

Vergleichende Messungen des Oberflächenpotentials von Materialien und Bauelementen

Rainer Pfeifle¹, Reinhold Gärtner²

(1) Wolfgang Warmbier GmbH & Co. KG, Untere Gießwiesen 21, 78247 Hilzingen, Deutschland

(2) Infineon Technologies, Am Campeon 1-12, 85579 Neubiberg, Deutschland

Zusammenfassung – Um die Gefährdung von elektronischen Bauelementen im Feld zu beurteilen, wird die Aufladung der Bauelemente selbst und die Aufladung der Materialien in ihrer Umgebung gemessen. Dabei werden im Allgemeinen Elektrofeldmeter, kontaktlose elektrostatische Voltmeter oder auch Kontaktvoltmeter mit hoher Eingangsimpedanz verwendet. Oft ist aber nicht klar, dass die verschiedenen Messgeräte zu unterschiedlichen Ergebnissen führen können. Das Paper vergleicht die Messungen von Oberflächenpotentialen an aufgeladenen Materialien und Bauelementen mit diesen verschiedenen Messgerätetypen und gibt Empfehlungen, welches Gerät wofür verwendet werden kann.

Abstract – To evaluate the threat to damage electronic components in the field it is common to check the charge on the component itself and the chargeability of materials in the nearby area. Commonly used instruments are electrostatic fieldmeters, non-contacting electrostatic voltmeters or as well contacting voltmeters with very high input impedance. Very often it is not clear that these instruments can lead to different test results. This paper compares measurements of surface potentials of charged materials and components using different instruments. Guidance is given for which application the suitable instruments should be used.

1 Einleitung

Die in internationalen Normen geforderten Schutzmaßnahmen sind sehr hilfreich, wenn es darum geht ESD-Schutzmaterialien oder Mitarbeiter zu erden. Heutzutage ist das Risiko durch aufgeladene Materialien in der Nähe der Baugruppen oder durch aufgeladene Baugruppen selbst viel größer. Es stellt sich allerdings die Frage, wie die Aufladung der Bauelemente oder Baugruppen sinnvoll zu messen ist. Das vorliegende Paper betrachtet die gängigen Messgeräte für elektrostatische Feldstärken, Spannungen und Aufladungen von Objekten, wie z.B. Elektrofeldmeter, kontaktlose elektrostatische Voltmeter und die neuen kontaktbehafteten Voltmeter mit hoher Eingangsimpedanz (HIDVM = High Impedance Digital Voltmeter) und stellt dar, für welche Messaufgaben sie am besten geeignet sind.

Die klassische „Feldmühle“ beispielsweise wird im Allgemeinen verwendet, um das von aufgeladenen Objekten ausgehende elektrostatische Gleichfeld zu messen. Viele dieser „Feldmühlen“ sind auf einen festgelegten Abstand kalibriert und können dann das Oberflächenpotential des betrachteten aufgeladenen Objektes angeben. Es ist jedoch wichtig, die Limitierung der Einsatzmöglichkeiten dieses Messgerätetyps zu verstehen, um die Messergebnisse richtig beurteilen zu können.

Elektrostatische Voltmeter (ESVM), mit und ohne Kontakt, können Oberflächenpotentiale mit wesentlich größerer Ortsauflösung bestimmen, aber auch hier gibt es unterschiedliche Einsatzszenarien für die unterschiedlichen Messgerätetypen.

In diesem Paper werden die Messgeräte kurz vorgestellt und Ergebnisse von Experimenten an „Eichmodulen“ und realen Objekten vorgestellt. Anhand dieser Untersuchung kann ausgewählt werden, für welche Anwendung welches Messgerät verwendet werden sollte und wo die Limitierungen des jeweiligen Messgerätes liegen.

2 Verwendete Geräte

Für die Untersuchung wurden kommerziell erhältliche Messgeräte verwendet, wie sie derzeit im Feld für die Messungen des Oberflächenpotentials von aufgeladenen Objekten verwendet werden. Im Einzelnen sind dies (siehe auch Tabelle 1):

- Elektrofeldmeter (EFM), das nach dem Feldmühlenprinzip arbeitet
- Kontaktloses elektrostatisches Voltmeter mit AC-Feedback (ESVM – Typ 01)
- Kontaktloses elektrostatisches Voltmeter mit DC-Feedback (ESVM – Typ 02)
- Kontaktvoltmeter mit Keramikspitze (ESVM – Typ 03)

Tabelle 1: Eigenschaften der Messgeräte

Geräte	Bereich	Messkopf	Kalibrierung
Elektrofeldmeter EFM (Feldmühlenprinzip)	0 bis ± 16 kV <u>Abstand:</u> 20 mm zur untersuchten Oberfläche		In einem homogenen Feld eines parallelen Plattenkondensator <u>Geprüfte Spannungspotentiale:</u> ± 400 V geprüfte Toleranz ≤ 5% ± 1.600 V geprüfte Toleranz ≤ 5% ± 4.000 V geprüfte Toleranz ≤ 5% ± 8.000 V geprüfte Toleranz ≤ 5%
ESVM – Typ 01 "kontaktlos" AC-Feedback	0 bis ± 2 kV <u>Abstand:</u> 5 bis 50 mm zur untersuchten Oberfläche		In sehr geringem Abstand zu einer sehr großen Metallplatte <u>Geprüfte Spannungspotentiale:</u> ± 500 V geprüfte Toleranz ≤ 20% ± 1.000 V geprüfte Toleranz ≤ 10% ± 2.000 V geprüfte Toleranz ≤ 5%
ESVM – Typ 02 "kontaktlos" DC-Feedback	0 bis ± 1 kV <u>Abstand:</u> 1 bis 15 mm zur untersuchten Oberfläche		In sehr geringem Abstand zu einer sehr großen Metallplatte <u>Geprüfte Spannungspotentiale:</u> ± 500 V geprüfte Toleranz ≤ 2% ± 1.000 V geprüfte Toleranz ≤ 1%
ESVM – Typ 03 "mit Kontakt" Keramikspitze	0 bis ± 2 kV (Eingangsimpedanz ≥ 1 x 10 ¹⁴ Ohm)		In Kontakt zu einer großen Metallplatte <u>Geprüfte Spannungspotentiale:</u> ± 500 V geprüfte Toleranz ≤ 4% ± 1.000 V geprüfte Toleranz ≤ 2% ± 2.000 V geprüfte Toleranz ≤ 1%

3 Funktionsprinzip der Messgeräte

3.1 Feldmühlenprinzip

Die klassische Feldmühle verfügt am Messkopf über ein geerdetes Flügelrad (wie bei einer Windmühle, daher der Name Feldmühle) und eine gleichartige Sensorplatte. Durch die Rotation dieses Flügelrades wird aus dem elektrostatischen Gleichfeld ein Wechselfeld erzeugt, weil der rotierenden Flügel das influenzierende Feld zeitweise abschirmt (siehe Abbildung 1).

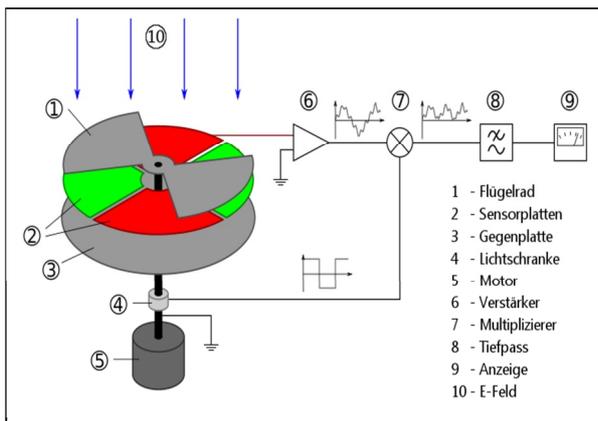


Abbildung 1: Feldmühlenprinzip

Mit Hilfe eines Lichtschrankensystems, das an die Rotationsachse des Flügelrades gekoppelt ist, kann die Polarität des Feldes bestimmt werden.

3.2 Kontaktloses Voltmeter mit AC-Feedback (ESVM Typ 01)

Das elektrostatische Voltmeter mit AC Feedback legt am Operationsverstärker der Messsonde ein Wechselfeld an, das als Referenzspannung für das an der Messelektrode influenzierte, zu messende Signal gilt (siehe Abbildung 2). Durch einen Modulator, der die Messelektrode bewegt, wird wieder aus dem Gleichsignal ein Wechselfeld gemacht und mit Hilfe eines phasenempfindlichen Demodulators wird das Vorzeichen des Oberflächenpotentials bestimmt.

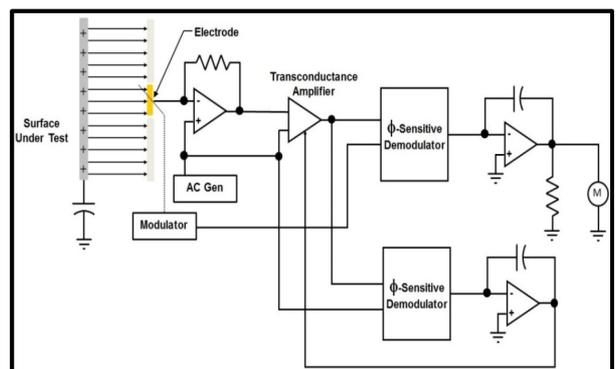


Abbildung 2: kontaktloses ESVM mit AC-Feedback [1]

3.3 Kontaktloses Voltmeter mit DC-Feedback (ESVM Typ 02)

Beim elektrostatischen Voltmeter mit DC Feedback wird durch die aufgeladene, zu untersuchende Oberfläche ein Signal auf der Messelektrode

influenziert. Die zugehörige Spannung wird vom Ausgang des Operationsverstärkers auf das Gehäuse der Messsonde gelegt, was zu einer Veränderung des influenzierten Signales führt (siehe Abbildung 3). Diese Feedbackloop wird solange durchlaufen bis der Bereich zwischen Messsonde und zu untersuchender Oberfläche feldfrei ist. Die an der Messsonde anliegende Spannung entspricht dann der Oberflächenspannung des zu untersuchenden Objektes. Durch einen Modulator, der die Messelektrode bewegt, wird auch hier wieder aus dem Gleichsignal ein Wechselsignal gemacht und mit Hilfe eines phasenempfindlichen Demodulators wird das Vorzeichen des Oberflächenpotentials bestimmt.

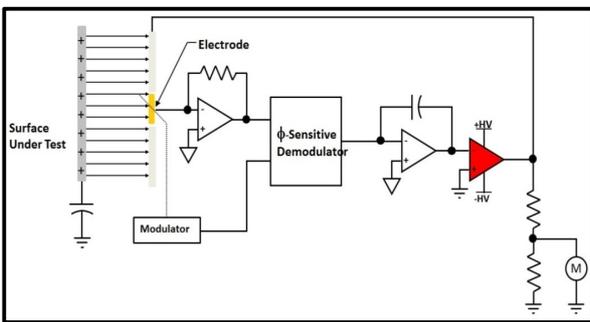


Abbildung 3: kontaktloses ESVM mit DC-Feedback [1]

3.4 Kontaktvoltmeter (ESVM Typ 03)

Beim Kontaktvoltmeter wird die Messspitze direkt auf das zu untersuchende Messobjekt aufgesetzt. Um dabei eine Entladung des Messobjektes zu verhindern, muss das Voltmeter einen sehr hohen Eingangswiderstand ($\geq 10^{14} \Omega$) und eine sehr geringe Eingangsimpedanz ($\leq 10^{-14} F$) aufweisen, siehe Abbildung 4.

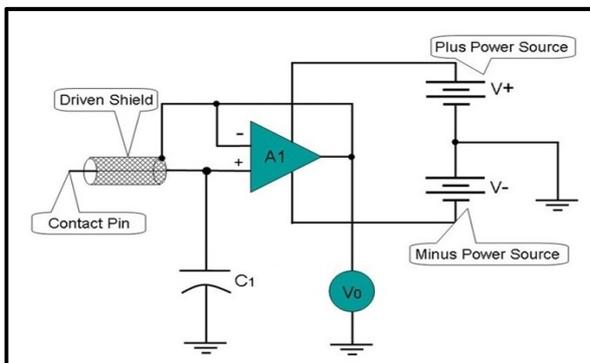


Abbildung 4: Kontaktvoltmeter [1]

Um selbst eine Entladung in die Messspitze zu verhindern, arbeitet das Gerät mit einer Keramikspitze. Damit ist eine direkte Berührung des Messobjektes möglich, ohne die Messung zu verfälschen.

4 Testsetup

Um den Einfluss der Geometrien der zu untersuchenden Objekte beurteilen zu können, wurde ein spezielles Testsetup mit runden Metallplatten (Durchmesser 22,5 mm, 48 mm und 150 mm) verwendet (siehe Abbildungen 5-7). Diese Metallplatten sind vom Untergrund mit einem Widerstand von mehr als $10^{14} \Omega$ isoliert.

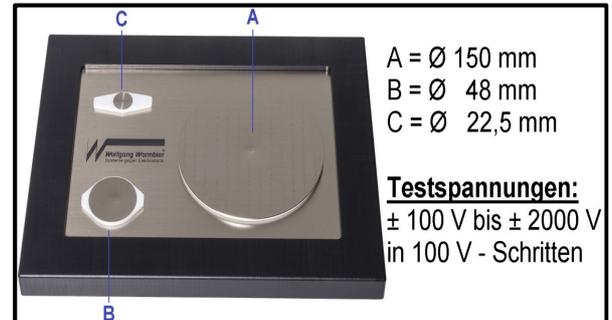


Abbildung 5: Messaufbau zur Überprüfung des Geometrieinflusses



Abbildung 6: Messung mit EFM und ESVM Typ 01



Abbildung 7: Messung mit ESVM Typ 02 und ESVM Typ 03

5 Messergebnisse

Die Messwerte, die mit den verschiedenen Messgeräten an den verschiedenen Platten bei verschiedenen Spannungen erzielt wurden, wurden miteinander verglichen, um die Vor- und Nachteile der einzelnen Messgerätetypen herausarbeiten zu können. Sie sind in den nachfolgenden Tabellen dargestellt.

Tabelle 2: Elektrofeldmeter EFM

Spannung [V]	Platte A[V]	Differenz	Platte B[V]	Differenz	Platte C [V]	Differenz
2.000	2.000	0,00%	1.580	-21,00%	815	-59,25%
1.900	1.900	0,00%	1.520	-20,00%	790	-58,42%
1.800	1.800	0,00%	1.430	-20,56%	740	-58,89%
1.700	1.700	0,00%	1.340	-21,18%	655	-61,47%
1.600	1.600	0,00%	1.270	-20,63%	630	-60,63%
1.500	1.500	0,00%	1.170	-22,00%	590	-60,67%
1.400	1.400	0,00%	1.100	-21,43%	560	-60,00%
1.300	1.300	0,00%	1.020	-21,54%	510	-60,77%
1.200	1.200	0,00%	940	-21,67%	470	-60,83%
1.100	1.100	0,00%	850	-22,73%	420	-61,82%
1.000	1.000	0,00%	760	-24,00%	417	-58,30%
900	895	-0,56%	700	-22,22%	385	-57,22%
800	800	0,00%	610	-23,75%	341	-57,38%
700	695	-0,71%	530	-24,29%	301	-57,00%
600	595	-0,83%	455	-24,17%	259	-56,83%
500	495	-1,00%	388	-22,40%	216	-56,80%
400	400	0,00%	308	-23,00%	174	-56,50%
300	304	1,33%	234	-22,00%	134	-55,33%
200	204	2,00%	158	-21,00%	93	-53,50%
100	107	7,00%	84	-16,00%	51	-49,00%

Die Ergebnisse der Messungen an Platte A (Ø 150 mm) zeigen, dass das Elektrofeldmeter ein sehr genaues Ergebnis liefert und nur bei einer Testspannung von 100 V außerhalb der vorgegebenen Toleranz (< 5%) lag (siehe Tabelle 2). Die Ergebnisse an Platte B (Ø 48 mm) und C (Ø 22,5 mm) zeigen jedoch, dass das EFM bei kleineren Platten Ergebnisse mit sehr hohen Abweichungen vom tatsächlichen Wert anzeigt.

Das elektrostatische Voltmeter ESVM Typ 01 (Tabelle 3) zeigt an Platte A, bei Testspannungen zwischen 300 V und 2.000 V, Ergebnisse mit einer Toleranz < 5 % an. Die Ergebnisse an Platte B, bei Testspannungen zwischen 300 V und 2.000 V, lagen im Toleranzbereich von < 10%. An der Platte C lagen die Ergebnisse bei Testspannungen 300 V bis 2.000 V im Bereich ≤ 15 %.

Tabelle 3: Elektrostatisches Voltmeter ESVM (Typ 01)

Spannung [V]	Platte A[V]	Differenz	Platte B[V]	Differenz	Platte C [V]	Differenz
2.000	1.965	-1,75%	1.894	-5,30%	1.818	-9,10%
1.900	1.865	-1,84%	1.806	-4,95%	1.707	-10,16%
1.800	1.767	-1,83%	1.711	-4,94%	1.615	-10,28%
1.700	1.668	-1,88%	1.616	-4,94%	1.520	-10,59%
1.600	1.570	-1,88%	1.520	-5,00%	1.430	-10,63%
1.500	1.473	-1,80%	1.425	-5,00%	1.336	-10,93%
1.400	1.373	-1,93%	1.330	-5,00%	1.245	-11,07%
1.300	1.275	-1,92%	1.235	-5,00%	1.154	-11,23%
1.200	1.176	-2,00%	1.139	-5,08%	1.063	-11,42%
1.100	1.077	-2,09%	1.043	-5,18%	973	-11,55%
1.000	979	-2,10%	947	-5,30%	884	-11,60%
900	880	-2,22%	851	-5,44%	793	-11,89%
800	782	-2,25%	755	-5,63%	703	-12,13%
700	683	-2,43%	659	-5,86%	612	-12,57%
600	584	-2,67%	564	-6,00%	523	-12,83%
500	485	-3,00%	467	-6,60%	433	-13,40%
400	386	-3,50%	371	-7,25%	344	-14,00%
300	288	-4,00%	275	-8,33%	255	-15,00%
200	188	-6,00%	178	-11,00%	165	-17,50%
100	90	-10,00%	82	-18,00%	76	-24,00%

Da die Messapertur des ESVM Typ 02 deutlich kleiner ist, liegen hier die Ergebnisse an allen drei Platten im Toleranzbereich ≤ 0,5 % (siehe Tabelle 4).

Tabelle 4: Elektrostatisches Voltmeter ESVM (Typ 02)

Spannung [V]	Platte A[V]	Differenz	Platte B[V]	Differenz	Platte C [V]	Differenz
1.000	1.005	0,50%	1.005	0,50%	1.005	0,50%
900	904	0,44%	904	0,44%	904	0,44%
800	803	0,38%	804	0,50%	803	0,38%
700	703	0,43%	703	0,43%	703	0,43%
600	601	0,17%	603	0,50%	601	0,17%
500	502	0,40%	502	0,40%	502	0,40%
400	401	0,25%	402	0,50%	402	0,50%
300	301	0,33%	301	0,33%	301	0,33%
200	200	0,00%	201	0,50%	201	0,50%
100	100	0,00%	100	0,00%	100	0,00%

Tabelle 5: Kontaktvoltmeter (Typ 03)

Spannung [V]	Platte A[V]	Differenz	Platte B[V]	Differenz	Platte C [V]	Differenz
2.000	1.999	-0,05%	1.999	-0,05%	1.999	-0,05%
1.900	1.899	-0,05%	1.899	-0,05%	1.899	-0,05%
1.800	1.798	-0,11%	1.798	-0,11%	1.798	-0,11%
1.700	1.697	-0,18%	1.697	-0,18%	1.697	-0,18%
1.600	1.597	-0,19%	1.597	-0,19%	1.597	-0,19%
1.500	1.496	-0,27%	1.496	-0,27%	1.496	-0,27%
1.400	1.396	-0,29%	1.396	-0,29%	1.396	-0,29%
1.300	1.296	-0,31%	1.296	-0,31%	1.295	-0,38%
1.200	1.195	-0,42%	1.195	-0,42%	1.195	-0,42%
1.100	1.095	-0,45%	1.095	-0,45%	1.095	-0,45%
1.000	995	-0,50%	995	-0,50%	995	-0,50%
900	895	-0,56%	895	-0,56%	895	-0,56%
800	795	-0,63%	795	-0,63%	795	-0,63%
700	695	-0,71%	695	-0,71%	695	-0,71%
600	596	-0,67%	596	-0,67%	596	-0,67%
500	496	-0,80%	496	-0,80%	496	-0,80%
400	396	-1,00%	396	-1,00%	396	-1,00%
300	297	-1,00%	297	-1,00%	297	-1,00%
200	197	-1,50%	197	-1,50%	197	-1,50%
100	98	-2,00%	98	-2,00%	98	-2,00%

Beim Kontaktvoltmeter ESVM Typ 03 liegen alle Ergebnisse an allen drei Platten in einem guten Toleranzbereich von $\leq 2\%$ (siehe Tabelle 5).

6 Diskussion der Messergebnisse

6.1 Feldmühle EFM

Wie den Ergebnissen von Tabelle 2 zu entnehmen ist, liefert das EFM nur dann vernünftige Ergebnisse, wenn die Messapertur des EFM in der Größe der zu untersuchenden Metallplatte liegt. Wie in Abbildung 8 zu sehen ist, „sieht“ ein EFM mit einem Flügelraddurchmesser von 20 mm die Feldlinien im Bereich von einem Durchmesser von ca. 15 cm. Kleinere Objekte, wie das eingezeichnete IC, „sieht“ das EFM nicht separat, sondern nur als Mittelwerte zusammen mit der Umgebung. Somit sind die gemessenen Ergebnisse für die Platte A sehr gut, aber wenn Oberflächen mit einem sehr viel kleineren Durchmesser als 15 cm gemessen werden, dann zeigen die Ergebnisse nicht mehr

die Werte der eigentlich zu prüfenden Oberfläche an.

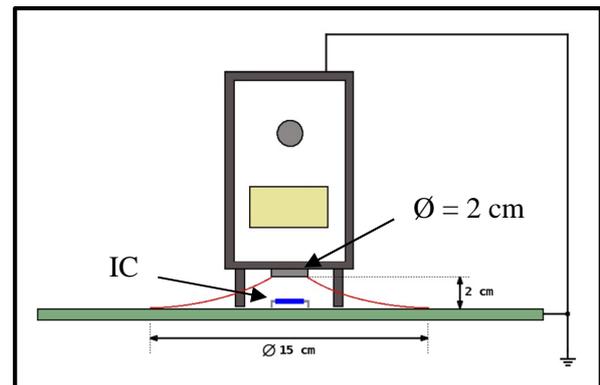


Abbildung 8: Messapertur des EFM

6.2 AC-Feedback ESVM (Typ 01)

Wegen der Bauformgröße der Messsonde sind die Ergebnisse für eine Bewertung des Oberflächenpotentials an allen drei Platten ausreichend gut. An einer noch kleineren Oberfläche oder eventuell auch an einem Bausteinpin könnte die Genauigkeit weiter abnehmen, das war jedoch nicht Gegenstand dieser Untersuchung.

6.3 DC-Feedback ESVM (Typ 02)

Wegen des DC-Feedback-Verfahrens und wegen der geringen Größe des Sensors sind die Ergebnisse bei diesem ESVM-Typ sehr genau und bei einem Messabstand von nur 1 mm kann eine Fläche mit einem Durchmesser von nur 4 mm gemessen werden. Wenn der Messabstand auf 10 mm vergrößert wird, dann wird ein Flächenbereich mit einem Durchmesser von ca. 50 mm gemessen (siehe Abbildung 9).

Aber auch hier blieb die Frage offen, wie genau das Ergebnis an noch sehr viel kleineren Oberflächen sein wird.

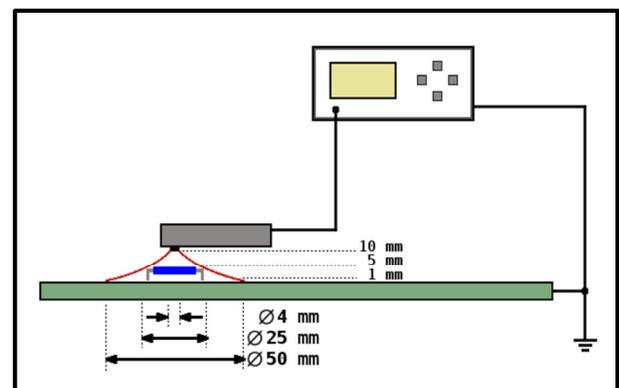


Abbildung 9: Ortsauflösung beim ESVM Typ 02

6.4 Kontaktvoltmeter ESVM (Typ 03)

Die Wiederholbarkeit und Genauigkeit der Messungen an den verschiedenen Metallplatten war sehr gut, und da die zu untersuchende Oberfläche hier direkt mit der Messspitze berührt wird, ist der Einfluss der Umgebung verschwindend gering. Wie später gezeigt wird, ist die Messung auch an sehr kleinen Objekten wie Bausteinpins sehr gut durchzuführen.

7 Messung an metallischen Spitzen

In den bisher vorgestellten Ergebnissen wurden nur relativ große Metallflächen betrachtet, aber außer Acht gelassen, dass die Bausteine ja nur sehr kleine Pins oder Balls haben, die aufgrund ihrer Geometrie das elektrostatische Feld stark verzerren können. Um die Aussagekraft der verschiedenen Messgeräte dafür zu untersuchen, wurden zwei verschiedene, metallische Pogo-Pins in einem Aufbau nach Abbildung 10 auf eine Spannung von 500V aufgeladen und diese Spannung mit den 4 Messgeräten überprüft.



Abbildung 10: Messung an Pogo-Pins

7.1 EFM

Tabelle 6: Messung am Pogo-Pin mit EFM

Spannung [V]	Pogo-Pin #01 [V]	Differenz	Pogo-Pin #02 [V]	Differenz
500	115	-77,00%	110	-78,00%
400	83	-79,25%	75	-81,25%
300	60	-80,00%	55	-81,67%
200	30	-85,00%	25	-87,50%
100	17	-83,00%	13	-87,00%

Wie der Tabelle 6 zu entnehmen ist, ist die Messung des Potentials der Pogo-Pins sehr ungenau. Das liegt im Wesentlichen daran, dass die Durchmesser der Pogo-Pins im Vergleich zur Geometrie der Messapertur sehr klein sind. Das EFM misst folglich nicht nur die Messspitze, sondern die ganze Umgebung. Die angezeigte Spannung ist

ein Mittelwert aus Aufladung der Umgebung und Aufladung des Pogo-Pins.

7.2 Elektrostatisches Voltmeter (ESVM Typ 01)

Die Abweichungen vom Sollwert sind beim ESVM Typ 01 (siehe Tabelle 7) zwar nicht mehr so groß wie beim EFM, aber immer noch so groß, dass dieser Messgerätetyp für ortsauflösende Messungen nur bedingt geeignet ist.

Tabelle 7: Messung am Pogo-Pin mit ESVM Typ 01

Spannung [V]	Pogo-Pin #01 [V]	Differenz	Pogo-Pin #02 [V]	Differenz
500	360	-28,00%	361	-27,80%
400	280	-30,00%	254	-36,50%
300	230	-23,33%	178	-40,67%
200	140	-30,00%	132	-34,00%
100	60	-40,00%	60	-40,00%

7.3 Elektrostatisches Voltmeter (ESVM Typ 02)

Beim ESVM Typ 02 sind die Ergebnisse mit einer Abweichung $\leq 5\%$ recht gut. Das bedeutet, dass dieser Messgerätetyp für ortsauflösende Messungen gut geeignet ist.

Tabelle 8: Messung am Pogo-Pin mit ESVM Typ 02

Spannung [V]	Pogo-Pin #01 [V]	Differenz	Pogo-Pin #02 [V]	Differenz
500	480	-4,00%	480	-4,00%
400	384	-4,00%	384	-4,00%
300	288	-4,00%	288	-4,00%
200	191	-4,50%	191	-4,50%
100	95	-5,00%	95	-5,00%

7.4 Kontaktvoltmeter ESVM (Typ 03)

Wie schon oben erwähnt, ist der Einfluss der Umgebung beim Kontaktvoltmeter verschwindend gering. Deshalb sind die guten Ergebnisse beim Kontaktvoltmeter mit einer Abweichung $\leq 2\%$ nicht verwunderlich.

Tabelle 9: Messung am Pogo-Pin mit Kontaktvoltmeter (ESVM Typ 03)

Spannung [V]	Pogo-Pin #01 [V]	Differenz	Pogo-Pin #02 [V]	Differenz
500	496	-0,80%	496	-0,80%
400	396	-1,00%	396	-1,00%
300	297	-1,00%	297	-1,00%
200	197	-1,50%	197	-1,50%
100	98	-2,00%	98	-2,00%

8 Einfluss des Messabstandes

Wie eingangs schon erwähnt, hat der Abstand zwischen Messsonde und dem zu untersuchenden Objekt bei den kontaktlosen Geräten einen großen Einfluss auf das Ergebnis. Um diesen Effekt genauer zu untersuchen, wurde an die isolierte Metallplatte A (Ø150 mm) eine positive Gleichspannung von 500 V angelegt. Der Abstand der kontaktlosen Messsonde wurde zwischen 0,1 und 5 cm variiert. Die Abhängigkeit ist in Abbildung 11 dargestellt.

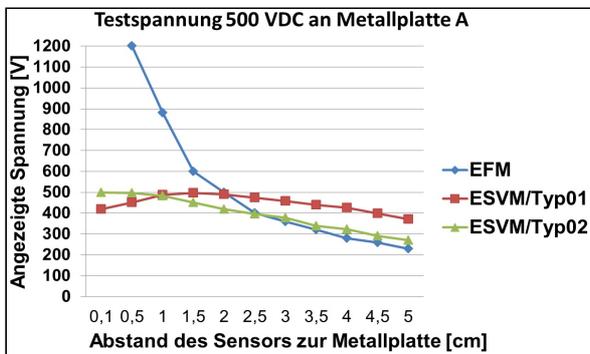


Abbildung 11: Abhängigkeit der gemessenen Spannung vom Abstand zwischen Messsonde und Messobjekt gemessen mit den drei kontaktlosen Voltmetern.

Beim Elektrofeldmeter (EFM) ist das Ergebnis bei 20 mm Abstand sehr genau, da auch in diesem Abstand die Kalibrierung durchgeführt wird. Wenn das Flügelrad in diesem Messmodus näher an die Oberfläche gehalten wird, dann steigt die gemessene Spannung extrem an. Wenn das Gerät weiter von der Oberfläche weggehalten wird, zeigt das Gerät ein sehr viel kleineres Oberflächenpotential an.

Beim ESVM Typ 01 ist das Ergebnis im Abstand von 10 bis 25 mm sehr genau, aber auch das Er-

gebnis im spezifizierten Messabstand 5 bis 50 mm ist noch akzeptabel.

Das ESVM Typ 02 zeigt im Bereich 1 bis 10 mm ein sehr genaues Ergebnis, ab einem Abstand von > 15 mm (außerhalb des spezifizierten Bereiches) zeigt das Gerät eine kleinere Spannung als die angelegte Testspannung an.

9 Messung an einem realen Baustein

Bisher wurde nur an genau definierten „Eichmodulen“ gemessen. Wie verhalten sich jedoch die Messgeräte beim Einsatz in der realen Fertigungsumgebung? Um dies zu untersuchen, wurden zusätzlich Messungen an einem IGBT Modul mit isolierendem Gehäuse und metallischen Kontaktpins durchgeführt (siehe Abbildungen 12 und 13).

Das gesamte Modul wurde zunächst durch ein Ionisiergerät neutralisiert, danach wurde einer der Kontaktpins mit einer Spannungsquelle auf 100 V bzw. in einer weiteren Testreihe auf 500 V aufgeladen.

Das Oberflächenpotential am Kontaktpin wurde dann mit allen 4 Messgeräten geprüft.



Abbildung 12: Messung an den Kontaktpins eines IGBT-Moduls mit ESVM Typ 01 (links) und EFM (rechts)



Abbildung 13: Messung an den Kontaktpins eines IGBT-Moduls mit Kontaktvoltmeter (ESVM Typ 03, links) und ESVM Typ 02 (rechts)

Das EFM zeigt bei der Messung am aufgeladenen IGBT-Pin ein besseres Ergebnis als bei den beiden gemessenen Pogo Pins. Grund dafür war, dass nach dem Aufladen des IGBT-Pins auch die umliegende, isolierende Gehäusefläche aufgeladen

war (Influenz), obwohl vor der Messung das Modul mit einem Ionisiergerät neutralisiert wurde.

Das beste Ergebnis liefert hier eindeutig das Kontaktvoltmeter.

Tabelle 11: Messung am IGBT-Pin nach Aufladung mit externer Spannungsquelle

Testspannung [V]	EFM [V]	Differenz [%]	ESVM Typ 01 [V]	Differenz [%]	ESVM Typ 02 [V]	Differenz [%]	ESVM Type 03 [V]	Differenz [%]
500	345	-31,00	415	-17,00	482	-3,73	498	-0,40
100	72	-28,00	87	-13,00	92	-8,70	99	-1,01

Zusätzlich wurde noch untersucht, wie sich die Messgeräte verhalten, wenn das Plastikgehäuse aufgeladen ist. Dazu wurde das Gehäuse mit einem isolierenden PE-Beutel gerieben und das Oberflächenpotential gemessen. Die Ergebnisse sind in Tabelle 12 zusammengefasst.

Tabelle 12: Messung am IGBT-Gehäuse nach reiben mit einem isolierenden PE-Beutel

Messgerät	Oberflächenpotential
EFM	+ 840 V
ESVM Typ 01	+ 1.526 V
ESVM Typ 02	> +1000 V (overload)
ESVM Typ 03	+1.789 V

Tabelle 13: Messung am IGBT-Pin nach Aufladung mit externer Spannungsquelle

Gerät	Test Metallplatte (A, B and C)	Test Pogo pins (#01 und #02) und Baustein-Pin	Einfluß Messabstand Sensor zur Oberfläche
Elektrofeldmeter EFM (Feldmühlenprinzip)	Eignet sich für homogene Oberflächen mit einem Durchmesser ≥ 15 cm	Nicht geeignet	Genauigkeit kann nur im spezifizierten Messabstand von 20 mm erreicht werden
ESVM – Typ 01 "kein Kontakt"	Eignet sich für homogene Oberflächen ≥ 48 mm	Nicht geeignet	Genauigkeit kann im Messabstand von 10 bis 25 mm erreicht werden (im spezifizierten Bereich 5 bis 50 mm sind aber noch ausreichend gute Ergebnisse erreichbar)
ESVM – Typ 02 "kein Kontakt"	Geeignet für alle Plattengrößen	Geeignet	Genauigkeit wird im spezifizierten Messabstand 1 bis 15 mm erreicht
ESVM – Typ 03 "mit Kontakt"	Geeignet für alle Plattengrößen	Geeignet	kein Einfluß, Sensor ist im Kontakt mit der Oberfläche

Da das EFM einen Bereich mit Durchmesser von ≥ 15 cm detektiert und die Gehäuseoberfläche wesentlich kleiner ist, wurde hier als Oberflächenpotential eine sehr viel kleinere Spannung angezeigt.

Das ESVM Typ 02 hat einen maximalen Messbereich von 1000 V und konnte somit hier kein Ergebnis liefern.

Die beiden anderen Messgeräte zeigten vergleichbare Ergebnisse.

10 Zusammenfassung

Die Messergebnisse haben gezeigt, dass die verschiedenen Messgeräte je nach zu untersuchendem Objekt deutliche unterschiedliche Spannungen anzeigen können, obwohl die Aufladung identisch ist; eine kritische Situation könnte somit leicht übersehen werden. Es ist deshalb absolut wichtig, dass der Anwender diese Problematik kennt und weiß, welches Messgerät er für welche Applikation verwenden kann.

Die Ergebnisse der vorgestellten Untersuchung sind in Tabelle 13 zusammen gefasst und sollen als Hilfe dienen, welches Gerät wofür verwendet werden kann.

Ein Elektrofildmeter (EFM) basierend auf dem Feldmühlenprinzip ist sicherlich ein geeignetes Gerät um aufladbare isolierende Materialien z.B. im Bereich von Verpackungssystemen (Folien, Behälter, Schaumstoffe etc.) in Bezug auf die Aufladbarkeit zu bewerten.

Für Messungen von Oberflächenpotentialen an Leiterplatten und Bauelementen sind jedoch Elektrostatische Voltmeter (ESVM's) zu empfehlen.

Literatur

[1] TREKInc. Private Communications