CleanControlling®



SEMINAR

REVISION VDA19.1/2026

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

Tobias Ulrich-Enderlein, CleanControlling GmbH

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Inhalt

Warum Sauberkeitsanforderungen?

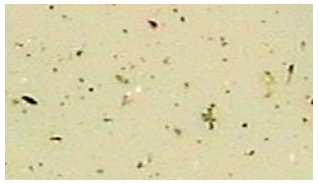
Der Weg zur Sauberkeitsanforderung

Prüfstrategie und Absicherung der Technischen Sauberkeit für nicht prüfbare Bauteile bzw. Baugruppen

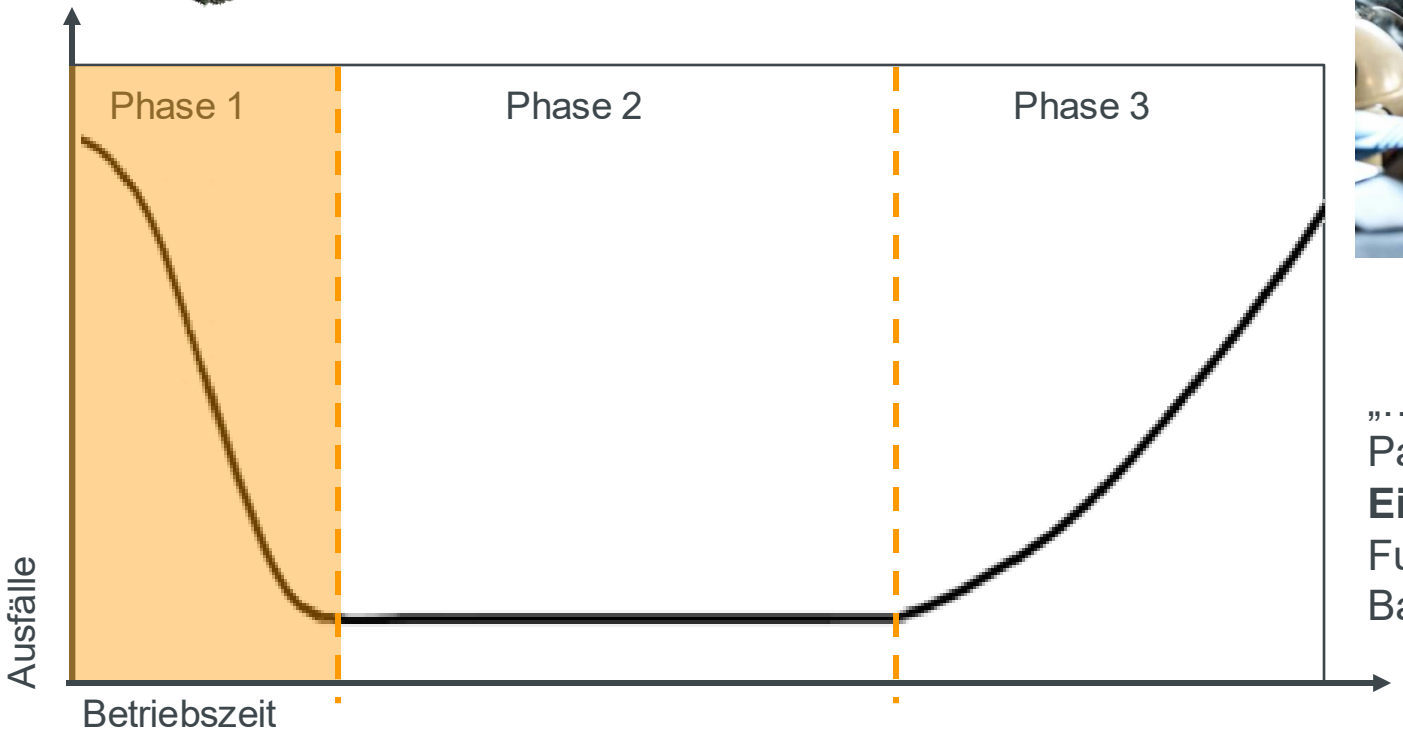
© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Warum Sauberkeitsanforderungen?









„…, wenn durch Partikelverunreinigungen eine **Einschränkung oder Gefahr** für die Funktion des betroffenen Systems oder Bauteil besteht“

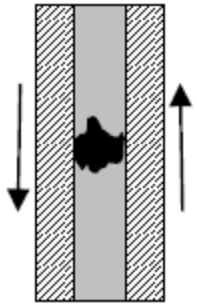
Quelle: Unternehmensverbund VDA19/1

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Beispiele für Schadensmechanismen – VDA19.1/2015

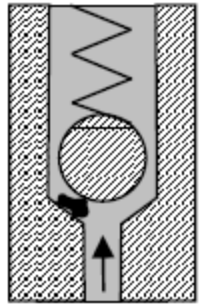
Klemmen von Lagern oder Gleitflächen

- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Dosierpumpen
- Zylinderlaufbahn



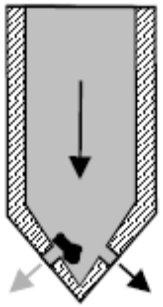
Blockieren von Ventilen

- Antiblockier-system
- Hydraulik
- Bremskraft-verstärker



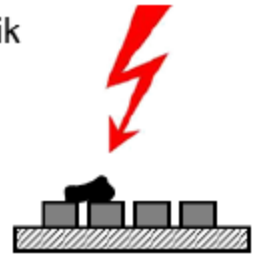
Verstopfen von Düsen oder Filtern

- Injektoren
- Kraftstoffzuführung



Kurzschluss von Kontakten

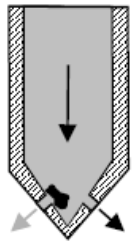
- Steuerelektronik
- Leistungs-elektronik



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

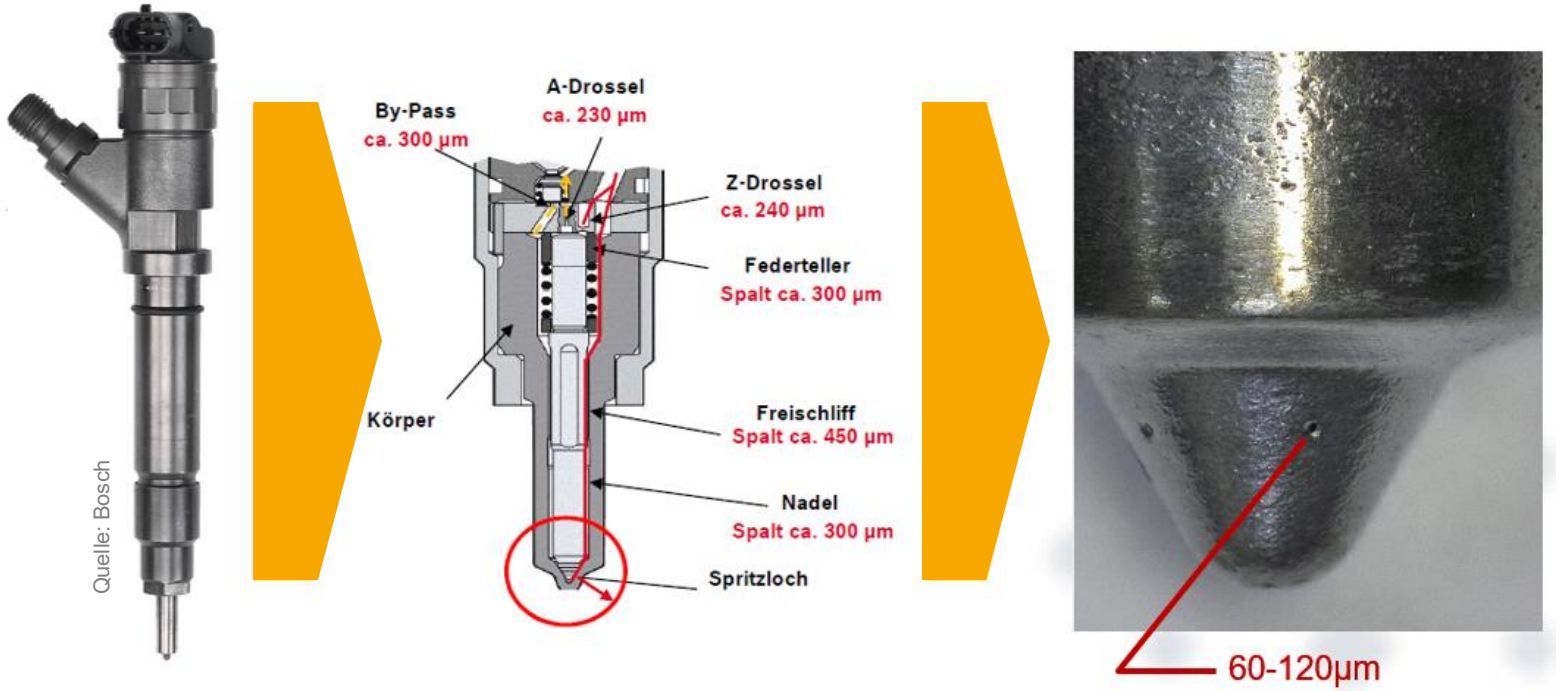
Verblocken von Düsen oder Filtern



- Kraftstoffzuführung
- Injektoren



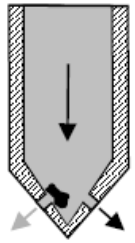
Partikel in den Einspritzbohrungen verhindern die Kraftstoffeinspritzung



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

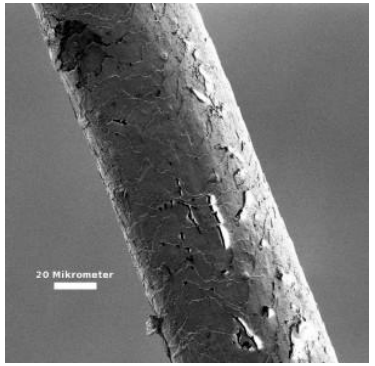
Verblocken von Düsen oder Filtern



- Kraftstoffzuführung
- Injektoren



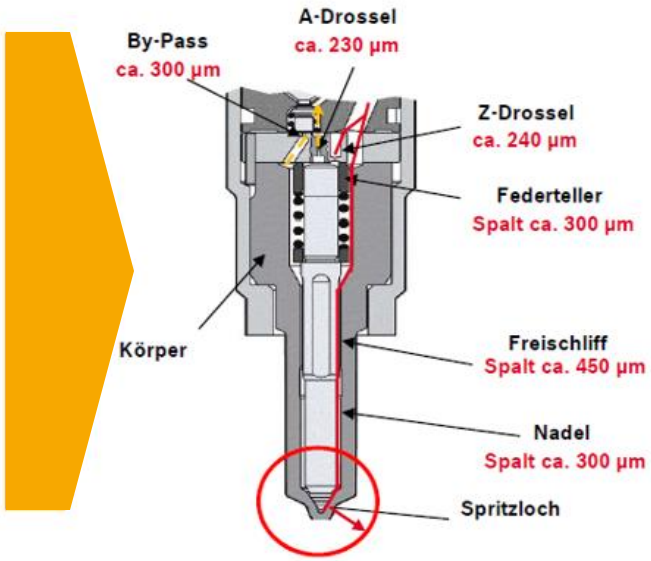
Partikel in den Einspritzbohrungen verhindern die Kraftstoffeinspritzung



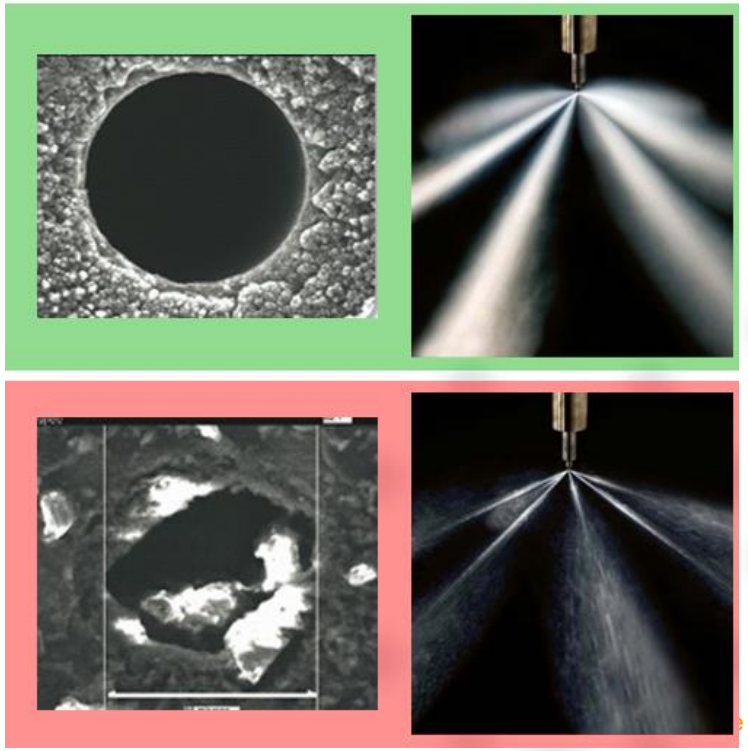
Menschliches Haar
60-120 µm



Quelle: Bosch



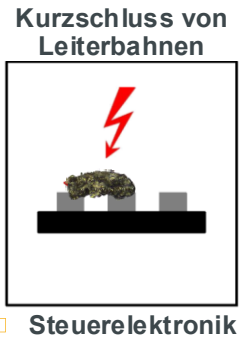


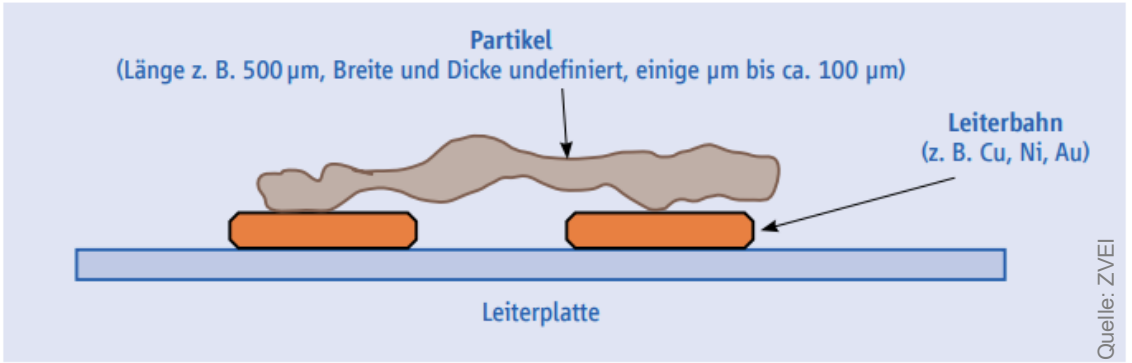


Quelle: Bosch

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie



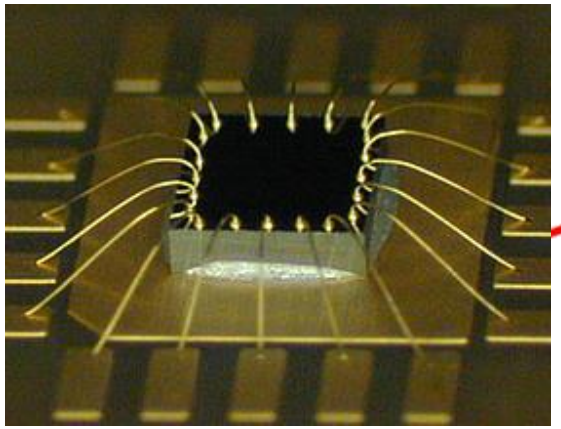




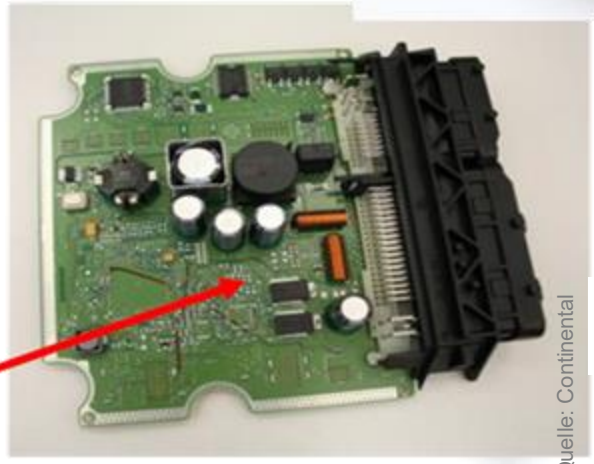
System-Montage:
Auch hier spielt die Sauberkeit eine entscheidende Rolle

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

Vermeidung:
- Schützen sensitiver Bereiche
- Design-Principles
- Pin-FMEA



Chip-Herstellung:
Wenige 10 Nanometer große Partikel



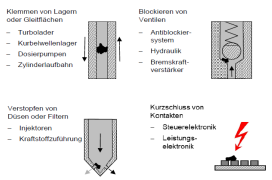
PCBA-Herstellung:
wenige hundert Mikrometer

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

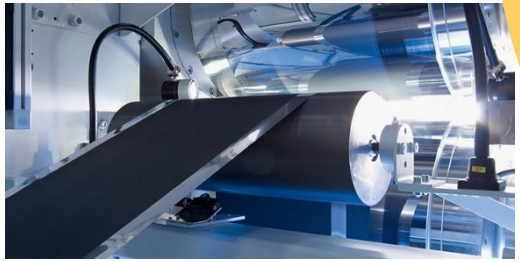
Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

CleanControlling®

VDA19.1/2015



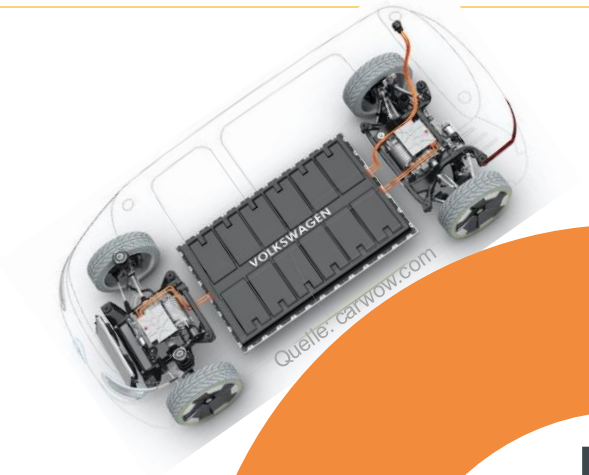




Quelle: Breyer



Quelle: electrive.net





Quelle: VDA QMC

Revision VDA19.1 (02/2026)





Herausforderung für die Prüf-/Reinigungstechnik

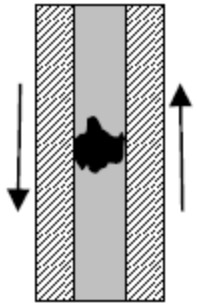
- Große Bauteile, neue Technologien Batterie & H_2
- Trockene Prozesskette
- Kleinere Partikel / höhere Sauberkeitsanforderungen
- Größerer Inspektionsbereich

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Beispiele für Schadensmechanismen – VDA19.1 Stand 2015

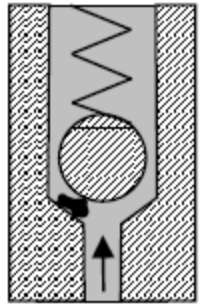
Klemmen von Lagern oder Gleitflächen

- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Dosierpumpen
- Zylinderlaufbahn



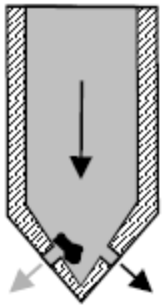
Blockieren von Ventilen

- Antiblockier-system
- Hydraulik
- Bremskraft-verstärker



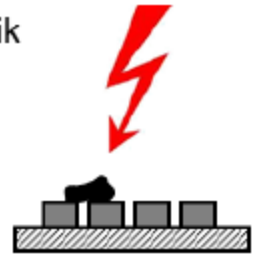
Verstopfen von Düsen oder Filtern

- Injektoren
- Kraftstoffzuführung



Kurzschluss von Kontakten

- Steuerelektronik
- Leistungs-elektronik



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

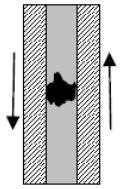
Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

CleanControlling®

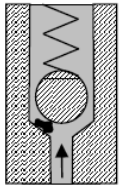
Beispiele für Schadensmechanismen

Aktueller Stand VDA19.1 2026

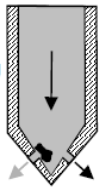
Klemmen von Lagern oder Gleitflächen
- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Dosierpumpen
- Zylinderlaufbahn



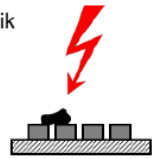
Blockieren von Ventilen
- Antiblockier-system
- Hydraulik
- Bremskraft-verstärker



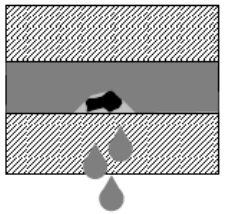
Verstopfen von Düsen oder Filtern
- Injektoren
- Kraftstoffzuführung



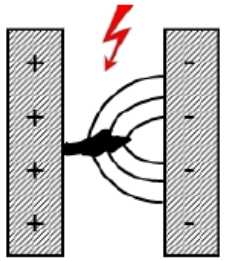
Kurzschluss von Kontakten
- Steuerelektronik
- Leistungs-elektronik



Leckage von Dichtungen
- Leitungen
- Tanks
- Batteriewannen
- Elektronik-gehäuse

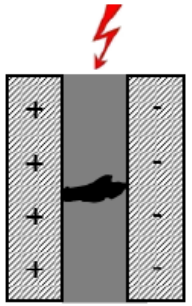


Verringerung von Luft- und Kriechstrecken
- Hochvolt-anwendungen

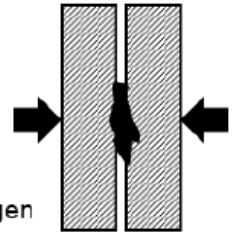


NEW

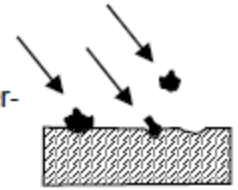
Beeinträchtigung von Isolationsschichten
- Hochvolt-anwendungen



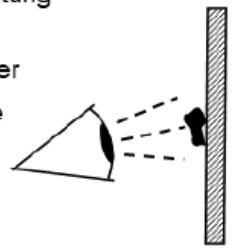
Beeinflussung von Übergangs-widerständen
- Stecker
- Kontakte
- Elektro-Verschraubungen



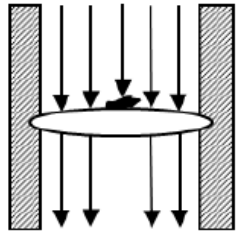
Oberflächen-Beschädigungen
- Kugellager
- Sensoren
- Scheinwerfer-scheiben



Optische Anmutung
- Scheinwerfer
- Instrumente



Optische Blockade
- Sensoren
- Kameras



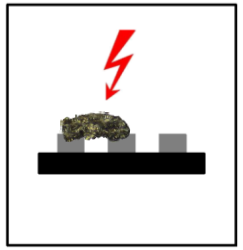
VDA19.1 Kapitel A2.1

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

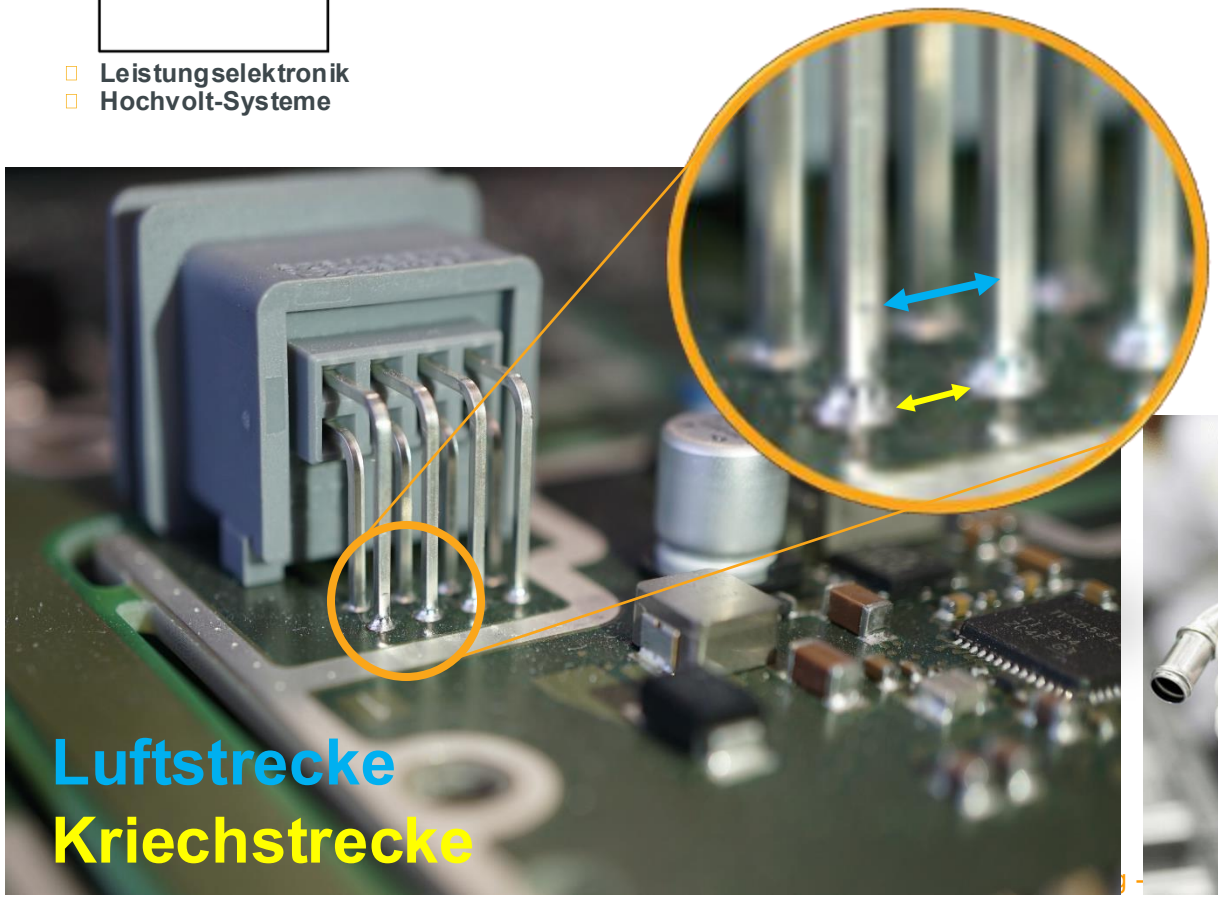
CleanControlling®

Verkürzung der elektrischen Isolation



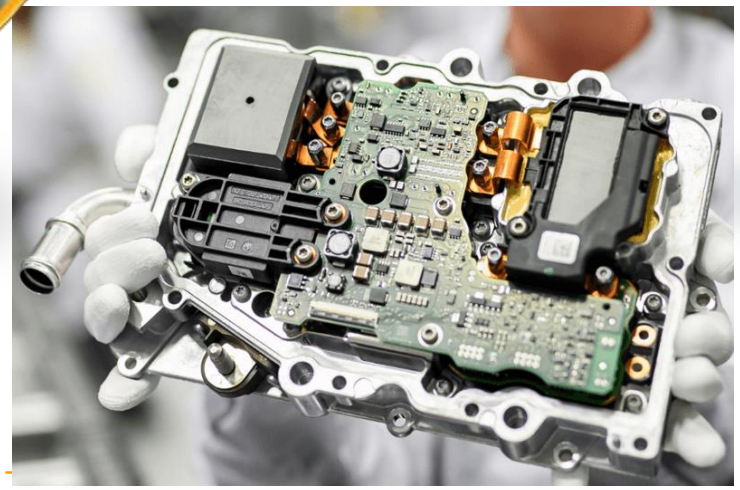
- Leistungselektronik
- Hochvolt-Systeme

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





Quelle: VW



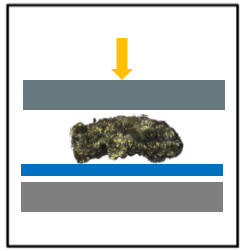
Quelle: Continental



Quelle: Kostal

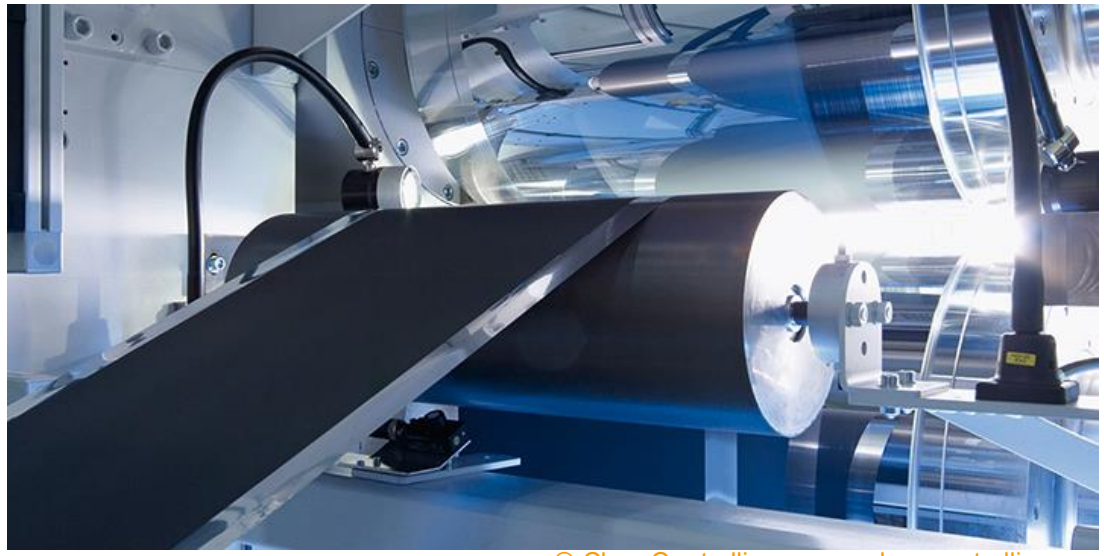
Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

Mechanische oder chemische Schädigung von Folien

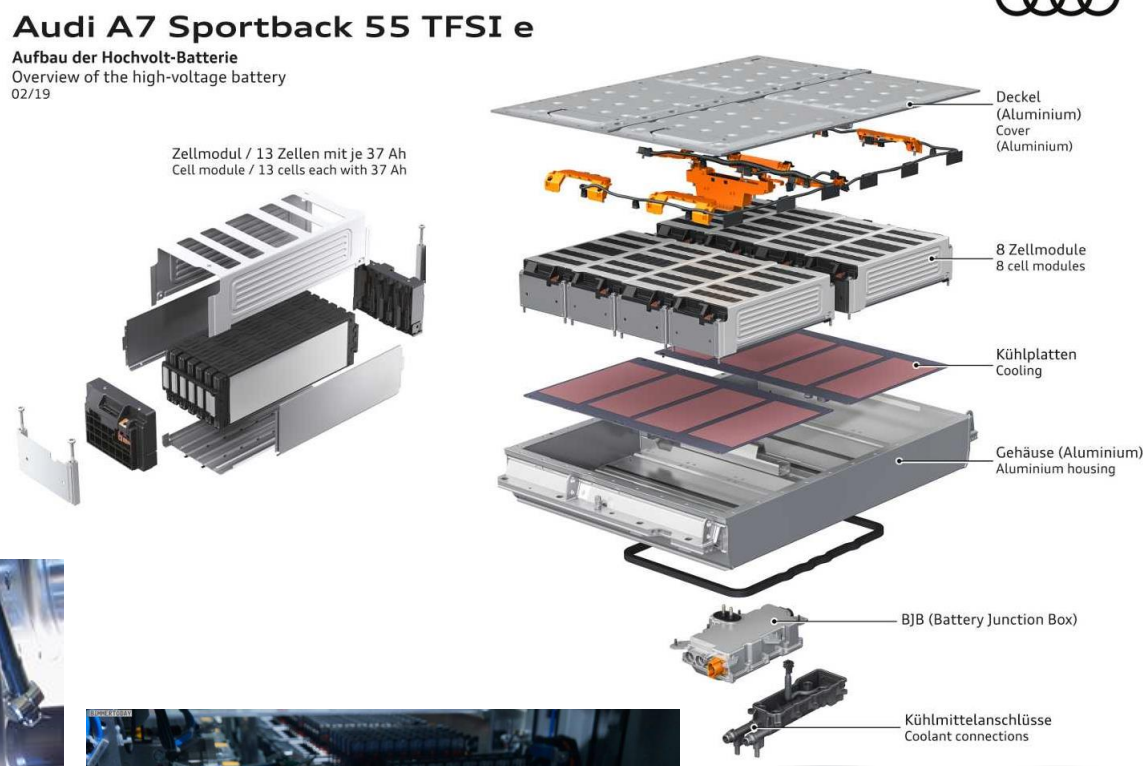


- Batterieelektroden
- Separatoren
- Isolierungsfolien

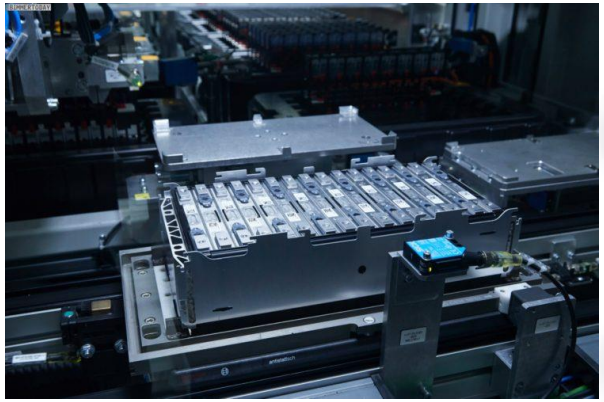




Quelle: Breyer



Quelle: AUDI



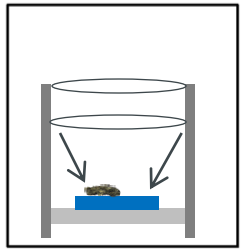
Quelle: VW

Kritische Partikelgrössen:
≥ 10µm

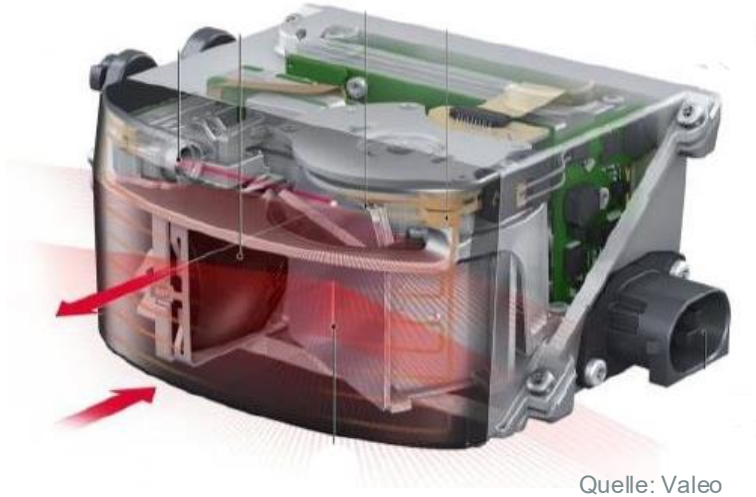
© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

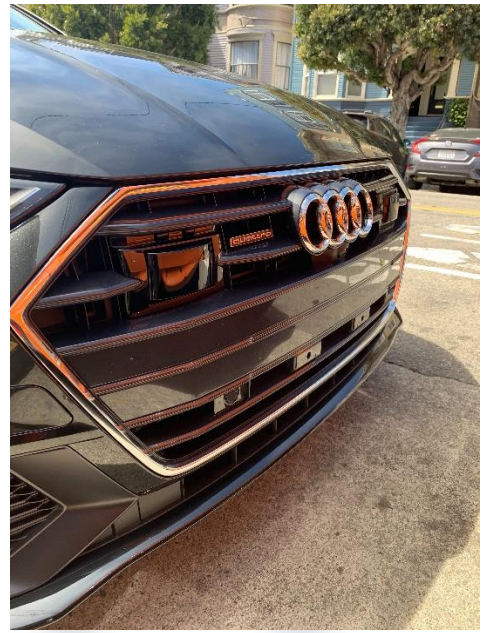
Optische Beeinträchtigung von Sensoren



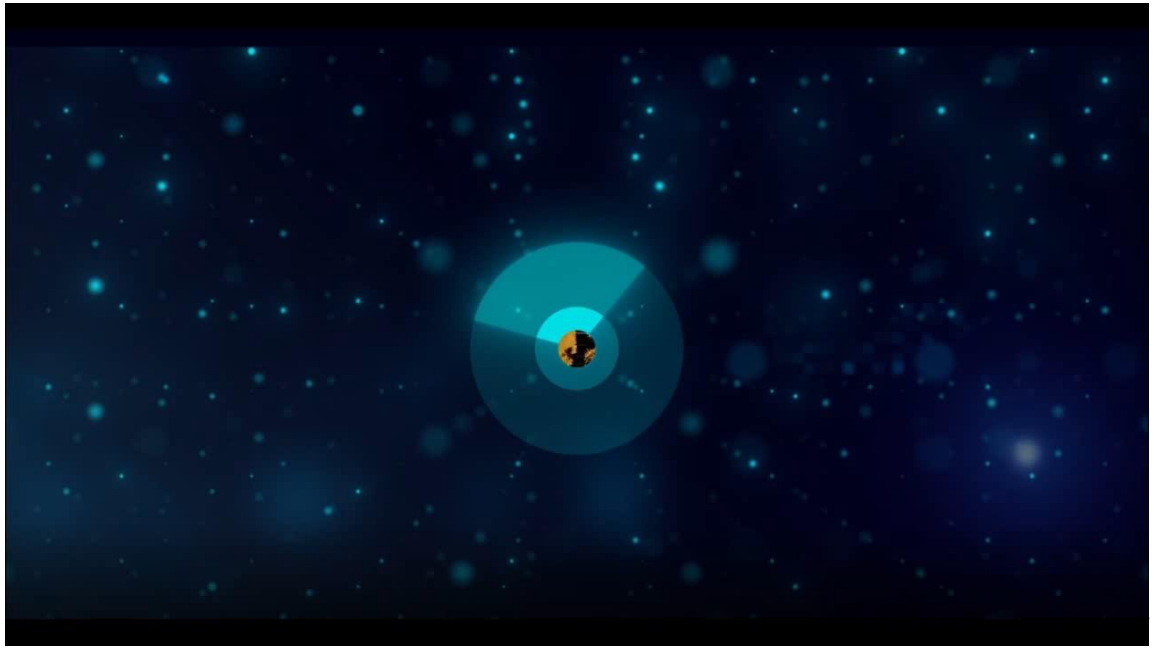
- **Kamera-Systeme**
- **LIDAR-Sensorik**
- **Optische Bilderfassung**



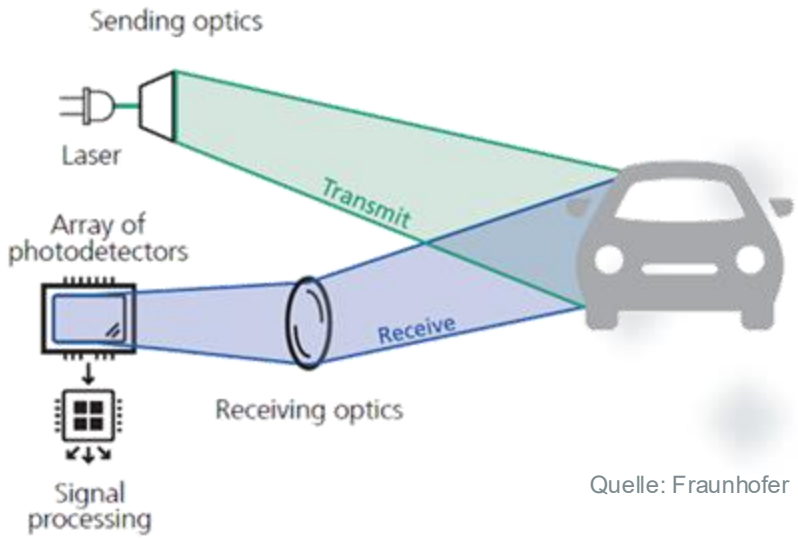
Quelle: Valeo



Quelle: AUDI



Quelle: Innoviz



Quelle: Fraunhofer

Kritische Partikelgrössen:
≥ 5µm

Inhalt

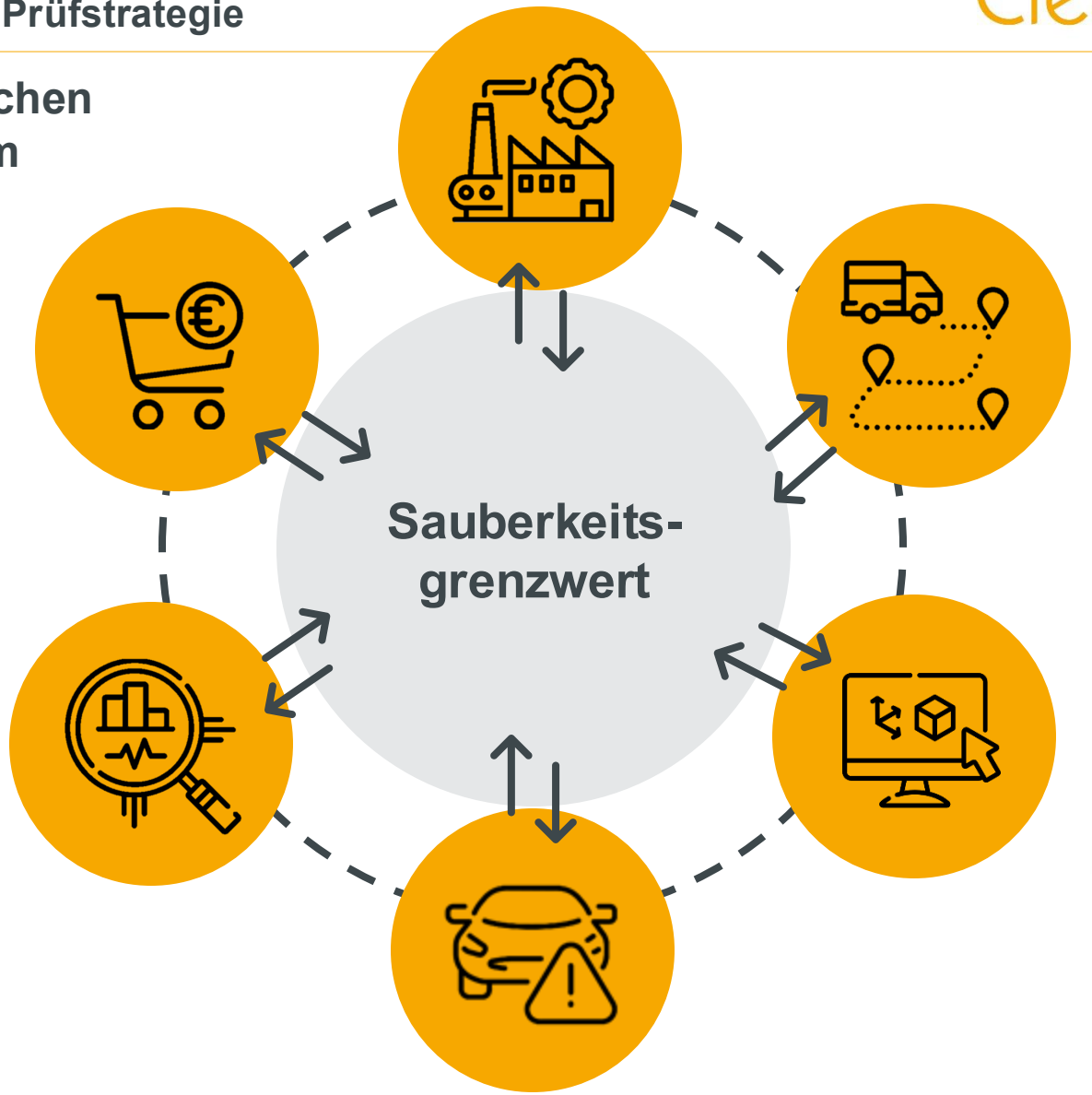
Warum Sauberkeitsanforderungen?

Der Weg zur Sauberkeitsanforderungen

Prüfstrategie und Absicherung der Technischen Sauberkeit für nicht prüfbare Bauteile bzw. Baugruppen

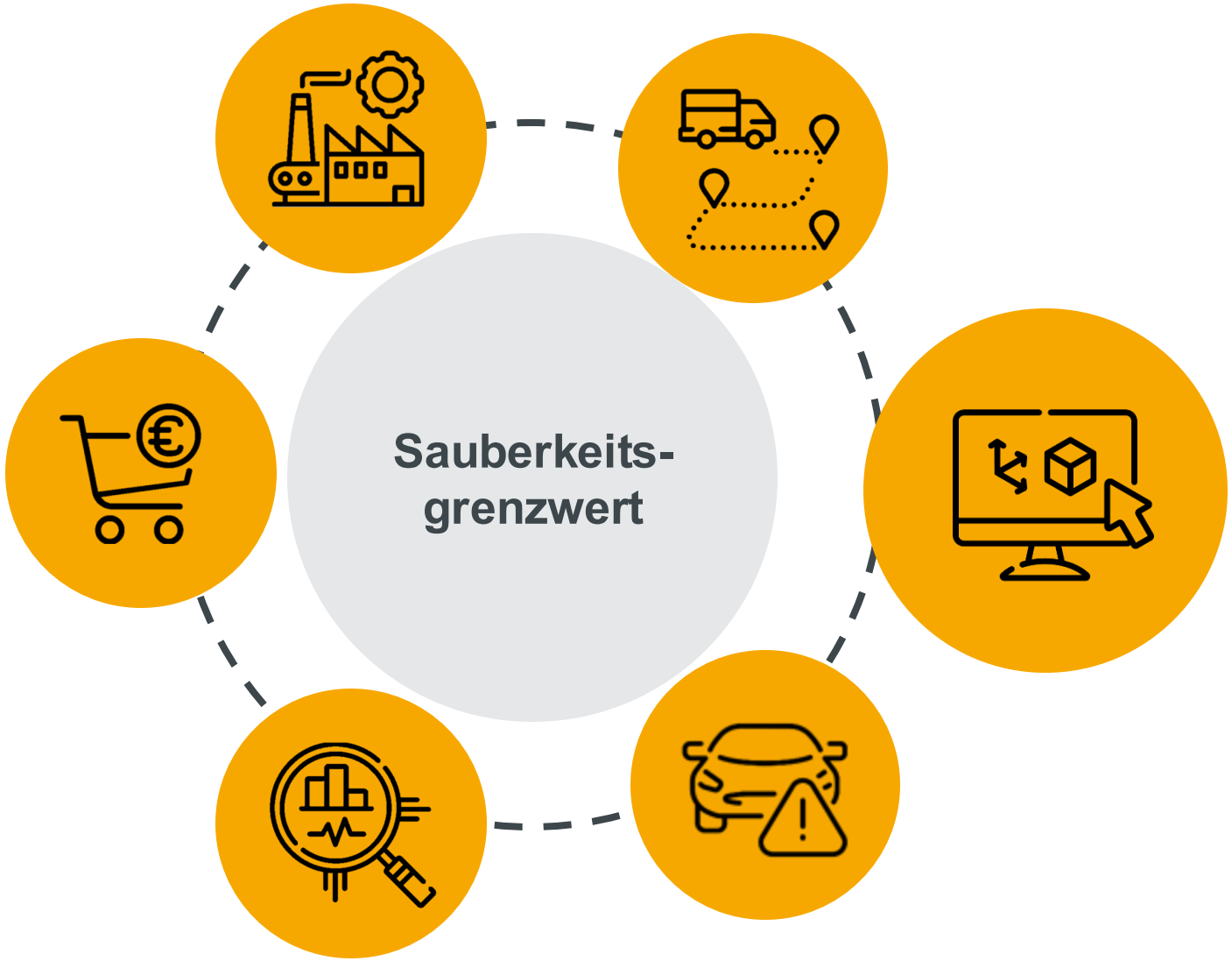
© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Identifizierung der kritischen Komponenten im System



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

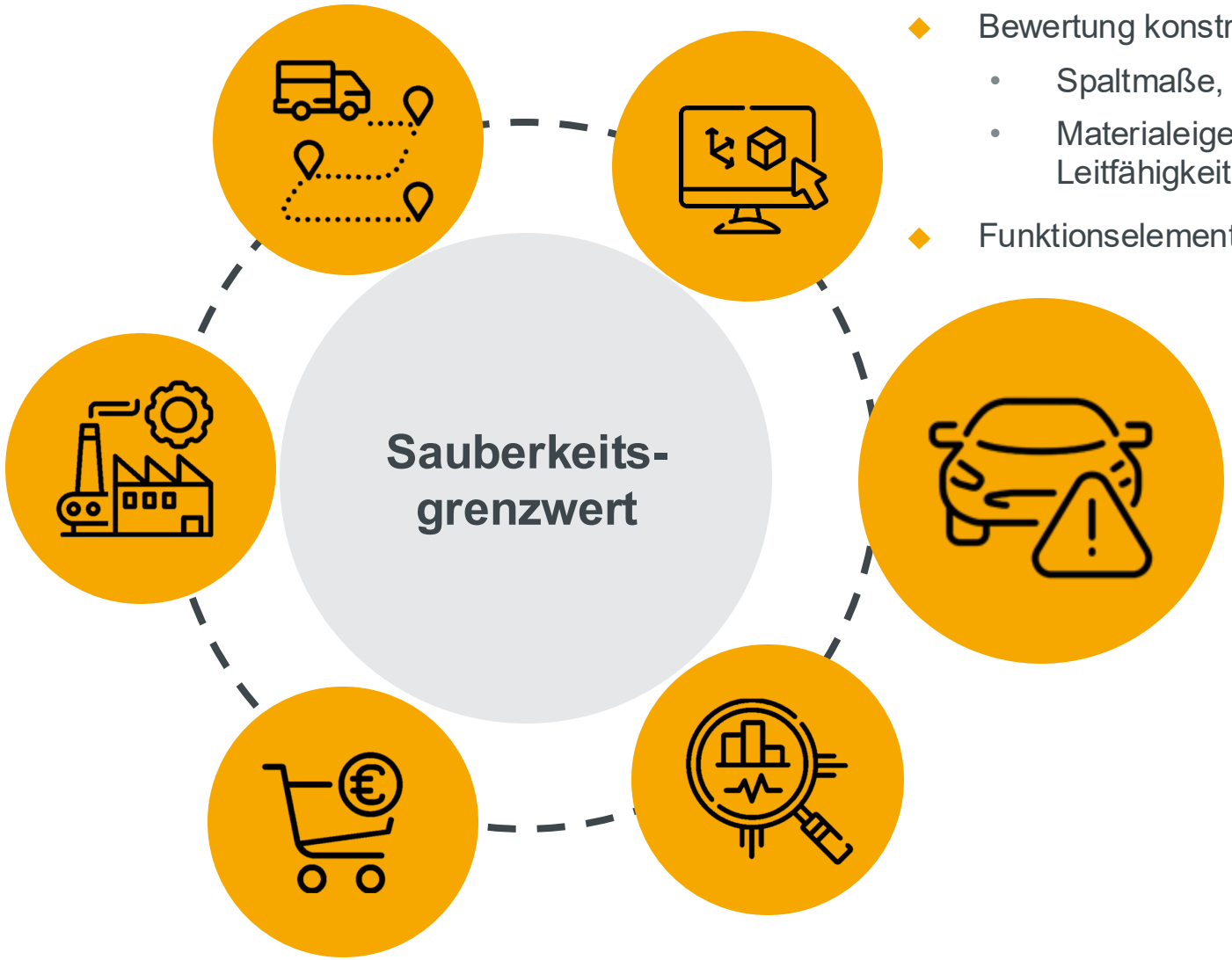


1

- Bewertung konstruktiver Merkmale
  - Spaltmaße, Ventilhub, Leiterbahnabstände etc.
  - Materialeigenschaften, wie z.Bsp. Abrasivität, Leitfähigkeit…
- Funktionselemente

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie



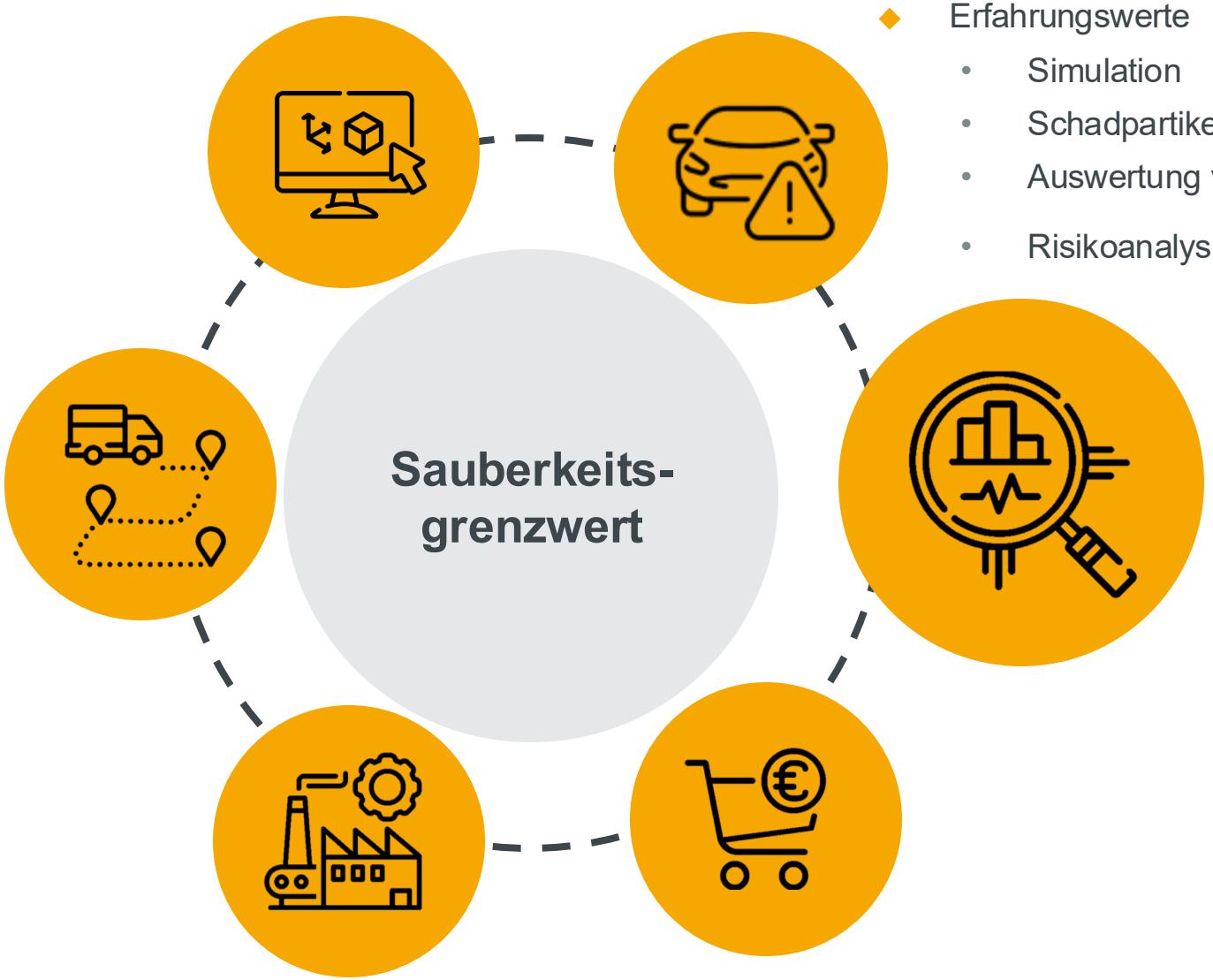
- Bewertung konstruktiver Merkmale
  - Spaltmaße, Ventilhub, Leiterbahnabstände etc.
  - Materialeigenschaften, wie z.Bsp. Abrasivität, Leitfähigkeit…
- Funktionselemente

2

- Erfahrungswerte
  - Simulation
  - Schadpartikelversuche
  - Auswertung von Schadfällen
  - Risikoanalyse

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie



- Erfahrungswerte
  - Simulation
  - Schadpartikelversuche
  - Auswertung von Schadfällen
  - Risikoanalyse

3

- Stand der Technik
- Was kann analysiert werden?



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

CleanControlling®



4

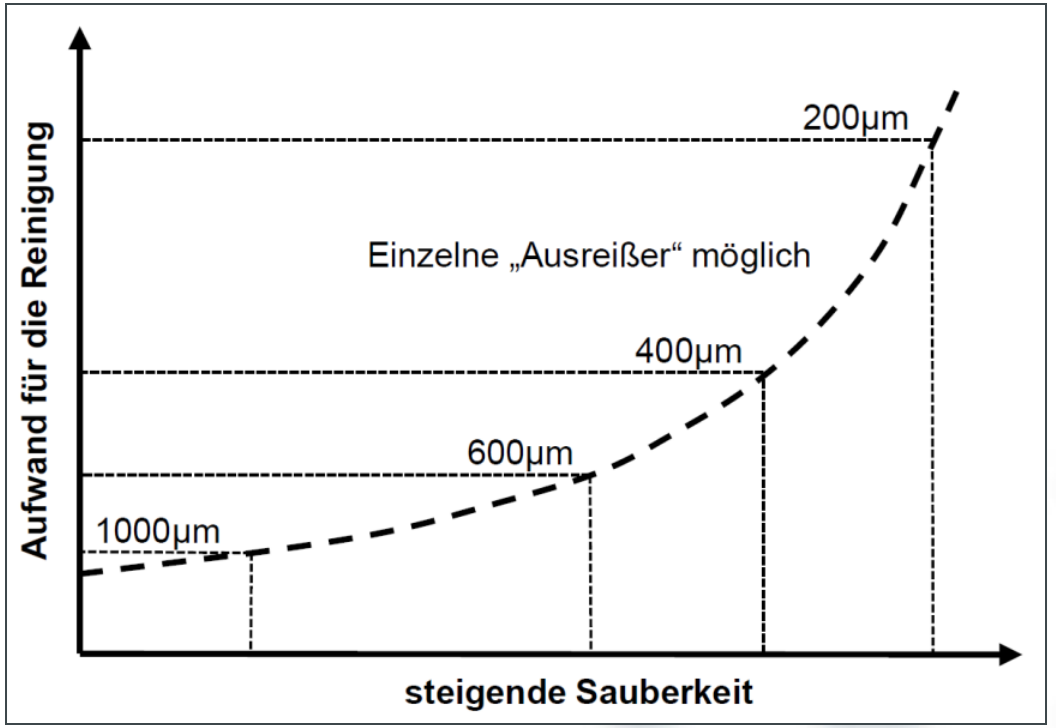
- Materialauswahl & -kosten, Beschichtungen
- Bearbeitung & Entgratung
- Produktionsumgebung & Personal
- Reinigungsprozesse
- Logistik, Verpackung

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

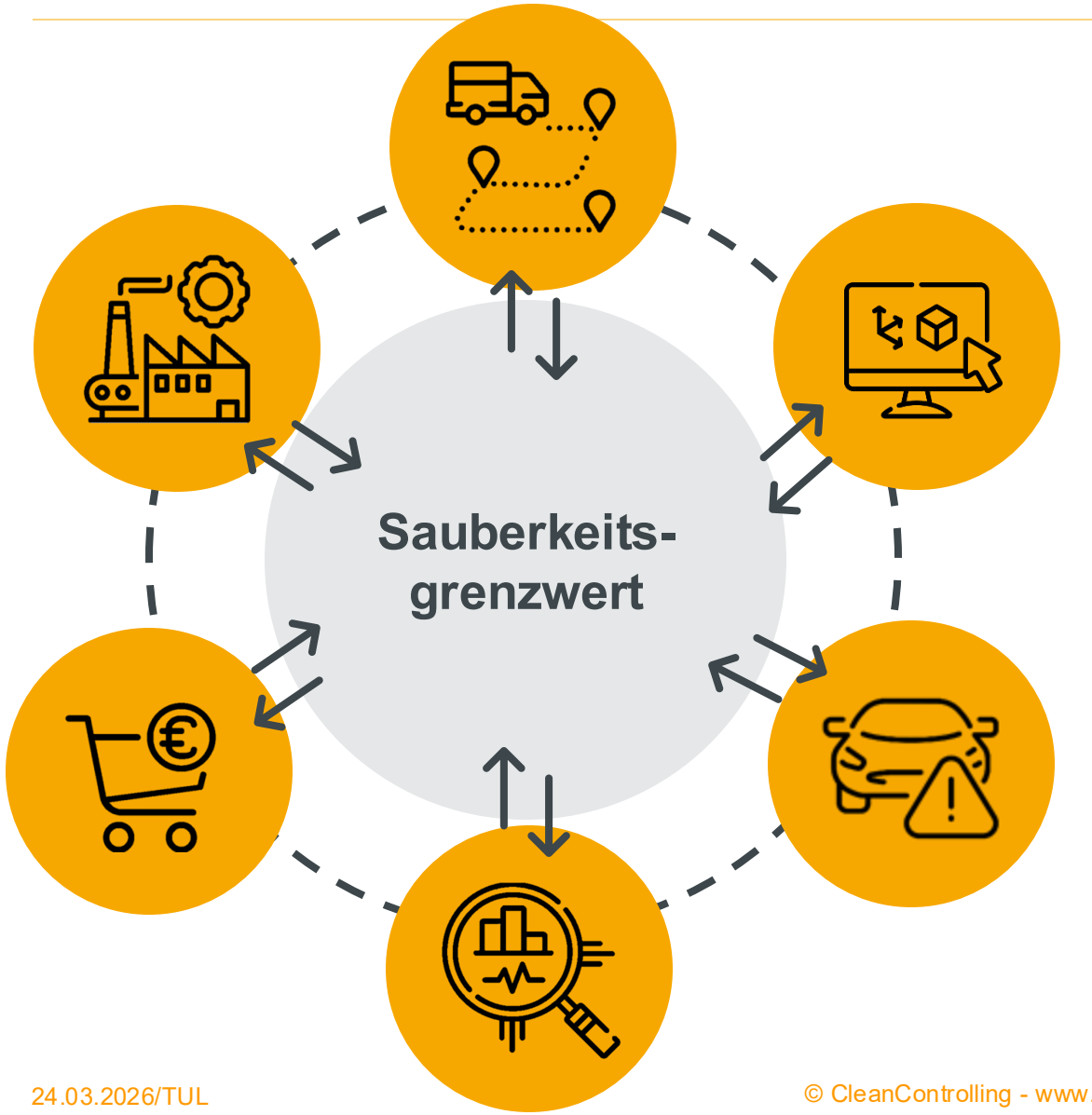


- Grenzwerte müssen herstellbar sein!



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie



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“

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

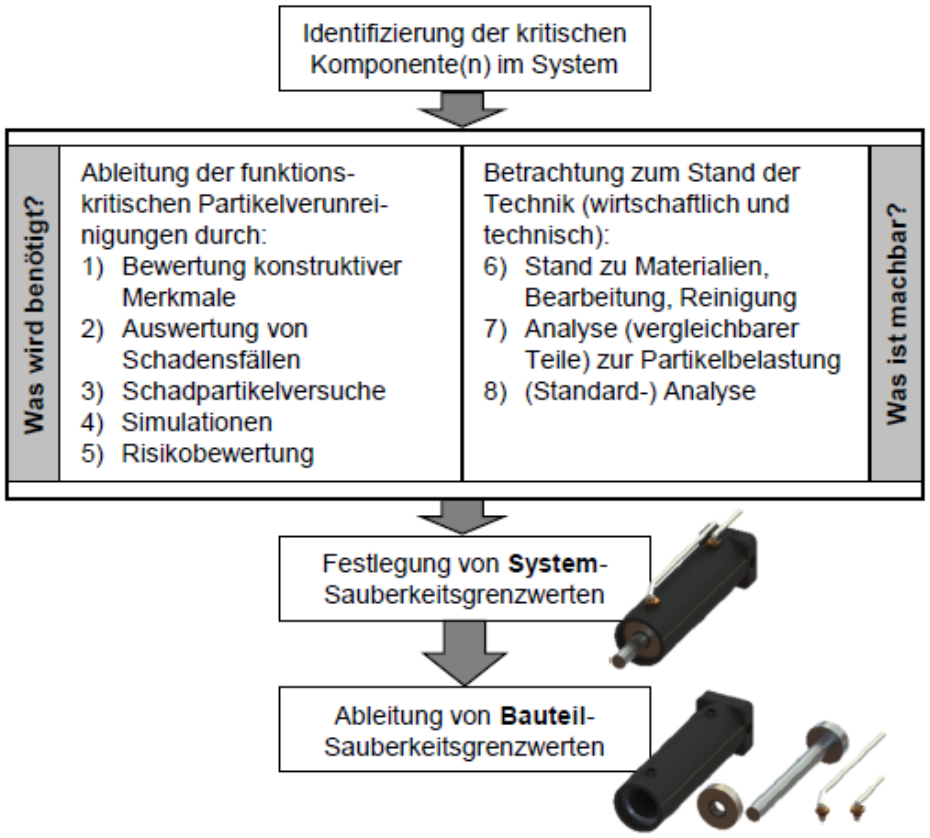
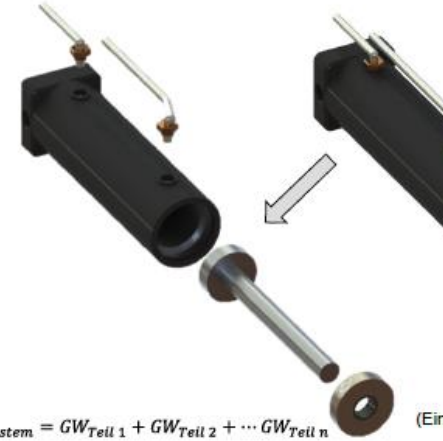


Abbildung 2-1: Weg zur Erstellung von Sauberkeitsspezifikationen



$$GW_{System} = GW_{Teil\,1} + GW_{Teil\,2} + \cdots GW_{Teil\,n}$$

(Einzel-) Grenzwert des Bauteils n

$$GW_{System} = \frac{GW_{System}}{A_{System}} \times A_{Teil\,1} + \cdots + \frac{GW_{System}}{A_{System}} \times A_{Teil\,n}$$

$$GW_{System} = a_1 \frac{GW_{System}}{A_{System}} \times A_{Teil\,1} + \cdots + a_n \frac{GW_{System}}{A_{System}} \times A_{Teil\,n} + b + c + \cdots$$

GW_{System}:	Gesamtgrenzwert des Systems
A_{System}:	(medienberührte) Fläche des Systems
$GW_{Teil\,i}$:	Grenzwert des Bauteils i
$A_{Teil\,i}$:	(medienberührte) Fläche des Bauteils i
$A_{Teil\,n}$	(medienberührte) Fläche des Bauteils n
a_i:	bauteilspezifische Gewichtungsfaktoren
$b, c, \ldots$:	weitere additive Verunreinigungsmengen

Abbildung 2-2: Ableitung von Bauteilsauberkeitsspezifikationen

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Empfehlungen für Sauberkeitsgrenzwerte VDA19.1 Kapitel A2.3



- **Gravimetrische Rückstandsgewichte < 1 mg**
  - Zumeist unterhalb der Nachweisgrenze (NWG) der Laborwagen
  - Hoher Aufwand durch Klimatisierung, Schwingungsdämpfung etc.
- **Gravimetrische Sauberkeitsgrenzwerte + Partikelgrößenverteilung**
  - nicht immer sinnvoll: saubere Bauteile, Gravimetrie unterhalb der NWG vs. hoher gravimetrischer Grenzwert = mögliche Überlagerung der Partikel/erschwerte mikr. Auswertung
- **Max. zulässige Partikelgröße**
  - guter Anhaltspunkt für Schädigungspotential
  - ungeeignet für Prozessüberwachung

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Empfehlungen für Sauberkeitsgrenzwerte VDA19.1 Kapitel A2.3

NEW

- **Faseranforderung**
  - Klarheit über Allgegenwärtigkeit von Fasern muss bewusst sein
  - Aufwand bei der Vermeidung von Fasern
- **Metallischer Glanz**
  - rein optische Typisierung, erfordert manuelle Nachkontrolle
  - bei Spezifikation zu vieler kleiner metallisch glänzender Partikel, stößt die manuelle Nachkotrolle an ihre Grenzen
  - Realistische Bewertung des Schädigungspotential metallischer Partikel/abrasiver/harter Partikel erfordert weitere Betrachtungen
- **Spezifikation je 1000 cm²**
  - Vergleich verschieden großer Bauteile hinsichtlich Sauberkeit möglich
  - bei kleineren Bauteilen nicht immer eine Beprobung von 1000 cm² möglich

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Inhalt

Warum Sauberkeitsanforderungen?

Der Weg zur Sauberkeitsanforderung

Prüfstrategie und Absicherung der Technischen Sauberkeit für nicht prüfbare Bauteile bzw. Baugruppen

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Prüfstrategie VDA19.1 Kapitel 2.5

NEW

Prüfung der Technischen Sauberkeit in der Regel höherer manueller Aufwand, höhere Kosten und Zeitbedarf

Prüfstrategie

Ziel: Einhaltung & Sicherstellung der Sauberkeitsspezifikation

Prüfzweck

- **Nachweis der Sauberkeitsspezifikation**
- **Prozessmonitoring**
- **Ursachenforschung & Prozessoptimierung**
- **Reaktionsplan bei Grenzwertüberschreitung (VDA 19.1 - Kapitel 10)**

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Prüfstrategie VDA19.1 Kapitel 2.5

NEW

Prüfung der Technischen Sauberkeit in der Regel höherer manueller Aufwand, höhere Kosten und Zeitbedarf

Prüfstrategie

Ziel: Einhaltung & Sicherstellung der Sauberkeitsspezifikation

Prüfzweck

- **Nachweis der Sauberkeitsspezifikation** → **Prüfhäufigkeit**
- **Prozessmonitoring** → **Prüfumfang**
- **Ursachenforschung & Prozessoptimierung**
- **Reaktionsplan bei Grenzwertüberschreitung** → **Prüflosgröße**

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Aspekte für die Ableitung einer Prüfhäufigkeit/eines Prüfumfangs

→ **Prüfhäufigkeit**

→ **Prüfumfang**

→ **Prüflosgröße**



Prüfanlass
- Muster, Anlauf, Serie
- Prozessänderung
- Neu- oder Wiederanlauf

Kritikalität eines Ausfalls

Qualitätshistorie

Fertigungskontinuität

Reaktionsmöglichkeit bei n.i.O.-Ergebnissen

Bauteilkosten

Prüfaufwand

Bauteilfamilien

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Absicherung der Technischen Sauberkeit für nicht prüfbare Bauteile bzw. Baugruppen VDA19.1 Kap. 2.6

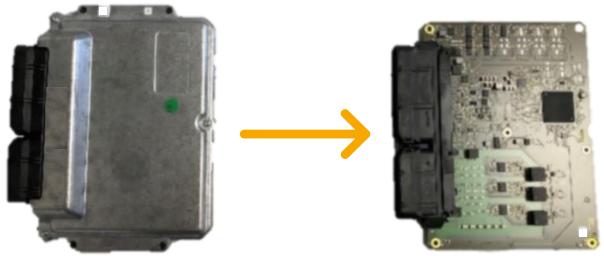
NEW

Was sind **nicht prüfbare** Bauteile bzw. Baugruppe?

- Fertig montierte Systeme, geschlossene Bauteile: keine Extraktion im funktionskritischen Innenraum/Bereichen möglich
- Unzureichende Zugänglichkeit für eine effektive Extraktion (Toträume, Sacklöcher…)
- Beschichtete Bauteile/-gruppen

Ansatz:

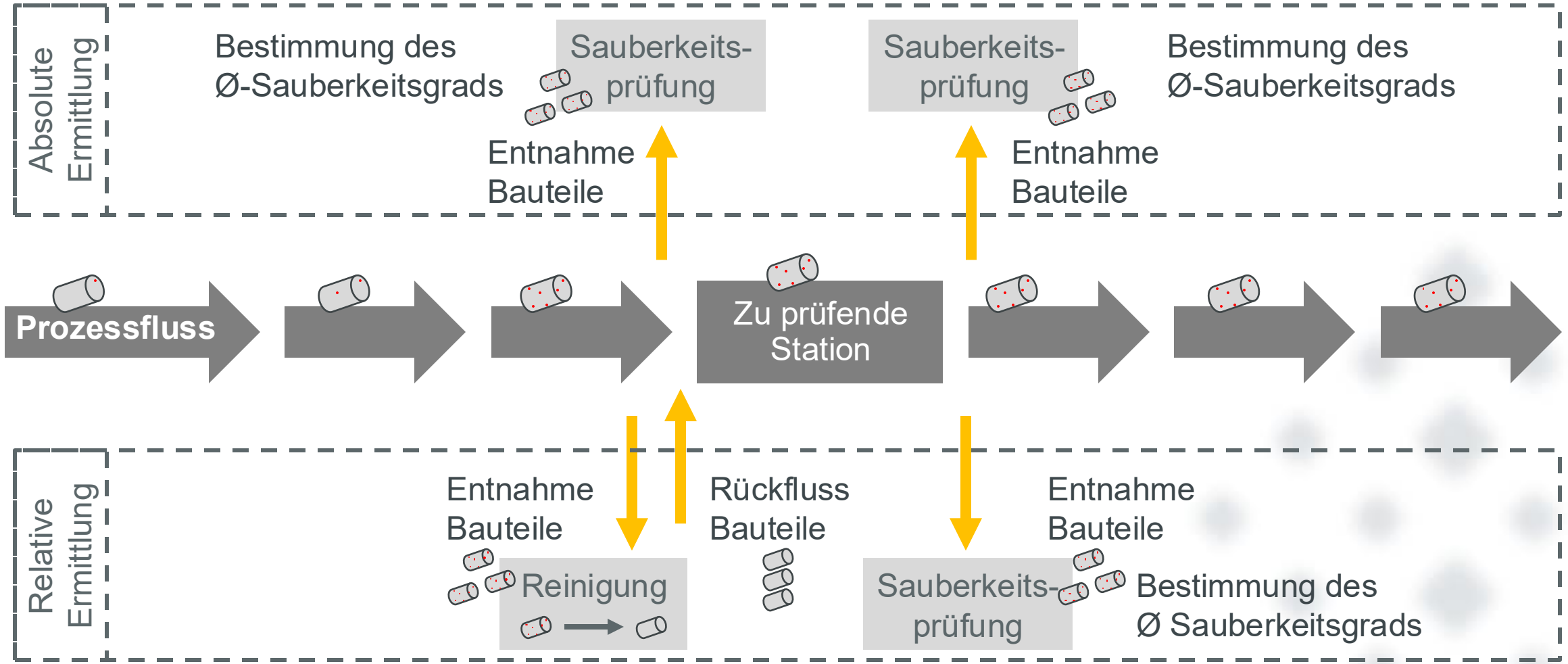
1. Prüfung von Einzelteilen bzw. Unterbaugruppen entlang der Prozesskette



© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

Partikelmonitoring direkt am produzierten Bauteil



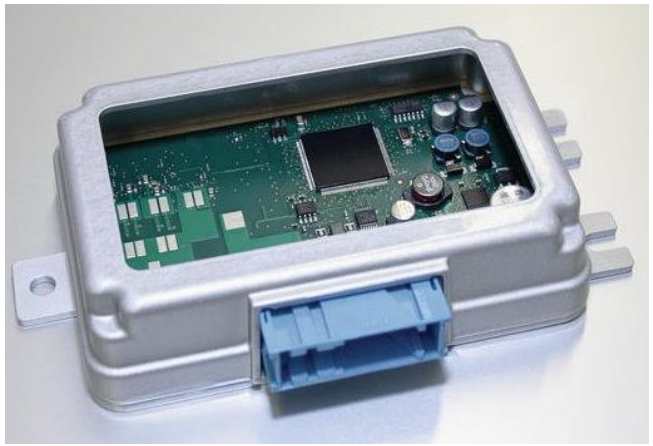
© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Absicherung der Technischen Sauberkeit

weitere Ansatz:

2. Prozessbetrachtung (zu Hilfenahme Methoden der VDA 19.2)
   - insbesondere **Füge- und Montageprozesse**
   - Umgebung, Logistik und Personaleinfluss

3. Dummy-Baugruppen



Quelle: automobilkonstruktion.industrie.de

© CleanControlling - www.cleancontrolling.com

Vielen Dank!





© CleanControlling - www.cleancontrolling.com