ein elektrostatisches Voltmeter, eine Handelektrode und ein Aufzeichnungsgerät mit folgenden Anforderungen benötigt: Eingangswiderstand des elek-

trostatischen Voltmeters $\geq 10^{14} \Omega$, Eingangskapazität des elektrostatischen Voltmeters, Handelektrode und Anschlussleitungen $\leq 30 \text{ pF}$ und Ansprechzeit des Systems $< 0,25 \text{ s}$ für einen Ausschlag bis zum Skalendwert des Aufzeichnungsgerätes.

Begehung nach Standard

Die Person geht über den Bodenbelag, zwei Schritte pro Sekunde, wobei der Körper immer in die gleiche Richtung weist.

Durch Vorwärts- und Rückwärtslaufen muss der Ausführende möglichst die gesamte Prüffläche begehen – Reibung und Drehbewegungen sind zu vermeiden. Beim Begehen des Bodens sind die Schuhe 50 bis 80 mm vom Boden abzuheben. Die Begehung wird durchgeführt bis der Scheitelwert der Spannung oder die Messdauer 60 s erreicht ist.

Für jede Begehung ist der arithmetische Mittelwert der fünf höchsten Täler und der Mittelwert der fünf höchsten Schei-

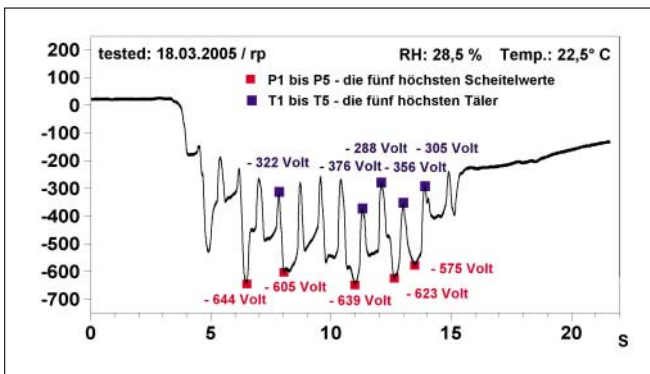


Bild 6: G1 Begetest auf der Epoxidharzbeschichtung Typ A (V/s)

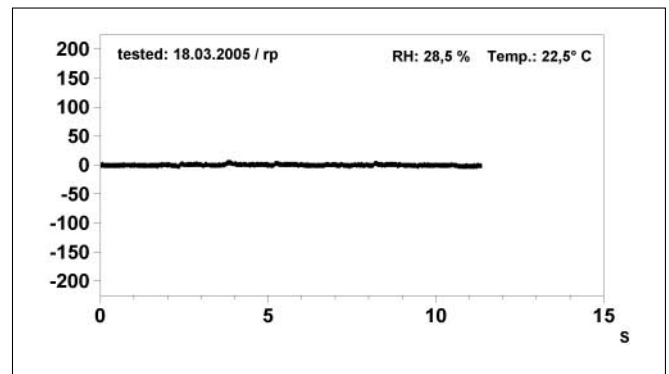


Bild 7: G2 Ergebnis Begetest auf der Epoxidharzbeschichtung Typ B (V/s)

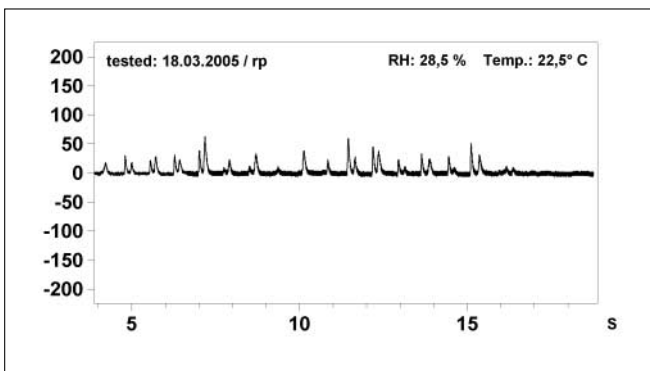


Bild 8: G3 Ergebnis Begetest auf PVC-Belag (V/s)

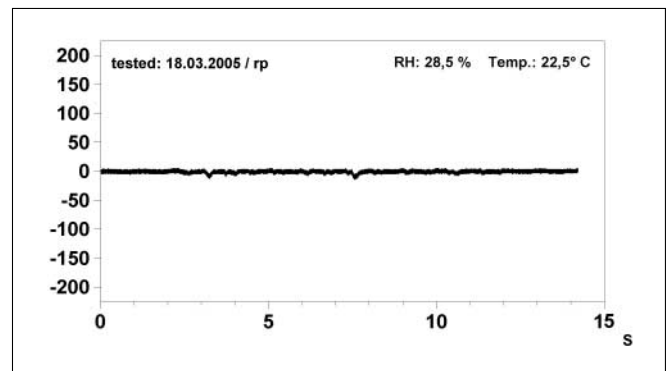


Bild 9: G4 Ergebnis Begetest auf dem Synthetikgummi-Belag (V/s)



EMPFEHLUNGEN IN ALLER KÜRZE

telwerte zu berechnen (Praxismessungen werden oft anders durchgeführt).

Praktisches Beispiel einer Bewertung

Die Messungen wurden an sechs verschiedenen Bodensystemen durchgeführt, welche man häufig in den Fertigungsbereichen der Elektronikindustrie findet.

Zwei Epoxidharzbeschichtungen Typ A (Bild 6) mit Karbonfasern und Typ B (Bild 7) mit leitfähiger Fasermischung, ein PVC-Belag (Bild 8), ein Synthesekautschukbelag (Bild 9), eine ANTI-Ermüdungsmatte (Polyurethan) (Bild 10) und eine Bodenversiegelung auf Polyurethanbasis (Bild 11) (Schichtdicke ca. 0,3 mm) wurden nach den aktuellen Prüfverfahren bewertet.

Die Labormuster sind >48 Stunden bei einer relativen Luftfeuchte von 30 % ± 3 % konditioniert worden. Die Messungen erfolgten bei einer Temperatur von 22,5 °C und einer relativen Luftfeuchte von 28,5 %. **Tabelle 1** und **2** zeigen die Messergebnisse.

Bewertung der Widerstandsmessungen

Die Messungen zeigen deutlich, dass nur die Messungen des Ableitwiderstandes der Bodensysteme nach DIN EN 61340-4-1 Ed. 2.0 [1] für die Bewertung des Personenableitwiderstandes „Mensch/Schuhe/Bodensystem“ nicht ausreichend sind.

Addiert man die Einzelwerte (Ableitwiderstand Bodensystem und Personenableitwiderstand „Mensch/Schuhe zu Metallplatte“) erhält man Widerstandswerte, welche sich nicht mit den gemessenen Personenableitwiderständen „Mensch/Schuhe/Boden“ (**Tabelle 3**) decken.

Man kann an diesen Beispielmessungen feststellen, wie wichtig die Messung des Personenableitwiderstandes „Mensch/Schuhe/Bodensystem“ nach DIN EN 61340-4-5 (03-2005) [2] für eine korrekte Bewertung ist. Wie hoch jedoch die Personenaufladungen beim Gehen über diese Bodensysteme sein können, kann allein durch Messung des Systemwiderstandes „Mensch/Schuhe/Boden“ nicht beantwortet werden. Wenn die Anforderung $R_{Gsystem} < 35 \text{ M}\Omega$ eingehalten werden kann, ist zu erwarten, dass die Personenaufladung beim Gehen $< 100 \text{ V}$ sein wird [5].

Tabelle 5 zeigt die Ergebnisse des Begehtests nach DIN EN 61340-4-5.

Für die Qualifizierung von ab-/leitfähigen Bodensystemen für die primäre Personenerdung bei stehender Tätigkeit wird empfohlen:

- ▶ Verlegung bzw. Installation von Musterflächen,
- ▶ Messung des Ableitwiderstandes R_E des Bodensystems,
- ▶ Messung des Personenableitwiderstandes R_G einer Person mit verschiedenen ESD-Schuhen gegen eine Metallplatte, Messung des Personenableitwiderstandes $R_{Esystem}$ „Mensch/Schuhe/Boden“ mit verschiedenen ESD-Schuhen. Bei Werten des Personenableitwiderstandes $R_{Esystem} > 35 \text{ M}\Omega$ sollte durch einen Begehtest (Walking Test) nachgewiesen werden, ob die Körperspannung beim Gehen $< 100 \text{ V}$ bleibt, wobei der Personenableitwiderstandes $R_{Esystem}$ auf jeden

Fall noch $< 1 \times 10^9 \Omega$ ($< 1 \text{ G}\Omega$) sein sollte, um eine bereits vorhandene Personenaufladung noch in angemessener Zeit entladen zu können [5]. Die Messungen sind, wenn möglich, auch bei niedriger Luftfeuchtigkeit durchzuführen (worst case: relative Luftfeuchte $12 \text{ \%} \pm 3 \text{ \%}$). Für die Verifizierung des Personenerdungssystems „Mensch/Schuhe/Boden“ wird empfohlen: Messung des Personenableitwiderstandes einer Person mit ESD-Schuhen stehend auf einer Metallplatte (z.B. einem Personnel Grounding Tester) nach DIN EN 61340-5-1 (08-2001), Messung der Ableitwiderstände des Bodensystems nach DIN EN 61340-4-1 (12-2004). Eine „jährliche“ Stichprobenmessung des Personenableitwiderstandes „Mensch/Schuhe/Boden“ und einen Begehtest nach DIN EN 61340-4-5 (03-2005).

Zusammenfassung

Durch die Anwendung der beiden Prüfnormen DIN EN 61340-4-1 (12-2004) und DIN EN 61340-4-5 liegen nun die notwendigen Messverfahren vor, um eindeutig die Funktionalität der verschiedenen ESD-Bodensysteme mit ausge-

wählten ESD-Schuhen bewerten zu können.

Erst die Durchführung des Begehtests zeigte beispielsweise, dass die Verwendung eines Epoxidharzbodens Typ B keine Gefährdung von ESDS (ElectroStatic Sensitive Devices) darstellt. ▶

Scheitelwerte P / Täler T	Maximale Scheitelwerte / Täler beim Gehen über das Bodensystem nach DIN EN 61340-4-5 (03-2005)
P1 T1	-644 V -322 V
P2 T2	-605 V -376 V
P3 T3	-639 V -288 V
P4 T4	-623 V -356 V
P5 T5	-575 V -305 V
Arithmetischer Mittelwert	Scheitelwerte: -617 V / Täler: -329 V

Tabelle 4: Ergebnis Begehtest auf der Epoxidharzbeschichtung Typ A

	Personenaufladung beim Begehtest nach DIN EN 61340-4-5 (03-2005)	Anforderung B nach DIN IEC 61340-5-1 (Entwurf 05-2004) Personenaufladung $< 100 \text{ V}$
Epoxidharzbeschichtung (Typ A)	$U_{peak} = 617 \text{ V}$	Anforderung <u>nicht</u> erfüllt
Epoxidharzbeschichtung (Typ B)	$U_{peak} < 10 \text{ V}$	Anforderung erfüllt
PVC-Belag	$U_{peak} < 60 \text{ V}$	Anforderung erfüllt
Synthesekautschukbelag	$U_{peak} < 10 \text{ V}$	Anforderung erfüllt
Anti-Ermüdungsmatte (Polyur.)	$U_{peak} < 10 \text{ V}$	Anforderung erfüllt
Versiegelung auf Polyurethanbasis	$U_{peak} < 20 \text{ V}$	Anforderung erfüllt

Tabelle 5: Ergebnisse des Begehtests nach DIN EN 61340-4-5

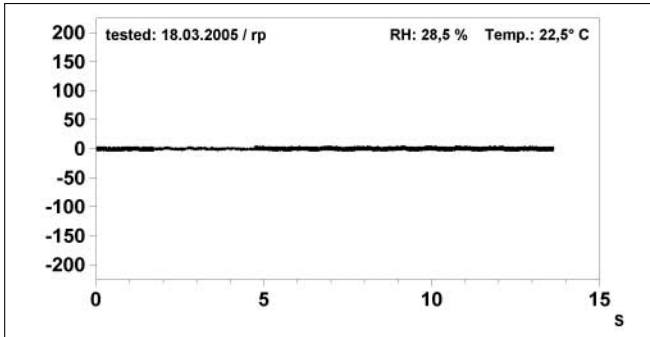


Bild 10: G5 Ergebnis Begetest auf der Anti-Ermüdungsmatte (V/s)

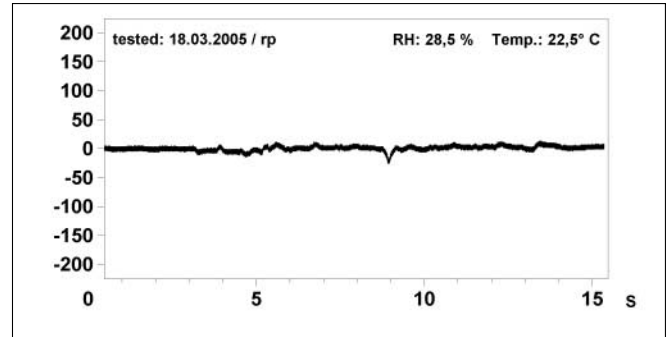


Bild 11: G6 Ergebnis Begetest auf der Bodenversiegelung (V/s)

Literatur

- [1] DIN EN 61340-4-1 Edition 2.0 (12-2004): Elektrostatik-Teil 4-1: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen - Elektrischer Widerstand von Bodenbelägen und verlegten Fußböden (IEC 61340-4-1: 2003)
- [2] DIN EN 61340-4-5 (03-2005): Elektrostatik-Teil 4-5: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen – Verfahren zur Charakterisierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person (IEC 61340-4-5: 2004)
- [3] DIN EN 61340-5-1 (08-2001): Elektrostatik Teil 5-1: Schutz von elektro-

- nischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene – Allgemeine Anforderungen (IEC 61340-5-1:1998)
- [4] DIN IEC 6130-5-1 (Entwurf 05-2004): Elektrostatik Teil 5-1: Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene – Allgemeine Anforderungen (IEC 101/166/CD-2003)
- [5] Personenerdung über das System Boden/Schuhwerk (5. ESD-Forum 1997): Reinhold Gärtner, Karl-Heinz Helling, Gerhard Biermann, Erich Brazda, Roland Haberhauer, Wilfried Köhl, Rolf Müller, Werner Niggemeier, Bernhard Soder
- [6] Untersuchung der ESD-Tauglichkeit von leitfähigen Industrieböden in ESD-

Schutz zonen (6. ESD-Forum 1999) - Reiner Hatt, Rainer Pfeifle

- [7] DIN EN 61340-2-3 (12-2000): Elektrostatik-Teil 2-3: Prüfverfahren zur Bestimmung des Widerstandes und des spezifischen Widerstandes von festen planen Werkstoffen, die zur Vermeidung elektrostatischer Aufladung verwendet werden (IEC 61340-2-3: 2000)

Wolfgang Warmbier Kennz. 409

Fax +49/77 31/86 88 30
www.warmbier.com