

# Messung der Körperspannung beim Begehtest

Magdalena Hilkersberger (1), Reinhold Gärtner (1),

Wolfgang Stadler (2), Josef Niemesheim (2),

Jürgen Speicher (3)

(1) Infineon Technologies AG, Am Campeon 1-15, D-85579 Neubiberg, Germany

(2) Intel Deutschland GmbH, Am Campeon 10-12, D-85579 Neubiberg, Germany

(3) Wolfgang Warmbier GmbH & Co. KG, Untere Gießwiesen 21, 78247 Hilzingen, Germany

---

**Zusammenfassung** – In dieser Veröffentlichung wird die Körperspannungsmessung mit verschiedenen Geräten durchgeführt und deren Ergebnisse untersucht. Zudem wird die Eignung der unterschiedlichen Geräte zur Durchführung des Walking Tests nach ANSI/ESD STM97.2 evaluiert. Neben der Bewertung des Einflusses der Messgeräte wird der Einfluss der Signalfrequenz und der Kabel zwischen der Handelektrode und dem Messgerät auf die Messergebnisse bewertet. Am Ende wird die Notwendigkeit einer Anpassung internationaler Standards diskutiert.

**Abstract** – In this paper the suitability of different measuring devices for the walking test according to ANSI/ESD STM 97.2 will be investigated and evaluated. The influence of the signal frequency and the used cable between hand-held electrode and recording device will also be assessed. Finally, the need for a more specific definition of the test setup in international standards will be discussed.

---

## I. Einleitung

Werden die Mitarbeiter in einer ESD-Schutzzone über ein Schuhwerk/Boden-System geerdet, so muss das gesamte System bestehend aus der Person, dem Schuhwerk und dem Boden in einer Abnahmeprüfung bestimmte Kriterien erfüllen. In den neuesten Versionen der internationalen ESD-Kontroll-Standards IEC 61340-5-1 (2016) [1] und ANSI/ESD S20.20-2014 [2] ist die Messung der Körperspannung während einer vorgegebenen Bewegung („Begehtest“) zusätzlich zur Messung des Systemwiderstandes bei der Qualifikation des Systems verpflichtend vorgeschrieben.

Für die Messung der Körperspannung erlauben die internationalen Standards ANSI/ESD STM97.2 [3] und DIN EN IEC 61340-4-5 [4] einen Charged Plate Monitor oder ein vergleichbares Messgerät mit einem Eingangswiderstand von  $1,0 \times 10^{14} \Omega$  und einer Kapazität von maximal 20 pF. Die Zeit-Konstante des Messsystems soll 0,2 s nicht überschreiten. Ein Setup mit einem Charged Plate Monitor kann eine unterschiedliche Eingangskapazität und Response-Zeit haben als ein Setup mit „ähnlichen“ Geräten, die eine geringere Eingangskapazität aufweisen, z. B. ein elektrostatisches Voltmeter. Daher

können sich auch die resultierenden Körperspannungen unterscheiden. Das Ziel dieser Untersuchungen war es, die Unterschiede der Messaufbauten bei der Messung der Körperspannung nach DIN EN IEC 61340-4-5 oder ANSI/ESD STM97.2 zu bewerten.

Im ersten Schritt werden die unterschiedlichen Messgeräte betrachtet und Einflüsse der Gesamtkapazität des Messsystems bewertet. Anschließend wird der Walking Test mit den verschiedenen Messgeräten durchgeführt. Abschließend wird auf die Unterschiede der Messaufbauten bei unterschiedlichen Eingangsfrequenzen und verschiedenen verwendeten Kabeln zwischen Handelektrode und Messgerät eingegangen.

## II. Begehtest in Standards

Beim Begehtest wird die Körperspannung als Maß der Aufladung bei einer Bewegung der Person über mehrere Sekunden aufgenommen und die fünf Maxima und die fünf Minima der gemessenen Spannung gemittelt. Im Idealfall sollte die Aufladung der Person natürlich möglichst gering sein, ANSI/ESD S20.20-2014 und IEC 61340-5-1 (2016) geben ein oberes Limit von 100 V vor. Die Messung der Kör-

perspannung ist im Gegensatz zur Messung des Systemwiderstands eine direkte Kenngröße für die mögliche Aufladung von Personen. Auch wenn der Systemwiderstand aus Person/Schuhwerk/Boden unter dem Grenzwert von  $1\text{ G}\Omega$  liegt, ist damit nicht garantiert, dass die maximale Aufladung der Person unter dem in den internationalen Standards geforderten Wert von  $100\text{ V}$  liegt. Die Aufladung hängt wesentlich von der Materialkombination Schuhwerk/Boden ab. Abbildung 1 zeigt das Ergebnis von Begehtestmessungen einer Person mit vier unterschiedlichen ESD-Schuhen auf drei unterschiedlichen Böden in einer Fertigung unter typischen klimatischen Bedingungen (ca.  $40\%$  relative Luftfeuchte, Temperatur  $23\text{ }^\circ\text{C}$ ). Offensichtlich gibt es nur eine schwache Korrelation zwischen dem Ableitwiderstand der Person zu Masse  $R_g$  und der Körperspannung.

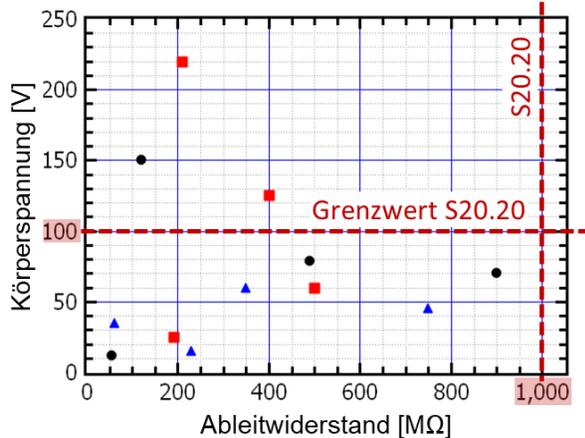


Abbildung 1: Körperspannung eines Mitarbeiters beim Begeh-Test nach ANSI/ESD STM97.2 mit vier verschiedenen ESD Schuhen auf drei verschiedenen Böden in einem Fertigungsbereich.

Der Begehtest ist das einzige Messverfahren, mit dem die Aufladung von Personen und damit die Effizienz der Personenerdung direkt bewertet werden kann. Umso erstaunlicher ist es, dass die dazu benötigten Messgeräte in den internationalen Standards nicht genau genug beschrieben werden.

### III. Messverfahren

#### A. Messgeräte

Um die Aufladung von Personen zu messen, wurden folgende Geräte verwendet:

- Walking Test Kit (WTK - WT 5000): ein Elektrometer, das die Spannung über ein Kabel mit einer Handelektrode misst. Die Eingangskapazität beträgt weniger als  $5\text{ pF}$ .
- Elektrostatisches Voltmeter (Warmbier ESVM 1000 und TREK 347) mit Walking-Test Adapter (metallische Handelektrode mit integriertem Spannungssensor).
- Drei verschiedene Charged Plate Monitore (CPM) mit einer Kapazität von  $20\text{ pF}$ .
- Ein Kontaktvoltmeter (Hoch-Impedanz Digital-Voltmeter, HIDVM) mit weniger als  $0.01\text{ pF}$  Eingangskapazität.

#### B. Bewertung des Equipments zur Messung der Körperspannung

Für die Messungen der Körperspannung spielt die Gesamtkapazität des Messaufbaus mit der Person ( $C_{\text{total}}$ ) eine große Rolle.  $C_{\text{total}}$  ist die Summe der Kapazität der Personen bezüglich Masse ( $C_{\text{Person}}$ ), der Kapazität des Kabels bezüglich Masse ( $C_{\text{Kabel}}$ ) und der Eingangskapazität des Messgeräts ( $C_{\text{Gerät}}$ ):

$$C_{\text{total}} = C_{\text{Person}} + C_{\text{Kabel}} + C_{\text{Gerät}}$$

Die an der Gesamtkapazität gemessene Spannung ist  $U = q/C_{\text{total}}$  mit der Ladung  $q$ , die während der Bewegung der Personen aufgebaut wird und die fast unabhängig von dem Messaufbau ist.

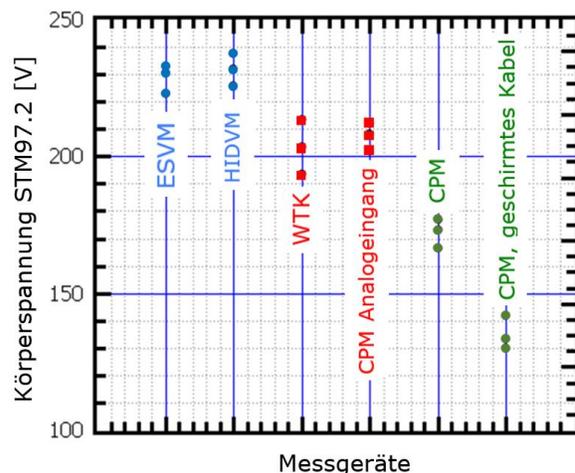


Abbildung 2: Körperspannung von drei Versuchen des Walking Tests nach ANSI/ESD STM97.2 mit ESD Schuhen auf einer isolierenden Plastikfolie.

Die Autoren von [5] diskutieren den Einfluss des Kabels und vergleichen CPM und ESVM. Daher ist es nicht überraschend, dass der Walking Test nach ANSI/ESD STM97.2 signifikant andere Körperspannungen für die unterschiedlichen Messgeräte liefert (Abbildung 2).

$C_{\text{Person}}$ :

Die Kapazität der Person, die die Experimente durchführte, wurde mit  $C_{\text{Person}} = 130 \text{ pF}$  bestimmt, wenn die Person auf einer isolierenden Plastikfolie stand, die auf einem leitfähigen ESD-Fußboden ausgelegt war.

$C_{\text{Kabel}}$ :

ESVM und HIDVM messen die Spannung direkt an der Handelektrode, also ist dort  $C_{\text{Kabel}} \approx 0$ .

Beim WTK addiert das 3 m lange Kabel zwischen Handelektrode und Gerät ungefähr 20 pF, auch das beim CPM normalerweise verwendete ungeschirmte Kabel addiert zusätzlich 20 pF und das geschirmte Kabel sogar 70 pF.

$C_{\text{Gerät}}$ :

ESVM, HIDVM und der Analogeingang des CPMs (ohne Metallplatte) haben keine signifikante Eingangskapazität. Folglich ist  $C_{\text{Gerät}} \approx 0$ . Der komplette CPM mit der Metallplatte hat eine Kapazität von 20 pF.

Beim Begehtest wurde eine durchschnittliche Spannung von 230 V für den Messaufbau mit vernachlässigbaren Eingangskapazität ohne zusätzliche Kapazität durch das Kabel erzielt (Referenz). Das resultiert in einem mittleren Ladungsaufbau  $q$  pro Schritt beim Walking Test Muster von ungefähr  $q = C \times V = 30 \text{ nC}$ .

Tabelle 1 fasst die Messungen der Spannungen und die Abweichungen zum Referenz-Walking Test, gemessen mit einem ESVM oder einem HIDVM, zusammen.

Das berechnete Verhältnis der Körperspannungen passt gut zu den Versuchsergebnissen.

Tabelle 1: Zusammenfassung verschiedener Messaufbauten und gemessener Körperspannung des Walking Tests nach ANSI/ESD STM97.2

	ESVM	HIDVM	WTK	CPM, analoger Eingang	CPM	CPM, Kabel geschirmt
Person [pF]	130					
Kabel [pF]	0	0	20	20	20	70
Gerät [pF]	0	0	0	0	20	20
Spannung [V]	230	230	205	205	170	135
Abweichung	Referenz		-11 %	-11 %	-26 %	-41 %

Natürlich sind die Kapazitäten nicht die einzigen Parameter, die die Spannungsmessungen beeinflussen. Die Antwort des analogen Ausgangssignals auf statische Signale zeigt, dass einige Geräte einen signifikanten Offset/Versatz haben, sogar nach gründlicher Nullniveau-Kalibrierung. Das Verhältnis der gemessenen Spannung zur tatsächlich angelegten Spannung kann mit steigender Spannung variieren. Der größte Unterschied wurde für die zwei CPMs gemessen, trotzdem ist die Abweichung im statischen Fall weniger als 10 % bei einer Spannung von 200 V und daher noch in einem akzeptablen Rahmen (Abbildung 3).

Die Antwort auf ein dynamisches Signal zeigt deutlich höhere Abweichungen. Einige Geräte sind zu langsam, um den Pulsen mit einer Pulsweite von 100 ms oder darunter zu folgen. Das führt zu Ausgangssignalen, die 50 % niedriger sind als die Eingangssignale. Das Eingangssignal wurde von einer Hochspannungsquelle generiert, die über ein Relais einer Pulsquelle Agilent 8224 getriggert wurde. Offensichtlich sind nicht alle Messgeräte geeignet für das – obwohl vergleichbar langsame – Walking-Test-Muster, in dem typischerweise zwei Schritte pro Sekunde gemacht werden sollen, was einer dynamischen Pulsweite der Ladungsgenerierung von 100 – 200 ms entspricht.

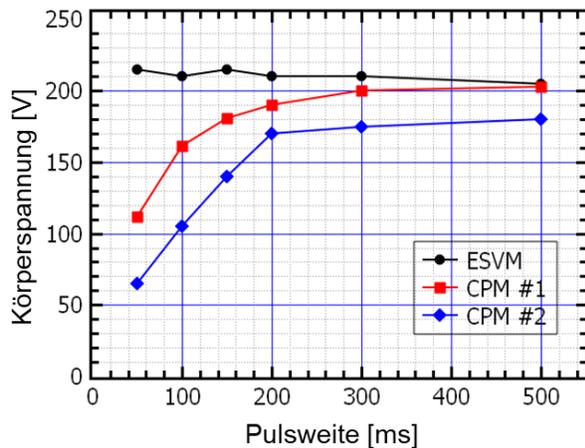


Abbildung 3: Drei Messgeräte zur Aufnahme der Körperspannung bei ca. 25 unterschiedlich langen 200-V-Spannungspulsen. Nach ANSI/ESD STM97.2 wurde der Durchschnitt der höchsten fünf Pulse genommen. Die Pulsfrequenz wurde konstant bei 1 Hz gehalten.

Statische und dynamische Verifikationen der Messaufbauten sind daher verpflichtend für sinnvolle Bewertungen.

Die meisten der späteren Untersuchungen wurden mit einem ESVM oder einem WTK durchgeführt.

#### IV. Einfluss von Frequenz und Anstiegszeit der Eingangssignale auf die Messergebnisse

Die oben gezeigten Unterschiede zwischen den Messgeräten wurden an folgenden Messgeräten noch weiter untersucht:

- Charged Plate Monitor (CPM - Simco)
- Elektrostatisches Voltmeter TREK 347 (ESVM)
- Walking Test Kit (WTK WT 5000)

Um das dynamische Verhalten der Geräte besser zu verstehen, wurde eine definierte Spannung an den Eingang der Geräte gelegt (siehe Abbildung 4 und 5). Eingangssignal und Ausgangssignal der verwendeten Messgeräte wurden mit einem 4-GHz-Oszilloskop (LeCroy 640Zi) aufgenommen. Das Eingangssignal stammt aus einem Funktionsgenerator (TOE 7741); die Ausgangsspannung des Generators beträgt 45 V und die Ausgangssignale der Messgeräte wurden bei 1 Hz, 2 Hz, 5 Hz und 10 Hz betrachtet. Mit Hilfe des Pulsgenerators konnte ein reproduzierbares Ein-

gangssignal sichergestellt werden. Um die Ergebnisse besser vergleichen zu können, wurden Pulsgenerator und Messgeräte immer mit den gleichen Kabeln verbunden; selbst der Sensor des ESVM wurde in eine spezielle Halterung gespannt, um das Kabel anschließen zu können.

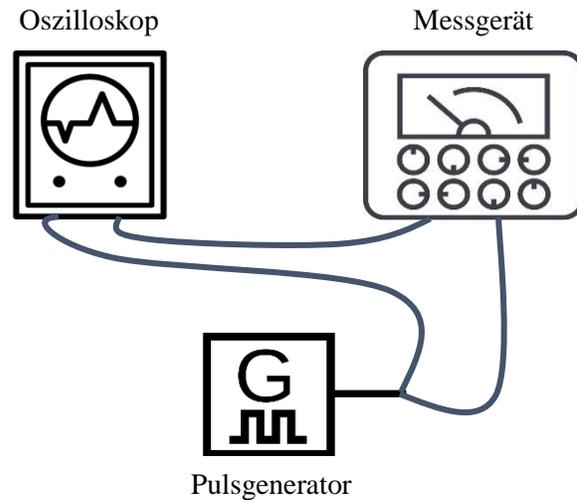


Abbildung 4: Der Pulsgenerator sendet gleichzeitig ein Signal direkt und ein Signal über ein Messgerät an ein Oszilloskop zum Vergleichen der Kurven.

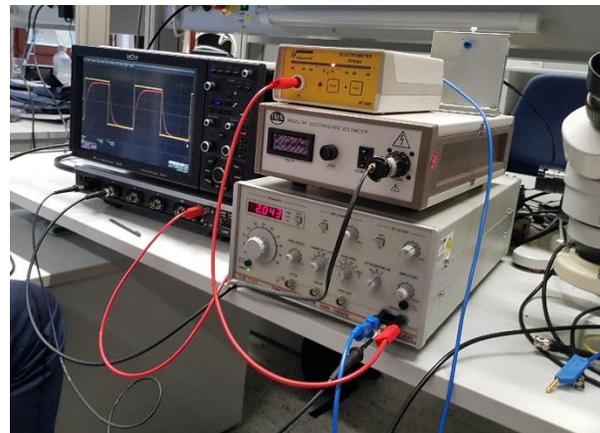


Abbildung 5: Aufbau zur Untersuchung der Messgenauigkeit der verschiedenen Geräte bei 45 V und unterschiedlichen Frequenzen

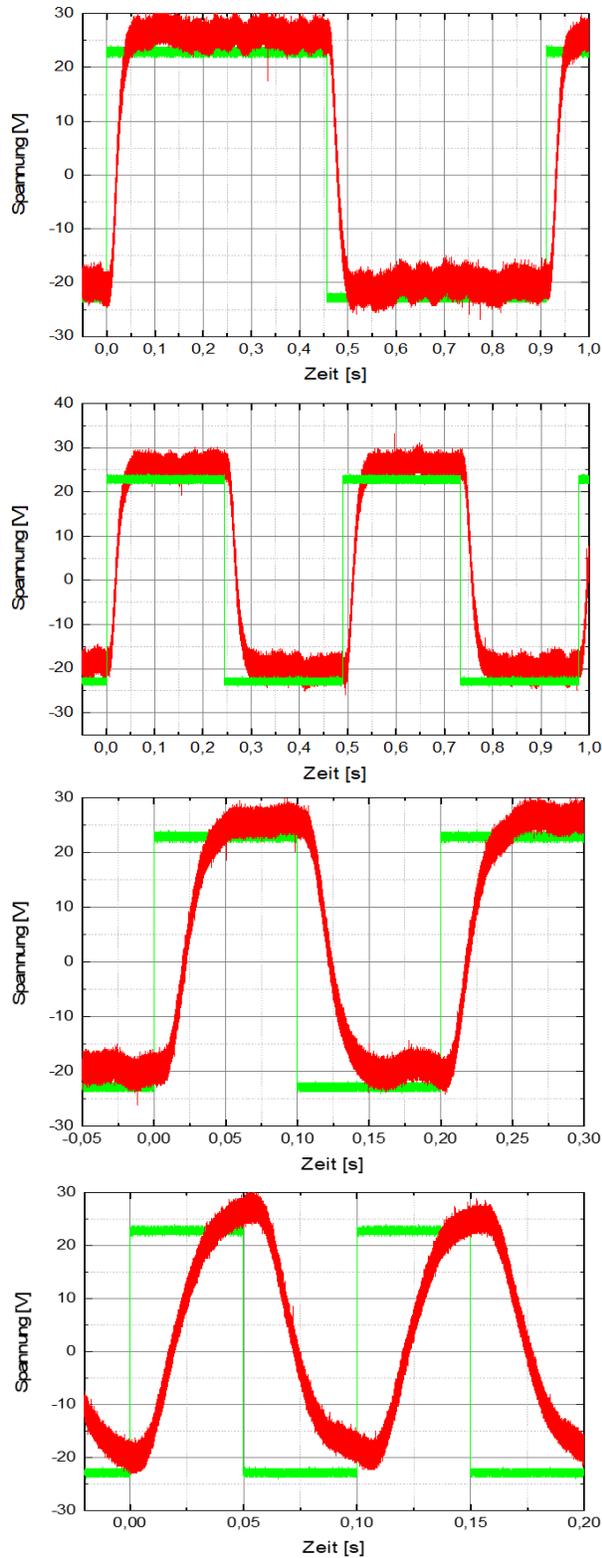


Abbildung 6: Ausgangssignal (rot) am CPM bei Eingangssignalen (grün) mit Amplitude von 45 V mit unterschiedlichen Frequenzen (1 Hz – 2 Hz – 5 Hz – 10 Hz, von oben nach unten)

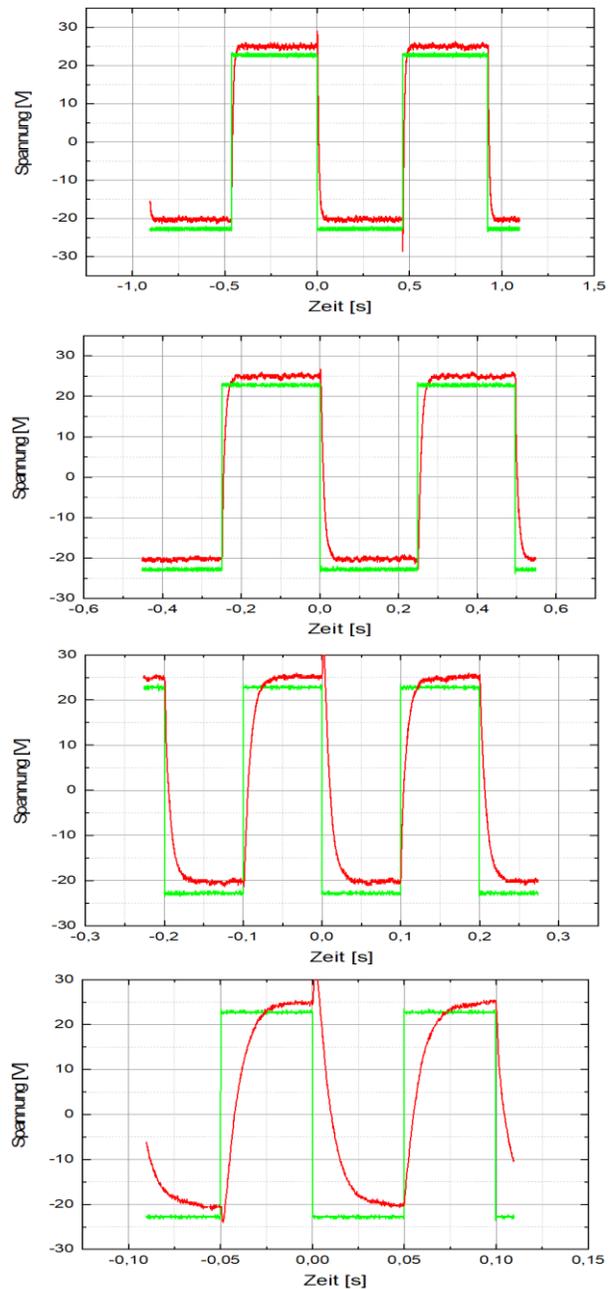


Abbildung 7: Ausgangssignal (rot) am statischen Voltmeter bei Eingangssignalen (grün) mit Amplitude von 45 V mit unterschiedlichen Frequenzen (1 Hz, 2 Hz, 5 Hz und 10 Hz, von oben nach unten)

Bei genauer Analyse der Daten des statischen Voltmeters ist zu sehen (siehe Abbildung 7), dass die Messgeräte ab einer Frequenz von 10 Hz die Maximalspannung von 45 V erst ab Mitte des Pulses erfassen. Das heißt, bei einem 100-ms-Puls werden die 45 V erst nach knapp 50 ms erreicht. Beim CPM gilt das Gleiche schon bei einer Frequenz von 5 Hz (siehe Abbildung 6). Das bedeutet aber, dass die

Messgeräte aufgrund ihrer Response-Zeit von mehr als 10 ms ab einer Pulsfrequenz von 5 – 10 Hz das tatsächliche Signal nicht mehr richtig anzeigen. Eine Pulsfrequenz von 5 Hz würde aber bedeuten, dass 5 Schritte pro Sekunde durchgeführt werden, was sehr unwahrscheinlich ist.

Da der TOE 7741 Frequenzgenerator nur eine Spannung von ca. 45 V generieren kann, die Körperspannung der Mitarbeiter aber im Bereich um 100 V genau gemessen werden soll, wurde zusätzlich noch eine Source/Measure Unit (Keysight B2902A SMU) verwendet, die eine Spannung von 100 V liefern kann. Bei der SMU kann die Frequenz nicht variiert werden, weshalb hier nur die Anstiegsflanken und die Response-Zeiten der verschiedenen Messgeräte betrachtet wurden. Diese Untersuchungen wurden mit einem vergleichbaren Messaufbau wie in Abbildung 5 durchgeführt.

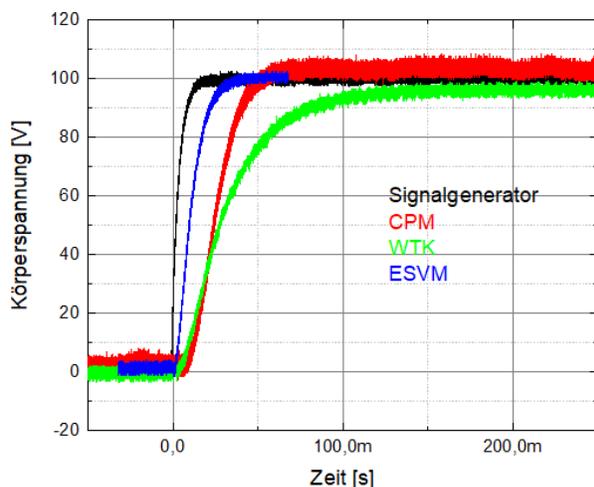


Abbildung 8: Ausgangssignale der untersuchten Messgeräte (ESVM, WTK und CPM) im Vergleich zur eingespeisten Spannung).

Die in Abbildung 8 dargestellten Ergebnisse zeigen, dass die Response-Zeit Walking Test Kit am langsamsten ist, gefolgt vom Charged Plate Monitor und dem ESVM. Dieses Ergebnis unterscheidet sich von dem Ergebnis am Anfang des Berichts. Das Ergebnis deutet darauf hin, dass der im zweiten Teil verwendete CPM (Simco) eine kürzere Response-Zeit hat als die CPMs im ersten Teil.

Die gemessenen Werte der Anstiegszeiten (10% auf 90%) sind in **Tabelle 2** angegeben. Zum Vergleich: Das direkt am Oszilloskop angelegte Signal zeigte eine Anstiegszeit von ca. 8 ms.

Tabelle 2: Anstiegszeiten der untersuchten Messgeräte

Messgerät	Anstiegszeit
Walking Test Kit	50 ms
CPM	25 ms
ESVM	17 ms

Der WTK misst also erst nach ca. 100 ms den richtigen Wert. Bei schnelleren Signalen (z. B. bei schnelleren Schrittfrequenzen) zeigt der WTK eine etwas zu geringe Spannung an. Beim verwendeten CPM reduziert sich die Zeit auf 50 ms und beim ESVM auf ca. 10 ms. Beim normalen Bewegungsablauf von ein bis maximal zwei Schritten pro Sekunde zeigen also alle Geräte den richtigen Wert an (ohne Berücksichtigung der anderen, oben erwähnten Parameter). In [6] wurde gezeigt, dass bei den Bewegungsabläufen aber durchaus schnelle Spannungsspitzen auftreten können, die von einigen der Messgeräte nicht erfasst werden können. Das Risiko dieser Spannungsspitzen muss separat diskutiert werden.

## V. Einfluss der Kabel auf die Messergebnisse

Nicht nur die Messgeräte selbst haben Einfluss auf die Messergebnisse, sondern auch die verwendeten Kabel. Im Folgenden soll der Einfluss verschiedener Kabel eruiert werden. Dabei wird einmal eine definierte Spannung aus einem Generator an das System aus Kabel und Messgeräteeingang angelegt und zum anderen mit diesem System die Spannung gemessen, die beim Walking Test generiert wurde.

### A. Spannungsgenerator

Die Spannung wurde von den beiden, oben genannten Pulsgeneratoren erzeugt. Diese Spannungen wurden dann direkt von einem Oszilloskop aufgezeichnet und gleichzeitig über die untersuchten Kabel in den CPM eingespeist und ihr Ausgangssignal wieder mit dem Oszilloskop aufgezeichnet. Der Aufbau entspricht Abbildung 4.

Als Kabel wurde ein geschirmtes Koax-Kabel (Länge 1,5 m) bzw. ein ungeschirmtes Messkabel (Länge 1,0 m) verwendet.

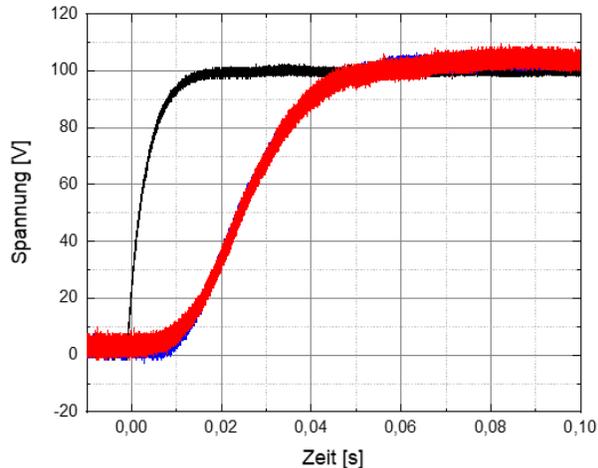


Abbildung 9: Ausgangssignale beim CPM mit „normalem“ (blau) und Koax-Kabel (rot) im Vergleich zur eingespeisten Spannung (schwarz).

Abbildung 9 zeigt das Ergebnis der Ausgangsspannung am CPM mit „normalem“ Kabel und mit Koax-Kabel. Die Ausgangssignale sind identisch mit beiden Kabeln. Dies kann durch die stetig nachgelieferte Ladung aus dem Generator erklärt werden. Der Strom aus dem Generator lädt die Eingangskapazität des Messsystems auf. Wird die Kapazität des Messsystems durch Hinzufügen einer Extra-Kabelkapazität erhöht, kann der Generator trotzdem noch genügend Strom nachschieben, um die (jetzt größere) Systemkapazität aufzuladen. Die gemessene Spannung wird sich also nicht verändern auch wenn die Systemkapazität verändert wird.

Bei der Messung der Körperspannung einer sich bewegenden Person wird aber nur eine begrenzte Menge an Ladung nachgeliefert. Wird die gesamte Kapazität am Eingang des Messsystems durch Hinzufügen der Kabel-Kapazität erhöht, kann die Gesamtkapazität möglicherweise aber nicht mehr komplett durch die generierte Ladungsmenge aufgeladen werden und die Spannung wird niedriger. Dies wird im nächsten Kapitel genauer untersucht.

## B. Körperspannungsmessung

Um den Einfluss der Kabel bei der Messung der Körperspannung zu untersuchen, wurde ein „Begehtest“ mit verschiedenen Kabeln und verschiedenen Messgeräten durchgeführt. Hierfür wurden die verschiedenen Kabel, wie oben beschrieben, an die verschiedenen Messgeräte angeschlossen und das Ausgangssignal mit dem Oszilloskop gemessen.

Das andere Ende der Kabel wurde von der Versuchsperson in der Hand gehalten, während sie eine „Scharr“-Bewegung (den Fuß schleifend über den Boden bewegend) mit einem Bein machte, die sich als sehr gut reproduzierbar herausstellte. Der Aufbau dazu ist in Abbildung 10 dargestellt. Die Person stand auf leitfähigem Boden, trug aber Straßenschuhe. Um eine kleine Statistik zu generieren, wurde das Scharren jeweils dreimal durchgeführt.

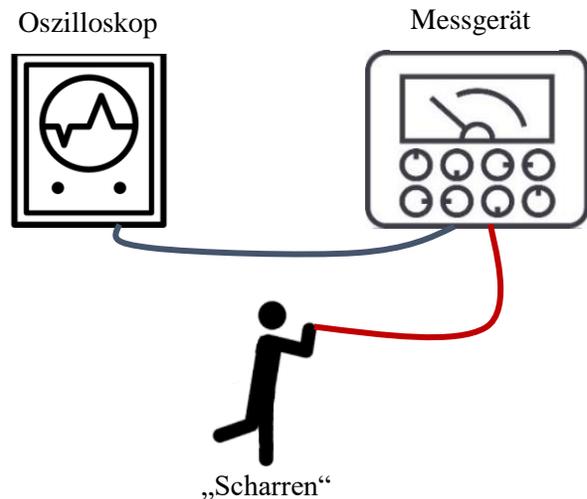


Abbildung 10: Versuchsanordnung zum Messen der Körperspannung von Personen. Das rote Kabel wird variiert: normales Messkabel, WTK-Kabel, geschirmtes Kabel.

Die Versuche wurden wieder mit Walking Test Kit, Charged Plate Monitor und elektrostatischem Voltmeter durchgeführt.

Für die Untersuchungen zur Körperspannungsmessung wurden folgende Kabel verwendet:

- Walking Test Kit Kabel, 3 m lang, ungeschirmt (ca. 20 pF)
- Standard-Messkabel, 1 m lang, ungeschirmt (ca. 8 pF)
- Koax-Kabel, 1,5 m lang, geschirmt (ca. 150 pF)

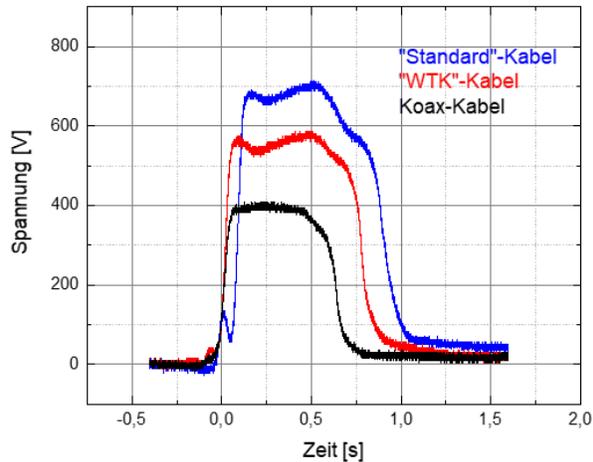


Abbildung 11: Körperspannungskurven, die beim Walking-Test mit dem ESVM und unterschiedlichen Kabeln erzeugt wurden.

Abbildung 11 zeigt typische Körperspannungskurven, die beim Walking-Test mit den verschiedenen Kabeln erzeugt wurden, am Beispiel des elektrostatischen Voltmeters. Zwar ist die Reproduzierbarkeit des realen Walking Tests nicht extrem hoch, dennoch ist der Einfluss der Kabelkapazitäten klar zu erkennen. Die Ergebnisse bei Verwendung des Charged Plate Monitors oder des Walking Test Kits zeigen den gleichen Trend (siehe auch Tabelle 3): Das kurze Standardkabel zeigt aufgrund der geringeren Kapazität eine höhere Körperspannung als das Kabel des Walking Test Kits. Die geringste Körperspannung wurde bei Verwendung des Koax-Kabels gemessen, das auch die höchste Kapazität hat.

Tabelle 3: Körperspannungen gemessen mit verschiedenen Messkabeln an verschiedenen Messgeräten.

Messgerät	Kabel	Körperspannung [V]	
		Mittelwert	Standardabweichung
CPM	Standard	823	19
	WTK	688	41
	Koax	313	22
WTK	Standard	653	69
	WTK	719	94
	Koax	392	26
ESVM	Standard	833	111
	WTK	520	40
	Koax	337	43

Die Untersuchungen zeigen, dass das geschirmte Kabel teilweise sogar eine um Faktor 2 kleinere Spannung zeigt als das Standard-Messkabel, obwohl das geschirmte Kabel empfohlen wird. Die Spannungen des längeren Kabels des Walking Test Kits erzielen Ergebnisse, die sich im Bereich zwischen geschirmtem Kabel und Standard-Kabel befinden. Somit scheint das normale Messkabel die beste Lösung für Körperspannungsmessungen zu sein. Man muss allerdings darauf achten, dass das Kabel während des Walking-Tests nicht den Boden berührt bzw. einen zu geringen Abstand zum Boden hat, da dies die Kapazität des Kabels erhöht.

Mit dem Koax-Kabel besteht das Risiko, dass zu hohe (über 100 V nach internationalen Standards) Spannungen nicht erkannt werden, obwohl das geschirmte Kabel empfohlen wird.

## VI. Zusammenfassung und Fazit

Im ersten Teil der Untersuchungen konnte festgestellt werden, dass durchaus große Unterschiede zwischen den verschiedenen Messgeräten bei der Messung der Körperspannung nach dem Begehtest bestehen.

Insbesondere bei der Variation der Pulsweite konnte gezeigt werden, dass einige der Messgeräte für den Begehtest nicht geeignet sind, da sie zu langsam sind, um die Spannungsgeneration der Walking-Test-Bewegungen richtig aufzuzeichnen. Somit kann nicht sichergestellt werden, dass alle Spannungsspitzen erkannt und in der richtigen Höhe angezeigt werden. Die Variation der Frequenz zeigt eindeutig die schwindende Genauigkeit der Messgeräte bei höheren Frequenzen.

Der zweite Teil dieser Veröffentlichung zeigt, dass die Wahl des zur Messung verwendeten Kabels ebenfalls eine sehr große Rolle spielen kann. Gerade beim Walking Test sind die Unterschiede signifikant. Geschirmte Kabel, können das Signal um bis zu einem Faktor zwei dämpfen und verfälschen somit das Messergebnis signifikant. Dies kann dazu führen, dass die Ergebnisse des Walking Tests ein falsches Gefühl von Sicherheit vermitteln, obwohl die Personenaufladung so hoch ist, dass empfindliche Bauteile geschädigt werden können.

Die hier gezeigten Ergebnisse führen zu der Frage, ob die aktuellen internationalen Standards unter Umständen angepasst werden müssen. Im speziel-

len sollte der Messaufbau genauer spezifiziert werden, damit verschiedene Anwender beim Begehtest vergleichbare Ergebnisse erzielen können.

## VII. Referenzen

1. ANSI/ESD S20.20-2014: "Protection of Electrical and Electronic Parts, Assemblies and Equipment (Excluding Electrically Initiated Explosive Devices)", 2014.
2. IEC 61340-5-1 (2016-03) Ed. 2.0: "Electrostatics – Part 5-1: Protection of electronic devices from electrostatic phenomena – General requirements", 2016.
3. ANSI/ESD STM97.2: "For the Protection of Electrostatic Discharge Susceptible Items – Footwear/Flooring System – Voltage Measurement in Combination with a Person", 2016.
4. DIN EN IEC 61340-4-5 (2019-04); 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 61340-4-5:2018); Deutsche Fassung EN IEC 61340-4-5:2018
5. L. Levit, C. Lemke, M. Rataj, G. Wei, "Measuring the Body Voltage on Wearers of Category 3 Bunnysuits", Proc. EOS/ESD Symposium 2017, Tucson, A
6. R. Gärtner, M. Hilkersberger, W. Stadler, J. Niemesheim, J. Speicher, „Are ESD Chairs Good Enough to Be Used as Primary Means of Personnel Grounding?", Proc. EOS/ESD Symposium, 2019, Riverside, CA