



Vom Konzept in die Praxis - Definition und Umgang von/mit Sauberkeitsgrenzwerten

Leander Gühr, CleanControlling GmbH

Warum Sauberkeitsanforderungen?

Die Form folgt der Funktion!

Umgang mit Ausreißern?

URSACHEN FÜR DIE ANFORDERUNGEN

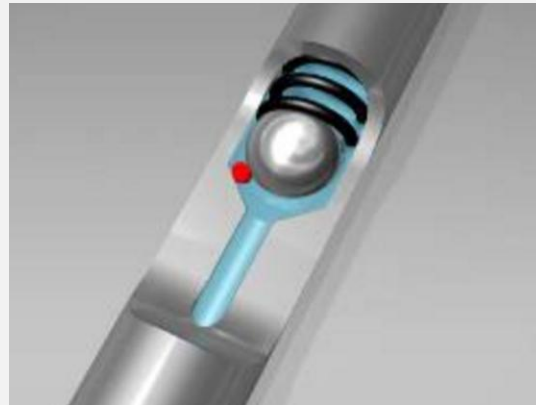
Beispiele für Schadensmechanismen

Klemmen von Lagern
oder Gleitflächen



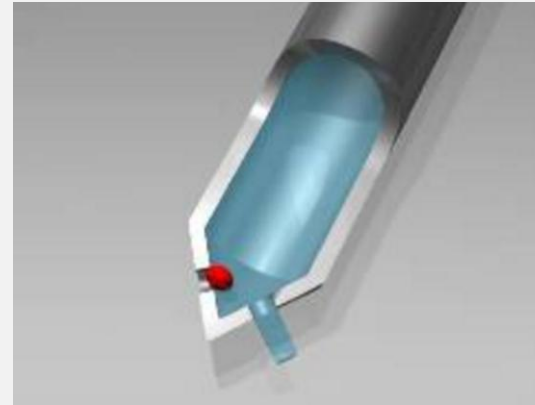
- ◆ Turbolader
- ◆ Kurbelwellenlager
- ◆ Dosierpumpen
- ◆ Zylinderlaufbahn

Blockieren von
Ventilen



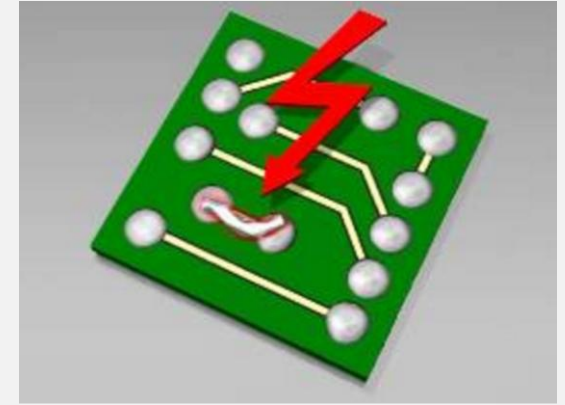
- ◆ ABS, ESP
- ◆ Hydraulik
- ◆ Bremskraftverstärker

Verstopfen von Düsen
oder Filtern



- ◆ Injektoren
- ◆ Kraftstoffzuführung

Kurzschluss von
Leiterbahnen



- ◆ Steuerelektronik
- ◆ PCB, Elektrik

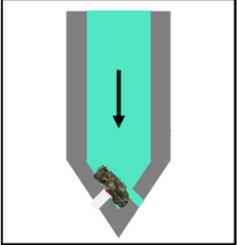
Quelle: Unternehmensverbund VDA19/1

Quelle: JOMESA Meßsysteme GmbH

DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderung

Verblocken von
Düsen oder Filtern



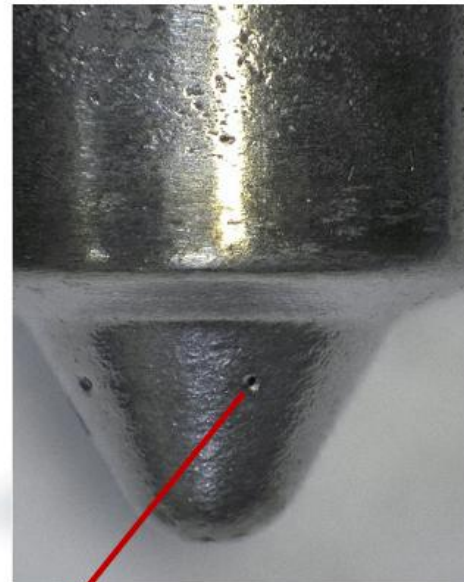
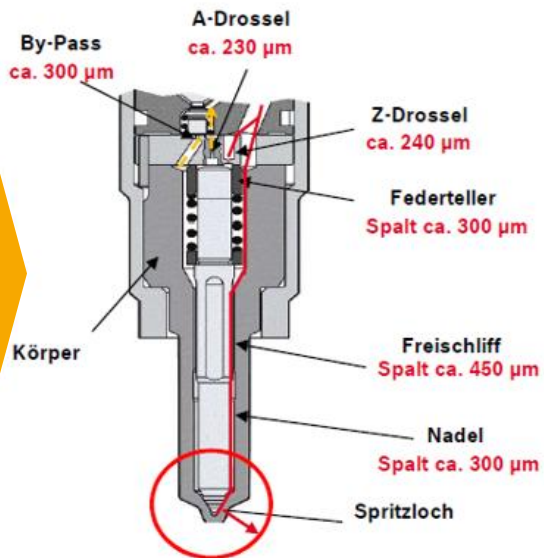
- ◆ Kraftstoffzuführung
- ◆ Injektoren



Partikel in den Einspritzbohrungen
verhindern die Kraftstoffeinspritzung



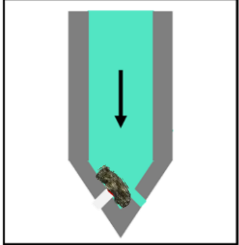
Quelle: Bosch



60-120 μm

Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderung

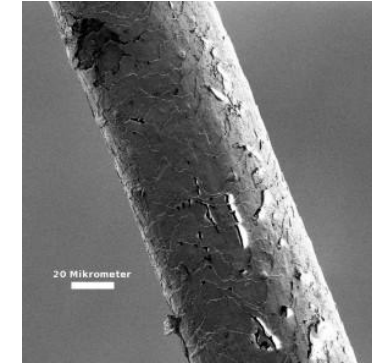
Verblocken von
Düsen oder Filtern



- ◆ Kraftstoffzuführung
- ◆ Injektoren



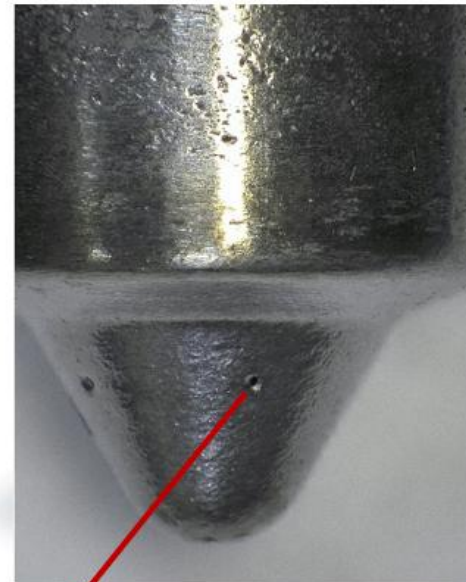
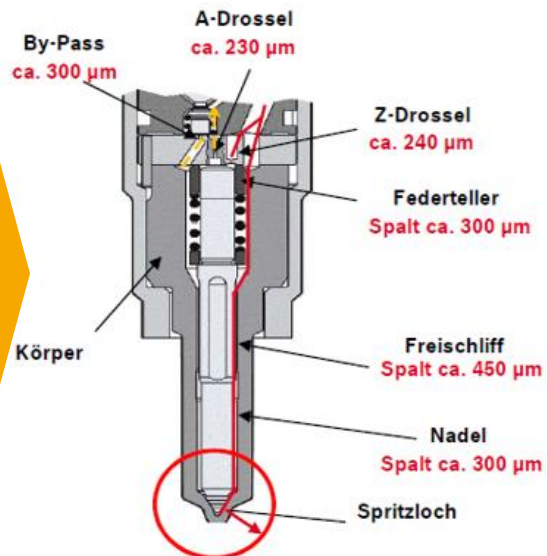
Partikel in den Einspritzbohrungen
verhindern die Kraftstoffeinspritzung



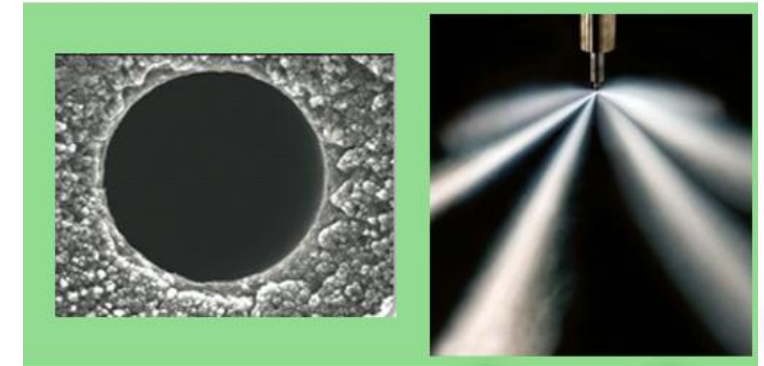
Menschliches Haar
60-120 μm



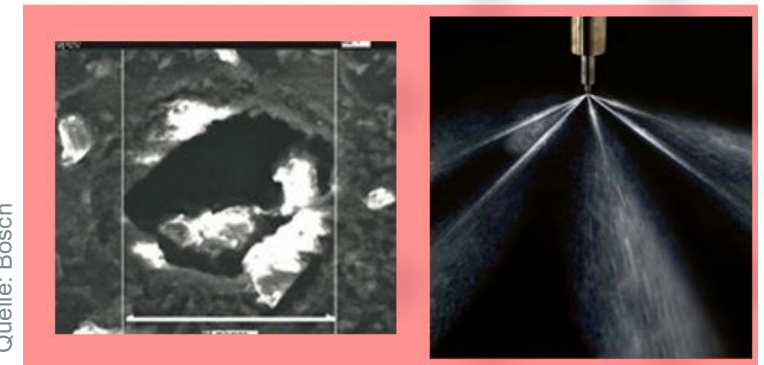
Quelle: Bosch



60-120 μm



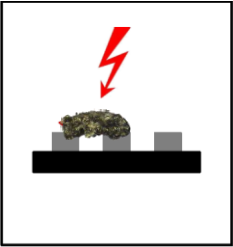
Quelle: Bosch



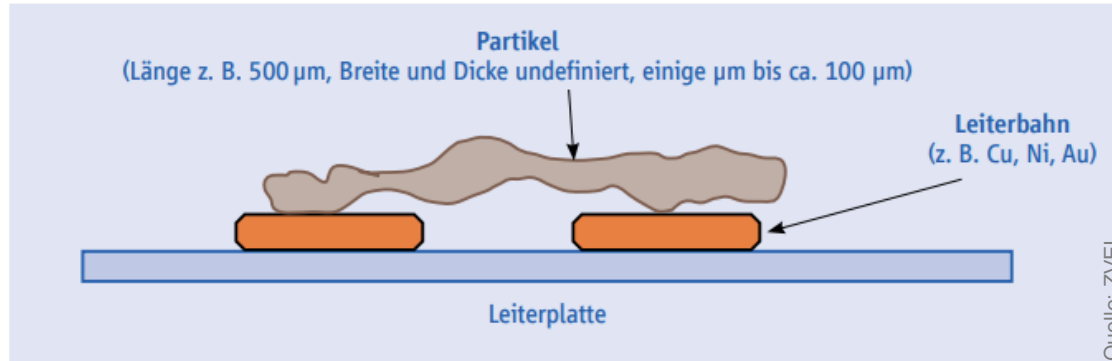
DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderung

Kurzschluss von
Leiterbahnen



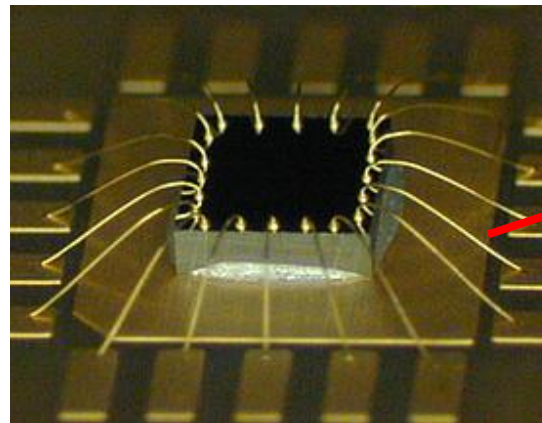
◆ Steuerelektronik



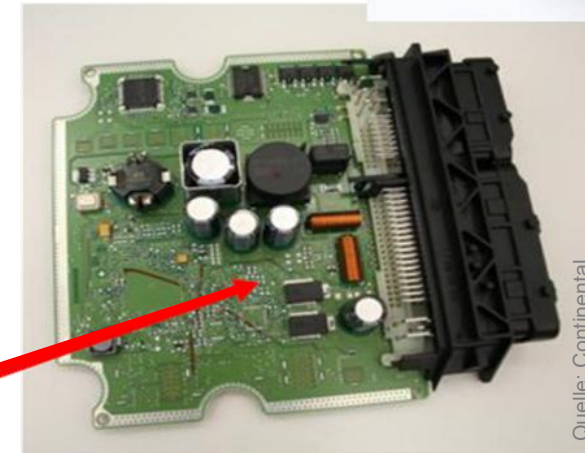
Im Bereich der Nano- und Mikro-Elektronik – gerade nicht lackierte PCB – spielen Kurzschlussrisiken eine entscheidende Rolle

Vermeidung:

- ◆ Schützen sensibler Bereiche
- ◆ Design-Principles
- ◆ Pin-FMEA



Chip-Herstellung:
Wenige 10 Nanometer große
Partikel

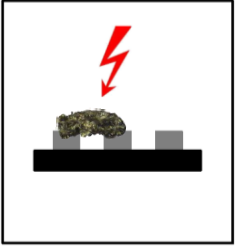


System-Montage:
Auch hier spielt die Sauberkeit
eine entscheidende Rolle

PCBA-Herstellung:
wenige hundert Mikrometer

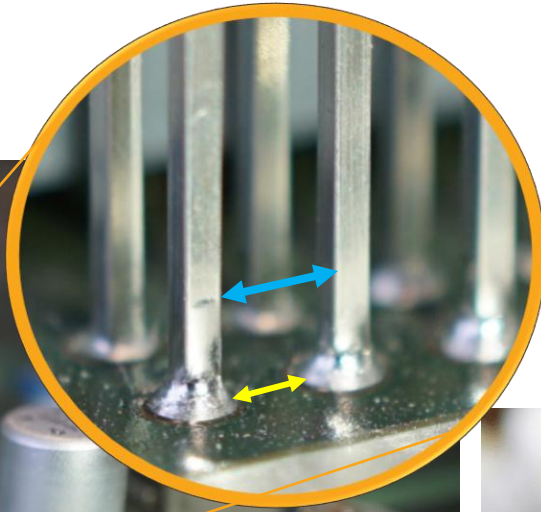
Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderung

Verkürzung der elektrischen Isolation



- ◆ Leistungselektronik
- ◆ Hochvolt-Systeme

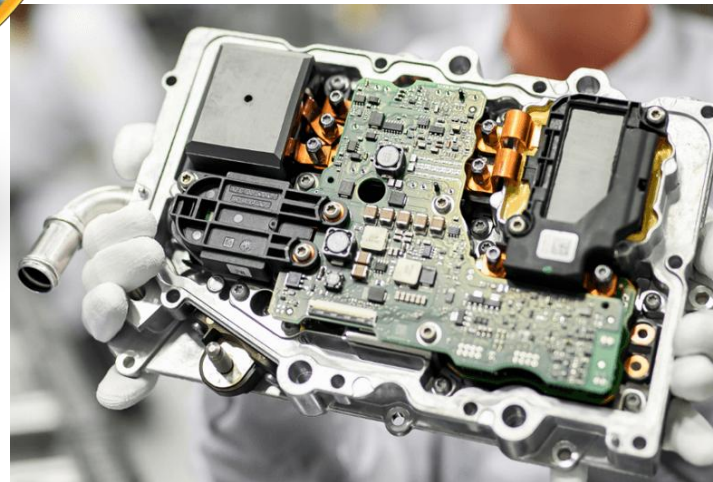
Im Bereich der Hochvolt-Leistung-Elektronik (Hohe Spannungen / Hohe Ströme) spielen Luft- und Kriechstrecken eine entscheidende Rolle



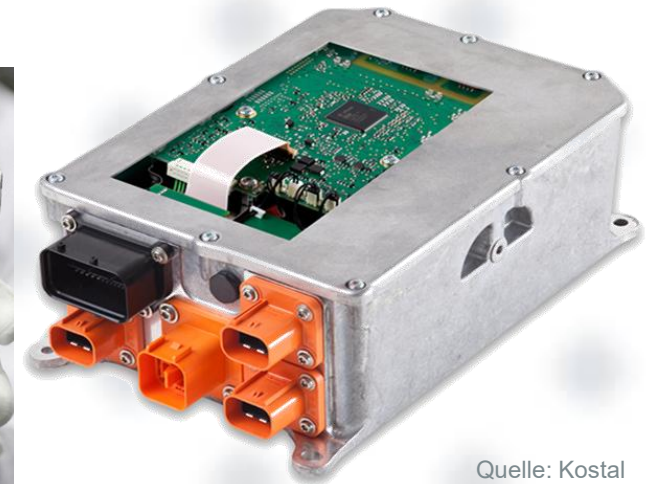
Luftstrecke
Kriechstrecke



Quelle: VW



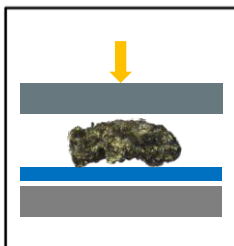
Quelle: Continental



Quelle: Kostal

Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderung

Mechanische oder chemische Schädigung von Folien

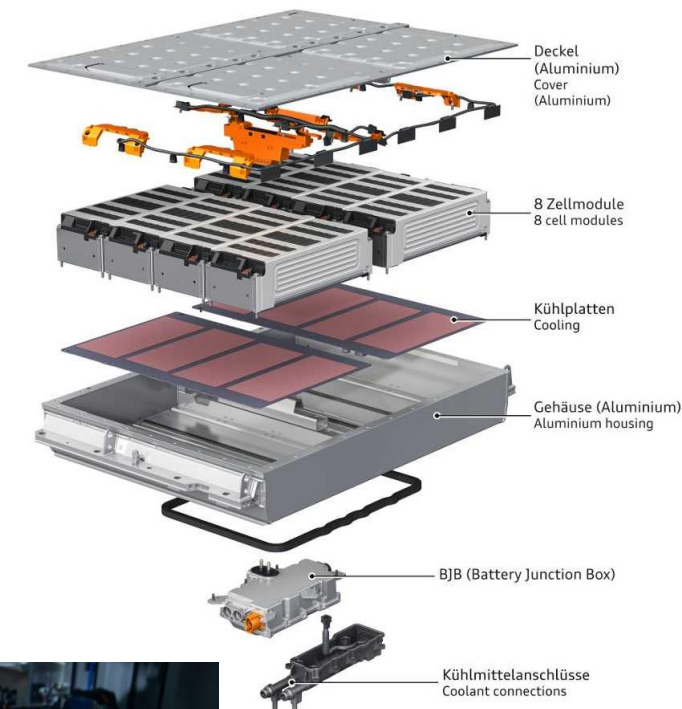


- ◆ Batterieelektroden
- ◆ Separatoren
- ◆ Isolierungsfolien

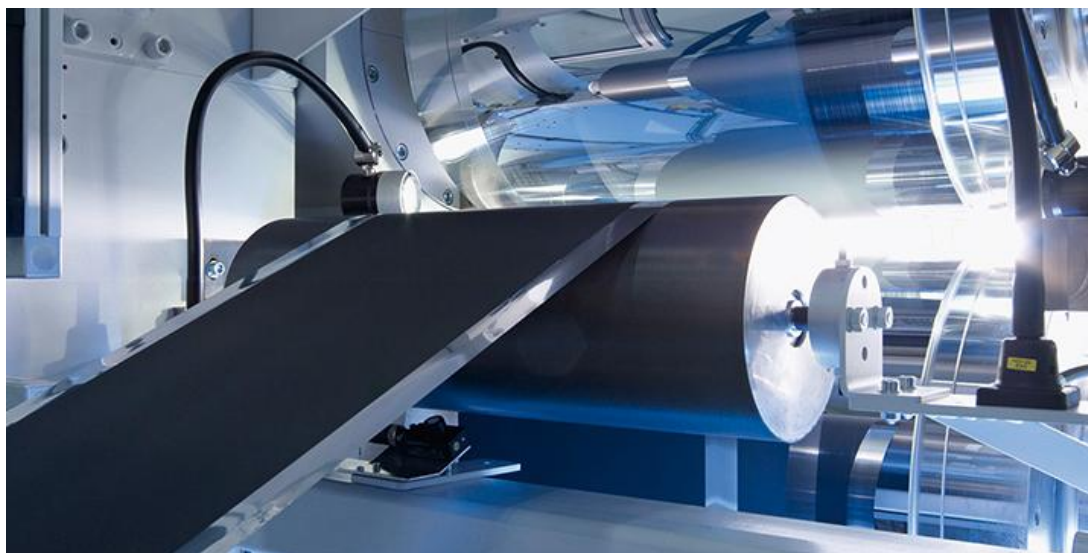


Audi A7 Sportback 55 TFSI e

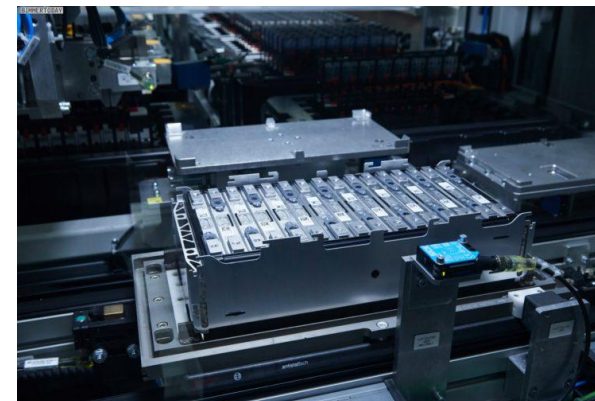
Aufbau der Hochvolt-Batterie
Overview of the high-voltage battery
02/19



Quelle: AUDI



Quelle: Breyer

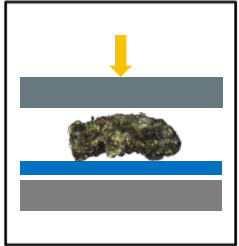


Quelle: VW

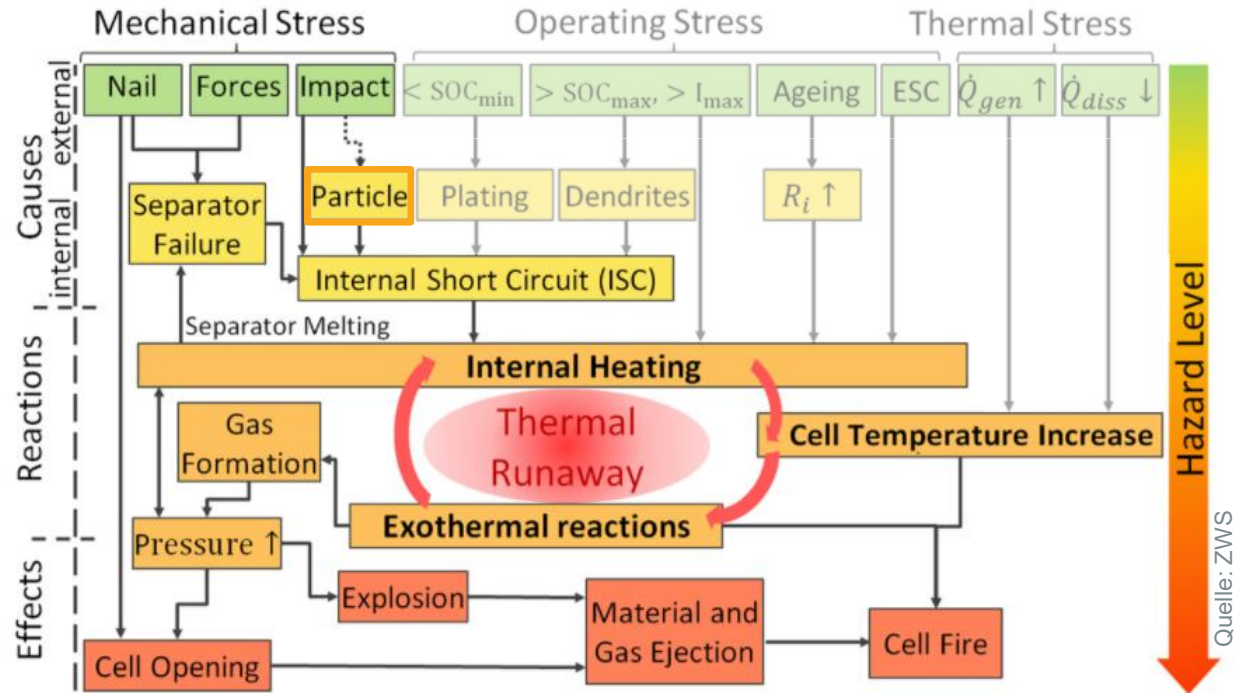
Kritische
Partikelgrößen:
 $\geq 10\mu\text{m}$

Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderung

Mechanische oder chemische Schädigung von Folien



- ◆ Batterieelektroden
- ◆ Separatoren
- ◆ Isolierungsfolien

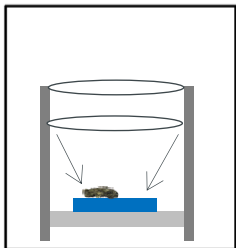


Quelle: ZWS

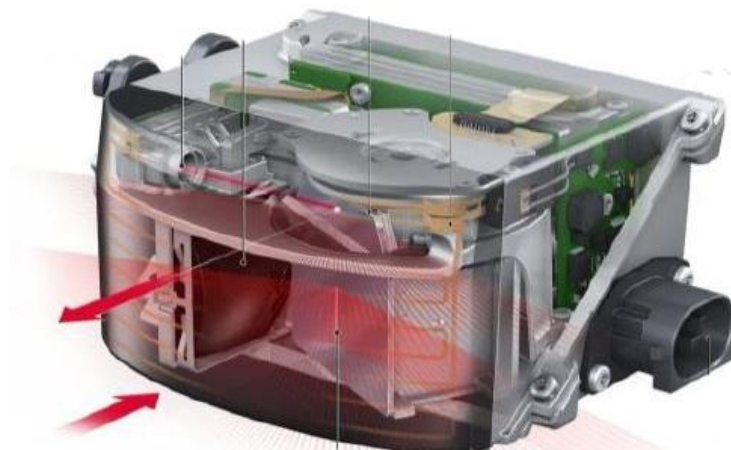
DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Vom Schadenmechanismus zur Sauberkeitsanforderungen

Optische
Beeinträchtigung von
Sensoren



- ◆ Kamera-Systeme
- ◆ LIDAR-Sensorik
- ◆ Optische Bilderfassung

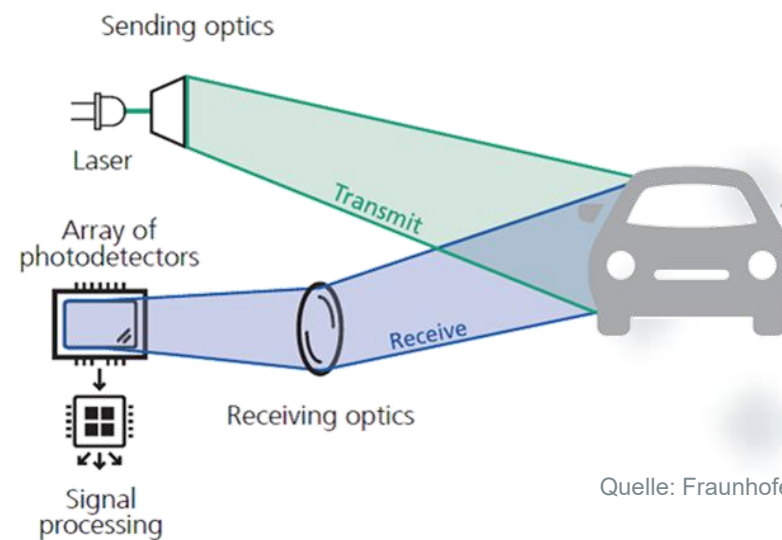


Quelle: Valeo



Quelle: AUDI

Quelle: Innoviz



Quelle: Fraunhofer

Kritische
Partikelgrößen:
 $\geq 5\mu\text{m}$

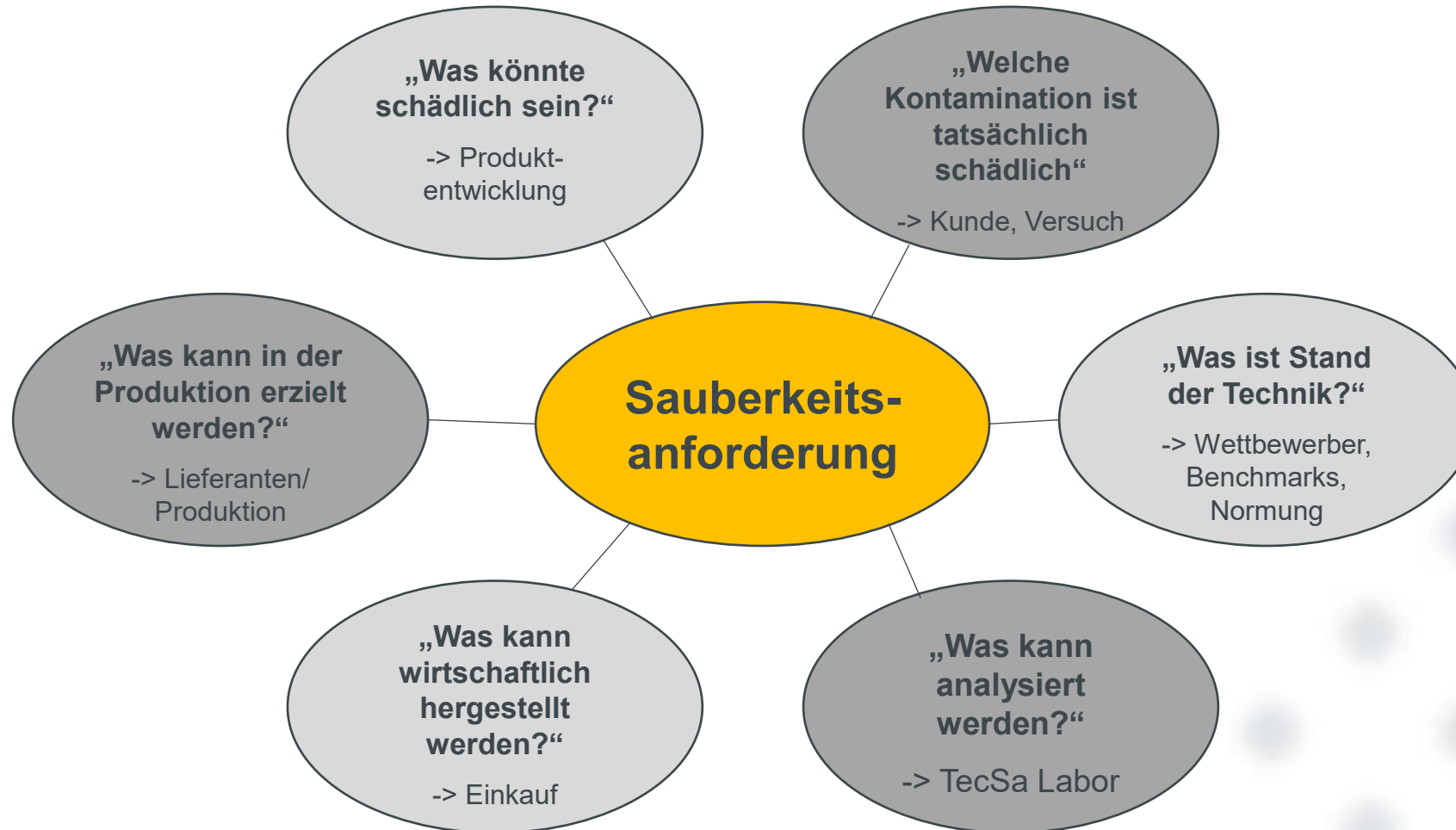
Warum Sauberkeitsanforderungen?

Die Form folgt der Funktion!

Umgang mit Ausreißern?

DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Die Form folgt der Funktion



Einzig der richtige Partikel zum richtigen Zeitpunkt am richtigen Ort führt zum Ausfall!

Sauberkeitsanforderungen erhöhen den Aufwand in allen Bereichen

Grenzwerte müssen herstellbar sein (technisch machbar und wirtschaftlich vertretbar).

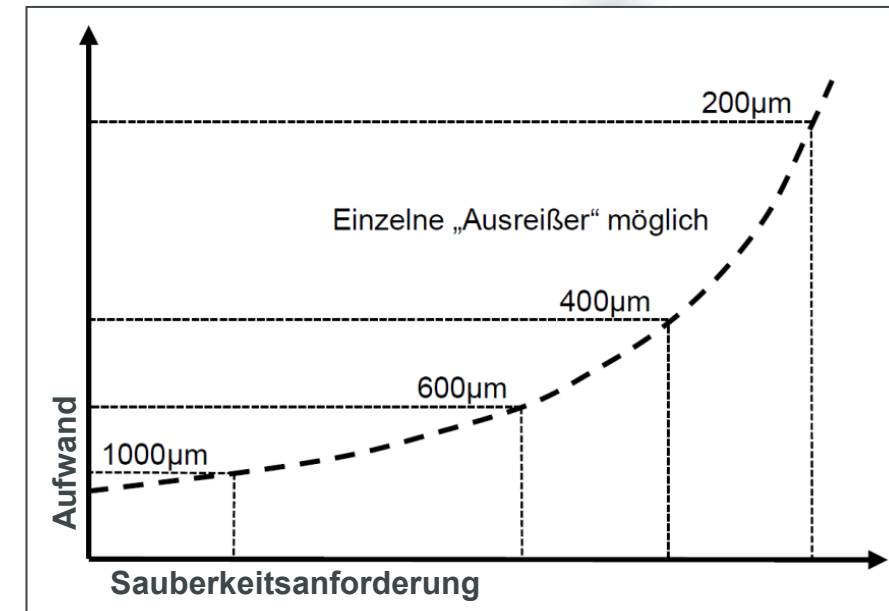
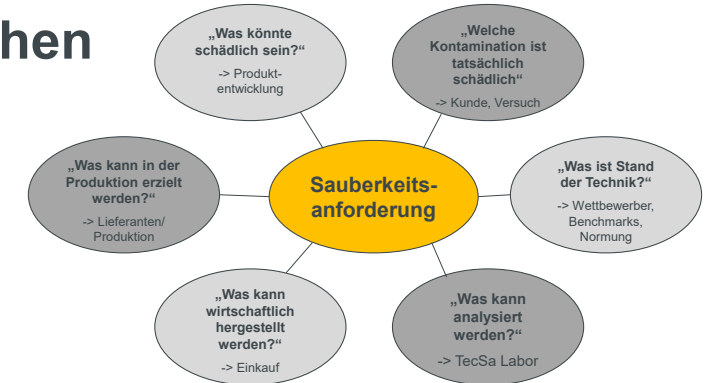
Hohe Sauberkeitsanforderungen verursachen hohe Kosten in der Herstellung und Weiterverarbeitung.

- ◆ Materialauswahl oder Oberflächenbeschichtung
- ◆ Bearbeitung und Entgratung
- ◆ Reinigung
- ◆ Logistik
- ◆ Produktionsumgebung
- ◆ Personal
- ◆ Montageeinrichtungen und Prozesse

Grenzwerte sollten sich auf das für die Funktion notwendige Maß beschränken.

➡ „So sauber wie nötig, nicht wie möglich!“

➡ „Nur die Bauteile reglementieren die wirklich kritisch sind!“



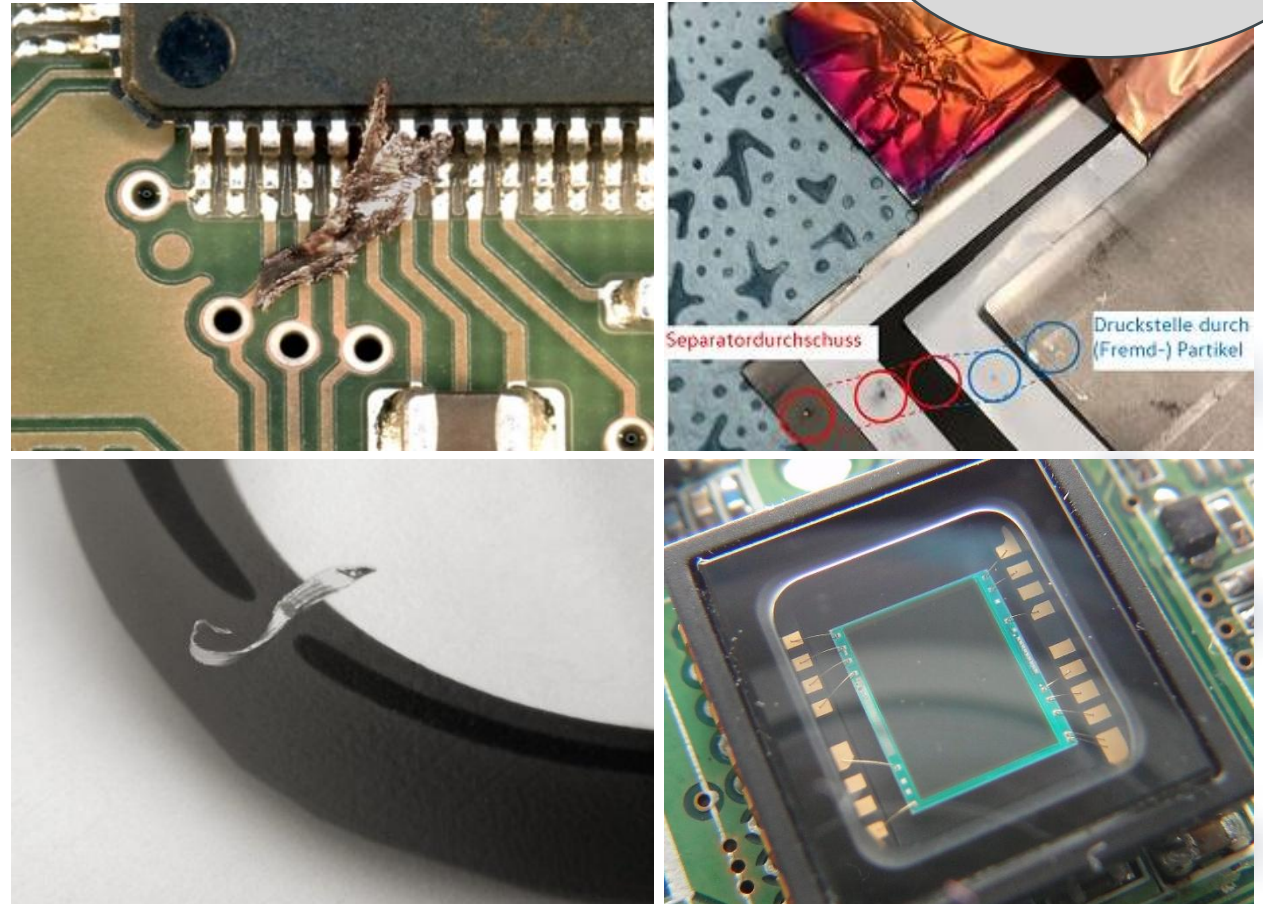
Quelle: VDA 19

Bewertung der konstruktiven Merkmale

- ◆ Ermittlung der für die Funktion kritischen Größen von Partikeln
 - Spaltmaß
 - Optische Beeinträchtigung
 - Leiterbahnabstand
 - Dichtlängen
 - Dicke von Folien
- ◆ Zusätzliche zu beachtende Daten:
 - Form der Partikel
 - Art/Material der Partikel

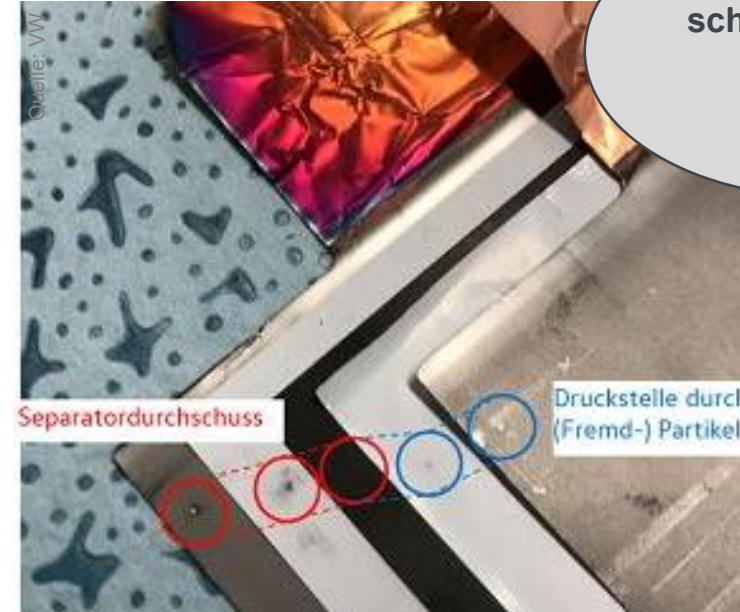
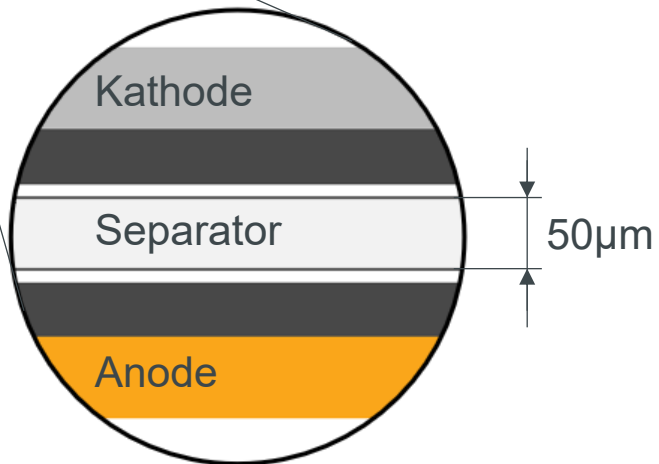
Vorsicht:
Diese Betrachtung führt oft zu sehr stark reglementierten Grenzwerten

„Was könnte
schädlich sein?“
-> Produkt-
entwicklung



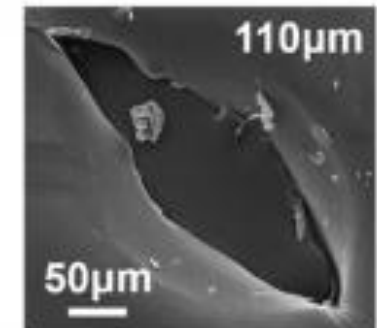
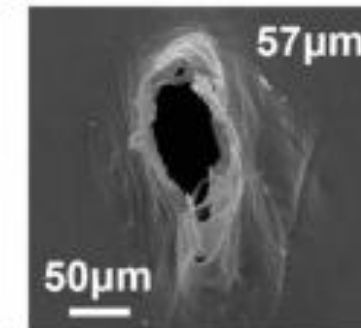
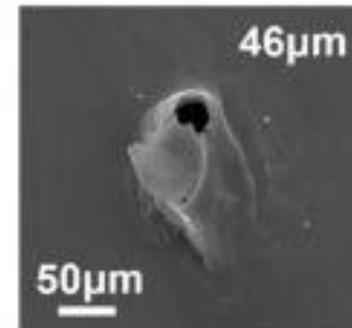
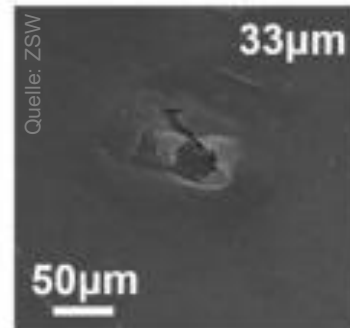
Identifikation von Schädigungsmechanismen

Bewertung der konstruktiven Merkmale - Beispiel



„Was könnte
schädlich sein?“

-> Produkt-
entwicklung



Welche Partikelcharakteristik ist für mein Produkt relevant?

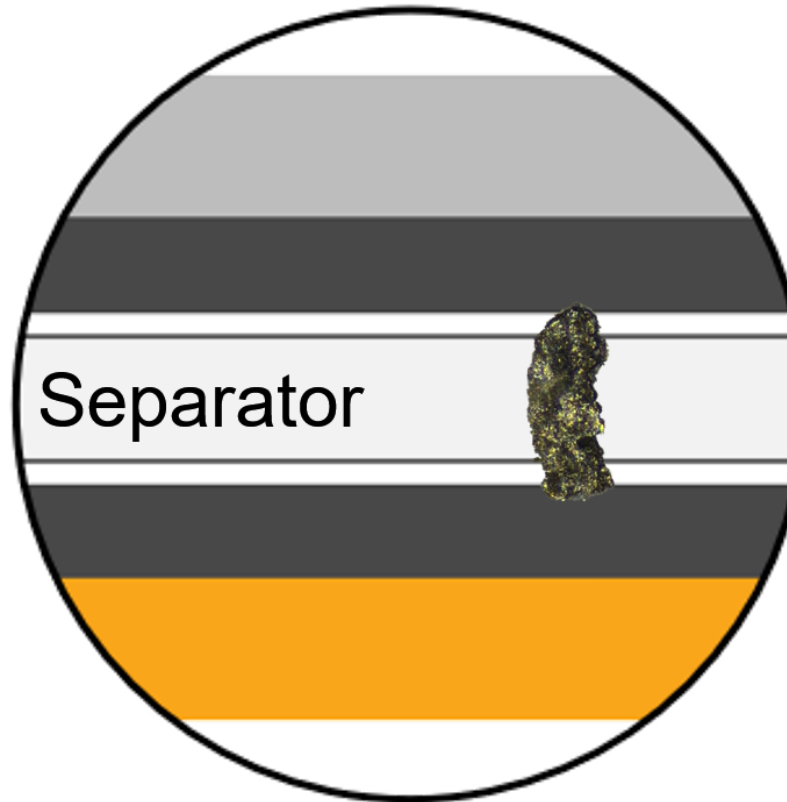
„Was könnte
schädlich sein?“

-> Produkt-
entwicklung

A

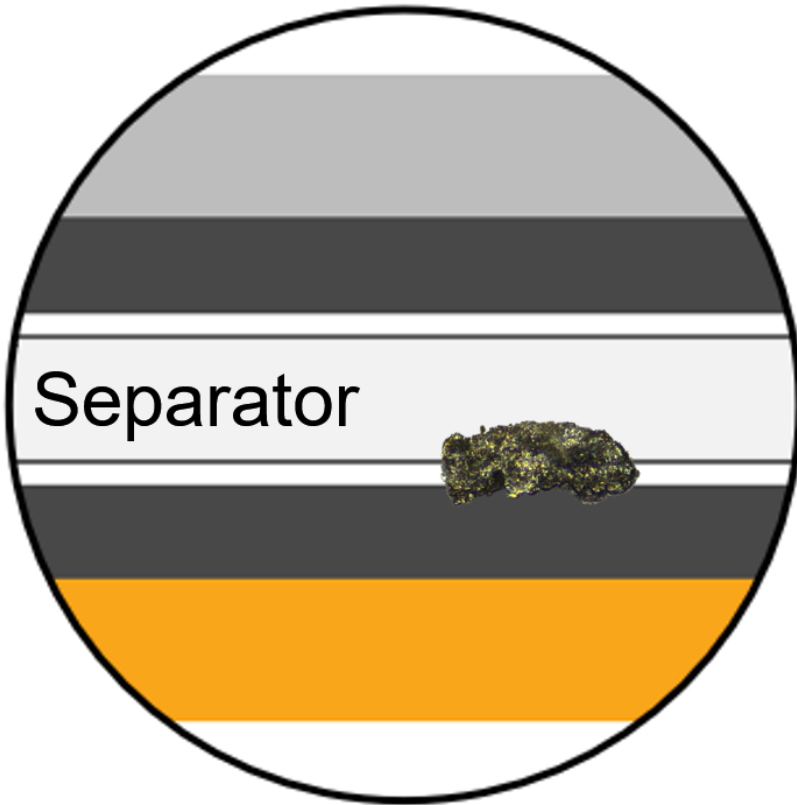


B



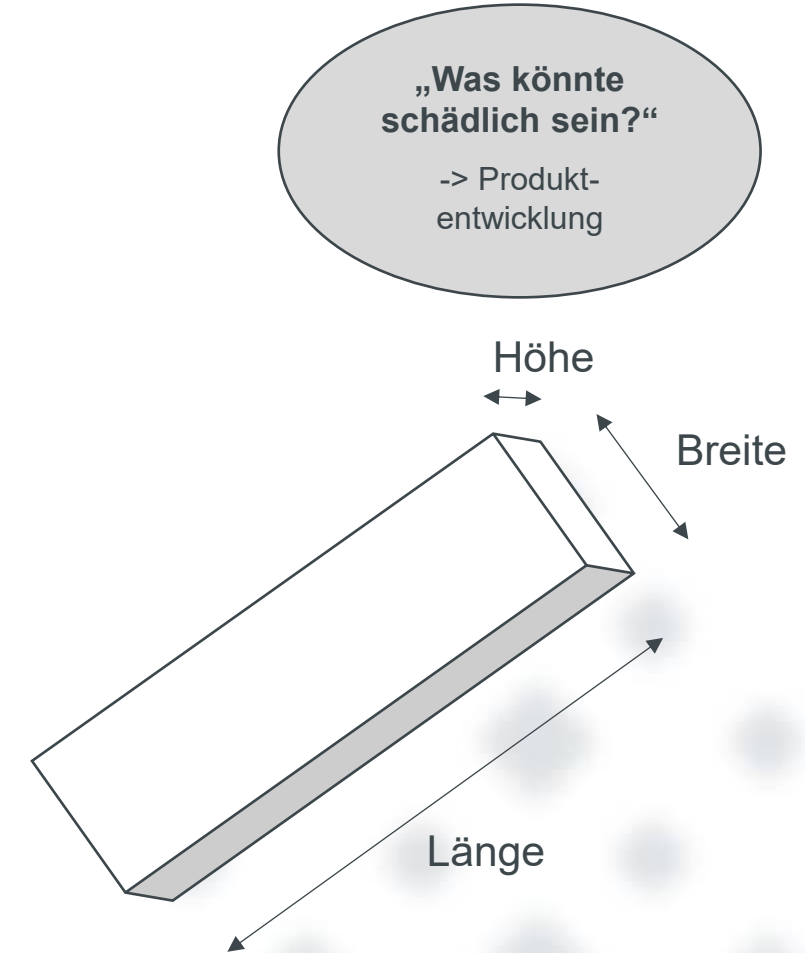
Identifikation von Schädigungsmechanismen

Antwort: Es wird sich auf die Oberfläche legen



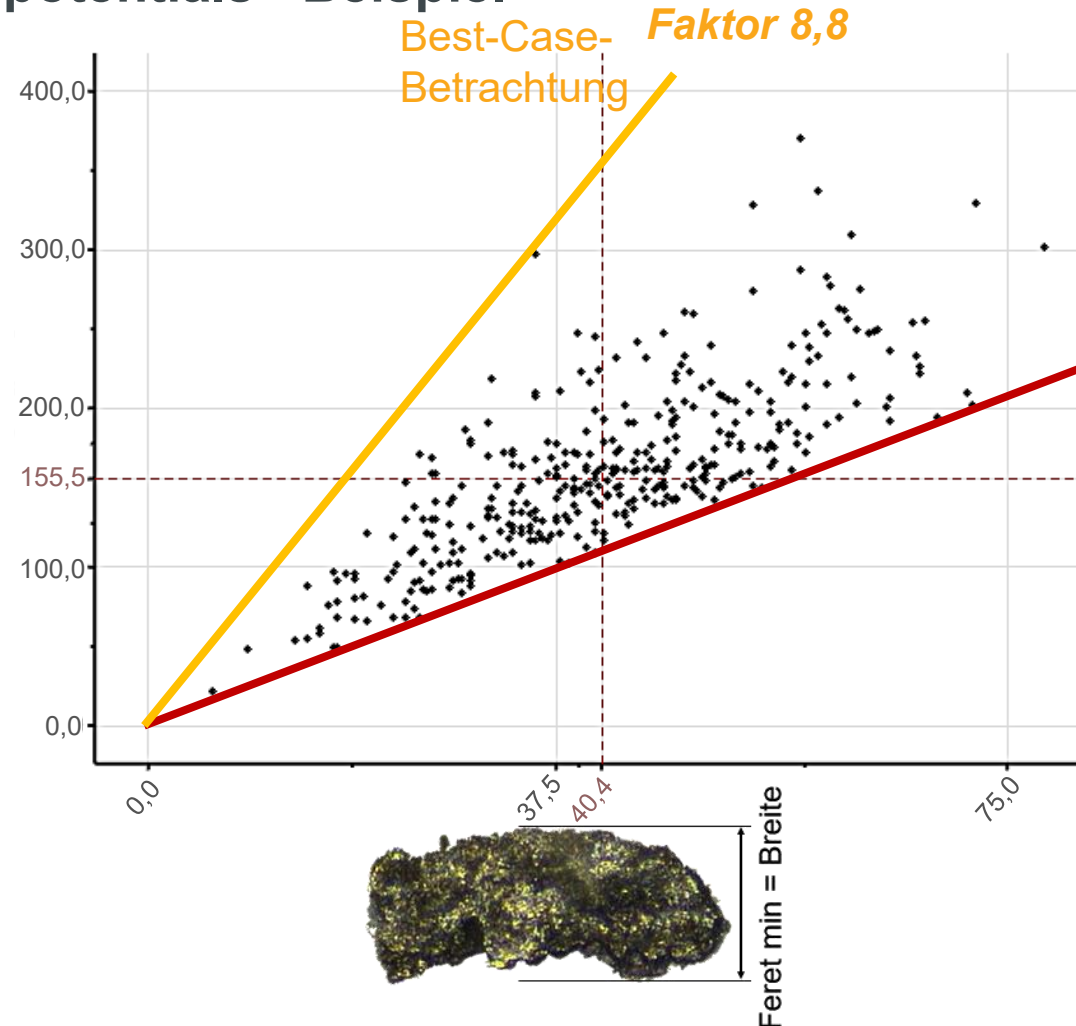
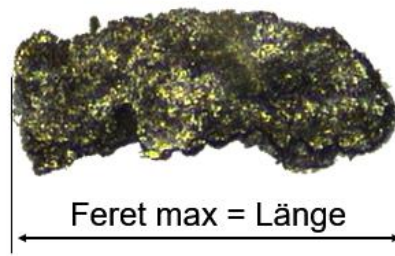
Partikellänge ist
daher nicht für die
Schädigungs-
wirkung relevant!

Eher die
Partikelhöhe



Ableitung des Schädigungspotentials - Beispiel

Statistische Auswertung der auf den Produkten vorfindbaren Partikellängen vs. Partikelbreiten



„Was könnte
schädlich sein?“

-> Produkt-
entwicklung

DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Identifikation von Schädigungsmechanismen

Ableitung des Schädigungspotentials - Beispiel

Da es aus der Messtechnik keine ausreichende Datenbasis für die Höhe eines Partikels gibt kann diese (auf Basis von empirischen Versuchen) in einer Worst-Case Betrachtung gleichgesetzt werden!

„Was könnte
schädlich sein?“

-> Produkt-
entwicklung

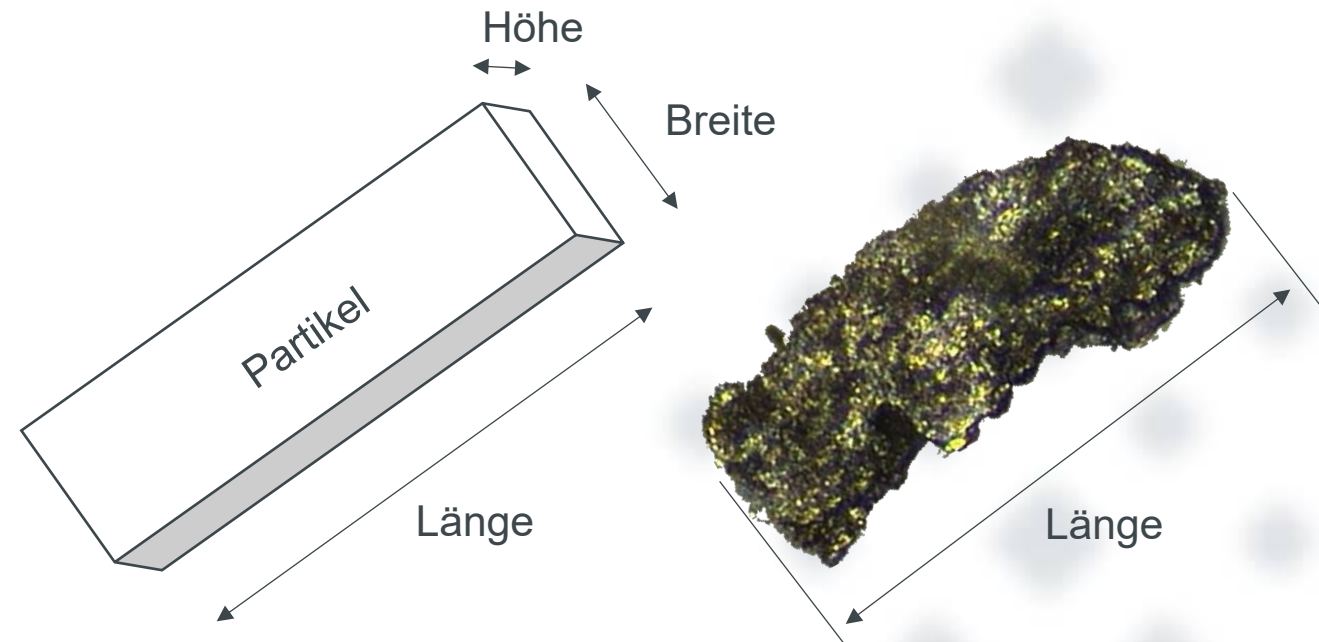
Höhe = Breite

Länge

50 μm

Faktor 2,8

140 μm



Identifikation von Schädigungsmechanismen

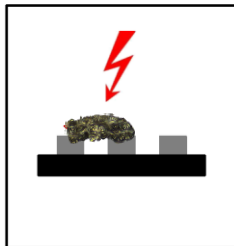
Ableitung des Schädigungspotentials

„Was könnte
schädlich sein?“

-> Produkt-
entwicklung



Kurzschluss von
Leiterbahnen



◆ Steuerelektronik



Quelle: MBN LV126

Identifikation von Schädigungsmechanismen

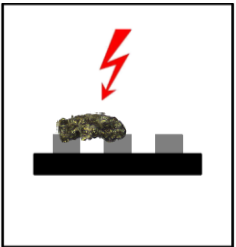
Ableitung des Schädigungspotentials



„Was könnte
schädlich sein?“

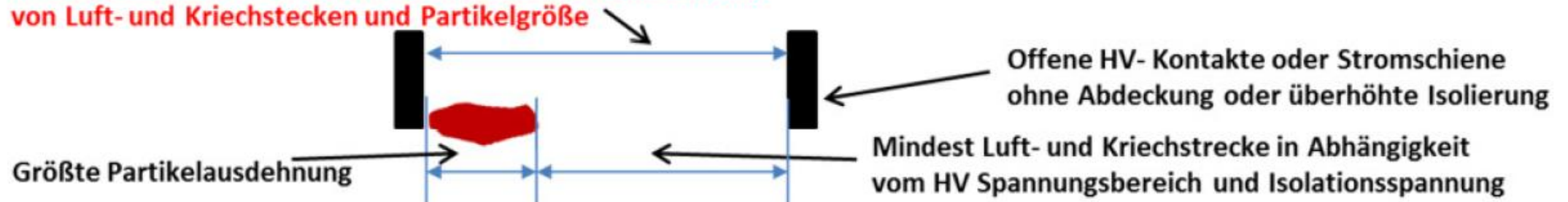
-> Produkt-
entwicklung

Verkürzung der
elektrischen Isolation



- ◆ Leistungselektronik
- ◆ Hochvolt-Systeme

**Mindestabstand offener HV Kontakte unter Berücksichtigung
von Luft- und Kriechstecken und Partikelgröße**



Welche Kontamination ist tatsächlich schädlich?

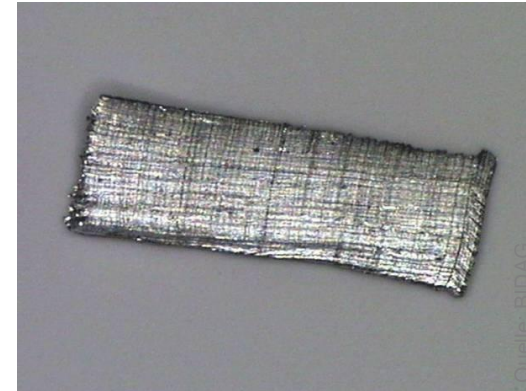
Erfahrungen aus aufgetretenen Funktionsbeeinträchtigungen berücksichtigen

- ◆ Felderfahrung
- ◆ Prüfstandsversuche
- ◆ Dauerlaufuntersuchungen und Rafftests
- ◆ Schadpartikelversuche

System mit Partikeln gezielt beaufschlagen und Wirkung unter Realbedingungen untersuchen

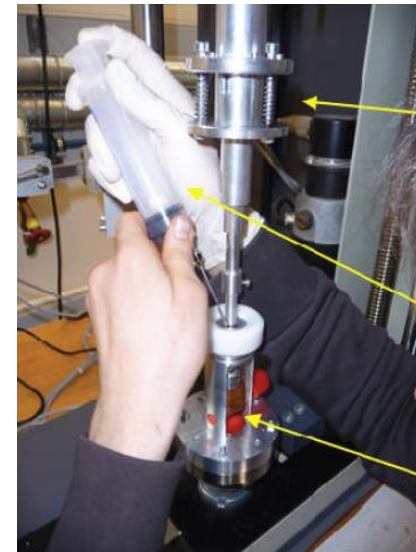
Ziel der Tests:

- Identifizierung Partikelgröße / -art / -anzahl
- Identifizierung vollständigem Ausfall / irreversible Schädigung / Einschränkung der Lebensdauer



„Welche
Kontamination ist
tatsächlich
schädlich“

-> Kunde, Versuch



Schieberszillation

Spritze mit
Referenzpartikel in Öl

Auffangbehälter

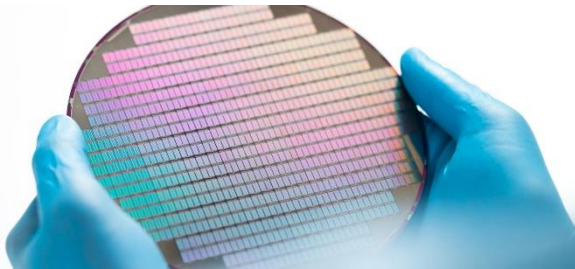


DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Was kann intern und extern erreicht werden?

„Was kann wirtschaftlich hergestellt werden?“

-> Einkauf



Strukturierte Wafer



Stanz-Biege-Bauteile

Rechtfertigt mein Produkt meine Spezifikation?

Kein Partikel größer

<1 µm

50 µm

500 µm

1000 µm

2000 µm



Kein Partikel größer

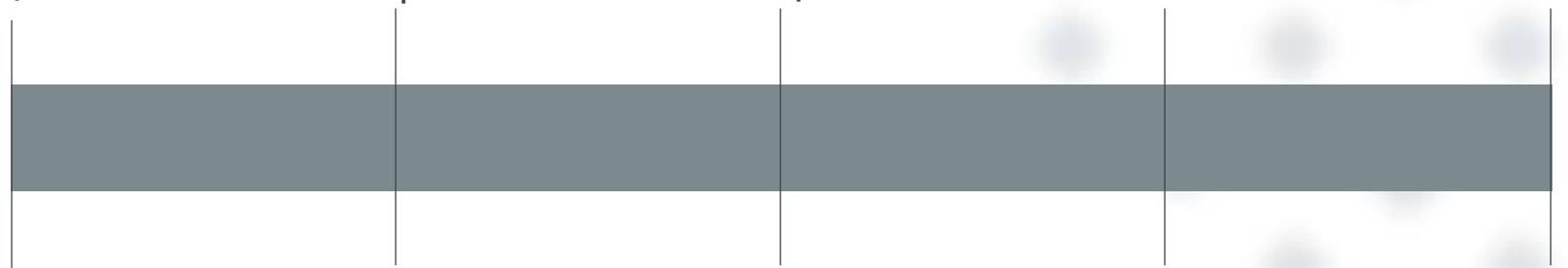
<1 µm

50 µm

500 µm

1000 µm

2000 µm

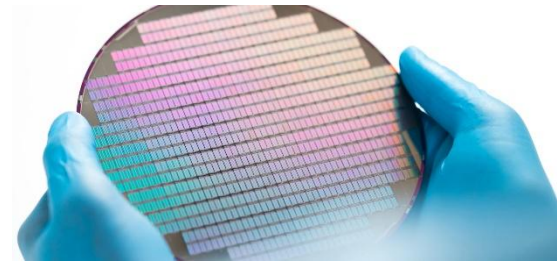


DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Was kann intern und extern erreicht werden?



Stanz-Biege-Bauteile



Strukturierte Wafer

Bearbeitungszeit	0,4s	2 Stunden
Herstellkosten	0,05 Cent	200-600€
Umgebung	unkontrolliert	Reinraum
Verschmutzung	Kein Partikel >600µm	Kein Partikel >1µm

„Was kann in der
Produktion erzielt
werden?“

-> Lieferanten/
Produktion

„Was kann
wirtschaftlich
hergestellt
werden?“

-> Einkauf

**Die Anforderungen müssen in Einklang mit den gegebenen, wirtschaftlichen
Herstellungsverfahren stehen!**

Gemäß VDA 19 Teil 1 bzw. ISO 16232 sind folgende Grenzwertarten möglich:

◆ Gravimetrischer Grenzwert

	Soll <i>rated value</i>
Gravimetrie / Bauteil <i>Gravimetric result / Component</i>	$\leq 1 \text{ mg}$

◆ Gravimetrischer Grenzwert und Spezifikation des größten Partikels

	Soll <i>rated value</i>
Gravimetrie / Bauteil <i>Gravimetric result / Component</i>	$\leq 1 \text{ mg}$
Größtes metallisch glänzendes Partikel <i>Largest metallic shining particle</i>	$\leq 400 \text{ }\mu\text{m}$
Größtes nicht glänzendes Partikel ¹⁾ <i>Largest not shining particle ¹⁾</i>	$\leq 1500 \text{ }\mu\text{m}$

◆ Partikelgrößenverteilung

I TECHNICAL CLEANLINESS ACC. VDA19/ISO16232-10

CLEANLINESS FOR COMPONENT PART
CCC = N(E200/F100/G50/H25/I1/J-K0)
N=3

VDA 19	
Größe x [μm]	Partikelanzahl
5 < x < 15	
15 < x < 25	
25 < x < 50	700
50 < x < 100	220
100 < x < 150	150
150 < x < 200	
200 < x < 400	10
400 < x < 500	2
500 < x < 1000	0

„Was kann
analysiert
werden?“

-> TecSa Labor

Gemäß VDA 19 Teil 1 bzw. ISO 16232 sind folgende Grenzwertarten möglich:

◆ Partikelgrößenverteilung und Partikelmateriale

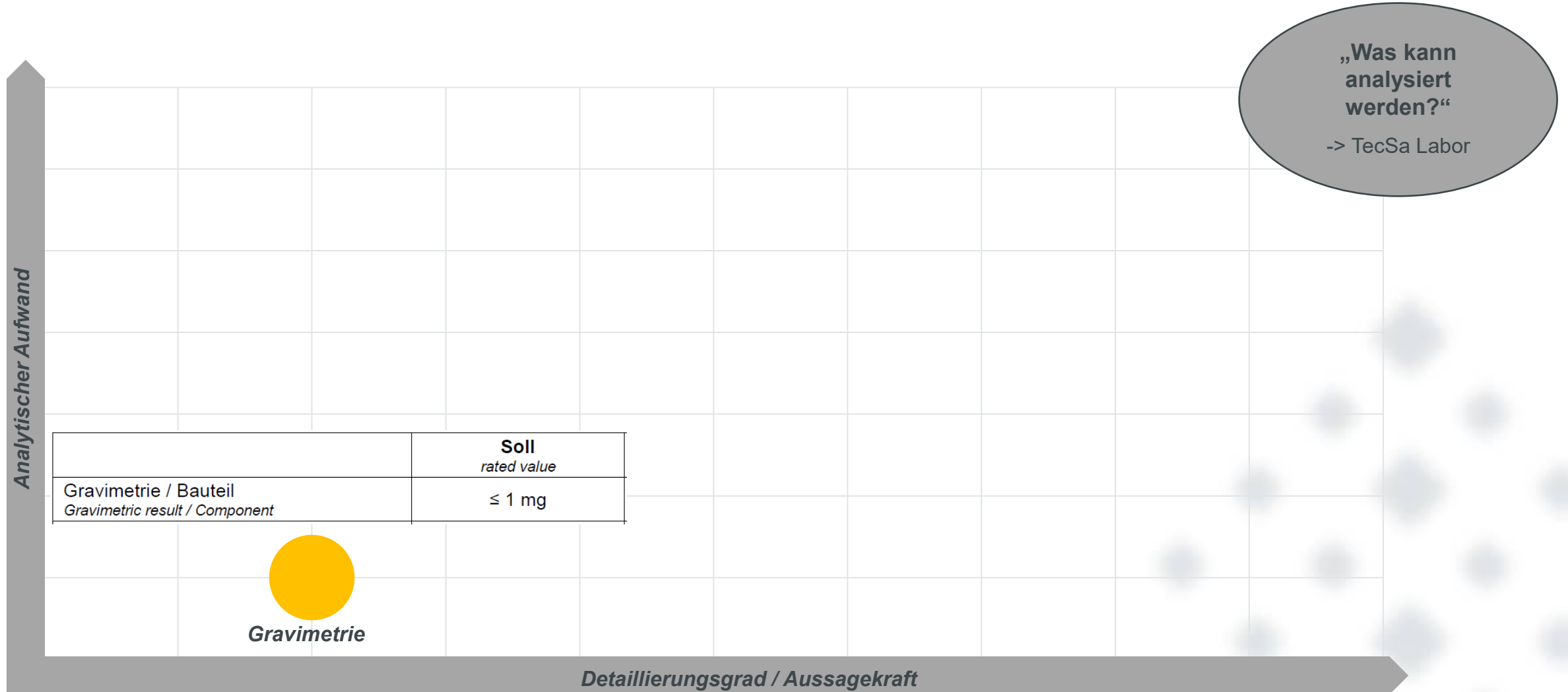
Zul. Partikelanzahl PERMITTED PARTICLE NUMBER							
				Metallische Partikel	nicht metallische Partikel		
PARTIKELLAENGE Definition nach QV11111 - Kap. 3.3.1 PARTICLE LENGTH definition acc. to. QV11111 - chap. 3.3.1				HARTE PARTIKEL keine Härteklasse nach QV11111 - Kap. 3.4 HARD PARTICLES NO hardness class H1 and H2 acc. QS11111 - chap. 3.4	WEICHE PARTIKEL ohne Haerteklasse nach QV11111 - Kap. 3.4 SMOOTH PARTICLES w/o hardness class acc. to QS11111 - chap. 3.4	FASERN Def. nach QV11111 - Kap. 3.2 FIBRES def. acc. to QS11111 - chap. 3.2	
				Zul. Partikelanzahl PERMITTED NO.	Zul. Partikelanzahl PERMITTED NO.	Zul. Partikelanzahl PERMITTED NO.	
E	50	-	100	k.E.	k.E.		
F	100	-	150	k.E.	k.E.		
G	150	-	200	k.E.	100		
H	200	-	400	10	50		
I	400	-	600	0	10		
J	600	-	1000	0	0		
	>1000			0	0		
Zul. Partikelgesamtmasse [mg]: 2 Permitted particle weight [mg]: t.b.d.							

„Was kann
analysiert
werden?“

-> TecSa Labor

DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grenzwertarten, Aufwand und Detaillierungsgrad



DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grenzwertarten, Aufwand und Detaillierungsgrad

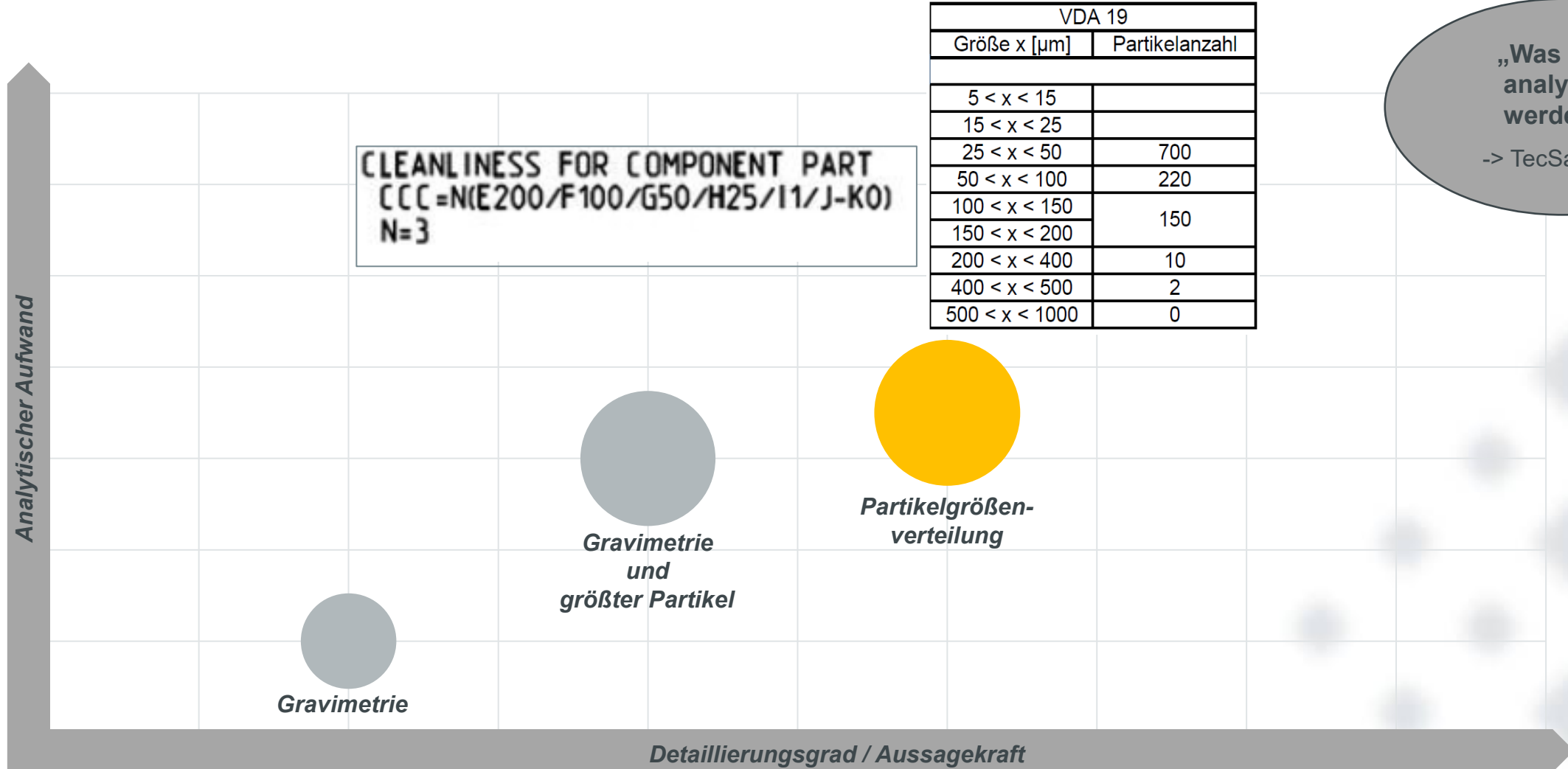


„Was kann analysiert werden?“

-> TecSa Labor

DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grenzwertarten, Aufwand und Detaillierungsgrad

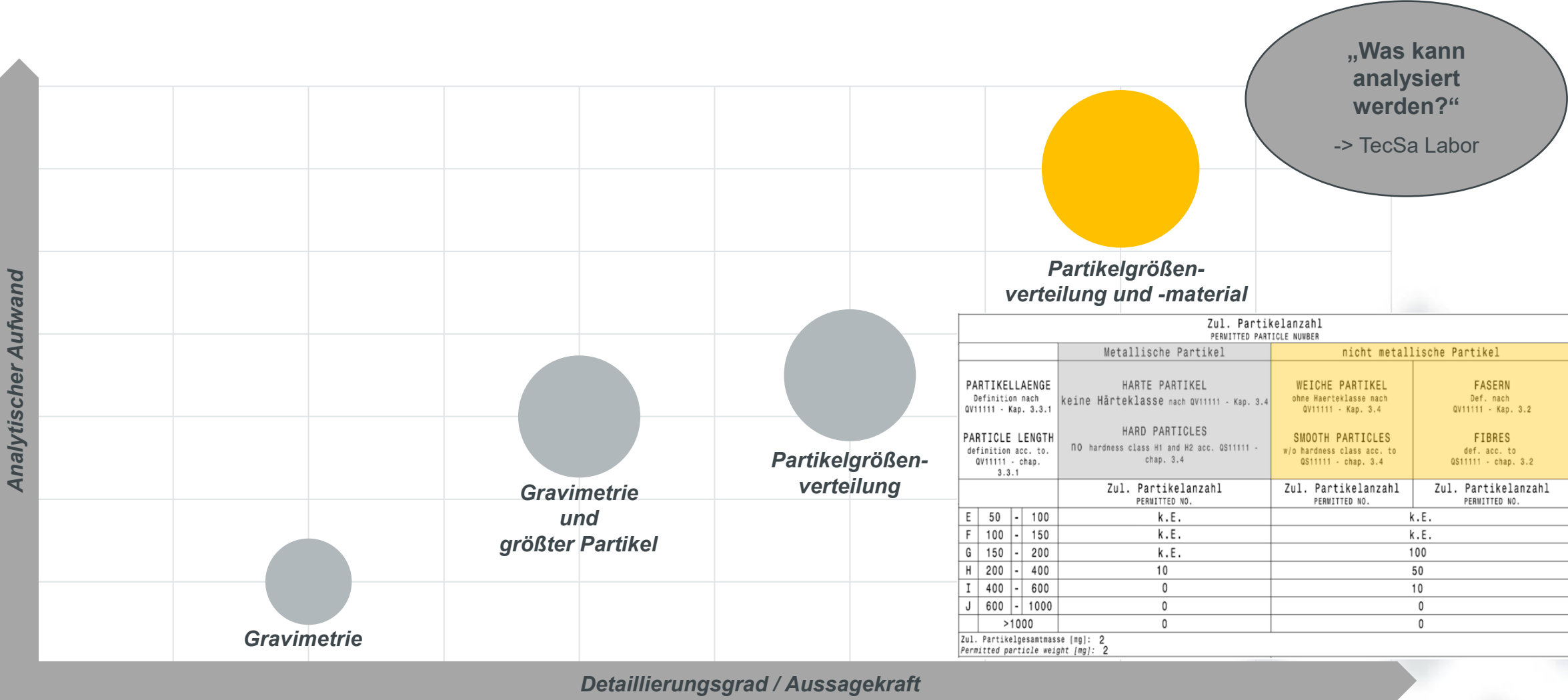


„Was kann analysiert werden?“

-> TecSa Labor

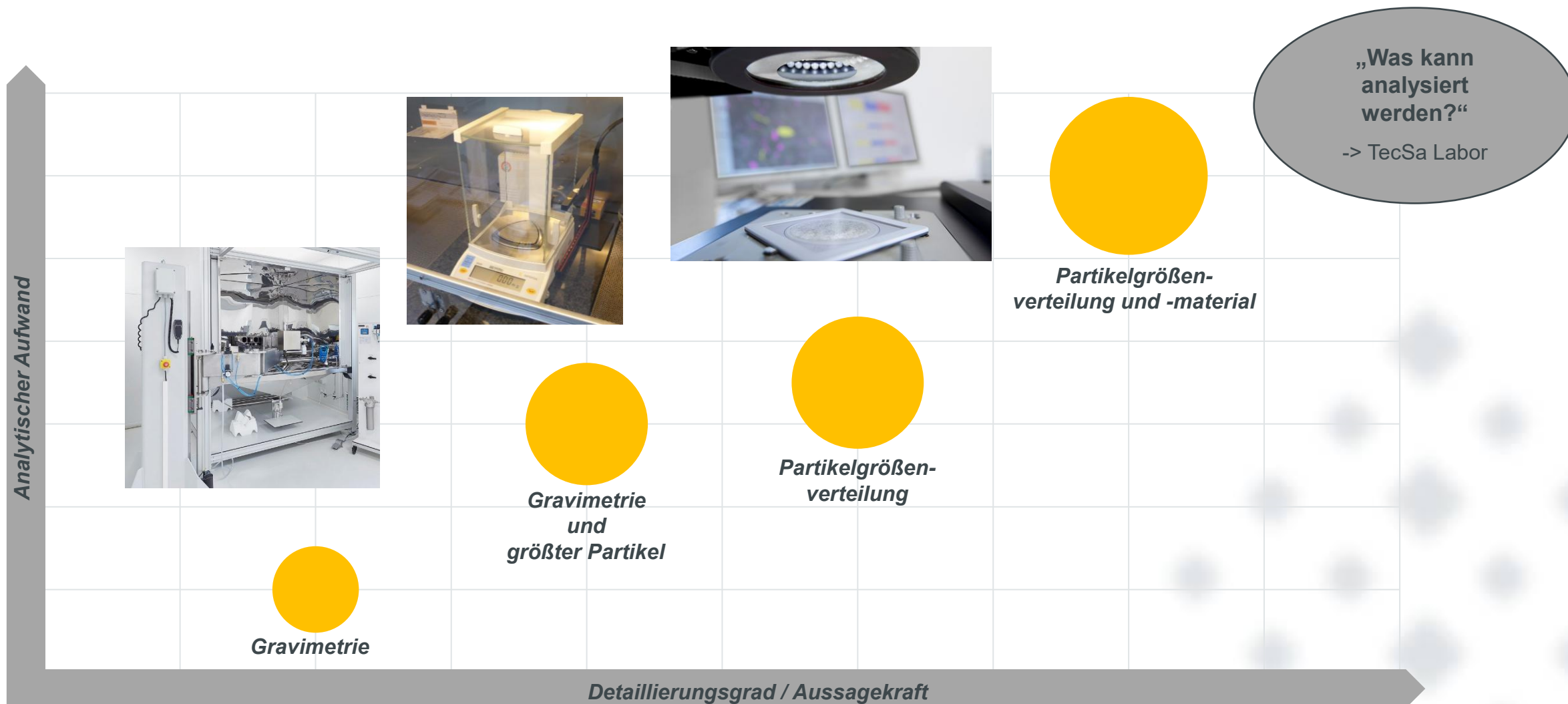
DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grenzwertarten, Aufwand und Detaillierungsgrad



DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

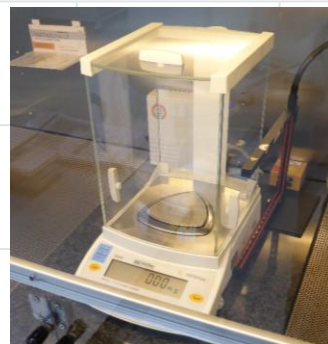
Grenzwertarten, Aufwand und Detaillierungsgrad



Analytischer Aufwand



Gravimetrie

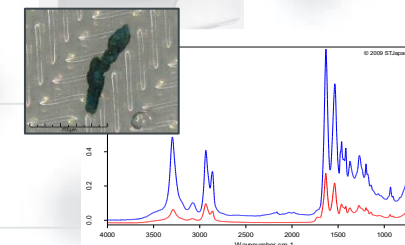
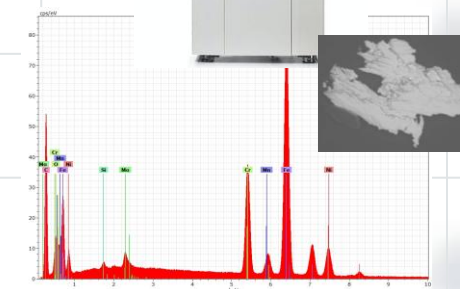


Gravimetrie
und
größter Partikel



Partikelgrößen-
verteilung

Partikelgrößen-
verteilung und -material



„Was kann
analysiert
werden?“

-> TecSa Labor

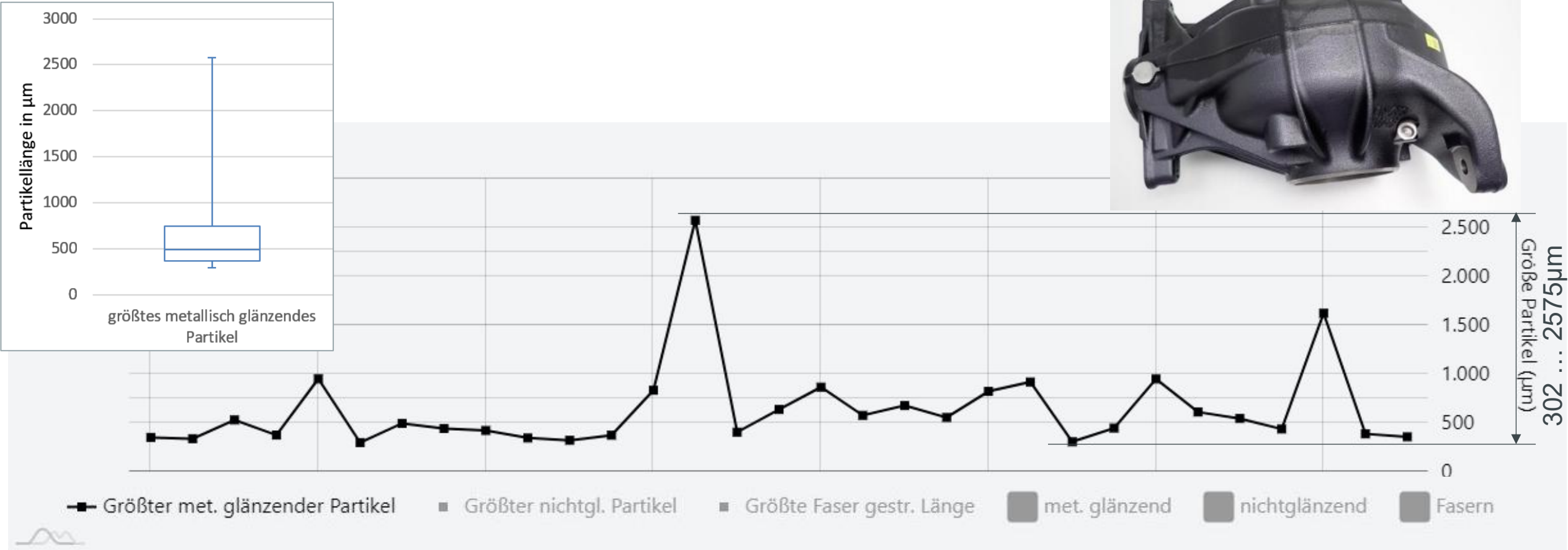
Detaillierungsgrad / Aussagekraft

Warum Sauberkeitsanforderungen?

Die Form folgt der Funktion!

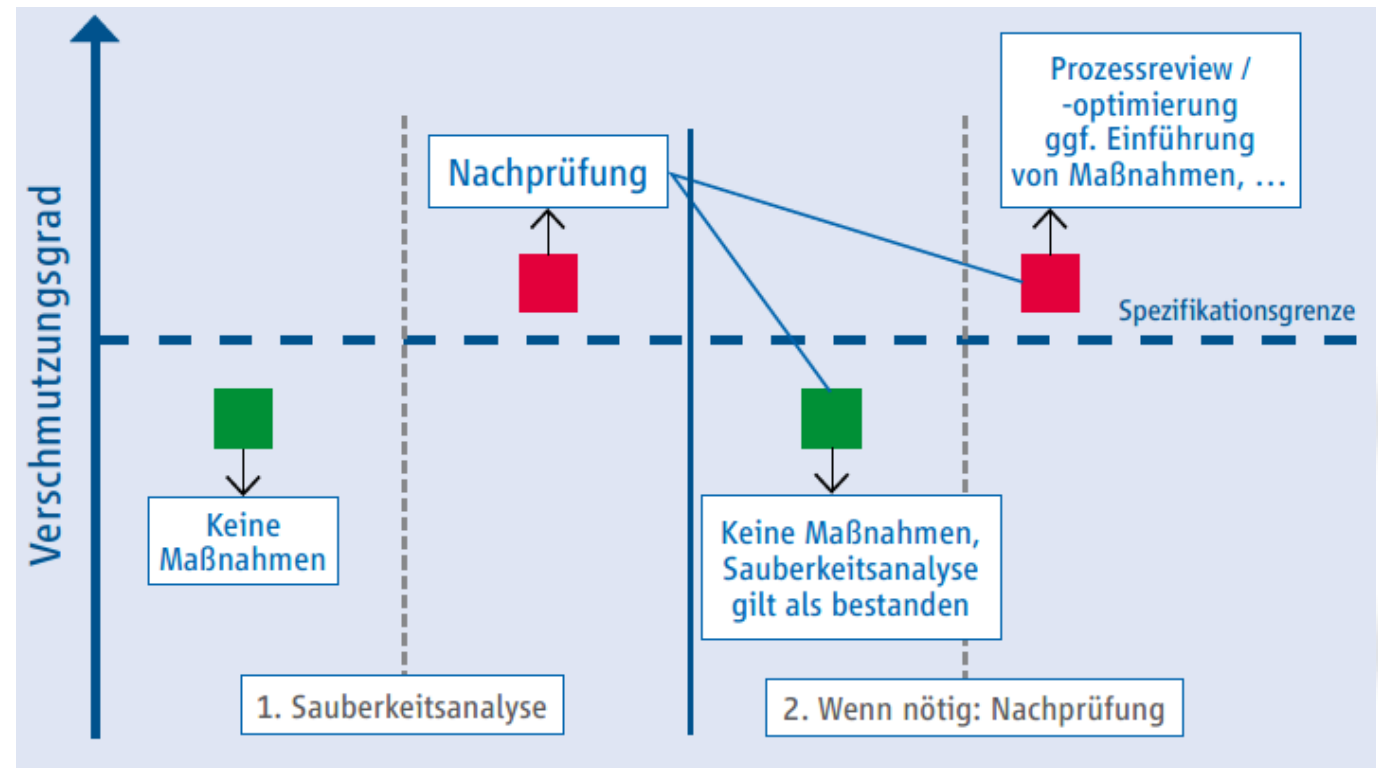
Umgang mit Ausreißern?

Sauberkeitsergebnisse weisen oft große Schwankungen auf!



Ausreißer-Regel und Eskalationsstrategie

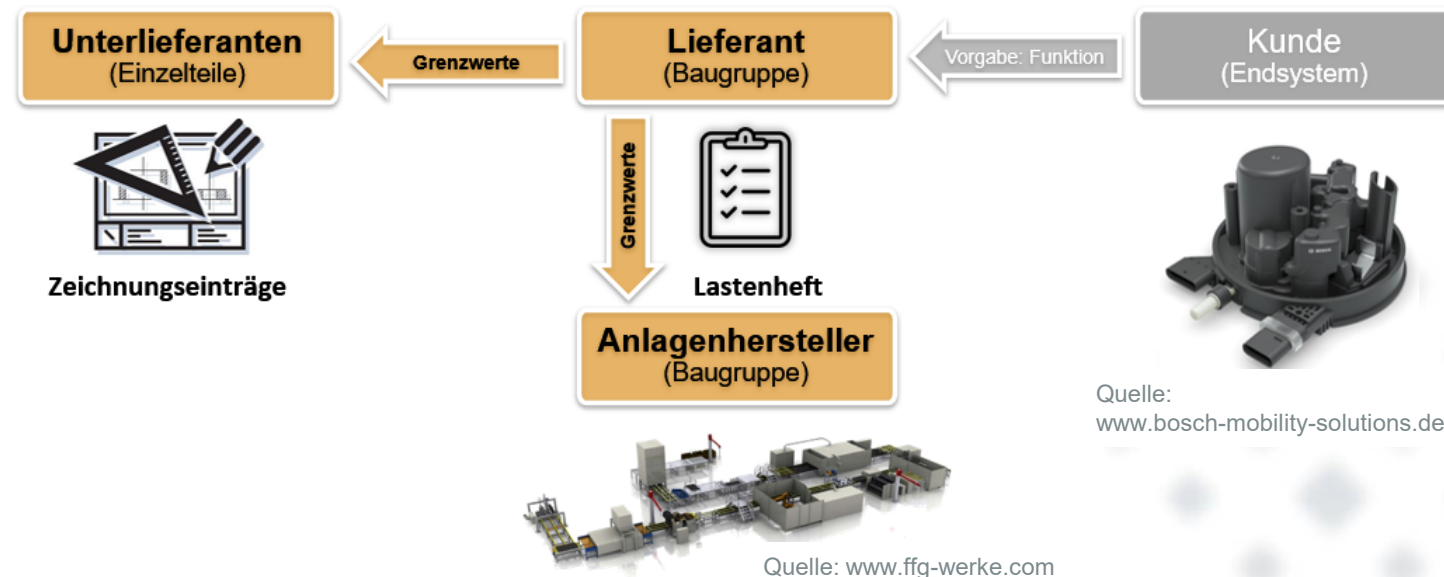
- ◆ Da es – aufgrund der hohen Varianz – im Gebiet der Technischen Sauberkeit immer wieder zu Ausreißern vom Grenzwert kommt, ist eine Eskalationsstrategie bei Abweichungen empfehlenswert
- ◆ Beispiele von Ausreißer-Regelungen:
 - Wiederholung der Messung an Bauteilen der gleichen Charge
 - Statistische Ansätze
 - Bei wiederholter Abweichung Initiierung von Ursachenanalysen und Optimierungsprojekten



DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grundsätzliche Empfehlungen zur Definition von Grenzwerten

- ◆ Grenzwertfestlegung auf Basis der Vorgehensweise:
„**so sauber wie nötig**“ und nicht „**so sauber wie möglich**“
- ◆ Die Möglichkeiten der Produktion aber auch Analytik sollten mitbetrachtet werden!
- ◆ Ein Nachweis zur Prozessfähigkeit zu Merkmalen der TecSa über eine Prozessfähigkeitskennzahl cpk kann grundsätzlich nicht geführt werden!
- ◆ Wichtig: Erstellung einer Eskalationsstrategie bei Abweichungen vom Grenzwert!



DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grundsätzliche Empfehlungen zur Definition von Grenzwerten



PROJEKT

Bauteilreinigung und technische Sauberkeit – Teil 1: Verfahren für die Herleitung und Erstellung einer Sauberkeitsspezifikation

Kurzreferat

Dieses Dokument legt ein Verfahren zur Herleitung und Erstellung einer Sauberkeitsspezifikation für Bauteile entlang der Prozesskette. Dieses Dokument wurde für metallische Bauteile entwickelt; das beschriebene Verfahren ist jedoch auch auf Bauteile anderer Werkstoffe und Baugruppen anwendbar. Dieses Dokument richtet sich insbesondere an Planer, Qualitätsverantwortliche und Produktionsverantwortliche in industriellen Produktionsprozessen metallischer Bauteile. Dieses Dokument erläutert die Herleitung von Grenzwerten, legt jedoch keine Grenzwerte für einzelne Verunreinigungen oder Verunreinigungsclassen innerhalb oder am Ende der Prozesskette fest.

Beginn

2025-02-03

Geplante Dokumentnummer

DIN 4878-1

Projektnummer

06236603

Zuständiges nationales Arbeitsgremium

NA 062-01-81 AA - Bauteilreinigung und Sauberkeit von metallischen Komponenten im Herstellungsprozess >

IHR KONTAKT

Steffen Jenkel

Am DIN-Platz, Burggrafenstr. 6
10787 Berlin

[Zum Kontaktformular >](#)

DEFINITION UND UMGANG VON/MIT SAUBERKEITSGRENZWERTEN

Grundsätzliche Empfehlungen zur Definition von Grenzwerten



Partikelanzahl pro
Größenklasse

Kritische Fläche pro
Größenklasse

Gesamtinnenfläche

Einbaulage

Gewichtungsfaktoren





Haben Sie Fragen zu dem Vortrag?



Chat



E-Mail

seminar@cleancontrolling.de

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

