

PRÜFUNG DER SAUBERKEITSQUALITÄT

»Technische Sauberkeit für Entwickler und Konstrukteure«



20. Januar 2011, Stuttgart

Dipl.-Ing. Christian Ernst

Fraunhofer IPA, Reinst- und Mikroproduktion

Messbares Qualitätsmerkmal



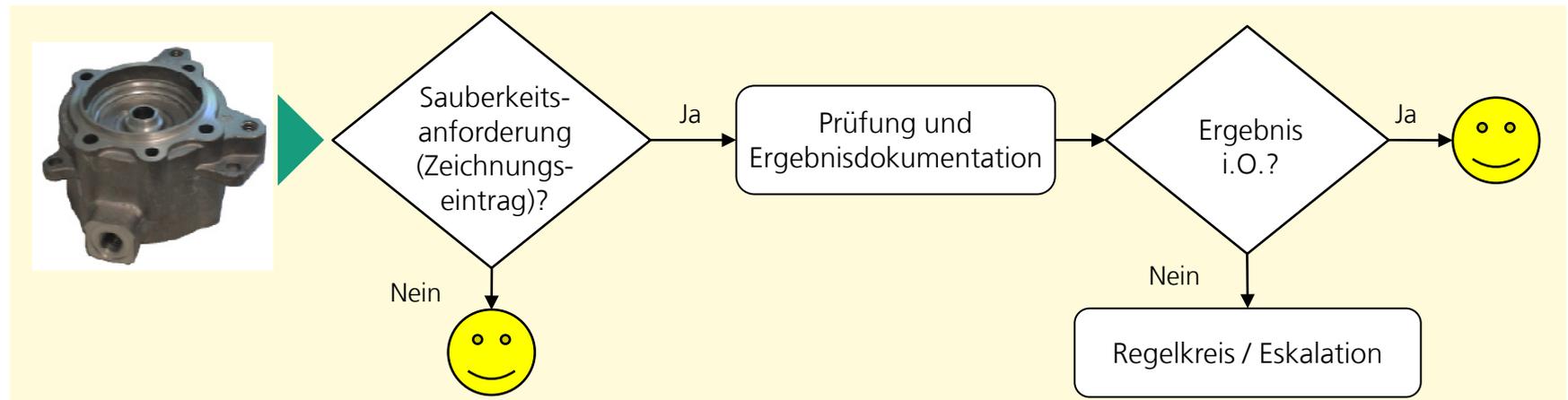
- Prüfungstechnisch reguliert sind aktuell Partikelverunreinigungen
- Filmische Rückstände sind nicht berücksichtigt



- »Restschmutz« heißt offiziell:
- Technische Sauberkeit (VDA 19)
 - Cleanliness (ISO 16232)

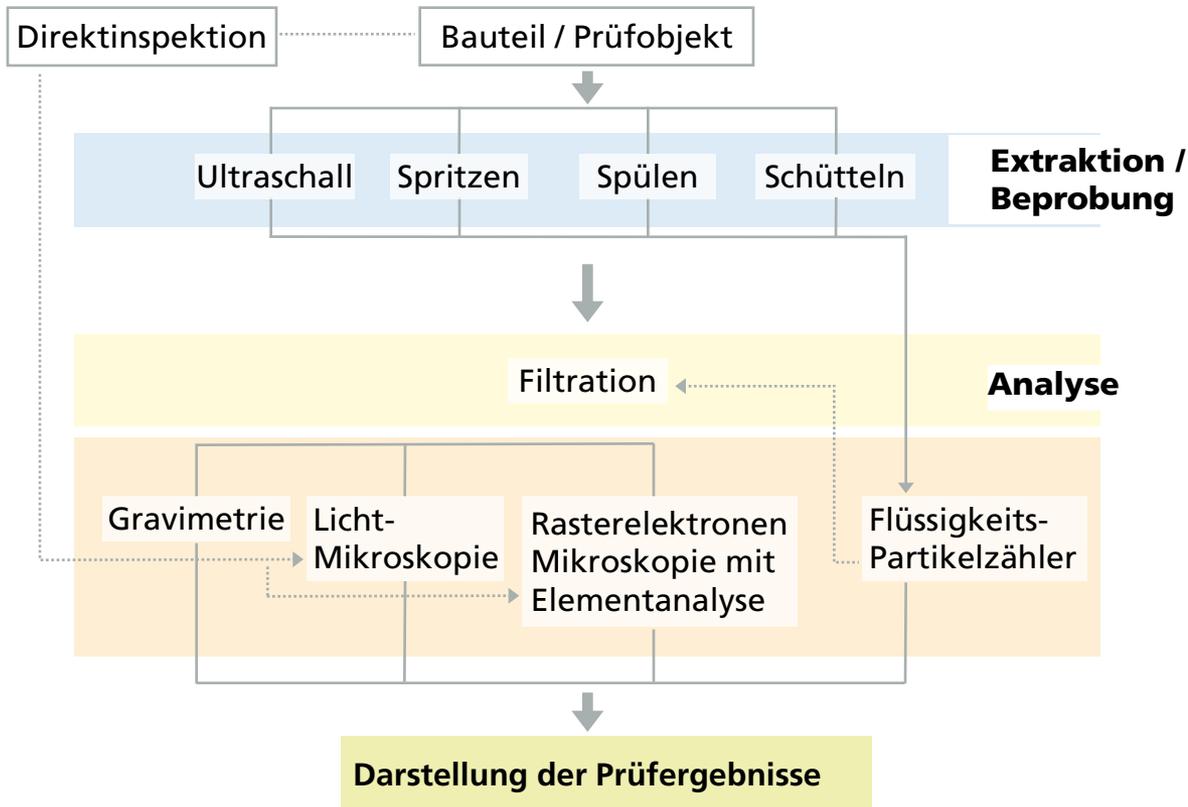
Messbares Qualitätsmerkmal – Sauberkeit

Technische Sauberkeit: Freiheit einer Kontrollfläche / Funktionsfläche von *kritischen* Verunreinigungen aus Herstellung und Umgebung.



- Wenn Sauberkeit als Qualitätsmerkmal festgeschrieben ist, dann ist sie in Konsequenz auch zu überprüfen
- Die Sauberkeitsmerkmale sollen *quantitativ* messbar sein (→ Sauberkeitswerte)
- Die Sauberkeitsmerkmale sollen mit *Stand der Prüftechnik* Messmitteln charakterisierbar sein

Sauberkeitsprüfung



→ Das Analyseergebnis wird entscheidend von der *Beprobungsprozedur* beeinflusst

Beispiele für Prüfung der Innensauberkeit (Spülen):



Identische / **standardisierte** Prüfanweisung? → wohl kaum ...

Prüfstandards VDA 19 und ISO 16232

Es gibt keine paar Universalprüfprozeduren, die die Palette der betroffenen Automobilkomponenten hinreichend bedienen könnten, wegen:

- A) Materialvielfalt, Gestalt, Lage und Größe der *Kontrollflächen*, Vorgeschichte (z. B. Konservierungsmittel, Beschichtung ...) etc.
- B) Zusammenspiel der Prüfreinigung / Partikel-Extraktion mit A)



Die Standards beinhalten:

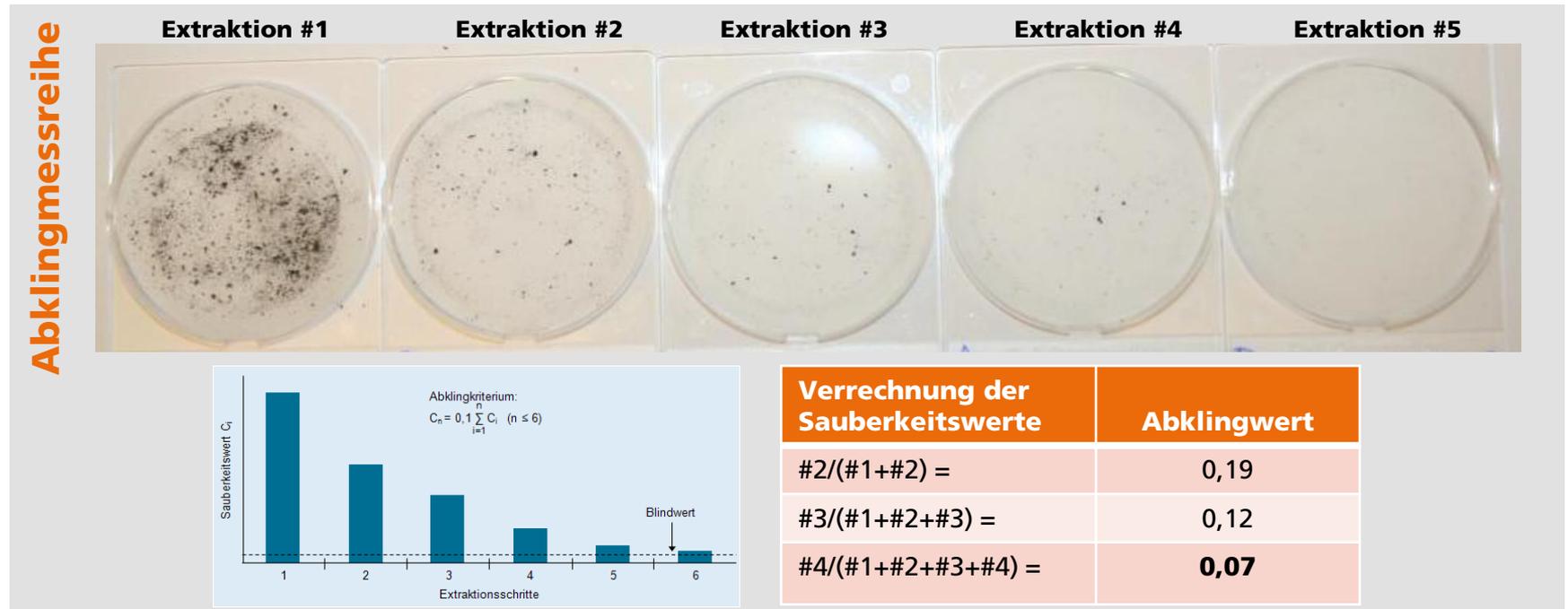
- 1.) Die Vorgaben zur experimentellen Ausarbeitung einer *bauteilangepassten* Prüfprozedur, die definierte Kriterien erfüllen muss (→ Qualifizierungsprozedur)
- 2.) Vorgaben / Anleitungen zur fachgerechten Durchführung von (wiederkehrenden) Sauberkeitsprüfungen
- 3.) Vorgaben zur Dokumentation von Prüfungen und Angabe von Sauberkeitswerten
- 4.) Die notwendige Empfehlung, dass Sauberkeitsanforderungen an eine (qualifizierte) Prüfspezifikation geknüpft sein sollen

Qualifizierungsprozedur (Beispiel)

Um die Partikel-Extraktion für ein Erzeugnis *normkonform* zu gestalten, muss die Prüfreinigung qualifiziert werden

Forderung: Erfassung von mindestens 90 % der abreinigbaren Partikel (*Abklingwert* $\leq 0,1$)

Aufgabe: Ermittlung der hierzu tatsächlich erforderlichen Reinigungsdauer / Flüssigkeitsmenge



In diesem Beispiel zeigt Schritt #4, dass (erst) mit **Schritt #3** mindestens 90 % abgereinigt waren
→ Fazit: Flüssigkeitsmenge / Reinigungsdauer muss 3 Mal höher sein als urspr. veranschlagt ...

Qualifizierungsuntersuchungen – Überblick:

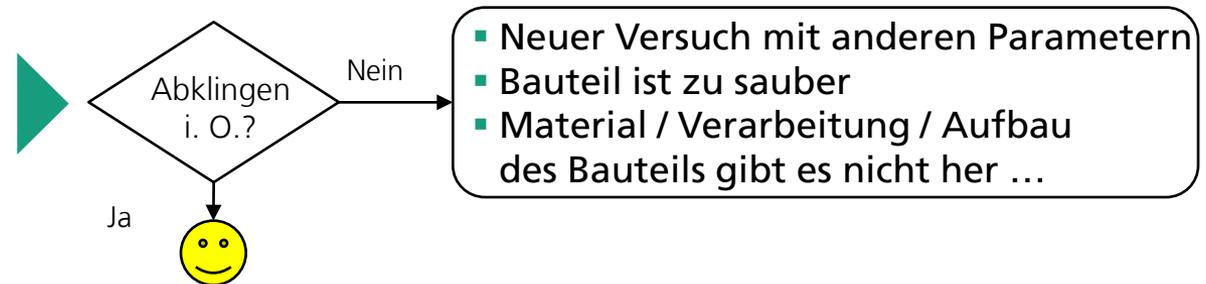
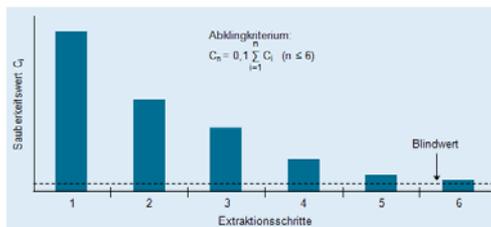
Belange:

- Vorhandene Partikelrückstände möglichst vollständig abreinigen
- Bauteilmaterial nicht zersetzen (kein Abklingen / vermeintlicher Restschmutz)
- Keine Ergebnis-Verfälschung durch Fremdschmutz (→ Blindwert der Prüfung)
- Findung der Prüflosgröße (Anzahl Bauteile pro Filter) für eine »optimale« Partikelmenge für die messtechnische Analyse

Resultat:

- Alle Informationen zur Festschreibung einer qualifizierten Prozedur für die Prüfung des Artikels (→ Routine-Prüfspezifikation)

Lern- und Erkenntnisquelle:



Sauberkeitsangaben

Größenklassen

Größen-klasse	Größe x [μm]
B	$5 \leq x < 15$
C	$15 \leq x < 25$
D	$25 \leq x < 50$
E	$50 \leq x < 100$
F	$100 \leq x < 150$
G	$150 \leq x < 200$
H	$200 \leq x < 400$
I	$400 \leq x < 600$
J	$600 \leq x < 1000$
K	$1000 < x$

Bezugsgrößen

- pro Bauteil oder n Bauteile
 - pro 1000 cm² benetzter Fläche (A)
 - oder pro 100 cm³ benetztem Volumen (V)
- Rückstandsgewicht uncodiert in mg

Anzahlklassen («Sauberkeitsklassen«)

Anzahl der Partikel (pro 1000 cm ² oder pro 100 cm ³)		Cleanliness level
Mehr als	Bis einschließlich	
-	0	00
0	1	0
1	2	1
2	4	1
4	8	3
8	16	4
...



Optionale Codierung
(Component Cleanliness Code), z. B.:
CCC = V(C4/D3/E3/F0/G-K/00)

ISO 16232 – Einzeldokumente

Road Vehicles – Cleanliness of components of fluid circuits

Part 1: Vocabulary

Part 2: Method of extraction of contaminants by agitation

Part 3: Method of extraction of contaminants by pressure rinsing

Part 4 : Method of extraction of contaminants by ultrasonic techniques

Part 5 : Method of extraction of contaminants on functional test bench

Part 6 : Gravimetric analysis

Part 7 : Particle sizing and counting by microscopic analysis

Part 8 : Particle nature determination by microscopic analysis

Part 9: Particle sizing and counting by automatic light extinction particle counter

Part 10 : Expression of results

Aufbau VDA-Band 19

Inhalte sind in ISO 16232 nicht behandelt

Inhalte sind in VDA 19 ausführlicher behandelt

- A: Anwendungs- und Gültigkeitsbereich
- B: Auswahl der Prüfmethode (informativ)
- C Sauberkeitsgerechte Handhabung von Prüfobjekten (informativ)
- D: Qualifizierungsuntersuchungen und Blindwert
- E: Extraktionsverfahren
 - Grundlagen
 - E1 Spritzen
 - E2 Ultraschall
 - E3 Spülen
 - E4 Schütteln

- F: Analyseverfahren
 - Grundlagen
 - F1: Filtration
 - F2: Gravimetrie
 - F3: Mikroskopie
 - F4: Elementanalyse
 - F5: Extinktionspartikelzähler
 - F6: Direktinspektion
- G: Dokumentation
- H: Definitionen, Abkürzungen und Formelzeichen
- J: Bibliographie (informativ)
- K: Fallbeispiele (informativ)

Koexistenz VDA 19 / ISO 16232

Streng im Vergleich:

Was	ISO 16232	VDA 19	Bemerkung
Sauberkeitsklassen /Dokumentation (Sprachgebrauch)	Part 1-10: »Cleanliness Level«	Kapitel G: »Contamination Level«	...
Partikelgrößenangabe (Mikroskopie)	Part 7 und 8: Länge	Kapitel F.3: optional auch Breite	...
Mikroskopie (Mindestpixel-Anzahl eines Partikels)	Part 7: 10 für größtes zul. Partikel und 5 für kleinere Partikel	Kapitel F.3: generell 10 pro Partikel	VDA 19 ist bezüglich Mindestpixelzahl strenger
Gravimetrie (Untere Nachweisgrenze)	Part 2, 3, 4, 5: 0,3 mg Part 6: ≤ 1 mg	Kapitel F.2: ≤ 1 mg	4-stellige Waage; unkontrollierte Umgebungsbedingungen
Spülen/Spülstand (Extraktion)	Part 5	Kapitel E.3	ISO behandelt Vakuum-Spülstände ausführlicher
Zweifachprüfung (Abklingkriterium)	Part 2, 3, 4, 5:	Kapitel D (Anhang A.2)	VDA 19: Empfehlung ≤ 30% ISO 16232: keine Angabe
Extinktionspartikelzähler (Analyse)	Part 9	Kapitel F.5	16232 berücksichtigt auch Größenangabe nach ISO 11171
Blindwertkriterium für größtes zulässiges Partikel	Part 2 bis 5 und 10: Größenintervall <i>unterhalb</i> Partikellänge/2	Kapitel D: Größenintervall <i>bei</i> Partikellänge/2	ISO ist eine Partikelgrößenklasse empfindlicher
Vereinfachte Sauberkeitsprüfung (Monitoring)	Nicht explizit vorgesehen	Kapitel A (Abschnitt 11; informativ): optional vorgesehen	Monitoring-Standard soll evtl. separates ISO-Vorhaben werden

□ → Zeigt eventuell praxisrelevanten technischen Unterschied an

Belange VDA 19 / ISO 16232

Diese Prüfstandards schreiben nicht vor:

1. Dass Bauteile (grundsätzlich) mit Sauberkeitsanforderungen belegt sein müssen
2. Dass Bauteilsauberkeit generell geprüft werden muss
3. Welchen Sauberkeitsgrad bestimmte Bauteile haben müssen
4. An welchen Stellen im Prozess / in der Qualitätskette Sauberkeitsanforderungen bestehen
5. In welchem Umfang zu prüfen ist

- Die Standards dienen der Vereinheitlichung der Prüfpraxis und machen Prüfungen reproduzierbarer und zuverlässiger
- Anspruch als »belastbare« Referenz für den heutigen Stand der Sauberkeitsprüfung



Dokumente

Sauberkeitsspezifikation:

Zusammenstellung der Sauberkeitswerte oder des Cleanliness Code für ein Objekt, verbunden mit einer (qualifizierten) Prüfspezifikation.

→ Zeichnungseintrag soll auch Prüfspezifikation als Referenz angeben



Prüfspezifikation:

Dokumentation, die auf Qualifizierungsuntersuchungen basierende Parameterangaben zur (wiederkehrenden) Sauberkeitsprüfung eines Bauteils oder einer Gruppe von Bauteilen beinhaltet.



Prüfprotokoll:

Kurzdokumentation. Hat die Prüfspezifikation als Referenz. Zeigt im Wesentlichen das Ergebnis der Sauberkeitsprüfung.

Grenzwerte / Sauberkeitswerte

- Blindwertabzug von Sauberkeitswerten ist nicht statthaft
- Die endgültige Festschreibung von Sauberkeitsgrenzwerten sollte eine praktische Prüfung zur Standortbestimmung einbeziehen
- Es muss nicht immer gleich ab 5 μm sein (Aufwand und Kosten)
- Nur nach *Stand der Prüftechnik* messbare Partikelmerkmale spezifizieren. Die *Höhe* als dritte Dimension von Partikeln gehört nicht dazu
- Messtechnisch unmögliche Klassifizierungen von Partikeln vermeiden: *hart / weich* oder *leitend / nicht leitend, magnetisch / unmagnetisch* oder auch *schwer / leicht*. Es können allenfalls die chemischen Elemente entsprechender Partikelmaterialien per REM-EDX charakterisiert werden

Grenzwerte / Sauberkeitswerte

- Mikroskopische optische Unterscheidung *Metall / nicht Metall* ist ein Grobindikator: Unterschieden wird lediglich metallischer Glanz; z. B. mittels Polarisationsfilter
- Angaben von Partikelzählungen $< 25 \mu\text{m}$ mit *Stereomikroskopen* sind nicht sinnvoll (Auflösungsvermögen)
- Größtes zulässiges Partikel: Organische Fasern (Staubflusen) eventuell explizit reglementieren, da sie in der Regel besonders lang sind
- Die Gravimetrie vermag Gewichtsanteile verschiedener Partikelarten nicht zu unterscheiden. Sie kann nur einen Gesamtwert wiedergeben
- Gravimetrie: Absolutwerte $\ll 3 \text{ mg}$ sind nachweistechisch im unteren Grenzbereich. Gegebenenfalls mehrere Bauteile pro Prüflös
- Ist die gravimetrische Analyse für die serienbegleitende Prüfung eines bestimmten Erzeugnisses noch von Nutzen?

Grenzwerte / Sauberkeitswerte

- Kritische Bauteile: Es gibt Bauteile, für die empfindliche Grenzwertforderungen aufgrund von Eigenpartikelabgabe / Vorbehandlung per se nicht erfüllbar sein können.
Beispiele (nicht verallgemeinerbar): Stanzteil, beschichtetes Teil, Kaltumformteil ...
(fallweise praktische Untersuchung zur Klärung erforderlich)
- Zukunft / Nutzen individueller *Codierungen* von Sauberkeitsgrenzwerten?
- ISO 4406 Codierung gilt für Partikelfrachten von *Hydraulikflüssigkeiten* und kann auf Bauteilsauberkeit nicht allgemein verständlich / nachvollziehbar angewendet werden

Sauberkeitsprüfung / Grenzen



Aufgrund hoher Belegungsdichte ist hier jedes Zählmikroskop überfordert

→ Zum *Einfahren der Prüfung* sollte nicht an der Prüflos-Anzahl gespart werden

Sauberkeitsprüfung / Grenzen

Aspekt	Bemerkung
■ Laborcharakter:	Aufwendig, räumliche / zeitliche Trennung vom Fertigungsprozess (→ »langsam«)
■ Prüfpersonal:	Erfahrungsschatz, Motivation und Tagesform
■ Prüfreinigungstechnik:	Endliche Parameter handelsüblicher Einrichtungen
■ Verschlussene Objekte:	Kein oder erschwerter oder endlicher Zugriff
■ Verschleppung möglich:	Partikel weniger sauberer (unwichtiger) Bauteilbereiche
■ Mikroskopische Analyse:	Endliche »Intelligenz« / physikalische Grenzen
■ Naturgesetze A):	Keine 2 identisch saubere / verunreinigte Bauteile
■ Naturgesetze B):	Ausreißer-Problematik bei »Null Partikel Grenzwerten«
■ Abklingverhalten:	Die Ausnahme bestätigt die Regel
■ Merkmalsveränderung:	Der interessierende Zustand des Objekts wird »zerstört«



Quelle: INA



15 Prüflose/Schicht

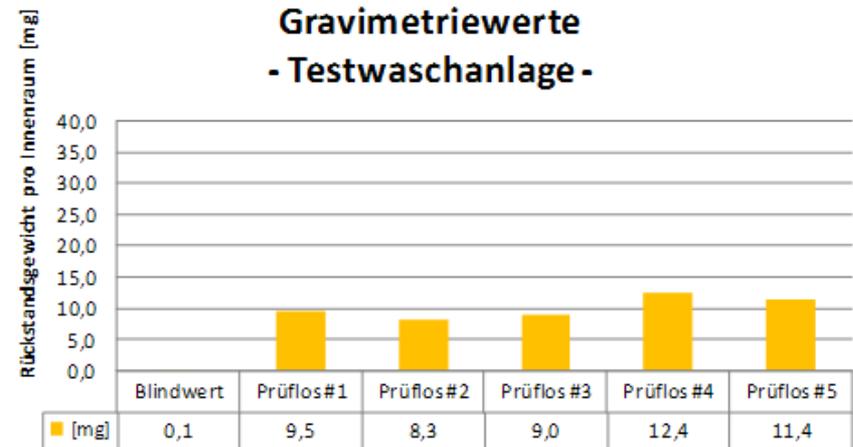
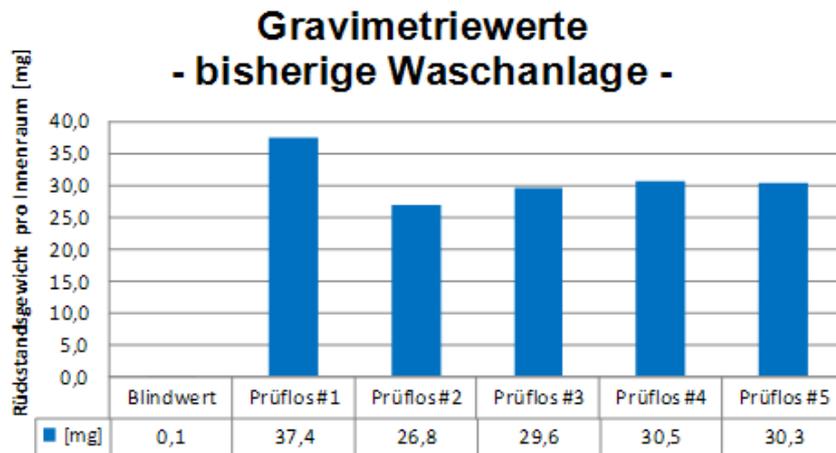


Quelle: Mahle



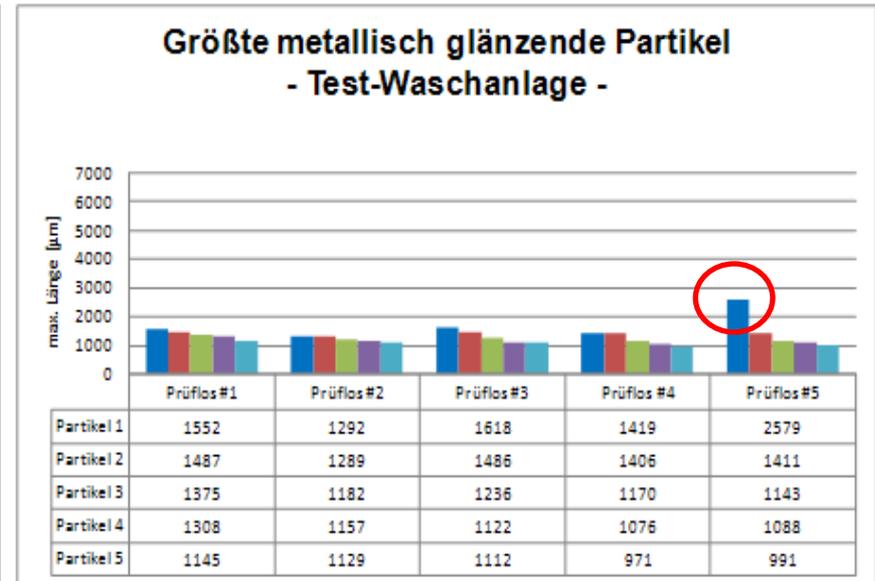
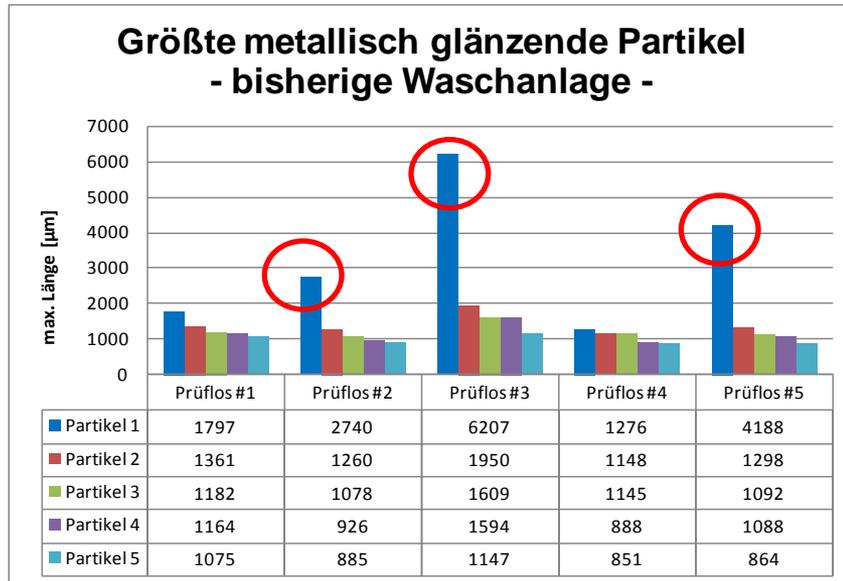
3 Prüflose/Schicht

Prüfbeispiel – Reinigungsvergleich



→ Testwaschanlage:
60 % weniger
Partikelrückstände

Prüfbeispiel – Reinigungsvergleich



■ Test-Waschanlage: → Weniger besonders große Partikel

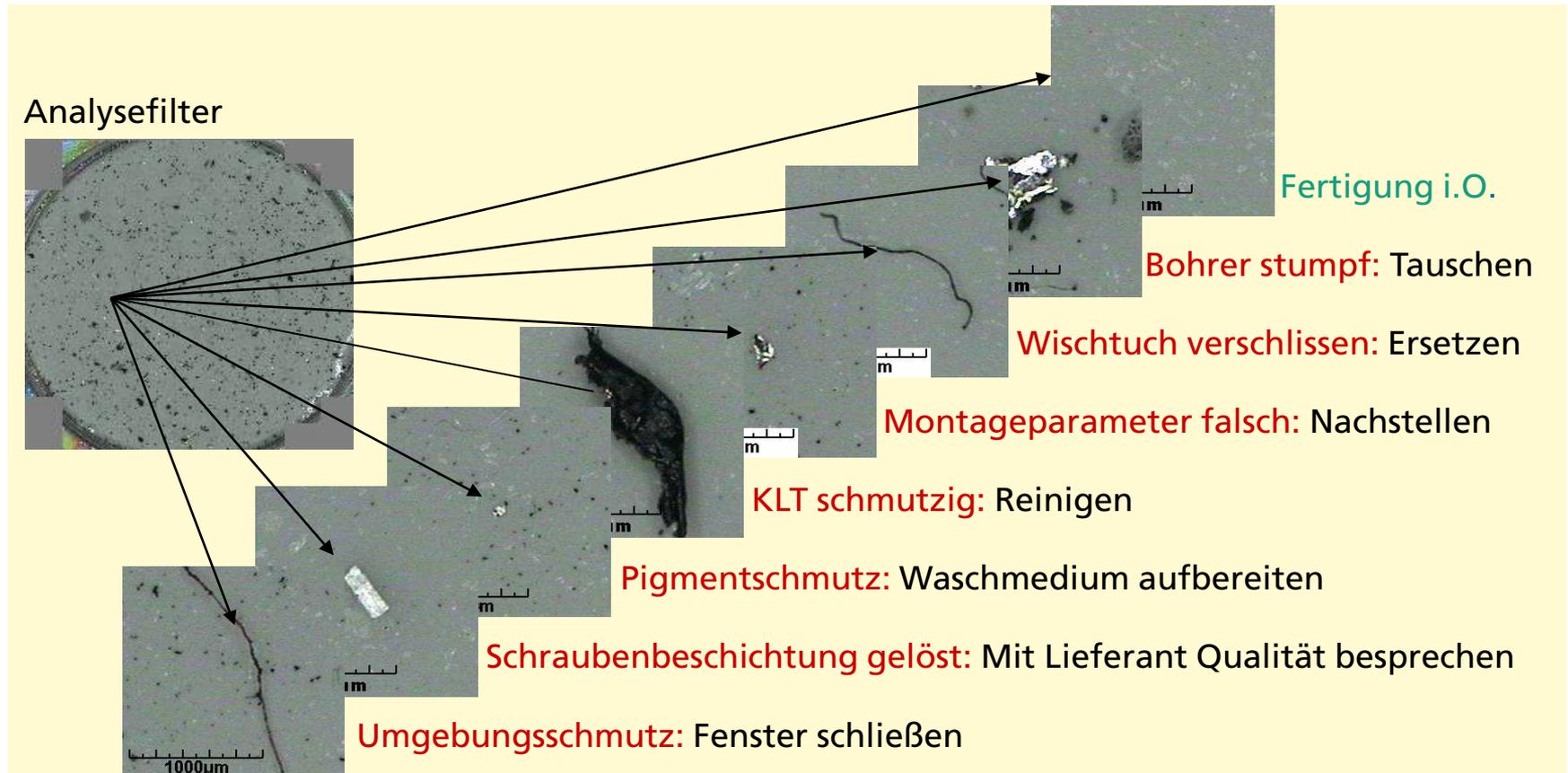
■ Nur je 3 Prüflose? ↑ ↑ ↑

→ Worst case: Kein Unterschied in der Reinigung!

Fazit:

Mindestens 5 (besser 10) Prüflose

Die »etwas andere« Qualitätsmessgröße



Sauberkeitsmanagement / TQM

Sauberkeitsrelevanz realisieren / Problematik annehmen

Ressourcen schaffen:

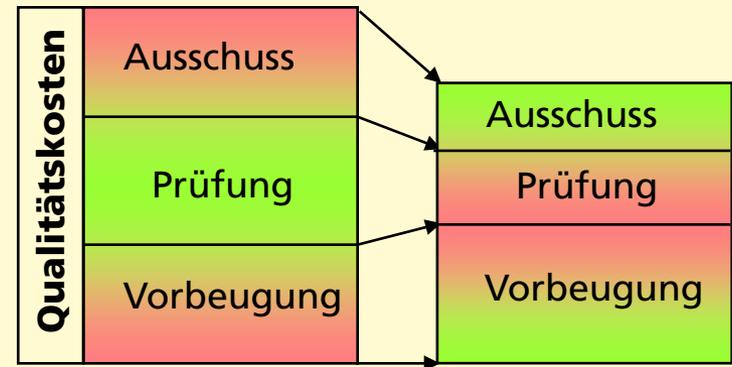
- Personal / Zeit
- Räumlichkeiten / Ausrüstung
- Fremdleistung

Sauberkeit messen / verstehen:

- Erzeugnis-Ebene
 - Prozess-Ebene
- } Fehler- und Kontaminationsmechanismen

- Maßnahmen bei überschrittenen Grenzwerten: Sperrung der Auslieferung oder Rücksendung von Teilen, nochmaliges Waschen...
- Aufbau von Regelkreisen zur Steuerung sauberkeitsrelevanter Parameter

KVP: Sauberkeitsaspekt integrieren und planen



- ➔ Sauberkeitsqualität meistern
- ➔ Unternehmenserfolg sichern

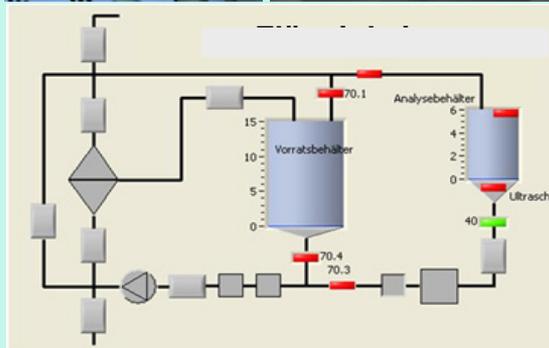
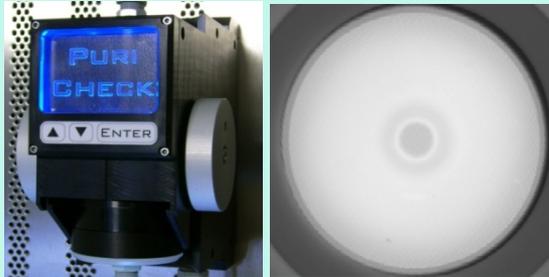
Vision: Schneller, bequemer, näher dran

■ Industrieanlagen



Quelle: Höckh

■ in situ Mess-System: LiSA



Quelle: Klotz GmbH

LiSA = Liquid Sample Analysis

Monitoring-Charakter:
→ Weniger Details

■ Labor-Messplatz



Prüfausrüstung

Extraktions-Equipment					Analyse-Geräte				
	Spritzen	Ultra-schall	Schütteln	Spül-stand		Präzisions-waage	Licht-mikroskop	REM / EDX	Partikelzähler f. Flüssigkeiten
Ab ca. [EUR]	20.000	2.000	...	25.000	Ab ca. [EUR]	3.000	5.000 (manuell) 25.000 (autom.)	225.000	15.000
Anbieter (z. B.)	Brändle, Gläser, Hydac, Pall, / Bandelin, Elma, Weber				Anbieter (z. B.)	Mettler-Toledo, Sartorius	Jomesa, Leica, Werth, Zeiss	RJL, Zeiss	Hach, Hydac, Klotz, Pamas

■ Infrastruktur (fallweise):

Separater Raum, Reinstdruckluftversorgung, Reinstwasserversorgung, Reinlufttechnik (Reinraum / Reine Werkbänke), Laborspülmaschine, Ionisationseinrichtung, Laborabzug, Klimatisierung

■ Grundausstattung (fallweise):

Schutzhandschuhe, Augenschutz, diverse Laborgläser, Computer, Reinigungsflüssigkeiten, Wischtücher (flusenfrei), Stoppuhr, verschließbare Behälter, Petrischalen, Petrischalen, PE-Spritzflaschen, Trichter, Aufreinigungsfilter für Prüf Flüssigkeiten, Entmagnetisierungseinrichtung, Trocknungsofen, Vakuumfiltration, Analyse-Filterkaskade ...

■ Ausgebildetes Prüfpersonal

Weitere Infos / Kontakt:

Abteilung Reinst- und Mikroproduktion

Fraunhofer IPA

Nobelstrasse 12

70569 Stuttgart

Dipl.-Ing. Christian Ernst, 0711-970-1248, ernst@ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Phys. Markus Rochowicz, 0711-970-1175, rochowicz@ipa.fraunhofer.de

Dipl.-Ing. Günther Schmauz, 0711-970-1104, schmauz@ipa.fraunhofer.de

www.technische-sauberkeit.de