

Technische Sauberkeit in der Elektrotechnik *Schmutz ist Materie am falschen Ort*

ZVEI Arbeitskreis Bauteilsauberkeit

Leiter: Dr. Marc Nikolussi (Vorsitzender), Robert Bosch GmbH

Präsentation: Dr. Helmut Schweigart, ZESTRON Europe

Technische Sauberkeit in der Elektrotechnik *Schmutz ist Materie am falschen Ort*

Teil 1: Vorstellung Arbeitskreis und Leitfaden

Teil 1: Vorstellung Arbeitskreis und Leitfaden

Atmel®



BOSCH
Technik fürs Leben

Ba·Ti·Loy
Gesellschaft für
Lötmitteletechnik mbH

brose
Technik für Automobile

cms
electronics

Continental



EPCOS



Fraunhofer
IPA



KOSTAL



LOEWE.

MekTEC®



PHOENIX
CONTACT



TE
connectivity

VAC
VACUUMSCHMELZE



ZESTRON
High Precision Cleaning

Zollner

- **Definition Bauteilsauberkeit aus Sicht der Elektrotechnik**

Die Erzielung von Bauteilsauberkeit beschreibt das Streben nach der Vermeidung von „give-off Partikeln“ (metallisch/nichtmetallisch) und Fasern.

Partikel und Fasern können negative Auswirkungen auf den Fertigungsprozess von Erzeugnissen sowie deren korrekte Funktionalität haben:

- elektrischer Kurzschluss
- Verkürzung der Luft- und Kriechstrecken
- elektrische Isolation bei Kontakten
- optische Schwächung oder Unterbrechung (Lichtleiter)
- verminderte Benetzbarkeit/Lötbarkeit
- mechanische Blockade
- erhöhte oder reduzierte Reibung
- erhöhte oder reduzierte Kraft
- Undichtigkeit
- ...

Einflussfaktoren Bauteilsauberkeit gem. VDA Band 19 Teil 2:

- **Direkter Einfluss:**
Verschmutzung durch Partikelerzeugung am Bauteil
 - Maßnahmen:
 - Erzeugung von nicht zulässigen Partikeln vermeiden
 - Nicht zulässige Partikel entfernen
 - Auslegung von Prozessen und Anlagen hinsichtlich Bauteilsauberkeit (Design for cleanliness)
- **Indirekter Einfluss:**
Verschmutzung durch Partikelverschleppung auf das Bauteil
 - Maßnahmen:
 - Bauteile vor Partikeleintrag schützen (z.B. Verpackung)
 - Auswahl der Sauberkeitsstufe und Festlegung der Anforderungen für Raum, Logistik etc.

Herstellerunabhängige Leitlinien zu Bauteilsauberkeit (Technische Sauberkeit)

- ISO 16232: Road vehicles – Cleanliness of components of fluid circuits
- VDA Band 19: Prüfung der technischen Sauberkeit
- VDA Band 19 Teil 2: Technische Sauberkeit in der Montage

Diese Leitlinien sind keine Spezifikationen. Sie sollen Praktikern helfen das Thema Technische Sauberkeit aufzugreifen und enthalten:

- Die fachgerechte experimentelle Durchführung der Prüfung
- Die Qualifikation des Testverfahrens zur Sauberkeitsprüfung
- Die korrekte Dokumentation von Sauberkeitswerten

Der Leitfaden greift folgende Themen auf:

- Eine Detaillierung der VDA 19
- Eine auf die Elektrotechnik bezogene Definition von Partikeln und Fasern
- Eine Empfehlung wie Sauberkeitsanalysen durchgeführt und deren Ergebnisse dargestellt werden sollten
- Eine Betrachtung der Ergebnisse von Sauberkeitsanalysen unter statistischen Gesichtspunkten
- Eine Darstellung des Ist-Zustandes hinsichtlich Partikelbelastungen im Bereich der Fertigung von elektrischen, elektronischen, elektromechanischen Bauelementen, Leiterplatten und elektronischen Baugruppen.
- Eine Betrachtung möglicher Partikelquellen innerhalb von Prozessen
- Die Darstellung von (Design-)Empfehlungen zur Reduktion von Partikeln
- Hinweise für Transport/Logistik
- ...

Teil 1: Vorstellung Arbeitskreis und Leitfaden

Ziel des Leitfadens:

- Der Leitfaden soll eine abgestimmte Diskussionsgrundlage für Gespräche im Kunden-Lieferantenverhältnis sein.
- Der Leitfaden soll den Stand der Technik im Bereich der Fertigung von elektrischen, elektronischen, elektromechanischen Bauelementen, Leiterplatten und elektronischen Baugruppen beschreiben
- Der Leitfaden beschreibt eine Methode mit zugehöriger Checkliste für die Bestimmung der Technischen Sauberkeit für einen einfachen Einstieg

Technische Sauberkeit in der Elektrotechnik *Schmutz ist Materie am falschen Ort*

Teil 2: Vorgehensweise zur Bestimmung der
Technischen Sauberkeit und Statistik

Teil 2: Vorgehensweise zur Bestimmung der Technischen Sauberkeit und Statistik

■ Partikelextraktion

- VDA Band 19 bietet verschiedene Varianten zur Partikelextraktion an, u.a.
 - Spritzen
 - Ultraschallreinigen
 - Spülen
 - Schütteln
- Der ZVEI Arbeitskreis Bauteilsauberkeit empfiehlt das **Spritzen** mit im Leitfaden definierten Parametern (Volumenstrom, Düsendurchmesser, Abstand, Reinigungsmittel, etc). VDA19 (2015) gibt inzwischen leicht abgewandelte Startparameter vor.



1. Extraktionsverfahren:	„Spritzen“ nach VDA 19
2. Prüflüssigkeit ¹⁾ :	Lösemittelreiniger auf Basis entaromatisierter aliphatischer oder alicyclischer Kohlenwasserstoffe mit einem Terpenegehalt < 30 Prozent z. B.: Haku 1025-921, De-SOLV-IT 1000, G60
3. Volumenstrom:	1000 ml/min ± 200 ml/min
4. Spritzdüse:	Lanze mit z. B. 4 mm Runddüse
5. Filtertyp (Membrane):	Porengröße 5 µm, Membrandurchmesser ca. 47 mm Material z. B. Cellulosenitrat, Siebgewebe aus PET
6. Spritzmenge:	Ergebnis aus der Abklingkurve (Richtwert 2–6 l)
7. Nachspülmenge ²⁾ :	Richtwert ≥ 2000 ml
8. Anzahl der Bauteile:	1 bis 50 Stück bzw. möglichst ≥ 200 cm ² Oberfläche

Teil 2: Vorgehensweise zur Bestimmung der Technischen Sauberkeit und Statistik

■ Partikelanalyse:

- VDA Band 19 bietet auch zur Partikelanalyse verschiedene Varianten an, u.a.:
 - Gravimetrie
 - Direktinspektion
 - Filtration und Mikroskopie

- Der ZVEI Arbeitskreis Bauteilsauberkeit empfiehlt die automatisierte **Filteranalyse am Mikroskop**, wobei festgelegt wird, dass Metalle und Nichtmetalle optisch anhand des Reflexionsverhaltens unterschieden werden. Fasern werden nicht berücksichtigt.

Partikelgröße [µm]	Code	Partikelanzahl ¹ auf Filtermembran		Partikelanzahl ¹ pro Bauteil		Partikelanzahl ¹ pro 1000 cm ²	
		Insgesamt ¹	Metallisch	Insgesamt ¹	Metallisch	Insgesamt ¹	Metallisch
Zusammengefasste Statistik:							
> 600	J-K	3	0	0	0	5	0
100 - 600	F-I	212	4	21	0	352	35
15 - 100	C-E	8075	122	808	12	13404	203
Ausführliche Statistik:							
> 1000	K	0	0	0	0	0	0
600 - 1000	J	3	0	0	0	5	0
400 - 600	I	7	0	1	0	12	0
200 - 400	H	30	2	3	0	50	3
150 - 200	G	32	0	3	0	53	0
100 - 150	F	143	2	14	0	237	3
50 - 100	E	1235	20	124	2	2050	33
25 - 50	D	3602	74	360	7	5979	123
15 - 25	C	3238	28	324	3	5375	46
5 - 15	B	9257	22	926	2	15367	37



Teil 2: Vorgehensweise zur Bestimmung der Technischen Sauberkeit und Statistik

- Ansatz 1: Bestimmung Partikelanzahl pro Größenklasse
 - Durchführung von mehreren Partikelanalysen
 - **Annahme**: Die ermittelten Werte für die Anzahl an Partikeln pro Größenklasse sind normalverteilt
 - Bestimmung von Mittelwert und Standardabweichung pro Größenklasse
 - Ziel: Angabe einer maximal zu erwartenden Partikelanzahl pro Größenklasse unter der Berücksichtigung der Prozessstreuung

$$C_{pk} = \text{Min}\left(\frac{\bar{X} - \text{USG}}{3s}, \frac{\text{OSG} - \bar{X}}{3s}\right)$$

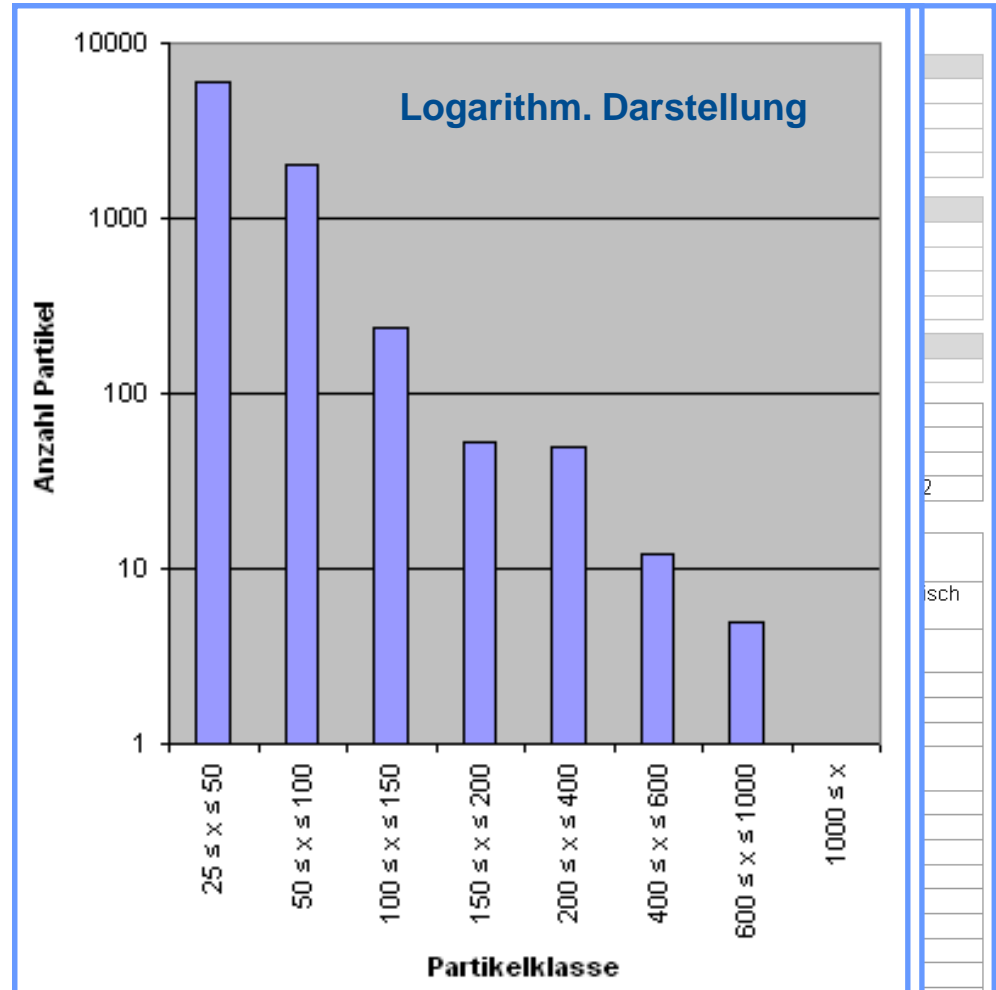
Partikelgröße (µm)	Partikel-Klasse	Messreihe					Mittelwert \bar{x}	Stabw. s	USG	OSG	cpk
		1	2	3	4	5					
$25 \leq x \leq 50$	D	3107	2475	3548	3956	3065	3230,2	498,1	0	?	?
$50 \leq x \leq 100$	E	1147	863	1382	1508	1225	1225,0	219,9	0	?	?
$100 \leq x \leq 150$	F	227	125	301	321	221	239,0	69,3	0	?	?
$150 \leq x \leq 200$	G	64	32	77	105	71	69,8	23,5	0	?	?
$200 \leq x \leq 400$	H	46	14	55	88	44	49,4	23,7	0	?	?
$400 \leq x \leq 600$	I	5	0	4	1	0	2,0	2,1	0	?	?
$600 \leq x \leq 1000$	J	0	0	1	0	0	0,2	0,4	0	?	?
$1000 \leq x$	K	0	0	1	0	0	0,2	0,4	0	?	?

- **Ansatz 1**: Bestimmung Partikelanzahl pro Größenklasse
 - Möglichkeiten für die Berücksichtigung der Streuung:
 - A) Lediglich Angabe des Mittelwertes
 - **Vorteil**: es resultieren verhältnismäßig geringe Anzahlen an Partikeln pro Größenklasse
 - **Nachteil**: Mittelwerte werden häufig (ca. 50 %) überschritten
 - B) Angabe von Mittelwert plus x mal Standardabweichung
 - **Vorteil**: Die angegebenen Werte werden seltener überschritten. Je öfter die Standardabweichung auf den Mittelwert addiert wird, desto seltener wird dieser Wert überschritten.
 - **Nachteil**: es resultieren verhältnismäßig große Anzahlen an Partikeln pro Größenklasse
 - **Vorschlag ZVEI-AK Bauteilsauberkeit**:
Angabe von Mittelwert plus 3 mal Standardabweichung
 - **Vorteil**: Kompromisslösung aus Höhe der angegebenen Werte und Häufigkeit der potentiellen Überschreitung (ca. 0,135 %)

Teil 2: Vorgehensweise zur Bestimmung der Technischen Sauberkeit und Statistik

■ Ansatz 2: Bestimmung der Auftretenswahrscheinlichkeit oberhalb einer bestimmten Partikelgröße

- Eine einzelne Auswertung ist wesentlich wenig aufwendig als eine Reihenmessung, aber
- Beschreibung der Messwerte mit einer Verteilungsfunktion: $1/x^2$ oder logarithmisch
- Damit kann die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Partikels größer als $x \mu\text{m}$ für eine Bezugsgröße (Fläche/Bauteil) abgeleitet werden
- Beispiel:



Teil 2: Vorgehensweise zur Bestimmung der Technischen Sauberkeit und Statistik

- **Ansatz 2:**
oberhalb e

- Lösung: Jo

- Beispiel:

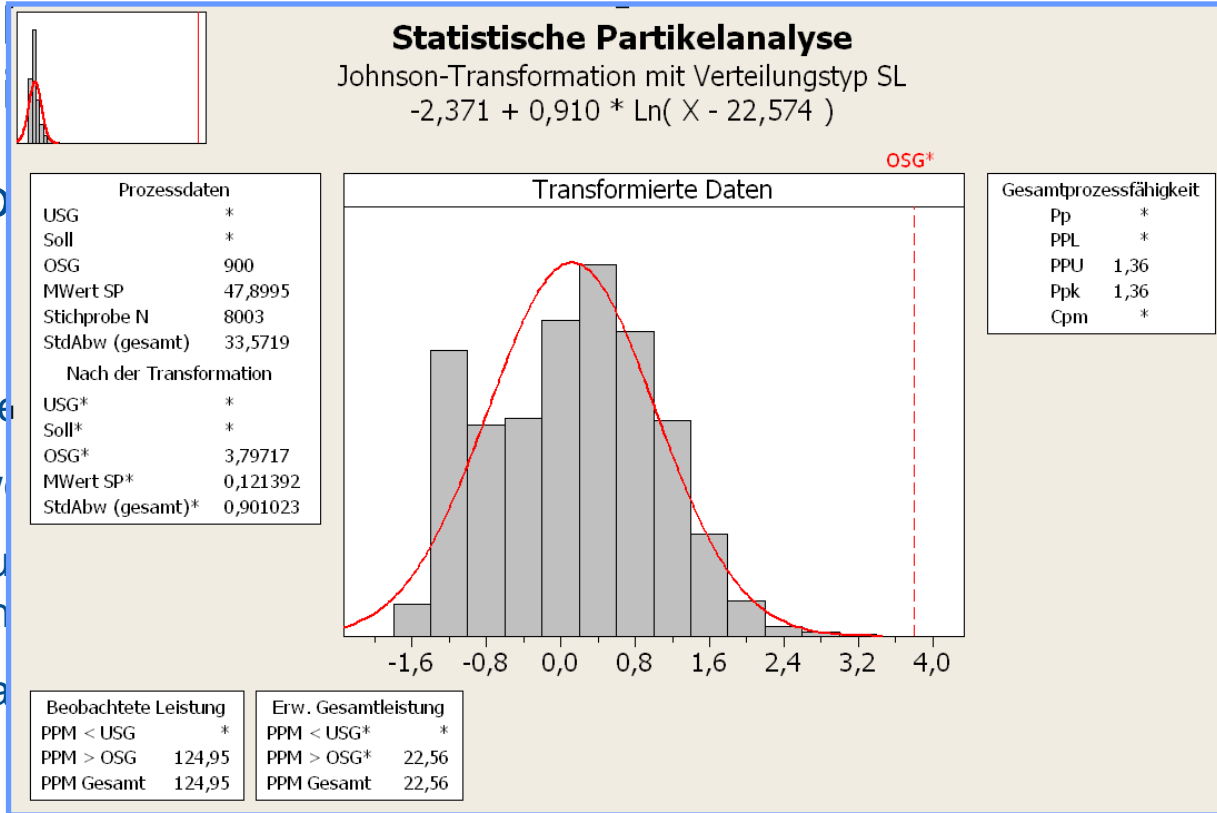
- 10 Baute

- Dabei w

- Die (deu
 - Johnson

- Die dara

- Ergebnis:



iert

- 23 von einer Million Partikeln sind statistisch > 900 µm lang
- Auf etwa 1,8% der Bauteile finden sich statistisch Partikel > 900 µm
- Pro 1000 cm² Bauteiloberfläche finden sich im Durchschnitt 0,3 Partikel > 900 µm

Technische Sauberkeit in der Elektrotechnik *Schmutz ist Materie am falschen Ort*

Teil 3: Statusbericht Partikelauftreten, Tipps

Teil 3: Statusbericht Partikelauftreten, Tipps

Ergebnisse: Baugruppen

Erfahrungswerte von Partikeln pro Partikelklasse auf Bestückten Leiterplatten bei einer Fehlerrate von 0,135 % (Cpk = 1) ²⁾			
Partikelgröße [µm]	Größenklassen	Alle Partikel	Metallische Partikel ¹⁾
$25 \leq x < 50$	D	46000	1700
$50 \leq x < 100$	E	14500	1000
$100 \leq x < 150$	F	2500	250
$150 \leq x < 200$	G	800	90
$200 \leq x < 400$	H	600	110
$400 \leq x < 600$	I	70	17
$600 \leq x < 1000$	J	20	13
$1000 \leq x$	K	6	2

¹⁾ Bei Steckern mit Metallgehäuse oder Kühlkörpern können wesentlich mehr metallische Partikel vorhanden sein

²⁾ Ohne jeglichen Reinigungsprozess



Teil 3: Statusbericht Partikelauftreten, Tipps

Ergebnisse: Stecker (mit Stanzen)

Erfahrungswerte von Partikeln pro Partikelklasse
Metallkomponenten – Stanzen mit vorveredelter Bandware
bei einer Fehlerrate von 0,135% (Cpk = 1)

Partikelgröße [µm]	Größenklassen	Alle Partikel	Metallische Partikel
$25 \leq x < 50$	D	75000	45000
$50 \leq x < 100$	E	34000	29000
$100 \leq x < 150$	F	8500	8100
$150 \leq x < 200$	G	3800	3600
$200 \leq x < 400$	H	4300	4100
$400 \leq x < 600$	I	890	880
$600 \leq x < 1000$	J	212	210
$1000 \leq x$	K	27	26

Teil 3: Statusbericht Partikelauftreten, Tipps

Ergebnisse: Stecker Spritzgussteile

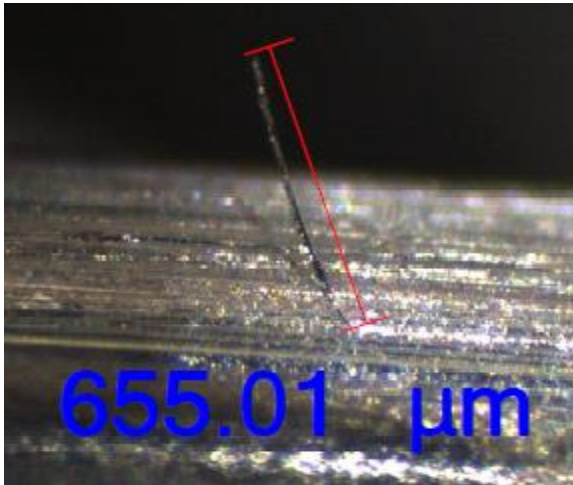
Erfahrungswerte von Partikeln pro Partikelklasse Spritzgießprozess – ohne Metalleinleger bei einer Fehlerrate von 0,135 % (Cpk = 1)			
Partikelgröße [µm]	Größenklassen	Alle Partikel	Metallische Partikel
$25 \leq x < 50$	D	6300	3
$50 \leq x < 100$	E	340	3
$100 \leq x < 150$	F	40	0
$150 \leq x < 200$	G	20	0
$200 \leq x < 400$	H	20	0
$400 \leq x < 600$	I	2	0
$600 \leq x < 1000$	J	3	0
$1000 \leq x$	K	2	0

Teil 3: Statusbericht Partikelauftreten, Tipps

Beispiele von partikelproduzierenden Prozessschritten

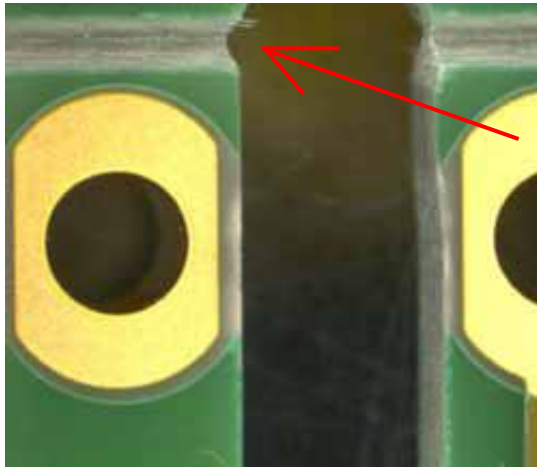


Schneidgrat Seitenschneiderschnitt
am Kupferdraht

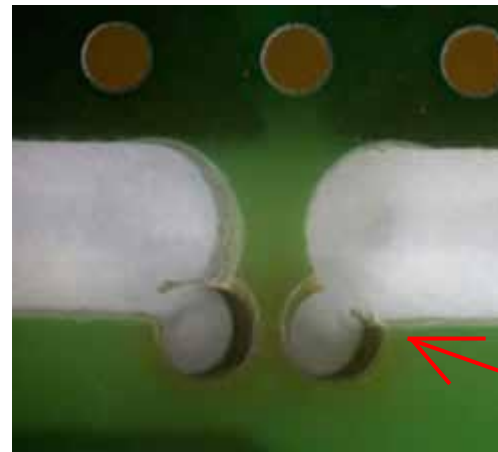


Zinn abgeschabtes „Haar“

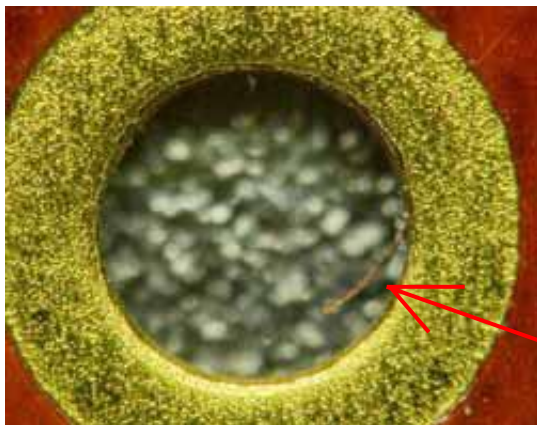
Beispiele von Designregeln bei LP



Fräsung läuft durch die Ritzstrecke



angefräste
Bohrung

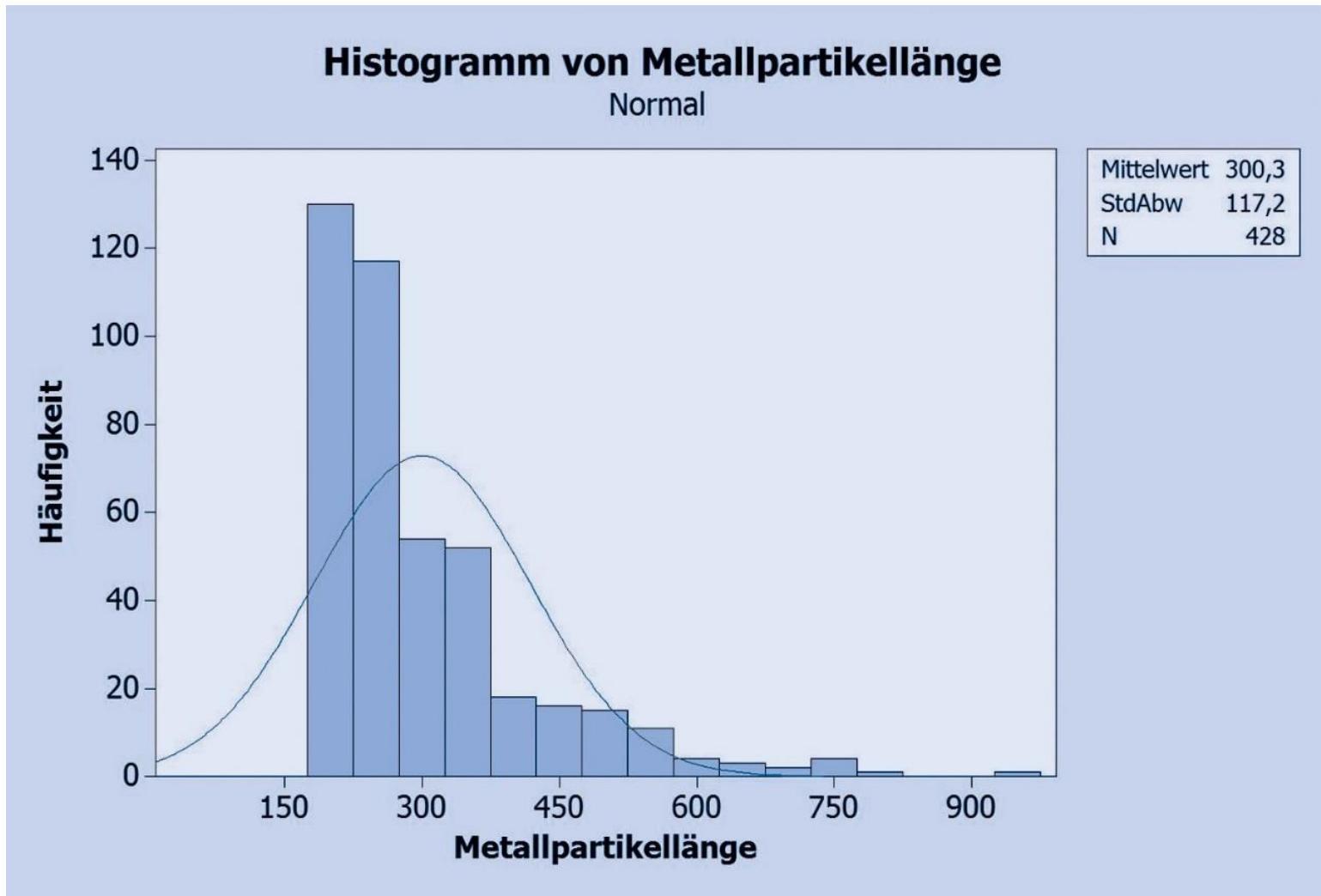


Spanbildung bei Stanzung

Technische Sauberkeit in der Elektrotechnik *Schmutz ist Materie am falschen Ort*

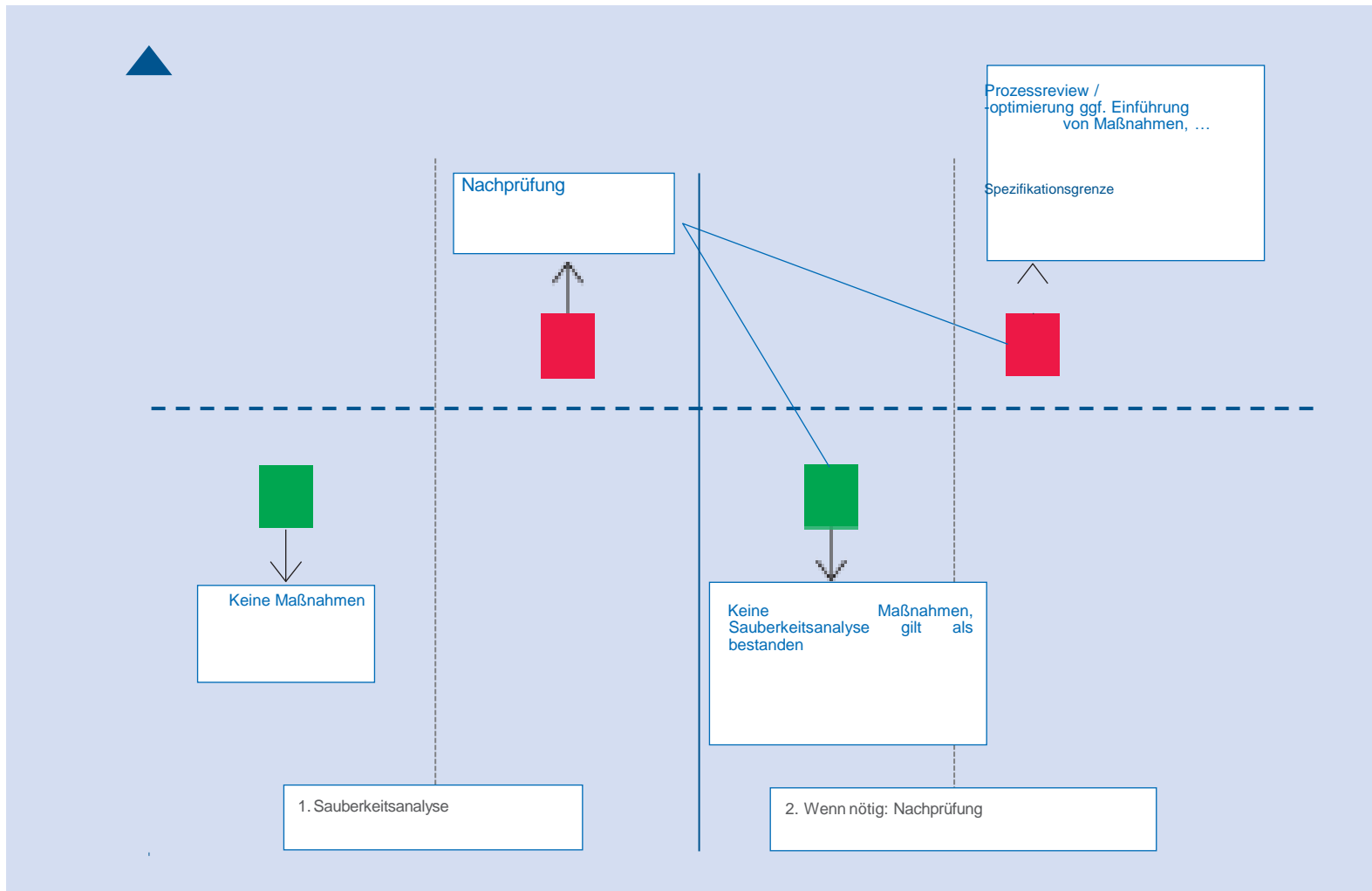
Teil 4: Partikelrisikobestimmung

Teil 4: Partikelrisikobestimmung



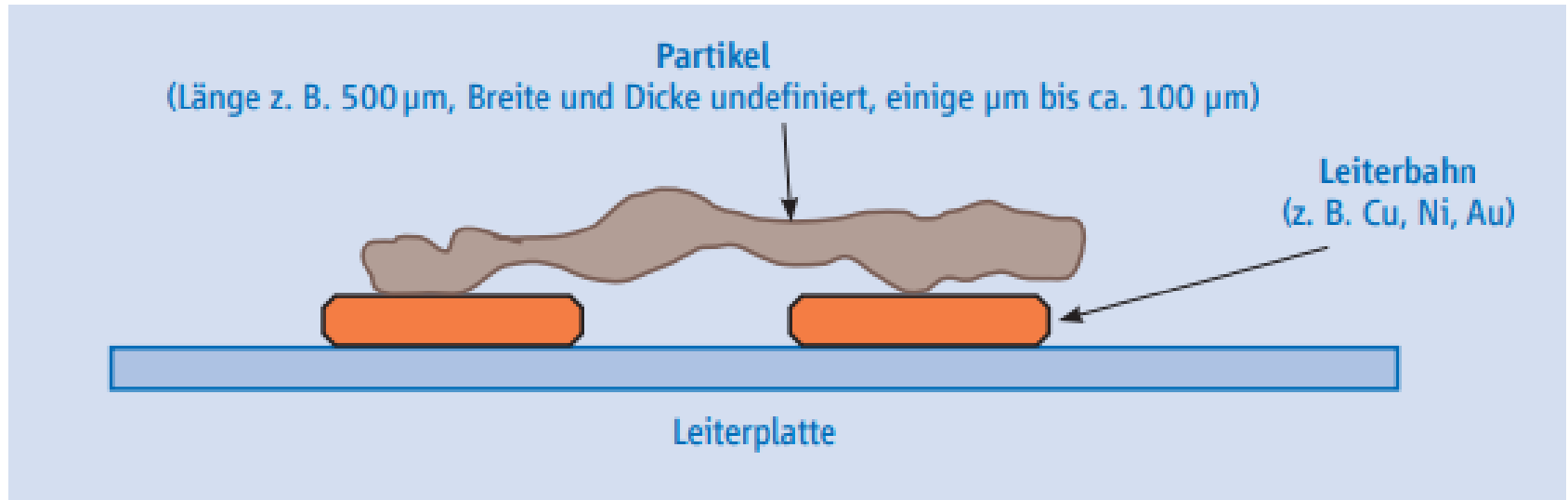
Partikelgrößenverteilung

Teil 4: Partikelrisikobestimmung



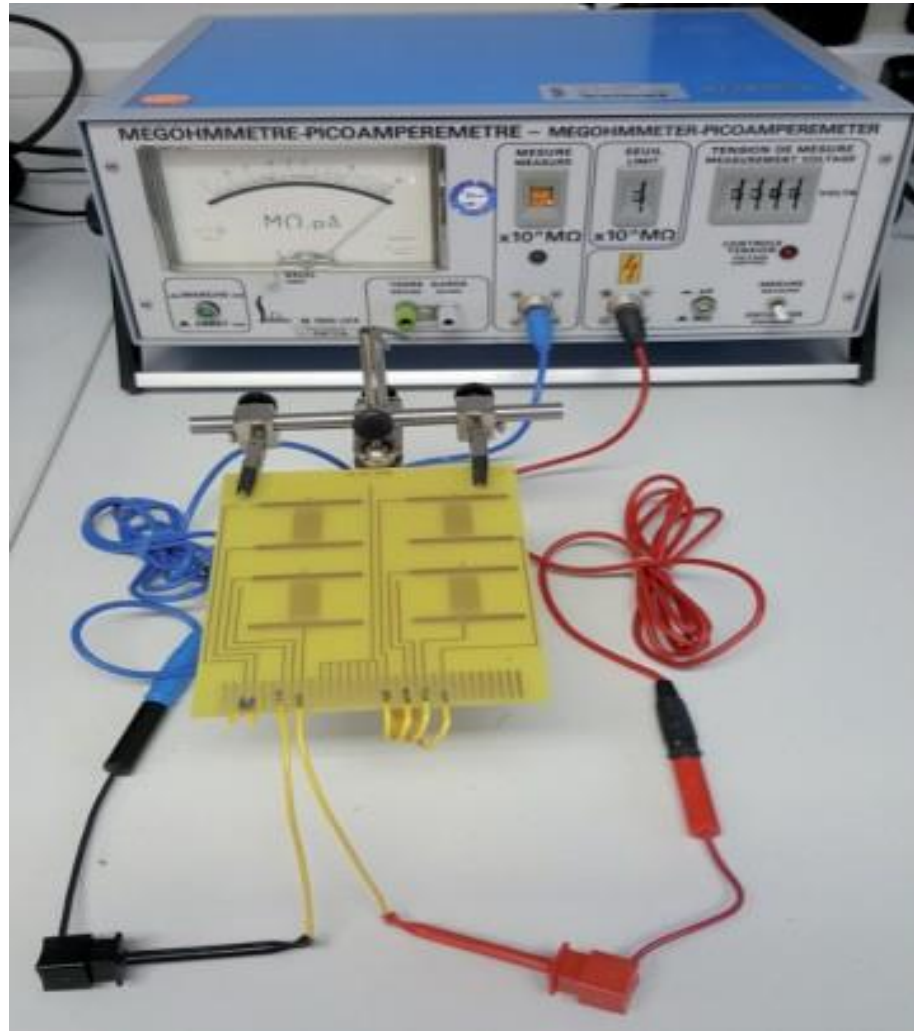
Beispielhafte Prozedur bei einer Spezifikationsüberschreitung

Teil 4: Partikelrisikobestimmung



Prinzipskizze der elektrischen Anordnung
(Partikel liegt als „Brücke“ auf zwei Leiterbahnen)

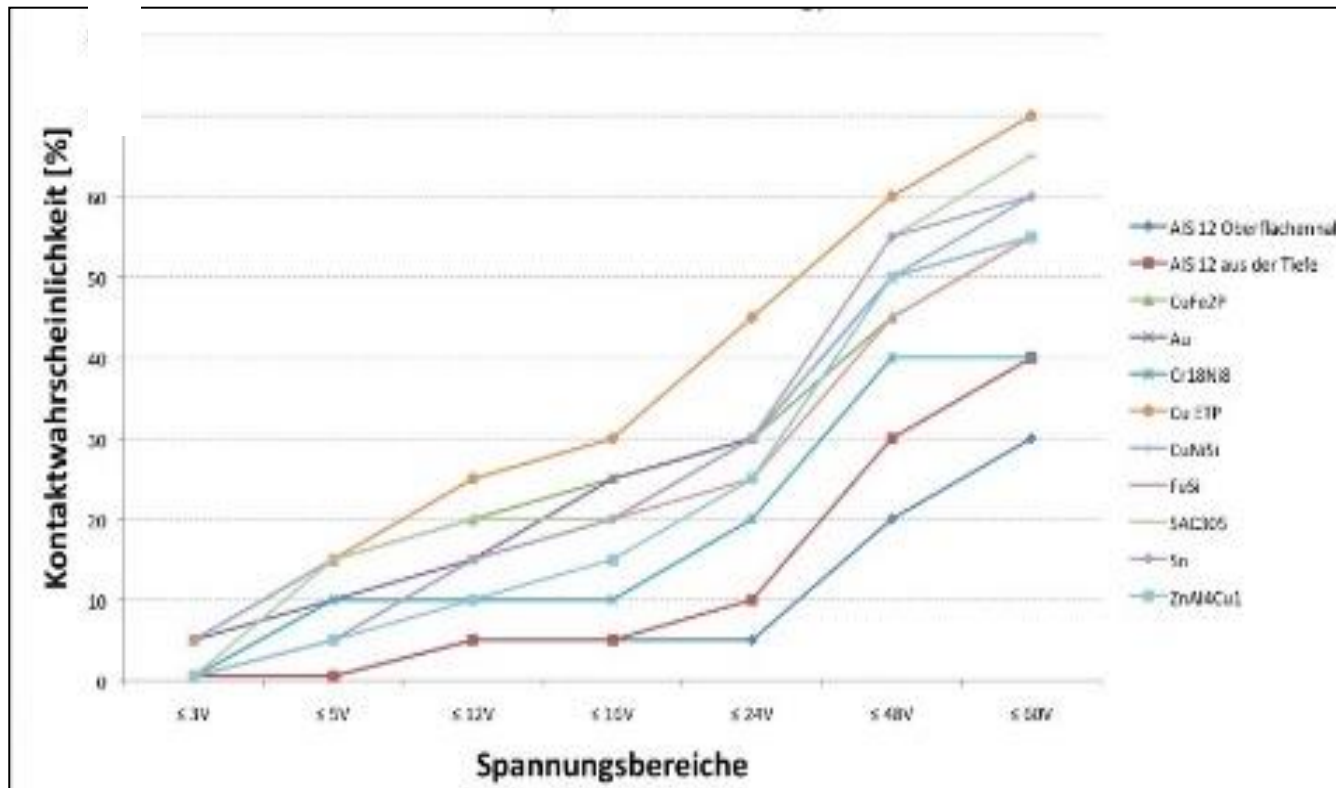
Teil 4: Partikelrisikobestimmung



Spannungsquelle mit einer Stromerfassung durch analoges Pico-Ampereometer

Teil 4: Partikelrisikobestimmung

Übersicht über alle Metalle in den Spannungsstufen, gerundet



Teil 4: Partikelrisikobestimmung



Funktionsstruktur Risikoabschätzungstool

Tagung Technische Sauberkeit

Bauteilreinigungsverfahren und Extraktionsmethoden an Elektrobauteilen

19. Juli 2022 in Frankfurt a.M., ZVEI-Konferenzzentrum

- Sie erhalten exklusive Studienergebnisse aus zwei groß angelegten Vergleichsstudien zum Extraktionsverfahren und zu Bauteilreinigungsverfahren
- Sie lernen die neuesten technologischen Möglichkeiten in der mikroskopischen Partikelanalyse kennen
- Sie erfahren, vor welchen Herausforderungen die Technische Sauberkeit im Zeitalter der Elektromobilität stehen wird
- Sie erhalten die einzigartige Möglichkeit an nur einem Tag mit den führenden Experten der Technischen Sauberkeit in einen Wissens- und Erfahrungsaustausch zu treten
- Sie bekommen Wissen aus jahrzehntelanger Erfahrung in der industriellen Praxis und können dies gewinnbringend in ihrem Arbeitsalltag einsetzen