



Ihre Prozesse. Unsere Analyse. Maximale Sicherheit.



Partikel im Blick.
Qualität im Griff.



Reinheit
rettet Leben.



Nachhaltigkeit
beginnt mit Analyse.

Techn. Sauberkeit	Medizinprodukte	Chemie u. Umwelt
Rückstände erkennen, Prozesse absichern.	Akkreditierte Analytik für höchste Produktsicherheit.	Chemische Schadstoffe und Umweltbelastungen erkennen - für morgen.

SAUBERKEIT IM FOCUS

SEMINAR

REVISION VDA19.1/2025

Sauberkeitsspezifikation & Prüfstrategie

Tobias Ulrich-Enderlein, CleanControlling GmbH

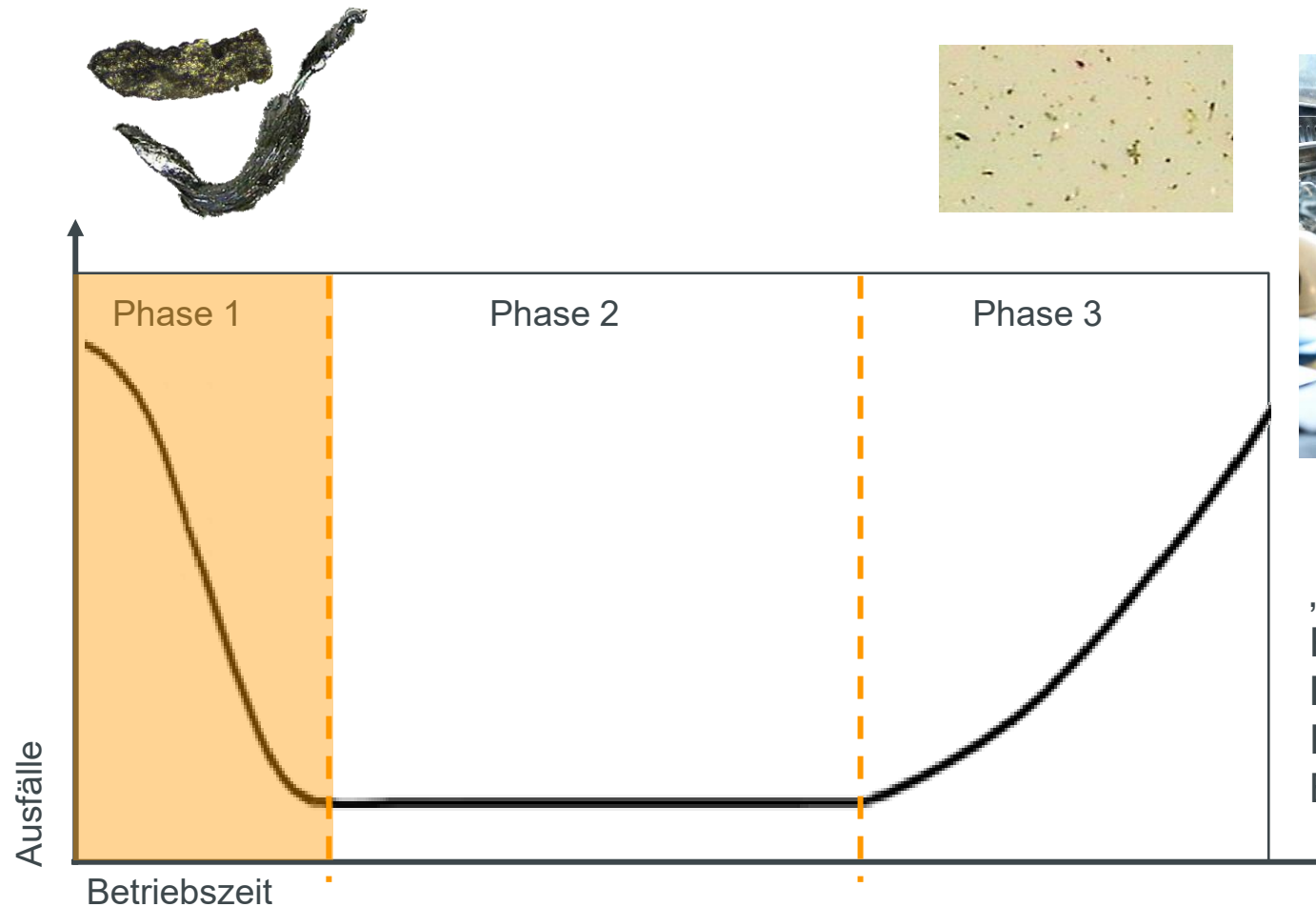
Inhalt

Warum Sauberkeitsanforderungen?

Der Weg zur Sauberkeitsanforderung

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

Warum Sauberkeitsanforderungen?



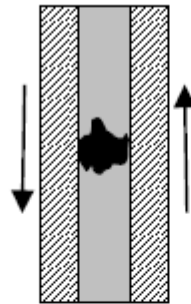
„..., wenn durch Partikelverunreinigungen eine **Einschränkung oder Gefahr** für die Funktion des betroffenen Systems oder Bauteil besteht“

Quelle: Unternehmensverbund VDA19/1

Beispiele für Schadensmechanismen – VDA19.1/2015

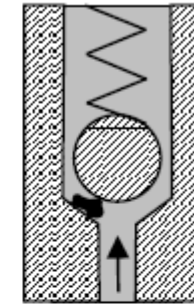
Klemmen von Lagern oder Gleitflächen

- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Dosierpumpen
- Zylinderlaufbahn



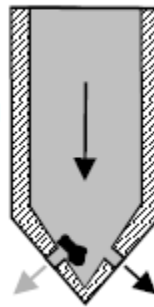
Blockieren von Ventilen

- Antiblockier-
system
- Hydraulik
- Bremskraft-
verstärker



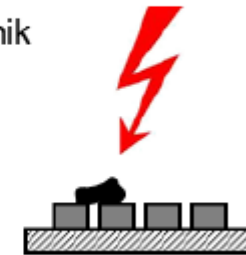
Verstopfen von Düsen oder Filtern

- Injektoren
- Kraftstoffzuführung

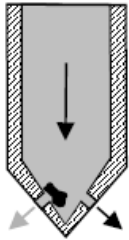


Kurzschluss von Kontakten

- Steuerelektronik
- Leistung-
elektronik



Verblocken von
Düsen oder Filtern



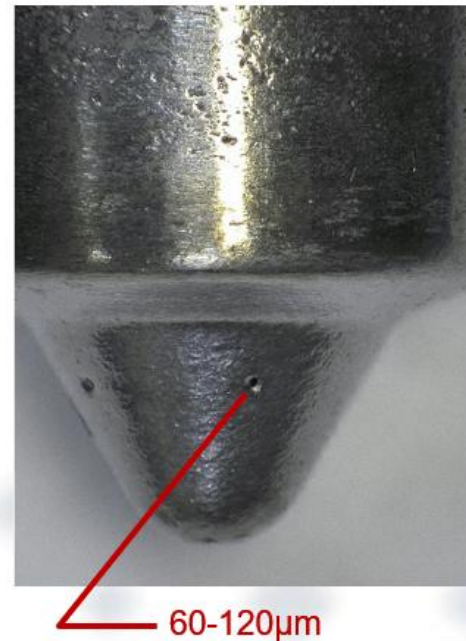
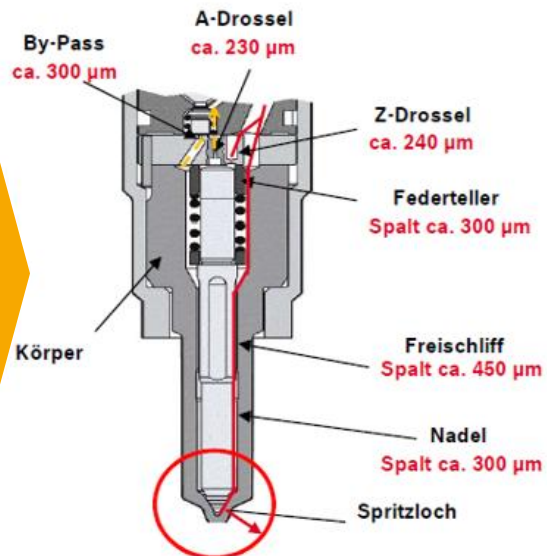
- ◆ Kraftstoffzuführung
- ◆ Injektoren



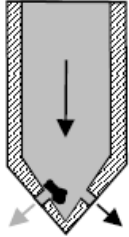
Partikel in den Einspritzbohrungen
verhindern die Kraftstoffeinspritzung



Quelle: Bosch



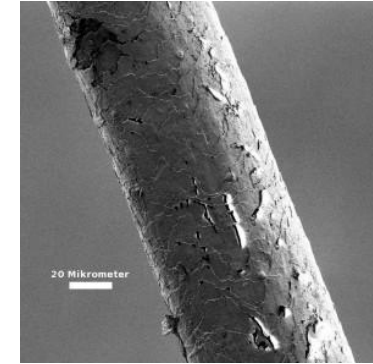
Verblocken von
Düsen oder Filtern



- ◆ Kraftstoffzuführung
- ◆ Injektoren



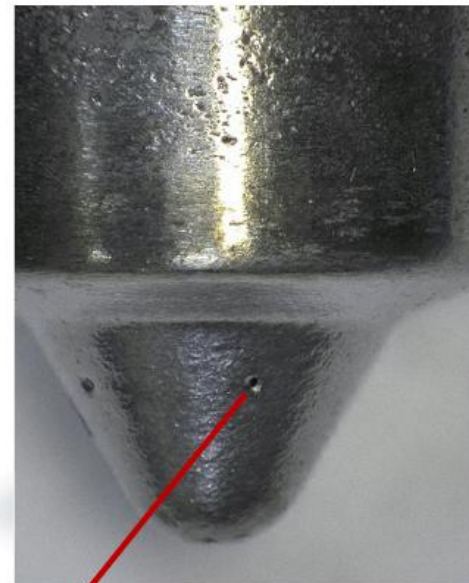
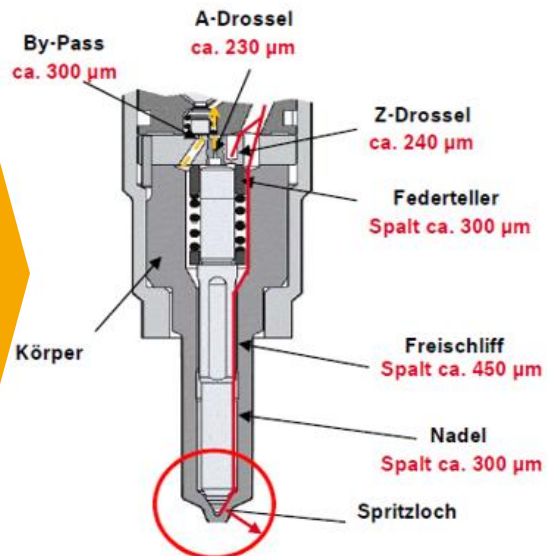
Partikel in den Einspritzbohrungen
verhindern die Kraftstoffeinspritzung



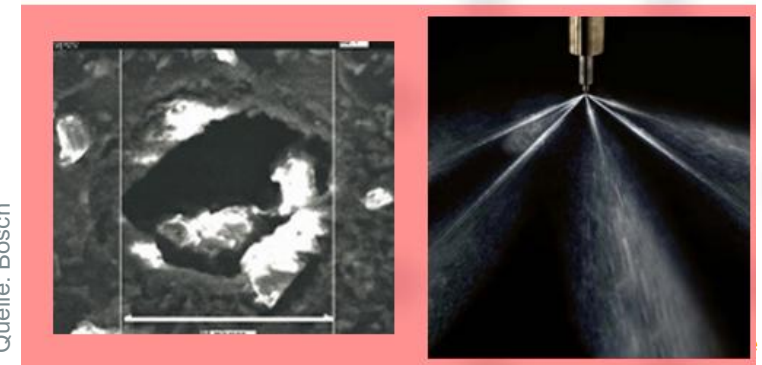
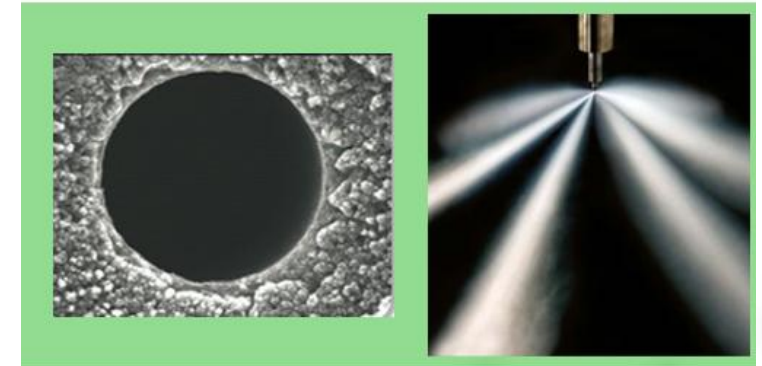
Menschliches Haar
60-120 μm



Quelle: Bosch

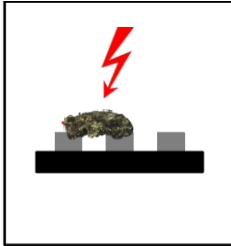


60-120 μm

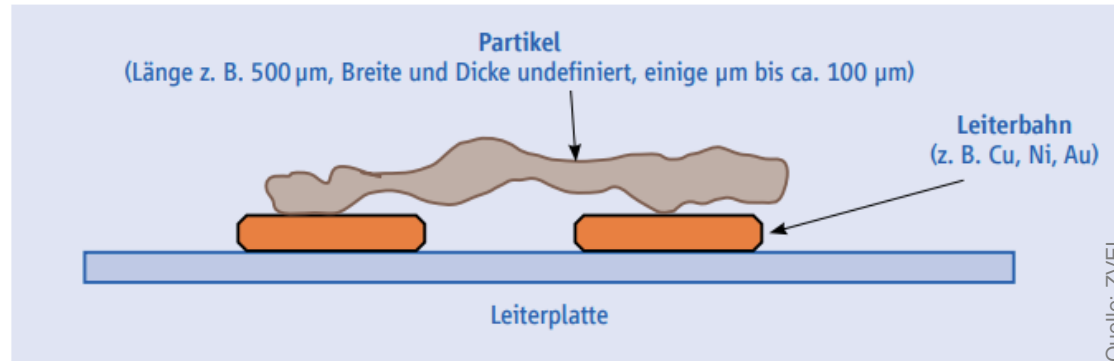


Quelle: Bosch

Kurzschluss von
Leiterbahnen



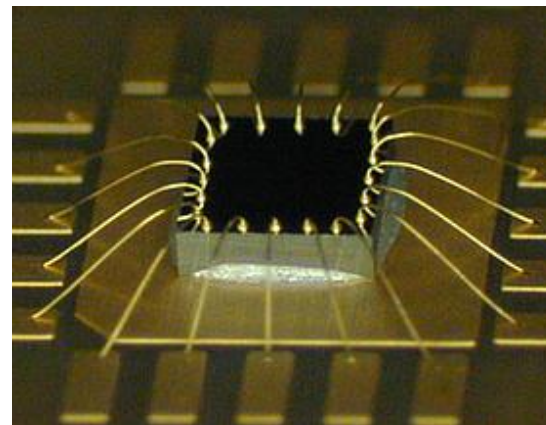
◆ Steuerelektronik



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



PCBA-Herstellung:
wenige hundert Mikrometer



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

Klemmen von Lagern oder Gleitflächen

- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Drosselpumpen
- Zylinderlaufbahn

Blockieren von Ventilen

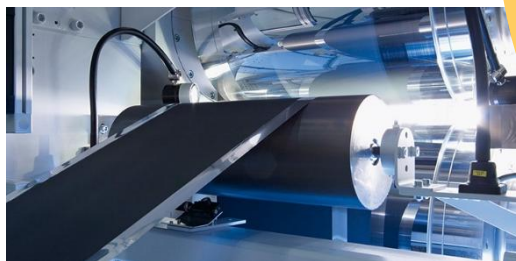
- Antiblockiersystem
- Hydraulik
- Bremsdruckverstärker

Verstopfen von Düsen oder Filtern

- Injektoren
- Kraftstoffzuführung

Kurzschluss von Kontakten

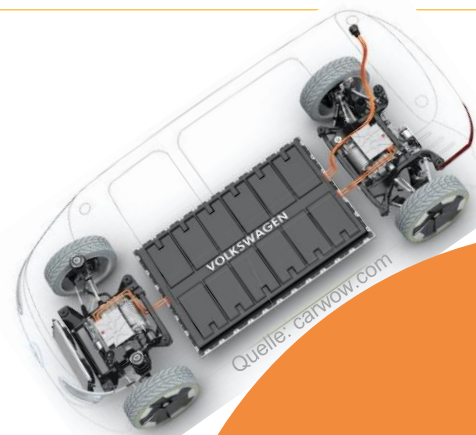
- Ölmelektrolik
- Leistungselektronik



Quelle: Breyer



Quelle: electrive.net



Revision VDA19.1/2025



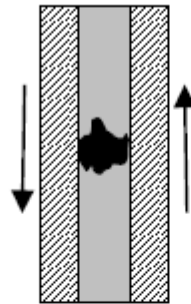
Herausforderung für die Prüf-/Reinigungstechnik

- Große Bauteile, neue Technologien Batterie & H₂
- Trockene Prozesskette
- Kleinere Partikel / höhere Sauberkeitsanforderungen
- Größerer Inspektionsbereich

Beispiele für Schadensmechanismen – VDA19.1 Stand 2015

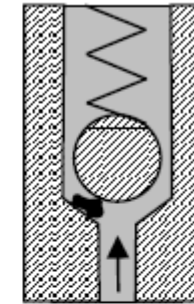
Klemmen von Lagern oder Gleitflächen

- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Dosierpumpen
- Zylinderlaufbahn



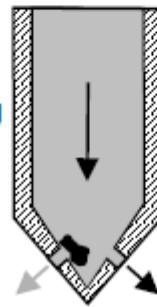
Blockieren von Ventilen

- Antiblockier-
system
- Hydraulik
- Bremskraft-
verstärker



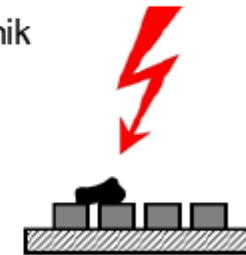
Verstopfen von Düsen oder Filtern

- Injektoren
- Kraftstoffzuführung



Kurzschluss von Kontakten

- Steuerelektronik
- Leistungs-
elektronik

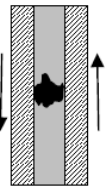


Beispiele für Schadensmechanismen

Aktueller Stand VDA19.1 2025

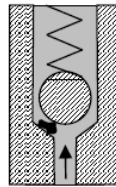
Klemmen von Lagern
oder Gleitflächen

- Turbolader
- Kurbelwellenlager
- Dosierpumpen
- Zylinderlaufbahn



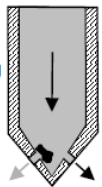
Blockieren von
Ventilen

- Antiblockier-
system
- Hydraulik
- Bremskraft-
verstärker



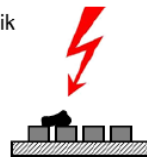
Verstopfen von
Düsen oder Filtern

- Injektoren
- Kraftstoffzuführung



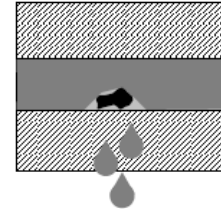
Kurzschluss von
Kontakten

- Steuerelektronik
- Leistungs-
elektronik



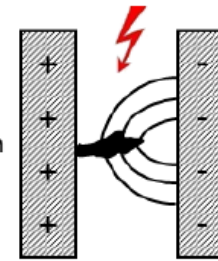
Leckage von
Dichtungen

- Leitungen
- Tanks
- Batteriewannen
- Elektronik-
gehäuse



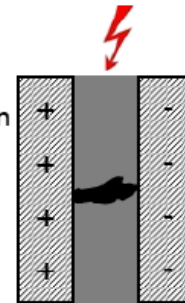
Verringerung
von Luft- und
Kriechstrecken

- Hochvolt-
anwendungen



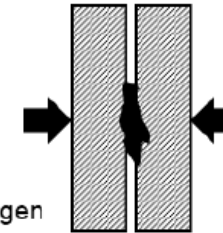
Beeinträchtigung
von
Isolationsschichten

- Hochvolt-
anwendungen



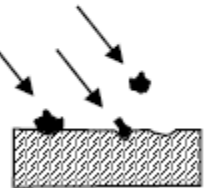
Beeinflussung von
Übergangs-
widerständen

- Stecker
- Kontakte
- Elektro-
Verschraubungen



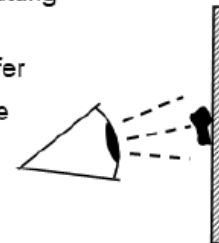
Oberflächen-
Beschädigungen

- Kugellager
- Sensoren
- Scheinwerfer-
scheiben



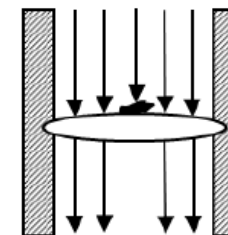
Optische Anmutung

- Scheinwerfer
- Instrumente



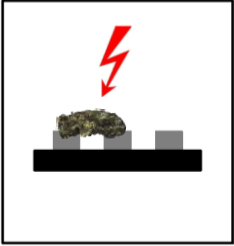
Optische
Blockade

- Sensoren
- Kameras



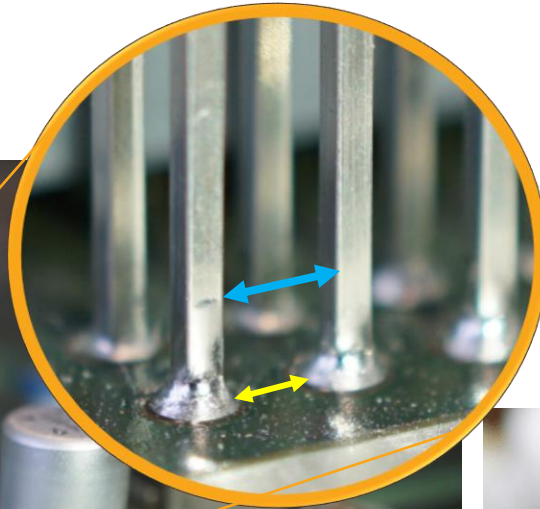
VDA19.1 Kapitel A2.1

Verkürzung der elektrischen Isolation



- ◆ Leistungselektronik
- ◆ Hochvolt-Systeme

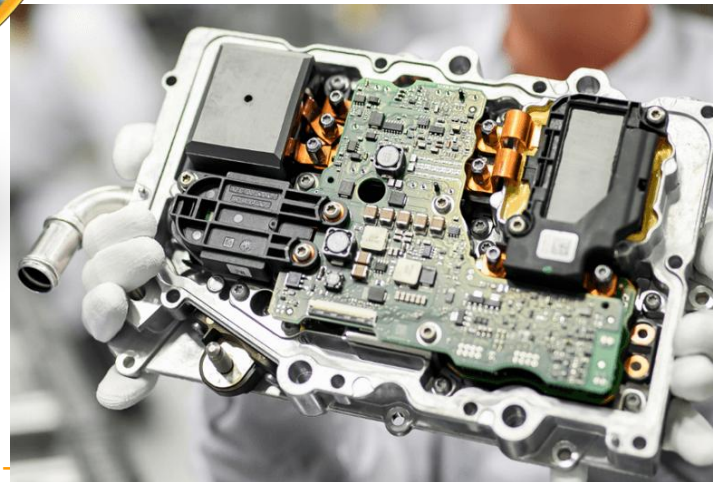
Im Bereich der Hochvolt-Leistung-Elektronik (Hohe Spannungen / Hohe Ströme) spielen Luft- und Kriechstrecken eine entscheidende Rolle



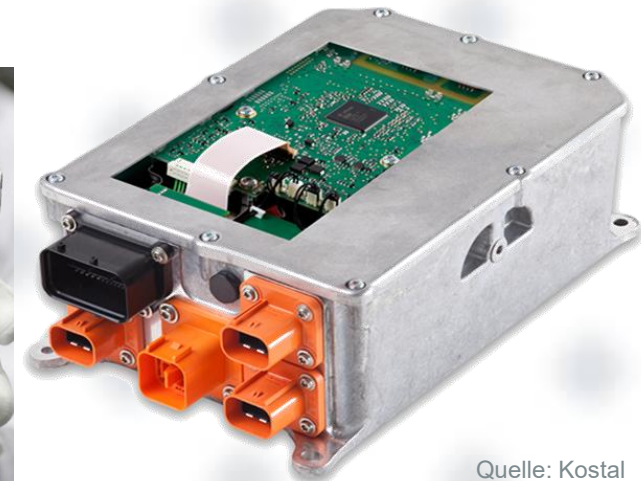
Luftstrecke
Kriechstrecke



Quelle: VW

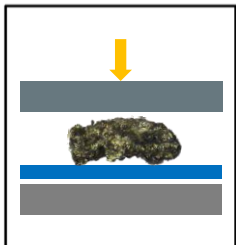


Quelle: Continental

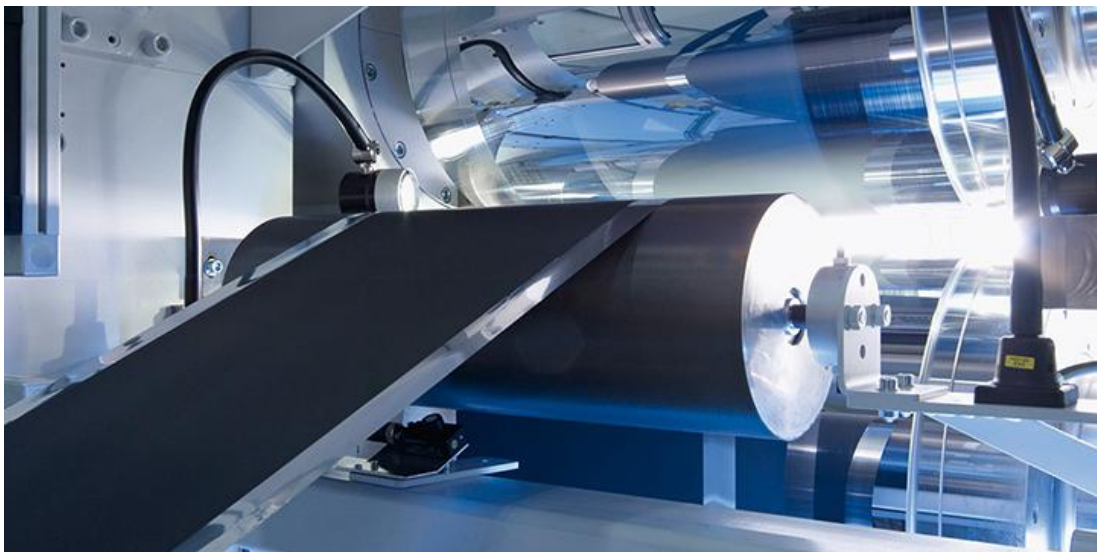


Quelle: Kostal

Mechanische oder chemische Schädigung von Folien

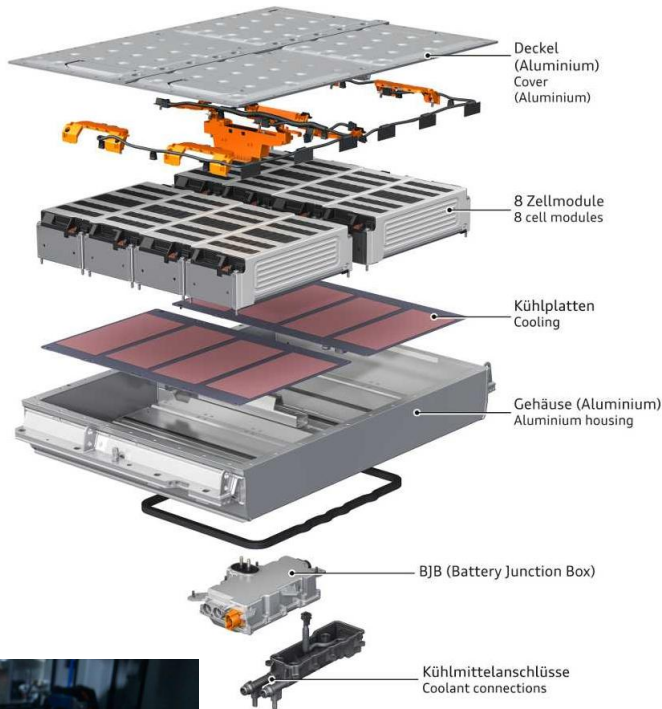
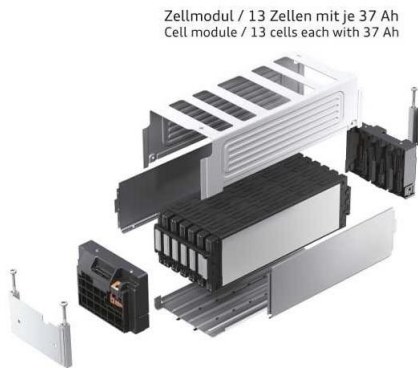


- ◆ Batterieelektroden
- ◆ Separatoren
- ◆ Isolierungsfolien



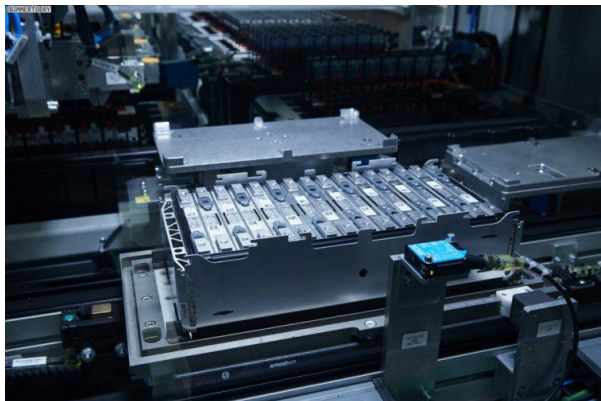
Audi A7 Sportback 55 TFSI e

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



Quelle: AUDI

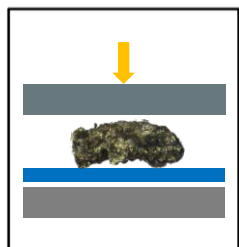
Kritische
Partikelgrößen:
≥ 10µm



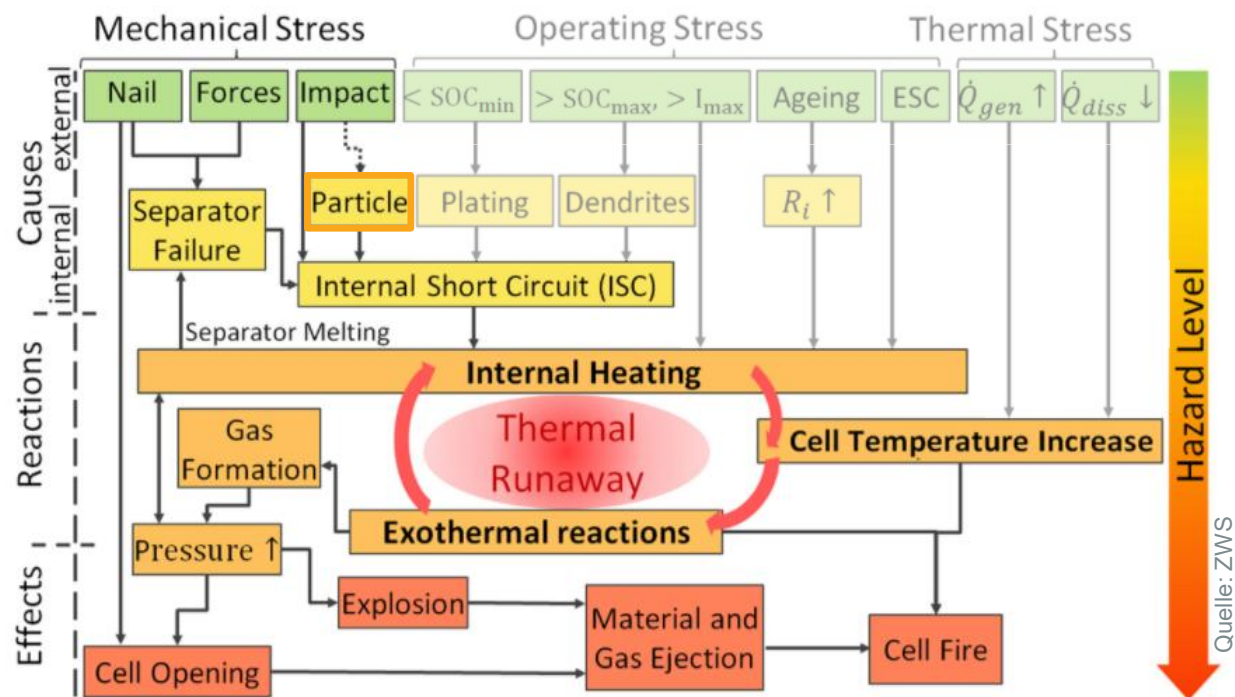
Quelle: VW

Quelle: Breyer

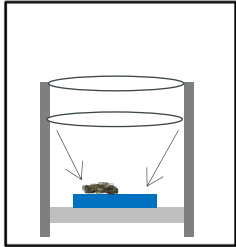
Mechanische oder chemische Schädigung von Folien



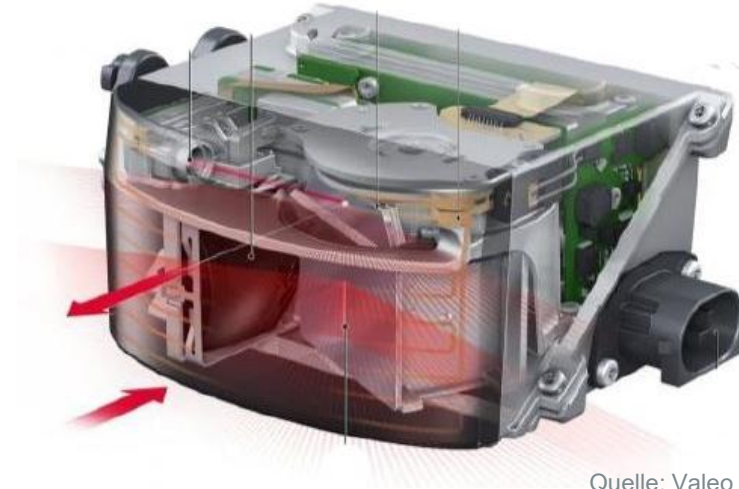
- ◆ Batterieelektroden
- ◆ Separatoren
- ◆ Isolierungsfolien



Optische
Beeinträchtigung von
Sensoren



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

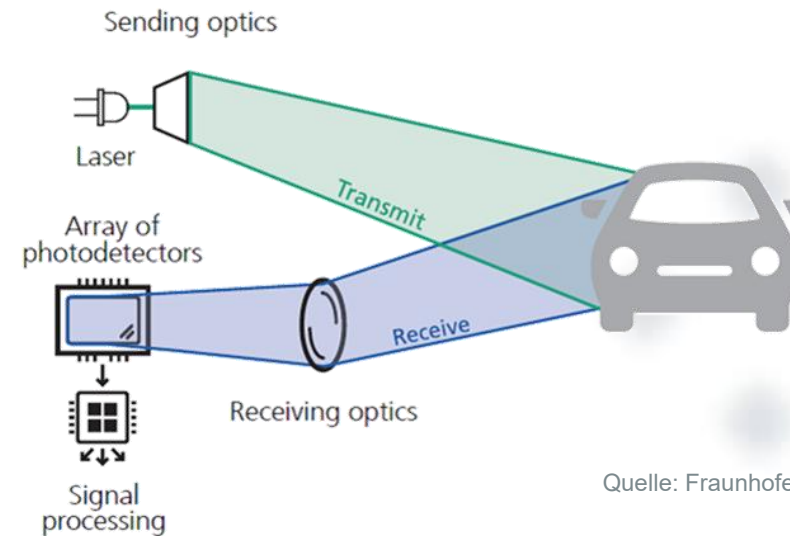


Quelle: Valeo



Quelle: AUDI

Quelle: Innoviz



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

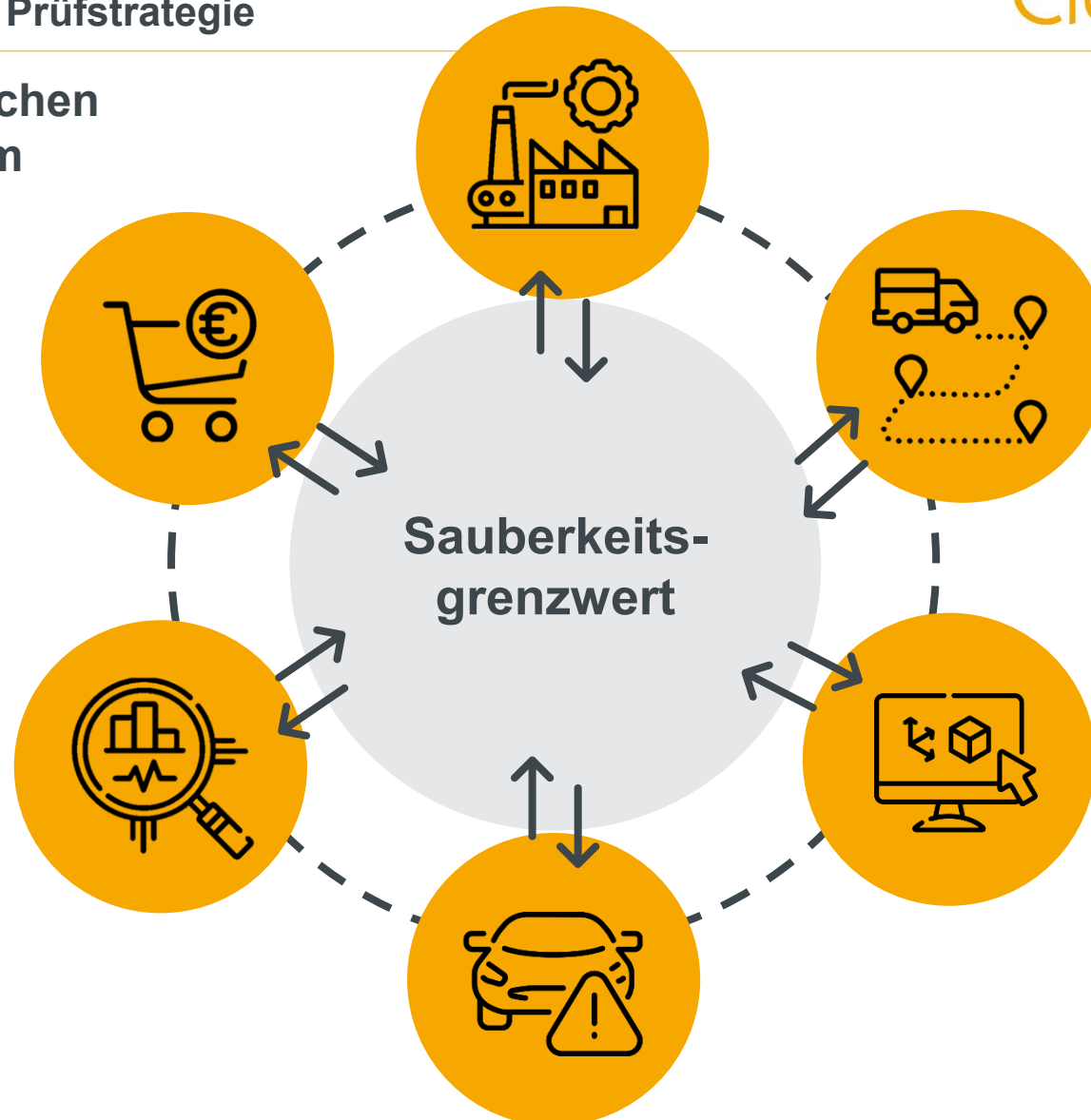
Inhalt

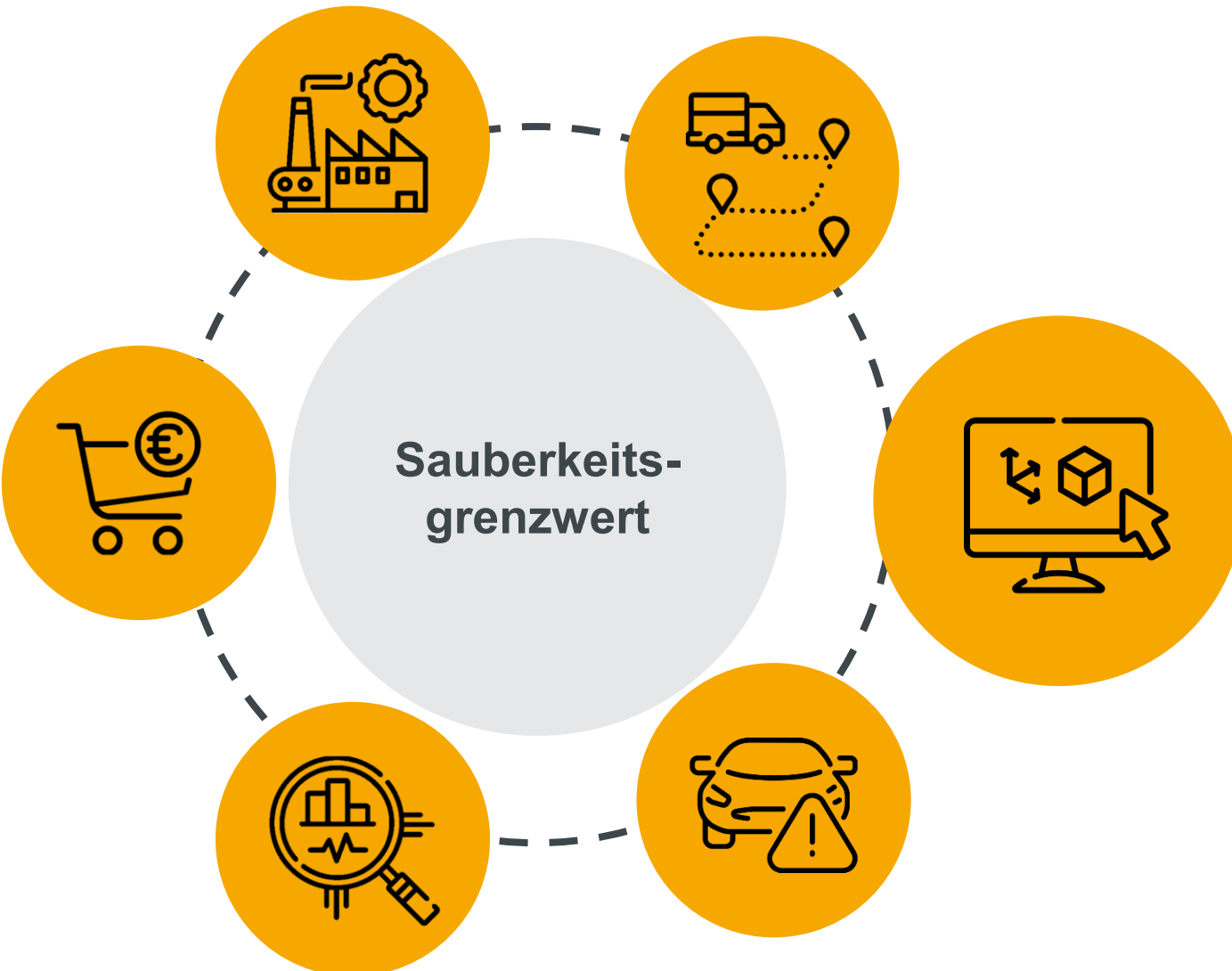
Warum Sauberkeitsanforderungen?

Der Weg zur Sauberkeitsanforderungen

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

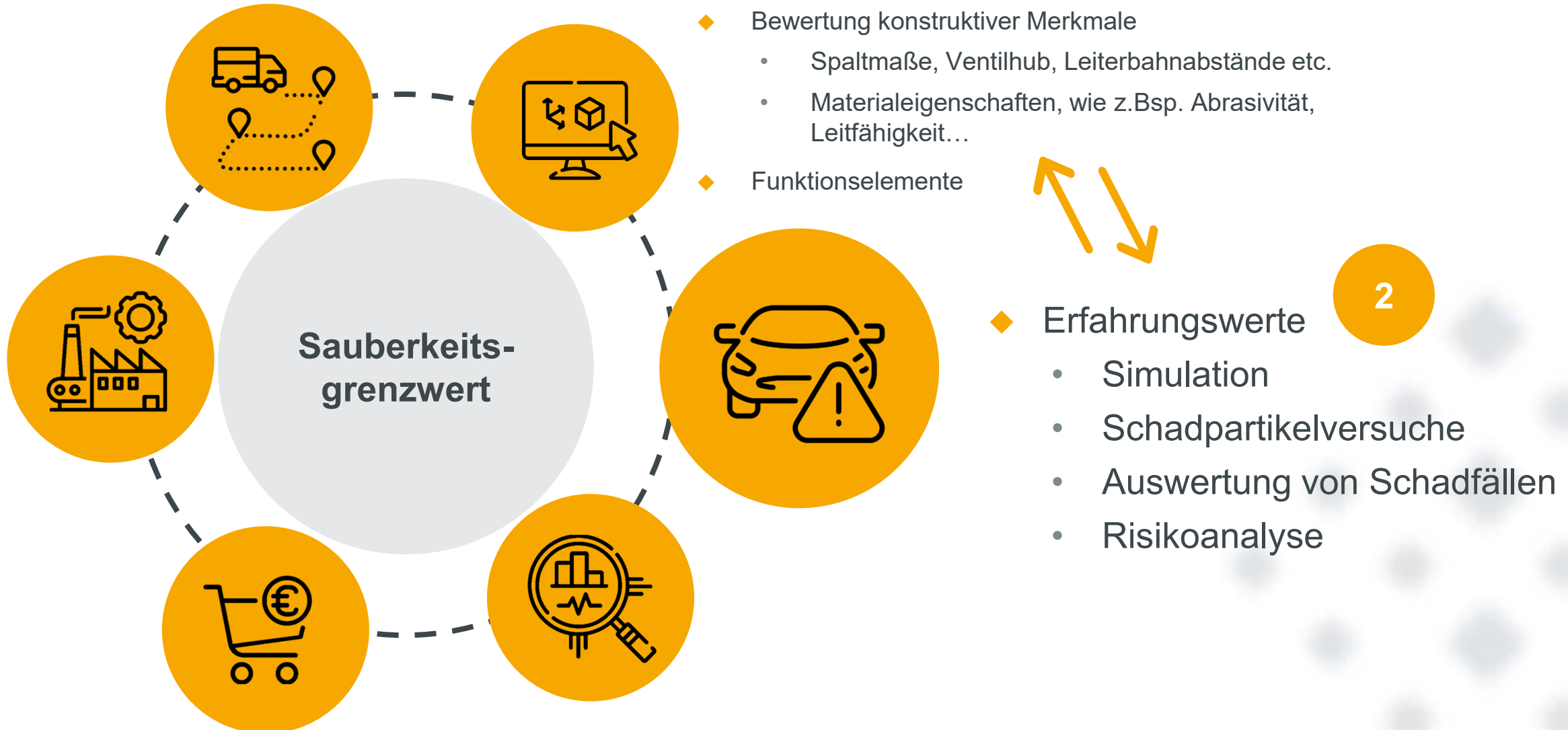
Identifizierung der kritischen Komponenten im System

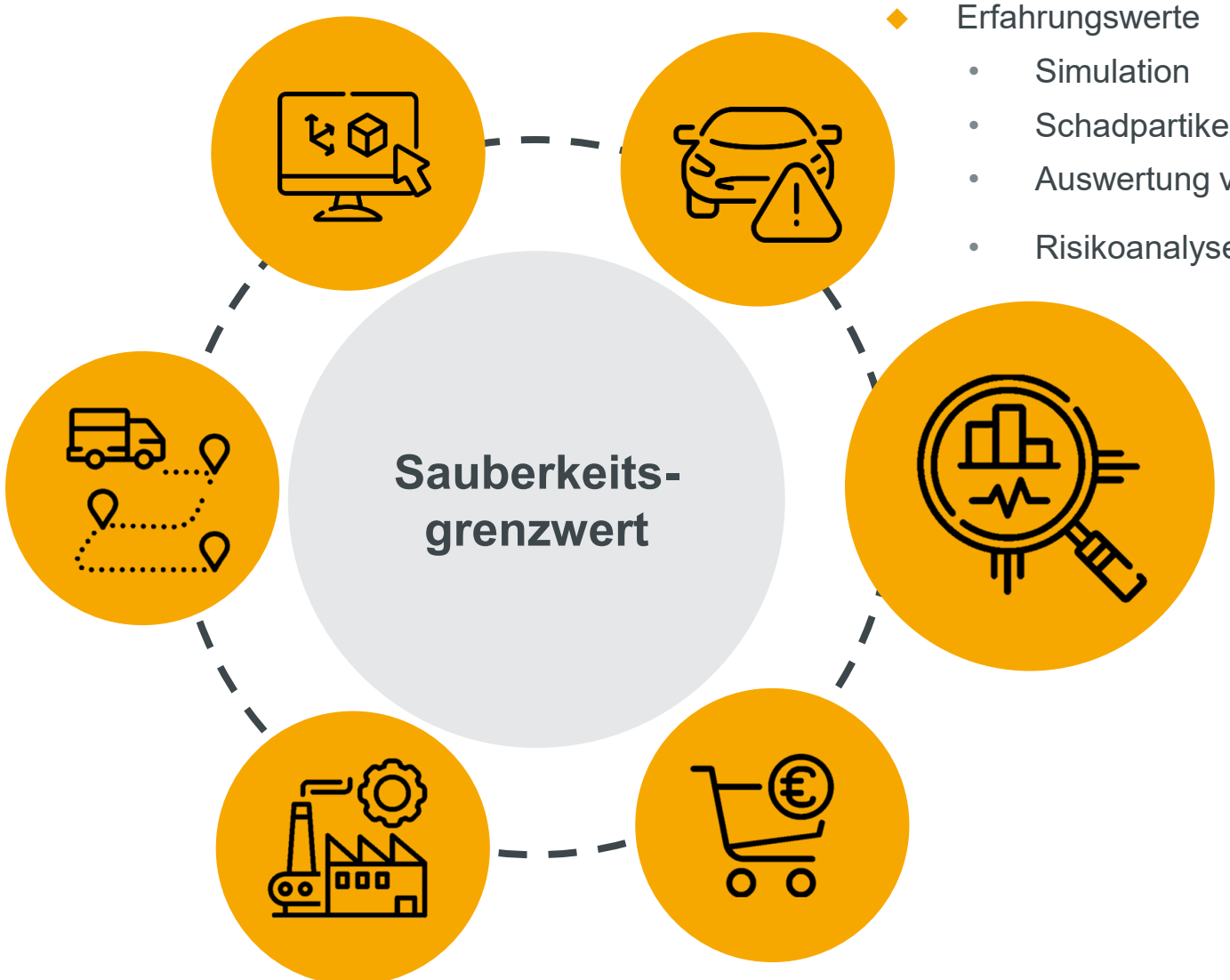




1

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





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

3

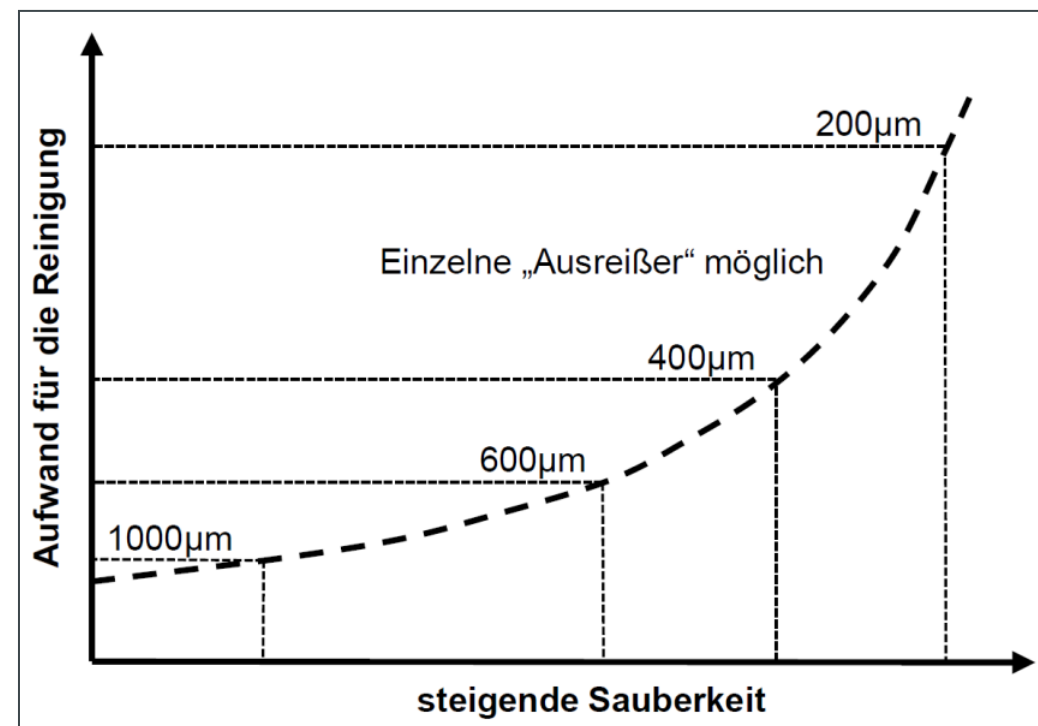
- ◆ Stand der Technik
- ◆ Was kann analysiert werden?







- ◆ Grenzwerte müssen herstellbar sein!





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“

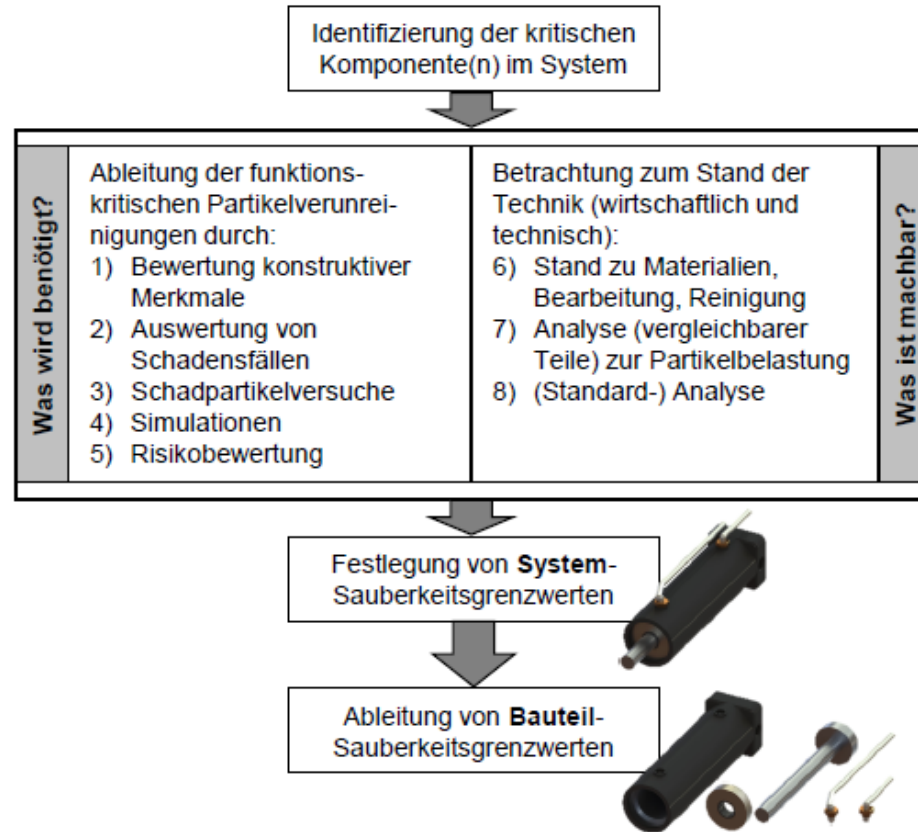
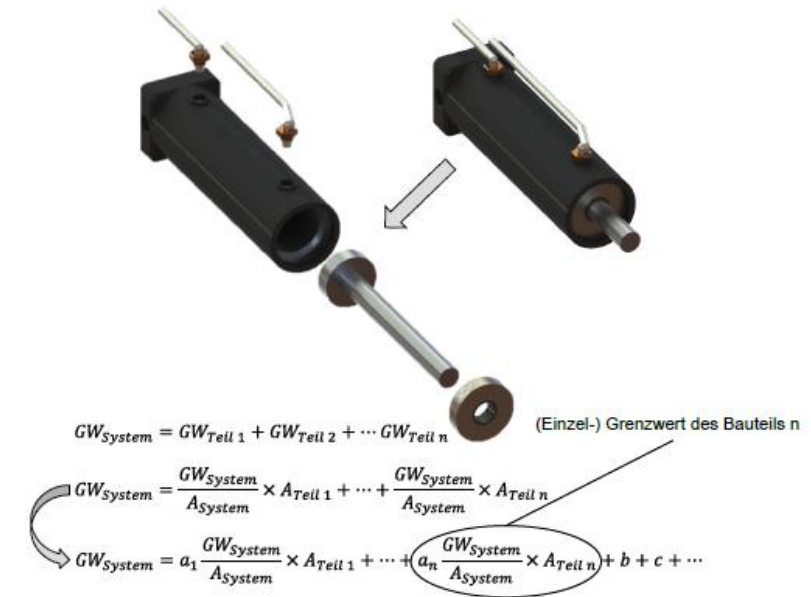


Abbildung 2-1: Weg zur Erstellung von Sauberkeitsspezifikationen



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
 $b, c, \dots$: weitere additive Verunreinigungsmengen

Abbildung 2-2: Ableitung von Bauteilsauberkeitsspezifikationen

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

Empfehlungen für Sauberkeitsgrenzwerte VDA19.1 Kapitel A2.3

◆ 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 Nachkontrolle 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

Inhalt

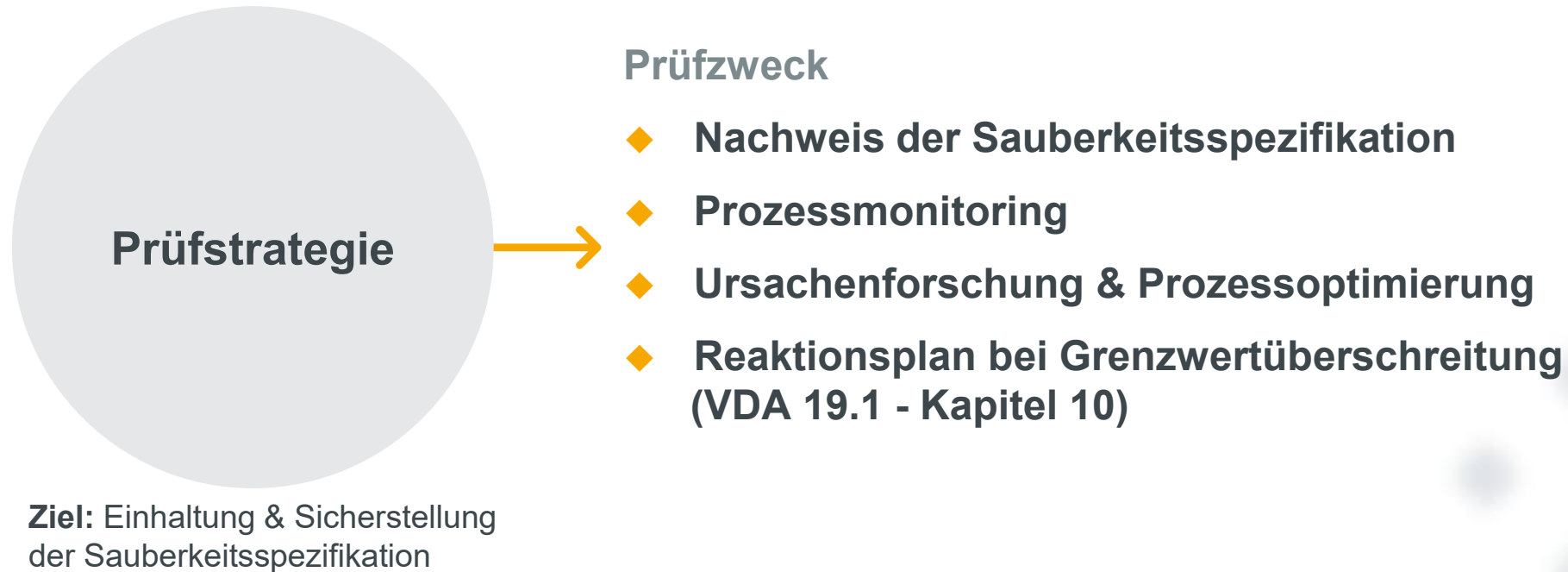
Warum Sauberkeitsanforderungen?

Der Weg zur Sauberkeitsanforderung

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

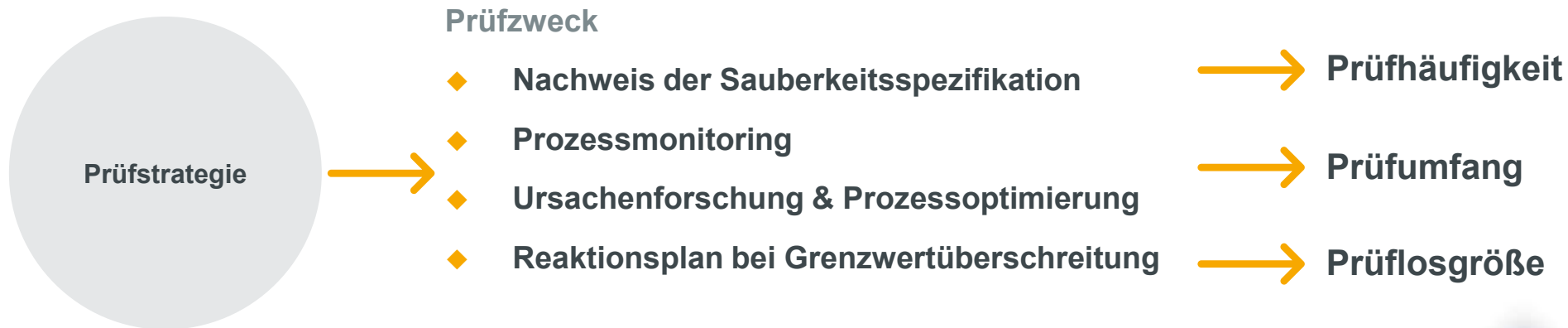
Prüfstrategie VDA19.1 Kapitel 2.5

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



Prüfstrategie VDA19.1 Kapitel 2.5

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



Ziel: Einhaltung & Sicherstellung der Sauberkeitsspezifikation

Aspekte für die Ableitung einer Prüfhäufigkeit/eines Prüfumfangs

Prüfanlass

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

Kritikalität eines Ausfalls

Qualitätshistorie

Fertigungscontinuität

Reaktionsmöglichkeit bei n.i.O.-Ergebnissen

Bauteilkosten

Prüfaufwand

Bauteilfamilien

→ Prüfhäufigkeit

→ Prüfumfang

→ Prüflosgröße



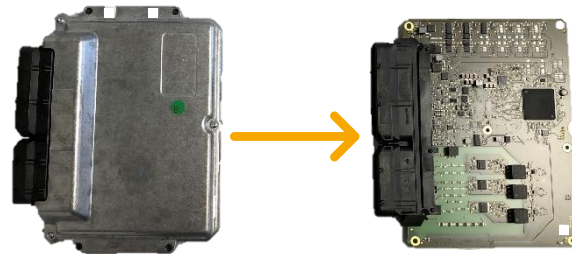
Absicherung der Technischen Sauberkeit für nicht prüfbare Bauteile bzw. Baugruppen VDA19.1 Kap. 2.6

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

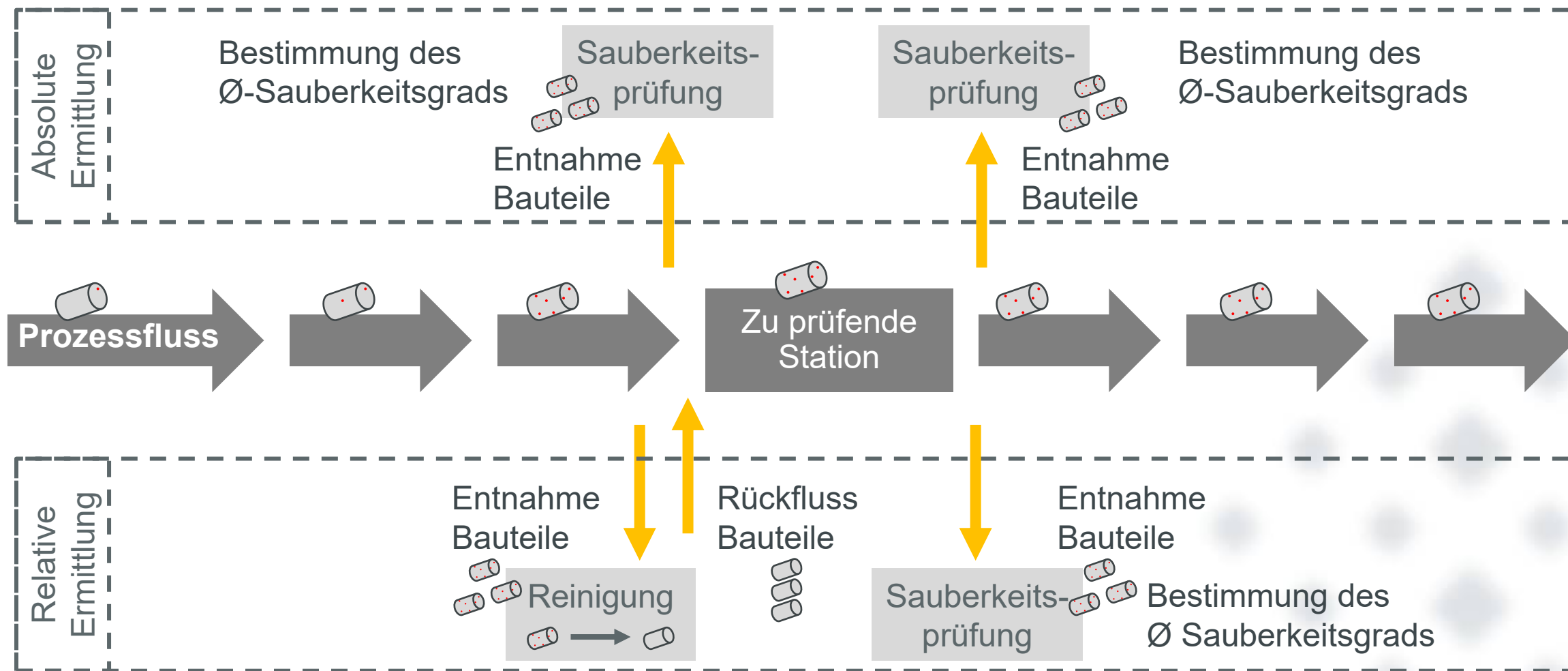
- Fertig montierte Systeme, geschlossene Bauteile: keine Extraktion im funktionskritischen Innenraum/Bereichen möglich
- Unzureichende Zugänglichkeit für eine effektive Extraktion (Toträume, Sacklöcher...)
- Beschichtete Bauteile/-gruppen

Ansatz:

1 Prüfung von Einzelteilen bzw. Unterbaugruppen entlang der Prozesskette



Partikelmonitoring direkt am produzierten Bauteil



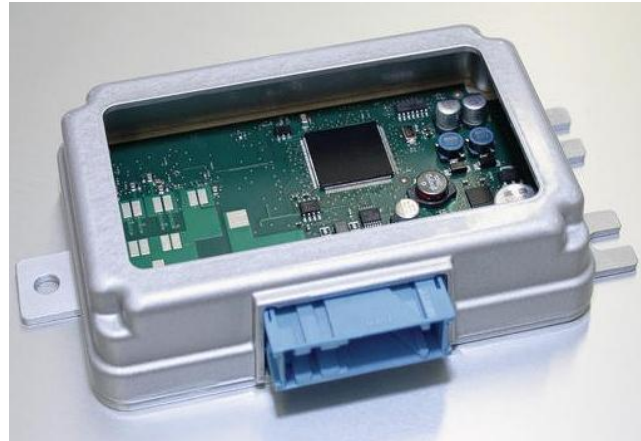
Absicherung der Technischen Sauberkeit

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

Vielen Dank!

