

Praktische Probleme bei der Qualifizierung und Validierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person

Christian Hinz¹, Jörg Thürmer²

(1) Stat-X Deutschland GmbH, Charlottenstrasse 68, 10117 Berlin, www.stat-x.com

(2) EPA Design & Control, Lürader Weg 6a, D-21077 Hamburg, www.epa-dc.de

Zusammenfassung – Untersuchung von unterschiedlichen, praxisnahen Messaufbauten für die Durchführung eines Begehtests nach IEC 61340-4-5 Elektrostatik - Teil 4-5: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen - Verfahren zur Charakterisierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person im Hinblick auf die Änderung der IEC 61340-5-1 Ed.2: Elektrostatik – Teil 5-1: Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene - Allgemeine Anforderungen, Tabelle 2 - Anforderungen an die Personenerdung.

Abstract – Investigation of different practical measurement setups for the implementation of a walking test according to IEC 61340-4-5 Electrostatics - Part 4-5: Standard test methods for specific applications - Methods for characterizing the electrostatic protection of footwear and flooring in combination with a person with a view to IEC 61340-5-1 Ed.2: Electrostatics - Part 5-1: protection of electronic devices from electrostatic phenomena - General requirements, Table 2 - Requirements for personal grounding.

1 Anlass und Aufgabenstellung

Angeregt durch den Vortrag von Jeremy Smallwood auf dem ESDA EOS/ESD Symposium for Factory Issues 2014 in München [1] wird in diesem Vortrag die Vergleichbarkeit von Messsystemen zur Durchführung des Begehtests untersucht.

Der Walking Test wird vom aktuellen Normentwurf der IEC 61340-5-1 [9] für die erstmalige Qualifizierung und für die regelmäßige Validierung zwingend gefordert. Die Anforderung besteht zukünftig nur noch aus der Doppelforderung Systemwiderstand $R_s < 1 \text{ G}\Omega$ und maximal Personenaufladung $U_s < 100 \text{ V}$. Die Durchführung und das benötigte Equipment für den Begehtest und die Systemwiderstandsmessungen werden in der IEC 61340-4-5 Elektrostatik - Teil 4-5: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen - Verfahren zur Charakterisierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person [8] beschrieben.

Die Messung des Systemwiderstandes ist aus unserer Sicht dabei verhältnismäßig unkritisch. Die wichtigsten Einflussfaktoren wurden des öfteren untersucht, unter anderem aktuell der

Einfluss der Messelektroden, vorgestellt im Rahmen des EOS/ESD Factory Symposium 2014 [2].

Die Geschichte des Walking Tests reicht ebenfalls weit zurück. Im Rahmen des ESD-Forums wurden bereits 1997 das Paper „Personenerdung über das System Boden/Schuhwerk“ [1] und 1999 das Paper „Elektrostatische Aufladung von Personen“ [4] vorgestellt.

Der Nutzen des Walking Tests wurde an sich schon des öfteren untersucht und bestätigt, jedoch unserer Kenntnis nach noch nicht im Hinblick auf die verwendeten Systeme und deren Kompatibilität.

Aus eigener Erfahrung wissen wir, dass die Messung der Aufladbarkeit von Personen je nach verwendetem Equipment unterschiedliche Tücken birgt.

Die Aufgabe war zu prüfen, ob unter gleichen Bedingungen mit unterschiedlichen Komponenten in der jeweiligen Standardeinstellung und nach Anpassung der Einstellungen vergleichbare Ergebnisse erzielt, dokumentiert und ausgewertet werden können.

2 Setup

2.1 Materialauswahl

Für die Testreihe wurden 4 unterschiedliche Schuhe und 3 Böden verwendet. Die Schuhe und Böden dienen hier hauptsächlich als Signalgeber. Jedoch war nicht an jedem Messort jede Kombination verfügbar.

2.1.1 Schuh

Es wurden je

- ein nicht ESD-Schuh mit Ledersohle (a),
- ein ESD-Arbeitsschuh (b),
- ein ESD-Büroschuh (c) und
- ein ESD-Sicherheitsschuh (d) verwendet.

2.1.2 Boden

Bei der Bodenauswahl standen 3 ESD-Böden zur Verfügung, darunter

- ein ESD-PVC-Fliesenboden (A), anleitungsgerecht vorinstalliert auf einer Holzplatte,
- ein ESD-Puzzelfliesensystem (B) und
- ein Epoxiharzboden (C), ebenfalls anleitungsgerecht vorinstalliert auf einer Holzplatte und alternativ fest in einer Fertigung installiert.

2.2 Widerstandsmessungen

Um zu verifizieren, welche Art von Materialien für die vergleichenden Messungen zur Verfügung standen, haben wir entsprechend der Normanforderung zuerst alle Materialien hinsichtlich ihres elektrischen Widerstandes gegen Erde R_g und/oder im System R_s mit einem geeigneten und kalibriertem Hochohmwiderstandsmesssystem und entsprechenden Elektroden geprüft.

2.3 Walking Test Messungen

Für den Walking Test standen uns drei Systeme unterschiedlicher Hersteller zur Verfügung. Diese splitten wir zur Untersuchung entsprechend in je zwei Teilsysteme auf. Die Handelektrode und das entsprechende Messkabel wurde von einem System für alle Messungen verwendet, da hier die zu erwartenden Einflussgrößen stets gleich gehalten werden sollten.

2.3.1 Voltmeter

Die drei elektrostatischen Voltmeter unterscheiden sich als Stand-Alone-Gerät in Ihrer möglichen Anzeige der Messergebnisse und in

ihrer Flexibilität. Alle Systeme entsprechen den Anforderungen der Norm IEC 61340-4-5.

- Voltmeter (1) verfügt über eine lineare LED-Balkenanzeige und eine Digitalanzeige. Es hat 6 verschiedene Messbereiche von 25 V bis 5 kV am Gerät. Die Toleranz des Gerätes beträgt bei direkter Anzeige $\pm 2,5\%$ und am Analogausgang $\pm 5\%$. Der analoge Ausgang hat eine Ausgangsspannung von ± 2 V, bei Auswahl des Messbereichs 500 V jedoch nur ± 1 V. Die Ansprechzeit des Gerätes beträgt laut Herstellerdatenblatt 100 ms. Das Gerät kann mit dem eingebauten Akku oder mit einem Netzteil betrieben werden.
- Voltmeter (2) verfügt nur über eine logarithmische LED-Balkenanzeige, hält aber den gemessenen Maximalwert in der Balkenanzeige als dauerleuchtende LED bis zum Reset fest. Der Messbereichsumschalter wählt nur zwischen ± 500 und ± 5000 V. Die Toleranz liegt bei $< 5\%$. Die Ausgangsspannung des Analogausgangs beträgt ± 5 V. Die Ansprechzeit des Gerätes wird mit ≤ 10 ms angegeben. Das Gerät kann mit dem eingebauten Akku oder mit einem Netzteil betrieben werden.
- Voltmeter (3) hat nur eine Digitalanzeige und kann auf drei Bereiche eingestellt werden. Zur Auswahl stehen ± 20 kV/m, ± 200 kV/m und ± 1 MV/m. Die Toleranz liegt bei $< 5\%$. Die Ausgangsspannung des Ausgangs liegt bei ± 1 V und die Ansprechzeit bei 100 ms. Das Gerät kann nur mit einem Akku betrieben werden.

2.3.2 Auswerteeinheiten

Die Auswerteeinheit dient zur Darstellung der Messergebnisse oder Kuven am Computer. Bei den am Markt verfügbaren Systemen besteht diese „Einheit“ aus Analog/Digital-Wandler oder USB-Oszilloskop und Software. Die Software war durch die Treiber und Einstellungsmöglichkeiten an die Wandler gebunden. Die Separierung hätte mehr Eingriffe in die Software erfordert, als dem Normaluser zuzumuten wäre. Daher haben wir diese „Einheit“ als gegeben akzeptiert.

- Wandler (I) ist ein digitales USB-Oszilloskop mit 4 Kanälen und einer Auflösung von 8 Bit bei einer Abtastrate von 40 MHz.
- Wandler (II) ist ein USB A/D Wandler mit 10 Bit Auflösung und 10 kHz Abtastfrequenz
- Wandler (III) ist ebenfalls ein USB A/D Wandler mit 12 Bit Auflösung und 10 kHz Abtastrate.

3 Durchführung

Da die Messungen an unterschiedlichen Tagen und in unterschiedlichen Umgebungen durchgeführt wurden, hatten wir Konditionen von ca. 18 - 22 °C und relative Feuchten von 40 bis 77 %.

Zuerst haben wir vergleichende Messungen in zwei Büroumgebungen vorgenommen. Folgend wurden die Messungen mit einem System in zwei Fertigungsumgebungen verifiziert und abschließend wurden wieder in Büroumgebungen Messungen zur Bestätigung durchgeführt.

Da wir praxisnahe Ergebnisse erzielen wollten, haben wir auf die Konditionierung der Proben verzichtet.

Je nach Größe des Probenkörpers war es uns teilweise nicht möglich, mit der in der IEC Norm geforderten Schrittfolge von 2 Schritt pro Sekunde vorwärts und rückwärts, ausreichend auswertbare Kurven zu produzieren. Daher haben wir bei einigen Messungen auf die Schrittfolge zurückgegriffen, welche im Standard ANSI/ESD STM97.2 [6] verwendet wird.

Der Ablauf der Messungen bestand stets zuerst aus der Verifizierung der Widerstandswerte und dann in der Durchführung des Begehtests und der digitalen Sicherung der Kurve.

Anschließend wurden die Kurven betrachtet und die Werte ausgewertet, um zu sehen, ob diese Kombination ein reproduzierbares und vergleichbares Ergebnis zeigte.

Aufgrund der vielen unterschiedlichen Kurvenverläufe basierend auf den vielfältigen Einstellmöglichkeiten, haben wir im Laufe der Messungen begonnen, das Widerstandsmessgerät als Kalibrierimpulsgeber einzusetzen.

Ein 100 V Kalibriersignal am Anfang einer Kurve erleichtert die Lesbarkeit der Kurve gravierend. Gerade für Laien ist die Kernaussage eines Begehtests im Messprotokoll so deutlich einfacher zu erfassen, ohne sich langwierig in die Materie einarbeiten zu müssen. Wir denken hier an kaufmännische Entscheider, die über eventuelle Investitionen entscheiden sollen.

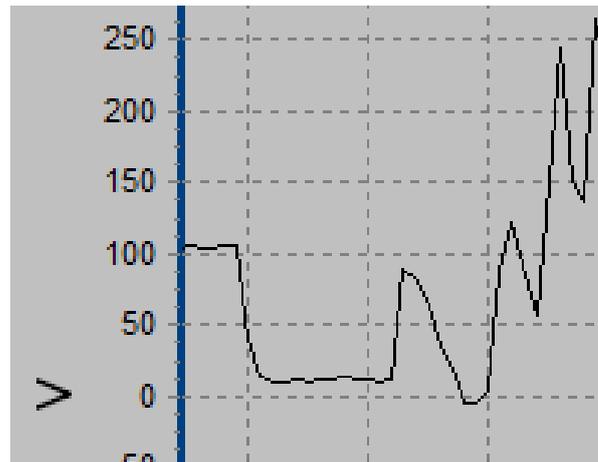


Abb. 1: Ausschnitt aus einer Messkurve mit vorangestelltem Kalibriersignal von 100 und 10 V

Ausgehend vom 100 V Kalibriersignal sind alle Kurven eindeutig zu identifizieren. Es wurde die ANSI/STM-Schrittfolge 3x wiederholt und dann 6 Schleifbewegungen ausgeführt. Über diese Kombination an Bewegungen haben wir eine leicht zu wiederholende Kaskade gewonnen, die uns auch bei guten Mensch/Schuh/Boden-Kombinationen durch die Schleifbewegungen einen Ausschlag auf dem Gerät angezeigt hat. Die einzelnen Bewegungsabläufe und die daraus resultierenden Körperspannungen sind leicht in der Kurve identifizierbar.

4 Messergebnisse

Die Zusammenfassung der Ergebnisse erfolgt nach aufsteigendem Erkenntnisgewinn.

Zuerst führen wir die Bestätigungen auf, die uns im Vorfeld erwartbar erschienen.

Dann folgen die spezifischen Ergebnisse aus unserer Untersuchung.

Zuletzt diskutieren wir die Besonderheiten.

4.1 Allgemeine Ergebnisse

4.1.1 Systemwiderstand oder $1 + 1 = 3$

Die Tatsache, dass ein ESD-Schuh und ein ESD-Boden mit jeweils normgerechten Widerstandswerten noch lange keine geringe Personenaufladung garantieren, wurde erneut bestätigt. Auch unsere Kurven zeigten teilweise gravierende Aufladungen trotz ausreichendem Systemwiderstand.

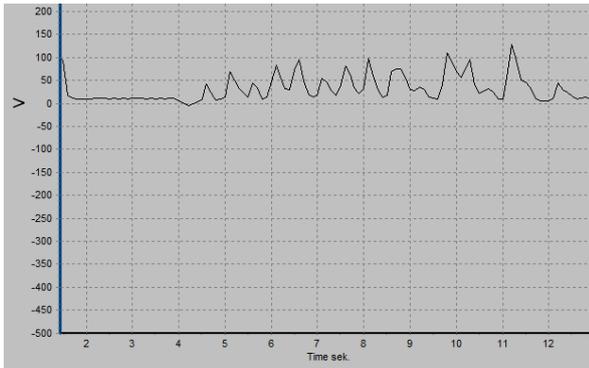


Abb. 2: Schuh c auf Boden C, Gerätekombination (1)III, Schrittfolge IEC

Unter anderem folgende Faktoren beeinflussen bekanntermaßen das Aufladungsverhalten:

- Sohlenbeschaffenheit
- Bodenoberflächenstruktur
- Körpergewicht der schuhtragenden Person
- Fußhaltung beim Gehen

4.1.2 Umgebungskonditionen

Daß die Umgebungskonditionen einen gravierenden Einfluss auf die triboelektrischen Eigenschaften haben, ist ebenfalls bekannt.

Die wesentlichen Einflussbedingungen sind hinreichend beschrieben [5] und lauten:

- Temperatur
- Luftfeuchte
- Materialfeuchte
- Personenfeuchte
- Verschmutzungsgrad von Boden und Schuh

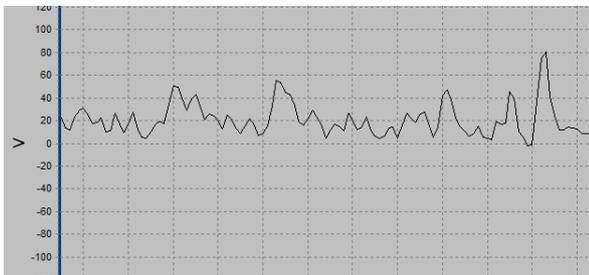


Abb. 3: Ausschnitt Kurve Schuh b, Boden B, Gerätekombination (3)III, ungereinigter Boden

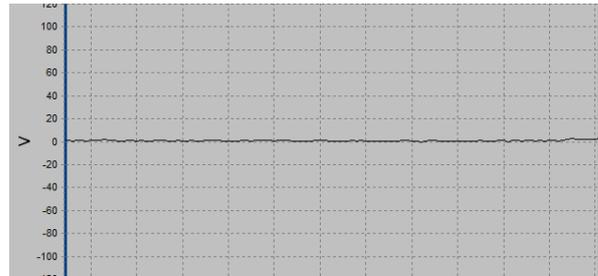


Abb. 4: Ausschnitt Kurve Schuhe b, Boden B, Gerätekombination (3)III, nach Reinigung des Bodens

Der Weg über den Hof wird zum Degradationsbeschleuniger für das System Person/Schuh/Boden, wenn die Reinigung vernachlässigt wird. Abhilfe können vorgehaltene Reinigungsmöglichkeiten im Eingangsbereich, wie Sauberlaufmatten oder Schuhputzgeräte schaffen. Außerdem ist die Unterhaltsreinigung bei ESD-Böden ein wichtiger Faktor.

Niedrige Umgebungstemperaturen führen zu geringerer Luftfeuchte. Montagmorgen im Winter ist der Schuh und die Haut trocken, was zu höheren Widerständen führen kann und oft am Personenerdungstester festgestellt wird. Sobald ein gewisses Mikroklima im Schuh erreicht ist, lässt der Effekt nach.

Basierend auf diesen Informationen ist der Zeitpunkt für den Begehtest zur Qualifikation und Verifizierung so zu wählen, dass er zu den schlechtest anzunehmenden Konditionen für eine Organisation durchgeführt wird.

Bei ungeeigneten Konditionen ist von der Durchführung abzusehen, da die Ergebnisse keinen Erkenntnisgewinn bringen können. Ist dies nicht möglich, muss der entsprechende Messbericht mit einem deutlichen Hinweis auf die eingeschränkte Aussagefähigkeit versehen werden.

4.2 Untersuchungsergebnisse

Prinzipiell zeigen alle System in den Standard-einstellungen vergleichbare Kurven. Kleinere Abweichungen sind dem menschlichen Faktor geschuldet.

Das zentrale Ergebnis unserer Untersuchung lautet daher, daß alle normgerechten Teilkomponenten generell untereinander kombinierbar sind.

In den 4 folgenden Kurven sind die erkennbaren Muster rot gekennzeichnet. Erkennbar sind der 100 V Kalibrierimpuls am Anfang sowie die drei ANSI-Schrittfolgen und die Schleifbewegungen.

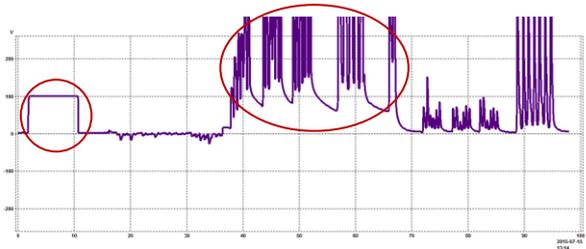


Abb. 5: Schuh a, Boden A, Gerätekombination (2)II

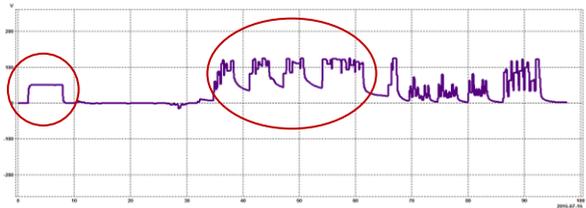


Abb. 6: Schuh a, Boden A, Gerätekombination (1)II

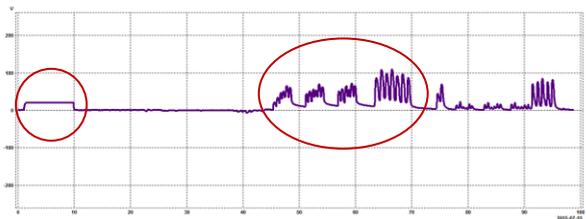


Abb. 7: Schuh a, Boden A, Gerätekombination (3)II

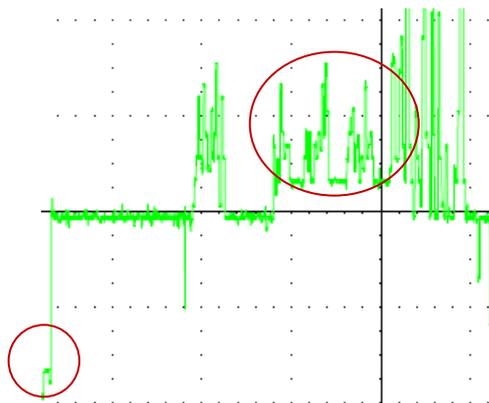


Abb. 8: Schuh b, Boden A, Gerätekombination (2) I, Kalibrierimpuls mit negativer Polarität

Da die Geräte unterschiedliche Ausgangsspannungen am Analogausgang haben, werden die Signale vom verwendeten Digital/Analogwandler in den Standardeinstellungen selbstverständlich unterschiedlich interpretiert und in der Software abweichend dargestellt.

4.3 Besonderheiten im Messvorgang

Bevor der Begehtest erstmalig durchgeführt wird, ist es elementar, sich mit der vorhandenen Gerätekombination und den daraus resultierenden

Kurvenformen vertraut zu machen. So banal diese Aussage klingen mag, ist dieses Vorgehen leider nicht selbstverständlich.

Neben den offensichtlichen Knöpfen und Anschlüssen sowie deren Aufgaben sind auch die Parameter der Software und Dokumentationsmöglichkeiten eine wichtige Komponente.

4.3.1 Gerätefunktionen

Während der Messungen in der Fertigung entsprachen die erzeugten Kurven nach dem Umzug zu einem anderem Messpunkt nicht mehr den Erwartungen. Die Ursache lag beim Mitarbeiter, der das Gerät transportiert hat. Dieser hat den Folientaster am Gerät unabsichtlich betätigt, was den Messbereich veränderte und damit die Kurve verfälschte.

System (3) unterscheidet bei der Belegung der Bedienelemente zwischen dem Betriebsmodus mit und ohne Datenausgang.

Im Offlinemodus stellt man mit einem Druck auf die Folientaste den Maximalwert zurück. Im Modus mit Datenausgang dient diese Taste zur Änderung des Messbereiches.

Obwohl der betreffende Mitarbeiter mit diesem Gerät regelmäßig die Ionisationssystem im Unternehmen prüft, war ihm diese Doppelfunktion unbekannt.

Ein vorangestellter Kalibrierimpuls bietet auch hier den Vorteil, solche Fehler sofort zu erkennen.

4.3.2 Welche Möglichkeiten bietet die Software?

Üblicherweise geben die aktuellen, für den Begehtest gedachten Voltmeter 10 Signale pro Sekunde aus. Da diese Systeme für die Protokollierung von menschlichen Bewegungen gedacht sind, reicht im Prinzip eine noch geringere Auflösung aus. Die IEC Schrittfolge spricht von zwei Schritten pro Sekunde. Also zwei Kontakten und zwei Trennungen pro Sekunde.

Die Abtastzeit von Einheit III kann von auf 300 ms auf 100 ms umgestellt werden, was natürlich detaillierte Kurven erzeugt. Mit einer schnelleren Abtastrate sind natürlich mehr Details sichtbar.

Bei der Prüfung der Erdung eines Rollstuhls einer Mitarbeiterin in einer ESD-Fertigung ist uns zum Beispiel aufgefallen, dass das Überfahren eines farbigen Bodenmarkierungsbandes zu einer Spannungsspitze führte.

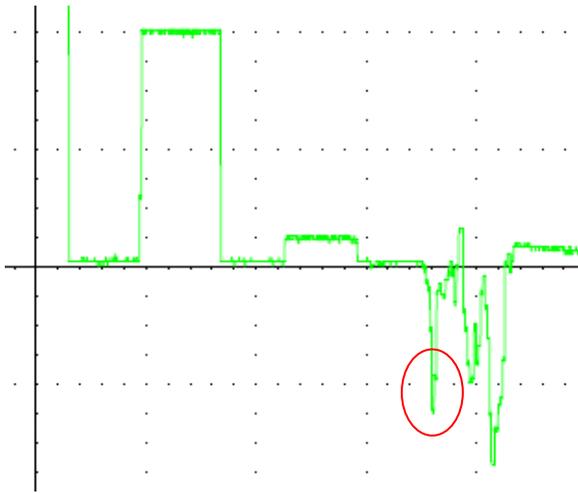


Abb. 10: Rollstuhlmessung mit Gerätekombination (2)I. Rote Markierung = Überfahren des Bodenklebebandes.

Bei der anschließenden Prüfung der farbigen Klebmarkierungen in dieser EPA ist aufgefallen, dass die Markierungen für die Abstellpositionen für viele Elemente in der Fertigung zu eng geklebt wurden. So standen die Transportwagen bei der Materialentnahme isoliert und auch die Kennzeichnungen für die Papierkörbe lagen zu dicht beieinander. Korrekt platziert hatten die Papierkörbe keinen Kontakt zum ableitfähigen Boden.

4.3.3 Störspannungen

Je empfindlicher die Messsysteme werden, je mehr sieht man auch auf dem Bildschirm.

So sind uns bei Verwendung eines Erdungssteckers mit einem $M\Omega$ Sicherheitswiderstand geringe regelmäßige Störspannungen von weniger Volt aufgefallen.

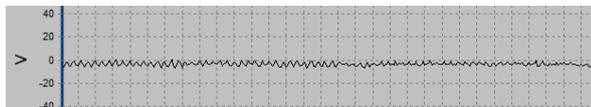


Abb. 9: Störspannung in Gerätekombination (3)III mit $1 M\Omega$ Widerstand im Erdungsstecker

Jedes elektronische oder elektrische System kann eine Störquelle sein. Daher ist eine möglichst gute Erdung empfehlenswert. Einige Systeme nehmen schon kleinste Spannungen von $0,001 V$ als Signal wahr und zeigen die entsprechende Kurvenänderung.

5 Auswertung

In der IEC Norm 61340-4-5 in Abschnitt 6.4.3 ist für die Berechnung für die Angabe der Ergebnisse eines jeden Begehtests der arithmetische

Mittelwert der fünf höchsten Täler und der fünf höchsten Scheitelwerte zu berechnen.

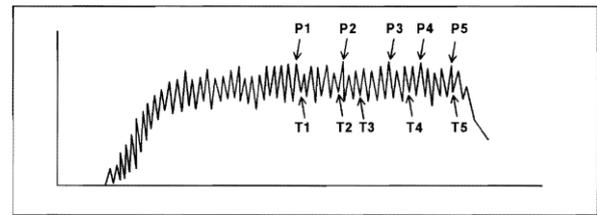


Bild 2a – Aufzeichnung von Körperspannung positiver Polarität

Abb. 10: Abbildung 2a auf Seite 12 der IEC Norm

5.1 Automatisiert

Softwareseitig war nur ein System vorhanden, welches diese Auswertung automatisiert durchführt. Jedoch war die Auswahl der Scheitelwerte und Täler für uns nicht nachvollziehbar.

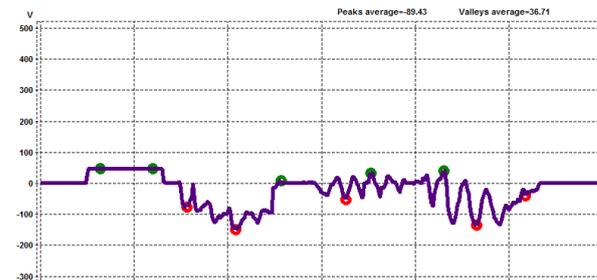


Abb. 11: Schuh d, Boden C, Gerätekombination (1)II, Peakwerte

Selbstverständlich können Automatismen nur richtig arbeiten, wenn die Parameter und Geräte entsprechend der Herstellerkonfiguration gewählt werden. Jedoch zeigt die Auswertung unserer Meinung nach nicht die 5 höchsten Scheitelwerte und höchsten Täler. Diese Einstellung wurde bei 6 Kurven wiederholt und es zeigten sich ähnliche Abweichungen.

5.2 Manuell

Da keine der Softwareprodukte die Zahlenwerte in die Kurven einschreibt, ist die Ermittlung der benötigten Werte also Handarbeit. Diese aus einer Zahlenreihe zu extrahieren ist noch aufwändiger.

Je nach Auflösung der Kurve sind die aussagekräftigsten Werte unterschiedlich leicht zu finden.

Ist die Zeitachse zu kurz gewählt, liegen die Peaks teilweise nah beieinander und auch die entsprechenden Täler sind erschwert zu verorten.

Ist die Spannungsachse gestaucht oder nicht beschriftet, fällt die Unterscheidung der Peaks ohne Kalibriersignal ebenfalls schwer.

5.3 Berechnung

Hat man alle Werte beisammen, steht man vor der Aufgabe für die tägliche Arbeit zu entscheiden, ob der Boden in Kombination mit den verwendeten Schuhen als Haupterdungsmaßnahme geeignet ist.

Da wir nicht einen, sondern zwei Werte pro Begehtest erhalten, muss man abwägen, welcher Wert für die Entscheidung relevant ist.

Wenn man in den 5 höchsten Scheitelwerten einen arithmetischen Mittelwert von > 100 V errechnet hat, ist die Schuh-Boden-Kombination laut Tabelle 2 aus IEC 61340-5-1 für die Verwendung als Haupterdungsmaßnahme nicht zugelassen.

Da die einzelnen Scheitelwerte naturgemäß höher als die Täler liegen sollten, kann der Mittelwert der Täler nicht über dem der Scheitelwerte liegen.

Eine Verquickung beider Werte ist in der IEC 61340-4-5 nicht vorgesehen, daher ist der zweite Mittelwert aus unserer Sicht wenig aussagekräftig.

Desweiteren erhält man diese beiden Mittelwerte für jeden Messpunkt und auch hier ist sinnvollerweise keine erneute Verquickung vorgesehen. Man muss demnach für jeden Messpunkt entscheiden, ob hier die Haupterdungsmaßnahme Person/Schuh/Boden verwendet werden darf oder nicht.

5.4 Entscheidungsfindung

Bei den meisten homogenen Bodenbelägen, wie Puzzlefliesen, Synthetikgummi- oder PVC-Belägen ist diese Entscheidung aus unserer Erfahrung unkritisch, da diese Beläge bei korrektem Erdungsanschluss bis auf Reinigungs- oder Abnutzungserscheinungen meist auch homogene Werte zeigen.

Bei Böden aus 2K-Vergussmaterial, wie PU-Harz, Epoxidharz oder ähnliche Beschichtungen, haben die Messungen jedoch gezeigt, dass die Werte teilweise sehr stark auseinanderliegen können. Der menschliche Faktor ist bei den Verlegearbeiten über die ganze Fläche zu beachten.

Die Werte der 5 Scheitelpunkte der folgenden Kurve lauten ca. +120, 100, 65, 60 und 45 V. Daraus ergibt sich ein Mittelwert von +78 V oder Normgerecht gerundet +80 V. Die Werte der 5 höchsten Täler lauten ca. +55, 30, 30, 30 und 20 V. Der Mittelwert ist +33 V oder +40 V.

Laut Vorgabe ist dieser Messpunkt als Normgerecht zu bewerten.

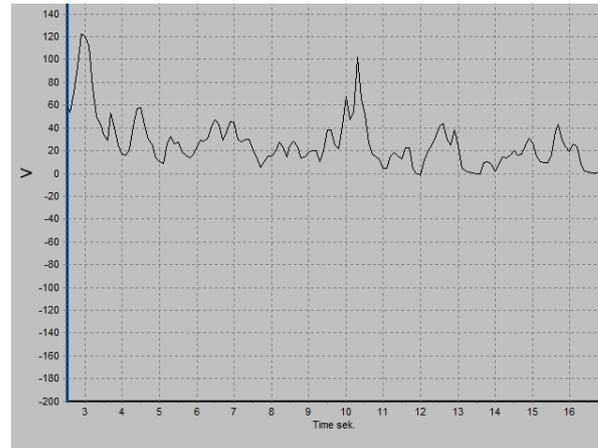


Abb. 12: Schuh b, Boden C, Gerätekombination (3)III, gemessen bei 20°C und 65%rF

Jedoch halten sich signifikanten Aufladungen in Sekunde 3-4 und 9-11. Außerdem liegen die beiden Peaks über und nahe 100 V. Bei zwei Schritt pro Sekunde und einer angenommenen Schrittlänge von ca. 50 cm ergibt sich eine Länge des abweichenden Bereiches von ca. 2 m! Liegen die Maximalwerte weiter auseinander, bleibt diese Diskrepanz bestehen. Die Folge: aufladbare Hotspots werden bei ansonsten nicht zu beanstandender Umgebung als zu gut bewertet.

Hier stellt sich die Frage, ob die Kalkulation des Mittelwertes die geeignete Wahl zur Bewertung ist?

Zur Vermeidung unnötiger Risiken ist es empfehlenswert, diesen Bereich trotz normgerechter Ergebnisse nicht für die Verwendung mit dem Haupterdungssystem Person/Schuh/Boden freizugeben.

5.5 Fazit

Die am Markt befindlichen Systeme für den Begehtest sind kombinierbar.

Je nach verwendetem System und den vorgenommenen Einstellungen erfordert die Interpretation der Kurven Übung. Ein vorangestelltes Kalibriersignal hilft bei der Auswertung.

Für die erweiterte Analyse der EPA sind schnellere Anzeigen hilfreich.

Die abschließende Bewertung bleibt eine Entscheidung des mündigen ESD-Koordinators.

Literatur

- [1] Reinhold Gärtner (1), Karl-Heinz Helling, Gerhard Biermann, Erich Brazda, Roland Haberhauer, Wilfried Köhl, Rolf Müller, Werner Niggerneier, Bernhard Soder,

„Personenerdung über das System Boden/Schuhwerk“ ESD-Forum 1997

- [2] Michael Schumacher, Ralf Wittich, Daniel Ast, „Standard Electrode Anomaly with Epoxyresin Floors: A Case Study“ ESDA EOS/ESD Symposium for Factory Issues 2014
- [3] Jeremy Smallwood, Dave Swenson, „Evaluation of Performance of Footwear and Flooring Systems and the Influence of Environmental Moisture using Voltage Probability Analysis“, ESDA EOS/ESD Symposium for Factory Issues 2014
- [4] Jörg Thürmer „Elektrostatische Aufladung von Personen“, ESD-Forum 1999
- [5] Jörg Thürmer, „Der Walking Test nach DIN EN 61340-4-5 – Praktische Probleme bei der Abnahme und Überprüfung von elektrisch leitfähigen Böden“, Technische Akademie Eslingen 2010
- [6] ANSI/ESD STM97.2-2006 Floor Materials and Footwear – Voltage Measurement in Combination with a Person: Provides for measuring the electrostatic voltage on a person in combination with floor materials and footwear, as a system.
- [7] IEC 61340-4-1:2001 Elektrostatik Teil 4-1: Festgelegte Untersuchungsverfahren für spezielle Anwendungen Elektrostatischer Widerstand von Bodenbelägen und von verlegten Fußböden
- [8] IEC 61340-4-5:2004 Elektrostatik Teil 4-5: Standard-Prüfverfahren für spezielle Anwendungen - Verfahren zur Charakterisierung der elektrostatischen Schutzwirkung von Schuhwerk und Boden in Kombination mit einer Person
- [9] Normentwurf 101/451/CD:2014-08 IEC 61340-5-1 Ed.2, Elektrostatik Teil 5-1: Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene-Allgemeine Anforderungen