

Untersuchung der ESD-Tauglichkeit von leitfähigen Industrieböden in ESD-Schutz-zonen

Reiner Hatt, Rainer Pfeifle

*Fa. Wolfgang Warmbier
Systeme gegen Elektrostatik
D-78224 Singen / Htwl.
Tel.: 07731-8688-0 Fax: -30
Email: Rainer.Pfeifle@t-online.de*

Abstract

Leitfähige und dissipative Bodensysteme sind die Basis einer funktionsgerechten ESD-Schutzzone (EPA – Electrostatic Protected Area) und eine der wichtigsten und kostenintensivsten Komponenten innerhalb der ESD-Schutzmaßnahmen.

Die Bodensysteme haben die Aufgabe, mögliche Aufladungen von Personen, Transportwagen oder sonstigen EPA-Ausrüstungen schnell und sicher über den Boden zum Erdpotential abzuleiten.

Diese Veröffentlichung zeigt auf, daß ein Großteil qualifizierter leitfähiger Bodenbeschichtungssysteme auf Kunstharzbasis in Verbindung mit qualifizierten ableitfähigen Schuhen nicht die dauerhaft erforderlichen Aufladungseigenschaften von Personen und Widerstandswerte nach der Systemmeßmethode $R_{E\text{System}}$ (Mensch/ Schuhe/Boden) gemäß dem Technical Report IEC 61340-5-1/5-2 /1/ aufweisen. Sie sind daher überwiegend als untauglich einzustufen.

Conductive and dissipative floor systems are the fundamental part of an functional EPA (Electrostatic Protected Area) and are one of the most expensive parts in the ESD protective measures.

The main function of the flooring systems is to dissipate to ground the charges of personnel, transport systems and other equipment used in an EPA .

This publication shows, that a large number of certified conductive epoxy flooring systems in combination with certified dissipative shoes do not have acceptable values for body voltage generation and body to ground resistance $R_{E\text{System}}$ according to IEC 61340-5-1/5-2 /1/. These flooring systems cannot be qualified for an EPA.

Einführung

Bisherige ESD-Standards, sowohl die DIN EN 100 015/1 /2/, als auch der neue Technical Report IEC 61340-5-1/5-2 /1/, sehen für die primäre Personenerdung überwiegend als sicherste Erdungsmethode die – **Handgelenkerdung mittels Gelenkband und Spiralkabel** vor.

In einer modernen Elektronikfertigung, z.B. bei der Leiterplattenbestückung, bei der Komplettierung von elektronischen Systemen sowie bei Handlingsarbeiten im Lagerbereich ist eine primäre Personenerdung über das Gelenkbandsystem jedoch hinderlich und oft nur schwer durchführbar.

Alternative ➔ Die notwendigen Personenerdungsmaßnahmen können nur durch ein **dissipatives oder leitfähiges Bodensystem in Verbindung mit ableitfähigem Schuhwerk** durchgeführt werden.

Die Personenerdung über dieses System hat zwei Hauptaufgaben:

- Sicherstellen, daß nur minimale Aufladenspannungen von Personen beim Gehen entstehen (im Idealfall < 100 V).
- Sicherstellen eines minimalen Erdungswiderstandes $R_{E\text{System}}$, um vorhandene Körper-spannungen schnell zum Erdpotential ableiten zu können (optimal < 0,3 Sekunden /3/).

Bisherige Angaben in Spezifikationen, Standards und in der Fachliteratur beziehen sich überwiegend **nur** auf die **Einzelmessungen** der Ableitwiderstände der leitfähigen Böden und Schuhe.

Erst im Entwurf zum neuen Technical Report IEC 61340-5-1/TR2 wird in einer Fußnote auf die **Systemmessung des Ableitwiderstandes „Mensch/Schuhe/Boden“** hingewiesen (Empfehlung: $R_{E\ System} < 35\ M\Omega$) und durch eine nähere Untersuchung der SIEMENS AG /3/ erweitert.

In dieser Untersuchung wurde nachgewiesen, daß der Ableitwiderstand $R_{E\ System} < 50\ M\Omega$ sein muß, um Aufladungen auf $> 100\ Volt$ zu vermeiden.

Personen, die mit einem Ableitwiderstand $R_{E\ System} \leq 1\ G\Omega$ geerdet sind, können sich im „worst case“ auf bis zu 1.000 Volt aufladen, jedoch erfolgt die Personenentladung in einer Ableitzeit $< 0,3\ Sekunden$ auf einen akzeptablen Spannungswert von 100 Volt.

Industrieböden – Einzelmessung:

Die Messung sowie die Klassifizierung von Bodenmaterialien für Elektronikbereiche erfolgt nach DIN IEC 61340-4-1 /4/.

Klassifizierung	Anforderung
Elektrostatisch leitender Fußboden – ECF	$R_E \leq 1 \times 10^6\ \Omega$
Elektrostatisch ableitfähiger Fußboden – DIF	$1 \times 10^6\ \Omega < R_E \leq 1 \times 10^9\ \Omega$
Astatischer Fußboden – ASF	Körperspannung - Aufladbarkeit $< 2\ kV$

- **Messungen nach der ungültigen Norm DIN 51953 /5/ sowie deren Nachfolgenorm DIN EN 1081 /6/ werden nicht empfohlen!**

Schuhwerk – Einzelmessung:

Anforderung nach IEC 61340-5-1/TR2 $5 \times 10^4 \leq R_G^1 \leq 1 \times 10^8\ Ohm$

Schuhwerk – Gesamtmessung System:

Empfehlung nach IEC 61340-5-1/TR2 (Fußnote) $7,5 \times 10^5 \leq R_{E\ System}^1 \leq 3,5 \times 10^7\ Ohm$

Ausreichend Wert nach Untersuchung der SIEMENS AG /3/

$$R_{E\ System} < 1 \times 10^9\ Ohm$$

Bei der Durchführung der neuen „Systemmeßmethode“ ($R_{E\ System}$ Mensch/Schuhe/Boden) kann man speziell bei Industrieböden mit Kunstharzbeschichtungen keine dauerhaft konstanten Meßergebnisse feststellen.

Bei diesen Beschichtungssystemen gibt es keine Korrelation zwischen den Einzelmeßwerten der Schuhe wie auch des Bodens mit dem Systemmeßwert $R_{E\ System}$.

In dem nachfolgenden Bericht werden Labor- sowie Praxismessungen von zwei Epoxidharzbeschichtungen (in Dickschichtausführung) und von einem PVC–Belag untersucht. Die Messungen wurden jeweils mit verschiedenen Schuhtypen durchgeführt.

¹**Hinweis:** nach DIN IEC 61340-4-1 $\Rightarrow R_E$ Widerstand zur Schutz Erde (PE)
 $\Rightarrow R_G$ Widerstand zu erdungsfähigem Punkt

Für Elektronikbereiche haben sich, je nach Anforderungen der Anwender, als Industriebodensysteme folgende Materialvarianten bewährt:


1. **PVC-Beläge**, Fliesen oder Bahnenware (Klasse ECF und DIF)
2. **Synthesekautschuk-Beläge**, Fliesen oder Bahnenware (Klasse ECF und DIF)
3. **Kunstharzbeschichtungen**, Dick- und Dünnschicht (Klasse ECF)
4. **Magnesitstrich**, überwiegend in Lagerbereichen (Klasse ECF)

Leitfähige Kunstharzbeschichtungen werden in der Elektronikindustrie gern wegen ihrer zahlreichen Vorteile gegenüber elastischen Bodenbelägen in verschiedenen Bereichen eingesetzt.

Eigenschaften der Kunstharzbeschichtungen:

- Extrem strapazierfähig
- Hohe Abriebfestigkeit
- Hohe Chemikalienbeständigkeit
- Gutes Brandverhalten, schwerentflammbar
- Gabelstapler geeignet
- FTS – Fahrzeug geeignet (FTS – Fahrerloses Transport System)
- Gute Optik
- Kein Fugen- oder Nahtbild

Der Aufbau von leitfähigen Kunst- oder Gießharzbeschichtungssystemen erfolgt nach folgendem Grundschema:

- 
- Betonestrich
 - Haftgrundierung
 - Ausgleichsschicht zur Egalisierung
 - Leitfähige Grundierung (mit Karbon)
 - 2-Komponenten Epoxydharz (mit leitfähigen Karbonfasern)

Die 2 mm dicke Deckschicht besteht aus einem isolierenden 2-Komponenten Epoxydharz, und erhält durch Einmischung von Karbonfasern (selten – durch Aluminiumpartikel) die gewünschten leitfähigen Eigenschaften. Durch Kontaktierung eines Kupferbandes mit der leitfähigen Grundierung wird das System an das Erdpotential angeschlossen.

Typische Erdableitwiderstände

$$R_E = 10^4 - 10^5 \Omega$$

Typische Erdableitwiderstände des Systems

$$R_{E\text{System}} > 10^9 \Omega$$



Durchführung der Messungen

Meßgeräte

Messung des Ableitwiderstandes R_E des Bodensystemes bzw. des Gesamtsystemes Mensch/Schuhe/Boden $R_{E \text{ System}}$	
Hochohmmeter	Metriso 1000 D, Meßspannung: 100 V
Meßelektrode	ANSI/EOS/ESD-S4.1-1990, in Anlehnung an DIN IEC 61340-4-1 Gewicht: 2,25 kg Oberflächenwiderstand Gummi $R_S < 3 \text{ k}\Omega$ Gesamtwiderstand Elektrode $R_V < 150 \text{ Ohm}$

Begehtest für die Aufzeichnung der Personenaufladung	
Electrometer	Novx 5000 Eingangswiderstand: > 100 Gohm Meßbereich: 0 bis $\pm 5.000 \text{ V}$ Analoger Ausgang: 0 bis $\pm 5 \text{ V (DC)}$
A/D Konverter	Data Shuttle (Newport Omega) Max. Abtastrate: 1 kHz
Meßsoftware	DASYLAB 5.0 für WINDOWS

Meßobjekte

ESD-Schuhe*	
Schuh Typ 2	Ableitfähiger Herren-Schnürschuh mit schwarzer PUR-Laufsohle
Schuh Typ 4	Ableitfähiger Clog mit weißer PUR-Laufsohle
Schuh Typ 5	Spezieller ESD-Schuh mit hochleitfähiger Laufsohle

Bodensysteme*	
Bodensystem A Leitfähiges System (Klasse ECF)	Epoxydharzbeschichtung, dreischichtiges Dickschichtsystem mit leitfähigen Karbonfasern, Dicke: 2 mm Mustergröße: 500 x 800 mm <u>Aufbau:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Isolationsschicht • Leitschicht mit Kupferband • Deckschicht
Bodensystem B Leitfähiges System (Klasse ECF)	Wie Bodensystem A, anderes Produkt <u>Aufbau:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Isolationsschicht • Leitschicht mit Kupferband • Deckschicht
Bodensystem E Leitfähiges System (Klasse ECF)	PVC-Fliesen, mit leitfähiger Gitternetzstruktur, Dicke: 2 mm Mustergröße: 600 x 1200 mm <u>Aufbau:</u> <ul style="list-style-type: none"> • Verklebung mit leitfähigem Kleber mit Kupferband

* Es wurden in einer Veröffentlichung von Herrn Meir Golane, **Fa. Wolfgang Warmbier /7/** ausführliche Laboruntersuchungen in unserem Hause mit 5 verschiedenen ESD-Schuhen und 7 verschiedenen Bodensystemen durchgeführt. Für unsere Untersuchungen in der Praxis wurden die ESD-Schuhe Typ 2, 4 und 5 auf den verlegten Bodensystemen A, B und E verwendet.

Durchführung der Messungen

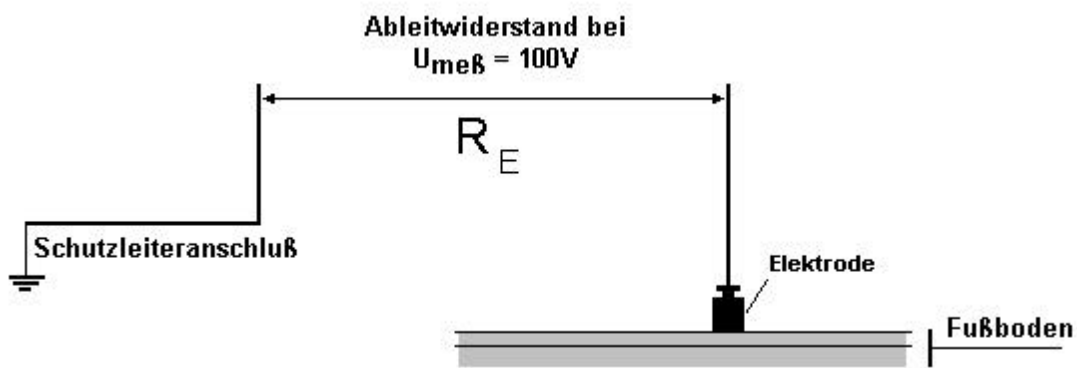


Bild 1 Ableitwiderstand R_E zum Schutzleiter /4/

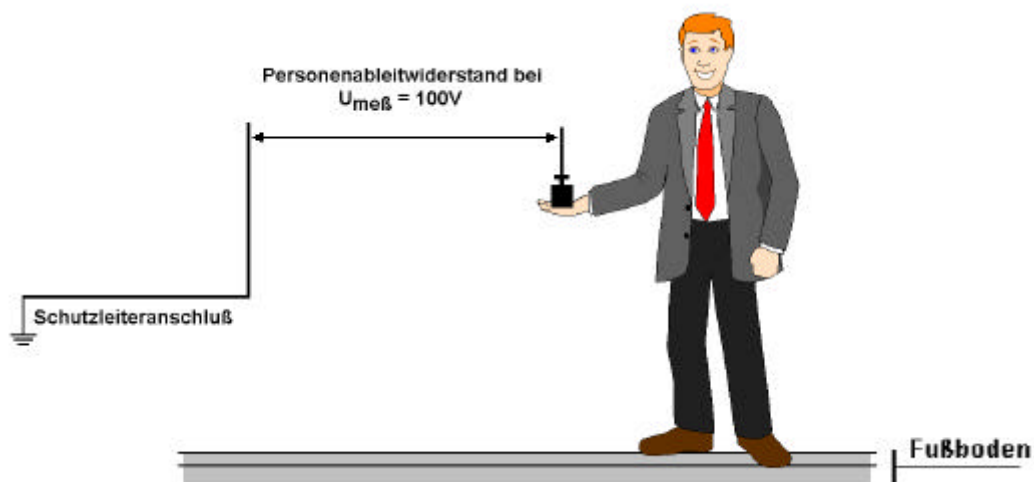


Bild 2 Ableitwiderstand – System $R_{E \text{ System}}$ /1/

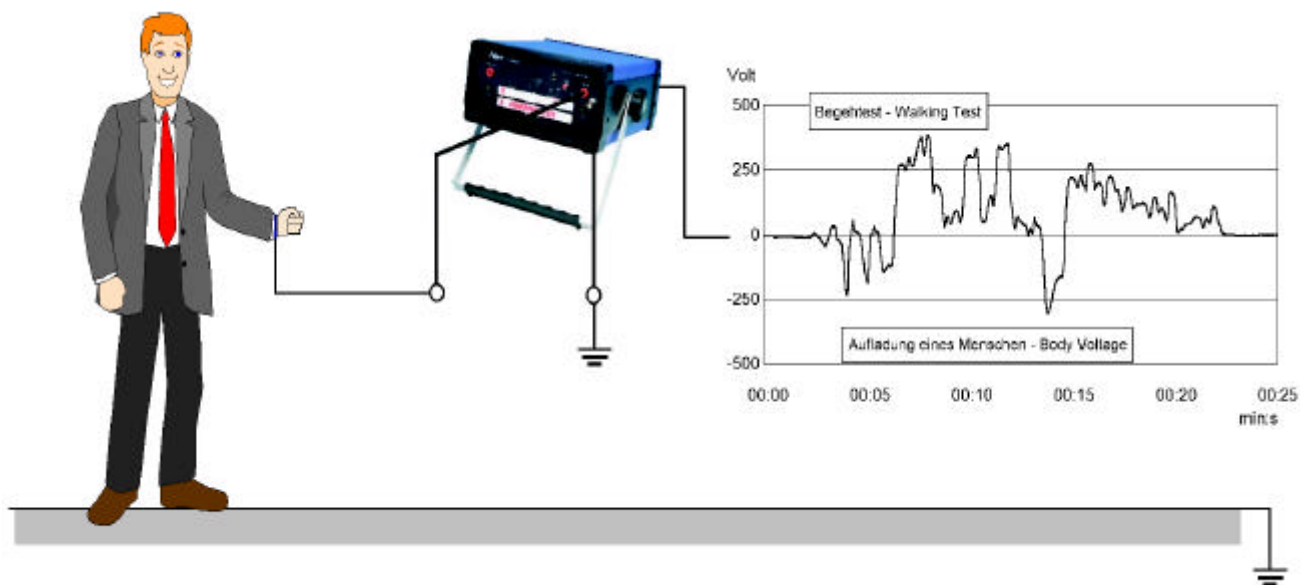


Bild 3 Begehtest – „Walking Test“, Messung der Körperspannung

Untersuchungen an den verschiedenen Bodensystemen / Schuhen

Messungen von ESD-Schuhen

r.F.: 35%

Temp.: 19° C

<u>Labormessung</u>	Schuh Typ 2	Schuh Typ 4	Schuh Typ 5
Personenbleitwiderstand zu Metallplatte //	4,5 MΩ	3,2 MΩ	5,6 MΩ
Oberflächenwiderstand Laufsohle R _S	115 MΩ	65 MΩ	700 kΩ

Messungen von Bodensystemen

r.F.: 35%

Temp.: 19° C

<u>Labormessung</u>	Bodensystem A	Bodensystem B	Bodensystem E
Ableitwiderstand zu Kupferband R _G //	40 – 100 kΩ	80 – 100 kΩ	0,8 – 1,4 MΩ
Oberflächenwiderstand R _S //	0,2 – 0,4 MΩ	100 – 200 kΩ	4 – 6 MΩ
Personenbleitwiderstand R _{E System} mit Schuh Typ 2 //	> 3 GΩ	> 3 GΩ	22 MΩ
Personenbleitwiderstand R _{E System} mit Schuh Typ 4 //	> 3 GΩ	> 3 GΩ	11 MΩ
Personenbleitwiderstand R _{E System} mit Schuh Typ 5 //	22 MΩ	11 MΩ	10 MΩ

<u>Messung Praxis</u>	Bodensystem A r.F.:39% Temp.: 18°C	Bodensystem B r.F.:41% Temp.: 23°C	Bodensystem E r.F.:45% Temp.: 25°C
Ableitwiderstand R _E zu Schutzerde			
Minimaler Wert	128 kΩ	22 kΩ	26 kΩ
Maximaler Wert	250 kΩ	34 kΩ	55 kΩ
Mittelwert	185 kΩ	30 kΩ	37,8 kΩ
Personenbleitwiderstand R _{E System} mit Schuh Typ 2			
Minimaler Wert	0,83 GΩ	0,63 GΩ	18 MΩ
Maximaler Wert	> 3 GΩ	1,3 GΩ	24 MΩ
Mittelwert	> 3 GΩ	0,82 GΩ	21,2 MΩ
Personenbleitwiderstand R _{E System} mit Schuh Typ 4			
Minimaler Wert	0,93 GΩ	0,11 GΩ	5,8 MΩ
Maximaler Wert	> 3 GΩ	1,6 GΩ	12,6 MΩ
Mittelwert	> 3 GΩ	0,95 GΩ	9,25 MΩ
Personenbleitwiderstand R _{E System} mit Schuh Typ 5			
Minimaler Wert	53 MΩ	12 MΩ	260 kΩ
Maximaler Wert	83 MΩ	78 MΩ	320 kΩ
Mittelwert	65 MΩ	35,1 MΩ	290 kΩ
Ableitwiderstand R _{E System} Transportrolli			
Ohne Belastung	> 3 GΩ	95 MΩ bis > 3 GΩ	370 bis 600 kΩ
Mit Belastung (70 kg)	1,5 bis 6 MΩ	0,7 bis 2,5 MΩ	120 bis 160 kΩ
Ableitwiderstand R _{E System} ESD-Stuhl			
Ohne Belastung	> 3 GΩ	> 3 GΩ	> 3 GΩ
Mit Belastung (70 kg)	> 3 GΩ	> 3 GΩ	100 bis 400 MΩ
Ableitwiderstand Transportbehälter			
Ohne Belastung	> 3 GΩ	> 3 GΩ	0,38 bis 1,5 MΩ
Mit Belastung (70 kg)	150 - 300 kΩ	ca. 40 kΩ	ca. 140 kΩ

Bodensystem A – EPOXYDCHARZBESCHICHTUNG

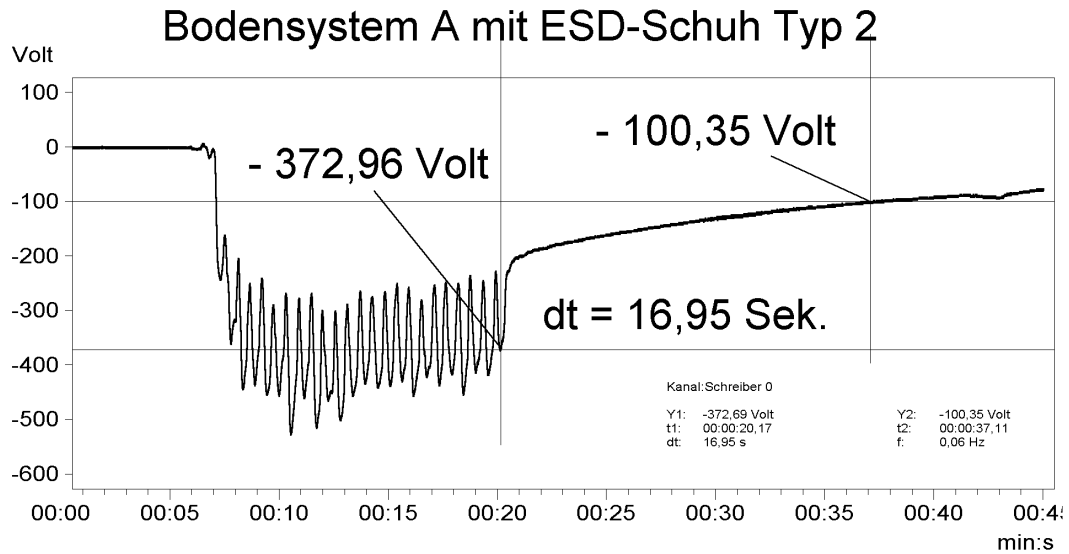


Bild 4 LABORMESSUNG Bodensystem A /7/ r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Ableitzeit nach Stillstand auf ca. 100 Volt - „**16,95 Sekunden**“
- Einstufung: **Untauglich !**

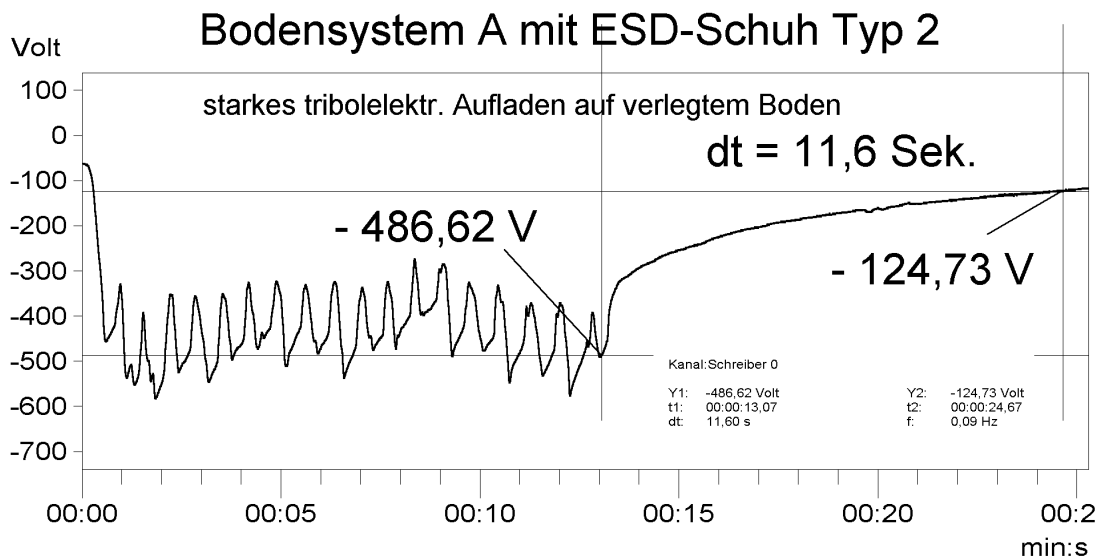


Bild 5 MESSUNG Praxis Bodensystem A r.F: 39 % Temp.: 18° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Ableitzeit nach Stillstand auf ca. 125 Volt - „**11,6 Sekunden**“
- Einstufung: **Untauglich !**

Bodensystem A – EPOXYDHARZBESCHICHTUNG

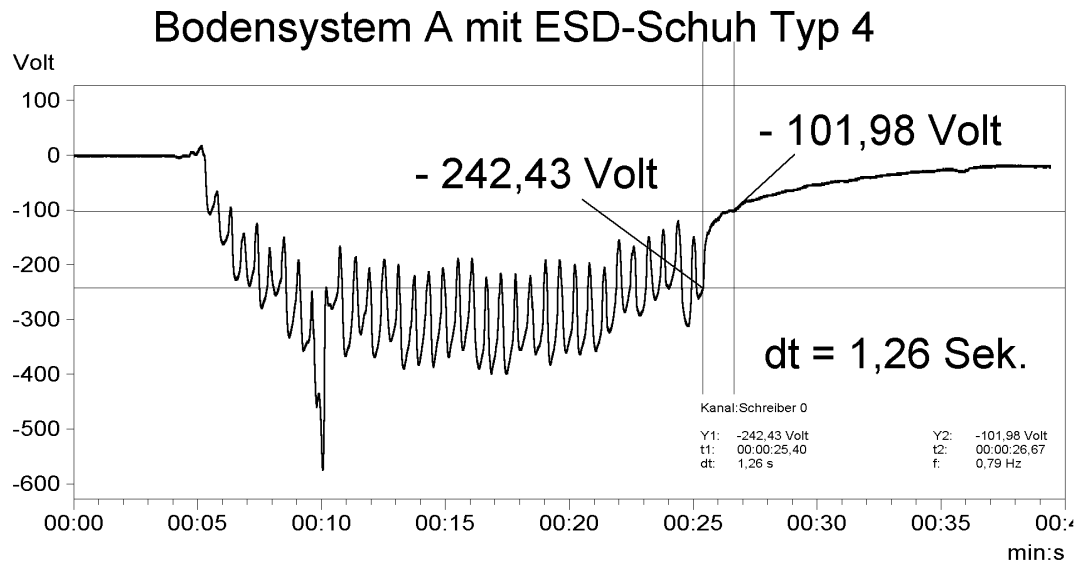


Bild 6 LABORMESSUNG Bodensystem A /7/ r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Ableitzeit nach Stillstand auf ca. 100 Volt - „**1,26 Sekunden**“
- Einstufung: **Untauglich !**

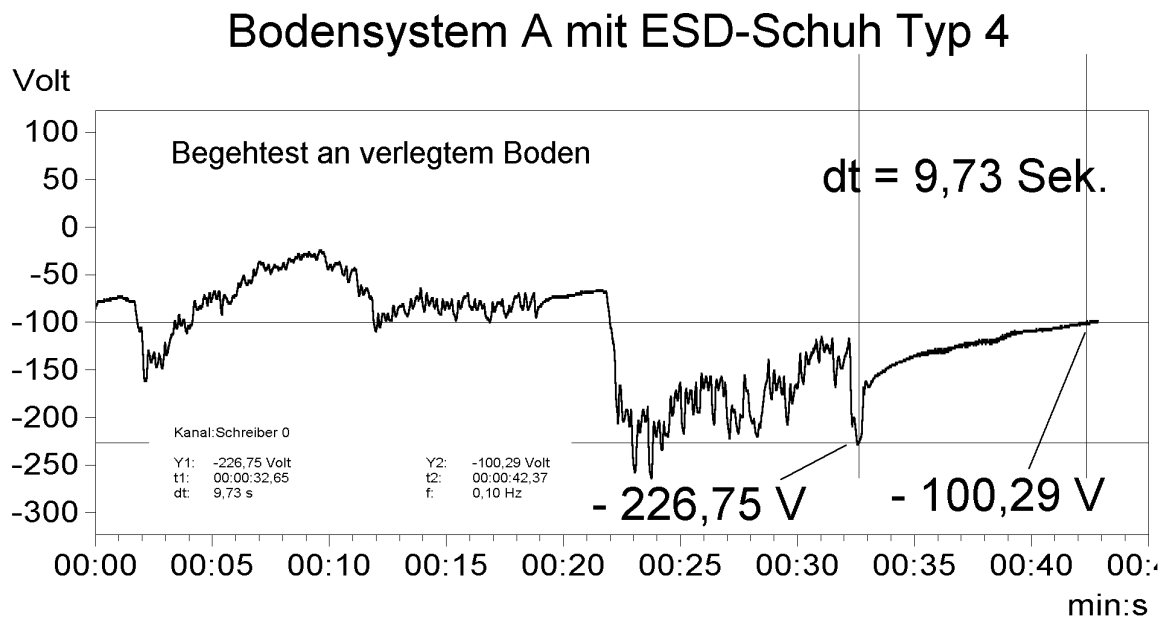


Bild 7 MESSUNG Praxis Bodensystem A r.F: 39 % Temp.: 18° C

- „Normales Gehen“
- Ableitzeit nach Stillstand auf ca. 100 Volt - „**9,73 Sekunden**“
- Einstufung: **Untauglich !**

Bodensystem A – EPOXYDCHARZBESCHICHTUNG

Bodensystem A mit ESD-Schuh Typ 5

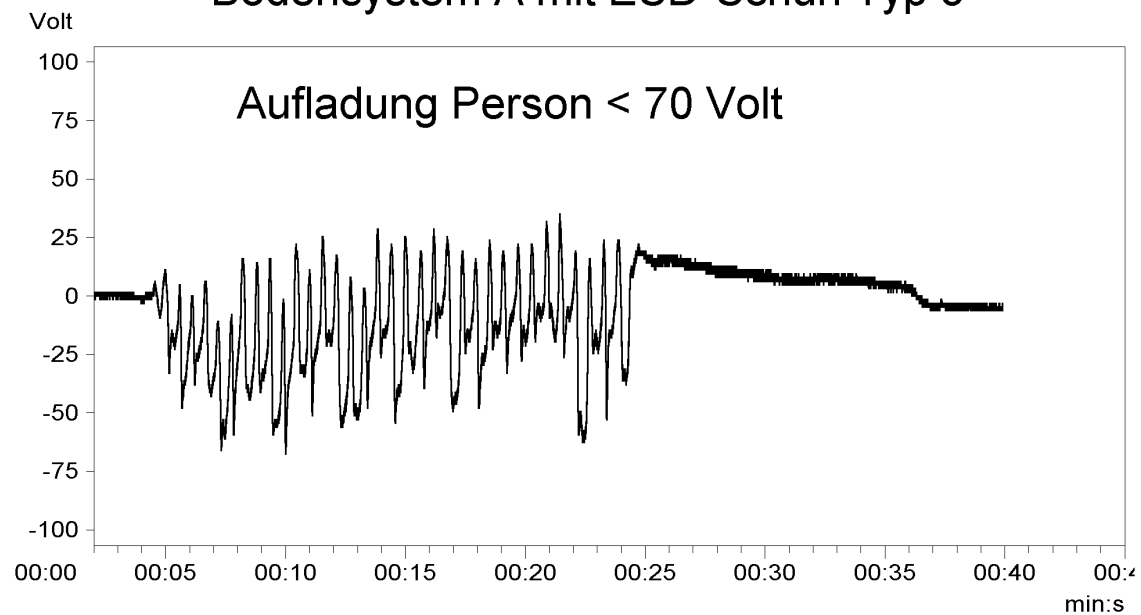


Bild 8 LABORMESSUNG Bodensystem A /7/ r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Aufladung Person < 70 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch nur durch optimierte Laufsohlen der Schuhe !**

Bodensystem A mit ESD-Schuh Typ 5

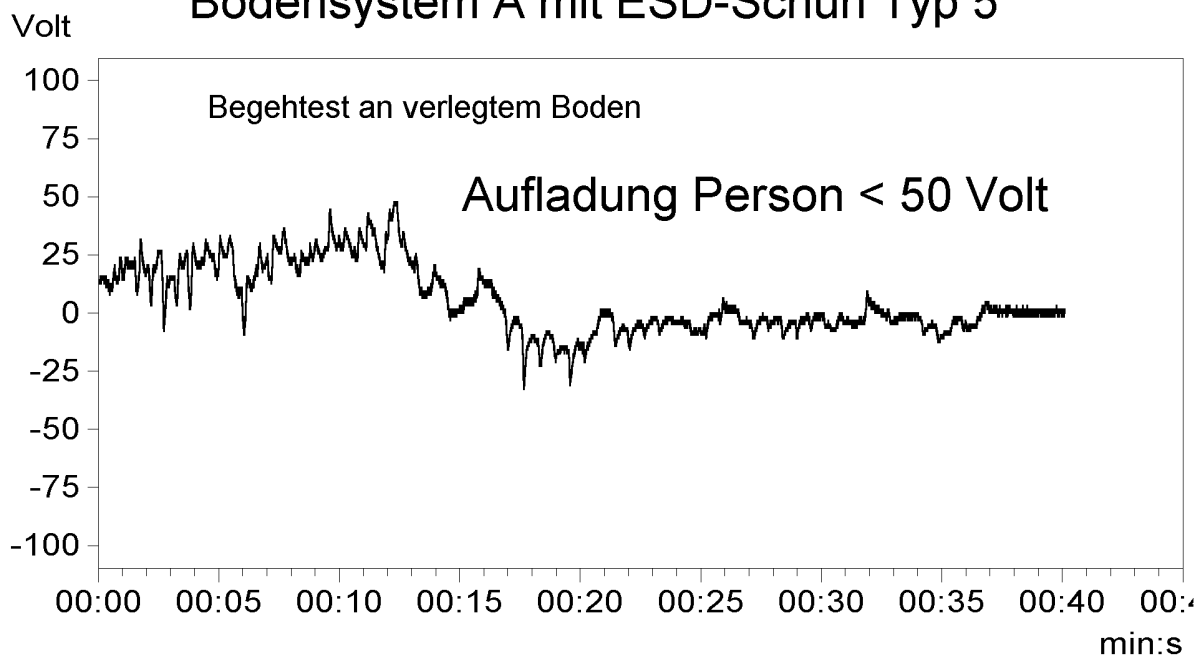


Bild 9 MESSUNG Praxis Bodensystem A r.F: 39 % Temp.: 18° C

- „Normales Gehen“
- Aufladung Person < 50 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch nur durch optimierte Laufsohlen der Schuhe !**

Bodensystem B – EPOXYDCHARZBESCHICHTUNG

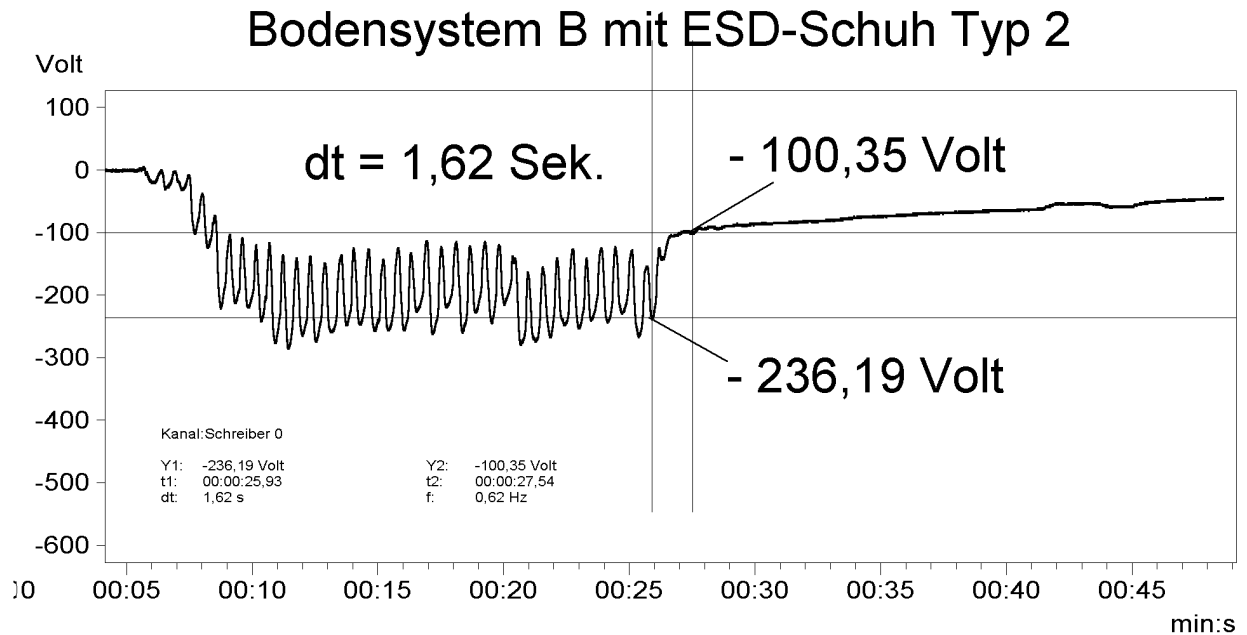


Bild 10 LABORMESSUNG Bodensystem B /7/ r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Ableitzeit nach Stillstand auf ca. 100 Volt - „1,62 Sekunden“
- Einstufung: **Untauglich !**

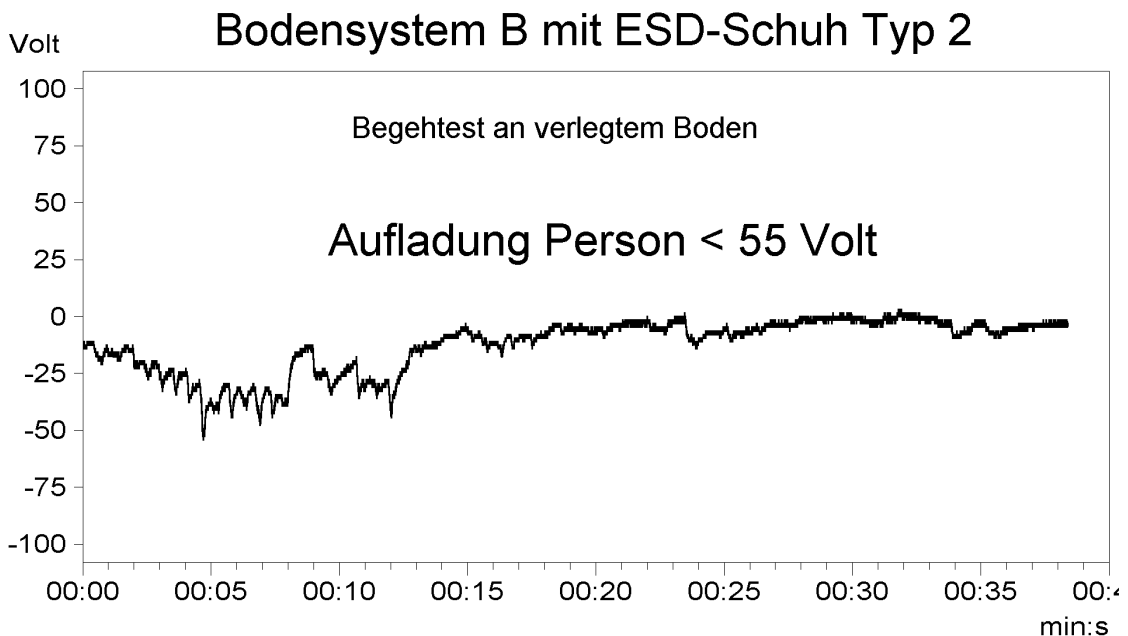


Bild 11 MESSUNG Praxis Bodensystem B r.F: 41 % Temp.: 23° C

- „Normales Gehen“
- Aufladung Person < 55 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig !**

Bodensystem B – EPOXYDCHARZBESCHICHTUNG

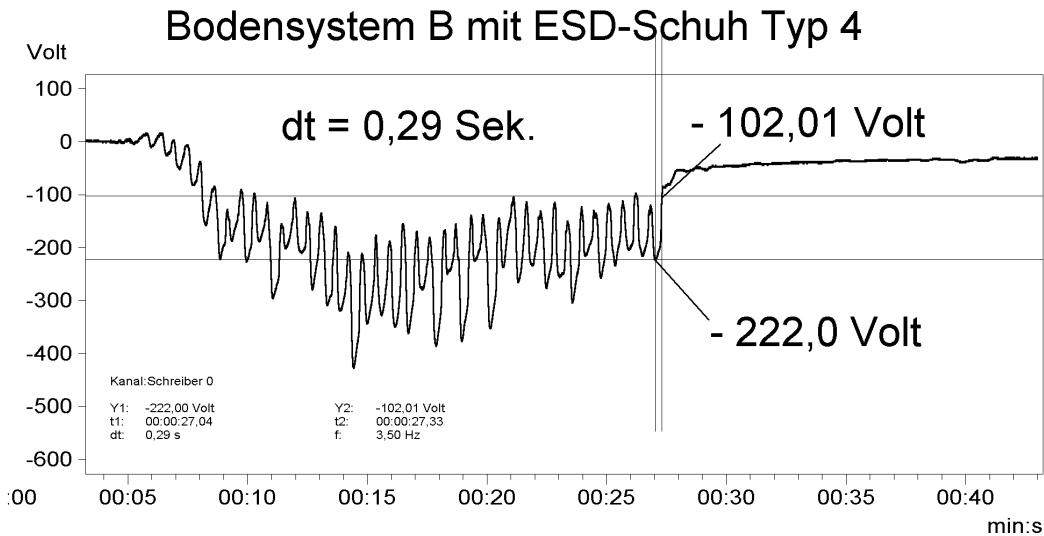


Bild 12 LABORMESSUNG Bodensystem B /7/ r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Ableitzeit nach Stillstand auf ca. 100 Volt - „**0,29 Sekunden**“
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig !**

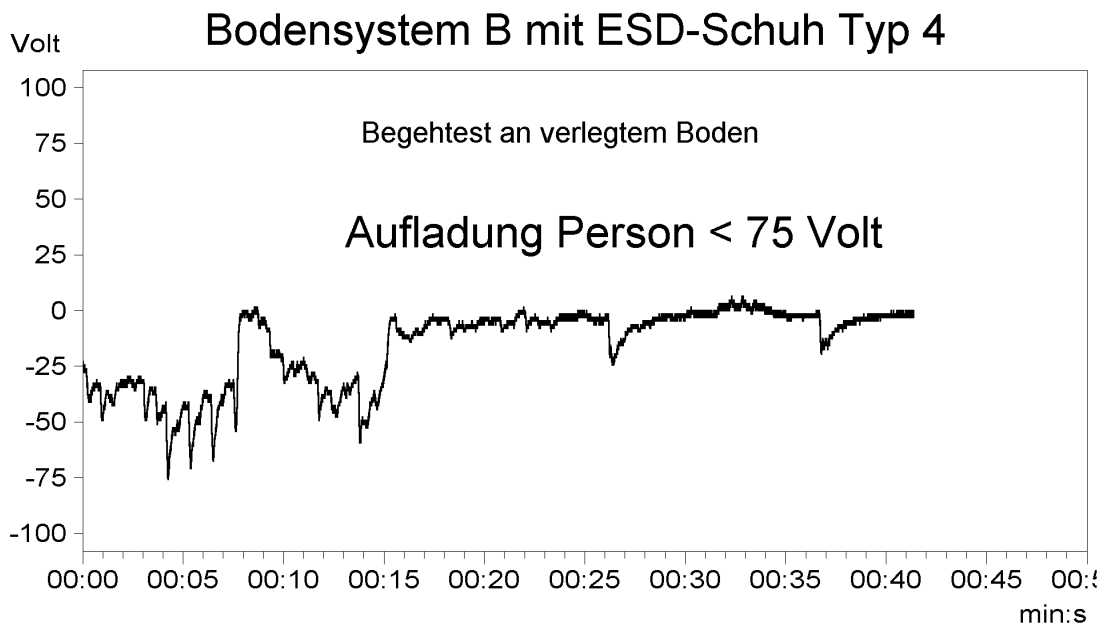


Bild 13 MESSUNG Praxis Bodensystem B r.F: 41 % Temp.: 23° C

- „Normales Gehen“
- Aufladung Person < 75 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch von der relativen Luftfeuchtigkeit abhängig !**

Bodensystem B – EPOXYDCHARZBESCHICHTUNG

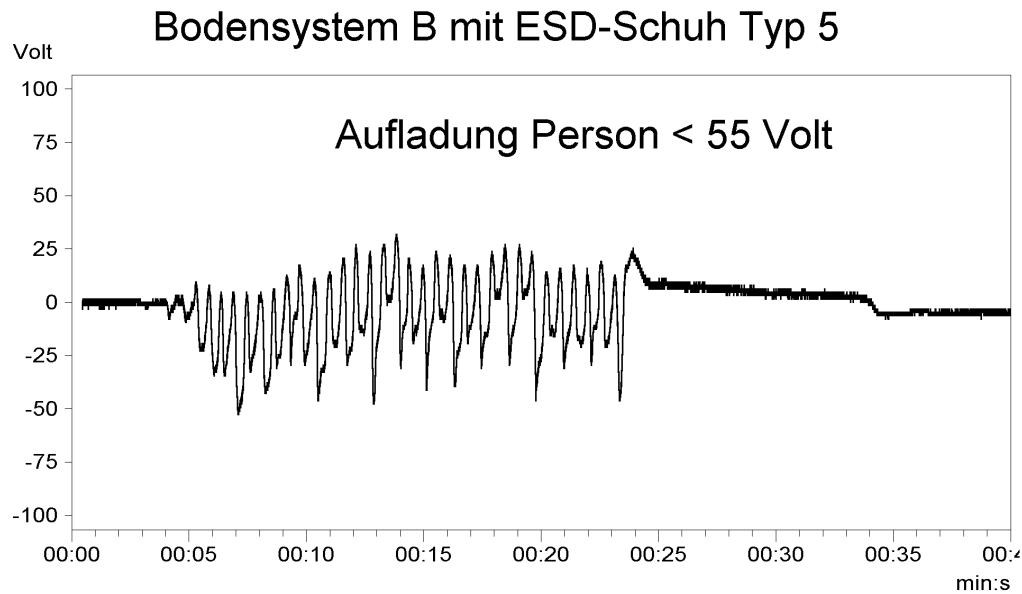


Bild 14 LABORMESSUNG Bodensystem B /7/ r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Aufladung Person < 55 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch nur durch optimierte Laufsohlen der Schuhe !**

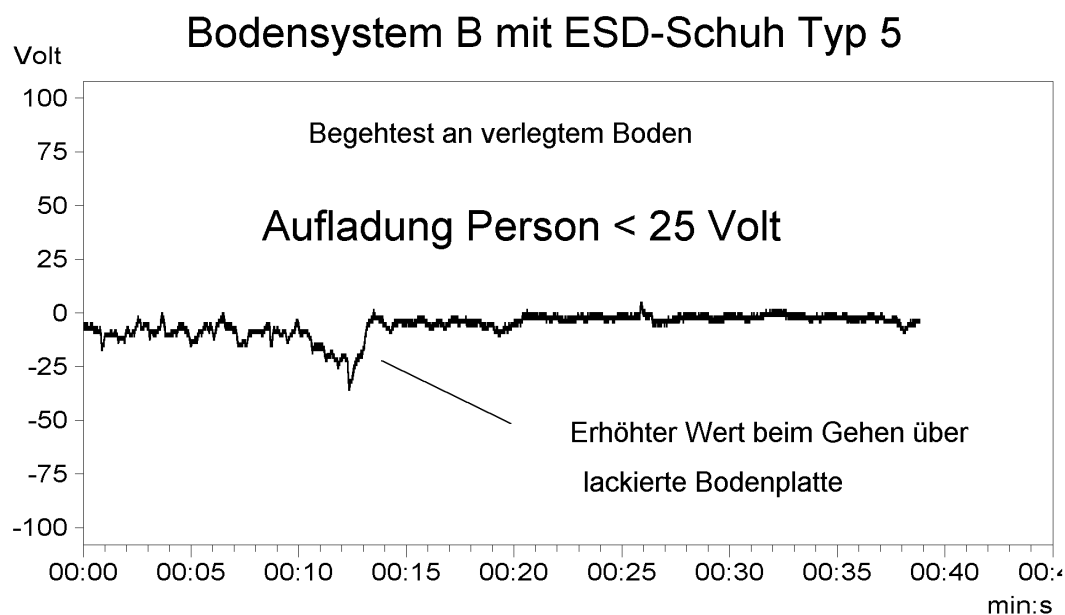


Bild 15 MESSUNG Praxis Bodensystem B r.F: 41 % Temp.: 23° C

- „Normales Gehen“
- Aufladung Person < 25 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Jedoch nur durch optimierte Laufsohlen der Schuhe !**

Bodensystem E – PVC-FLIESEN

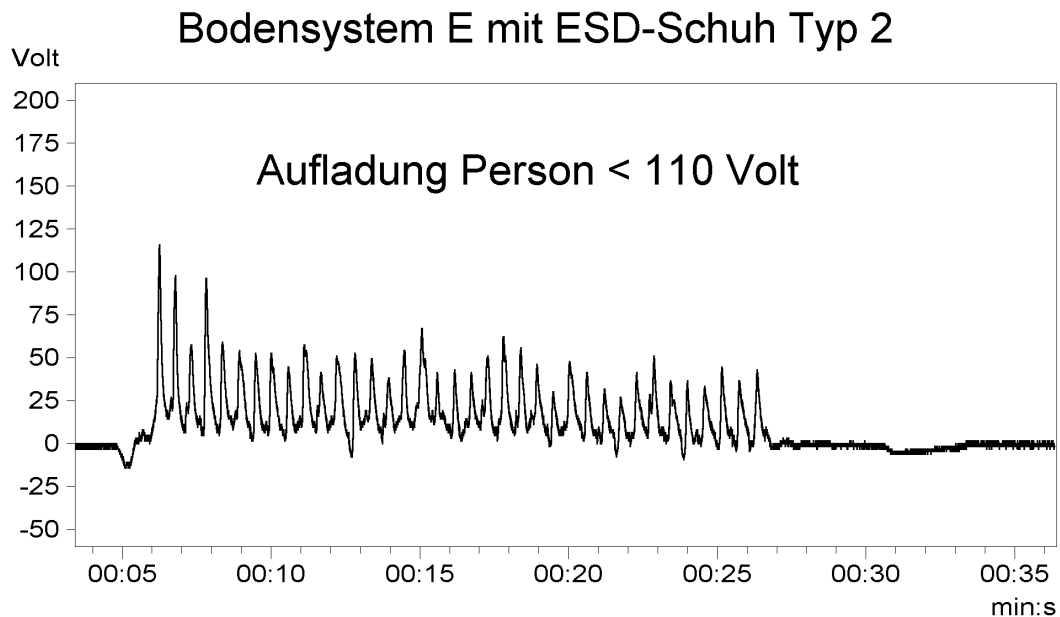


Bild 16 LABORMESSUNG Bodensystem E /7/r.F: 35 % Temp.: 19° C

- „Worst Case“ durch schnelle Gehbewegung möglichst hohe Aufladung
- Aufladung Person < 110 Volt , mit Schuhtyp 4 Aufladung < 60 Volt und mit Schuhtyp 5 Aufladung < 15 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Auch mit Schuhtyp 4 und 5 !**

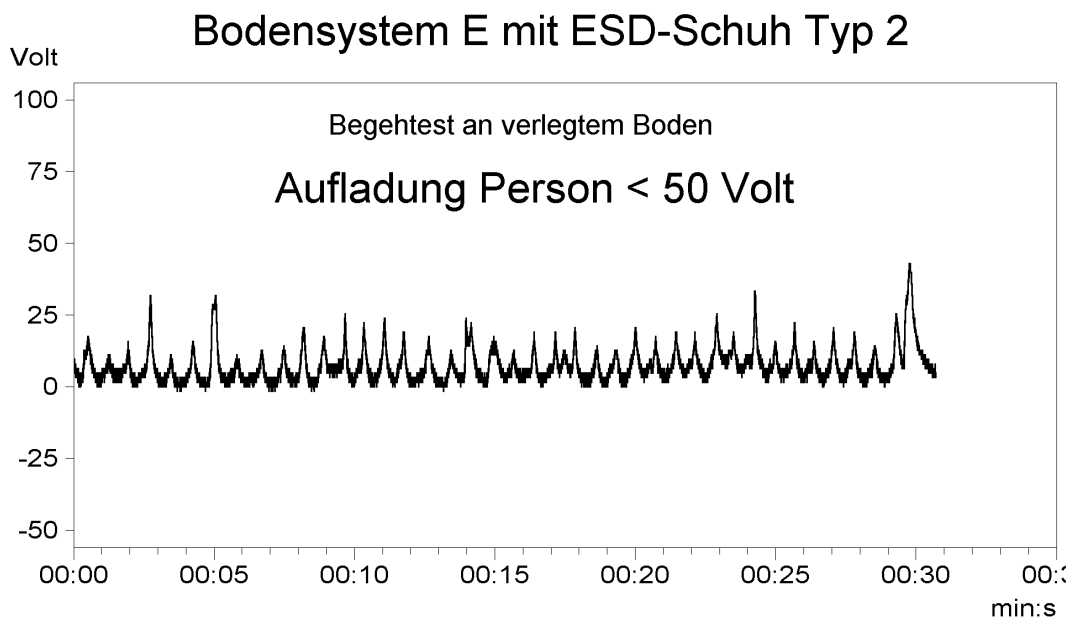


Bild 18 MESSUNG Praxis Bodensystem E r.F: 45 % Temp.: 25° C

- „Normales Gehen“
- Aufladung Person < 50 Volt, mit Schuhtyp 4 Aufladung < 35 Volt und mit Schuhtyp 5 Aufladung < 30 Volt
- Einstufung: **Tauglich ! Auch mit Schuhtyp 4 und 5 !**

Zusammenfassung

Die Labor- wie auch die Praxismessungen haben gezeigt, daß karbonfasergefüllte Kunstharzbeschichtungen für den Einsatz in Elektronikbereichen ungeeignet sind. Die maximalen Ableitzeiten einer Personenaufladung von 0,3 Sekunden auf ein Restpotential von 100 V können nicht **dauerhaft** erreicht werden.

Ursache ➔ Hoher Übergangswiderstand von der dissipativen Schuhsohle zur eingebetteten leitfähigen Karbonfaser durch schlechten Materialkontakt.

Die Luftfeuchtigkeit erweist sich als **nicht kalkulierbarer Faktor** für die Funktionstüchtigkeit der untersuchten Kunstharzbeschichtungen.

So konnte festgestellt werden, daß bei Praxismessungen im *Winter* Ableitwiderstände des Systemes $R_{E\ System} > 1\ G\Omega$ gemessen wurden. An gleicher Stelle, jedoch im *Sommer*, konnten Ableitwiderstände $R_{E\ System} < 1\ G\Omega$ mit akzeptablem Ableitverhalten gemessen werden.

Wie die Untersuchung zeigt, können die untauglichen „leitfähigen“ Beschichtungssysteme nur durch „**Spezialschuhe**“ mit einer **leitfähigen** Laufsohle für den Anwender nutzbar gemacht werden (an der Problemlösung wird derzeit gearbeitet).

In den beschriebenen Messungen wurden auch EPA-Ausrüstungen wie Stuhl, Transportwagen und Lagerbehälter mit einbezogen und es konnte ein ähnliches Verhalten wie bei den Personenableitwiderständen festgestellt werden.

Neueste Entwicklungen und Untersuchungen im Bereich Bodenbeschichtungssysteme weisen auf andere Materialkombinationen hin. Erste Labor- und Praxistests zeigen positive Ergebnisse.

Zu den Kunstharzbeschichtungssystemen wurden parallel auch diverse PVC- sowie Synthesekautschuk – Bodenmaterialien mit dissipativen wie auch leitfähigen Ableiteigenschaften mit positivem Ergebnis untersucht **/7/**.

Die Widerstände von Personen sowie EPA-Ausrüstungen (bis auf Stuhl) lagen bei $R_{E\ System} < 1\ G\Omega$ und sind für Elektronikbereiche als tauglich einzustufen.

➔ Dem Nutzer und Anwender wird für die Qualifizierung von ableitfähigen oder leitfähigen Bodensystemen die Messung von **Personenableitwiderstand** $R_{E\ System}$ und die Durchführung eines **Begehtests (Walkingtest)** auf Musterflächen (wenn möglich auch bei niedriger Luftfeuchtigkeit) empfohlen.

Literatur

- /1/ **IEC 61340-5-1/TR2**; Technical Report Type 2;
Electrostatics Part 5-1: Protection of the electronic devices from electrostatic phenomena – General requirement (1998-12)
- IEC 61340-5-2/TS**; Technical Specification;
Electrostatics Part 5-2: Protection of the electronic devices from electrostatic phenomena – User guide (1999-02)
- /2/ **DIN EN 100 015 Teil1**; Schutz von elektrostatisch gefährdeten Bauelementen
Teil 1: Allgemeine Anforderungen (1993-06)
- /3/ **Personenerdung über das System Boden/Schuhwerk**
Reinhold Gärtner, Karl-Heinz Helling, Gerhard Biermann, Erich Brazda,
Roland Haberhauer, Wilfried Köhl, Rolf Müller, Werner Niggemeier,
Bernhard Soder
- SIEMENS AG
5. ESD-Forum, Berlin 1997
- /4/ **DIN IEC 61340-4-1**; Elektrostatik
Teil 4: Festgelegte Untersuchungsverfahren für besondere Anwendungen
Hauptabschnitt 1: Elektrostatisches Verhalten von Bodenbelägen und von
verlegten Fußböden (1997-04)
- /5/ **DIN 51953**; Prüfung von organischen Bodenbelägen
Prüfung der Ableitfähigkeit für elektrostatische Ladungen für Bodenbeläge in
explosionsgefährdeten Räumen (1975-08)
- Ersetzt durch die DIN EN 1081 (1998-04)**
- /6/ **DIN EN 1081**; Elastische Bodenbeläge
Bestimmung des elektrischen Widerstandes (1998-04)
- /7/ **Investigating the Performance of Conductive Thick Epoxy Floors**
Meir Golane
- Fa. W. Warmbier
21. EOS/ESD Symposium, Orlando 1999