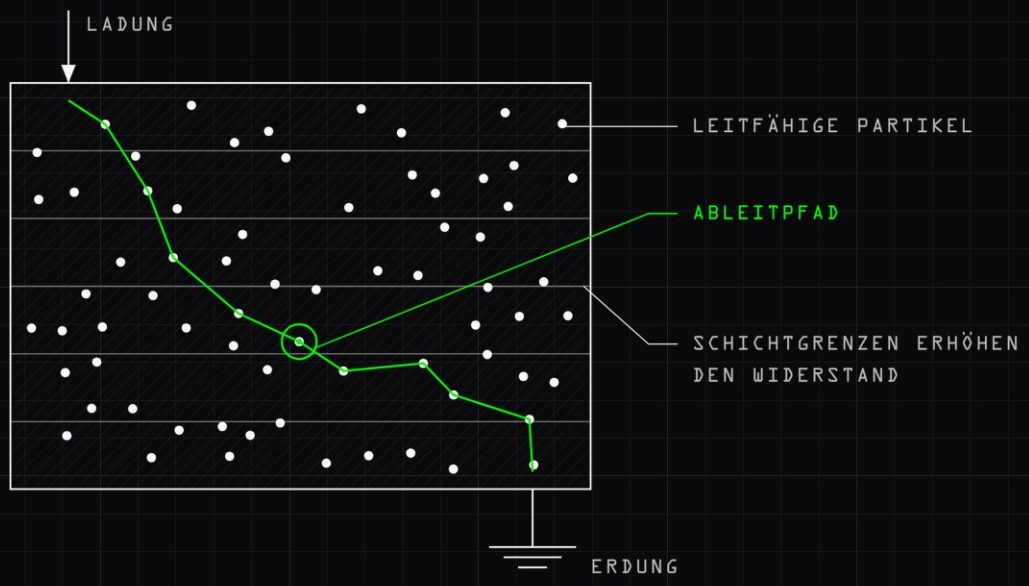
FIBERTHREE

SCHNITT A–A . ABLEITFÄHIGES GEFÜGE



WHITE PAPER . WP008

ESD-BAUTEILE IM FFF-DRUCK

Wie werden elektrostatisch ableitfähige Bauteile gedruckt, ausgelegt und nach IEC 61340 geprüft?

DOKUMENT
WP008
FIBERTHREE WHITE PAPER

STAND
11.2026
VERSION 1.0

INHALT

01 Ausgangslage 4

02 Grundlagen und Normen 5

Die wichtigsten Normen 5

03 Wie ableitfähige Filamente funktionieren 6

04 Einfluss des Drucks 7

Vom Filament zum Bauteil 7

Richtung 7

Druckparameter 7

Oberfläche und Feuchte 8

05 F3 PA ESD 9

Typische Anwendungen 9

Empfehlungen für den Druck 9

06 Messen und Prüfen 11

Messverfahren nach IEC 61340-2-3 11

Worauf achten 11

07 Fazit 12

Quellen 12

Über Fiberthree 13

White-Paper-Reihe 13

00 . EXECUTIVE SUMMARY

In der Elektronikfertigung müssen Vorrichtungen, Greifer und Werkstückaufnahmen elektrostatische Ladungen kontrolliert ableiten. Der Zielbereich liegt nach IEC 61340-5-3 zwischen 1×10^4 und 1×10^{11} Ω. F3 PA ESD erreicht laut Datenblatt einen Oberflächenwiderstand von 10^5 bis 10^8 Ω und verbindet das mit der Festigkeit eines Polyamids.

Der Widerstand eines gedruckten Bauteils ist aber nicht der des Filaments. Forschungsergebnisse zeigen: Beim Verdrucken steigt der Widerstand meist an, er ist richtungsabhängig und hängt von Schichthöhe, Temperatur, Füllung und Nachbehandlung ab.

AUF EINEN BLICK

- **Ableitweg in Bahnrichtung** legen, nicht durch viele Schichten.
- **Volle Füllung** und einen definierten Erdungspunkt vorsehen.
- **Filament trocknen** und eine verschleißfeste Düse verwenden.
- **Jedes Bauteil messen** nach IEC 61340-2-3, im definierten Klima und an der Stelle, an der es ableiten soll.

Empfehlung: Ableitweg in Bahnrichtung legen, voll füllen, einen Erdungspunkt vorsehen und jedes Bauteil nach IEC 61340-2-3 messen.

10^5–10^8 Ω	10^4–10^{11} Ω	260–290 °C
Oberflächenwiderstand F3 PA ESD, Datenblatt	ableitfähiger Bereich, IEC 61340-5-3	Drucktemperatur F3 PA ESD

01 AUSGANGSLAGE

Kunststoffe sind Isolatoren. Reibt ein Bauteil an einem anderen, lädt es sich elektrostatisch auf, und die Ladung bleibt, wo sie entstanden ist. Entlädt sie sich schlagartig, kann sie empfindliche Elektronik zerstören oder in explosionsgefährdeten Bereichen einen Funken auslösen.

In der Elektronikfertigung werden deshalb geschützte Bereiche eingerichtet, in denen alle Oberflächen, Werkzeuge und Vorrichtungen Ladungen kontrolliert ableiten. Gedruckte Vorrichtungen, Werkstückaufnahmen, Greifer und Gehäuse müssen dort aus einem ableitfähigen Werkstoff bestehen.

FFF ist für solche Teile ideal: Vorrichtungen sind Einzelstücke oder Kleinserien und werden oft kurzfristig gebraucht. Ableitfähige Filamente verhalten sich aber anders als ungefüllte. Ihr Widerstand hängt davon ab, wie gedruckt wird und wie gemessen wird. Dieses Paper erklärt die Grundlagen, zeigt die Einflüsse des Drucks und beschreibt unser F3 PA ESD.

ABB. 1: SCHEMASKIZZE

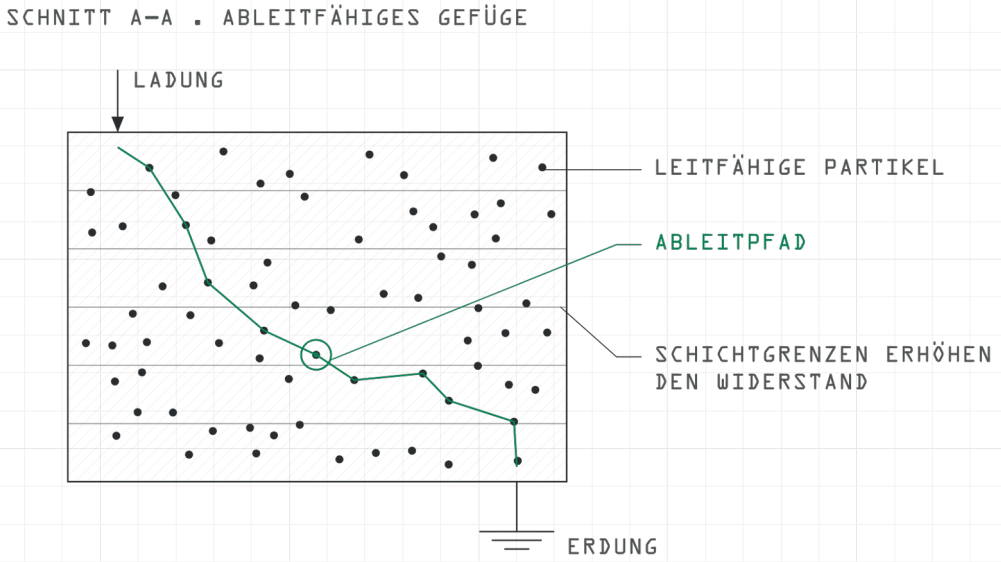


ABB. 1 Leitfähiges Partikelnetzwerk mit Ableitpfad zur Erdung, schematisch, nicht maßstäblich.

02 GRUNDLAGEN UND NORMEN

Werkstoffe werden nach ihrem elektrischen Widerstand in drei Klassen eingeteilt. Die Grenzen nach IEC 61340-5-3 sind:

KLASSE	WIDERSTAND	VERHALTEN
Leitfähig	unter $1 \times 10^4\ \Omega$	Ladung fließt sehr schnell ab. Bei Kontakt mit geladenen Bauteilen kann die Entladung selbst zu schnell sein
Ableitfähig (dissipativ)	1×10^4 bis unter $1 \times 10^{11}\ \Omega$	Ladung fließt kontrolliert ab. Der Zielbereich für Vorrichtungen und Werkstückaufnahmen
Isolierend	ab $1 \times 10^{11}\ \Omega$	Ladung bleibt bestehen. Ungefüllte Kunststoffe

TAB. 1 Widerstandsklassen nach IEC 61340-5-3.

Im Sprachgebrauch werden ableitfähige Werkstoffe oft „ESD“ oder „antistatisch“ genannt. ESD steht für electrostatic discharge, also die elektrostatische Entladung, vor der geschützt werden soll.

DIE WICHTIGSTEN NORMEN

NORM	INHALT
IEC 61340-5-1 (DIN EN 61340-5-1)	Anforderungen an ESD-Schutzprogramme und geschützte Bereiche (EPA)
IEC TR 61340-5-2	Anwenderleitfaden zu IEC 61340-5-1
IEC 61340-5-3	Klassifizierung von Verpackungen nach Widerstand: leitfähig, ableitfähig, isolierend
IEC 61340-2-3 (DIN EN 61340-2-3)	Prüfverfahren für Widerstand und spezifischen Widerstand fester Werkstoffe im Bereich 10 kΩ bis 1 TΩ
IEC 60079-32-1	Elektrostatische Gefährdungen in explosionsgefährdeten Bereichen

TAB. 2 Normen zu Elektrostatik und ESD-Schutz.

Welcher Grenzwert für ein Bauteil gilt, legt das ESD-Schutzprogramm des Anwenders fest. Für Bauteile in explosionsgefährdeten Bereichen gelten eigene Anforderungen, die gesondert geprüft werden müssen.

03 WIE ABLEITFÄHIGE FILAMENTE FUNKTIONIEREN

Ein Kunststoff wird ableitfähig, wenn man ihm leitfähige Partikel beimischt, meist Ruß (Carbon Black), Kohlenstoffnanoröhren oder Graphen. Solange die Partikel vereinzelt liegen, bleibt der Werkstoff isolierend. Erst ab einer bestimmten Konzentration berühren sie sich zu einem durchgehenden Netzwerk, und der Widerstand fällt um mehrere Größenordnungen. Diese Schwelle heißt Perkolationsschwelle [Dijkshoorn et al. 2021].

Das Netzwerk ist empfindlich. Alles, was die Partikel auseinanderzieht oder voneinander trennt, erhöht den Widerstand: Scherung in der Düse, Poren, Grenzflächen zwischen den Bahnen, Feuchte. Deshalb hat ein gedrucktes Bauteil nicht automatisch den Widerstand des Filaments.

Für die Praxis ist wichtig, dass die Leitfähigkeit nicht allein vom Filament abhängt. Sie entsteht erst im Bauteil, wenn das Partikelnetzwerk über Bahnen und Schichten hinweg erhalten bleibt. Jede Entscheidung im Druck, die Poren oder Grenzflächen beeinflusst, beeinflusst damit auch den Widerstand.

04 EINFLUSS DES DRUCKS

Der Widerstand eines gedruckten Bauteils ist richtungsabhängig und hängt vom Druckprozess ab. Das zeigen mehrere Untersuchungen übereinstimmend.

VOM FILAMENT ZUM BAUTEIL

Die TU Braunschweig hat 14 leitfähige Filamente in drei Stufen gemessen: als Filament, als frei extrudierter Strang und als gedruckte Struktur. Beim Verdrucken stieg der spezifische Widerstand in der Regel an. Filamente mit Nanoröhren oder Graphen verloren dabei weniger Leitfähigkeit und streuten weniger als solche, die nur Ruß enthielten [Polymers 16(20), 2891, 2024]. Auch die Herstellbedingungen des Filaments selbst beeinflussen den Widerstand [Polymers 15(22), 4452, 2023].

RICHTUNG

In Bahnrichtung fließt der Strom durch das Material einer Bahn. Quer dazu und durch die Schichten muss er über die Grenzflächen zwischen den Bahnen, wo Kontaktwiderstände und kleine Poren das Netzwerk unterbrechen. Der Widerstand ist deshalb in Bahnrichtung am geringsten und in Aufbaurichtung meist am höchsten [Dijkshoorn et al. 2021].

DRUCKPARAMETER

- **Schichthöhe:** Dünnere Schichten ergaben in Untersuchungen mit leitfähigem PLA weniger Poren, mehr leitfähige Pfade und einen geringeren Widerstand [Abdalla et al. 2020].
- **Temperatur:** Eine höhere Düsentemperatur kann die Verschmelzung der Bahnen verbessern und den Kontaktwiderstand dazwischen senken.
- **Füllung:** Volle Füllung und ausreichend Überlappung zwischen den Bahnen verringern Poren.
- **Tempern:** Eine Wärmebehandlung nach dem Druck verändert den Widerstand des extrudierten Strangs [Stankevich et al. 2023]. Getemperte ESD-Bauteile sollten daher nachgemessen werden.

OBERFLÄCHE UND FEUCHTE

Die äußerste Schicht einer Bahn kann partikelärmer sein als ihr Inneres. Der Oberflächenwiderstand liegt deshalb oft höher als der Durchgangswiderstand. Bei Polyamid verändert zudem die aufgenommene Feuchte den Widerstand. Gemessen wird deshalb im definierten Klima nach IEC 61340-2-3.

Für die Konstruktion folgt daraus, den Ableitweg wie einen Lastpfad zu behandeln: Die Strecke von der Berührungsstelle zum Erdungspunkt sollte möglichst in Bahnrichtung verlaufen und durch voll gefüllte Bereiche führen. Wo der Weg durch viele Schichten führen muss, ist mit einem höheren Widerstand zu rechnen.

Welche Einflüsse für ein bestimmtes Bauteil überwiegen, zeigt am Ende nur die Messung. Die Hinweise in diesem Kapitel helfen, die Messung zu verstehen und gezielt nachzubessern.

05 F3 PA ESD

F3 PA ESD ist ein modifiziertes Polyamid 6 mit dauerhafter elektrostatischer Ableitfähigkeit. Es verbindet die Festigkeit und Zähigkeit unserer Polyamide mit einem Oberflächenwiderstand im ableitfähigen Bereich.

EIGENSCHAFT	F3 PA ESD
Basis	PA 6, modifiziert
Oberflächenwiderstand	10^5 bis 10^8 Ω laut Datenblatt, ableitfähig nach IEC 61340-5-3
Mechanik	sehr hohe Festigkeit, geringe Verzugsneigung
Oberfläche	matt schwarz
Drucktemperatur	260–290 °C

TAB. 3 Eigenschaften von F3 PA ESD laut Datenblatt.

TYPISCHE ANWENDUNGEN

- Werkstückaufnahmen und Montagevorrichtungen für Leiterplatten und Baugruppen
- Greiferfinger und Sauggreiferaufnahmen in der Elektronikmontage
- Prüfadapter und Kontaktierhilfen
- Träger, Trays und Ablagen im geschützten Bereich
- Gehäuse und Abdeckungen für empfindliche Elektronik

EMPFEHLUNGEN FÜR DEN DRUCK

- **Trocknen:** wie alle Polyamide vor dem Druck trocknen (WP002).
- **Bahnen in Ableitrichtung legen:** Die Strecke zwischen Berührungsstelle und Erdungspunkt sollte möglichst in Bahnrichtung verlaufen, nicht durch viele Schichten.
- **Volle Füllung** in Bereichen, die ableiten müssen.
- **Erdungspunkt vorsehen:** etwa eine Bohrung für eine Schraube oder einen Gewindeeinsatz, über den das Bauteil mit der Erdung verbunden wird (WP005).

- **Verschleißfeste Düse:** leitfähig modifizierte Filamente sind abrasiver als ungefüllte (WP006).
- **Nachbearbeitung prüfen:** Schleifen, Lackieren oder Tempern können den Oberflächenwiderstand verändern. Danach immer nachmessen.

F3 PA ESD eignet sich besonders für Bauteile, die neben der Ableitfähigkeit auch mechanisch belastet werden, etwa Greiferfinger oder Werkstückaufnahmen, die häufig gewechselt werden. Hier zahlt sich die Festigkeit und Zähigkeit des Polyamids aus.

Wie bei allen ableitfähigen Bauteilen gilt: Die Freigabe erfolgt über die Messung am fertigen Teil nach Kapitel 06.

06 MESSEN UND PRÜFEN

Ein ESD-Bauteil ist erst dann freigegeben, wenn sein Widerstand am fertigen Bauteil gemessen wurde. Datenblattwerte beschreiben das Material, nicht das gedruckte Teil.

MESSVERFAHREN NACH IEC 61340-2-3

MESSUNG	WAS SIE AUSSAGT
Oberflächenwiderstand	Widerstand entlang der Oberfläche zwischen zwei Elektroden
Punkt-zu-Punkt-Widerstand	Widerstand zwischen zwei Punkten am Bauteil, praxisnah für fertige Teile
Widerstand gegen Erde	Widerstand von der Berührungsstelle bis zum Erdungspunkt, entscheidend im geschützten Bereich
Durchgangswiderstand	Widerstand durch das Material, etwa durch die Schichten

TAB. 4 Messverfahren nach IEC 61340-2-3.

WORAUF ACHTEN

- **Klima:** Bauteile vor der Messung im definierten Klima lagern. Polyamid verändert seinen Widerstand mit dem Feuchtegehalt.
- **Kontaktierung:** Die Elektroden müssen satt aufliegen. Auf rauen, geriffelten FFF-Oberflächen streuen die Messwerte sonst stark [Vasques et al. 2025].
- **Richtung:** an der Stelle und in der Richtung messen, in der das Bauteil im Einsatz ableiten soll.
- **Prüfspannung:** Die Norm legt sie abhängig vom Widerstandsbereich fest. Verschiedene Spannungen liefern bei gefüllten Kunststoffen unterschiedliche Werte.
- **Wiederholen:** ESD-Bauteile im Einsatz regelmäßig nachmessen, wie im ESD-Schutzprogramm nach IEC 61340-5-1 vorgesehen.

07 FAZIT

Ableitfähige Filamente machen ESD-gerechte Vorrichtungen im FFF-Druck möglich, doch der Widerstand eines gedruckten Bauteils ist nicht der des Filaments. Er hängt von Richtung, Schichthöhe, Temperatur, Füllung und Nachbehandlung ab. Mit Ableitweg in Bahnrichtung, voller Füllung, definiertem Erdungspunkt und einer Messung am fertigen Bauteil wird F3 PA ESD sicher eingesetzt.

QUELLEN

[1] IEC 61340-5-1 (DIN EN 61340-5-1): Elektrostatik – Schutz von elektronischen Bauelementen gegen elektrostatische Phänomene – Allgemeine Anforderungen

[2] IEC TR 61340-5-2: Elektrostatik – Anwenderleitfaden

[3] IEC 61340-5-3: Elektrostatik – Klassifizierung und Anforderungen an Verpackungen für elektrostatisch gefährdete Bauelemente

[4] IEC 61340-2-3 (DIN EN 61340-2-3): Elektrostatik – Prüfverfahren zur Bestimmung des Widerstands und des spezifischen Widerstands von festen Werkstoffen

[5] IEC 60079-32-1: Explosionsfähige Atmosphäre – Elektrostatische Gefährdungen, Leitfaden

[6] Dijkshoorn, Schouten, Stramigioli, Krijnen: Modelling of Anisotropic Electrical Conduction in Layered Structures 3D-Printed with Fused Deposition Modelling. Sensors 21(11), 3710, 2021. https://doi.org/10.3390/s21113710

[7] TU Braunschweig, Institut für Konstruktionstechnik: Characterization of the Anisotropic Electrical Properties of Additively Manufactured Structures Made from Electrically Conductive Composites by Material Extrusion. Polymers 16(20), 2891, 2024. https://doi.org/10.3390/polym16202891

[8] Influence of Process Parameters in Material Extrusion on Product Properties Using the Example of the Electrical Resistivity of Conductive Polymer Composites. Polymers 15(22), 4452, 2023. https://doi.org/10.3390/polym15224452

[9] Stankevich et al.: Electrical Resistivity of 3D-Printed Polymer Elements. Polymers 15(14), 2988, 2023. https://doi.org/10.3390/polym15142988

[10] Abdalla, Hamzah, Keattch, Covill, Patel: Augmentation of conductive pathways in carbon black/PLA 3D-printed electrodes achieved through varying printing parameters. Electrochimica Acta 354, 136618, 2020. https://doi.org/10.1016/j.electacta.2020.136618

[11] Vasques, Ferreira, Figueiredo, Abrantes: On the Electrical Resistivity Measurement Methods and Properties of Conductive 3D-Printing PLA Filaments. Engineering Proceedings 87(1), 26, 2025. https://doi.org/10.3390/engproc2025087026

ÜBER FIBERTHREE

Fiberthree entwickelt und produziert technische Filamente für den FFF-Druck in Darmstadt, mit Polyamid als Herzstück des Portfolios. Aus dem Hintergrund als Ingenieurbüro bieten wir darüber hinaus Engineering, Schulungen und Lohnfertigung auf über 30 Druckern an, vom Erstmuster bis zur Kleinserie.

WHITE-PAPER-REIHE

Alle White Paper finden Sie auf www.fiberthree.com. Wir aktualisieren die Reihe laufend, maßgeblich ist jeweils die neueste Fassung.

NR.	THEMA	HILFT BEI
WP001	Kunststoffe für den FFF-Prozess: Materialübersicht und Verfahrensvergleich	Werkstoff und Verfahren wählen
WP002	Einfluss von Feuchtigkeit auf Polymere im FFF-Prozess	Filament trocknen und trocken halten
WP003	Tempern und Nachbehandlung von FFF-Bauteilen	Tempern, Konditionieren, Nachbearbeiten
WP004	Fertigungsgerechtes Konstruieren für den FFF-Prozess	Bauteile FFF-gerecht auslegen
WP005	Gewindeeinsätze in FFF-Bauteile einschmelzen	Lösbare Schraubverbindungen
WP006	Düsenwahl für gefüllte Filamente	Düsenwerkstoff und -durchmesser
WP007	Druckbett und Haftung	Haftung der ersten Schicht
WP008	**Elektrostatisch ableitfähige Bauteile (ESD) im FFF-Druck (dieses Paper)**	**ESD-Bauteile drucken und prüfen**
WP009	Lagenhaftung in Aufbaurichtung: Düsentemperatur, Druckgeschwindigkeit und Hotend	Festigkeit in z-Richtung

TAB. 5 Übersicht der Fiberthree White Paper.

FIBERTHREE

START WITH THE RIGHT MATERIAL

ANSCHRIFT

DARMSTADT

FIBERTHREE GMBH
OTTO-HESSE-STR. 19
64293 DARMSTADT

KONTAKT

TELEFON

+49 6151 734 75 900 .
FIBERTHREE.COM

QUALITÄT

ISO 9001

DIN EN ISO 9001:2015 .
INKL. LOHNFERTIGUNG