

## Elektrostatik

Ursachen, Wirkungen, Schutzmaßnahmen, Messungen, Prüfungen, Normung

Bearbeitet von  
Hartmut Berndt

4., neu bearbeitete Auflage 2017. Buch. 376 S. Softcover  
ISBN 978 3 8007 3619 5

[Weitere Fachgebiete > Technik > Energietechnik, Elektrotechnik > Elektrotechnik](#)

Zu [Inhaltsverzeichnis](#)

schnell und portofrei erhältlich bei

**beck-shop.de**  
DIE FACHBUCHHANDLUNG

Die Online-Fachbuchhandlung [beck-shop.de](http://beck-shop.de) ist spezialisiert auf Fachbücher, insbesondere Recht, Steuern und Wirtschaft. Im Sortiment finden Sie alle Medien (Bücher, Zeitschriften, CDs, eBooks, etc.) aller Verlage. Ergänzt wird das Programm durch Services wie Neuerscheinungsdienst oder Zusammenstellungen von Büchern zu Sonderpreisen. Der Shop führt mehr als 8 Millionen Produkte.

### 10.2.4.5 Anforderungen an die ESD-Schutzzone (EPA)

Eine EPA ist so zu planen und zu entwerfen, dass ESDs zu keinem Zeitpunkt gefährdet werden. Elektrostatische Entladungen sind unbedingt zu vermeiden. Falls sie dennoch auftreten, sind sie klein zu halten. Von der Entladung ausgehende elektrische Felder dürfen einen Maximalwert von 100 V bzw. 100 V/cm nicht übersteigen.

Beim Einrichten einer EPA (**Bild 10.4**) müssen die Sicherheitsanforderungen zum Schutz der Personen unbedingt beachtet werden (vgl. DIN VDE 0100 [34]).

Die EPA selbst kann vielfältige Formen haben: Einzelarbeitsplatz, Arbeitsbereich, Lagerbereich, Service, Reparaturarbeitsplatz.

Der Zugang zur EPA muss auf das notwendige Personal begrenzt werden. Voraussetzung zum Betreten der EPA ist eine ESD-Schulung. Besucher oder nicht geschulte Personen dürfen nur in Begleitung von geschultem Personal die EPA betreten.

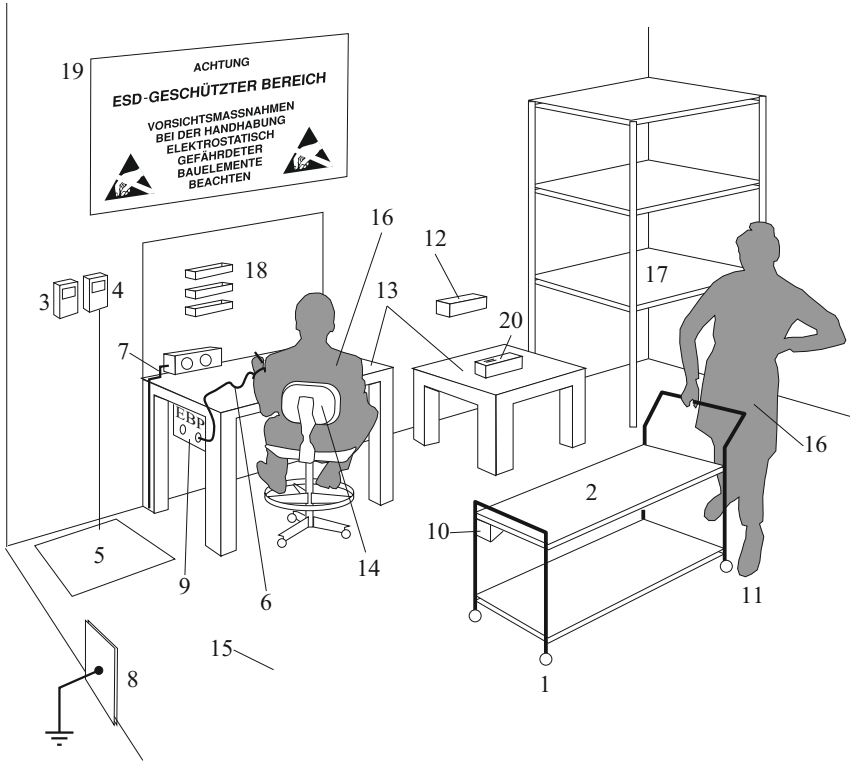
Besonders hinzuweisen ist auf eine „EPA mit frei liegenden Leitern“, deren Potential größer 250 V Wechsel- oder 500 V Gleichspannung ist. Diese besondere EPA ist mit einem Schild nach **Bild 10.3** zu kennzeichnen.

Für diese sogenannte „Hochspannungs-EPA sind die „Warnhinweise nach den einschlägigen nationalen Gesetzen“ zu beachten (DIN VDE 0100 [34]). An erster Stelle steht hier der Personenschutz. Es dürfen zu keinem Zeitpunkt Personen in Gefahr sein.

Die normale EPA muss von den anderen Bereichen deutlich abgegrenzt werden. Dazu eignen sich die Warnschilder nach Bild 10.5. Prinzipiell darf man nur hier mit ESDs umgehen. Oft wird diskutiert, ob in diesem Bereich auch nicht ESD-gefährdete Bauelemente benutzt werden dürfen. Selbstverständlich ist das zulässig, sofern diese Bauelemente oder Baugruppen oder deren Hilfsmittel vorhandene ESDs nicht gefährden.



**Bild 10.3** Kennzeichnungsschild für eine EPA mit frei liegenden Leitern



**Bild 10.4** EPA-ESD-gerecht eingerichtet

- 1 ableitfähige Räder
- 2 ableitfähige Oberfläche
- 3 Handgelenk-Erdungsarmbandtester
- 4 Schuhwerktester
- 5 Schuhwerktester-Fußplatte
- 6 Spiralkabel und Handgelenk-Erdungsarmband
- 7 Erdungskabel
- 8 Erdung/Potentialausgleich
- 9 Erdungskontaktpunkt (EBP)
- 10 Erdungspunkt für Transportwagen
- 11 Schuherdungstreifen oder ESD-gerechtes Schuhwerk
- 12 Ionisator
- 13 ESD-gerechte Arbeitsoberfläche
- 14 ESD-gerechter Stuhl mit ableitfähigen Gleitern oder Rollen
- 15 ableitfähiger Fußboden
- 16 ESD-gerechte Bekleidung
- 17 Regal mit ESD-gerechten Ablageflächen
- 18 ESD-gerechte Lagerbehälter
- 19 EPA-Kennzeichnung
- 20 Maschinen und Anlagen

Im Abschnitt 5.3.3 der Norm werden die grundsätzlichen Anforderungen der einzelnen Materialien und Ausrüstungen erläutert, die in einem kontrollierten Bereich (EPA) eingesetzt werden dürfen.

Eine Voraussetzung und grundsätzliche Anforderung gilt für alle Materialien:

Alle verwendeten ESD-Materialien müssen die Anforderungen des Abschnitts 5.3.3 der Norm erfüllen. Außerdem müssen die beschriebenen Eigenschaften bei der „höchsten und niedrigsten zu erwartenden oder geschätzten Luftfeuchtigkeit“ erfüllt werden. Ein Grenzwert für die Luftfeuchtigkeit wird nicht mehr angegeben. Alle ESD Ausrüstungen und Materialien müssen bei einer Luftfeuchtigkeit von 12 % geprüft werden. Damit ist die Angabe eines unteren Grenzwertes nicht mehr notwendig. Sinnvoll wäre ein Wert von ca. 30 %, aufgrund von anderen prozessbedingten Anforderungen wird oft ein Bereich zwischen 30 % und 40 % angegeben. Ist die zu erwartende Luftfeuchtigkeit geringer, müssen auch bei der geringen Luftfeuchtigkeit die Parameter eingehalten werden. Das zu verwendende Prüfklima wird im Abschnitt 10.7 „Normgerechte Prüfungen“ beschrieben. In diesem Abschnitt wird auch auf Besonderheiten bei verschiedenen Materialien eingegangen.

Ein Vorteil ist, dass alle Anforderungen auf die Ableitfunktion und damit auf den Ableitwiderstand reduziert werden. Das Grundanliegen, elektrostatische Entladungen, falls die vorhanden sein sollten, gefahrlos abzuleiten, wird damit erfüllt. Gleichzeitig garantieren ableitfähige Materialien eine geringe elektrostatische Aufladung.

### Arbeitsoberflächen

Alle Arbeitsoberflächen, Lagerregale, Transportwagen, auf denen ungeschützte ESDS abgelegt werden können, müssen an EPA-Erde angeschlossen werden und müssen einen Ableitwiderstand zur EPA-Erde aufweisen, der in Tabelle 3 (vgl. **Tabelle 10.3**) festgelegt ist. Die Arbeitsoberfläche darf keine elektrostatischen

EPA-Anforderungen	ESD-Kontroll-element	Produktqualifizierung <sup>a</sup>		Verifizierung der Einhaltung <sup>b</sup>	
		Prüfverfahren	Grenzwerte <sup>c</sup>	Basierend auf Prüfverfahren	Grenzwerte <sup>c</sup>
	Arbeitsoberflächen, Lagerregale und Transportwagen <sup>e</sup>	IEC 61340-2-3	$R_{gp} < 1 \cdot 10^9 \Omega$ $R_{p-p} < 1 \cdot 10^9 \Omega^f$	IEC 61340-2-3	$R_g < 1 \cdot 10^9 \Omega$
	Anschlusspunkt des Handgelenkerdungsbands				$R_g < 5 \cdot 10^6 \Omega$
	Bodenbelag	IEC 61340-4-1 <sup>d,e</sup>	$R_{gp} < 1 \cdot 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-1	$R_g < 1 \cdot 10^9 \Omega$

**Tabelle 10.3** EPA-Anforderungen (DIN EN 61340-5-1 (VDE 0300-5-1):2017-07, Tabelle 2 [7])

EPA-Anforderungen	ESD-Kontroll-element	Produktqualifizierung <sup>a</sup>		Verifizierung der Einhaltung <sup>b</sup>	
		Prüfverfahren	Grenzwerte <sup>c</sup>	Basierend auf Prüfverfahren	Grenzwerte <sup>c</sup>
	Ionisation	IEC 61340-4-7	Abbau (1000 V auf 100 V und -1000 V auf -100 V) < 20 s Offsetspannung < ± 35 V	IEC 61340-4-7	Abbau (1000 V auf 100 V und -1000 V auf -100 V) < 20 s oder vom Nutzer festgelegt Offsetspannung < ± 35 V
	Sitzgelegenheiten	IEC 61340-2-3 (Messung des Widerstands zum erdungsfähigen Punkt)	$R_{gp} < 1 \cdot 10^9 \Omega$	IEC 61340-2-3 (Messung des Widerstands gegen Erde)	$R_g < 1 \cdot 10^9 \Omega$
	EPA-Bekleidung	IEC 61340-4-9 oder vom Nutzer festgelegtes Verfahren	$R_{p-p} < 1 \cdot 10^{11} \Omega$ oder vom Nutzer festgelegter Grenzwert	IEC 61340-4-9 oder vom Nutzer festgelegtes Verfahren	$R_{p-p} < 1 \cdot 10^{11} \Omega$ oder vom Nutzer festgelegter Grenzwert
	Erdungsfähige EPA-Bekleidung	IEC 61340-4-9	$R_{gp} < 1 \cdot 10^9 \Omega$	IEC 61340-4-9	$R_{gp} < 1 \cdot 10^9 \Omega$

<sup>a</sup> Für die Produktqualifizierung sollten die Umgebungsbedingungen für die Prüfung bei  $(12 \pm 3) \%$  relative Luftfeuchte und  $(23 \pm 2) ^\circ\text{C}$  liegen. Wenn nicht in den verwiesenen IEC-Normen festgelegt, sollte die Mindestdauer zur Konditionierung auf Umgebungsbedingungen für die Produktqualifizierung 48 h betragen.

<sup>b</sup> Die Prüfverfahren in der Spalte für die Verifizierung der Einhaltung beziehen sich nur auf das grundlegende Prüfverfahren. Es wird nicht erwartet, dass die Prüfverfahren vollständig befolgt werden.

<sup>c</sup> In dieser Tabelle verwendete Symbole:  $R_{p-p}$  bezieht sich auf den Punkt-zu-Punkt-Widerstand,  $R_g$  bezieht sich auf den Widerstand zu Masse und  $R_{gp}$  bezieht sich auf den Widerstand zum erdungsfähigen Punkt.

<sup>d</sup> Die maximal zulässige Prüfspannung für die Messung von ESD-Bodenbelägen, die für ein mit dieser Norm übereinstimmendes ESD-Programm verwendet werden sollte, beträgt 100 V.

<sup>e</sup> Wenn ein Bodenbelag verwendet wird, um das Personal zu erden, das ESDS handhabt, wird auf die Systemanforderungen nach Tabelle 2 der DIN EN 61340-5-1 (VDE 0300-5-1):2017-07 verwiesen.

<sup>f</sup> In Situationen, bei denen eine Schädigung durch das Charged Device Model (CDM) in Betracht gezogen werden muss, wird ein unterer Grenzwert des Punkt-zu-Punkt-Widerstands von  $1 \cdot 10^4 \Omega$  empfohlen.

<sup>g</sup> Arbeitsflächen sind festgelegt als jede Oberfläche, auf der ein ESD-empfindliches Element abgelegt wird.

**Tabelle 10.3** (Fortsetzung) EPA-Anforderungen (DIN EN 61340-5-1 (VDE 0300-5-1):2017-07, Tabelle 2 [7])

Ladungen aufbauen. Falls solche Ladungen durch Materialien, Transportmittel usw. auf die Arbeitsoberfläche gebracht werden, müssen sie gefahrlos abfließen können. Als Ableitwiderstand wird nur ein maximaler Wert von  $< 1 \cdot 10^9 \Omega$  gefordert. Der untere Grenzwert wird nur dann erforderlich, wenn eine schlagartige Entladung (oder eine Entladung nach CDM) zu erwarten wäre. Die Arbeitsoberfläche muss zusätzlich mit dem Erdungssystem verbunden werden. Metalloberflächen sind ungeeignet. Sie gewährleisten keinen ausreichenden Schutz der ESDS, weil vorhandene elektrostatische Ladungen schlagartig abfließen. Dieses schlagartige Entladen führt zu sehr hohen elektrostatischen Feldern. Diese beeinflussen wiederum die ESDS. Ein eingebauter Schutzwiderstand zwischen Metallplatte und Erdungsanschlusspunkt verhindert dieses schnelle Entladen nicht, da die Metallplatte einen großen Kondensator darstellt, der eine umfangreiche Ladungsmenge sehr schnell aufnehmen kann.

### *Fußboden*

Alle Fußbodenoberflächen müssen einen Ableitwiderstand nach Tabelle 3 (vgl. Tabelle 10.3) aufweisen. Der Ableitwiderstand darf den Wert von  $1 \cdot 10^9 \Omega$  nicht überschreiten. Der Fußboden muss an den Erdungsanschlusspunkt bzw. an den Potentialausgleich angeschlossen werden.

Ein unterer Grenzwert wird nicht mehr angegeben. Der erste Grund ist, dass keine ESDS auf dieser „Fläche“ bearbeitet werden. Zum anderen, wenn ESDS über einen ESD-gerechten Fußboden transportiert werden, dann in ESD-Behältern oder von Personen, die die ESD-Anforderungen erfüllen. Für die Ableitung von Personen werden grundsätzlich Handgelenk-Erdungsarmbänder benutzt, nur wenn diese nicht einsetzbar sind, können Personen über ESD-Schuhe und ESD-Fußboden entladen werden. Dann gelten aber folgende Grenzwerte für das System: Person – Schuhe – Fußboden:  $3,5 \cdot 10^7 \Omega$ . Diese Einschränkung ist notwendig, weil Personen ansonsten sich auf bis zu 1 000 V aufladen könnten. Diese Einschränkung des Widerstands garantiert maximale elektrostatische Aufladung von Personen unterhalb von 100 V (vgl. Abschnitt 10.2.4.4). Zukünftig wird für den Systemwiderstand der Grenzwert auf  $1 \cdot 10^9 \Omega$  angehoben, dafür muss aber regelmäßig die Personenaufladung (Walking Test) überprüft werden.

Für den unteren Grenzwert für Fußböden gelten aber nationale Sicherheitsanforderungen, vgl. DIN VDE 0100, wenn diese gefordert werden.

### *Sitzgelegenheiten*

Stühle oder besser Sitzgelegenheiten sind definiert über den Ableitwiderstand. Der „Widerstand aller Bereiche der Sitzgelegenheit, die bei normaler Benutzung mit dem menschlichen Körper in Kontakt kommen können, muss zu einem Fußbodenkontakt-punkt“ einen Ableitwiderstand gemäß Tabelle 3 (vgl. Tabelle 10.3) aufweisen. Grundsätzlich müssen Stühle und sonstige Sitzgelegenheiten elektrostatische Ladungen ableiten. Elektrostatische Ladungen entstehen durch den Kontakt der Bekleidung des Personals mit dem Bezugsstoff. Diese Ladungen werden über das Stuhlmaterial zum Fußboden abgeleitet. Elektrostatische Ladungen von der Person können nicht direkt

abgeleitet werden, da die Bekleidung in der Regel isoliert. Der Stuhl ist kein Ersatz für ein Handgelenk-Erdungsarmband. Für den Bezugsstoff wird ein Oberflächenwiderstand zwischen  $1 \cdot 10^4 \Omega$  und  $1 \cdot 10^9 \Omega$  gefordert. Zwischen den einzelnen Stuhlteilen muss eine elektrische Verbindung bestehen. Der Ableitwiderstand zum Fußboden (leitfähige Rollen – Metallplatte) muss kleiner als  $1 \cdot 10^9 \Omega$  sein. Die Rückseite der Rückenlehne sowie alle anderen Teile dürfen sich nicht elektrostatisch aufladen. Es sind also elektrostatisch ableitfähige Materialien einzusetzen.

### *Kleidung*

Grundsätzlich muss die verwendete Bekleidung die gesamte nicht-ESD-gerechte Bekleidung abdecken, mindestens im Bereiche der Arme und des Oberkörpers. Der Oberflächenwiderstand muss kleiner als  $1 \cdot 10^{11} \Omega$  sein. Ein Ableitwiderstand kann nicht angegeben werden, weil die ESD-Kleidung normalerweise keinen ESD-Erdungspunkt aufweist. Die Kleidung muss direkten oder indirekten Kontakt mit der Haut des Mitarbeiters haben. Zwischen den einzelnen Teilen der Bekleidung muss eine elektrische Verbindung bestehen. Der untere Grenzwert darf nicht kleiner als  $7,5 \cdot 10^5 \Omega$  sein, sonst würden Probleme beim Personenschutz entstehen.

In der Vergangenheit hatte sich Baumwolle als Bekleidung bewährt. Inzwischen gibt es Erkenntnisse, dass sich dieses Material elektrostatisch aufladen kann. Bei Aufladungen, die in der Größenordnung zwischen 300 V und 800 V liegen, gab es früher keine Probleme mit ESDs. Inzwischen sind ESDs jedoch derart empfindlich, dass elektrostatische Aufladungen in dieser Größenordnung ESDs schädigen können.

ESD-Bekleidung ist selbstverständlich mit den entsprechenden Aufklebern, Logos usw. gegenüber anderer Bekleidung zu kennzeichnen.

### *Handschuhe und Fingerlinge*

Inzwischen werden immer mehr Fingerlinge und Handschuhe benutzt. Auch diese müssen die Anforderungen für den Einsatz in einer EPA erfüllen. Das Material selbst muss die Widerstandsanforderungen erfüllen. Widerstandsgrenzwerte sind nicht festgelegt, ein neues Prüfverfahren wurde unter Abschnitt 9.4.5.3 beschrieben. Sinnvoll ist die Überprüfung des Systemwiderstands; die Handschuhe und Fingerlinge werden mit den Handgelenk-Erdungsarmbändern und Schuhen überprüft.

Zur Verbesserung der Kontaktierung von Personen können Handcremes verwendet werden. Es gibt immer Personen mit sehr trockener Haut. Daraus entstehen Probleme mit der Kontaktierung von Handgelenk-Erdungsarmbändern. Ob die leitfähige Handcreme dann die richtige Lösung ist, bleibt fragwürdig. Werden Handcremes generell zum Arbeitsschutz eingesetzt, dann sind ESD-gerechte Cremes zu wählen.

### *Handgelenkerdung, Handgelenk-Erdungsarmband, Erdungskabel*

Die beste Möglichkeit, elektrostatische Aufladungen von Personen gefahrlos abzuleiten, ist die Handgelenkerdung. Es gibt kein anderes System, das so sicher ist. ESD-gerechte Schuhe z. B. verursachen immer wieder Probleme.

Die Handgelenkerdung besteht aus einem Handgelenk-Erdungsarmband, das das Handgelenk fest umschließt, und einem Verbindungskabel, das das Handgelenk-Erdungsarmband mit dem Erdungskontaktpunkt verbindet.

### **1. Handgelenk-Erdungsarmband**

Das Material, aus dem das Handgelenk-Erdungsarmband hergestellt wird, muss auf der Innenseite gut leitfähig sein. Der Oberflächenwiderstand darf nicht größer als  $1 \cdot 10^7 \Omega$  sein. Das Handgelenk-Erdungsarmband muss das Handgelenk eng umschließen und mit einer Leitung, die die Verbindung zum EBP herstellt, versehen sein. Der Widerstand zwischen Innenseite und dem Erdungspunkt muss dem angegebenen Wert in Tabelle 10.3 entsprechen. Üblicherweise werden Handgelenk-Erdungsarmbänder mit einer leitfähigen Carbonfaser hergestellt, es gibt auch Ausführungen mit Silberdrähten u. Ä. Die Innenseite des Bands muss sich mit dem Verbindungskabel direkt kontaktieren lassen. Für die äußere Seite und die seitlichen Kanten ist Isolieren vorgeschrieben, weiterhin müssen alle blanken Teile einschließlich Verbindung zum Kabel isoliert ausgeführt sein. Die Isolierung soll die Personensicherheit gewährleisten.

Ein Problem sind Allergien bzw. entsprechende Erscheinungen beim Tragen der Armbänder. Hervorgerufen werden diese meist durch Nickelbestandteile in den Armbändern und hier besonders bei Metallgliederbändern. Bei vielen Armbändern wird darauf geachtet, dass kein Nickel eingesetzt wird. Metallgliederbänder sind in der Regel nicht ganz frei von Nickel. Inzwischen gibt es weit mehr Allergietypen, sodass diese sogar von Kunststoff und Kunststoffverbindungen hervorgerufen werden. In speziellen Problemfällen kann man nur die Verträglichkeit der Materialien mit der Haut der Einzelperson testen.

### **2. Verbindungskabel, Erdungskabel**

Folgende Anforderungen bestehen für das Verbindungs- bzw. Erdungskabel: Es muss aus einem isolierten Draht hergestellt sein. Im Kabel muss mindestens ein isolierter Strombegrenzungswiderstand eingebaut sein. Üblich sind Werte von  $1 \cdot 10^6 \Omega$  (mindestens  $9 \cdot 10^5 \Omega$ , höchstens  $5 \cdot 10^6 \Omega$ ) an dem für das Handgelenk bestimmten Ende. Der Gesamtwiderstand des Kabels zwischen den Enden darf nicht größer sein als  $5 \cdot 10^6 \Omega$  (Belastbarkeit:  $0,25 \text{ W pro } 1 \cdot 10^6 \Omega$ ). Die Kabel sind einem Spannungstest zu unterziehen. Das Kabel muss diesen ohne Schäden überstehen.

Generell dürfen keine Kabel eingesetzt werden, die nur mittels ihrer Länge den minimal notwendigen Widerstand erzeugen.

### **3. Gesamtwiderstand zwischen Handgelenk-Erdungsarmband und Erdungsanschluss**

Der Widerstand zwischen der Handfläche und dem Erdungsanschluss darf aus Personenschutzgründen einen Mindestwiderstand von  $9 \cdot 10^5 \Omega$  nicht unterschreiten und einen Maximalwert von  $3,5 \cdot 10^7 \Omega$  nicht überschreiten. Verbindungsleitungen,



die an Arbeitsplätzen eingesetzt werden, an denen das Potential größer als 250 V Wechsel- oder 500 V Gleichspannung ist, müssen entsprechend diesen Anforderungen ausgeführt und geprüft sein.

Es hat sich gezeigt, dass in normalen Standard-Spiralkabeln in jedem Anschluss ein strombegrenzender Widerstand von  $1 \cdot 10^6 \Omega$  integriert ist. Das vereinfacht auch die folgende Regelung:

Sind die Anschlüsse am Handgelenk-Erdungsarmband und am Erdungsanschluss gleich, dann ist das Ende des Kabels mit dem Schutzwiderstand zu kennzeichnen und stets mit dem Handgelenk-Erdungsarmband zu verbinden.

Sollen Spiralkabel an Arbeitsplätzen eingesetzt werden, an denen mit Wechselspannung zwischen 250 V und 1000 V gearbeitet wird, sind nach der Richtlinie der Berufsgenossenschaft Kabel mit Widerständen von mindestens  $3 \cdot 10^6 \Omega$  einzusetzen.

### *Schuhwerk, Fußerdungsbänder, Schuhspitzen- und Absatzableiter*

Das ESD-gerechte Schuhwerk, die Fußerdungsbänder usw. müssen stets einen guten Kontakt der Person zum leitfähigen Fußboden garantieren. Das Schuhwerk ersetzt nicht die Handgelenkerdung. In sitzender Tätigkeit ist die Handgelenkerdung die einzige und beste Möglichkeit, elektrostatische Ladungen abzubauen. Müssen die Personen sehr viel laufen, ist Ableiten über die Schuhe und den ESD-gerechten Fußboden sinnvoll.

Der Widerstand zwischen Handfläche und Fußboden (in der Prüfeinrichtung durch eine Metallplatte realisiert, auf der beide Füße stehen) muss kleiner  $1 \cdot 10^8 \Omega$  sein.

### *Ionisierung*

Ionisatoren müssen Ladungen beider Polaritäten erzeugen. Ionisierung ist eine zusätzliche Methode, elektrostatische Ladungsansammlungen zu neutralisieren. Sie muss angewandt werden, wenn Materialien, Ausrüstungen, Geräte usw. nicht mehr geerdet werden können. Das bezieht sich vor allem auf Gehäusematerialien. Für Geräte, die zur Ionisation eingesetzt werden, gelten folgende Anforderungen:

Die Ionisierungsgeräte müssen einen konstanten und gleich bleibenden Strom von negativen und positiven Ionen erzeugen. Sinnvoll ist der Einsatz von Ionisatoren mit automatischen Feedbacksteuerungen, die Polarität und die Intensität der Ionisation überwachen. Die Stärke der erzeugten Ionen wird durch die Überwachung der zu entladenden Teile oder des zu überwachenden Arbeitsplatzes gesteuert.

Entscheidend ist, dass die Funktion des Ionisators ständig überwacht werden muss. Werden z. B. zu viele Ladungen einer Polarität erzeugt, kann es anstelle der gewünschten Entladung leicht zum Aufladen der Oberfläche kommen.

Ionisation ersetzt auf keinem Fall die Handgelenkerdung, leitfähige Arbeitsplatzaufgaben oder ableitfähige Fußböden.

In den folgenden Punkten wird auf die Sicherheit und die Ozonfreiheit der verwendeten Geräte hingewiesen. Früher wurden oft radioaktive Ionisatoren eingesetzt, diese erfordern besondere Voraussetzungen.

Die Ionisierungsgeräte müssen innerhalb einer EPA garantieren, dass elektrostatische Aufladungen jeder Polarität auf der Arbeitsoberfläche in weniger als 20 s auf einen Wert unterhalb von 100 V abgebaut werden.

Die Ionisierungsgeräte müssen die Raumladungskonzentration von positiven und negativen Ladungen ausgeglichen aufrechterhalten. Gleichzeitig muss nach einer Einlaufphase des Geräts (20 s) das Oberflächenpotential ständig unter 100 V (besser 35 V oder 10 V) gehalten werden. Zusätzlich dürfen die Geräte natürlich keine elektrostatischen Felder innerhalb einer EPA erzeugen.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, Ionisation ist eine Methode zur Neutralisierung von Ladungen überall dort, wo eine Erdung nicht durchgeführt werden kann. „In vielen modernen Montage-, Prüf- und Reparaturbereichen ist die Automatisierung nun ein Hauptfaktor geworden, und die Erdung einiger Geräte oder Geräteteile ist nicht durchführbar. In diesen Bereichen ist der Einsatz von geeigneten Ionisationsgeräten besonders zu empfehlen.“

### *Relative Luftfeuchtigkeit*

Die relative Luftfeuchtigkeit spielt bei elektrostatischen Auf- und Entladevorgängen eine entscheidende Rolle. Erhöhen der relativen Luftfeuchtigkeit ist keine Maßnahme, um elektrostatische Ladungen zu minimieren. Eine zu hohe Luftfeuchtigkeit erhöht das Risiko von anderen Fehlern (z. B. Korrosion).

Die relative Luftfeuchtigkeit ist ständig über 20 % zu halten. Wird eine Luftfeuchtigkeit unter 20 % erreicht oder sollen ESD-Kontrollmaßnahmen in Bereichen realisiert werden, in denen die relative Luftfeuchtigkeit ständig unter 20 % liegt, dann müssen auch die Materialeigenschaften bei diesem Wert gewährleistet werden.

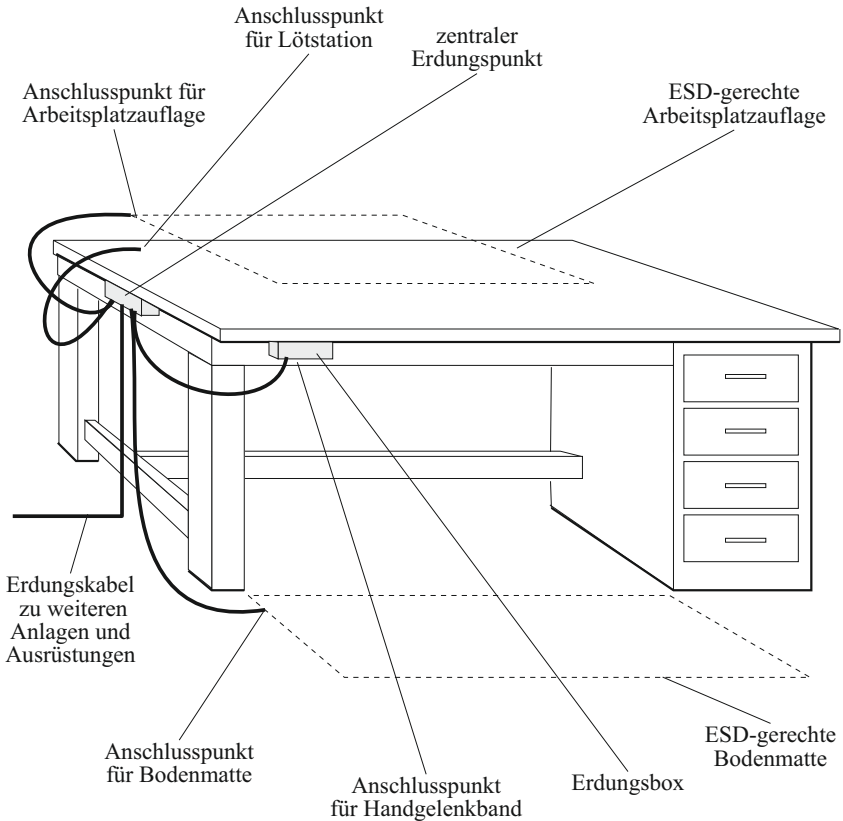
### *Aufbau einer ESD-Schutzzone*

Die bisher genannten Anforderungen an die einzelnen Materialien und Ausrüstungen gelten für jedes einzelne Objekt (vgl. Bild 10.4). Welche ESD-Kontrollmaßnahmen sind in einer EPA notwendig, und vor allem, wie sollen diese realisiert werden?

## **1. ESD-Erdungseinrichtung**

Jede EPA muss eine deutlich markierte ESD-Erdungseinrichtung aufweisen (**Bild 10.5**). Die ESD-Erdungseinrichtung muss so ausgeführt werden, dass keine „plötzlichen“ Potentialdifferenzen innerhalb der EPA auftreten.

Als ESD-Erdungseinrichtung kann die Haupterde verwendet werden. An sie ist die Einrichtung direkt anzuschließen. Danach kann die ESD-Erdungseinrichtung verzweigt werden, sodass sie an allen Punkten innerhalb einer EPA gut zugänglich ist. Das EBP-Verbindungssystem darf nicht kompatibel zu einem anderen Verbindungssystem (Netzgeräte) sein. Die elektrisch leitenden Teile müssen gut isoliert sein. Die Ausführung der EPA-Erdungseinrichtung muss gemäß Bild 10.1 oder



**Bild 10.5** Erdungssystem mit Anschlusspunkten für die einzelnen Ausrüstungen am Arbeitsplatz [75]

Bild 10.2 erfolgen. Alle Kontaktpunkte der ESD-Erdungseinrichtung müssen mit den entsprechenden Schildern deutlich gekennzeichnet werden.

## 2. Personenschutz in einer EPA

Die EPA und alle verwendeten Materialien und Ausrüstungen müssen so ausgelegt werden, dass im Fehlerfall Personen nicht gefährdet werden. Die Anforderungen von DIN VDE 0100 sind unbedingt zu erfüllen. Die eingebauten Widerstände oder die Widerstände der Arbeitsplatzoberflächen und Fußböden müssen so ausgelegt werden, dass es im Fall einer Parallelschaltung zu keinen gefährlichen Strömen für die Person kommt.

### **3. Ableitwiderstände zur Strombegrenzung, Ableitwiderstände**

Beim Realisieren der Ableitwiderstände muss darauf geachtet werden, dass die Anforderungen für den Personenschutz ständig eingehalten werden. Wie bereits angemerkt wurde, darf es durch parallele Stromkreise nicht zum Unterschreiten des Mindestwerts kommen.

Die für die einzelnen Materialien und Ausrüstungen vorgegebenen Widerstandswerte müssen durch das Material selbst erreicht werden. Ein zusätzlicher Serienwiderstand ist aus physikalischer Sicht nicht sinnvoll. Würde man z. B. als Arbeitsplatzauflage eine Metallplatte mit einem zusätzlichen Serienwiderstand von  $1 \cdot 10^6 \Omega$  einsetzen, würde die ESD-Anforderung formell erfüllt. Die ESDS kann man aber damit nicht schützen. Ist das Bauelement elektrostatisch geladen, kommt es beim Berühren der Metallplatte zum sofortigen und vor allem schlagartigen Abfluss aller Ladungen an die Metallplatte, weil diese eine sehr viel größere Kapazität gegenüber dem Bauelement darstellt und die gesamte Ladung übernehmen kann. Das Bauelement wäre mindestens vorgeschädigt. Der Aspekt des Personenschutzes käme noch hinzu, denn die Metallplatte müsste aus sicherheitstechnischen Gründen mit dem Schutzleiter direkt verbunden werden. Der Serienwiderstand wäre damit überbrückt und unwirksam.

### **4. Stühle**

Die in einer EPA vorhandenen Stühle müssen die Anforderungen nach Tabelle 10.3 erfüllen. Die Stühle dienen aber nicht als „primäres Mittel zur Erdung des Personals“, d. h., elektrostatische Ladungen können von der Person nicht über den Stuhl zum ESD-gerechten Fußboden abfließen.

### **5. Bekleidung**

Die in einer EPA verwendete Bekleidung muss Tabelle 10.3 entsprechen. Für das gesamte Personal, auch für Besucher, muss ausreichend ESD-gerechte Bekleidung zur Verfügung stehen.

### **6. Schuhe**

Werden Schuhe, Schuh-Erdungsbänder usw. als primäres Mittel zum Vermeiden elektrostatischer Aufladungen und zum Ableiten vorhandener Aufladungen von der Person benutzt, muss der Fußboden die Anforderungen nach Tabelle 10.2 der Norm erfüllen.

### **7. Erdung der Arbeitsoberfläche**

Jede Arbeitsoberfläche muss einzeln an einen Erdungspunkt angeschlossen werden. Eine Serienschaltung mehrerer Arbeitsoberflächen ist nicht zulässig.

### **8. Erdungsanschlüsse**

Folgende Punkte müssen bei der Ausführung der Erdungsanschlüsse oder des EPA-Erdungsanschlusspunkts (EBP) beachtet werden:

- An jedem Arbeitsplatz muss ein gut zugänglicher Erdungsanschluss für ein Handgelenk-Erdungsarmband vorhanden sein. Dieser Anschluss muss so angebracht werden, dass die eigentliche Arbeit nicht behindert werden kann. Wird der Ableitwiderstand von  $3,5 \cdot 10^7 \Omega$  nicht überschritten, kann über die Arbeitsplatzoberfläche geerdet werden. Der Erdungsanschluss kann mit dem Erdungspunkt der Arbeitsplatzoberfläche verbunden werden (vgl. Bild 10.5).
- Für mögliche Besucher am Arbeitsplatz sind geeignete Anschlüsse vorzusehen. Es sind mindestens zwei Anschlüsse für Handgelenk-Erdungsänder vorzusehen.
- Der Erdungsanschluss für das Handgelenk-Erdungsarmband muss einen „ständigen elektrischen Strompfad zur ESD-Erdungseinrichtung“ garantieren.
- Das Steckverbindingssystem zwischen dem Handgelenk-Erdungskabel und dem nachfolgenden Strompfad zur ESD-Erdungseinrichtung muss so gestaltet sein, dass die Steckerteile der Handgelenk-Erdungskabelverbindung und die Erdungskontaktverbindung ... vollständig mechanisch passend sind. Speziell bedeutet dies, dass Krokodilklemmen und Ähnliches für den Anschluss des Handgelenk-Erdungsarmbands an die Erdungseinrichtung ungeeignet sind. Eine ähnlich schlechte Kontaktierungsmöglichkeit bieten Magnetkontakte. Diese gewährleisten eventuell einen gewissen mechanischen Kontakt, aber nicht unbedingt eine elektrische Verbindung. Magnete halten auch auf lackierten Metallflächen!
- Das Erdungsanschlusssystem darf auf keinen Fall mit einem Stecker der Stromversorgung/Netzspannung/Laborstromversorgung oder einem anderen Steckverbindingssystem in der EPA kompatibel sein, die einen Kontakt mit der Netzspannung ermöglichen.
- Alle elektrisch leitenden Teile des Verbindungssystems müssen außen isolierend ausgeführt sein. Ein eventueller Kontakt mit Strom führenden Leitungen und eventuell defekten Geräten muss so ausgeschlossen werden.
- Um die Möglichkeit einer unbeabsichtigten Kontaktunterbrechung zu vermeiden, muss das Verbindungssystem eine ausreichende mechanische Zugkraft aufweisen. Es werden Druckknopfsysteme oder ähnliche Stecksysteme empfohlen.
- Die Erdungsanschlüsse sind mit den entsprechenden Schildern gut sichtbar zu kennzeichnen.

## 9. EPA-Erdungskabel

„EPA-Erdungskabel müssen für elektrische Verbindungen zwischen Erdungspunkten und der EPA-Erdungseinrichtung verwendet werden“. Im Zusammenhang mit ESD-Kontrollmaßnahmen ist der Begriff des „Potentialausgleichs“ oder vereinfacht der „Erdung“ zu verwenden. Folgende Anforderungen sind für EPA-Erdungskabel oder Erdungsanschlussleitungen zu erfüllen:

- Zwischen der ESD-Erdungseinrichtung, dem Erdungspunkt und dem Potentialausgleich ist eine elektrische Verbindung notwendig.

- Die Verbindung zwischen der Arbeitsoberfläche, dem Fußboden und der ESD-Erdungseinrichtung muss ständig vorhanden sein. Die Verbindung kann Widerstände enthalten, sie kann „dauerhaft“ oder „abtrennbar“ sein, d. h., sie kann fest angeschlossen sein, was beim Fußboden sinnvoll ist, oder sie kann steckbar sein.
- Wie schon bei den Erdungsanschlüssen festgestellt wurde, müssen auch alle leitenden Teile des Verbindungssystems isolierend ausgeführt sein, um eine mögliche Kontaktierung mit fehlerhaften Geräten zu vermeiden.
- Ebenfalls gilt bei den Erdungsleitungen auch die Forderung, dass die Verbindungen eine ausreichende Zugkraft aufweisen müssen, um unbeabsichtigte Unterbrechungen zu vermeiden.

## 10. EPA-Erdungsanschlusspunkte (EBP)

Erdungsanschlüsse bzw. Erdungspunkte müssen folgende Anforderungen erfüllen:

- An allen Arbeitsplatzoberflächen, Arbeitsplätzen, Fußbodenbelägen für nicht dauerhaften Einsatz sind Erdungspunkte vorzusehen.
- Der Erdungspunkt ist wiederum deutlich sichtbar zu kennzeichnen.
- Besonders wird darauf hingewiesen, dass bei mehrschichtigen Belägen, Tisch- und Fußbodenbelägen immer die hochleitfähige Schicht kontaktiert wird. Homogene und dauerhafte oder fest verlegte Fußbodenbeläge sind fest mit dem Potentialausgleich zu verbinden.
- Die hochleitfähigen Schichten bei mehrschichtigen Belägen und Materialien müssen so eingesetzt werden, dass ein direkter Kontakt mit Strom führenden Leitungen, defekten Geräten oder direkten Schutzleiteranschlüssen vermieden wird. Beim Kontakt mit diesen Einrichtungen könnte es sonst zur Überbrückung von Widerständen kommen, und die ESD-Kontrollmaßnahmen wären wirkungslos.

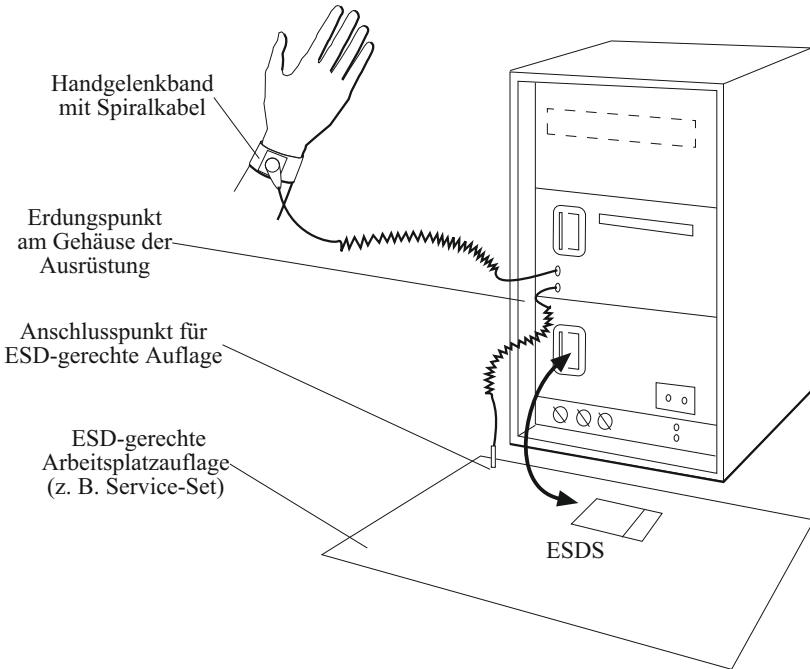
## 11. Nicht stationäre Arbeitsplätze

Werden vorübergehende Arbeitsplätze (**Bild 10.6**) eingerichtet, sind folgende Punkte besonders zu beachten:

Die oben beschriebenen Anforderungen für Erdungspunkt, Erdungskabel und Kontaktpunkt sind unbedingt einzuhalten. Der Fußbodenbelag oder die Fußbodenmatte muss mit der Arbeitsplatzoberfläche oder der Arbeitsplatzaufgabe verbunden sein. Zusätzlich muss gewährleistet sein, dass keine blanken oder hochleitfähigen Teile der Arbeitsplatzoberfläche oder des Fußbodenbelags direkten Kontakt zu anderen Erdungssystemen haben, d. h., dass keine Schutzwiderstände überbrückt werden. Für die Ableitwiderstände gelten die Anforderungen für Arbeitsplatzoberflächen.

## 12. Elektrostatische Felder

Elektrostatische Felder beeinflussen elektronische Bauelemente und Baugruppen bzw. ESDS. Elektrostatisch empfindliche Bauelemente und Baugruppen (ESDS)



**Bild 10.6** Bestandteile eines transportablen Arbeitsplatzes – Handlungen [7]

Herstellen des ESD-gerechten Arbeitsplatzes:

- Auslegen der ESD-gerechten Arbeitsplatzauflage,
- Herstellen der Verbindung Auflage–Erdungspunkt,
- Anlegen des Handgelenk-Erdungsarmbands,
- Herstellen der Verbindung Handgelenk–Gehäuse,
- Entnahme der defekten oder zu prüfenden Baugruppe und Ablage auf der ESD-gerechten Arbeitsplatzauflage

dürfen keinen elektrostatischen Feldern größer  $5 \text{ kV/m}$  (entspricht  $50 \text{ V/cm}$ ) ausgesetzt werden. Elektronische Bauelemente werden immer empfindlicher. Aus diesem Grund ist zu überlegen, ob der Grenzwert für die elektrostatische Feldstärke nicht zu groß ist. Andererseits gibt es so viele Quellen für elektrostatische Aufladungen, dass sehr oft größere elektrostatische Feldstärken vorhanden sind.

Da es oft sehr schwierig ist, die elektrostatische Feldstärke zu bewerten, kann es sinnvoll sein, die elektrostatische Aufladung oder Spannung zu bewerten. Der Grenzwert liegt bei maximal  $100 \text{ V}$ .

Ist es unbedingt notwendig, Geräte in einer EPA zuzulassen, deren elektrisches Feld oder elektrisches Potential höher als  $5 \text{ kV/cm}$  ist, dann sind unbedingt Maßnahmen gegen diese elektrostatischen Felder oder Aufladungen zu unternehmen. Im Zweifel

ist der Bereich auszunehmen und als Nicht-ESD-Bereich zu kennzeichnen. ESDS dürfen in diesen Bereich nicht gehandhabt werden.

Die neue Norm definiert folgende Anforderungen an elektrostatische Felder in einer EPA:

Alle nicht notwendigen Isoliermaterialien (Kunststoffe und Papier) wie Kaffeetasen, Behälter für Lebensmittel und Esswaren sowie persönliche Gegenstände müssen vom Arbeitsplatz oder anderen Arbeitsgängen, an denen ESDS gehandhabt werden, entfernt werden.

Die von prozessrelevanten Isolatoren ausgehende Bedrohung muss analysiert werden, um sicherzustellen, dass:

- das elektrostatische Feld am Ort, an dem die ESDS gehandhabt werden, 5000 V/m nicht übersteigt
- wenn das elektrostatische Potential an der Oberfläche des prozessrelevanten Isolators 2000 V übersteigt, muss der Gegenstand mindestens 30 cm vom ESDS entfernt sein
- wenn das an der Oberfläche des prozessrelevanten Isolators gemessene elektrostatische Potential 125 V übersteigt, der Gegenstand mindestens 2,5 cm vom ESDS entfernt sein muss

Wenn das gemessene elektrostatische Feld oder die Oberflächenspannung die genannten Grenzwerte übersteigt, müssen Ionisatoren oder andere ladungsreduzierende Techniken angewandt werden.

### **13. Zertifizierung**

Ist die EPA ESD-gerecht ausgerüstet, muss der ESD-Koordinator die EPA kontrollieren und ein Zertifikat ausstellen. Zertifizieren kann z. B. der eigene ESD-Koordinator. Zur Sicherheit können auch unabhängige Institutionen mit der Überprüfung beauftragt werden.

- interne Auditierung
- externe Auditierung
- Lieferantenauditierung
- Kundenauditierung

#### *Transportable Arbeitsplätze – Arbeiten im Feld*

Bei einigen Arbeiten ist keine stationäre EPA verfügbar, z. B. im Service, bei der Installation von Anlagen, beim Austausch von defekten Baugruppen und vereinzelt in Lager- und Versandbereichen. In diesen Fällen ist es notwendig, bei der Handhabung ungeschützter ESDS besondere ESD-Kontrollmaßnahmen zu treffen. In der Norm spricht man von „Arbeiten im Feld“. Besonders hervorgehoben werden Tätigkeiten bei der „Auftragszusammenstellung von Bauelementen und Baugruppen“. Diese werden im Wareneingang und im Versand ausgeführt. In diesen Bereichen sind ESDS ungeschützt, wenn sie zwecks Überprüfen von Identität und Anzahl aus den Verpackungen herausgenommen werden. Zusätzlich werden in diesen Berei-

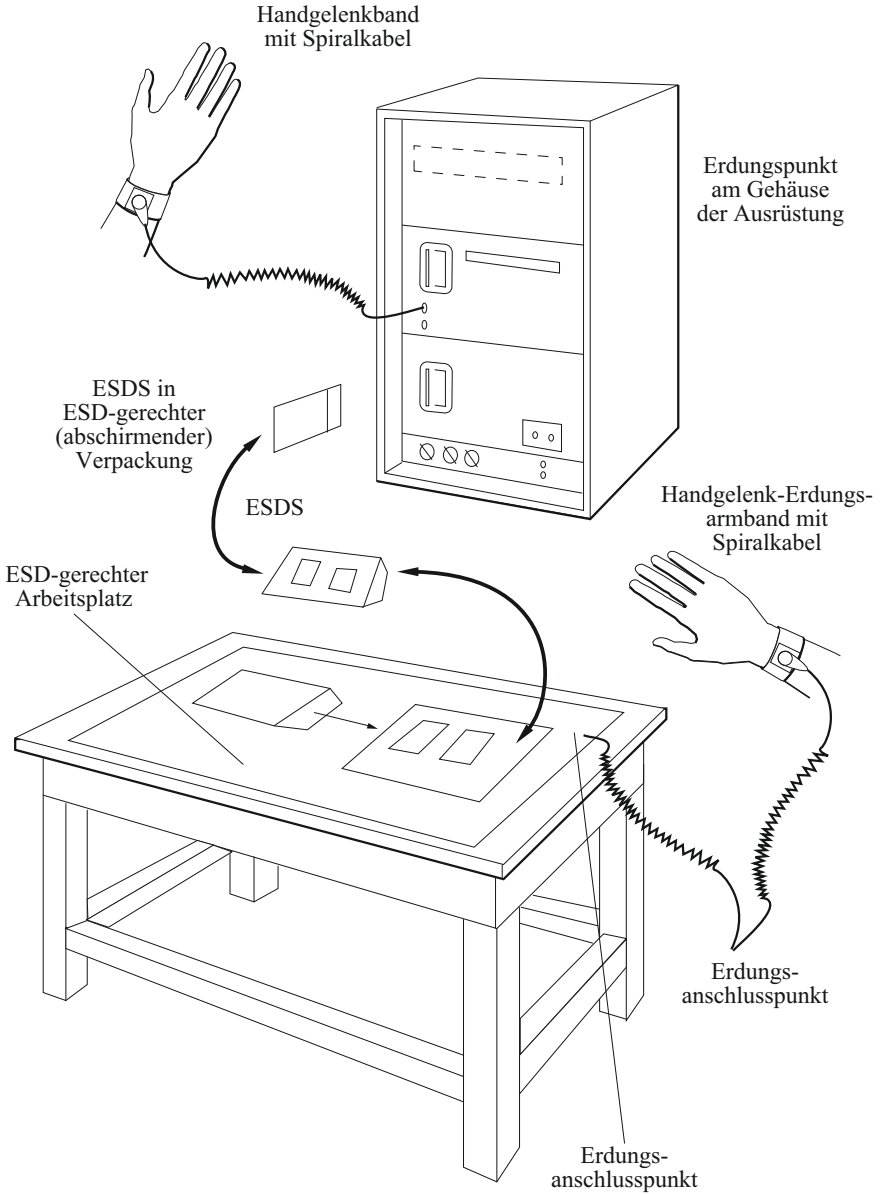


chen Materialien (Verpackungsmaterialien) und Ausrüstungen gehandhabt, die sehr hohe elektrostatische Aufladungen erzeugen können. Sehr wichtig sind hier „persönliche Verantwortlichkeit“ und Schulung des Personals. Das Personal muss die notwendigen ESD-Kontrollmaßnahmen hundertprozentig ausführen. Als Anforderungen gelten bei allen Arbeiten im Feld die gleichen wie in einer stationären EPA. Im Einzelnen sind das folgende Maßnahmen und Anforderungen:

- Für den nicht-stationären Arbeitsplatz müssen ESD-gerechte Arbeitsplatzoberflächen und Bodenbeläge vorhanden sein. Beide müssen einen Anschluss für den Potentialausgleich aufweisen. Zusätzlich muss sich das Personal an der Arbeitsplatzoberfläche kontaktieren können. Das gesamte System, bestehend aus Arbeitsplatzaufgabe, Bodenmatte und Handgelenkerdung, muss mit einem geeigneten und vorhandenen Erdungsanschluss verbunden werden. Es kann auch am Gerät angeschlossen werden, z. B. beim Service an einer Anlage. Auch die Anlage muss am vorhandenen Erdungsanschluss kontaktiert werden.
- Daraus leitet sich eine spezielle Forderung ab: An jedem beweglichen Gerät, an dem Serviceleistungen erforderlich sein können, muss ein Anschluss für den Potentialausgleich vorhanden sein.
- Der Servicetechniker muss die Arbeiten so ausführen, dass eine sichtbare Abtrennung zu den übrigen Geräten entsteht. Als Mindestmaß wird in der Norm ein Abstand von 1 m angegeben. Die ungeschützten ESDS dürfen zu keinem Zeitpunkt einer Gefährdung ausgesetzt werden. Sinnvollerweise sollten bei einem längeren Zeitraum Schilder nach Bild 10.7 aufgestellt werden.
- Das Personal muss in diesem vorübergehend benutzten Arbeitsbereich mindestens einen ESD-gerechten Arbeitskittel tragen.
- Handelt es sich bei dem vorübergehend eingerichteten Arbeitsplatz um einen großen Bereich, in dem das Personal ständig hin- und herlaufen muss, dann müssen die Anforderungen für einen ESD-gerechten Fußboden erfüllt werden.
- Wie **Bild 10.7** zeigt, müssen die ESDS, wenn sie von einer Anlage zu einem ESD-gerechten Arbeitsplatz transportiert werden und der Fußboden die ESD-Anforderungen nicht erfüllt, in einer ESD-abschirmenden Verpackung transportiert werden. Am ESD-gerechten Arbeitsplatz muss dann das Personal zuerst den Potentialausgleich über das Handgelenk-Erdungsarmband herstellen. Erst dann kann das ESDS aus der Verpackung herausgenommen werden.
- Wichtigste Forderung ist, dass das Personal ständig über das Handgelenk-Erdungsarmband mit dem Potentialausgleich verbunden ist, wenn ESDS gehandhabt werden. Werden ESDS ausgetauscht, müssen die neuen ESDS so lange in der Verpackung bleiben, bis sie benötigt werden.

Zu Bild 10.7, spezielle Handlungen:

- Anlegen des Handgelenk-Erdungsarmbands und Herstellen der Verbindung zur Ausrüstung mit dem Spiralkabel
- Entnahme der defekten Baugruppe (ESDS)



**Bild 10.7** Spezielle Handlungen an einem nicht stationären Arbeitsplatz