

Vergleichende Messungen von zwei ESD-Drehstühlen mit verschiedenen Rollen und Gleiter auf unterschiedlichen ESD-Bodensystemen

Jürgen Speicher

Wolfgang Warmbier GmbH & Co. KG Systeme gegen Elektrostatik
Untere Gießwiesen 21, 78247 Hilzingen, Deutschland

Zusammenfassung - In der Revision der aktuellen IEC 61340-5-1 Edition 1.0 (2007-08) soll der Grenzwert des Ableitwiderstandes für „Sitzgelegenheiten“ sowohl bei der „Produktqualifikation“ als auch bei der „Verifizierung der Einhaltung“ von 10^{10} Ohm auf 10^9 Ohm gesenkt werden. Durch diesen Sachverhalt ist zu befürchten, dass viele Anwender bei der „Verifizierung der Einhaltung“ Probleme mit der Einhaltung dieses neuen Grenzwertes von $1\text{ G}\Omega$ bekommen werden. Das Paper dokumentiert die Messergebnisse von zwei typischen ESD-Drehstühlen mit verschiedenen Rollen und Gleiter auf unterschiedlichen Bodensystemen. Aufgrund dieser Messergebnisse gibt es Rückschlüsse und Empfehlungen, um eine optimale Funktion von ESD-Drehstühlen auf ESD-Fußböden gewährleisten zu können.

Abstract - In the revision of the current IEC 61340-5-1 Edition 1.0 (2007-08), the limit value of the resistance to ground for "seating" shall be reduced for the "product qualification" and in the "compliance verification" from 10^{10} ohm to 10^9 ohm. Due to these circumstances problematic situations during the process of "compliance verification" in order to comply with this new limit of $1\text{ G}\Omega$ might occur. The paper documents the measurement results of two typical ESD swivel chairs with different castors and glides on different flooring systems. Based on these test results, there are conclusions and recommendations in order to ensure an optimal function of ESD swivel chairs on ESD flooring.

1 Einleitung

ESD-Drehstühle haben in einer ESD-Schutzzone (EPA) generell die Aufgabe eine Personenaufladung beim Aufstehen zu minimieren und eine Person beim Sitzen zusätzlich zu erden. Obwohl gemäß der Norm IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) bei sitzenden Tätigkeiten eine Handgelenkbanderlung vorgeschrieben ist, können Sitzgelegenheiten aber auch zur zusätzlichen Personenerdung dienen, wenn die HGB-Erdung nicht funktionieren sollte (z.B. Kabelbruch oder HGB-Erdung wurde nicht kontaktiert). Damit dies gewährleistet ist, muss das entsprechende Bodensystem in Kombination mit dem ESD-Stuhl optimal funktionieren.

Vor Beginn der Messreihen wurden die Bodensysteme, ESD-Drehstühle und Bekleidungen in einer begehbaren Klimakammer einer „Produktqualifikation“ bei einer relativen Luftfeuchte von $12 \pm 3\%$ und einer Temperatur von $23 \pm 2\text{ }^\circ\text{C}$ (Konditionierung > 48 Std.) unterzogen.

Die „Verifikation der Einhaltung“ der Stühle erfolgt auf verschiedenen Bodensystemen bei den aktuellen Umgebungsbedingungen.

Zusätzlich wurden Personenableitwiderstände und Körperspannungen im System „Person / ESD-Stuhl / Bodensystem“ mit unterschiedlichen Arbeitsmänteln geprüft.

Die in diesem Paper vorgestellten Ergebnisse sollen dem Anwender wertvolle Hinweise geben, unter welchen Umständen ESD-Stühle auf bestimmten ESD-Bodensystemen normkonform verwendet werden können.



Abbildung 1: Begehbare Klimakammer
(links: Außenansicht, rechts: Innenansicht)

2 Verwendete Messgeräte und Elektroden

Für die Messungen wurden folgende Messgeräte und Elektroden nach den geltenden Normen IEC 61340-2-3 (2000-03), IEC 61340-4-1 (2003-12) und IEC 61340-4-5 (2004-07) verwendet:

Tabelle 1:

Messgerät / Elektrode	Typ / Bezeichnung	Serien-Nr.
Hochohmmeter	METRISO® 3000	XE1548
Temperatur- / Luftfeuchtefühler	Z550B	WC3252
Elektroden	Modell 870	15001, 15002
Backrest Probe	Modell 900	16001
Handelektrode	Modell 45	-
Gegenelektrode	Metallplatte 400x300x2 mm	-
Walking Test Kit	WT5000	01500304

3 Verifizierung der verwendeten Messgeräte

Alle relevanten Messgeräte und Elektroden unterliegen der Prüfmittelüberwachung gemäß ISO 9001:2008 und wurden vor den Messungen entsprechend verifiziert.

4 Definitionen der Widerstandsmessungen und Messung der Körperspannung

R_g - Ableitwiderstand zur Schutzterde

R_{gp} - Ableitwiderstand zu einem erdungsfähigen Punkt

$R_{g\text{ System}}$ - Ableitwiderstand System (z.B. Person / ESD-Stuhl / Bodensystem) zur Schutzterde

R_{p-p} - Punkt-zu-Punkt-Widerstand

U - Körperspannung (gemessen zur Schutzterde)

5 Produktqualifikation der „ESD-Kontrollelemente“

Gemäß der Norm IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) müssen alle in einer ESD-Schutzzone verwendeten „ESD-Kontrollelemente“ einer „Produktqualifikation“ unterzogen werden. Für ESD-Bodensysteme, -Stühle und -Bekleidung muss die Produktqualifikation bei einer relativen Luftfeuchte von $12 \pm 3 \%$ und Temperatur von $23 \pm 2 \text{ °C}$ (Konditionierung > 48 Std.) durchgeführt werden. Diese Messungen wurden dabei auf isolierenden Teflon-Platten durchgeführt.

5.1 Bodensysteme

Als „Basis“ für die Prüfung der verschiedenen Stuhl-/ Bodensysteme wurden nach IEC 61340-4-1 (2003-12) folgende 5 Bodensysteme mit jeweils 5 Messpunkten (spätere Auflageflächen der Stuhlrollen bzw. -gleiter) versehen und gemessen:

Tabelle 2:

Typ	Material	Ausführung
BS-1	PVC	Ableitfähige Pigmente in der Oberseite und leitfähiger Anstrich an der Rückseite. Stärke: 1,9 mm
BS-2	PVC	Zweischichtiger Verbundbelag: Ableitfähige Oberseite und leitfähige Rückseite. Stärke: 2,0 mm
BS-3	PUR	Volumenableitfähiger Integralweisschaum. Stärke: 13 mm
BS-4	Epoxidharz	Beschichtung mit eingestreuten Karbon-Fasern. Stärke: 3,0 mm
BS-5	PUR-Basis	Pigmentierte Versiegelung ohne Leitschicht. Stärke: 0,2 mm



Abbildung 2: Jeweils 5 definierte Messpunkte zur Messung der Ableitwiderstände R_{gp} (hier als Beispiel: PVC-Belag, Nr. 1).

Tabelle 3: Gemessene Ableitwiderstände R_{gp}

Typ	U_{mess}	MP 1	MP 2	MP 3	MP 4	MP 5
PVC-Belag 1 (Typ „BS-1“)	10 V	524 k Ω	362 k Ω	499 k Ω	278 k Ω	368 k Ω
PVC-Belag 2 (Typ „BS-2“)	100 V	129 M Ω	122 M Ω	131 M Ω	127 M Ω	121 M Ω
PUR-Weichschaummatte (Typ „BS-3“)	10 V	392 k Ω	395 k Ω	348 k Ω	306 k Ω	344 k Ω
Epoxidharz-Beschichtung (Typ „BS-4“)	10 V	18,9 k Ω	32,7 k Ω	74,1 k Ω	117 k Ω	12,8 k Ω
PUR-Ver-siegelung (Typ „BS-5“)	100 V	7,08 M Ω	7,09 M Ω	6,62 M Ω	5,57 M Ω	5,91 M Ω

Auswertung der Messergebnisse:

Gemäß IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) – Tabelle 3 „EPA-Anforderungen“ erfüllen die fünf gemessenen Bodensysteme alle den für die „Produktqualifikation“ vorgegebenen Grenzwert von $R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$ (1 GOhm).

5.2 ESD-Drehstühle

Als exemplarische Muster für die Messungen wurden zwei handelsübliche ESD-Drehstühle verwendet.

Beide Stuhltypen haben denselben Aufbau und bestehen aus einem verchromten 5-Stern-Aluminium-Fußkreuz und einer höhenverstellbaren Sicherheitsgasfeder.

Bei dem ersten Typ „DS-1“ sind der Sitz und die Rückenlehne mit einem ableitfähigen Polsterbezug aus Textil bezogen. Die Rückenschale besteht aus leitfähigem Kunststoff.

Der zweite Typ „DS-2“ hat einen Sitz und eine Rückenlehne aus ableitfähigem PUR-Integralschaum.

An beiden ESD-Drehstühlen wurde der Ableitwiderstand R_{gp} der verschiedenen Stuhlrollen und -gleiter jeweils einzeln zu einer Metallplatte gemäß IEC 61340-2-3 (2000-03) gemessen.



Typ „DS-1“

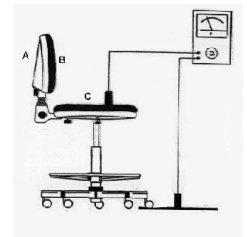
Typ „DS-2“

Abbildung 3:

links: Messung Ableitwiderstand R_{gp} des Messpunkt „C“ mit Elektrode Modell 870.
rechts: Messung Ableitwiderstand R_{gp} des Messpunkt „B“ mit Elektrode Modell 900.

Tabelle 4: Gemessene Ableitwiderstände R_{gp}

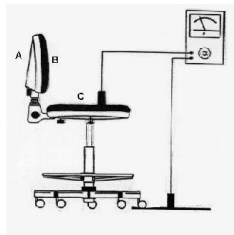
Drehstuhl: Typ „DS-1“



Rolle/Gleiter - MP	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff <u>verschmutzt</u>	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
1-A	1,87 M Ω	3,46 GΩ	1,50 M Ω	1,32 M Ω
1-B	2,32 M Ω	3,55 GΩ	2,04 M Ω	1,74 M Ω
1-C	1,56 M Ω	3,83 GΩ	2,13 M Ω	2,73 M Ω
2-A	1,77 M Ω	3,46 GΩ	1,60 M Ω	1,18 M Ω
2-B	2,23 M Ω	3,84 GΩ	2,08 M Ω	1,77 M Ω
2-C	1,79 M Ω	3,73 GΩ	2,15 M Ω	2,31 M Ω
3-A	1,87 M Ω	2,57 GΩ	1,51 M Ω	1,19 M Ω
3-B	2,18 M Ω	2,89 GΩ	2,00 M Ω	1,44 M Ω
3-C	1,75 M Ω	2,79 GΩ	1,97 M Ω	2,34 M Ω
4-A	1,83 M Ω	2,62 GΩ	1,55 M Ω	1,19 M Ω
4-B	2,09 M Ω	2,71 GΩ	2,04 M Ω	1,34 M Ω
4-C	1,73 M Ω	2,73 GΩ	2,06 M Ω	2,07 M Ω
5-A	1,87 M Ω	2,38 GΩ	1,48 M Ω	1,21 M Ω
5-B	2,13 M Ω	3,15 GΩ	2,05 M Ω	1,39 M Ω
5-C	1,79 M Ω	2,31 GΩ	2,01 M Ω	1,86 M Ω

Tabelle 5: Gemessene Ableitwiderstände R_{gp}

Drehstuhl: Typ „DS-2“



Rolle/Gleiter - MP	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff verschmutzt	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
1-A	84,1 MΩ	3,55 GΩ	96,1 MΩ	119 MΩ
1-B	77,6 MΩ	3,60 GΩ	92,4 MΩ	109 MΩ
1-C	97,5 MΩ	3,95 GΩ	99,5 MΩ	102 MΩ
2-A	82,4 MΩ	3,87 GΩ	95,8 MΩ	118 MΩ
2-B	78,1 MΩ	3,97 GΩ	91,3 MΩ	108 MΩ
2-C	96,1 MΩ	3,91 GΩ	98,6 MΩ	100 MΩ
3-A	81,7 MΩ	2,66 GΩ	95,7 MΩ	120 MΩ
3-B	78,8 MΩ	2,97 GΩ	92,1 MΩ	113 MΩ
3-C	96,5 MΩ	2,89 GΩ	98,2 MΩ	103 MΩ
4-A	80,8 MΩ	2,75 GΩ	99,7 MΩ	119 MΩ
4-B	78,6 MΩ	2,79 GΩ	91,9 MΩ	106 MΩ
4-C	95,7 MΩ	2,80 GΩ	98,1 MΩ <td 100 MΩ	
5-A	81,2 MΩ	2,79 GΩ	96,5 MΩ	121 MΩ
5-B	79,6 MΩ	2,84 GΩ	92,7 MΩ	112 MΩ
5-C	95,0 MΩ	2,91 GΩ	97,7 MΩ	101 MΩ

Auswertung der Messergebnisse:

Gemäß IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) – Tabelle 3 „EPA-Anforderungen“ erfüllen alle gemessenen ESD-Drehstuhl-Kombinationen den für die „Produktqualifikation“ vorgegebenen Grenzwert von $R_{gp} < 1 \times 10^{10} \Omega$ (10 GOhm). Allerdings hätten beide Stuhltypen mit den verschmutzten Rollen aus Kunststoff den geplanten, neuen Grenzwertes von $R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$ (1 GOhm) überschritten (in den Tabellen 4 und 5 mit blauer Schriftfarbe markiert).

5.3 Bekleidungen

Generell dient ESD-Bekleidung zur Abschirmung elektrostatischer Felder der Unterbekleidung. Bei sitzenden Tätigkeiten kann diese jedoch auch positiv auf den Ableitwiderstand der Person zum Stuhl hin wirken. Für die Prüfung der Ableitwiderstände und Körperspannungen einer sitzenden Person auf den verschiedenen Stuhl- / Bodensystemen in Anlehnung an die IEC 61340-4-5 (2004-07) wurden folgende drei Typen Arbeitsmäntel (fünfmal gewaschen) verwendet:

Tabelle 6:

Typ	Material / Ausführung
B-1	100 % Baumwolle, Gewicht: 210 g/m ²
B-2	Elektrostatisch ableitfähiges Baumwollmischgewebe aus 65 % Polyester, 32 % Baumwolle und 3 % karbonisiertem Garn im 4 mm Raster, Gewicht: 156 g/m ²
B-3	Elektrostatisch ableitfähiges Baumwollmischgewebe aus 65 % Polyester, 32 % Baumwolle und 3 % karbonisiertem Garn im 4 mm Raster, mit leitfähigen Bündchen, Gewicht: 156 g/m ²



Abbildung 4: Messung der Punkt-zu-Punkt-Widerstände R_{p-p} (hier als Beispiel: Typ „B-2“).

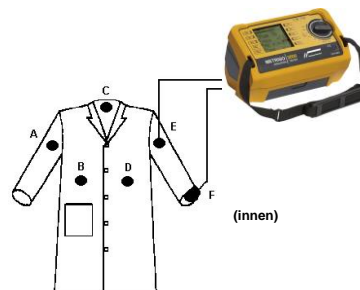


Abbildung 5: Definierte Messpunkte zur Messung der Punkt-zu-Punkt-Widerstände R_{p-p}

Tabelle 7:

Gemessene Punkt-zu-Punkt-Widerstände R_{p-p}

Typ	A - E	A - C	C - E	C - F	B - D
B-1	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
B-2	3,1 MΩ	1,3 MΩ	1,1 MΩ	1,3 MΩ	836 kΩ
B-3	2,3 MΩ	1,3 MΩ	1,2 MΩ	1,0 MΩ	604 kΩ

Auswertung der Messergebnisse:

Gemäß IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) – Tabelle 3 „EPA-Anforderungen“ erfüllt der Arbeitsmantel Typ „B-1“ (hergestellt aus 100 % Baumwolle) den für die „Produktqualifikation“ vorgegebenen Grenzwert von $R_{p-p} < 1 \times 10^{12} \Omega$ (1 TΩhm) nicht und leider werden trotzdem immer noch solche Baumwollmäntel in ESD-Schutzzonen eingesetzt.

6 Durchgeführte Messungen

Gemäß der Norm IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) – Tabelle 3 „EPA-Anforderungen“ wurden bei der „Verifizierung der Einhaltung“ die Ableitwiderstände R_g (in unserem Fall R_{gp} , da wir nur Messmuster haben) der Bodensysteme und ESD-Drehstühle bei den vorhandenen Umgebungsbedingungen (relative Luftfeuchte von $50 \pm 5 \%$ und Temperatur von $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$, Konditionierung > 48 Std.) gemessen.

Als Vergleichsmessungen wurden zuvor diese Messungen auch bei einer relativen Luftfeuchte von $12 \pm 3 \%$ und Temperatur von $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$ (Konditionierung > 48 Std.) durchgeführt.

Um eine Aussage zu der generierten Körperspannung treffen zu können, wurden dazu in der begehbaren Klimakammer Messungen gemacht. Alle Messungen wurden dabei auf isolierenden Teflon-Platten durchgeführt.

6.1 Messung des Ableitwiderstand R_g von einem Drehstuhl zum Bodensystem



Abbildung 6:
links: Messung des Stuhltyps „DS-2“ auf Bodenmuster „BS-5“ in der begehbaren Klimakammer.
rechts: Prüfbereich im Labor mit Stuhltyp „DS-1“ und allen Bodenmustern.

Tabelle 8: Gemessene Ableitwiderstände R_{gp} in der begehbaren Klimakammer und im Labor

Drehstuhl: Typ „DS-1“

Legende Bodensysteme:

BS-1: PVC-Belag 1

BS-2: PVC-Belag 2

BS-3: PUR-Weichschaummatte

BS-4: Epoxidharz-Beschichtung

BS-5: Polyurethan-Versiegelung



Bodensystem / MP	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff <u>verschmutzt</u>	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: $12 \pm 3 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1/A	3,93 M Ω	7,33 GΩ	1,71 M Ω	2,80 M Ω
BS-1/B	3,74 M Ω	7,29 GΩ	1,66 M Ω	2,88 M Ω
BS-1/C	3,91 M Ω	7,14 GΩ	1,69 M Ω	2,86 M Ω
BS-2/A	327 M Ω	770 M Ω	158 M Ω	7,32 GΩ
BS-2/B	326 M Ω	768 M Ω	157 M Ω	7,38 GΩ
BS-2/C	324 M Ω	773 M Ω	155 M Ω	7,31 GΩ
BS-3/A	1,57 M Ω	2,94 M Ω	1,60 M Ω	1,50 M Ω
BS-3/B	1,60 M Ω	2,96 M Ω	1,59 M Ω	1,53 M Ω
BS-3/C	1,63 M Ω	3,02 M Ω	1,63 M Ω	1,51 M Ω
BS-4/A	428 GΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	838 GΩ
BS-4/B	443 GΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	848 GΩ
BS-4/C	432 GΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	844 GΩ
BS-5/A	9,82 M Ω	1,25 M Ω	7,79 M Ω	16,7 M Ω
BS-5/B	9,61 M Ω	1,22 M Ω	7,77 M Ω	16,5 M Ω
BS-5/C	9,76 M Ω	1,16 M Ω	7,73 M Ω	16,5 M Ω
Relative Luftfeuchte: $50 \pm 5 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1/A	2,66 M Ω	194 M Ω	722 k Ω	4,10 M Ω
BS-1/B	2,65 M Ω	194 M Ω	721 k Ω	4,18 M Ω
BS-1/C	2,71 M Ω	193 M Ω	716 k Ω	4,05 M Ω
BS-2/A	75,0 M Ω	134 M Ω	78,1 M Ω	1,72 GΩ
BS-2/B	75,3 M Ω	132 M Ω	78,8 M Ω	1,74 GΩ
BS-2/C	74,9 M Ω	131 M Ω	77,3 M Ω	1,61 GΩ
BS-3/A	767 k Ω	831 k Ω	737 k Ω	1,01 M Ω
BS-3/B	764 k Ω	834 k Ω	741 k Ω	1,03 M Ω
BS-3/C	764 k Ω	826 k Ω	734 k Ω	1,00 M Ω
BS-4/A	89,8 GΩ	129 GΩ	274 GΩ	134 GΩ
BS-4/B	89,6 GΩ	129 GΩ	273 GΩ	133 GΩ
BS-4/C	88,4 GΩ	128 GΩ	273 GΩ	135 GΩ
BS-5/A	4,27 M Ω	121 M Ω	3,58 M Ω	22,7 M Ω
BS-5/B	4,28 M Ω	125 M Ω	3,60 M Ω	22,5 M Ω
BS-5/C	4,27 M Ω	122 M Ω	3,52 M Ω	22,6 M Ω

Tabelle 9: Gemessene Ableitwiderstände R_{gp} in der begehbaren Klimakammer und im Labor

Drehstuhl: Typ „DS-2“

Legende Bodensysteme:

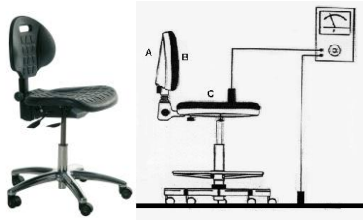
BS-1: PVC-Belag 1





BS-2: PVC-Belag 2

BS-3: PUR-Weichschaummatte

BS-4: Epoxidharz-Beschichtung

BS-5: Polyurethan-Versiegelung



Bodensystem / MP	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff <u>verschmutzt</u>	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
				
Relative Luftfeuchte: 12 ± 3 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1/A	141 MΩ	10,3 GΩ	139 MΩ	157 MΩ
BS-1/B	139 MΩ	10,5 GΩ	138 MΩ	158 MΩ
BS-1/C	142 MΩ	10,3 GΩ	139 MΩ	156 MΩ
BS-2/A	378 MΩ	659 MΩ	270 MΩ	8,57 GΩ
BS-2/B	378 MΩ	657 MΩ	271 MΩ	8,54 GΩ
BS-2/C	380 MΩ	652 MΩ	269 MΩ	8,81 GΩ
BS-3/A	142 MΩ	156 MΩ	137 MΩ	147 MΩ
BS-3/B	140 MΩ	157 MΩ	139 MΩ	150 MΩ
BS-3/C	138 MΩ	156 MΩ	138 MΩ	151 MΩ
BS-4/A	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
BS-4/B	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
BS-4/C	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
BS-5/A	149 MΩ	440 MΩ	155 MΩ	441 MΩ
BS-5/B	150 MΩ	444 MΩ	153 MΩ	443 MΩ
BS-5/C	146 MΩ	439 MΩ	157 MΩ	438 MΩ
Relative Luftfeuchte: 50 ± 5 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1/A	68,5 MΩ	322 MΩ	71,3 MΩ	270 MΩ
BS-1/B	68,2 MΩ	321 MΩ	71,2 MΩ	268 MΩ
BS-1/C	69,9 MΩ	324 MΩ	70,9 MΩ	271 MΩ
BS-2/A	123 MΩ	249 MΩ	160 MΩ	1,28 GΩ
BS-2/B	121 MΩ	251 MΩ	161 MΩ	1,30 GΩ
BS-2/C	126 MΩ	245 MΩ	158 MΩ	1,22 GΩ
BS-3/A	62,0 MΩ	70,6 MΩ	71,3 MΩ	65,4 MΩ
BS-3/B	61,7 MΩ	70,2 MΩ	70,9 MΩ	65,0 MΩ
BS-3/C	62,2 MΩ	69,5 MΩ	70,3 MΩ	65,5 MΩ
BS-4/A	183 GΩ	258 GΩ	810 GΩ	138 GΩ
BS-4/B	182 GΩ	259 GΩ	811 GΩ	140 GΩ
BS-4/C	180 GΩ	263 GΩ	809 GΩ	141 GΩ
BS-5/A	48,0 MΩ	182 MΩ	81,2 MΩ	88,4 MΩ
BS-5/B	47,7 MΩ	184 MΩ	81,5 MΩ	88,2 MΩ
BS-5/C	47,2 MΩ	183 MΩ	80,4 MΩ	87,9 MΩ

Auswertung der Messergebnisse:

Gemäß IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) – Tabelle 3 „EPA-Anforderungen“ erfüllen nicht alle ESD-Drehstuhl / Bodensystem-Kombinationen (in den beiden Tabellen 8 und 9 mit roter Schriftfarbe markiert) den vorgegebenen Grenzwert von $R_{gp} < 1 \times 10^{10} \Omega$ (10 GOhm). Dies ist auf verschmutzte Stuhlrollen oder Kontaktprobleme der Stuhlrollen bzw. Gleitern zu den leitfähigen Komponenten der sehr harten Epoxidharzbeschichtung zurückzuführen. Weiterhin gibt es auch hier bei beiden Stuhltypen mit verschmutzten Rollen oder Gleitern deutliche Überschreitungen (in den beiden Tabellen 8 und 9 mit blauer Schriftfarbe markiert) des geplanten, neuen Grenzwertes von $R_{gp} < 1 \times 10^9 \Omega$ (1 GOhm).

6.2 Messung des Ableitwiderstand $R_{gSystem}$ von einer sitzenden Person mit Arbeitsmantel auf einem Drehstuhl zum Bodensystem



Abbildung 7: Messung der Ableitwiderstände $R_{gSystem}$ von einer sitzenden Person mit getragenen Arbeitsmantel über einen Drehstuhl zu einem Bodensystem. Die sitzende Person trägt dabei isolierende Straßenschuhe, die beide auf der isolierenden Teflon-Platte abgestellt sind.

Tabelle 10: Gemessene Ableitwiderstände $R_{gSystem}$

Legende Bodensysteme:

BS-1: PVC-Belag 1

BS-2: PVC-Belag 2

BS-3: PUR-Weichschaummatte

BS-4: Epoxidharz-Beschichtung

BS-5: Polyurethan-Versiegelung



Legende Bekleidung:

B-1: Baumwoll-Arbeitsmantel

B-2: ESD-Arbeitsmantel

B-3: ESD-Arbeitsmantel mit Bündchen

Drehstuhl Typ „DS-1“ + Bekleidung Typ „B-1“

Bodensystem	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff verschmutzt	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: $12 \pm 3 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1	127 M Ω	2,98 G Ω	293 M Ω	471 M Ω
BS-2	523 M Ω	806 M Ω	408 M Ω	4,16 G Ω
BS-3	578 M Ω	603 M Ω	721 M Ω	676 M Ω
BS-4	> 1 T Ω	> 1 T Ω	> 1 T Ω	> 1 T Ω
BS-5	438 M Ω	797 M Ω	568 M Ω	645 M Ω
Relative Luftfeuchte: $50 \pm 5 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1	6,93 M Ω	140 M Ω	4,12 M Ω	101 M Ω
BS-2	30,0 M Ω	103 M Ω	38,3 M Ω	573 M Ω
BS-3	4,07 M Ω	4,33 M Ω	4,35 M Ω	6,78 M Ω
BS-4	163 G Ω	66,9 G Ω	245 G Ω	131 G Ω
BS-5	7,23 M Ω	65,2 M Ω	6,33 M Ω	11,5 M Ω

Tabelle 11: Gemessene Ableitwiderstände $R_{gSystem}$

Drehstuhl Typ „DS-1“ + Bekleidung Typ „B-2“

Bodensystem	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff verschmutzt	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: $12 \pm 3 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1	7,98 M Ω	2,18 G Ω	4,35 M Ω	10,2 M Ω
BS-2	102 M Ω	247 M Ω	74,5 M Ω	3,81 G Ω
BS-3	5,16 M Ω	5,26 M Ω	4,74 M Ω	4,41 M Ω
BS-4	> 1 T Ω	> 1 T Ω	> 1 T Ω	> 1 T Ω
BS-5	13,6 M Ω	48,1 M Ω	12,7 M Ω	16,7 M Ω
Relative Luftfeuchte: $50 \pm 5 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1	3,29 M Ω	138 M Ω	1,69 M Ω	3,84 M Ω
BS-2	28,6 M Ω	101 M Ω	37,4 M Ω	474 M Ω
BS-3	2,01 M Ω	2,45 M Ω	1,84 M Ω	1,95 M Ω
BS-4	160 G Ω	65,9 G Ω	244 G Ω	118 G Ω
BS-5	5,26 M Ω	61,7 M Ω	4,70 M Ω	7,41 M Ω

Tabelle 12: Gemessene Ableitwiderstände $R_{gSystem}$

Drehstuhl Typ „DS-1“ + Bekleidung Typ „B-3“

Bodensystem	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff verschmutzt	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: $12 \pm 3 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1	4,55 M Ω	1,83 G Ω	3,64 M Ω	5,90 M Ω
BS-2	96,1 M Ω	197 M Ω	73,9 M Ω	3,31 G Ω
BS-3	3,58 M Ω	3,65 M Ω	3,17 M Ω	3,84 M Ω
BS-4	> 1 T Ω	> 1 T Ω	> 1 T Ω	> 1 T Ω
BS-5	10,9 M Ω	42,8 M Ω	9,67 M Ω	13,1 M Ω
Relative Luftfeuchte: $50 \pm 5 \%$, Temperatur: $23 \pm 2 \text{ }^\circ\text{C}$				
BS-1	2,14 M Ω	136 M Ω	2,02 M Ω	2,26 M Ω
BS-2	27,2 M Ω	90,4 M Ω	36,9 M Ω	458 M Ω
BS-3	1,05 M Ω	1,35 M Ω	1,13 M Ω	1,35 M Ω
BS-4	159 G Ω	64,7 G Ω	242 G Ω	117 G Ω
BS-5	4,50 M Ω	59,8 M Ω	3,92 M Ω	5,68 M Ω

Tabelle 13: Gemessene Ableitwiderstände $R_{gSystem}$

Legende Bodensysteme:

- BS-1: PVC-Belag 1
- BS-2: PVC-Belag 2
- BS-3: PUR-Weichschaummatte
- BS-4: Epoxidharz-Beschichtung
- BS-5: Polyurethan-Versiegelung



Legende Bekleidung:

- B-1: Baumwoll-Arbeitsmantel
- B-2: ESD-Arbeitsmantel
- B-3: ESD-Arbeitsmantel mit Bündchen

Drehstuhl Typ „DS-2“ + Bekleidung Typ „B-1“

Bodensystem	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff <u>verschmutzt</u>	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: 12 ± 3 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1	816 MΩ	3,53 GΩ	417 MΩ	492 MΩ
BS-2	824 MΩ	844 MΩ	572 MΩ	4,15 GΩ
BS-3	468 MΩ	477 MΩ	361 MΩ	321 MΩ
BS-4	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
BS-5	291 MΩ	486 MΩ	255 MΩ	358 MΩ
Relative Luftfeuchte: 50 ± 5 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1	15,8 MΩ	161 MΩ	15,0 MΩ	13,9 MΩ
BS-2	38,2 MΩ	110 MΩ	51,6 MΩ	488 MΩ
BS-3	11,5 MΩ	11,7 MΩ	14,7 MΩ	11,3 MΩ
BS-4	214 GΩ	97,6 GΩ	307 GΩ	262 GΩ
BS-5	15,6 MΩ	88,6 MΩ	20,1 MΩ	17,4 MΩ

Tabelle 14: Gemessene Ableitwiderstände $R_{gSystem}$

Drehstuhl Typ „DS-2“ + Bekleidung Typ „B-2“

Bodensystem	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff <u>verschmutzt</u>	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: 12 ± 3 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1	57,0 MΩ	3,18 GΩ	38,5 MΩ	42,9 MΩ
BS-2	130 MΩ	242 MΩ	121 MΩ	3,94 GΩ
BS-3	42,8 MΩ	40,0 MΩ	45,7 MΩ	43,3 MΩ
BS-4	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
BS-5	49,7 MΩ	308 MΩ	45,1 MΩ	52,1 MΩ
Relative Luftfeuchte: 50 ± 5 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1	12,3 MΩ	150 MΩ	13,4 MΩ	12,6 MΩ
BS-2	36,9 MΩ	107 MΩ	50,2 MΩ	519 MΩ
BS-3	10,4 MΩ	11,5 MΩ	12,8 MΩ	10,7 MΩ
BS-4	212 GΩ	96,1 GΩ	305 GΩ	261 GΩ
BS-5	14,8 MΩ	87,5 MΩ	18,9 MΩ	16,1 MΩ

Tabelle 15: Gemessene Ableitwiderstände $R_{gSystem}$

Drehstuhl Typ „DS-2“ + Bekleidung Typ „B-3“

Bodensystem	+ Rollen Kunststoff	+ Rollen Kunststoff <u>verschmutzt</u>	+ Rollen Metall	+ Gleiter Kunststoff
Relative Luftfeuchte: 12 ± 3 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1	39,4 MΩ	3,09 GΩ	27,9 MΩ	29,7 MΩ
BS-2	106 MΩ	221 MΩ	93,6 MΩ	3,60 GΩ
BS-3	27,8 MΩ	30,9 MΩ	28,9 MΩ	30,5 MΩ
BS-4	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ	> 1 TΩ
BS-5	38,7 MΩ	70,6 MΩ	34,8 MΩ	41,6 MΩ
Relative Luftfeuchte: 50 ± 5 %, Temperatur: 23 ± 2 °C				
BS-1	11,6 MΩ	147 MΩ	10,9 MΩ	11,2 MΩ
BS-2	34,7 MΩ	106 MΩ	47,6 MΩ	508 MΩ
BS-3	8,93 MΩ	9,52 MΩ	10,6 MΩ	8,91 MΩ
BS-4	210 GΩ	94,9 GΩ	304 GΩ	259 GΩ
BS-5	13,5 MΩ	86,2 MΩ	15,4 MΩ	14,0 MΩ

Auswertung der Messergebnisse:

Obwohl gemäß der Norm IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) bei sitzenden Tätigkeiten eine Handgelenkbanderung vorgeschrieben ist, können unter bestimmten Umständen Sitzgelegenheiten nachweislich aber auch die HGB-Erdung ersetzen, da der Grenzwert $R < 3,5 \times 10^7 \Omega$ (35 MOhm) in bestimmten Konstellationen erfüllt werden kann (die verschiedenen Kombinationen von „ESD-Bodensystemen / ESD-Drehstühlen / Person mit ESD-Arbeitsmantel“ sind in den Tabellen 10 bis 15 grün eingefärbt).

6.3 Messung der Körperspannung U von einer sitzenden Person mit Arbeitsmantel auf einem Drehstuhl zum Bodensystem

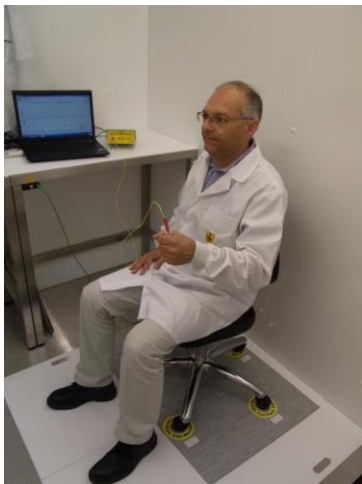


Abbildung 8: Messung der Körperspannung U von einer sitzenden Person mit getragenen Arbeitsmantel über einen Drehstuhl zu einem Bodensystem. Die sitzende Person trägt dabei isolierende Straßenschuhe, die beide auf der isolierenden Teflon-Platte abgestellt sind.

Grafik 1: Gemessene Körperspannung U bei $R_{gp} \approx 7,3 \text{ G}\Omega$ und $R_{g \text{ System}} = 4,16 \text{ G}\Omega$ (Siehe Tabelle 8 und 10)

Legende Bodensystem:

BS-2: PVC-Belag 2

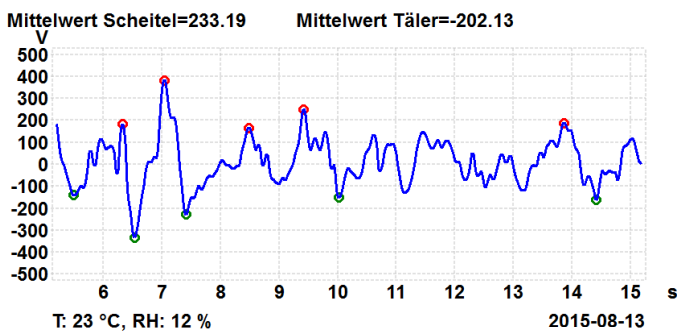
Legende Bekleidung:

B-1: Baumwoll-Arbeitsmantel



Typ „BS-2“ + Typ „DS-1“ + Gleiter + Typ „B-1“

Grafik 1



Auswertung von Grafik 1:

Erzeugte Körperspannung (Mittelwert der 5 höchsten Spitzen) bei sitzenden Bewegungen: **233,19 V / - 202,13 V.**

Grafik 2: Gemessene Körperspannung U bei $R_{gp} \approx 7,3 \text{ G}\Omega$ und $R_{g \text{ System}} = 3,31 \text{ G}\Omega$ (Siehe Tabelle 8 und 12)

Legende Bodensystem:

BS-2: PVC-Belag 2

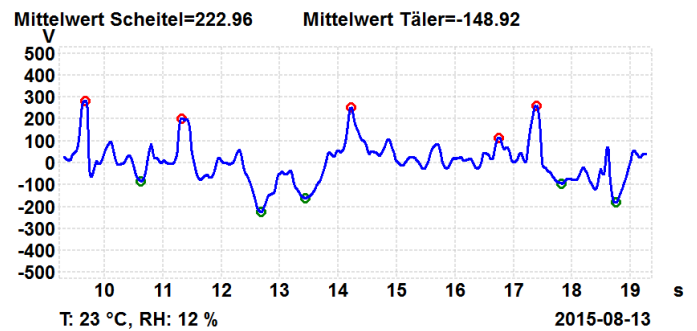
Legende Bekleidung:

B-1: ESD-Arbeitsmantel mit Bündchen



Typ „BS-2“ + Typ „DS-1“ + Gleiter + Typ „B-3“

Grafik 2



Auswertung von Grafik 2:

Erzeugte Körperspannung (Mittelwert der 5 höchsten Spitzen) bei sitzenden Bewegungen: **222,96 V / - 148,92 V.**

Grafik 3: Gemessene Körperspannung U bei $R_{gp} \approx 655 \text{ M}\Omega$ und $R_{g \text{ System}} = 844 \text{ M}\Omega$ (Siehe Tabelle 9 und 13)

Legende Bodensystem:

BS-2: PVC-Belag 2

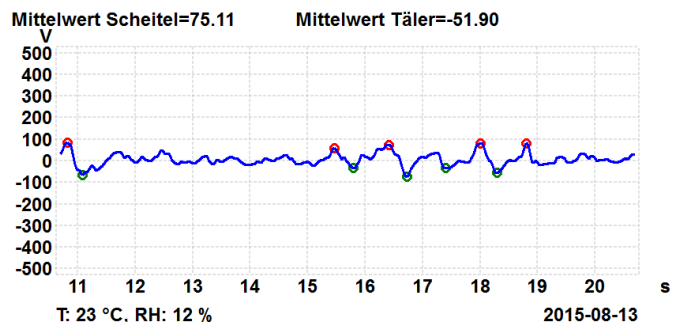
Legende Bekleidung:

B-3: Baumwoll-Arbeitsmantel



Typ „BS-2“ + Typ „DS-2“ + verschmutzte Rollen + Typ „B-1“

Grafik 3



Auswertung von Grafik 3:

Erzeugte Körperspannung (Mittelwert der 5 höchsten Spitzen) bei sitzenden Bewegungen: **75,11 V / - 51,90 V.**

Grafik 4: Gemessene Körperspannung U bei $R_{gp} \approx 655 \text{ M}\Omega$ und $R_{g \text{ System}} = 221 \text{ M}\Omega$ (Siehe Tabelle 9 und 15)

Legende Bodensystem:

BS-2: PVC-Belag 2

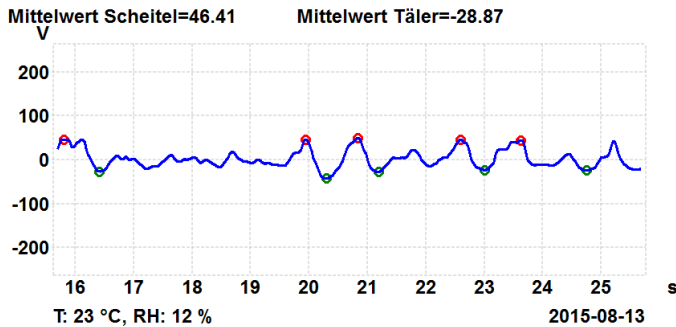
Legende Bekleidung:

B-3: ESD-Arbeitsmantel mit Bündchen



Typ „BS-2“ + Typ „DS-2“ + verschmutzte Rollen + Typ „B-3“

Grafik 4



Auswertung von Grafik 4:

Erzeugte Körperspannung (Mittelwert der 5 höchsten Spitzen) bei sitzenden Bewegungen: **46,41 V / - 28,87 V.**

Auswertung der Messergebnisse:

Die Mäntel haben kaum oder nur einen geringen Einfluss auf die Messergebnisse!

7 Zusammenfassung

Aufgrund der ermittelten Messergebnisse können nun folgende Rückschlüsse gezogen werden:

1.) ESD-Drehstühle mit sauberen (neuen) Stuhlrollen oder Gleitern konnten die Produktqualifizierung erfüllen und eine Änderung des Grenzwertes von dem Ableitwiderstand R_{gp} auf $< 10^9 \text{ Ohm}$ (1 GOhm) stellt hier somit kein generelles Problem dar (siehe Tabelle 4 und 5).

2.) ESD-Drehstühle mit verschmutzten Stuhlrollen können allerdings die Produktqualifizierung eventuell nicht bestehen. Die Produktqualifizierung wird im Normalfall jedoch auch nur mit neuen Stühlen durchgeführt (siehe Tabelle 4 und 5).

3.) Die Verifikationsmessungen zeigen, dass die Ableitwiderstände von beiden ESD-Drehstühlen bei einer relativen Luftfeuchte von ca. 50 % sowohl unter dem bisherigen Grenzwert von $10^{10} \Omega$ (10 GOhm) als auch unter dem geplanten Grenzwert von $10^9 \Omega$ (1 GOhm) liegen (siehe Tabelle 8 und 9).

Ausnahme: Auf der Epoxidharzbeschichtung lagen alle Stuhlrollen-/Gleiter-Kombinationen über dem Grenzwert von $10^{10} \Omega$ (10 GOhm) (in Tabelle 8 und 9 in roter Schrift markiert).

Ursache: Kontaktproblem der Stuhlrollen bzw. Gleiter zu den leitfähigen Komponenten der sehr harten Epoxidharzbeschichtung.

4.) Die Messungen der Ableitwiderstände $R_{g \text{ System}}$ von einer sitzenden Person mit getragenen Arbeitsmantel über einen ESD-Drehstuhl zu einem ESD-Bodensystem bei einer relativen Luftfeuchte von 12 % in der begehbaren Klimakammer zeigten, dass der spezifizierte Grenzwert für die HGB-Erdung von $R < 35 \text{ M}\Omega$ je nach Konstellation durchaus erfüllt werden kann (siehe Tabelle 10 bis 15).

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die geplante Änderung des Grenzwertes für die Produktqualifizierung bzw. Verifikation der Einhaltung nicht unbedingt zum Problem werden muss.

Wenn bei der Verifikationsmessung der Systemwiderstand $R_{g \text{ System}}$ „Person / ESD-Stuhl / ESD-Bodensystem“ $> 10^9 \Omega$ (1 GOhm) ist, wird eine Prüfung der Körperspannung in Anlehnung an IEC 61340-4-5 zwingend empfohlen.

Es wird hiermit darauf hingewiesen, dass dem in der Norm IEC 61340-5-1 Ed. 1.0 (2007-08) unter Punkt 5.1.3 erwähnte Passus „Tailoring (Anpassung)“ in Anspruch genommen werden kann. Konkret bedeutet dies, dass die Organisation generell solche Untersuchungen immer mit den vorhandenen „ESD-Kontrollelementen“ durchführt, bewertet und die Anpassungsentscheidungen, inklusive Begründung, dokumentiert.

Abschließend ist zu erwähnen, dass die in diesem Paper ermittelten Erkenntnisse dem Anwender ausschließlich als Hinweise dienen sollen und nicht verallgemeinert werden können.