



Messverfahren zur
Messung des Ableitwiderstandes
von Fußböden (Systemböden)



In Reinräumen für die Halbleiterfertigung sind aus elektrostatischer Sicht besondere Maßnahmen zum Schutz der empfindlichen Bauelemente erforderlich. Es existieren besondere Vorschriften im Hinblick auf leitfähige Schuhe, Handschuhe, Sitzgelegenheiten für Personal, Verpackung und Transport von Waren und nicht zuletzt Anforderungen an den elektrischen Widerstand des Fußbodens, welcher in vielen Fällen durch einen Systemboden, als Doppel- bzw. Hohlboden, aufgebaut wird. Ein dauerhaft leitfähiger Systemboden ist daher eine wichtige Voraussetzung für die störungsfreie Produktion mit hoher Qualität und Quantität.

In diesem Beitrag wird auf die Frage nach der Vergleichbarkeit und Reproduzierbarkeit gemessener Ableitwiderstände eines Systembodens auf der Grundlage verschiedener Normen eingegangen. In Bezug auf die Beeinflussung des Ableitwiderstandes wird am Beispiel der Lagerung der Proben in klimatisierter Umgebung dargestellt.

Messverfahren

Die allgemein bekannten Messverfahren zur Bestimmung des Ableitwiderstandes von Systemböden beruhen auf einer Widerstandsmessung zwischen der Oberseite eines Systembodens, z. B. einer Doppelbodenplatte, und der metallischen Unterkonstruktion (Stütze) als Bezugspotential. Dazu wird der Prüfling mittels der in der jeweiligen Norm festgelegten Elektrode an der Oberseite (Belag) kontaktiert und unter Anlegung einer definierten Messspannung der Widerstandswert gemessen. Die Probleme des Kontaktverhaltens zwischen Elektrode und Prüfmuster sind z. B. durch H. Berndt hinreichend untersucht und veröffentlicht worden.

Wichtig sind derartige Erkenntnisse besonders dann, wenn z.B. nach der Klassifizierung gemäß DIN IEC 61340-4-1 (VDE 0303 Teil 83) ein leitfähiger Fußboden (ECF) einen Ableitwiderstand von $R_x \leq 10^6 \Omega$ (Ohm) aufweisen muss.

Regelwerke, Normen

In nationalen und internationalen technischen Regelwerken (Normen) werden unterschiedliche Messmethoden zur Bestimmung des (Erd-) Ableitwiderstandes von verlegten Systemböden beschrieben. Die wichtigsten dieser Regelwerke und die relevanten Parameter sind in Tabelle 1 aufgeführt.

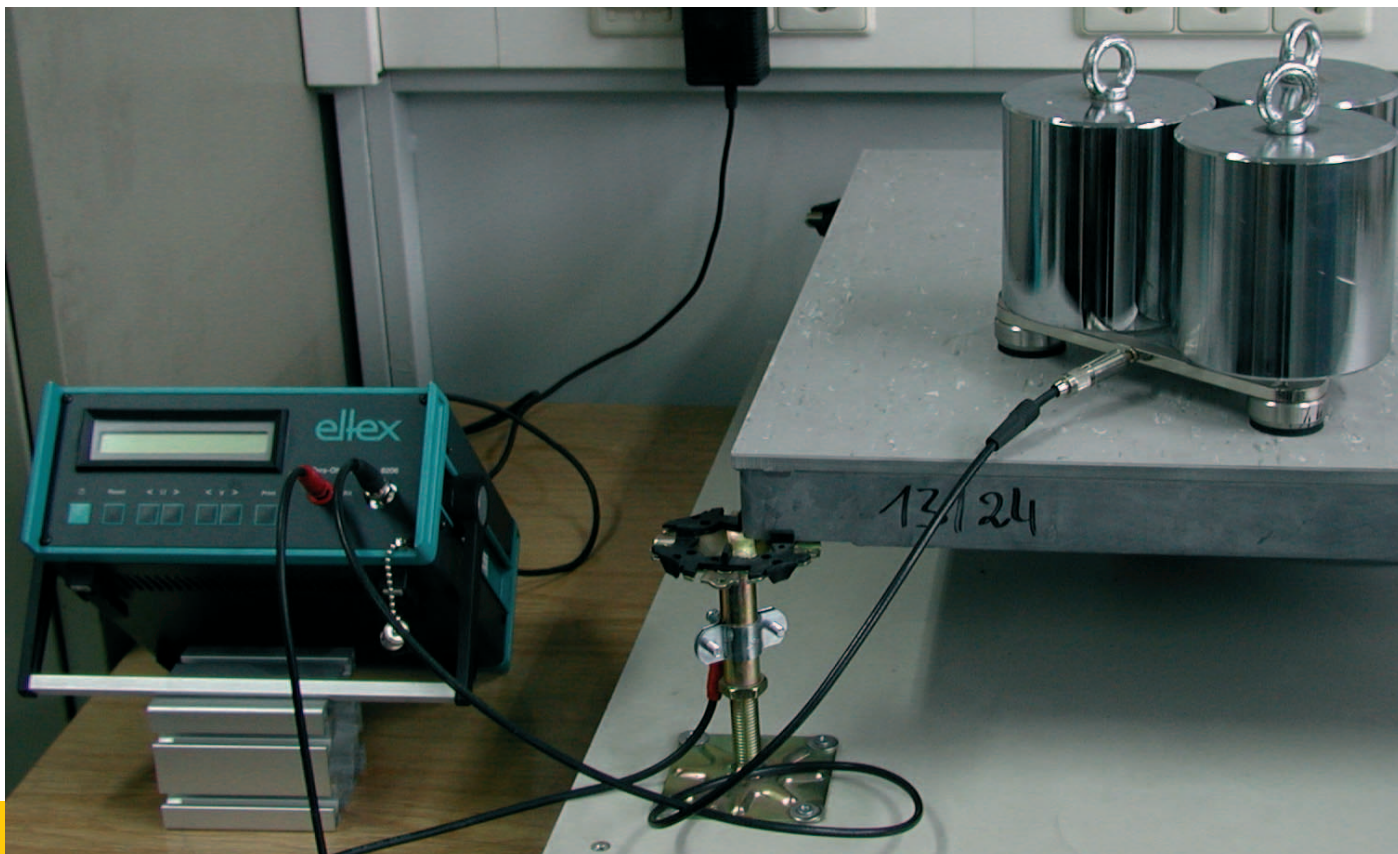


Bild 1 : Prüfaufbau zur Laborbestimmung des Ableitwiderstandes einer Doppelbodenplatte nach DIN EN 1081

Regelwerk, Prüf-Norm	Elektrode			
	Durchmesser Bemerkung	Masse/ Gewicht	Flächenpressung N/cm ²	Mess- Spannung in V
DIN 51 953 *	50 mm feuchtes Papier	1,0 kg/10 N	0,51	100
DIN EN 1081	39/21 mm Dreifuß mit Kreisringflächen	30 kg/300 N	11,79	100 (<10 ⁶ Ω) 500 (>10 ⁶ Ω)
DIN 54 345 Teil 6 **	63,5 mm Metallfläche	5,0 kg/50 N	1,55	10, 100 und 500
DIN IEC 61340-4-1 VDE 0303 Teil 83	50 mm leitfähiger Gummi	5,0 kg/50 N	2,5	10 oder 100
ANSI/ESD-S7.1-1994	63,5 mm (2,5 inches) leitfähiger Gummi	2,27 kg (5 pound) 22,2 N	0,74	10 oder 100
NFPA 99	63,5 mm Gummi, Alufolie	2,27 kg 22,2 N	0,74	500

*Norm nicht mehr gültig, durch DIN EN 1081 ersetzt

**nur für Systemböden mit textilen Belägen

Tabelle 1: Parameter der gebräuchlichsten Regelwerke zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes

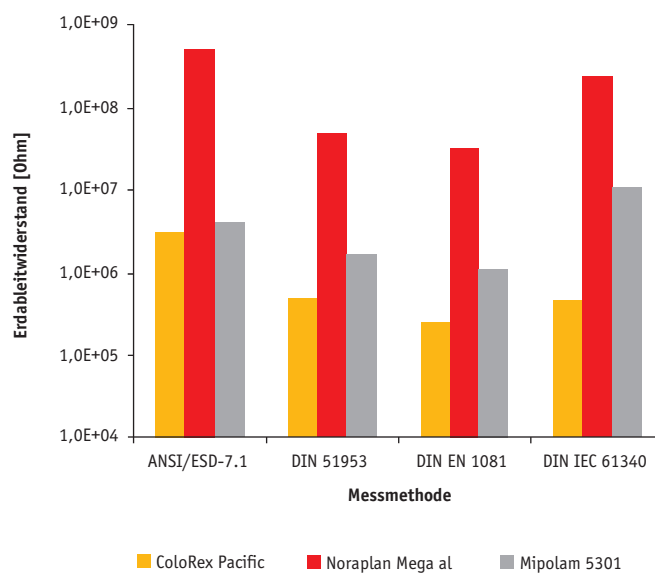


Bild 2: Einfluss der Messmethode (Regelwerk) auf den gemessenen Ableitwiderstand von Doppelbodenplatten

Bei Widerstandsmessungen gemäß DIN EN 1081 ist besonders die hohe Belastung und damit die große Flächenpressung der Elektrode auffällig. Bei allen anderen Regelwerken liegen die vorgegebenen Flächenpressungen mit Werten von $0,5 \text{ N/cm}^2$ bis $2,5 \text{ N/cm}^2$ nahe beieinander und sind deutlich geringer.

Messergebnisse

Für eine Untersuchungsreihe (Messreihe) wurden Doppelbodenplatten aus Aluminium-Druckguss und drei verschiedenen leitfähige Beläge ausgewählt. Die Beläge wurden mit leitfähigem Klebstoff auf den Doppelbodenplatten appliziert und 7 Tage im klimatisierten Raum ($23^\circ\text{C}/50\% \text{ r.F.}$) gelagert. Die Messstellen auf den Doppelbodenplatten wurden markiert. Damit soll sichergestellt werden, dass bei den Messungen die Elektroden immer an gleicher Position aufgesetzt wurden. Die Ergebnisse der Ableitwiderstandsmessungen mit 4 verschiedenen Messmethoden sind in Bild 2 dargestellt. Wie zu erwarten war, ergeben sich je nach Messmethode (Elektrode) unterschiedliche Messwerte. Bezeichnend ist, dass beispielsweise die nach ANSI/ESD-S7.1 gemessenen Widerstandswerte höher sind als die nach DIN EN 1081 gemessenen Werte und dies auch unabhängig von der Belagsart.

Bei Messungen gemäß DIN EN 1081 werden bei den drei Prüfmustern die geringsten Widerstandswerte ermittelt. Dafür verantwortlich ist hauptsächlich das Kontaktverhalten zwischen Elektrode und Belagoberfläche unter Wirkung der unterschiedlichen Elektrodenbelastungen bzw. Flächenpressungen.

Streuung der Messwerte

Bei Messungen des Ableitwiderstandes und einer größeren Anzahl (> 100) von Prüflingen ergibt sich erwartungsgemäß eine Streuung der Messwerte. Bild 3 zeigt die Gauß'sche Verteilung

gemessener Ableitwiderstandswerte welche auf Basis der DIN EN 1081 gemessen wurden.

Langzeitverhalten

Die Messungen der Ableitwiderstände einiger Prüflinge (Doppelbodenplatten) wurden nach 6-monatiger Lagerung im klimatisierten Raum ($23^\circ\text{C}/50\% \text{ r.F.}$) wiederholt. Dabei sollte der Einfluss die Lagerzeit (Alterung) auf den Ableitwiderstand untersucht werden. In Bild 4 sind die Ergebnisse dargestellt. Wie zu erwarten war, haben sich die Ableitwiderstände durch die sechsmonatige Lagerung der Platten im klimatisierten Raum geringfügig verändert.

Die geringfügige Erhöhung des Ableitwiderstandes nach 180 Tagen bei Prüfling C ist vermutlich mit der Problematik der Reproduzierbarkeit von derartigen Messungen zu erklären wobei eine Veränderung des Widerstandes im Belag bzw. der Verklebung nicht ausgeschlossen werden kann. Ebenso ist die Betrachtung der Reproduzierbarkeit bei Wiederholungsmessungen von Interesse.

Reproduzierbarkeit

Am Beispiel des Prüfmusters B wird in Bild 5 gezeigt, zu welchen Ergebnissen man bei einer Ableitwiderstandsmessung gelangt, wenn in sehr kurzen Zeitabständen an gleicher Stelle des Prüfmusters mehrfach hintereinander der Ableitwiderstand gemessen wird. Bei dieser Messreihe wurde die Dreifußelektrode nach DIN EN 1081 mit einer Auflast von 300 N verwendet. Im Unterschied zu der Vorgabe dieser Norm wurden die Messungen bei Messspannungen von 10 Volt (V) und 100 V durchgeführt.

Bei Wiederholungsmessungen weisen die Messergebnisse die zu erwartenden Schwankungen auf. Deutlich zu erkennen ist, dass die Messwertspanne bei Messungen mit einer Messspannung von 10 V größer als bei Messungen mit der

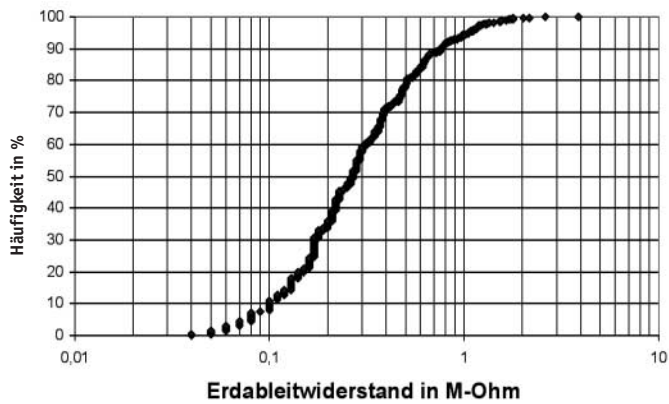


Bild 3: Häufigkeitsverteilung von ca. 750 Ableitwiderstandsmesswerten

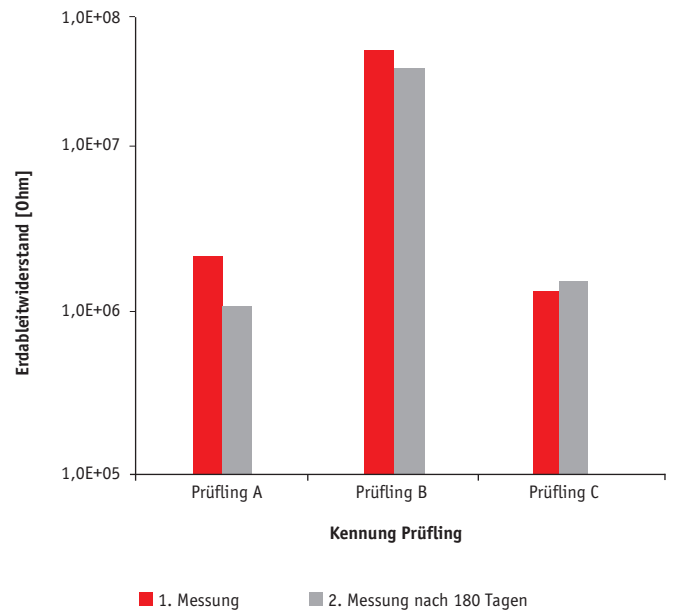


Bild 4: Veränderung des Ableitwiderstandes in 6 Monaten

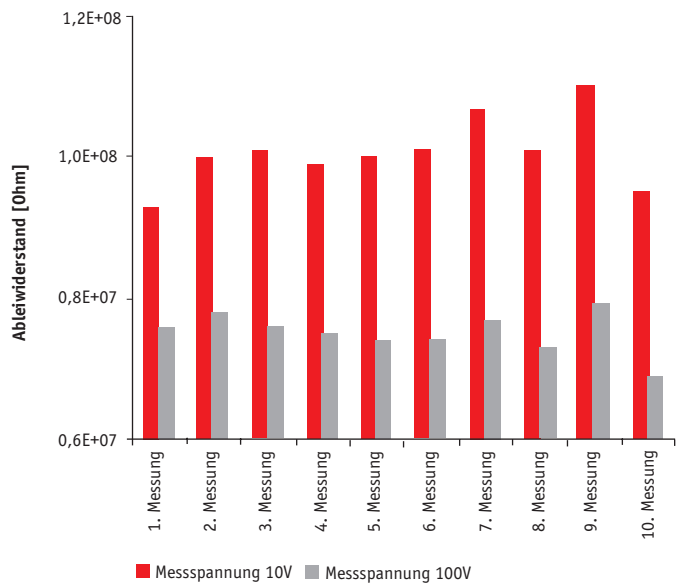


Bild 5: Reproduzierbarkeit des Ableitwiderstandes bei Wiederholungsmessungen nach DIN EN 1081

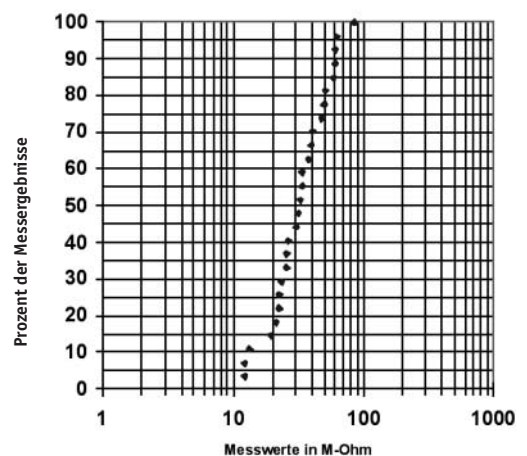


Bild 7: Verteilung der Messergebnisse



Bild 6: Messvorrichtung

Messspannung 100 V ist. Die geringeren Ableitwiderstände der Messungen bei der Messspannung von 100 V sind u. a. durch spannungsabhängige Leitfähigkeitsänderungen der Werkstoffe und bei der Kontaktierung zu erklären. Wiederholungsmessungen, bei welchen die Elektroden an unterschiedlichen Positionen auf die Prüfmuster aufgesetzt werden, weisen deutlich größere Schwankungen der Widerstandswerte auf.

Abgleich von Messergebnissen mit bauseitigen Anforderungen

Auf die Bewertung von Messergebnissen der elektrischen Ableitfähigkeit einer Doppelbodenkonstruktion gemäß DIN EN 1081 soll im nachfolgende Beispiel eingegangen werden. Aus den vertraglichen Vereinbarungen eines Doppelbodens ist nachfolgende Angabe zu entnehmen:

Ableitwiderstand nach DIN EN 1081: max. 10^7 Ohm.

Die Messungen an der montierten

Doppelbodenanlage wurden mit der in Bild 6 dargestellten Baustellenmessvorrichtung durchgeführt. Das Diagramm mit der Verteilung der Messergebnisse ist in Bild 7 dargestellt. Die Auswertung ergibt folgende Ableitwiderstandswerte R^2 :

Medianwert:	$3,2 \times 10^7$ Ohm
Maximaler Messwert:	$8,3 \times 10^7$ Ohm
Minimaler Messwert:	$1,2 \times 10^7$ Ohm

Die Anforderung „10 hoch 7 Ohm“ bzw. „ 10^7 Ohm“ verzichtet auf einen wertstellenden Faktor welcher die Lage der Rundungsstelle für die Darstellung der Versuchsergebnisse eindeutig bestimmt (vergl. DIN 1333; Schreibweise einer Zahl als Produkt mit Zehnerpotenz). Der Abgleich zwischen dem Grenzwert aus der Anforderung und den Messergebnissen erfolgt somit an der Exponentialstelle, womit die Aussagepräzision in Zehnerpotenzen abgestuft wird. Durch den Ausdruck „max.“ ist der Grenzwert

mit einbezogen.

Somit ist das Messergebnis auf die vorgegebene Genauigkeit, ebenfalls 10^7 Ohm, zu runden. Der Medianwert der Messwerte muss damit kleiner als $4,99 \times 10^7$ Ohm sein und erfüllt im vorstehenden Beispiel die Anforderung. Zur weiteren Erläuterung folgende Beispiele:

Anforderung für den Ableitwiderstandswert R^2	Maximaler Medianwert einer Messreihe
max. $1,0 \times 10^7$ Ohm	$1,049 \times 10^7$ Ohm
max. 1×10^7 Ohm	$1,49 \times 10^7$ Ohm
max. 10^7 Ohm	$4,99 \times 10^7$ Ohm

Resümee

Für den Praktiker können vorliegende Ergebnisse und die aus den verschiedenen Messreihen gewonnene Erkenntnisse eine Hilfe zur Bewertung von Messergebnissen sein. Mit Blick auf die zunehmende Globalisierung der Wirtschaftsbeziehungen ist ein einheitliches Messverfahren auf der Grundlage eines Regelwerkes (Norm) für die Bestimmung des Ableitwiderstandes eines Systembodens wünschenswert. Diese Forderung ist eine wichtige Grundlage sowohl seitens des Planers bzw. Nutzers für die gestellten technischen Anforderungen als auch für den Systembodenlieferant für die Umsetzung, Ausführung und die zu erbringenden Nachweise.

Seitens der Autoren wird die Messmethode nach DIN EN 1081 bevorzugt, da diese der tatsächlichen Situation beim Begehen eines Fußbodens am ehesten gerecht wird. Durch die eingeschränkte Reproduzierbarkeit der Messergebnisse einzelner Prüfstellen sollte immer eine größere Anzahl von Prüfpositionen (mehr als 5) gewählt werden und die Bewertung auf den Medianwert bezogen werden.

DER AUTOR

Dipl.-Ing. (FH) Otto Reimet
Geschäftsführer
System Flooring EWIV
Hartwiese 2 · D-70499 Stuttgart
Tel.: 0711 - 80 60 73 98

Dipl.-Ing. (FH) Peter Strobel
Steinbeis-Transferzentrum
Prüfinstitut für BodenSysteme
Gartenstraße 133 · D - 73430 Aalen
Tel.: 07361- 56 01 19 · Fax: 07361- 56 01 18
E-Mail: info@stz-aalen.de